

ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΣΑΚΩΝΑΣ Ν. ΑΡΚΑΔΙΑΣ. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ

Σωτηρόπουλος Λ., Λυμπέρης Ε., Σιγάλας Α., Ντουρούπη Α., Προβιά Κ. & Ντουινιάς Γ.

ΕΔΑΦΟΣ Σύμβουλοι Μηχανικοί ΕΠΕ, Υπερείδου 9, 105 58, Αθήνα, edafos@hol.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αστοχία στην περιοχή Τσακώνας του Ν. Αρκαδίας διέκοψε τη συνέχεια της Ν.Ε.Ο. Τρίπολης – Καλαμάτας και είναι από τις μεγαλύτερες που έχουν εκδηλωθεί ποτέ στο ελληνικό οδικό δίκτυο. Για τη μελέτη της εκτελέστηκαν λεπτομερείς γεωλογικές έρευνες σε συνδυασμό με προγράμματα γεωτρήσεων. Η αλληλεπίδραση συγκεκριμένων φυσικών παραγόντων, όπως η λιθολογία των σχηματισμών του «1^{ου} φλύσχη» της ζώνης Πίνδου και η τεκτονική καταπόνηση που έχουν υποστεί, οι υδρογεωλογικές συνθήκες όπως διαμορφώθηκαν από τους τεκτονικά υπερκείμενους ασβεστόλιθους και η μορφολογία, δημιούργησαν μία ασταθή θέση με ιστορικό κατολισθητικών φαινομένων στο εγγύς γεωλογικό παρελθόν. Στην πρόσφατη ενεργοποίησή της σημαντικό ρόλο διαδραμάτισαν επίσης ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στα πλαίσια κατασκευής της Ν.Ε.Ο., ενώ στην τελική εκδήλωσή της συνέβαλλαν αποφασιστικά οι έντονες βροχοπτώσεις της περιόδου φθινόπωρο – χειμώνας 2003.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μελέτη της κατολίσθησης της Τσακώνας παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον διότι αναγνωρίστηκε τόσο η γεωμετρία και ο τρόπος μετακίνησης των ασταθών μαζών, όσο και οι γεωλογικοί και εν γένει φυσικοί παράγοντες που αλληλεπίδρασαν και δημιούργησαν τις συνθήκες της αστάθειας, καθώς και οι ανθρωπογενείς επιδράσεις. Η σημαντικότητα του πρόσφατα κατασκευασμένου οδικού δικτύου που επηρεάστηκε και οι επακόλουθες κοινωνικές προεκτάσεις του ατυχούς συμβάντος, οδήγησαν σε μία μεγάλης κλίμακας ερευνητική δραστηριότητα, γεωλογική και γεωτεχνική, η οποία ξεκίνησε από τις πρώτες ενδείξεις μετακινήσεων το 2000, συνιστώντας ένα αξιολογότερο υπόβαθρο πληροφοριών. Όλα τα παραπάνω καθιστούν βιβλιογραφικά τη συγκεκριμένη αστοχία ένα ιδανικό «case study» για τον ελληνικό χώρο ως προς αυτά καθαυτά τα φυσικά χαρακτηριστικά της, αλλά και ως προς την προσοχή με την οποία θα πρέπει να αντιμετωπίζονται μελετητικά και κατασκευαστικά τα τεχνικά έργα. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι λοιπόν η παράθεση των τεχνικογεωλογικών – κυρίως – δεδομένων, έτσι ώστε να μπορεί να αξιοποιηθεί κατά τον τρόπο αυτόν.

Γεωγραφικά η κατολίσθηση τοποθετείται σε απόσταση περί τα 15km νότια της Μεγαλόπολης επί της Ν.Ε.Ο. Τρίπολης – Καλαμάτας και ανήκει στο νομό Αρκαδίας, κοντά στα σύνορα με το νομό Μεσσηνίας. Στη θέση που εκδηλώθηκε η αστοχία προκλήθηκε διακοπή της κυκλοφορίας (Σχ. 1 & 2) η οποία έχει μερικώς αποκατασταθεί μέσω της Π.Ε.Ο.

Η αστοχία χαρακτηρίζεται από επιμήκη άξονα μήκους 1200m περίπου με διεύθυνση εγκάρσια προς την Εθνική οδό και μέσο πλάτος περί τα 300m (Σχ. 3). Οι πρώτες ενδείξεις μετακίνησης παρατηρήθηκαν κατά το 2000, αμέσως μετά την ολοκλήρωση κατασκευής της Ν.Ε.Ο., ενώ η πλήρης ενεργοποίησή της έλαβε χώρα το Φεβρουάριο του 2003. Η κάθε μία από αυτές τις φάσεις μετακίνησης ακολουθήθηκε από αντίστοιχες φάσεις γεωλογικών και γεωτεχνικών ερευνών.

Γεωτεκτονικά τοποθετείται σε ένα επωθημένο τέμαχος της ζώνης Πίνδου επί της ζώνης Γαβρόβου – Τρίπολης. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της ζώνης Πίνδου που συνθέτουν το στενό γεωλογικό πλαίσιο συνίστανται κατά κύριο λόγο από τους σχηματισμούς του «1^{ου} φλύσχη» ανωουρασιτικής - κατωκρητιδικής ηλικίας και δευτερευόντως από ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους. Επίσης, μεγάλη έκταση στην επιφάνεια καταλαμβάνουν πρόσφατοι μεταλλικοί σχηματισμοί όπως πλευρικά κορήματα, υλικά κατολισθήσεων καθώς και τεχνητές επιχώσεις.

Η διερεύνηση του φαινομένου πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της μελέτης με τίτλο «Πλήρης μελέτη αποκατάστασης προβληματικών τμημάτων της Ε.Ο. Τρίπολης – Καλαμάτας στο τμήμα Πα-

ραδείσια – Τσακώνα (Υποτμήμα Β από Χ.Θ. 15+000 έως Χ.Θ. 21+000)» η οποία εκπονήθηκε από την εταιρία ΕΔΑΦΟΣ Ε.Π.Ε. για λογαριασμό του ΥΠΕΧΩΔΕ/ΔΜΕΟ. Η σημαντικότητα και πολυπλοκότητα του φαινομένου απαίτησε τη συμβολή ειδικών εμπειρογνομόνων για γενικά και ειδικά θέματα, οι εκθέσεις των οποίων λήφθηκαν υπόψη και αναφέρονται στις βιβλιογραφικές αναφορές (Μαρίνος & Καββαδάς, 2000, Σταυρακάκης, 2003, Φουντούλης, 2003).

2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Ο επιμήκης άξονας της αστοχίας αναπτύσσεται εγκάρσια ως προς την Εθνική οδό, με διεύθυνση ΔΒΔ–ΑΝΑ και μήκος 1200m, ενώ το μέσο πλάτος της είναι 300m (Σχ. 3). Το ανάντη ή ΑΝΑ όριο της εντοπίζεται περί τα 265m ανάντη της Ν.Ε.Ο., το οποίο καθορίζεται από ένα αμφιθεατρικής γεωμετρίας μέτωπο ύψους 10-15m. Ο πόδας ή το ΔΒΔ όριο της αποτελεί ο ποταμός Χάραδρος, κατά μήκος του οποίου παρατηρήθηκε ανασήκωμα της αναβαθμίδας. Με βάση τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της μπορεί να διακριθεί σε δύο επιμέρους περιοχές (Σχ. 4): την ανάντη περιοχή Α που καταλαμβάνει τον χώρο της αστοχίας στον οποίο εκδηλώθηκε η μετακίνηση χαλαρών εδαφικών μαζών, μέγιστου πάχους 30m και την κατάντη περιοχή Β η οποία σχετίζεται με την αστοχία μίας βραχώδους έξαρσης.



Σχήμα 1. Συνολική άποψη της κατολίσθησης

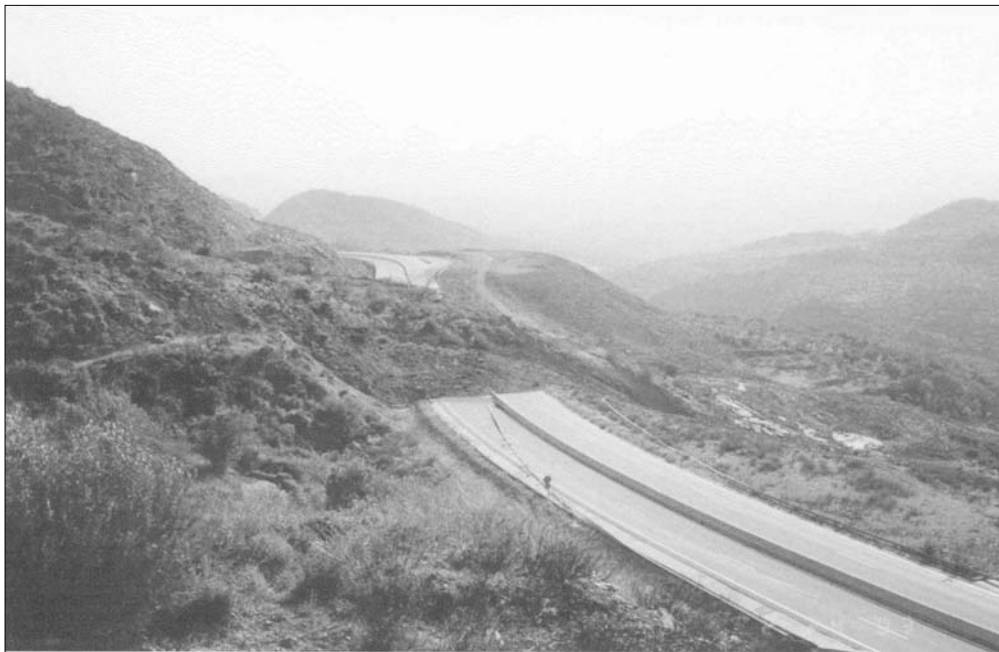
Η περιοχή Α μπορεί να διαχωριστεί από ανάντη προς κατάντη σε τρεις επιπλέον ζώνες (Σχ. 4) :

Τη *ζώνη πρωτογενούς και κύριας μετακίνησης*, μήκους περί τα 440m, η οποία οριοθετείται από το κύριο μέτωπο και στην οποία πραγματοποιήθηκε μετακίνηση εδαφικών μαζών προς τα κατάντη μήκους κατά την οριζόντια έννοια περί τα 70m, όπως φάνηκε από την μετατόπιση του οδοστρώματος της Ν.Ε.Ο. Στη ζώνη αυτή η μετακίνηση πραγματοποιήθηκε κατά μήκος μίας περίπου επίπεδης επιφάνειας (από τα στοιχεία των γεωτρήσεων) και περιλαμβάνονται κύριες και δευτερεύουσες εφελκυστικές ρωγμές. Τα στοιχεία αυτά υποδηλώνουν μία κατά βάση μεταθετική (translational) ολίσθηση (Cruden D.M. & Varnes D.J., 1996). Την *ενδιάμεση ζώνη μετακίνησης*, μήκους περί τα 250m, η οποία αναπτύσσεται στο μέσο περίπου της κατολίσθησης, οριοθετείται από ένα δευτερεύων μέτωπο και χαρακτηρίζεται από μικρότερες οριζόντιες μετακινήσεις κατά μήκος μίας ελαφρά καμπύλης επιφάνειας, επιφανειακές εδαφικές ροές και καταπτώσεις βράχων. Περιλαμβάνονται επίσης δευτερεύουσες εφελκυστικές ρωγμές και ρωγμές παράλληλες ως προς τη διεύθυνση της κίνησης. Τα στοιχεία αυτά υποδηλώνουν ότι στη ζώνη αυτή η προς κατάντη συνέχεια της κύριας ολίσθησης

είναι μία δευτερεύουσα ολίσθηση με σύνθετα χαρακτηριστικά. Τη ζώνη συσσώρευσης και συμπίεσης η οποία καταλαμβάνει το κατώτερο τμήμα της κατολισθημένης μάζας στο οποίο παρατηρούνται ρωγμές συμπίεσης, «φουσκώματα» και «ανασηκώσεις» εδαφικού υλικού. Αποτελεί τον πόδα της κατολίσθησης των εδαφικών υλικών, όχι όμως και το τελικό όριο της κατολίσθησης, το οποίο επεκτείνεται στην περιοχή Β.

Η περιοχή Β συνιστά μία δομική αστοχία του υποκείμενου βραχώδους υποβάθρου, το οποίο επηρεάστηκε από τις τεράστιες ωθήσεις που ασκήθηκαν σε αυτό από την προς κατάντη κινούμενη εδαφική μάζα (Σχ. 4). Η αστοχία του υποβάθρου εκδηλώνεται επί ενός ορίζοντα έντονα διαταραγμένου ιλυολιθικού φλύσχη στον οποίο υπέρκεινται οριζόντες ψαμμιτών και κερατολίθων. Οριοθετείται από τον ποταμό Χάραδρο, κατά μήκος του οποίου παρατηρήθηκε ανασήκωμα της αναβαθμίδα (Σχ. 5).

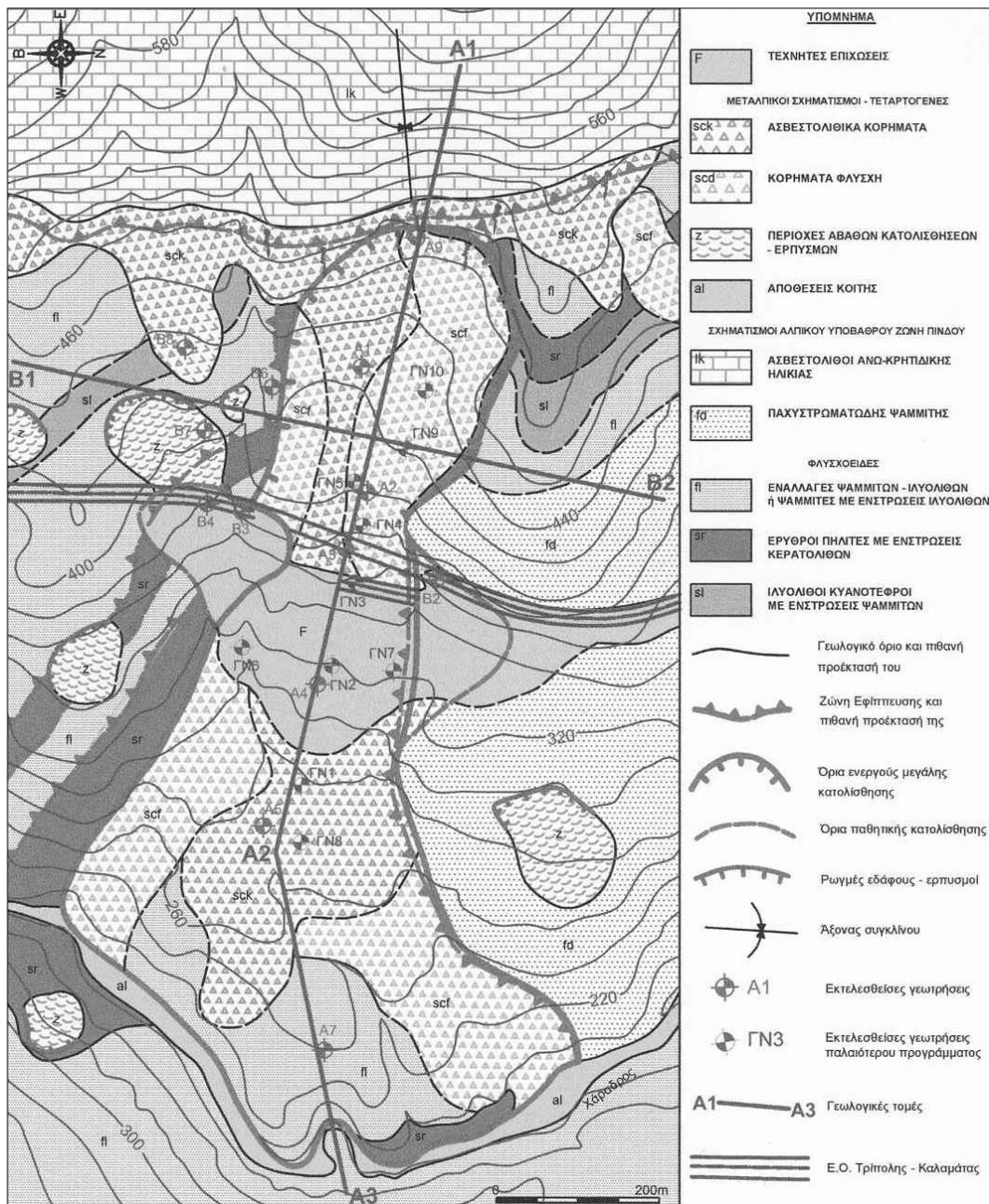
Από όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά προκύπτει ότι η κατολίσθηση της Τσακώνας παρουσιάζει μικτά χαρακτηριστικά η οποία στο σύνολό της μπορεί να χαρακτηριστεί σαν μεταθετική ολίσθηση εντός της οποίας αναπτύσσονται επιμέρους αστοχίες με διαφορετικά χαρακτηριστικά ανάλογα με το είδος και τη θέση των επιμέρους τεμαχίων που οριοθετούν. Με βάση τα στοιχεία πεδίου και τα στοιχεία των γεωτρήσεων ο συνολικός όγκος ασταθών υλικών υπολογίζεται περί τα 9.000.000 m³.



Σχήμα 2. Ανώτερο τμήμα αστοχίας και καταστροφή της Ν.Ε.Ο. μεταξύ των Χ.Θ. 16+300 έως 16+600

3 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΣΑΝ ΤΗΝ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΤΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

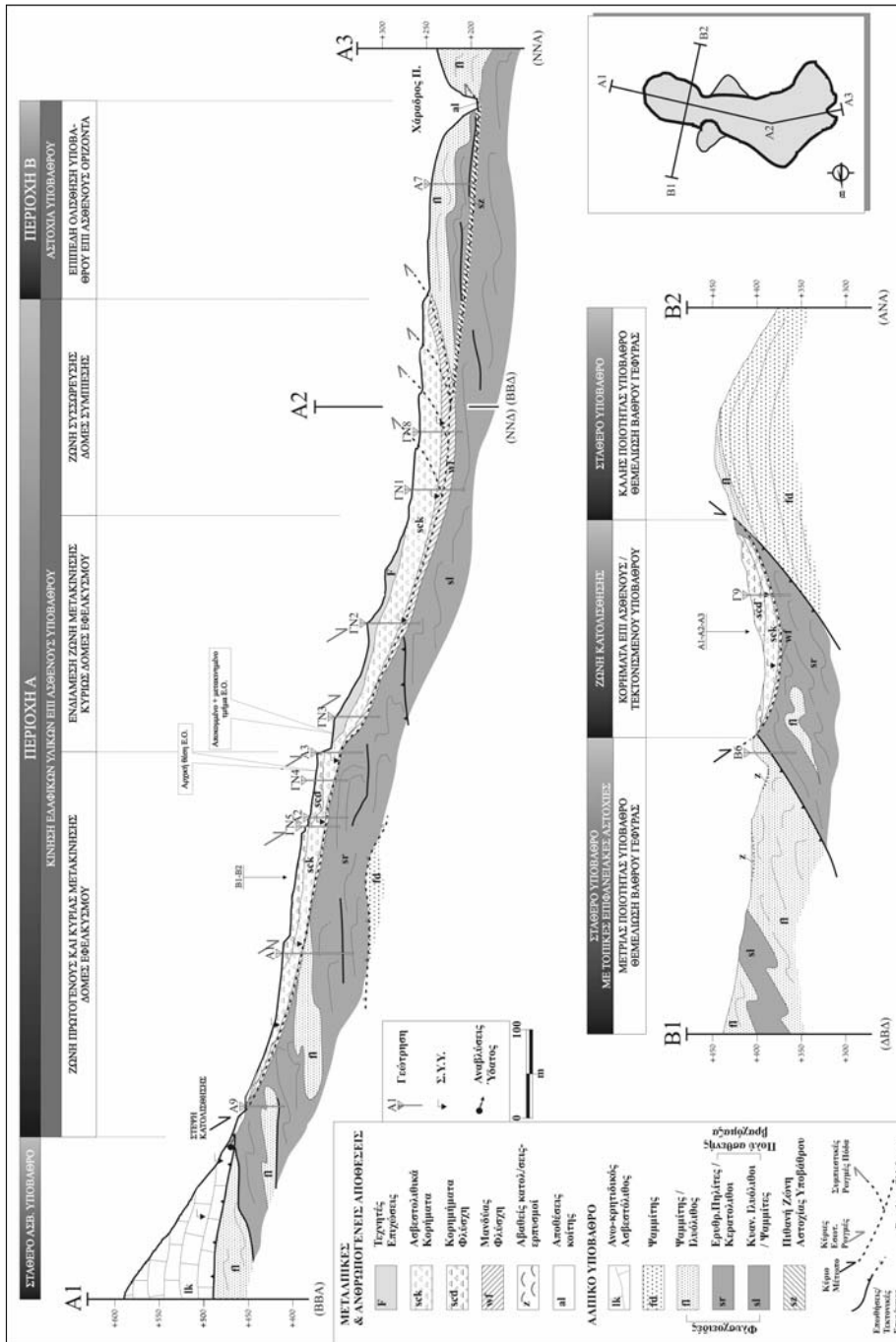
Οι παράγοντες που αλληλεπιδράσαν και συνέβαλαν στην εκδήλωση του φαινομένου μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες: σε εκείνους που δημιούργησαν το γεωλογικό πλαίσιο μίας εν γένει ασταθούς περιοχής στην οποία έχουν ξανασυμβεί στο γεωλογικό παρελθόν κατολισθητικά φαινόμενα και σε εκείνους που έδρασαν προσθετικά σε σύντομο χρονικό διάστημα και οδήγησαν στην τελική εκδήλωση της αστοχίας το 2003. Οι πρώτοι αφορούν στη λιθολογία, την τεκτονική, την υδρογεωλογία και τη μορφολογία και οι δεύτεροι στις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και τις κλιματολογικές συνθήκες μίας πολύ υγρής περιόδου. Η επήρεια των παραγόντων αναλύεται στη συνέχεια.



Σχήμα 3. Γεωλογικός χάρτης περιοχής κατολίθησης

3.1 Λιθολογία

Στην περιοχή της ασταθούς μάζας αναπτύσσονται δύο ενότητες γεωλογικών σχηματισμών. Η μία αποτελείται από τους αλπικούς σχηματισμούς του τεκτονικού καλύμματος της ζώνης Πίνδου (Ι.Γ.Μ.Ε., 1987, Κατσικάτσος, 1992 & 1980, Ζίνδρος, 1996), οι οποίοι αποτελούν υπόβαθρο στην ευρύτερη περιοχή και η δεύτερη από τις πρόσφατες μεταλλικές αποθέσεις, οι οποίες καλύπτουν σημαντικό τμήμα στην επιφάνεια και συνδέονται με δευτερογενείς διεργασίες όπως αποσάθρωση, διάβρωση, ερπυσμούς και κατολισθήσεις. Στην τελευταία ομάδα εντάχθηκαν επίσης σώματα τεχνητών επιχώσεων τα οποία αποτελούν τμήμα της κατασκευασμένης οδού (Σχ. 3) και τα οποία καταλαμβάνουν σημαντικό τμήμα στην επιφάνεια.



Σχήμα 4. Γεωλογικές - γεωμορφολογικές τομές κατοίησης

Η lithological σύσταση των σχηματισμών καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη τεχνικογεωλογική συμπεριφορά τους και το στενό γεωλογικό πλαίσιο στο οποίο εκδηλώθηκε η αστοχία διότι: (α) οι μεταλπικοί σχηματισμοί είναι εκείνοι που κατά βάση συμμετέχουν στην αστοχία και (β) οι αλπικοί σχηματισμοί συνεισφέρουν στην τροφοδοσία των ασταθών υλικών και τα ασθενέστερα μηχανικά μέλη τους συνιστούν το άμεσο υπόβαθρό της.

3.1.1 *Μεταλλικοί & ανθρωπογενείς σχηματισμοί*

3.1.1.1 *Τεχνητές επιχώσεις*

Εμφανίζονται στην επιφάνεια σαν τμήμα της κατασκευασμένης οδού και αποτελούν προϊόντα εκσκαφών κυρίως από το φλύσχη που επικρατεί στην ευρύτερη περιοχή. Πρόκειται για αποθέσεις αργιλώδους ή αμμώδους σύστασης με συμμετοχή χαλίκων και κροκαλών, ψαμμιτικής κυρίως σύστασης. Αποτελούν γενικά χαλαρές αποθέσεις με μειωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά, το μέγιστο πάχος των οποίων είναι 25m.

3.1.1.2 *Πλευρικά κορήματα – υλικά ελουβιακού μανδύα*

Έχουν προκύψει από την αποσάθρωση του υποβάθρου και τη μεταφορά των προϊόντων από γειτονικές θέσεις. Διακρίνονται ανάλογα με την πηγή προέλευσης σε ασβεστολιθικά κορήματα και κορήματα φλύσχη, ενώ περιλαμβάνονται και τα υλικά του μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη, ο οποίος παρουσιάζει παρόμοια τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά. Το μέγιστο πάχος τους είναι 35m.

Τα ασβεστολιθικά κορήματα προέρχονται από τους ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους οι οποίοι δομούν τα ανώτερα μορφολογικά τμήματα του μετώπου της αστοχίας. Το πάχος τους κυμαίνεται από 5m έως 30m, η σύστασή τους είναι έντονα κοκκώδης κατά τεκμήριο και αλλάζει ανάλογα με τη θέση εμφάνισής τους. Ο μεγάλος όγκος τους οφείλεται πιθανά σε βραχολισθήσεις που συνέβησαν στο πρόσφατο παρελθόν. *Τα κορήματα του φλύσχη* προέρχονται από το φλυσχικό υπόβαθρο και είναι αργιλώδους έως αμμοχαλικώδους σύστασης. Τα κορήματα που προέρχονται από τον ιλυολιθικό και ερυθροπηλιτικό φλύσχη είναι αργιλώδους σύστασης με μικρό ποσοστό περιεχόμενης άμμου και χαλίκων, ενώ το χρώμα τους ποικίλει από μελανόγκριζο έως ερυθρό. Τα κορήματα που προέρχονται από τον κερατολιθικό και ψαμμιτικό φλύσχη έχουν κοκκώδη διαβάθμιση με επικράτηση των χαλίκων, ενώ το χρώμα τους ποικίλει από καστανό έως ερυθρό ή και γκριζοπράσινο. Ιδιαίτερη βαρύτητα δίδεται στον μανδύα αποσάθρωσης του φλυσχοειδούς υποβάθρου, ο οποίος εντοπίστηκε σε όλες σχεδόν τις γεωτρήσεις στον χώρο της κατολίσθησης, και καλύπτει το υπόβαθρο με πάχος που κυμαίνεται μεταξύ 3m έως 12m. Αποτελείται από άργιλο καστανή, μελανόγκριζη ή ερυθρόγκριζη και αποτελεί μία ζώνη με ασθενή μηχανικά χαρακτηριστικά. Με βάση τα μακροσκοπικά δεδομένα των δειγμάτων από τις γεωτρήσεις και τα αποτελέσματα των κλισιομετρήσεων είναι το όριο μεταξύ των ασταθών υλικών και του «σταθερού» υποβάθρου. Στη θέση της κατολίσθησης αποτελεί τη «βαθύτερη» ζώνη διάτμησης πάνω στην οποία έχουν ολισθήσει τα μεγάλα πάχους χαλαρά και ασταθή υλικά.

3.1.2 *Αλπικό υπόβαθρο*

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί υποβάθρου που συναντώνται είναι ο «1^{ος} φλύσχη» της ζώνης Πίνδου και οι ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι. Ο σχηματισμός του φλύσχη, ηλικίας Άνω Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού, μπορεί επιπλέον να διακριθεί σε δύο επιμέρους ενότητες, μία ψαμμιτικής σύστασης η οποία αποτελεί τον τυπικό «1^ο φλύσχη» της ζώνης Πίνδου και θα αναφέρεται ως «ψαμμιτικός φλύσχη» και μία ιλυολιθικής - κερατολιθικής κυρίως σύστασης η οποία συνίσταται από εναλλασσόμενα στρώματα ιλυολίθων, ψαμμιτών, ερυθρών πηλιτών, κερατολίθων και σπανιότερα ασβεστολίθων, η οποία θα αναφέρεται με τον όρο «φλυσχοειδές». Ο διαχωρισμός αυτός βασίζεται εκτός των λιθολογικών και σε τεχνικογεωλογικά κριτήρια, καθόσον ο ψαμμιτικός φλύσχη χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη αντοχή και ομοιομορφία, ενώ το φλυσχοειδές συνιστά μικρότερης αντοχής βραχώμαζα χαρακτηριζόμενη από έντονη λιθολογική ανομοιομορφία.

3.1.2.1 *Ψαμμιτικός φλύσχη*

Συναντάται με μία περιορισμένη σχετικά σε έκταση επιφανειακή εμφάνιση, η οποία αποτελεί το νότιο και «σταθερό» όριο της κατολίσθησης. Αποτελείται από μεσο-παχυστρωματώδεις, λεπτόκοκκους ή μεσόκοκκους ασβεστιτικούς ψαμμίτες με παρεμβολές λεπτών οριζόντων ιλυολίθων. Το πάχος των οριζόντων του ψαμμίτη κυμαίνεται από λίγα εκατοστά έως 1,50m. Το μέγιστο πάχος του σχηματισμού στην ευρύτερη περιοχή της μελέτης υπολογίζεται ότι υπερβαίνει τα 100 m (Κασικάτσος, 1980). Τα στρώματά του διευθετούνται με διεύθυνση κλίσης που κυμαίνεται από BBA έως και

NA και κλίση μεταξύ 15° έως 20°. Η μεταβολές στον προσανατολισμό οφείλονται σε στρέψεις λόγω ρηγμάτων και κάμψεις λόγω της αλπικής τεκτονικής.

3.1.2.2 Φλυσχοειδές

Συνίσταται από εναλλαγές τεφρών ιλυολίθων, ερυθρών πηλινών, ψαμμιτών, κερατολίθων και σπανιότερα ασβεστολίθων. Στα κατώτερα μέλη επικρατούν οι ιλυόλιθοι με ενστρώσεις ψαμμιτών, ενώ στα ανώτερα οι ιλυόλιθοι με κερατόλιθους, πηλίτες και ενστρώσεις ασβεστολίθων. Η γεωλογική δομή του σχηματισμού είναι πολύπλοκη χαρακτηριζόμενη από συχνές και πολυσύνθετες δομές όπως πτυχώσεις και εσωτερικές λεπιώσεις, οφειλόμενες στην πλαστικότητα και τη διαφορική παραμόρφωση των συχνών λιθολογικών εναλλαγών. Οι δομές αυτές εκδηλώνονται κυρίως στα μέλη στα οποία επικρατεί η ιλυολιθική και πηλιτική σύσταση, τα οποία παραμορφώνονται εντονότερα και πιο πλαστικά, ενώ στα μέλη που επικρατούν πιο ψαθυροί σχηματισμοί, όπως εναλλαγές ιλυολίθων - ψαμμιτών, η τεκτονική παραμόρφωση είναι ηπιότερη. Λόγω της δομής του, το φλυσχοειδές δεν παρουσιάζει σταθερό πάχος και προσανατολισμό, αν και το πραγματικό πάχος του υπολογίζεται περί τα 40-50m και η μέση κύρια διεύθεσή του είναι με διεύθυνση κλίσης προς Β-BBA, με μεγάλη όμως διασπορά τιμών. Η συνεισφορά του φλυσχοειδούς στην αστοχία είναι μεγάλη καθώς τα τεχνικογεωλογικά «ασθενή» μέλη στα οποία επικρατούν ιλυόλιθοι και πηλίτες συνιστούν το άμεσο γεωλογικό περιβάλλον της -υποκείμενα της ασταθούς μάζας- και συνέβαλαν σε αυτή με τη δημιουργία ενός σημαντικού πάχους και πολύ χαμηλών μηχανικών χαρακτηριστικών ελουβιακό μανδύα.

3.1.2.3 Άνω κρητιδικό ασβεστόλιθοι

Οι ανωκρητιδικό ασβεστόλιθοι δομούν την περιοχή πάνω από το μέτωπο της κατολισθαίνουσας μάζα και υπέρκεινται τεκτονικά του φλύσχη. Πρόκειται για ασβεστόλιθους λευκόγκριζους, λεπτοκρυσταλλικούς, πελαγικής φάσης με αργιλομαργαϊκές ενστρώσεις στα χαμηλότερα και ενστρώσεις πυριτολίθων στα ανώτερα μέλη τους. Τα στρώματα τους διευθετούνται στην περιοχή μελέτης με διευθύνσεις κλίσης κυμαινόμενες από Β-BBA έως Ν-NNA και κλίση 25-30°, καμπτόμενα από ανοικτές πτυχώσεις με άξονα ΑΒΑ-ΔΝΔ. Η παρουσία τους στην περιοχή της κατολισθησης είναι πολύ σημαντική για δύο λόγους: (α) διαμορφώνουν αποφασιστικά την επιφανειακή και υπόγεια υδροφορία του χώρου, τροφοδοτώντας τους υποκείμενους σχηματισμούς με νερό και (β) η παρουσία τους σχετίζεται με τις μεγάλες ποσότητες ασβεστολιθικών κορημάτων τα οποία έχουν τροφοδοτήσει τις παρειές των λόφων, τμήμα των οποίων συμμετέχει στις κατολισθημένες μάζες.

3.2 Τεκτονική

Η επίδραση της τεκτονικής στην εκδήλωση της κατολισθησης είναι ιδιαίτερα σημαντική δεδομένου ότι έχει προκαλέσει υποβάθμιση των μηχανικών χαρακτηριστικών της φλυσχικής βραχώμαζας, έχει φέρει σε επαφή σχηματισμούς διαφορετικών μηχανικών χαρακτηριστικών και έχει επιδράσει στις υδρογεωλογικές συνθήκες και τη μορφολογία. Η κυρίως τεκτονική παραμόρφωση που υπέστησαν οι σχηματισμοί προκλήθηκε από την αλπική ορογένεση και αποτυπώνεται με τη μορφή πτυχών, επιπτεύσεων και λεπιώσεων με κύρια διεύθυνση αξόνων Β-Ν έως ΒΔ-ΝΑ και Α-Δ έως ΒΑ-ΝΔ. Μολονότι στην ευρύτερη περιοχή αναπτύσσονται νεοτεκτονικές δομές (Φουντούλης, 2000), η πιθανότερη έκφρασή τους στην περιοχή μελέτης είναι η ανάπτυξη της κοιλάδας του ποταμού Χάραδρου. Οι κυριότερες δομές σχετίζονται με τον ασταθή χώρο είναι οι εξής: (α) η ανάπτυξη ενός τεκτονικού λεπίου αποτελούμενο από πολυπτυχωμένο ιλυολιθικό – πηλιτικό φλυσχοειδές, συνιστώντας το άμεσο υπόβαθρο της αστοχίας και επί του οποίου έχει αναπτυχθεί το μορφολογικό βύθισμα της περιοχής (Σχ. 4). Έχει διεύθυνση περίπου Α-Δ και οριοθετείται εκατέρωθεν από δύο αναστροφές ρήγματα. Το νότιο ρήγμα έχει δεσπόζουσα επιφανειακή έκφραση, τέμνει σχεδόν κάθετα την χάραξη της οδού, φέρνει σε επαφή τους δύο επιμέρους σχηματισμούς του «1^{ου} φλύσχη», τον «σταθερό» ψαμμιτικό φλύσχη και το «ασθενές» φλυσχοειδές και οριοθετεί την αστοχία. Το βόρειο έχει προκύψει από την επεξεργασία των υπεδαφικών – κυρίως – δεδομένων και φέρνει σε επαφή το «ασθενές» φλυσχοειδές με την ποιοτικά καλύτερη βραχώμαζα αποτελούμενη από εναλλαγές ψαμμίτη και ιλυόλιθου, (β) η χαμηλής κλίσης επιφάνεια εφίπτευσης μεταξύ των ανωκρητιδικών ασβεστολίθων της Πίνδου και του φλύσχη της Πίνδου, μέσω της οποίας έχουν οι πρώτοι τοποθετηθεί τεκτονικά επί των δευτέρων, δομώντας το ανώτερο τμήμα των λόφων και της κατολισθησης και επιδρώντας καθοριστικά στις υδρογεωλογικές συνθήκες, (γ) η συγκλινική δομή των ασβεστολίθων

ακριβώς ανάντη της κατολίσθησης με άξονα ABA-ΔΝΔ, η οποία φαίνεται ότι συμβάλλει στην περαιτέρω συγκέντρωση των υδάτων και κατ' επέκταση πηγών και (δ) οι πολλαπλές εσωτερικές λειψώσεις και πτυχώσεις στο ιλυολιθικό – πηλιτικό φλυσχοειδές, των οποίων η συνεισφορά στην υποβάθμιση της ανομοιόμορφα παραμορφωμένης βραχώμαζας έχει ήδη αναφερθεί στη λιθολογική περιγραφή του σχηματισμού.



Σχήμα 5. Κάτω όριο (πόδας) κατολίσθησης. Διακρίνεται η ανασηκωμένη κοίτη του ρέματος.

3.3 Μορφολογία

Η στενή περιοχή της κατολίσθησης αποτελεί σε όλη της έκταση της ένα μορφολογικό βύθισμα στο οποίο συσσωρεύτηκαν μεγάλοι πάχους χαλαρές αποθέσεις κορημάτων τα οποία αποτέλεσαν τα υλικά κατολίσθησης. Η μορφολογία του βυθίσματος τοποθετείται χρονικά πριν από την εκδήλωση των πρόσφατων κατολισθητικών φαινομένων και οφείλεται κυρίως: (α) στη διαφορική αποσάθρωση του ασθενούς φλυσχοειδούς υποβάθρου σε σχέση με τις εκατέρωθεν αυτού ψαμμιτικές και ιλυοψαμμιτικές εμφανίσεις, (β) στις κατά βάση αλπικές τεκτονικές δομές που προκάλεσαν έντονη παραμόρφωση στους φλυσχικούς σχηματισμούς του υποβάθρου και (γ) σε παλαιότερες αστοχίες και εδαφικές θραύσεις οι οποίες δημιούργησαν αρκετές επιφάνειες χαμηλού αναγλύφου εντός της περιοχής κατολίσθησης που δέχθηκαν αλληπάλληλα μεγάλες ποσότητες κορημάτων και επιπλέον λειτούργησαν σαν περιοχές συγκέντρωσης επιφανειακού νερού. Οι παλαιότερες εδαφικές θραύσεις στον φλύσχη εκτιμάται ότι αποτέλεσαν και την κύρια αιτία για την προσφορά μεγάλων ποσοτήτων ασβεστολιθικών κορημάτων στην κύρια μάζα της κατολίσθησης από τον υπερκείμενο ανωκρητιδικό ασβεστόλιθο, τον οποίο υπέσκαψαν σε διάφορες γεωλογικές περιόδους, προκαλώντας με αυτή τη διαδικασία εκτεταμένες βραχολισθήσεις. Ενδεικτικό της προϊστορίας κατολισθητικών φαινομένων είναι η ανάπτυξη δηλωτικών γεωμορφών, όπως αμφιθεατρική γεωμετρία και επιφάνειες ισοπέδωσης οι οποίες προϋπήρχαν της πρόσφατης εκδήλωσης της αστοχίας.

3.4 Υδρογεωλογικές συνθήκες

Η παρουσία και ο ρόλος του νερού στην εκδήλωση της κατολίσθησης είναι καθοριστικός. Το μεγαλύτερο μέρος των υδάτων που συγκεντρώνονται στους κατολισθαίνοντες εδαφικούς σχηματισμούς προέρχεται από την ανάβλυση πηγών οι οποίες αναπτύσσονται στην επαφή των υπερκείμενων ανωκρητιδικών ασβεστολίθων με το σχηματισμό του «φλυσχοειδούς». Δημιουργείται έτσι ένα μέτωπο πηγών σε όλο το τμήμα πάνω από την κύρια ουλή της κατολίσθησης. Η συγκέντρωση των πηγών υποβοηθάται και από μία συγκλινική δομή εντός των ασβεστολίθων ανάντη της κατολίσθησης. Η μεγάλη διαπερατότητα των τεχνητών επιχώσεων και των ασβεστολιθικών κορημάτων που καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της κατολισθαίνουσας μάζας βοηθά στην κατείσδυση του επιφανειακού και του υπόγειου νερού που προέρχεται από τους ασβεστόλιθους, προς το αδιαπέρατο φλυσχικό υπόβαθρο. Έτσι, αναπτύσσεται μία στήλη νερού πάνω από το αδιαπέρατο φλυσχοειδές και ταυτόχρονα υδροστατική πίεση η οποία λειτουργεί καταλυτικά στην εξέλιξη του φαινομένου. Αυτό επιβεβαιώνεται από τις μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου νερού σε εγκατεστημένα πιεζόμετρα εντός της κατολισθαίνουσας μάζας και διαπιστώθηκε ότι η στάθμη διατηρείται πάνω από το αδια-

πέρατο φλυσχικό υπόβαθρο με μόνο μικρές εποχικές διακυμάνσεις. Το βάθος αυτό συμπίπτει με τη ζώνη διάτμησης όπως διαπιστώθηκε από την μακροσκοπική παρατήρηση στα δείγματα των γεωτρήσεων και από τα δεδομένα των κλισιομετρήσεων.

3.5 Ανθρωπογενείς παρεμβάσεις

Η κατασκευή της Ν.Ε.Ο. στη θέση της αστοχίας υλοποιήθηκε επί ασταθών υλικών με συνδυασμό ανάντη ορύγματος και κατάντη επιχώματος. Όπως φάνηκε από τα δείγματα των γεωτρήσεων, χρησιμοποιήθηκαν απευθείας τα υλικά που προέκυψαν από τα ορύγματα του δρόμου, τα οποία περιείχαν μεγάλο ποσοστό αργιλοίλυδων υλικών, χωρίς προηγούμενη εξυγίανση του υποβάθρου τους, έτσι ώστε να εδραστούν σε σταθερό υπόβαθρο. Το μεγάλο πάχος αυτών (φτάνει τα 25m) επιβάρυναν ιδιαίτερα το ανώτερο και ενδιάμεσο τμήμα του χώρου της κατολίθησης. Επιπροσθέτως, δημιουργήθηκε όρυγμα με ύψος 15m και κλίση περί τις 45°. Η διάνοιξή του ήταν καταλυτική στην εκδήλωση της αστοχίας, καθώς οι πρώτες ενδείξεις μετακινήσεων που σημειώθηκαν κατά την πρώτη φάση των ερευνών (2001) καταγράφηκαν σε αυτό το πρηνές και στο οδόστρωμα. Η αρνητική συμβολή των έργων στην ευστάθεια της περιοχής διαφάνηκε σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα από την ολοκλήρωσή τους.

3.6 Κλιματολογικές συνθήκες

Η τελική εκδήλωση της κατολίθησης συνδυάστηκε με τις σημαντικές βροχοπτώσεις που σημειώθηκαν κατά την χειμερινή περίοδο του έτους 2003. Αποτέλεσαν έτσι τον μηχανισμό πυροδότησης μίας αστοχίας η οποία ήταν «ώριμη» να συμβεί, τόσο λόγω των γεωλογικών συνθηκών της θέσης, όσο και λόγω της επιβάρυνσης που υπέστη από τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι κατά την ίδια περίοδο εκδηλώθηκαν σχεδόν ταυτόχρονα κατολισθητικά φαινόμενα και σε άλλα σημεία της Ελλάδας.

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Λιθολογικοί, τεκτονικοί, υδρογεωλογικοί και μορφολογικοί παράγοντες αλληλεπίδρασαν, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ασταθούς θέσης όπου με βάση την αξιολόγηση γεωλογικών στοιχείων τα οποία αποκτήθηκαν από λεπτομερείς επιφανειακές και υπεδάφικες έρευνες, έχει προϊστορία αστοχιών. Ο συνδυασμός σημαντικού μεγέθους ορυγμάτων και επιχώματων επί των ασταθών υλικών κατά την κατασκευή των έργων της Ν.Ε.Ο. Τρίπολης – Καλαμάτας, χωρίς τη σωστή εκτίμηση των γεωλογικών επικινδυνοτήτων, οδήγησαν στη διατάραξη της οριακής ισορροπίας της θέσης, η οποία φάνηκε αμέσως μετά την ολοκλήρωσή τους με θραύσεις του οδοστρώματος (2000). Η γενικευμένη εκδήλωση της αστοχίας έλαβε χώρα τον Φεβρουάριο του 2003 κατά τη διάρκεια εντόνων βροχοπτώσεων, που αποσταθεροποίησαν και άλλες «ώριμες» θέσεις αστοχιών στον ελληνικό χώρο, προκαλώντας σημαντικά προβλήματα στο εθνικό και επαρχιακό δίκτυο. Η συγκεκριμένη αστοχία είναι από τις μεγαλύτερες που έχουν σημειωθεί στο ελληνικό οδικό δίκτυο (1300m μήκος, 300m πλάτος, όγκος ολισθημένων υλικών περί τα 9.000.000m³) και αποτελεί μια σύνθετη μεταθετική ολίσθηση όπου στο μεγαλύτερο τμήμα της μετακινήθηκαν εδαφικά υλικά αποτελούμενα από κορήματα, υλικά μανδύα αποσάθρωσης και τεχνητές επιχώσεις, τα οποία ολίσθησαν στην επαφή τους με το ασθενές φλυσχικό υπόβαθρο. Με την προς τα κατάντη μετακίνησή τους ώθησαν μια μικρής έκτασης βραχώδη έξαρση από ψαμμίτη, η οποία με τη σειρά της ολίσθησε επί ορίζοντα έντονα διαταραγμένου ιλυόλιθου, με αποτέλεσμα την επέκταση της αστοχίας έως το παρακείμενο ποτάμι.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Cruden D.M. & Varnes D.J. 1996. Landslide types and processes. In Special Report 247: Landslides. Investigation and Mitigation., TRB (A.K. Turner & R. Schuster, Eds.), National Research Council, National Academic Press, Washington, D.C., pp. 36-75.
- Ζινδρος Γ. Α. 1996. Γεωτεκτονική εξέλιξη της κεντρικής και Νοτιοανατολικής Πελοποννήσου και η σχέση της με τη μεταλλογένεση και με το σχηματισμό συγκεντρώσεων ενεργειακών πρώτων υλών, Αθήνα, σελ. 29-32, 63-73.
- Ι.Γ.Μ.Ε. 1997. Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδας, Φύλο Μεγαλόπολη, Κλίμακα 1:50000.

- Κατσικάτσος Γ.Χ. 1980. Γεωλογική μελέτη περιοχής Βασιλικού-Ιθώμης Μεσσηνίας, Αθήνα, σελ.70-90
- Κατσικάτσος Γ. Χ. 1992. Γεωλογία της Ελλάδας, Αθήνα, σελ.195-208.
- Μαρίνος Π. & Καββαδάς Μ. 2000. Έκθεση αυτοψίας επί των φαινομένων αστάθειας στις περιοχές των Χ.Θ. 16+200 και 18+500 της Ε.Ο. Τρίπολης – Καλαμάτας (Τμήμα Παραδείσια - Τσακώνα) (επίσημη έκθεση εμπειρογνώμονα).
- Σταυρακάκης Γ.Ν. 2003. Υπολογισμός σεισμικής επικινδυνότητας στη θέση της κατολίθωσης στην περιοχή Τσακώνας της Ν.Ε.Ο. Τρίπολης – Καλαμάτας, Αθήνα (επίσημη έκθεση εμπειρογνώμονα).
- Φουντούλης Ι.Γ. 2000. Νεοτεκτονική εξέλιξη της κεντροδυτικής Πελοποννήσου, Αθήνα, σελ.175-275.
- Φουντούλης Ι.Γ. 2003. Για το χαρακτηρισμό της τεκτονικής ασυνέχειας στη νότια πλευρά της κατολίθωσης στην εθνική οδό Τρίπολης-Καλαμάτας στην περιοχή Τσακώνα, Αθήνα (επίσημη έκθεση εμπειρογνώμονα).

ABSTRACT

LANDSLIDE AT TSAKONA AREA IN ARKADIA PREFECTURE. GEOLOGICAL CONDITIONS AND ACTIVATION MECHANISM

Sotiropoulos L., Liberis E., Sigalas A., Ntouroupi A., Provia K. & Dounias G.
Edafos Engineering Consultants LTD, Ypereidou 9, 105 58, Athens, edafos@hol.gr

The geological conditions of the landslide's area, at Tsakona, in Arkadia Prefecture, are examined, as well as the factors that influenced the landslide's evolution. The landslide occurred at a distance of 15 km south of Megalopoli, on the New Highway, connecting Tripoli to Kalamata and constitutes one of the larger road landslides that have ever taken place. It occupies an area of a length of 1200m and a width of 300m. Geotectonically the landslide's region is placed in a block of the Pindos zone, thrust on the Gabrovo-Tripoli zone. The geological formations that comprise the closer geological frame, consist of the formation of "First Flysch", Upper Jurassic - Lower Cretaceous and of the Upper Cretaceous limestones. The geological factors that drastically influenced the landslide's activation are lithological, tectonic, hydrogeological and morphological. The mainly siltstone lithology of the flysch, the intense tectonic deformation that occurred during the alpidic orogenic phase, the morphological depression that is formed by the landslide's region and the large quantities of groundwater supplied by the uphill limestone, are the main geological reasons that activated the landslide. It should be emphasised that the activation and evolution of the landslide were greatly influenced by human activity during the road construction.