

**ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΕ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΕΝΕΡΓΑ ΡΗΞΙΓΕΝΗ ΠΡΑΝΗ:
ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΑΣ, Δ. ΚΟΡΙΝΘΙΑΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ***
Α. ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ¹, Β. ΛΥΚΟΥΣΗΣ¹, Γ. ΡΟΥΣΑΚΗΣ¹ & Η. ΓΕΩΡΓΙΟΥ¹

ΣΥΝΟΨΗ

Γεωτεχνικά δεδομένα από το χερσαίο προανές της περιοχής της Παναγοπούλας και γεωλογικά – γεωφυσικά δεδομένα από το υποθαλάσσιο προανές έδειξαν ότι το εν λόγω προανές λειτουργεί ενιαία. Από τα υποθαλάσσια στοιχεία προκύπτει ότι οι κύριες επιφάνειες ολίσθησης εντοπίζονται στην επαφή μεταξύ των αλκικών ασβεστολίθων και των πλευριζών κορημάτων αφενός και μεταξύ των πλευριζών κορημάτων και των θαλάσσιων τουρβιδιτικών αποθέσεων αφετέρου. Στο χερσαίο προανές οι ολίσθησεις εντοπίζονται μέσα στα πλευρικά κορημάτα. Οι κινήσεις στο χερσαίο προανές επιβραδύνουν την ευστάθεια του υποθαλάσσιου προανούς ενώ αντίστροφα πιθανές ολίσθησεις στο υποθαλάσσιο προανές προζαλούν απώλεια στήριξης στο χερσαίο προανές.

SUMMARY

The Panagopoula slope area belongs to the southern faulted margin of the western Gulf of Corinth and is located above the trace of the southern marginal fault. Mesozoic limestones of Pindos unit represent the basement of the area and are covered by debris and talus cones. Detailed mapping and monitoring on the land slope, carried out by various institutions showed active creeping within the debris at the lower part of the slope.

Systematic bathymetric and geophysical survey of the submarine part of the slope by using a Boomer seismic source fired at 175J and signal's frequency between 0,7-3kHz revealed the presence of three lithoseismic units. The lower one constitutes the acoustic basement of the area and corresponds to the alpine limestones. The second unit outcrops at the shallow upper part of the submarine slope. It is characterized by chaotic reflections and represents the continuation of the debris deposits offshore. The upper unit is stratified, with continuous internal reflectors which alternate with transparent horizons. It is interpreted as a turbidite sequence deposited during Quaternary on the sea-bed of the Gulf of Corinth.

Deformation of the internal reflectors of the turbidite sequence at the base of the submarine slope, as well as the internal structure of the debris deposits, indicate active downslope submarine sliding. We interpret the limestones – debris contact and the debris – turbidites contact as the main surfaces of sliding. The deformation of the internal reflectors results from the down-going movement along the aforementioned contacts.

We suggest that both the on- and offshore parts of the Panagopoula slope behave as a single system. Sliding within the debris deposits of the land slope is transferred to the debris and turbidite deposits of the submarine part. Inversely, sliding phenomena at the offshore part accelerate sliding at the upper part of the slope.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Κορινθιακός Κόλπος, ρηξιγενές προανές, ερπυσμός, κορημάτα, τουρβιδιτικές αποθέσεις, αστάθεια προανές

KEY WORDS: Gulf of Corinth, faulted slope, creeping, debris, turbidites, slope failure

1. ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Η περιοχή της Παναγοπούλας ευρίσκεται στις νότιες ακτές του Δυτικού Κορινθιακού Κόλπου, μεταξύ των χωριών Ψαθόπυργος δυτικά και Λαμπιρή ανατολικά (Εικ. 1). Στην περιοχή αυτή, στο χερσαίο προανές που υψώνεται ανάγντι της αιτογραμμής, έχουν κατ' επανάληψη σημειωθεί έντονα κατολισθητικά φαινόμενα, με αποτέλεσμα την πρόκληση σημαντικών καταστροφών στην Νέα και την Παλαιά Εθνική Οδό Κορίνθου - Πατρών και στη σιδηροδρομική γραμμή, που διέρχονται από το σημείο αυτό, και την διακοπή της κυκλοφορίας.

* SLOPE FAILURE PHENOMENA ALONG SUBMARINE ACTIVE FAULTED SLOPES: PANAGOPOULA AREA, W. GULF OF CORINTH

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

1. Εθνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών, Αγίος Κοσμάς, 16604 Ελληνικό, Αθήνα. E-mail: sakell@llnccmte.gr

Στο χερσαίο πρσανές της Παναγοπούλας ευρίσκει ήδη σε εξέλιξη λεπτομερής γεωτεχνική έρευνα των συνθηκών ευστάθειας και παρακολούθηση των υπεδάφινων μικροκινήσεων από ιδιωτικούς φορείς. Σκοπός της παρούσας ήταν η διερεύνηση της γεωλογικής δομής και των συνθηκών ευστάθειας του υποθαλάσσιου πρσανούς της περιοχής και η συσχέτιση τους με τα αντίστοιχα στοιχεία που έχουν προκύψει από την γεωτεχνική έρευνα του χερσαίου πρσανούς.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ευρύτερη περιοχή του Κορινθιακού Κόλπου και ιδιαίτερα το δυτικό τμήμα του συμπεριλαμβάνεται στις πλέον ενεργές περιοχές του Ελλαδικού χώρου με βάση τις νεοτεκτονικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα και την σεισμικότητα που παρατηρείται. Πέντε σεισμοί μεγέθους $M > 6$ έχουν λάβει χώρα κατά τα τελευταία 30 χρόνια, ενώ σημαντικός αριθμός καταστροφικών σεισμών μεγέθους $M > 7$ αναφέρονται κατά την ιστορική περίοδο (Παπαζάχος & Παπαζάχου 1989, Ambraseys & Jackson 1990).

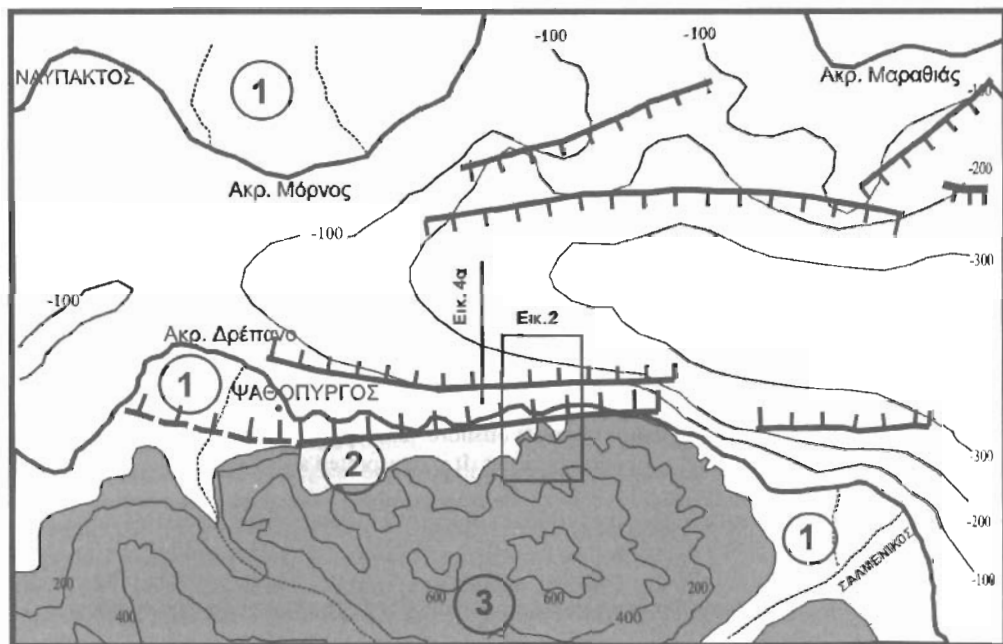


Fig 1: Map of the main faults and geological formations of the western part of the Gulf Corinth (Armijo et al 1996, Papanikolaou et al 1997, Τσούφλιας & Loftus 1971). (1): Alluvial deposits. (2): Upper Cretaceous limestone. (3): Plio-Pleistocene sediments

Εικ.1: Χάρτης του Αντ. Κορινθιακού Κόλπου με τα κυριότερα ρήγματα και τους γεωλογικούς σχηματισμούς (Armijo et al 1996, Παπανικολάου κ.α. 1997, Τσούφλιας & Loftus 1971). (1): Πρόσφατες προσηωματικές αποθέσεις. (2): ασβεστόλιθοι Αν. Κρητιδικού. (3): Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα

Η τάφρος του Κορινθιακού κόλπου αποτελεί μία ασύμμετρη μεταλπηκή λεκάνη, η εξέλιξη της οποίας από το Αν. Μειόκαινο – Πλειόκαινο μέχρι σήμερα ελέγχεται κατά κύριο λόγο από χερσαίες και υποθαλάσσιες ρηξιγενείς ζώνες που εντοπίζονται κυρίως στο νότιο περιθώριο της τάφρου (Brooks & Ferentinos 1984, Armijo et al 1996, Παπανικολάου κ.α. 1997). Αποτέλεσμα της δράσης των ρηξιγενών αυτών ζωνών είναι η σημαντική ανύψωση των ακτών της Βόρειας Πελοποννήσου, η βύθιση του υποθαλάσσιου τμήματος της τάφρου και η επακόλουθη δημιουργία απότομων πρσανών κατά μήκος της νότιας πλευράς του Κόλπου.

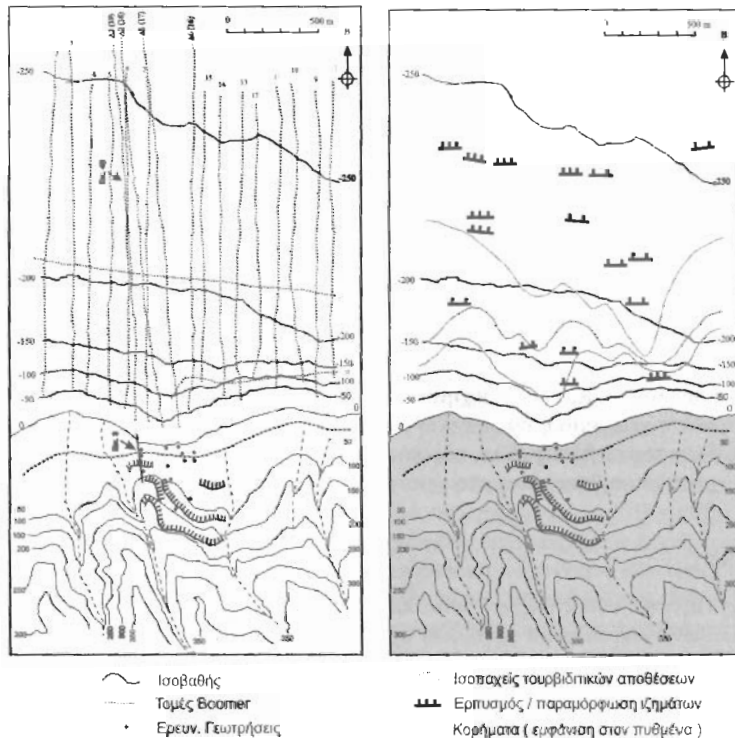
Οι Brooks & Ferentinos (1984) υπολόγισαν σχετική διαφορική κατακόρυφη ταχύτητα μεταξύ της αναφυόμενης ορεινής περιοχής της Β. Πελοποννήσου και της βυθιζόμενης λεκάνης του Κορινθιακού Κόλπου της τάξης των 5 mm/χρόνο για την χρονική περίοδο του Τεταρτογενούς, ενώ οι Keraudren & Sorel (1987) μετά από λεπτομερή μελέτη των υφιστάμενων βιβλιοθηκών του Γεωλογικού Γραφείου της Γεωλογικής Υπηρεσίας του Υπουργείου Μεταλλείων και Ενέργειας, υπολόγισαν μέση ταχύτητα ανύψωσης κατά τα τελευταία 500.000 χρόνια της τάξης του 1,5 mm/χρόνο. Οι Tselentis &

Μακροπούλος (1986) εφαρμόζοντας σεισμολογικές μεθόδους παρατήρησαν ταχύτητα βύθισης της βόρειας ως προς την νότια ακτή του Κόλπου της τάξης του 1 mm/χρόνο. Μόνο κατά τον σεισμό του Αγίου (15/6/1995, Ms:6,3) παρατηρήθηκε απομάκρυνση 6 cm μεταξύ της βόρειας και της νότιας ακτής του Κόλπου στην περιοχή Αγίου - Ερατεινής και βύθιση της βόρειας ακτής ως προς την νότια κατά 10 cm περίπου (Bernard et al., in press).

Οι Lykousis et al (1998), συσχετίζοντας τις θαλάσσιες αναβαθμίσεις της Βόρειας Πελοποννήσου με χρονικά αντίστοιχες προδελταϊκές αποθέσεις της βόρειας υποθαλάσσιας του Κορινθιακού Κόλπου, υπολόγισαν ότι η μέση σχετική ταχύτητα ανύψωσης των ακτών της Β. Πελοποννήσου ως προς αυτές της Στερεάς Ελλάδας είναι 2,8 μέτρα/1000 χρόνια. Τέλος οι Billiris et al. (1991) υπολόγισαν με γεωδαιτικές μεθόδους την ταχύτητα απομάκρυνσης μεταξύ της βόρειας και της νότιας ακτής του Κόλπου σε 1 cm/χρόνο.

Η περιοχή της Παναγοπούλας αποτελεί τμήμα του προανού που αναπτύσσεται κατά μήκος δύο παράλληλων ενεργών ρηξιγενών δομών (Εικ. 1): του ρήγματος του Ψαθόλυργου στη βάση του χερσαίου τμήματος του προανού και της υποθαλάσσιας νότιας ρηξιγενούς ζώνης του κόλπου που εντοπίζεται στη βάση του υποθαλάσσιου προανού (Παπανικολάου κ.ά. 1997).

Κατολισθητικά φαινόμενα, χερσαία ή υποθαλάσσια, παρατηρούνται συχνά στην ενρύτερη περιοχή (Heezen et al. 1966, Ferentinos et al. 1988, Lykousis et al. 1997), με πρόσφατο παράδειγμα, εκτός της Παναγοπούλας, την υποθαλάσσια κατολισθήση μπροστά από το δέλτα του Σαλιμενίου το 1963 (Γαλανόπουλος κ.ά. 1966) και τις παράκτιες ολισθήσεις στη περιοχή του Αγίου (Paratheodorou & Ferentinos 1997). Οι Ferentinos et al. (1988) περιέγραψαν λεπτομερώς τα διάφορα φαινόμενα υποθαλάσσιων ολισθήσεων κατά μήκος του νότιου προανού του Κορινθιακού Κόλπου στο τμήμα από το Άγιο μέχρι το Κόλπο του Λέχαιου. Τα φαινόμενα αυτά προκαλούνται από διάφορους παράγοντες, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται η έντονη σεισμική δραστηριότητα της περιοχής και η υψηλή ταχύτητα εξημετογένεσης των προδελταϊκών αποθέσεων, και ευθύνονται για τις συχνές καταστροφές των υποθαλάσσιων αιολοδίων.



Εικ. 2α: Χάρτης σεισμικών τομών BOOMER στη θαλάσσια περιοχή της Παναγοπούλας. Η θέση του χάρτη παρουσιάζεται στην Εικ. 1.

Εικ. 2β: Υποθαλάσσιος γεωλογικός χάρτης της περιοχής Παναγοπούλας.

Fig 2a: Boomer track map of Panagopoula area. The location of the map is shown in Fig. 1

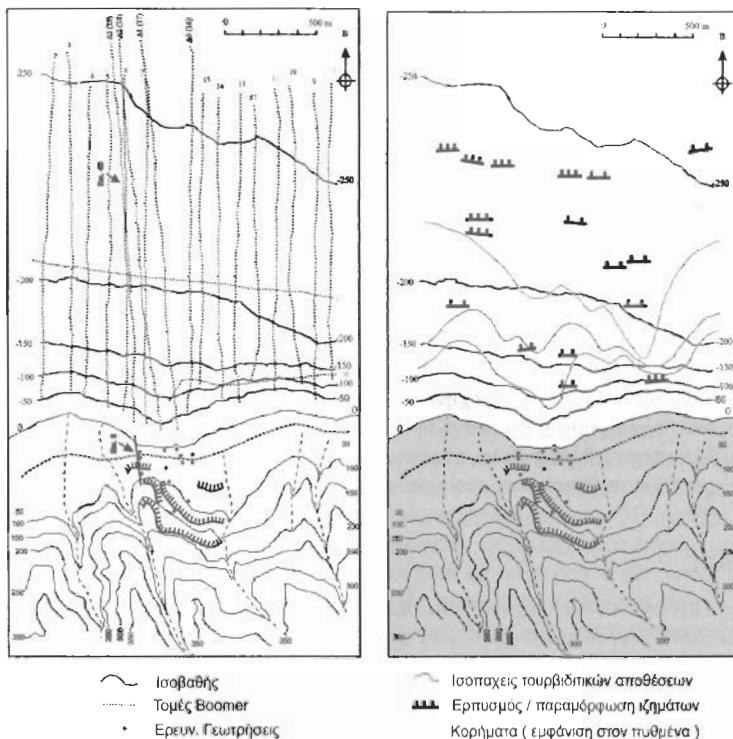
Fig 2b: Submarine geological map of Panagopoula area

Makropoulos (1986) εφαρμόζοντας σεισμολογικές μεθόδους παρατήρησαν ταχύτητα βύθισης της βόρειας ως προς την νότια ακτή του Κόλπου της τάξης του 1 mm/χρόνο. Μόνο κατά τον σεισμό του Αιγίου (15/6/1995, Ms:6,3) παρατηρήθηκε απομάκρυνση 6 cm μεταξύ της βόρειας και της νότιας ακτής του Κόλπου στην περιοχή Αιγίου - Ερατεινής και βύθιση της βόρειας ακτής ως προς την νότια κατά 10 cm περίπου (Bernard et al., in press).

Οι Lykousis et al (1998), συσχετίζοντας τις θαλάσσιες αναβιομίμδες της Βόρειας Πελοποννήσου με χρονικά αντίστοιχες προδελταϊκές αποθέσεις της βόρειας υφαλοκρηπίδας του Κορινθιακού Κόλπου, υπολόγισαν ότι η μέση σχετική ταχύτητα ανύψωσης των ακτών της Β. Πελοποννήσου ως προς αυτές της Στερεάς Ελλάδας είναι 2,8 μέτρα/1000 χρόνια. Τέλος οι Billiris et al. (1991) υπολόγισαν με γεωδαιτικές μεθόδους την ταχύτητα απομάκρυνσης μεταξύ της βόρειας και της νότιας ακτής του Κόλπου σε 1 cm/χρόνο.

Η περιοχή της Παναγοπούλας αποτελεί τμήμα του προανού που αναπτύσσεται κατά μήκος δύο παράλληλων ενεργών ρηξιγενών δομών (Εικ. 1): του ρήγματος του Ψαθόπυργου στη βάση του χερσαίου τμήματος του προανού και της υποθαλάσσιας νότιας ρηξιγενούς ζώνης του κόλπου που εντοπίζεται στη βάση του υποθαλάσσιου προανού (Παπανικολάου κ.ά. 1997).

Κατολισθητικά φαινόμενα, χερσαία ή υποθαλάσσια, παρατηρούνται συχνά στην ευρύτερη περιοχή (Heezen et al. 1966, Ferentinos et al. 1988, Lykousis et al. 1997), με πρόσφατο παράδειγμα, εκτός της Παναγοπούλας, την υποθαλάσσια κατολίσθηση μπροστά από το δέλτα του Σαλμενίου το 1963 (Γαλανόπουλος κ.ά. 1966) και τις παράκτιες ολισθήσεις στη περιοχή του Αιγίου (Paratheodorou & Ferentinos 1997). Οι Ferentinos et al. (1988) περιέγραψαν λεπτομερώς τα διάφορα φαινόμενα υποθαλάσσιων ολισθήσεων κατά μήκος του νότιου προανού του Κορινθιακού Κόλπου στο τμήμα από το Αίγιο μέχρι το Κόλπο του Λέχαιου. Τα φαινόμενα αυτά προκαλούνται από διάφορους παράγοντες, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται η έντονη σεισμική δραστηριότητα της περιοχής και η υψηλή ταχύτητα ιζηματογένεσης των προδελταϊκών αποθέσεων, και ευθύνονται για τις συχνές καταστροφές των υποθαλάσσιων καλωδίων.

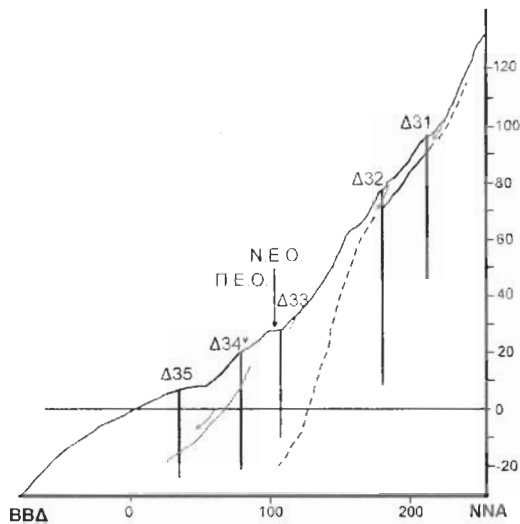


Εικ. 2α: Χάρτης σεισμικών τομών BOOMER στη θαλάσσια περιοχή της Παναγοπούλας. Η θέση του χάρτη παρουσιάζεται στην Εικ. 1.

Εικ. 2β: Υποθαλάσσιος γεωλογικός χάρτης της περιοχής Παναγοπούλας.

Fig 2a: Boomer track line map of the Panagopoula area. The location of the area is shown in Fig. 1
Fig. 2b: Submarine geological map of Panagopoula area

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.



Εικ. 3: Τοπογραφική-γεωλογική τομή του χερσαίου πρσανούς (Θέση της τομής στην Εικ. 1). ΠΕΟ: Παλαιά Εθνική Οδός, ΝΕΟ: Νέα Εθνική Οδός, Δ31-Δ35: γεωτρήσεις, ΑΒ: Αλπικό υπόβαθρο, Κ: Κορημάτα
Fig. 3: Topographic and geological profile of the land slope. Location of the profile in Fig. 1. ΠΕΟ: Old National Road, ΝΕΟ: New National Road, Δ31-Δ35: boreholes, ΑΒ: Alpine Basement, Κ: Debris

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο χερσαίο τμήμα του πρσανούς της Παναγοπούλας πραγματοποιήθηκαν από ιδιωτικούς φορείς ερευνητικές γεωτρήσεις κατά μήκος τεσσάρων διατομών κατά κλίση του πρσανούς (Δ0, Δ1, Δ2, Δ3), στις οποίες τοποθετήθηκαν αποκλισιόμετρα για την παρακολούθηση των κινήσεων του εδάφους (Εικ. 2Α).

Στο υποθαλάσσιο τμήμα του πρσανούς πραγματοποιήθηκε λεπτομερής βυθόμετρηση κατά μήκος παράλληλων μεταξύ τους πορειών ανά 40 μ. και κάθετων προς την ακτογραμμή, με σκοπό την αποτύπωση της μορφολογίας του υποθαλάσσιου πρσανούς. Για την γεωλογική - γεωφυσική διερεύνηση του υποθαλάσσιου πρσανούς χρησιμοποιήθηκε τομογράφος υποδομής πυθμένα τύπου Boomer. Η γεωφυσική διερεύνηση έγινε κατά μήκος πυκνού δικτύου, το οποίο περιελάμβανε τομές κάθετες προς την ακτογραμμή και σε απόσταση 100 m μεταξύ τους, καθώς επίσης τομές παράλληλες προς την ακτογραμμή. Πραγματοποιήθηκαν επίσης τέσσερις τομές στην προέκταση των διατομών Δ0, Δ1, Δ2 και Δ3, κατά μήκος των οποίων έχουν τοποθετηθεί οι ερευνητικές γεωτρήσεις στο χερσαίο τμήμα του πρσανούς. Κατά τις εργασιές πεδίου με τον τομογράφο Boomer χρησιμοποιήθηκε εύρος συχνοτήτων του παραγόμενου ηχητικού σήματος μεταξύ 1 - 3 kHz και 0.7-3 kHz.

Η βυθόμετρηση και η γεωφυσική διερεύνηση περιέλαβε ολόκληρο το υποθαλάσσιο πρσανές από την ακτογραμμή μέχρι τη βάση του σε βάθος 250 μ. περίπου. Για την εξαγωγή των συμπερασμάτων που παρουσιάζονται στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν και στοιχεία από τις ερευνητικές γεωτρήσεις στο χερσαίο τμήμα του πρσανούς.

4. ΧΕΡΣΑΙΟ ΠΡΑΝΕΣ

Στη περιοχή της Παναγοπούλας εμφανίζονται πλακώδεις πελαγικοί ασβεστόλιθοι του Αν. Κρητιδικού με ενστρώσεις γερατολίθων, ψαμιτών και αργιλικών σχιστολίθων, οι οποίοι καλύπτονται ασύμφωνα από Πλειο-Πλειστοκαινικές μάργες και αργίλους με παρεμβολές ημισυνεκτικών ή χαλαρών κροκαλοπαγών (Τσόφλιας & Loftus 1971). Στη βάση του πρσανούς αναπτύσσεται στενή παράκτια ζώνη προσχωματικών αποθέσεων, το πλάτος των οποίων αυξάνεται στις εμβολές των ρεμάτων (Εικ. 1).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ερευνητικών γεωτρήσεων, το αλπικό υπόβαθρο καλύπτεται από πλευρικά κορημάτα (Εικ. 3), το πάχος των οποίων δεν είναι σταθερό και αυξάνεται από 2-10μ. στα ανώτερα τμήματα του πρσανούς (υψ. 70-100μ.) σε 30-40μ στο κατώτερο τμήμα του πρσανούς από το ύψος της Νέας Εθνικής Οδού Κορίνθου - Πατρών (υψ. 20-25μ.) μέχρι την ακτογραμμή.

Παράλληλα με βάση τις μετρήσεις των αποκλισιομέτρων, το ανώτερο τμήμα του πρσανούς έχει ουσιαστικά σταθεροποιηθεί ως αποτέλεσμα των αποστραγγιστικών διεργασιών που κατασχευάσθηκαν. Αντίθετα παρατη-

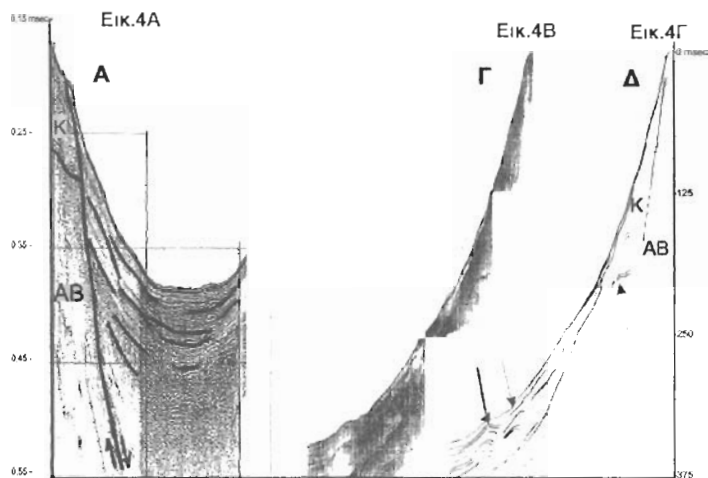
ρήθηκαν μετατοπίσεις της τάξης των 10-15 mm προς τα κατάντι στο χαμηλότερο τμήμα του προανούς, οι οποίες εντοπίζονται μέσα στα πλευρικά χορήματα (Εικ. 3).

5. ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΡΑΝΕΣ

Τομές Air Gun

Η γεωλογική δομή και η μορφολογία του υποθαλάσσιου προανούς στην περιοχή της Παναγοπούλας ελέγχεται από τη νότια υποθαλάσσια ρηξιγενή ζώνη, η οποία ευθύνεται για την δημιουργία των μεγάλων μορφολογικών γλίσεων, που τοπικά υπερβαίνουν το 50% (Εικ. 4Α).

Το ανώτερο τμήμα του υποσφράματος του νότιου προανούς στην Εικ. 3Α καλύπτεται από τουρβιδιτικές αποθέσεις, το πάχος των οποίων αυξάνεται προς τη βάση του προανούς και φθάνει τα 100-150 μέτρα προς το κέντρο της λεκάνης. Οι τουρβιδιτικές αποθέσεις παρουσιάζουν σαφή στρωμάτωση που αντιπροσωπεύεται στις σεισμικές τομές από τις εναλλαγές έντονων και ασθενέστερων ανακλαστικόν.



Εικ. 4: (Α): Σεισμική τομή Air Gun 10in³ και ερμηνεία της τομής (Θέση της τομής στην Εικ. 1) (Β) - (Γ): Τομή BOOMER και ερμηνεία της τομής. Τα βέλη δείχνουν δομές ολίσθησης (Θέση της τομής στην Εικ. 1β). AB: αλπικό υπόβαθρο. K: χορήματα

Fig. 4: (A) Air Gun 10 in³ seismic profile and interpretation. Location of the profile in Fig. 1. (B) - (Γ): Boomer profile and interpretation. Arrows indicate sliding structures. Location of the profile in Fig. 2a. AB: Alpine Basement. K: debris deposits.

Κάτω από τις τουρβιδιτικές αποθέσεις, στο ανώτερο τμήμα του νότιου προανούς, παρατηρείται μια σεισμική ενότητα με χαοτική εσωτερική δομή. Χαρακτηρίζεται κυρίως από την ύπαρξη ανακλίσεων υπερβολικής μορφής και σποραδικούς μόνο, συνεχείς ανακλαστικόν έντονα παραμορφωμένους. Η ενότητα αυτή αντιπροσωπεύει κατά κύριο λόγο χορήματα που συνίστανται από διάφορα λεπτομερή έως αδρομερή υλικά (ιλύ, άμμο, κροκαλοχάλικες διαφόρων μεγεθών) με πολύ χαμηλή κοκκομετρική ταξινόμηση και ως εκ τούτου χωρίς σαφή εσωτερική δομή και στρωματοποίηση. Η έντονη παραμόρφωση που παρουσιάζεται στο εσωτερικό της ενότητας των ροών χορημάτων οφείλεται σε αλληλάλληλες κατολισθητικές κινήσεις ή φαινόμενα ερπυσμού.

Το υπόβαθρο των χορημάτων αποτελεί συγχρόνως και το ακουστικό υπόβαθρο της σεισμικής τομής της Εικ. 4α και αντιστοιχεί στο αλπικό υπόβαθρο της περιοχής, το οποίο αποτελείται κατά κύριο λόγο από ασβεστολιθούς και δευτερευόντως από κερατόλιθους και ραδιολαρίτες της ενότητας Πίνδου. Σε άλλα σημεία της περιοχής τα χορήματα απουσιάζουν και οι τουρβιδιτικές αποθέσεις έρχονται σε επαφή απ' ευθείας με το ασβεστολιθικό υπόβαθρο κατά μήκος της κύριας ρηξιγενούς ζώνης.

Χαρακτηριστικές είναι στην Εικ. 4Α οι δομές παραμόρφωσης των στρωμάτων των τουρβιδιτών και των χορημάτων. Οι δομές αυτές, κυρίως κάμψεις - ανοιχτές πτυχώσεις και μικρής κλίμακας επιφάνειες ολίσθησης, οφείλονται στην ολίσθηση των ιζημάτων με την μορφή κατολισθητικών φαινομένων ή ερπυσμού κατά κλίση του προανούς. Οι κατολισθητικές επιφάνειες Βιβλιοθήκη Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

φής του ασβεστολιθικού υποβάθρου με τις ροές κορημάτων ή/και τις τουρβιδιτιζές αποθέσεις κατά περίπτωση και στην επαφή των ροών κορημάτων με τις τουρβιδιτιζές αποθέσεις. Δευτερεύουσες επιφάνειες ολίσθησης μπορούν να διακριθούν και στο εσωτερικό των ροών κορημάτων ή των τουρβιδιτιζών αποθέσεων.

Τομογραφίες BOOMER

Από την ανάλυση των τομογραφιών που καταγράφηκαν με το σύστημα BOOMER, τρεις λιθοσεισμικές ενότητες μπορούν να διακριθούν κάτω από τον πυθμένα του υποθαλάσσιου πρσανούς της Παναγοπούλας, οι οποίες ταυτίζονται με αυτές που αναφέρθηκαν κατά την παρουσίαση των σεισμικών τομών Air Gun. Η μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα των υποστρωμάτων του πυθμένα, που παρέχεται από το σύστημα BOOMER, μας δίνει την δυνατότητα να κατανοήσουμε με λεπτομέρεια την εσωτερική δομή των διαφόρων ενότητων.

· Ανώτερη Λιθοσεισμική Ενότητα - Τουρβιδιτιζές αποθέσεις

Οι σεισμικοί ανακλαστήρες στο εσωτερικό της ανώτερης λιθοσεισμικής ενότητας παρουσιάζονται γενικά παράλληλοι, έντονοι και στα ανώτερα στρώματα σχετικά συνεχείς υποδηλώνοντας παρόμοιες συνθήκες ιζηματοπόθεσης στο πρσανές σε μεγάλο χρονικό διάστημα (τουλάχιστον κατά την διάρκεια του Μέσου-Ανώτερου Τεταρτογενούς).

Οι αποθέσεις αυτές πρέπει να είναι τουρβιδιτιζού χαρακτήρα (κυρίως αμιώδης ιλύς), όπως συνάγεται από την εντονότητα και παραλληλία των σεισμικοστρωματογραφικών ανακλαστήρων (Εικ. 4B και 4Γ). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι παρατηρείται μια περιοδική εναλλαγή της εντονότητας και παραλληλίας των σεισμικών ανακλαστήρων με το βάθος. Εντονοι και παράλληλοι ανακλαστήρες πάχους 5-20m εναλλάσσονται με εξασθενημένους διακοπτόμενους ανακλαστήρες περίπου του ίδιου πάχους υποδεικνύοντας τις περιοδικά εναλλασσόμενες συνθήκες τουρβιδιτιζής ιζηματογένεσης από πλέον χονδρόκοκκους τουρβιδίτες (αμιώδεις, αμμοχαλικώδεις) σε σχετικά λεπτόκοκκους (αμιώδης ιλύς - ιλυώδης άργιλος).

Οι εναλλαγές της κοκκομετρίας των παραπάνω αποθέσεων στη περιοχή αυτές είναι αποτέλεσμα των ευστατικών κινήσεων της στάθμης του Κορινθιακού Κόλπου κατά την περίοδο του Μέσου-Ανώτερου Τεταρτογενούς (χαμηλό επίπεδο "χονδρόκοκκοι" τουρβιδίτες - υψηλό επίπεδο "λεπτόκοκκοι" τουρβιδίτες), των περιόδων εναλλασσόμενης υψηλής και χαμηλής προσφοράς υλικού από την χέρσο και έντονης ή ασθενούς σεισμικής - τεκτονικής δραστηριότητας.

Το πάχος των τουρβιδιτιζών αποθέσεων είναι μικρό στο ανώτερο τμήμα του πρσανούς και αυξάνεται σταδιακά προς τα κατάντι. Στη βάση του πρσανούς το πάχος των τουρβιδιτιζών υπερβαίνει τα 70-80 μέτρα και αυξάνεται προς το κέντρο της λεκάνης. Στο χερσαίο τμήμα της περιοχής δεν φαίνεται να υπάρχει γεωλογικός σχηματισμός αντίστοιχος των τουρβιδιτιζών αποθέσεων. Ο νεότερος σχηματισμός που παρατηρείται στο χερσαίο τμήμα του πρσανούς είναι τα πλευρικά κορήματα, τα οποία όπως αναλύεται στην συνέχεια είναι σχηματισμός αντίστοιχος της ενδιάμεσης λιθοσεισμικής ενότητας.

· Ενδιάμεση Λιθοσεισμική Ενότητα - Ροές Κορημάτων

Η ενδιάμεση λιθοσεισμική ενότητα εντοπίζεται κυρίως στο ανώτερο τμήμα του πρσανούς και υπόκειται των τουρβιδιτιζών αποθέσεων. Στον πυθμένα εμφανίζεται στην περιοχή από την αζτογραμμή μέχρι του βόθρου των 50 - 70 μέτρων κατά θέσεις (Εικ. 2B).

Το χαρακτηριστικό γνώρισμα των σεισμικών ανακλαστήρων της ενδιάμεσης ενότητας είναι η μεγάλη παραμόρφωσή τους τόσο σε βάθος όσο και κοντά στην επιφάνεια του βυθού. Η παραλληλία και η συνέχεια των ανακλαστήρων μόνο τοπικά και περιστασιακά παρατηρείται, ενώ κυριαρχούν οι δομές με χαοτικό χαρακτήρα εσωτερικών ανακλάσεων και με λοφοειδή ή υπερβολική εξωστρεφική διαμόρφωση των σεισμικών αζολουθιών.

Οι δομές αυτές είναι αποτέλεσμα συνδυαστικών σύνθετων ελαιοδικτών κινήσεων μαζί με ιζημάτων, όπως κατολισθήσεων, καταπτώσεων, ροών κορημάτων, τουρβιδιτιζών και πρόσφατων έντονων γεωτεκτονικών παραμορφώσεων της λεκάνης. Οι υψηλού βαθμού αναμοχλεύσεις των ιζημάτων του βυθού και των υποστρωμάτων του στην περιοχή αυτή δεν επιτρέπουν σαφή διάκριση των συνηματογενών ορημάτων και επιφανειών ολίσθησης.

Με βάση τον σεισμικό χαρακτήρα της, η ενδιάμεση ενότητα αντιπροσωπεύει πιθανότατα ροές κορημάτων και αποθέσεις κλιτύων (αργιλο-ιλυώδεις αποθέσεις, άμμοι, κροκάλες και χάλιζες διαφόρων μεγεθών) χωρίς σαφή στρωμάτωση και κοκκομετρική διαβάθμιση. Προέρχονται από την απόθεση και ολίσθηση κατά κλίση του πρσανούς των αδρουμερών κυρίως υλικών αποσάθροντες και διάβρωσης των σχηματισμών που εμφανίζονται στη χέρσο. Οι ροές κορημάτων που εμφανίζονται στο υποθαλάσσιο πρσανές της Παναγοπούλας αποτελούν σχηματισμό αντίστοιχο των **Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεσσαλονίκης - Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.** αζο τμήμα του πρσανούς της

Παναγοπούλας.

Κατώτερη Λιθοσεισμική Ενότητα - Ασβεστόλιθοι, κερατόλιθοι, ραδιολαρίτες

Η κατώτερη λιθοσεισμική ενότητα αποτελεί το σεισμικό - ακουστικό υπόβαθρο των τομογραφιών BOOMER που καταγράφηκαν στην περιοχή μελέτης και των σεισμικών τομών Air Gun που παρουσιάστηκαν πιο πάνω (Εικ. 4B και 4Γ). Στην οροφή της ενότητας αυτής σταματά η διεύθυνση των ηχητικών κυμάτων στο υπόστρωμα του πυθμένα.

Κατ' αντιστοιχία με την γεωλογική δομή του χερσαίου τμήματος της ευρύτερης περιοχής της Παναγοπούλας το ακουστικό υπόβαθρο των σεισμικών τομών και τομογραφιών αντιπροσωπεύει το αλπικό υπόβαθρο της περιοχής, συνίσταται δηλαδή από ασβεστολίθους, κερατόλιθους και ραδιολαρίτες της αλπικής Ενότητας Πίνδου.

6. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΟΥ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ

Η μορφολογία του υποθαλάσσιου πρανούς αποτελεί ουσιαστικά συνέχεια της μορφολογίας του χερσαίου πρανούς της Παναγοπούλας. Οι ισοβαθείς του υποθαλάσσιου πρανούς διευθύνονται γενικά παράλληλα προς την ακτογραμμή. Ιδιαίτερα υψηλές είναι οι μορφολογικές κλίσεις στο ανώτερο τμήμα του πρανούς, δηλαδή από την ακτογραμμή μέχρι την ισοβαθή των 150 μέτρων, στο οποίο κυμαίνονται μεταξύ 50-65%. Οι τιμές αυτές είναι ιδιαίτερα υψηλές για υποθαλάσσιο πρανές και επιδρούν σημαντικά στην ευστάθεια των ιζημάτων. Η κλίση του υποθαλάσσιου πρανούς μειώνεται σταδιακά προς τα κατόντι. Μετάξύ των ισοβαθών των 150 και 200 μέτρων η κλίση κυμαίνεται μεταξύ 20-35% και μεταξύ των ισοβαθών των 200 και 250 μέτρων μεταξύ 4-10%.

Από την ανάλυση και επεξεργασία των τομογραφιών που καταγράφηκαν με το σύστημα BOOMER κατά τις εργασίες πεδίου του παρόντος ερευνητικού έργου προκύπτουν με σαφήνεια δομές παραμόρφωσης, που οφείλονται είτε σε φαινόμενα κατολίθωσης είτε σε φαινόμενα ερπυσμού στο υποθαλάσσιο πρανές της Παναγοπούλας. Οι δομές αυτές παρουσιάζονται σε όλες ουσιαστικά τις τομογραφίες που καταγράφηκαν.

Με βάση τα υπάρχοντα στοιχεία για την δομή του υποθαλάσσιου πρανούς της Παναγοπούλας η οροφή του ακουστικού υποβάθρου, δηλαδή των ασβεστολίθων αφ' ενός και η οροφή των ροών κορημάτων (βάση των τουρβιδιτικών αποθέσεων) αφ' ετέρου αποτελούν πιθανότατα τις κύριες επιφάνειες, κατά μήκος των οποίων λαμβάνουν χώρα κινήσεις ολίσθησης ή ερπυσμού.

Δευτερεύουσες επιφάνειες ολίσθησης παρατηρούνται στο εσωτερικό των ροών κορημάτων και των τουρβιδιτικών αποθέσεων, οφείλονται όμως στην εσωτερική παραμόρφωση της μάζας των ιζημάτων λόγω της κίνησης κατά μήκος των προαναφερθέντων κύριων επιφανειών. Πολλές από τις δευτερεύουσες επιφάνειες ολίσθησης/ερπυσμού επηρεάζουν τον πυθμένα του πρανούς. Άλλες εντοπίζονται στα κατώτερα στρώματα και έχουν κλυθεί από νεότερα ιζήματα.

Η αστάθεια και η επακόλουθη συνεχής και σταδιακή ολίσθηση προς την λεκάνη των ιζημάτων που ευρίσκονται στο ανώτερο τμήμα του υποθαλάσσιου πρανούς προκαλεί συμπύεση των ιζημάτων που ευρίσκονται προς την βάση του πρανούς. Αποτέλεσμα της συμπύεσης αυτής είναι η δημιουργία κάμψεων και πτυχώσεων των στρωμάτων που ευρίσκονται κυρίως στην βάση του πρανούς.

Παρόμοιες δομές παρατηρούνται σε διάφορα επίπεδα της σεισμικοστρωματογραφικής κολώνας των ιζημάτων, δηλαδή τόσο στα επιφανειακά (σύγχρονα) στρώματα όσο και στα κατώτερα (παλαιότερα). Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι τα φαινόμενα αστάθειας και ολίσθησης/ερπυσμού των σχηματισμών που δομούν το υποθαλάσσιο πρανές είναι διαχρονικά.

Πρόσθετη ένδειξη των φαινομένων ολίσθησης που βρίσκονται σε εξέλιξη στις τουρβιδιτικές αποθέσεις παρέχεται από την διαμόρφωση των ισοπαχών των ιζημάτων αυτών (Εικ. 2B). Οι ισοπαχείς του σχηματισμού αποκλίνουν και συγγλίνουν μεταξύ τους και σε γενικές γραμμές δεν ακολουθούν ομαλή πορεία. Σε περιοχές που απουσιάζουν φαινόμενα υποθαλάσσιων ολισθήσεων οι ισοπαχείς διευθύνονται γενικά παράλληλα προς τις ισοβαθείς. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η ανώμαλη διαμόρφωση των ισοπαχών προδίδει την σημαντική επίδραση των φαινομένων ολίσθησης στην διαδικασία ιζηματογένεσης των τουρβιδιτικών αποθέσεων στο υποθαλάσσιο πρανές της Παναγοπούλας.

Εκτός των τουρβιδιτικών αποθέσεων σαφείς ενδείξεις κατολισθητικών φαινομένων διακρίνονται και στο εσωτερικό των ροών κορημάτων. Ο σεισμικός χαρακτήρας της ενότητας αυτής με την τυπική "χαοτική διαμόρφωση" και την απουσία εσωτερικής δομής είναι αποτέλεσμα των φαινομένων ολίσθησης ή ερπυσμού.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Από την ανάλυση των σεισμικών τομών Air Gun και των τομογραφιών BOOMER, που πραγματοποιήθη-

σαν στο υποθαλάσσιο πρσανές της Παναγοπούλλας, προκύπτει ότι η κυριότερη μορφή ολίσθησης που λαμβάνει χώρα είναι ο ερπυσμός, δεδομένου ότι απουσιάζουν αξιόλογα φαινόμενα επεισοδιακών, βίαιων ολίσθησεων.

Με βάση τα υπάρχοντα στοιχεία για την δομή του υποθαλάσσιου πρσανούς η οροφή του αζουσττικού υποβάθρου, δηλαδή των ασβεστολίθων αφ'ένος και η οροφή των ρωών κορημάτων (βάση των τουρβιδιτικών αποθέσεων) αφ'ετέρου αποτελούν πιθανότατα τις κύριες επιφάνειες, κατά μήκος των οποίων λαμβάνουν χώρα κινήσεις ολίσθησης ή ερπυσμού στο υποθαλάσσιο τμήμα του πρσανούς. Στη βάση του υποθαλάσσιου πρσανούς παρατηρείται συμπίεση και παραμόρφωση των τουρβιδιτικών αποθέσεων και τοπικές αναθλώσεις του πυθμένα, που προκαλούνται από τον ερπυσμό των αποθέσεων του ανώτερου τμήματος του πρσανούς και κατ'έπαιση των πλευρικών κορημάτων του χερσαίου πρσανούς.

Δομές παραμόρφωσης και δευτερεύουσες επιφάνειες κίνησης, που οφείλονται σε φαινόμενα ολίσθησης/ερπυσμού, παρατηρούνται σε ολόκληρη τη σεισμικοστρωματογραφική ζώνη των ιζημάτων, δηλαδή τόσο στα ανώτερα (νεώτερα) όσο και στα κατώτερα (παλαιότερα) στρώματα. Το γεγονός αυτό μας επιτρέπει να συμπεράνουμε ότι τα φαινόμενα αυτά αποτελούσαν συνήθη διεργασία κατά το πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν στην περιοχή της Παναγοπούλλας και συνεχίζουν να είναι σε εξέλιξη σήμερα.

Με έμμεσο τρόπο μπορούμε να υποθέσουμε την πιθανή σχέση μεταξύ των επιφανειών ολίσθησης στο υπόστρωμα του υποθαλάσσιου και του χερσαίου πρσανούς της Παναγοπούλλας. Από τις μετρήσεις των αποζημιωμένων προκύπτει σαφής ερπυσμός των ανώτερων στρωμάτων του χερσαίου πρσανούς, κυρίως στο τμήμα κατάντι της Νέας Εθνικής Οδού, ο οποίος εντοπίζεται στα πλευρικά κορήματα. Η κίνηση αυτή προφανώς επηρεάζει ή μεταδίδεται στα κορήματα, που συναντώνται στο ανώτερο τμήμα του υποθαλάσσιου πρσανούς και επακόλουθα στις τουρβιδιτικές αποθέσεις.

Επομένως μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το χερσαίο και το υποθαλάσσιο τμήμα του πρσανούς της Παναγοπούλλας λειτουργούν με ενιαίο τρόπο και αλληλοεπηρεάζονται. Μία πιθανή ολίσθηση στο χερσαίο τμήμα προκαλεί συνθήκες αστάθειας στις αποθέσεις του παράκτιου και υποθαλάσσιου τμήματος. Αντίστροφα, μία πιθανή υποθαλάσσια ολίσθηση στο πρσανές προκαλεί απώλεια στήριξης των αποθέσεων στα ανάντι και επιταχύνει φαινόμενα κατολίσθησης στο χερσαίο πρσανές.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ: Οι συγγραφείς ευχαριστούν θερμά την εταιρεία **ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Ε.Π.Ε.** και ιδιαίτερα τους **κ. Σ. Παπασπύρου** και **Α. Ρίτσο** για την συνεργασία τους και την άδεια δημοσίευσης στοιχείων της γεωτεχνικής έρευνας του χερσαίου πρσανούς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AMBRASEYS N. & JACKSON J. (1990): Seismicity and associated strain of Central Greece between 1890 and 1988. *Geoph. J. Int.*, 101, p. 663-708.
- ARMJO R., MEYER B., KING G., RIGO A. & PAPANASTASSIOU D. (1996): Quarternary evolution of the Corinth rift and its implications for the late cenozoic evolution of the Aegean. *Geoph. J. Int.*, 126/1, p. 11-53.
- BERNARD P., BRIOLE P., MEYER B., LYON-CAEN H., GOMEZ J.-M., TIBERI C., BERGE C., HATZFELD D., LACHET C., LEBRUN B., DESCHAMPS A., COURBOULEX F., LAROQUE C., RIGO A., MASSONET D., PAPADIMITRIOU P., KASSARAS J., DIAGOURTAS D., MAKROPOULOS K., VEIS G., PAPAIZISI E., MITSAKAKI C., KARAKOSTAS V., PAPADIMITRIOU E. & PAPANASTASSIOU D. (1997): The Ms=6.2, June 15, 1995 Aigion earthquake (Greece): Results of a multidisciplinary study. *J. Seismology*, 1, 131-150.
- BILLIRIS H., PARADISSIS D., VEIS G., ENGLAND P., FEATHERSTONE W., PARSONS B., CROSS P., RANDS P., RAYSON M., SELLERS P., ASHKENAZI V., DAAVISON M., JACKSON J. & AMBRASEYS N. (1991): Geodetic determination of tectonic deformation in Central Greece from 1900 to 1988. *Nature* 350, 124-129.
- BROOKS N. & FERENTINOS G. (1984): Tectonics and sedimentology in the Gulf of Corinth and Zakynthos and Kefallinia channels, western Greece. *Tectonoph.* 101, p. 25-54
- ΓΑΛΑΝΟΠΟΥΛΟΣ Α.Γ., ΔΕΛΗΜΠΑΣΗΣ Ν.Δ. & ΚΟΜΝΗΝΑΚΗΣ Π.Ε. (1966): Θαλάσσιον κύμα εκ κατολίσθησεως άνευ σεισμικής διεγέρσεως. *Ann. Geol. Pays Hell.*, XVI, σελ. 93-110
- FERENTINOS G., PAPAΘΕΟΔΩΡΟΥ Γ. & COLLINS M.B. (1988): Sediment transport processes on an active submarine fault escarpment: Gulf of Corinth, Greece. *Mar. Geol.*, 83, 43-61.
- HEEZEN B.C., EWING M. & JOHNSON L. (1966): The Gulf of Corinth floor. *Deep-Sea Res.*, 13, 381-411.
- KERAUDREN B & SOREL D. (1987): The terraces of Corinth (Greece) - A detailed record of eustatic sea-level variations during the last 500,000 years. *Mar. Geol.* 77, p. 99, 107.

- LYKOUSIS V., PAPANIKOLAOU D., & SAKELLARIOU D. (1997): Geodynamically induced catastrophies of coastal ancient cities in Egialia – W. Korinthiakos Gulf. Proc. Int. Symp. 'Engineering Geology and the Environment', Athens, Vol. 3, p. 3197-3202, Balkema.
- LYKOUSIS V., SAKELLARIOU D. & PAPANIKOLAOU D. (1998): Sequence stratigraphy in the northern margin of the Gulf of Corinth: Implications to Upper Quaternary basin evolution. Bull. Geol. Soc. Greece, 32/2, p. 157-165
- ΠΑΠΑΖΑΧΟΣ Β. & ΠΑΠΑΖΑΧΟΥ Κ. (1989): Οι σεισμοί της Ελλάδας. Εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 356 σ.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Δ., ΧΡΟΝΗΣ Γ., ΛΥΚΟΥΣΗΣ Β., ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ Δ. & ΠΑΠΟΥΔΙΑ Ι. (1997): Νεο-τεκτονική Δομή του Δ. Κορινθιακού Κόλπου και Γεωδυναμικά Φαινόμενα του Σεισμού του Αιγίου. Πρακτ. 5ου Πανελ. Συμπ. Ωκεάνιας & Αλιείας, Τομ. Ι, 415-418.
- ΠΑΡΑΤΗΟΔΟΡΟΥ Γ. & ΦΕΡΕΝΤΙΝΟΣ Γ. (1997): Submarine and coastal sediment failure triggered by the 1995, $M_s = 6.1$ R Aegion earthquake, Gulf of Corinth, Greece. Marine Geology (137)3-4 p. 287-304
- ΤΣΕΛΕΝΤΙΣ Γ.-Α. & ΜΑΚΡΟΠΟΥΛΟΣ Κ. (1986): Rates of crustal deformation in the Gulf of Corinth (Central Greece) as determined from seismicity. Tectonophysics 124, p. 55-66.
- ΤΣΟΦΛΙΑΣ Π. & ΛΟΦΤΟΥΣ Δ.Λ. (1971): Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Ναύπακτος, Κλ. 1:50,000. ΙΓΜΕ Αθήνα