



ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ

2ο Πανελλήνιο
Συνέδριο
Οδοποιίας

ΤΕΕ Περιφερειακό
Τμήμα Μαγνησίας

Συνεδριακό Θεσσαλίας
Βόλος
18, 19, 20 Μαΐου
2005

Αστοχία και μέτρα αποκατάστασης πρανών περιφερειακής οδού Λουτρακίου – Περαχώρας, στο Δήμο Λουτρακίου, Ν. Κορινθίας

Α.Α. ΑΝΤΩΝΙΟΥ

Δρ Πολιτικός Μηχανικός, Τομέας Γεωτεχνικής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Ε.Λ. ΛΕΚΚΑΣ

Καθηγητής, Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Λέξεις κλειδιά: κατολίσθηση, ευστάθεια πρανών, άμεσα μέτρα προστασίας

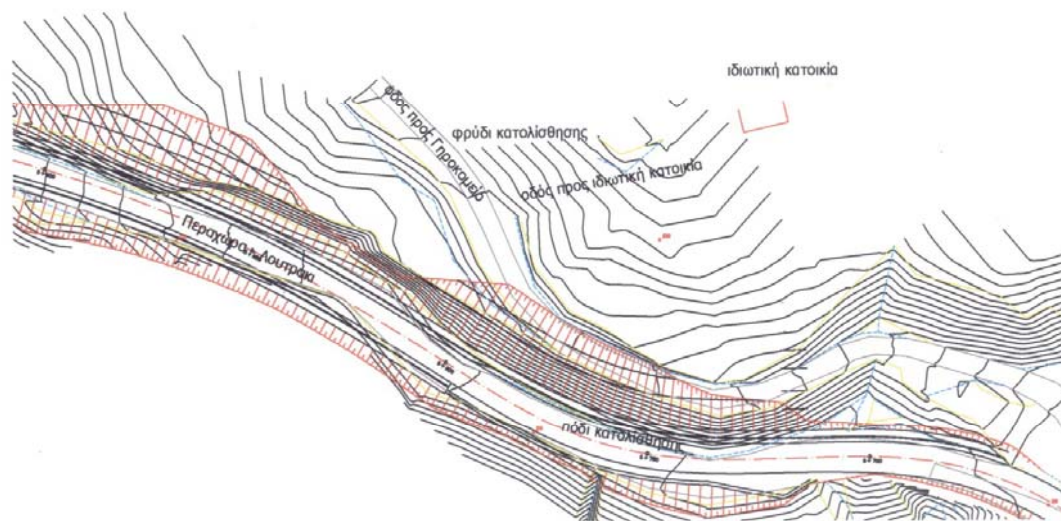
ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην παρούσα εργασία μελετάται η αντιμετώπιση κατολισθητικών φαινομένων σε πρανή της περιφερειακής οδού Λουτρακίου – Περαχώρας. Αρχικά αναπτύσσονται τα τεχνικογεωλογικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής της αστοχίας, ενώ ακολούθως αναπτύσσονται οι επικρατούσες γεωτεχνικές συνθήκες και διαπιστώνονται τα αίτια που οδήγησαν στην αστοχία καθώς και ο μηχανισμός αυτής. Στη συνέχεια εκτιμώνται οι γεωτεχνικές παράμετροι παραμένουσας διατμητικής αντοχής του εδάφους μέσω ανάδρομων αναλύσεων ευστάθειας πρανών πάνω στην προκαθορισμένη επιφάνεια αστοχίας, ενώ ακολούθως αναφέρονται προτεινόμενα μέτρα άμεσης αποκατάστασης της περιοχής αστοχίας.

1 ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ – ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΞΕΤΑΣΗΣ

Το υπό εξέταση τμήμα ανήκει στο οδικό δίκτυο του Νομού Κορινθίας, αφορά δε τον οδικό άξονα Λουτράκι – Περαχώρα και συγκεκριμένα το τμήμα της που παρακάμπτει την πόλη του Λουτρακίου και διέρχεται ανάντη αυτής, μεταξύ των χιλιομετρικών θέσεων 5+700 έως 5+850 στην τοποθεσία Πευκάκια (Αντωνίου & Λέκκας, 2004). Η παρακαμπτήρια οδός έχει γενική διεύθυνση βορειοδυτική – νοτιοανατολική και με ισχυρή κατωφέρεια διασταυρώνεται με την κεντρική παραλιακή οδό που διασχίζει την πόλη, εκτός του αστικού ιστού. Η κατολίσθηση εκδηλώθηκε στα πρανή της οδού παράκαμψης που εκσκάφθηκαν με κλίσεις περίπου 60° σε μέσο υψόμετρο 70m, επηρεάζοντας ταυτόχρονα και δύο ανάντη ευρισκόμενες αυτής οδούς: την οδό για το Γηροκομείο Λουτρακίου καθώς και μια οδό προς ιδιωτική κατοικία.

Ανατολικά της αστοχίας διαμορφώνεται άξονας ρέματος με διεύθυνση βορειοανατολική - νοτιοδυτική, ενώ υπάρχει διασταύρωση με την οδό του Γηροκομείου στη θέση που το ρέμα παροχετεύεται κάτω από αυτή με αγωγό ομβρίων. Στην κεφαλή της κατολίσθησης ο δρόμος για το Γηροκομείο διασταυρώνεται με την ανάντη ιδιωτική οδό βορειοανατολικής διεύθυνσης (Εικ. 1-4).

Από τα γεωμορφολογικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής φαίνεται ότι η αστοχία έλαβε χώρα μέσα σε βύθισμα, που υποδηλώνει ότι και στο γεωλογικό παρελθόν η περιοχή είχε επηρεασθεί από αντίστοιχα φαινόμενα ευρύτερης όμως κλίμακας.



Εικόνα 1: Οριζοντιογραφία της αστοχίας πρανών της παρακαμπτήριας οδού της πόλης Λουτρακίου



Εικόνα 2: Άποψη της αστοχίας πρανών της παρακαμπτήριας οδού της πόλης Λουτρακίου και του πόδα της κατολίσθησης

2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ-ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Η ευρύτερη περιοχή δομείται από ανθρακικούς σχηματισμούς που από τους παλαιότερους προς τους νεότερους είναι οι ακόλουθοι: Λευκότεφροι ασβεστόλιθοι παχυστρωματώδεις, ενίοτε κρυσταλλικοί, ηλικίας Μέσου Τριαδικού – Κατώτερου Ιουρασικού και ανοικτότεφρους ασβεστόλιθους τοπικά δολομιτιομένους με σχιστοψαμμιτοκερατολιθικές διαπλάσεις, ηλικίας Μέσου Ιουρασικού ενώ κατά θέσεις εμφανίζονται οφιολιθικά σώματα αποτελούμενα από διαβάσες, σπηλίτες και σερπεντινωμένους περιδοτίτες (Λέκκας κ.ά. 2000, Νικολάου 2003).

Σχετικά με τις υδρογεωλογικές συνθήκες εννοείται η συγκέντρωση επιφανειακών νερών στο βύθισμα και τα υδροπερατά υλικά των κορημάτων επιτρέπουν την κατείσδυση των νερών και την εμφάνισή τους στην επαφή αυτών με τους σχιστοψαμμιτοκερατολιθικούς σχηματισμούς. Στα πλευρικά όρια της κατολίσθησης η επιφανειακή εμφάνιση των ασβεστόλιθων επιτρέπει την αποστράγγιση των ομβρίων υδάτων.



Εικόνα 3: Άποψη της αστοχίας των οδών προς Γηροκομείο Λουτρακίου και της οδού προς την κατοικία

Η περιοχή έρευνας διατρέχεται από σύστημα ρηγμάτων με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ που ορισμένα χαρακτηρίζονται ενεργά ή πιθανά ενεργά (Παπανικολάου κ.ά., 1998). Ένα άλλο σύστημα ρηγμάτων έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και είναι ανενεργά. Τα δύο αυτά συστήματα έχουν δημιουργήσει και τη μορφολογία της περιοχής.

3 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ - ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Προκειμένου να μελετηθεί η αστοχία των πρανών εκτελέστηκαν τρεις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις βάθους μέχρι 15m. Για την επιλογή του βάθους τους βοήθησε και η παρατήρηση ότι η αστοχία δεν επηρέασε το κατάστρωμα της περιφερειακής οδού.

Από την επισκόπηση των πυρήνων των γεωτρήσεων δημιουργήθηκε το τυπικό γεωτεχνικό προφίλ (Εικ. 5) που αποτελείται από τις ακόλουθες στρώσεις (από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι και το πέρας των γεωτρήσεων):

Στρώση Ι: Αργιλώδης άμμος (SC) με χαλίκια ασβεστολιθικής προέλευσης, μέσης πλαστικότητας και μέσης πυκνότητας έως πυκνή και ογκόλιθους ασβεστολίθου που έχουν εισχωρήσει στη στρώση από τις τεκτονικές διεργασίες των ρηγμάτων της περιοχής. Το πάχος της στρώσης αυτής κυμαίνεται κατά θέσεις από τα 5.00 έως τα 8.00m. Ο αριθμός κρούσεων N της πρότυπης δοκιμής διείσδυσης κυμάνθηκε από 12 έως 73 έως άρνηση διείσδυσης, ενώ η στρώση παρουσιάζει και υψηλή υδατοπερατότητα.

Στρώση II: Αμμώδης άργιλος (CL, CH) με τεμάχια κερατολιθικά και ασβεστολιθικά μικρής έως υψηλής πλαστικότητας, πολύ στιφρή έως σκληρή, κοκκινωπού χρώματος. Το πάχος της στρώσης



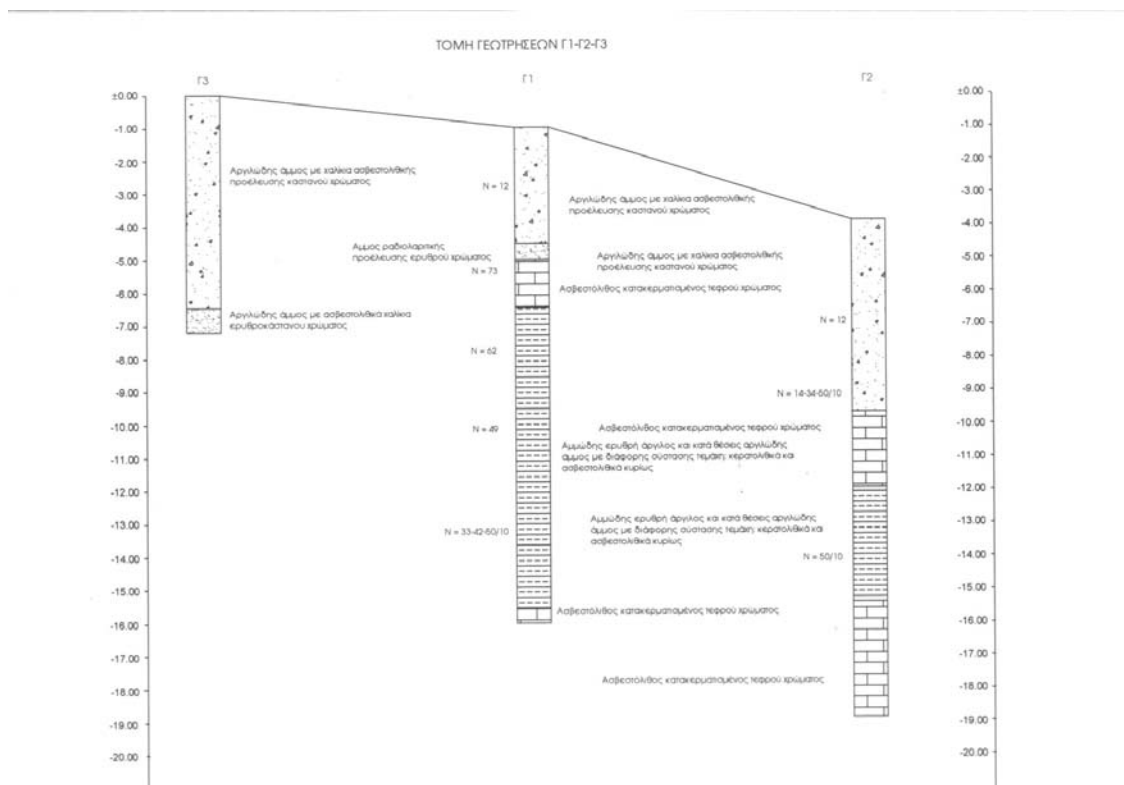
Εικόνα 4: Κατακόρυφη μετακίνηση της τάξης του 1m κοντά στην κεφαλή της ολίσθησης στην οδό προς την ιδιωτική κατοικία

αυτής κυμαίνεται κατά θέσεις από 3.00 έως και 10.00m. Ο αριθμός κρούσεων N της πρότυπης δοκιμής διείσδυσης κυμάνθηκε από 49 έως 62 έως άρνηση διείσδυσης, ενώ η υδατοπερατότητά της είναι χαμηλή.

Στρώση III: Ασβεστόλιθος κατακερματισμένος τεφρού χρώματος, μεγάλου πάχους που αποτελεί και το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής.

Με βάση τα γεωτεχνικά δεδομένα και λαμβάνοντας υπόψη ότι:

- Η κυκλοφορία των υπόγειων υδάτων που βοηθούν στην αστοχία γίνεται κυρίως στην επαφή της μέσης πυκνότητας απόθεσης στρώση I με τη σκληρή υποκείμενη στρώση II,
- Η επιφάνεια αστοχίας στον πόδα της κατολίσθησης τερματίζεται πριν το κατάστρομα της παρακαμπτήριας οδού, ενώ και τα πρανή της στα χαμηλότερα σημεία τους αποτελούνται από υλικά της στρώσης II που έχουν μετακινηθεί λόγω της προοδευτικής αστοχίας μέσα στη στρώση I του ανάντη εδάφους,
- Τη συνεχή ύπαρξη, συγκέντρωση και αδυναμία αποστράγγισης, λόγω χρήσης ασφαλτικού τάπητα χωρίς την ταυτόχρονη κατασκευή του φρεατίου συλλογής και αγωγού ομβρίων για την παροχέτευση των υπόγειων υδάτων προς τα κατάντη και τέλος



Εικόνα 5: Γεωτεχνικές στρώσεις που συναντήθηκαν στις τρεις γεωτρήσεις

- Τις μεγάλες κλίσεις των πρανών της περιφερειακής οδού χωρίς τη χρήση αναβαθμών προκύπτει ότι η επιφάνεια αστοχίας βρίσκεται στα όρια της επαφής των στρώσεων Ι και ΙΙ (μέσο βάθος περί τα 6m).

Για την τεκμηρίωση της μεθοδολογίας αποκατάστασης της ευστάθειας των πρανών σε διάφορες θέσεις και λαμβάνοντας υπόψη ότι έχει ήδη συμβεί αστοχία, ακολουθείται η μεθοδολογία ανάδρομης ανάλυσης με θεώρηση μέγιστου συντελεστή ασφαλείας ίσο με μονάδα ($FS = 1$). Με τον τρόπο αυτό προσδιορίζονται οι οριακές παράμετροι διατμητικής αντοχής σε κατάσταση οριακής ισορροπίας θεωρώντας την πλέον πιθανή επιφάνεια θραύσης στην υπό εξέταση διατομή και λαμβάνοντας υπόψη την επικρατούσα γεωλογική – μορφολογική εικόνα, όπως και τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων. Οι υπολογισμοί γίνονται θεωρώντας καμπύλη επιφάνειας ολίσθησης είτε με τη γενικευμένη μέθοδο Bishop, είτε με τη μέθοδο Janbu.

Συγκεκριμένα εξετάστηκαν τέσσερις θέσεις αστοχίας και ο λόγος της επιλογής τους ήταν για να δοθούν στοιχεία απαραίτητα στο Συγκοινωνιολόγο Μηχανικό για τη χάραξη της μηκοτομής των τριών οδών που αστόχησαν. Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ανάδρομων αναλύσεων.

Πίνακας 1: Παράμετροι παραμένουσας διατμητικής αντοχής

Θέση	Γεώτρηση	Βάθος επιφάνειας ολίσθησης (m)	c (KPa)	$\phi(^{\circ})$
X.Θ.5+850	Γ ₁	5.40	0	23
X.Θ.5+820	Γ ₂	6.10	0	21
X.Θ.5+800	Γ ₂	6.10	0	24
X.Θ.5+760	Γ ₂	6.10	0	26

4 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

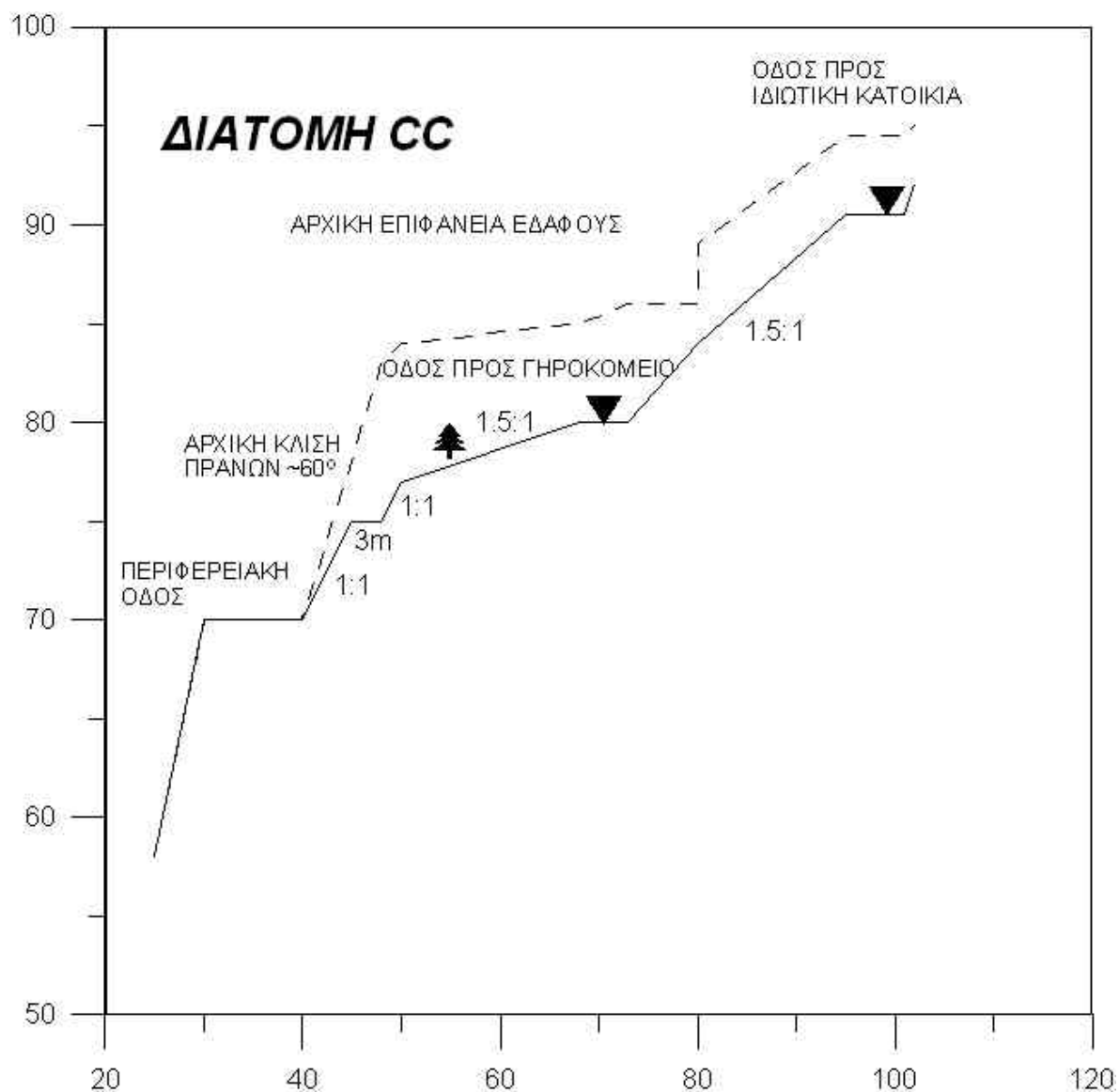
Τα μέτρα προστασίας που παρουσιάζονται στα επόμενα εντάσσονται στη λογική της άμεσης επέμβασης και αποκατάστασης της πληγείσας περιοχής και συνεπώς προτείνονται:

- Καθαίρεση της υφιστάμενης αστοχείσας διατομής της οδού προς το Γηροκομείο και της οδού πρόσβασης προς την ιδιωτική κατοικία.
- Γενική εκσκαφή στις θέσεις αυτές για 3 έως 4.5m, αφού πρώτα στο ανάντη τμήμα απαλυνθεί η κλίση του για μείωση του κινδύνου μετατόπισης της αστοχίας προς τα ανάντη μέσα στη στρώση Ι. Η προτεινόμενη μέση κλίση στα τμήματα αυτά θα είναι περίπου 1:1. Η εκσκαφή των οδών θα οδηγήσει σε νέες μηκοτομή που θα προκύψει μετά από μελέτη οδοποιίας.
- Κατασκευή ανάντη αποστραγγιστικής τάφρου πλάτους 0.60m επενδεδυμένη με γεώφασμα και σκύρα, βάθους 3m στη διατομή της οδού προς το Γηροκομείο με εκτόνωση προς τη χαμηλότερη μηκοτομικά περιοχή εκτός του τμήματος ελέγχου.
- Πρόβλεψη φύτευσης τόσο του ανάντη της οδού πρηνούς, όσο και του κατάντη αυτής τμήματος.
- Τα πρηνή που θα δημιουργηθούν στο κατάντη της οδού προς τη Γηροκομείο προτείνεται να έχει κλίση 1,5:1 (οριζόντιο:κατακόρυφο) με ταυτόχρονη φύτευση και κατασκευή επίσης αποστραγγιστικής τάφρου όπως προηγουμένως.
- Το πρηνές της περιφερειακής οδού προτείνεται να έχει κλίση 1:1 με ταυτόχρονη δημιουργία αναβαθμών και με κατασκευή αποστραγγιστικής τάφρου πλάτους 0.60m, επενδεδυμένη με γεώφασμα και σκύρα βάθους 3m, ενώ στο φρύδι του πρηνούς προτείνεται η κατασκευή επιφανειακού στραγγιστήριου για την αποφυγή κατείσδυσης - στη μάζα του - των όμβριων υδάτων. Επίσης στο πρηνές και στους αναβαθμούς θα πρέπει να γίνει φυτοκάλυψη.

5 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΤΩΝ ΝΕΩΝ ΤΥΠΙΚΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ

Έγιναν γεωτεχνικοί υπολογισμοί στις τέσσερις (4) επιλεγμένες διατομές θεωρώντας τις ακόλουθες παραδοχές:

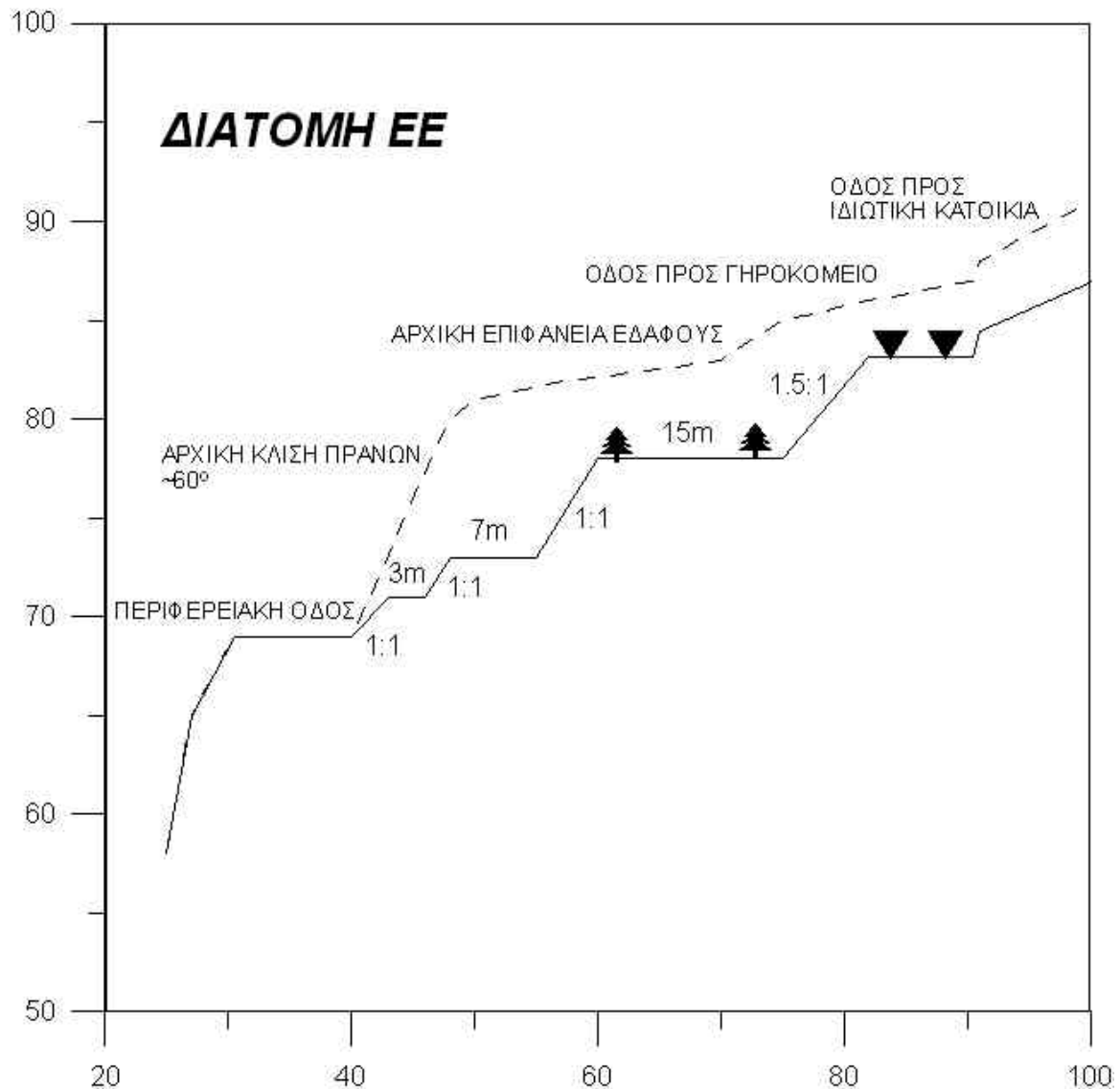
- Οι πιθανές επιφάνειες αστοχίας έχουν κυκλική ή σύνθετη μορφή που επηρεάζουν το νέο διαμορφωμένο φυσικό έδαφος με όλες τις οδούς με τα πρηνή τους.
- Στην επιφάνεια αστοχίας χρησιμοποιείται η παραμένουσα διατμητική αντοχή, όπως αυτή προέκυψε από τις ανάδρομες αναλύσεις.
- Το φορτίο κυκλοφορίας επί των οδών λαμβάνεται ως $p = 20 \text{ KPa}$.
- Μετά την τοποθέτηση των αποστραγγιστικών τάφρων η στάθμη των υπόγειων υδάτων μπορεί να φθάσει μέχρι αυτό το βάθος.
- Οι απαιτούμενοι ελάχιστοι συντελεστές ασφαλείας στα τελικώς προτεινόμενα πρηνή είναι $FS = 1.40$ (στατικές συνθήκες) και $FS = 1.00$ (σεισμική φόρτιση).
- Η περιοχή ανήκει σύμφωνα τον Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ 2004) με βάση τη σεισμική επικινδυνότητα στη ζώνη II με τιμή $a_{\max} = 0.24g$. Συνεπώς λαμβάνεται για τους υπολογισμούς υπό σεισμική φόρτιση $a_h = 0.12g$ και $a_v = 0.06g$. Στις Εικόνες 6 και 7 παρουσιάζονται δύο από τις διατομές που ελέγχθηκαν με τις παραπάνω παραδοχές. Οι τιμές του συντελεστή ασφαλείας έναντι ολίσθησης τόσο των πρηνών της περιφερειακής οδού όσο και των πρηνών των ανάντη οδών, για συνθήκες στατικής και σεισμικής φόρτισης παρουσιάζονται στον πίνακα 2.



Εικόνα 6: Διατομή περιφερειακής οδού με τα πρνή της και ανάντη οδοί μετά την ολική ανάλυση ευστάθειας

Πίνακας 2: Συντελεστής ασφαλείας σε ολίσθηση των διατομών σε διάφορες συνθήκες φόρτισης

ΘΕΣΗ	ΣΤΑΤΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ (ΜΕΘΟΔΟΣ BISHOP)	ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ (ΜΕΘΟΔΟΣ BISHOP)	ΣΤΑΤΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ (ΜΕΘΟΔΟΣ JANBU)	ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ (ΜΕΘΟΔΟΣ JANBU)
X.Θ.5+850	1.558	1.154	1.559	1.153
X.Θ.5+820	1.742	1.192	1.658	1.121
X.Θ.5+800	1.645	1.140	1.576	1.081
X.Θ.5+760	1.529	1.207	1.505	1.151



Εικόνα 7: Διατομή περιφερειακής οδού με τα πρανή της και ανάντη οδοί μετά την ολική ανάλυση ευστάθειας

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία αφορά τη μελέτη και αποκατάσταση τόσο των πρανών που αστόχησαν της περιφερειακής οδού Λουτρακίου – Περαιώνας στο τμήμα παράκαμψης της πόλης Λουτρακίου, θέση Πευκάκια, όσο και των ανάντη αυτών δύο οδών: της οδού προς το Γηροκομείο Λουτρακίου και οδού προς ιδιωτική κατοικία.

Η αστοχία έχει συμβεί σε παλαιό μορφολογικό βύθισμα που υποδηλώνει ότι και στο γεωλογικό παρελθόν η ευρύτερη περιοχή είχε υποστεί αστοχία, ενώ από την εκτέλεση γεωτεχνικών ερευνών, τις επιτόπου γεωτεχνικές παρατηρήσεις και στη συνέχεια τις ανάδρομες αναλύσεις φαίνεται ότι η επιφάνεια αστοχίας βρίσκεται μεταξύ της υδροπερατής επιφανειακής στρώσης που αποτελείται

από αργιλώδη άμμο με χαλίκια και ογκόλιθους ασβεστόλιθου και σχιστοκερατόλιθου και της υποκείμενης σχετικά αδιαπέρατης σκληρής αργιλικής στρώσης.

Τα προτεινόμενα μέτρα προστασίας που ήταν στη λογική της άμεσης αποκατάστασης και θεωρούνται ήπιας επέμβασης αφορούσαν εκτεταμένες εκσκαφές και μόρφωση νέων πρανών με μικρές κλίσεις, χρήση αναβαθμών και φυτοκάλυψη σε συνδυασμό με σύστημα αποστραγγιστικών έργων σε όλο το μήκος των οδών που αστόχησαν για τη συλλογή και απομάκρυνση τόσο των επιφανειακών – όμβριων όσο και των όμβριων υδάτων.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Αντωνίου, Α.Α & Λέκκας Ε. 2004. Έρευνα και αντιμετώπιση κατολισθήσεων ιδιαίτερα σε περιπτώσεις σεισμικής φόρτισης στην περιοχή της περιφερειακής οδού Λουτρακίου. Εφαρμοσμένο Ερευνητικό Πρόγραμμα. Τομέας Δυναμικής, Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- Λέκκας, Ε. κ.ά. 2000. Αντισεισμικός Σχεδιασμός και Οργάνωση Δήμου Λουτρακίου – Περαιχώρας. Εφαρμοσμένο Ερευνητικό Πρόγραμμα. Τομέας Δυναμικής, Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 547σ., Αθήνα.
- Νικολάου Ν. 2003. Έκθεση τεχνικογεωλογικής εξέτασης κατολισθητικών φαινομένων στο οδικό δίκτυο του Δήμου Λουτρακίου – Περαιχώρας, Νομού Κορινθίας. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών.
- Παπανικολάου, Δ., Σίδερης, Χ. & Λόζιος, Σ. 1998. Νεοτεκτονικός Χάρτης της Ελλάδος. Φύλλο «ΚΟΡΙΝΘΟΣ», κλίμακας 1:100.000. Εφαρμοσμένο Ερευνητικό Πρόγραμμα, Τομέας Δυναμικής, Τεκτονικής, Εφαρμοσμένης Γεωλογίας. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.