

Υλικά Κατολίσθησης Χαμηλής Διαπερατότητας με Υποστράγγιση – Παραδείγματα από τον Ελλαδικό Χώρο

Low Permeability Landslide Materials with Underdrainage – Examples from Greece

ΜΠΑΡΔΑΝΗΣ, Μ. Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π., MSc/DIC, Υποψ. Διδ. Ε.Μ.Π., ΕΔΑΦΟΣ Ε.Π.Ε.
ΝΤΟΥΝΙΑΣ, Γ. Δρ Πολιτικός Μηχανικός, ΕΔΑΦΟΣ Ε.Π.Ε.
ΚΑΒΟΥΝΙΔΗΣ, Σ. Δρ Πολιτικός Μηχανικός, ΕΔΑΦΟΣ Ε.Π.Ε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Υλικά κατολισθήσεων που έχουν μετακινηθεί σημαντικά καλύπτουν ορισμένες φορές παλαιές κοίτες ποταμών ή άλλους διαπερατούς σχηματισμούς με αποτέλεσμα την ανάπτυξη μιας ιδιαίτερης μορφής της κατανομής της πίεσης πόρων με το βάθος εντός των υλικών κατολίσθησης, η οποία οφείλεται στην υποστράγγισή τους από τη θαμμένη διαπερατή στρώση. Παρουσιάζονται δύο παραδείγματα κατολισθήσεων που τμήμα τους υπέρκειται διαπερατών στρώσεων, ο τρόπος τεκμηρίωσης της παρουσίας της κατανομής της πίεσης πόρων εντός αυτών, και αποτελέσματα προσομοίωσης της ανάπτυξης τέτοιων κατανομών συναρτήσει της κατείδυσης στην επιφάνεια και της μεταβολής του συντελεστή διαπερατότητας με το βάθος μέσα στη μάζα τους.

ABSTRACT : Landslide materials often cover permeable materials lying downhill of the landslides. As a result the downhill part of the landslide is underdrained, i.e. a perched water table is established in the low permeability landslide material with the hydrostatic distribution of pore pressure developing from the buried permeable materials and below. Two examples of landslides where their downhill part was found to be underdrained are presented, along with the methods to identify the existence of such pore pressure regimes and the results of numerical simulations of these.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Παλαιοκατολισθήσεις μεγάλου μεγέθους με σημαντικές μετακινήσεις από τον χρόνο εκδήλωσής τους οδηγούν ορισμένες φορές στην κάλυψη διαπερατών σχηματισμών από τα υλικά κατολίσθησης. Αυτοί μπορεί να είναι σχηματισμοί διαπερατών πετρωμάτων ευρισκόμενοι κάτω των κατολισθήσεων κατά τον χρόνο της εκδήλωσής τους ή συχνότερα κοίτες ποταμών που θάβονται από τα υλικά κατολίσθησης με τον ρου των ποταμών να εκτρέπεται από αυτά. Το καθεστώς των πιέσεων πόρων εντός των υλικών κατολίσθησης που υπέρκεινται των διαπερατών σχηματισμών παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε ό,τι αφορά τον εντοπισμό της ύπαρξής του, την τεκμηρίωση της μορφής του (μη γραμμική κατανομή της πίεσης πόρων με το βάθος εντός αυτών) και τη χρησιμοποίησή του σε συνδυασμό με την υποκείμενη διαπερα-

τή στρώση για βελτίωση της ευστάθειας των κατολισθήσεων. Προϋπόθεση για την ανάπτυξη του είναι η χαμηλή πίεση πόρων εντός της υποκείμενης διαπερατής στρώσης, η τροφοδοσία των υπερκείμενων υλικών χαμηλής διαπερατότητας από την επιφάνεια (μεγάλο ύψος βροχής) και η μείωση του συντελεστή διαπερατότητας των υλικών κατολίσθησης με το βάθος (Μπαρδάνης κ.α., 2006). Παρουσιάζονται δύο παραδείγματα κατολισθήσεων που τμήμα της μάζας τους υπέρκειται διαπερατών στρώσεων (η κατολίσθηση Μ. Περιστερίου και η κατολίσθηση Πρινοτόπων κατά μήκος της Εγνατίας Οδού), ο τρόπος τεκμηρίωσης της παρουσίας της ιδιαίτερης κατανομής πίεσης πόρων μέσα στη μάζα τους από στοιχεία γεωτρήσεων και πιλοτικές διατάξεις αποστράγγισης, όπως και προσομοιώσεις των κατανομών πίεσης πόρων εντός των υλικών κατολίσθησης.

2. Η ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ ΣΤΟ Μ. ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ (ΤΜΗΜΑ 3.1B ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ)

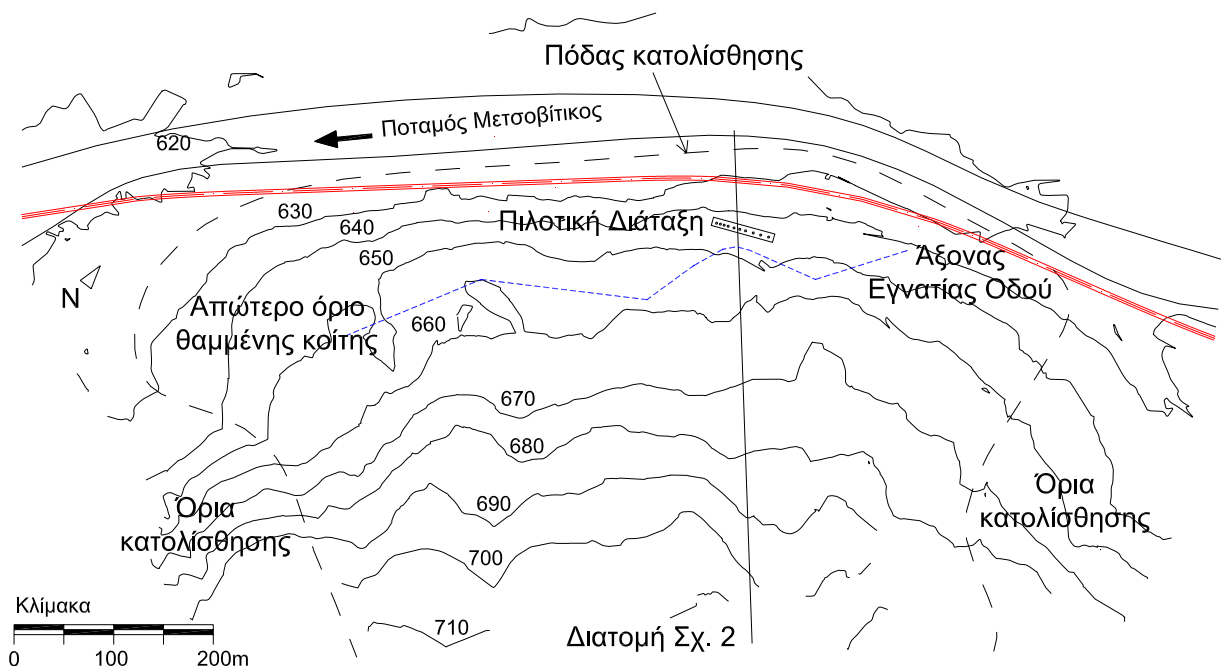
Το Τμήμα 3.1 της Εγνατίας Οδού εκτείνεται κατά μήκος της κοιλάδας του Ποταμού Μετσοβίτικου, στη νότια όχθη αυτού μεταξύ των οικισμών Μ. Περιστερίου και Ανθοχωρίου. Έχει μήκος 4.3 km με περίπου 400 m να διέρχονται διά τεχνικών δι' εκσκαφής κι επανεπίχωσης, περίπου 1200 m επί οπλισμένων επιχωμάτων, ενώ στο μέσο του τμήματος χωροθετήθηκε και ανισόπεδος κόμβος για τη σύνδεση της Εγνατίας Οδού με την Παλαιά Εθνική Οδό Ιωαννίνων-Μετσόβου. Η κατασκευή του τμήματος ξεκίνησε το 2000 και ολοκληρώθηκε στο τμήμα από τον ανισόπεδο κόμβο ως τη Σήραγγα Ανθοχωρίου στο τέλος του 2005. Τα έργα κατά μήκος του τμήματος έχουν παρουσιαστεί από τους Καβουνίδη, κ.α. (2003 & 2005).

Η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται από έντονο και ορεινό ανάγλυφο και από την παρουσία του Μετσοβίτικου Ποταμού (το υψόμετρο κυμαίνεται από +620 m έως +800 m). Ανήκει γεωτεκτονικά στην Ιόνια Ζώνη και τη Ζώνη Πίνδου με την επώθηση της Ζώνης Πίνδου επί της Ιόνιας Ζώνης να τέμνει τη χάραξη περί το τέλος του τμήματος, ενώ όλη η χάραξη βρίσκεται κοντά στη ζώνη της επώθησης και επηρεάζεται από αυτήν. Οι σχηματισμοί που εμφανίζονται σαν υπόβαθρο στην περιοχή της χάραξης ανήκουν στο Φλύσχη της Ιονίου Ζώνης και

της Ζώνης Πίνδου. Ο Φλύσχη της Ιόνιας Ζώνης αποτελείται από ιλυολίθους με παρεμβολές φαμμίτων και συμμετοχή κροκαλοπαγών, ενώ σε όλο το μήκος της χάραξης παρεμβάλλονται ασβεστολιθικοί ογκόλιθοι που προέρχονται από τους επωθημένους Τριαδικούς Ασβεστολίθους της Πίνδου, οι οποίοι μαζί με τα ανώτερα μέλη της σειράς δημιούργησαν ένα είδος τεκτονικού «mélange» στην επαφή των δύο ζωνών.

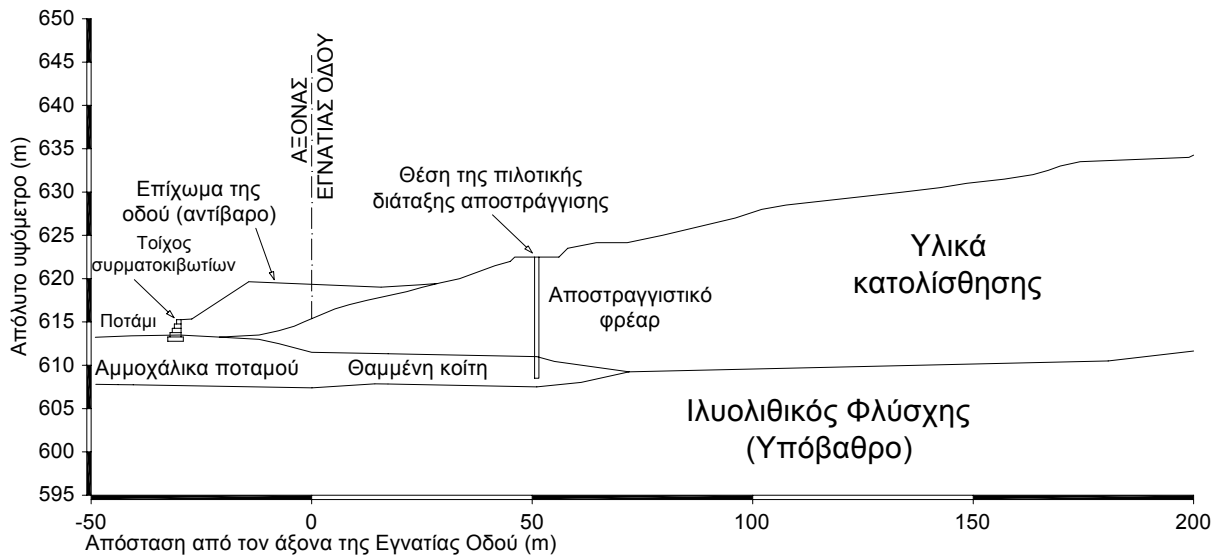
Το τμήμα έχει χωριστεί σε επιμέρους περιοχές. Στην Περιοχή Β εξ αυτών (από Χ.Θ. 1+100 έως Χ.Θ. 1+900) υπάρχει μεγάλη κατολίσθηση (Σχ. 1), στην οποία τα υλικά κατολίσθησης υπέρκεινται βραχώδους υποβάθρου από φλύσχη εκτός από την περιοχή του ποδός που υπέρκεινται παλαιάς κοίτης του Ποταμού Μετσοβίτικου. Οι μετακινήσεις εντοπίζονται σε βάθη που φτάνουν ακόμα και στα 40 m (Σχ. 2). Η Εγνατία Οδός διέρχεται από τον πόδα της κατολίσθησης και για τη βελτίωση της ευστάθειάς της μελετήθηκαν λύσεις που περιλαμβάνουν αντίβαρο και αποστραγγιστικά φρέατα που διαπερνούν τα υλικά κατολίσθησης μέχρι την υποκείμενη παλαιά κοίτη.

Τα υλικά της κατολίσθησης αποτελούνται από αργιλώδη ιλύ έως ιλυώδη άργιλο με όριο υδαρότητας μεταξύ 30% και 45% και δείκτη πλαστικότητας από 13 έως 25. Το ξηρό φαινόμενο βάρος τους κυμαίνεται από 16.8 kN/m³ έως 20.8 kN/m³ και ο λόγος κενών τους από



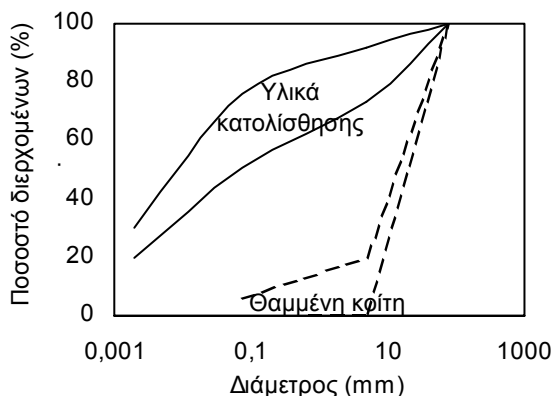
Σχήμα 1. Οριζοντιογραφία της κατολίσθησης Περιστερίου στο Τμήμα 3.1B της Εγνατίας Οδού με τη θέση της πιλοτικής διάταξης αποστράγγισης.

Figure 1. Plan of the Peristeri Landslide at Section 3.1B with the location of the field-testing array.

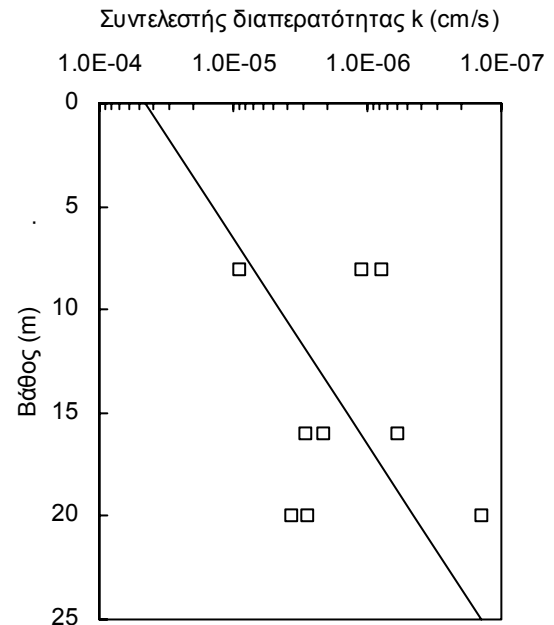


Σχήμα 2. Διατομή της κατολίσθησης Περιστερίου με τα προβλεπόμενα έργα.
Figure 2. Section of the Peristeri Landslide with the works designed.

0.33 έως 0.57. Οι τιμές του συντελεστή διαπερατότητας όπως μετρήθηκε επιτόπου κυμαίνονται από $1.4 \cdot 10^{-9}$ m/s έως $9.0 \cdot 10^{-6}$ m/s. Το ξηρό φαινόμενο βάρος βρέθηκε να αυξάνεται με το βάθος, ενώ ο λόγος κενών και ο συντελεστής διαπερατότητας να μειώνεται με το βάθος. Το υλικό της θαμμένης κοίτης αποτελείται από χονδρόκοκκους χάλικες με άμμο και έχει συντελεστή διαπερατότητάς (όπως μετρήθηκε επιτόπου) από $1.4 \cdot 10^{-5}$ m/s έως $1.7 \cdot 10^{-4}$ m/s. Το εύρος των καμπυλών κοκκομετρικής διαβάθμισης των δύο υλικών παρουσιάζεται στο Σχήμα 3. Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται η κατανομή του συντελεστή διαπερατότητας με το βάθος από τις μετρήσεις και η κατανομή που υιοθετήθηκε στις αναλύσεις.



Σχήμα 3. Εύρος καμπυλών κοκκομετρικής διαβάθμισης υλικών κατολίσθησης και θαμμένης κοίτης.
Figure 3. Range of grain-size distributions for landslide and old river-bed material.



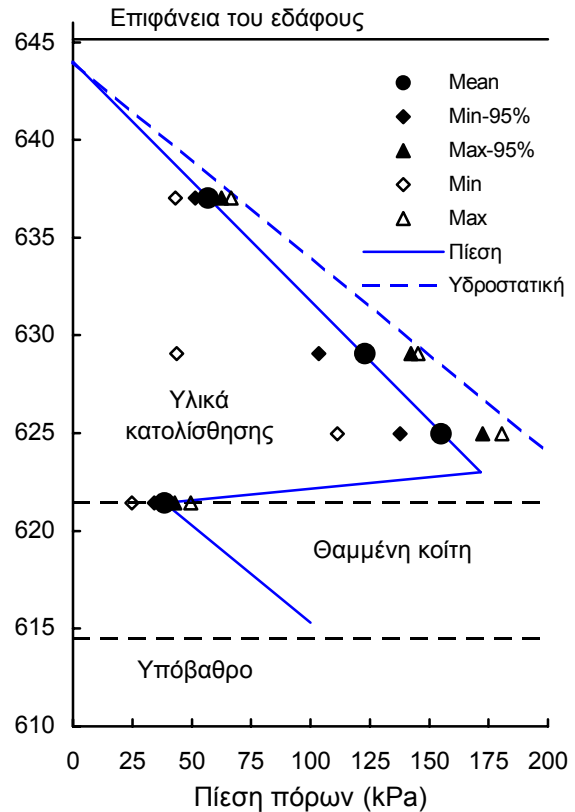
Σχήμα 4. Συντελεστής διαπερατότητας σε διάφορα βάθη (η γραμμή δείχνει την κατανομή των αναλύσεων ΜΠΣ).
Figure 4. Coefficient of permeability at various depths (line shows distribution in FE analyses).

Εκτός από το πρόγραμμα γεωερευνητικών εργασιών στα πλαίσια του οποίου διαπιστώθηκε η παρουσία της θαμμένης κοίτης του Ποταμού Μετσοβίτικου κάτω από τα υλικά κατολίσθησης στον πόδα της κατολίσθησης, υλοποιήθηκε πιλοτική διάταξη αποστράγγισης για την μελέτη της επιρροής αποστραγγιστικών φρεάτων στο καθεστώς των πιέσεων πόρων. Η διάταξη αυτή αποτελείται από 10 αποστραγγιστι-

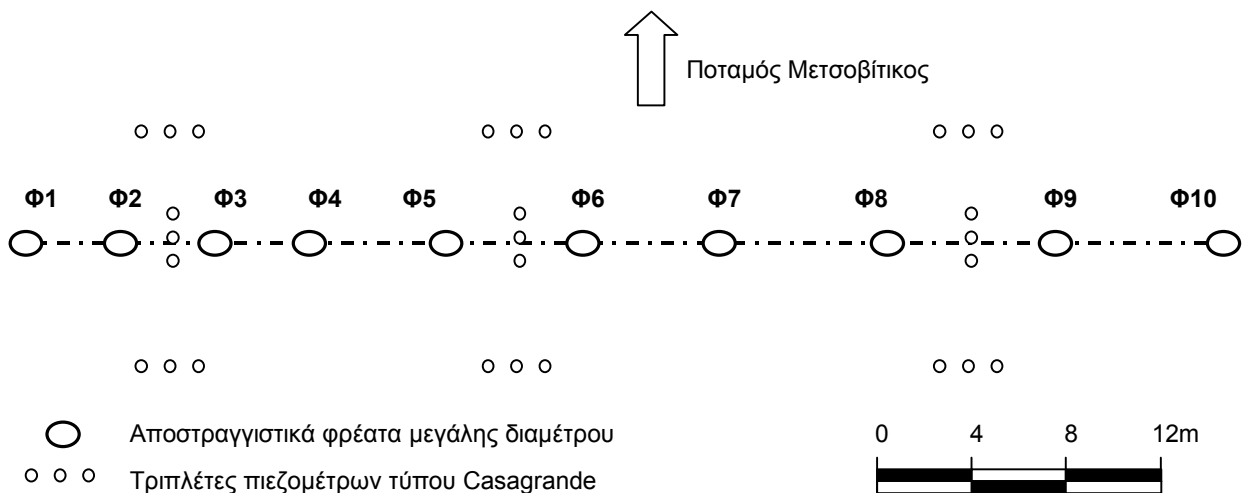
κά φρέατα μεγάλης διαμέτρου και 27 δορυφορικές γεωτρήσεις με πιεζόμετρα τύπου Casagrande σε διάφορα βάθη (Σχ. 5). Οι γεωτρήσεις διανοίχθηκαν πριν τα φρέατα προς αποσαφήνιση του καθεστώτος των υπογείων υδάτων πριν από τη διάνοιξη των φρεάτων. Η διάταξη παρακολούθηθηκε για διάστημα τεσσάρων ετών περίπου. Τα αποτελέσματα δείχνουν κατανομή της πίεσης πόρων με το βάθος που αντιστοιχεί σε υποστραγγιζόμενο υλικό χαμηλής διαπερατότητας με συνεχή κατείσδυση από την επιφάνεια και μειούμενο συντελεστή διαπερατότητας με το βάθος (Σχ. 6). Μετά τη διάνοιξη των φρεάτων παρακολούθηθηκε η εξέλιξη της κατανομής των πιέσεων πόρων με το χρόνο. Από αυτήν διαπιστώθηκε ότι η μείωση της πίεσης είναι τόσο μεγαλύτερη και ταχύτερη, όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος (η στάθμη του υπόγειου ορίζοντα παραμένει στην ίδια ρηχή θέση ως αποτέλεσμα της συνεχούς κατείσδυσης από την επιφάνεια) και όσο μικρότερη είναι η απόσταση των φρεάτων (Bardanis & Dounias, 2004). Εξαιτίας δε της τροφοδοσίας από ανάντη η πίεση πόρων μειώνεται κατάντη της σειράς των φρεάτων μόνο, ενώ ανάντη αυτής παραμένει αμετάβλητη.

Με βάση τα δεδομένα από τις μετρήσεις στα πιεζόμετρα της πιλοτικής διάταξης πριν τη διάνοιξη των φρεάτων αποσαφηνίστηκε η κατανομή της πίεσης πόρων με το βάθος και προέκυψαν τα στοιχεία του Σχήματος 6. Στα πλαίσια της μελέτης της επιρροής του συστήματος αποστράγγισης με κατακόρυφα αποστραγγιστικά φρέατα για τη σταθεροποίηση της κατολίθησης της περιοχής πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων για την προσομοίωση της

εξέλιξης του καθεστώτος των πιέσεων πόρων από την παρουσία των φρεάτων. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της διαπιστωθείσας αρχικής κατάστασης παρουσιάζονται στο Σχήμα 7. Με εισαγωγή της κατανομής του συντελεστή διαπερατότητας με το βάθος που φαίνεται

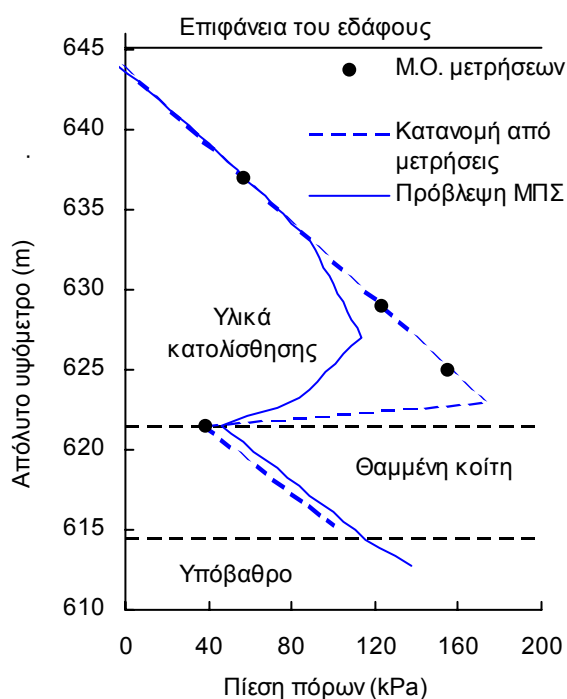


Σχήμα 6. Αρχική κατανομή πίεσης πόρων εντός των υλικών κατολίθησης που υπέρκειται της ποτάμιας αναβαθμίδας.
Figure 6. Initial pore-pressure profile in the landslide mass overlying the old river-bed.



Σχήμα 5. Γεωμετρία της πιλοτικής διάταξης αποστράγγισης στο Τμήμα 3.1B της Εγνατίας Οδού.
Figure 5. Layout of the field testing array in Section 3.1B of Egnatia Highway.

στο Σχήμα 4 και εισαγωγή ενιαίας τιμής κατείδυσης από την επιφάνεια 4.35×10^{-9} m/s (η οποία βρίσκεται πολύ κοντά στη μέση κατείδυση για την περιοχή, όπως προκύπτει από τα βροχομετρικά δεδομένα που παραθέτει ο Σούλης, 1994), προέκυψε η κατανομή της πίεσης πόρων με το βάθος που παρουσιάζεται στο Σχήμα 7. Παρά την παρουσία της επιφάνειας ολίσθησης πολύ κοντά στην διεπιφάνεια υλικών κατολίσθησης-θαμμένης κοίτης, με την επιρροή που αυτή έχει στην πρόβλεψη της έντονης μείωσης της πίεσης πόρων αμέσως πάνω από τη διεπιφάνεια αυτή (Μπαρδάνης κ.α., 2006), επιλέχθηκε να μην εισαχθεί στις αναλύσεις με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων η πολύ μικρότερη διαπερατότητα της ελλείπει εργαστηριακών αποτελεσμάτων που να την τεκμηριώνουν.



Σχήμα 7. Κατανομή πίεσης πόρων από τις μετρήσεις και τις προβλέψεις με τη ΜΠΣ.
Figure 7. Measured and predicted by FE analyses initial pore-pressure profile.

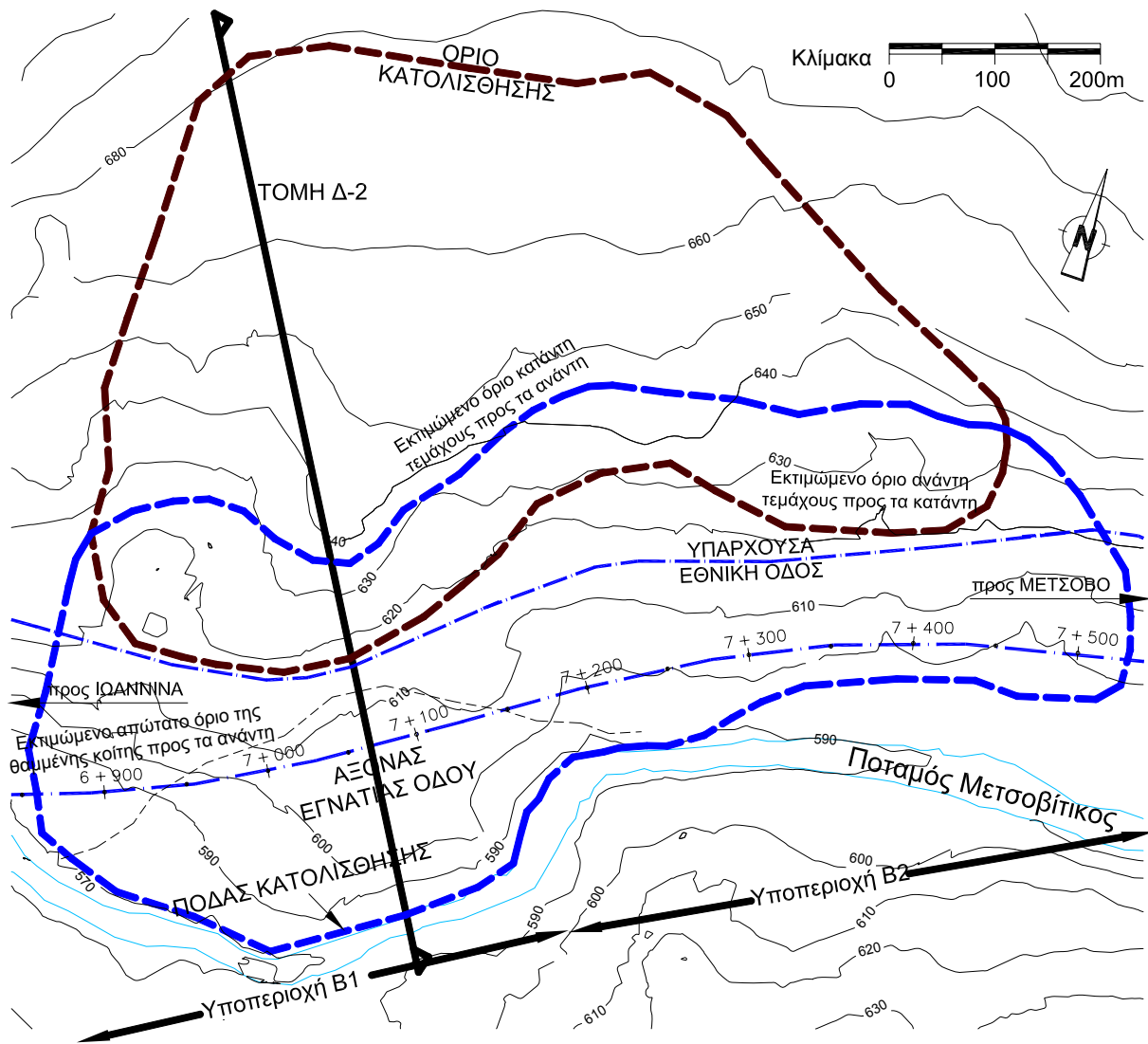
3. Η ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ ΣΤΑ ΠΡΙΝΟΤΟΠΑ (ΤΜΗΜΑ 2.4B ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ)

Το Τμήμα 2.4 της Εγνατίας Οδού από Χ.Θ. 6+380 έως Χ.Θ. 9+110 εκτείνεται κατά μήκος της κοιλάδας του Ποταμού Μετσοβίτικου, στη βόρεια όχθη αυτού από τη Σήραγγα Τ8 έως το σημείο διέλευσής του στη νότια όχθη περί την Χ.Θ. 8+350. Η ευρύτερη περιοχή του βόρειου πρηνούς του Ποταμού Μετσοβίτικου στη θέση

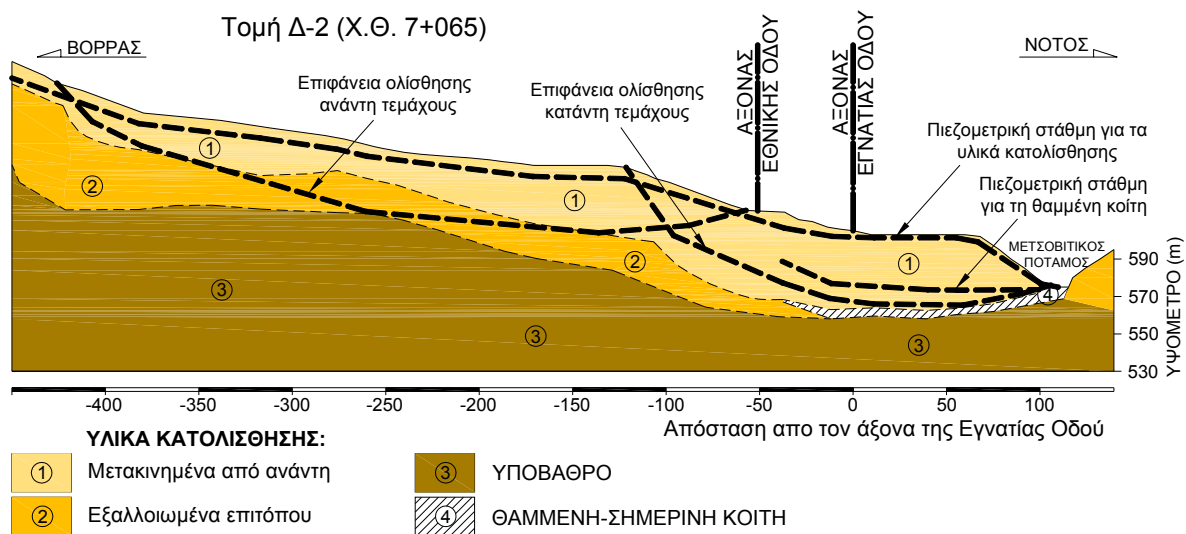
αυτή καλύπτεται από υλικά κατολίσθησης με τους υγιείς σχηματισμούς του υποβάθρου να εμφανίζονται στα ανώτερα τοπογραφικά σημεία του πρηνούς. Αυτοί αποτελούνται από τον Φλύσχη της ζώνης της Πίνδου και της Ιονίου με την επώθηση του πρώτου επί του δεύτερου να αποτελεί το κύριο τεκτονικό γεγονός της περιοχής.

Το τμήμα έχει χωριστεί σε επιμέρους περιοχές. Στην Περιοχή Β εξ αυτών (εκτείνεται μεταξύ Χ.Θ. 6+900 και Χ.Θ. 7+500) υπάρχει μεγάλη κατολίσθηση (Σχ. 8), με διαπιστωμένα από μετρήσεις κλισιομέτρων βάθη ολίσθησης που ξεπερνούν τα 40 m (Σχ.9). Η Εγνατία Οδός διέρχεται από τον πόδα της κατολίσθησης και για τη βελτίωση της ευστάθειάς της μελετήθηκαν λύσεις που περιλαμβάνουν αποστραγγιστικά φρέατα που διαπερνούν τα υλικά κατολίσθησης μέχρι την υποκείμενη παλαιά κοίτη, αποστραγγιστικές σήραγγες και χρησιμοποίηση των επιχωμάτων της Εγνατίας Οδού ως αντίβαρα σταθεροποίησης.

Ο πόδας της κατολίσθησης πρακτικά ταυτίζεται με τη βόρεια όχθη του Ποταμού Μετσοβίτικου στην υποπεριοχή Β1 από Χ.Θ. 6+900 έως Χ.Θ. 7+150, όπου καταλήγει με έντονη κλίση (περίπου 1:1) και καταλήγει ομαλά στις πρόσφατες αποθέσεις του Μετσοβίτικου στην υποπεριοχή Β2 από Χ.Θ. 7+150 έως 7+500, όπου καταλήγει με πολύ πιο ήπια κλίση, παραμένοντας ωστόσο ευδιάκριτος. Στο τμήμα του πόδα στην υποπεριοχή Β1 εντοπίζονται μεγάλου μεγέθους ασβεστολιθικοί ογκόλιθοι προερχόμενοι από τα ανώτερα υψόμετρα της νότιας όχθης, οι οποίοι συμβάλλουν με την αντοχή τους στη διαμόρφωση της απότομης κλίσης αλλά και στην προστασία του πόδα από τη διαβρωτική δράση του ποταμού. Στην υποπεριοχή αυτή ο πόδας της κατολίσθησης υπέρκειται θαμμένης κοίτης του ποταμού, πάχους 4.5-6.0 m, η οποία βρίσκεται σημαντικά χαμηλότερα από τη σημερινή κοίτη του ποταμού (~11m) και πολύ χαμηλότερα από την επιφάνεια του εδάφους (ακόμα και 47m χαμηλότερα). Αναγνωρίζεται από τον εντοπισμό ασβεστολιθικών ογκολίθων στη διεπιφάνεια υλικών κατολίσθησης-θαμμένης κοίτης, παρόμοιων με αυτούς που εντοπίζονται στη σημερινή κοίτη του Μετσοβίτικου, απότομη πτώση της πίεσης πόρων όπως και στο Τμήμα 3.1B, ακόμα και μικρά τεμάχια ξύλου που εντοπίζονται ακριβώς εκεί. Το κάτω όριο δε της θαμμένης κοίτης προκύπτει ακριβώς στη συνέχεια του κάτω ορίου των σημερινών υλικών κοίτης ανάντη και κατάντη της υποπεριοχής Β1, ενώ είναι προφανής στην οριζοντιογραφία η εκτροπή του Ποταμού Μετσο-



Σχήμα 8. Οριζοντιογραφία της Κατολίσθησης Πρινοτόπων στο Τμήμα 2.4B της Εγνατίας Οδού.
Figure 8. Plan of the Prinotopa Landslide at Section 2.4B.



Σχήμα 9. Διατομή της Κατολίσθησης Πρινοτόπων.
Figure 9. Section of the Prinotopa Landslide.

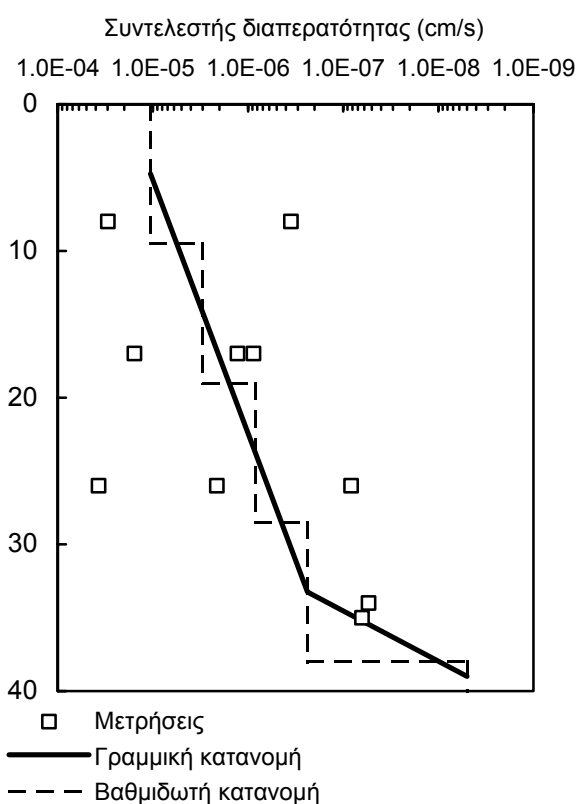
βίτικου από την προηγούμενη του κοίτη λόγω της μετακίνησης της κατολίσθησης. Στο Σχήμα 8 φαίνεται το εκτιμώμενο απώτατο όριο της θαμμένης κοίτης προς τα ανάντη με βάση τα στοιχεία των γεωτρήσεων και στη διατομή του Σχήμα 9 η έκταση της θαμμένης κοίτης. Η κατολίσθηση αυτή καθεαυτή παρουσιάζεται οπισθοδρομική προς τα ανάντη (retrogressive) με δύο τεμάχια να εντοπίζονται, το ανάντη και το κατόντη, και συνεχόμενη επιφάνεια ολίσθησης, αλλά όχι κινηματικά δυνατή για μία ενιαία κατολίσθηση που ενεργοποιήθηκε σε ένα στάδιο.

Τα υλικά της κατολίσθησης αποτελούνται από αμμόδη αργιλοίλυ με όριο υδαρότητας κατά μέσο όρο 40% και δείκτη πλαστικότητας κατά μέσο όρο 21%. Το ξηρό φαινόμενο βάρος τους είναι κατά μέσο όρο 18.5 kN/m^3 και ο λόγος κενών τους κυμαίνεται από 0.24 έως 0.87. Οι τιμές του συντελεστή διαπερατότητας όπως μετρήθηκε επιτόπου κυμαίνονται από $6.3 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ έως $3.7 \times 10^{-7} \text{ m/s}$. Στο Σχήμα 10 παρουσιάζεται η κατανομή του συντελεστή διαπερατότητας με το βάθος και η κατανομή που υιοθετήθηκε στις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν. Το ξηρό φαινόμενο βάρος βρέθηκε να αυξάνεται με το βάθος, ενώ ο λόγος κενών και ο συντελεστής διαπερατότητας να μειώνεται με το βάθος. Το υλικό της θαμμένης κοίτης αποτελείται από χονδρόκοκκους χάλικες με άμμο.

Για την καλύτερη μελέτη της κατανομής της πίεσης πόρων επιλέχθηκε η απεικόνιση των πριωνών σταθμών ισορροπίας εντός των ανοικτών οπών των γεωτρήσεων κατά τη διάτρησή τους υπό τη μορφή πίεσης (ίση με την πίεση που ασκεί η στήλη νερού εντός της ανοικτής οπής). Τα αποτελέσματα αυτά συγκρίθηκαν με τις πιέσεις ισορροπίας εντός πιεζομέτρων τύπου Casagrande που τοποθετήθηκαν στην περιοχή σε διάφορα βάθη (χωρίς οι γεωτρήσεις να τρυπήσουν την υποκείμενη θαμμένη κοίτη) και βρέθηκαν πολύ κοντά (Σχ. 11)

Στα πλαίσια της μελέτης της επιρροής του συστήματος αποστράγγισης με κατακόρυφα αποστραγγιστικά φρέατα για τη σταθεροποίηση της κατολίσθησης της περιοχής πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων για την προσομοίωση της εξέλιξης του καθεστώτος των πιέσεων πόρων από την παρουσία των φρεάτων. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της διαπιστωθείσας αρχικής κατάστασης παρουσιάζονται στο Σχήμα 12. Με εισαγωγή της κατανομής του συντελεστή διαπερατότητας με το βάθος που φαίνεται στο Σχήμα 10 και εισαγωγή ενιαίας τιμής κατείσδυσης από την επιφάνεια 1.3×10^{-9}

m/s (η οποία βρίσκεται πολύ κοντά στη μέση κατείσδυση για την περιοχή, όπως προκύπτει από τα βροχομετρικά δεδομένα που παραθέτει ο Σούλης, 1994), προέκυψε η κατανομή της πίεσης πόρων με το βάθος που παρουσιάζεται στο Σχήμα 12. Σε συμφωνία με τις υποδείξεις των Μπαρδάνη κ.α. (2006) εισήχθη η χαμηλότερη διαπερατότητα της ζώνης της επιφάνειας ολίσθησης και προβλέφθηκε η ραγδαία μείωση της πίεσης πόρων που οφείλεται στην παρουσία της επιφάνειας ολίσθησης πολύ κοντά στη διεπιφάνεια υλικών κατολίσθησης, αφού υπήρχε τεκμηρίωση της παρουσίας της ζώνης αυτής, και από τα στοιχεία των γεωτρήσεων και από τα στοιχεία των εργαστηριακών δοκιμών.

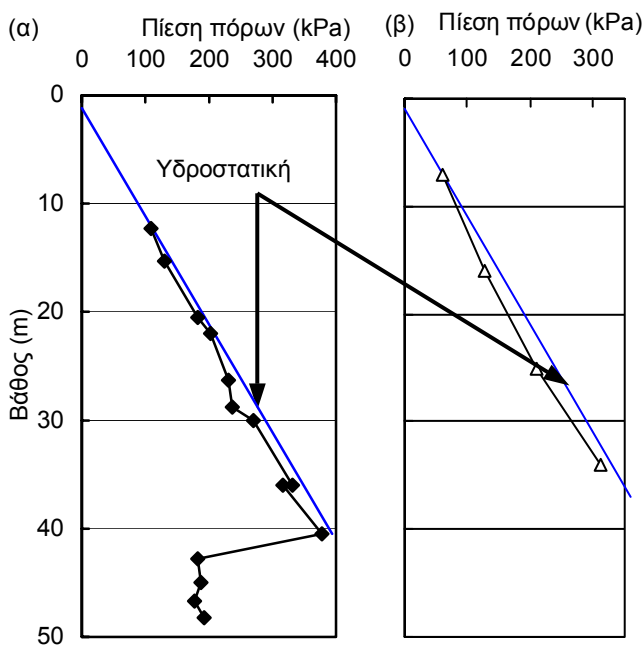


Σχήμα 10. Συντελεστής διαπερατότητας σε διάφορα βάθη (η γραμμή δείχνει την κατανομή των αναλύσεων ΜΠΣ).

Figure 10. Coefficient of permeability at various depths (line shows distribution in FE analyses).

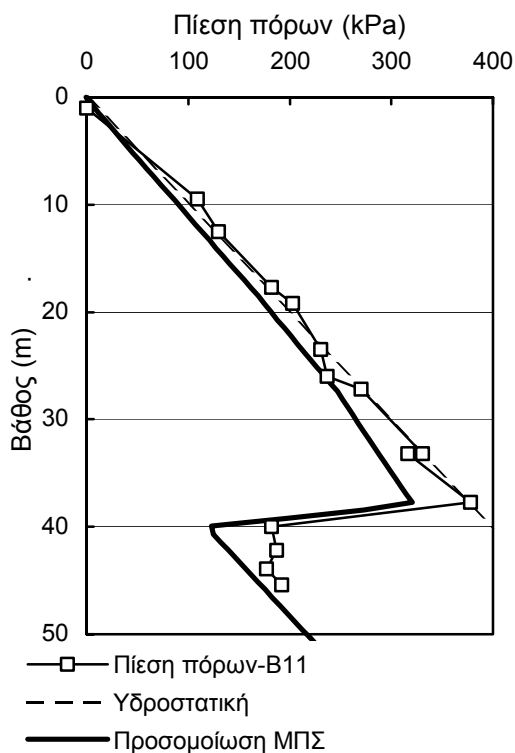
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατείσδυση και συντελεστής διαπερατότητας μειούμενοι με το λόγο κενών (όπως μειώνεται ο ίδιος με το βάθος λόγω της αύξησης της ενεργού τάσης) αποτελούν προϋποθέσεις για την ανάπτυξη (και την επιτυχή πρόβλεψη) κατανομών πίεσης πόρων σε χαμηλής διαπέ-



Σχήμα 11. Κατανομή της πίεσης πόρων με το βάθος, α) από στάθμες εντός γεώτρησης κατά τη διάτρησή της, και β) από πιεζόμετρα τύπου Casagrande σε διάφορα βάθη.

Figure 11. Pore pressure distribution with depth, α) from water levels in a borehole during drilling, and β) from Casagrande type piezometers installed at various depths.



Σχήμα 12. Κατανομή πίεσης πόρων από τις μετρήσεις και τις προβλέψεις με τη ΜΠΣ.
Figure 12. Measured and predicted by FE analyses initial pore-pressure profile.

ρατότητας υλικά που υπέρκεινται υλικών υψηλότερης διαπερατότητας όπως αυτές που απαντώνται στους πόδες των κατολισθήσεων Μ. Περιστερίου και Πρινοτόπων. Στις περιπτώσεις που διαπιστωμένα εντοπίζεται στρώση πιο αδιαπέρατη κατά τον κατακόρυφο άξονα (λόγω διάτμησης), μπορεί να εισαχθεί σε αναλύσεις πεπερασμένων στοιχείων και να συμβάλει στην καλύτερη προσομοίωση των αρχικών κατανομών πίεσης πόρων εντός υλικών κατολίσθησης με υποστράγγιση.

5. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Κύριος του έργου στα Τμήματα 3.1B και 2.4B της Εγνατίας Οδού είναι η «Εγνατία Οδός Α.Ε.» τα στελέχη της οποίας ευχαριστούμε για την καλή συνεργασία. Η ΕΔΑΦΟΣ ΕΠΕ εκπόνησε τη γεωτεχνική αξιολόγηση και την οριστική γεωτεχνική μελέτη για τα δύο τμήματα, το σχεδιασμό των προγραμμάτων γεωτεχνικών ερευνών και πιλοτικών διατάξεων και την επεξεργασία των σχετικών μετρήσεων.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bardanis, M. E. and Dounias, G. T. (2004), "Water pressure profile in a landslide mass overlying a buried river-bed and the effect of large drainage wells", 4th Int. Conf. on Filters & Drainage in Geotech. & Environmental Engng, GEO-Filters 2004, 19th-21st October 2004, Stellenbosch, South Africa.
- Καβουνίδης, Σ., Ντουνιάς, Γ., Μπαρδάνης, Μ. (2003), «Αντιμετωπίζοντας τα ασταθή εδάφη του Τμήματος 3.1 της Εγνατίας Οδού (Μ.Περιστερί-Ανθοχώρι)», Πρ. Επιστ. Δημ. «Γεωλογικά-Γεωτεχνικά Θέματα. Σημασία & Πρόοδος της Εγνατίας Οδού», 13-15 Νοεμβρίου 2003, Ιωάννινα, σελ. 93-103.
- Καβουνίδης, Σ., Ντουνιάς, Γ., Μπαρδάνης, Μ. (2005), «Χαράσσοντας οδούς μέσα από κατολισθήσεις», 2^ο Παν. Συν. Οδοποιίας, Βόλος, 18-20 Μαΐου 2005.
- Μπαρδάνης, Μ., Ντουνιάς, Γ., Καβουνίδης, Σ. (2006), «Αριθμητική προσομοίωση του καθεστώτος των πιέσεων πόρων σε υλικά κατολίσθησης χαμηλής διαπερατότητας με υποστράγγιση», 5^ο Παν. Συν. Γεωτ. & Γεωπ/κής Μηχανικής, Ξάνθη, 31 Μαΐου-2 Ιουνίου 2006.
- Σούλης, Ν. Β. (1994) «Το κλίμα της Ηπείρου», Ιωάννινα, σελ. 315.