

**ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ, Ι., ΛΑΔΑΣ, Ι., ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ, Ε. & ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Η. (2004).** Η σημασία της τεκτονικής και της υδρογεωλογίας για την κατολίθωση της Τσακώνας Αρκαδίας. *Πρακτικά 10<sup>ου</sup> Συνέδριου της Ελλ. Γεωλ. Ετ., 15-17 Απριλίου 2004, Θεσ/νικη, XXXVI/4*, σ.1872-1881.

## Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ ΤΗΣ ΤΣΑΚΩΝΑΣ ΑΡΚΑΔΙΑΣ

Φουντούλης Ι.<sup>1</sup>, Λαδάς Ι.<sup>1</sup>, Σπυριδωνος Ε.<sup>1</sup>, και Μαριολάκος Η.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Τομέας Δυναμικής-Τεκτονικής-Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Παν/μιο Αθηνών.  
157 84 Αθήνα, [fountoulis@geol.uoa.gr](mailto:fountoulis@geol.uoa.gr), [iladas@cc.uoa.gr](mailto:iladas@cc.uoa.gr), [vangelis@zedat.fu-berlin.de](mailto:vangelis@zedat.fu-berlin.de),  
[mariolakos@geol.uoa.gr](mailto:mariolakos@geol.uoa.gr).

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία μελετά δύο από τους βασικούς παράγοντες που διαμόρφωσαν τις συνθήκες, οι οποίες προκάλεσαν τη μεγάλη κατολίσθηση στην περιοχή Τσακώνας Αρκαδίας το Φεβρουάριο του 2003, που συμπαρέσυρε τη νέα Εθνική Οδό Μεγαλόπολης – Καλαμάτας. Πρόκειται για τη μεγαλύτερη κατολίσθηση που έχει επηρεάσει το Εθνικό οδικό δίκτυο, πολύ μεγαλύτερη από εκείνη της Μαλακάσας το 1995. Η κατολίσθηση οριοθετείται βόρεια και νότια περίπου ευθύγραμμα σε διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ. Το νότιο όριο συμπίπτει με μία μορφολογική ασυνέχεια νότια της οποίας απαντά μία ανοικτή πτυχή αντικλινικής μορφής. Βόρεια το όριο βρίσκεται μερικά μέτρα πιο νότια από ένα μικρό ρέμα που παρουσιάζει χαρακτηριστική κατά βάθος διάβρωση και έχει μία ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση.

Στον ευρύτερο χώρο της κατολίσθησης απαντούν τρεις (3) λιθο-στρωματογραφικοί σχηματισμοί της ενότητας Πίνδου. Προκειμένου να κατανοηθούν οι παράγοντες που διαμόρφωσαν διαχρονικά τις συνθήκες για την ενεργοποίηση της κατολίσθησης έγιναν: (i) λεπτομερής γεωλογική – τεκτονική – νεοτεκτονική μελέτη της στενής και της ευρύτερης περιοχής της κατολίσθησης. Επιπλέον, για να προσδιοριστεί η επίδραση της αλπικής και της νεοτεκτονικής παραμόρφωσης στη διαμόρφωση των τεχνικογεωλογικών και υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών της στενής και ευρύτερης περιοχής της κατολίσθησης κατασκευάστηκε ο υπεδαιφικός τεκτονικός χάρτης της επιφάνειας αποκόλλησης των ανωκρητιδικών ασβεστολίθων με την υποκείμενη κερατολιθική σειρά.

Με βάση τα στοιχεία που προέκυψαν διαπιστώνεται ότι η κατολίσθηση βρίσκεται σε ένα χώρο όπου η τεκτονική παραμόρφωση είναι πολύ έντονη και είναι αυτή που διαμόρφωσε τις τεχνικογεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες οι οποίες συνέβαλαν καθοριστικά στην εκ νέου ενεργοποίηση της προϋπάρχουσας κατολίσθησης στη θέση αυτή. Κατολισθήσεις προϋπήρχαν της χάραξης και της κατασκευής του δρόμου, τις οποίες φαίνεται οι μελετητές και οι κατασκευαστές δεν έλαβαν υπόψη. Ο σημαντικός ρόλος που έπαιξαν οι υδρογεωλογικές συνθήκες για την εκδήλωση της κατολίσθησης φαίνεται και από το γεγονός ότι στο απέναντι πρανάς, από το οποίο διέρχεται η σιδηροδρομική γραμμή, ενώ δομείται από τους ίδιους σχηματισμούς με την περιοχή της κατολίσθησης που συμπαρέσυρε την Εθνική Οδό, δεν έχει εκδηλωθεί τα τελευταία 100 χρόνια καμία ανάλογου μεγέθους κατολίσθηση με αποτέλεσμα να μην έχει διακοπεί ποτέ η λειτουργία της σιδηροδρομικής γραμμής.

### 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

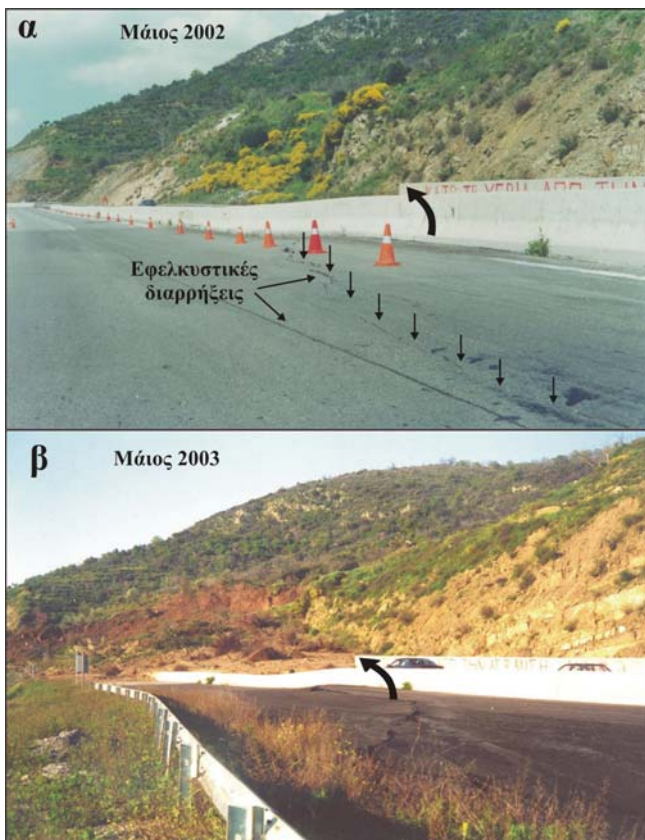
Η μεγάλη κατολίσθηση της Τσακώνας εκδηλώθηκε στη Νέα Εθνική Οδό Μεγαλόπολης – Καλαμάτας, στις αρχές Φεβρουαρίου του 2003 και είχε σαν αποτέλεσμα την πλήρη καταστροφή του οδοστρώματος της Εθνικής οδού σε μήκος μεγαλύτερο των 200m, (Σχήμα 1). Η περιοχή της κατολίσθησης βρίσκεται στα όρια των Νομών Μεσσηνίας και Αρκαδίας, στα δυτικά πρανάς ενός επιμήκους αντερείσματος ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης, (Σχήμα 3). Το ύψωμα αυτό (Δροσοβούνι) οριοθετείται ΒΔ και ΝΑ από δύο χείμαρρους που παρουσιάζουν έντονη κατά βάθος διάβρωση.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η χάραξη της Ε.Ο. έγινε σε μια περιοχή όπου προϋπήρχαν κατολισθήσεις οι οποίες μάλιστα σε σημαντικό βαθμό έχουν διαμορφώσει και την επιφανειακή μορφολογία της περιοχής. Κατολίσθηση δε προϋπήρχε και στη θέση εκδήλωσης της νέας κατολίσθησης του Φεβρουαρίου του 2003 τόσο ανάντη όσο και κατόντη της χάραξης της Ε.Ο.



Σχήμα 1. Γενική άποψη από βορά προς νότο της κατολίσθησης στην Τσακώνα μετά την ολοκλήρωση του φαινομένου το Μάιο του 2003.

Στη στενή θέση όπου εκδηλώθηκε η νέα κατολίσθηση είχαν ήδη αρχίσει να παρατηρούνται αστοχίες αμέσως μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του αυτοκινητόδρομου το καλοκαίρι του 2000. Χαρακτηριστικά το Μάιο του 2002 δημιουργήθηκαν στο οδόστρωμα τοξοειδείς εφελκυστικές διαρρήξεις σε μήκος 20-30μ περίπου, (Σχήμα 2α). Η συγκεκριμένη θέση όπου εκδηλώθηκαν οι εφελκυστικές διαρρήξεις αποτέλεσε ένα χρόνο αργότερα το νότιο όριο της κατολίσθησης όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στη φωτογραφία του σχήματος 2β.



Σχήμα 2.  
α. Οι εφελκυστικές διαρρήξεις που δημιουργήθηκαν στο οδόστρωμα το Μάιο του 2002.

β. Άποψη του νότιου ορίου της κατολίσθησης το Μάιο του 2003. Το μαύρο βέλος δείχνει το ίδιο σημείο (όριο τοιχίου αντιστήριξης) στις δύο φωτογραφίες.

Στα πλαίσια της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για τη διερεύνηση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στη στενή και ευρύτερη περιοχή της κατολίσθησης και τον προσδιορισμό των αιτίων για την εκδήλωσή της πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες εργασίες:

- Γεωλογική χαρτογράφηση της στενής και ευρύτερης περιοχής της κατολίσθησης
- Υπολογισμός των μέσων μορφολογικών κλίσεων στη στενή περιοχή της κατολίσθησης
- Μελέτη της τεκτονικής δομής της ευρύτερης περιοχής της Τσακώνας
- Μικροτεκτονική ανάλυση των δομών του τεκτονικού ιστού των πετρωμάτων στα πρηνή γύρω από τη θέση της κατολίσθησης
- Κατασκευή του υπεδαφικού χάρτη της τεκτονικής επαφής (αποκόλληση) των ασβεστόλιθων που παρατηρούνται ανάντη της κατολίσθησης με τους υποκείμενους αδιαπέρατους σχηματισμούς
- Ψηφιοποίηση των τοπογραφικών, γεωλογικών, υδρολογικών και τεκτονικών στοιχείων της ευρύτερης περιοχής μελέτης, από τον τοπογραφικό χάρτη κλίμακας 1:50.000 της Γ.Υ.Σ. (Φύλλο Μεγαλόπολη) και τον αντίστοιχο Γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. (με τροποποιήσεις).
- Κατασκευή του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου της ευρύτερης περιοχής μελέτης
- Τρισδιάστατη υψομετρική απεικόνιση της γεωλογικής δομής της ευρύτερης περιοχής μελέτης και του υπεδαφικού χάρτη

Ο συνδυασμός όλων των παραπάνω μας έδωσε τη δυνατότητα να κατανοήσουμε τα αίτια εκδήλωσης αυτής της κατολίσθησης τα οποία αναφέρονται στα συμπεράσματα ύστερα από την παράθεση των επιμέρους παρατηρήσεων μας για την μορφολογία, γεωλογία και τεκτονική δομή της στενής και ευρύτερη περιοχή μελέτης.

## 2 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Η υπό μελέτη κατολίσθηση οριοθετείται βόρεια και νότια περίπου ευθύγραμμα σε διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ. Το νότιο όριο συμπίπτει με μία μορφολογική ασυνέχεια νότια της οποίας έχει δημιουργηθεί μία ανοικτή πτυχή αντικλινικής μορφής. Βόρεια το όριο βρίσκεται μερικά μέτρα πιο νότια από ένα μικρό ρέμα το οποίο παρουσιάζει χαρακτηριστική κατά βάθος διάβρωση και έχει ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση. Δηλαδή και τα δύο όρια της κατολίσθησης παρουσιάζουν την ίδια γεωμετρία, η οποία όπως αποδείχτηκε από τη μικροτεκτονική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στην στενή περιοχή της κατολίσθησης, ταυτίζεται με τη γεωμετρία των τεκτονικών ασυνεχειών μικρών διαστάσεων.

Ανάντη της κατολίσθησης απαντούν επιφάνειες πρακτικά οριζόντιες ή με πολύ μικρές κλίσεις. Ακριβώς πάνω από την κεφαλή της κατολίσθησης οι κλίσεις είναι μεγαλύτερες του 50 ή και του 60%, κάτι που φαίνεται να συμβαίνει και στο νότιο όριο της κατολίσθησης. Η μορφολογική αυτή ασυνέχεια στο νότιο όριο της κατολίσθησης δεν συνεχίζει ανάντη της κεφαλής μέσα στους υπερκείμενους ασβεστόλιθους ενώ κατάντη του δρόμου σβήνει μέσα στα υλικά των διαδοχικών παλαιότερων κατολισθήσεων. Κατάντη του δρόμου οι μορφολογικές κλίσεις κυμαίνονται μεταξύ 20-40% και σε ορισμένες θέσεις γίνονται μικρότερες του 10%. Παρατηρούμε δηλαδή ότι εκεί όπου παλαιότερα είχαν δημιουργηθεί κατολισθήσεις, οι μορφολογικές κλίσεις είναι σχετικά μικρότερες σε σχέση με τις περιοχές όπου απαντά το υπόβαθρο.

Στην περιοχή γύρω από την κατολίσθηση τα πρηνή των χειμάρρων ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνσης που απορρέουν από το Δροσοβούνι παρουσιάζουν μεγάλες μορφολογικές κλίσεις. Η δημιουργία αυτών των μορφολογικών κλίσεων οφείλεται στην έντονη κατά βάθος διάβρωση των πετρωμάτων από την ροή των επιφανειακών νερών. Στην περιοχή κατάντη της κατολίσθησης η κοίτη του χειμάρρου Χάραδρου εξ αιτίας των συνεχών κατολισθήσεων γίνεται πολύ στενή, σήμερα δε εξαιτίας της τελευταίας μεγάλης κατολίσθησης, η κοίτη του Χάραδρου έχει μπλοκάρει σε ένα σημείο με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μικρή λίμνη.

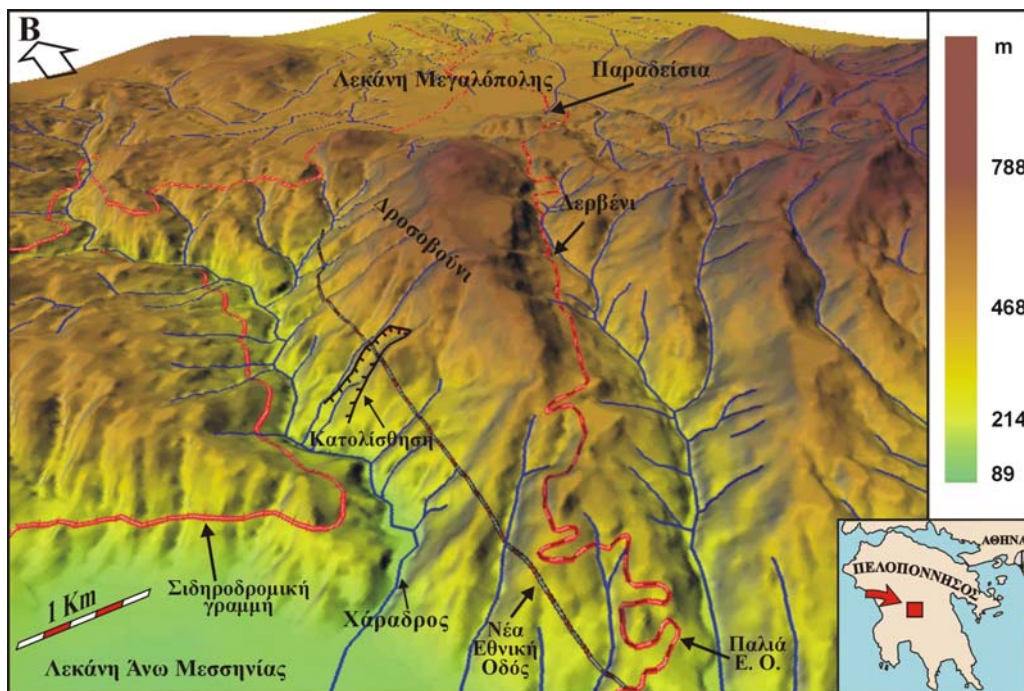
Στα υψηλότερα σημεία της μορφολογίας που δομούνται από ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους δεν σχηματίζονται κοίτες ρεμάτων καθώς οι ασβεστόλιθοι είναι έντονα καρστικοποιημένοι, σε αντίθεση με ότι συμβαίνει με τους υποκείμενους σχηματισμούς.



### 3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Στην ευρύτερη περιοχή της κατολίσθησης απαντούν 3 λιθο-στρωματογραφικοί σχηματισμοί που ανήκουν στην ενότητα της Πίνδου. Οι σχηματισμοί αυτοί από το νεότερο στον παλαιότερο είναι:

- i. Ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι: Πρόκειται για πολύχρωμους πλακώδεις έως στρωματώδεις ασβεστόλιθους με ενστρώσεις πυριτιολίθων.
- ii. Ασβεστόλιθοι και ψαμμίτες (πρώτος φλύσσης): Στο κατώτερο τμήμα αποτελούνται από εναλλαγές λατυποπαγών ασβεστολίθων, μαργών και ψαμμιτών. Στο ανώτερο τμήμα επικρατούν ψαμμίτες με ενδιαστρώσεις μαργών και ασβεστόλιθων (Κενομάνιο – Τουρώνιο).
- iii. Κερατολιθική σειρά: Αποτελείται κυρίως από ραδιολαρίτες που εναλλάσσονται με ψαμμίτες και ασβεστόλιθους. Στα ανώτερα τμήματα αποτελείται από μάργες & μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Στην περιοχή ενδιαφέροντος επικρατούν οι ψαμμίτες (Ιουρασικό–Κατ. Κρητιδικό).



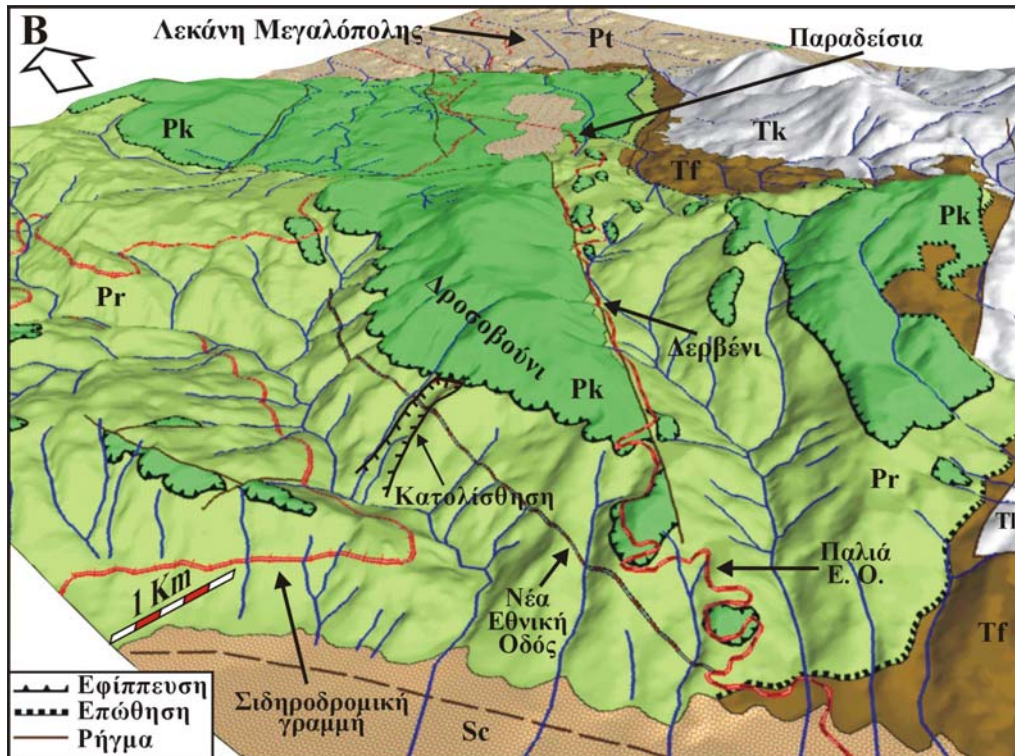
Σχήμα 3. Προοπτική εικόνα του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου της ευρύτερης περιοχής της κατολίσθησης. Αζιμουθίο παρατήρησης B230° με κλίση 35° ως προς τον οριζόντα. Η κλίμακα υψών έχει πολλαπλασιαστεί επί 0,5. Ο φωτισμός είναι από τα ανατολικά.

Στη στενή περιοχή της κατολίσθησης απαντούν μόνο οι δύο παλαιότεροι σχηματισμοί, ενώ ο νεότερος, δηλαδή οι Ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι, υπέρκειται, (Σχήμα 4).

Από τη λεπτομερή χαρτογράφηση και μελέτη της περιοχής προκύπτει ότι σε όλες τις κλίμακες παρατήρησης υπάρχει μία μεγάλη ποικιλία λιθολογιών μέσα στους ίδιους σχηματισμούς, οι οποίες επαναλαμβάνονται, δηλαδή δεν αποτελούν διαδοχικές στρώσεις με στρωματογραφική λογική. Η επανάληψη των στρωμάτων και η εμφάνισή τους σε θέσεις με διαφορετικά υψόμετρα και διαφορετικά πλάτη εμφάνισης είναι αποτέλεσμα της παραμόρφωσής τους τόσο πλαστικά (πτυχές), όσο και θραυσigenώς (λεπιώσεις, ρήγματα διακλάσεις) και βεβαίως και του ανάγλυφου. Επιπλέον, η γεωμετρία κυρίως των αλπικής ηλικίας λιθολογικών επαφών είναι μάλλον σταθερή και παρουσιάζει μία μέση διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ τόσο βόρεια της κατολίσθησης όσο και νότια αυτής.

Η σχέση των ανωκρητιδικών ασβεστολίθων με την υποκείμενη κερατολιθική σειρά δεν είναι στρωματογραφική αλλά τεκτονική, δηλαδή οι ασβεστόλιθοι έχουν αποκολληθεί (Σχ. 4 & 8). Όπως προαναφέρθηκε στο ανώτερο τμήμα της κερατολιθικής σειράς επικρατούν οι ψαμμίτες κάτι που αποτυπώνεται πολύ καλά στην περιοχή νότια της κατολίσθησης όπου το πλευρικό όριο της κατολίσθησης συνίσταται από μια επιφάνεια διάκλασης.

Η κεφαλή της κατολίσθησης βρίσκεται κοντά στην τεκτονική επαφή των Ανωκρητιδικών ασβεστολίθων και η επιφάνεια ολίσθησης έχει διαμορφωθεί μέσα στη μάζα των υποκείμενων κλαστικών και πυριτικών ιζημάτων. Η αρχική δε πεταλοειδής κατολίσθηση εξελίχθηκε στη συνέχεια σε ροή των διαταραγμένων υλικών προς τα κατάντη μέσα στην κοιλάδα του χειμάρρου Χάραδρου.



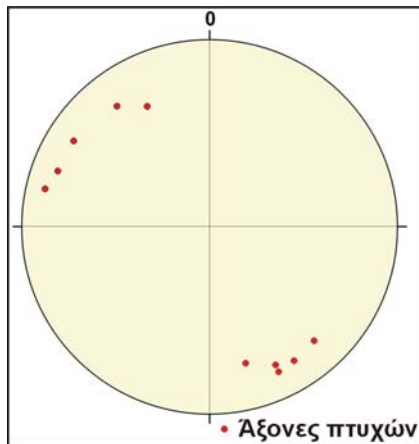
Σχήμα 4. Προοπτική εικόνα του γεωλογικού χάρτη της ευρύτερης περιοχής της κατολίσθησης. Αζιμούθιο παρατήρησης B230° με κλίση 35° ως προς τον ορίζοντα. Η κλίμακα υψών έχει πολλαπλασιαστεί x 0,5. Η κατασκευή του χάρτη έχει βασιστεί στα στοιχεία του γεωλογικού χάρτη Φύλλο ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΙΣ του ΙΓΜΕ στο οποίο έχουν γίνει τροποποιήσεις. Sc: πλευρικά κορήματα, Pt: λιμναίες αποθέσεις λεκάνης Μεγαλόπολης, Tf: φλύσχης ενότητας Τρίπολης, Tk: ανθρακική ακολουθία ενότητας Τρίπολης, Pk: Ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι ενότητας Πίνδου, Pr: Κερατολιθική σειρά και ακολουθία πρώτου φλύσχης ενότητας Πίνδου.

#### 4 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ – ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

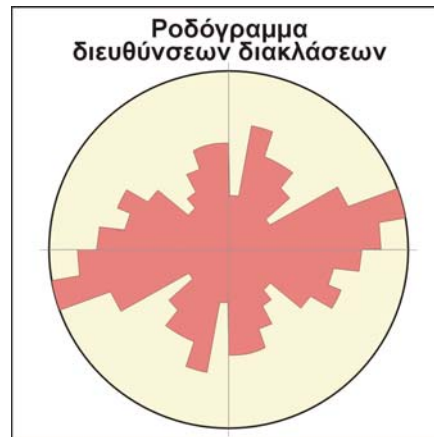
Η τεκτονική παραμόρφωση που έχει υποστεί η ευρύτερη περιοχή της κατολίσθησης είναι πολύ έντονη και εκφράζεται τόσο με την πλαστική (πτυχές) όσο και με την θραυσιγενή της μορφή (λεπνώσεις, ρήγματα, διακλάσεις). Η παραμόρφωση αυτή έχει καθορίσει ουσιαστικά τα τεχνικογεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Μπορούν να διακριθούν δύο κύριες φάσεις παραμόρφωσης: (i) η αλπική και (ii) η μεταλπική ή νεοτεκτονική.

##### 4.1 Αλπική φάση παραμόρφωσης

Κατά τη φάση αυτή που είναι και η παλαιότερη επικρατούν οι εφαιπτομενικού χαρακτήρα κινήσεις με γενική φορά κίνησης από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Αποτέλεσμα αυτών των κινήσεων είναι η παραμόρφωση των πετρωμάτων που ανάλογα με την μηχανική συμπεριφορά τους και τις συνθήκες παραμόρφωσης πτυχώνονται ή θραύονται. Έτσι, οι πιο εύπλαστες λιθολογίες (ιλυόλιθοι, μάργες, μαργαικοί ασβεστόλιθοι, πλακώδεις ασβεστόλιθοι, κλπ πτυχώνονται και δημιουργούν πτυχές κλειστές, μέχρι ισοκλινείς σε ορισμένες περιπτώσεις, με άξονες διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ. Από τη μικροτεκτονική ανάλυση των αξόνων των πτυχών στους σχηματισμούς γύρω από τη θέση της κατολίσθησης βρέθηκε ότι η μέση διεύθυνση των αξόνων είναι ΒΔ-ΝΑ και άλλοι βυθίζονται προς τα ΒΔ ενώ άλλοι βυθίζονται προς τα ΝΑ (Σχήμα 5).



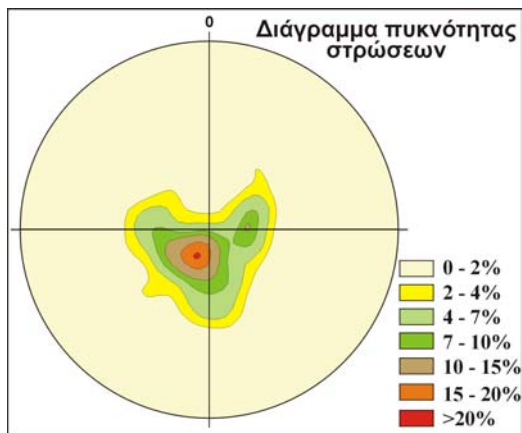
Σχήμα 5. Προβολές αξόνων βss πτυχών στην περιοχή της κατολίσθησης.



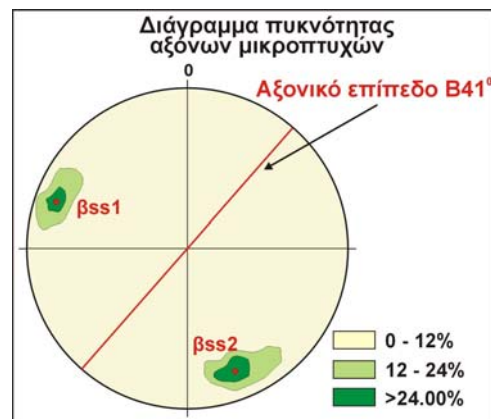
Σχήμα 6. Ροδόγραμμα διευθύνσεων τεκτονικών ασυνεχειών στην περιοχή της κατολίσθησης.

Οι πιο δύσκαμπτες λιθολογίες θραύονται, με αποτέλεσμα τη δημιουργία τεκτονικών ασυνεχειών (διακλάσεων και ρηγμάτων) με κύρια διεύθυνση εγκάρσια σε αυτή των πτυχών δηλαδή ΒΑ-ΝΔ (Σχήμα 6). Τα κύρια χαρακτηριστικά των τεκτονικών αυτών ασυνεχειών είναι οι μικρές διαστάσεις, η μεγάλη κλίση και δεν κόβουν όλες τις λιθολογίες.

Η θραυσίγενής δηλαδή παραμόρφωση αυτή δεν είναι διαμπερής σε όλο το γεωλογικό σώμα και δεν έχει επηρεάσει στον ίδιο βαθμό όλες τις λιθολογίες. Έτσι, η μορφολογική ασυνέχεια με την οποία συμπίπτει το νότιο όριο της κατολίσθησης είναι μία τεκτονική ασυνέχεια, η οποία σταματά κάτω από την τεκτονική επαφή των ασβεστολίθων με τις υποκείμενες λιθολογίες.



Σχήμα 7. Στατιστική επεξεργασία των πολικών προβολών των μετρήσεων στρώσεων στην περιοχή της κατολίσθησης.



Σχήμα 8. Στατιστική επεξεργασία αξόνων βss πτυχών. Έχει σημειωθεί το αξονικό επίπεδο της ανοικτής πτυχής διεύθυνσης Β41°.

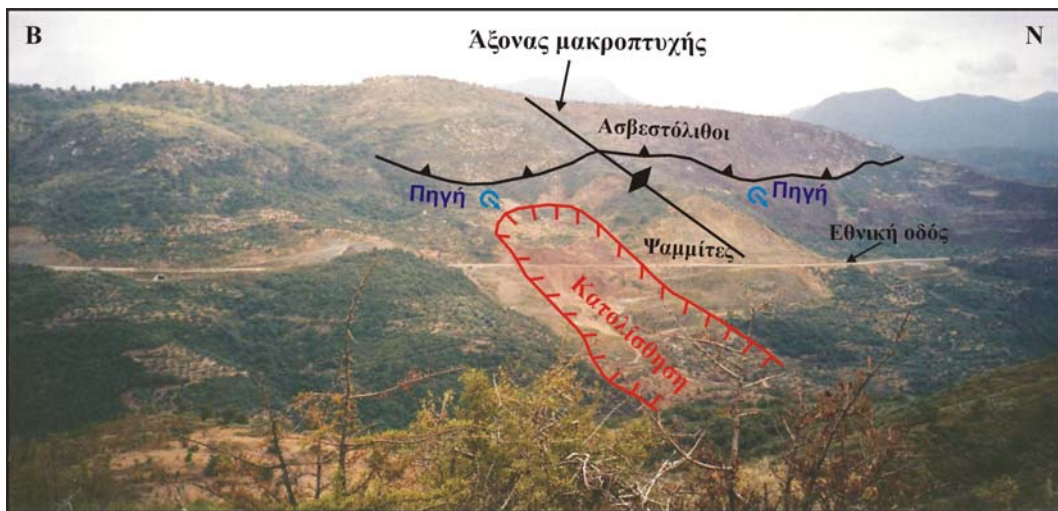
Οι επαπτομενικές κινήσεις γίνονται κυρίως πάνω σε επιφάνειες που παρουσιάζουν διαφορετική μηχανική συμπεριφορά σε δεδομένες συνθήκες, π.χ. επιφάνειες επαφής ιλυολίθων ή μαργών με ψαμίτες ή πλακώδεις ασβεστόλιθους. Η διεύθυνση του μετώπου των επιπτώσεων (λεπών) είναι ΒΔ-ΝΑ. Οι επιφάνειες αυτές πάνω στις οποίες γίνονται οι ολισθήσεις έχουν περίπου παρόμοια γεωμετρικά χαρακτηριστικά με τα στρώματα δηλαδή κλίνουν γενικά προς τα ΒΑ (Σχήμα 7).

Από το σχήμα 7 είναι σαφές ότι οι κλίσεις των στρωμάτων που κυριαρχούν έχουν φορά κλίσης προς τα ΒΑ όπως φαίνεται από τη θέση του κέντρου βάρους της περιοχής που συγκεντρώνονται οι περισσότερες μετρήσεις, ενώ υπάρχει και μία άλλη μικρότερη συγκέντρωση με φορά κλίσης στρω-



μάτων προς τα ΝΔ. Οι φορές κλίσεις προς τα ΒΑ και προς τα ΝΔ είναι σε συμφωνία με τη ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση των αξόνων των πτυχών.

Σε ένα επόμενο στάδιο οι δομές που περιγράφηκαν προηγουμένως παραμορφώνονται ξανά δημιουργώντας ανοικτές πτυχές με άξονες περίπου ΒΑ-ΝΔ. Στην περιοχή της κατολίσθησης οι άξονες ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης πτυχώθηκαν ξανά με τη μορφή μιας πολύ ανοικτής πτυχής της οποίας ο άξονας έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, (Σχήμα 8). Στα κορυφαία των κάμψεων αυτών δημιουργούνται διακλάσεις με κύρια διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, ίδια με αυτή του άξονα. Οι κάμψεις αυτές είναι εμφανείς και στην τεκτονική επαφή των ανωκρητιδικών ασβεστόλιθων με τις υποκείμενες λιθολογίες της κερατολιθικής σειράς. Μάλιστα στα κατώτερα σημεία των συγκλινικού τύπου δομών παρατηρούνται εκφορτίσεις του υπόγειου υδροφορέα που αναπτύσσεται στους ασβεστόλιθους, (Σχήμα 9).



Σχήμα 9. Πανοραμική άποψη της κατολίσθησης. Στα χαμηλότερα σημεία της τεκτονικής επαφής των Ανωκρητιδικών ασβεστολιθών με τις υποκείμενες λιθολογίες παρατηρούνται εκφορτίσεις του υπόγειου υδροφορέα που αναπτύσσεται στους ασβεστόλιθους.

#### 4.2 Μεταλλική ή Νεοτεκτονική φάση παραμόρφωσης

Κατά την περίοδο αυτή σταματούν οι εφαιπτομενικές κινήσεις και κυριαρχούν οι κατακόρυφες με αποτέλεσμα της δημιουργία τεκτονικών κεράτων και βυθισμάτων. Είναι δηλαδή η περίοδος που δημιουργούνται οι μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες πολλές από τις οποίες είναι σήμερα ενεργές.

Η νεοτεκτονική μακροδομή της ΝΔ Πελοποννήσου χαρακτηρίζεται από την παρουσία διαδοχικών τεκτονικών βυθισμάτων και κεράτων που οριοθετούνται από ρηξιγενείς ζώνες. Από τη μελέτη σε κάθε κλίμακα των νεοτεκτονικών δομών της ΝΔ Πελοποννήσου, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η παραμόρφωση που έχει υποστεί η περιοχή αυτή, κατά τη νεοτεκτονική περίοδο, δεν είναι απλά ρηξιγενούς αλλά πλαστικοθραυσισιγενούς τύπου, με την ύπαρξη μακροπτυχών μεγάλης ακτίνας καμπυλότητας (Mariolakos & Fountoulis 1991, Φουντούλης 1994). Επιπλέον η κινηματική εξέλιξη κάθε μακροδομής είναι αρκετά σύνθετη και παρατηρούνται περιστροφές γύρω από οριζόντιους άξονες με διαφοροποίηση της ταχύτητας ανύψωσης ή βύθισης στα άκρα των επιμέρους ρηξιτεμαχών, (Mariolakos & Fountoulis 1994).

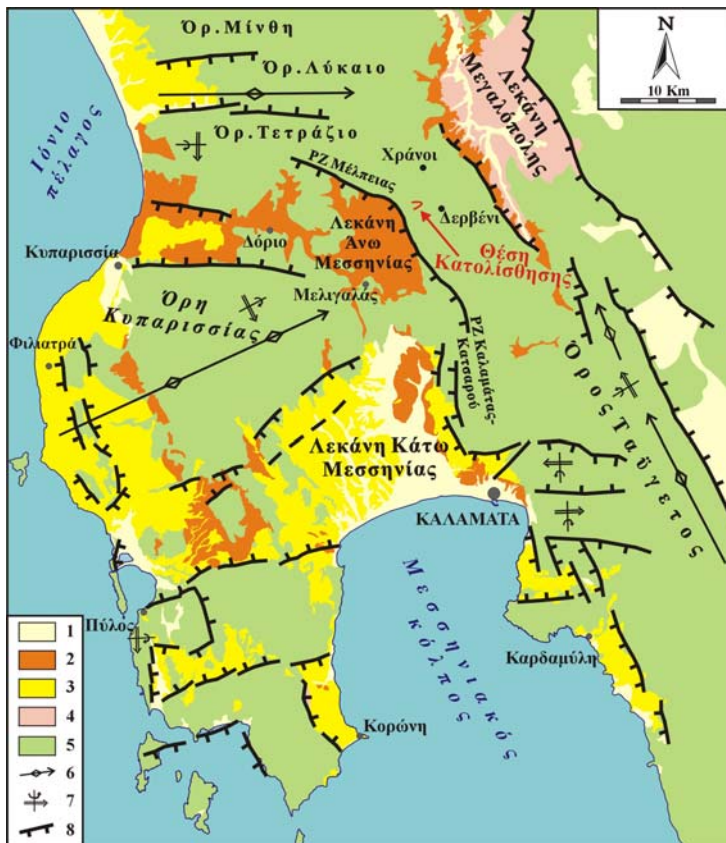
Η περιοχή της κατολίσθησης βρίσκεται στο ΝΔ όριο μιας νεοτεκτονικής δομής που βρίσκεται μεταξύ δύο τεκτονικών βυθισμάτων, της Άνω Μεσσηνίας και της Μεγαλόπολης (Σχήμα 10).

Η λεκάνη της Άνω Μεσσηνίας παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον διότι είναι η περιοχή όπου συναντώνται οι ρηξιγενείς ζώνες των δύο κύριων διευθύνσεων. Έτσι, το ανατολικό περιθώριό της καθορίζεται από τη μεγάλη ρηξιγενή ζώνη Καλαμάτας - Κατσαρού που έχει μέση διεύθυνση Β-Ν περίπου και που είναι ενεργή, ενώ το βόρειο περιθώριό της καθορίζεται από την ρηξιγενή ζώνη Κάτω Μέλπειας που παρουσιάζει μέση διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και έχει όλα τα μορφολογικά και τεκτονικά χαρακτηριστικά για να χαρακτηριστεί ως ενεργή. Από τις άλλες πλευρές τα περιθώρια της λεκάνης δεν είναι τεκτονικά.



Όσον αφορά τη λεκάνη της Μεγαλόπολης, από τεκτονική άποψη αποτελεί και αυτή ένα τεκτονικό βύθισμα, το οποίο οριοθετείται από δύο βασικές περιθωριακές ρηξιγενείς ζώνες ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης. Στην προκειμένη περίπτωση ενδιαφέρον παρουσιάζει η δυτική περιθωριακή ρηξιγενής ζώνη που οριοθετεί το όρος Λύκαιο με τη λεκάνη της Μεγαλόπολης και σήμερα καθορίζει την κοίτη του Αλφειού ποταμού. Και αυτή η ρηξιγενής ζώνη χαρακτηρίζεται σαν ενεργή, (Φουντούλης 1994).

Η κατολίσθηση λοιπόν βρίσκεται σε μία περιοχή τεκτονικά ενεργή και μάλιστα πιο κοντά (σε απόσταση περίπου 2 km) στην ενεργή ρηξιγενή ζώνη της Μέλπειας.



Σχήμα 10. Οι Νεοτεκτονικές μακροδομές της ΝΔ Πελοποννήσου. 1:Ολοκαινικές αποθέσεις, 2:Χερσαίες Ανω-Πλειστοκαινικές αποθέσεις, 3:Θαλάσσιοι Πλειο-Πλειστοκαινικοί σχηματισμοί, 4:Λιμναίες αποθέσεις, 5:Αλπικό υπόβαθρο, 6:Άξονες μακροπτυχών, 7:Άξονες περιστροφής, 8:Ρηξιγενείς ζώνες.

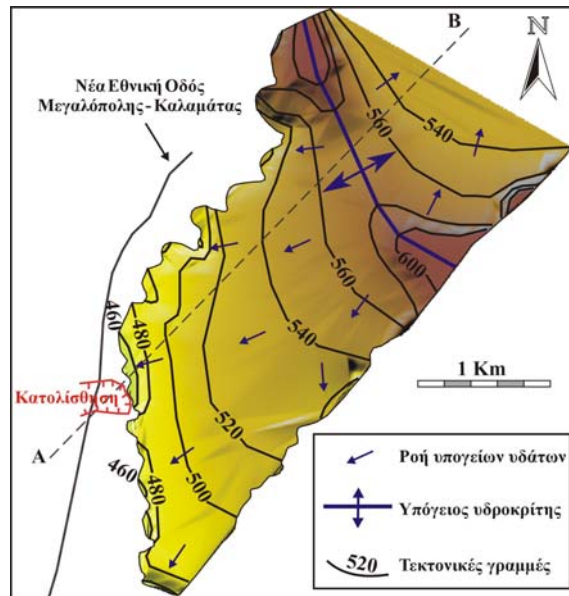
## 5 ΥΠΕΔΑΦΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ

Για να προσδιοριστεί η επίδραση της αλπικής και της νεοτεκτονικής παραμόρφωσης στη διαμόρφωση των τεχνικογεωλογικών και υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών της στενής και ευρύτερης περιοχής της κατολίσθησης κατασκευάστηκε ο υπεδαφικός τεκτονικός χάρτης της επιφάνειας αποκόλλησης των ανωκρητιδικών ασβεστολίθων με την υποκείμενη κερατολιθική σειρά και την ακολουθία των στρωμάτων του πρώτου φλύσχη.

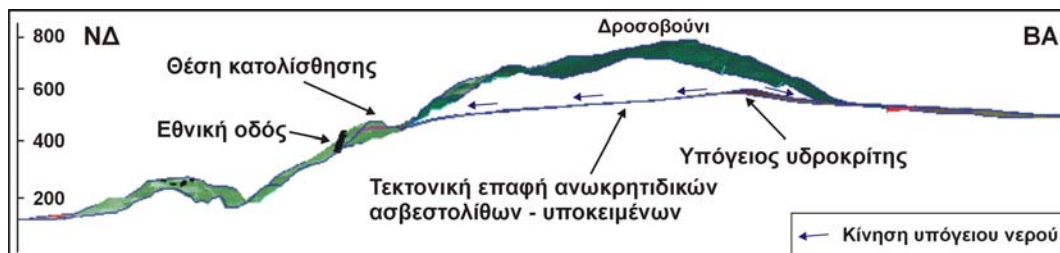
Από την μορφή των καμπύλων παρατάξεων του υπεδαφικού χάρτη προκύπτει ότι η επιφάνεια μεταξύ των ασβεστολίθων και της κερατολιθικής σειράς παρουσιάζει αλλού συγκλινική και αλλού αντικλινική μορφή. Τα ψηλότερα σημεία της τεκτονικής επαφής βρίσκονται ΝΔ του οικισμού Παραδείσια, όπου παρατηρείται ένας υπόγειος υδροκρίτης ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης ενώ τα χαμηλότερα σημεία βρίσκονται στο ΝΔ τμήμα του καλύμματος των ασβεστολίθων όπου και εκφορτίζεται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό ο υπόγειος υδροφορέας των Ανωκρητιδικών ασβεστολίθων, (Σχ. 11 & 12).

Στο τμήμα αυτό η τεκτονική επαφή των Ανωκρητιδικών ασβεστολίθων με τα υποκείμενα παρουσιάζει αλλού συγκλινική και αλλού αντικλινική μορφή λόγω της επίδρασης των ανοικτών πτυχών ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης. Είναι χαρακτηριστικό ότι στις θέσεις όπου εντοπίζονται οι συγκλινικές δομές

αναβλύζουν οι καρστικές πηγές και παρατηρούνται οι διαδοχικές κατολισθήσεις κατά μήκος της Εθνικής οδού. Η αντικλινική δομή που παρατηρείται νότια της κατολίσθησης στους φαμμίτες έχει παραμορφώσει και την τεκτονική επαφή των ασβεστολίθων με τα υποκείμενα (Σχήμα 9).



Σχήμα 11. Υπεδαφικός τεκτονικός χάρτης της επαφής μεταξύ των καρστικοποιημένων ανωκρητιδικών ασβεστόλιθων και της υδατοστεγούς σειράς των κερατολίθων. Έχει σημειωθεί η διεύθυνση της γεωλογικής τομής Α-Β (Σχήμα 11).



Σχήμα 12. Η γεωλογική τομή Α-Β στην οποία φαίνονται το ανάγλυφο και η τεκτονική επαφή των ανωκρητιδικών ασβεστόλιθων με τους υποκείμενους σχηματισμούς. Η θέση της τομής φαίνεται στο Σχήμα 11.

## 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα προηγούμενα διαπιστώνεται ότι η κατολίσθηση βρίσκεται σε ένα χώρο όπου η τεκτονική παραμόρφωση είναι πολύ έντονη και είναι αυτή που διαμόρφωσε τις τεχνικογεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες οι οποίες συνέβαλαν καθοριστικά στην εκ νέου ενεργοποίηση της προϋπάρχουσας κατολίσθησης στη θέση αυτή. Κατολισθήσεις προϋπήρχαν της χάραξης και της κατασκευής του δρόμου στις ΒΔ πλαγιές του υψώματος Δροσοβούνι, τις οποίες φαίνεται οι μελετητές και οι κατασκευαστές δεν έλαβαν υπόψη.

Η κεφαλή της κατολίσθησης σταματάει πρακτικά στο όριο με τους τεκτονικά υπερκείμενους ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους, των οποίων η επαφή στην περιοχή αυτή με τις υποκείμενες κατά βάση αδιαπέρατες λιθολογίες σχηματίζει μία συγκλινική δομή, με αποτέλεσμα τα νερά που κατεισδύουν στους έντονα καρστικοποιημένους ασβεστόλιθους να εκφορτίζονται ακριβώς στην κεφαλή της κατολίσθησης. Μία ανάλογη δομή μάλιστα δημιουργεί την ίδια κατάσταση νοτιότερα από τη θέση της κατολίσθησης.

Ο σημαντικός ρόλος που έπαιξαν οι υδρογεωλογικές συνθήκες για την εκδήλωση της κατολίσθησης φαίνεται και από το γεγονός ότι στο απέναντι πρηνές, από το οποίο διέρχεται η σιδηρο-

δρομική γραμμή, ενώ δομείται από τους ίδιους σχηματισμούς με την περιοχή της κατολίσθησης που συμπαρέσυρε την Εθνική Οδό, δεν έχει εκδηλωθεί τα τελευταία 100 χρόνια καμία σημαντική κατολίσθηση με αποτέλεσμα να μην έχει διακοπεί ποτέ η λειτουργία της σιδηροδρομικής γραμμής.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Λαλεχός Ν. 1974. Γεωλογική δομή της Κεντροδυτικής Πελοποννήσου. Γεωλ. αναγνώρισεις, Νο 53, 94σελ.
- Μαριολάκος Η., Λούης Γ. και Παπαδόπουλος Τ. 1987. Γεωμορφολογία του αλπικού υποβάθρου της νεοτεκτονικής λεκάνης της Άνω Μεσσηνίας και η μορφοτεκτονική της ερμηνεία. Πρακτικά 1ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου της Ελλ. Γεωγρ. Ετ., том. Β, σ. 53-67, Αθήνα.
- Mariolakos I. and Fountoulis I. 1991. Neotectonic macrofolds in the area of Filiatra (W. Messinia, Peloponnesus, Greece), *Bull. Geol. Soc. Greece*, XXV/3, 19-38, (in Greek with English abstract).
- Mariolakos I., Fountoulis I., Marcopoulou-Diacantoni A. and Mirkou M.R. 1994. Some remarks on the kinematic evolution of Messinia Province (SW Peloponnesus) during the Pleistocene based on Neotectonic Stratigraphic and Paleogeological observations. – *Munster. Forsch. Geol. Palaont.*, 76, p 371-380, Munster.
- Μαριολάκος Η., Φουντούλης Ι. και Λαδάς Ι. 2001. Παλαιογεωγραφική εξέλιξη της ΝΔ Πελοποννήσου κατά το Τεταρτογενές. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ., XXXIV/1, σ. 37-45.
- Παπαδόπουλος Π. 1997. Γεωλογικός χάρτης Φύλλο ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΙΣ, κλίμακα 1:50.000, ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- Φουντούλης Ι. 1994. Νεοτεκτονική εξέλιξη της κεντροδυτικής Πελοποννήσου. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, ΓΑΙΑ, 7, 382 σ.

## ABSTRACT

### **THE ROLE OF THE TECTONICS AND HYDROGEOLOGY AT THE TSAKONA (ARKADIA, PELOPONNESE, GREECE) LANDSLIDE**

Fountoulis I.<sup>1</sup>, Ladas I.<sup>1</sup>, Spyridonos E.<sup>1</sup> and Mariolakos I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Department of Dynamic-Tectonic-Applied Geology, Faculty of Geology, University of Athens, 157 84, Panepistimiopolis Zografou, Athens, [fountoulis@geol.uoa.gr](mailto:fountoulis@geol.uoa.gr)*

The present paper aims to the understanding of the causes of the large-scale landslide that occurred at Tsakona area (SW Arcadia, Peloponnesus) during February 2003. This is the largest landslide that have ever effected the Greek National highway network as it entirely rubbed out the new Megalopolis-Kalamata highway at a length of 200m. It took place at the western slopes of Drosouvouni Mt., which exhibits an elongated shape of NE-SW direction. At the broader area of the slide three alpine formations of the Pindos unit occur which from lower to upper are: (i) the Jurassic radiolarites, (ii) the so called 1<sup>st</sup> flysch and (iii) the Upper-Cretaceous pelagic limestones. The initial sliding took place inside the first two formations and the landslide moved more than 1,000 meters downward along the mountain slope at an E-W direction while its headscarp was near the tectonic contact between these formations and the upperlying pelagic limestones. In order to understand the causes of the landslide we carried out a detailed geological, morphotectonic, microtectonic and neotectonic study of the broader area. Additionally we constructed the structural contour map between the limestones nappe and the underlying formations. From all the aforementioned we suggested that the landslide occurred in a tectonically active area where the neotectonic deformation. Based on the above-mentioned studies, we have to mention the followings: The landslides occur in a site that the tectonic deformation is very intense. There were old landslides before the activation of the last one and before the study and construction of the highway. The constructors as well as the people that studied the area did not take into account the already existed landslides. It has to be mentioned that hydrogeological regime of the area is of great importance, as to the opposite slopes of the landslide in which occur the same formations like in the landslide area there is no landslide activity at least the last 100 years as indicated by the existing railway, due to the no occurrence of limestones above the radiolarites. From all the above mentioned it is clear that the tectonics – neotectonics affected the major area are the main factors involved to the initiation of the landslide, and the crossing of the landslide by the highway contributed to the reactivation together with the rains.