

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ -ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

Διπλωματική εργασία

Διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας μέσω της διενέργειας παραμετρικών αναλύσεων σε επιχώματα του Αυτοκινητοδρόμου ΙΟΝΙΑ ΟΔΟΣ.



Νταλάκου Κωνσταντίνα

Επιβλέπων :Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ

A@HNA , MAPTIO $\Sigma$  2014

Επιβλέπων: Λουπασάκης Κωνσταντίνος

Επικ. Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις ...../2015

Λουπασάκης Κωνσταντίνος ,Επικ. Καθηγητής

(Υπογραφή).....

Ροντογιάννη Θεοδώρα, Καθηγήτρια

(Υπογραφή).....

Νομικός Παύλος , Επικ. Καθηγητής

(Υπογραφή).....

## A@HNA , MAPTIOS 2014

# Περιεχόμενα

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ПЕРІЛНѰН	5
ABSTRACT	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1-ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	9
1.2 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ	10
1.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΧΑΡΑΞΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ	
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΚΑΜΠΗ – ΝΕΟΣ ΓΟΡΓΟΜΥΛΟΣ ( Χ.Θ. 161+590-	
165+270)	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	20
2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	20
2.1.1 ΑΔΡΙΑΤΙΚΟΪΟΝΙΟΣ ΖΩΝΗ	22
2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	29
2.2.1 ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ-ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ	29
2.2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΧΑΡΑΞΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΜΠΗ ΕΩΣ ΤΟΝ	
ΝΕΟ ΓΟΡΓΟΜΥΛΟ ( Χ.Θ. 161+590-165+270)	36
2.3 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ	38
2.3.1 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 1	39
2.3.2 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 2	43
2.3.3 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 3	47
2.4 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	50
<b>2.5 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ</b>	52
2.5 ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΠΟΥ	
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΘΗΚΕ (Χ.Θ. 164+950-165+270)	56
3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ	56
3.2 ΓΕΩΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ	57
3.3 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ -ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ	. 59
3.4 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ	63

3.5 ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ	66
3.6 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΡΑΝΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ-ΓΕΝΙΚΕΣ	
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ-ΛΟΙΠΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4- ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PLAXIS	69
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	69
4.2 ΓΕΝΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	
4.3 УПОПРОГРАММАТА TOY PLAXIS 2D	
4.3.1 PLAXIS INPUT	73
4.3.2 PLAXIS CALCULATE	
4.3.3 PLAXIS CURVES	
4.3.4 PLAXIS OUTPUT	90
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
5.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	
5.2.1 Πρώτη σειρά παραμετρικών αναλύσεων (άοπλο επίχωμα)	
5.2.2 Δεύτερη σειρά παραμετρικών αναλύσεων-Πρώτη	
περίπτωση(οπλισμένο επίχωμα-ίδιο μήκος οπλισμών)	119
5.2.3 ΔΕΥΤΕΡΗ ΣΕΙΡΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ-Δεύτε	ρη
περίπτωση(οπλισμένο επίχωμα-διαφορετικό μήκος οπλισμών)	136
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ	
ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ	152
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	157
ΠΑΥΑΥΙΗΜΑ	160

# ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Επιβλέπων της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας διετέλεσε ο Επικ. Καθηγητής κ. Λουπασάκης Κωνσταντίνος, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για την στοχευμένη καθοδήγηση, τις συμβουλές και τις παρατηρήσεις του.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία ΤΕΡΝΑ Α.Ε. καθώς και την Ελένη Γεωργάνου, μηχανικό Μεταλλείων –Μεταλλουργών για την πολύτιμη βοήθειά τους στην παροχή πληροφοριών των έργων της ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ.

Επίσης, ευχαριστώ τον κ. Μαρκαντώνη Κωνσταντίνο και τον κ. Ντάλια Δημοσθένη, γεωλόγος ΔΕΗ, για τις πολύτιμες συμβουλές τους αναφορικά με την γεωλογική δομή της στενής περιοχής ενδιαφέροντος.

Τέλος, την παρούσα διπλωματική αφιερώνω στην οικογένεια μου και την ευχαριστώ για την κατανόηση και την ηθική στήριξη που μου προσέφερε καθ΄όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των Προπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Ολοκληρώθηκε τον Μάιο του 2015 υπό την επίβλεψη του κ. Κ. Λουπασάκη, Επικ. Καθηγητή του τομέα των Γεωλογικών Επιστημών της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών.

Ο τίτλος της διατριβής είναι:

# Διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας μέσω της διενέργειας παραμετρικών αναλύσεων σε επιχώματα του Αυτοκινητοδρόμου ΙΟΝΙΑ ΟΔΟΣ.

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας των επιχωμάτων, άοπλων και οπλισμένων, με την πραγματοποίηση παραμετρικών αναλύσεων. Το μοντέλο του επιχώματος που επιλύεται είναι πραγματικό και βρίσκεται στη Χ.Θ. 164+950-165+270 της χάραξης της Ιόνιας Οδού. Πραγματοποιήθηκαν παραμετρικές αναλύσεις που αφορούν τα υλικά πλήρωσης του επιχώματος, τον τρόπο διάταξης και το μήκος του οπλισμού. Το υπολογιστικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας των προσομοιωμάτων, είναι το Plaxis 2D. Το Plaxis 2D είναι ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων που βρίσκει εφαρμογή σε γεωτεχνικά έργα.

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία διαρθρώνεται σε 6 κεφάλαια:

Στο <u>πρώτο κεφάλαιο</u>, όπου αποτελεί την εισαγωγή, περιγράφεται ο σκοπός της διπλωματικής, γίνεται συνοπτική περιγραφή ολόκληρου του Αυτοκινητοδρόμου της Ιόνιας Οδού και μία συνοπτική περιγραφή της χάραξης του τμήματος που μελετάται.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, περιγράφονται τα γεωλογικά δεδομένα. Αρχικά,
γίνεται περιγραφή της γεωλογίας της ευρύτερης περιοχής του έργου και
ύστερα περιγράφεται η γεωλογία της στενής περιοχής διέλευσης του
Αυτοκινητοδρόμου.

 Στο <u>τρίτο κεφάλαιο</u>, γίνεται αναλυτική περιγραφή της χάραξης στη χιλιομετρική θέση που μελετάται, για τα διάφορα χαρακτηριστικά του επιχώματος.

Στο <u>τέταρτο κεφάλαιο</u>, γίνεται η περιγραφή του προγράμματος
πεπερασμένων στοιχείων Plaxis 2D το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την
πραγματοποίηση των παραμετρικών αναλύσεων.

 Στο <u>πέμπτο κεφάλαιο</u>, περιλαμβάνονται οι παραμετρικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν για οπλισμένα και άοπλα επιχώματα. Το συγκεκριμένο κεφάλαιο συνοδεύεται από παράρτημα εικόνων και διαγραμμάτων.

 Στο <u>έκτο κεφάλαιο</u>, αναλύονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τις παραμετρικές αναλύσεις του προηγούμενου κεφαλαίου.

# ABSTRACT

This thesis was produced as part of Undergraduate Studies in the Department of Mining-Metallurgical engineering of the National Technical University of Athens. It was completed in May 2015 under the supervision of Mr. K. Loupasaki, Assist. Professor in the field of Geological Sciences of the School of Mining and Metallurgical Engineering.

The title of the thesis is:

# Investigation of stability conditions by conducting parametric analyzes of the Motorway IONIA ODOS.

The purpose of this thesis is to investigate the conditions of stability of embankments, unarmed and armed, by making parametric analyzes. The model of the embankment solved is real and is in KP 164 + 950-165 + 270, making the Ionian Road. Parametric analyzes are made of fillers of the embankment, the mode structure and the length of the armature. The computer program is used to investigate the conditions of stability of analytical models is the Plaxis 2D. The Plaxis 2D is a finite element program that finds application in geotechnical projects.

This thesis is divided into six chapters:

• In the <u>first chapter</u>, which is the introduction, the purpose of the thesis is described in a brief description of the whole of Ionia Odos Motorway and in a brief description also of the alignment of the section studied.

- The <u>second chapter</u> describes the geological data. Initially, a description is made of the geology is the wider area of the project and then the geology of the narrow region passes the highway, is described.
- The <u>third chapter</u> provides a description of the alignment at chainage studied, for various characteristics of the embankment.
- In the **fourth chapter**, the description is made of the finite element program Plaxis 2D which used to make the parametric analyzes.
- In the <u>fifth chapter</u>, parametric analyzes are included that are made for armed and unarmed embankments and appendix of pictures and diagrams.
- In the <u>sixth chapter</u>, the conclusions are analyzed that are drawn from the parametric analyzes of the previous chapter.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1-ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας των επιχωμάτων του Αυτοκινητοδρόμου ΙΟΝΙΑ ΟΔΟΣ, με την πραγματοποίηση παραμετρικών αναλύσεων. Οι παραμετρικές αναλύσεις πραγματοποιούνται με το PLAXIS το οποίο είναι ένα διδιάστατο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων για γεωτεχνικές εφαρμογές.

Ο στόχος της διπλωματικής αυτής δεν είναι η εκτέλεση απευθείας επιλύσεων των πραγματικών επιχωμάτων αλλά η χρήση των δεδομένων της μελέτης για την εκτέλεση παραμετρικών αναλύσεων.

Σύμφωνα με τη μελέτη κατά τις αναλύσεις ευστάθειας για το σώμα του επιχώματος λαμβάνονται συντηρητικά παράμετροι αντοχής c'=5KPa και φ=35°. Αυτές οι παράμετροι, θεωρείται, ότι αντιστοιχούν στο τυπικό βραχώδεςημιβραχώδες υλικό του υπεδάφους της περιοχής, προϊόν εκσκαφής των γειτονικών ορυγμάτων, μετά από σχετική αφαίρεση πιθανών έντονων αργιλικών τμημάτων επιχώματος. Οι παραπάνω παράμετροι θα πρέπει να αναθεωρηθούν ως προς το δυσμενέστερο σε περίπτωση χρήσης άλλου υλικού.

Στόχος των παραμετρικών αναλύσεων της παρούσας διατριβής είναι να υπολογιστούν οι παραμορφώσεις και οι συντελεστές ασφαλείας για συνδυασμούς μηχανικών παραμέτρων πέραν των προαναφερόμενων με τη χρήση μεθόδων ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία. Επιπλέον, στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής

διερευνάται η αποτελεσματικότητα της χρήσης γεωσυνθετικών υλικών για την όπλιση των επιχωμάτων.

Οι τομές των επιχωμάτων και τα δεδομένα για την εκπόνηση της παρούσας διατριβής λήφθησαν από τις μελέτες της ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ για την Χ.Θ. 164+950-165+270.

## 1.2 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ

Τμήμα του συγκεκριμένου έργου υποδομής, έχει ανατεθεί στην εταιρεία ΤΕΡΝΑ Α.Ε., για την κατασκευή και λειτουργία της ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ. Ο Αυτοκινητόδρομος «Ιόνια Οδός» είναι μήκους περίπου 196 χλμ. με αρχή το τέλος της γέφυρας «Χαρ. Τρικούπης» στο Αντίρριο, ως την Εγνατία Οδό στην περιοχή των Ιωαννίνων (Ανισόπεδος Κόμβος με Εγνατία Οδό).

Ο Αυτοκινητόδρομος της Ιόνιας Οδού έχει μεγάλη κοινωνική και αναπτυξιακή σημασία, αφού συνδέει όλη τη Δυτική Ελλάδα με την υπόλοιπη επικράτεια προς Νότο, αναβαθμίζοντας σημαντικά αστικά και αγροτικά κέντρα όπως είναι τα Ιωάννινα, η Άρτα και το Αγρίνιο. Το έργο αυτό συνδέει τέσσερις νομούς, της Αιτωλοακαρνανίας, της Πρέβεζας , της Άρτας και των Ιωαννίνων. Επιπλέον συνδέει και εξυπηρετεί τρία λιμάνια, της Πάτρας, του Αστακού και της Ηγουμενίτσας καθώς και τρία αεροδρόμια (Άραξος, Άκτιο και Ιωάννινα).

Στο συνολικό μήκος των 196 χλμ. του άξονα της Ιονίας Οδού, περιλαμβάνονται και τα υπό κατασκευή τμήματα ή ολοκληρωθέντα έργα και αφορούν στις παρακάμψεις Αγρινίου και Άρτας.

Στα 196 χλμ. του Αυτοκινητοδρόμου περιλαμβάνονται επίσης:

- 24 γέφυρες συνολικού μήκους μονού κλάδου, περίπου 7 χλμ.
- 4 σήραγγες συνολικού μήκους μονού κλάδου, περίπου 11,2 χλμ.
- Πάνω από 77 κάτω διαβάσεις συνολικού μήκους περίπου 2,5 χλμ.
- Πάνω από 24 άνω διαβάσεις συνολικού μήκους 1,4 χλμ. και
- 392 οχετοί διαφόρων τύπων και διατομών συνολικού μήκους πάνω από 17 χλμ.



Εικόνα 1-1: χάρτης του Αυτοκινητοδρόμου Ιόνια Οδός (αριστερά).

(www.minenv.gr)

# 1.3 ПЕРІГРАФН ТН $\Sigma$ ХАРА $\Xi$ Н $\Sigma$ ТОУ УПО МЕЛЕТН ТМНМАТО $\Sigma$ КАМПН – NEO $\Sigma$ ГОРГОМУЛО $\Sigma$ ( Х. $\Theta$ . 161+590-165+270)

Το τμήμα χάραξης της χιλιομετρικής θέσης 161+590-165+270 ξεκινάει από το χωριό Καμπή του νομού Άρτας και καταλήγει στο χωριό Νέο Γοργόμυλο του νομού Πρεβέζης. Η χάραξη πραγματοποιείται επί επιχώματος και χωρίζεται σε εφτά επιμέρους τμήματα. Τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του κάθε τμήματος είναι τα εξής:

## 1. <u>Επίχωμα από Χ.Θ. 161+590-162+050</u>

Το τμήμα αυτό είναι μήκους 450 m και οριοθετείται σε ημιορεινό-ορεινό ορεινό ανάγλυφο (εικόνα.1-2). Το μέγιστο ύψος του ανέρχεται στα 12m, μετρούμενο ως καθαρό κατακόρυφο ύψος στο άκρο της στέψης του πρανούς. Επιπλέον, κατά την κατασκευή του επιχώματος της συγκεκριμένης χιλιομετρικής θέσης δεν συναντάται υδροφόρος ορίζοντας.

(Σωτηρόπουλος & συνεργάτες Α.Τ.Ε., 2014 Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3- 304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ).



Εικόνα 1-2: 1.Επίχωμα από Χ.Θ. 161+590-162+050 (Σωτηρόπουλος & συνεργάτες Α.Τ.Ε., 2014 Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3- 304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ).

#### 2. Επίχωμα από Χ.Θ. 162+410-162+650

Το επίχωμα αυτό, ξεκινάει μετά τη γέφυρα στη Χ.Θ. 162+354, είναι μήκους 240m και εκτείνεται έως την αρχή των κλάδων του Α.Κ. Γοργόμυλου (εικόνα 1-3).Το έδαφος του επιχώματος είναι επίπεδο ή ελαφρά επικλινές. Στο επίχωμα αυτό δεν συναντήθηκαν υπόγεια ύδατα, όμως σε περιόδους βροχοπτώσεων αναμένεται ο σχηματισμός επικρεμάμενου ορίζοντα. Τέλος, κατά την κατασκευή του επιχώματος, έλαβαν χώρα καθιζήσεις οι οποίες δεν θα επηρεάσουν τη λειτουργία του έργου καθώς είναι μικρού μεγέθους και άμεσες.

(Σωτηρόπουλος & συνεργάτες Α.Τ.Ε., 2014 Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3- 304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ).



Εικόνα 1-3: 2.Επίχωμα από Χ.Θ. 162+410-162+650

(Σωτηρόπουλος & συνεργάτες Α.Τ.Ε., 2014 Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3- 304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ).

#### 3. Επίχωμα από Χ.Θ. 163+620-163+710

Το τμήμα αυτό βρίσκεται περίπου 0,5 χλμ. μετά τον Α.Κ. Γοργόμυλου (εικόνα 1-4). Οριοθετείται σε ημιορεινό έως ορεινό μορφολογικό ανάγλυφο και το μέγιστο ύψος του είναι στα 5,5m. Όσον αφορά στις γεωερευνητικές εργασίες, (Σωτηρόπουλος & συνεργάτες Α.Τ.Ε. 2014 Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3- 304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ), δεν εκτελέστηκε καμία γεώτρηση καθώς θεμελιώνεται επί βραχώδους σχηματισμού.



Εικόνα 1-4: 3.Επίχωμα από Χ.Θ. 163+620-163+710

(Σωτηρόπουλος & συνεργάτες Α.Τ.Ε., 2014 Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3- 304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ).

#### 4. <u>Επίχωμα από Χ.Θ. 163+870-163+990</u>

Το συγκεκριμένο τμήμα έχει περιορισμένο μήκος, στα 120m. Βρίσκεται περίπου 0,8 χλμ. μετά τον Α.Κ. Γοργόμυλου (εικόνα 1-5) και αφορά τη διέλευση του Αυτοκινητοδρόμου μέσα από κοιλάδα. Οριοθετείται σε ημιορεινό έως ορεινό μορφολογικό ανάγλυφο και το μέγιστο ύψος του ανέρχεται στα 13m, μετρούμενο από καθαρό κατακόρυφο ύψος. Στις γεωερευνητικές εργασίες του επιχώματος, (Σωτηρόπουλος & συνεργάτες Α.Τ.Ε. 2014 Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3- 304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ), εκτελέστηκε ένα ερευνητικό φρέαρ. Δεν αναμένεται η εμφάνιση υπόγειων υδάτων



**Εικόνα 1-5**: 4.Επίχωμα από Χ.Θ. 163+870-163+990

(Σωτηρόπουλος & συνεργάτες Α.Τ.Ε., 2014 Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3- 304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ).

#### 5. Επίχωμα από Χ.Θ. 164+310-164+650

Το επίχωμα αυτό αφορά τη διέλευση του Αυτοκινητοδρόμου μέσα από μορφολογικό βύθισμα με τοπικά απότομες κλίσεις (εικόνα 1-6). Το μέγιστο ύψος του αναμένεται στα 19m μετρούμενο ως καθαρό κατακόρυφο ύψος στο άκρο της στέψης. Οριοθετείται σε ημιορεινό έως ορεινό ανάγλυφο. Χαρακτηριστικό της περιοχής αυτής είναι παρουσία παλαιών η δανειοθαλάμων υλικών, με αποτέλεσμα να εντοπίζονται εδαφικά εξογκώματα, ως απομεινάρια παλαιότερων εκσκαφών. Επίσης, οι γεωτεχνικές έρευνες δεν έδειξαν την παρουσία υπόγειων υδάτων, (Σωτηρόπουλος & συνεργάτες Α.Τ.Ε. 2014 Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3- 304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ). Σύμφωνα με τις αναλύσεις καθιζήσεων, αναμένονται περιορισμένες λόγω της μειωμένης συμπιεστότητας των εδαφικών σχηματισμών.

ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

σελίδα 16



**Εικόνα 1-6**: 5.Επίχωμα από Χ.Θ. 164+310-164+650

(Σωτηρόπουλος & συνεργάτες Α.Τ.Ε., 2014 Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3- 304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ).

#### 6. Επίχωμα από Χ.Θ. 164+950-165+270

Το συγκεκριμένο τμήμα οριοθετείται σε ημιορεινό έως ορεινό μορφολογικό ανάγλυφο με ομοιόμορφες, μέσες έως έντονες κλίσεις. Το μέγιστο ύψος του ανέρχεται στα 15m μετρούμενο ως καθαρό κατακόρυφο ύψος. Επιπλέον, κατά την κατασκευή και λειτουργία του επιχώματος δεν αναμένονται υπόγεια νερά. Τέλος, αναμένεται να συντελεστούν καθιζήσεις, οι οποίες είναι περιορισμένες και έτσι δεν θα επηρεάσουν τη λειτουργία του έργου. Η περιγραφή του συγκεκριμένου επιχώματος γίνεται εκτενέστερα στο

κεφάλαιο 3, καθώς χρησιμοποιείται για τα διάφορα παραδείγματα προσομοιώσεων μέσω του προγράμματος PLAXIS στο κεφάλαιο 5.

(Σωτηρόπουλος & συνεργάτες Α.Τ.Ε.), 2014 Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3- 304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ.



Εικόνα 1-7: 6.Επίχωμα από Χ.Θ. 164+950-165+270

(Σωτηρόπουλος & συνεργάτες Α.Τ.Ε., 2014 Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3- 304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ).

## 7. Επίχωμα από Χ.Θ. 165+540-165+670

Το επίχωμα της συγκεκριμένης χιλιομετρικής θέσης οριοθετείται σε ημιορεινό έως ορεινό μορφολογικό ανάγλυφο και το μέγιστο ύψος του ανέρχεται στα 19m. Σύμφωνα με τις γεωερευνητικές εργασίες εκτελέστηκε μία δειγματοληπτική γεώτρηση και τρία ερευνητικά φρέατα, (Σωτηρόπουλος & ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ σελίδα 18

συνεργάτες Α.Τ.Ε. 2014 Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3-304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ).Τέλος, ούτε σε αυτό το τμήμα παρουσιάστηκαν υπόγεια ύδατα και οι καθιζήσεις αναμένονται μηδενικές εξαιτίας του ασβεστολιθικού υπόβαθρου.



**<u>Εικόνα 1-8</u>**: 7.Επίχωμα από Χ.Θ. 165+540-165+670

(Σωτηρόπουλος & συνεργάτες Α.Τ.Ε., 2014 Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3- 304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

# 2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή του έργου της Ιόνιας Οδού ανήκει στην Αδριατικοϊόνιο ζώνη. Η ζώνη αυτή εκτείνεται κατά μήκος της δυτικής Ηπειρωτικής Ελλάδας με διεύθυνση B-N και περιλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα της Ηπείρου, την Ακαρνανία, τμήματα από τα Ιόνια νησιά και την Βορειοδυτική Πελοπόννησο.

Γενικότερα, οι Ελληνικές οροσειρές (Aubin,1965), που ανήκουν στον Διναρικό κλάδο του Αλπικού συστήματος, υποδιαιρούνται σε γεωτεκτονικές ζώνες οι οποίες καθιερώθηκε να λέγονται απλά «Ελληνίδες ζώνες». Η διάκριση της μίας ζώνης από την άλλη στηρίζεται στον ιδιαίτερο ρόλο της κάθε μίας στο σύστημα γεωδυναμικής εξέλιξης και ο ρόλος αυτός μεταφράζεται ως ένα βαθμό σε κάποια συγκεκριμένη παλαιογεωγραφική θέση. Κάθε γεωτεχνική ζώνη συνίσταται από μια ορισμένη στρωματογραφική διαδοχή των ιζημάτων της, από τους ιδιαίτερους λιθολογικούς χαρακτήρες της και από την ιδιαίτερη τεκτονική της συμπεριφορά, στοιχεία που εξαρτώνται από την παλαιογεωγραφική της θέση.



Εικόνα 2-1: Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοπική ζώνη, [Pe: Ζώνη Παιονίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας] = Ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικο-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα «Ταλέα όρη - πλακώδεις ασβεστόλιθοι» πιθανόν της Ιονίου ζώνης. (Μουντράκης, 2010).

# 2.1.1 ΑΔΡΙΑΤΙΚΟΪΟΝΙΟΣ ΖΩΝΗ

## 2.1.1.1 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΘΕΣΗ ΚΑ ΠΑΛΑΙΟΓΕΩΓΡΑΦΙΑ

Η Αδριατικοϊόνιος ζώνη θεωρήθηκε στο αρχικό παλαιογεωγραφικό σύστημα εξέλιξης ως το Ελληνικό «μειογεωσύγκλινο» σε συσχετισμό με το "ευγεωσύγκλινο» της ζώνης Πίνδου. Με τις νεότερες απόψεις χαρακτηρίζεται σαν μια ηπειρωτική λεκάνη με ημιπελαγική – πελαγική ιζηματογένεση.

Παλαιογεωγρφικά διαιρέθηκε σε τρείς ενότητες ή υποζώνες: την εσωτερική (ανατολική), την αξονική και την εξωτερική (δυτική), με σημαντικές διαφοροποιήσεις στην ιζηματογένεσή τους.

## 2.1.1.2 ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

Σύμφωνα με τον Μουντράκη 2010, σαν πρώτα αλπικά ιζήματα της ζώνης θεωρούνται οι εβαπορίτες (κοιτάσματα γύψου), η ηλικία των οποίων υπολογίζεται Περμοτριαδική, ενώ αναφέρονται και ορισμένες παρεμβολές τους μέσα σε ασβεστόλιθους του Κάτω Λιασίου. Το συνολικό πάχος των στρωμάτων των εβαποριτών υπολογίστηκε με γεωτρήσεις, γύρω στα 1500m.

Πάνω στις γύψους εμφανίζεται μαύρος ασβεστόλιθος ηλικίας Καρνίου και μετά άσπροι δολομίτες του Νορίου (Άνω Τριαδικό). Στη συνέχεια,

αποθέτονται οι νηριτικοί ασβεστόλιθοι Νορίου- Μέσου Λιασίου που είναι γνωστοί ως «ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα» με πάχος γύρω στα 600m.

Στο Άνω Λιάσιο διαφοροποιείται η αξονική περιοχή της ζώνης σε βαθύτερο χώρο ιζηματογένεσης, όπου αποθέτονται κερατόλιθοι σε εναλλαγές με μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και έγχρωμους αργιλικούς σχιστόλιθους. Την ίδια περίοδο στις δύο πλευρές της ζώνης (εσωτερική και εξωτερική) αποθέτονται κόκκινοι ασβεστόλιθοι με αμμωνίτες. Η ιζηματογένεση αυτή διαρκεί όλο το Δογγέριο (Μέσο Ιουρασικό), ενώ στο Μάλμιο γίνεται κοινή σε όλο το πλάτος της ζώνης με την απόθεση πελαγικών ασβεστολίθων με ενστρώσεις κερατολίθων, που αναφέρονται με το όνομα «ασβεστόλιθοι Βίγλας» και έχουν συνολικό πάχος περίπου 400m.

Η ιζηματογένεση συνεχίζεται προς τα πάνω με ασβεστόλιθους λατυποπαγείς Ανωτέρου Κρητιδικού- Μέσου Ηωκαίνου, οι οποίοι χαρακτηρίζονται πελαγικοί με πάχος περίπου 400m.

Τέλος, αποθέτεται ο φλύσχης από το Πριαμπόνιο του Ηωκαίνου μέχρι το Ακουϊτάνιο του Κάτω Μειοκαίνου οπότε και έλαβε χώρα η πτύχωση της ζώνης. Το συνολικό πάχος του φλύσχη υπολογίζεται ότι ξεπερνά τα 2000m.

Η σύσταση του φλύσχη στα κατώτερα στρώματα είναι κυρίως ψαμμιτικήμαργαϊκή και εξελίσσεται προς τα πάνω σε εναλλαγές μαργών, μαργαϊκών ασβεστολίθων και κροκαλοπαγών.



Εικόνα 2-2: Σχηματική λιθοστρωματογραφική στήλη της Αδριατικοϊόνιου ζώνης. 1:γύψος, 2:μαύροι ασβεστόλιθοι, 3:δολομίτες, 4:ασβεστόλιθοι νηρητικοί «Παντοκράτορα», 5: ασβεστόλιθοι του Ammonitico rosso, 6: σχιστόλιθοι με Posidonomyes, 7:κερατόλιθοι, 8: ασβεστόλιθοι πελαγικοί «Βίγλας», 9: ασβεστόλιθοι λατυποπαγείς, 10: φλύσχης.

# 2.1.1.3 ΠΑΛΑΙΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΟΡΟΓΕΝΕΤΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

Παλαιογεωγραφικό ενδιαφέρον παρουσιάζει το θέμα του σχηματισμού των κοιτασμάτων εβαποριτών (γύψου και ορυκτού άλατος) περμοτριαδικής ηλικίας. Δύο παραπλήσιες παλαιογεωγραφικές συνθήκες έχουν προταθεί για την εξήγηση σχηματισμού εβαποριτών: Σύμφωνα με την πρώτη, κατάλληλο περιβάλλον εξάτμισης και επομένως σχηματισμού των κοιτασμάτων εβαποριτών ήταν πολλές συνεχόμενες στοματολίμνες, δηλαδή παραθαλάσσιες ρηχές λίμνες που η επικοινωνία τους με τη θάλασσα φράσσονταν με χαμηλούς βραχίονες. Με τις παλίρροιες η θάλασσα κατόρθωνε να υπερπηδά τους βραχίονες και να εμπλουτίζει τις λίμνες με άλατα. Κατά τη δεύτερη, υπήρχαν μεγάλες, ρηχές, κλειστές λίμνες- λεκάνες, χωρίς επικοινωνία με τη θάλασσα αλλά με συνεχή τροφοδοσία σε άλατα από ποταμούς που προέρχονταν από περιοχές με αλατούχα πετρώματα.

Η Αδριατικοϊόνιος ζώνη ήταν κατά τη διάρκεια του Περμοτριαδικού μια χερσαία ή πολύ ρηχή θαλάσσια περιοχή, έτσι ώστε να έχει τη δυνατότητα να χερσεύει συχνά και να σχηματίζει τα τόσο μεγάλου πάχους στρώματα των εβαποριτών.

Τα κοιτάσματα της γύψου, εκτός από την κανονική στρωματογραφική του ς θέση στη βάση των αλπικών ιζημάτων, βρίσκονται συχνά και ενδιάμεσα στα νεότερα στρώματα της ζώνης (Κρητιδικά και Ηωκαινικά) όπου έχουν ανέλθει διαπηρικά δια μέσου των ρηγμάτων. Αυτή η προς τα πάνω μετανάστευση της γύψου γίνεται από τη θερμότητα που αναπτύσσεται λόγω γεωθερμικής βαθμίδας και από υψηλές πιέσεις που ασκούνται στο βάθος από τα ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ σελίδα 25 υπερκείμενα στρώματα, συνθήκες που κάνουν τη γύψο πλαστική με ικανότητες ροής.

Η πτύχωση της Αδριατικοϊονίου ζώνης έγινε στο Κάτω Μειόκαινο με την ονομαζόμενη Στυριακή φάση πτυχώσεων. Τα στρώματα της ζώνης υπέστησαν έντονη λεπίωση στην οποία τα στρώματα της γύψου έπαιξαν το ρόλο του λιπαντικού μέσου που διευκόλυνε τις εσωτερικές ολισθήσεις.

Οι πτυχές συνοδεύονται από διαρρήξεις στις πτέρυγες έτσι ώστε να δημιουργούνται συνεχείς επωθήσεις ή εφιππεύσεις και να εμφανίζονται παραμορφωμένες πτυχωμένες μορφές.

Χαρακτηριστικό γνώρισμα της τεκτονικής δομής της Ιονίου ζώνης στην Ήπειρο – Στερεά Ελλάδα είναι μια σειρά από επάλληλα μεγασύγκλινα και μεγααντίκλινα τα οποία με βασική αξονική διεύθυνση BBΔ-NNA έως BΔ-NA, επωθούνται ή εφιππεύουν το ένα πάνω στο άλλο προς τα Δυτικά. Τόσο οι μεγαπτυχές αυτές όσο και οι πτυχές μικρότερης κλίμακας είναι ασύμμετρες με σταθερή απόκλιση προς ΔΝΔ.



Εικόνα 2-3: Τεκτονικό σκαρίφημα της Ηπείρου στο οποίο διακρίνονται οι πιο βασικές τεκτονικές γραμμές. 1: κύρια ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης, 2: ανάστροφα ρήγματα, 3:επωθήσεις, 4: άξονες αντικλίνων, 5: κατεύθυνση συμπίεσης. (Κατά Ι.F.P. 1966).



Εικόνα 2-4: Σχηματικές γεωλογικές τομές της Αδριατικοϊονίου ζώνης στην Ήπειρο και Ακαρνανία. 1:φλύσχης, 2: ασβεστόλιθοι Ηωκαίνου, 3: ασβεστόλιθοι λατυποπαγείς Άνω Κρητιδικού, 4: ασβεστόλιθοι Βίγλας, 5: σχηματισμοί Ανωτέρου Λιασίου και Δογγερίου, 6: σχηματισμοί Ανωτέρου Τριαδικού και Κάτω Λιασίου. (Κατά Aubouin 1959).



Εικόνα 2-5: Γεωλογική τομή στην περιοχή Ιωαννίνων με το αντικλινόριο των Ιωαννίνων και το αντίκλινο του βουνού Μιτσικέλι. 1: πλευρικά κορήματα, 2: μεταλπικά ιζήματα Ανωτέρου Μειοκαίνου, 3: φλύσχης, 4:ασβεστόλιθοι Μειοκαίνου, 5: ασβεστίλιθοι Άνω Σενωνίου, 6: ασβεστόλιθοι Βίγλας και σχιστόλιθοι με Posidonomyes, 7: ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα και δολομίτες, 8: λατυποπαγή και κοιτάσματα γύψου. (Κατά Ι.F.P. 1966).



Εικόνα 2-6: Γεωλογικές τομές στην περιοχή των αντικλίνων Σουλίου και Παραμυθιάς. 1: πλευρικά κορήματα, 2: μεταλπικά ιζήματα Ανωτέρου Μειοκαίνου, 3: φλύσχης, 4:ασβεστόλιθοι Μειοκαίνου, 5: ασβεστίλιθοι Άνω Σενωνίου, 6: ασβεστόλιθοι Βίγλας και σχιστόλιθοι με Posidonomyes, 7: ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα και δολομίτες, 8: λατυποπαγή και κοιτάσματα γύψου. (Κατά Ι.F.P. 1966). ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ σελίδα 28

# 2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

# 2.2.1 ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ-ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ

Με βάση τις παρατηρήσεις και τα στοιχεία υπαίθρου τα οποία συλλέχθηκαν και τη γεωλογική αξιολόγηση, οι εδαφικοί και βραχώδεις γεωλογικοί σχηματισμοί οι οποίοι δομούν την περιοχή μελέτης, από τους νεότερους προς τους αρχαιότερους διαχωρίζονται στις κλαστικές ιζηματογενείς και στις ανθρακικές σειρές. Η διαδοχή των βραχωδών, λιθολογικών σχηματισμών από τους νεότερους προς τους παλαιότερους , έχει ως ακολούθως:

#### Ολοκαινικές αλλουβιακές αποθέσεις κοιλάδων και πεδιάδων

Ολοκαινικής ηλικίας, οι οποίες συνίστανται από αργίλους, άμμους, ψηφίδες και ερυθρογαίες.

#### Μανδύας αποσάθρωσης

Περιλαμβάνει υλικά τα οποία προέρχονται από την αποσάθρωση των υποκείμενων ή παρακείμενων πετρωμάτων.

#### <u>Ερυθρογαίες</u>

Είναι έντονα, ερυθρού χρώματος, λεπτόκοκκα υλικά (άργιλοι, αμμώδεις άργιλοι), με λατύπες και κροκάλες ασβεστολιθικής σύστασης, σε κυμαινόμενο ποσοστό. Συνιστούν εδαφικές αποθέσεις, που προέρχονται από τα γεωυλικά ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ σελίδα 29

της καρστικής διάλυσης των ασβεστόλιθων και εντοπίζονται σε θέσεις υψιπέδων (οροπέδια) με ήπια γενικά μορφολογία, συχνά πληρώνοντας καρστικά κενά.

## Πλευρικά κορήματα ή σύγχρονοι κώνοι αργιλικών κορημάτων

Συνίστανται από καστανή ή κόκκινη άργιλο και προέρχονται από τη διάβρωση και αποσάθρωση των ασβεστολίθων.

## Παλαιές πυριτιακές προσχώσεις

Είναι έντονου καστανού έως καστανέρυθρου χρώματος και πρόκειται για αργίλους με ποσοστό πυριτιόλιθων και κερατόλιθων.

## Φλύσχης αδιαίρετος (Ανώτερο Ηώκαινο- Ολιγόκαινο) (κλαστική σειρά)

Ο φλύσχης δομείται από εναλλαγές ψαμμιτών με φύλλα μαρμαρυγίου και αργιλικών στρωμάτων φτωχών σε μικροπαγίδες. Το πάχος του είναι 1200 m.

## Ασβεστόλιθοι (Παλαιόκαινο- Ηώκαινο)

Πρόκειται για λευκούς έως ιώδεις λεπτοπλακώδεις, υπολιθογραφικούς , μικρολατυποπαγείς, πελαγικούς ασβεστόλιθους. Το πάχος τους είναι 250-400m.

## Ασβεστόλιθοι λατυποπαγείς (Ανώτερο Σενώνιο)

Πρόκειται για ασβεστόλιθους Βίγλας οι οποίοι συνεχίζονται και στο Ανώτερο Σενώνιο ως λατυποπαγείς με θραύσματα Ρουδιστών και τεμάχια ασβεστολίθων με Orbitolina.

## Ασβεστόλιθοι Βίγλας (Ανώτερο Ιουρασικό-Κατ. Σενώνιο)

Πρόκειται για λεπτοπλακώδεις πελαγικούς ασβεστόλιθους, δηλαδή βαθιάς θάλασσας με ενστρώσεις και βολβούς πυριτολίθων γκρίζου χρώματος και μερικές φορές ερυθρωπού. Οι ασβεστόλιθοι Βίγλας χαρακτηρίζονται από απολιθώματα ακτινόζωων με χαρακτηριστικό είδος την Calpionella alpina αλλά και ριζόποδων με χαρακτηριστικά είδη Globotruncana.

## Σχιστόλιθοι με ποσειδωνίες (Ανώτερο Λιάσιο- Ανωτ. Ιουρασικό)

Πρόκειται κυρίως για εναλλαγές ερυθρωπών πυριτολίθων με Ακτινόζωα και πυριτιακές αργίλους με ποσειδωνίες στη βάση. Συχνά επικάθονται απ' ευθείας στους του Παντοκράτορα με εμφανείς κατά τόπους διαβρωσιγενείς επιφάνειες.

## Εβαπορίτες - (Γύψος και τριαδικά λατυποπαγή) - (Τριαδικόν)

Πρόκειται για σχηματισμούς με τοπική εξάπλωση κυρίως στην Ιόνιο Ζώνη (Δυτική Ελλάδα). Οι μεγαλύτερες εμφανίσεις αναφέρονται σε ανάμεικτο υλικό γύψου και ανθρακικών πετρωμάτων. (Τριαδικά λατυποπαγή).

Παρουσιάζουν δυσμενή γεωτεχνική συμπεριφορά λόγω της μεγάλης δευτερογενούς περατότητας και της διαλυτότητας των γύψων.

Οι σχηματισμοί αυτοί πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν κατά τον σχεδιασμό φραγμάτων γιατί υπάρχει κίνδυνος εκδήλωσης εδαφικών υποχωρήσεων από κατάρρευση υπόγειων διαβρωσιγενών εγκοίλων.

Σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη της Ελλάδος, Θεσπρωτικό του ΙΓΜΕ, απόσπασμα του οποίου παρουσιάζεται στην εικόνα 2-7, οι σχηματισμοί που δομούν την στενή περιοχή του έργου είναι:



**Εικόνα 2-7**: Γεωλογικός χάρτης της στενής περιοχής του έργου της Ιόνιας Οδού. (ΙΓΜΕ, 1963).

## ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ

## ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ



Σύγχρονες αποθέσεις κοιλάδων (al).



Πλευρικά ασύνδετα κορήματα (sc<sub>1</sub>).



Κώνοι κορημάτων χειμαρρώδους προέλευσης (sc<sub>1</sub>).



Εναποθέσεις terra rossa (ερυθρογής) των δολινών

Ξεροβουνίου και Λούρου (tr).



Πλευρικά, παλαιά, συνεκτικά κορήματα (sc<sub>2</sub>).

## ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ



Νεογενές, Νέας Φιλιππιάδας. Πρόκειται για μεικτή σειρά χερσαίων κροκαλοπαγών (c) και άμμων αργιλούχων. Είναι ισότιμο με το νεογενές Αρχαγγέλου (Pl).

## ΠΑΛΑΙΟΚΑΙΝΟ- ΑΝΩΤΕΡΟ ΗΩΚΑΙΝΟ



Ασβεστόλιθοι υπολιθογραφικοί και ασβεστόλιθοι

μικρολατυποπαγείς. Πάχος :250-400m ( e, k).

## ΑΝΩΤΕΡΟ ΣΕΝΩΝΙΟ



Ασβεστόλιθοι μικρολατυποπαγείς με θραύσματα Ρουδιστών και ασβεστόλιθοι πελαγικοί με Globotruncanides. Πάχος: 200-300m (KgS).

## ΑΝΩΤΕΡΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ- ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΣΕΝΩΝΙΟ



Ασβεστόλιθοι Βίγλας. Είναι υπολιθογραφικοί, υποκίτρινοι έως ερυθρωποί με μικρές ενστρώσεις πυριτολίθων. Υπάρχουν ταχείες και σημαντικές μεταβολές του πάχους. Στο κεντρικό τμήμα του φύλλου οι ασβεστόλιθοι Βίγλας είναι επικλυσιγενείς στους ασβεστόλιθους Παντοκράτορος με γωνιώδη ασυμφωνία. Το πάχος τους είναι 20m (στο Τόμαρο) έως 400m στην περιοχή του Λούρου. Στο ανατολικό τμήμα του φύλλου (Ξεροβούνι) υπάρχει σημαντική αύξηση του πάχους του σχηματισμού και δολομιτίωση μέχρι του Μέσου Κρητιδικού (Αμμότοπος, Μπούκος).

## ΚΑΤΩΤΕΡΟ- ΜΕΣΟ ΛΙΑΣΙΟ



Ασβεστόλιθοι Σινιών και Παντοκράτορος. Οι ασβεστόλιθοι Σινιών είναι φαιοί, υποκίτρινοι με Ακτινόζωα. Παρουσιάζονται πάνω από τον ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ σελίδα 35
σχηματισμό Ammonitico Rosso. Το πάχος τους είναι ελαττωμένο λόγω συνιζηματογενετικής διάβρωσης ή μεταβολών φάσεων (0-200m). Οι ασβεστόλιθοι Παντοκράτορος είναι λευκοί, συμπαγείς, θρομβώδεις με φύκη και βραχιονόποδα του Μέσου και Κατώτερου Λιασίου. Στην περιοχή του φύλλου είναι μη δολομιτικοί εκτός από το λόφο της Καλογερίτσας. Το πάχος τους κυμαίνεται από 1000-1500m.

# 2.2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΧΑΡΑΞΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΜΠΗ ΕΩΣ ΤΟΝ ΝΕΟ ΓΟΡΓΟΜΥΛΟ ( Χ.Θ. 161+590-165+270).



Εικόνα 2-8: Χάρτης της χάραξης από την Καμπή έως τον Νέο Γοργόμυλο.

Τα γεωλογικά δεδομένα του κάθε τμήματος της χάραξης είναι τα εξής:

## 1. <u>Επίχωμα από Χ.Θ. 162+410-162+650</u>

Στις γεωερευνητικές εργασίες του εκτελέστηκε μόλις μία γεώτρηση. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των γεωλογικών ερευνών, ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται από αμμοχαλικώδη άργιλο υψηλής πλαστικότητας, ασβεστόλιθο υγιή έως ελαφρά αποσαθρωμένο και τέλος από ενστρώσεις κερατολίθων.

## 2. <u>Επίχωμα από Χ.Θ. 163+620-163+710</u>

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των γεωλογικών ερευνών στην περιοχή αυτή υπάρχουν Σενώνιοι Ασβεστόλιθοι και τοπικά εντοπίζονται στην επιφάνεια, αργιλικοί σχηματισμοί ερυθρογής. Εξαιτίας του ασβεστολιθικού σχηματισμού δεν συναντάται υδροφόρος ορίζοντας.

## 3. <u>Επίχωμα από Χ.Θ. 163+870-163+990</u>

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των γεωλογικών και γεωτεχνικών ερευνών, στην περιοχή αυτή συναντάται επιφανειακά εδαφικός σχηματισμός ερυθρογής. Χαρακτηρίζεται από στιφρή έως πολύ σκληρή χαλικώδη άργιλο, μέσης πλαστικότητας με άμμο, έως αργιλώδεις χάλικες και σε μεγαλύτερο βάθος συναντάται ασβεστολιθικό υπόβαθρο.

## 4. <u>Επίχωμα από Χ.Θ. 164+310-164+650</u>

Για το συγκεκριμένο τμήμα εκτελέστηκαν τρείς δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και ένα ερευνητικό φρέαρ. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συνάντησαν είναι πλευρικά κορήματα μεγάλου πάχους και ασβεστόλιθος Βίγλας, επιφανειακά υπό μορφή αμμοχάλικου και σε βάθος, βραχώδης.

### 5. Επίχωμα από Χ.Θ. 164+950-165+270

Για τον γεωτεχνικό σχεδιασμό εκτελέστηκε μία δειγματοληπτική γεώτρηση και ένα ερευνητικό φρέαρ. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντήθηκαν είναι παλαιοί κώνοι πλευρικών κορημάτων και Σενώνιος ασβεστόλιθος.

### 6. Επίχωμα από Χ.Θ. 165+540-165+670

Επιπλέον, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των γεωλογικών ερευνών, στην περιοχή του επιχώματος συναντώνται εδαφικοί σχηματισμοί αποτελούμενοι από παλαιούς κώνους πλευρικών κορημάτων και βραχώδες ασβεστολιθικό υπόβαθρο, σε μεγαλύτερο βάθος.

## 2.3 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ

Σύμφωνα με τη γεωτεχνική μελέτη από την αδημοσίευτη τεχνική έκθεση Σωτηρόπουλος & Συνεργάτες (Α.Τ.Ε.), 2014, οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντώνται στην περιοχή των υπό μελέτη χωματουργικών του τμήματος χάραξης της Ιόνιας Οδού, ομαδοποιήθηκαν σε τρείς κύριες τεχνικογεωλογικές ενότητες (ΤΕ1, ΤΕ2, ΤΕ3) με βάση τη λιθολογική τους σύσταση, τα φυσικομηχανικά τους χαρακτηριστικά καθώς και τις μακροσκοπικές παρατηρήσεις επί αυτών κατά τη διάρκεια της γεωλογικής χαρτογράφησης.

Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες ταξινομούνται κατ' αύξουσα σειρά, από αυτές με τα φτωχότερα μηχανικά χαρακτηριστικά προς αυτές με τα καλύτερα μηχανικά χαρακτηριστικά.

Διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας μέσω της διενέργειας παραμετρικών αναλύσεων σε επιχώματα του Αυτοκινητοδρόμου ΙΟΝΙΑ ΟΔΟΣ

Ακολούθως, γίνεται περιγραφή των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών των επιμέρους γεωλογικών σχηματισμών ανά τεχνικογεωλογική ενότητα.

## 2.3.1 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 1

Σύμφωνα με την γεωτεχνική μελέτη χωματουργικών της αδημοσίευτης τεχνικής έκθεσης ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ&ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ, 2014, οι γεωλογικοί σχηματισμοί της ΤΕ1 χαρακτηρίζονται από την ευκολία στην αποσάθρωση και την εύκολη εκσκαψιμότητα με συμβατικά μέσα. Οι μεταβολές της λιθολογίας είναι πολλαπλές τόσο κατά την κατακόρυφη όσο και κατά την οριζόντια διεύθυνση. Η ΤΕ1 χωρίζεται σε δύο επιμέρους ενότητες, την ΤΕ-1Α και την ΤΕ-1Β.

### **1. <u>ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΕ-1Α:</u>**

- Τεχνητές επιχώσεις (AD)
- Ποταμοχειμάριες αποθέσεις (Rd)

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί οι οποίοι αποτελούν την τεχνικογεωλογική υποενότητα ΤΕ-1Α εμφανίζονται με περιορισμένο πάχος και επιφανειακή εξάπλωση και χαρακτηρίζονται από τη χαλαρή τους δομή, την μεγάλη ευκολία στην αποσάθρωση και την μικρή-μεγάλη ανομοιομορφία τους. Στο

εξεταζόμενο τμήμα των χωματουργικών έργων εντοπίζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί AD της TE-1A, τα επιμέρους τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά της οποίας αναφέρονται ακολούθως.

## ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΑΠΟΧΩΣΕΙΣ (AD)

Προέρχονται από τις εκσκαφές των υφιστάμενων ορυγμάτων που διανοίχθηκαν παλαιότερα κατά μήκος της παλαιάς Εθνικής Οδού Φιλιππιάδας-Ιωαννίνων και η σύστασή τους είναι κυρίως ασβεστολιθική. Είναι ασυμπύκνωτες, με κυμαινόμενο αλλά περιορισμένο γενικά πάχος και ποικίλη κοκκομετρική διαβάθμιση. Αποτέθηκαν στα ερείσματα του δρόμου ή σε περιορισμένης έκτασης αποθεσιοθαλάμους. Εκτός από τα υλικά των επιχωμάτων και των δανειοθαλάμων, συναντώνται κατά θέσεις και ανθρωπογενούς προέλευσης υλικά (μπάζα, αστικά λύματα κλπ.), ποικίλης σύστασης.

## 2. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΕ-1Β:

- Ολοκαινικές αλλουβιακές αποθέσεις κοιλάδων και πεδιάδων (al)
- Μανδύας αποσάθρωσης (cw(Fo))
- Ερυθρογαίες (TR)
- Πλευρικά κορήματα ή σύγχρονοι κώνοι αργιλικών κορημάτων (C.Co)

Παλαιές πυριτιακές προσχώσεις (Pi.cl) ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ Οι γεωλογικοί σχηματισμοί οι οποίοι αποτελούν την τεχνικογεωλογική υποενότητα ΤΕ-1Β χαρακτηρίζονται από την επικράτηση των λεπτομερών κλασμάτων, τη χαλαρή τους δομή, την ευκολία στην αποσάθρωση, τη μικρήκυμαινόμενη διαπερατότητα και τη σχετικά μέτρια ομοιομορφία τους.

Οι παράμετροι αντοχής των υλικών αυτών μεταβάλλονται επίσης, ανάλογα με το ποσοστό συμπύκνωσης, στερεοποίησης και της συμμετοχής αδρομερών συστατικών τους, τα οποία ενισχύουν τη διατμητική τους αντοχή.

Χαρακτηρίζονται από μέτρια-χαμηλή διαπερατότητα και σχηματίζουν ελεύθερους υδροφόρους ορίζοντες μικρής-μέτριας δυναμικότητας στους ανώτερους ορίζοντες και επάλληλους υπό πίεση στους κατώτερους.

Η εκσκαφή τους γίνεται εύκολα( με χειρωνακτικά ή ελαφρά μηχανικά μέσα).

Στο εξεταζόμενο τμήμα των χωματουργικών εντοπίζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί TR, C.Co, Pi.cl της TE-1B, τα επιμέρους τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά της οποίας αναφέρονται ακολούθως.

## ΠΛΕΥΡΙΚΑ ΚΟΡΗΜΑΤΑ Η ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΚΩΝΟΙ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ ΚΟΡΗΜΑΤΩΝ (C.Co)

Προέρχονται από τη διάβρωση και αποσάθρωση των ασβεστόλιθων και συνίστανται από καστανή ή κόκκινη άργιλο με ικανό ποσοστό γωνιωδών λεπτών θραυσμάτων ασβεστόλιθων ή τεμάχη κερατόλιθων και με μικρή περιεκτικότητα άμμου. Το πάχος τους υπερβαίνει τα 10 mm.

Είναι στιφρά έως πολύ στιφρά και διαθέτουν ικανοποιητικά γεωμηχανικά χαρακτηριστικά. Κύρια χαρακτηριστικά των πλευρικών κορημάτων είναι η αμμοχαλικώδης-αργιλική σύσταση, η χαλαρή δομή, η μεγάλη ανομοιομορφία, η μέτρια-χαμηλή διαπερατότητα και η μέτρια έως μεγάλη ευκολία στην αποσάθρωση. Οι πλευρικές μεταβάσεις και αποσφηνώσεις των οριζόντων, συντελούν στην ανομοιόμορφη και ανισότροπη συμπεριφορά αυτών στο σύνολό τους και στη μεταβολή των μηχανικών χαρακτηριστικών τους, τόσο στην πλευρική όσο στην κατακόρυφη ανάπτυξη.

Η γενικότερη συμπεριφορά τους είναι ικανοποιητική, όσον αφορά στις συνθήκες έδρασης των επιχωμάτων και των τεχνικών αλλά και στις αναμενόμενες καθιζήσεις.

Παρουσιάζουν αστάθεια στα ορύγματα και συνίσταται η διαμόρφωση ήπιων κλίσεων στα πρανή. Γενικώς αναμένεται η συγκέντρωση υλικού στη βάση του πρανούς με μορφή σάρας και το πλάτυσμα στον πόδα των πρανών είναι της τάξεως των 30 cm. Όπου είναι μικρού πάχους, είναι καλύτερη η απομάκρυνση τους. Η εκσκαφή τους γίνεται εύκολα με μηχανικά μέσα.

### ΠΑΛΑΙΕΣ ΠΥΡΙΤΙΑΚΕΣ ΠΡΟΣΧΩΣΕΙΣ (Pi.cl)

Είναι έντονου καστανού έως καστανέρυθρου χρώματος, κυρίως αργιλικό κλάσμα, με κυμαινόμενο ποσοστό από γωνιώδη θραύσματα πυριτιόλιθωνκερατόλιθων, με παρουσία υπολειμματικών δομών πυριτιόλιθων μικρής(ενστρώσεις) ή μεγαλύτερης έκτασης. Προέρχονται από τη διάβρωση και την αποσβεστίωση των πυριτιακών των ασθενών, λεπτοστρωματωδών σχηματισμών της Βίγλας (KB1). Το πάχος τους είναι κυμαινόμενο και βάσει εκτιμήσεων της τάξης των 3 m έως και μεγαλύτερο των 30m. ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ σελίδα 42 Οι πυριτιακοί άργιλοι, συνίστανται από αργίλους οι οποίες είναι πολύ στιφρές έως σκληρές. Τα γεωμηχανικά τους χαρακτηριστικά είναι ικανοποιητικά όσον αφορά στην έδραση επχωμάτων και μικρών τεχνικών. Η ευστάθεια των πρανών των ορυγμάτων είναι ικανοποιητική κυρίως όμως για ήπιες κλίσεις πρανών σε θέσεις υψηλών ορυγμάτων, για τα οποία απαιτείται αντιδιαβρωτική προστασία των πρανών, αφού οι πυριτιακές άργιλοι θεωρούνται ευδιάβρωτα γεωυλικά. Για τα μεγάλα τεχνικά (γέφυρες) και τα μεσόβαθρα που θα χωροθετηθούν στον σχηματισμό των πυριτιακών αργίλων, συνήθως είναι πιθανή η λύση της βαθιάς θεμελίωσης, για την έδρασή τους.

### ΕΡΥΘΡΟΓΗ (TR)

Είναι έντονα, ερυθρού χρώματος, λεπτόκοκκα υλικά (άργιλοι, αμμώδεις άργιλοι), με λατύπες και κροκάλες ασβεστολιθικής σύστασης, σε κυμαινόμενο ποσοστό. Συνιστούν εδαφικές αποθέσεις, που προέρχονται από τα γεωυλικά της καρστικής διάλυσης των ασβεστόλιθων και εντοπίζονται σε θέσεις υψιπέδων (οροπέδια) με ήπια γενικά μορφολογία, συχνά πληρώνοντας καρστικά κενά.

## 2.3.2 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 2

Σύμφωνα με την γεωτεχνική μελέτη χωματουργικών της αδημοσίευτης τεχνικής έκθεσης ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ&ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ, 2014, η ΤΕ2 αποτελείται από σχηματισμούς οι οποίοι πότε εμφανίζονται ως ημίβραχοι, πότε ως εδαφοποιημένοι και σε μερικές περιπτώσεις ως βράχος Λόγω ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ σελίδα 43 διαφοροποιήσεων στη λιθολογία η ΤΕ2 χωρίζεται στις υποενότητες ΤΕ2Α και ΤΕ2Β.

## **1. <u>ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΕ-2Α:</u>**

Παλαιοί κώνοι κορημάτων (Co)

Κύρια χαρακτηριστικά της ενότητας αυτής είναι η γαιοημιβραχώδης μηχανική συμπεριφορά, η μέτρια ανομοιομορφία και η σχετικά μέτρια ευκολία στην αποσάθρωση.

Γενικά χαρακτηρίζονται ως σχηματισμοί που έχουν χαλαρή έως μέτρια και τοπικά ισχυρή σύνδεση/συγκόλληση, έχουν φτωχά έως μέτρια τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά ανάλογα με το βαθμό σύνδεσης και μεγάλη διαπερατότητα και υδατοχωρητικότητα ανάλογα με την κοκκομετρική σύνθεσή τους.

Συνιστάται πάντως ο βαθμός συγκόλλησης των κορημάτων να ελέγχεται, αφού κατά θέσεις(ίδια περιοχή) εμφανίζονται και οι δύο μορφές τους, στην περίπτωση που πρόκειται για θεμελίωση τεχνικών, ιδίως σε επικλινές, φυσικό έδαφος.

Τέλος, η εκσκαψιμότητά τους γίνεται εύκολα-μέτρια( με χειρωνακτικά ή ελαφρά μηχανικά μέσα

Τα επιμέρους τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά του σχηματισμού Co αναφέρονται στη συνέχεια.

## ΠΑΛΑΙΟΙ ΚΩΝΟΙ ΚΟΡΗΜΑΤΩΝ (Co)

Είναι υπόλευκου ή καστανέρυθρου χρώματος, ασβεστολιθικά, κοκκώδη, αδρομερή υλικά (χαλίκια, κροκάλες και τοπικά ογκόλιθοι), γωνιώδη, με σχετικά υψηλό ποσοστό λεπτομερών υλικών, χαλαρά έως ελαφρά ή ισχυρά συγκολλημένα. Κατά μήκος του έργου, εντοπίζονται στις περιοχές με έντονο μορφολογικό ανάγλυφο και ισχυρές εγκάρσιες κλίσεις, στις ζώνες ρηξιγενών δομών και στις παραχειμάρριες περιοχές. Το πάχος τους, ανάλογα με τη θέση τους και την περιοχή απόθεσης είναι συνήθως μεγαλύτερο των 5 mm.

Τοπικά ο σχηματισμός εμφανίζεται έντονα σιμεντοποιημένος με καστανέρυθρο ασβεστιτικό, αργιλοαμμώδες, συνδετικό υλικό. Δυτικά της χάραξης, ο σχηματισμός Co εμφανίζεται υπό τη μορφή σκληρού λατυποπαγούς, με ικανοποιητική ευστάθεια σε φυσικά πρανή ύψους 5-7 m με απότομες κλίσεις.

## 2. <u>ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΕ-2Β:</u>

- Ηωκαινικός φλύσχης (Fo)
- Μεταβατικά στρώματα (KeFo)
- Ασβεστόλιθοι Βίγλας (KB1)

Κύρια χαρακτηριστικά της ενότητας αυτής είναι η ημιβραχώδης μηχανική συμπεριφορά, οι συχνές εναλλαγές στη λιθολογία κατά την κατακόρυφη διεύθυνση (επάλληλοι ορίζοντες), η μέτρια ανομοιομορφία και η σχετικά μέτρια ευκολία στην αποσάθρωση.

Η συνοχή σε συνάρτηση με ορισμένους πρωτογενείς (αρχική λιθολογική σύσταση, διαγένεση, κοκκομετρία), αλλά κα δευτερογενείς παράγοντες (εξαλλοίωση, αποσάθρωση). Οι ψαμμίτες χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές συνοχής και διατμητικής αντοχής.

Η εκσκαψιμότητα τους κρίνεται μέτρια με ελαφρά έως βαρέα μηχανικά μέσα.

Στο εξεταζόμενο τμήμα των χωματουργικών έργων εντοπίζονται μόνο οι ασβεστόλιθοι Βίγλας (KB1) από την ενότητα TE-2B, τα επιμέρους τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά των οποίων αναφέρονται στη συνέχεια.

## ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΒΙΓΛΑΣ (ΚΒ1)

Οι ασβεστόλιθοι Βίγλας έχουν ποικιλία χρωμάτων (λευκό, κίτρινο, ροδίζον, κυανό), είναι λεπτοστρωματώδεις, υπολιθογραφικοί, μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένοι με πυκνές ενστρώσεις πυριτιολίθων. Το πάχος των στρωμάτων είναι της τάξης των 2 έως 5 cm. Οι εναλλαγές των επιμέρους στρώσεων είναι ρυθμικές και ισοπαχείς.

Ο σχηματισμός Βίγλας (KB1) εμφανίζεται πολυπτυχωμένος, ισχυρά κερματισμένος και αποσαθρωμένος και αποτελεί τον «ασθενή» ευδιάβρωτο και «ευαίσθητο» βραχώδη γεωλογικό σχηματισμό, του οποίου η βραχομάζα είναι ποιοτικά υποβαθμισμένη και χαρακτηρίζεται από φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά.

Διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας μέσω της διενέργειας παραμετρικών αναλύσεων σε επιχώματα του Αυτοκινητοδρόμου ΙΟΝΙΑ ΟΔΟΣ



Εικόνα 2-9: Ασβεστόλιθος Βίγλας.

## 2.3.3 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 3

- Σενώνιοι ασβεστόλιθοι (Ks)
- Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι (Ke)
- Ασβεστόλιθοι Βίγλας (KB2)
- Ασβεστόλιθοι Παντοκράτορος (Kp)

Οι σχηματισμοί της ενότητας αυτής παρουσιάζουν υψηλές τιμές μηχανικής αντοχής ενώ η συμπεριφορά της βραχομάζας είναι συνήθως ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ σελίδα 47

ικανοποιητική για την θεμελίωση τεχνικών έργων. Σε ορισμένες περιπτώσεις θρυματίζονται εύκολα σε μέγεθος ψηφίδας. Εμφανίζονται κερματισμένοι με μικρή ανομοιομορφία και μικρή ευκολία στην αποσάθρωση, με βραχώδη μηχανική συμπεριφορά, μεγάλη δευτερογενή περατότητα, είναι καρστικοποιημένοι και φιλοξενούν πλούσιους υδροφόρους ορίζοντες.

Στο εξεταζόμενο τμήμα των χωματουργικών έργων εντοπίζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί (Ks, KB2) της ΤΕ-3, τα επιμέρους τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά των οποίων αναφέρονται στη συνέχεια.

### ΣΕΝΩΝΙΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ (Ks)

Είναι συμπαγείς. λευκοί, τοπικά ροδόχροοι, σκληροί μικρολατυποπαγείς έως λατυποπαγείς, ασβεστόλιθοι, υγιείς έως ελαφρά αποσαθρωμένοι, με θραύσματα ρουδιστών και παρεμβολές υπολιθογραφικών ασβεστολίθων. Έγουν ορατές καρστικές δομές κάθετης ανάπτυξης, τοπικά είναι άστρωτοι, συνήθως όμως με ευδιάκριτα στρωσιγενή επίπεδα και μεταβαλλόμενο πάχος στρώσης. Εμφανίζουν περισσότερες των τεσσάρων οικογενειών ασυνεχειών, με διάσπαρτες ζώνες κερματισμού ή κατακερματισμού. Το πάγος του σγηματισμού είναι μεταξύ 200 m έως 300 m.

Οι ασβεστόλιθοι Ks παρουσιάζουν καλά μηχανικά χαρακτηριστικά και έχουν υψηλές αντοχές. Ακόμα και στις ζώνες των ρηγμάτων όπως επίσης και όπου αυτές συνδέονται με έντονα φαινόμενα καρστικών διεργασιών, η ευστάθεια πρανών μέσου μεγέθους που σχηματίζονται κατά τις εκσκαφές είναι ικανοποιητική, όπως παρατηρείται στα πρανή του υφιστάμενου δρόμου.

Όσον αφορά στην ευστάθεια των ορυγμάτων που δημιουργούνται στους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς Ks, κατά τόπους εμφανίζεται μαζώδηςάστρωτη βραχομάζα, επιτρέποντας τη δημιουργία υψηλών ορυγμάτων.

Στις περιοχές που τα τελικά διαμορφωμένα πρανή είναι παράλληλα με ζώνες ρηγμάτων, υπάρχει ανάγκη μείωσης της γενικής κλίσης του πρανούς ή και δημιουργία αναβαθμίδων και «παγίδων» βράχων. Αντίθετα στις περιπτώσεις των τεχνητών πρανών που τέμνουν με μεγάλη γωνία τα ρήγματα, δεν αναμένονται ιδιαίτερα προβλήματα.

Η εκσκαφή του σχηματισμού Ks γίνεται με χρήση εκρηκτικών, ενώ τα προϊόντα εκσκαφής είναι κατάλληλα για υλικά επιχωμάτων και για αδρανή, έπειτα από θραύση.



Εικόνα 2-10: Σενώνιοι ασβεστόλιθοι.

## ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΒΙΓΛΑΣ (ΚΒ2)

Είναι λευκού έως υπόλευκου χρώματος, σκληροί, λεπτομεσοστρωματώδεις και υπολιθογραφικοί. Πρόκειται για ασβεστόλιθους ελαφρά έως μέτρια αποσαθρωμένους, με αραιές ενστρώσεις ή κονδύλους πυριτολίθων και κατά θέσεις καρστικοποιημένους. Σε διατμητικές ζώνες μεγάλου εύρους εμφανίζονται έντονα κερματισμένοι και κατακερματισμένοι και τοπικά εδαφοποιημένοι με μεταβάσεις προς πυριτιακές αργίλους.

Οι ασβεστόλιθοι Βίγλας (KB2) αποτελούν βραχομάζα η οποία κρίνεται ποιοτικά ως ικανοποιητική, αν και κατά θέσεις, λόγω του ισχυρού κερματισμού και της αποσάθρωσής της, εμφανίζεται ποιοτικά υποβαθμισμένη. Συνοδεύεται από έντονες εδαφοποιήσεις προς των σχηματισμό των πυριτικών αργίλων, ιδίως σε διατμητικές ζώνες ικανού εύρους.

## 2.4 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Οι βραχώδεις ανθρακικοί γεωλογικοί σχηματισμοί των Ηωκαινικών και των Σενώνιων ασβεστολίθων αλλά και των ασβεστολίθων της Βίγλας και του Παντοκράτορος θεωρούνται διαπερατοί λόγω του αυξημένου δευτερογενούς πορώδους, εν αντιθέσει με τους γεωλογικούς σχηματισμούς του φλύσχη, των μεταβατικών στρωμάτων και των σχηματισμών της Βίγλας που πρακτικά θεωρούνται υδατοστεγανοί και αδιαπέρατοι.

Στις περιοχές που καλύπτονται από τους Ηωκαινικούς και Σενώνιους ασβεστόλιθους, δεν αναμένονται υπόγεια νερά, τόσο εποχιακά όσο και μόνιμα ακόμα και στους βαθύτερους ορίζοντες. Εν αντιθέσει στις περιοχές που ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ σελίδα 50

καλύπτονται από τους ασβεστόλιθους Βίγλας και Παντοκράτορος, αναμένονται τόσο εποχιακά όσο και μόνιμα υπόγεια νερά, τόσο επιφανειακά (υψηλά) όσο και στους σχετικώς βαθύτερους ορίζοντες.

Από τους εδαφικούς γεωλογικούς, οι αργιλικής σύστασης αλλουβιακές αποθέσεις, οι πυριτικές άργιλοι, οι ερυθρογαίες και τα αργιλικά κορήματα θεωρούνται πρακτικά έως αδιαπέρατοι και υδατοστεγανοί σχηματισμοί, σε αντίθεση με τις λεπτομερείς, κοκκώδεις και αδρομερείς αλλουβιακές αποθέσεις, τους μανδύες και τα πλευρικά αδρομερή κορήματα που θεωρούνται διαπερατοί σχηματισμοί.

Η περιοχή μεταξύ Χ.Θ. 161+590 έως Χ.Θ. 166+900 εντάσσεται στην υδρογεωλογική λεκάνη, η οποία εκτείνεται από τη Χ.Θ. 159+140 (Γυμνότοπος) έως Χ.Θ. 181+760 περίπου (βόρεια του οικισμού βασαίϊκα). Η ιδιαιτερότητα της υδρογεωλογικής αυτής λεκάνης είναι ότι συνιστάται από μικρότερες και επιμέρους υπολεκάνες όπου παροχετεύονται απευθείας στον κύριο αποδέκτη (ποταμός Λούρος), ο οποίος εκτείνεται δυτικά των έργων.

Τέλος, στις κοίτες των υφιστάμενων κύριων υδρορεμάτων, που εντοπίζονται στην περιοχή του έργου και διέρχονται εγκάρσια ή διαγώνια από τον άξονα της χάραξης, οι στερεοπαροχές συνολικά, δεν ήταν ιδιαίτερα σημαντικές ή και επιπλέον κατά θέσεις εξέλειπαν τελείως. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι λόγω του βραχώδους ανθρακικού υποβάθρου που δομεί το σύνολο σχεδόν της ευρύτερης περιοχής, δεν ευνοούνται οι επιφανειακές απορροές και έως εκ τούτου οι μεγάλες στερεομεταφορές.

Διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας μέσω της διενέργειας παραμετρικών αναλύσεων σε επιχώματα του Αυτοκινητοδρόμου ΙΟΝΙΑ ΟΔΟΣ



Εικόνα 2-11: Κόμβος Ιόνιας οδού.

## 2.5 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ

Σύμφωνα με την γεωτεχνική μελέτη χωματουργικών της αδημοσίευτης τεχνικής έκθεσης ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ&ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ, 2014, η ευρύτερη περιοχή, της ζώνης επιρροής των έργων του Αυτοκινητοδρόμου και γενικότερα της Δυτικής Ελλάδας, λόγω της πολυπλοκότητας της τεκτονικής της ιστορίας, προκάλεσε το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών, οι οποίοι έδωσαν

διάφορες ερμηνείες για τον τρόπο ιζηματογένεσης και τεκτονισμού της περιοχής.

Ενδεικτικά και επιγραμματικά αναφέρονται τα παρακάτω:

- Στην ευρύτερη περιοχή επικρατεί συμπιεστικό (θλιπτικό) πεδίο τάσεων, που οφείλεται στην σύγκλιση(βράχυνση) του φλοιού στα πλαίσια της κίνησης της Αδριατικής στην περιοχή του Βόρειου Ιονίου.
- Τα ενεργά ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης είναι πολύ σπάνια.
- Ο τεκτονισμός του πρόσφατου Νεογενούς οφείλεται σε συνδυασμό επωθήσεων, τοπικών διαπυρισμών και εφελκυσμών που εκδηλώνεται με τη δημιουργία ενός συστήματος λεκανών.
- Στο Ανώτερο Πλειόκαινο-Τεταρτογενές διακρίνονται δύο τεκτονικές φάσεις. Μία εφελκυστική φάση διεύθυνσης B-N (Ανωτ. Πλειόκαινο) και μία μεταπλειοκαινική συμπίεση με διεύθυνση BΔ-NA.
- Συνύπαρξη και εναλλαγή συμπιεστικών και εφελκυστικών φάσεων με διεύθυνση περίπου Α-Δ και Β-Ν αντίστοιχα.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι γενικότερα η περιοχή της Ηπείρου έχει υποστεί έντονες νεοτεκτονικές διεργασίες, οι οποίες προκάλεσαν τη δημιουργία ρηγμάτων, πτυχώσεων και εφιππεύσεων και οι οποίες εκφράζονται με την παρουσία ανεξάρτητων μορφολογικών μονάδων, έντονου αναγλύφου και σύνθετης γεωλογικής δομής.

Η παλαιότερη τεκτονική εκδηλώνεται με κανονικά ρήγματα με κύριες διευθύνσεις προσανατολισμού ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ και τα οποία έχουν ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ σελίδα 53

επηρεάσει το ασβεστολιθικό υπόβαθρο, με μεγάλα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης, καθώς και με πολλαπλά σύγκλινα ή αντίκλινα(πολυπτυχώσεις) που έχουν αξονικά επίπεδα με κύρια διεύθυνση προσανατολισμού BBΔ-NNA.

Τα τεκτονικά αυτά γεγονότα συνεχίστηκαν και κατά τη διάρκεια του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς σε ορισμένες περιοχές. Αυτό προκύπτει από το πλήθος των σύγχρονων ρηγμάτων που τέμνουν τις μεγάλες, παλιές, τεκτονικές δομές και εκφράζονται από τις έντονες κλίσεις στους πλειοπλειστοκαινικούς σχηματισμούς και από την παρουσία μεγάλης έντασης πλευρικών κορημάτων.

Συνήθως, τα κανονικά και οριζόντιας μετατόπισης ρήγματα έχουν κύριες διευθύνσεις προσανατολισμού ABA-ΔNΔ και ΔBΔ-ANA αντίστοιχα.

Εκτός από τα παραπάνω, αναφέρονται επίσης συμπιεστικές τάσεις με διεύθυνση προσανατολισμού ABA-ΔNΔ, οι οποίες προκάλεσαν τα μεγάλαοριζόντιας μετατόπισης ρήγματα με μηδενική ή πολύ μικρή κατακόρυφη συνιστώσα καθώς και συζυγή τοιαύτα με διευθύνσεις BBA-NNΔ και BΔ-NA.

## 2.5 ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Σύμφωνα με τον ισχύοντα Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (Ε.Α.Κ., 2000 και το ΦΕΚ 1154-12/08/2003, τεύχος Β'), η περιοχή του έργου κατατάσσεται στη Ζώνη ΙΙ, με αντίστοιχο συντελεστή σεισμικής επιτάχυνσης α=0,24.

Τα εδάφη που δομούν την περιοχή του έργου εντάσσονται στην κατηγορία Γ (εδαφικές, αργιλικές στρώσεις), στην κατηγορία Β (αμμοχαλικώδεις στρώσεις, μεταβατικά στρώματα και οι σχηματισμοί Βίγλας KB1), ενώ οι αμιγείς βραχώδεις ανθρακικοί σχηματισμοί (Σενώνιοι ασβεστόλιθοι, ασβεστόλιθοι Βίγλας KB2) εντάσσονται στη κατηγορία A, σύμφωνα με τον Πίνακα 2.5 του Ε.Α.Κ..

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΘΗΚΕ (Χ.Θ. 164+950-165+270)

Η τομή του επιχώματος που επιλέχθηκε να προσομοιωθεί στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής βρίσκεται στη χιλιομετρική θέση 164+950-165+270 του Αυτοκινητοδρόμου της Ιόνιας Οδού. Το κεφάλαιο αυτό έχει ως στόχο την περιγραφή του γεωτεχνικού σχεδιασμού του συγκεκριμένου επιχώματος.

## 3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ

Το συγκεκριμένο τμήμα αφορά τη διεύλευση του Αυτοκινητοδρόμου μέσα από μορφολογικό βύθισμα, με τοπικά απότομες κλίσεις, κυρίως εγκάρσια της χάραξης, με τιμές της τάξης των 20° και τοπικά ηπιότερες. Ο αριστερός κλάδος του αυτοκινητοδρόμου διέρχεται επί επιχώματος αυξημένου ύψους, ενώ ο δεξιός κλάδος επί επιχώματος περιορισμένου έως μηδενικού ύψους.

Το επίχωμα θα κατασκευαστεί με κλίση 2:3 (υ:β), ωστόσο λόγω του σημαντικού ύψους του, προβλέπεται και διαμόρφωση ενδιάμεσου αναβαθμού στο πρανές του Αριστερού Κλάδου, πλάτους 4m σε ύψος 12m, κάτω από τη στάθμη της στέψης του χωματουργικού έργου του επιχώματος. Το μέγιστο ύψος επιχώματος ανέρχεται στα 26m μετρούμενο ως υψομετρική διαφορά στέψης-πόδα και στα 15m μετρούμενο ως καθαρό κατακόρυφο ύψος, ενώ το μέγιστο ύψος στον άξονα είναι επίσης της τάξης των 12m.

Διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας μέσω της διενέργειας παραμετρικών αναλύσεων σε επιχώματα του Αυτοκινητοδρόμου ΙΟΝΙΑ ΟΔΟΣ



Εικόνα 3-1: Χάραξη του Αυτοκινητοδρόμου στο Νέο Γοργόμυλο Πρεβέζης.

## 3.2 ΓΕΩΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

## <u>3.2.1 Ερευνητική γεώτρηση</u>

Για το συγκεκριμένο τμήμα εκτελέστηκε σε προηγούμενη φάση μία δειγματοληπτική γεώτρηση για τον γεωτεχνικό σχεδιασμό , η DE-25.1. Η γεώτρηση αυτή σε όλο το βάθος της διέτρησε Ασβεστόλιθο (Σενωνίου-Ks). Μέχρι το βάθος των 6,7m ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται ως υψηλής

αντοχής, λευκός Ασβεστόλιθος, ελαφρά έως μέτρια αποσαθρωμένος, μέτρια κερματισμένος έως κατακερματισμένος και κατά θέσεις καρστικοποιημένος. Ο σχηματισμός εμφανίζεται κατά θέσεις με τη μορφή λατυποπαγούς. Μετά το βάθος των 6,7m και μέχρι το τέλος της ερευνητικής γεώτρησης, ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται ως υψηλής έως πολύ υψηλής αντοχής, υγιής έως μέτρια αποσαθρωμένος, ελαφρά κερματισμένος έως κατά θέσεις κατακερματισμένος.

## <u>3.2.2 Ερευνητικά φρέατα</u>

Στο συγκεκριμένο τμήμα εκτελέστηκε σε προηγούμενη φάση ένα ερευνητικό φρέαρ, το PE-25.1. Στα πλαίσια της συμπληρωματικής γεωτεχνικής έρευνας εκτελέστηκε ένα πρόσθετο ερευνητικό φρέαρ, το NPEAC-3. Στο φρέαρ PE-25.1 συναντήθηκαν καστανοί αργιλώδεις χάλικες 2ασβεστολιθικής σύστασης με άμμο έως το βάθος των 2m. Από τα 2m έως το τελικό βάθος εκσκαφής στα 3,2m, εντοπίστηκαν καστανοί αργιλώδεις χάλικες, λατύπες και ασβεστολιθικά τεμάχη με άμμο. Στο φρέαρ NPEAC-3 συναντήθηκαν από την επιφάνεια έως το τελικό βάθος εκσκαφής, ασβεστολιθικής προέλευσης χάλικες και τοπικά αμμοχάλικο με άργιλο. Μεταξύ των βαθών 1,5m και 3,1m παρατηρήθηκαν μικρές καταπτώσεις στα πρανή του φρέατος.

(ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ&ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ. Αδημοσίευτη Τεχνική Έκθεση (Α.Τ.Ε) 2014.Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3- 304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ.)

# 3.3 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ -ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ

## 3.3.1 Μορφολογία

Το τμήμα της συγκεκριμένης χιλιομετρικής θέσης (164+950-165+270) οριοθετείται σε ημιορεινό έως ορεινό μορφολογικό ανάγλυφο, με σχετικά ομοιόμορφες, μέσες έως έντονες κλίσεις, κυρίως εγκάρσια της χάραξης.

## > 3.3.2 Τεχνικογεωλογικές συνθήκες

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των γεωλογικών και γεωτεχνικών ερευνών, στην περιοχή του επιχώματος συναντώνται στο αρχικό τμήμα εδαφικοί σχηματισμοί μέσου έως περιορισμένου πάχους αποτελούμενοι από παλαιούς κώνους πλευρικών κορημάτων. Ο σχηματισμός παρουσιάζεται υπό μορφή αργιλώδους αμμοχάλικου.

Στο δεύτερο τμήμα από το μέσο έως το τέλος του επιχώματος, εντοπίζεται ο ασβεστολιθικός σχηματισμός Σενωνίου, χαρακτηριζόμενος από υψηλής έως πολύ υψηλής αντοχής, υγιής έως ελαφρά και μέτρια αποσαθρωμένος, συμπαγής έως διακλασμένος και τοπικά αποσαθρωμένος.

## <u>3.3.3 Στρωματογραφία</u>

Στη συνέχεια παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα χαρακτηριστικά των σχηματισμών θεμελίωσης, όπως προέκυψαν από τις περιγραφές των γεωτρήσεων και τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών.

## Στρώση Ι: Πολύ πυκνό αργιλώδες αμμοχάλικο.

Αφορά τον σχηματισμό των πλευρικών κορημάτων και συναντήθηκε στα δύο φρέατα στο αρχικό τμήμα του επιχώματος. Η στρώση περιγράφεται ως πολύ πυκνό, αργιλώδες αμμοχάλικο. Το ποσοστό των χαλίκων κυμάνθηκε μεταξύ 43-87%, της άμμου μεταξύ 8-32% και των λεπτόκοκκων μεταξύ 1-25%.

## **Στρώση ΙΙ:** <u>Υψηλής έως πολύ υψηλής αντοχής ασβεστόλιθος</u>.

Αποτελεί το βραχώδες υπόβαθρο στην περιοχή κατασκευής του επιχώματος όπου το φαινόμενο βάρος  $\gamma_b$  του σχηματισμού κυμάνθηκε σε τρεις δοκιμές μεταξύ 26,6 KN/m<sup>3</sup> και 26,8 KN/m<sup>3</sup> με μέση τιμή 26,7 KN/m<sup>3</sup> και η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη σ<sub>ci</sub>, προσδιορίστηκε σε τρεις δοκιμές μεταξύ 83MPa και 138,6MPa με μέση τιμή 108,2MPa.

## <u>3.3.4 Παράμετροι αντοχής</u>

Για την εδαφική στρώση Ι έγινε στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών και επί τόπου δοκιμών και προσδιορίζονται χαρακτηριστικές αντιπροσωπευτικές τιμές για τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά της, με τη χρήση εμπειρικών ή αναλυτικών σχέσεων. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται τα κυριότερα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά της εδαφικής στρώσης.

Στρώση/Τεχνικογεωλογική	c'	φ'	Su	Es	$\gamma_{\rm b}$	N <sub>SPT</sub>
ενότητα	(KPa)	(°)	(MPa)	(MPa)	(KN/m <sup>3</sup> )	
ΣτρώσηΙ/Τεχνικογεωλογική	15	33	_	150	21	_
ενότητα -2Α						

Πίνακας 3-1: Μηχανικά και φυσικά χαρακτηριστικά της εδαφικής στρώσης Ι.

Για τη βραχώδη στρώση ΙΙ χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της αντοχής του σχηματισμού το κριτήριο Hoek-Brown (2002) και το μέτρο ελαστικότητας της βραχομάζας εκτιμάται κατά Hoek-Diederichs (2006). Στους ακόλουθους πίνακες παρουσιάζονται οι δύο τυπικές εδαφικές τομές με τα βάθη και τα μηχανικά χαρακτηριστικά της κάθε στρώσης, για την εξέταση της ευστάθειας των πρανών των επιχωμάτων.

Η τυπική τομή του υπεδάφους για το επίχωμα στη Χ.Θ. 164+950-165+100 λαμβάνεται:

Βάθος	Στρώση/Τεχνικογεωλογική	γ	Παράμετροι αντοχής		
(m)	ενότητα	(KN/m <sup>3</sup> )	c'	φ'	E
			(KPa)	(°)	(MPa)
0,0-8,0	ΣτρώσηΙ/Τεχνικογεωλογική	21	15	33	150
	ενότητα -2Α				

Πίνακας 3-2: Βάθη και μηχανικά χαρακτηριστικά των εδαφικών στρώσεων.

8,0-20,0	ΣτρώσηΙΙ/Τεχνικογεωλογική	26,5	550	55	15.000
	ενότητα -3				

Η τυπική τομή του υπεδάφους για το επίχωμα από τη Χ.Θ. 165+100-165+270 λαμβάνεται:

Πίνακας 3-3: Βάθη και μηχανικά χαρακτηριστικά των εδαφικών στρώσεων.

Βάθος	Στρώση/Τεχνικογεωλογική	γ	Παράμετροι αντοχής		
(m)	ενότητα	$(KN/m^3)$	c'	φ'	E
			(KPa)	(°)	(MPa)
0,0-20,0	ΣτρώσηΙΙ/Τεχνικογεωλογική ενότητα-3	26,5	550	55	15.000

Διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας μέσω της διενέργειας παραμετρικών αναλύσεων σε επιχώματα του Αυτοκινητοδρόμου ΙΟΝΙΑ ΟΔΟΣ



Εικόνα 3-2: Κόμβος Νέου Γοργόμυλου Πρεβέζης.

## 3.4 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με την Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3-304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ, πραγματοποιούνται αναλύσεις ευστάθειας των μόνιμων πρανών του επιχώματος έναντι επιφανειών ολίσθησης κυκλικής μορφής που διέρχονται είτε αποκλειστικά εντός του σώματος ή εντός τόσο του σώματος του επιχώματος όσο και του υπεδάφους θεμελίωσης.

Για το σώμα του επιχώματος λαμβάνονται συντηρητικά παράμετροι αντοχής c'=5KPa και φ'=35°. Αυτές οι παράμετροι, θεωρείται, ότι αντιστοιχούν στο τυπικό βραχώδες-ημιβραχώδες υλικό του υπεδάφους της ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ σελίδα 63

περιοχής, προϊόν εκσκαφής των γειτονικών ορυγμάτων, μετά από σχετική αφαίρεση πιθανών έντονων αργιλικών τμημάτων επιχώματος. Οι παραπάνω παράμετροι θα πρέπει να αναθεωρηθούν προς το δυσμενέστερο σε περίπτωση χρήσης άλλου υλικού.

Οι αναλύσεις ευστάθειας εκτελέστηκαν για το επίχωμα του Αριστερού Κλάδου στις διατομές 963 (Χ.Θ. 165+090) και 965 (Χ.Θ. 165+130) για τη θεωρούμενη πρώτη και δεύτερη, αντίστοιχα, τυπική εδαφική τομή και στρωματογραφία. Η κλίση του επιχώματος λαμβάνεται 2:3 (υ:β), ενώ προβλέπεται ενδιάμεσος αναβαθμός πλάτους 4m σε κατακόρυφο ύψος 12m κάτω από τη στάθμη της στέψης των χωματουργικών.

Οι αναλύσεις γίνονται για μακροχρόνιες συνθήκες, με καθεστώς ενεργών τάσεων και παραμέτρους αντοχής c', φ', για στατική και σεισμική φόρτιση. Επίσης, στη διατομή 963 εξετάζεται η τυχηματική περίπτωση έντονου κορεσμού της στρώσης Ι σε περίοδο ισχυρών βροχοπτώσεων.

Τέλος, στη στέψη του επιχώματος λαμβάνεται κινητό φορτίο (φόρτιση κυκλοφορίας) P=20 KN/m<sup>2</sup>, ενιαία κατανεμημένο επί του πλάτους οδοστρώματος για τη στατική φόρτιση και  $P_s=10$  KN/m<sup>2</sup> για τη σεισμική φόρτιση και για την περίπτωση έντονα κορεσμένου υπεδάφους.

Σύμφωνα με παραπάνω, εξετάζονται οι ακόλουθες περιπτώσεις: α. στατικής φόρτισης, με ζητούμενο συντελεστή ασφαλείας Σ.Α. >1,30 β. σεισμικής φόρτισης, με ζητούμενο συντελεστή ασφαλείας Σ.Α. >1,00

Στις αναλύσεις ευστάθειας για το πρανές του επιχώματος του δεξιού κλάδου στη διατομή 906 προσδιορίστηκαν αποδεκτοί συντελεστές ασφαλείας σε όλες τις φορτίσεις. Οι επιφάνειες ολίσθησης κυκλικής μορφής διέρχονταν εντός του ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ σελίδα 64 σώματος του επιχώματος αποκλειστικά. Οι συντελεστές ασφαλείας παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3-4: Αποτελέσματα των αναλύσεων.

Διατομή	Κλίση	Διαμόρφωση	Συντελεστές ασφαλείας		
			Στατική	Σεισμική	
			φόρτιση	φόρτιση	
906 (δεξιός	2:3	Εκσκαφή με	1,404	1,003	
κλάδος)		αναβαθμούς			
		όπου			
		απαιτείται			



Εικόνα 3-3: Τομή επιχώματος στη Χ.Θ. 164+950-165+270 . (Σωτηρόπουλος & συνεργάτες Α.Τ.Ε. 2014 Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3- 304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ)

## 3.5 ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ

## <u>3.6.1 Καθίζηση υπεδάφους</u>

Σύμφωνα με τις παραδοχές της μελέτης, λόγω της κατασκευής του επιχώματος αναμένεται να συντελεστούν καθιζήσεις που ενδέχεται να επηρεάσουν τη λειτουργία του έργου. Οι καθιζήσεις θα λάβουν χώρα εντός της στρώσης Ι των σχηματισμών θεμελίωσης, η οποία αποτελείται από υλικά με αργιλοχαλικώδη σύσταση. Λόγω των υψηλών μηχανικών χαρακτηριστικών, του περιορισμένου πάχους και του αυξημένου ποσοστού κοκκώδους υλικού στην εδαφική στρώση Ι, αναμένεται οι καθιζήσεις να είναι περιορισμένες και άμεσες. Στα τμήματα του επιχώματος, όπου αναμένεται έδραση επί του βραχώδους σχηματισμού, οι καθιζήσεις αναμένονται πρακτικά μηδενικές. Έτσι, οι καθιζήσεις δεν θα επηρεάσουν τη λειτουργία του έργου.

Από τους υπολογισμούς των καθιζήσεων που αναφέρονται στη μελέτη του έργου, (Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3- 304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ), εκτιμάται μέγιστη τιμή καθίζησης της τάξης των 1-2cm για τα τμήματα που θεμελιώνονται επί των αργιλοχαλικών. Συνολικά οι τιμές των καθιζήσεων θεωρούνται σε κάθε περίπτωση ανεκτές, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό τους θα λάβει χώρα άμεσα. Σημειώνεται πως οι καθιζήσεις ενδέχεται να διαφοροποιούνται κατά μήκος και κατά πλάτος των διατομών, λόγω αφενός της ανομοιόμορφης γεωμετρίας και αφετέρου της εναλλαγής των σχηματισμών.

# 3.6 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΡΑΝΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ-ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ-ΛΟΙΠΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

## <u>3.7.1 Διαμόρφωση πρανών επιχώματος</u>

Βάσει των αποτελεσμάτων των αναλύσεων που αναφέρονται στη μελέτη του έργου, (Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3- 304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ),προτείνεται η κατασκευή των πρανών των επιχωμάτων του αριστερού κλάδου με κλίση 2:3 (υ:β), με διαμόρφωση αναβαθμού πλάτους 4m και ύψους 12m από τη στέψη του χωματουργικού έργου του επιχώματος.

## <u>3.7.2 Εκσκαφές για την έδραση του επιχώματος</u>

Σύμφωνα με τις προτάσεις του ερευνητή, πριν την κατασκευή του επιχώματος, προηγείται καθαρισμός της περιοχής στο πλάτος έδρασης και αφαίρεση της φυτικής γης όπου υπάρχει, σε ενδεικτικό βάθος 0,30m ή ίσο με το πάχος της φυτικής γης.

Λόγω της κλίσης του φυσικού εδάφους, θα δημιουργηθούν αναβαθμοί αγκύρωσης για την έδραση του επιχώματος. Σε περίπτωση που κατά τη διαμόρφωση της επιφάνειας θεμελίωσης του επιχώματος συναντηθούν τμήματα μαλακής ή ισχυρά κορεσμένης αργίλου, θα απαιτηθεί αφαίρεσή τους και αντικατάσταση με υλικό επιχώματος.

## <u>3.7.3 Κατασκευή επιχώματος</u>

Προτείνεται τα υλικά επίχωσης να είναι τόσο γαιώδη όσο και βραχώδη τα οποία θα προέρχονται από τα υλικά εκσκαφής των γειτονικών ορυγμάτων με αποκλεισμό των έντονα αργιλικών τμημάτων.

Κατά μήκος της πρώτης εδαφικής τομής από τη Χ.Θ. 164+950-165+100 και στο τμήμα που το επίχωμα εδράζεται επί γαιώδους σχηματισμού , η κατώτερη στρώση του επιχώματος πρέπει να είναι αδρόκοκκη, αποτελούμενη από αμμοχαλικώδη ή καθαρά βραχώδη υλικά.

Για την αποφυγή της ανάπτυξης των υπερπιέσεων πόρων εντός του επιχώματος από τη διείσδυση βρόχινων υδάτων και την προστασία της επιφάνειας του πρανούς από τη διάβρωση, πρέπει να γίνει επιμελής διάστρωση των πρανών του επιχώματος και του ενδιάμεσου αναβαθμού με φυτική γη.



Εικόνα 3-4: Σχέδιο χάραξης στη Χ.Θ.164+950-165+270.

(Σωτηρόπουλος & συνεργάτες Α.Τ.Ε. 2014 Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3- 304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4- ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PLAXIS

## 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται συνοπτικά η λειτουργία του υπολογιστικού πακέτου PLAXIS, που γρησιμοποιήθηκε κατά τη διδιάστατη ανάλυση της παραμόρφωσης και ευστάθειας των επιχωμάτων. Το PLAXIS 2D είναι ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων, μέσω του οποίου γίνεται η προσομοίωση της συμπεριφοράς των επιγωμάτων της Ιόνιας Οδού. Πραγματοποιούνται παραμετρικές αναλύσεις για διάφορους συνδυασμούς μηγανικών γαρακτηριστικών των υλικών πλήρωσης των επιγωμάτων καθώς και για διάφορα μήκη και διατάξεις των γεωυφασμάτων όπλισης των επιχωμάτων. Σκοπός της χρήσης του προγράμματος αυτού είναι ο προσδιορισμός της επίδρασης των χαρακτηριστικών αυτών στην παραμορφωσιμότητα των επιχωμάτων.

## 4.2 ΓΕΝΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Σύμφωνα με το Plaxis Tutorial Manual V8, για κάθε νέο έργο που θα αναλυθεί είναι σημαντικό να δημιουργηθεί ένα μοντέλο γεωμετρίας. Το μοντέλο γεωμετρίας είναι μία διδιάστατη αναπαράσταση ενός πραγματικούτρισδιάστατου προβλήματος και αποτελείται από σημεία, γραμμές και

συμπλέγματα. Το μοντέλο γεωμετρίας θα πρέπει να περιλαμβάνει ένα αντιπροσωπευτικό τμήμα του υπεδάφους σε διακριτά στρώματα του εδάφους, διαρθρωτικά αντικείμενα, στάδια κατασκευής και φορτίσεις. Το μοντέλο πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο έτσι ώστε τα όρια να μην επηρεάσουν τα αποτελέσματα του προβλήματος που πρέπει να μελετηθεί. Οι τρεις τύποι των στοιχείων σε ένα γεωμετρικό μοντέλο είναι οι εξής:

• Σημεία: Τα σημεία αποτελούν την αρχή και το τέλος των γραμμών. Τα σημεία μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την τοποθέτηση των αγκυρών, των σημείων δυνάμεων, των σημείων σταθερότητας και για τις βελτιώσεις των πεπερασμένων στοιχείων των πλεγμάτων.

 Γραμμές: Οι γραμμές χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των φυσικών ορίων της γεωμετρίας, των ορίων του μοντέλου και των ασυνεχειών στη γεωμετρία όπως τοίχοι και του διαχωρισμού διακριτών στρωμάτων του εδάφους ή σταδίων κατασκευής. Μια γραμμή μπορεί να έχει διάφορες λειτουργίες ή ιδιότητες.

Συμπλέγματα: Τα συμπλέγματα είναι περιοχές που περικλείονται από τις γραμμές. Το πρόγραμμα PLAXIS αναγνωρίζει αυτόματα τα συμπλέγματα με βάση την εισαγωγή των γραμμών γεωμετρίας. Μέσα σε ένα σύμπλεγμα, οι ιδιότητες του εδάφους είναι ομοιογενείς. Ως εκ τούτου, τα συμπλέγματα μπορούν να θεωρηθούν ως μέρη των στρωμάτων εδάφους. Ενέργειες που σχετίζονται με συμπλέγματα, εφαρμόζονται σε όλα τα στοιχεία του συμπλέγματος.

Μετά τη δημιουργία του γεωμετρικού μοντέλου, ένα μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων μπορεί αυτομάτως να δημιουργηθεί, με βάση τη σύνθεση των συμπλεγμάτων και των γραμμών. Σε ένα πλέγμα πεπερασμένων ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ σελίδα 70 στοιχείων, μπορούν να προσδιοριστούν τρεις τύπους συστατικών, όπως περιγράφεται παρακάτω.

- Στοιχεία: Κατά την παραγωγή του πλέγματος, τα συμπλέγματα διαιρούνται σε τριγωνικά στοιχεία. Η επιλογή μπορεί να γίνει μεταξύ 15 και 6 κομβικών στοιχείων. Τα 15 κομβικά στοιχεία παρέχουν ακριβή υπολογισμό των τάσεων και των φορτίων αστοχίας. Επιπλέον, τα 6 κομβικά τρίγωνα είναι διαθέσιμα για ένα γρήγορο υπολογισμό.
- Κόμβοι: Τα γειτονικά στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους μέσω κοινών κόμβων. Κατά τη διάρκεια ενός υπολογισμού πεπερασμένου στοιχείου, οι μετατοπίσεις υπολογίζονται στους κόμβους. Οι κόμβοι μπορούν να προ-επιλεγούν για την παραγωγή των καμπυλών φόρτισης και μετατόπισης.

Εικόνα 4-1: (α) 15 κομβικά στοιχεία, (β) 6 κομβικά στοιχεία.

 Σημεία τάσης: Σε αντίθεση με τις μετακινήσεις οι τάσεις υπολογίζοντα στο εσωτερικό των στοιχείων.


Εικόνα 4-2: (α) 12 σημεία τάσεων, (β) 3 σημεία τάσεων.

## **4.3 ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΟΥ PLAXIS 2D**

Το πρόγραμμα Plaxis 2D αποτελείται από τέσσερα υποπρογράμματα, οι λειτουργίες των οποίων είναι οι εξής:

- Στο πρώτο, PLAXIS INPUT, εισάγεται ο τίτλος του αρχείου, καθορίζονται οι μονάδες των μεγεθών μήκος, δύναμη, χρόνος καθώς και οι διαστάσεις της περιοχής σχεδίασης. Στη συνέχεια γίνεται η σχεδίαση του γεωμετρικού μοντέλου με την βοήθεια των διαφόρων εργαλείων σχεδίασης και εισάγονται τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών πλήρωσης αυτού. Τέλος, καθορίζονται οι αρχικές συνθήκες, βήμα απαραίτητο για τη μετάβαση του επόμενου υποπρογράμματος.
- Στο δεύτερο, PLAXIS CALCULATION, δημιουργούνται οι διάφορες φάσεις υπολογισμού ανάλογα με τις απαιτήσεις του σχεδιασμού και ύστερα γίνονται οι υπολογισμοί με σκοπό την εύρεση του συντελεστή ασφαλείας.

- Στο τρίτο, PLAXIS OUTPUT, γίνεται η εξαγωγή και παρουσίαση των αποτελεσμάτων των συνολικών μετατοπίσεων των επιχωμάτων και των δυνητικών αστοχιών, μετά τους υπολογισμούς.
- Στο τέταρτο, PLAXIS CURVES, γίνεται η δημιουργία διαγραμμάτων των μετατοπίσεων των σημείων που επιλέχθηκαν πρώτα από το προσομοίωμα.

## 4.3.1 PLAXIS INPUT

Με τη δημιουργία ενός νέου αρχείου, εμφανίζεται ένα παράθυρο (General setting) με δύο καρτέλες. Στην πρώτη, (project), εισάγεται ο τίτλος του αρχείου και στη δεύτερη, (dimensions), εισάγονται οι διαστάσεις του χώρου σχεδίασης καθώς και οι μονάδες των μεγεθών του προσομοιώματος: μήκος, δύναμη και χρόνος.

General settings	×
Project Dimensions	1
Project	General
Filename <noname></noname>	Model Plane strain 💌
Directory	Elements 15-Node 💌
Title <noname></noname>	
Comments	Acceleration Gravity angle : -90 I 1.0 G x-acceleration : 0,000 $\bigcirc$ G y-acceleration : 0,000 $\bigcirc$ G Earth gravity : 9,800 $\bigcirc$ m/s <sup>2</sup>
Set as <u>d</u> efault	
Next	OK <u>C</u> ancel <u>H</u> elp

Εικόνα 4-3: Καρτέλα γενικών ρυθμίσεων εισαγωγής του τίτλου του αρχείου.

Jeet [	
Units	Geometry dimensions
Length m 💌	Left: 0,000 🚖 m
Force kN 💌	Right: 50,000 🜩 m
Time day 💌	Bottom: 0,000 🜩 m
	Top: 25,000 🔶 m
	Grid
Stress kN/m <sup>2</sup>	Spacing 1,000 🖨 m
Weights kN/m <sup>3</sup>	Number of intervals 1

Εικόνα 4-4: Καρτέλα καθορισμού των διαστάσεων και των μονάδων του προσομοιώματος.

Στη συνέχεια γίνεται η σχεδίαση του γεωμετρικού μοντέλου με την επιλογή των κατάλληλων εργαλείων σχεδίασης.

Elle Edit View Georretry Loads Mediatale Media Initial Beb Main Menu Main Menu State and a state of the st	🕑 Plaxis	8.2 Input - <noname></noname>					_ # ×
Main Menu Main Menu Main Menu Store General) Toolbar (General) Ruler Ruler	Eile Edit	t <u>V</u> iew <u>G</u> eometry Loads <u>M</u> ate	<u>rials Mesh Initial H</u> elp				
30.00 Toolbar (General) 25.00 Toolbar (General) 25.00 Toolbar (General)			Q Q 🔲 🔍 🕤	Main Menu			
5.00 5.00 5.00 50.00 55.00 Toolbar (General) 25.00 25.00 Toolbar (General)		<del></del> ( (		᠖┶゚┺゚ ☷ 淋 🗖 🗃	Initial conditions		
30.00 Toolbar (General)		-5.00 -00	5.00 10.00	.01 90 25.00 30		45.00 50.00	55.00
25.00 25.00		Lundand Ve		Toolbar (Geometry)	<u></u>		
25.00 Ruler	30.00	Toolbar	r (General) 🛛 🗋				
25.00	-					Ruler	
20.00	25.00				· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	• • • • • • • • • • • •	
20.00	Ξ						
	-						
	20.00						
	Ξ	Ruler		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			
Draw area	Ξ			Draw area			
	15.00						
	=						
10.00	10.00						
	Ξ						
Origin	-		Origin				
5.00	5.00						
	Ξ						
	0.00_						
	-			Cursor position ind	icotor		
-5.00 Manual Input	-5.00		anual Input		icator		
	-						
Public : 55 x 11 Units : 33.000 x 30.000 m	Punk on geo Divels 1 65	4 x 11 Units : 33.000 x 30	0.000 m				

**Εικόνα 4-5**: Η περιοχή σχεδίασης των τομών του υποπρογράμματος Plaxis Input.

#### Main Menu-Κύριο Μενού:

Το κύριο μενού περιέχει όλες τις επιλογές που είναι χρήσιμες για τη γραμμή εργαλείων και μερικές επιπλέον επιλογές που δεν χρησιμοποιούνται συχνά.

## Tool Bar (General) - Γραμμή Εργαλείων (Γενικά):

Η γραμμή εργαλείων αυτή περιέχει κουμπιά για γενικές εφαρμογές όπως λειτουργία δίσκου, εκτύπωση, μεγέθυνση ή επιλογή αντικειμένων. Επιπλέον, περιέχει κουμπιά για να ξεκινήσουν τα άλλα προγράμματα του Plaxis (Calculations, output και curves).

### Tool Bar (Geometry) – Γραμμή Εργαλείων (Γεωμετρία):

Αυτή η γραμμή εργαλείων περιέχει κουμπιά που σχετίζονται με τη δημιουργία γεωμετρικού μοντέλου.



Εικόνα 4-6: Γραμμή εργαλείων (Γενικά και Γεωμετρίας).

#### Rulers – Χάρακες:

Στην αριστερή και στην επάνω περιοχή σχεδίασης, οι χάρακες δείχνουν τις φυσικές συντεταγμένες που επιτρέπουν την άμεση προβολή των γεωμετρικών διαστάσεων.

### Draw area – Περιοχή σχεδίασης:

Πρόκειται για ένα φύλλο σχεδίασης όπου δημιουργείται το μοντέλο. Η περιοχή σχεδίασης μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως ένα συμβατικό σχεδιαστικό πρόγραμμα. Το πλέγμα των μικρών κουκίδων στην περιοχή σχεδίασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσκολλάται σε κανονικές θέσεις.

## **Origin** – Αρχή:

Εάν η αρχή είναι με τη σειρά των δεδομένων διαστάσεων, τότε παρουσιάζεται με ένα μικρό κύκλο με την ένδειξη των αξόνων χ και y.

## Manual Input – Χειροκίνητη Εισαγωγή:

Εάν η σχεδίαση με το ποντίκι δεν δίνει την επιθυμητή ακρίβεια, τότε χρησιμοποιείται η γραμμή της χειροκίνητης εισαγωγής. Οι τιμές για τις συντεταγμένες χ και y εισάγονται εδώ πληκτρολογώντας τις αντίστοιχες τιμές, διαχωρισμένες με κενό διάστημα. Η χειροκίνητη εισαγωγή μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την εκχώρηση νέων συντεταγμένων σε ένα επιλεγμένο σημείο ή για την αναφορά ενός υπάρχοντος γεωμετρικού σημείου, εισάγοντας τον αριθμό του. ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ σελίδα 76

#### Cursor position indicator – Ένδειξη της θέσης του κέρσορα:

Δίνει την ακριβή θέση του κέρσορα στις φυσικές μονάδες και τα στοιχεία της οθόνης. Μερικά από τα αντικείμενα που αναφέρονται κάτω μπορούν να μετακινηθούν αν ξε-επιλέξουμε τα αντίστοιχα στοιχεία από το μενού View.

Χρησιμοποιήθηκαν συγκεκριμένα εργαλεία σχεδίασης της τομής που προσομοιώθηκε, τα οποία είναι:

**Ceometry line (γραμμή σχεδίασης)**: Με το εργαλείο αυτό γίνεται η σχεδίαση του περιγράμματος του γεωμετρικού μοντέλου καθώς και η σχεδίαση των διαχωριστικών γραμμών των διάφορων εδαφικών στρώσεων. Η σχεδίαση γίνεται με τη βοήθεια συντεταγμένων, ξεκινώντας πάντα από το σημείο (0,0). Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται η γεωμετρία του μοντέλου του επιχώματος που εξετάζεται.



Εικόνα 4-7: Σχεδιασμός γεωμετρίας του άοπλου επιχώματος.

**Geogrids :** Με το εργαλείο αυτό εισάγεται γεωσυνθετικό υλικό στο γεωμετρικό μοντέλο. Θα πρέπει να οριστεί τιμή για την παράμετρο της δυστένειας EA (Normal Stiffness) όπου EA=F/(Δl/lo). Σημειώνεται πως το στοιχείο οπλισμού του προσομοιώματος θεωρήθηκε υψηλής αντοχής πολυεστερικό γεωύφασμα.



Εικόνα 4-8: Σχεδιασμός γεωμετρίας του οπλισμένου επιχώματος.

Geogrid properties		<u> </u>
Material set	1 Elastic 🗨	Properties           EA:         1752,000         kN,m           Np         1,000E+10         kN,m           Extension only!
Comments		
	<u></u> K	Cancel <u>H</u> elp

**Εικόνα 4-9**: Καρτέλα εισαγωγής των χαρακτηριστικών του γεωπλέγματος.

**Distributed load system (επιφανειακές φορτίσεις)**: Με το εργαλείο αυτό γίνεται η εφαρμογή των επιβαλλόμενων κατανεμημένων εξωτερικών φορτίων στην επιφάνεια τομής του επιχώματος. Θα πρέπει να καθοριστούν οι τιμές του σε μονάδες KN/m<sup>3</sup>. Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται το γεωμετρικό μοντέλο του άοπλου επιχώματος με το κατανεμημένο φορτίο στην επιφάνεια.



**Εικόνα 4-10**: Απεικόνιση της τομής του επιχώματος με το επιφανειακό κατανεμημένο φορτίο.

Standard fixities (πάκτωση): Μετά την ολοκλήρωση της γεωμετρίας, θα καθοριστούν οι συνοριακές συνθήκες. Επιπλέον, τα όρια μπορούν να καθοριστούν και από την επιλογή Loads του μενού, όταν υπάρχει πολύπλοκο γεωμετρικό μοντέλο. Στο ακόλουθο σχήμα, παρουσιάζεται η γεωμετρία του μοντέλου με καθορισμένες συνοριακές συνθήκες.



Εικόνα 4-11 : Καθορισμός συνοριακών συνθηκών στο γεωμετρικό μοντέλο.

**Material data set (σύνολο υλικών δεδομένων):** Το εργαλείο αυτό αποτελείται από τρείς καρτέλες:

Στην πρώτη, (Generals), γίνεται ταυτοποίηση του εδάφους με την ονομασία 'Fill' προσδιορίζεται το μοντέλο της μηχανικής συμπεριφοράς. Σε όλες τις επιλύσεις της παρούσας διπλωματικής επιλέχθηκε το μοντέλο Mohr-Coulomb. Το κριτήριο αυτό εκφράζει τη σχέση της διατμητικής αντοχής τα και της ορθής τάσης σ, σε μια επιφάνεια. Επιπλέον, προσδιορίζεται ο τύπος στράγγισης του μοντέλου, όπου σε όλα τα παραδείγματα επιλέχθηκε ο τύπος Drained (στραγγισμένο). Οι παράμετροι που προσδιορίζονται επίσης είναι η μονάδα βάρους του εδάφους πάνω και κάτω από το φρεατικό επίπεδο, γ<sub>sat</sub>, γ<sub>unsat</sub> αντίστοιχα, η διαπερατότητα σε κάθετη και οριζόπντια κατεύθυνση κ<sub>χ</sub>,κ<sub>y</sub> αντίστοιχα.

	1 1				
Material Set		G	eneral prope	rties	
Identification:	Fill	Y	unsat 21,	000 k	dN/m <sup>3</sup>
Material model:	Mohr-Coulomb	<b>→</b> Υ	sat 21,	000 k	dN/m <sup>3</sup>
Material type:	Drained	<b>-</b>	-		
Comments		k,	: 1,0 ;: 1,0	n 00 n 00	m/day m/day
				<u>A</u> dv	anced

Εικόνα 4-12: Επιλογή παραμέτρων των υλικών στην καρτέλα Generals.

Στη δεύτερη καρτέλα, (Parameters), προσδιορίζεται το μέτρο ελαστικότητας Ε, ο λόγος Poisson ν, η συνοχή c, η γωνία εσωτερικής τριβής φ καθώς και η γωνία διόγκωσης ψ.

Mohr-Coulomb - Fill				
General Parameters Interfac	tes			
Stiffness		Strength		
E <sub>ref</sub> : 5,000E+04	kN/m <sup>2</sup>	c <sub>ref</sub> :	5,000	kN/m <sup>2</sup>
v (nu) : 0,300		φ <b>(phi) :</b>	36,000	•
		ψ (psi) :	0,000	•
Alternatives		Velocities		
G <sub>ref</sub> : 1,923E+04	kN/m <sup>2</sup>	V <sub>s</sub> :	94,730 🚖	m/s
E <sub>oed</sub> : 6,731E+04	kN/m <sup>2</sup>	V <sub>p</sub> :	177,200 🚖	m/s
				<u>A</u> dvanced
	Next	<u>O</u> k	Cancel	Help

Εικόνα 4-13: Επιλογή παραμέτρων των υλικών στην καρτέλα

Parameters. ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ Στην τρίτη καρτέλα, (διεπιφάνεια επαφής-interfaces), δίνεται μία τιμή στην παράμετρο  $R_{inter}$ η οποία συσχετίζει την αντοχή του εδάφους με την αντοχή στα οριακά σημεία.

Mohr-Coulomb - Fill	fater
General Parameters Interfaces	
Strength C Rigid C Manual	
R <sub>inter</sub> : 1,000	
δ-inter : 0,000	
Next	Ok Cancel Help

Εικόνα 4-14: Εισαγωγή τιμής στην παράμετρο R<sub>inter</sub>.

Στη συνέχεια με το εργαλείο Global coarseness επιλέγεται η πυκνότητα των στοιχείων και με την επιλογή Generate Mesh γίνεται η παραγωγή του πλέγματος όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Εικόνα 4-15: Απεικόνιση του γεωμετρικού πλέγματος.

Τέλος, ένα βήμα πριν την έναρξη των υπολογισμών, καθορίζονται οι αρχικές συνθήκες του μοντέλου με την εντολή Initial conditions <sup>→</sup> Initial conditions</sup>. Έπειτα, ενεργοποιούνται οι αρχικές τάσεις των πόρων. Σημειώνεται πως σε κανένα παράδειγμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, δεν υπήρχε υδροφόρος ορίζοντας οπότε παραβλέπεται η επιλογή Generate water pressures.

## 4.3.2 PLAXIS CALCULATE

Στη συνέχεια, με την επιλογή calculate, εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο όπου δημιουργούνται οι φάσεις υπολογισμού. Στην καρτέλα General, ορίζονται οι φάσεις υπολογισμού καθώς και ο τύπος αυτών. Το αρχικό στάδιο, η αρχική φάση 0 έχει οριστεί από το Plaxis input. Στην καρτέλα Parameters, ορίζονται οι παράμετροι της κάθε φάσης καθώς και ο μέγιστος αριθμός βημάτων με τον οποίο θα ολοκληρωθεί το κάθε στάδιο. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, όλα τα παραδείγματα επιλύονται με έξι στάδια κατασκευής. Συγκεκριμένα:

#### <u>1<sup>°</sup> στάδιο κατασκευής</u>: gravity loading

Ο τύπος που εισήχθη στους υπολογισμούς της πρώτης φάσης είναι ο 'plastic' και το μοντέλο επιχώματος αποκτά σταδιακά βάρος με την αύξηση του συντελεστή Σ-Mweight. Κατά το στάδιο αυτό αποκτά υπόσταση η επιφάνεια θεμελίωσης του επιχώματος.

#### <u>2° στάδιο κατασκευής</u>: staged construction

Στο δεύτερο στάδιο υπολογισμών ξεκινά η σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, επαναφέροντας τις μετακινήσεις στη μηδενική φάση. Για τον υπολογισμό ενεργοποιήθηκε το κατώτερο- πρώτο τμήμα του επιχώματος. (εικόνα 4.16-α)

### • <u>3° στάδιο κατασκευής</u>: staged construction

Στο τρίτο κατασκευαστικό στάδιο, συνεχίζεται η σταδιακή κατασκευή με την ενεργοποίηση του δεύτερου τμήματος του επιχώματος. (εικόνα 4.16-β)

### • <u>4° στάδιο κατασκευής</u>: staged construction

Στην τέταρτη φάση ενεργοποιείται το τρίτο τμήμα του επιχώματος. (εικόνα 4.16-γ)

### • <u>5° στάδιο κατασκευής</u>: staged construction

Στο πέμπτο στάδιο ενεργοποιείται το φορτίο στην επιφάνεια του επιχώματος. (εικόνα 4.16-δ)

### • <u>6° στάδιο</u>: phi/c reduction

Με την ολοκλήρωση όλων των σταδίων κατασκευής, εισάγεται στους υπολογισμούς ο τύπος phi/c reduction. Σε αυτή τη φάση μειώνονται σταδιακά η γωνία εσωτερικής τριβής φ και η συνοχή c, για να οδηγηθεί το επίχωμα σε πλασματική αστοχία. Σκοπός είναι ο υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας.



Εικόνα 4-16: Σταδιακή ενεργοποίηση των τμημάτων του προσομοιώματος κατά την σταδιακή κατασκευή του. α) ενεργοποίηση του πρώτου τμήματος του επιχώματος, β) ενεργοποίηση του δεύτερου τμήματος του επιχώματος, γ)

Q00\_

(δ)

(γ)

0,00 <u>-</u>

ενεργοποίηση του τρίτου τμήματος του επιχώματος, δ) ενεργοποίηση του τέταρτου τμήματος του επιχώματος,

Plaxis 8.2 Plastic Ca	the end of p	(2)embankment f3) revious loading step	5 E50000	- Plan	e Strain	s
∑ -Mdisp: ∑ -MloadA: ∑ -MloadB: ∑ -Mweight: ∑ -Mweight: ∑ -Maccel: ∑ -Msf: ∑ -Mstage:	1,000 1,000 1,000 1,000 0,000 1,495 0,000	PMax ∑-Marea: Force-X: Force-Y: Stiffness: Time: Dyn. time:	0,000 1,000 0,000 0,000 0,008 0,000 0,000	Ms	f IVI Node A	-
Current step:	29	Max. steps:	115	Eleme	ent	145
Iteration:	13	Max. iterations:	60	Deco	mposition:	100 %
Global error:	0,002	Tolerance:	0,010	Calc.	time:	2 s
Plastic points in cu	rrent step					
Plastic stress poir	nts:	310   Inaccurate		33	Tolerated:	34
Plastic interface p	points:	0 Inaccurate		0	Tolerated:	3
Tension points:		5 Cap/Hard	points:	0	Apex points:	0
					<u>C</u> a	ancel

Εικόνα 4-17: Παράθυρο απεικόνισης της εξέλιξης των υπολογισμών.

Plaxis 8.2 Calculat	ions - (2)emban	kment f36 E500	00.plx		
File Edit View (	Calculate Help				
Input Output Curves	🗠 🔒	A + + + + + + + + + + + + + + + + + + +	-> Output		
General Parameter	s   <u>M</u> ultipliers   Pr	review			
Phase			Calc	ulation type	
Number / ID.:	6 <pha< td=""><td>se 6&gt;</td><td>Pł</td><td>i/c reduction 💌</td><td></td></pha<>	se 6>	Pł	i/c reduction 💌	
Start from phase	e: 5 - <phase 5=""></phase>		•	Advanced	
Log info			Com	ments	
ОК					
			-		
1				1	
				<u>P</u> arameters	
				🗮 Next	Insert 🛛 🐺 Delete
Identification	Phase no.	Start from	Calculation	Loading input	Time Water 🔺
✓ <phase 2=""></phase>	2	1	Plastic	Staged construction	0,00 2
✓ <phase 3=""></phase>	3	2	Plastic	Staged construction	0,00 3
✓ <phase 4=""></phase>	4	3	Plastic	Staged construction	0,00 4 =
✓ <phase 5=""></phase>	5	4	Plastic	Staged construction	0,00 5
✓ <phase 6=""></phase>	6	5	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0,00 5 -
					•

**Εικόνα 4-18**: Παράθυρο απεικόνισης της επιτυχής ολοκλήρωσης των υπολογισμών.

## 4.3.3 PLAXIS CURVES

Το βήμα που ακολουθεί μετά τη δημιουργία των στάδιων κατασκευής και που είναι απαραίτητο για την αρχή των υπολογισμών, είναι η επιλογή σημείων πάνω στο γεωμετρικό μοντέλο για την μετέπειτα κατασκευή γραφικών παραστάσεων. Η δυνατότητα του plaxis curves είναι η δημιουργία διαγραμμάτων που απεικονίζουν τις διάφορες μετατοπίσεις στα σημεία που επιλέχθηκαν.



Εικόνα 4-19: Επιλογή σημείων στο μοντέλο γεωμετρίας.



Εικόνα 4-20: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων displacement (m)/step.

## 4.3.4 PLAXIS OUTPUT

Τέλος, αφού ολοκληρωθούν με επιτυχία οι υπολογισμοί και αφού επιλεχθούν τα σημεία πάνω στο γεωμετρικό μοντέλο, αξιολογούνται τα αποτελέσματα των μετατοπίσεων μέσω του προγράμματος Plaxis output.

Με την επιλογή **deformed mesh** υπάρχει η δυνατότητα απεικόνισης των μετατοπίσεων στο κάθε κατασκευαστικό στάδιο καθώς και στο τελευταίο στάδιο phi/c reduction όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα.



**Εικόνα 4-21**: Απεικόνιση αποτελεσμάτων ολικών παραμορφώσεων στα στάδια κατασκευής του επιχώματος: (α)  $2^{\circ}$  στάδιο, (β)  $3^{\circ}$  στάδιο, (γ)  $4^{\circ}$  στάδιο, (δ)  $5^{\circ}$  στάδιο.



**Εικόνα 4-22**: Απεικόνιση αποτελεσμάτων πλασματικών, συνολικών παραμορφώσεων κατά το phi/c reduction.

Με την επιλογή **Incremental strains (οριακές τάσεις)** υπάρχει η δυνατότητα απεικόνισης των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του επιχώματος.



Εικόνα 4-23: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του επιχώματος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

## 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνονται οι παραμετρικές αναλύσεις, μέσω του προγράμματος PLAXIS 2D, στο μοντέλο του επιχώματος που εξετάζεται στη Χ.Θ. 164+950-165+270. Η γεωμετρία του επιχώματος αυτού στα διάφορα παραδείγματα, βρίσκεται σε συμφωνία με αυτή της Μελέτης της Ιονίας Οδού.

Σύμφωνα με τη μελέτη κατά τις αναλύσεις ευστάθειας για το σώμα του επιχώματος λαμβάνονται συντηρητικά παράμετροι αντοχής c'=5KPa και φ=35°. Αυτές οι παράμετροι, θεωρείται, ότι αντιστοιχούν στο τυπικό βραχώδεςημιβραχώδες υλικό του υπεδάφους της περιοχής, προϊόν εκσκαφής των γειτονικών ορυγμάτων, μετά από σχετική αφαίρεση πιθανών έντονων αργιλικών τμημάτων επιχώματος. Οι παραπάνω παράμετροι θα πρέπει να αναθεωρηθούν ως προς το δυσμενέστερο σε περίπτωση χρήσης άλλου υλικού.

Στόχος των παραμετρικών αναλύσεων της παρούσας διατριβής είναι να υπολογιστούν οι παραμορφώσεις και οι συντελεστές ασφαλείας για συνδυασμούς μηχανικών παραμέτρων πέραν των προαναφερόμενων με τη χρήση μεθόδων ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία. Επιπλέον, στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής διερευνάται η αποτελεσματικότητα της χρήσης γεωσυνθετικών υλικών για την όπλιση των επιχωμάτων.

Ως εκ τούτου, στο κεφάλαιο αυτό παραθέτονται τα αποτελέσματα από τις 2 σειρές παραμετρικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν και οι οποίες περιγράφονται ως εξής:

Η πρώτη σειρά παραμετρικών αναλύσεων περιλαμβάνει την επίλυση άοπλου επιχώματος. Εξετάζεται η ευστάθεια του πρανούς για διάφορες τιμές της γωνίας εσωτερικής τριβής φ και του μέτρου ελαστικότητας Ε. Οι παραμετρικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με τιμές του μέτρου ελαστικότητας από E=30.000 KN/m<sup>2</sup> μέχρι E=50.000 KN/m<sup>2</sup> αυξανόμενο ανά 5.000 και για τιμές γωνίας εσωτερικής τριβής φ=30°, φ=32° και φ=34°.

Η δεύτερη σειρά παραμετρικών αναλύσεων περιλαμβάνει την επίλυση οπλισμένου επιχώματος. Εξετάζεται η ευστάθεια του πρανούς για τιμές του μέτρου ελαστικότητας E=30.000 KN/m<sup>2</sup>, E=40.000 KN/m<sup>2</sup> και E=50.000 KN/m<sup>2</sup> ενώ οι τιμές της γωνίας εσωτερικής τριβής είναι φ=30°, φ=32° και φ=34°. Οι παραμετρικές αναλύσεις με τα δεδομένα αυτά πραγματοποιούνται α) θεωρώντας την εγκατάσταση γεωπλεγμάτων με μεταξύ τους απόσταση 4m και με μήκος αυξανόμενο προς τα πάνω.

Οι παραμετρικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του ελαστικούτέλεια πλαστικού καταστατικού νόμου Mohr- Coulomb. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά που μεταβλήθηκαν κατά τις αναλύσεις είναι η γωνία εσωτερικής τριβής φ και το μέτρο ελαστικότητας Ε. Τα υπόλοιπα μηχανικά και φυσικά χαρακτηριστικά, σύμφωνα με τον πίνακα 5-1, παρέμειναν σταθερά.

<u>Πίνακας 5-1</u>: Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά υλικού πλήρωσης του επιχώματος.

Ξηρό φαινόμενο βάρος	$\gamma=21 \text{ KN/m}^3$
Κορεσμένο φαινόμενο βάρος	$\gamma_{sat}$ =21 KN/m <sup>3</sup>
Λόγος Poisson	v=0,3
Συνοχή	c=5 KPa

Η αξονική δυστένεια των γεωπλεγμάτων είναι ίση με EA=  $F/(\Delta l/lo)=87,6/5\%=1752$  KN/m.

## 5.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα των παραμετρικών αναλύσεων.

### 5.2.1 Πρώτη σειρά παραμετρικών αναλύσεων (άοπλο επίχωμα).

 Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας Ε=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=30°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 34,86 mm και

οι αθροιστικές μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,85 mm. (εικόνα 1). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 35mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 25mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι μηδενικές. (εικόνα 16). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,226.



Εικόνα 5-1: Απεικόνιση των θέσεων των σημείων που επιλέχθηκαν πάνω στο γεωμετρικό μοντέλο για την παρατήρηση των μετακινήσεων και την παραγωγή γραφικών παραστάσεων από το υποπρόγραμμα Plaxis Curves.

 <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας E=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής φ=32°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 33,65mm και οι αθροιστικές μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,87 mm. (εικόνα 2). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 34mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 24mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι μηδενικές. (εικόνα 17). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,308.

# 3. <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας Ε=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής φ=34°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 32,81 mm και οι αθροιστικές μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 33,71-32,81=0,9mm. (εικόνα 3). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 19mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 19mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται.

Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι 14 mm και 5 mm αντίστοιχα (εικόνα 18). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,417.

<u>Πίνακας 5-2:</u> Πίνακας αποτελεσμάτων μετακίνησης για μέτρο ελαστικότητας E=30.000 KN/m<sup>2</sup>.

E=30.000 KN/m <sup>2</sup>			
	φ=30°	φ=32°	φ=34°
Ολικές μετακινήσεις πριν την επιβολή του φορτίου(mm)	34,86	33,65	32,81
Μετακινήσεις στο σημείο Α πριν την επιβολή του φορτίου (mm).	35	34	19
Μετακινήσεις στο σημείο D πριν την επιβολή του φορτίου (mm).	25	24	19
Ολικές μετακινήσεις μετά την επιβολή του φορτίου (mm) (εικόνες 1,2,3)	35,71	34,52	33,71
Επαυξητικές μετακινήσεις στο σημείο Α μετά την επιβολή του φορτίου (mm).	0	0	14
Επαυξητικές μετακινήσεις στο σημείο D μετά την επιβολή του φορτίου (mm).	0	0	5
Συντελεστής ασφαλείας SF	1,226	1,308	1,417

Στη συνέχεια, γίνονται γραφικές παραστάσεις για τις ολικές μετακινήσεις πριν και μετά την επιβολή του φορτίου καθώς και για τις τιμές του συντελεστή ασφαλείας, για σταθερό μέτρο ελαστικότητας και τις διάφορες τιμές της γωνίας εσωτερικής τριβής. Όπως φαίνεται παρακάτω, οι ολικές μετακινήσεις μειώνονται με την αύξηση της γωνίας φ (σχήμα 5-1 και σχήμα 5-2) ενώ ο συντελεστής ασφαλείας αυξάνεται (σχήμα 5-3).



Σχήμα 5-1: Γραφική παράσταση ολικών μετακινήσεων μετά το πέρας της κατακευής σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής φ(°) για σταθερό μέτρο ελαστικότητας E=30.000 KN/m<sup>2</sup>.



Σχήμα 5-2: Γραφική παράσταση ολικών μετακινήσεων εξαιτίας της επιβολής των φορτίων σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής φ(°) για σταθερό μέτρο ελαστικότητας Ε=30.000 KN/m<sup>2</sup>.



Σχήμα 5-3: Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας SF σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής φ (°) για σταθερό μέτρο ελαστικότητας Ε=30.000 KN/m<sup>2</sup>.

4. <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας Ε=35.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής φ=30°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 29,88 mm και οι αθροιστικές μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,73mm. (εικόνα 4). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 30mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 21mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι μηδενικές. (εικόνα 19). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,227.

# 5. <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας Ε=35.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής φ=32°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 28,84 mm και οι αθροιστικές μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,75 mm. (εικόνα 5). Οι τιμές τους στο σημείο Α (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 29mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 20mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι μηδενικές. (εικόνα 20). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,307.

# 6. <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας E=35.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής φ=34°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 28,22 mm και οι αθροιστικές μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,79 mm. (εικόνα 6). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 26mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 19mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι 3 mm και 1 mm αντίστοιχα. (εικόνα 21). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,388.

E=35.000 KN/m <sup>2</sup>					
	φ=30°	φ=32°	φ=34°		
Ολικές μετακινήσεις πριν την επιβολή του φορτίου(mm)	29,88	28,84	28,22		
Μετακινήσεις στο σημείο Α πριν την επιβολή του φορτίου (mm).	30	29	26		
Μετακινήσεις στο σημείο D πριν την επιβολή του φορτίου (mm).	21	20	19		
Ολικές μετακινήσεις μετά την επιβολή του φορτίου(mm) (εικόνες 4,5,6)	30,61	29,59	29,01		
Επαυξητικές μετακινήσεις στο σημείο Α μετά την επιβολή του φορτίου (mm).	0	0	3		
Επαυξητικές μετακινήσεις στο σημείο D μετά την επιβολή του φορτίου (mm).	0	0	1		
Συντελεστής ασφαλείας SF	1,227	1,307	1,388		

<u>Πίνακας 5-3:</u> Πίνακας αποτελεσμάτων για μέτρο ελαστικότητας  $E=35.000 \text{ KN/m}^2$ .

Στη συνέχεια, γίνονται γραφικές παραστάσεις για τις ολικές μετακινήσεις πριν και μετά την επιβολή του φορτίου καθώς και για τις τιμές του συντελεστή ασφαλείας, για σταθερό μέτρο ελαστικότητας και τις διάφορες τιμές της

γωνίας εσωτερικής τριβής. Όπως φαίνεται παρακάτω, οι ολικές μετακινήσεις μειώνονται με την αύξηση της γωνίας φ (σχήμα 5-4 και σχήμα 5-5) ενώ ο συντελεστής ασφαλείας αυξάνεται (σχήμα 5-6).



Σχήμα 5-4: Γραφική παράσταση ολικών μετακινήσεων μετά το πέρας της κατακευής σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής φ(°) για σταθερό μέτρο ελαστικότητας E=35.000 KN/m<sup>2</sup>.



Σχήμα 5-5: Γραφική παράσταση συνολικών μετακινήσεων εξαιτίας της επιβολής των φορτίων σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής φ (°) για σταθερό μέτρο ελαστικότητας E=35.000 KN/m<sup>2</sup>.

ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

σελίδα 104



Σχήμα 5-6: Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας SF σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής φ (°) για σταθερό μέτρο ελαστικότητας Ε=35.000 KN/m<sup>2</sup>.

# 7. <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας Ε=40.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής φ=30°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 26,14 mm και οι αθροιστικές μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,64 mm. (εικόνα 7). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 26mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 19mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του

επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι 1mm και 0mm αντίστοιχα. (εικόνα 22). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,226.

# <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας Ε=40.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής φ=32°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 29,66 mm και οι αθροιστικές μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,65mm. (εικόνα 8). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 22mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 18mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι 2mm και 0mm αντίστοιχα. (εικόνα 23). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,307.

9. <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας Ε=40.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής φ=34°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 24,69 mm και οι αθροιστικές μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,69mm. (εικόνα 9). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 25mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 17mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι μηδενικές. (εικόνα 24). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,307.
<u>Πίνακας 5</u> .	- <u>4:</u> Πίνακας	αποτελεσμάτων	για μέτρο	ελαστικότητας	E=40.000 KN/m <sup>2</sup>	<u>?</u> .
--------------------	---------------------	---------------	-----------	---------------	----------------------------	------------

E=40.000 KN/m <sup>2</sup>				
	φ=30°	φ=32°	φ=34°	
Ολικές μετακινήσεις πριν την επιβολή του φορτίου(mm)	26,14	25,24	24,69	
Μετακινήσεις στο σημείο Α πριν την επιβολή του φορτίου (mm).	26	22	25	
Μετακινήσεις στο σημείο D πριν την επιβολή του φορτίου (mm).	19	18	17	
Ολικές μετακινήσεις μετά την επιβολή του φορτίου(mm) (εικόνες 7,8,9)	26,78	25,89	25,38	
Επαυξητικές μετακινήσεις στο σημείο Α μετά την επιβολή του φορτίου (mm).	1	2	0	
Επαυξητικές μετακινήσεις στο σημείο D μετά την επιβολή του φορτίου (mm).	0	0	0	
Συντελεστής ασφαλείας SF	1,226	1,307	1,389	

Στη συνέχεια, γίνονται γραφικές παραστάσεις για τις ολικές μετακινήσεις πριν και μετά την επιβολή του φορτίου καθώς και για τις τιμές του συντελεστή ασφαλείας, για σταθερό μέτρο ελαστικότητας και τις διάφορες τιμές της

γωνίας εσωτερικής τριβής. Όπως φαίνεται παρακάτω, οι ολικές μετακινήσεις μειώνονται με την αύξηση της γωνίας φ (σχήμα 5-7 και σχήμα 5-8) ενώ ο συντελεστής ασφαλείας αυξάνεται (σχήμα 5-9).







Σχήμα 5-8: Γραφική παράσταση συνολικών μετακινήσεων εξαιτίας της επιβολής των φορτίων σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής φ (°) για σταθερό μέτρο ελαστικότητας Ε=40.000 KN/m<sup>2</sup>.

ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

σελίδα 109



Σχήμα 5-9: Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας SF σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής φ (°) για σταθερό μέτρο ελαστικότητας Ε=40.000 KN/m<sup>2</sup>.

# 10. Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας Ε=45.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής $\phi$ =30°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 23,24 mm και οι αθροιστικές μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,57 mm. (εικόνα 10). Οι τιμές τους στο σημείο Α (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 23mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 16mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι 1 mm και στα δύο σημεία. (εικόνα 25). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c

reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,227.

## 11. <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας Ε=45.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής φ=32°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 22,43 mm και οι αθροιστικές μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,58 mm. (εικόνα 11). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 22mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 16mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι 1mm και Omm αντίστοιχα. (εικόνα 26). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,307.

## 12. Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας Ε=45.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής $\phi$ =34°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 21,95 mm και οι αθροιστικές μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,61 mm. (εικόνα 12). Οι τιμές τους στο σημείο Α (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 22mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 15mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι 0mm και 1mm αντίστοιχα. (εικόνα 27). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,388.

E=45.000 KN/m <sup>2</sup>			
	φ=30°	φ=32°	φ=34°
Ολικές μετακινήσεις πριν την επιβολή του φορτίου(mm)	23,24	22,43	21,95
Μετακινήσεις στο σημείο Α πριν την επιβολή του φορτίου (mm).	23	22	22
Μετακινήσεις στο σημείο D πριν την επιβολή του φορτίου (mm).	16	16	15
Ολικές μετακινήσεις μετά την επιβολή του φορτίου(mm) (εικόνες 10,11,12)	23,81	23,01	22,56
Επαυξητικές μετακινήσεις στο σημείο Α μετά την επιβολή του φορτίου (mm).	1	1	0
Επαυξητικές μετακινήσεις στο σημείο D μετά την επιβολή του φορτίου (mm).	1	0	1
Συντελεστής ασφαλείας SF	1,227	1,307	1,388

<u>Πίνακας 5-5:</u> Πίνακας αποτελεσμάτων για μέτρο ελαστικότητας  $E=45.000 \text{ KN/m}^2$ .

Στη συνέχεια, γίνονται γραφικές παραστάσεις για τις ολικές μετακινήσεις πριν και μετά την επιβολή του φορτίου καθώς και για τις τιμές του συντελεστή ασφαλείας, για σταθερό μέτρο ελαστικότητας και τις διάφορες τιμές της γωνίας εσωτερικής τριβής. Όπως φαίνεται παρακάτω, οι ολικές μετακινήσεις μειώνονται με την αύξηση της γωνίας φ (σχήμα 5-10 και σχήμα 5-11) ενώ ο συντελεστής ασφαλείας αυξάνεται (σχήμα 5-12).



Σχήμα 5-10: Γραφική παράσταση ολικών μετακινήσεων μετά το πέρας της κατακευής σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής φ(°) για σταθερό μέτρο ελαστικότητας Ε=45.000 KN/m<sup>2</sup>.



Σχήμα 5-11: Γραφική παράσταση συνολικών μετακινήσεων εξαιτίας της επιβολής των φορτίων σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής φ(°) για σταθερό μέτρο ελαστικότητας Ε=45.000 KN/m<sup>2</sup>.



**Σγήμα 5-12:** Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας SF σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής  $\varphi$  (°) για σταθερό μέτρο ελαστικότητας E=45.000 KN/m<sup>2</sup>.

## 13. <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας Ε=50.000 και γωνία εσωτερικής</u> τριβής φ=30°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 20,93 mm και οι αθροιστικές μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,51 mm. (εικόνα 13). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 21mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 15mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι μηδενικές. (εικόνα 28). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,248.

### 14. <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας E=50.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής $\phi=32^{\circ}$ .

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 20,19 mm και οι αθροιστικές μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,52mm. (εικόνα 14). Οι τιμές τους στο σημείο Α (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 20mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 14mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι

επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι 7mm και 1mm αντίστοιχα. (εικόνα 29). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,309.

## 15. Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας Ε=50.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής $φ=34^{\circ}$

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 19,69 mm και οι πρόσθετες μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,53 mm. (εικόνα 15). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 20mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 14mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι μηδενικές. (εικόνα 30). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,418.

Πίνακας	5-6:	Πίνακας α	ποτελεσμάτα	ον για μέτρο	ελαστικότητα	ac E=50.000	$KN/m^2$ .
		2	•			2	

$E=50.000 \text{ KN/m}^2$				
	φ=30°	φ=32°	φ=34°	
Ολικές μετακινήσεις πριν την επιβολή του φορτίου(mm)	20,93	20,19	19,69	
Μετακινήσεις στο σημείο Α πριν την επιβολή του φορτίου (mm).	21	20	20	
Μετακινήσεις στο σημείο D πριν την επιβολή του φορτίου (mm).	15	14	14	
Ολικές μετακινήσεις μετά την επιβολή του φορτίου(mm) (εικόνες 13,14,15)	21,44	20,71	20,22	
Επαυξητικές μετακινήσεις στο σημείο Α μετά την επιβολή του φορτίου (mm).	0	7	0	
Επαυξητικές μετακινήσεις στο σημείο D μετά την επιβολή του φορτίου (mm).	0	1	0	
Συντελεστής ασφαλείας SF	1,248	1,309	1,418	

Στη συνέχεια, γίνονται γραφικές παραστάσεις για τις ολικές μετακινήσεις πριν και μετά την επιβολή του φορτίου καθώς και για τις τιμές του συντελεστή ασφαλείας, για σταθερό μέτρο ελαστικότητας και τις διάφορες τιμές της γωνίας εσωτερικής τριβής. Όπως φαίνεται παρακάτω, οι ολικές μετακινήσεις μειώνονται με την αύξηση της γωνίας φ (σχήμα 5-13 και σχήμα 5-14) ενώ ο συντελεστής ασφαλείας αυξάνεται (σχήμα 5-15).



Σχήμα 5-13: Γραφική παράσταση ολικών μετακινήσεων μετά το πέρας της κατακευής σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής φ(°) για σταθερό μέτρο ελαστικότητας Ε=50.000 KN/m<sup>2</sup>.



Σχήμα 5-14: Γραφική παράσταση συνολικών μετακινήσεωνεξαιτίας της επιβολής των φορτίων σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής φ(°) για σταθερό μέτρο ελαστικότητας Ε=50.000 KN/m<sup>2</sup>.



Σχήμα 5-15: Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας SF σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής φ (°) για σταθερό μέτρο ελαστικότητας Ε=50.000 KN/m<sup>2</sup>.

## 5.2.2 Δεύτερη σειρά παραμετρικών αναλύσεων-Πρώτη περίπτωση(οπλισμένο επίχωμα-ίδιο μήκος οπλισμών)

Τα γεωσυνθετικά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν είναι τα υψηλής αντοχής υφαντά πολυεστερικά γεωυφάσματα.

Σύμφωνα με τον Ρόζο Δ. (2007). Μέθοδοι Βελτίωσης – Αντιστήριξης Εδάφους –Υπεδάφους, τα γεωυφάσματα είναι διαπερατά, συνθετικά υφάσματα που ενσωματώνονται σε μία κατασκευή, συνήθως σε συνδυασμό με άλλα γεωσυνθετικά υλικά, για τη βελτίωση της συμπεριφοράς των κατασκευών και για τη μείωση του κόστους τους. Η μεγάλη ποικιλία γεωυφασμάτων οφείλεται στις διαφορές που υπάρχουν στις πρώτες ύλες, στους τύπους των νημάτων και

στις μεθόδους κατασκευής τους. Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των γεωυφασμάτων είναι το πολυπροπυλένιο, ο πολυεστέρας, το πολυαμίδιο (νάιλον) και το πολυαιθυλένιο. Τα στοιχεία για τις ποσότητες των χρησιμοποιημένων πρώτων υλών δείχνουν ότι ο πολυεστέρας καλύπτει το 15% του χρησιμοποιούμενου όγκου. Οι πρώτες ύλες είναι συνήθως σε κοκκώδη κατάσταση και για να πάρουν τη μορφή ίνας τήκονται, υποβάλλονται σε διέλαση και ψύχονται.

Ο τύπος του γεωυφάσματος καθορίζεται από τη μέθοδο για τη δημιουργία μιας επίπεδης κατασκευής από νήματα ή ταινίες. Οι τρείς κατηγορίες γεωυφασμάτων είναι τα υφαντά, τα μη υφαντά και τα πλεκτά. Τα υφαντά γεωυφάσματα αποτελούνται από δύο σειρές νημάτων κάθετες μεταξύ τους, που συνδέονται με μηχανικό τρόπο. Κατασκευάζονται με υφαντουργικές μηχανές σε μεγάλη ποικιλία μορφών ή τύπων ύφανσης. Τα υφαντά γεωυφάσματα προτιμώνται σε εφαρμογές που απαιτούνται μεγαλύτερες αντοχές (π.χ. εφελκυστική αντοχή).

Οι βασικές λειτουργίες των γεωυφασμάτων είναι :

**1.** Διαχωρισμός, για να αποτραπεί η ανάμιξη δύο εδαφικών στρώσεων με διαφορετική κοκκομετρία ή διαφορετικές ιδιότητες.

**2.** Αποστράγγιση, για να συγκεντρώσουν το ανεπιθύμητο νερό μιας κατασκευής, όπως το νερό της βροχής ή το υπερβάλλον νερό του εδάφους και να το αποβάλλουν.

**3.** Διήθηση, για να συγκρατήσουν τους κόκκους του διηθούμενου εδάφους, επιτρέποντας ταυτόχρονα την διέλευση του νερού από την επιφάνειά τους.

**4. Ενίσχυση**. Χάρη στον υψηλό συντελεστή τριβής και την μεγάλη εφελκυστική αντοχή τους, τα γεωσυνθετικά χρησιμοποιούνται για ενίσχυση ασθενών εδαφών.

**5. Προστασία** (για προστασία γεωμεμβρανών από διάτρηση μειώνοντας τις σημειακές τάσεις από πέτρες των εφαπτόμενων εδαφών ή υλικά αποστράγγισης.

**6.** Τα γεωυφάσματα διατίθενται ως υφασμάτινα ρολά, κατασκευασμένα από συνθετικές ίνες οργανικών υλών. Χαρακτηρίζονται από:

- Την πρώτη ύλη της σύνθεσής τους. Οι ίνες μπορεί να είναι από πολυπροπυλένιο, πολυαιθυλένιο, πολυεστέρα και πολυαμίδιο.
- Τις στρώσεις που συνιστούν το υλικό. Εάν αποτελούνται από ένα υλικό χαρακτηρίζονται ως απλά και από δύο υλικά και πάνω ως σύνθετα.



Εικόνα 5-2: Υφαντά πολυεστερικά γεωυφάσματα.

 Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας Ε=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=30°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 34,75 mm και οι πρόσθετες μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,86 mm. (εικόνα 31). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 35mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 24mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι 0mm και 1mm αντίστοιχα. (εικόνα 40). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,483.

## 2. <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας E=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής φ=32°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 33,56 mm και οι πρόσθετες μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,89 mm. (εικόνα 32). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 33mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 23mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι 1mm και στα δύο σημεία. (εικόνα 41). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,590..

## <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας E=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής φ=34°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 32,88 mm και οι πρόσθετες μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,93 mm. (εικόνα 33). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 33mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 23mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι μηδενικές. (εικόνα 42). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,696.

Πίνακας	5-7:	Πίνακας απ	οτελεσμάτων	ν για μέτρο	ελαστικότητα	ς E=30.000	$KN/m^2$ .
			•			2	

$E=30.000 \text{ KN/m}^2$				
	φ=30°	φ=32°	φ=34°	
Ολικές μετακινήσεις πριν την επιβολή του φορτίου(mm)	34,75	33,56	32,88	
Μετακινήσεις στο σημείο Α πριν την επιβολή του φορτίου (mm).	35	33	33	
Μετακινήσεις στο σημείο D πριν την επιβολή του φορτίου (mm).	24	23	23	
Ολικές μετακινήσεις μετά την επιβολή του φορτίου(mm) (εικόνες 31,32,33)	35,61	34,45	33,81	
Επαυξητικές μετακινήσεις στο σημείο Α μετά την επιβολή του φορτίου (mm).	0	1	0	
Επαυξητικές μετακινήσεις στο σημείο D μετά την επιβολή του φορτίου (mm).	1	1	0	
Συντελεστής ασφαλείας SF	1,483	1,590	1,696	

Στη συνέχεια, γίνονται γραφικές παραστάσεις για τις ολικές μετακινήσεις πριν και μετά την επιβολή του φορτίου καθώς και για τις τιμές του συντελεστή ασφαλείας, για σταθερό μέτρο ελαστικότητας και τις διάφορες τιμές της γωνίας εσωτερικής τριβής. Όπως φαίνεται παρακάτω, οι ολικές μετακινήσεις μειώνονται με την αύξηση της γωνίας φ (σχήμα 5-16 και σχήμα 5-17) ενώ ο συντελεστής ασφαλείας αυξάνεται (σχήμα 5-18). ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ σελίδα 125



Σχήμα 5-16: Γραφική παράσταση ολικών μετακινήσεων μετά το πέρας της κατακευής σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής φ(°) για σταθερό μέτρο ελαστικότητας Ε=30.000 KN/m<sup>2</sup>.



<u>Σχήμα 5-17:</u> Γραφική παράσταση συνολικών μετακινήσεων εξαιτίας της επιβολής του φορτίουσε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής  $\varphi(^{\circ})$  για σταθερό μέτρο ελαστικότητας E=30.000 KN/m<sup>2</sup>



<u>Σχήμα 5-18</u>: Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας SF σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής  $\varphi$  (°) για σταθερό μέτρο ελαστικότητας E=30.000 KN/m<sup>2</sup>.

## 4. <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας E=40.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής φ=30°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 26,09 mm και οι πρόσθετες μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,64 mm. (εικόνα 34). Οι τιμές τους στο σημείο Α (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 26mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 18mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο

της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι 1mm και στα δύο σημεία. (εικόνα 43). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,455.

## 5. <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας Ε=40.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής φ=32°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 25,18 mm και οι πρόσθετες μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,67 mm. (εικόνα 35). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 25mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 18mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι 1mm και 0mm αντίστοιχα. (εικόνα 44). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,543.

6. <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας E=40.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής φ=34°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 24,66 mm και οι πρόσθετες μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,7 mm. (εικόνα 36). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 25mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 17mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι μηδενικές. (εικόνα 45). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,619.

Πίνακας	5-8:	Πίνακας απο	τελεσμάτων	για μέτρο	ελαστικότητας	$E = 40.000 \text{ KN/m}^2$ .
			•			,

$E=40.000 \text{ KN/m}^2$				
	φ=30°	φ=32°	φ=34°	
Ολικές μετακινήσεις πριν την επιβολή του φορτίου(mm)	26,09	25,18	24,66	
Μετακινήσεις στο σημείο Α πριν την επιβολή του φορτίου (mm).	26	25	25	
Μετακινήσεις στο σημείο D πριν την επιβολή του φορτίου (mm).	18	18	17	
Ολικές μετακινήσεις μετά την επιβολή του φορτίου(mm) (εικόνες 34,35,36)	26,73	25,85	25,36	
Επαυξητικές μετακινήσεις στο σημείο Α μετά την επιβολή του φορτίου (mm).	1	1	0	
Επαυξητικές μετακινήσεις στο σημείο D μετά την επιβολή του φορτίου (mm).	1	0	0	
Συντελεστής ασφαλείας SF	1,455	1,543	1,619	

Στη συνέχεια, γίνονται γραφικές παραστάσεις για τις ολικές μετακινήσεις πριν και μετά την επιβολή του φορτίου καθώς και για τις τιμές του συντελεστή ασφαλείας, για σταθερό μέτρο ελαστικότητας και τις διάφορες τιμές της γωνίας εσωτερικής τριβής. Όπως φαίνεται παρακάτω, οι ολικές μετακινήσεις ΝΙΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΙΑΝΤΙΝΑ σελιδα 130 μειώνονται με την αύξηση της γωνίας φ (σχήμα 5-19 και σχήμα 5-20) ενώ ο συντελεστής ασφαλείας αυξάνεται (σχήμα 5-21).







<u>Σχήμα 5-20</u>: Γραφική παράσταση συνολικών μετακινήσεων εξαιτίας της επιβολής του φορτίου σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής  $\varphi(^{\circ})$  για σταθερό μέτρο ελαστικότητας E=40.000 KN/m<sup>2</sup>



Σχήμα 5-21: Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας SF σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής φ (°) για σταθερό μέτρο ελαστικότητας Ε=40.000 KN/m<sup>2</sup>.

## <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας E=50.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής φ=30°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 20,88 mm και οι πρόσθετες μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,67 mm. (εικόνα 37). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 21mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 15mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι μηδενικές. (εικόνα 46). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,483.

 Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας Ε=50.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=32°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 25,18 mm και οι πρόσθετες μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,67 mm. (εικόνα 38). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 20mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 14mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι μηδενικές. (εικόνα 47). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,483.

9. <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας E=50.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής φ=34°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 25,18 mm και οι πρόσθετες μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,52 mm. (εικόνα 39). Οι τιμές τους στο σημείο Α (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 20mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 14mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι

μηδενικές. (εικόνα 48). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,483.

E=50.000 KN/m <sup>2</sup>			
	φ=30°	φ=32°	φ=34°
Ολικές μετακινήσεις πριν την επιβολή του φορτίου(mm)	20,88	20,15	19,73
Μετακινήσεις στο σημείο Α πριν την επιβολή του	21	20	20
φορτίου (mm).			
Μετακινήσεις στο σημείο D πριν την επιβολή του	15	14	14
φορτίου (mm).			
Ολικές μετακινήσεις μετά την επιβολή του φορτίου(mm)	21,40	20,68	20,29
(εικόνα 37,38,39)			
Επαυξητικές μετακινήσεις στο σημείο Α μετά την	0	0	0
επιβολή του φορτίου (mm).			
Επαυξητικές μετακινήσεις στο σημείο D μετά την	0	0	0
επιβολή του φορτίου (mm).			
Συντελεστής ασφαλείας SF	1,426	1,517	1,6

<u>Πίνακας 5-9:</u> Πίνακας αποτελεσμάτων για μέτρο ελαστικότητας  $E=50.000 \text{ KN/m}^2$ .

Στη συνέχεια, γίνονται γραφικές παραστάσεις για τις ολικές μετακινήσεις πριν και μετά την επιβολή του φορτίου καθώς και για τις τιμές του συντελεστή ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ σελίδα 134

ασφαλείας, για σταθερό μέτρο ελαστικότητας και τις διάφορες τιμές της γωνίας εσωτερικής τριβής. Όπως φαίνεται παρακάτω, οι ολικές μετακινήσεις μειώνονται με την αύξηση της γωνίας φ (σχήμα 5-22 και σχήμα 5-23) ενώ ο συντελεστής ασφαλείας αυξάνεται (σχήμα 5-24).







Σχήμα 5-23: Γραφική παράσταση συνολικών μετακινήσεων εξαιτίας της επιβολής του φορτίου σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής φ(°) για σταθερό μέτρο ελαστικότητας E=50.000 KN/m<sup>2</sup>



<u>Σχήμα 5-24</u>: Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας SF σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής φ (°) για σταθερό μέτρο ελαστικότητας E=50.000 KN/m<sup>2</sup>.

## 5.2.3 ΔΕΥΤΕΡΗ ΣΕΙΡΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ-Δεύτερη περίπτωση(οπλισμένο επίχωμα-διαφορετικό μήκος οπλισμών)

 <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας E=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής φ=30°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 34,81 mm και

οι πρόσθετες μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,86 mm. (εικόνα 49). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 35mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 24mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι 1mm και στα δύο σημεία. (εικόνα 58). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,463.

## 2. <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας Ε=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής φ=32°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 33,58 mm και οι πρόσθετες μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,88 mm. (εικόνα 50). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 34mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 23mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι Omm και 1mm αντίστοιχα. (εικόνα 59). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c

reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,570.

 <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας E=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής φ=34°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 32,89 mm και οι πρόσθετες μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,92 mm. (εικόνα 51). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 33mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 23mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων μηδενικές. (εικόνα 60). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,650.

<b>Πίνακας 5-10:</b> Πίνακα	ς αποτελεσμάτων γ	ια μέτρο ελαστικότι	$τας E=30.000 \text{ KN/m}^2.$
-----------------------------	-------------------	---------------------	--------------------------------

E=30.000 KN/m <sup>2</sup>			
	φ=30°	φ=32°	φ=34°
Ολικές μετακινήσεις πριν την επιβολή του φορτίου(mm)	34,81	33,58	32,89
Μετακινήσεις στο σημείο Α πριν την επιβολή του φορτίου (mm).	35	34	33
Μετακινήσεις στο σημείο D πριν την επιβολή του φορτίου (mm).	24	23	23
Ολικές μετακινήσεις μετά την επιβολή του φορτίου(mm) (εικόνες 49,50,51)	35,67	34,46	33,81
Επαυξητικές μετακινήσεις στο σημείο Α μετά την επιβολή του φορτίου (mm).	1	0	0
Επαυξητικές μετακινήσεις στο σημείο D μετά την επιβολή του φορτίου (mm).	1	1	0
Συντελεστής ασφαλείας SF	1,463	1,570	1,650

Στη συνέχεια, γίνονται γραφικές παραστάσεις για τις ολικές μετακινήσεις πριν και μετά την επιβολή του φορτίου καθώς και για τις τιμές του συντελεστή ασφαλείας, για σταθερό μέτρο ελαστικότητας και τις διάφορες τιμές της γωνίας εσωτερικής τριβής. Όπως φαίνεται παρακάτω, οι ολικές μετακινήσεις

μειώνονται με την αύξηση της γωνίας φ (σχήμα 5-25 και σχήμα 5-26) ενώ ο συντελεστής ασφαλείας αυξάνεται (σχήμα 5-27).



**Σχήμα 5-25:** Γραφική παράσταση ολικών μετακινήσεων μετά το πέρας της κατακευής σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής  $φ(^{\circ})$  για σταθερό μέτρο ελαστικότητας E=30.000 KN/m<sup>2</sup>.



Σχήμα 5-26: Γραφική παράσταση συνολικών μετακινήσεων εξαιτίας της επιβολής του φορτίου σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής φ(°) για σταθερό μέτρο ελαστικότητας E=30.000 KN/m<sup>2</sup>.

INTAMANOT NSZINZTAINTIINA

071 JUN30



Σχήμα 5-27: Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας SF σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής φ (°) για σταθερό μέτρο ελαστικότητας Ε=30.000 KN/m<sup>2</sup>.

## 4. <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας Ε=40.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής φ=30°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 26,15 mm και οι πρόσθετες μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,63 mm. (εικόνα 52). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 26mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 18mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι 1mm και στα δύο σημεία. (εικόνα 61). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,407.

## 5. <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας Ε=40.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής φ=32°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 25,19 mm και οι πρόσθετες μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,67 mm. (εικόνα 53). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 25mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 18mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι 1mm και 0mm αντίστοιχα. (εικόνα 62). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,520.

## 6. <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας Ε=40.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής φ=34°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 24,67 mm και ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ σελίδα 142 οι πρόσθετες μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,69 mm. (εικόνα 54). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 25mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 17mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι μηδενικές. (εικόνα 63). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,603.
	Πίνακας 5-11:	Πίνακας απο	οτελεσμάτων για	μέτρο ε	ελαστικότητας	E=40.000	$KN/m^2$ .
--	---------------	-------------	-----------------	---------	---------------	----------	------------

E=40.000 KN/m <sup>2</sup>			
	φ=30°	φ=32°	φ=34°
Ολικές μετακινήσεις πριν την επιβολή του φορτίου(mm)	26,15	25,19	24,67
Μετακινήσεις στο σημείο Α πριν την επιβολή του φορτίου (mm).	26	25	25
Μετακινήσεις στο σημείο D πριν την επιβολή του φορτίου (mm).	18	18	17
Ολικές μετακινήσεις μετά την επιβολή του φορτίου(mm) (εικόνες 52,53,54)	26,78	25,86	25,36
Επαυξητικές μετακινήσεις στο σημείο Α μετά την επιβολή του φορτίου (mm).	1	1	0
Επαυξητικές μετακινήσεις στο σημείο D μετά την επιβολή του φορτίου (mm).	1	0	0
Συντελεστής ασφαλείας SF	1,407	1,520	1,603

Στη συνέχεια, γίνονται γραφικές παραστάσεις για τις ολικές μετακινήσεις πριν και μετά την επιβολή του φορτίου καθώς και για τις τιμές του συντελεστή ασφαλείας, για σταθερό μέτρο ελαστικότητας και τις διάφορες τιμές της γωνίας εσωτερικής τριβής. Όπως φαίνεται παρακάτω, οι ολικές μετακινήσεις μειώνονται με την αύξηση της γωνίας φ (σχήμα 5-28 και σχήμα 5-29) ενώ ο συντελεστής ασφαλείας αυξάνεται (σχήμα 5-30).



**Σχήμα 5-28:** Γραφική παράσταση ολικών μετακινήσεων μετά το πέρας της κατακευής σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής  $\varphi(^{\circ})$  για σταθερό μέτρο ελαστικότητας E=40.000 KN/m<sup>2</sup>



Σχήμα 5-29: Γραφική παράσταση συνολικών μετακινήσεων εξαιτίας της επιβολής του φορτίουσε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής φ(°) για σταθερό μέτρο ελαστικότητας E=40.000 KN/m<sup>2</sup>



Σχήμα 5-30: Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας SF σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής φ (°) για σταθερό μέτρο ελαστικότητας Ε=40.000 KN/m<sup>2</sup>.

7. <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας E=50.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής  $\phi=30^{\circ}$ .

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 20,94 mm και οι πρόσθετες μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,5 mm. (εικόνα 55). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 21mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 15mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων είναι μηδενικές. (εικόνα 64). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,412.

## 8. <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας E=50.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής φ=32°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 20,16 mm και οι πρόσθετες μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,53 mm. (εικόνα 56). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 20mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 14 mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές ΝΤΑΛΑΚΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ σελίδα 147 μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι μηδενικές. (εικόνα 65). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,487.

## 9. <u>Ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας E=50.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία</u> εσωτερικής τριβής φ=34°.

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων κατέγραψαν μέγιστες συνολικές μετακινήσεις μετά το πέρας της κατασκευής, ίσες με 19,74 mm και οι πρόσθετες μετά την επιβολή των κινητών φορτίων ίσες με 0,55 mm. (εικόνα 57). Οι τιμές τους στο σημείο A (εικόνα 5-1), στη στέψη του επιχώματος φτάνουν τα 20mm και στο σημείο D, στο μέσο του πρανούς του επιχώματος, τα 14mm. Οι συγκεκριμένες μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν καμία σημασία καθώς κατά την σταδιακή κατασκευή του επιχώματος, οι οποίες παραμορφώσεις αποκαθίστανται και μηδενίζονται. Οι επαυξητικές μετακινήσεις στα ίδια σημεία εξαιτίας αποκλειστικά και μόνο της επιβολής των κινητών φορτίων της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι μηδενικές. (εικόνα 66). Η εφαρμογή της διαδικασίας phi/c reduction ανέδειξε ότι ο συντελεστής ασφαλείας του επιχώματος είναι SF=1,560.

$E=50.000 \text{ KN/m}^2$			
	φ=30°	φ=32°	φ=34°
Ολικές μετακινήσεις πριν την επιβολή του φορτίου(mm)	20,94	20,16	19,74
	,	,	,
Μετακινήσεις στο σημείο Α πριν την επιβολή του	21	20	20
φορτιου (mm).			
	1.5	1.4	1.4
Μετακινησεις στο σημειο D πριν την επιβολη του	15	14	14
φορτίου (mm).			
Ολικές μετακινήσεις μετά την επιβολή του φορτίου(mm)	21,44	20,69	20,29
(suchuse 55 56 57)			
(EIKOVES, SS, SO, ST)			
Επαυξητικές μετακινήσεις στο σημείο Α μετά την	0	0	0
$(\pi i \beta \alpha) (\alpha \alpha \alpha \pi i \alpha) (mm)$			
	0	0	0
Eπαυςητικές μετακινήσεις στο σήμειο $D$ μετά την	0	0	0
επιβολή του φορτίου (mm).			
Συντελεστής ασφαλείας SF	1.412	1.487	1.560
	-,	1,107	1,000

Στη συνέχεια, γίνονται γραφικές παραστάσεις για τις ολικές μετακινήσεις πριν και μετά την επιβολή του φορτίου καθώς και για τις τιμές του συντελεστή ασφαλείας, για σταθερό μέτρο ελαστικότητας και τις διάφορες τιμές της γωνίας εσωτερικής τριβής. Όπως φαίνεται παρακάτω, οι ολικές μετακινήσεις

μειώνονται με την αύξηση της γωνίας φ (σχήμα 5-28 και σχήμα 5-29) ενώ ο συντελεστής ασφαλείας αυξάνεται (σχήμα 5-30).



**Σχήμα 5-31:** Γραφική παράσταση ολικών μετακινήσεων μετά το πέρας της κατακευής σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής  $\varphi(^{\circ})$  για σταθερό μέτρο ελαστικότητας E=50.000 KN/m<sup>2</sup>



<u>Σχήμα 5-32:</u> Γραφική παράσταση συνολικών μετακινήσεων εξαιτίας της επιβολής του φορτίου σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής  $\varphi(^{\circ})$  για σταθερό μέτρο ελαστικότητας E=50.000 KN/m<sup>2</sup>



Σγήμα 5-33: Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας SF σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής φ (°) για σταθερό μέτρο ελαστικότητας Ε=50.000 KN/m<sup>2</sup>.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τις παραμετρικές αναλύσεις του προσομοιώματος του κεφαλαίου 5. Θα εξεταστεί η επιρροή του μέτρου ελαστικότητας Ε, της γωνίας εσωτερικής τριβής, της ύπαρξης οπλισμών στο επίχωμα και του μήκους αυτών στις συνολικές μετακινήσεις και στον συντελεστή ασφαλείας SF και θα γίνει σύγκριση αυτών σε κάθε ομάδα χωριστά καθώς και των ομάδων μεταξύ τους.

## Επιρροή του μέτρου ελαστικότητας Ε και της γωνίας εσωτερικής τριβής φ στην παραμορφωσιμότητα του άοπλου αναχώματος.

Με σταθερό το μέτρο ελαστικότητας Ε, παρατηρείται πως καθώς αυξάνεται η γωνία εσωτερικής τριβής φ, οι συνολικές παραμορφώσεις μειώνονται και ο συντελεστής ασφαλείας αυξάνεται σύμφωνα με τον πίνακα 6-1. Τέλος, όπως φαίνεται και από τον πίνακα 6-1, για κάθε συνδυασμό τιμών του μέτρου ελαστικότητας και της γωνίας εσωτερικής τριβής το μέτρο ελαστικότητας και τη γωνία εσωτερικής τριβής, παρέχεται ο επιθυμητός συντελεστής ασφαλείας καθώς οι τιμές του υπερβαίνουν το 1,2.

Στην ίδια σειρά παραμετρικών αναλύσεων άοπλου επιχώματος, αν εξεταστεί η επιρροή του μέτρου ελαστικότητας Ε παρατηρείται πως καθώς οι τιμές του αυξάνονται, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ευστάθεια καθώς οι μετακινήσεις μειώνονται και ο συντελεστής ασφαλείας αυξάνεται. Και στις περιπτώσεις αυτές όπως φαίνεται στον πίνακα 6-1 εξασφαλίζεται ο επιθυμητός συντελεστής ασφαλείας, όπου είναι SF > 1,2.

# <u>Πίνακας 6-1</u>: Συγκεντρωτικός πίνακας τιμών στην περίπτωση του άοπλου επιχώματος.

μέτρο	Γωνία	Ολικές		Ολικές		Επαυξητικές		Επαυξητικές		Συντελε	
ελαστικό	εσωτερι	μετακινήσεις		μετακινήσεις		μετακινήσεις		μετακινήσεις		στής	
τητας Ε(	κής	πριν	την	μετά	την	στο	σημείο	А	στο σημε	io D	ασφαλεί
KN/m <sup>2)</sup>	τριβής	επιβολή	του	επιβολή	του	μετά		την	μετά	την	ας SF
	φ(°)	φορτίου (mn	n)	φορτίου		επιβο	ολή	του	επιβολή	του	
				(mm)	(mm)		φορτίου (mm).		φορτίου (mm).		
30	30	34,86		35,71	l		0		0		1,226
	32	33,65		34,52	2		0		0		1,308
	34	32,81		33,71	1		14		5		1,417
35	30	29,88		30,61	1		0		0		1,227
	32	28,84		29,59	)		0		0		1,307
	34	28,22		29,51	1		3		1		1,388
40	30	26,14		26,78	3		1		0		1,226
	32	25,24		25,89	)		2		0		1,307
	34	24,69		25,38	3		0		0		1,389
45	30	23,24		23,81	1		1		1		1,227
	32	22,43		23,01	l		1		0		1,307
	34	21,95		22,50	5		0		1		1,388
50	30	20,93		21,44	1		0		0		1,248
	32	20,19		20,71	l		7		1		1,309
	34	19,69		20,22	2		0		0		1,418

## Επιρροή του μέτρου ελαστικότητας Ε και της γωνίας εσωτερικής τριβής φ στην παραμορφωσιμότητα του οπλισμένου επιχώματος με ίδιο μήκος οπλισμών.

Παρατηρείται πως για σταθερό μέτρο ελαστικότητας Ε, καθώς αυξάνεται η γωνία εσωτερικής τριβής, αυξάνεται και η αντοχή του υλικού καθώς οι συνολικές μετακινήσεις παρουσιάζουν μείωση και ο συντελεστής ασφαλείας, αύξηση όπως φαίνεται στον πίνακα 6-2. Σε όλες τις περιπτώσεις ο συντελεστής ασφαλείας έχει την επιθυμητή τιμή άνω του 1,2.

<u>Πίνακας 6-2:</u> Συγκεντρωτικός πίνακας τιμών στην περίπτωση του οπλισμένου επιχώματος με ίδιο μήκος οπλισμών.

μέτρο	Γωνία	Ολικές	Ολικές	Επαυξητικές	Επαυξητικές	Συντελε
ελαστικότ	εσωτερικ	μετακινήσεις	μετακινήσεις	μετακινήσεις στο	μετακινήσεις στο	στής
ητας Ε(	ής τριβής	πριν την	μετά την	σημείο Α μετά	σημείο D μετά	ασφαλεί
KN/m <sup>2)</sup>	φ(°)	επιβολή του	επιβολή του	την επιβολή του	την επιβολή του	ας SF
		φορτίου (mm)	φορτίου (mm)	φορτίου (mm).	φορτίου (mm).	
30	30	34,75	35,61	0	1	1,483
	32	33,56	34,45	1	1	1,590
	34	32,88	33,81	0	0	1,696
40	30	26,09	26,73	1	1	1,455
	32	25,18	25,85	1	0	1,543
	34	24,66	25,36	0	0	1,609
50	30	20,88	21,40	0	0	1,426
	32	20,15	20,68	0	0	1,517
	34	19,73	20,29	0	0	1,6

## Επιρροή του μέτρου ελαστικότητας Ε και της γωνίας εσωτερικής τριβής φ στην παραμορφωσιμότητα του οπλισμένου επιχώματος με διαφορετικό μήκος οπλισμών.

Παρατηρείται πως για σταθερό μέτρο ελαστικότητας Ε, καθώς αυξάνεται η γωνία εσωτερικής τριβής, αυξάνεται και η αντοχή του υλικού καθώς οι συνολικές μετακινήσεις παρουσιάζουν μείωση και ο συντελεστής ασφαλείας, αύξηση όπως φαίνεται στον πίνακα 6-3. Σε όλες τις περιπτώσεις ο συντελεστής ασφαλείας έχει την επιθυμητή τιμή άνω του 1,2.

Πίνακας 6-3: Συγκεντρωτικός πίνακας τιμών στην περίπτωση του οπλισμένου επιχώματος με ίδιο μήκος οπλισμών.

μέτρο	Γωνία	Ολικές	Ολικές	Επαυξητικές	Επαυξητικές	Συντελε
ελαστικ	εσωτε	μετακινήσεις	μετακινήσεις	μετακινήσεις στο	μετακινήσεις στο	στής
ότητας	ρικής	πριν την	μετά την	σημείο Α μετά	σημείο D μετά	ασφαλεί
E(	τριβής	επιβολή του	επιβολή του	την επιβολή του	την επιβολή του	ας SF
KN/m <sup>2)</sup>	φ(°)	φορτίου (mm)	φορτίου (mm)	φορτίου (mm).	φορτίου (mm).	
30	30	34,81	35,67	1	1	1,463
	32	33,58	34,46	0	1	1,570
	34	32,89	33,81	0	0	1,650
40	30	26,15	26,78	1	1	1,407
	32	25,19	25,86	1	0	1,520
		24.57				1 600
	34	24,67	25,36	0	0	1,603
50	30	20,94	21,44	0	0	1,412
	32	20.16	20.69	0	0	1 / 87
	52	20,10	20,09	0	0	1,407
	34	19,74	20,29	0	0	1,560
			1			

## Επιρροή της ύπαρξης οπλισμού στην παραμορφωσιμότητα των επιχωμάτων.

Από τις παραμετρικές αναλύσεις συμπεραίνεται πως η χρήση των οπλισμών συμβάλλει στην αύξηση του συντελεστή ασφαλείας και στην ελάττωση των μετακινήσεων σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πινάκων 6-1, 6-2 και 6-3. Έτσι, υπάρχει μεγαλύτερη αντοχή του υλικού και άρα μεγαλύτερη ευστάθεια με την ύπαρξη οπλισμών στο επίχωμα.. Σε όλες τις περιπτώσεις οι τιμές του συντελεστή ασφαλείας είναι κατάλληλες, δηλαδή SF>1,2.

## Επιρροή του μήκους του οπλισμού στην παραμορφωσιμότητα των επιχωμάτων.

Παρατηρείται πως με την αλλαγή του μήκους του οπλισμού των επιχωμάτων και συγκεκριμένα με την σταδιακή αύξησή του από το κατώτερο τμήμα του επιχώματος προς το ανώτερο, η ευστάθεια μειώνεται σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πινάκων 6-2 και 6-3. Σε όλες τις περιπτώσεις ο συντελεστής ασφαλείας έχει την επιθυμητή τιμή άνω του 1,2.

Συμπερασματικά, η γεωμετρία του επιχώματος είναι η ιδανική καθώς παρέχει τους απαραίτητους συντελεστές ασφαλείας με τους διάφορους συνδυασμούς μηχανικών παραμέτρων. Επιπλέον, χρήση γεωσυνθετικών υλικών δεν προσφέρει κάτι στην παρούσα γεωμετρία του επιχώματος καθώς απλά αυξάνει τον συντελεστή ασφαλείας πέραν των απαιτούμενων από τους κανονισμούς τιμών, αυξάνοντας παράλληλα και το κόστος κατασκευής.

Αυτό όμως που έχει ιδιαίτερη σημασία είναι πως με τη χρήση των υλικών αυτών μπορούμε να ανασχεδιάσουμε το επίχωμα δίνοντάς του μεγαλύτερες κλίσεις σε κάποιο τμήμα του στο οποίο συντρέχουν ειδικοί λόγοι.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ρόζος Δ. (2007). Μέθοδοι Βελτίωσης Αντιστήριξης Εδάφους Υπεδάφους, εκδόσεις ΕΜΠ.
- Λουπασάκης Κ. (2012). Σειρά διαφανειών μαθήματος Μέθοδοι-Βελτίωσης – Αντιστήριξης Εδάφους –Υπεδάφους
- ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ&ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ.(2014).Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3- 304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ, ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ. Αδημοσίευτη Τεχνική Έκθεση
- ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ&ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ.(2014).Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3- 304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ, Παράρτημα Α-Στοιχεία Αξιολόγησης. Αδημοσίευτη Τεχνική Έκθεση
- ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ&ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ.(2014).Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3- 304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ, Παράρτημα Β-Υπολογισμοί (1/3). Αδημοσίευτη Τεχνική Έκθεση
- ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ&ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ.(2014).Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3- 304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ, Παράρτημα Β-Υπολογισμοί (2/3). Αδημοσίευτη Τεχνική Έκθεση
- ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ&ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ.(2014).Γεωτεχνική Μελέτη Χωματουργικών Τμήματος S3- 304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ, Παράρτημα Β-Υπολογισμοί (3/3). Αδημοσίευτη Τεχνική Έκθεση

- ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ&ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ.(2014).Γεωτεχνική Μελέτη
  Χωματουργικών Τμήματος S3- 304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ, Οριζοντιογραφίες
  Χωματουργικών. Αδημοσίευτη Τεχνική Έκθεση
- Μουντράκης Μ. Δημοσθένης. (2010). Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας.
- Aubouin, J. (1959). Contribution a l'étude geologique de la Grèce septentrional: les confins de l'Epire et de la Thessalie. Ann. Geol. Pays Hell. 10, 1-525.
- Bornovas, J. (1960). Observations nouvelles sur la geologie des zones preapulienne et ionienne. Bull. Soc. Geol. Fr. (7) 410-414.
- I.Γ.Ε.Υ. & I.F.P. (1966). Etude geologique de l'Epire. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΙΓΜΕ Αθήνα.
- Μαραγκουδάκης, Ν. (1967). Γεωλογία και Μικροπαλαιοντολογία της Νοτίου Κερκύρας. Διδακτορική Διατριβή. Πανεπ. Θεσσαλονίκης.
- Thiebault, F. (1977). Etablissement du caractère ionone de la serie des calcschistes et marbres ('Plattenkalk') en fenetre dans le massif du Taygete. C.R. Somm. Soc. Geol. Fr. No 3.
- Thiebault, F. (1977). Stratigraphie de la serie des calcschistes et marbres (Plattenkalk) en fenetre dans les massifs du Taygete et du Parnon (Péloponnèse, Grece).VI, Coll. Aegean, 691-701.
- Zaninetti, L., & Thiebault, F. (1975). Les foraminiferes du Trias superieur de massif du Taygete. Arch. Sci., Geneve, 28, 2, 229-236.

- Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, (1963)
  Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, φύλλο Θεσπρωτικό, κλίμακα 1:50.000,
  εκδόσεις ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- Plaxis Tutorial Manual V8.

### Ιστότοποι

www.neaodos.gr

www.minenv.gr

www.geo.auth.gr

www.airphotos.gr

www.eptect.geol.uoa.gr

## ПАРАРТНМА

## 1 ΠΡΩΤΗ ΣΕΙΡΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

## ΟΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (ΤΟΤΑL DISPLACEMENTS) ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ( DEFORMED MESH)



Εικόνα 1: Για μέτρο ελαστικότητας E=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής\_φ=30°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των εξωτερικών φορτίων είναι 35,71 mm.



Εικόνα 2: Για μέτρο ελαστικότητας E=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=32°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των εξωτερικών φορτίων 34,52 mm



Εικόνα 3: Για μέτρο ελαστικότητας E=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=34°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των εξωτερικών φορτίων είναι 33,71 mm.



<u>Εικόνα 4:</u> Για μέτρο ελαστικότητας E=35.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής  $\varphi$ =30°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των εξωτερικών φορτίων είναι της τάξης των 30,61 mm.



Εικόνα 5: Για μέτρο ελαστικότητας E=35.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=32°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των εξωτερικών φορτίων είναι 29,59 mm.



Εικόνα 6: Για μέτρο ελαστικότητας E=35.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=34°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των εξωτερικών φορτίων είναι 29,01 mm.



Εικόνα 7: Για μέτρο ελαστικότητας E=40.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=30°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των εξωτερικών φορτίων είναι 26,78 mm.



Εικόνα 8: Για μέτρο ελαστικότητας E=40.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=32°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των εξωτερικών φορτίων είναι 25,89 mm.



Εικόνα 9: Για μέτρο ελαστικότητας E=40.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=34°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των εξωτερικών φορτίων είναι 25,38 mm.



Εικόνα 10: Για μέτρο ελαστικότητας E=45.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=30°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των εξωτερικών φορτίων είναι 23,81 mm.





Εικόνα 11: Για μέτρο ελαστικότητας E=45.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=32°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των εξωτερικών φορτίων είναι 23,01 mm.



Εικόνα 12: Για μέτρο ελαστικότητας E=45.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=34°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των εξωτερικών φορτίων είναι 22,56 mm.





<u>Εικόνα 13:</u> Για μέτρο ελαστικότητας E=50.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi$ =30°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των εξωτερικών φορτίων είναι 21,44 mm.



<u>Εικόνα 14:</u> Για μέτρο ελαστικότητας E=50.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi$ =32°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των εξωτερικών φορτίων είναι 20,71 mm.



Εικόνα 15: Για μέτρο ελαστικότητας E=50.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=34°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των εξωτερικών φορτίων είναι 20,22 mm.





Εικόνα 16: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τις τιμές του μέτρου ελαστικότητας E=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=30°. Το κατασκευαστικό στάδιο του επιχώματος ολοκληρώθηκε στα 14 βήματα και η επιβολή φορτίσεων στα 16 βήματα.



Εικόνα 17: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=32°. Το κατασκευαστικό στάδιο του επιχώματος ολοκληρώθηκε στα 11 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων στα 13.

Chart 3



Εικόνα 18: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=34°. Το κατασκευαστικό στάδιο του επιχώματος ολοκληρώθηκε στα 12 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων στα 14 βήματα.



Εικόνα 19: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=35.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=30°. Η κατασκευή του επιχώματος ολοκληρώνεται στα 14 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων στα 16 βήματα.



Εικόνα 20: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=35.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=32°. Η κατασκευή του επιχώματος ολοκληρώνεται στα 11 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων στα 13.



Εικόνα 21: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=35.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=34°. Η κατασκευή ολοκληρώθηκε στα 12 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων στα 14.



Εικόνα 22: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=40.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=30°. Το κατασκευαστικό στάδιο ολοκληρώνεται στα 14 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων στα 16.



Εικόνα 23: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=40.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=32°. Το στάδιο κατασκευής των επιχωμάτων ολοκληρώθηκε στα 11 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων στα 13.



Εικόνα 24: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=40.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=34°. Το επίχωμα κατασκευάστηκε στα 12 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων ολοκληρώθηκε στα 14.



Εικόνα 25: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=45.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=30°. Το στάδιο κατασκευής ολοκληρώνεται στα 14 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων στα 16.


Εικόνα 26: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=45.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=32°. Η κατασκευή των επιχωμάτων ολοκληρώνεται στα 11 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων στα 13 βήματα.



Εικόνα 27: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=45.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=34°. Το επίχωμα κατασκευάστηκε στα 12 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων ολοκληρώθηκε στα 14.



Εικόνα 28: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=50.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=30°. Η κατασκευή των επιχωμάτων ολοκληρώνεται στα 15 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων στα 13.



Εικόνα 29: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=50.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=32°. Η κατασκευή ολοκληρώθηκε στα 13 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων στα 15.



Εικόνα 30: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=50.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=34°. Η κατασκευή των επιχωμάτων ολοκληρώνεται στα 13 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων στα 15.

### 2 ΔΕΥΤΕΡΗ ΣΕΙΡΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ-

### Πρώτη περίπτωση (ίδιο μήκος οπλισμών)

## ΟΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (ΤΟΤΑL DISPLACEMENTS) ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ( DEFORMED MESH)



φ=30°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των εξωτερικών φορτίων είναι 35,61 mm.

Εικόνα 31: Για μέτρο ελαστικότητας E=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής

Deformed Mesh Extreme total displacement 35,61\*10 <sup>-3</sup> m (displacements scaled up 100,00 times)



<u>Εικόνα 32:</u> Για μέτρο ελαστικότητας E=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi$ =32°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των φορτίσεων είναι 34,45 mm.



Εικόνα 33: Για μέτρο ελαστικότητας E=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=34°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των φορτίσεων είναι 33,81 mm.



**Εικόνα 34:** Για μέτρο ελαστικότητας  $E=40.000 \text{ KN/m}^2$  και γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi=30^\circ$ , οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των φορτίσεων είναι 26,73 mm.



<u>Εικόνα 35:</u> Για μέτρο ελαστικότητας  $E=40.000 \text{ KN/m}^2$  και γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi=32^\circ$ , οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των φορτίσεων είναι 25,85 mm.



Εικόνα 36: Για μέτρο ελαστικότητας E=40.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=34°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των φορτίσεων είναι 25,35 mm.



<u>Εικόνα 37:</u> Για μέτρο ελαστικότητας E=50.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi$ =30°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των φορτίσεων είναι 21,40 mm.



**Εικόνα 38:** Για μέτρο ελαστικότητας  $E=50.000 \text{ KN/m}^2$  και γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi=32^\circ$ , οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των φορτίσεων είναι 20,68 mm.



Εικόνα 39: Για μέτρο ελαστικότητας E=50.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=34°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των φορτίσεων είναι 20,29 mm.

## <u>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ ΤΩΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ</u> ΣΗΜΕΙΩΝ



Εικόνα 40: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τις τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=30°. Η κατασκευή του οπλισμένου επιχώματος ολοκληρώνεται στα 14 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων στα 16.



Εικόνα 41: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για μέτρο ελαστικότητας Ε=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=32°. Η κατασκευή του οπλισμένου επιχώματος ολοκληρώνεται στα 14 βήματα.



Εικόνα 42: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων για τις τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=34°. Η κατασκευή του οπλισμένου επιχώματος ολοκληρώνεται στα 12 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων στα

14.



Εικόνα 43: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τις τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=40.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=30°. Το οπλισμένο επίχωμα κατασκευάστηκε στα 15 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων στα 17.



Εικόνα 44: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τις τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=40.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=32°. Το οπλισμένο επίχωμα κατασκευάστηκε στα 12 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων στα 14.



Εικόνα 45: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τις τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=40.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=34°. Το οπλισμένο επίχωμα κατασκευάστηκε στα 12 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων στα 14.



Εικόνα 46: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τις τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=50.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=30°. Το οπλισμένο επίχωμα κατασκευάστηκε στα 14 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων στα 16.



Εικόνα 47: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τις τιμές του μέτρου ελαστικότητας E=50.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=32°. Η κατασκευή του οπλισμένου επιχώματος ολοκληρώθηκε στα 12 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων στα 14.



Εικόνα 48: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τις τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=50.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=34°. Η κατασκευή του οπλισμένου επιχώματος ολοκληρώθηκε στα 12 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων στα 14.

### 3 ΔΕΥΤΕΡΗ ΣΕΙΡΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ-

Δεύτερη περίπτωση (διαφορετικό μήκος οπλισμών)

## ΟΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ (ΤΟΤΑL DISPLACEMENTS) ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ( DEFORMED MESH)





<u>Εικόνα 49:</u> Για μέτρο ελαστικότητας E=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi$ =30°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολής των φορτίσεων είναι 35,67 mm.



Εικόνα 50: Για μέτρο ελαστικότητας E=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=32°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των φορτίσεων είναι 34,46mm.





<u>Εικόνα 51:</u> Για μέτρο ελαστικότητας E=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi=34^{\circ}$ , οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των φορτίσεων είναι 33,81 mm.





<u>Εικόνα 52:</u> Για μέτρο ελαστικότητας  $E=40.000 \text{ KN/m}^2$  και γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi=30^\circ$ , οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των φορτίσεων είναι 26,78

mm.



<u>Εικόνα 53:</u> Για μέτρο ελαστικότητας E=40.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi$ =32°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των φορτίσεων είναι 25,86 mm.



**Εικόνα 54:** Για μέτρο ελαστικότητας  $E=40.000 \text{ KN/m}^2$  και γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi=34^\circ$ , οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των φορτίσεων είναι 25,36 mm.





Εικόνα 55: Για μέτρο ελαστικότητας E=50.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi=30^{\circ}$ , οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των φορτίσεων είναι 21,44 mm.



Εικόνα 56: Για μέτρο ελαστικότητας E=50.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=32°, οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των φορτίσεων είναι 20,69 mm.





**Εικόνα 57:** Για μέτρο ελαστικότητας  $E=50.000 \text{ KN/m}^2$  και γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi=34^\circ$ , οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις μετά την επιβολή των φορτίσεων είναι 20,29 mm.

# <u>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ ΤΩΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ</u> <u>ΣΗΜΕΙΩΝ</u>



Εικόνα 58: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τις τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=30°. Το οπλισμένο επίχωμα κατασκευάστηκε στα 13 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων ολοκληρώθηκε στα 15.



Εικόνα 59: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τις τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=32°. Η κατασκευή του οπλισμένου επιχώματος ολοκληρώθηκε στα 12 βήματα και η επιβολή των εξωτερικών φορτίσεων στα 14.



Εικόνα 60: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων για Α έως Η για τις τιμές του μέτρου ελαστικότητας E=30.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=34°. Η κατασκευή του οπλισμένου επιχώματος ολοκληρώθηκε στα 12 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων στα 14.



<u>Εικόνα 61:</u> Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τις τιμές του μέτρου ελαστικότητας E=40.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής  $\varphi$ =30°. Η κατασκευή του οπλισμένου επιχώματος ολοκληρώθηκε στα 13 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων

στα 15.



Εικόνα 62: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τις τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=40.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=32°. Η κατασκευή του οπλισμένου επιχώματος ολοκληρώθηκε στα 12 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων στα 14.



Εικόνα 63: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τις τιμές του μέτρο ελαστικότητας Ε=40.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=34°. Η κατασκευή του οπλισμένου επιχώματος ολοκληρώθηκε στα 12 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων

στα 14.



Εικόνα 64: Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τις τιμές του μέτρου ελαστικότητας Ε=50.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής φ=30°. Το οπλισμένο επίχωμα κατασκευάστηκε στα 13 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων ολοκληρώθηκε στα 15.



<u>Εικόνα 65:</u> Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τις τιμές του μέτρου ελαστικότητας E=50.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής  $\varphi$ =32°. Το οπλισμένο επίχωμα κατασκευάστηκε στα 12 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων ολοκληρώθηκε στα



**Εικόνα 66:** Διάγραμμα μετατοπίσεων των επιλεγμένων σημείων Α έως Η για τις τιμές του μέτρου ελαστικότητας E=50.000 KN/m<sup>2</sup> και γωνία εσωτερικής τριβής  $\varphi$ =34°. Το οπλισμένο επίχωμα κατασκευάστηκε στα 12 βήματα και η επιβολή των φορτίσεων ολοκληρώθηκε στα

14.