

Γεωτεχνικά Προβλήματα στο Επαρχιακό Οδικό Δίκτυο του Β. Έβρου

Geotechnical Problems in Provincial Road Network of N. Evros Prefecture

(†)ΠΑΠΑΚΥΡΙΑΚΟΠΟΥΛΟΣ, Π. Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Επίκ. Καθηγητής Π.Σ., Δ.Π.Θ.
ΚΟΥΔΟΥΜΑΚΗΣ, Π. Πολιτικός Μηχανικός, Υποψ. Διδάκτορας Τομέα Γεωτεχνικής Μηχανικής Δ.Π.Θ.
ΞΕΙΔΑΚΗΣ, Γ. Αν. Καθηγητής Π.Σ., Δ.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των γεωτεχνικών ερευνών τεσσάρων αστοχιών που εκδηλώθηκαν το χειμώνα του 1998 στο Βόρειο οδικό τμήμα του Νομού Έβρου. Επίσης γίνεται ανάλυση ευστάθειας των κατολισθήσεων - καθιζήσεων και σχολιάζονται τα πιθανά αίτια που προκάλεσαν τις αστάθειες και προτείνονται μέτρα αποκατάστασης. Από τις επιτόπιες παρατηρήσεις και την ανάλυση προέκυψε ότι οι αστοχίες οφείλονται σε θραύση του υπεδάφους θεμελίωσης της οδού, ολίσθηση του πρηνούς ορύγματος της οδού και έντονες καθιζήσεις του σώματος του επιχώματος ως αποτέλεσμα της δομής και της υγρασίας του εδάφους, καθώς και του πλημμελούς σχεδιασμού και κατασκευής των έργων.

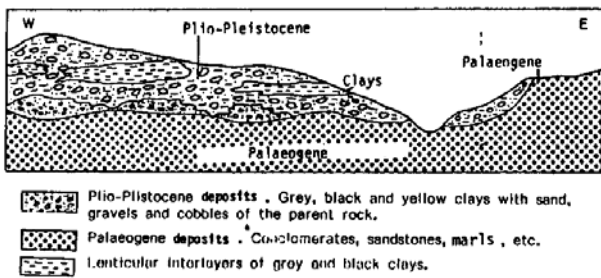
ABSTRACT: In this paper the results of geotechnical investigations of four landslides that occurred in winter 1998 at the Northern part of the Evros Prefecture, NE Greece and affected the local road system are discussed. The stability analyses of the slides are also presented together with the proposed remedial measures. From the field observations, the results of site investigations and the analysis it was concluded that the main factors contributed to ground failures were: the geologic structure and consistency of the ground itself which made of alternations of semi-lithified permeable sand-sandstone layers and silt-clay layers, sometimes with swelling clay minerals. The permeable layers provided the ground water which increased the pore pressure and decreased the strength of the clay layers. Some mal-road constructions have been observed, as well.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο βόρειο τμήμα του Νομού Έβρου και ιδιαίτερα στην περιοχή Διδυμοτείχου - Ορεσιτιάδας εμφανίζονται συχνά φαινόμενα εδαφικών ασταθειών και κατολισθήσεων οι οποίες επηρεάζουν το τοπικό οδικό δίκτυο και όχι μόνο. Αυτό οφείλεται, σε μεγάλο βαθμό, στη σύσταση και στη δομή των εδαφικών σχηματισμών της περιοχής. Γεωλογικά η περιοχή αποτελεί το δυτικό όριο της τεκτονικής λεκάνης της Ευρωπαϊκής Τουρκίας και καλύπτεται από δελταϊκές και ριπιδικές (fan type) αποθέσεις της λεγομένης Θρακικής Αναβαθμίδας, οι οποίες αποτεθήκαν μέσα σε λιμναίο ως υφάλμυρο περιβάλλον. Οι αποθέσεις αυτές αποτελούνται, στα ανώτερα στρώματα, από φακοειδείς ως λεπτοστρωματώδεις ενστρώσεις κροκαλών, χαλικιών, άμμων, ιλύων, αργίλων, μαργών,

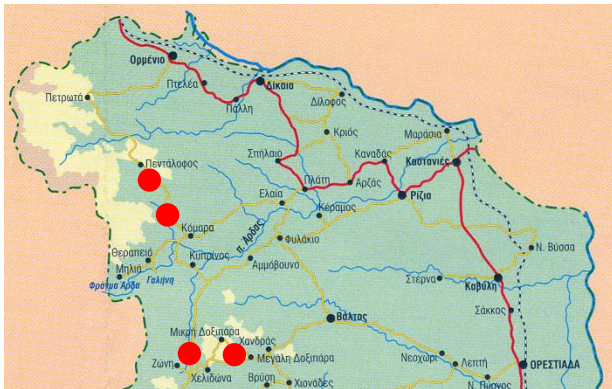
κλπ σε διάφορους συνδυασμούς, πάχη και αναμίξεις. Μερικές στρώσεις είναι ημιλιθοποιημένες ως λιθοποιημένες σχηματίζοντας συμπαγείς ψαμμίτες και μάργες ή μαργαϊκούς ψαμμίτες και ασβεστολίθους, ενώ άλλες είναι περισσότερο χαλαρές και πλούσιες σε διογκούμενα αργιλικά ορυκτά προερχόμενα από τη διάβρωση των περιδοτιτών και ηφαιστιτών της ορεινής ζώνης.

Λόγω της δομής αυτής του εδάφους το υπόγειο νερό εισέρχεται και κυκλοφορεί στις στρώσεις με τα χονδρόκοκκα υλικά αναπτύσσοντας υποπιέσεις, διαβρώσεις, διαλύσεις του συνδετικού υλικού, διασωληνώσεις, κλπ. με αποτέλεσμα την εμφάνιση ασταθειών στην επιφάνεια του εδάφους (καθιζήσεις, κατολισθήσεις, κ.α.)



Σχήμα 1. Σκαρίφημα γεωλογικής τομής των αποθέσεων στην υπό εξέταση περιοχή (Ξειδάκης 1993).

Figure 1. Sketch cross-section of the basin deposits (Xeidakis, 1993).



Σχήμα 2. Περιοχές αστοχιών στο επαρχιακό οδικό δίκτυο του Β. Έβρου.

Figure 2. Region of landslides in the provincial road network of Prefecture of Evros.

2. ΕΙΣΟΔΟΣ ΠΕΝΤΑΛΟΦΟΥ

2.1 Περιγραφή Αστοχίας

Στην Χ.Θ. 4+700 του επαρχιακού δρόμου Κόμαρα - Πεντάλοφος από τη διασταύρωση του χωριού Κόμαρα προς Πεντάλοφο εκδηλώθηκε αστοχία τον Δεκέμβριο του 1998, με βαθύ κύκλο ολίσθησης διαμέσου του υπεδάφους, με πλήρη αστοχία της οδού. Η χάραξη της επαρχιακής οδού διέρχεται σε όρυγμα επί ήπιου φυσικού ανάγλυφου. Η αστοχία ήταν ιδιαίτερα εκτεταμένη, το μήκος της, κατά μήκος του δρόμου, ανέρχεται σε 100 m περίπου, ενώ κατάντη εκτείνεται σε απόσταση που υπερβαίνει τα 250 m. Εκδηλώθηκε με πολλαπλές επιφάνειες ολίσθησης φθάνοντας μέχρι τον πόδα του φυσικού πρανούς στην κοίτη της μισγάγγειας. Η υψομετρική διαφορά μεταξύ της κορυφής του κύκλου ολίσθησης και της κοίτης της μισγάγγειας εκιμήθηκε σε 25 m - 30 m. Παρατηρήθηκε κατακόρυφη μετακίνηση του καταστρώματος της οδού περί τα 3.0 m, ενώ ο άξονας της

οδού είχε μετακινηθεί οριζόντια κατά 2.0 m περίπου, Φωτογραφία 1.



Φωτογραφία 1. Άποψη της αστοχίας στον Πεντάλοφο.

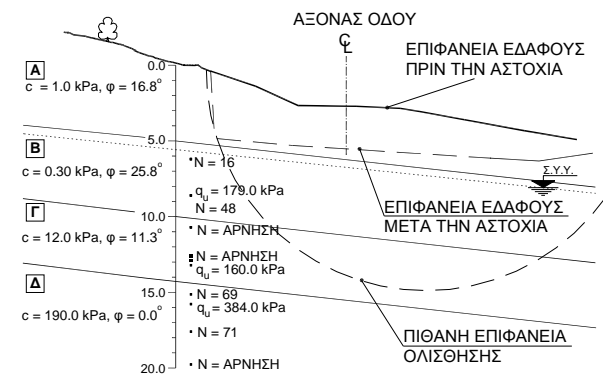
Photo 1. View of the landslide at Pentalofos.

2.2 Γεωτεχνικές Συνθήκες

Οι γεωτεχνικές συνθήκες στην περιοχή της αστοχίας διερευνήθηκαν με την εκτέλεση τριών (3) περιστροφικών δειγματοληπτικών γεωτρήσεων συνολικού βάθους 50.00 m.

Η γεωτεχνική τομή του πρανούς ολίσθησης δίνεται στο Σχήμα 3 και οι φυσικές ιδιότητες των γεωτεχνικών στρώσεων στον Πίνακα 1.

Η στάθμη των υπογείων νερών συναντήθηκε, τη θερινή περίοδο σε βάθος 5.00 m από τη στάθμη του φυσικού εδάφους.



Σχήμα 3. Γεωτεχνική τομή πρανούς ολίσθησης στον Πεντάλοφο.

Figure 3. Geotechnical cross-section of landslide slope at Pentalofos.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά γεωτεχνικών στρώσεων στη θέση της αστοχίας στον Πεντάλοφο.
Table 1. Geotechnical characteristics of the soil layers at Pentalofos slide.

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ	ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΟΡΙΑ ATTERBERG			ΧΑΛΙΚΕΣ (%)	ΑΜΜΟΣ (%)	ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ (%)
		w (%)	W _L (%)	I _p (%)			
(Α) Καστανή άργιλος με άμμο, μέσης πλαστικότητας (CL)	18.1	42.4	21.3	1	26	73	
(Β) Κιτρινοκάστανη αργιλώδης άμμος, μέσης πυκνότητας, πολύ πυκνής απόθεσης (SC)	14.6	29.4	9.6	3	50	47	
(Γ) Κιτρινοκάστανη αμμώδης άργιλος μέσης πλαστικότητας (CL)	16.3	38.7	16.7	1	48	51	
(Δ) Άργιλος πράσινου χρώματος, σκληρή, μέσης πλαστικότητας (CH)	18.8	53.4	25.7	1	11	88	

2.3 Μηχανισμός Εκδήλωσης Αστοχίας

Τα αποτελέσματα της γεωτεχνικής έρευνας, οι τομές υπεδάφους γεωτρήσεων, οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των γεωλογικών σχηματισμών, τα αποτελέσματα των ανάστροφων αναλύσεων (back analyses), καθώς επίσης και οι επιτόπου παρατηρήσεις κατά το χρόνο της μελέτης οδηγούν στις ακόλουθες εκτιμήσεις για τα κύρια αίτια εκδήλωσης της αστοχίας:

α. *Απώλεια στήριξης στον πόδα:* Η αστοχία σύμφωνα με πληροφορίες κατοίκων της περιοχής εκδηλώθηκε σε δύο φάσεις. Στην αρχή εκδηλώθηκε μια μικρή αστοχία στον πόδα του φυσικού πρानού και ακολούθησε μια δεύτερη και μεγαλύτερη στην περιοχή διέλευσης της οδού, λόγω απώλειας στήριξης και αντιβάρου.

β. *Ύπαρξη στρώσης χαμηλής αντοχής:* Ο κύκλος ολίσθησης, όπως προέκυψε από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της γεωτεχνικής έρευνας, διέρχεται σε βάθος 10.00 m - 14.00 m διαμέσου της γεωτεχνικής στρώσης (Γ) της αμμώδους αργίλου (Σχήμα 3).

γ. *Αύξηση της στάθμης των υπογείων νερών:* Δυτικά της αστοχίας, στην περιοχή εκτέλεσης της γεώτρησης Γ2, σε βάθος από 3.00 m έως 7.60 m συναντάται στρώση ιλυώδους άμμου, πυκνής έως πολύ πυκνής απόθεσης, υδροφόρα. Η στρώση αυτή τροφοδοτεί με νερό την περιοχή της ολίσθησης

με αποτέλεσμα την άνοδο της στάθμης των υπογείων νερών αλλά και την αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων του εδάφους. Διαπιστώθηκε δηλαδή ροή υδάτων από τα πρानή προς το κέντρο της μισγάγγειας.

δ. *Επιφανειακή στρώση χαμηλής αντοχής:* Η αστοχία επιταχύνθηκε επίσης από τη δημιουργία ρωγμών στην επιφανειακή στρώση της καστανής αργίλου με άμμο και την πλήρωση αυτών με ρέοντα επιφανειακά νερά, που είχε ως συνέπεια την ανάπτυξη πρόσθετων δυνάμεων ανατροπής του πρανού, λόγω υδροστατικής πίεσης και την βαθμιαία επιφανειακή φθορά και χαλάρωση.

2.4 Προτάσεις μέτρων αποκατάστασης

Κατασκευαστικές προτάσεις μέτρων αποκατάστασης της αστοχίας δεν ήταν δυνατόν να γίνουν λόγω έλλειψης τοπογραφικής αποτύπωσης που να καλύπτει όλη την περιοχή της αστοχίας, με αποτέλεσμα να μην ήταν δυνατός ο έλεγχος ευστάθειας σε βαθιά ολίσθηση διερχόμενη από τον πόδα του πρανού, καθώς επίσης ο σχεδιασμός σε τοπογραφικό διάγραμμα των προτεινομένων μέτρων. Γενικά όμως, η αντιμετώπιση της αστοχίας προτάθηκε να γίνει με κατασκευή αντιβάρου και αντιδιαβρωτικής προστασίας στον πόδα, κατασκευή δικτύου αποστράγγισης και υποβιβασμού των νερών, ενδεχομένως με μηκοτομικό υποβιβασμό της χάραξης, κατασκευή πασσαλότοιχων, κ.α.. Για τη διερεύνηση της αστοχίας σε επίπεδο οριστικής μελέτης προτάθηκε η εκτέλεση συμπληρωματικής γεωτεχνικής έρευνας. Επίσης κρίθηκε αναγκαία η τοποθέτηση αποκλισημέτρων για τον ακριβή προσδιορισμό του βάθους εκδήλωσης της επιφάνειας ολίσθησης.

3. ΧΑΝΔΡΑΣ - ΜΕΓΑΛΗ ΔΟΞΙΠΑΡΑ

3.1 Περιγραφή Αστοχίας

Στον επαρχιακό δρόμο Χανδράς - Μεγάλη Δοξίπαρα στη Χ.Θ. 1+350 από τη διασταύρωση Χανδρά εκδηλώθηκε τον Δεκέμβριο του 1998 αστοχία της επαρχιακής οδού. Η εκδηλωθείσα αστοχία είναι πεταλοειδούς μορφής, με κορυφή στην ανάντη πλευρά της επαρχιακής οδού. Το μήκος της αστοχίας κατά μήκος της οδού ανέρχεται σε 70 m. Ο καθρέπτης της ολίσθησης, στο τμήμα της κύριας ολίσθησης, μήκους περί τα 15 m, είχε ύψος 3.0m περίπου. Ο κώνος της ολίσθησης εκτείνεται κατάντη μέχρι την υ-

φιστάμενη μισγάγγεια. Η κλίση του φυσικού πρανούς, πριν την αστοχία είναι περί τις 18.0°.



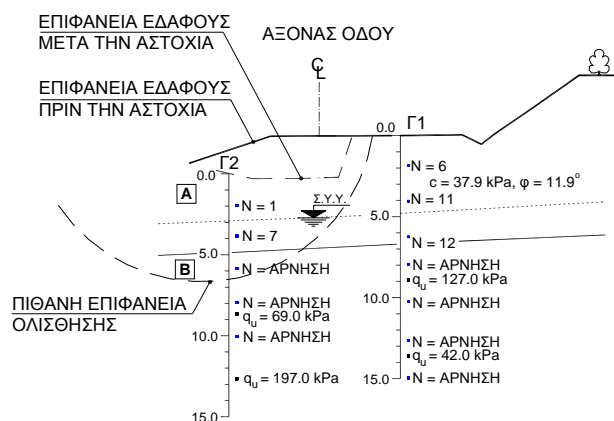
Φωτογραφία 2. Άποψη της αστοχίας στη Δοξίπαρα. Το ύψος του καθρέπτη ολίσθησης ανέρχεται σε 3.0 m
Photo 2. View of the landslide at Doksipara. The height of the (vertical) head is 3.0 m.

3.2 Γεωτεχνικές Συνθήκες

Η διερεύνηση των γεωτεχνικών συνθηκών στην περιοχή της αστοχίας έγινε με την εκτέλεση δύο (2) περιστροφικών δειγματοληπτικών γεωτρήσεων συνολικού βάθους 30.0 m.

Η γεωτεχνική τομή του πρανούς ολίσθησης δίνεται στο Σχήμα 4 και οι φυσικές ιδιότητες των γεωτεχνικών στρώσεων στον Πίνακα 2.

Η στάθμη των υπογείων νερών συναντήθηκε σε βάθος 5.00 m στην περιοχή της γεώτρησης Γ1 και 3.00 m περίπου στην περιοχή της γεώτρησης Γ2, τη θερινή περίοδο.



Σχήμα 4. Γεωτεχνική τομή πρανούς ολίσθησης στη Δοξίπαρα.

Figure 4. Geotechnical cross-section of the landslide at Doksipara.

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά γεωτεχνικών στρώσεων στη θέση της αστοχίας στη Δοξίπαρα.
Table 2. Geotechnical characteristics of the soil layers at Doksipara slide.

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ	ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΟΡΙΑ ATTERBERG			ΧΑΛΙΚΕΣ (%)	ΑΜΜΟΣ (%)	ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ (%)
		w (%)	W _L (%)	I _p (%)			
(A) Καστανοκίτρινη μαλακή άργιλος, μέσης πλαστικότητας (CH)	32.2	53.3	28.2	1	9	90	
(B) Πράσινη άργιλος με λίγη άμμο, μέσης πλαστικότητας (CL)	20.7	44.2	21.0	0	16	84	

3.3 Μηχανισμός Εκδήλωσης Αστοχίας

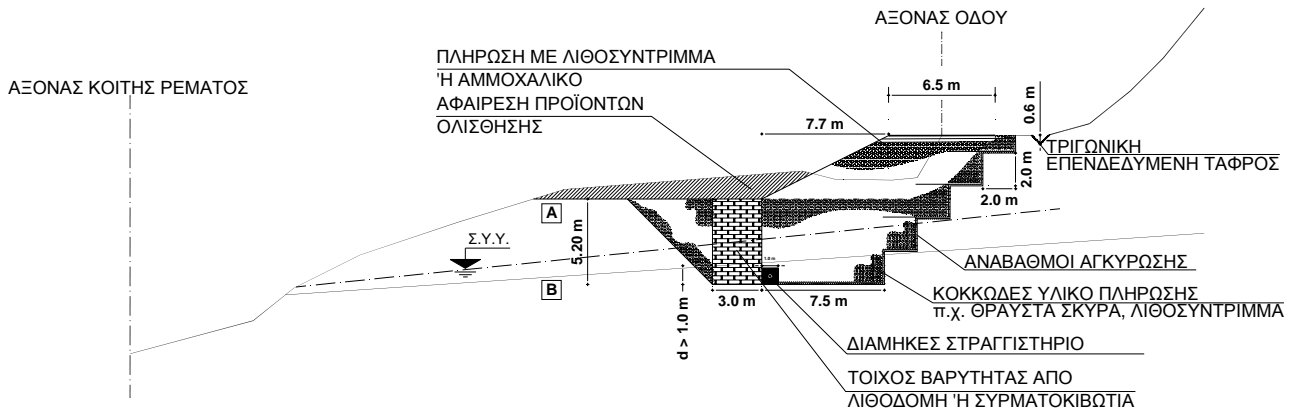
Τα αποτελέσματα της γεωτεχνικής έρευνας, οδηγούν στις ακόλουθες εκτιμήσεις για τα κύρια αίτια εκδήλωσης της αστοχίας:

α. *Υπαρξη στρώσης χαμηλής αντοχής:* Ο κύκλος ολίσθησης, όπως προέκυψε από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της γεωτεχνικής έρευνας, διέρχεται διαμέσου της στρώσης καστανοκίτρινης μαλακής άργιλου, μέσης πλαστικότητας, σε βάθος 6.90 m.

β. *Υψηλή υδροφορία και αμμώδεις ενστρώσεις:* Από τη μακροσκοπική παρατήρηση του ανάντη πρανούς, διαπιστώνεται ότι δομείται από ιλυόλιθο και αργιλόλιθο, έντονα κερματισμένους σε μικρές παγκοειδής στρώσεις, οι οποίες κατά θέσεις καταλήγουν σε αμμώδη, υδροφόρα υλικά. Στην περιοχή υπήρχε βλάστηση και υψηλή υδροφορία, η οποία ήταν ορατή από το διαφορετικό χρώμα των σχηματισμών.

3.4 Προτάσεις μέτρων αποκατάστασης

Προτάθηκε η κατασκευή τοίχου βαρύτητας από λιθοδομή ή συρματοκιβώτια στον πόδα της εκδηλωθείσας ολίσθησης, είτε σε βαθμίδες με λιθοδομή ή συρματοκιβώτια, ξεκινώντας από το όριο της ολίσθησης στην περιοχή της μισγάγγειας. Τα προϊόντα ολίσθησης πρέπει να απομακρυνθούν και να πληρωθεί το πρανές με κοκκώδη υλικά αφού διαμορφωθεί αποστραγγιστική κλίση. Τα μέτρα αντιμετώπισης συμπληρώνονται με την κατασκευή εγκάρσιων στραγγιστηριών, τα οποία θα λειτουργούν παροχετεύοντας τα νερά προς την περιοχή της μισγάγγειας, Σχήμα 5.



Σχήμα 5. Προτεινόμενα μέτρα αποκατάστασης αστοχίας στη Δοξιπάρα.
Figure 5. Proposed stabilization measures for Doksipara's slide.

4. ΧΕΛΙΔΟΝΑ - ΜΕΓΑΛΗ ΔΟΞΙΠΑΡΑ

4.2 Γεωτεχνικές Συνθήκες

4.1 Περιγραφή Αστοχίας

Σε τμήμα προσφάτως κατασκευασθέντος επιχώματος της επαρχιακής οδού Χελιδόνα - Μ. Δοξιπάρα, στην Χ.Θ. 1+000 από την έξοδο του χωριού Χελιδόνα προς Μ. Δοξιπάρα εκδηλώθηκε τον Δεκέμβριο του 1998 αστοχία με βαθύ κύκλο θραύσης. Η αστοχία εκδηλώθηκε με κατακόρυφη μετατόπιση του οδοστρώματος περί τα 1.60 m, ο κύκλος δε της ολίσθησης διέρχεται από τον άξονα του επιχώματος, Φωτογραφία 3.

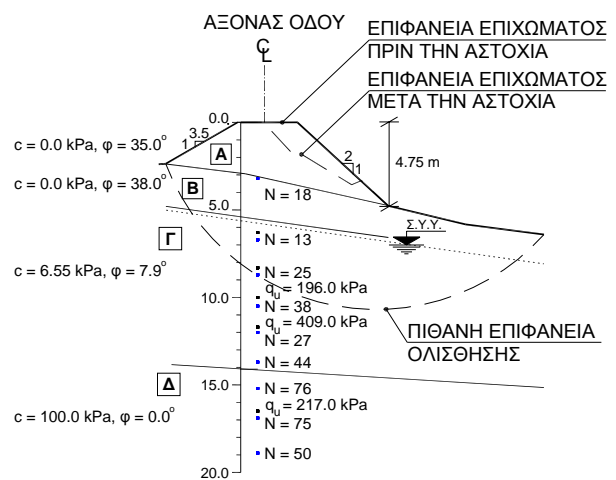
Το μήκος της ολίσθησης κατά μήκος του δρόμου ανέρχεται σε 40 m περίπου, και εκτείνεται κατόντη του πρσανούς σε απόσταση περί τα 30 m. Το ύψος του επιχώματος στην θέση της αστοχίας είναι περί τα 4.80 m.



Φωτογραφία 3. Άποψη της αστοχίας στη Χελιδόνα. Κατακόρυφη μετατόπιση του επιχώματος 1.6 m.

Photo 3. View of the landslide at Helidona. The vertical displacement of the embankment is 1.6 m.

Οι γεωτεχνικές συνθήκες στην περιοχή της αστοχίας διερευνήθηκαν με την εκτέλεση τριών (3) περιστροφικών δειγματοληπτικών γεωτρήσεων συνολικού βάθους 50.20 m. Η γεωτεχνική τομή του πρσανούς ολίσθησης δίνεται στο Σχήμα 6 και οι φυσικές ιδιότητες των γεωτεχνικών στρώσεων στον Πίνακα 3. Η στάθμη των υπογείων νερών συναντήθηκε σε βάθος 5.00 m τη θερινή περίοδο.



Σχήμα 6. Γεωτεχνική τομή πρσανούς ολίσθησης στη Χελιδόνα.

Figure 6. Geotechnical cross-section of the landslide at Helidona.

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά γεωτεχνικών στρώσεων στη θέση της αστοχίας στη Χελιδώνα.
Table 3. Geotechnical characteristics of the soil layers at Helidona slide.

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ	ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΟΡΙΑ ATTERBERG		ΧΑΛΙΚΕΣ (%)	ΑΜΜΟΣ (%)	ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ (%)
		W (%)	WL (%)			
(Α) Αργιλώδες χάλικες με άμμο (GC)	8.73	46.7	26.5	56	21	23
(Β) Αδρομερή υλικά βάσης επιχώματος				97	2	1
(Γ) Κιτρινόχρωμη άργιλος, υψηλής πλαστικότητας (CH)	29.5	63.7	36.1	1	2	97
(Δ) Τεφροπράσινη, με το βάθος πράσινη άργιλος υψηλής πλαστικότητας, σκληρή. Κατά θέσεις σε μορφή σχιστολίθου (CH)	22.6	68.4	37.3	0	1	99

4.3 Μηχανισμός Εκδήλωσης Αστοχίας

Τα αποτελέσματα της γεωτεχνικής έρευνας, οδηγούν στις ακόλουθες εκτιμήσεις για τα κύρια αίτια εκδήλωσης της αστοχίας:

α. **Υπαρξη στρώσης θεμελίωσης χαμηλής φέρουσας ικανότητας:** Ο κύκλος ολίσθησης, όπως προκύπτει από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της γεωτεχνικής έρευνας, διέρχεται διαμέσου στρώσης κιτρινόχρωμης αργίλου, υψηλής πλαστικότητας, σε βάθος περί τα 6.0 m έως 8.0 m. Τα αποτελέσματα των ανάστροφων αναλύσεων βρίσκονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών, οδηγούν δε στην επιλογή, γωνίας εσωτερικής τριβής $\phi' = 7.9^\circ$ και συνοχής $c' = 6.55$ kPa.

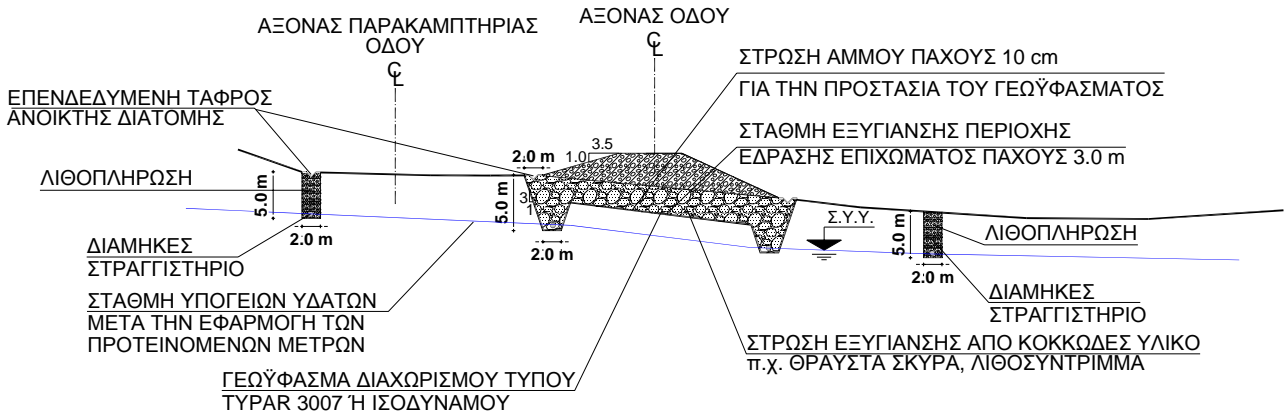
β. **Αύξηση της στάθμης των υπογείων νερών:** Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων, διαπιστώθηκε στάθμη υπογείων νερών σε βάθος 1.80 m από την επιφάνεια του φυσικού εδάφους. Οι υπολογισμοί ανάστροφων αναλύσεων έδωσαν συντελεστή ασφαλείας $S.F. = 0.99$, για στάθμη υπογείων νερών αυξημένη κατά $\Delta h_w = + 0.70$ m, από τη στάθμη που βρέθηκε κατά την περίοδο εκτέλεσης των γεωτρήσεων.

γ. **Ακατάλληλα υλικά κατασκευής:** Τα υλικά κατασκευής του σώματος του επιχώματος και της εξυγίανσης, σε βάθος μέχρι 5.70 m χαρακτηρίζονται ως αργιλώδεις χάλικες με άμμο τα οποία θεωρούνται μάλλον ακατάλληλα για το συγκεκριμένο επίχωμα.

4.4 Προτάσεις μέτρων αποκατάστασης

Για την αποκατάσταση της αστοχίας προτάθηκαν τα ακόλουθα (Σχήμα 7):

- Κατασκευή σκάφης εξυγίανσης πάχους 3.00 m, αποτελούμενη από:
 - Γεωφάσμα διαχωρισμού, ώστε να εξασφαλισθεί η στρώση εξυγίανσης από διείσδυση λεπτόκοκκου αργιλικού υλικού.
 - Στρώση άμμου πάχους 10 cm για προστασία του γεωφάσματος από διάτρηση κατά την κατασκευή της στρώσης εξυγίανσης.
 - Στρώση εξυγίανσης από κοκκώδες υλικό, απηλλαγμένο λεπτόκοκκου κλάσματος.
- Κατασκευή στραγγιστηρίων, στον πόδα του ανάντη και του κατόντη πρανούς καθ' όλο το μήκος του επιχώματος, περί τα 240 m, σε βάθος 5.0 m. Τα διαμήκη στραγγιστήρια διαμορφώνονται στην επιφάνεια με τάφρο συλλογής όμβριων νερών, επενδεδυμένη ανοιχτής διατομής.



Σχήμα 7. Προτεινόμενα μέτρα αποκατάστασης αστοχίας στη Χελιδώνα.
Figure 7. Proposed stabilization measures at Helidona.

5 ΕΞΟΔΟΣ ΚΟΜΑΡΩΝ

5.1 Περιγραφή Αστοχίας

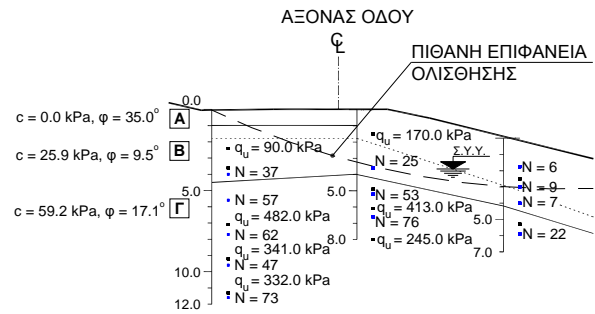
Σε τμήμα του επαρχιακού δρόμου Κόμαρα - Πεντάλοφος, στη Χ.Θ. 1+200 περίπου από την έξοδο των Κομάρων, όπου η χάραξη διέρχεται σε όρυγμα με ήπια κλίση ($\alpha = 1^\circ$, $\beta = 6^\circ$) φυσικού αναγλύφου, εκδηλώθηκε τον Δεκέμβριο του 1998 αστοχία, λοξή ολίσθηση προς τα κατάντη. Η ολίσθηση ήταν πεταλοειδούς μορφής, με κορυφή στην ανάντη πλευρά της επαρχιακής οδού, σχημάτιζε λαιμό στο ύψος του δρόμου και εκτεινόταν προς τα κατάντη. Το μήκος της ολίσθησης κατά μήκος του δρόμου δεν υπερέβαινε τα 100 m και εκτεινόταν όμως προς τα κατάντη σε μήκος 50 m περίπου. Στο άκρο της ολίσθησης προς τα κατάντη, παρατηρείται ανύψωση του φυσικού εδάφους από 0.50 m έως 2.00 m. Το βάθος των ρωγμών εφελευσμού που σχηματίστηκαν στον παρακείμενο αγρόκτημα ξεπερνάν το 0.50 m.



Φωτογραφία 4. Άποψη της αστοχίας στα Κόμαρα. Ανύψωση του φυσικού εδάφους στον πόδα της αστοχίας περί το 1.5 m.
Photo 4. View of the landslide at Komara. The vertical heave of the slide's toe was about 1.5 m.

5.2 Γεωτεχνικές Συνθήκες

Οι γεωτεχνικές συνθήκες στην περιοχή της αστοχίας διερευνήθηκαν με την εκτέλεση τεσσάρων (4) περιστροφικών δειγματοληπτικών γεωτρήσεων συνολικού βάθους 40.00 m. Η γεωτεχνική τομή του πρσανούς στην ολίσθηση δίνεται στο Σχήμα 8 και οι φυσικές ιδιότητες των γεωτεχνικών στρώσεων στον Πίνακα 4. Η στάθμη των υπογείων νερών συναντήθηκε σε βάθος 2.00 m κατά τη θερινή περίοδο.



Σχήμα 8. Γεωτεχνική τομή πρσανούς ολίσθησης στα Κόμαρα.

Figure 8. Geotechnical cross - section of the landslide at Komara.

Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά γεωτεχνικών στρώσεων στη θέση της αστοχίας στα Κόμαρα.

Table 4. Geotechnical characteristics of the soil layers at Komara slide.

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ	ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΟΡΙΑ ATTERBERG			ΧΑΛΙΚΕΣ (%)	ΑΜΜΟΣ (%)	ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ (%)
		w (%)	W _L (%)	I _p (%)			
(Α) Αμμοχάλικο (Υλικά οδοστρωσίας)							
(Β) Καστανή διογκούμενη άργιλος με άμμο, μέσης πλαστικότητας (CL)	21.83	40.7	21.4	1	25	74	
(Γ) Καστανή, κατά θέσεις πρασινόχρωμη σκληρή άργιλος με άμμο μέσης πλαστικότητας (CL)	16.34	44.8	24.2	0	22	78	

5.3 Μηχανισμός εκδήλωσης αστοχίας

Τα αποτελέσματα της γεωτεχνικής έρευνας, οδηγούν στις ακόλουθες εκτιμήσεις για τα κύρια αίτια εκδήλωσης της αστοχίας:

α. *Υπαρξη στρώσης χαμηλής αντοχής*: Ο κύκλος ολίσθησης, όπως προέκυψε από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της γεωτεχνικής έρευνας, διέρχεται διαμέσου της διογκούμενης καστανής άργιλου, σε βάθος 4.00 m - 4.50 m και εκδηλώνεται με αβαθείς επιφάνειες στο πρσανές του φυσικού αναγλύφου. Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών δοκιμών και των αποτελεσμάτων των δοκιμών αναστροφών αναλύσεων προκύπτει γωνία εσωτερικής τριβής, ίση με $\phi' = 9.5^\circ$.

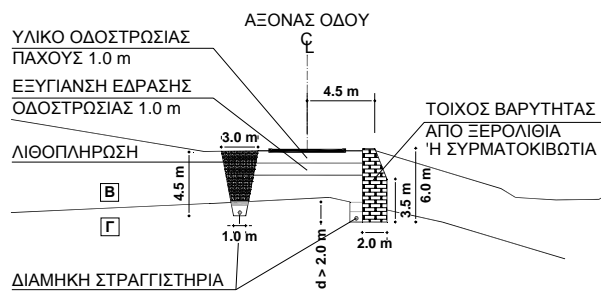
β. *Υπαρξη διογκούμενης αργίλου:* Οι αργιλικόι σχηματισμοί είναι διογκούμενοι με τάσεις διόγκωσης, όπως προέκυψαν από δοκιμές σταθερού όγκου κατά A.S.T.M. 4546, Μέθοδος C, που κυμαίνονται από $S.P. = 9.0$ kPa έως 279 kPa. Η υπολογισθείσα διόγκωση είναι της τάξης του 1.0 m, για ακόρεστες συνθήκες της γεωτεχνικής στρώσης Β. Το ιδιαίτερα υψηλής πλαστικότητας και αργιλικής σύστασης υλικό συρρικνώνεται κατά τις ξηρές περιόδους εμφανίζει εφελκυστικές ρωγμές σε δυσμενείς για την ευστάθεια του πρσανούς διευθύνσεις. Η δημιουργία ρωγμών συρρίκνωσης και η πλήρωση αυτών με ρέοντα επιφανειακά βρόχινα νερά, καθώς επίσης και η ευαισθησία σε διόγκωση έχει ως αποτέλεσμα την βαθμιαία υποβάθμιση της αντοχής του εδάφους, τη χαλάρωση των επιφανειακών στρωμάτων και την αστοχία τους.

γ. *Μεταβολή της στάθμης των υπογείων νερών:* Στην περιοχή υπάρχει υψηλή υδροφορία, κάτι που διαπιστώθηκε και από την εκτελεσθείσα έρευνα πεδίου αλλά ενισχύεται και από την πυκνή βλάστηση στην περιοχή. Η στάθμη των υπογείων νερών, βρέθηκε σε βάθος 1.80 m τη θερινή περίοδο. Η αυξομείωση της στάθμης των υπογείων νερών ανάλογα με τη χρονική περίοδο και το υψηλό δυναμικό διόγκωσης της γεωτεχνικής στρώσης Β, επηρεάζουν καθοριστικά την ευστάθεια των πρσανών της περιοχής. Οι υπολογισμοί ανάστροφων αναλύσεων, έδωσαν συντελεστή ασφαλείας $S.F. = 0.99$, για στάθμη υπογείων νερών αυξημένη κατά $\Delta h_w = + 0.80$ m, από τη στάθμη που βρέθηκε κατά την περίοδο εκτέλεσης των γεωτρήσεων.

5.4 Προτάσεις μέτρων αποκατάστασης

Για την αποκατάσταση της αστοχίας και με κριτήριο, τη θεμελίωση της οδού σε υγιές υπέδαφος και την προστασία του πρσανού από την υψηλή υδροφορία της περιοχής προτάθηκαν τα ακόλουθα μέτρα (Σχήμα 9):

- κατασκευή στραγγιστηρίου βάθους 5.0 m περίπου κατά μήκος της οδού
- κατασκευή τοίχου βαρύτητας κατόντη της οδού σε βάθος 6.0 m περίπου
- εξυγίανση της περιοχής έδρασης της οδοστρωσίας σε βάθος 1.0 m περίπου.
- κατασκευή διαμήκους στραγγιστηρίου κατόντη της οδού, όπισθεν του τοίχου βαρύτητας και σε βάθος 5.0 m, περίπου.



Σχήμα 9. Προτεινόμενα μέτρα αποκατάστασης της αστοχίας στα Κόμαρα.

Figure 9. Proposed stabilization measures for Komara slide.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από όσα περιγράφηκαν προηγούμενα συμπεραίνεται ότι κύριες αιτίες των ασταθειών στην υπό εξέταση περιοχή είναι:

- η γεωλογική δομή και η σύσταση του εδάφους. Η περιοχή δομείται από εναλλαγές αργιλικών στρώσεων με χαμηλές γεωτεχνικές παραμέτρους και υδροφόρων ψαμμιτοαμμωδών ενστρώσεων. Οι ψαμμιτοαμμώδεις στρώσεις τροφοδοτούν με νερό το υπέδαφος αυξάνοντας τη στάθμη των υπογείων νερών και την πίεση του νερού των πόρων και μειώνοντας την αντοχή των αργιλικών στρώσεων. Πολλές από τις αργιλικές στρώσεις περιέχουν και μεγάλες ποσότητες διογκούμενων αργιλικών ορυκτών και τις καθιστούν ιδιαίτερα ευάλωτες στην αυξομείωση της υγρασίας.
- ο σχεδιασμός και η κατασκευή των έργων στα εδάφη αυτά πρέπει να προσαρμόζεται στην εκάστοτε δομή και γεωτεχνική συμπεριφορά του εδάφους θεμελίωσης (στραγγίσεις, εξυγιάνσεις)
- τα υλικά κατασκευής των επιχωμάτων και των εξυγιάνσεων είναι μερικές φορές ακατάλληλα, με υψηλή πλαστικότητα και χαμηλά γεωτεχνικά χαρακτηριστικά.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Παπακυριακόπουλος, Π. (2000), "Αντιμετώπιση Κατολισθήσεων στο Επαρχιακό Οδικό Δίκτυο Ν. Έβρου", Νομαρχιακό Διαμέρισμα Έβρου, Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών.
- Xeidakis, G. S. (1993), "Swelling soils in Thrace, Northern Greece: Origins and Properties", Geotechnical Engineering of Hard Soils-Soft Rocks, Anagnostopoulos et al. (eds), Balkema, Rotterdam.

