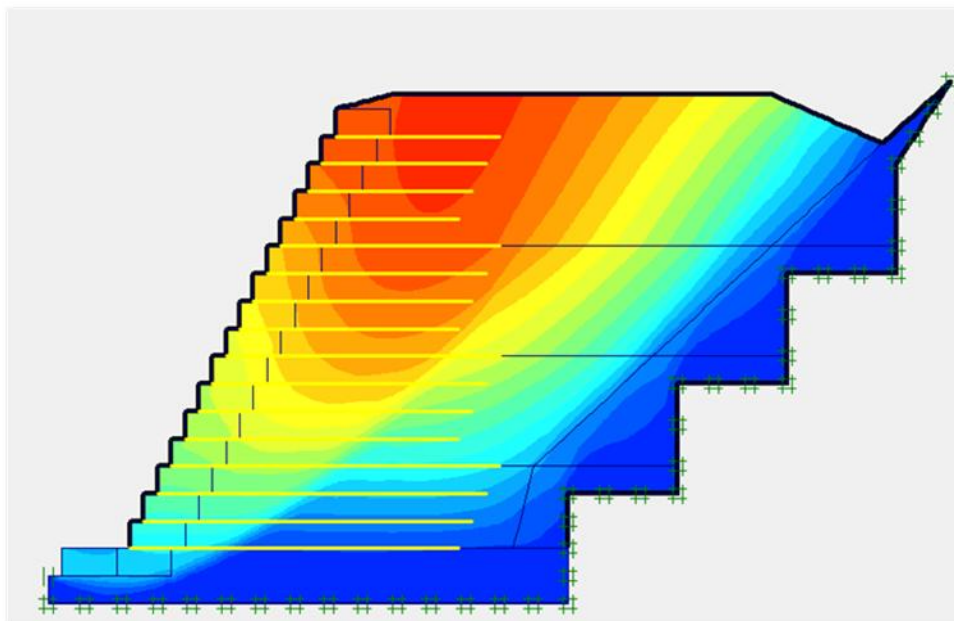




Διπλωματική εργασία

*Ανάλυση ευστάθειας οπλισμένων επιχωμάτων έργων οδοποιίας με
συρματοκιβώτια*



Γιαννουσάκης Μιχάλης

Επιβλέπων καθηγητής : Κ. Λουπασάκης

Αθήνα , Ιούλιος 2013

Επιβλέπων: Λουπασάκης Κωνσταντίνος
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις/...../2013

Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Λέκτορας
(Υπογραφή).....

Ρόζος Δημήτριος, Αναπλ. Καθηγητής
(Υπογραφή).....

Νομικός Παύλος Επικ. Καθηγητής
(Υπογραφή).....

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2013

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι αφιερωμένη
στους γονείς μου Γιώργο και Βάλια, που με στήριξαν
και με στηρίζουν στο κυνήγι των στόχων μου

| | | |
|------------|--|----|
| Κεφάλαιο 1 | [Εισαγωγή]..... | 9 |
| Κεφάλαιο 2 | [Οπλισμένα Επιχώματα]..... | 10 |
| 2.1 | Εισαγωγή..... | 10 |
| 2.2 | Περιγραφή Οπλισμένων επιχωμάτων..... | 10 |
| 2.3 | Οπλισμένα επιχώματα με επένδυση συρματοκιβωτίων..... | 16 |
| 2.4 | Εφαρμογές οπλισμένων επιχωμάτων και χρήσεις συρματοκιβωτίων..... | 19 |
| Κεφάλαιο 3 | [Οπλισμένα επιχώματα της Εγνατίας Οδού]..... | 25 |
| 3.1 | Εισαγωγή..... | 25 |
| 3.2 | Γενική Περιγραφή έργου..... | 25 |
| 3.3 | Ο κάθετος άξονας 75 Κομοτηνή-Νυμφαία- Ελληνοβουλγαρικά σύνορα..... | 26 |
| Κεφάλαιο 4 | [Περιγραφή λογισμικού Plaxis 2D]..... | 37 |
| 4.1 | Μέθοδος Πεπερασμένων στοιχείων..... | 37 |
| 4.2 | Το υπολογιστικό πρόγραμμα <i>Plaxis 2D</i> | 38 |
| Κεφάλαιο 5 | [Παραμετρικές αναλύσεις]..... | 54 |
| 5.1 | Εισαγωγή..... | 54 |
| 5.2 | 1 ^η παραμετρική ανάλυση-παραμετρική ανάλυση αναφοράς..... | 56 |
| 5.3 | 2η σειρά παραμετρικών αναλύσεων..... | 62 |
| 5.4 | 3 ^η ομάδα παραμετρικών αναλύσεων..... | 64 |
| 5.5 | 4 ^η ομάδα παραμετρικών αναλύσεων..... | 74 |
| 5.6 | 5 ^η ομάδα παραμετρικών αναλύσεων..... | 83 |
| 5.7 | 6 ^η ομάδα παραμετρικών αναλύσεων..... | 92 |
| Κεφάλαιο 6 | [Συμπεράσματα]..... | 96 |
| | Βιβλιογραφία..... | 98 |

Ευχαριστίες

Για την εκπόνηση αυτής της Διπλωματικής εργασίας οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κ. Λουπασάκη, Λέκτορα της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών καθώς η βοήθεια και η καθοδήγηση του ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωση της εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπλ. Καθηγητή κ Δ. Ρόζο και τον Επικ. Καθηγητή κ. Π. Νομικό για τις χρήσιμες επισημάνσεις τους.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Γ. Ζαρκάδα Πολιτικό μηχανικό και τον Θ. Βασιλειάδη Τοπογράφο μηχανικό για την παροχή πληροφοριών και δεδομένων των έργων της Εγνατίας οδού, που ήταν απαραίτητες για την διεκπεραίωση της παρούσας διπλωματική εργασίας.

Τέλος ευχαριστώ την Εγνατία οδό που με υποδέχθηκε στα πλαίσια της πρακτικής άσκησης του 8^{ου} εξ. Η επίσκεψη μου στα τεχνικά έργα του κάθετου άξονα Κομοτηνή-Ελληνοβουλγαρικά σύνορα ήταν καθοριστικής σημασίας για την εξέλιξη μου.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των προπτυχιακών Σπουδών του τμήματος Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Ολοκληρώθηκε τον Ιούλιο του 2013 υπό την επίβλεψη του κ Κ. Λουπασάκη , Λέκτορα του τομέα Γεωλογικών Επιστημών της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών

Ο τίτλος της εργασίας είναι :

Ανάλυση ευστάθειας επιχωμάτων έργων οδοποιίας οπλισμένων με συρματοκιβώτια.

Σκοπός αυτής της Διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της ευστάθειας των οπλισμένων επιχωμάτων που έχουν επένδυση από συρματοκιβώτια με την πραγματοποίηση παραμετρικών αναλύσεων. Το παράδειγμα που επιλύεται είναι πραγματικό και βρίσκεται στον οδικό άξονα 75 Κομοτηνή –Ελληνοβουλγαρικά σύνορα. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν από της μελέτες του επιχώματος αναφέρονται μόνο στη γεωμετρία της τομής και στον τρόπο διάταξης των οπλισμών, δηλαδή δε γίνεται χρήση των μηχανικών παραμέτρων του πραγματικού έργου. Πραγματοποιούνται έξι σειρές παραμετρικών αναλύσεων που αφορούν στον οπλισμό (συρματοπλέγματα), και τα υλικά κατασκευής του έργου και εξάγονται ανάλογα συμπεράσματα. Το υπολογιστικό εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το *Plaxis 2D*. Πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων που ειδικεύεται σε γεωτεχνικά προβλήματα.

Η Διπλωματική εργασία διαρθρώνεται σε 6 κεφάλαια.

Πρώτο κεφάλαιο -Εισαγωγή

Το δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή των οπλισμένων επιχωμάτων , με αναλυτική παρουσίαση των κατηγοριών τους και των υλικών κατασκευής .

Στο τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνει περιγραφή του οδικού άξονα της Εγνατίας οδού. Επίσης γίνεται αναλυτική περιγραφή του κάθετου οδικού άξονα 75 Κομοτηνή – Ελληνοβουλγαρικά σύνορα. Τέλος πραγματοποιείται περιγραφή των οπλισμένων επιχωμάτων , με αναλυτική παρουσίαση των υλικών και του τρόπου κατασκευής.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων και στη συνέχεια του υπολογιστικού πακέτου *Plaxis 2D* το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση των παραμετρικών αναλύσεων.

Το πέμπτο κεφάλαιο περιλαμβάνει αναλυτική παρουσίαση των παραμετρικών αναλύσεων που έγιναν στον οπλισμένο επίχωμα.

Το 6 κεφάλαιο περιέχει τα συμπεράσματα από τις διερευνήσεις και επιλύσεις. Γίνονται σχεδιαστικές προτάσεις για τα οπλισμένα επιχώματα με συρματοκιβώτια.

Abstract

This thesis was carried out as part of undergraduate studies in the Department of Mining and Metallurgical engineering of the National Technical University of Athens. This thesis was completed in July 2013 under the supervision of Mr K Loupasakis, Lecturer in the field of Geological sciences of the department.

The topic of this thesis is :

Stability analysis of embankments as roadworks reinforced with gabions

The aim of this thesis is to investigate the stability of reinforced embankments with gabions by making parametric analyzes. The geometric project solved, is actual and is on the road 75 of Komotini Greek-Bulgarian borders. The data used in the analyzes of the embankment refer only to the geometry of the construction and the arrangement of reinforcing elements, and is not making use of the mechanical parameters of the actual project. This thesis consists of six series of parametric analyzes which refer to the reinforcing elements and the construction materials used in this project. The computational program used, was the *Plaxis 2D*, finite element program that specializes in geotechnical problems.

The thesis consists of the following chapters :

Chapter 1 –Introduction

Chapter 2 –Includes a description of reinforced embankments

Chapter 3 – Includes a description of the road of Egnatia. Also includes a detailed description of the road 75 Komotini Greek-Bulgarian borders and a comprehensive presentation of building materials and construction methods of reinforced embankments.

Chapter 4 –Includes a description of the finite element method and also the description of the computational package Plaxis 2D which was used to carry out parametric analyzes.

Chapter 5 –Contains a detailed presentation of parametric analysis made in this thesis

Chapter 6 – Contains the conclusions of this thesis

Κεφάλαιο 1

[Εισαγωγή]

Ο σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των επιλογών διαστασιολόγησης οπλισμένου επιχώματος με την πραγματοποίηση παραμετρικών αναλύσεων. Οι παραμετρικές αναλύσεις πραγματοποιούνται με το *Plaxis*, λογισμικό που βασίζεται στη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων (Μ.Π.Σ.). Σκοπός τους είναι η ανάδειξη της σημασίας της **αντοχής των στοιχείων όπλισης, της πυκνότητας διάταξής τους, των υλικών πλήρωσης του επιχώματος** καθώς και της **επένδυσης του επιχώματος (των συρματοκιβωτίων)** στην ευστάθεια του συνολικού έργου. Το παράδειγμα τομής επιχώματος που χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις είναι πραγματικό. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των τομών που χρησιμοποιήθηκαν λήφθηκαν από μελέτες κατασκευής οπλισμένων επιχωμάτων της Εγνατίας οδού στο τμήμα του κάθετου άξονα 75 Κομοτηνή –Ελληνοβουλγαρικά σύνορα. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών που εισήχθησαν στο πρόγραμμα δεν έχουν καμία σχέση με αυτά του πραγματικού έργου.

Το επίχωμα της Εγνατίας οδού που προσομοιώθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, βρίσκεται στη Χ.Θ. 18+440 έως 18+730 του κάθετου άξονα 75 Κομοτηνή –Ελληνοβουλγαρικά σύνορα. Στη συγκεκριμένη θέση, είχε προβλεφθεί η κατασκευή δύο επιχωμάτων με κωδική αρίθμηση 27 και 28 αντίστοιχα. Τα επιχώματα αυτά σύμφωνα με την αρχική μελέτη οδοποιίας είχαν σχεδιαστεί με διαφορετική κλίση και μέγιστο ύψος, καθώς το επίχωμα 27 θα κατασκευαζόταν με συμβατικό τρόπο και το επίχωμα 28 με γεωσυνθετικούς οπλισμούς. Στη περιοχή του επιχώματος 27 λόγω διαφορετικών υψομέτρων του γεωμορφολογικού ανάγλυφου είχε σαν αποτέλεσμα τη διαμόρφωση του τελικού ύψους πάνω από 40 μέτρα. Έτσι προτάθηκε η κατασκευή του με γεωσυνθετικούς οπλισμούς ώστε επιτευχθεί μεγαλύτερη κλίση και παράλληλα να αποφευχθεί η έδραση του σε δυσμενή γεωμορφολογικό ανάγλυφο. Η τελική μελέτη κατασκευής προέβλεπε την κατασκευή του ενιαίου οπλισμένου επιχώματος 27-28 με κλίση 2:1 και μέγιστο ύψος 16 μέτρα. Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί ότι στις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ο οπλισμός του επιχώματος θεωρήθηκε ως χαλύβδινο συρματοπλέγμα και όχι ως γεωσυνθετικός οπλισμός που προτάθηκε στην μελέτη κατασκευής.

Κεφάλαιο 2

[Οπλισμένα Επιχώματα]

Εισαγωγή

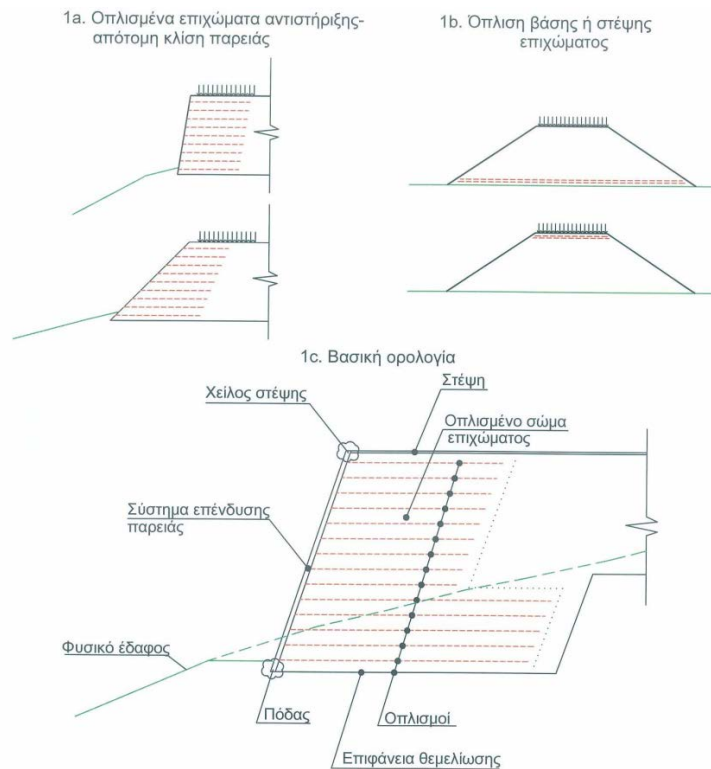
Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια περιγραφή των οπλισμένων επιχωμάτων, με αναλυτική παρουσίαση μέσω εικόνων και φωτογραφιών των υλικών και του τρόπου κατασκευής τους.

Περιγραφή Οπλισμένων επιχωμάτων

Ως οπλισμένα επιχώματα, καλούνται όλα τα επιχώματα τα οποία περιλαμβάνουν οποιονδήποτε τύπου οπλισμό (χαλύβδινες λωρίδες, πλέγματα, γεωυφάσματα), είτε στο σύνολο του ύψους αυτών, είτε τοπικά στην βάση ή την στέψη. (Νάσκος, 2007)

Διακρίνονται (Νάσκος, 2007):

- Σε οπλισμένα επιχώματα με απότομες έως και κατακόρυφες κλίσεις πρανών, η ευστάθεια των οποίων δεν θα μπορούσε να εξασφαλισθεί χωρίς όπλιση. Ως εκ τούτου, πρόκειται για οπλισμένα επιχώματα αντιστήριξης (retaining structures). (Σχήμα 2-1a)
- Σε επιχώματα ήπιας κλίσης πρανών που περιλαμβάνουν όπλιση είτε στην θεμελίωση αυτών, είτε στην στέψη, για λόγους π.χ. ενίσχυσης της φέρουσας ικανότητας του υπεδάφους ή και αντιμετώπισης διαφορικών καθιζήσεων σε ειδικές περιπτώσεις. (Σχήμα 2-1b)



Σχήμα 2-1 :Σχηματικά παραδείγματα οπλισμένων επιχωμάτων και περιγραφή τυπικού επιχώματος (Νάσκος, 2007)

Οπλισμοί επιχωμάτων

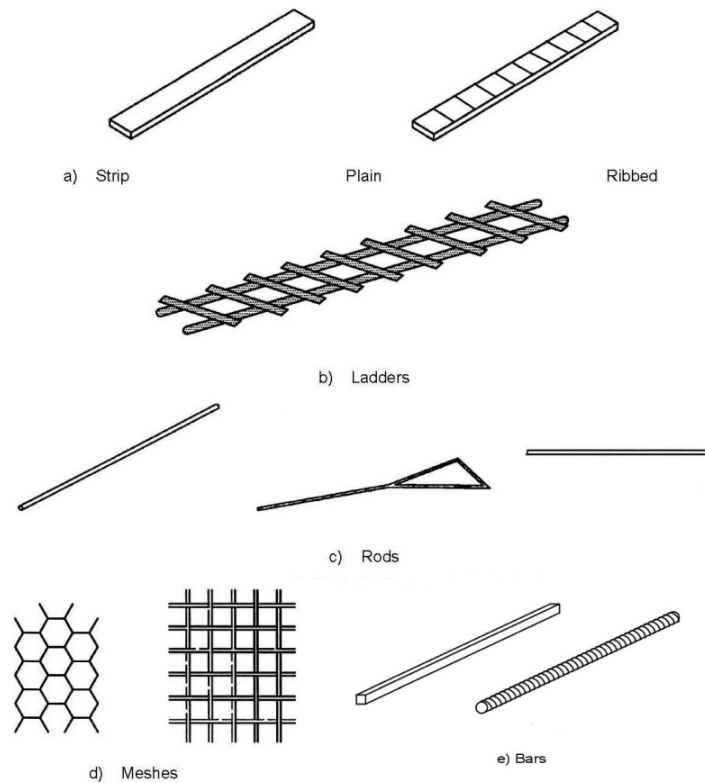
Ο οπλισμός εδαφών τυγχάνει ευρείας εφαρμογής σε πολλά γεωτεχνικά έργα όπως αναχώματα επιχώματα τοίχους αντιστήριξης, αποβάσεις γραμμικών συγκοινωνιακών έργων.

Οι οπλισμοί παρεμβάλλονται μεταξύ των στρώσεων των εδαφικών υλικών κατά τη διάρκεια διάστρωσης και συμπύκνωσης τους. Στην ελεύθερη επιφάνεια των πρανών τα γεωσυνθετικά υλικά αγκυρώνονται στην επένδυση του επιχώματος.

Οι οπλισμοί στα επιχώματα μπορεί να είναι (Νάσκος, 2007):

- Χαλύβδινοι

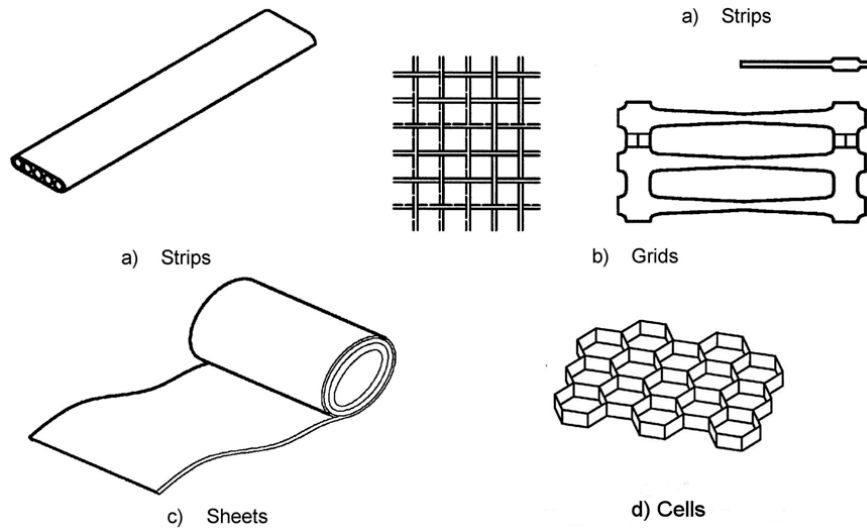
Εφαρμογές χαλύβδινων λωρίδων, ράβδων καθώς και χαλύβδινων πλεγμάτων. Σε μόνιμες κατασκευές είναι γαλβανισμένοι και συχνά επικαλύπτονται με PVC για καλύτερη προστασία. Τα χαρακτηριστικά μηχανικής αντοχής που πρέπει να δίνονται για τους χαλύβδινους οπλισμούς πρέπει να αναφέρονται στην αντοχή σε εφελκυσμό έναντι θραύσης του χάλυβα, καθώς και σε επιμέρους παραμέτρους που να επιτρέπουν τον υπολογισμό του συντελεστή τριβής του οπλισμού σε εξόλκευση, εφόσον είναι γνωστή η γωνία τριβής του υλικού επίχωσης.



Σχήμα 2-2 : Τύποι χαλύβδινων οπλισμών επιχωμάτων (Νάσκος, 2007)

- Συνθετικοί-Πολυμερικοί (synthetic polymers) . (Ρόζος, 2007)

Εφαρμογές γεωπλεγμάτων, γεωφασμάτων γεωκυψελών κ.α. Είναι υλικά από μεγαλομόρια οργανικών ενώσεων που έχουν προσκολληθεί με τη διαδικασία του πολυμερισμού. Το παράγωγο αυτής τα διαδικασίας είναι ένα είδος σκόνης όπου χρησιμοποιείται για παραγωγή συνθετικών ινών. Στη συνέχεια γίνεται κατάλληλη επεξεργασία και σχηματίζεται το τελικό προϊόν. Τα χαρακτηριστικά της μηχανικής αντοχής δίνονται για ορισμένες συνθήκες καθώς εξαρτώνται από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος το μέγεθος του φορτίου το ρυθμό επιβολής αυτού καθώς και τη διάρκεια φόρτισης.



Σχήμα 2-3 : Τύποι γεωσυνθετικών-πολυμερικών οπλισμών επιχωμάτων (Νάσκος, 2007)

Επένδυση παρειάς πρανούς Οπλισμένου επιχώματος

Ο τρόπος επένδυσης της παρειάς του επιχώματος εξαρτάται από την κλίση της , τη χρήση του έργου καθώς και τις απαιτήσεις του περιβάλλοντος. Ο σκοπός της επένδυσης είναι η προστασία από διάβρωση για την προβλεπόμενη διάρκεια χρήσης του έργου.

Γενικότερα οι κατηγορίες επενδύσεων είναι τρεις (Νάσκος, 2007) :

- Δύσκαμπτες επενδύσεις (προκατασκευασμένες πλάκες ή αρθρωτά συνδεδεμένοι δόμοι από σκυρόδεμα). (Εικόνα 2-4)
- Ημιεύκαμπτες επενδύσεις (χαλύβδινα πλέγματα, συρματοπλέγματα - συρματοκιβώτια, ημιελλειπτικά χαλύβδινα ελάσματα) (Εικόνα 2-5, 2-6)
- Πλήρως εύκαμπτες επενδύσεις (αναδιπλώσεις γεωπλεγμάτων, ανεξάρτητες επενδύσεις παρειάς με γεωδύκτια και φυτικές γαίες) (Εικόνα 2-7)



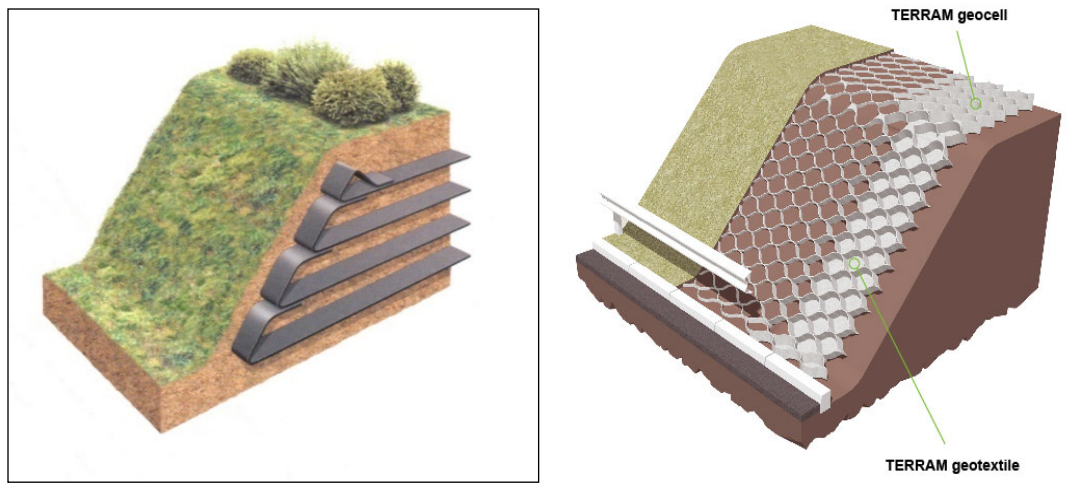
Εικόνα 2-4 : Χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογών δύσκαμπτων επενδύσεων επιχωμάτων (www.odotechniki.com)



Εικόνα 2-5 : Χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογών ημιεύκαμπτων επενδύσεων επιχωμάτων (www.Panmetal.gr)



Εικόνα 2-6 : Χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογών ημιεύκαμπτων επενδύσεων επιχωμάτων (www.Panmetal.gr)



Εικόνα 2-7 : Χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογών με (α) αναδιπλώσεις γεωπλεγμάτων και (β) γεωδουκτίων (www.terram.com)

Οπλισμένα επιχώματα με επένδυση συρματοκιβωτίων

Τα οπλισμένα επιχώματα με συρματοκιβώτια χαρακτηρίζονται από υψηλή ικανότητα αποστράγγισης, μεγάλη πλαστικότητα και παρουσιάζουν μεγάλη ανοχή σε μετακινήσεις. Πρόκειται για οικονομικές κατασκευές και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αντιστήριξη πρανών μικρού και μέσου ύψους. (Λουπασάκης 2012)

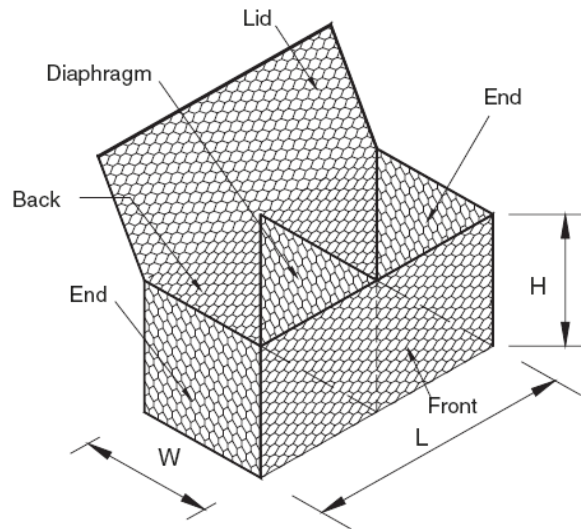


Εικόνα 2-8 : Παράδειγμα εφαρμογής οπλισμένου επιχώματος με συρματοκιβώτια σε πρανές μέσου ύψους (www.choromonotiki.gr)

Τα Συρματοκιβώτια (ή σεραζανέτια) είναι συρμάτινα κιβώτια κατασκευασμένα από πλέγμα τα οποία πληρώνονται με κροκάλες ή θραυστό υλικό. Για τον περιορισμό των παραμορφώσεών τους και τη διατήρηση του σχήματός τους στο εσωτερικό τους υπάρχουν συρμάτινα διαφράγματα. Τα διαφράγματα αυτά λειτουργούν ως αντηρίδες ενώ παράλληλα τα χωρίζουν και σε διαμερίσματα αποτρέποντας τη μετακίνηση των υλικών πλήρωσης. Το υλικό κατασκευής τους είναι συνήθως γαλβανισμένο σύρμα βαρέων τύπου με εφελκυστική αντοχή 350-500 N/mm². Σε απλές περιπτώσεις εφαρμογής χρησιμοποιείται γαλβανισμένο πλέγμα περιφράξεων. (Λουπασάκης, 2012)

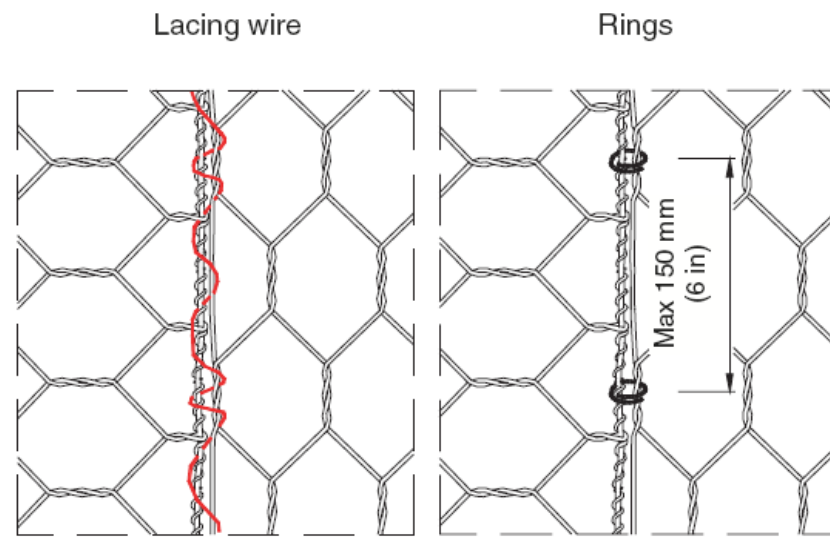


Εικόνα 2-9 : Κατασκευή οπλισμένου επιχώματος στη περιοχή ελικοδρομίου στο νέο Στρατιωτικό Νοσοκομείο 424 Θεσ/νίκης (www.geognosi.gr)



| L=Length m (ft) | W=Width m (ft) | H=Height m (ft) | # of cells |
|-----------------|----------------|-----------------|------------|
| 2 (6.5) | 1 (3.2) | 1 (3.2) | 2 |
| 3 (9.8) | 1 (3.2) | 1 (3.2) | 3 |
| 4 (13.1) | 1 (3.2) | 1 (3.2) | 4 |
| 2 (6.5) | 1 (3.2) | 0.5 (1.6) | 2 |
| 3 (9.8) | 1 (3.2) | 0.5 (1.6) | 3 |
| 4 (13.1) | 1 (3.2) | 0.5 (1.6) | 4 |
| 2 (6.5) | 1 (3.2) | 0.3 (1.0) | 2 |
| 3 (9.8) | 1 (3.2) | 0.3 (1.0) | 3 |
| 4 (13.1) | 1 (3.2) | 0.3 (1.0) | 4 |
| 1.5 (4.9) | 1 (3.2) | 1 (3.2) | 1 |

Σχήμα 2-10 : Τυπική άποψη συρματοκιβωτίου με περιγραφή διαστάσεων ανάλογα με τα κελιά πλήρωσης θραυστού υλικού. (www.maccaferri.com)



Σχήμα 2-11 : Τρόποι σύνδεσης εγκάρσιων συρματοκιβωτίων (www.maccaferri.com)

Οπλισμός επιχωμάτων

Η όπλιση των εδαφικών υλικών επιτυγχάνεται με τη χρήση γεωπλεγμάτων, γεωυφασμάτων, μεταλλικών πλεγμάτων και άλλων εξειδικευμένων υλικών. Τα υλικά αυτά παρεμβάλλονται μεταξύ των στρώσεων των εδαφικών υλικών, κατά τη διάρκεια της διάστρωσης και συμπύκνωσής τους. Στην ελεύθερη επιφάνεια των πρανών τα γεωσυνθετικά υλικά αγκυρώνονται σε σταθερά δομικά στοιχεία όπως συρματοκιβώτια, προκατασκευασμένα στοιχεία από σκυρόδεμα, κ.α. (Λουπασάκης, 2012)

Υλικά επίχωσης

Στα συγκεκριμένα επιχώματα το κύριο σώμα τους κατασκευάζεται από εδαφικά υλικά τα οποία επιδιώκεται να είναι προϊόντα εκσκαφής από παρακείμενες θέσεις του υφιστάμενου έργου. Σε περιπτώσεις μη επάρκειας των προϊόντων εκσκαφής αναζητούνται υλικά από γειτονικούς δανειοθαλάμους ανάλογα με τις απαιτήσεις σχεδιασμού του έργου. Το υλικό που χρησιμοποιείται είναι αδρομερές και συμπυκνώσιμο προκειμένου να μπορεί να αναπτύξει τις απαραίτητες διατμητικές αντοχές .

Εφαρμογές οπλισμένων επιχωμάτων και χρήσεις συρματοκιβωτίων

Οι συνήθεις εφαρμογές των οπλισμένων επιχωμάτων με τη χρήση συρματοκιβωτίων είναι (Νάσκος, 2007) :

- Επιχώματα οδοποιίας

Όταν δεν διατίθεται το απαιτούμενο πλάτος (γειτονία με ποτάμια, απότομα πρανή οριοθετημένες απαλλοτριώσεις ή και υψηλό κόστος γης) για την εφαρμογή των ήπιων κλίσεων πρανών που απαιτούν τα άοπλα επιχώματα. Επίσης μπορούν να αντικαταστήσουν έργα γεφύρωσης, έργα υψηλών τοίχων ποδός σε περιπτώσεις ισχυρών εγκάρσιων κλίσεων φυσικού εδάφους (Εικόνα 2-12, 2-13) .

- Επιχώματα αντιστηρίξεων

Επιχώματα ως στοιχεία βαρύτητας για αντιστήριξη απότομων ασταθών κλίσεων φυσικού εδάφους. Ενδείκνυνται σε κατολισθαίνουσες ή επικίνδυνες προς κατολίσθηση περιοχές. Άλλη εφαρμογή μπορεί να στοχεύει στην ενίσχυση της φέρουσας ικανότητας του υπεδάφους ώστε να αποφευχθεί το φαινόμενο των διαφορικών καθιζήσεων. (Εικόνα 2-15,2-16)

- Κρηπιδώματα , διευθετήσεις υδατορευμάτων

Οπλισμένα κατακόρυφα κρηπιδώματα σε λιμενικά έργα , οπλισμένες απότομης κλίσης επενδύσεις όχθων ποταμών και ρεμάτων ακόμα και επενδύσεις θεμελιώσεων των γεφυρών και γενικότερα κατασκευές αντιπλημμυρικών έργων (Εικόνα 2-17, 2-18, 2-19)

Η μέθοδος οπλισμένων επιχωμάτων βρίσκεται σε ευρεία εφαρμογή πλέον στον ελλαδικό χώρο. Προσφέρει χαμηλό κόστος γιατί εκμεταλλεύεται στο έπακρο τα προϊόντα της εκσκαφής και προσφέρει μεγάλη αντοχή και ανθεκτικότητα. Τέλος αποτελεί μια αισθητική λύση για αποκατάσταση εκσκαφών και ορυγμάτων.



Εικόνα 2-12 : Οπλισμένο επίχωμα 27-28 κάθετου άξονα Κομοτηνή –Ελληνοβουλγαρικά σύνορα



Εικόνα 2-13 : Παραδείγμα οπλισμένων επιχωμάτων σε έργα οδοποιίας, Μέτσοβο (www.geognosi.gr)



Εικόνα 2-14 : Χρήση συρματοκιβωτίων για επένδυση πρανών (www.egnatia.gr)



Εικόνα 2-15 : Χρήση συρματοκιβωτίων για επένδυση πρανών (www.geognosi.gr)



Εικόνα 2-16 : Χρήση συρματοκιβωτίων για στεθεροποίηση ασταθούς πρανούς
(www.choromonotiki.gr)



Εικόνα 2-17 : Χρήση συρματοκιβωτίων για επένδυση θεμελίωσης γέφυρας
(www.choromonotiki.gr)



Εικόνα 2-18 : Χρήση συρματοκιβωτίων σε αντιπλημμυρικά έργα ποταμού (www.panmetal.gr)

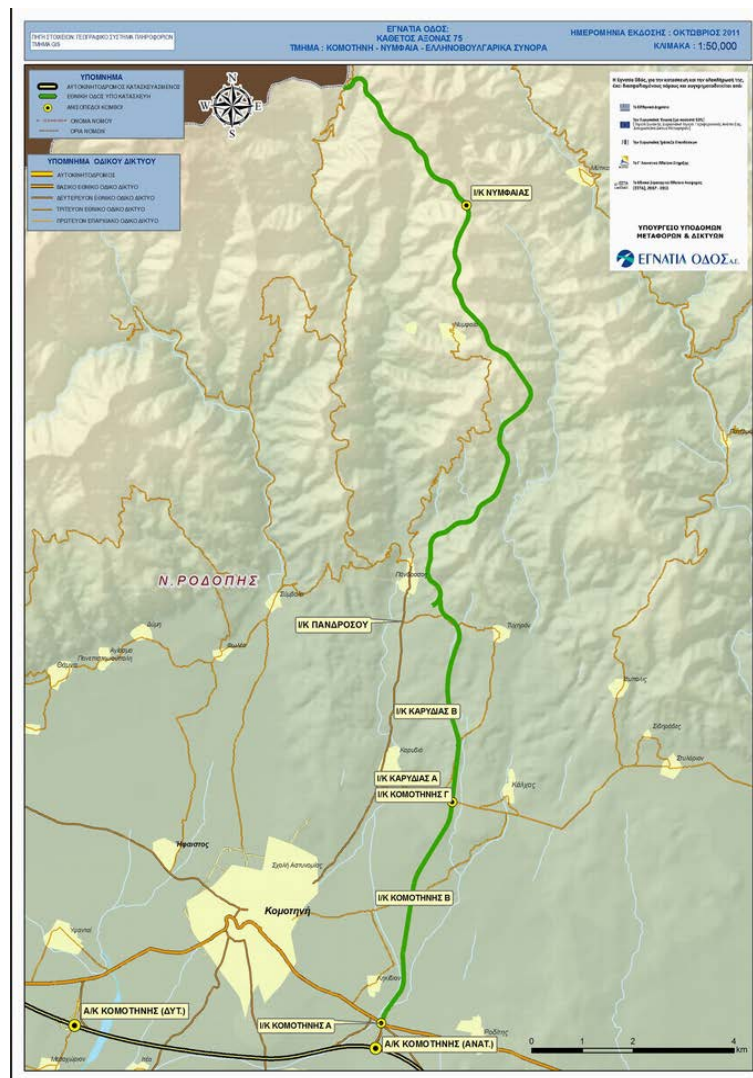


Εικόνα 2-19 : Εργασίες αντιστήριξης των πρανών του ποταμού Κηφισού (www.choromonotiki.gr)

Ο κάθετος άξονας 75 Κομοτηνή-Νυμφαία- Ελληνοβουλγαρικά σύνορα

Ο κάθετος άξονας Κομοτηνή –Ελληνοβουλγαρικά σύνορα, συνδέει την Εγνατία με τα σύνορα στην θέση του μεθοριακού σταθμού στη περιοχή της Μακάζας. Έχει συνολικό μήκος 22,5 χιλιόμετρα εκ των οποίων τα 19 χλμ περίπου κατασκευάζονται σε νέα χάραξη ενώ για 3,5 χλμ γίνεται βελτίωση του υφιστάμενου άξονα της επαρχιακής οδού Κομοτηνής -Καρυδιάς. (Σημαιοφορίδης κ.α., 2006)

Από τι σύνολο των 22,5 χλμ τα πρώτα 8,5 αναπτύσσονται σε πεδινό έως λοφώδες ανάγλυφο ενώ τα επόμενα 14 χλμ το ανάγλυφο του εδάφους γίνεται πολύ ορεινό με εντονότατες πτυχώσεις και αρκετά πυκνή βλάστηση.



Χάρτης 3-2 : Κάθετος άξονας Κομοτηνή –Ελληνοβουλγαρικά σύνορα (www.egnatia.gr)

Η τυπική διατομή της οδικής αρτηρίας καθορίστηκε με συμφωνία μεταξύ Ελλάδας Βουλγαρίας. Η διατομή είναι δίχνη συνολικού πλάτους 7,50/10,50 μ. και περιλαμβάνει μια λωρίδα κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση πλάτους 3,75 μ και έρεισμα πλάτους 1,5 εκατέρωθεν. (Σημαιοφορίδης κ.α., 2006)

Στις περιοχές όπου η καταμήκος κλίση της οδού είναι μεγάλη κατασκευάζεται μια επιπλέον λωρίδα κυκλοφορίας (βραδυπορίας) πλάτους 3,50 μ και έτσι στις περιπτώσεις αυτές το συνολικό πλάτος της διατομής αυξάνεται σε 11,00/14,00 μ

Στις περιοχές των σηράγγων η τυπική διατομή περιλαμβάνει:

- Μια λωρίδα κυκλοφορίας πλάτους 3,75 μ. ανά κατεύθυνση
- Μια λωρίδα καθοδήγησης πλάτους 0,5 μ. ανά κατεύθυνση
- Πεζοδρόμιο πλάτους 1,0 μ. ανά κατεύθυνση

Συνολικά το κυκλοφορούμενο πλάτος οδοστρώματος εντός των σηράγγων είναι 8,50 μ.

Τμήματα κάθετου άξονα

Τμήμα Α από Χ.Θ. 0+000 έως Χ.Θ. 4+200

Το αρχικό αυτό τμήμα ξεκινά από τον υφιστάμενο κόμβο που συνδέει την παλαιά εθνική οδό Κομοτηνής Αλεξανδρούπολης με τν ανατολικό ανισόπεδο κόμβο της Εγνατίας οδού και ολοκληρώνεται ένα χιλιόμετρο περίπου πριν από τον οικισμό της καρυδιάς. Το τμήμα αυτό έχει κατασκευαστεί παλαιότερα εκτός από το πρώτα 500 μ. της αρτηρίας , που ανακατασκευάζεται και στα οποία προβλέπεται η κατασκευή γέφυρας *Τρελοχείμαρρου* μήκους 110μ. περίπου. Στο υφιστάμενο κατασκευασμένο τμήμα των 3,5 χλμ. Προβλέπονται τοπικές βελτιώσεις και ασφαλτοστρώσεις. Στο τμήμα αυτό επίσης προβλέπεται και η κατασκευή του κόμβου Πανδρόσου που θα γίνεται η σύνδεση με την υφιστάμενη Κοινοτική Οδό Καρυδιάς-Πανδρόσου περίπου στη Χ.Θ. 4+060 . (Σημαιοφορίδης κ.α., 2006)

Τμήμα Β από Χ.Θ. 4+200 έως Χ.Θ. 18+165

Στο τμήμα αυτό ξεκινά από το τέλος του κόμβου Πανδρόσου και τελειώνει στα Ελληνοβουλγαρικά Σύνορα Χ.Θ. 18+165. Στο τμήμα αυτό προβλέπεται η κατασκευή πέντε σηράγγων μονού κλάδου συνολικού μήκους 1,700 μ. καθώς και πολλά μικρά τεχνικά έργα. Για την αποκατάσταση του υφιστάμενου δασικού οδικού δικτύου προβλέπονται η κατασκευή μιας κάτω διάβασης μήκους 35 μ. περίπου. Επίσης προβλέπεται η κατασκευή τριών χώρων στάθμευσης αυτοκινήτων επί του κυρίου άξονα. Επιπλέον προβλέπεται η εκτέλεση εργασιών διαμόρφωσης του

περιβάλλοντος χώρου αναψυχής Νυμφαίας περί την Χ.Θ. 14+300 του κύριου άξονα.
(Εφραιμίδης & Αργυριάδη, 2009)

Οπλισμένο επίχωμα 27-28

Το επίχωμα της Εγνατίας οδού που προαναφέρθηκε, βρίσκεται στη Χ.Θ. 18+440 έως 18+730 του κάθετου άξονα 75 Κομοτηνή –Ελληνοβουλγαρικά σύνορα. Στη συγκεκριμένη θέση, είχε προβλεφθεί η κατασκευή δύο επιχωμάτων με αρίθμηση 27 και 28 αντίστοιχα. Σύμφωνα με την αρχική μελέτη οδοποιίας το επίχωμα 27 προβλέφθηκε να κατασκευαστεί με συμβατικό τρόπο, με εγκεκριμένη κλίση πρανών $υ:β=1:1,6$ και μέγιστο ύψος 27 μέτρα. Αντίστοιχα το επίχωμα 28 προβλέφθηκε να κατασκευαστεί οπλισμένο με γεωσυνθετικούς οπλισμούς, με κλίση $υ:β=2:1$ καθώς και μέγιστο ύψος 16 μέτρα. Στην περιοχή του επιχώματος 27, παρουσιάζονται διαφορές στα υψόμετρα και έχει ως αποτέλεσμα την διαμόρφωση του τελικού ύψους πάνω από 40 μέτρα. Έτσι προτάθηκε η κατασκευή του με γεωσυνθετικούς οπλισμούς ώστε επιτευχθεί μεγαλύτερη κλίση 2:1 και παράλληλα να αποφευχθεί η έδραση του σε δυσμενή γεωμορφολογικό ανάγλυφο. Η τελική μελέτη κατασκευής προβλέπει την κατασκευή του ενιαίου οπλισμένου επιχώματος 27-28 με κλίση 2:1 και μέγιστο ύψος 15 μέτρα. (Εφραιμίδης & Αργυριάδη, 2009)

Αποτελέσματα γεωτεχνικής έρευνας

Σύμφωνα με την γεωτεχνική μελέτη χωματομετρικών που βασίστηκε στο γεωτρητικό πρόγραμμα, οι σχηματισμοί θεμελίωσης του επιχώματος 27 είναι :

- **0,0 – 4,7 μ** αμμώδης άργιλος πολύ σιφρή μέσης έως υψηλής πλαστικότητας
- **4,7-11,0 μ** ιλύς υψηλής πλαστικότητας
- **11,0-16,6 μ** αργιλώδης άμμος μέσης πυκνότητας
- **16,6-24,0 μ** βραχώδεις γνευσιακό υπόβαθρο

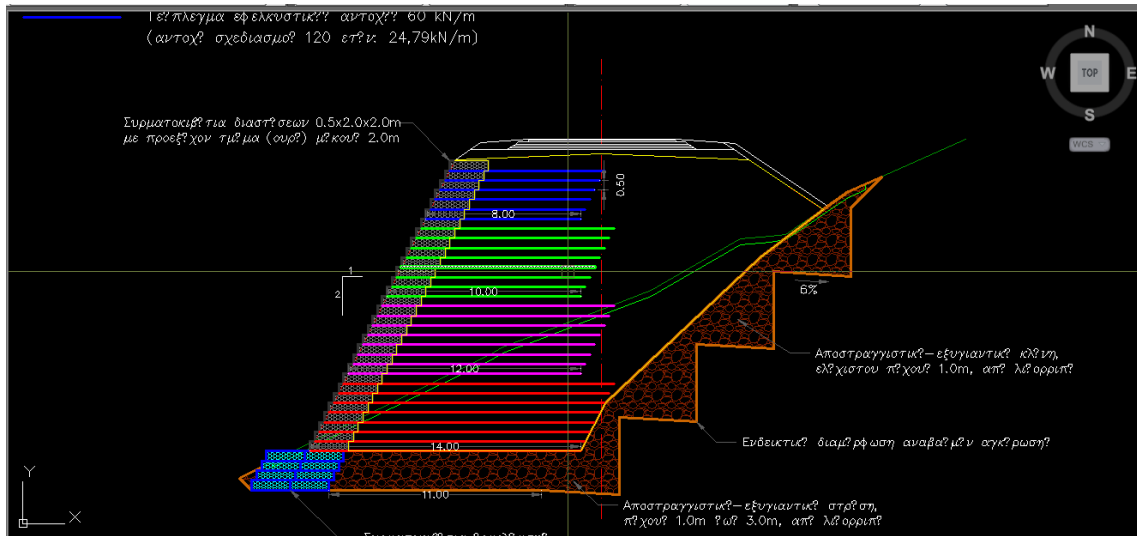
Στη βάση του ενιαίου επιχώματος προτείνεται η τοποθέτηση αποστραγγιστικής-εξυγιαντικής στρώσης λιθορριπής από λίθους βάρους 5,0 έως 20,0 κιλών έτσι ώστε να αντικατασταθεί το χαλαρό υλικό του επιφανειακού μανδύα. Τα χαρακτηριστικά των υλικών της στρώσης που χρησιμοποιήθηκαν είναι :

Επιλογή λύσης –Γεωμετρικά χαρακτηριστικά

Όπως προαναφέρθηκε το επίχωμα 27-28 κατασκευάστηκε με κλίση 2:1 με ταυτόχρονη όπλιση του με συνθετικά γεωπλέγματα και όψη από συρματοκιβώτια πληρωμένα με λιθορριπή. Η όπλιση θα πραγματοποιηθεί με την προϋπόθεση ότι θα υπάρξει ειδική πρόβλεψη για προστασία των απότομων πρανών από επιφανειακή διάβρωση διαρροή του γεωυλικού μεταξύ των οπλισμών, καταστροφή από βανδαλισμούς, πυρκαγιά και έκθεση σε υπερϊώδη ακτινοβολία.

Οι εκσκαφές για την έδραση του οπλισμένου επιχώματος περιλαμβάνουν αφενός τις γενικές εκσκαφές και την απομάκρυνση των επιφανειακών ασύνδετων εδαφικών σχηματισμών και αφετέρου τις εκσκαφές για τη δημιουργία των απαιτούμενων αναβαθμών αγκύρωσης εφόσον η εγκάρσια κλίση του φυσικού πρανούς επί του οποίου εδράζεται το επίχωμα διαθέτει κλίση μεγαλύτερη των 20° και τις εκσκαφές για την τοποθέτηση της εξυγιαντικής αποστραγγιστικής στρώσης στην έδραση του ενιαίου οπλισμένου επιχώματος μέγιστου πάχους 3 μ καθώς και των συρματοκιβωτίων θεμελίωσης. Οι αναβαθμοί αγκύρωσης έχουν σχεδιαστεί με αντίρροπη εγκάρσια κλίση 6%. Η κατασκευή του ενιαίου οπλισμένου επιχώματος αρχίζει μετά την ολοκλήρωση των γενικών και ειδικών εκσκαφών από τη θέση κατασκευής της εξυγιαντικής στρώσης. Στο πρώτο στάδιο κατασκευαστεί η εξυγιαντική –αποστραγγιστική στρώση από λιθορριπή καθώς και τα συρματοκιβώτια θεμελίωσης. Μετά θα πρέπει να δημιουργηθεί κατάλληλη επιφάνεια για την τοποθέτηση των πρώτων στοιχείων οπλισμού του επιχώματος. Η διάστρωση του γεωυλικού επίχωσης θα γίνεται σε επάλληλες στρώσεις ομοιόμορφου πάχους της τάξης των 50 εκ. παράλληλα προς τη επιφάνεια έδρασης κατά μήκος του επιχώματος και σε όλο το πλάτος του ώστε να δημιουργείται ομοιόμορφη επιφάνεια. (Εφραϊμίδης & Αργυριάδη, 2009)

Ανάλυση ευστάθειας επιχωμάτων έργων οδοποιίας οπλισμένων με συρματοκιβώτια
Γιαννουσάκης Μιχάλης



Σχέδιο 3-3 : Χαρακτηριστική τομή επιχώματος 27-28 με λεπτομέρειες από μέτρα ενίσχυσης (Εφραμιδής& Αργυριάδη, 2009)



Εικόνα 3-4 : Χαρακτηριστική άποψη επιχώματος 27-28

Οπλισμοί επιχώματος 27-28

Οι προβλεπόμενοι γεωσυνθετικοί οπλισμοί του επιχώματος αποτελούνται από κατάλληλα πολυμερικά γεωπλέγματα πολυαιθυλενίου τα οποία τοποθετούνται σε οριζόντιες στρώσεις και με κατακόρυφες αποστάσεις 50 εκ. Τα πλέγματα είναι σε μορφή ρολών διαφόρων διαμέτρων και βάρους και αποθηκεύονται σε ξηρές και καθαρές συνθήκες.

Μηχανικά χαρακτηριστικά γεωπλεγμάτων:

- Η ονομαστική – οριακή αντοχή σε ελκυσμό για βραχυχρόνια φόρτιση πρέπει να είναι κατ' ελάχιστον **160 kN/m** , **120kN/m** στη θερμοκρασία 20°C.
- Η χαρακτηριστική τιμή εφελκυστικής παραμόρφωσης δε θα πρέπει να υπερβαίνει το 13%.
- Η χαρακτηριστική τιμή σε εφελκυσμό για μακροχρόνια φόρτιση θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση των **66kN/m**, **50kN/m** .

Φυσικά και φυσικοχημικά χαρακτηριστικά γεωπλεγμάτων

- Τα γεωπλέγματα που θα τοποθετηθούν θα πρέπει να παραμένουν ανεπηρέαστα κατ' ελάχιστον για τις τιμές PH από 3 έως 9
- Τα χρησιμοποιούμενα γεωπλέγματα δε θα πρέπει να επηρεάζονται από τη χημική σύνθεση των συνήθως χρησιμοποιούμενων υλικών επίχωσης και θα πρέπει να παραμένουν ανεπηρέαστα ως προς τοα μηχανικά τους χαρακτηριστικά.
- Θα πρέπει επίσης να είναι ανεπηρέαστα από την υπεριώδη ακτινοβολία UV

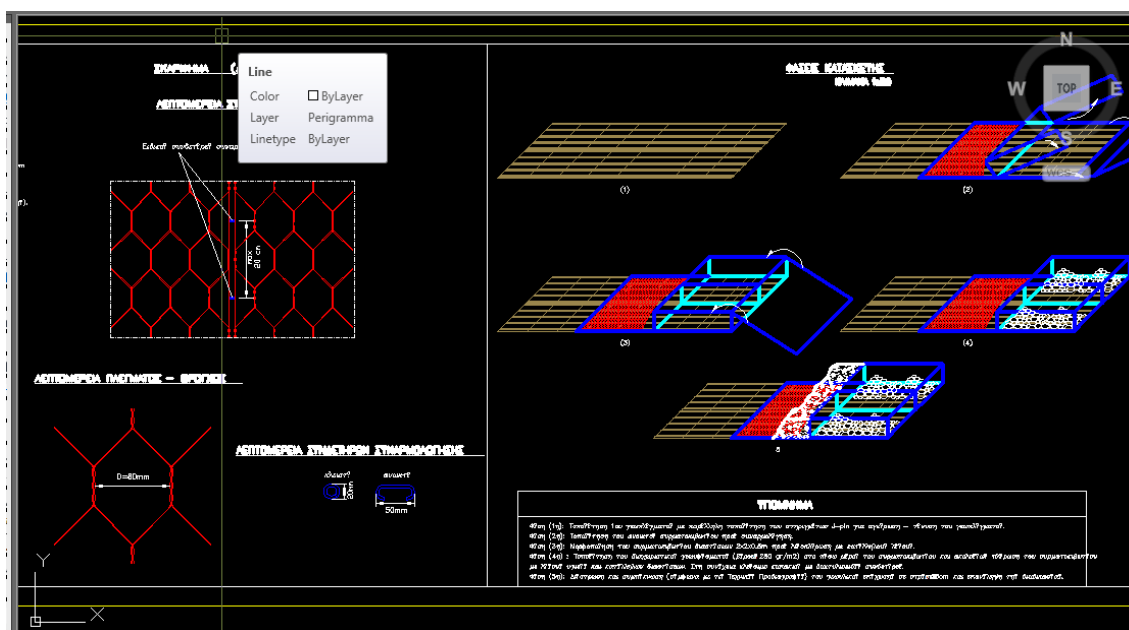
Τα γεωπλέγματα πρέπει να είναι ανεπηρέαστα από θερμοκρασίες μεταξύ 0° και 30°C ενώ θερμοκρασίες πάνω από τα όρια θα πρέπει να είναι ανεκτές για περιορισμένα χρονικά διαστήματα χωρίς να αλλοιώνονται τα βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα μηχανικά τους χαρακτηριστικά .(Εφραιμίδης & Αργυριάδη, 2009)

Επένδυση-προστασία παρειάς οπλισμένου επιχώματος

Δεδομένου ότι η κλίση της παρειάς του οπλισμένου επιχώματος είναι έντονη απαιτούνται μέτρα προστασίας και επένδυσης τα οποία αφενός θα εξασφαλίζουν τον πρωτεύοντα γεωσυνθετικό οπλισμό από πιθανές καταστροφές στην παρειά του επιχώματος θα χρησιμεύει και ως δεύτερος οπλισμός όπου αυτό απαιτείται. Η επένδυση της παρειάς του οπλισμένου επιχώματος θα πρέπει να είναι αρκετά εύκαμπτη αλλά και αισθητικά να μπορεί να ενταχθεί στο περιβάλλον. Η λύση της κατασκευής με ειδικά συρματοκιβώτια πληρωμένα με υγιείς λίθους συγκεκριμένων

διαστάσεων, με προεξέχων τμήμα του συρματοκιβωτίου ελάχιστου μήκους 2μ ακυρωμένο εντός του σώματος του επιχώματος, πληροί όλες τις προϋποθέσεις μιας ευέλικτης και τεχνικά άρτιας λύσης η οποία συνδυάζεται πολύ καλά με την όπλιση με γεωπλέγματα. Τα βραχώδη υλικά πλήρωσης των συρματοκιβωτίων επένδυσης του πρανούς θα πρέπει να είναι από υγιή και κατά το δυνατόν συμπαγή βράχο με σχετικά μικρό πορώδες διαμέτρου μεγαλύτερης των 10εκ και έως $2,5 \cdot D$ όπου D η διάμετρος του βρόγχου του συρματοκιβωτίου, και παράλληλα τέτοιας διαβάθμισης ώστε να ελαχιστοποιούνται τα κενά. (Εφραιμίδης, & Αργυριάδη, 2009)

Τα συρματοκιβώτια παραλαμβάνονται ανοιχτά, διπλώνονται επιτόπου και ακολούθως πληρώνονται με υγιείς λίθους κατάλληλων διαστάσεων. Τα συρματοκιβώτια θα είναι από διπλής πλέξης εξαγωνικό σύρμα με βαρέως τύπου γαλβάνισμα διαμέτρου 2,5 έως 3 χιλ. με βρόγχο διαστάσεων 6 x 8 εκ και τυπικών διαστάσεων μήκους 2 μ. πλάτους 2 μ. και ύψους 0,5 μ. ή κατάλληλα προσαρμοσμένων διαστάσεων σε ειδικά σημεία του έργου.



Σχέδιο 3-5: Διαστάσεις συρματοκιβωτίων, τρόπος αναδίπλωσης και πλήρωσης τους (Εγνατία Α.Ε)



Εικόνα 3-6 : Διαδικασία κατασκευής συρματοκιβωτίων επιχώματος 27-28

Διάστρωση – Συμπύκνωση – Κατασκευή οπλισμένου επιχώματος

Η κατασκευή του ενιαίου οπλισμένου επιχώματος αρχίζει μετά την ολοκλήρωση των γενικών και ειδικών εκσκαφών, από τη θέση κατασκευής της εξυγιαντικής – αποστραγγιστικής στρώσης.

Σε πρώτο στάδιο κατασκευάζεται η εξυγιαντική – αποστραγγιστική στρώση, έτσι όπως δείχνεται στο σχέδιο διατομών από λιθορριπή, καθώς και τα συρματοκιβώτια θεμελίωσης. Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής της εξυγιαντικής– αποστραγγιστικής στρώσης θα πρέπει να δημιουργηθεί κατάλληλη επιφάνεια για την τοποθέτηση των πρώτων στοιχείων οπλισμού του επιχώματος. Η διάστρωση του γεωϋλικού επίχωσης γίνεται σε επάλληλες στρώσεις ομοιομόρφου πάχους της τάξης των 0,50 m, παράλληλα προς την επιφάνεια έδρασης, κατά μήκος του επιχώματος και σε όλο το πλάτος του, ώστε να δημιουργείται ομοιόμορφη επιφάνεια. Το υλικό κάθε στρώσης θα εκφορτώνεται στο έργο, σε θέσεις όπου δεν έχουν τοποθετηθεί γεωπλέγματα και πάνω σε τμήμα ήδη διαστρωμένο της ίδιας στρώσης και κοντά στο άκρο προώθησης (μέτωπο κατασκευής). (Εφραιμίδης & Αργυριάδη 2009)

Στη συνέχεια το προς διάστρωση υλικό προωθείται μέχρι το μέτωπο κατασκευής και διαστρώνεται πέραν αυτού με τρόπο που να ελαχιστοποιείται ο τυχόν διαχωρισμός του. Το πάχος πρέπει ανταποκρίνεται προς την ικανότητα συμπύκνωσης των μηχανημάτων που διατίθενται ώστε να επιτυγχάνεται η απαιτούμενη συμπύκνωση. Ειδικά, στα τελικά όρια των μη οπλισμένων τμημάτων του επιχώματος, πρέπει να αποφεύγεται σχολαστικά ο διαχωρισμός του υλικού επίχωσης και η δημιουργία συναγμάτων μέγιστων κόκκων. Για την συμπύκνωση χρησιμοποιείται κατάλληλος αυτοκινούμενος δονητικός οδοστρωτήρας, με δυνατότητα συμπύκνωσης στρώσης 0,5m. Ο ελάχιστος αριθμός διελεύσεων στην ίδια στρώση είναι 5. Όπου δεν είναι δυνατή η χρήση δονητικών οδοστρωτήρων (λόγω περιορισμών του χώρου, δυσχερειών προσπέλασης μηχανημάτων, ή άλλων λόγων) χρησιμοποιούνται κατάλληλα δονητικά μηχανήματα συμπύκνωσης (δονητικοί συμπιεστές, δονητικές πλάκες, δονητικοί κύλινδροι). Μετά την ολοκλήρωση των γενικών και ειδικών εκσκαφών, καθώς επίσης και την κατασκευή της εξυγιαντικής – αποστραγγιστικής στρώσης και των συρματοκιβωτίων θεμελίωσης, γίνεται κατ' αρχήν η τοποθέτηση του 1^{ου} γεωσυνθετικού οπλισμού κατά τη διεύθυνση της κύριας όπλισης, εγκάρσια προς το μέτωπο του οπλισμένου επιχώματος. Συγκεκριμένα, ξετυλίγονται τα ρολά με κατεύθυνση προς το εσωτερικό του επιχώματος, σύμφωνα με το υπολογισθέν μήκος και αγκυρώνονται σε αμφότερα τα άκρα με μικρού μήκους σιδηρές ράβδους για να εξασφαλιστεί η τάνυση τους και η επιπεδότητά τους. Τα ρολά των γεωσυνθετικών οπλισμών τοποθετούνται σε συνέχεια, σε κάλυψη 100% χωρίς σύνδεση μεταξύ τους και χωρίς να μεσολαβούν κενά. Μετά την τοποθέτηση και τάνυση του 1^{ου} γεωπλέγματος ακολουθεί η τοποθέτηση του 1^{ου} συρματοκιβωτίου επένδυσης παρειάς με προεξέχον τμήμα 2m προς το εσωτερικό του επιχώματος το οποίο εδράζεται επί του 1^{ου} γεωπλέγματος. (Εφραιμίδης & Αργυριάδη, 2009)

Ακολουθεί η επιτόπου συναρμολόγηση του ειδικού συρματοκιβωτίου επένδυσης και η πλήρωσή του με λίθους κατάλληλων διαστάσεων (10cm έως 2,5D = 20cm) και κλείσιμο του «καπακιού» του συρματοκιβωτίου με τους προδιαγραφόμενους συνδετήρες. Στο στάδιο αυτό τοποθετείται και το απαραίτητο τμήμα γεωφάσματος στην πίσω όψη του συρματοκιβωτίου επένδυσης για διαχωρισμό του γεωυλικού επίχωσης και των λίθων πλήρωσης του υπόψη συρματοκιβωτίου. Στη συνέχεια ακολουθεί η διάστρωση και συμπύκνωση του υλικού επίχωσης σε στρώσεις των 50cm. Ειδικά σε πλάτος 1,0 έως 1,5m ακριβώς πίσω από τα ειδικά συρματοκιβώτια επένδυσης παρειάς, η συμπύκνωση θα γίνεται με ελαφρύτερο εξοπλισμό ή ακόμη και χειρωνακτικά με δονητική πλάκα και οι στρώσεις θα πρέπει να είναι μικρότερου πάχους (25cm για την περίπτωση ελαφρού εξοπλισμού ή ακόμη και 12-13cm για την περίπτωση χειρωνακτικού εξοπλισμού συμπύκνωσης) για να επιτευχθεί η απαιτούμενη ομοιόμορφη συμπύκνωση σε σχέση με το υπόλοιπο σώμα του επιχώματος

Έπεται η τοποθέτηση του 2ου γεωσυνθετικού οπλισμού και η τάνυσή του, σε κατακόρυφη απόσταση 0,5m από τον προηγούμενο, κατά τον ίδιο ακριβώς τρόπο με τον προηγούμενο και ακολουθεί εκ νέου η τοποθέτηση του 2ου ειδικού συρματοκιβωτίου με οπισθοχώρηση του πόδα του κατά 0,25m έναντι του υποκείμενου συρματοκιβωτίου για την υλοποίηση της κλίσης $υ:β=2:1$, η επιτόπου συναρμολόγηση και πλήρωσή του, και η διάστρωση της 2ης στρώσης υλικού επίχωσης πάχους 0,5m. Η επαναληπτική αυτή διαδικασία ολοκληρώνεται με την τοποθέτηση του τελευταίου συρματοκιβωτίου επένδυσης παρειάς πάνω από το τελευταίο γεώπλεγμα. Τα συρματοκιβώτια θα είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους τόσο κατά την εγκάρσια έννοια όσο και κατά μήκος του αναπτύγματος του πρανούς με ειδικούς συνδετήρες από χάλυβα υψηλής αντοχής έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ευκαμψία του συστήματος καθώς και η συνεργασία των συρματοκιβωτίων μεταξύ τους. Η εφελκυστική αντοχή των συνδετήρων θα πρέπει να είναι κατ' ελάχιστο 1700 MPa και η διάμετρος τους ομοίως 2,5 έως 3 χιλ. Προκειμένου να υλοποιηθεί η κλίση της παρειάς του οπλισμένου επιχώματος θα πρέπει κάθε συρματοκιβώτιο να οπισθοχωρεί σε σχέση με το υποκείμενο κατά 0,25 μ. (Εφραιμίδης & Αργυριάδη, 2009)



Εικόνα 3-7 : Διαδικασία πλήρωσης συρματοκιβωτίων επιχώματος 27-28



Εικόνα 3-8 : Διαδικασία τοποθέτησης συρματοκιβωτίων επιχώματος 27-28

Κεφάλαιο 4

[Περιγραφή λογισμικού Plaxis 2D]

Μέθοδος Πεπερασμένων στοιχείων

Η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων αποτελεί ένα σύγχρονο και ισχυρό εργαλείο στη διάθεση των μηχανικών και χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια για την επίλυση δύσκολων προβλημάτων και κατασκευών.

Μέθοδος αναγνωρίζει το μοντέλο που πρόκειται να επιλυθεί ως ένα αριθμό περιοχών που λέγονται στοιχεία. Τα στοιχεία (δισδιάστατα ή και τρισδιάστατα) προσομοιώνουν συνεχή μέσα. Ο σκοπός της μεθόδου είναι η προσομοίωση της πραγματικής κατασκευής τα στοιχεία αυτά τα οποία συνδέονται σε ένα πεπερασμένο αριθμό κόμβων. Τα τεχνητά αυτά πεπερασμένα στοιχεία είναι συνήθως τετράπλευρα ή τριγωνικά και οι κόμβοι συνήθως βρίσκονται στα άκρα. Οι μετατοπίσεις των κόμβων εκφράζονται στο πρόγραμμα ως μεταβλητές. Οι μετατοπίσεις στο εσωτερικό των στοιχείων πρέπει να είναι συμβατές με τα τις μετατοπίσεις των κόμβων και όλες οι αλληλεπιδράσεις των στοιχείων πρέπει να είναι συμβατές με τις μετατοπίσεις των κόμβων και όλες οι αλληλεπιδράσεις των στοιχείων εκφράζονται σε σχέση με τις κομβικές μετατοπίσεις. (R.B.J Brinkgreve)

Με αυτόν τον τρόπο οι μόνοι άγνωστοι είναι οι μετατοπίσεις στους κόμβους. Παρ' όλο που μπορεί να υπάρχει μεγάλος αριθμός κομβικών μετατοπίσεων ο αριθμός είναι πεπερασμένος. Το πρόβλημα εκφράζεται ως ένα σύστημα εξισώσεων οι οποίες επιλύονται με αριθμητικές μεθόδους. Είναι προφανές ότι η ακρίβεια της μεθόδου αυξάνει όταν αυξάνεται ο αριθμός των στοιχείων ή καλύτερα των κόμβων. Όμως όσο αυξάνεται ο αριθμός των στοιχείων τόσο αυξάνεται ο χρόνος υπολογισμού. Η βαθμιαία μεταβολή του μεγέθους των στοιχείων είναι ένας εφικτός τρόπος ελάττωσης του χρόνου χωρίς να μειωθεί η ακρίβεια της λύσης του προβλήματος. Λόγω όμως της μεγάλης ποικιλίας κατασκευών και φορτίσεων δεν είναι δυνατό να δοθεί γενικός κανόνας σχετικά με τον αριθμό ή το μέγεθος των στοιχείων ή τον τρόπο διακριτοποίησης που απαιτούνται για επαρκή ακρίβεια. Σε κάθε περίπτωση ο τρόπος διακριτοποίησης πρέπει να βασίζεται στην εμπειρία συμπεριφοράς και μελέτης παρόμοιων κατασκευών.

Το υπολογιστικό πρόγραμμα *Plaxis 2D*

Το *Plaxis* είναι ένα υπολογιστικό πακέτο πεπερασμένων στοιχείων που προορίζεται για τη δισδιάστατη ανάλυση της παραμόρφωσης και της ευστάθειας σε εφαρμογές γεωτεχνικών έργων. Ενσωματώνει επίσης ειδικές διαδικασίες που περιλαμβάνουν υδροστατικές πιέσεις πόρων στο έδαφος. (Brinkgreve, 2002)

Προσφέρει την δυνατότητα να μοντελοποιήσει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των κατασκευών και του εδάφους. Τέλος επιτρέπει την ανάλυση των εδαφών και των κατασκευών όταν αυτά υπόκεινται σε δυναμικά φορτία όπως είναι οι σεισμοί. (Brinkgreve, 2002)

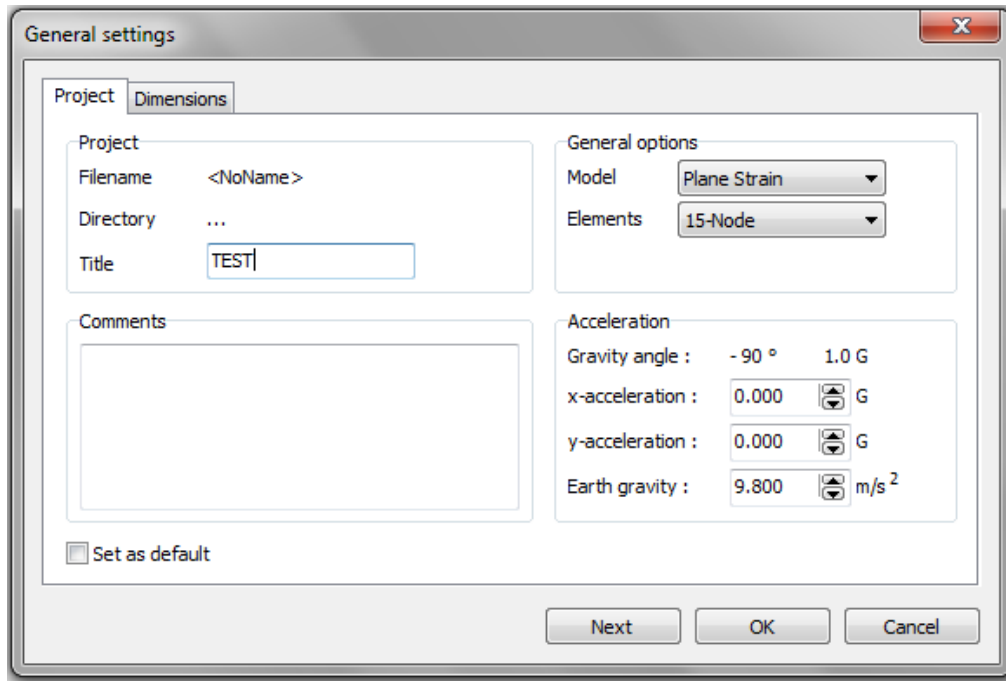
Το υπολογιστικό πρόγραμμα *Plaxis* αποτελείται από 4 υποπρογράμματα:

- ***Input program*** : Σε αυτό το περιβάλλον γίνεται η εισαγωγή των γεωμετρικών δεδομένων του πρσανούς . των εδαφικών υλικών και των αρχικών συνθηκών του μοντέλου.
- ***Calculations program***: Σε αυτό το περιβάλλον επιλέγεται η μέθοδος υπολογισμού του μοντέλου και εκτελούνται οι υπολογισμοί.
- ***Output program***: Μετά την εκτέλεση των υπολογισμών γίνεται εξαγωγή και παρουσίαση αποτελεσμάτων.
- ***Curves program***: Τέλος γίνεται η εξαγωγή διαγραμμάτων των αποτελεσμάτων

Η επίλυση ενός γεωτεχνικού προβλήματος με τη βοήθεια του *Plaxis* αποτελείται από τα εξής στάδια :

Στο περιβάλλον του υποπρογράμματος *Plaxis Input* :

Κατά την δημιουργία ενός νέου αρχείου εμφανίζεται ένα παράθυρο (*General settings*) όπου γίνεται η εισαγωγή του τίτλου του έργου (Σχήμα 4-1).

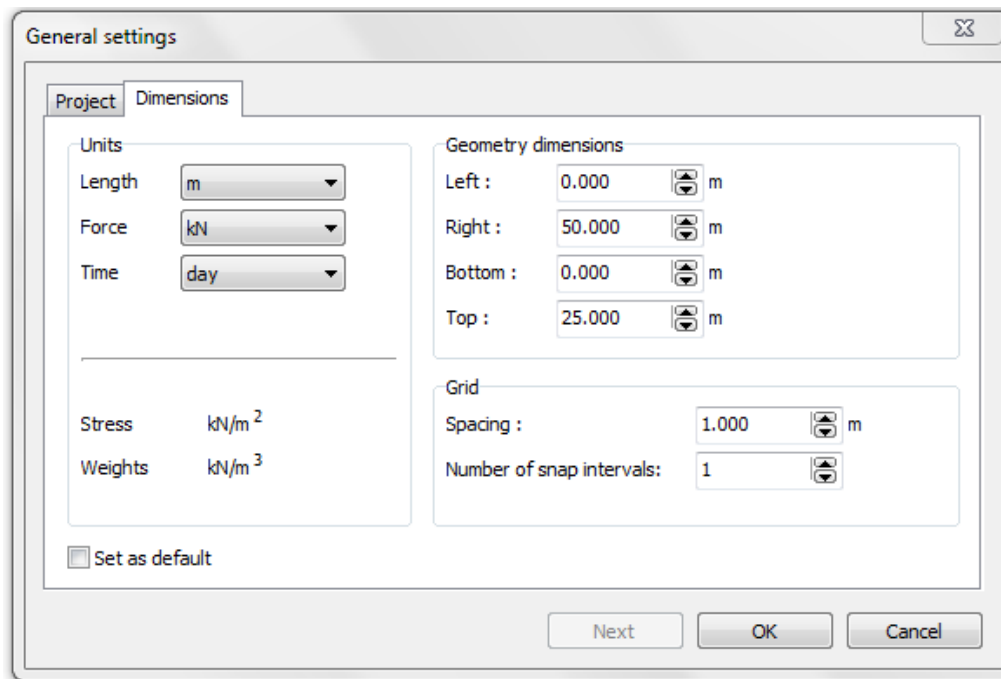


Σχήμα 4-1 : Παράθυρο γενικών ρυθμίσεων

Στη συνέχεια καθορίζεται το μοντέλο προσομοίωσης, είτε επίπεδης παραμόρφωσης (*plain strain*) είτε με αξονοσυμμετρία (*axisymmetric*). Η κατάσταση επίπεδης παραμόρφωσης αναφέρεται σε περιπτώσεις προσομοιώσεων όπου οι συνιστώσες των τάσεων δεν μεταβάλλονται κατά την διεύθυνση ενός άξονα με αποτέλεσμα οι μετατοπίσεις σε αυτόν τον άξονα να θεωρούνται μηδενικές. Τέτοια παραδείγματα μπορεί να είναι φράγματα, επιχώματα και άλλες επιμήκεις κατασκευές. Η αξονοσυμμετρική παραμόρφωση χρησιμοποιείται κυρίως σε κυκλικές κατασκευές με όπου η συντεταγμένη Y αναπαριστά την συμμετρική αξονική γραμμή.

Στην ίδια καρτέλα γίνεται επίσης επιλογή των κόμβων 6 ή 15 που θα βρίσκονται γύρω από κάθε τριγωνικό στοιχείο. Είναι προφανές ότι τα 15-κομβά στοιχεία παρέχουν καλύτερα και ακριβέστερα αποτελέσματα αλλά απαιτούν μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ καθώς και χρόνο επίλυσης. Το πρόγραμμα έχει προεπιλεγμένη την βαρυτική επιτάχυνση με την τιμή $9,8 \text{ m/s}^2$ και ως διεύθυνση την τιμή -90° δηλαδή την κάθετο.

Στη δεύτερη καρτέλα των γενικών ρυθμίσεων (*General settings*) γίνεται ο καθορισμός των μονάδων των μεγεθών της επίλυσης. Δηλαδή Μήκος (*Length*) , Δύναμη (*Force*) και Χρόνος (*Time*) η προεπιλογές είναι αντίστοιχα m, kN, day. Στην ίδια καρτέλα ορίζεται το μέγεθος της επιφάνειας εργασίας σε m καθώς επίσης και το βήμα κίνησης του κέρσορα μεταξύ των κόμβων του πλέγματος (*gridspacing*) (Σχήμα 4-2)



Σχήμα 4-2 : Παράθυρο εισαγωγής μονάδων και καθορισμού μεγέθους επιφάνειας εργασίας

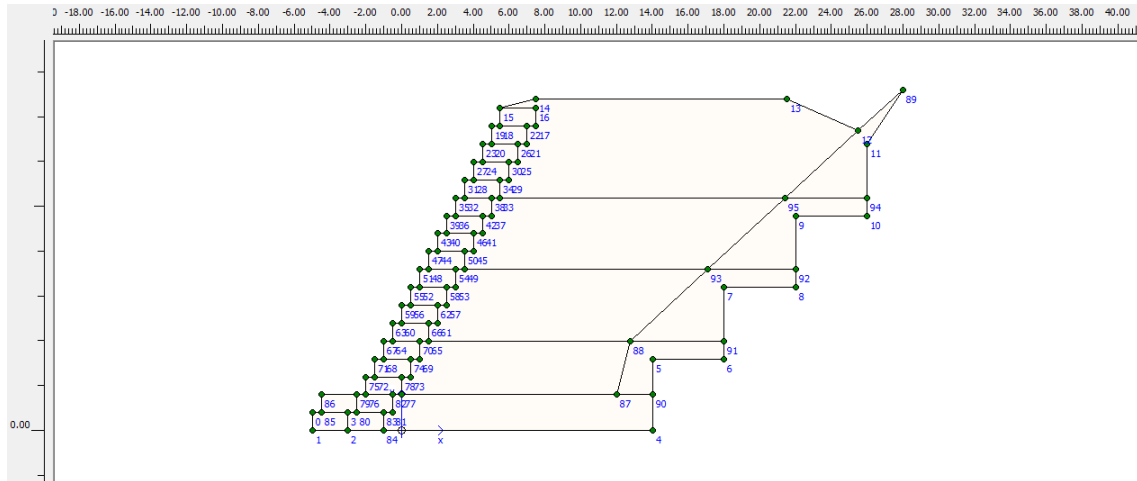
Για την επίλυση ενός γεωτεχνικού προβλήματος θα πρέπει να γίνει η εισαγωγή της γεωμετρίας του καθώς και ο καθορισμός των υλικών και στοιχείων με βάση τα φυσικά και τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά. Η εισαγωγή αυτή γίνεται στο *Input program* που ανοίγει μετά τον καθορισμό των γενικών ρυθμίσεων (*General settings*).

Για την πραγματοποίηση της σχεδίασης του της γεωμετρίας του προβλήματος παρέχονται κάποια εργαλεία.



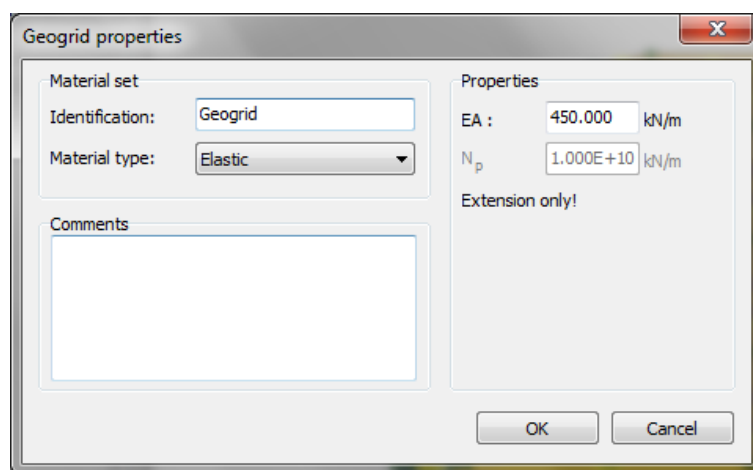
Geometry Line: Με το εργαλείο αυτό γίνεται η σχεδίαση του περιγράμματος. Πρώτα γίνεται η σχεδίαση σημείων και κατ' επέκταση γραμμών. Η σχεδίαση μπορεί να γίνει και από την γραμμή εντολών (*command line*) με την εισαγωγή των συντεταγμένων των σημείων.

Στο σχήμα 4-3 παρουσιάζεται η γεωμετρία της τομής του επιχώματος που προσομοιώνεται στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Όπως φαίνεται η επένδυση του μετώπου του πρανούς πραγματοποιείται από συρματοκιβώτια διαστάσεων : Μήκος 2 μέτρα, ύψος 1 μέτρο.



Σχήμα 4-3 : Σχεδιασμός γεωμετρίας οπλισμένου επιχώματος

Geogrids: Αυτό το εργαλείο επιτρέπει στον χρήστη να εισάγει γεώπλεγμα στο μοντέλο του έργου το οποίο εμφανίζεται με μια κίτρινη γραμμή. Κατά τον ορισμό του γεωπλέγματος χρειάζεται και ο καθορισμός της αξονικής δυστένειας EA (Σχήμα 4-4). Η αξονική δυστένεια είναι ο λόγος της αξονικής δύναμης ανά μονάδα πλάτους της αξονικής παραμόρφωσης $EA = F / (\Delta L/L)$ (ΔL επιμήκυνση, L το μήκος και F η αξονική δύναμη που επιβάλλεται). Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί ότι τα στοιχεία οπλισμού του μοντέλου που προσομοιώθηκε θεωρήθηκαν χαλύβδινα πλέγματα και όχι γεωσυνθετικά υλικά, όπως ορίζει η μελέτη της Εγνατίας για το συγκεκριμένο επίχωμα .

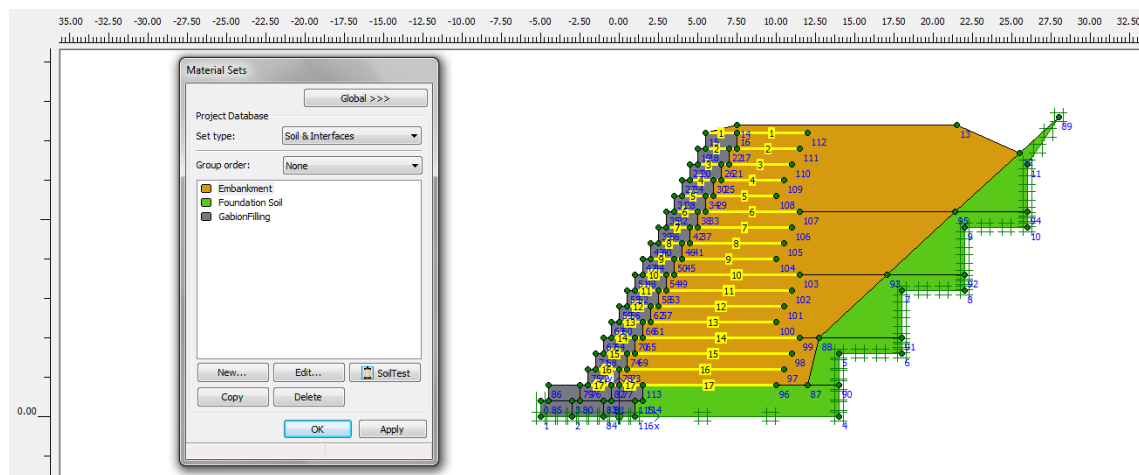


Σχήμα 4-4 : Παράθυρο εισαγωγής χαρακτηριστικών γεωπλέγματος

Plates: Οι πλάκες είναι δομικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στο *Plaxis* για την προσομοίωση λεπτών κατασκευών με μεγάλη καμπτική αντοχή. Στο μοντέλο του έργου εμφανίζονται με μια μπλε γραμμή.

Standard fixities : Κατά την ολοκλήρωση του γεωμετρικού μοντέλου , πρέπει να γίνει καθορισμός των οριακών συνθηκών. Με την επιλογή του γίνεται αυτόματα μια τοποθέτηση γενικών οριακών συνθηκών. Σε κάποιες περιπτώσεις με δύσκολη γεωμετρία χρειάζεται χειροκίνητη εισαγωγή. Το παράδειγμα που επιλύεται στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, αποτελεί μια δύσκολη γεωμετρία, ως εκ τούτου η χρήση της χειροκίνητης εισαγωγής ήταν απαραίτητη. Τα όρια του τμήματος προσομοιώνει την εξυγιαντική στρώση θεωρήθηκαν και οριακές συνθήκες του μοντέλου και εισήχθησαν με τον αντίστοιχο τρόπο (Σχήμα 4-5).

Material data set : Εδώ γίνεται η εισαγωγή των στοιχείων (υλικών) και ο προσδιορισμός των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών τους. Κατά την σχεδίαση , όταν οι γραμμές ορίζουν μια κλειστή επιφάνεια, τότε το πρόγραμμα την αντιλαμβάνεται σαν ένα αντικείμενο (*Cluster*). Τα αντικείμενα αυτά προσομοιώνουν τα υλικά του έργου. Μέσα από τον πίνακα ορισμού υλικών (*Material data set*) καθορίζονται αυτά τα αντικείμενα και εισάγονται τα φυσικά και τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά. Επίσης γίνεται και ο καθορισμός των γραμμικών στοιχείων που προαναφερθεί (*Plates, Geogrids*) (Σχήμα 4-5) .



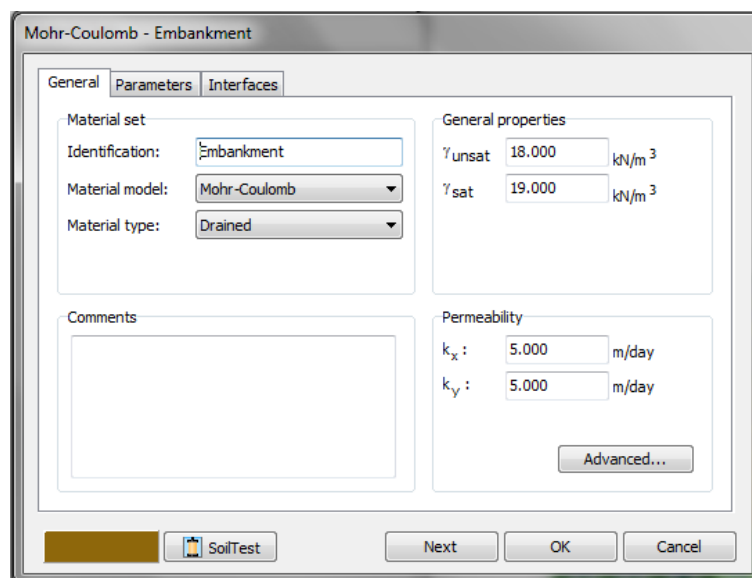
Σχήμα 4-5 : Παράθυρο εισαγωγής υλικών και στοιχείων

Αναλυτικότερα, κατά τον προσδιορισμό των επιφανειών (*Clusters*) εμφανίζεται η παρακάτω καρτέλα όπου εισάγονται τα χαρακτηριστικά: του μοντέλου μηχανικής συμπεριφοράς (συνχότερα χρησιμοποιείται το μοντέλο *Mohr-Coulomb (M-C model)* όπου το έδαφος θεωρείται ως ένα ελαστοπλαστικό μέσο) (Σχήμα 4-6).

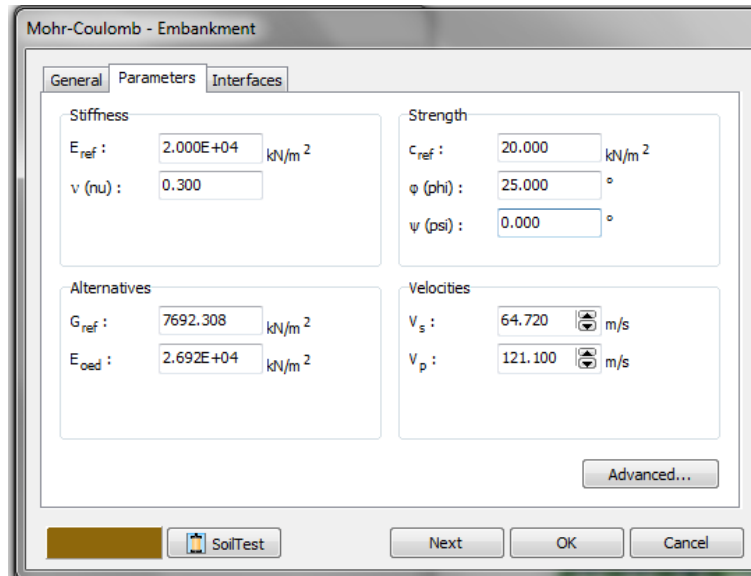
Σε αυτό το σημείο επισημαίνεται το υλικό του επιχώματος καθώς και το υλικό της εξυγιαντικής στρώσης θεωρούνται ως υλικά που συμπεριφέρονται ελαστικά τέλεια πλαστικά και έτσι επιλέγεται το μοντέλο *Mohr –Coulomb*. Στις αρχικές επιλύσεις του επιχώματος το υλικό πλήρωσης των συρματοκιβωτίων είχε θεωρηθεί ότι προσομοιώνεται και αυτό από το μοντέλο *M-C*. Η γεωμετρία όμως των συρματοκιβωτίων, με τις κατακόρυφες πλευρές, οδηγούσε στην αστοχία του μετώπου του επιχώματος και στην παρακώληση της διαδικασίας επίλυσης. Ως εκ τούτου για την επίλυση της τομής θεωρήθηκε ότι τα συρματοκιβώτια συμπεριφέρονται τέλεια ελαστικά.

Στην ίδια καρτέλα γίνεται καθορισμός και για τον τύπο στράγγισης του υλικού: Στραγγισμένο (*Drained*), αστράγγιστο (*unDrained*), μη πορώδες (*Non Porous*). Επίσης εισάγεται το ειδικό φαινόμενο βάρος καθώς και το κορεσμένο ειδικό βάρος σε kN/m^3 . Η υδροπερατότητα του υλικού που ορίζεται σε μονάδες ταχύτητας m/day (Σχήμα 4-6).


Στην δεύτερη καρτέλα γίνεται ο καθορισμός των μηχανικών χαρακτηριστικών. Το μέτρο ελαστικότητας του Young, ο λόγος Poisson (ν), η συνοχή (C), η γωνία εσωτερικής τριβής (ϕ) καθώς και η γωνία διογκωσιμότητας (ψ). (Σχήμα 4-6, 4-7)

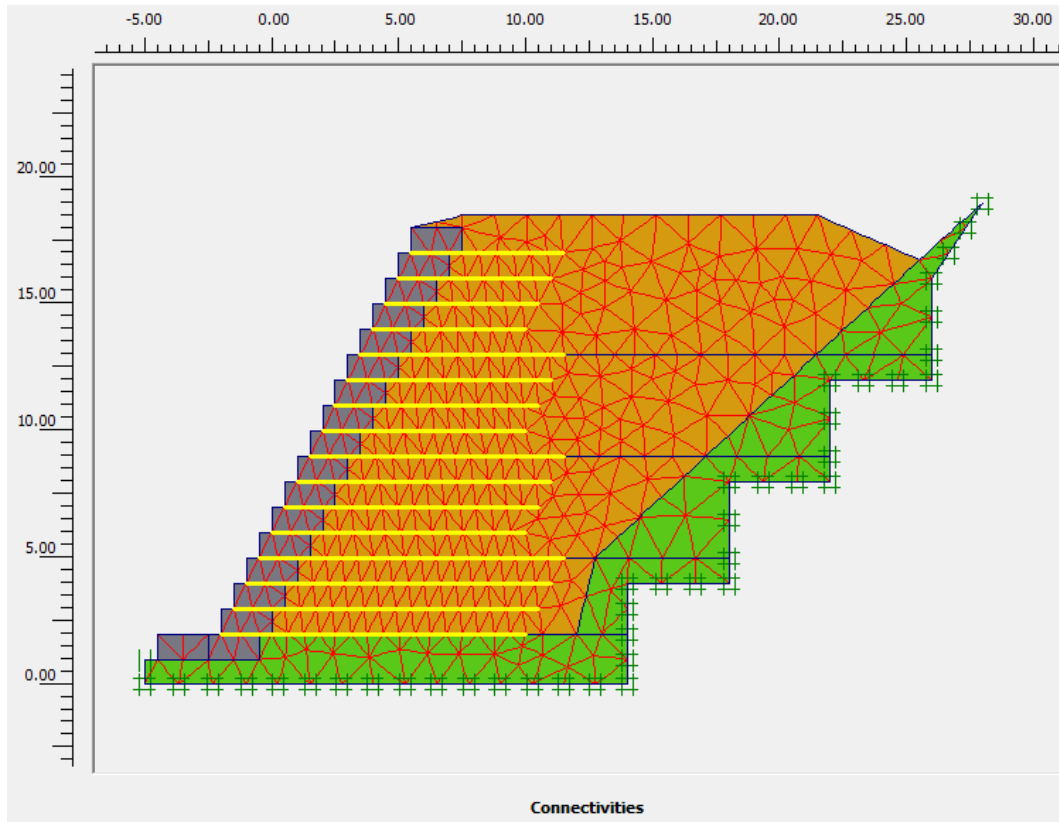


Σχήμα 4-6: Παράθυρο εισαγωγής φυσικών χαρακτηριστικών και τύπου στράγγισης των υλικών



Σχήμα 4-7 : Παράθυρο εισαγωγής μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών

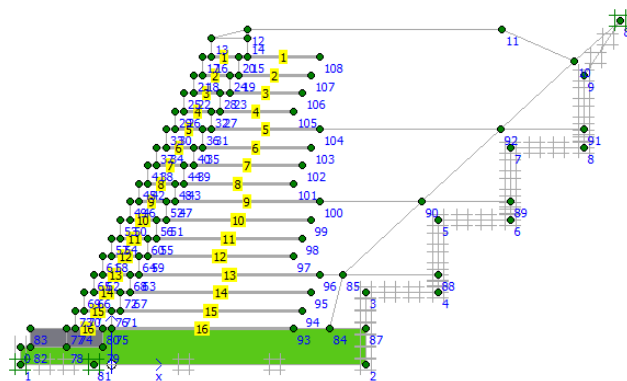
Στη συνέχεια αφού ολοκληρωθεί η σχεδίαση της γεωμετρίας και καθοριστούν τα στοιχεία με τα χαρακτηριστικά τους, γίνεται ο ορισμός του καννάβου των πεπερασμένων στοιχείων. Με την εντολή *Mesh*  το γεωμετρικό μοντέλο υποδιαιρείται σε τριγωνικά στοιχεία (Σχήμα 4-8). Υπάρχει επιλογή πυκνότητας του δικτύου από την εντολή *Global Coarseness*. Είναι προφανές ότι όσο πιο πυκνό είναι το δίκτυο τόσο πιο λεπτομερής θα είναι η ανάλυση αλλά παράλληλα και πιο χρονοβόρα.



Σχήμα 4-8 : Υποδιαίρεση του μοντέλου σε τριγωνικά στοιχεία

Πριν την έναρξη των υπολογισμών, πρέπει να οριστούν οι αρχικές συνθήκες του μοντέλου. Επίσης σε αυτή τη φάση γίνεται η ενεργοποίηση των γεωστατικών και υδροστατικών τάσεων. Με την εντολή *Initial Conditions* ενεργοποιείται η γεωμετρία που προσομοιώνει το περιβάλλον πριν το έργο (εκσκαφή , θεμελίωση κλπ) (Σχήμα 4-9).

➔ Initial conditions



Σχήμα 4-9 : Καθορισμός αρχικών συνθηκών μοντέλου επίλυσης

Στη συνέχεια ενεργοποιούνται οι αρχικές γεωστατικές τάσεις (κατακόρυφες και οριζόντιες) του γεωμετρικού μοντέλου. Επίσης γίνεται ο ορισμός και των υδροστατικών, αφού με την εντολή *Generate water* ορίζεται ο υδροφόρος ορίζοντας και συνεπώς το τασικό πεδίο του.

Στο περιβάλλον του υποπρογράμματος *Plaxis Calculation* :

Με την εντολή *Calculate* γίνεται η μετάβαση στο άλλο υποπρόγραμμα του *Plaxis*, στο *Calculation Program* που είναι υπεύθυνο για την πραγματοποίηση των υπολογισμών. Στο πρόγραμμα αυτό έχουμε τη δυνατότητα να ορίσουμε τις φάσεις κατασκευής του έργου ανάλογα με τις απαιτήσεις σχεδιασμού.

Παρατηρούμε ότι το στάδιο «0» είναι το στάδιο αρχικών συνθηκών που ορίστηκε στο περιβάλλον του *Plaxis Input*. Με την εντολή *Next phase* εισάγεται η επόμενη φάση. Το κάθε στάδιο ορίζεται κυρίως από τη γεωμετρία του μοντέλου στη συγκεκριμένη φάση. Ο καθορισμός αυτής της γεωμετρίας γίνεται από την εντολή *Define* όπου στιγμιαία ενεργοποιείται το πρόγραμμα *Plaxis Input* και ενεργοποιούνται ή απενεργοποιούνται τα επιθυμητά στοιχεία ή επιφάνειες (Σχήμα 4-10).

Οι επιλογές υπολογισμών είναι:

- Ελαστοπλαστική ανάλυση των παραμορφώσεων (*Plastic*)
- Ανάλυση στερεοποίησης (*Consolidation*)
- Προσδιορισμός συντελεστή ασφαλείας μέσω της σταδιακής μείωση των ϕ και c παραμέτρων (*Phi/c reduction*)
- Δυναμική ανάλυση των παραμορφώσεων (*Dynamic analysis*).

Στην δεύτερη καρτέλα (*Parameters*) ορίζονται οι παράμετροι της ανάλυσης που θα πραγματοποιείται σε κάθε στάδιο. Ορίζεται ο μέγιστος αριθμός βημάτων (*Additional Steps*) που θα πρέπει να ολοκληρωθεί το συγκεκριμένο στάδιο.

Το παράδειγμα που επιλύεται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελείται από τέσσερα κατασκευαστικά στάδια (Σχήμα 4-10). Οι φάσεις υπολογισμού του παραδείγματος που επιλύεται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι έξι.

- Πρώτη φάση (*Gravity Loading*):

Η γεωμετρία του μοντέλου επίλυσης δεν είναι οριζόντια και δεν είναι εφικτό να εισαχθούν οι γεωστατικές με την διαδικασία K_0 . Ως εκ τούτου εισάγεται μια πλαστική φάση στους υπολογισμούς (*plastic calculation*) ώστε το αβαρές αντικείμενο που σχεδιάζεται στο πρόγραμμα *Plaxis Input* σταδιακά αποκτήσει βάρος με σταδιακή αύξηση του συντελεστή βάρους $M_{S_{Weight}}$.

- Δεύτερη φάση (1^η στάδιο κατασκευής)

Κατά την εισαγωγή της πρώτης κατασκευαστικής φάσης ενεργοποιείται η εντολή *Reset Displacements to zero* ώστε να μηδενιστούν οι μετακινήσεις του προηγούμενου σταδίου που είναι ανεπιθύμητες. Στη φάση αυτή ενεργοποιήθηκε το πρώτο τμήμα του οπλισμένου επιχώματος.

- Τρίτη φάση (2^η στάδιο κατασκευής)

Στη φάση αυτή ενεργοποιήθηκε το δεύτερο τμήμα του οπλισμένου επιχώματος.

- Τέταρτη φάση (3^η στάδιο κατασκευής)

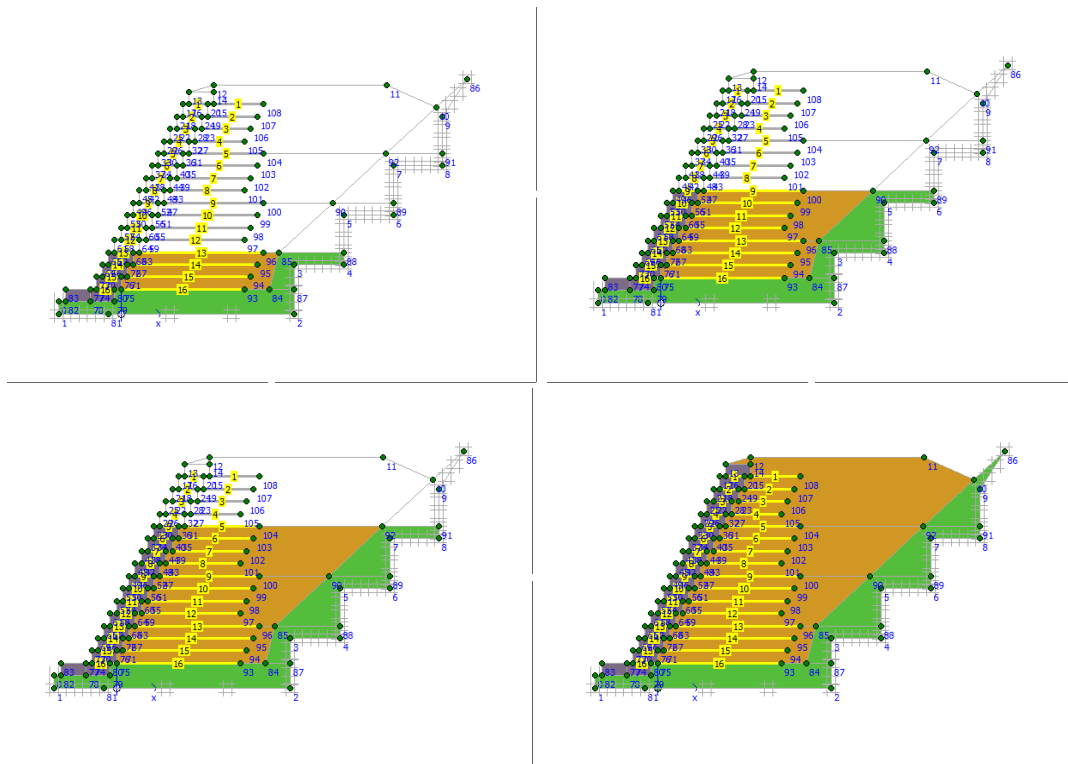
Στη φάση αυτή ενεργοποιήθηκε το τρίτο τμήμα του οπλισμένου επιχώματος.

- Πέμπτη φάση (4^η στάδιο κατασκευής)

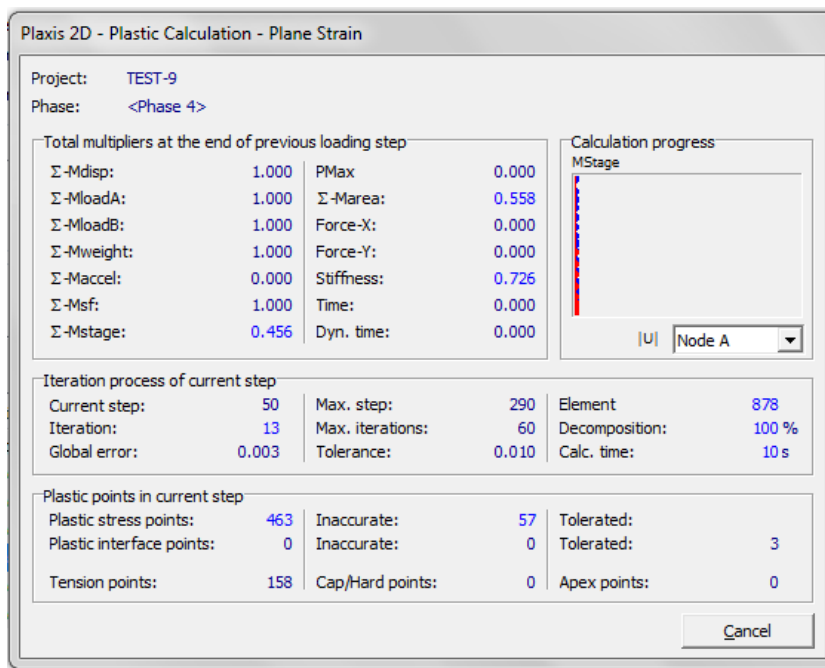
Στη φάση αυτή ενεργοποιήθηκε το τελικό τμήμα του οπλισμένου επιχώματος.

- Έκτη φάση (*Phi/C reduction*)

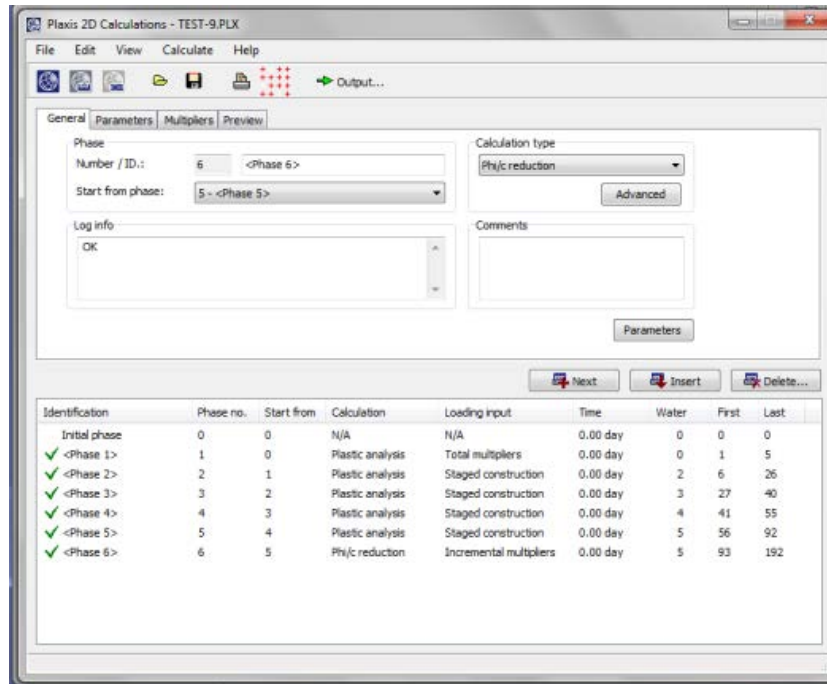
Αφού ολοκληρωθούν όλα τα στάδια κατασκευής στο ορίζεται μία φάση *Phi/C reduction*. Με το συγκεκριμένο τύπο υπολογισμού προσδιορίζεται ο συντελεστής ασφαλείας μέσω σταδιακής μείωσης της γωνίας τριβής (ϕ) και της συνοχής (c). Με τη σταδιακή μείωση των μηχανικών παραμέτρων το πρηνές οδηγείται σε πλασματική αστοχία προκειμένου να υπολογιστεί ο συντελεστής ασφαλείας.



Σχήμα 4-10 : Καθορισμός γεωμετρίας όλων των κατασκευαστικών φάσεων



Σχήμα 4-11: Εκτέλεση υπολογισμών σε εξέλιξη

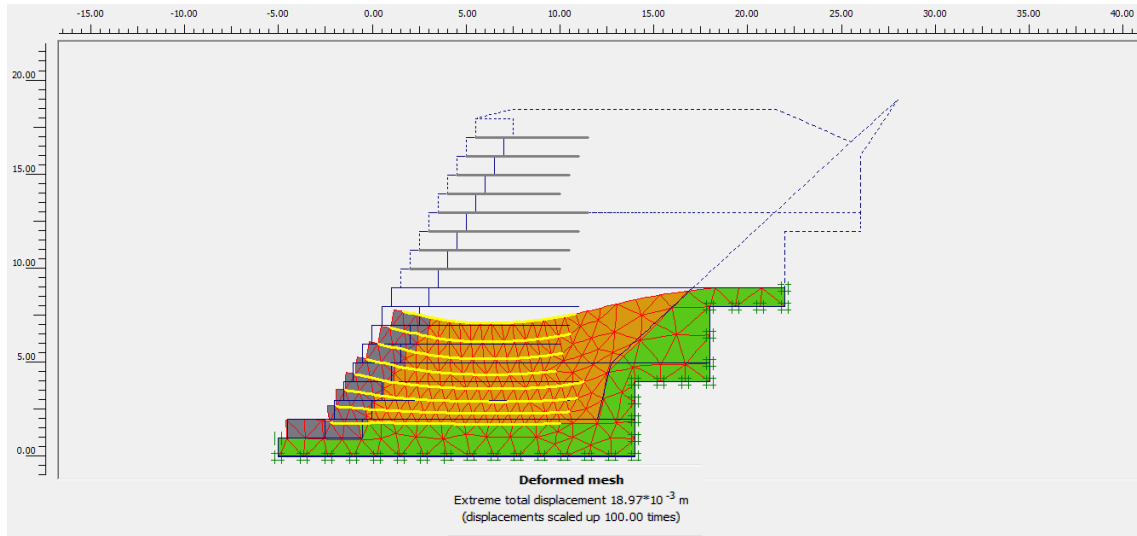


Σχήμα 4-12 : Παράθυρο ολοκλήρωσης επίλυσης σταδίων κατασκευής

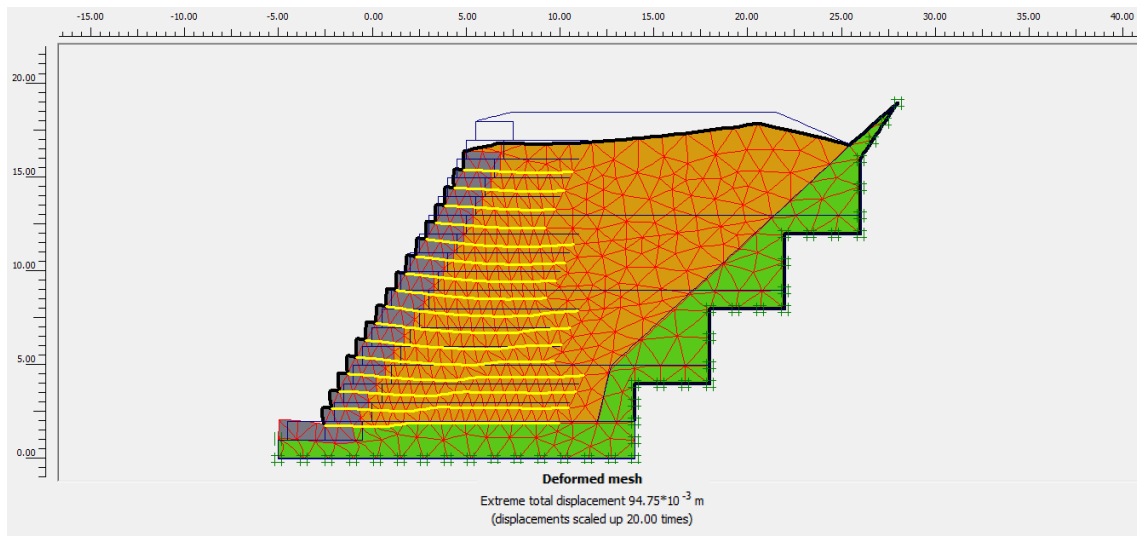
Αφού ολοκληρωθούν (επιλυθούν) όλα τα στάδια κατασκευής γίνεται μετάβαση στο πρόγραμμα αξιολόγησης αποτελεσμάτων (*Plaxis Output*).

Στο περιβάλλον του υποπρογράμματος Plaxis output :

Στο περιβάλλον εργασίας του συγκεκριμένου υποπρογράμματος υπάρχει η δυνατότητα απεικόνισης των μετατοπίσεων και των τάσεων (Οριζόντιων και κατακόρυφων) σε ολόκληρο το γεωμετρικό μοντέλο καθώς και στα στοιχεία οπλισμού. Με την επιλογή του *Deformed Mesh* γίνεται η αποτύπωση των συνολικών μετακινήσεων του επιχώματος. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να εξαχθούν και να αναπαραστήσουν τις μετατοπίσεις μετά την ολοκλήρωση του κάθε σταδίου.

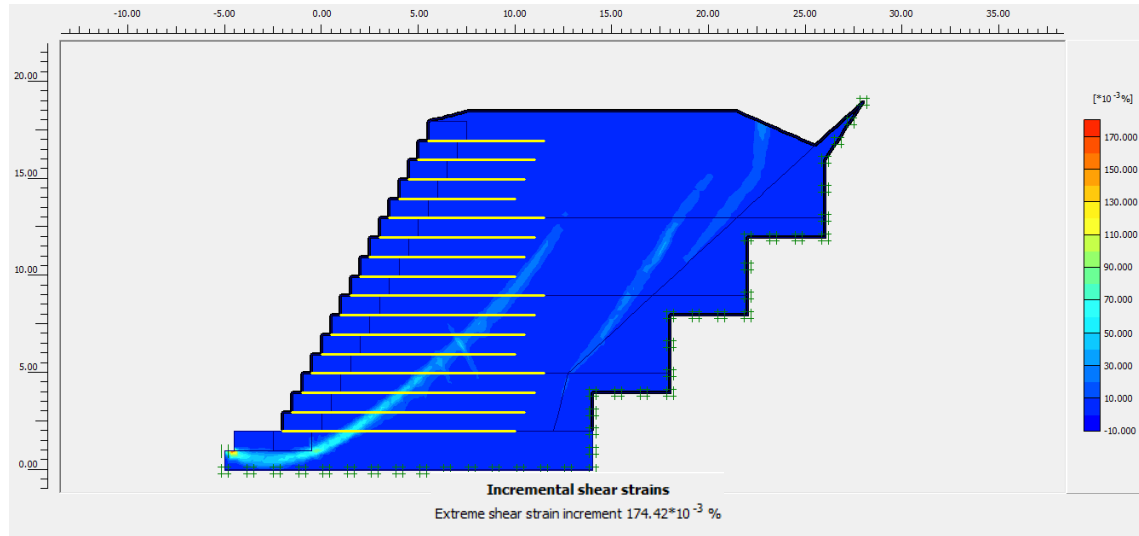


Σχήμα 4-13 : Αποτελέσματα συνολικών παραμορφώσεων γεωμετρίας κατά το 2^ο στάδιο κατασκευής



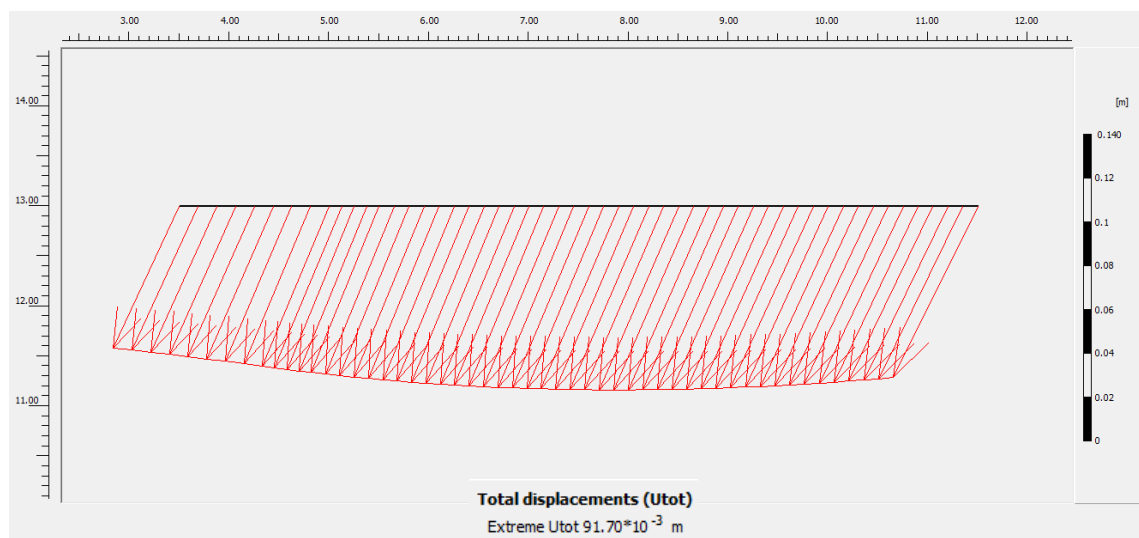
Σχήμα 4-14 : Αποτελέσματα συνολικών παραμορφώσεων γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

Κατά την επιλογή εμφάνισης των *incremental strains* (επαυξητικών τάσεων) γίνεται η αποτύπωση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του πρανούς .

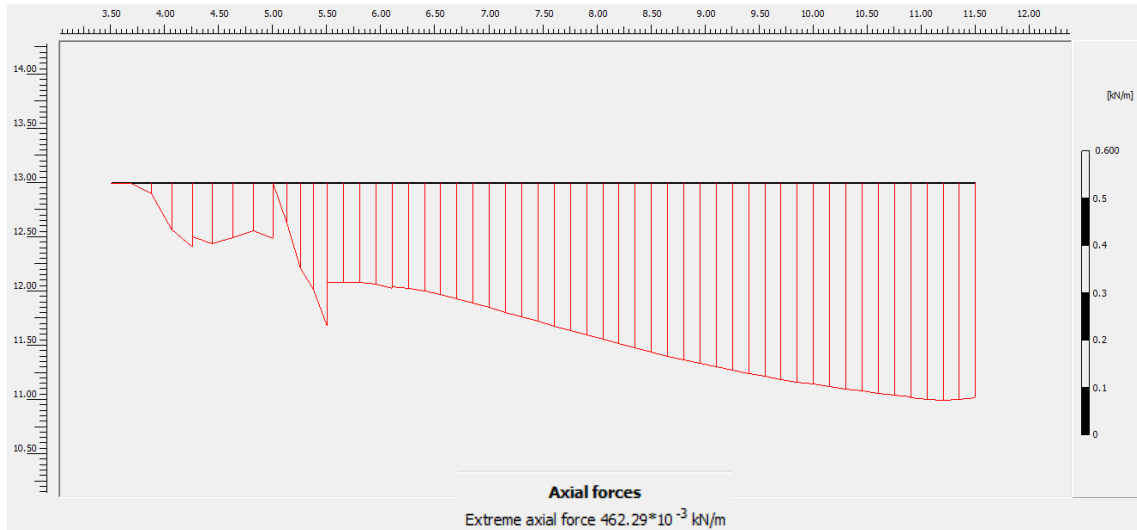


Σχήμα 4-13 : Αποτύπωση δυνητικής επιφάνειας αστοχίας επιχώματος

Επίσης κατά την επιλογή ενός οπλισμού είναι εφικτό να παρουσιαστούν οι παραμορφώσεις του στοιχείου καθώς και οι αξονικές τάσεις που παραλαμβάνει.



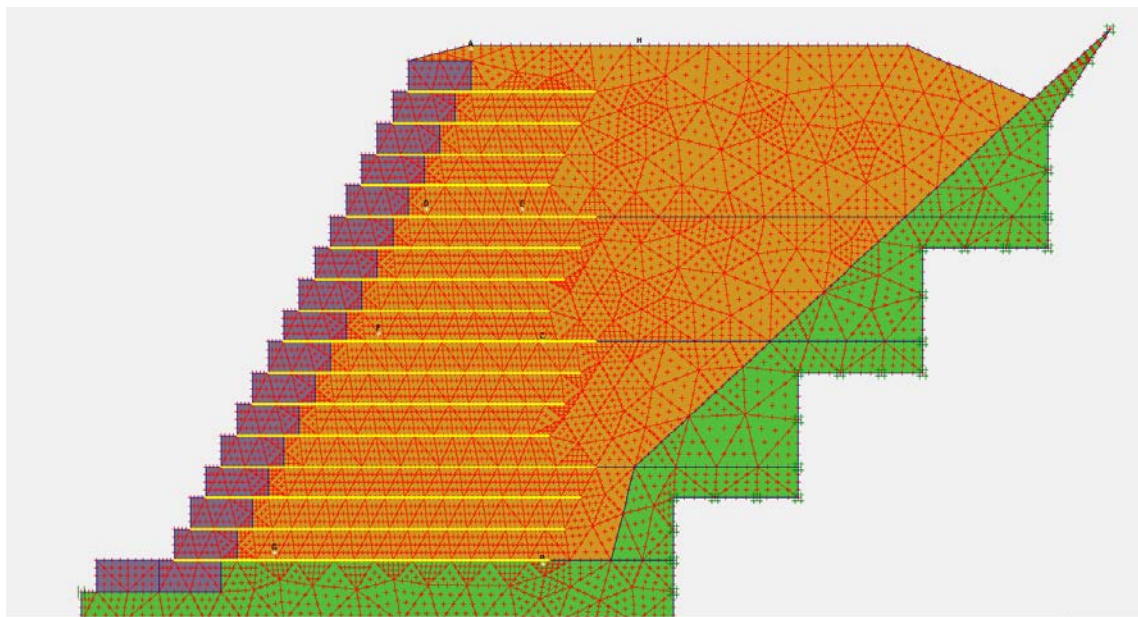
Σχήμα 4-14 : Διάγραμμα παραμορφώσεων στοιχείου όπλισης επιχώματος



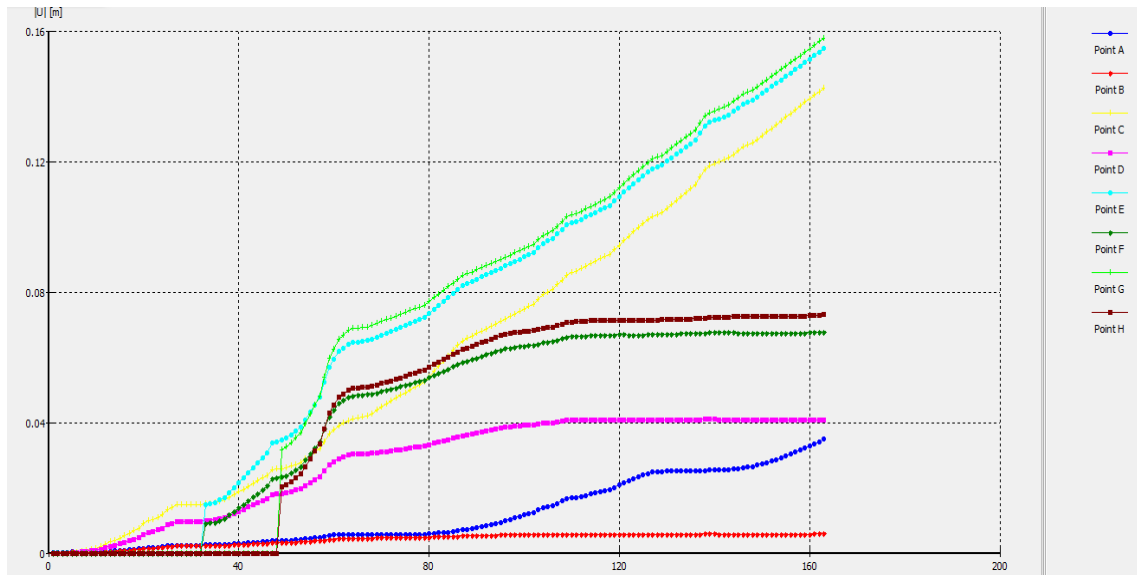
Σχήμα 4-15 : Διάγραμμα αξονικών τάσεων στοιχείου όπλισης επιχώματος

Στο περιβάλλον του υποπρογράμματος *Plaxis Curves* :

Με το πρόγραμμα *Plaxis 2D* υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας γραφικών παραστάσεων. Με το υποπρόγραμμα *Curves Program* εξάγονται διαγράμματα τάσεων και των παραμορφώσεων, μετακινήσεων καθώς επίσης και διαγράμματα συντελεστών ασφαλείας. Οι γραφικές παραστάσεις αφορούν επιλεγμένα σημεία πάνω στο γεωμετρικό μοντέλο (Σχήμα 4-16). Με την εκτέλεση του *Curves Program* εξάγονται αναλυτικά διαγράμματα μετατοπίσεων των σημείων αυτών (Σχήμα 4-17).



Σχήμα 4-16 : Περιβάλλον επιλογής σημείων παρατήρησης



Σχήμα 4-17 : Τυπικό διάγραμμα μετατοπίσεων των σημείων παρατήρησης

Κεφάλαιο 5

[Παραμετρικές αναλύσεις]

Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή των παραμετρικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στο μοντέλο του επιχώματος. Συνολικά έγιναν 5 σειρές παραμετρικών αναλύσεων οι οποίες είναι οι εξής:

Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει την επίλυση του οπλισμένου επιχώματος αναφοράς. Εξετάζεται η ευστάθεια του έργου με τη χρήση στοιχείων οπλισμού (συρματοπλέγματα). Ο σχεδιασμός του συγκεκριμένου επιχώματος βρίσκεται σε συμφωνία με τα επιχώματα που έχουν προταθεί στα πλαίσια των μελετών της Εγνατίας Οδού Α.Ε. Περιλαμβάνονται δύο επιλύσεις με διαφορετική γωνία εσωτερική τριβής ($\phi=25^\circ$ και $\phi=30^\circ$).

Η δεύτερη ομάδα παραμετρικών αναλύσεων εξετάζει την ευστάθεια του άοπλου επιχώματος. Περιλαμβάνει δύο επιλύσεις άοπλου επιχώματος με διαφορετική γωνία εσωτερικής τριβής ($\phi=25^\circ$ και $\phi=30^\circ$).

Η τρίτη ομάδα παραμετρικών αναλύσεων εξετάζει την επιρροή που έχει η τιμή της γωνίας εσωτερικής τριβής του υλικού πλήρωσης του επιχώματος στη συνολική ευστάθειά του. Περιλαμβάνει έξι επιλύσεις του επιχώματος αναφοράς με τιμές της γωνίας εσωτερικής τριβής που μεταβάλλονται ανά 2° από $\phi=25^\circ$ έως $\phi=35^\circ$.

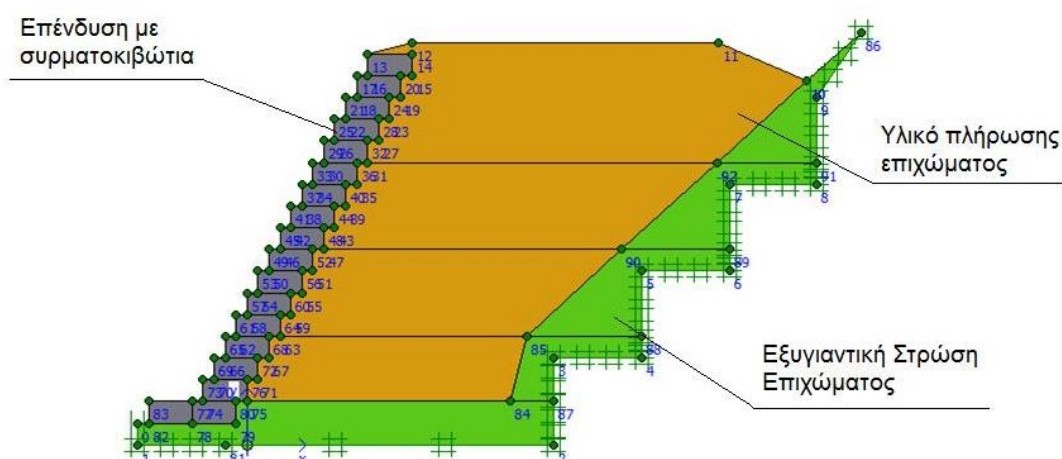
Στην τέταρτη ομάδα πραγματοποιούνται οι ίδιες αναλύσεις με την προηγούμενη (τρίτη ομάδα) με χρήση λιγότερων οπλισμών. Εξετάζεται η επιρροή της πυκνότητας των οπλισμών στη ευστάθεια του έργου.

Στη πέμπτη ομάδα παραμετρικών αναλύσεων εξετάζεται ο βαθμός επιρροής του μέτρου ελαστικότητας στην ευστάθεια του έργου. Περιλαμβάνονται έξι επιλύσεις με τιμές του μέτρου ελαστικότητας που μεταβάλλονται ανά 2.000 kN/m^2 από 15.000 kN/m^2 έως 25.000 kN/m^2 .

Στην έκτη ομάδα παραμετρικών αναλύσεων, εξετάζεται ο βαθμός επιρροής του μήκους των στοιχείων όπλισης του επιχώματος (συρματοπλεγμάτων) στην συνολική ευστάθεια του. Περιλαμβάνονται τέσσερις παραλλαγές της γεωμετρίας του επιχώματος αναφοράς (μεταβολή μήκους οπλισμών) με τιμές της γωνίας εσωτερικής τριβής που μεταβάλλονται ανά 2° από $\phi=25^\circ$ έως $\phi=35^\circ$.

Κατά τη διάρκεια των παραμετρικών αναλύσεων δεν μεταβλήθηκαν τα μηχανικά χαρακτηριστικά της εξυγιαντικής στρώσης καθώς και του υλικού

πλήρωσης των συρματοκιβωτίων. Οι αναλύσεις επικεντρώθηκαν κυρίως στην μεταβολή των μηχανικών χαρακτηριστικών του υλικού πλήρωσης του επιχώματος καθώς και της διάταξης και του μήκους των στοιχείων οπλισμού (συρματοπλέγματα). Τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση του επιχώματος αναφοράς (Σχήμα 5-1) και τα οποία τροποποιήθηκαν στις επιμέρους σειρές των παραμετρικών αναλύσεων περιγράφονται στους πίνακες 5-1 έως 5-3.



Σχήμα 5-1 : Περιγραφή του επιχώματος

Πίνακας 5-1 : Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά εξυγιαντικής στρώσης

| | |
|---------------------------|---|
| Ξηρό φαινόμενο βάρος | $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ |
| Κορεσμένο φαινόμενο βάρος | $\gamma_{\text{sat}} = 19 \text{ kN/m}^3$ |
| Μέτρο Ελαστικότητας | $E = 75000 \text{ kPa}$ |
| Λόγος Poisson | $\nu = 0.3$ |
| Συνοχή | $C = 5 \text{ kPa}$ |
| Γωνία εσωτερικής τριβής | $\phi = 35^\circ$ |

Πίνακας 5-2 : Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά υλικού πλήρωσης συρματοκιβωτίων

| | |
|---------------------------|---|
| Ξηρό φαινόμενο βάρος | $\gamma = 17.7 \text{ kN/m}^3$ |
| Κορεσμένο φαινόμενο βάρος | $\gamma_{\text{sat}} = 19.6 \text{ kN/m}^3$ |
| Μέτρο Ελαστικότητας | $E = 50000 \text{ kPa}$ |
| Λόγος Poisson | - |
| Συνοχή | - |
| Γωνία εσωτερικής τριβής | - |

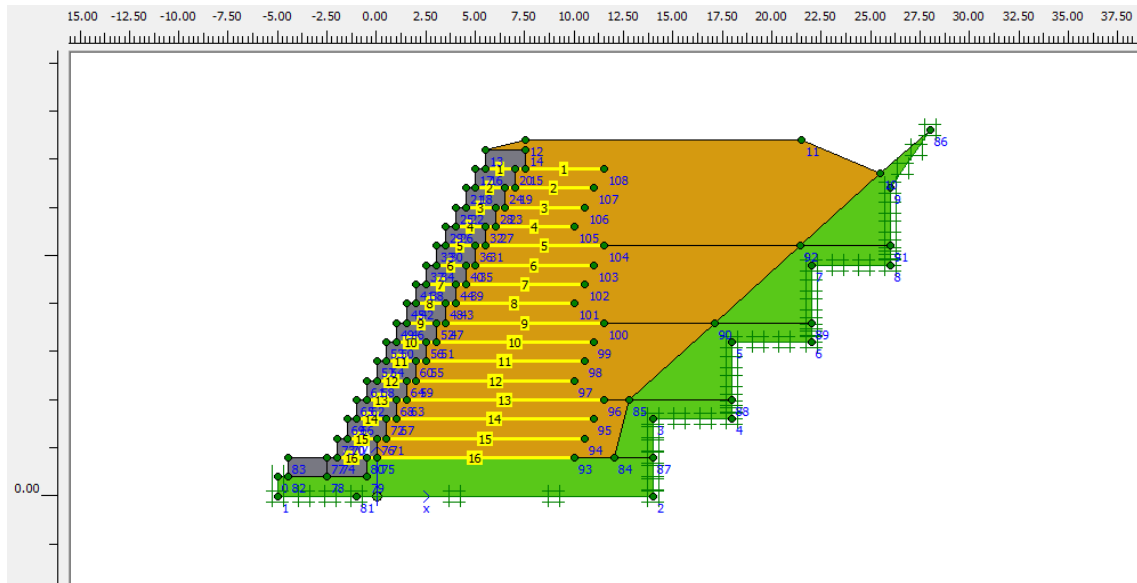
Πίνακας 5-3 : Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά υλικού πλήρωσης επιχώματος

| | |
|---------------------------|---|
| Ξηρό φαινόμενο βάρος | $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ |
| Κορεσμένο φαινόμενο βάρος | $\gamma_{\text{sat}} = 19 \text{ kN/m}^3$ |
| Μέτρο Ελαστικότητας | $E = 25000 \text{ kPa}$ |
| Λόγος Poisson | $\nu = 0.3$ |
| Συνοχή | $C = 20 \text{ kPa}$ |
| Γωνία εσωτερικής τριβής | $\phi = 30^\circ$ |

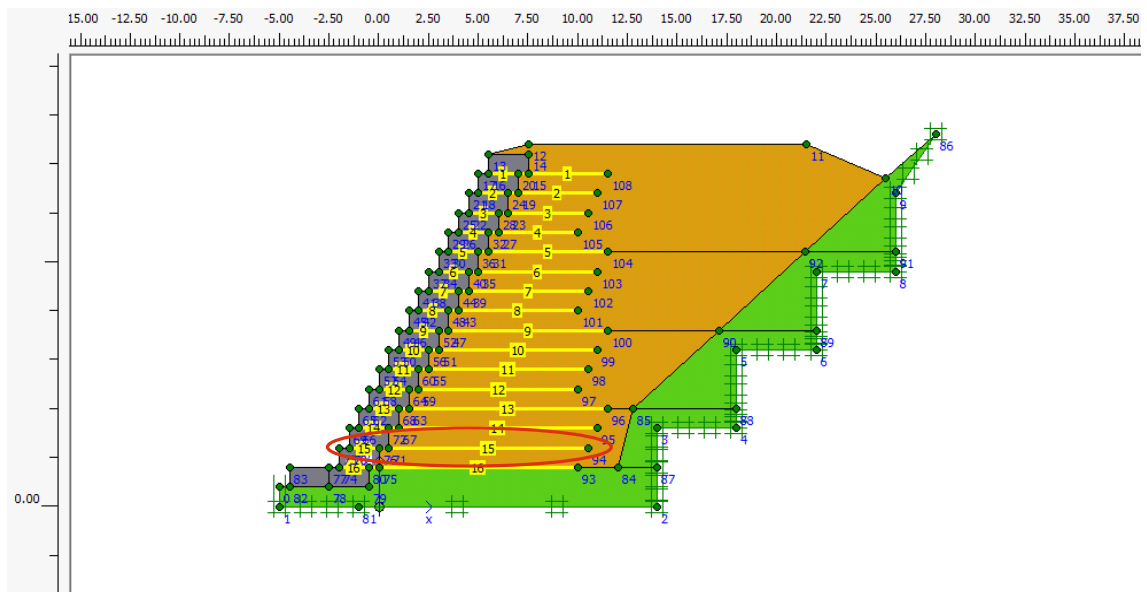
1^η παραμετρική ανάλυση-παραμετρική ανάλυση αναφοράς

Στη πρώτη παραμετρική ανάλυση γίνεται ο σχεδιασμός του οπλισμένου επιχώματος όπως έχει πραγματοποιηθεί στα πλαίσια των μελετών της Εγνατίας Οδού Α.Ε. (Σχήμα 5-2). Για αυτό το λόγο το επίχωμα θεωρείται επίχωμα αναφοράς και θα γίνουν αρκετές συγκρίσεις μεταξύ αυτού και άλλων σχεδιαστικών δοκιμών που θα ακολουθήσουν. Η γωνία εσωτερικής τριβής του επιχώματος αναφοράς είναι $\phi = 30^\circ$, στη συγκεκριμένη ανάλυση γίνεται και η ανάλυση για $\phi = 25^\circ$.

Σκοπός αυτής της ανάλυσης είναι να εξεταστεί η συνολική ευστάθεια του επιχώματος με την χρήση οπλισμού (συρματοπλέγματα). Η τοποθέτηση των οπλισμών προσομοιώθηκε με απόσταση ενός μέτρου. Ο οπλισμός αποτελείται από γεώπλεγμα που στην πρώτη φάση κατασκευής έχει μήκος 12 μ. στην δεύτερη 10 μ. στην τρίτη 8 μ. και στην τελική 6 μ. Η τιμή της αξονικής δυστένειας που εισάγεται για το συρματοπλέγμα είναι $EA = 450 \text{ kN/m}$ για παραμόρφωση 5 % . Με την αξιοποίηση των εξαγόμενων διαγραμμάτων του υποπρογράμματος *output* είναι δυνατή η εξέταση των φορτίων που επιβάλλονται στα συρματοπλέγματα, προκειμένου να εξεταστεί η επάρκειά τους. Καθώς τα συρματοπλέγματα που βρίσκονται στην βάση του επιχώματος παραλαμβάνουν τα μεγαλύτερα φορτία θεωρήθηκε επαρκής η εξέταση των φορτίων που επιβάλλονται στο δεύτερο από τη βάση του επιχώματος (Σχήμα 5-3).



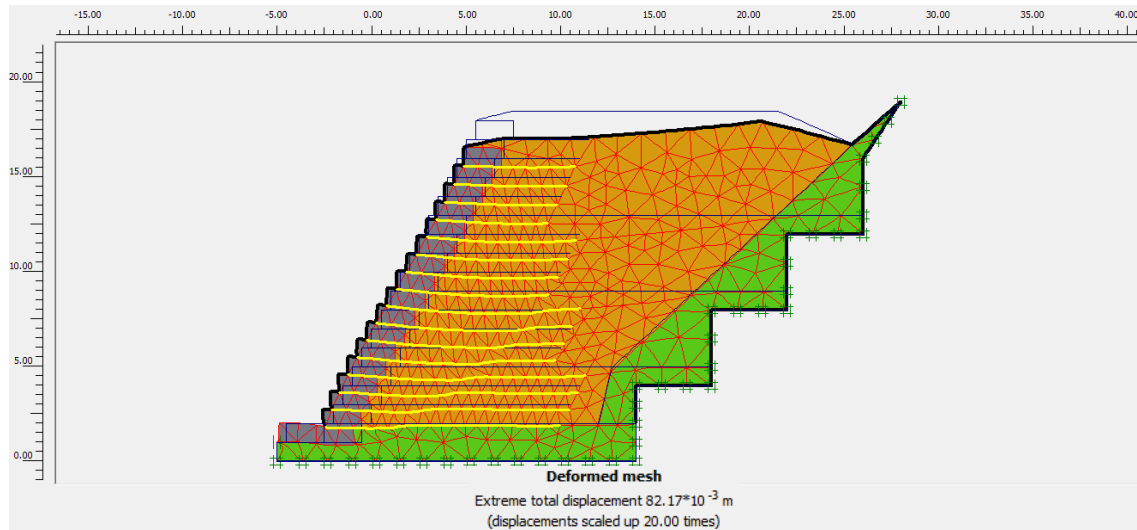
Σχήμα 5-2 : Γεωμετρία επιχώματος αναφοράς



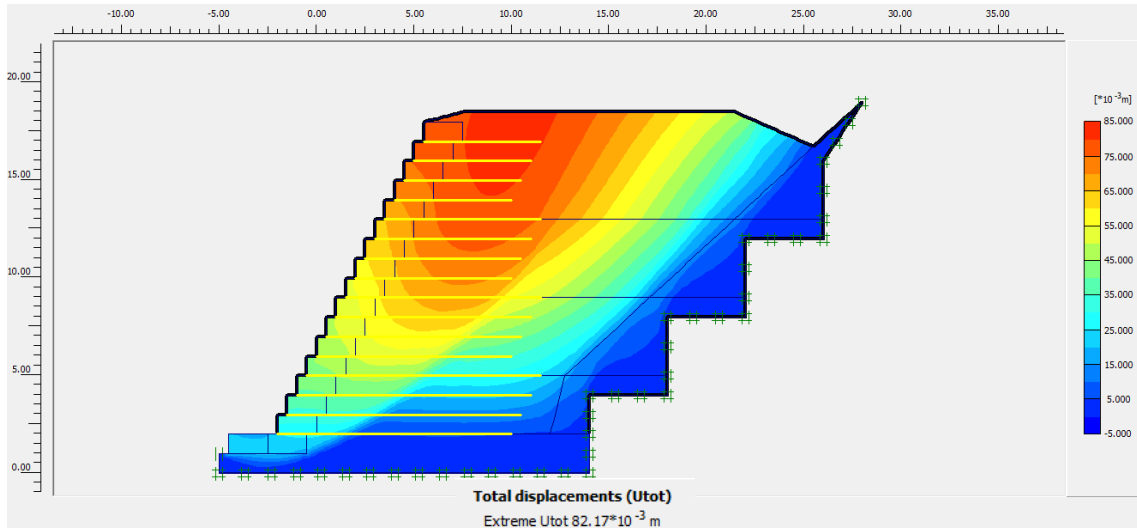
Σχήμα 5-3 : Στοιχείο οπλισμού που εξετάζεται

- **Ανάλυση με τιμή γωνίας εσωτερικής τριβής $\phi=25^\circ$ για τα υλικά πλήρωσης του επιχώματος**

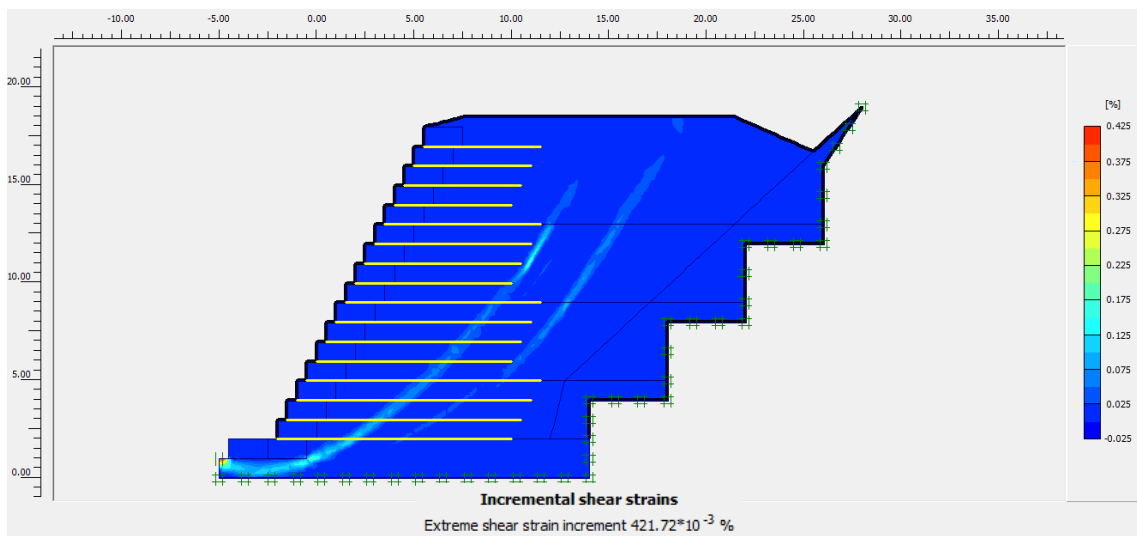
Τα αποτελέσματα της επίλυσης κατέγραψαν μέγιστες μετακινήσεις κοντά στη στέψη του πρανούς της τάξεως των 82 χιλ. (Σχήμα 5-4, 5-5). Στο σημείο αυτό επισημαίνεται ότι οι μέγιστες αθροιστικές μετακινήσεις δεν έχουν κάποια πρακτική αξία για τον σχεδιασμό του επιχώματος καθώς κατά την διάρκεια κατασκευής του έργου οι σταδιακές παραμορφώσεις μηδενίζονται με την προοδευτική ανύψωση του επιχώματος. Κατά τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας (*Phi/c reduction*) προέκυψε ότι το επίχωμα δύναται να αστοχήσει με την ανάπτυξη περιστροφικής αστοχίας οριζόμενης από δύο παράλληλες επιφάνειες οι οποίες διέρχονται από τη βάση του επιχώματος (Σχήμα 5-6). Πρακτικά οι δύο παράλληλες επιφάνειες δηλώνουν την ανάπτυξη μια πλατιάς ζώνης διάτμησης κατά την αστοχία του επιχώματος (*Phi/c reduction*). Ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίστηκε είναι $S_f = 1.12$. Το εξεταζόμενο συρματοπλέγμα βάσης παραλαμβάνει μέγιστα αξονικά φορτία της τάξης των 7.65 kN/m. Τα φορτία αυτά περιορίζονται στα πρώτα 4.5 μέτρα του μήκους του, γεγονός το οποίο βρίσκεται σε συμφωνία με την θέση της ζώνης διάτμησης που αναπτύσσεται κατά την αστοχία του. (Σχήμα 5-6)



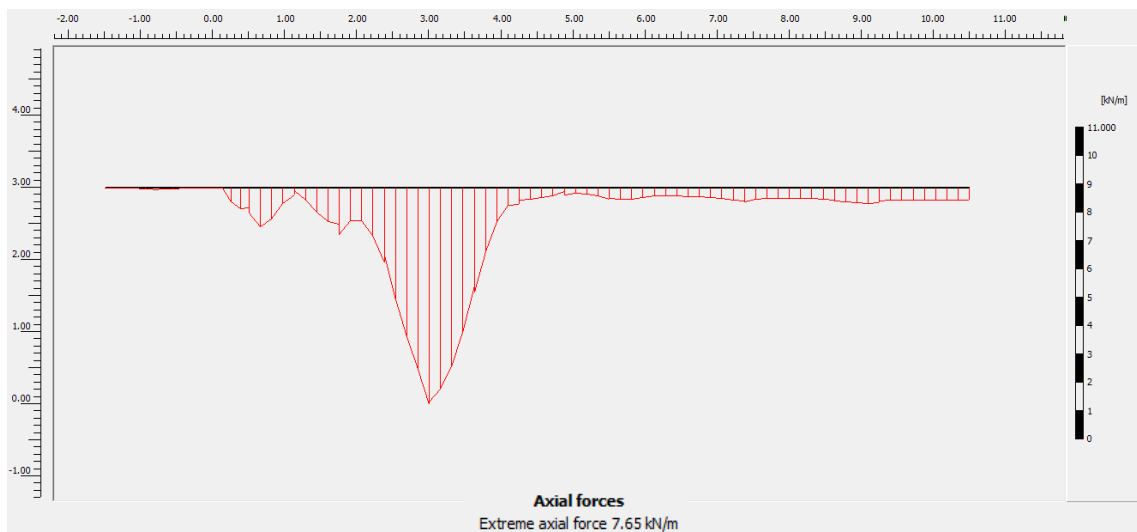
Σχήμα 5-4 : Παραμόρφωση γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής



Σχήμα 5-5 : Παραμόρφωση γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής



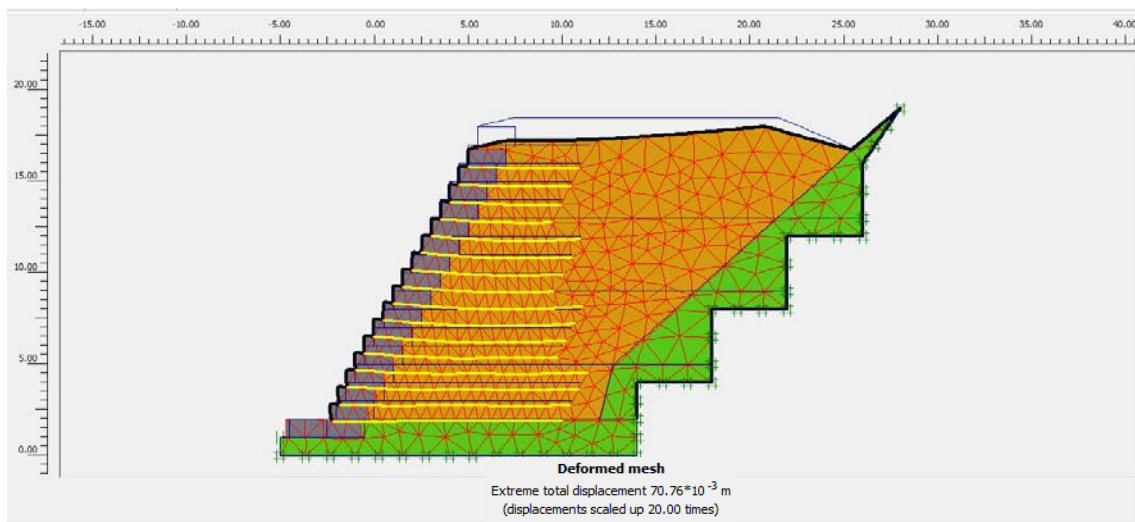
Σχήμα 5-6 : Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος



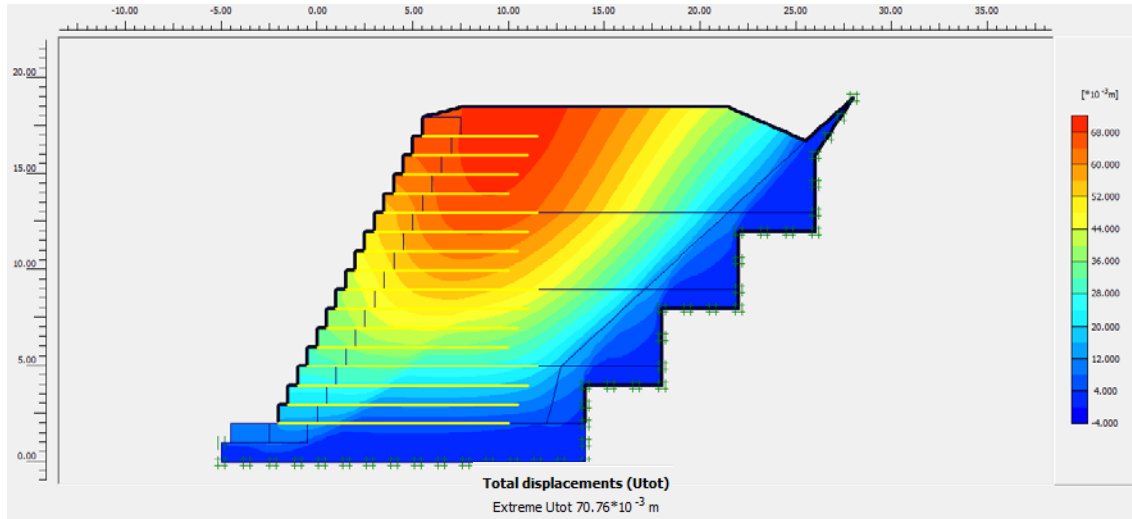
Σχήμα 5-7: Διάγραμμα αξονικών τάσεων του 2^{ου} συρματοπλέγματος από τη βάση του επιχώματος.

- **Ανάλυση με τιμή γωνίας εσωτερικής τριβής $\phi=30^\circ$ για τα υλικά πλήρωσης του επιχώματος**

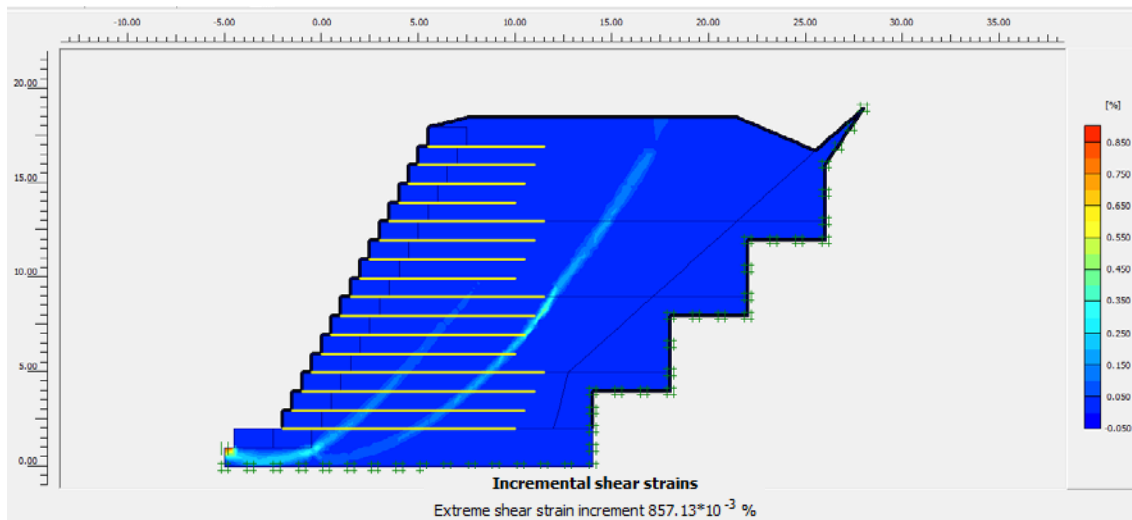
Τα αποτελέσματα της επίλυσης κατέγραψαν μέγιστες μετακινήσεις κοντά στη στέψη του πρανούς και ήταν της τάξεως των 70 χιλ. (Σχήμα 5-8,5-9). Η επιφάνεια δυνητικής αστάθειας είναι κυκλική με διπλή συζυγή εμφάνιση και σχηματίστηκε στο κύριο σώμα του επιχώματος, ξεκινά από τη βάση του και εξελίσσεται έως τη μέση του. Η δεύτερη εμφανίζεται στη βάση του επιχώματος και εξελίσσεται σε μεγαλύτερο μήκος από την πρώτη (Σχήμα 5-14). Ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίστηκε σύμφωνα με την σχηματιζόμενη επιφάνεια δυνητικής αστοχίας είναι $S_f = 1.18$. Οι τάσεις που παραλαμβάνει το δεύτερο συρματόπλεγμα της βάσης περιορίζονται στα πρώτα 5 μέτρα του μήκους του (Σχήμα 5-11), γεγονός το οποίο βρίσκεται σε συμφωνία με την θέση της ζώνης διάτμηση που αναπτύσσεται κατά την αστοχία του (Σχήμα 5-10). Οι μέγιστες τάσεις που παραλαμβάνει είναι της τάξεως των 3.63 kN/m και παρουσιάζονται στα πρώτα 4 μέτρα του στοιχείου.(Σχήμα 5-11) .



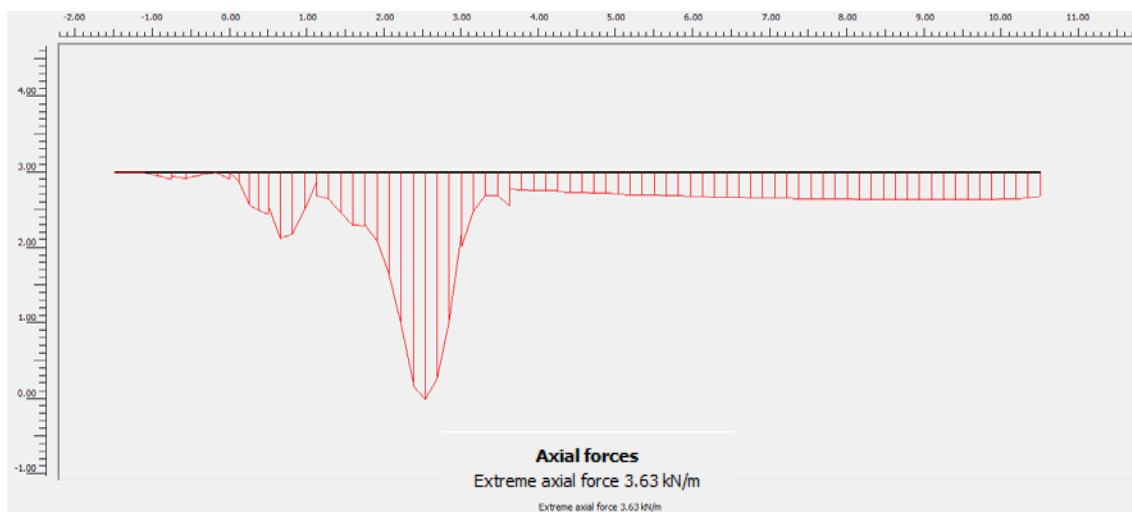
Σχήμα 5-8 : Παραμόρφωση γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής



Σχήμα 5-9 : Αποτελέσματα συνολικών παραμορφώσεων γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής



Σχήμα 5-10 : Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος



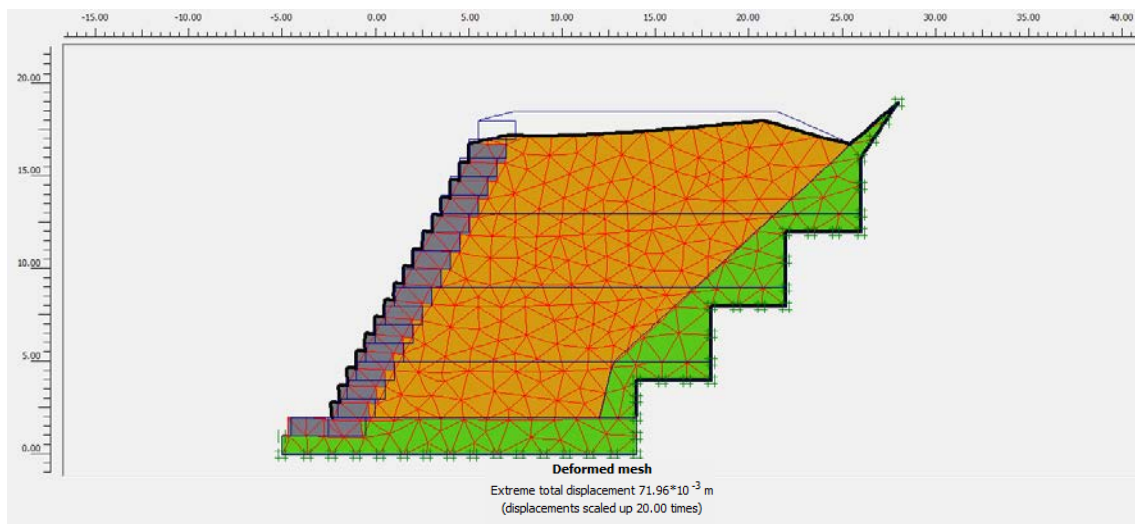
Σχήμα 5-11: Διάγραμμα αξονικών τάσεων του 2^{ου} συρματοπλέγματος από τη βάση του επιχώματος.

2η σειρά παραμετρικών αναλύσεων

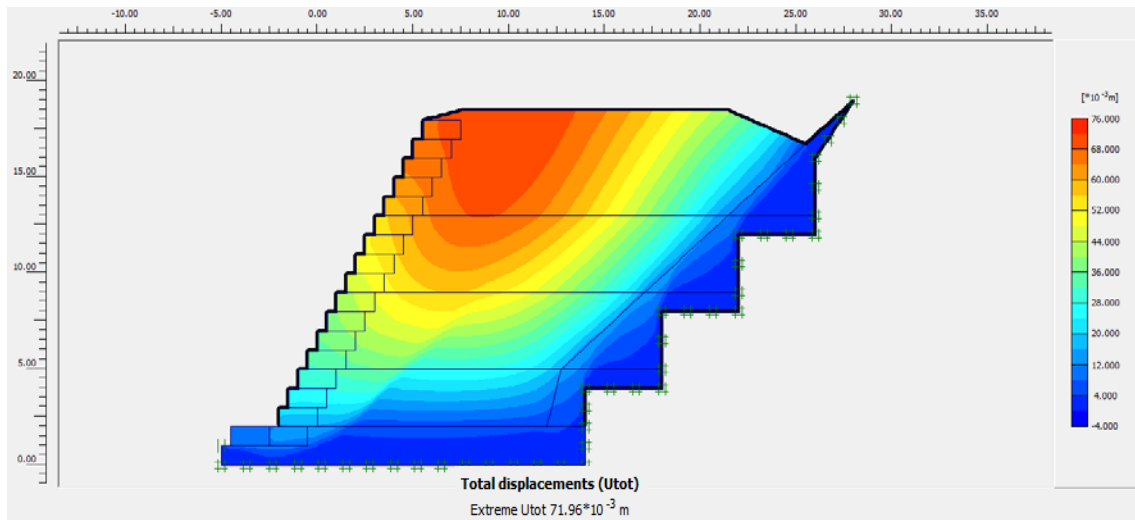
Η δεύτερη σειρά παραμετρικών αναλύσεων διερευνά την ευστάθεια της τυπικής διατομής στην περίπτωση όπου απουσιάζει ο οπλισμός. Για να εξεταστεί αναλυτικότερα η ευστάθεια του επιχώματος πραγματοποιούνται επιλύσεις στις οποίες η γωνία τριβής των υλικών πλήρωσης παίρνει τιμές 25° και 30° . Ουσιαστικά στην συγκεκριμένη σειρά παραμετρικών αναλύσεων εξετάζεται αν υπάρχει δυνατότητα κατασκευής του επιχώματος χωρίς την χρήση οπλισμού.

- **Ανάλυση με τιμές γωνίας εσωτερικής τριβής $\phi=30^\circ$ για τα υλικά του επιχώματος**

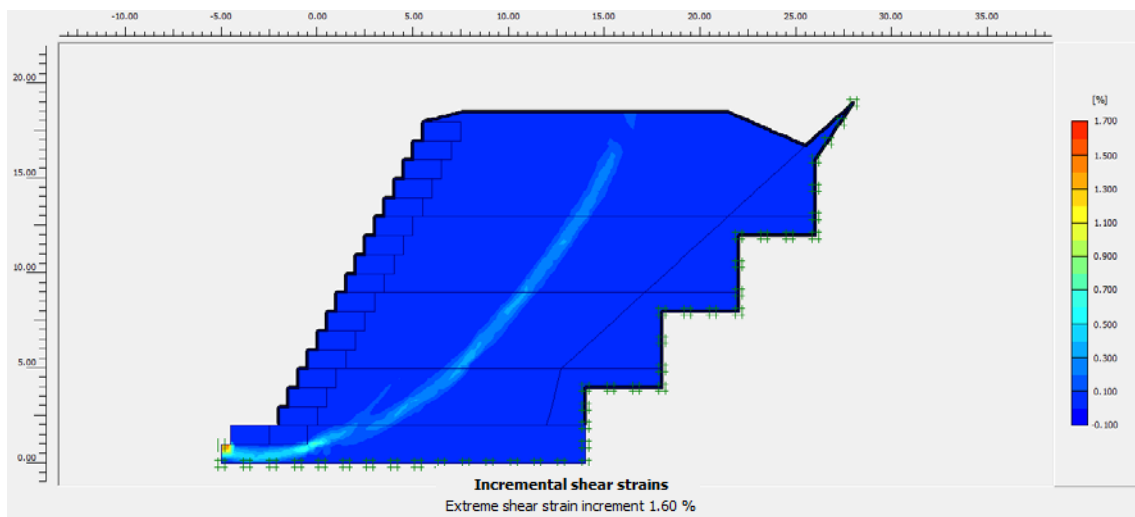
Από την ανάλυση του συγκεκριμένου άοπλου επιχώματος προέκυψε ότι οι μέγιστες τιμές των μετακινήσεων καταγράφονται στην στέψη του επιχώματος και φτάνουν τη μέγιστη τιμή των 72 χιλ. (Σχήμα 5-12, 5-13). Ο συντελεστής ασφαλείας του συγκεκριμένου επιχώματος, όπως αυτός υπολογίστηκε με την διαδικασία του *phi/c reduction*, είναι $S_f = 1.13$. Κατά την δυνητική αστοχία (σύμφωνα με τη διαδικασία του *phi/c reduction*) διαμορφώνεται σαφής επιφάνεια η οποία διέρχεται από τη βάση του επιχώματος και εξελίσσεται έως τη στέψη του (Σχήμα 5-14). Από την επίλυση αυτή προκύπτει ότι το επίχωμα, όταν δομείται από αδρομερή υλικά τα οποία μπορεί να έχουν γωνία εσωτερικής τριβής της τάξης των $\phi=30^\circ$, μπορεί να ευσταθεί και χωρίς την χρήση οπλισμού. Φυσικά, ο συντελεστής ασφαλείας στην περίπτωση αυτή είναι χαμηλότερος από αυτόν που θα προκύψει με την χρήση οπλισμού.



Σχήμα 5-12 : Παραμόρφωση γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής



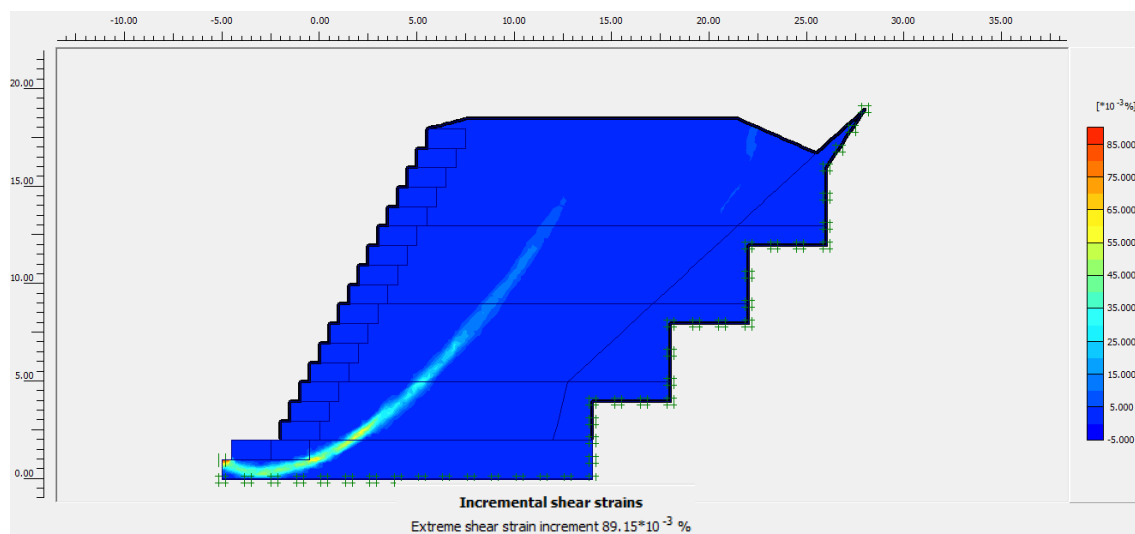
Σχήμα 5-13 : Αποτελέσματα συνολικών παραμορφώσεων γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής



Σχήμα 5-14 : Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος

- **Ανάλυση με τιμή γωνίας εσωτερικής τριβής $\phi=25^\circ$ για τα υλικά πλήρωσης του επιχώματος**

Κατά την επίλυση του συγκεκριμένου άοπλου επιχώματος με γωνία εσωτερικής τριβής $\phi=25^\circ$ εκδηλώθηκε αστοχία κατά το τελικό στάδιο κατασκευής. Η γωνία εσωτερικής τριβής αντανακλά την διατμητική αντοχή του υλικού και η χαμηλή τιμή της ($\phi=25^\circ$) οδήγησε στην αστοχία αυτή. (Σχήμα 5-15).



Σχήμα 5-15 : Αποτύπωση επιφάνειας αστοχίας επιχώματος

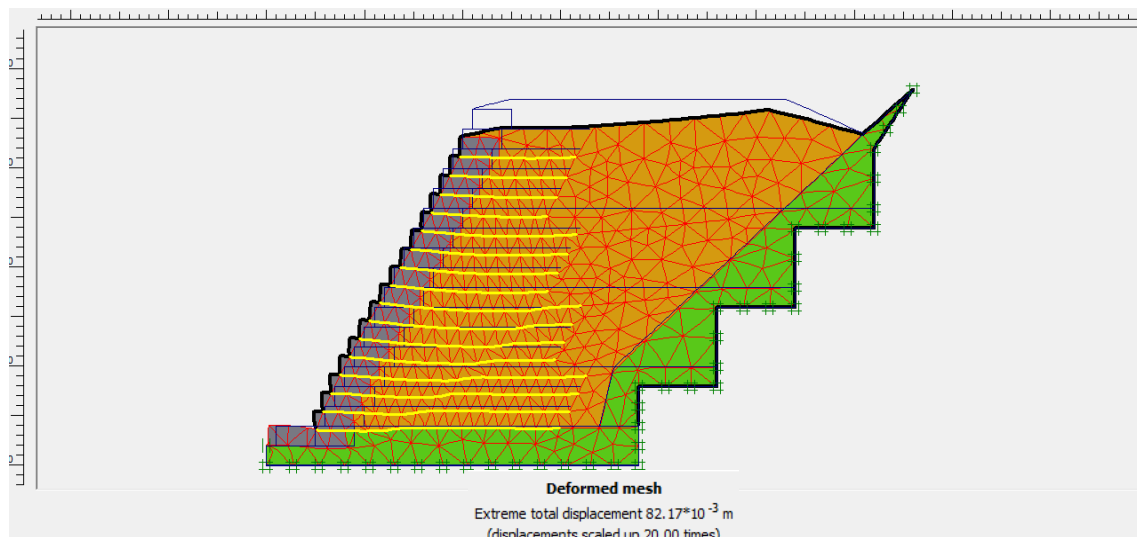
3^η ομάδα παραμετρικών αναλύσεων

Η τρίτη ομάδα παραμετρικών αναλύσεων εξετάζει την επιρροή που έχει η τιμή της γωνίας εσωτερικής τριβής του υλικού του επιχώματος στη συνολική ευστάθειά του. Περιλαμβάνει έξι επιλύσεις του επιχώματος αναφοράς με τιμές της γωνία εσωτερικής τριβής που μεταβάλλονται ανά 2° από $\phi=25^\circ$ έως $\phi=35^\circ$.

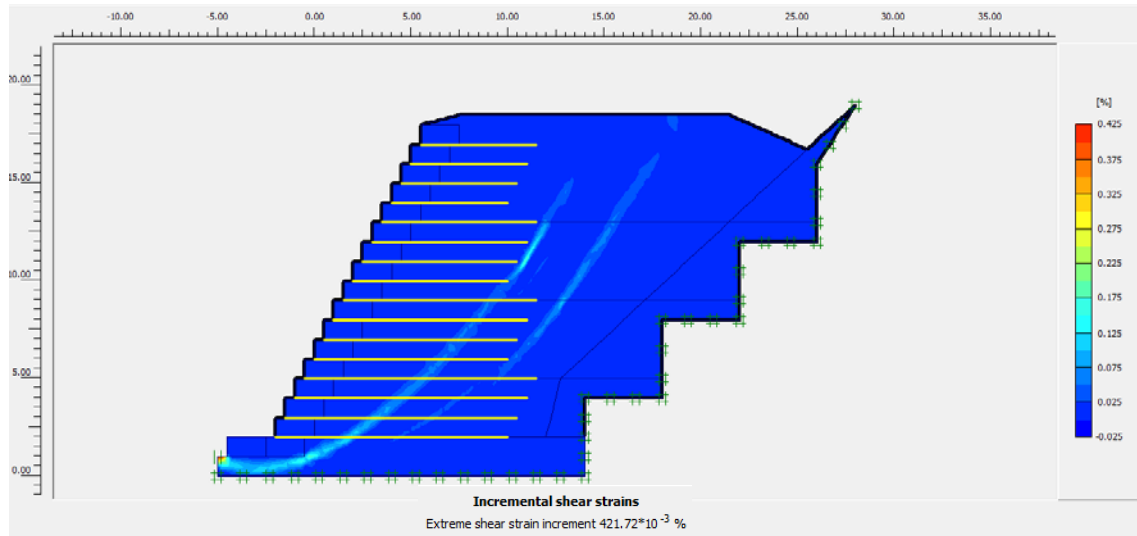
Τα αποτελέσματα της επίλυσης κατέγραψαν μέγιστες μετακινήσεις κοντά στη στέψη του πρανούς και το μέγεθος των μετακινήσεων κυμάνθηκε από 67 χιλ. έως 82 χιλ. (Σχήματα 5-16, 5-19, 5-22, 5-25, 5-28, 5-31). Στις περιπτώσεις όπου οι γωνία εσωτερικής τριβής είχε τιμές $\phi=27^\circ$ και $\phi=29^\circ$ το επίχωμα εμφάνισε δυο παράλληλες κυκλικές επιφάνειες δυνητικής αστάθειας. Η πρώτη διέρχονταν από τη βάση του και εξελισσόταν έως τη μέση του επιχώματος, ενώ η δεύτερη εμφανίζεται στη μέση του και εξελίσσεται έως την στέψη (Σχήμα 5-20, 5-23). Στις περιπτώσεις όπου η γωνία εσωτερικής τριβής είχε τιμές $\phi=25^\circ$, $\phi=31^\circ$, $\phi=33^\circ$, $\phi=35^\circ$, το επίχωμα δύναται να αστοχήσει με την ανάπτυξη περιστροφικής αστοχίας οριζόμενης από δυο παράλληλες επιφάνειες που διέρχονται από τη βάση του επιχώματος. Πρακτικά οι δυο παράλληλες επιφάνειες δηλώνουν την ανάπτυξη μιας πλατιάς ζώνης

διάτμησης.(Σχήματα 5-17, 5-26, 5-29, 5-32). Ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίστηκε σύμφωνα με τις σχηματιζόμενες επιφάνειες δυνητικής αστοχίας κυμάνθηκε από $S_f = 1.11$ έως $S_f = 1.24$. Οι τάσεις που παραλαμβάνει το δεύτερο συρματοπλέγμα της βάσης περιορίζονται στα πρώτα 4.5m του μήκους του γεγονός το οποίο βρίσκεται σε συμφωνία με την θέση της επιφάνειας διατμητικής αστάθειας που αναπτύσσεται κατά την αστοχία του (διαδικασία του *phi/c reduction*). Οι μέγιστες τάσεις που παραλαμβάνει είναι της τάξεως των 7.65 kN/m στην περίπτωση που η γωνία εσωτερικής τριβής είναι $\phi = 25^\circ$ (Σχήμα 5-18), και 1,04 kN/m όπου η γωνία εσωτερικής τριβής είναι $\phi = 35^\circ$ (Σχήμα 5-33) .

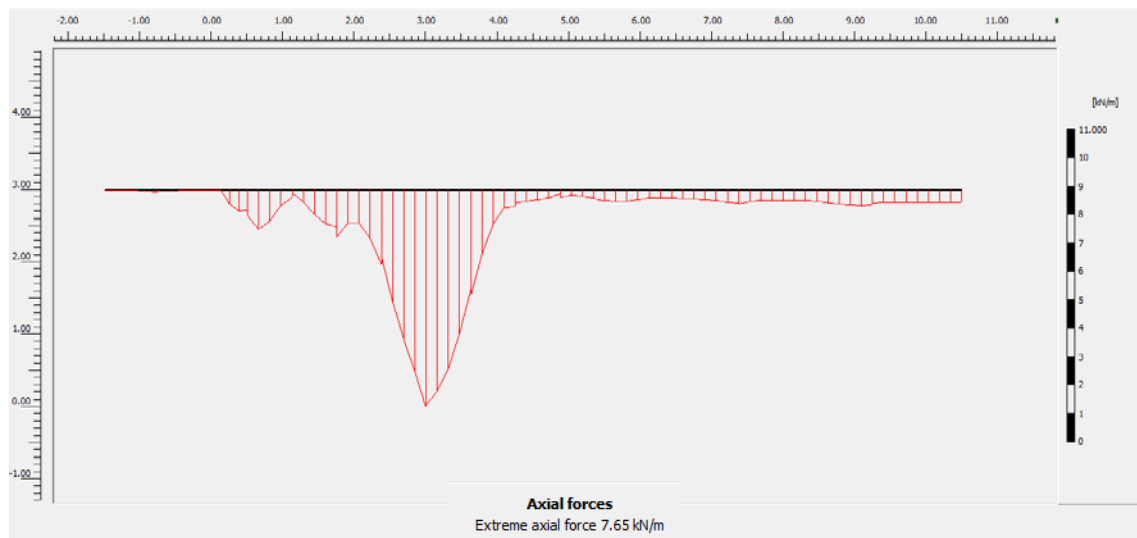
- **Ανάλυση με τιμή γωνίας εσωτερικής τριβής $\phi = 25^\circ$ για τα υλικά πλήρωσης του επιχώματος**



Σχήμα 5-16: Παραμόρφωση γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

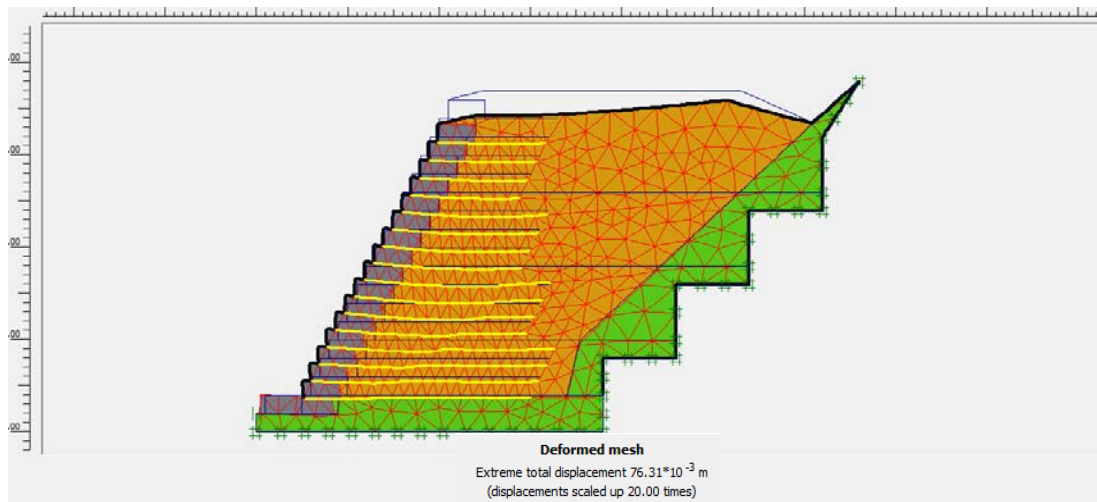


Σχήμα 5-17 : Αποτύπωση επιφάνειας δυναμικής αστοχίας επιχώματος

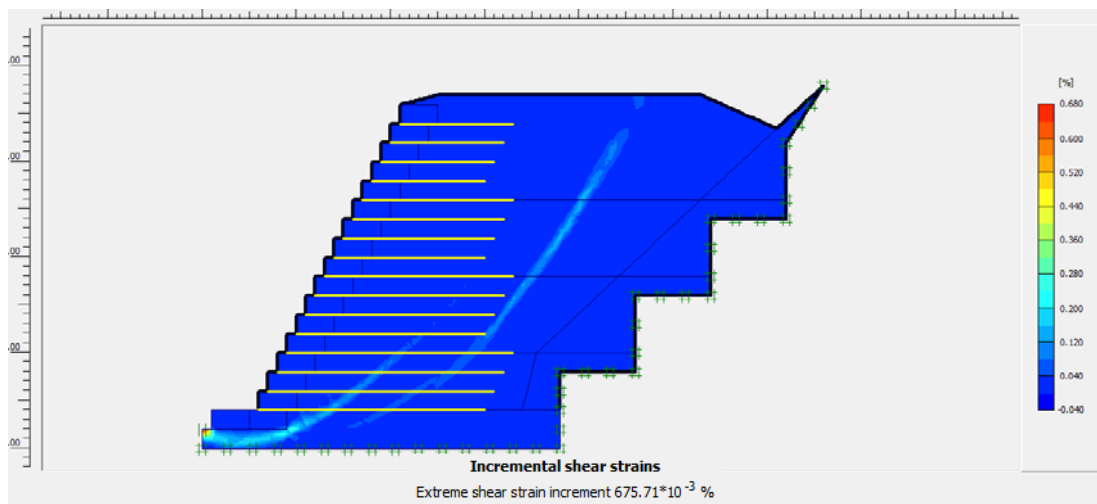


Σχήμα 5-18: Διάγραμμα αξονικών τάσεων του 2^{ου} συρματοπλέγματος από τη βάση του επιχώματος.

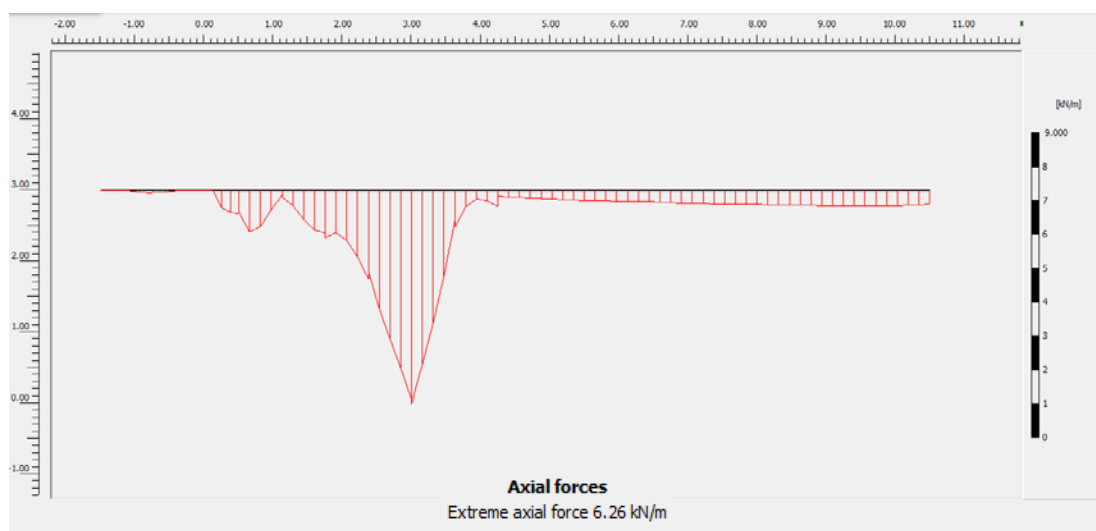
- Ανάλυση με τιμή γωνίας εσωτερικής τριβής $\phi = 27^\circ$ για τα υλικά πλήρωσης του επιχώματος



Σχήμα 5-19: Παραμόρφωση γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

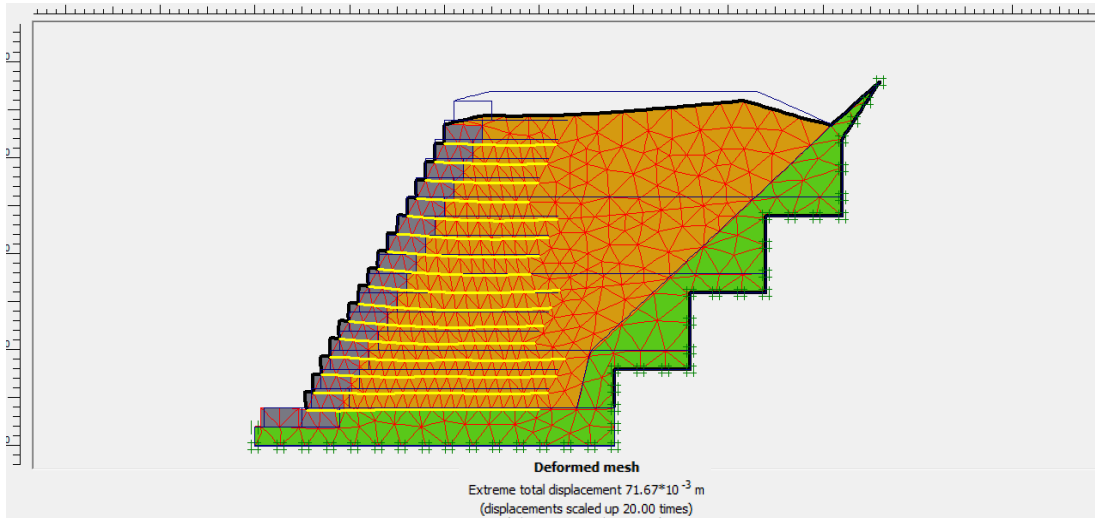


Σχήμα 5-20 : Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος

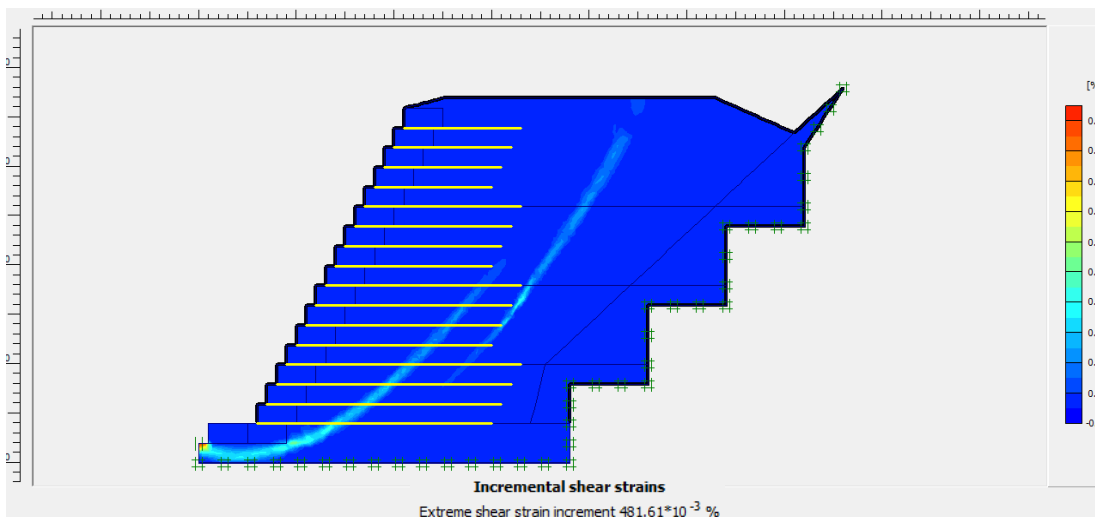


Σχήμα 5-21: Διάγραμμα αξονικών τάσεων του 2^{ου} συρματοπλέγματος από τη βάση του επιχώματος.

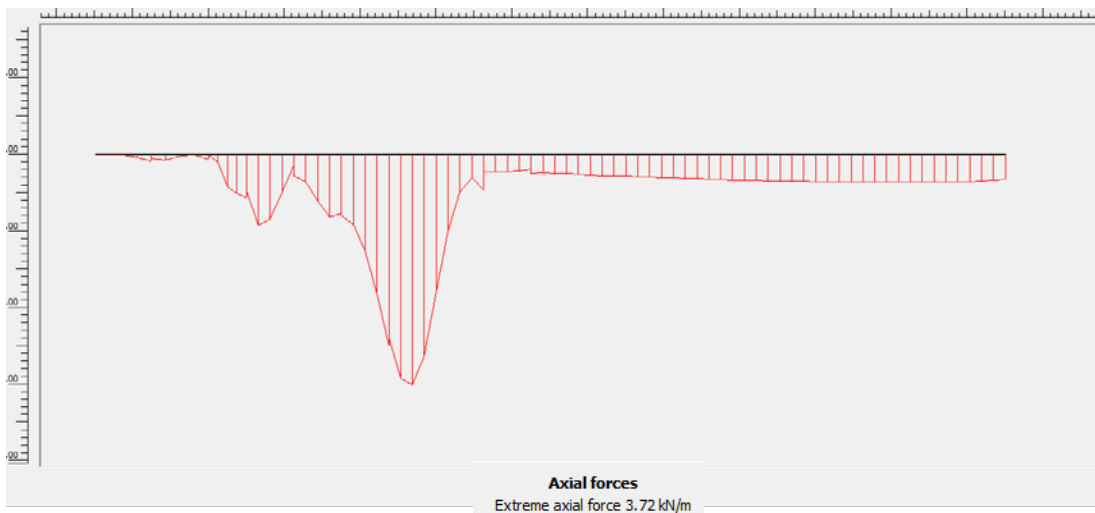
- Ανάλυση με τιμή γωνίας εσωτερικής τριβής $\phi = 29^\circ$ για τα υλικά πλήρωσης του επιχώματος



Σχήμα 5-22: Παραμόρφωση γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

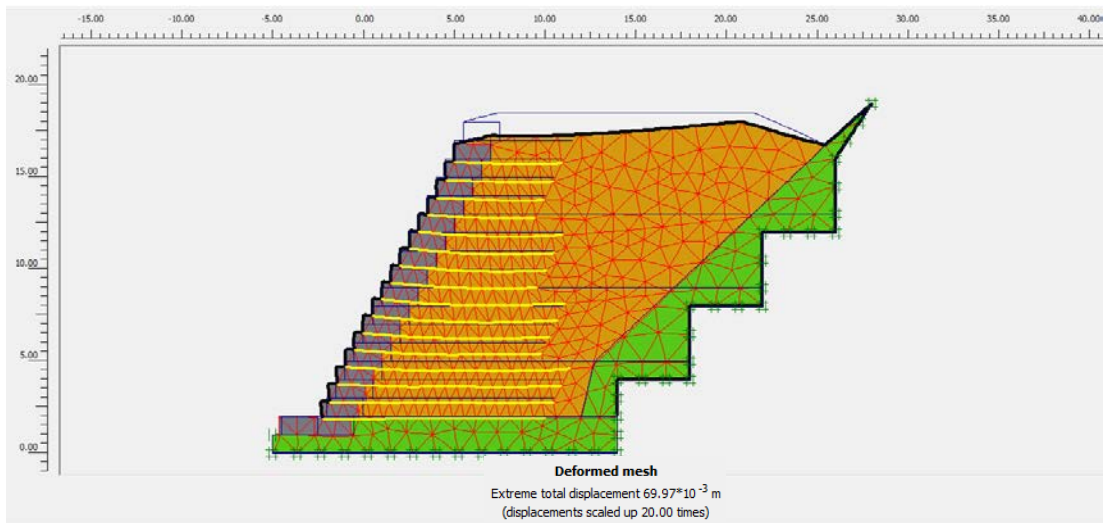


Σχήμα 5-23: Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος

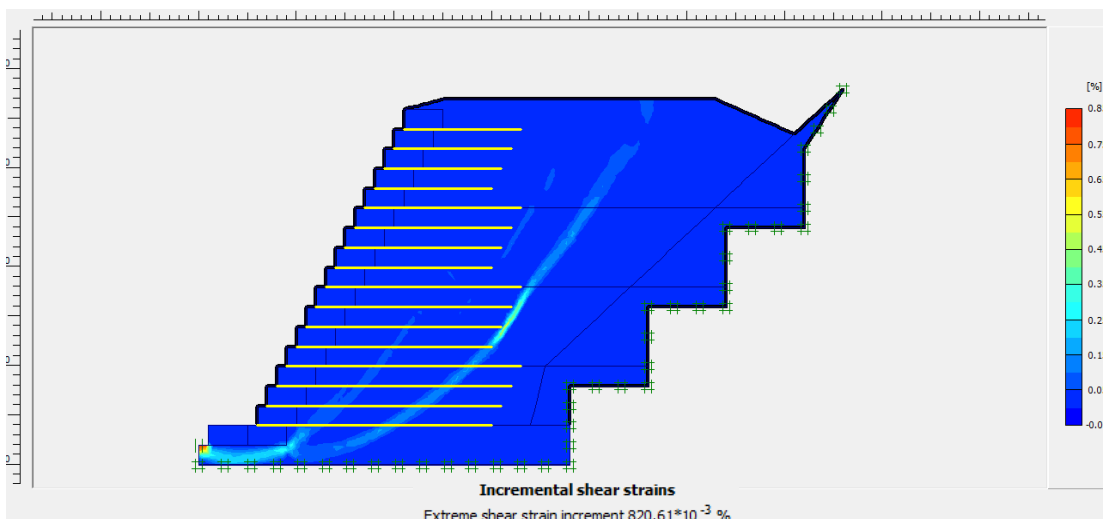


Σχήμα 5-24: Διάγραμμα αξονικών τάσεων του z συρματοπλεγματος από τη βάση του επιχώματος.

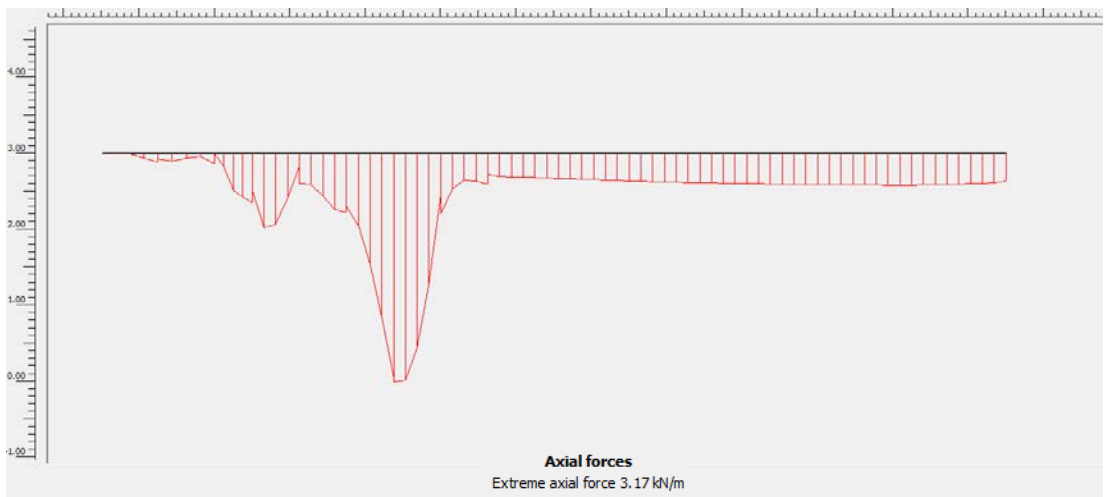
Ανάλυση με τιμή γωνίας εσωτερικής τριβής $\phi=31^\circ$ για τα υλικά πλήρωσης του επιχώματος



Σχήμα 5-25: Παραμόρφωση γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

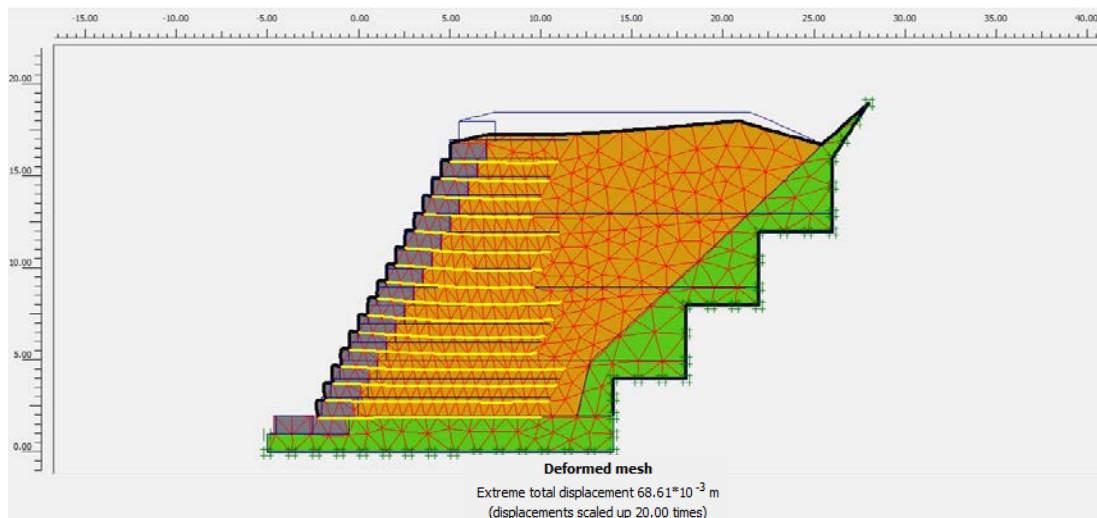


Σχήμα 5-26: Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος

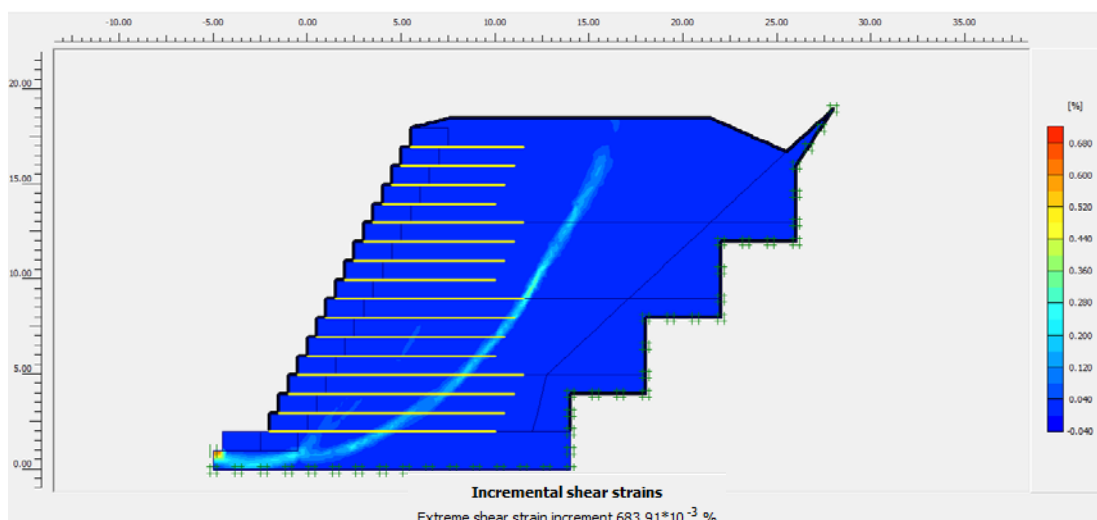


Σχήμα 5-27: Διάγραμμα αξονικών τάσεων του 2^{ου} συρματοπλέγματος από τη βάση του επιχώματος.

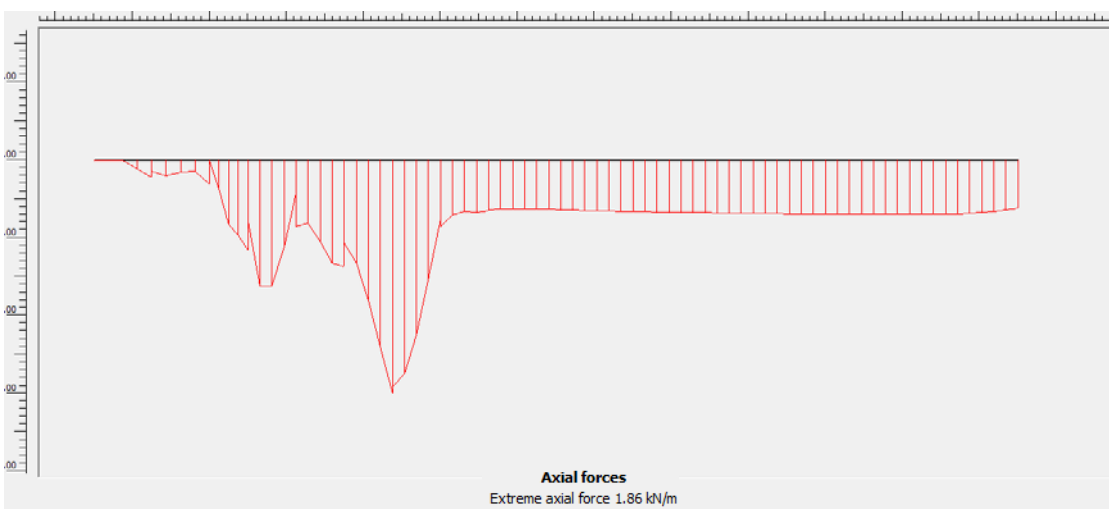
- Ανάλυση με τιμή γωνίας εσωτερικής τριβής $\phi = 33^\circ$ για τα υλικά πλήρωσης του επιχώματος



Σχήμα 5-28: Παραμόρφωση γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

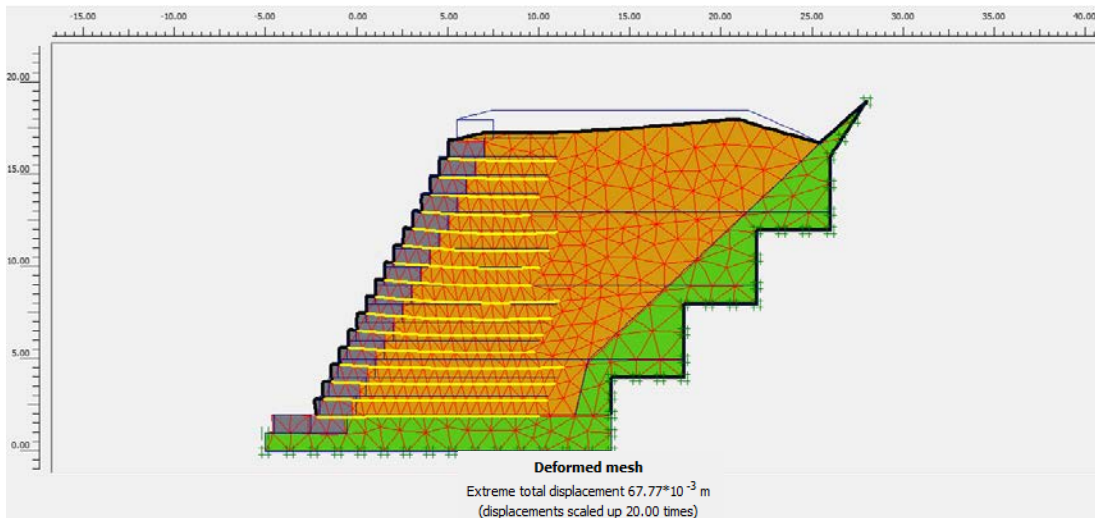


Σχήμα 5-29: Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος

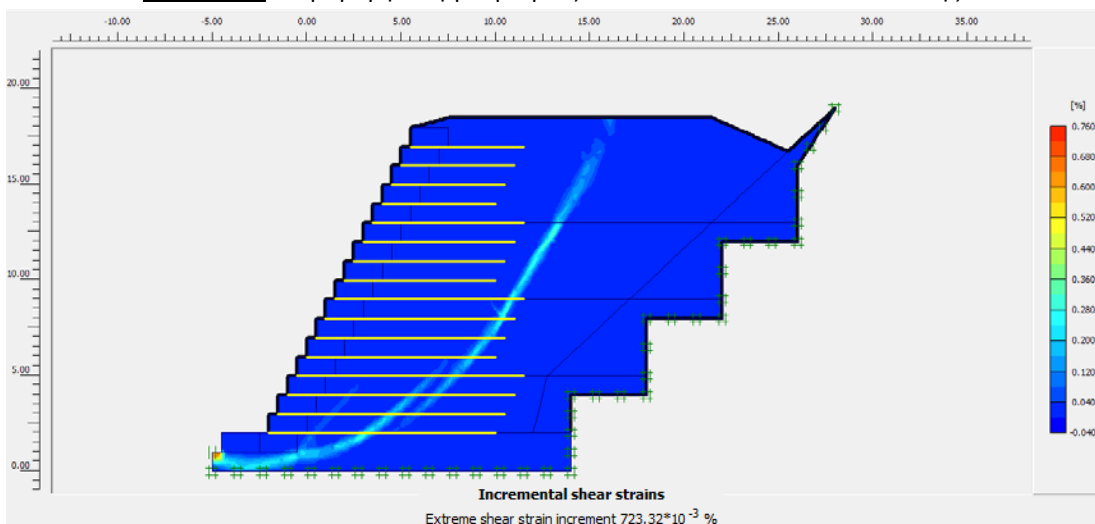


Σχήμα 5-30: Διάγραμμα αξονικών τάσεων του 2^{ου} συρματοπλέγματος από τη βάση του επιχώματος.

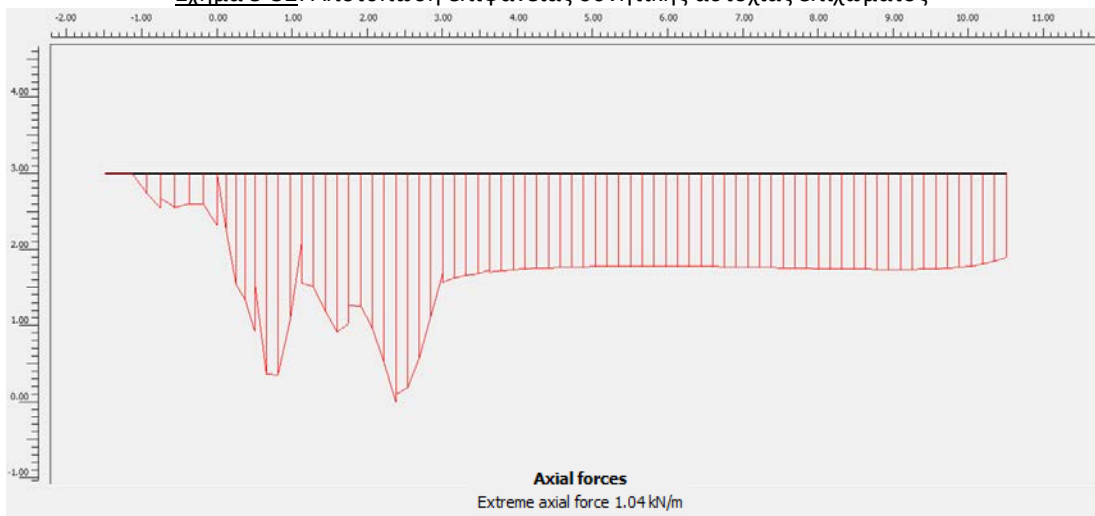
- Ανάλυση με τιμή γωνίας εσωτερικής τριβής $\phi = 35^\circ$ για τα υλικά πλήρωσης του επιχώματος



Σχήμα 5-31: Παραμόρφωση γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής



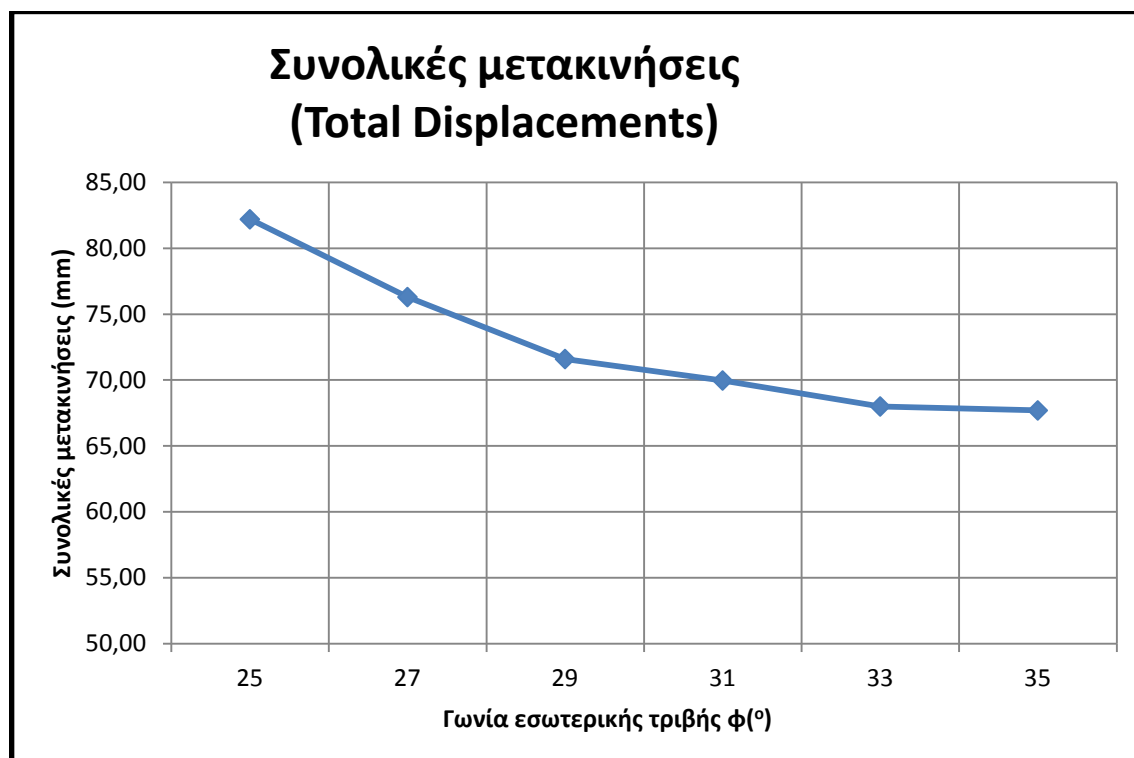
Σχήμα 5-32: Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος



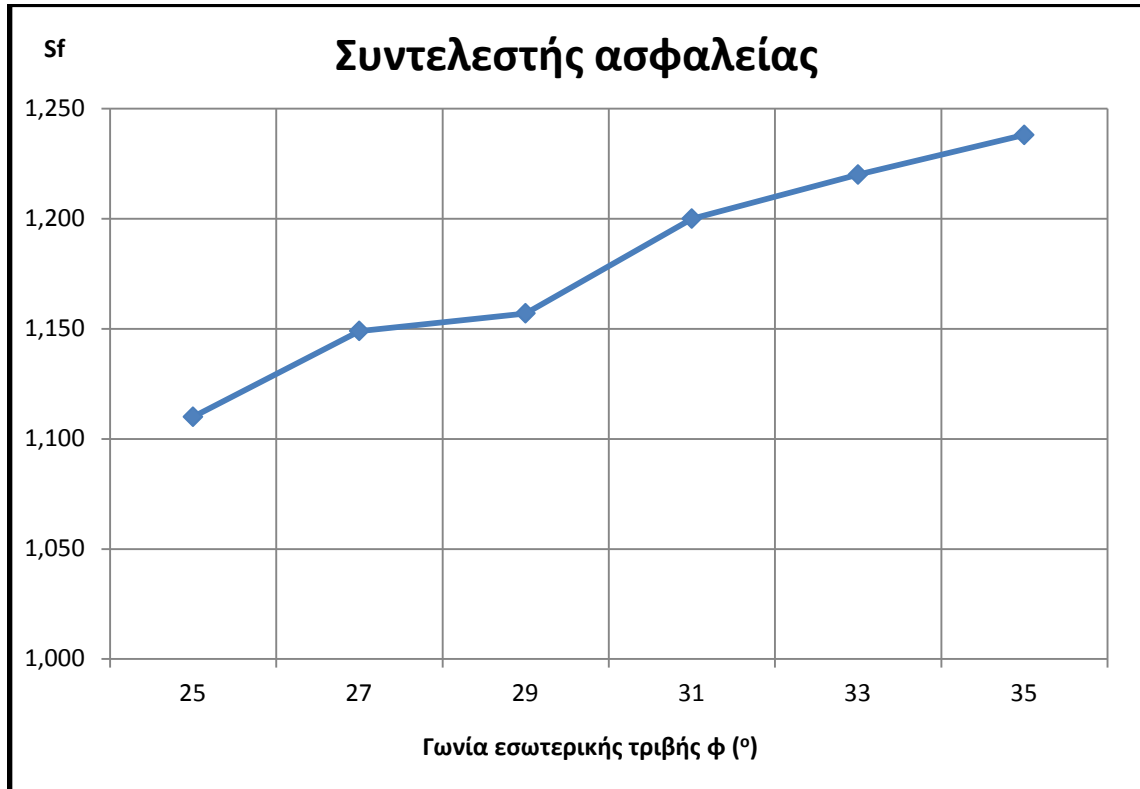
Σχήμα 5-33: Διάγραμμα αξονικών τάσεων του 2^{ου} συρματοπλέγματος από τη βάση του επιχώματος.

Πίνακας 5-34: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 3^{ης} ομάδας παραμετρικών αναλύσεων

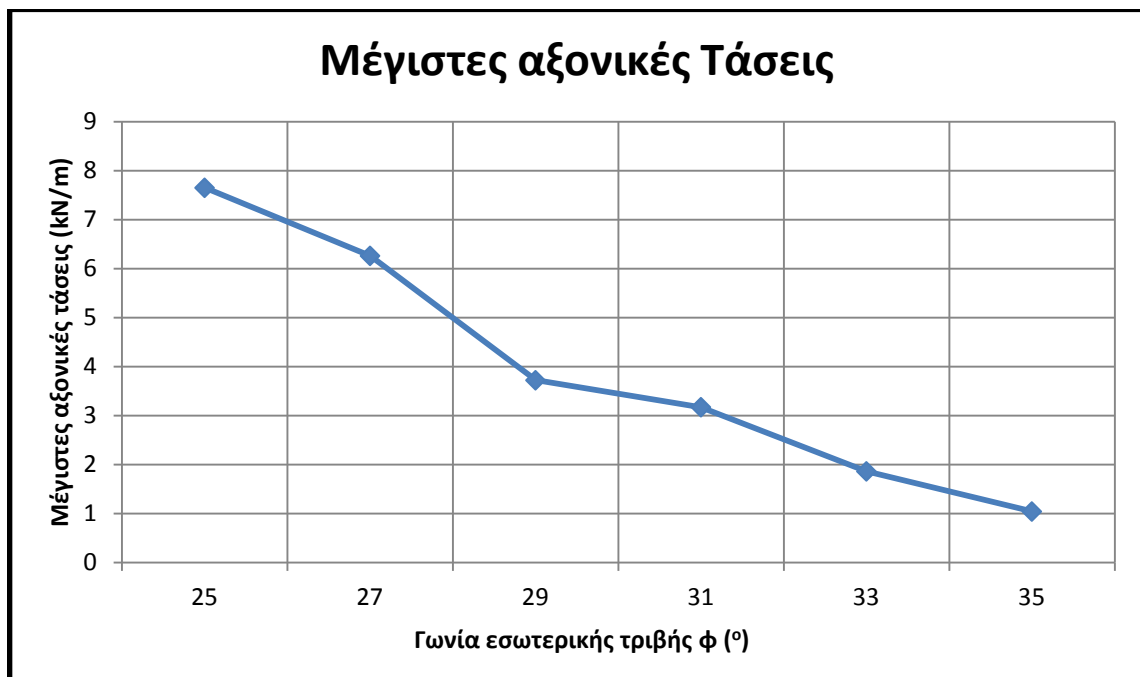
| Γωνία εσωτερικής τριβής ϕ (°) | Συνολικές μετακινήσεις επιχώματος (mm) | Μέγιστες αξονικές τάσεις πλέγματος (kN/m) | Συντελεστής ασφαλείας επιχώματος |
|------------------------------------|--|---|----------------------------------|
| 25° | 82.20 | 7.65 | 1.11 |
| 27° | 76.30 | 6.26 | 1.15 |
| 29° | 71.60 | 3.72 | 1.16 |
| 31° | 69.97 | 3.17 | 1.20 |
| 33° | 68.00 | 1.86 | 1.22 |
| 35° | 68.70 | 1.04 | 1.24 |



Σχήμα 5-35: Γραφική παράσταση συνολικών μετακινήσεων σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ)



Σχήμα 5-36: Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ)



Σχήμα 5-37: Γραφική παράσταση μέγιστων αξονικών τάσεων 2^{ου} συρματοπλέγματος από τη βάση του επιχώματος σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ)

4^η ομάδα παραμετρικών αναλύσεων

Η Τέταρτη ανάλυση αφορά επίσης σε σειρά παραμετρικών αναλύσεων με κύρια μεταβαλλόμενη παράμετρο την γωνία εσωτερικής τριβής. Ο σκοπός είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων γύρω από την πυκνότητα των στοιχείων όπλισης του επιχώματος σε συνάρτηση με τη μεταβολή της γωνίας εσωτερικής τριβής. Η διάταξη των συρματοπλεγμάτων αλλάζει (αραιώνει) και τοποθετούνται ανά 2 μέτρα. Περιλαμβάνει έξι επιλύσεις του επιχώματος αναφοράς με τιμές της γωνία εσωτερικής τριβής που μεταβάλλονται ανά 2° από $\phi=25^\circ$ έως $\phi=35^\circ$.

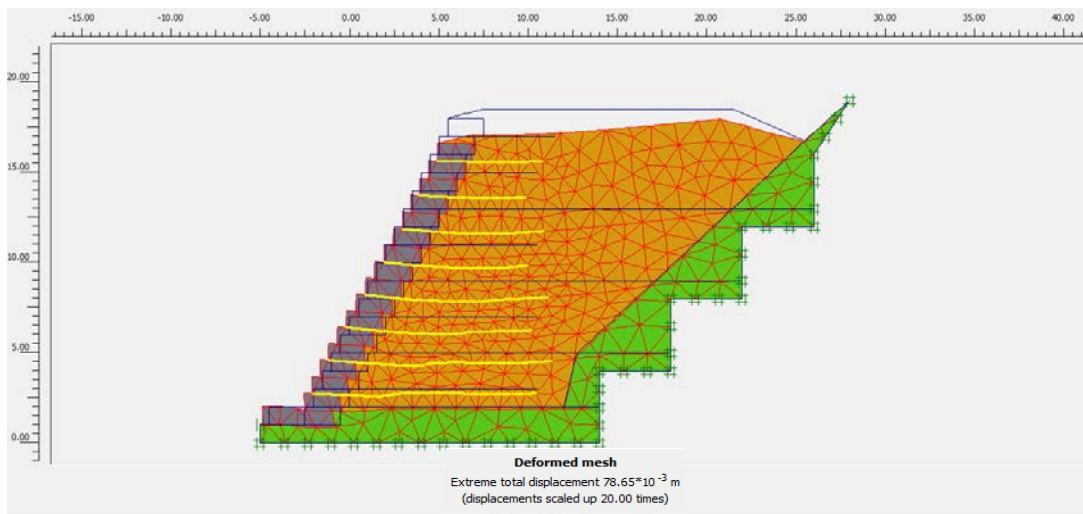
Κατά την εκτέλεση των παραμετρικών αναλύσεων παρατηρήθηκε μία αστοχία στη πρώτη περίπτωση όπου η γωνία εσωτερικής τριβής θεωρήθηκε $\phi=25^\circ$. Στο παράδειγμα αυτό η μειωμένη διατμητική αντοχή του επιχώματος ($\phi=25^\circ$) καθώς και ο μικρότερος αριθμός στοιχείων όπλισης, συνετέλεσαν στην πρόκληση της αστοχίας. Τα αποτελέσματα των υπολοίπων περιπτώσεων αυτής της σειράς των επιλύσεων κατέγραψαν μέγιστες μετακινήσεις στη στέψη του επιχώματος. Το μέγεθος των μετακινήσεων κυμάνθηκε από 67 χιλ. έως 72 χιλ. Όπως ήταν αναμενόμενο οι μεγαλύτερες μετακινήσεις παρουσιάστηκαν στο επίχωμα με τη μικρότερη γωνία εσωτερικής τριβής ($\phi = 25^\circ$) και οι μικρότερες στο επίχωμα με τη μεγαλύτερη γωνία εσωτερικής τριβής ($\phi = 35^\circ$). Παρατηρείται ότι οι μετακινήσεις συνολικά δε παρουσιάζουν μεγάλη διαφοροποίηση από αυτές της 3^{ης} ομάδας παραμετρικών αναλύσεων.

Στις περιπτώσεις όπου η γωνίες εσωτερικής τριβής ήταν $\phi = 31^\circ$ και $\phi = 33^\circ$ (Σχήμα 5-45, 5-48), το επίχωμα εμφάνισε δυο παράλληλες κυκλικές επιφάνειες δυνητικής αστοχίας. Πρακτικά πρόκειται για ζώνη δυνητικής αστάθειας. Η ζώνη αυτή διέρχονταν από τη βάση του και εξελισσόταν έως τη μέση του επιχώματος. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις οι επιφάνειες αυτές εμφανίσθηκαν ενοποιημένες οι οποίες εξελισσόταν από τη βάση έως τη στέψη του επιχώματος (Σχήμα 5-39, 5-42, 5-51). Ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίστηκε σύμφωνα με τις σχηματιζόμενες επιφάνειες δυνητικής αστοχίας κυμάνθηκε από $Sf = 1.11$ έως $Sf = 1.20$.

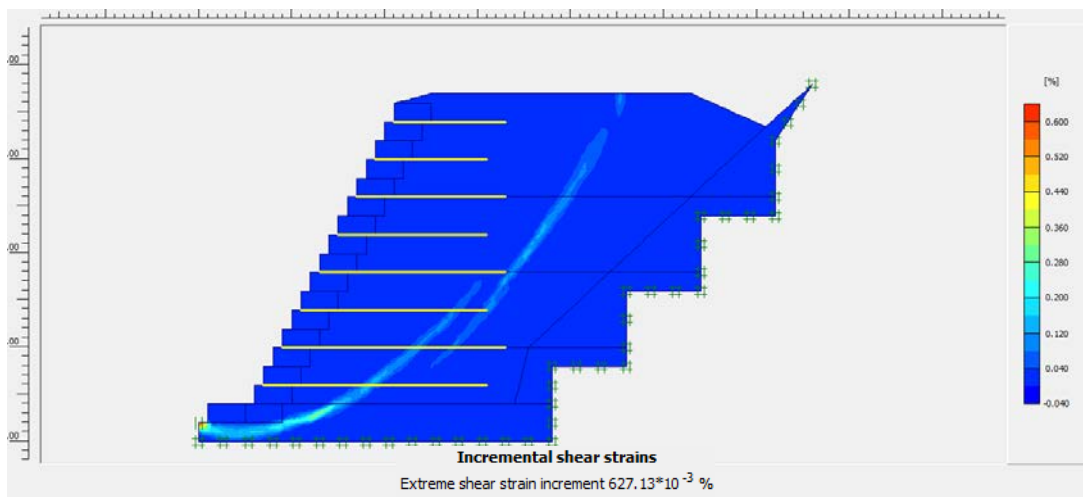
Κατά την αύξηση της γωνίας εσωτερικής τριβής είναι αναμενόμενο το επίχωμα να αποκτά μεγαλύτερη ευστάθεια. Έτσι η χρησιμότητα των γεωπλεγμάτων μειώνεται κατά την αύξηση της διατμητικής αντοχής. Αυτό φαίνεται και στις μέγιστες τάσεις που παραλαμβάνει το στοιχείο όπλισης που εξετάζεται. Το γεώπλεγμα δέχεται ισχυρότερες τάσεις (6.42 kN/m, Σχήμα 5-40) στο επίχωμα με γωνία εσωτερικής τριβής $\phi=27^\circ$, ενώ στο τελευταίο παράδειγμα $\phi=35^\circ$ οι μέγιστες τάσεις του οπλισμού είναι πολύ μικρότερες (1.00 kN/m, Σχήμα 5-52). Παρατηρούμε ότι συγκριτικά με την 3^η ομάδα παραμετρικών αναλύσεων οι τιμές των μέγιστων αξονικών τάσεων στο στοιχείο όπλισης είναι μεγαλύτερες. Αυτό συμβαίνει γιατί ο οπλισμός του επιχώματος είναι μειωμένος και έτσι οι τάσεις που αντιστοιχούν σε

κάθε στοιχείο οπλισμού αυξάνονται. Οι τάσεις που παραλαμβάνει το δεύτερο γεώπλεγμα της βάσης περιορίζονται στα πρώτα 4 μέτρα του μήκους του γεγονός το οποίο βρίσκεται σε συμφωνία με την θέση της επιφάνειας διατμητικής αστάθειας που αναπτύσσεται κατά την αστοχία του (διαδικασία του *phi/c reduction*).

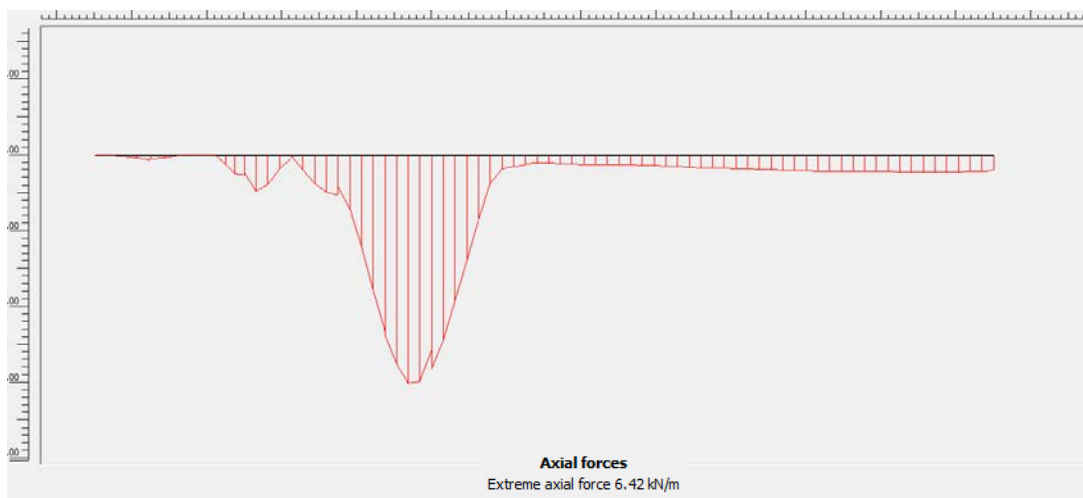
- Ανάλυση με τιμή γωνίας εσωτερικής τριβής $\phi = 27^\circ$ για τα υλικά πλήρωσης του επιχώματος



Σχήμα 5-38: Παραμόρφωση γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

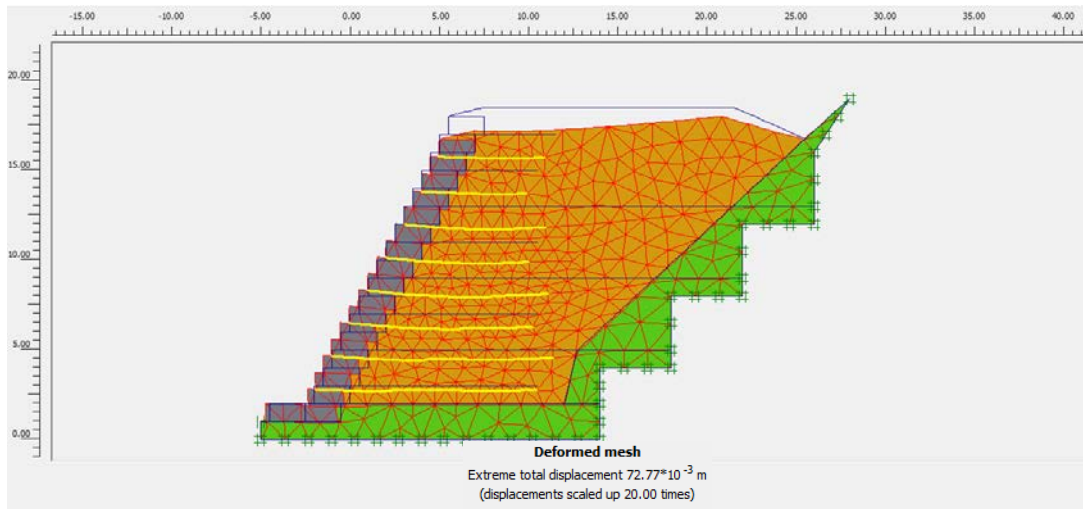


Σχήμα 5-39: Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος

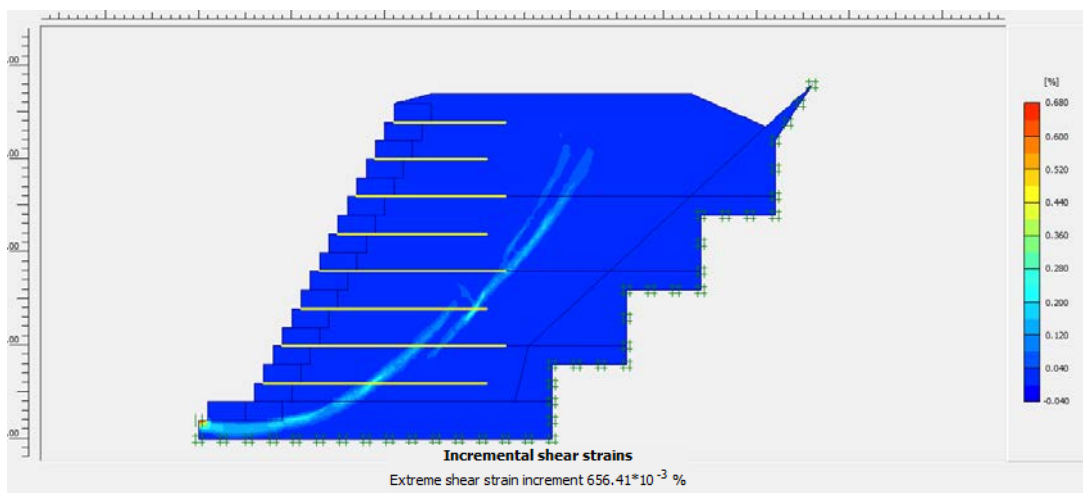


Σχήμα 5-40: Διάγραμμα αξονικών τάσεων του 2^{ου} συρματοπλέγματος από τη βάση του επιχώματος.

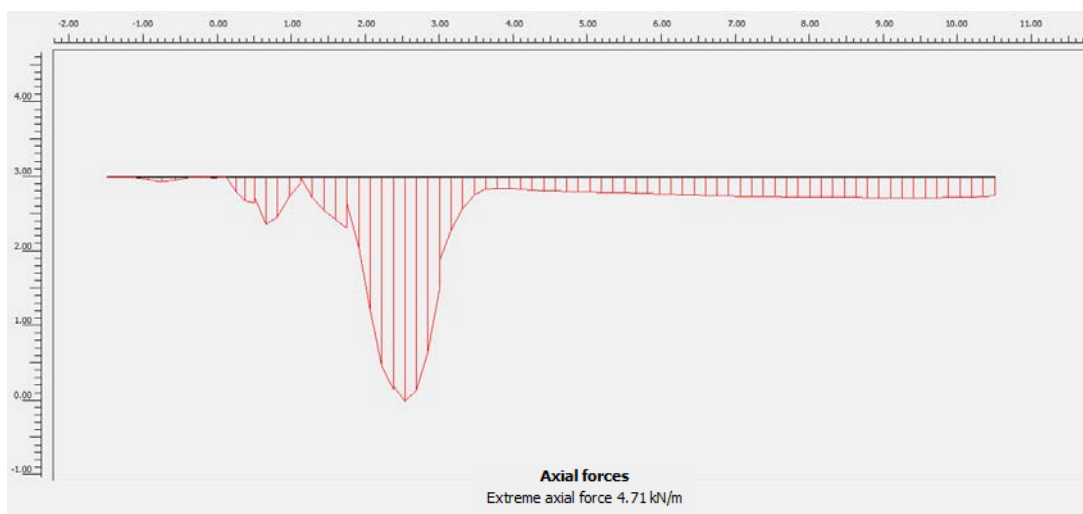
- Ανάλυση με τιμή γωνίας εσωτερικής τριβής $\phi = 29^\circ$ για τα υλικά πλήρωσης του επιχώματος



Σχήμα 5-41: Παραμόρφωση γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

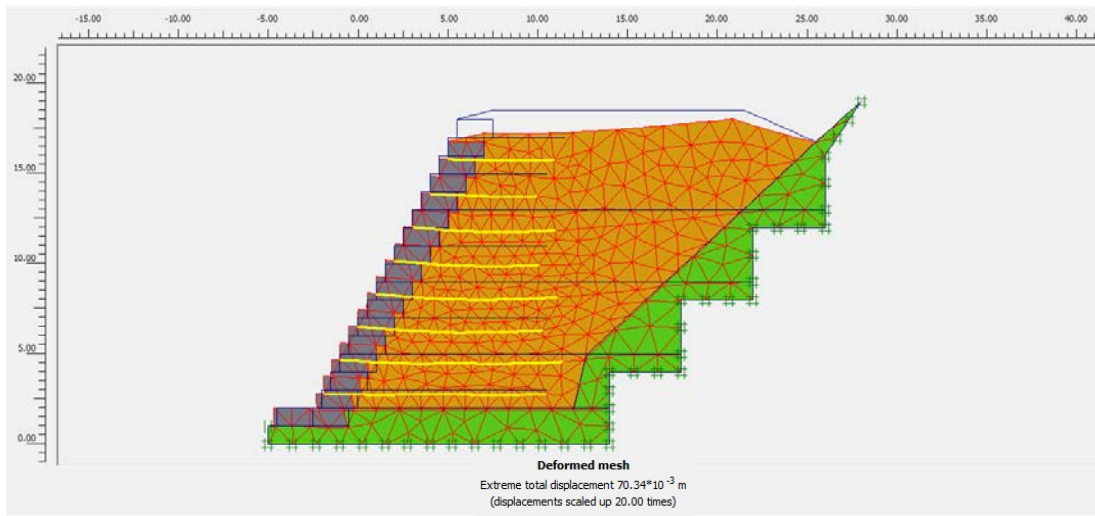


Σχήμα 5-42: Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος

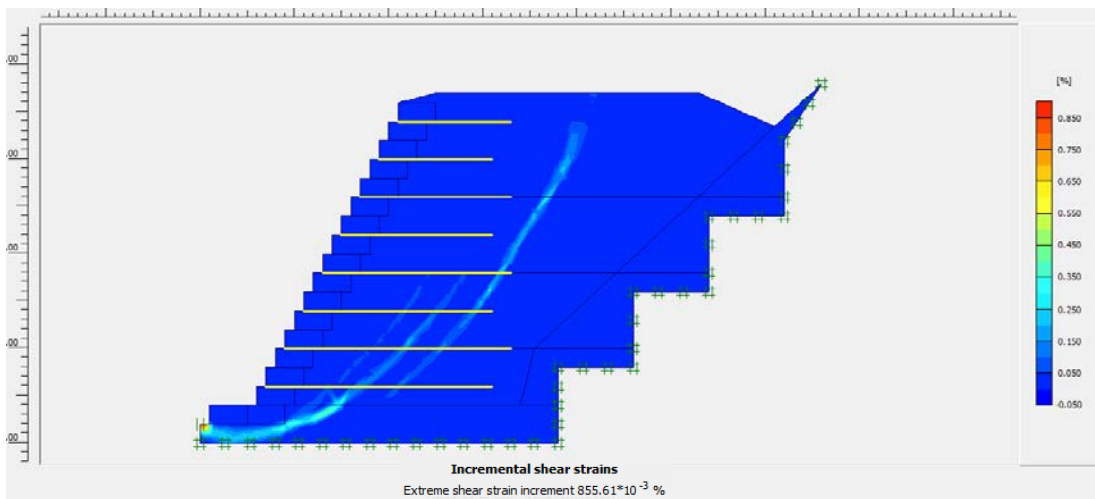


Σχήμα 5-43: Διάγραμμα αξονικών τάσεων του 2^{ου} συρματοπλέγματος από τη βάση του επιχώματος.

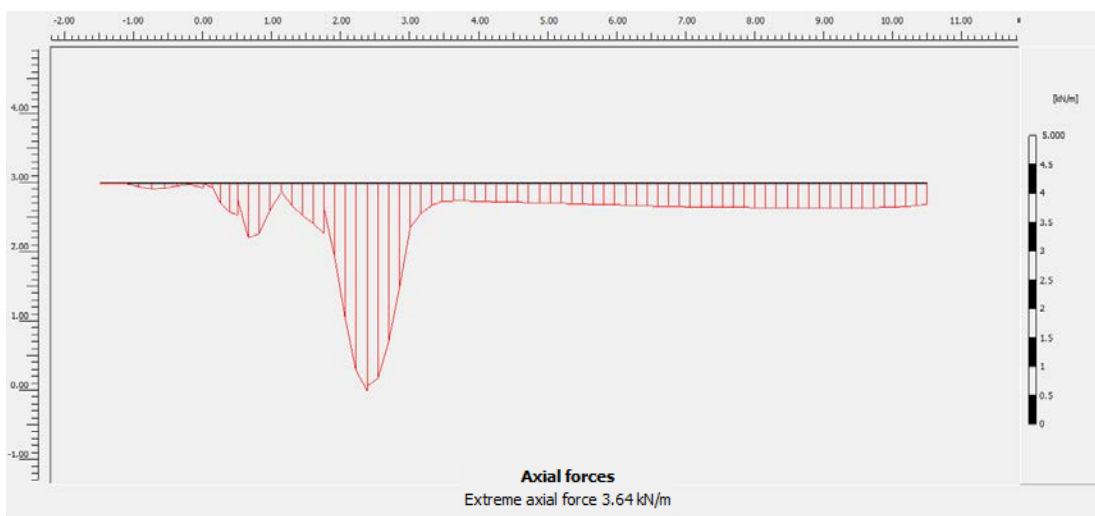
- Ανάλυση με τιμή γωνίας εσωτερικής τριβής $\phi = 31^\circ$ για τα υλικά πλήρωσης του επιχώματος



Σχήμα 5-44: Παραμόρφωση γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

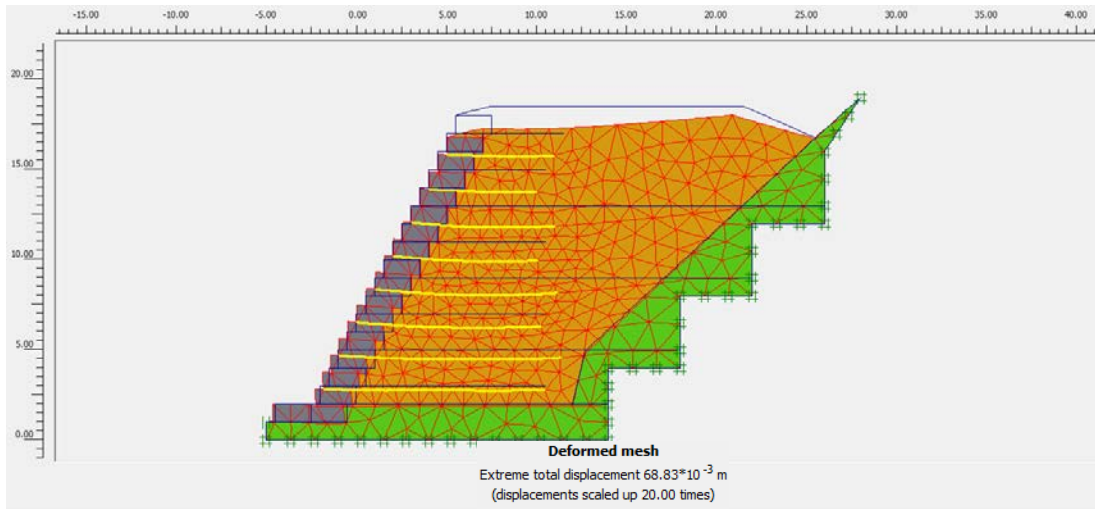


Σχήμα 5-45: Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος

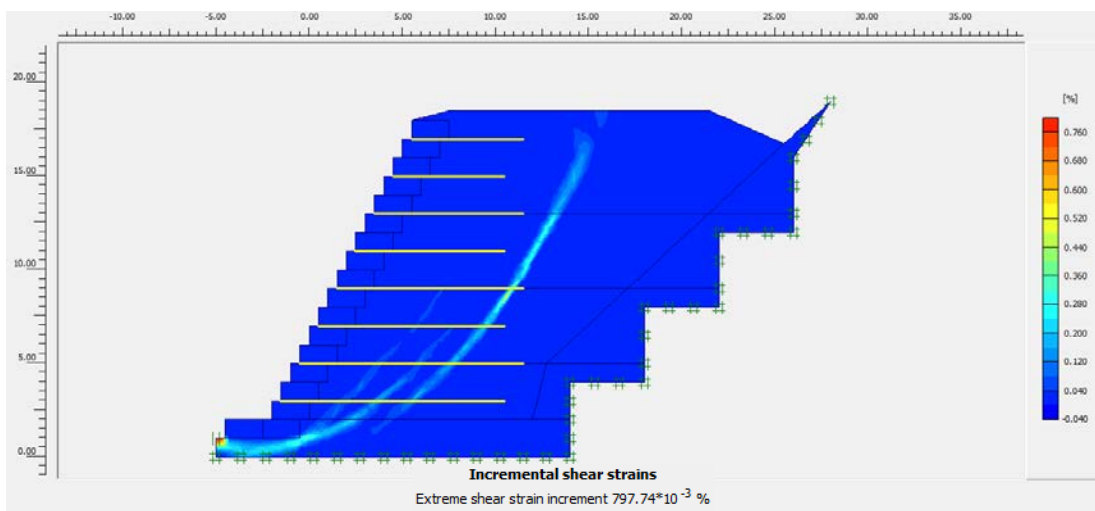


Σχήμα 5-46: Διάγραμμα αξονικών τάσεων του 2^{ου} συρματοπλέγματος από τη βάση του επιχώματος.

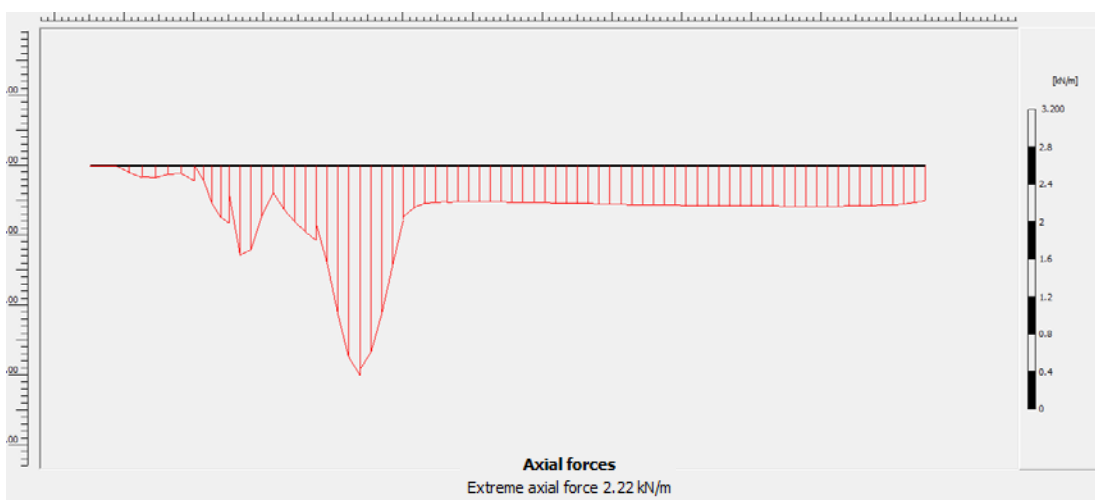
- Ανάλυση με τιμή γωνίας εσωτερικής τριβής $\phi = 33^\circ$ για τα υλικά πλήρωσης του επιχώματος



Σχήμα 5-47: Παραμόρφωση γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

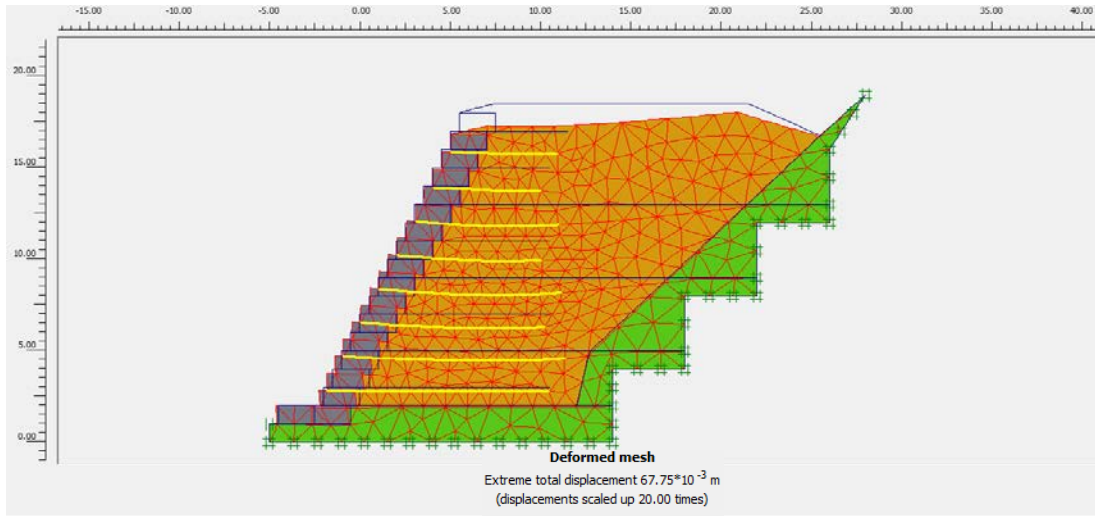


Σχήμα 5-48: Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος

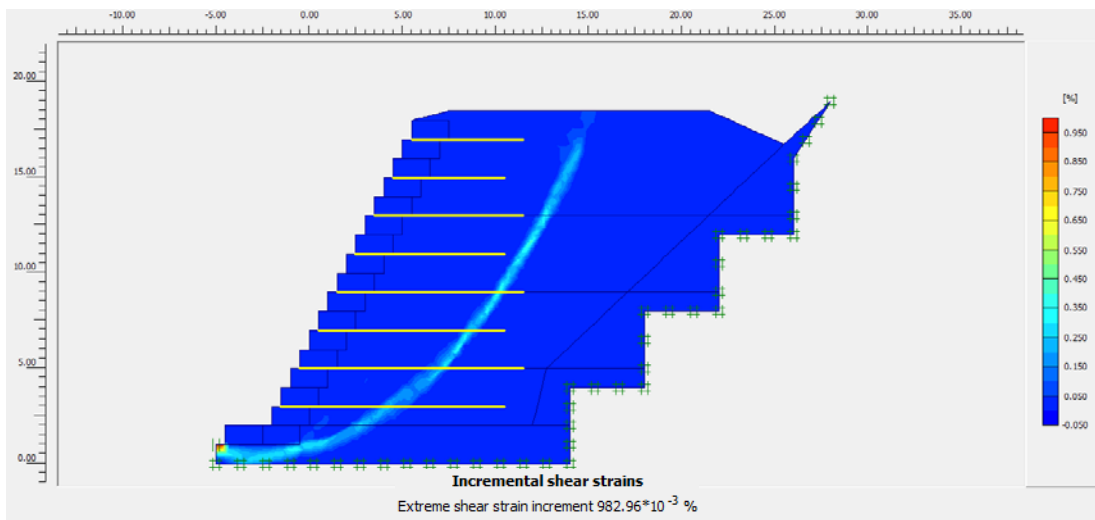


Σχήμα 5-49: Διάγραμμα αξονικών τάσεων του 2^{ου} συρματοπλέγματος από τη βάση του επιχώματος.

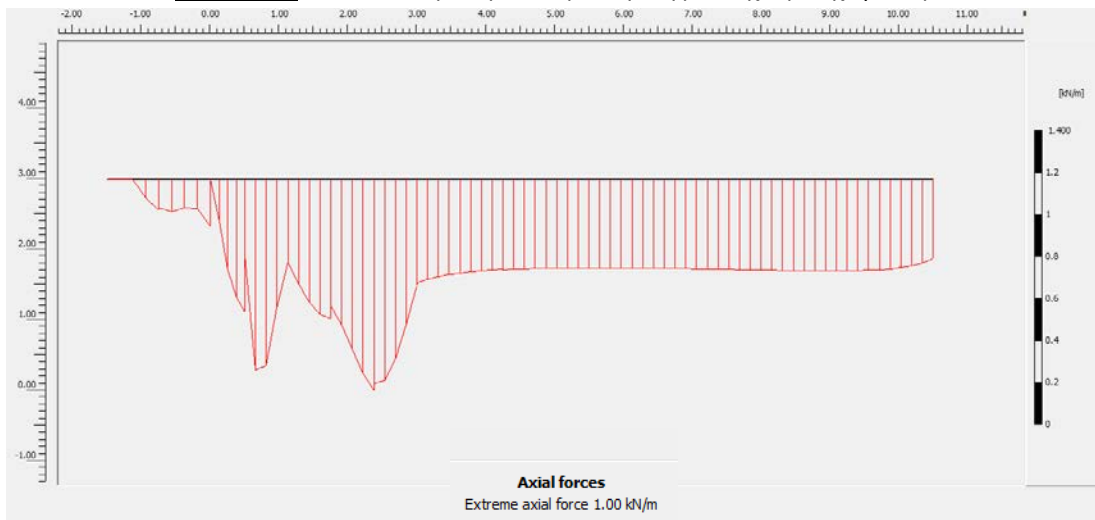
- Ανάλυση με τιμή γωνίας εσωτερικής τριβής $\phi=35^\circ$ για τα υλικά πλήρωσης του επιχώματος



Σχήμα 5-50: Παραμόρφωση γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής



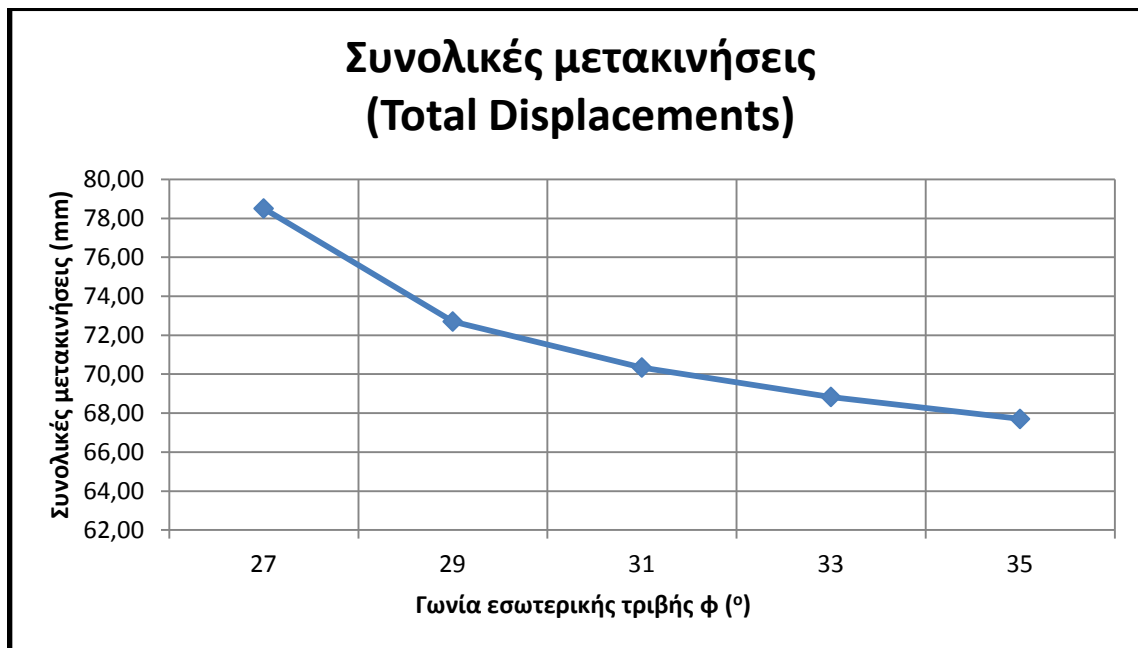
Σχήμα 5-51: Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος



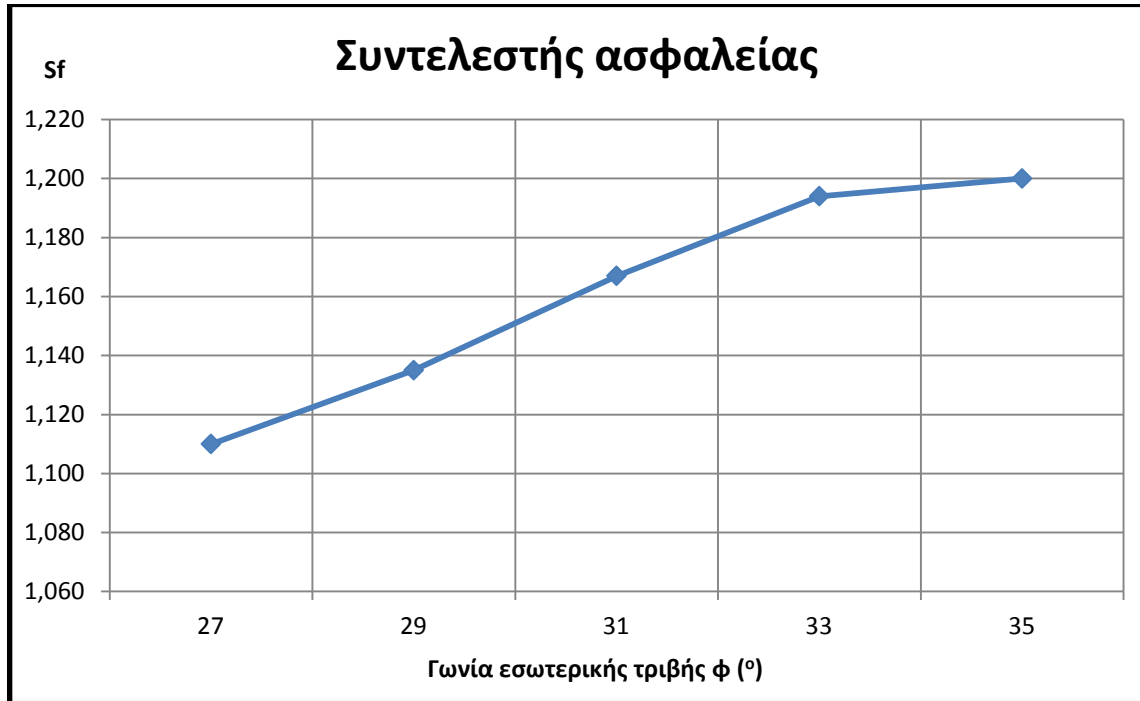
Σχήμα 5-52: Διάγραμμα αξονικών τάσεων του 2^{ου} συρματοπλέγματος από τη βάση του επιχώματος.

Πίνακας 5-53: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 4^{ης} ομάδας παραμετρικών αναλύσεων

| Γωνία εσωτερικής τριβής | Συνολικές μετακινήσεις επιχώματος (mm) | Μέγιστες αξονικές τάσεις πλέγματος (kN/m) | Συντελεστής ασφαλείας επιχώματος |
|-------------------------|--|---|----------------------------------|
| 25° | - | - | <1 |
| 27° | 78.50 | 6.42 | 1.15 |
| 29° | 72.70 | 4.71 | 1.16 |
| 31° | 70.34 | 3.64 | 1.20 |
| 33° | 68.83 | 2.22 | 1.22 |
| 35° | 67.75 | 1.00 | 1.24 |



Σχήμα 5-54: Γραφική παράσταση συνολικών μετακινήσεων σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής (φ)



Σχήμα 5-55: Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ)



Σχήμα 5-56: Γραφική παράσταση αξονικών τάσεων 2^{ου} συρματοπλέγματος από τη βάση του επιχώματος σε συνάρτηση με την αύξηση γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ)

5^η ομάδα παραμετρικών αναλύσεων

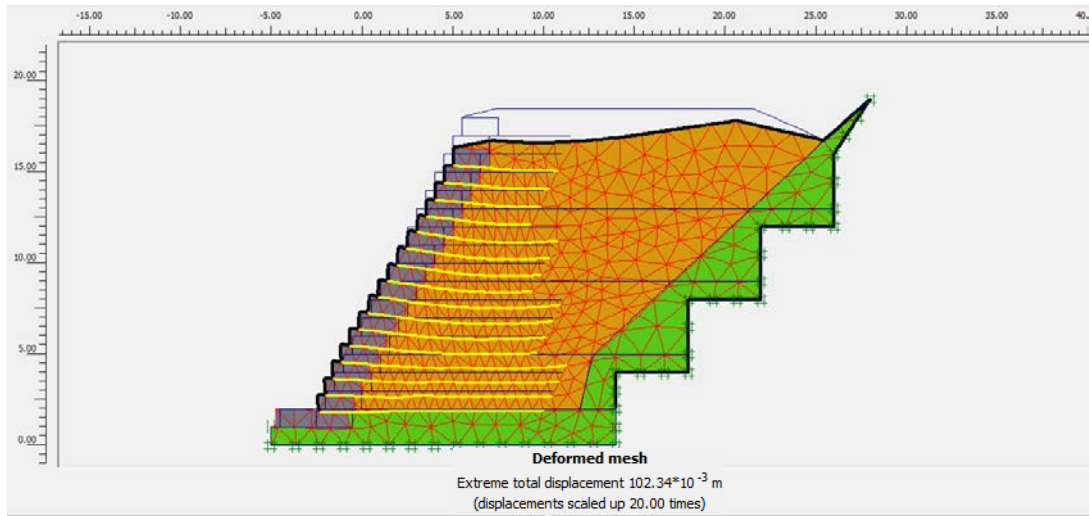
Σε αυτή την ομάδα αναλύσεων εξετάζεται η επιρροή του μέτρου ελαστικότητας του υλικού πλήρωσης του επιχώματος, στη συνολική ευστάθεια του έργου. Η τιμή όλων των άλλων παραμέτρων παραμένει σταθερή, καθώς μεταβάλλεται αυτή του μέτρου ελαστικότητας σε φάσμα τιμών από $15.000 \text{ kN/m}^2 - 25.000 \text{ kN/m}^2$. Η γωνία εσωτερικής τριβής καθώς και η πυκνότητα των οπλισμών θεωρήθηκαν τα ίδια με το επίχωμα αναφοράς (Κεφ 5.3) δηλαδή $\phi=30^\circ$ και τοποθέτηση οπλισμών με απόσταση 1 μέτρου.

Τα αποτελέσματα αυτής της σειράς των επιλύσεων κατέγραψαν μέγιστες μετακινήσεις στη στέψη του επιχώματος. Το μέγεθος των μετακινήσεων κυμάνθηκε από 70 χιλ έως 102 χιλ. Όπως ήταν αναμενόμενο οι μεγαλύτερες μετακινήσεις παρουσιάστηκαν στο επίχωμα με το μικρότερο μέτρο ελαστικότητας ($E = 15000 \text{ kN/m}^2$) και οι μικρότερες στο επίχωμα με τη μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας ($E = 25000 \text{ kN/m}^2$).

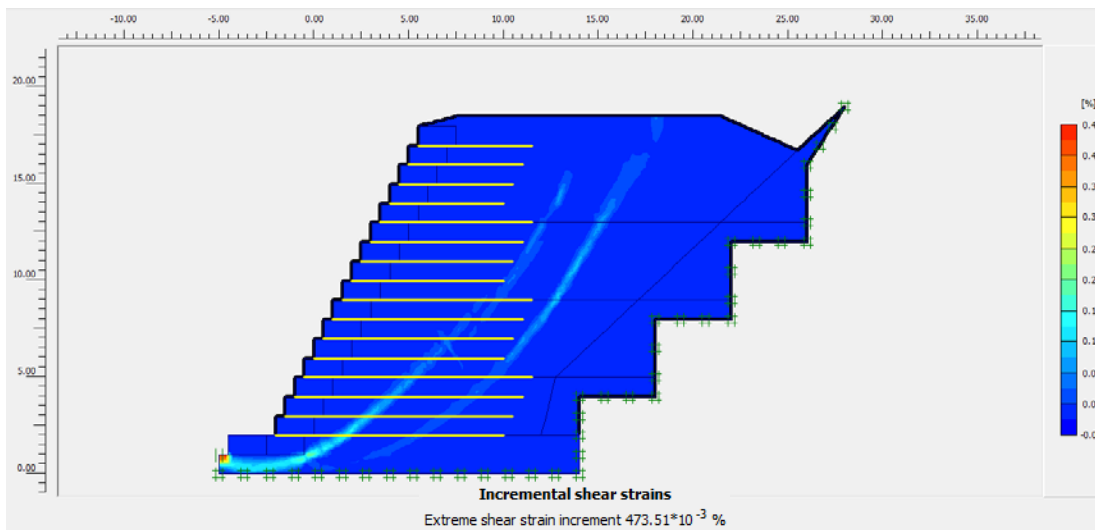
Η επιφάνεια δυνητικής αστοχίας που διαμορφώθηκε ήταν κυκλική με διπλή συζυγή εμφάνιση και σχηματίστηκε στο κύριο σώμα του επιχώματος σε όλα τις περιπτώσεις. Ξεκινούσε από τη βάση του και εξελίσσονταν έως τη μέση του ενώ η συζυγής εμφανίζεται στη βάση του επιχώματος και εξελίσσεται σε μεγαλύτερο μήκος από την πρώτη (Σχήμα 5-58, 5-61, 5-64, 5-67, 5-70, 5-73). Ο συντελεστής ασφαλείας υπολογίστηκε σε $S_f= 1.22$ για το επίχωμα με τη χαμηλότερο μέτρο ελαστικότητας ($E = 15000 \text{ kN/m}^2$) και σε $S_f = 1.18$ για το επίχωμα με το μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας ($E = 25000 \text{ kN/m}^2$)

Στο παράδειγμα αυτό έχει θεωρηθεί σταθερή γωνία εσωτερικής τριβής $\phi= 30^\circ$ (επίχωμα αναφοράς). Το μέγεθος αυτό αντανακλά την διατμητική αντοχή του επιχώματος που θεωρείται σχετικά καλή-μέτρια. Έτσι υπάρχει μικρό φάσμα στις μέγιστες τάσεις που πρόκειται να παραλάβουν τα στοιχεία οπλισμού. Το γεώπλεγμα παραλαμβάνει ισχυρότερες τάσεις (3.93 kN/m Σχήμα 5-59) στο επίχωμα με μέτρο ελαστικότητας $E = 15000 \text{ kN/m}^2$, ενώ στο παράδειγμα με $E = 23000 \text{ kN/m}^2$, οι μέγιστες τάσεις του οπλισμού είναι 3.54 kN/m (Σχήμα 5-71). Οι τάσεις που παραλαμβάνει το δεύτερο γεώπλεγμα της βάσης περιορίζονται στα πρώτα 4.5 μέτρα του μήκους του γεγονός το οποίο βρίσκεται σε συμφωνία με την θέση της ζώνης διάτμηση που αναπτύσσεται κατά την αστοχία του (Σχήμα 5-58, 5-61, 5-64, 5-67, 5-70, 5-73)

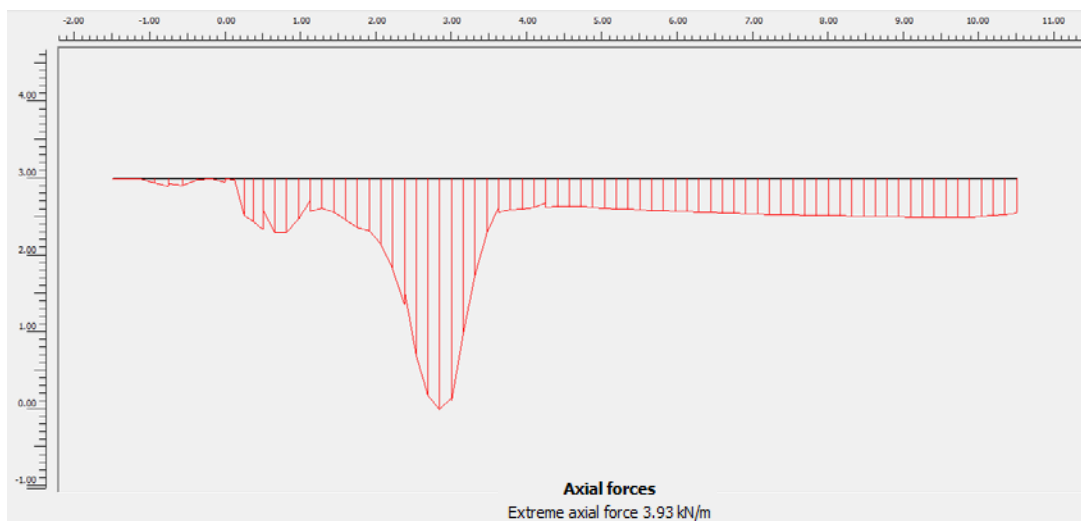
- Ανάλυση με τιμή μέτρου ελαστικότητας $E= 15.000 \text{ kN/m}^2$ για τα υλικά πλήρωσης του επιχώματος



Σχήμα 5-57: Παραμόρφωση γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

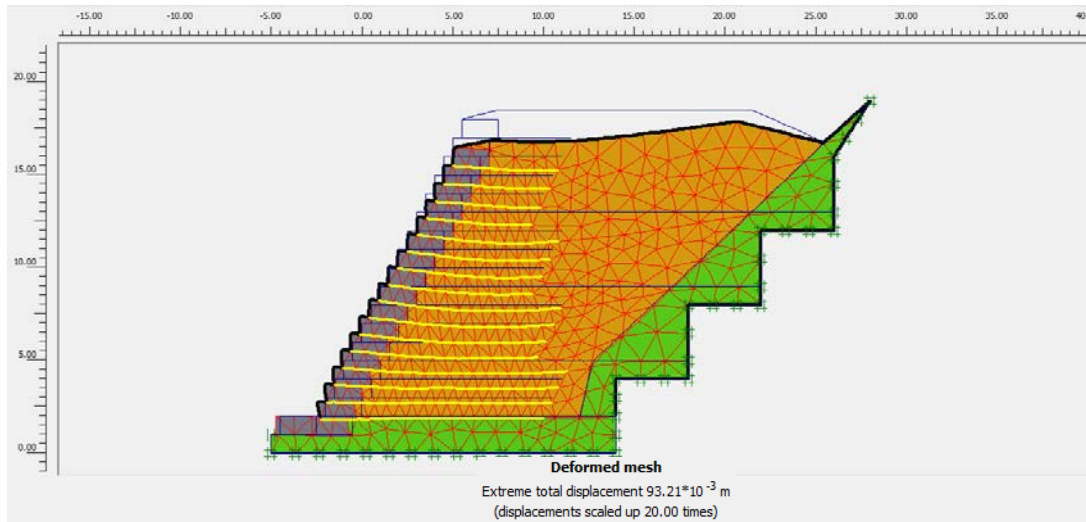


Σχήμα 5-58: Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος

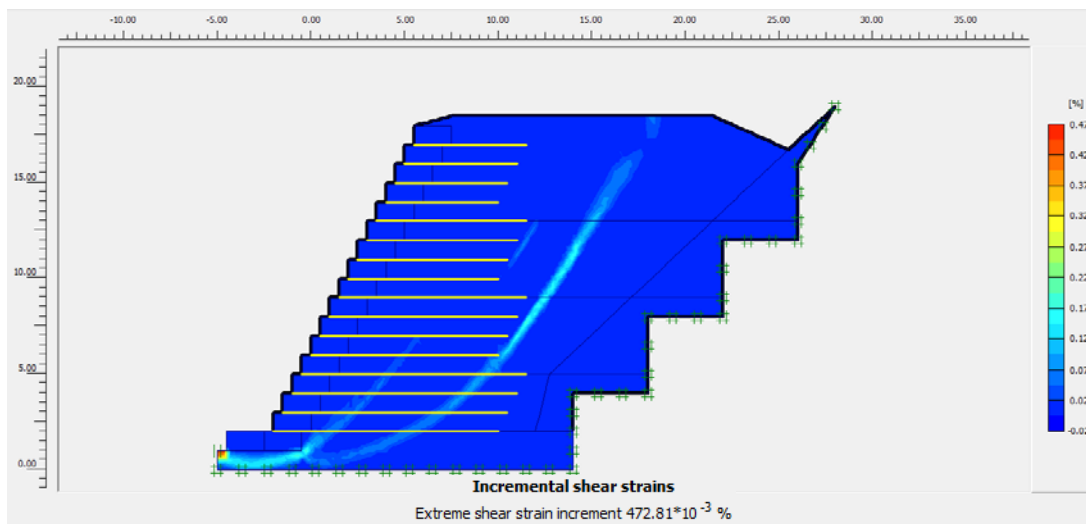


Σχήμα 5-59: Διάγραμμα αξονικών τάσεων του 2^{ου} συρματοπλέγματος από τη βάση του επιχώματος.

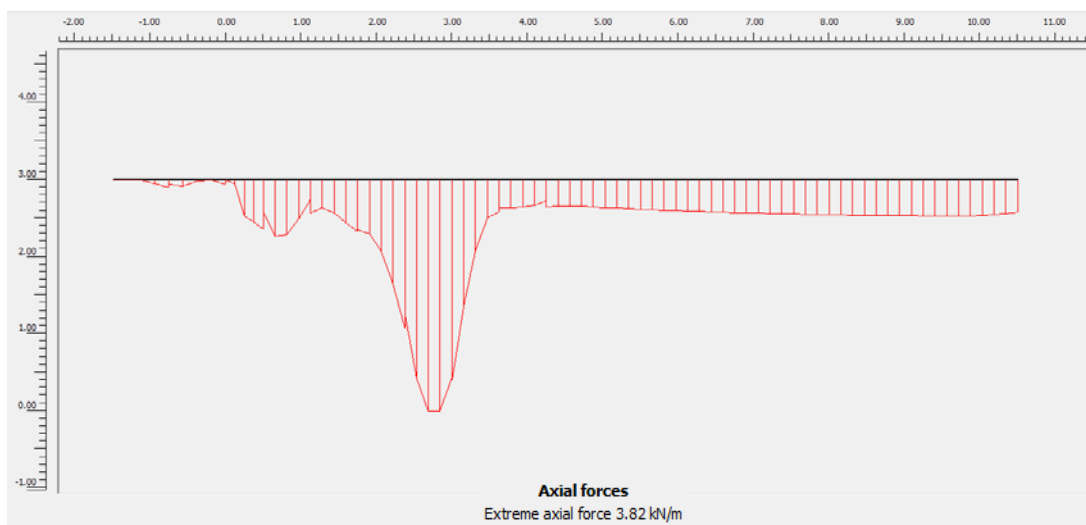
- Ανάλυση με τιμή μέτρου ελαστικότητας $E= 17.000 \text{ kN/m}^2$ για τα υλικά πλήρωσης του επιχώματος



Σχήμα 5-60: Παραμόρφωση γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

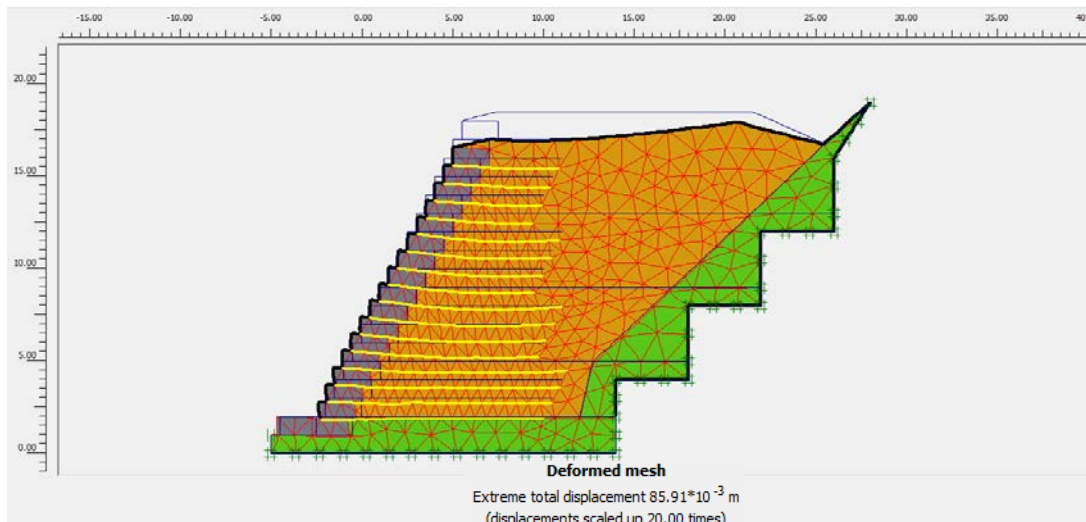


Σχήμα 5-61: Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος

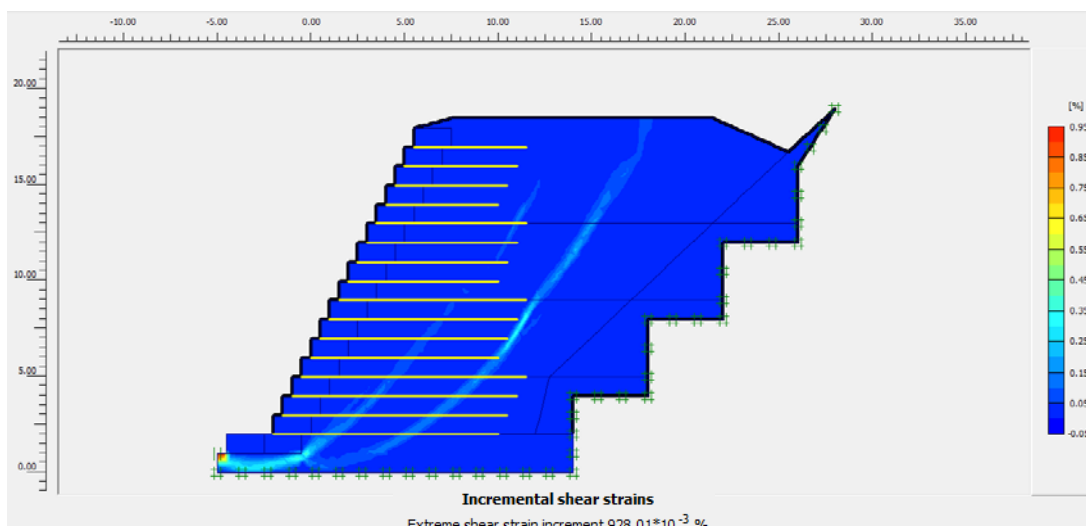


Σχήμα 5-62: Διάγραμμα αξονικών τάσεων του 2^{ου} συρματοπλέγματος από τη βάση του επιχώματος.

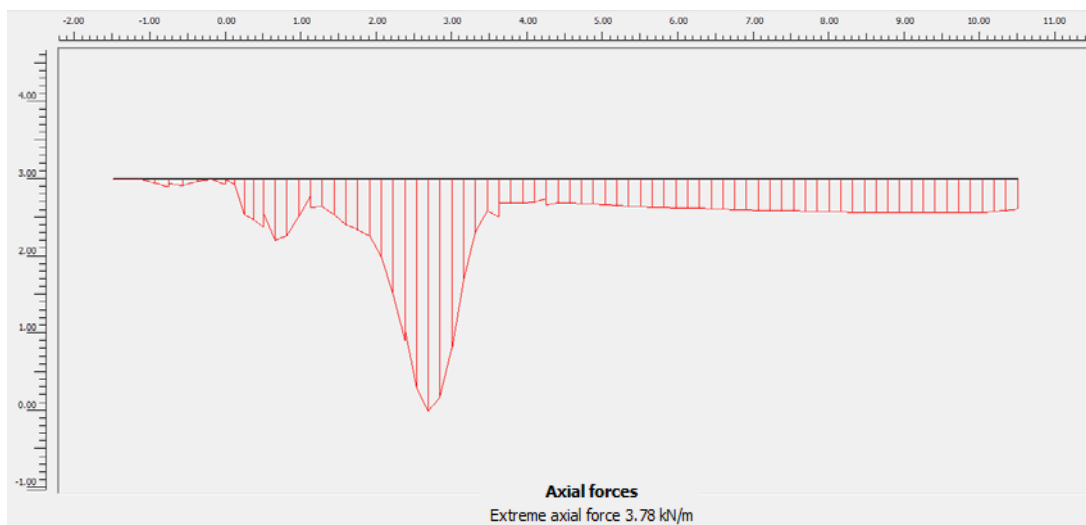
- Ανάλυση με τιμή μέτρου ελαστικότητας $E= 19.000 \text{ kN/m}^2$ για τα υλικά πλήρωσης του επιχώματος



Σχήμα 5-63: Παραμόρφωση γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

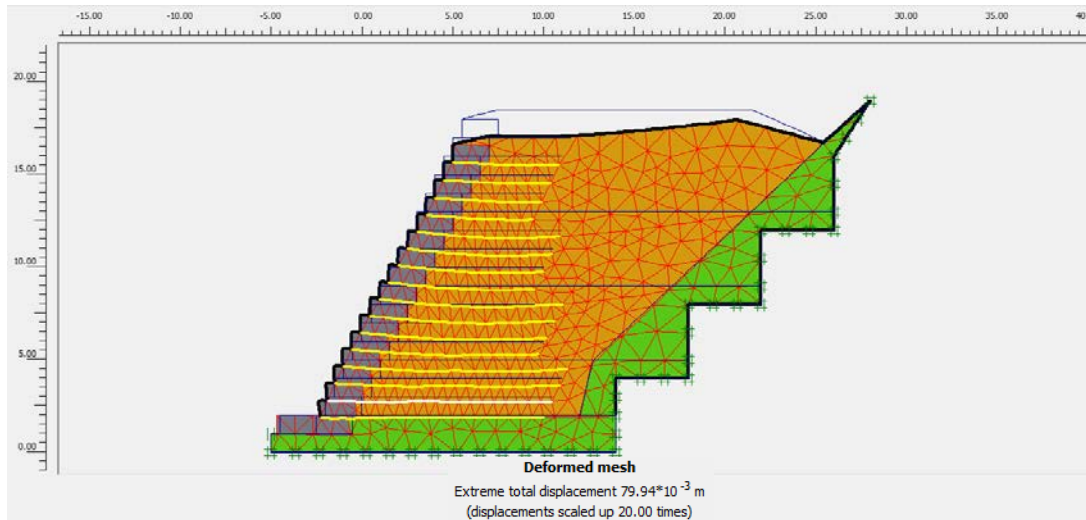


Σχήμα 5-64: Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος

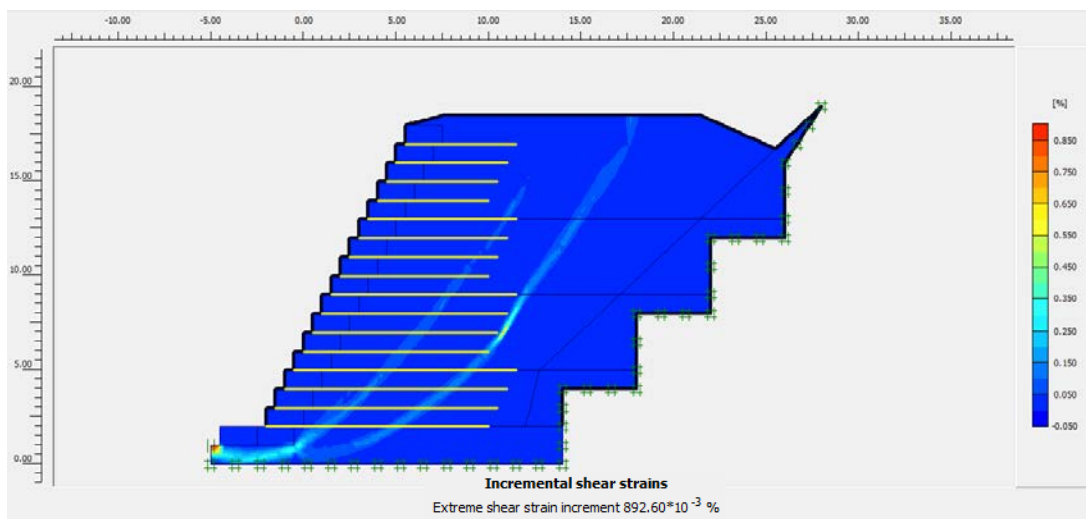


Σχήμα 5-65: Διάγραμμα αξονικών τάσεων του 2^{ου} συρματοπλέγματος από τη βάση του επιχώματος.

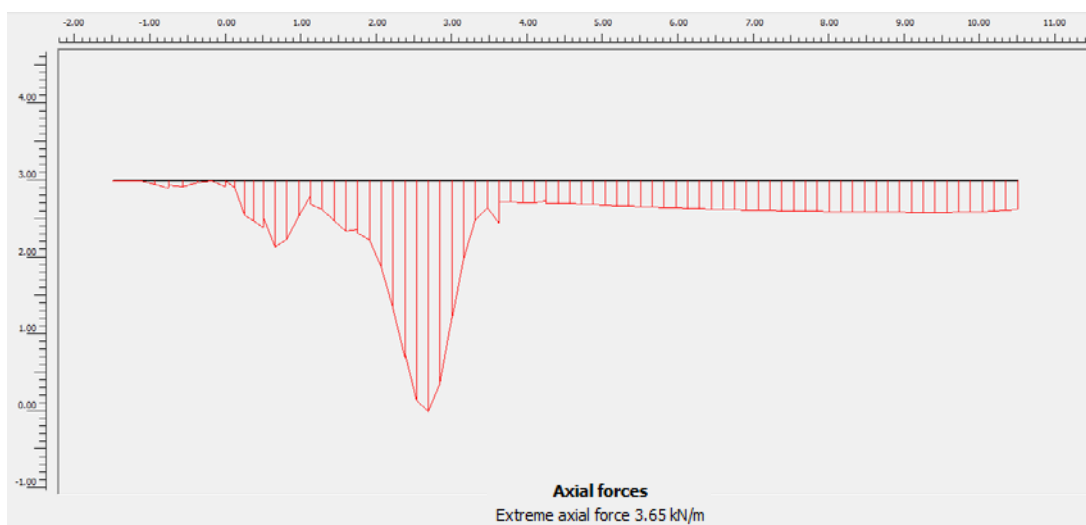
- Ανάλυση με τιμή μέτρου ελαστικότητας $E = 21.000 \text{ kN/m}^2$ για τα υλικά πλήρωσης του επιχώματος



Σχήμα 5-66: Παραμόρφωση γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

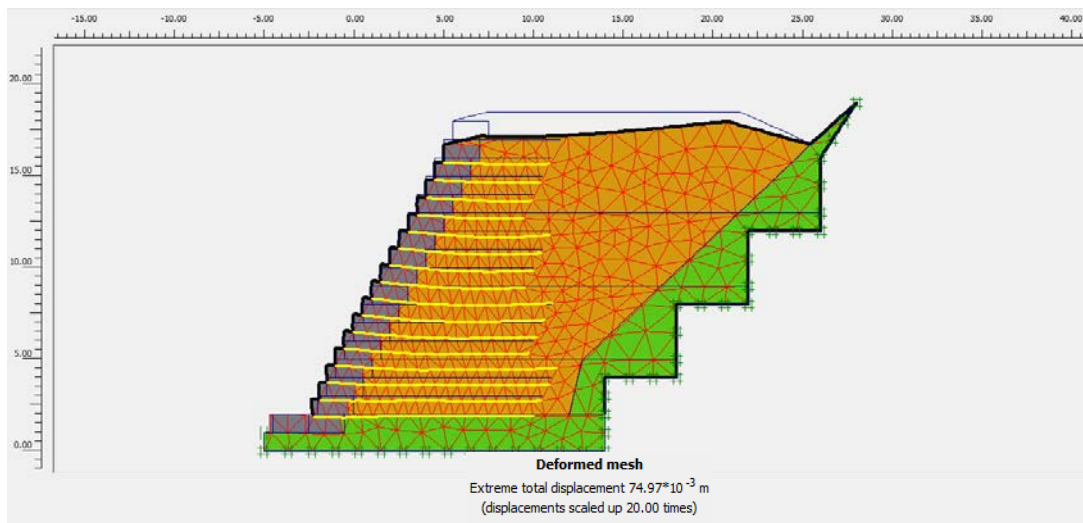


Σχήμα 5-67: Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος

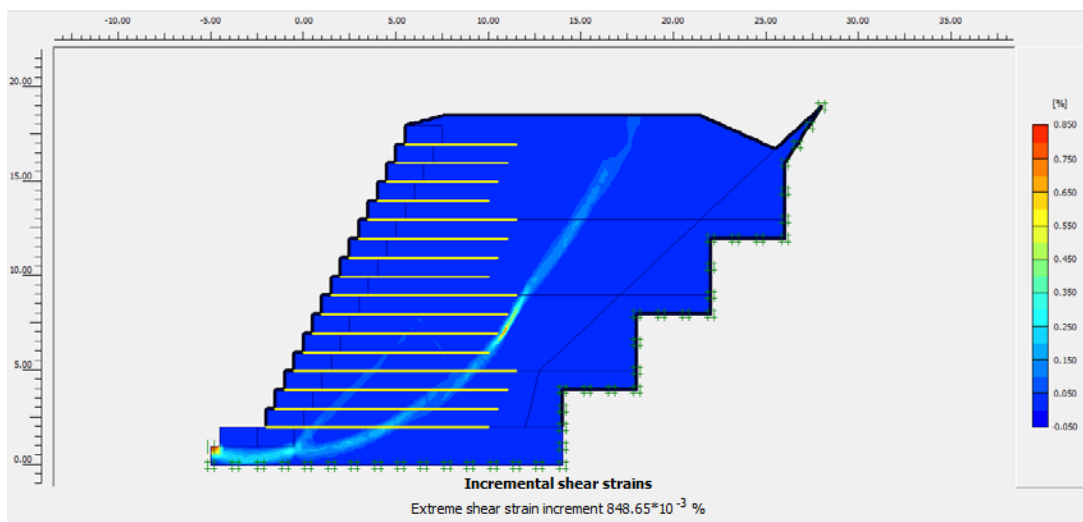


Σχήμα 5-68: Διάγραμμα αξονικών τάσεων του 2^{ου} συρματοπλέγματος από τη βάση του επιχώματος.

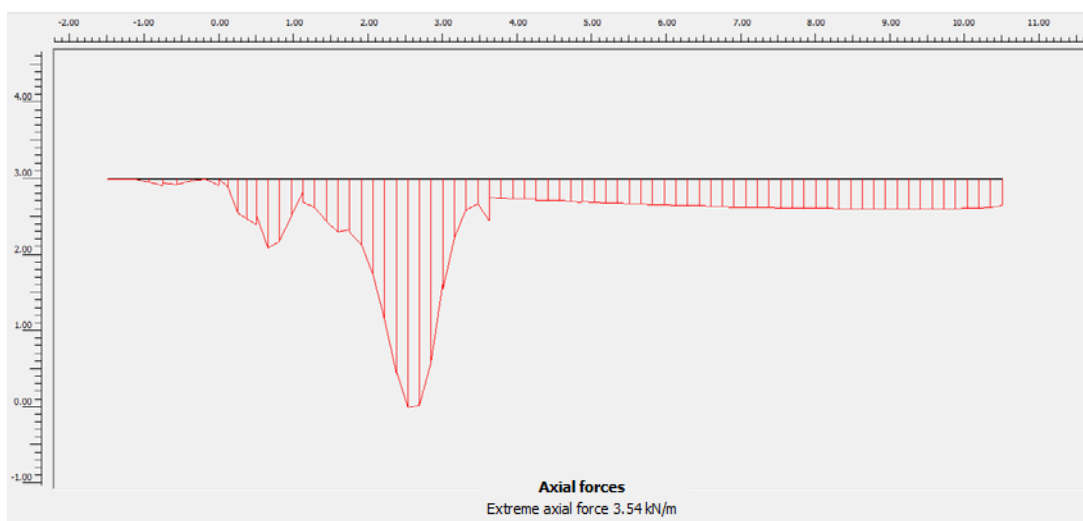
- Ανάλυση με τιμή μέτρου ελαστικότητας $E = 23.000 \text{ kN/m}^2$ για τα υλικά πλήρωσης του επιχώματος



Σχήμα 5-69: Παραμόρφωση γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

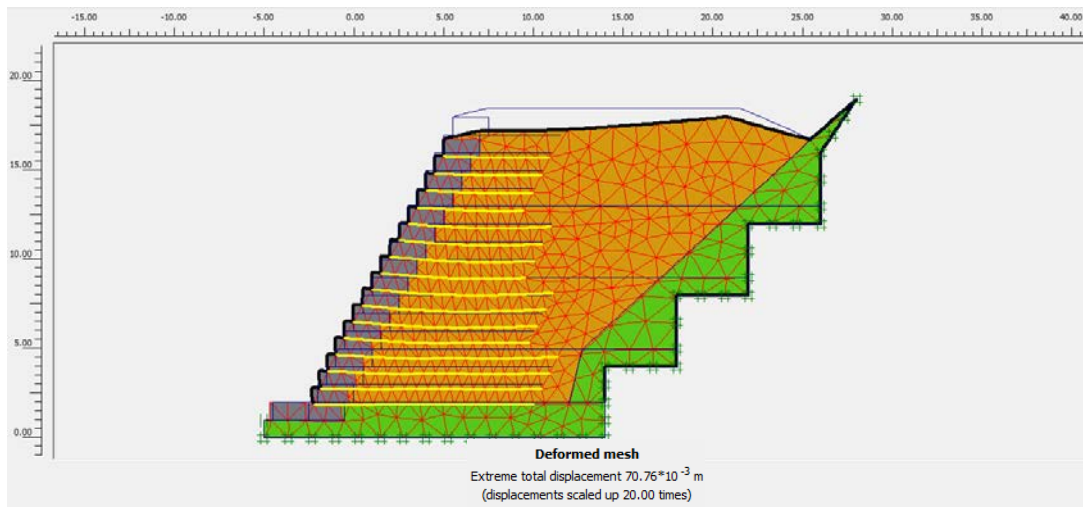


Σχήμα 5-70: Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος

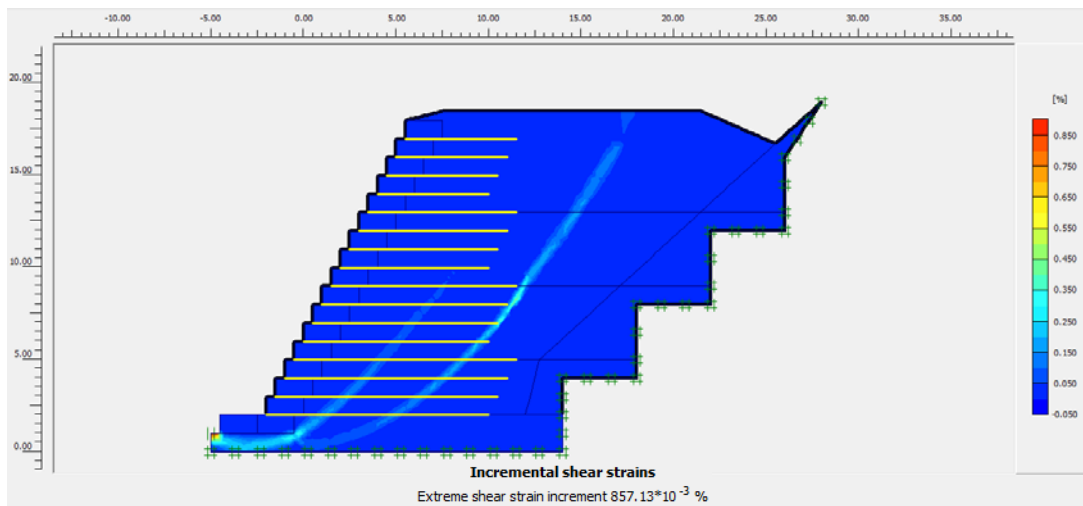


Σχήμα 5-71: Διάγραμμα αξονικών τάσεων του 2^{ου} συρματοπλέγματος από τη βάση του επιχώματος.

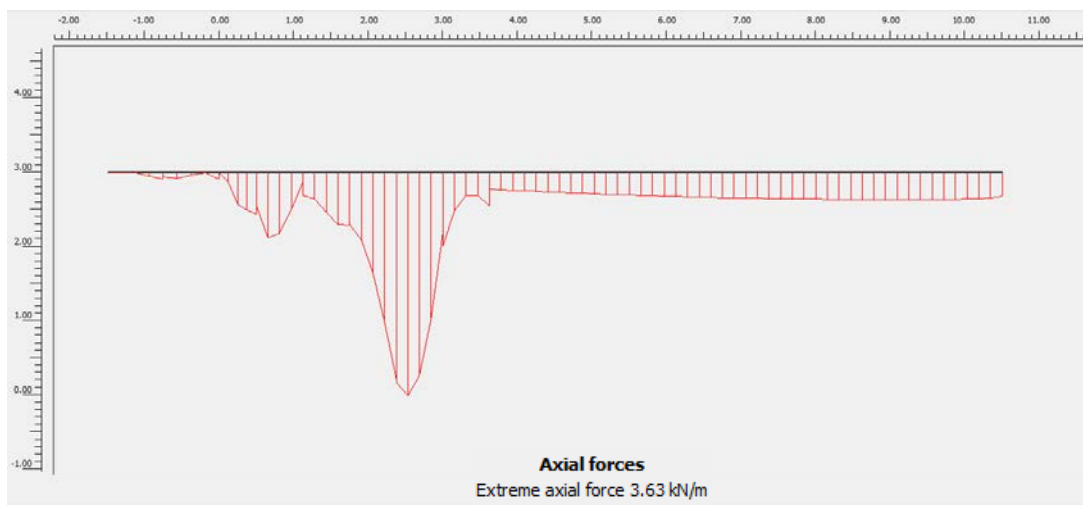
- Ανάλυση με τιμή μέτρου ελαστικότητας $E = 25.000 \text{ kN/m}^2$ για τα υλικά πλήρωσης του επιχώματος



Σχήμα 5-72 Παραμόρφωση γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής



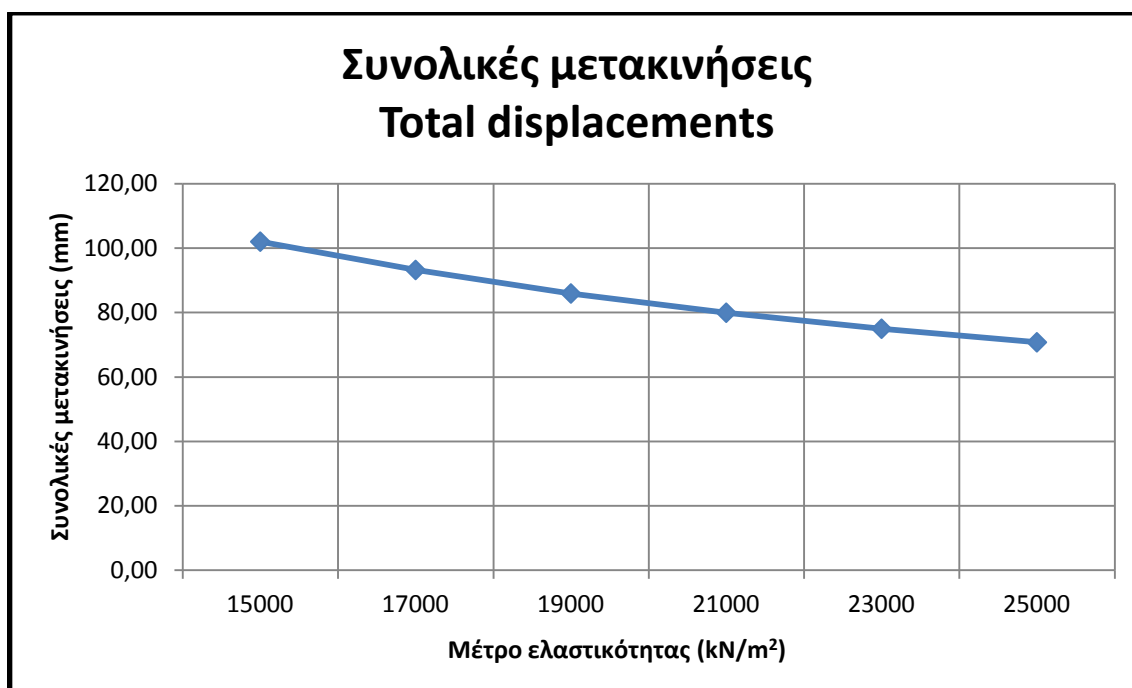
Σχήμα 5-73: Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος



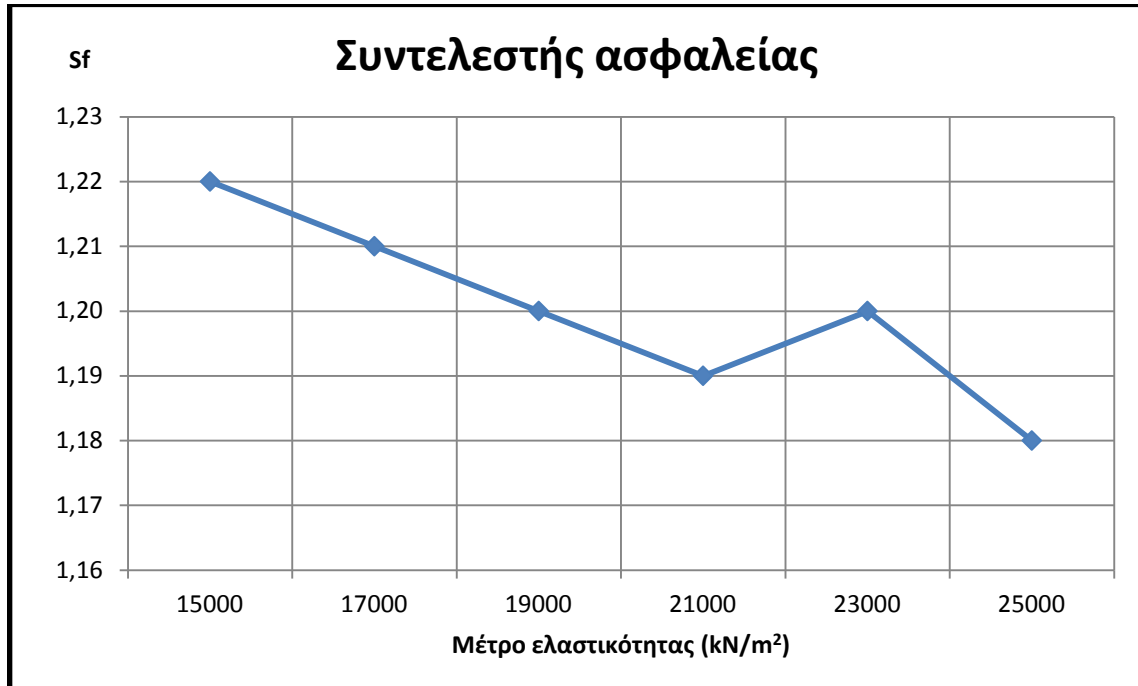
Σχήμα 5-74: Διάγραμμα αξονικών τάσεων του 2^{ου} συρματοπλέγματος από τη βάση του επιχώματος.

Πίνακας 5-75: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 5^{ης} ομάδας παραμετρικής ανάλυσης

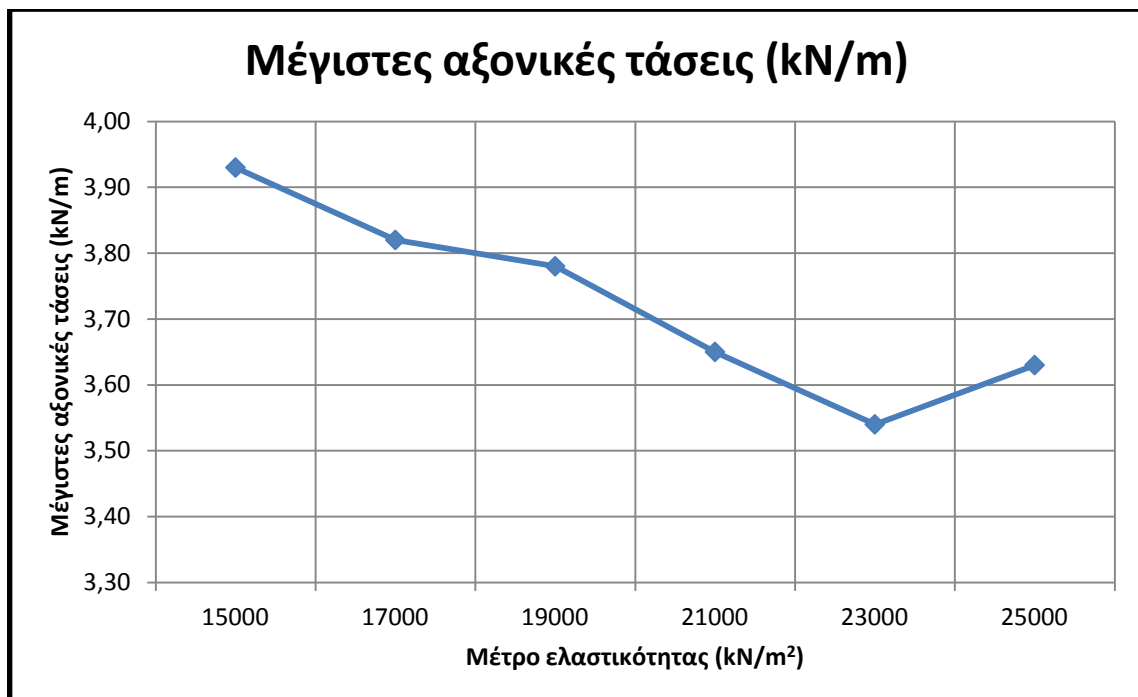
| Μέτρο ελαστικότητας (kN/m ²) | Συνολικές μετακινήσεις (mm) | Μέγιστες αξονικές τάσεις (kN/m) | Συντελεστής ασφαλείας |
|--|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| 15000 | 102.00 | 3.93 | 1.22 |
| 17000 | 93.21 | 3.82 | 1.21 |
| 19000 | 85.91 | 3.78 | 1.20 |
| 21000 | 79.94 | 3.65 | 1.19 |
| 23000 | 74.97 | 3.54 | 1.20 |
| 25000 | 70.76 | 3.63 | 1.18 |



Σχήμα 5-76: Γραφική παράσταση συνολικών μετακινήσεων σε συνάρτηση με την αύξηση του μέτρου ελαστικότητας



Σχήμα 5-77: Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας σε συνάρτηση με την αύξηση του μέτρου ελαστικότητας



Σχήμα 5-78: Γραφική παράσταση αξονικών τάσεων 2^{ου} συρματοπλέγματος από τη βάση του επιχώματος σε συνάρτηση με την αύξηση του μέτρου ελαστικότητας

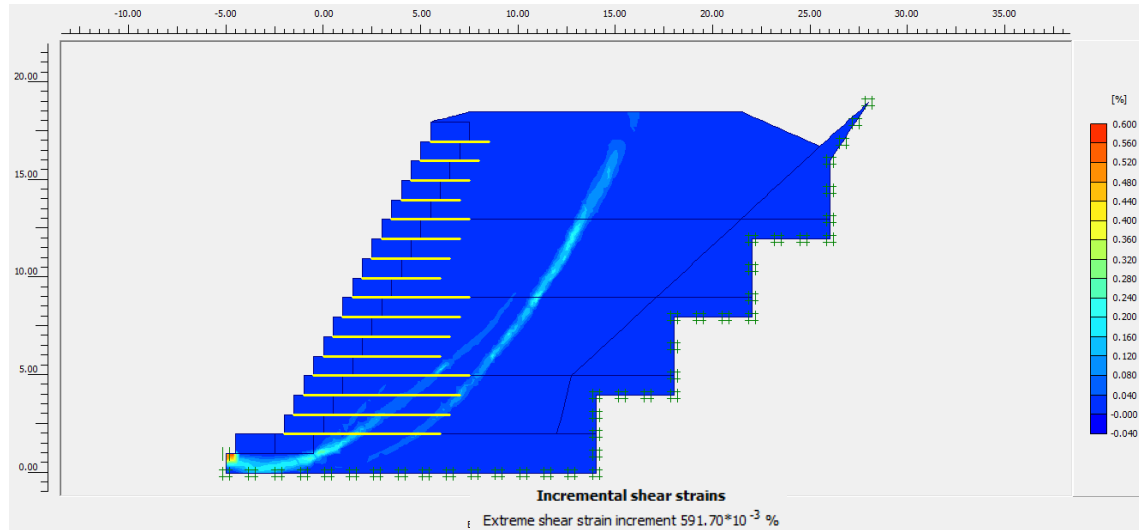
6^η ομάδα παραμετρικών αναλύσεων

Στην έκτη ομάδα παραμετρικών αναλύσεων, σκοπός είναι να αναδειχθεί η σημασία του μήκους των στοιχείων όπλισης του επιχώματος (συρματοπλεγμάτων) στην συνολική ευστάθεια του. Η παράμετρος σε αυτές τις επιλύσεις δεν είναι μόνο το μήκος οπλισμών αλλά και η γωνία εσωτερικής τριβής (ϕ). Πραγματοποιούνται επιλύσεις σε τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις. Οι πρώτες δύο περιπτώσεις περιλαμβάνουν μειωμένα συρματοπλέγματα κατά δύο και τέσσερα μέτρα και οι υπόλοιπες δύο περιλαμβάνουν συρματοπλέγματα αυξημένα κατά δύο και τέσσερα μέτρα αντίστοιχα. Οι τροποποιήσεις στα συρματοπλέγματα (αύξηση και μείωση) εφαρμόζονται στο επίχωμα αναφοράς (Κεφ 5.2). Κατά την ολοκλήρωση των επιλύσεων θα αναδειχθεί η σημασία του μήκους των οπλισμών στη διαμόρφωση του συντελεστή ασφαλείας. Επίσης θα γίνει και σύγκριση των αποτελεσμάτων με το επίχωμα αναφοράς.

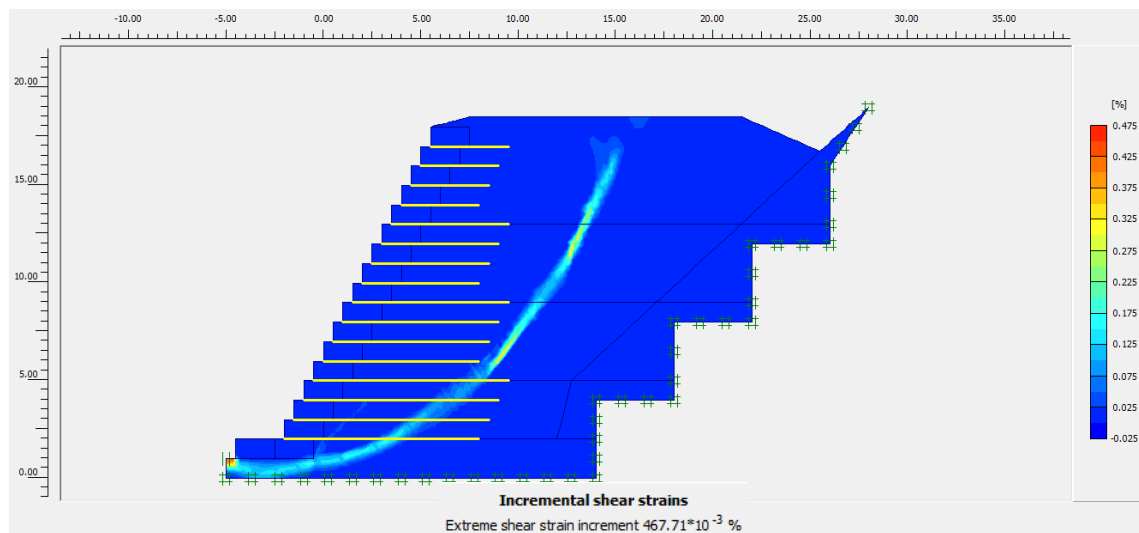
Κατά την εκτέλεση των αναλύσεων δημιουργήθηκε μία αστοχία στην πρώτη περίπτωση (οπλισμοί μειωμένοι κατά 4 μέτρα) όπου η γωνία εσωτερικής τριβής ήταν $\phi = 25^\circ$. Εκδηλώθηκε με ζώνη διατμητικής αστάθειας που εμφανιζόταν στη βάση του επιχώματος και εξελισσόταν έως τη στέψη του (Σχήμα 5-73).

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών είναι φανερό ότι κατά την αύξηση της τιμής της γωνίας εσωτερικής τριβής ο συντελεστής ασφαλείας παρουσίασε σημαντική αύξηση και στις τέσσερις περιπτώσεις αναλύσεων. Αυτό αναδεικνύει την συμβολή του μεγέθους αυτού στην ευστάθεια του επιχώματος.

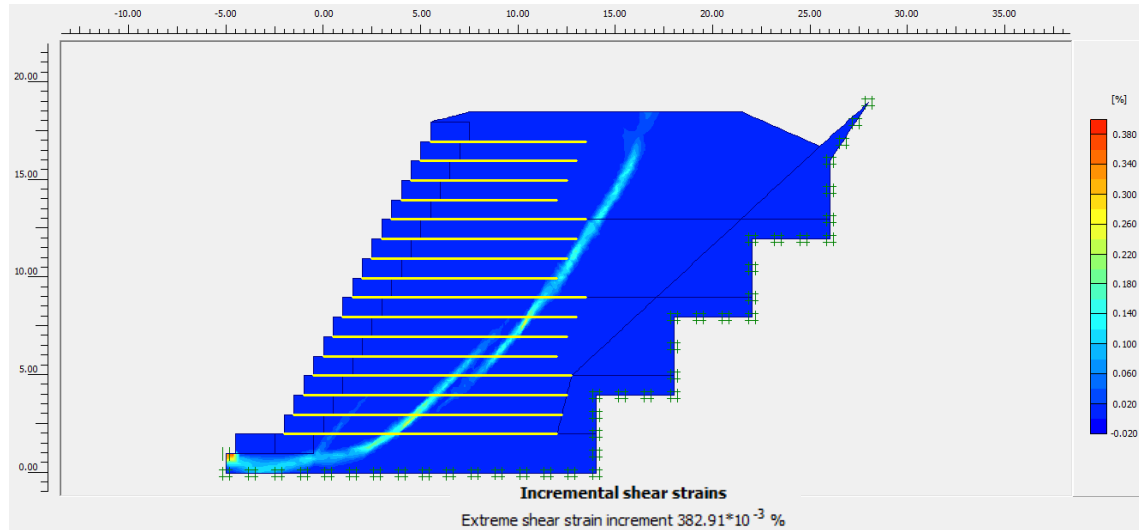
Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των υπολογισμών μεταξύ τους, εξάγεται ένα ακόμα συμπέρασμα. Στις περιπτώσεις που η μεταβαλλόμενη παράμετρος είναι το μήκος των στοιχείων οπλισμού, ο συντελεστής ασφαλείας δεν μεταβάλλεται σημαντικά. Δηλαδή κατά την αύξηση του μήκους των οπλισμών ο συντελεστής ασφαλείας παρουσιάζει μικρή μεταβολή μεταξύ των τιμών 1.18 και 1.20. Το συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι το μήκος των οπλισμών δεν επιδρά σημαντικά στην διαμόρφωση του συντελεστή ασφαλείας.



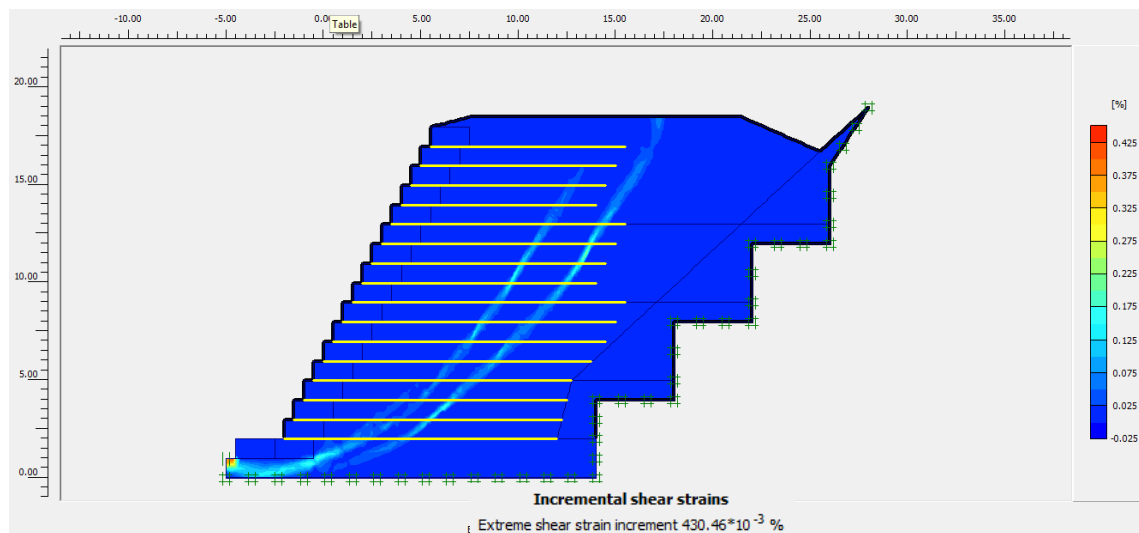
Σχήμα 5-73: Αποτύπωση επιφάνειας αστοχίας επιχώματος με $\phi=25^\circ$ και μεταβολή μήκους οπλισμών (-)4 μέτρα



Σχήμα 5-74: Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με $\phi=35^\circ$ και μεταβολή μήκους οπλισμών (-)2 μέτρα



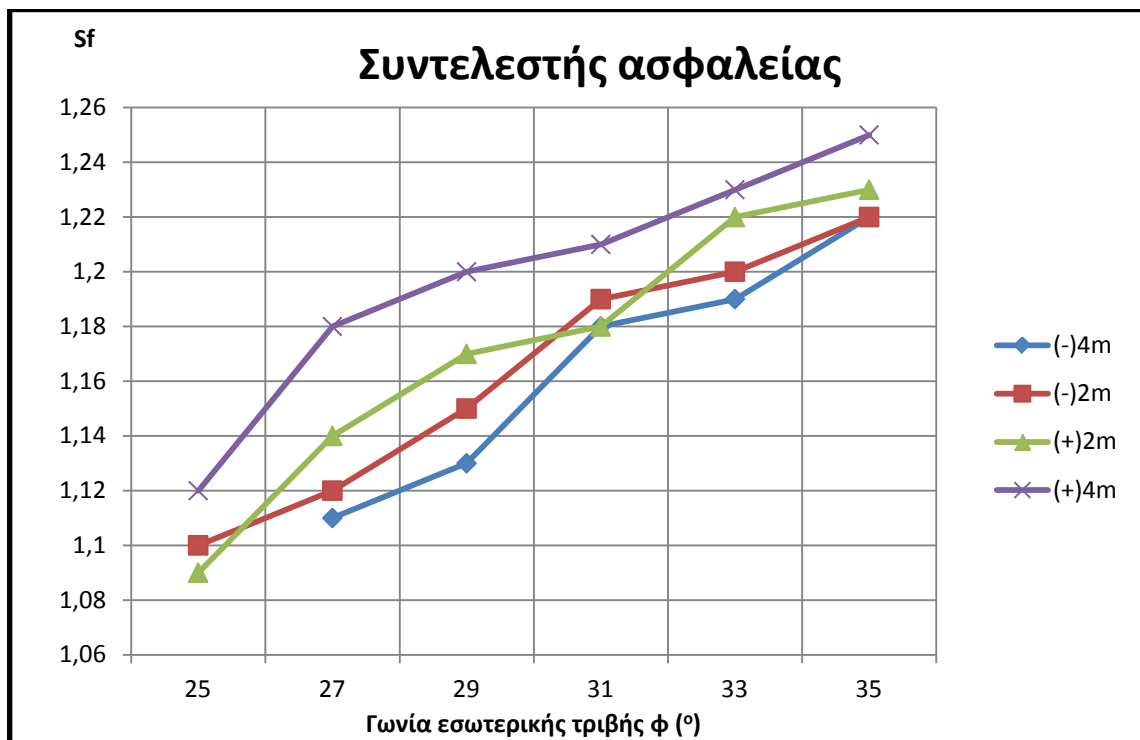
Σχήμα 5-75: Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με $\phi=35^\circ$ και μεταβολή μήκους οπλισμών (+)2 μέτρα



Σχήμα 5-76: Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με $\phi=35^\circ$ και μεταβολή μήκους οπλισμών (+)4 μέτρα

Πίνακας 5-75: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 6^{ης} ομάδας παραμετρικών αναλύσεων

| Γωνία εσωτερικής τριβής (φ°) | Μεταβολή μήκους οπλισμού και αντίστοιχος συντελεστής ασφαλείας | | | |
|------------------------------|--|-------|-------|-------|
| | (-)4m | (-)2m | (+)2m | (+)4m |
| 25° | <1.00 | 1.10 | 1.09 | 1.12 |
| 27° | 1.11 | 1.12 | 1.14 | 1.18 |
| 29° | 1.13 | 1.15 | 1.17 | 1.20 |
| 31° | 1.18 | 1.19 | 1.18 | 1.21 |
| 33° | 1.19 | 1.20 | 1.22 | 1.23 |
| 35° | 1.22 | 1.22 | 1.23 | 1.25 |



Σχήμα 5-76: Διάγραμμα μεταβολής συντελεστή ασφαλείας σε συνάρτηση με τη μεταβολή του μήκους οπλισμού.

Κεφάλαιο 6

[Συμπεράσματα]

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα συμπεράσματα των παραμετρικών αναλύσεων που προέκυψαν στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

Μελετώντας τα αποτελέσματα των αναλύσεων εξάγονται τα εξής συμπεράσματα :

Παρατηρείται ότι οι μετακινήσεις στις αναλύσεις με το άοπλο επίχωμα (Κεφ 5.2) δε παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές από αυτές σε εκείνο με οπλισμό (Κεφ 5.1). Ως εκ τούτου συμπεραίνεται ότι η χρήση οπλισμών συμβάλει στην αύξηση του συντελεστή ασφαλείας αλλά δε συνεισφέρει τόσο στη μείωση των μετακινήσεων. Επίσης είναι κατανοητό ότι όταν το επίχωμα δομείται από αδρομερή υλικά τα οποία μπορεί να έχουν γωνία εσωτερικής τριβής της τάξης των $\phi=30^\circ$, μπορεί να ευσταθεί και χωρίς την χρήση οπλισμού με χαμηλό συντελεστή ασφαλείας $S_f=1.13$ (Κεφ 5.2)

Στην 3^η ομάδα παραμετρικών αναλύσεων εξετάστηκε η επιρροή της γωνίας εσωτερικής τριβής. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δείχνουν ότι οι μετακινήσεις παρουσιάζουν μικρή μεταβολή κατά την αύξηση της τιμής της γωνίας εσωτερικής τριβής αντίθετα ο συντελεστής σημείωσε σημαντική αύξηση (από 1.11 σε 1.24). Άρα όπως αναμένονταν η γωνία εσωτερικής τριβής καθορίζει την διατμητική αντοχή του υλικού και ως εκ τούτου αυξάνει τον συντελεστή ασφαλείας. Για την επίτευξη τιμών του συντελεστή ασφαλείας μεγαλύτερων του 1.2 προκύπτει ότι απαιτείται η χρήση αμμώδους υλικού με γωνία τριβής κατ ελάχιστο 30° .

Στην 4^η ομάδα παραμετρικών αναλύσεων εξετάστηκε η επιρροή του αριθμού των στοιχείων όπλισης στην ευστάθεια του επιχώματος και σε συνάρτηση με τη γωνία εσωτερικής τριβής. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι κατά την μείωση των οπλισμών αυξήθηκαν ελάχιστα οι μετατοπίσεις. Ενώ ο συντελεστής ασφαλείας διαμορφώθηκε σε χαμηλότερα επίπεδα (1.11 έως 1.20).

Για την επίτευξη τιμών του συντελεστή ασφαλείας μεγαλύτερων του 1.2 με αραιότερη διάταξη οπλισμού προκύπτει ότι απαιτείται η χρήση αμμοχάλικου προκειμένου να εξασφαλιστεί ελάχιστη τιμή της γωνίας εσωτερικής τριβής ίση με 35° .

Στην 5^η ομάδα παραμετρικών αναλύσεων εξετάστηκε η επιρροή του μέτρου ελαστικότητας στην ευστάθεια του επιχώματος . Οι μετατοπίσεις αυξήθηκαν αρκετά σημαντικά (102 χιλ.) όταν θεωρήθηκε υλικό πλήρωσης του επιχώματος με μέτρο ελαστικότητας 15.000 kN/m^2 . Η παρατήρηση αυτή επιβεβαιώνει ότι η τιμή του

μέτρου ελαστικότητας και κατά συνέπεια ο βαθμός συμπύκνωσης των υλικών του επιχώματος καθορίζει την παραμορφωσιμότητα του σώματος.

Στην 6^η ομάδα παραμετρικών αναλύσεων εξετάστηκε η επιρροή της μεταβολής του μήκους των οπλισμών στην ευστάθεια του επιχώματος. Ο συντελεστής ασφαλείας δε μεταβλήθηκε σημαντικά τόσο κατά την αύξηση όσο και κατά την μείωση του μήκους των συρματοπλεγμάτων. Για την επίτευξη τιμών του συντελεστή ασφαλείας μεγαλύτερων του 1.2 θα πρέπει το υλικό πλήρωσης του επιχώματος να είναι αμμώδες με γωνία εσωτερικής τριβής ίση με 30° . Σε περιπτώσεις που δεν είναι τιμής της γωνίας είναι κάτω από 30° θα πρέπει να αυξηθεί το μήκος του οπλισμού κατά 4 μέτρα

Βιβλιογραφία

Εφραιμίδης Χ., Αργυριάδη Δ. (2009). Οριστική μελέτη οπλισμένων επιχωμάτων E27 και E28 από Χ.Θ. 18+440 έως 18+730 κάθετου άξονα 75: Κομοτηνή –Νυμφαία-Ελληνοβουλγαρικά σύνορα. Δημοσίευτη τεχνική έκθεση, σελ 26.

Σημαιοφορίδης Δ., Νεράντζης Θ., Ασπρατζής Α. (2006). Τεχνική περιγραφή κάθετου άξονα 75: Κομοτηνή –Νυμφαία-Ελληνοβουλγαρικά σύνορα. Δημοσίευτη τεχνική έκθεση ,σελ 27

Νάσκος Ν. (2007). Οπλισμένα επιχώματα-Στοιχεία σχεδιασμού, κατασκευής και ελέγχων ευστάθειας, σελ 24.

Ρόζος Δ. (2007). Μέθοδοι Βελτίωσης-Αντιστήριξης Εδάφους-Υπεδάφους, εκδόσεις ΕΜΠ, σελ.241

Λουπασάκης Κ. (2012). Σειρά διαφανειών μαθήματος Μέθοδοι Βελτίωσης-Αντιστήριξης Εδάφους-Υπεδάφους.

Brinkgreve R.B.J (2002). Plaxis 2D manual-general information, Delft University of Technology & PLAXIS , The Netherlands. 16pp.

Πανταζής Ε., (2011). Στατική και δυναμική επίλυση πρανών με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Διπλωματική εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π. Αθήνα. Σελ. 162.

Ιστότοποι

www.geognosi.gr

www.panmetal.gr

www.egnatia.gr

www.maccaferri.com

www.odotechniki.com