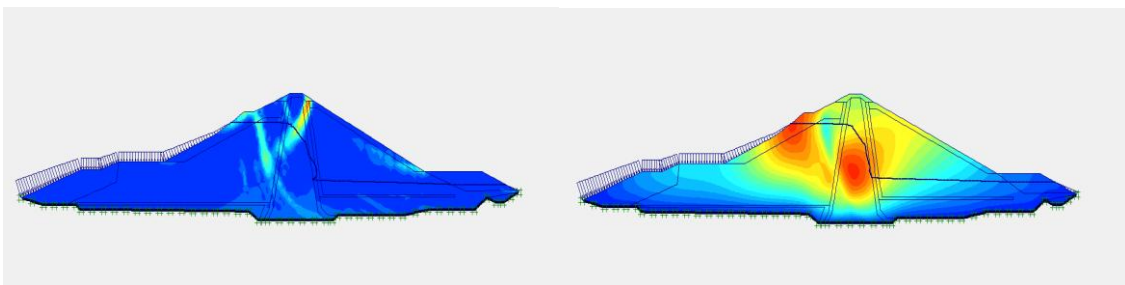




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

Διπλωματική εργασία :

Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων. Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.



Φοιτητής : Πηλιχός Αναστάσιος

Επιβλέπων καθηγητής : κ.Λουπασάκης Κωνσταντίνος

ΑΘΗΝΑ , Οκτώβριος 2015

Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.

Επιβλέπων: Λουπασάκης Κωνσταντίνος
Επίκουρος Καθηγητής

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

Λουπασάκης Κωνσταντίνος ,Επίκουρος Καθηγητής
(Υπογραφή).....

Ροντογιάννη Θεοδώρα, Καθηγήτρια
(Υπογραφή).....

Μπενάρδος Ανδρέας , Επίκουρος Καθηγητής
(Υπογραφή).....

Ευχαριστίες

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

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ.Μαρονικολάκη Σ., τον κ.Στεφασαδούρο Μ., τον κ.Αντωνακόπουλο Κ. και την κα.Παπαχαντζάκη Χ. ,πολιτικούς μηχανικούς της Διεύθυνσης Ανάπτυξης Υδροηλεκτρικών Έργων της ΔΕΗ για την πολύτιμη βοήθειά τους, στην παροχή πληροφοριών όσον αφορά το έργο του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.

Τέλος, την παρούσα διπλωματική, αφιερώνω στους φίλους μου, που είναι πάντα δίπλα μου και στην οικογένειά μου, την οποία ευχαριστώ για την κατανόηση και την ηθική στήριξη, που μου προσφέρει, όλα αυτά τα χρόνια στη διάρκεια των σπουδών μου και στη ζωή μου.

Περίληψη

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

Ο τίτλος της διατριβής είναι:

Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.

Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας ,του σώματος του φράγματος του Ιλαρίωνα. Πραγματοποιούνται παραμετρικές αναλύσεις, που περιλαμβάνουν γεωμετρικές παρεμβάσεις στην αρχική γεωμετρία του φράγματος. Στη συνέχεια εξάγονται τα αποτελέσματα.

Για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής κάναμε απλοποιήσεις στην αρχική πολύπλοκη γεωμετρία του φράγματος, ενώ τα μηχανικά χαρακτηριστικά του εδάφους που χρησιμοποιήσαμε ήταν περίπου ίδια, με τα πραγματικά. Το υπολογιστικό εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για την διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας του φράγματος, είναι το Plaxis 2D. Το Plaxis 2D είναι ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων που είναι ειδικό για γεωτεχνικά έργα.

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία διαρθρώνεται σε 6 κεφάλαια:

Στο **πρώτο κεφάλαιο**, όπου αποτελεί την εισαγωγή, περιγράφεται ο σκοπός της διπλωματικής, γίνεται συνοπτική περιγραφή ολόκληρου του έργου. Στο **δεύτερο κεφάλαιο** της διπλωματικής αναφέρονται όλα εκείνα τα στοιχεία που απαιτούνται για την πλήρη περιγραφή του έργου. Στο **τρίτο κεφάλαιο**, περιγράφεται η γεωτεκτονική δομή της Πελαγονικής ζώνης, που φιλοξενεί το σύνολο των επιφανειακών και υπόγειων έργων του ΥΗΕ Ηλαρίωνα. Στο **τέταρτο κεφάλαιο**, γίνεται η περιγραφή του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων Plaxis 2D ,το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση των παραμετρικών αναλύσεων. Στο **πέμπτο κεφάλαιο** πραγματοποιούνται οι παραμετρικές αναλύσεις, όπως επίσης εικόνες και διαγράμματα των συνολικών μετακινήσεων και των συντελεστών ασφαλείας. Στο **έκτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και γίνεται ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων των παραμετρικών αναλύσεων.

Abstract

The present Diploma thesis was drawn up for the purposes of the Undergraduate Studies Program in the Department of Mining Engineering - Metallurgy of the National Technical University of Athens and it was completed in September 2015 under the supervision of Mr. K. Loupasakis, Assistant Professor in the sector of Geological Sciences of the Department.

The thesis title is:

Parametric analysis on the stability conditions of earth dams.

The example of the Hydroelectric Station of Hilarion Dam.

The main purpose of this Diploma thesis is to investigate the stability conditions of the Hilarion's dam main structure. The results of this research are exported by performing parametric analyzes as well as geometric interventions in the initial geometry of the dam. Moreover, for the purposes of this paper ,simplifications to the original complex geometry of the dam have been made in contrast with the mechanical characteristics of the soil, which are the same as the real. The computational tool which is used to investigate the stability of the dam is named Plaxis 2D. Plaxis 2D is a finite element program ideal for geotechnical works.

This research is structured in six chapters:

In the first chapter, which is the introduction of the thesis, the purpose and a concise description of the project are included. **The second chapter** refers to all the required elements needed for the complete description of the project. **The third chapter** describes the geotectonic structure of Pelagonian zone, home to all the surface and underground infrastructures of *the Hydroelectric Station of Hilarion Dam*. **In the fourth chapter** is the description of the Plaxis 2D program, which was used to perform the parametric analyzes. **The fifth chapter** includes the carried out parametric analyzes, as well as images and charts of all movements and safety factors. **The sixth chapter** describes the findings and discuss the results of the above-mentioned parametric analyzes.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1(Εισαγωγή).....	σελ.7
Κεφάλαιο 2(Περιγραφή του χωμάτινου φράγματος του ΥΗΕ Ιλαρίωνα).....	σελ.10
2.1(Εισαγωγή).....	σελ.10
2.2(Προδιαγραφές των ζωνών του φράγματος).....	σελ.15
2.3(Επιμέρους έργα του ΥΗΕ Ιλαρίωνα).....	σελ.19
2.4.(Σύστημα παρακολούθησης και εποπτείας του φράγματος του Ιλαρίωνα κατά τη διάρκεια της κατασκευής-όργανα μέτρησης).....	σελ.23
Κεφάλαιο 3(Γεωλογία της ευρύτερης και της στενής περιοχής του έργου).....	σελ.28
3.1(Μορφολογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής του έργου).....	σελ.28
3.2(Γεωλογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής του έργου).....	σελ.29
3.3(Γεωλογική δομή της στενής περιοχής του έργου).....	σελ.30
3.4(Κίνηση υπογείου νερού).....	σελ.36
3.5(Σεισμικότητα).....	σελ.38
Κεφάλαιο 4(Διαδικασία προσομοίωσης του φράγματος).....	σελ.39
4.1(Εισαγωγή).....	σελ.39
4.2(Μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων και Plaxis 2D).....	σελ.41
4.3(Τα υποπρογράμματα του Plaxis 2D).....	σελ.43
Κεφάλαιο 5(Παραμετρικές αναλύσεις).....	σελ.63
5.1(Πρώτη σειρά παραμετρικών αναλύσεων).....	σελ.64
5.2(Δεύτερη σειρά παραμετρικών αναλύσεων).....	σελ.80
5.3(Τρίτη σειρά παραμετρικών αναλύσεων).....	σελ.96
Κεφάλαιο 6(Συμπεράσματα).....	σελ.103
6.1(Βιβλιογραφία-Ιστότοποι).....	σελ.105

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η πραγματοποίηση παραμετρικών αναλύσεων επί των συνθηκών ευστάθειας του φράγματος ΥΗΣ Ιλαρίωνα. Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας δεν είναι η απευθείας επίλυση του πραγματικού έργου, αλλά η χρήση των δεδομένων της μελέτης, έτσι ώστε να εκτελεστούν παραμετρικές δοκιμές. Η διερεύνηση αυτή πραγματοποιείται με τη χρήση των λεπτομερειακών στοιχείων, όπως η γεωμετρία του φράγματος και τα γεωλογικά χαρακτηριστικά του εδάφους, τα οποία παραχωρήθηκαν από τη ΔΕΗ.

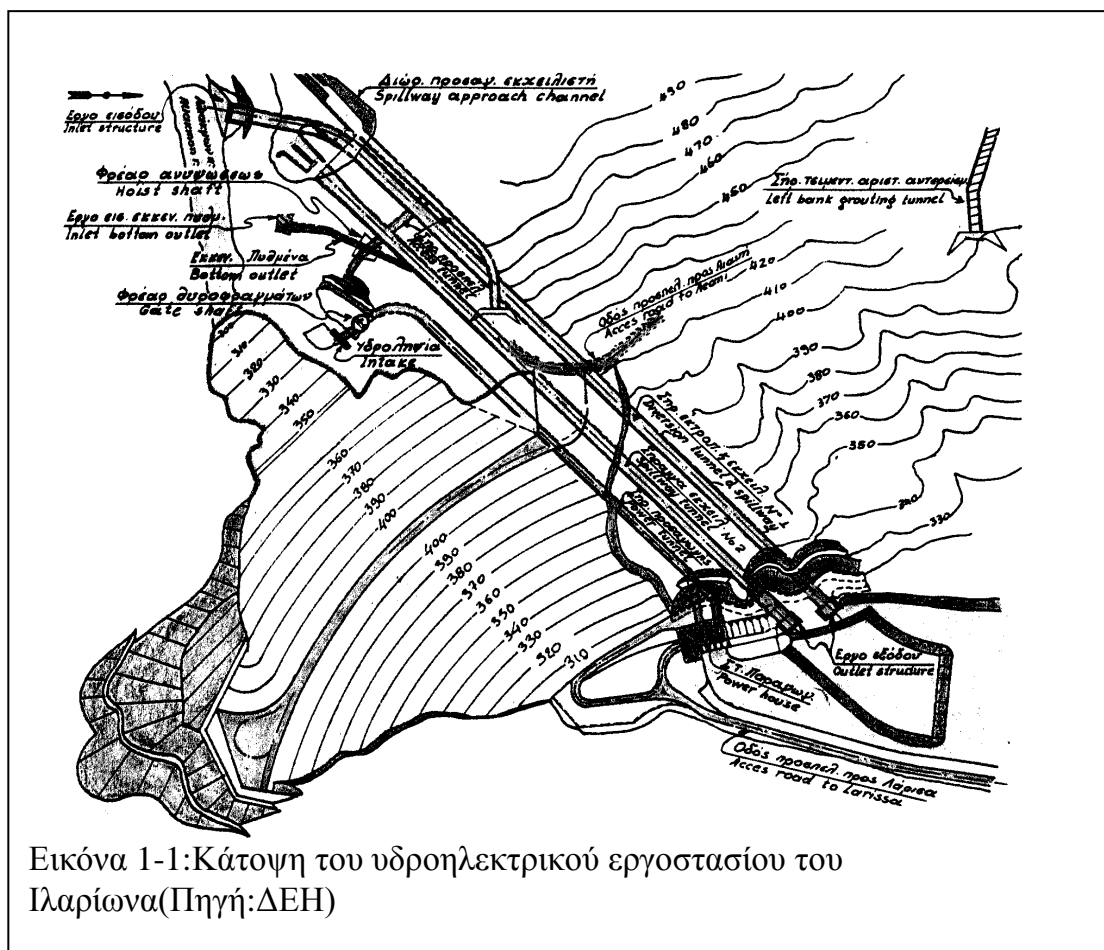
Το υδροηλεκτρικό εργοστάσιο του Ιλαρίωνα έχει κατασκευαστεί κατά μήκος του Αλιάκμονα ποταμού στα ανάντη της τεχνητής λίμνης του Πολυφύτου. Παρακάτω φαίνεται μια αεροφωτογραφία της ευρύτερης περιοχής του Ιλαρίωνα(Εικ. 1-2). Το συγκεκριμένο φράγμα αποτελεί την τελευταία ανάντη βαθμίδα των υδροηλεκτρικών εργοστασίων του Αλιάκμονα ποταμού.

Το ΥΗΕ Ιλαρίωνα γεωγραφικά τοποθετείται εντός των ορίων του νομού Κοζάνης. Πιο συγκεκριμένα βρίσκεται ΝΑ του χωριού Χρώμιο και ΝΝΔ της ιστορικής πόλης της Αιανής και του Ρυμνίου. Σε πολύ μικρή απόσταση από τη θέση θεμελίωσης του φράγματος βρίσκεται και η Ιερά Μονή του Αγίου Ιλαρίωνα από την οποία πήρε και το όνομά του το υδροηλεκτρικό εργοστάσιο.

Το ύψος της στέψης του φράγματος φτάνει τα 130 m, το μήκος στέψης φτάνει τα 550 m, ενώ ο μέγιστος όγκος αποταμίευσης του φράγματος είναι $520 \times 10^6 \text{ m}^3$. Ο ωφέλιμος όγκος αποταμίευσης στη λεκάνη κατάκλισης του φράγματος φτάνει τα $412 \times 10^6 \text{ m}^3$, ενώ ο σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχει εγκατεστημένη ισχύ 2X90 MW.

Όπως φαίνεται και στην κάτοψη της εικόνας 1-1, για τις ανάγκες του υδροηλεκτρικού εργοστασίου απαιτήθηκε η κατασκευή μεγάλου αριθμού υπόγειων έργων. Τα σημαντικότερα από τα έργα αυτά είναι η σήραγγα εκτροπής και εκχειλιστής Νο1, η σήραγγα εκχειλιστή Νο2, η σήραγγα προσαγωγής και η

σήραγγα τσιμεντενέσεων. Η σήραγγα εκτροπής και εκχειλιστής Νο1 είναι το μεγαλύτερο σε διαστάσεις υπόγειο έργο του ΥΗΕ Ιλαρίωνα. Το μήκος της σήραγγας είναι 763 m ενώ η κυκλική διατομή της έχει διάμετρο 14 m. Οι εργασίες διάνοιξης της σήραγγας άρχισαν τον Αύγουστο του 1991 και ολοκληρώθηκαν τον Αύγουστο του 1992.



Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.



Εικόνα 1-2: Αεροφωτογραφία της ευρύτερης περιοχής
(http://library.tee.gr/digital/m2380/m2380_papaioannou.pdf)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΧΩΜΑΤΙΝΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΥΗΣ ΙΛΑΡΙΩΝΑ

2.1.Εισαγωγή

Το φράγμα του Ιλαρίωνα είναι χωμάτινο καμπύλο ($R=500$ m), με κεντρικό αδιαπέρατο αργιλικό πυρήνα και σώματα στήριξης από αμμοχάλικα κοίτης. Το φράγμα έχει μέγιστο ύψος από το επίπεδο της θεμελίωσης 130 m, ενώ το μήκος της στέψης του είναι περίπου 565 m. Η στέψη του φράγματος έχει απόλυτο υψόμετρο +410,0 m και η Ανώτατη Στάθμη Λίμνης έχει τοποθετηθεί στο απόλυτο υψόμετρο +403,3 m, ενώ ο πυρήνας σταματά στο υψόμετρο +406,5 m. Τα πρανή του φράγματος έχουν κλίση 1:2,25 (κατακόρυφη :οριζόντια, $υ:β$) το ανάντη πρανές και 1:2 ($υ:β$) το κατόντη πρανές. Τα πρανή του πυρήνα του φράγματος έχουν κλίση 5:1 ($υ:β$)(Εικ.2-1).

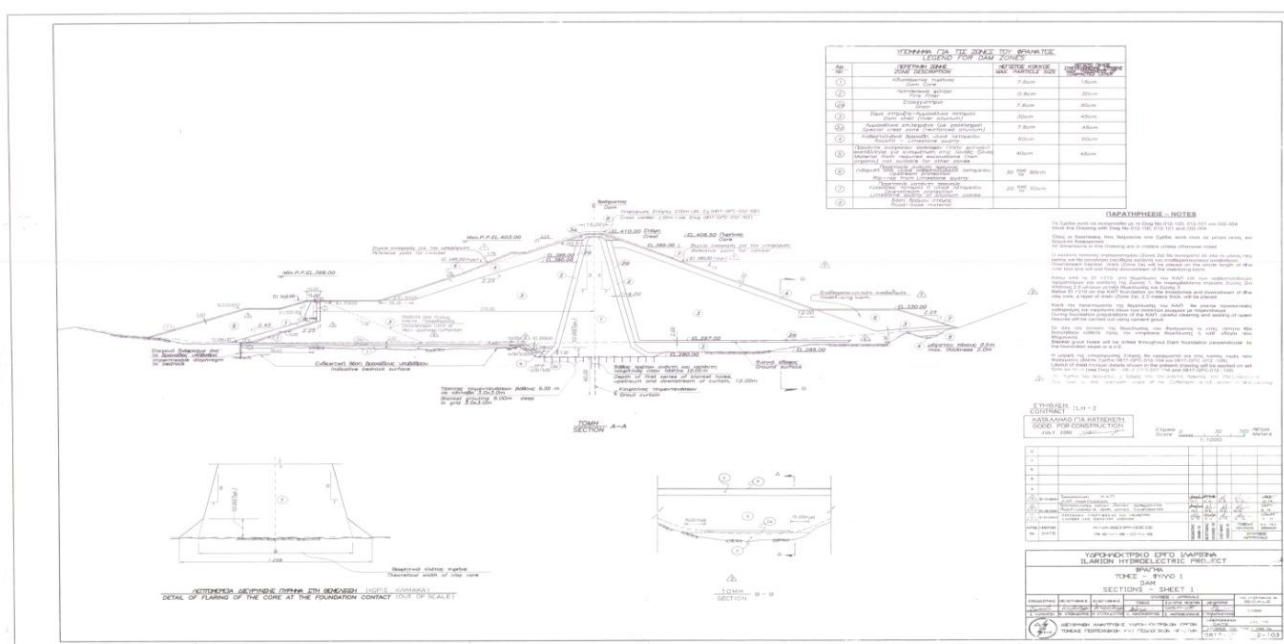
(Κωμοδρόμος κ.α,2006)

Το φράγμα εδράζεται στο μεγαλύτερο μέρος του σε φυλλίτες, ενώ ένα μικρότερο τμήμα του, στο ανάντη σώμα στήριξης εδράζεται σε κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους. Ανάμεσα στους παραπάνω βραχώδεις σχηματισμούς βρίσκεται μεταβατική ζώνη μικρού σχετικά πλάτους (εναλλαγές φυλλιτών - ασβεστόλιθων), η οποία οφείλεται στην επώθηση των ασβεστόλιθων επί των φυλλιτών. Ακόμη, μικρό τμήμα του φράγματος στο ανάντη σώμα στήριξης εδράζεται επί αλλουβιακών αποθέσεων.(Κλήμης κ.α,2006)

Το υδροηλεκτρικό έργο του Ιλαρίωνα αποτελεί αναπτυξιακό έργο πολλαπλού σκοπού, καθώς διασφαλίζει τα παρακάτω οφέλη:

- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 413 GWH το χρόνο.
- Απρόσκοπτη μελλοντική ύδρευση της πόλης της Θεσσαλονίκης από τον ποταμό Αλιάκμονα, καθώς και τις ανάγκες άρδευσης των πεδιάδων Ημαθίας, Πέλλας και Θεσσαλονίκης (περίπου 900.000 στρέμματα), διαθέτοντας μεγάλο όγκο νερού.
- Αποτέλεσε σημαντική επένδυση με δημιουργία θέσεων εργασίας καθ' όλη τη διάρκεια κατασκευής του και μόνιμων θέσεων στη συνέχεια για τη λειτουργία του

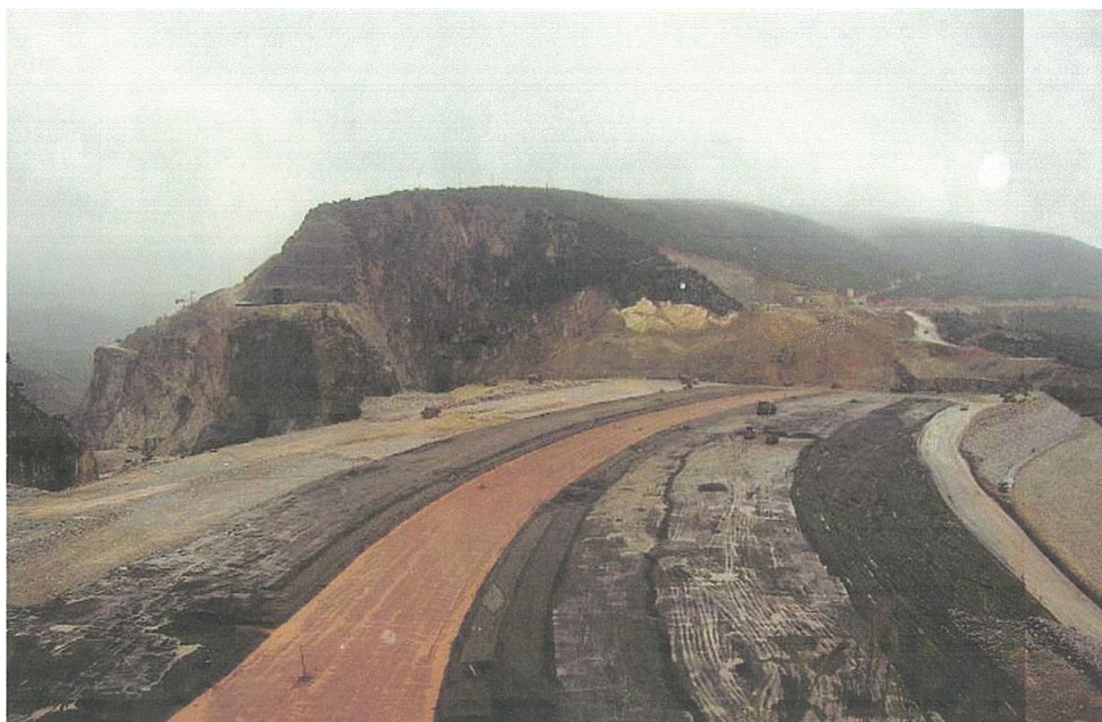
έργου, συμβάλλοντας στη μείωση της ανεργίας των νομών Κοζάνης και Γρεβενών.
-Εξασφαλίζει την σταθεροποίηση της στάθμης της λίμνης Πολυφύτου, μέσω εμπλουτισμού των υδροφόρων και δίνει την δυνατότητα τουριστικής αξιοποίησής της.
-Αναβαθμίζει περιβαλλοντικά το Δέλτα του ποταμού Αλιάκμονα με την εξασφάλιση σε ετήσια βάση 140 εκ. κ.μ. νερού στην κοίτη του ποταμού, καθώς και το τοπίο της λίμνης Πολυφύτου.



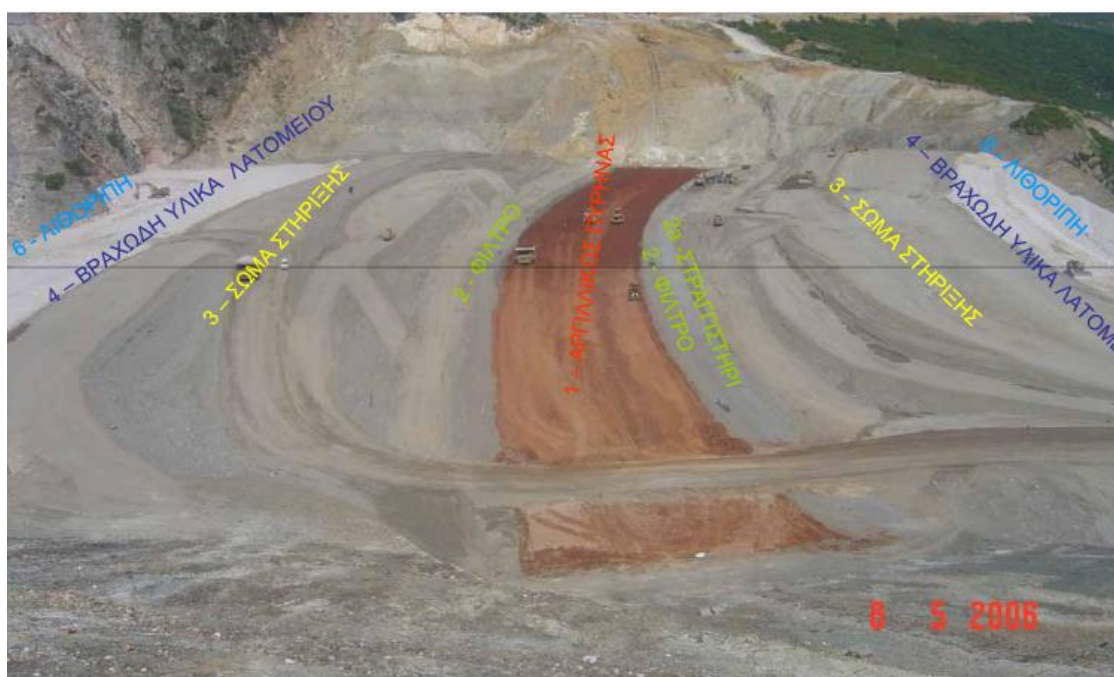
Εικόνα 2-1: Κεντρική διατομή του φράγματος(ΔΕΗ/ΔΑΥΕ,2002)

Ο όγκος των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν συνολικά για την κατασκευή του φράγματος είναι $5600 \times 10^3 \text{ m}^3$. Η έκταση του ταμιευτήρα είναι 21 km, ενώ η χωρητικότητά του είναι $520 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Λιάκουρης,1995). Στις παρακάτω φωτογραφίες φαίνεται αρχικά η κάτοψη του φράγματος (Εικ. 2-2) και στη συνέχεια η γενική διάταξη του έργου(Εικ.2-3) :

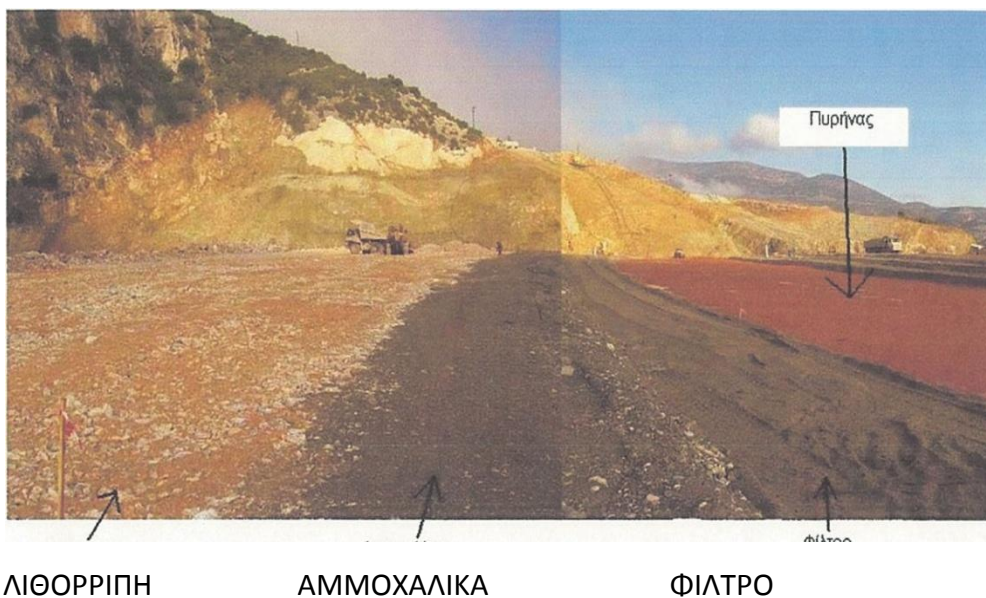
Στις παρακάτω φωτογραφίες(Εικ.2-4,εικ.2-5,εικ.2-6,εικ.2-7), φαίνονται οι ζώνες των γεωυλικών του φράγματος, όταν το φράγμα βρισκόταν υπό κατασκευή.



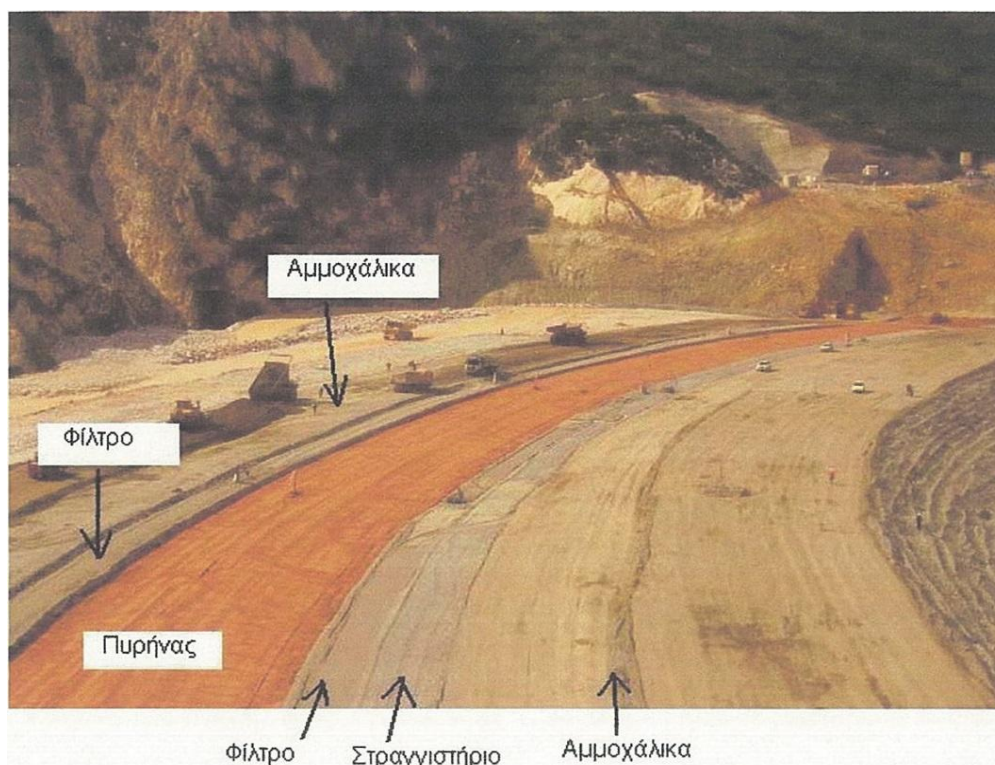
Εικόνα.2-4:Άποψη των ζωνών του φράγματος κατά την διάρκεια της κατασκευής, στο βάθος διακρίνεται το δεξί αντέρεισμα (Σεπτέμβριος 2006)(Πηγή:ΔΕΗ)



Εικόνα 2-5:Άποψη των ζωνών του φράγματος κατά την κατασκευή(Πηγή:ΔΕΗ)



Εικόνα 2-6: Άποψη των ζωνών του φράγματος.(Σεπτέμβριος 2006) (Πηγή:ΔΕΗ)



Εικόνα 2-7 : Άποψη των ζωνών του φράγματος.(Σεπτέμβριος 2006)(Πηγή:ΔΕΗ)

Η τοποθέτηση των υλικών στις διάφορες ζώνες του φράγματος γίνεται κατά τρόπο τέτοιο ώστε το φίλτρο και το στραγγιστήριο να βρίσκονται σε επίπεδο ψηλότερα από τον πυρήνα, όπως φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία(Εικ.2-8). Αυτό γίνεται, για να ελέγχεται το πάχος του φίλτρου και του στραγγιστηριού και

για να αποφεύγεται ο κίνδυνος διάβρωσης των γειτονικών ζωνών προς το φίλτρο ή το στραγγιστήριο.



Εικόνα 2-8: Το επίπεδο του φίλτρου και του στραγγιστηρίου βρίσκεται πιο ψηλά από το επίπεδο του πυρήνα(Σεπτέμβριος 2006)(Πηγή:ΔΕΗ)

2.2.Προδιαγραφές των ζωνών του φράγματος

Οι προδιαγραφές, τα χαρακτηριστικά και οι κατασκευαστικές οδηγίες για τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις ζώνες του φράγματος είναι οι εξής(Ergotest,2004):

1)Αργιλικός πυρήνας

Το υλικό που χρησιμοποιείται στον αργιλικό πυρήνα προέρχεται από το δανειοθάλαμο, που βρίσκεται 1 km κατάντη του φράγματος. Προδιαγραφές της αργίλου:

- Μέγιστη διάμετρος κόκκου 7,6 cm
- PI>10%
- Οργανικό κλάσμα <3%
- Συμπύκνωση >98% κατά Proctor
- Ποσοστό υγρασίας +2%, - 1% της βέλτιστης
- Περισσότερο από το 40% του υλικού πρέπει να διέρχεται του κόσκινου No200
- Περισσότερο από το 70% του υλικού πρέπει να διέρχεται του κόσκινου No70

Το πάχος της ζώνης της αργίλου δεν πρέπει να ξεπερνά τα 0,20 m πριν τη συμπύκνωση. Η συμπύκνωση πραγματοποιείται με 12 διελεύσεις «κατσικοπόδαρου» ή και οδοντωτού οδοστρωτήρα (tamping roller) και το υλικό διαβρέχεται για να διατηρείται στην επιθυμητή υγρασία.

Στο παρακάτω πίνακα(2-1), παρατηρείται ο μέγιστος κόκκος και το μέγιστο πλάτος συμπύκνωσης στρώσης για τις διάφορες ζώνες του φράγματος:

Πίνακας(2-1):Προδιαγραφές συμπύκνωσης των υλικών των ζωνών του φράγματος:

<u>ΥΠΟΜΝΗΜΑ 1(ΓΙΑ ΤΙΣ ΖΩΝΕΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ)(ΔΕΗ/ΔΑΥΕ)</u>			
<u>ΑΡ.</u>	<u>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΖΩΝΗΣ</u>	<u>ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΚΟΚΚΟΣ</u>	<u>ΜΕΓΙΣΤΟ ΠΑΧΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΕΝΗΣ ΣΤΡΩΣΗΣ</u>
<u>1</u>	<u>Αδιαπέρατος πυρήνας</u>	<u>7.6 cm</u>	<u>15 cm</u>
<u>2</u>	<u>Λεπτόκοκκο φίλτρο</u>	<u>0.9 cm</u>	<u>30 cm</u>
<u>2^α</u>	<u>Στραγγιστήριο</u>	<u>7.6 cm</u>	<u>30 cm</u>
<u>3</u>	<u>Σώμα στήριξης - Αμμοχάλικα ποταμού</u>	<u>30 cm</u>	<u>45 cm</u>
<u>3^α</u>	<u>Αμμοχάλικα επιλεγμένα (με γεώπλεγμα)</u>	<u>7.6 cm</u>	<u>45 cm</u>
<u>4</u>	<u>Ασβεστολιθικά βραχώδη υλικά λατομείου</u>	<u>60 cm</u>	<u>90 cm</u>
<u>5</u>	<u>Προϊόντα αναγκαίων εκσκαφών (πλην φυτικών) ακατάλληλα για</u>	<u>40 cm</u>	<u>45 cm</u>
<u>6</u>	<u>Προστασία ανάντη πρανούς Λιθορριπή από υλικά</u>	<u>30 έως 90 cm</u>	
<u>7</u>	<u>Προστασία κατόντη πρανούς Κροκάλες ποταμού ή υλικά</u>	<u>20 έως 50 cm</u>	
<u>8</u>	<u>Βάση δρόμου στέψης</u>		

2)Φίλτρα

Για τα φίλτρα χρησιμοποιούνται αλλουβιακές αποθέσεις του ποταμού που λαμβάνονται από την περιοχή που εκτείνεται από 2 έως 6,5 km κατόντη του φράγματος. Οι προδιαγραφές για τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

-Μέγιστη διάμετρος κόκκου 0,90cm

-D60/D10< 8

-Λιγότερο από το 4% του υλικού να διέρχεται από το κόσκινο No200

- 10 - 45% του υλικού να διέρχεται από το κόσκινο Νο40

Το πάχος της ζώνης του φίλτρου δεν πρέπει να ξεπερνά τα 0,30 m μετά τη συμπύκνωση. Η συμπύκνωση επιτυγχάνεται με 2 διελεύσεις δονητικού οδοστρωτήρα χωρίς την εφαρμογή δόνησης.

3)Στραγγιστήρια

Για τα στραγγιστήρια χρησιμοποιούνται αλλουβιακές αποθέσεις του ποταμού που λαμβάνονται από την περιοχή που εκτείνεται από 2 έως 6,5 km κατάντη του φράγματος. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι σύμφωνα με τις παρακάτω προδιαγραφές:

- Μέγιστη διάμετρος κόκκου 7,6 cm

-Καλή διαβάθμιση, ομαλή καμπύλη κοκκομετρικής διαβάθμισης

-Λιγότερο από το 3% του υλικού να διέρχεται από το κόσκινο Νο40

-Λιγότερο από το 1% του υλικού να διέρχεται από το κόσκινο Νο200

Το πάχος της ζώνης του στραγγιστηριού δεν πρέπει να ξεπερνά τα 0,30 m μετά τη συμπύκνωση. Η συμπύκνωση επιτυγχάνεται με 2 διελεύσεις δονητικού οδοστρωτήρα χωρίς την εφαρμογή δόνησης.

4)Σώματα στήριξης (ζώνη 3)

Για τη ζώνη 3 χρησιμοποιούνται αλλουβιακές αποθέσεις του ποταμού που λαμβάνονται από την περιοχή που εκτείνεται από 2 έως 6,5 km κατάντη του φράγματος. Τα υλικά πρέπει να ικανοποιούν τις παρακάτω απαιτήσεις:

-Μέγιστη διάμετρος κόκκου 30 cm

-Λιγότερο από το 5% του υλικού να διέρχεται από το κόσκινο Νο200

-Λιγότερο από το 50% του υλικού να διέρχεται από το κόσκινο Νο4

Το πάχος της ζώνης 3 δεν πρέπει να ξεπερνά τα 0,45 m μετά τη συμπύκνωση. Η συμπύκνωση πραγματοποιείται με δύο διελεύσεις του δονητικού οδοστρωτήρα και το υλικό δε διαβρέχεται.

5)Σώματα στήριξης (ζώνη 4)

Τα υλικά για τη ζώνη 4 λαμβάνονται από το λατομείο ή αποτελούν προϊόντα εκσκαφών που πραγματοποιούνται για τις ανάγκες του έργου. Οι προδιαγραφές για τα υλικά της ζώνης αυτής είναι οι εξής:

- Μέγιστη διάμετρος κόκκου 60 cm
- Λιγότερο από το 3% του υλικού να διέρχεται από το κόσκινο Νο200
- Λιγότερο από το 40% του υλικού να διέρχεται από το κόσκινο 1"

Το πάχος της ζώνης 4 δεν πρέπει να ξεπερνά τα 0,90 m μετά τη συμπύκνωση. Η συμπύκνωση πραγματοποιείται με δύο διελεύσεις του δονητικού οδοστρωτήρα και το υλικό διαβρέχεται (200 kgf νερού / m³ εδάφους).

6)Πρόφραγμα - Σταθεροποιητικό ανάχωμα

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη ζώνη αυτή είναι υλικά αναγκαίων εκσκαφών. Οι προδιαγραφές τους είναι οι εξής:

- Μεγίστη διάμετρος κόκκου 40 cm
- Απουσία οργανικών εδαφών

Το πάχος της ζώνης αυτής δεν πρέπει να ξεπερνά τα 0,45 m μετά τη συμπύκνωση. Η συμπύκνωση πραγματοποιείται με 6 διελεύσεις του δονητικού οδοστρωτήρα και το υλικό δε διαβρέχεται.

7)Rip – Rap

Χρησιμοποιούνται υλικά λατομείου ή προϊόντα αναγκαίων εκσκαφών. Η διάμετρος κόκκου κυμαίνεται μεταξύ 30 και 90 cm.

8)Προστασία πρανών

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται προέρχονται από το λατομείο και η διάμετρος κόκκου είναι μεταξύ 20 και 50 cm.

Οι γεωτεχνικές παράμετροι σχεδιασμού των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στις διάφορες ζώνες του φράγματος, παρουσιάζονται στον πίνακα(2-2):

Πίνακας(2-2): Γεωτεχνικές παράμετροι σχεδιασμού των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στις διάφορες ζώνες(ΔΕΗ/ΔΑΥΕ):

ΖΩΝΗ	$\gamma_{\text{moist}}(\text{kN/m}^2)$	$\gamma_{\text{sat}}(\text{kN/m}^2)$	$\phi'(^{\circ})$	$c^T (\text{kPa})$	$\phi_u(^{\circ})$	$c_u (\text{kPa})$
Αδιαπέρατος Πυρήνας	21	21,5	23	0	11	50
Φίλτρο– Στραγγιστήριο	18	18,5	35	0	-	-
Αμμοχάλικα Στήριξης	23,5	24	40	0	-	-
Λιθορριπή από Προϊόντα αναγκαίων	21,5	22	45	0	-	-
Αμμοχάλικα Ποταμού	20	21	23	10	-	-
Βραχώδες Υπόβαθρο	22,5	23,5	28	0	-	-
	26	26,5	27	100	-	-

Υπόμνημα 2:

γ_{moist} : υγρό φαινόμενο βάρος του υλικού της ζώνης

γ_{sat} : κορεσμένο φαινόμενο βάρος του υλικού της ζώνης

ϕ' : ενεργός τιμή της γωνίας τριβής των υλικών της ζώνης

c' : ενεργός τιμή της συνοχής των υλικών της ζώνης

ϕ_u : ολική τιμή της γωνίας τριβής των υλικών της ζώνης

c_u : ολική τιμή της συνοχής των υλικών της ζώνης

2.3.Επιμέρους έργα του ΥΗΣ Ιλαρίωνα

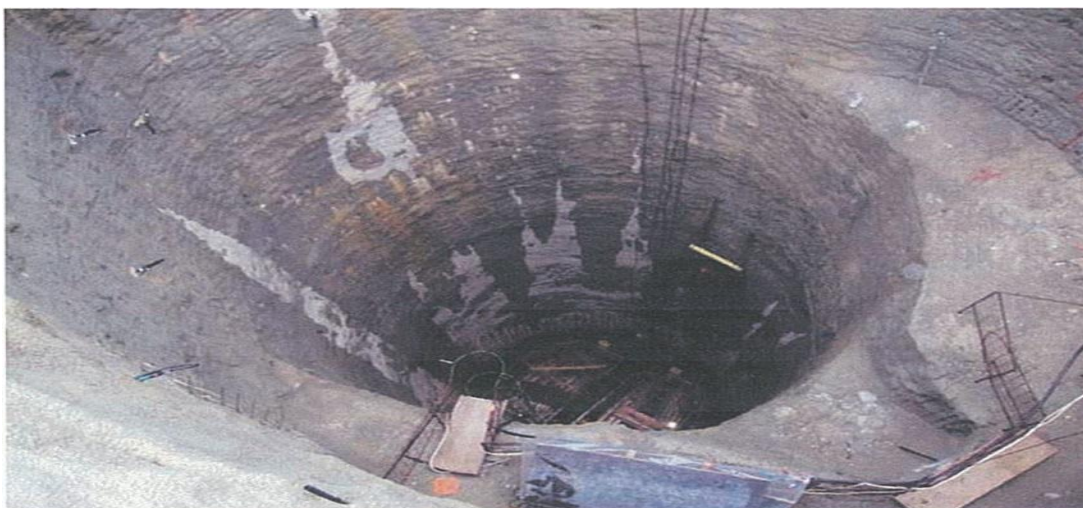
Όλα τα βασικά επιμέρους έργα του υδροηλεκτρικού σταθμού (ΥΗΣ) Ιλαρίωνα (σήραγγα εκτροπής, εκκενωτής πυθμένα, εκχειλιστής, σύστημα παραγωγής), τοποθετούνται στην αριστερή όχθη του ποταμού. Η σήραγγα εκτροπής έχει διάμετρο 12 m, συνολικό μήκος 761 m και παροχετευτικότητα 2770 m³/sec. Μέρος αυτής θα χρησιμοποιηθεί και ως εκχειλιστής. Ο

εκχειλιστής, ο οποίος αποτελείται από δύο σήραγγες, έχει σχεδιαστεί με θυροφράγματα και διάταξη εκτόξευσης και έχει μέγιστη παροχευτικότητα $6205 \text{ m}^3 / \text{sec}$. Στην παρακάτω φωτογραφία(Εικ.2-9) φαίνεται η μία από τις δύο σήραγγες του εκχειλιστή:



Εικόνα 2-9: Σήραγγα εκχειλιστή (Σεπτέμβριος 2006) (Πηγή:ΔΕΗ)

Ο εκκενωτής πυθμένα, ο οποίος είναι σήραγγα συνολικού μήκους περίπου 740 m, αποτελείται από τμήμα μήκους 310 m με επένδυση από σκυρόδεμα, διαμέτρου 4 m και τμήμα μήκους 430 m με χαλύβδινη επένδυση διαμέτρου 3 m. Το σύστημα προσαγωγής περιλαμβάνει το έργο της υδροληψίας, τη σήραγγα προσαγωγής συνολικού μήκους περίπου 550 m, εκ των οποίων τα 300 m έχουν χαλύβδινη επένδυση και το φρέαρ θυροφραγμάτων που έχει ύψος περίπου 50 m και φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία(Εικ.2-10), κατά την κατασκευή του:



Εικόνα 2-10: Φρέαρ θυροφραγμάτων (Σεπτέμβριος 2006)(Πηγή:ΔΕΗ)

Στις παρακάτω φωτογραφίες(Εικ.2-11,εικ.2-12) φαίνονται τα υπό κατασκευή θυροφράγματα:



Εικόνα 2-11: Θυροφράγματα-Λήψη από πάνω(Πηγή:ΔΕΗ)



Εικόνα 2-12: Θυροφράγματα – Λήψη από μπροστινό μέρος (Πηγή:ΔΕΗ)

Ο σταθμός παραγωγής, ο οποίος τοποθετείται στον πόδα του φράγματος, είναι υπαίθριος και στεγάζει δύο μονάδες μετά στροβίλων τύπου Francis καθώς και τον υπόλοιπο κύριο και βοηθητικό Η/Μ εξοπλισμό. Ο υπό κατασκευή σταθμός φαίνεται στις παρακάτω φωτογραφίες(Εικ.2-13,εικ.2-14):



Εικόνα 2-13: Ο υπό κατασκευή υποσταθμός (Σεπτέμβριος 2006) (Πηγή:ΔΕΗ)



Εικόνα 2-14: Ο υπό κατασκευή υποσταθμός (Σεπτέμβριος 2006) (Πηγή:ΔΕΗ)

Ο υποσταθμός έχει τοποθετηθεί κατάντη του φράγματος, στην δεξιά όχθη του ποταμού, ενώ ένας μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός έχει τοποθετηθεί στον πόδα του φράγματος για την εξασφάλιση συνεχούς ελάχιστης παροχής στην κοίτη του ποταμού για περιβαλλοντικούς λόγους.

2.4. Σύστημα παρακολούθησης και εποπτείας του φράγματος του Ιλαρίωνα κατά τη διάρκεια της κατασκευής-όργανα μέτρησης

Η ενόργανη παρακολούθηση των χωμάτινων φραγμάτων, έχει ως κύριο στόχο τη μελάτη απόκρισης των φραγμάτων στα επιβαλλόμενα στατικά και δυναμικά φορτία, προκειμένου να διαπιστωθεί αν συμπεριφέρονται σύμφωνα με τις προβλέψεις των αρχικών μελετών σχεδιασμού(DUNNCLIFF and GORDON 1988). Τα όργανα παρακολούθησης που εγκαθίσταται στα χωμάτινα φράγματα, μπορούν να διακριθούν ανάλογα με τη θέση τοποθέτησής τους, σε τρεις κατηγορίες: στα όργανα των αντερεισμάτων, στα όργανα του υδροηλεκτρικού σταθμού και των συνοδών έργων και στα όργανα του σώματος του φράγματος. Τα όργανα αυτά αποσκοπούν στην καταγραφή των οριζοντίων και κατακόρυφων του συνόλου του έργου και του γεωλογικού περιβάλλοντος θεμελίωσης της κατασκευής, στην παρακολούθηση των ρωών αλλά και στη μελέτη της απόκρισης του έργου στις δυναμικές φορτίσεις(π.χ σεισμικές δονήσεις, κυματισμός λεκάνης κατάκλυσης)(ΛΟΥΠΑΣΑΚΗΣ 2002). Στο υπό κατασκευή φράγμα του Ιλαρίωνα είχε εγκατασταθεί ένα πλήρες σύστημα παρακολούθησης και εποπτείας της συμπεριφοράς του φράγματος. Το σύστημα αυτό αποτελείται από τα εξής όργανα(ΔΕΗ/ΔΑΥΕ):

Για τη μέτρηση των πιέσεων πόρων:

- Ηλεκτρικά πιεζόμετρα (44 στο σώμα του φράγματος Pz και 26 στη θεμελίωση Pzf)
- Πιεζομετρικά φρέατα, απλά ή διπλά PW(23 στο κατάντη σώμα στήριξης του φράγματος και τα αντερείσματα)
- 1 πιεζόμετρο ανοιχτού τύπου PS(σε συνδυασμό με ένα ηλεκτρικό πιεζόμετρο)

Για τη μέτρηση των παραμορφώσεων - μετακινήσεων:

- Μάρτυρες επιφανειακών μετακινήσεων S (70)
- Συσκευές μέτρησης καθιζήσεων υδραυλικού τύπου SGH(13)
- Κλισιόμετρα L (13)
- Συνδυασμένο όργανο που λειτουργεί ως κλισιόμετρο και ως όργανο μέτρησης καθιζήσεων IDEL L+IS(14)
- Εξτενσιόμετρα πολλαπλών σημείων βράχου R (20)

Για τη μέτρηση των φορτίων στις κατασκευές:

- κύτταρα τάσεων για τη μέτρηση των τάσεων μέσω μέτρησης του φορτίου που

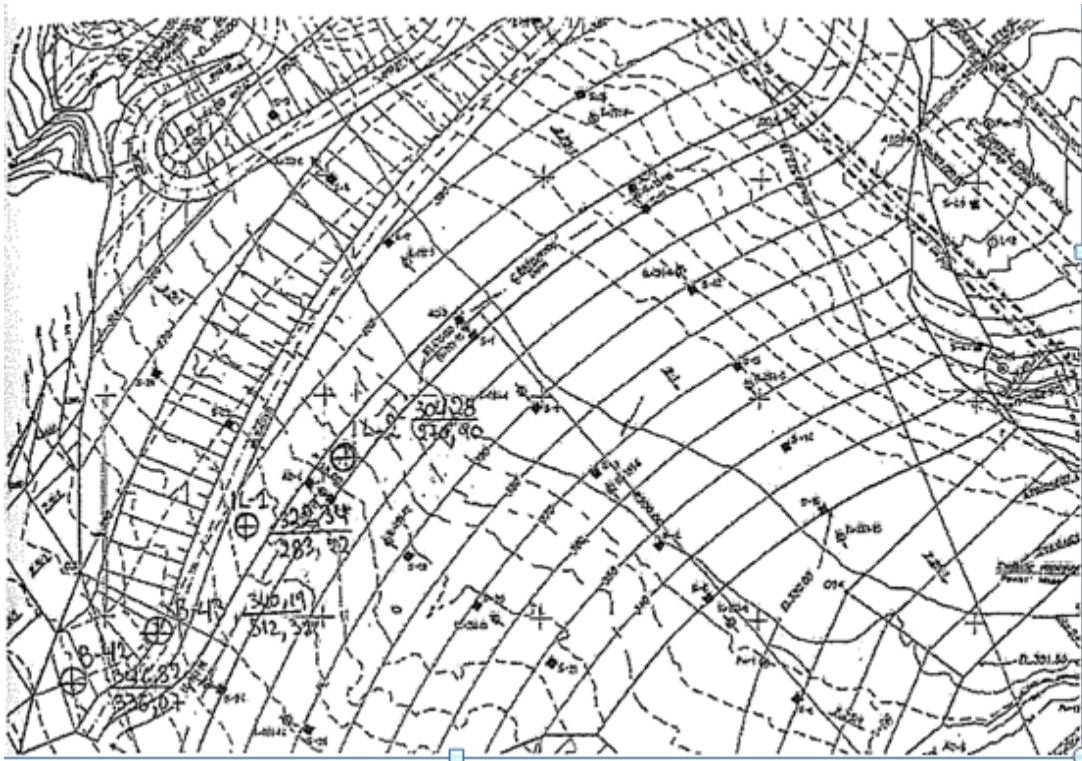
ασκείται στα πλαίσια LCS(3)

- κύτταρα τάσεων για τη μέτρηση του φορτίου των αγκυρίων LCA(10)

Για τη μέτρηση της δυναμικής απόκρισης σε ένα σεισμό:

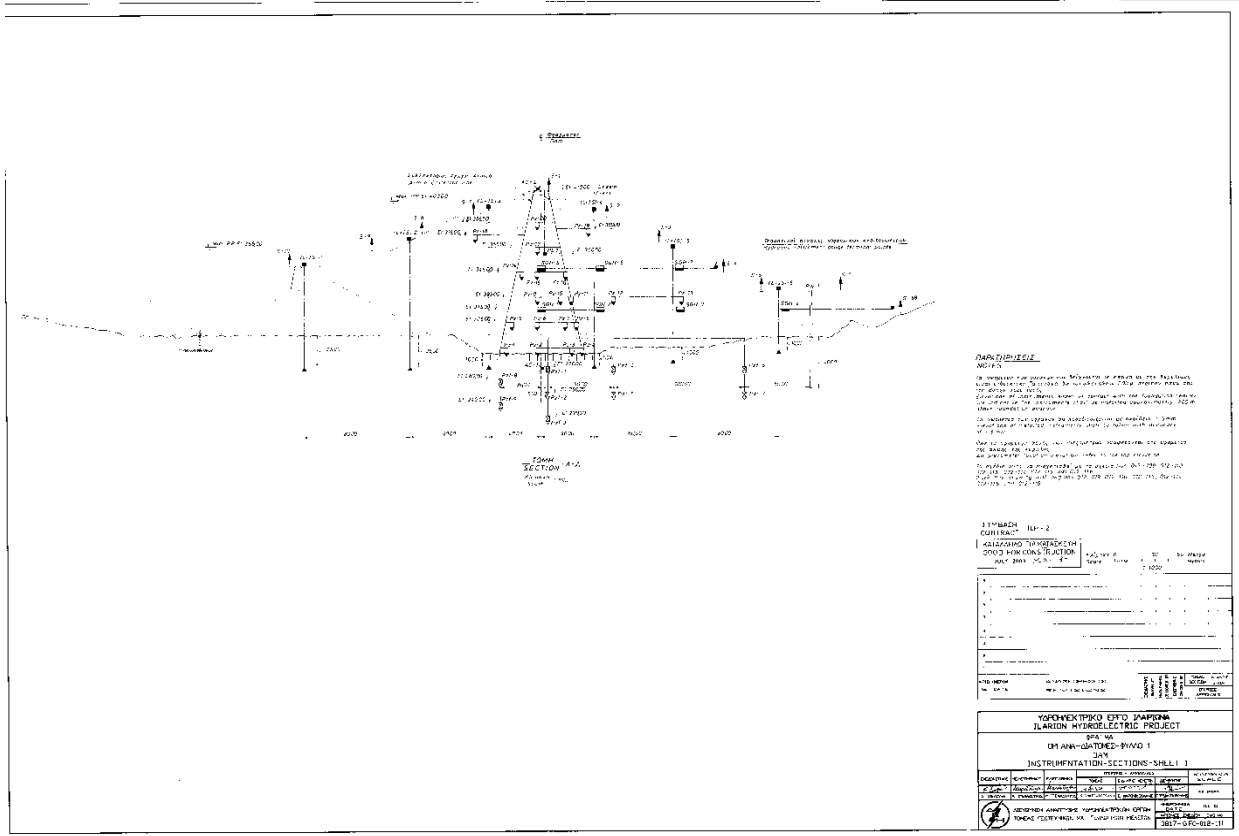
-Επιταχυνσιογράφοι Ac(6)

Στις παρακάτω φωτογραφίες(Εικ.2-15,εικ.2-16,εικ.2-17,εικ. 2-18) ,φαίνονται οι θέσεις των οργάνων στο φράγμα:



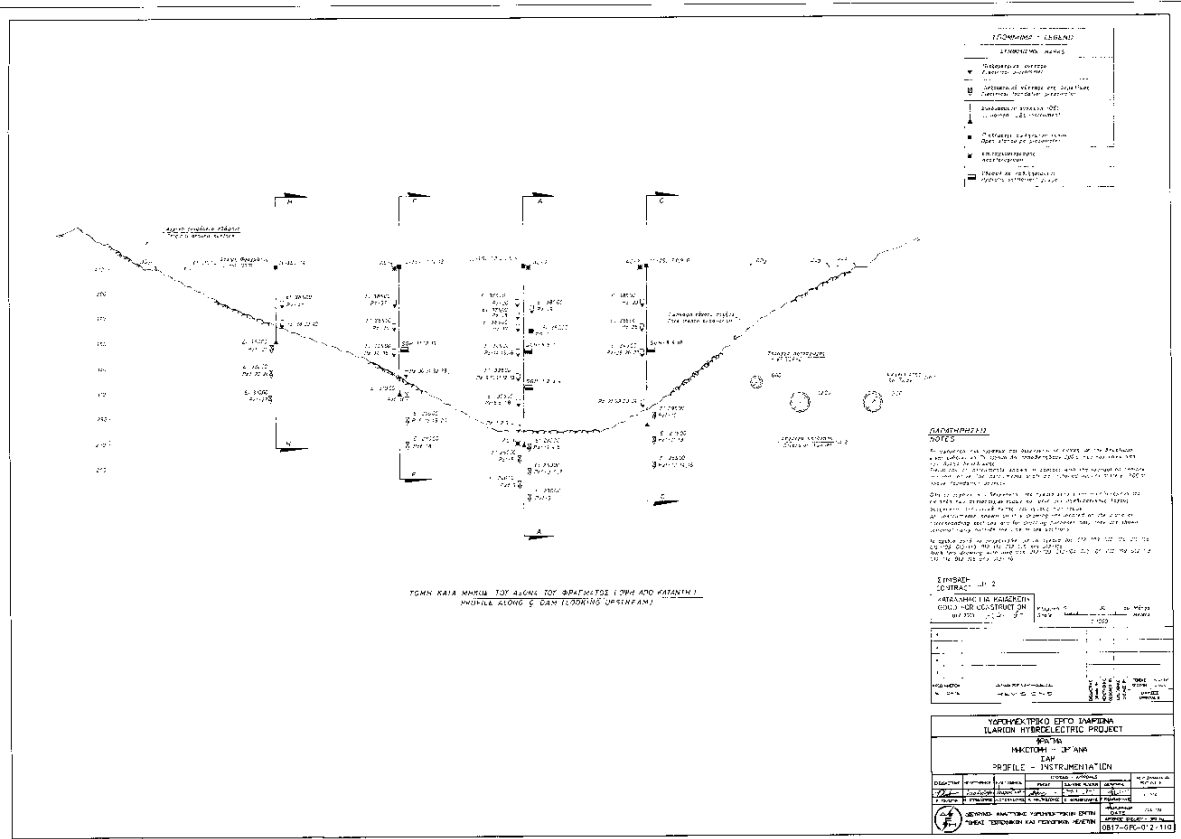
Εικόνα 2-15: Κάτοψη του φράγματος(Πηγή:ΔΕΗ)

Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.



Εικόνα 2-17: Κεντρική διατομή του φράγματος(ΔΕΗ/ΔΑΥΕ,2002)

Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος γωμάτινων φράγματων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.



Εικόνα 2-18: Μηκοτομή του φράγματος(ΔΕΗ/ΔΑΥΕ,2002)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:

ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

3.1.Μορφολογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής του έργου

Η ευρύτερη περιοχή του φράγματος και το πλέον κατάντη τμήμα του ταμιευτήρα χαρακτηρίζονται από σύνθετες μορφολογικές συνθήκες. Η κοιλάδα του Αλιάκμονα, η οποία στην περιοχή αυτή είναι νεαρής σχετικά ηλικίας, χαρακτηρίζεται σύμφωνα με γεωλογικά στοιχεία από ΔΕΗ/ΔΑΥΕ από απότομες έως πολύ απότομες κλίσεις στο ανάντη τμήμα (περιοχή υπερβασικών πετρωμάτων), από σχεδόν κατακόρυφα πρηνή στο μεσαίο τμήμα (περιοχή ασβεστόλιθων) και από μέτριες έως απότομες κλίσεις στο κατάντη τμήμα (περιοχή μεταβατικής ζώνης και φυλλιτών). Η διεύθυνση ροής του ποταμού στο ανάντη και κατάντη τμήμα της περιοχής είναι από νότο προς βορρά, ενώ στο μεσαίο τμήμα αυτή είναι από δυτικά προς ανατολικά. Η παραπάνω μαιανδρική μορφή της κοιλάδας του Αλιάκμονα οφείλεται σε τεκτονικά αίτια.

Ιδιαίτερα σύνθετες μορφολογικές συνθήκες επικρατούν στην περιοχή του αριστερού αντερείσματος, σύμφωνα με τα γεωλογικά στοιχεία από τη ΔΕΗ/ΔΑΥΕ. Το αντέρεισμα αυτό, το οποίο οριοθετείται από το ρέμα Χρωμίου στα ανάντη και από το κράσπεδο της λεκάνης Σερβίων στα κατάντη, έχει επίμηκες σχήμα με μήκος 3,0 χλμ. περίπου και πλάτος (στην ισοϋψή των 400 μ.) από 0,5 στα νοτιοανατολικά έως 1,7 χλμ. στα βορειοδυτικά. Οι κλίσεις του φυσικού εδάφους είναι απότομες έως πολύ απότομες στο ανάντη τμήμα του αντερείσματος(περιοχή ασβεστολίθων) και μέτριες έως απότομες στο κατάντη τμήμα του αντερείσματος(περιοχή μεταβατικής ζώνης, φυλλιτών και κροκαλοπαγών). Το κεντρικό τμήμα του αντερείσματος χαρακτηρίζεται από ήπιο έως πολύ ήπιο μορφολογικό ανάγλυφο(περιοχή κροκαλοπαγών).

Στην περιοχή του δεξιού αντερείσματος διακρίνονται επίσης τρεις μορφολογικές ενότητες(ΔΕΗ/ΔΑΥΕ):

Η πρώτη μορφολογική ενότητα, η οποία χαρακτηρίζεται από πολύ απότομες, τοπικά κατακόρυφες κλίσεις και έντονο ανάγλυφο, εντοπίζεται στο ανάντη τμήμα του αντερείσματος (περιοχή ασβεστόλιθων).

Η δεύτερη μορφολογική ενότητα, με μέτριες έως απότομες κλίσεις και σχετικά έντονο ανάγλυφο, εντοπίζεται στο κατάντη τμήμα του αντερείσματος (περιοχή φυλλιτών και μεταβατικής ζώνης).

Η τρίτη μορφολογική ενότητα, με ήπιο έως πολύ ήπιο μορφολογικό ανάγλυφο, εντοπίζεται στα υψηλότερα τμήματα του αντερείσματος (Πλειο-Πλειστοκαινικές αποθέσεις).

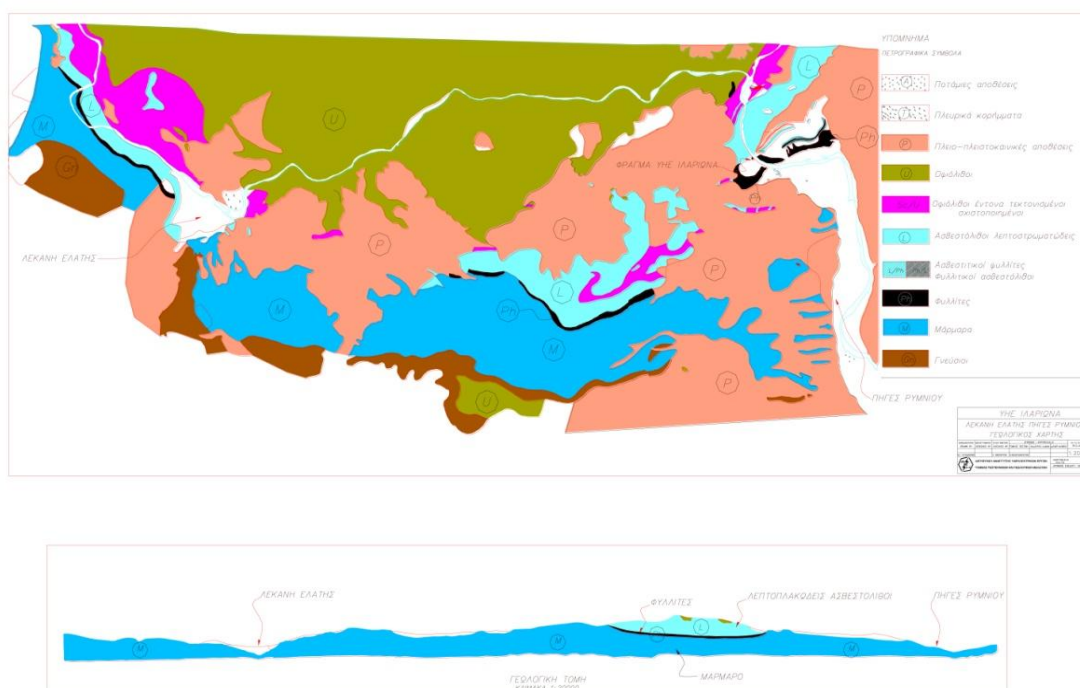
3.2.Γεωλογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής του έργου

Το Έργο κατασκευάζεται στο γεωτεκτονικό περιβάλλον της Πελαγονικής ζώνης. Στη γεωλογική δομή της ζώνης κατάληψη συμμετέχει ευρύ φάσμα γεωλογικών σχηματισμών, τόσο του Παλαιοζωικού προαλπικού υποβάθρου, όσο και του Μεσοζωικού αλπικού καλύμματος. Σημαντική συμμετοχή έχουν επίσης οι Τριτογενείς και κυρίως οι Τεταρτογενείς μεταλπικοί σχηματισμοί, καθώς και οι σύγχρονες αποθέσεις ποταμών, χειμάρρων και πλευρικών κορημάτων. Το προαλπικό μεταμορφωμένο υπόβαθρο της Πελαγονικής ζώνης εκπροσωπείται με Παλαιοζωικούς Γνευσιοσχιστόλιθους και Μαρμαρυγιακούς Σχιστόλιθους. Στο σύνολό τους είναι στεγανοί σχηματισμοί με σημαντική επίδραση στην υπόγεια υδροφορία και υδραυλική, της νότιας πλευράς του ταμιευτήρα. Στην ευρύτερη περιοχή του έργου αποτελούν ένα συνεχές στεγανό φράγμα, τόσο πλευρικά(νότια),όσο και κάτω από τη ζώνη των καρστικών μαρμάρων Βουνάσας-Τρανοβάλτου. Στους Αλπικούς σχηματισμούς της περιοχής του έργου περιλαμβάνονται τα Τριαδικά Μάρμαρα Βουνάσας-Τρανοβάλτου, οι Φυλλίτες του κάτω Ιουρασικού, οι Οφιόλιθοι του μέσου και άνω Ιουρασικού και οι Ασβαστόλιθοι του άνω Ιουρασικού-Κρητιδικού. Η Πελαγονική μάζα έχει επηρεασθεί από τεκτονική διαρρήξεων με ρήγματα, κέρατα, τάφρους, διαφορετικής ηλικίας τα οποία χρονικά τοποθετούνται από το Κρητιδικό και μετά. Ειδικότερα για την ευρύτερη περιοχή του

έργου η τεκτονική χαρακτηρίζεται από πολλά και μεγάλα ρήγματα. Τα μεγαλύτερα από αυτά αναπτύσσονται κατά μήκος της επαφής υλικών διαφορετικής φύσης.

Στην εικόνα 3-1, διακρίνεται ο γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του έργου:

ΕΠΟΠΤΙΚΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ



Εικόνα 3-1: Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του έργου
(http://www.evipar.org/innet/files/2o_EVIPAR_53_Karapantelakis.pdf)

3.3. Γεωλογική δομή της στενής περιοχής του έργου

Η ευρύτερη περιοχή του φράγματος δομείται από τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα της Πελαγονικής Γεωτεκτονικής ζώνης.

Περιγραφή των αυτών των σχηματισμών(ΔΕΗ/ΔΑΥΕ) :

(i) Οι φυλλίτες είναι μικρο-έως μεσοκρυσταλλικοί, γκρι ανοιχτού έως γκρι σκούρου χρώματος, με συχνές έως πολύ συχνές, καλά διαμορφωμένες, επιφάνειες σχιστότητας. Ορυκτολογικά οι φυλλίτες αποτελούνται από σερικίτη, χαλαζία και χλωρίτη. Συχνά συναντώνται χαλαζιακές φλέβες και κοίτες, οι οποίες κατά θέσεις αποκτούν σημαντικό μήκος και πάχος. Οι φυλλίτες του Ιλαρίωνα αποτελούν την επέκταση των αντίστοιχων φυλλιτών που εντοπίζονται στην περιοχή της Λεκάνης

Ελάτης με την διαφορά ότι το πάχος τους στην περιοχή Ιλαρίωνα είναι πολλαπλάσιο σε σχέση με την περιοχή της Λεκάνης Ελάτης. Οι φυλλίτες αυτοί, οι οποίοι δομούν το κατάντη τμήμα της ευρύτερης περιοχής του φράγματος, καλύπτονται από μεγάλο πάχος Πλειο-Πλειστοκαινικών αποθέσεων στα ανοιχτά του αριστερού αντερείσματος. Στην περιοχή αυτή, όπου εντοπίσθηκε η παλαιά κοίτη του Αλιάκμονα, η φυλλιτική βραχομάζα έχει διαβρωθεί σχεδόν μέχρι το υψόμετρο της σύγχρονης κοίτης του Αλιάκμονα. Τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά της φυλλιτικής βραχομάζας είναι πτωχά έως μέτρια, με πολύ μικρό ποσοστό R.Q.D. και μεγάλο αριθμό διαχωριστικών επιφανειών. Οι επιφάνειες σχιστότητας, οι οποίες αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των διαχωριστικών επιφανειών, είναι καλά διαμορφωμένες, επίπεδες έως ελαφρά κυματοειδείς και τοπικά μικροπτυχωμένες.

Η διαπερατότητα της υγιούς φυλλιτικής βραχομάζας είναι γενικά μικρή, κυμαίνεται από $K=10^{-5}$ cm/sec έως $K=10^{-7}$ cm/sec και μόνο στα επιφανειακά μέτρα όπου η βραχομάζα είναι χαλαρωμένη και αποσαθρωμένη, η διαπερατότητα είναι αυξημένη. Η στάθμη του υπόγειου νερού στην περιοχή των φυλλιτών εντοπίσθηκε σε σχετικά μικρό βάθος, ιδιαίτερα στα χαμηλότερα τμήματα των αντερείσμάτων.

(ii) Η μεταβατική ζώνη, η οποία εντοπίζεται ανάντη των φυλλιτών αποτελείται από εναλλαγές ασβεστόλιθων, φυλλιτών, φυλλιτικών ασβεστόλιθων και ασβεστιτικών φυλλιτών. Το εύρος της μεταβατικής ζώνης είναι σχετικά μικρό στην περιοχή του φράγματος και αυξάνει σημαντικά στα ανοιχτά του αριστερού αντερείσματος.

Η μεταβατική ζώνη διακόπτεται στα ανάντη από το ρήγμα του Ιλαρίωνα και βρίσκεται σε τεκτονική επαφή με την ασβεστολιθική μάζα. Πρώτον, οι φυλλίτες της μεταβατικής ζώνης έχουν όλα τα χαρακτηριστικά της κύριας φυλλιτικής μάζας, όπως μικρό ποσοστό R.Q.D, μεγάλο αριθμό διαχωριστικών επιφανειών και μικρή διαπερατότητα. Με την αύξηση της συμμετοχής του ασβεστιτικού υλικού οι φυλλίτες, αυτοί, μετατρέπονται σε ασβεστιτικούς φυλλίτες ενώ παράλληλα βελτιώνονται τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά τους, όπως μικρότερος αριθμός διαχωριστικών επιφανειών και μεγαλύτερο ποσοστό R.Q.D. Η διαπερατότητα των ασβεστιτικών φυλλιτών είναι αυξημένη και σε κάθε περίπτωση μεγαλύτερη από αυτήν των φυλλιτών. Δεύτερον, Οι ασβεστόλιθοι της μεταβατικής ζώνης, οι οποίοι συχνά αποκτούν σημαντικό πάχος, είναι ελαφρά έως μέτρια καρστικοποιημένοι. Τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά της ασβεστολιθικής αυτής βραχομάζας είναι

γενικά καλά, με αρκετά υψηλό ποσοστό R.Q.D. και μικρό αριθμό διαχωριστικών επιφανειών. Από τις επιφάνειες αυτές το μεγαλύτερο ποσοστό αποτελείται από διαπλάσεις, διατμήσεις και μικρό μόνον ποσοστό είναι επιφάνειες: στρώσης, καθόσον οι ασβεστόλιθοι αυτοί είναι παχυστρωματώδεις. Οι παραπάνω επιφάνειες των διακλάσεων, διατμήσεων και ρηγμάτων είναι συχνά τραχείς λόγω της καρστικής διάβρωσης που έχουν υποστεί σε αντίθεση ,με τις επιφάνειες στρώσεις κατά μήκος των οποίων δεν έχει συμβεί καμία καρστική διάβρωση.

(iii) Οι ασβεστόλιθοι, οι οποίοι εντοπίζονται ανάντη της μεταβατικής ζώνης, είναι παχυστρωματώδεις έως μαζικοί, λεπτο-μέχρι μεσοκρυσταλλικοί, γκρι ανοιχτού έως γκρι σκούρου και συχνά λευκού ή και μελανού χρώματος. Η ασβεστολιθική αυτή μάζα, η οποία θα βρίσκεται σε άμεση επαφή με τον μελλοντικό ταμιευτήρα, είναι ελαφρά έως μέτρια και μόνον τοπικά έντονα καρστικοποιημένη. Τα καρστικά φαινόμενα αναπτύχθηκαν κύρια κατά μήκος διακλάσεων και ρηγμάτων με κλίση 70° έως 90°. Ένα δευτερεύον σύστημα διακλάσεων με καρστική διάβρωση έχει κλίση 40° έως 60° , Οι καρστικά διευρυμένες ρωγμές είναι, εν μέρει, πληρωμένες με αργιλο-ιλυο-αμμώδη υλικά, ερυθρού έως καστανού χρώματος, ή παρουσιάζουν ίχνη των υλικών αυτών στα τοιχώματά τους. Η πλήρωση, μερική ή ολική, των μεγαλύτερων καρστικών εγκοίλων αποτελείται από τα παραπάνω λεπτομερή υλικά και τεμάχια ασβεστολίθου. Έχει παρατηρηθεί ότι ο βαθμός καρστικοποίησης διαφοροποιείται ανάλογα με το χρώμα (καθαρότητα) του ασβεστολίθου και συγκεκριμένα η καρστικοποίηση είναι συνήθως μικρότερη στα σκούρου χρώματος στρώματα και μεγαλύτερη στα ανοιχτού χρώματος στρώματα. Η διαπερατότητα της ασβεστολιθικής μάζας στο σύνολό της είναι πολύ μεγάλη, σχεδόν ολική, μέχρι και το υπόμ. της κοίτης του Αλιάκμονα. Η στάθμη του υπόγειου νερού στην περιοχή των ασβεστολίθων εντοπίσθηκε σε μεγάλα βάθη, περίπου στο υψόμετρο της κοίτης του Αλιάκμονα.

(iv) Οι Πλειο-Πλειστοκαινικές αποθέσεις , οι οποίες καλύπτουν μεγάλες επιφάνειες στα ανοιχτά των αντρείσμάτων και κατά μήκος του ρέματος Χρωμίου, αποτελούνται κύρια από κροκαλοπαγή χαλαρής δομής και σε σημαντικά μικρότερο ποσοστό, επίσης χαλαρής δομής ιλυολίθους, ψαμμίτες και μάργες. Η απόθεση των ιζημάτων αυτών έγινε σε ποταμό-λιμναίες συνθήκες, πάνω σε έντονα διαβρωμένο παλαιό-μορφολογικό ανάγλυφο, μεταξύ των λεκανών Καρπερού και Σερβίων.

Το πάχος των Πλειο-Πλειστοκαινικών αποθέσεων ποικίλει από θέση σε θέση, γενικά όμως παρατηρείται μία σταδιακή αύξηση του προς τα ανοιχτά των αντερείσμάτων και ιδιαίτερα στο αριστερό, όπου εντοπίσθηκε και η παλαιά (προ Πλειο-Πλειστοκαινική) κοίτη του Αλιάκμονα. Στην περιοχή αυτή οι Πλειο-Πλειστοκαινικές αποθέσεις φθάνουν μέχρι και το υψόμετρο της σύγχρονης κοίτης του Αλιάκμονα.

Αυτές οι αποθέσεις είναι στο σύνολό τους έντονα υδροπερατός σχηματισμός και έχει κατά συνέπεια πολύ χαμηλή στάθμη υπογείου νερού.

(v) Πλευρικά κορήματα και αποσαθρώματα, το πάχος και η έκταση των οποίων, ποικίλουν πάρα πολύ από θέση σε θέση.

-Στην περιοχή της ασβεστολιθικής μάζας τα υλικά αυτά έχουν πολύ μικρό πάχος (0,5 έως 1,0 m.) και καλύπτουν τοπικά πολύ μικρές επιφάνειες.

-Στην περιοχή της μεταβατικής ζώνης τα πλευρικά κορήματα και αποσαθρώματα καλύπτουν με σχετικά μικρό πάχος (1,0-3,0 m.) τις φυλλιτικές ενδιστρώσεις ενώ τα ασβεστολιθικά στρώματα φθάνουν ακάλυπτα μέχρι την επιφάνεια του εδάφους.

-Στην περιοχή της φυλλιτικής βραχομάζας τα πλευρικά κορήματα και αποσαθρώματα αποκτούν σημαντικό πάχος και καλύπτουν μεγάλες επιφάνειες, ιδιαίτερα στην περιοχή του δεξιού αντερείσματος. Στο αριστερό αντερείσμα το πάχος των υλικών αυτών κυμαίνεται από 2,0 έως 7,0 m, ενώ στο δεξιό αντερείσμα όπου εντοπίζεται μία ασταθής μάζα, το πάχος των υλικών χαλαρής δομής κυμαίνεται από 7,0 έως 14,0 m.

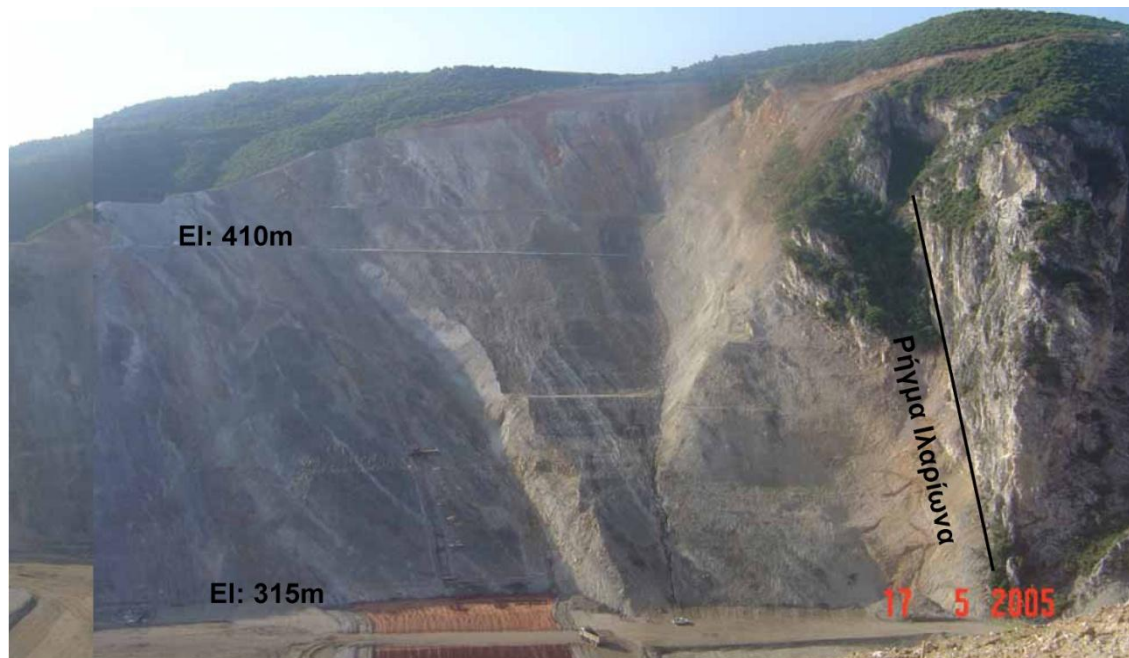
-Στην περιοχή του ανάντη ορίου της μεταβατικής ζώνης προς την υπερκείμενη ασβεστολιθική μάζα, κατά μήκος του ρήγματος του Ιλαρίωνα, εντοπίσθηκαν και στα δύο αντερείσματα υλικά καταπτώσεων. Το πάχος τους φτάνει έως και 21 m.

(vi) Οι Ποτάμιες αποθέσεις(σύγχρονες και παλαιότερες) , οι οποίες αποτελούνται από άμμους, χαλίκια και κροκάλες καλύπτουν την κοίτη και την αριστερή όχθη του Αλιάκμονα καθώς επίσης τις δύο όχθες του ρέματος Χρωμίου.

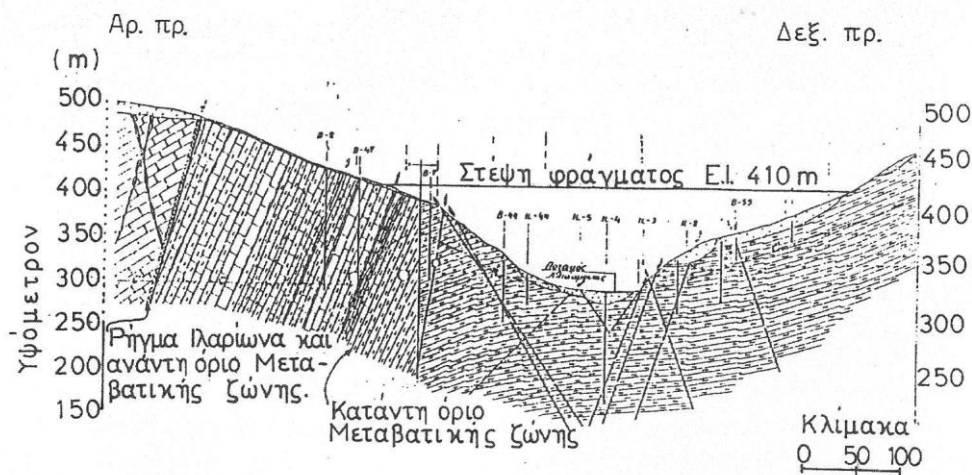
- Στην περιοχή του ρέματος Χρωμίου οι σύγχρονες ποτάμιες αποθέσεις καλύπτουν πολύ μικρή επιφάνεια της κοίτης και έχουν μικρό πάχος. Αντίθετα οι παλαιότερες ποτάμιες αποθέσεις έχουν σημαντική εξάπλωση και πάχος και βρίσκονται αρκετά μέτρα υψηλότερα από την σημερινή κοίτη του ρέματος, ένδειξη για μια πρόσφατη, ταχεία και σε βάθος διαβρωτική διεργασία. Πετρογραφικά οι αποθέσεις αυτές

αποτελούνται σχεδόν αποκλειστικά από τα βασικά-υπερβασικά πετρώματα του Βούρινου.

-Στην περιοχή του ποταμού Αλιάκμονα οι ποτάμιες αποθέσεις έχουν μικρή εξάπλωση και μικρό πάχος (3,0 έως 5,0 m.) στο τμήμα της ασβεστολιθικής μάζας ανάντη του ρήγματος του Ιλαρίωνα(Εικ.3-2). Αυτό οφείλεται προφανώς στο γεγονός ότι η ταχύτητα του νερού στο τμήμα αυτό είναι μεγάλη, λόγω της πολύ στενής κοίτης του Αλιάκμονα. Αντίθετα στην περιοχή της μεταβατικής και της φυλλιτικής ζώνης κατάντη του ρήγματος του Ιλαρίωνα οι ποτάμιες αποθέσεις έχουν πολύ μεγαλύτερη εξάπλωση και πάχος. Το πάχος των σύγχρονων ποτάμιων αποθέσεων φτάνει τα 11,0 m και των αντίστοιχων παλαιότερων αποθέσεων φθάνει τα 12,0 μ. Οι παλαιές ποτάμιες αποθέσεις περιορίζονται αποκλειστικά στο αριστερό αντέρεισμα, ένδειξη ότι η κοίτη του Αλιάκμονα στην περιοχή αυτή μετατοπίζεται προς την κατεύθυνση του δεξιού αντερείσματος, το οποίο και υποσκάπτει. Πετρογραφικά οι αποθέσεις αυτές αποτελούνται από βασικά - υπερβασικά πετρώματα, ασβεστόλιθους και φυλλίτες.



Εικόνα 3-2: Άποψη από δεξί αντέρεισμα κατά την εκσκαφή, όπου διακρίνεται το ρήγμα του Ιλαρίωνα.(http://library.tee.gr/digital/m2380/m2380_papaioannou.pdf)



ΥΠΟΜΝΗΜΑ:

I. ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ

- ☐ Πλευρικά κορήματα & αποδέσεις ποταμού
- ☐ Κροκαλοπαγή χαλαρής δομής
- ☐ Ασβεστολιθοί παχυστρωματώδεις
- ☐ Ασβεστολιθοί φυλλίτες
- ☐ Φυλλίτες

II ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ

☐ Ρήγμα

III ΑΛΛΑ ΣΥΜΒΟΛΑ

☐ Γεωλογικό όριο

☐ Επιφάνεια κατολιόθησης

☐ Ερευνητική γεώτρηση

☐ Καρστικά έγκοιλα

Εικόνα 3-4: Γεωλογική τομή του φράγματος(Πηγή: ΔΕΗ)

3.4.Κίνηση υπογείου νερού(ΔΕΗ/ΔΑΥΕ)

Οι βασικοί παράγοντες, οι οποίοι ρυθμίζουν την κίνηση του υπογείου νερού είναι η λιθολογική σύσταση των σχηματισμών και η στρωματογραφική και τεκτονική δομή της περιοχής.

Στην ευρύτερη περιοχή του φράγματος υπάρχουν τέσσερις λιθολογικές ενότητες, οι οποίες δομούν της περιοχή και καθεμία από αυτές έχει δικό της, ιδιαίτερο υδρολογικό καθεστώς:

Οι λιθολογικές ενότητες είναι(ΔΕΗ/ΔΑΥΕ) :

(i) Ασβεστολιθική μάζα

Η ασβεστολιθική μάζα, ανάντη του ρήγματος του Ιλαρίωνα, λόγω της καρστικοποίησής της, έχει μεγάλη διαπερατότητα και πολύ χαμηλή στάθμη υπόγειου νερού. Το φαινόμενο αυτό είναι εντονότερο στην περιοχή του αριστερού αντερείσματος, όπου οι πιεζομετρικές στάθμες των γεωτρήσεων ΙΙ-22 και ΙΙ-27 βρίσκονται στο υψόμ. της κοίτης του Αλιάκμονα. Στο δεξιό αντέρεισμα παρατηρήθηκε επίσης πολύ χαμηλή στάθμη υπόγειου νερού στο πλησιέστερο προς

τον Αλιάκμονα τμήμα του πρσανούς. Η κίνηση του υπογείου νερού έχει διεύθυνση από τα αντερείσματα προς τον Αλιάκμονα.

(ii) Μεταβατική ζώνη

Στην περιοχή της Μεταβατικής Ζώνης επικρατεί ένα ιδιαίτερα ιδιόμορφο υδρογεωλογικό καθεστώς, καθόσον οι δύο βασικοί σχηματισμοί (ασβεστόλιθοι και φυλλίτες), οι οποίοι αποτελούν την Ζώνη αυτή εναλλάσσονται πολύ συχνά και έχουν εκ διαμέτρου αντίθετη υδρογεωλογική συμπεριφορά. Τα ασβεστολιθικά μέλη της Ζώνης έχουν, λόγω της καρστικοποίησής τους, υψηλές τιμές διαπερατότητας και η κίνηση του νερού μέσα σε αυτά έχει σχετικά μεγάλη ταχύτητα, ενώ αντίθετα στα φυλλιτικά μέλη η κίνηση του νερού γίνεται με πολύ μικρή ταχύτητα.

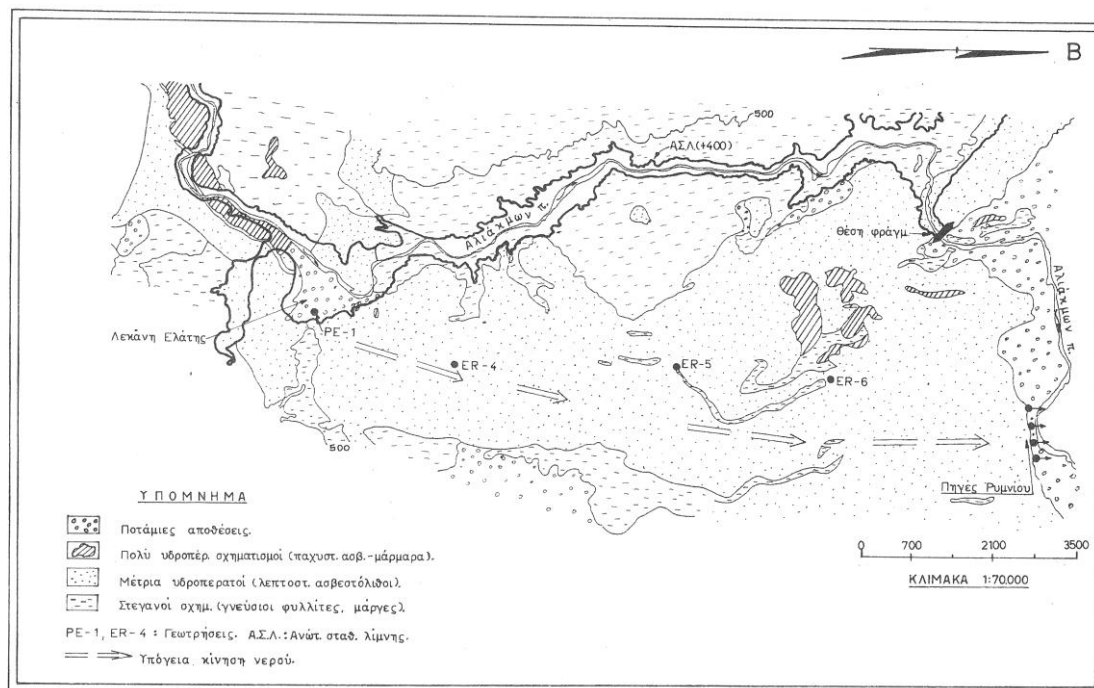
Η στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα είναι γενικά χαμηλή, σε κάθε όμως περίπτωση αυτή βρίσκεται αρκετά υψηλότερα σε σχέση με την περιοχή της ανάντη ασβεστολιθικής μάζας.

(iii) Φυλλιτική μάζα

Η φυλλιτική μάζα, η οποία υπόκειται της Μεταβατικής Ζώνης, έχει μικρή γενικά διαπερατότητα και αρκετά υψηλή στάθμη υπόγειου νερού. Η στάθμη αυτή είναι πολύ υψηλότερη από την αντίστοιχη στάθμη της Μεταβατικής Ζώνης σε όλη την έκταση και των δύο αντερεισμάτων. Η κίνηση του υπόγειου νερού γίνεται από τα αντερείσματα προς την κοίτη του Αλιάκμονα με σχετικά μεγάλη υδραυλική κλίση.

iv) Πλειο-Πλειστοκαινικές αποθέσεις

Οι Πλειο-Πλειστοκαινικές αποθέσεις, οι οποίες κατά το μεγαλύτερο ποσοστό τους (70% περίπου) αποτελούνται από αδροκλαστικά υλικά (κροκαλοπαγή χαλαρής δομής), έχουν στο σύνολό τους μεγάλη διαπερατότητα. Το υδρογεωλογικό καθεστώς του παραπάνω σχηματισμού, ελέγχεται από την θέση και την διάταξη των λεπτοκλαστικών (υδατοστεγανών) ενδιαστρώσεων. Στην περιοχή του αριστερού αντερείσματος εντοπίστηκαν δύο τουλάχιστον επικρεμάμενοι υδροφόροι ορίζοντες. Η κίνηση του νερού των επικρεμάμενων οριζόντων στην περιοχή αυτή γίνεται από τα ανάντη προς τα κατόντη, λόγω της βύθισης των υδατοστεγανών στρωμάτων με μικρή κλίση προς τα κατόντη. Παρακάτω διακρίνεται ο υδρογεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του έργου(Εικ. 3-5):



Εικόνα 3-5 : Συνοπτικός υδρογεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του έργου(Πηγή:ΔΕΗ)

3.5. Σεισμικότητα της περιοχής

Με την βοήθεια των στοιχείων που υπάρχουν στο τεχνικό αρχείο της ΔΑΥΕ(ΔΕΗ) και προέρχονται από ειδικούς επιστήμονες και από το Πανεπιστήμιο Αθηνών, προκύπτει μια γενική εικόνα σεισμικότητας της περιοχής. Σύμφωνα με σχετική σεισμολογική μελέτη του καθηγητή Γαλανόπουλου, διαπιστώνεται ότι η ευρύτερη περιοχή Πολύφυτου-Ιλαρίωνα, εμφανίζει έντονη σεισμικότητα ,ανάλογη με την μέση σεισμική δράση που εμφανίζεται στον ευρύτερο ελληνικό χώρο, ανά τετραγωνική μοίρα. Η μέγιστη αναμενόμενη ένταση δεν μπορεί να είναι μικρότερη του III βαθμού από την κλίμακα Sieberg-Mercalli. Σε αυτή την ένταση αντιστοιχεί οριζόντια σεισμική επιτάχυνση 0,10 g.(Λιάκουρης ,1995)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 :

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

4.1.Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η μεθοδολογία του προγράμματος PLAXIS, που χρησιμοποιήθηκε κατά τη δυδιάστατη ανάλυση της παραμόρφωσης και ευστάθειας σε διάφορες εφαρμογές γεωτεχνικών έργων.

Το PLAXIS 2D είναι ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων, μέσω του οποίου γίνεται η προσομοίωση της συμπεριφοράς του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα. Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής πραγματοποιούνται παραμετρικές αναλύσεις, με μεταβλητές στοιχεία της γεωμετρίας του φράγματος. Σκοπός της χρήσης του προγράμματος αυτού είναι ο προσδιορισμός της επίδρασης των παρεμβάσεων αυτών στην παραμορφωσιμότητα και στον συντελεστή ασφαλείας του σώματος του φράγματος. Για το λόγο αυτό και με στόχο την πραγματοποίηση παραμετρικών αναλύσεων μέσω της εκμάθησης του PLAXIS 2D κάναμε απλοποίηση της γεωμετρίας του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα ,κάνοντας τις παρακάτω παραδοχές, όσον αφορά ,τα μηχανικά χαρακτηριστικά των γεωυλικών:

Για τη ζώνη 1(Αργιλικός πυρήνας):

Πίνακας 4-1: Μηχανικά χαρακτηριστικά του εδάφους στην ζώνη 1 του φράγματος

Ξηρό φαινόμενο βάρος	$\gamma = 19,3 \text{ kN/m}^3$
Κορεσμένο φαινόμενο βάρος	$\gamma_{\text{sat}} = 22,23 \text{ kN/m}^3$
Μέτρο Ελαστικότητας	$E = 40000 \text{ kPa}$
Λόγος Poisson	$\nu = 0.25$
Συνοχή	$C = 30 \text{ kPa}$
Γωνία εσωτερικής τριβής	$\phi = 22^\circ$

Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.

Για τη ζώνη 2(Φίλτρα-Στραγγιστήρια):

Πίνακας 4-2: Μηχανικά χαρακτηριστικά του εδάφους στην ζώνη 2 του φράγματος

Ξηρό φαινόμενο βάρος	$\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$
Κορεσμένο φαινόμενο βάρος	$\gamma_{\text{sat}} = 22,5 \text{ kN/m}^3$
Μέτρο Ελαστικότητας	$E = 55000 \text{ kPa}$
Λόγος Poisson	$\nu = 0.3$
Συνοχή	$C = 0,2 \text{ kPa}$
Γωνία εσωτερικής τριβής	$\phi = 38^\circ$

Για τη ζώνη 3-3a(Σώμα στήριξης από αμμοχάλικα):

Πίνακας 4-3: Μηχανικά χαρακτηριστικά του εδάφους στην ζώνη 3-3a του φράγματος

Ξηρό φαινόμενο βάρος	$\gamma = 18,650 \text{ kN/m}^3$
Κορεσμένο φαινόμενο βάρος	$\gamma_{\text{sat}} = 21,35 \text{ kN/m}^3$
Μέτρο Ελαστικότητας	$E = 60000 \text{ kPa}$
Λόγος Poisson	$\nu = 0.3$
Συνοχή	$C = 0,2 \text{ kPa}$
Γωνία εσωτερικής τριβής	$\phi = 40^\circ$

Για τη ζώνη 4(Ασβεστολιθικά υλικά λατομείου):

Πίνακας 4-4: Μηχανικά χαρακτηριστικά του εδάφους στην ζώνη 4 του φράγματος

Ξηρό φαινόμενο βάρος	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
Κορεσμένο φαινόμενο βάρος	$\gamma_{\text{sat}} = 21,5 \text{ kN/m}^3$
Μέτρο Ελαστικότητας	$E = 50000 \text{ kPa}$

Λόγος Poisson	$\nu = 0.3$
Συνοχή	$C = 0,2 \text{ kPa}$
Γωνία εσωτερικής τριβής	$\phi = 45^\circ$

4.2. Μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων και Plaxis 2D

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

Η μέθοδος αναγνωρίζει το μοντέλο, που πρόκειται να προσομοιωθεί ως ένα αριθμό περιοχών που ονομάζονται στοιχεία. Τα στοιχεία μπορεί να είναι διδιάστατα ή και τριδιάστατα. Ο σκοπός της μεθόδου είναι η προσομοίωση της πραγματικής κατασκευής και τα στοιχεία αυτά τα οποία συνδέονται σε ένα συγκεκριμένο πεπερασμένο αριθμό κόμβων. Τα τεχνητά αυτά πεπερασμένα στοιχεία είναι συνήθως τετράπλευρα ή τριγωνικά. Επίσης υπάρχουν και κόμβοι, οι οποίοι βρίσκονται σε ακριανά σημεία. Οι μετατοπίσεις των κόμβων εκφράζονται στο πρόγραμμα, ως μεταβλητές. Οι μετατοπίσεις στο εσωτερικό των στοιχείων πρέπει να είναι συμβατές με τις μετατοπίσεις των κόμβων και όλες οι αλληλεπιδράσεις των στοιχείων πρέπει να είναι συμβατές με τις μετατοπίσεις των κόμβων. Οι αλληλεπιδράσεις των στοιχείων εκφράζονται σε σχέση με τις κομβικές μετατοπίσεις (Brinkgreve, 2002).

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 σύγχρονες και σύνθετες 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.

Για κάθε νέο έργο που θα αναλυθεί είναι σημαντικό να δημιουργηθεί ένα μοντέλο γεωμετρίας πρώτα. Ένα μοντέλο γεωμετρίας είναι μία διδιάστατη(ή και τριδιάστατη) αναπαράσταση ενός πραγματικού προβλήματος και αποτελείται από σημεία, γραμμές και συμπλέγματα. Ένα μοντέλο γεωμετρίας θα πρέπει να περιλαμβάνει ένα αντιπροσωπευτικό τμήμα του υπεδάφους σε διακριτά στρώματα του εδάφους, διαρθρωτικά αντικείμενα, στάδια κατασκευής και φορτίσεις. Το μοντέλο πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο, έτσι ώστε τα όρια να μην επηρεάσουν τα αποτελέσματα του προβλήματος που πρέπει να μελετηθεί.

Οι τρεις τύποι των στοιχείων σε ένα γεωμετρικό μοντέλο είναι οι εξής:

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

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

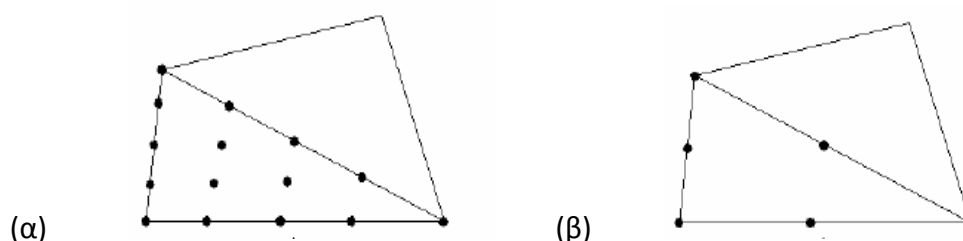
- **Συμπλέγματα:** Τα συμπλέγματα είναι περιοχές που περικλείονται από τις γραμμές. Το πρόγραμμα PLAXIS αναγνωρίζει αυτόματα τα συμπλέγματα με βάση την εισαγωγή των γραμμών γεωμετρίας. Μέσα σε ένα σύμπλεγμα, οι ιδιότητες του εδάφους είναι ομοιογενείς. Ως εκ τούτου, τα συμπλέγματα μπορούν να θεωρηθούν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

Μετά τη δημιουργία του γεωμετρικού μοντέλου, ένα μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων μπορεί αυτομάτως να δημιουργηθεί, με βάση τη σύνθεση των συμπλεγμάτων και των γραμμών. Σε ένα πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων,

μπορούν να προσδιοριστούν τρεις τύπους συστατικών, όπως περιγράφεται παρακάτω.

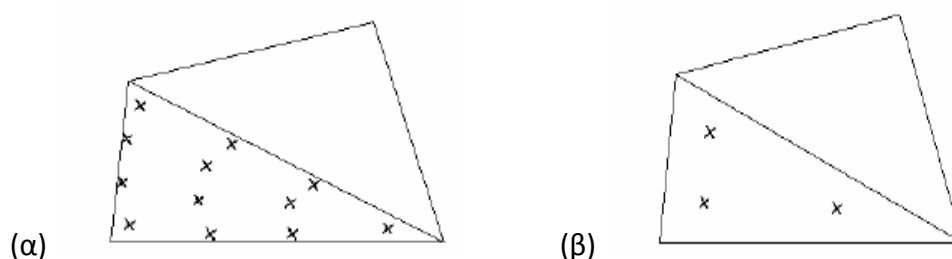
- **Στοιχεία:** Κατά την παραγωγή του πλέγματος, τα συμπλέγματα διαιρούνται σε τριγωνικά στοιχεία. Η επιλογή μπορεί να γίνει μεταξύ 15 και 6 κομβικών στοιχείων. Τα 15 κομβικά στοιχεία παρέχουν ακριβή υπολογισμό των τάσεων και των φορτίων αστοχίας. Επιπλέον, τα 6 κομβικά τρίγωνα είναι διαθέσιμα για ένα γρήγορο υπολογισμό.

- **Κόμβοι:** Τα γειτονικά στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους μέσω κοινών κόμβων. Κατά τη διάρκεια ενός υπολογισμού πεπερασμένου στοιχείου, οι μετατοπίσεις υπολογίζονται στους κόμβους. Οι κόμβοι μπορούν να προ-επιλεγούν για την παραγωγή των καμπυλών φόρτισης και μετατόπισης.



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

- **Σημεία τάσης:** Σε αντίθεση με τις μετακινήσεις οι τάσεις υπολογίζονται στο εσωτερικό των στοιχείων.



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

4.3. Τα υποπρογράμματα του Plaxis 2D

Το υπολογιστικό πρόγραμμα *Plaxis* αποτελείται από 4 υποπρογράμματα:

1) Το **Input Program** ,όπου γίνεται η εισαγωγή του τίτλου του αρχείου, καθορίζονται οι μονάδες των μεγεθών μήκος, δύναμη, χρόνος καθώς και οι διαστάσεις της περιοχής σχεδίασης. Στη συνέχεια γίνεται η σχεδίαση του γεωμετρικού μοντέλου με την βοήθεια των διαφόρων εργαλείων σχεδίασης και εισάγονται τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών πλήρωσης αυτού. Τέλος, καθορίζονται οι αρχικές συνθήκες, βήμα απαραίτητο για τη μετάβαση του επόμενου υποπρογράμματος.

2) Το **Calculations program**, όπου δημιουργούνται οι διάφορες φάσεις υπολογισμού ανάλογα με τις απαιτήσεις του σχεδιασμού του έργου και μετά πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί με τελικό σκοπό να βρεθεί ο συντελεστής ασφαλείας.

3) Το **Output program**, όπου μετά την εκτέλεση των υπολογισμών γίνεται συλλογή και παρουσίαση αποτελεσμάτων των συνολικών μετακινήσεων και των δυνητικών αστοχιών του φράγματος.

4) Το **Curves program**,όπου έχουμε τη δημιουργία των διαγραμμάτων των μετατοπίσεων των σημείων που επιλέχθηκαν, στην αρχή , πριν τους υπολογισμούς.

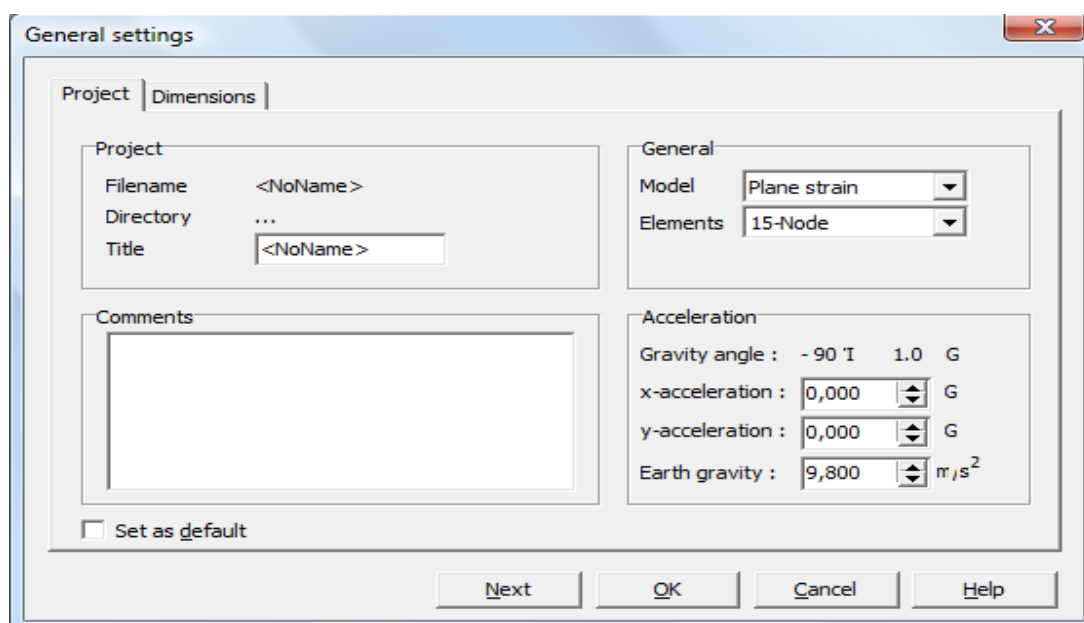
1) Plaxis Input

Με τη δημιουργία ενός αρχείου, εμφανίζεται ένα παράθυρο(General setting) με δύο καρτέλες. Στην πρώτη(project), εισάγεται ο τίτλος του αρχείου και στη δεύτερη(dimensions)(Εικ.4-3), εισάγονται οι διαστάσεις του χώρου σχεδίασης, καθώς και οι μονάδες μεγεθών του προσομοιώματος, δηλαδή τη δύναμη, το χρόνο και το μήκος(Εικ.4-4).

Πιο αναλυτικά, στην πρώτη καρτέλα αφού γίνει εισαγωγή του τίτλου του έργου, 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

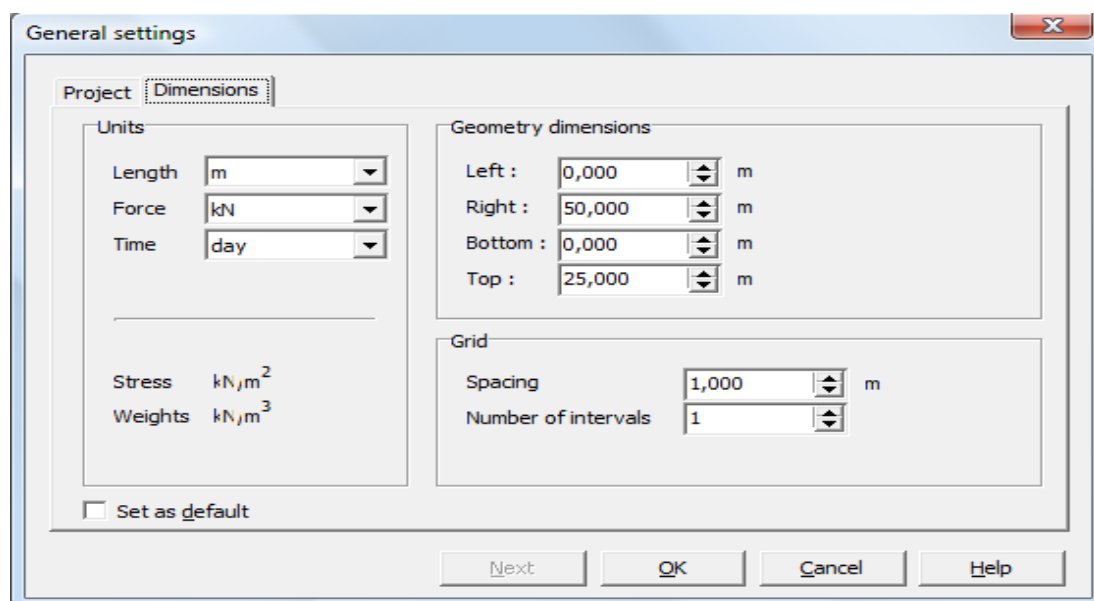
συνιστώσες των τάσεων δεν μεταβάλλονται κατά την διεύθυνση ενός άξονα με αποτέλεσμα οι μετατοπίσεις σε αυτόν τον άξονα να θεωρούνται μηδενικές. Τέτοια παραδείγματα μπορεί να είναι φράγματα, επιχώματα και άλλες επιμήκεις κατασκευές. Η αξονοσυμμετρική παραμόρφωση χρησιμοποιείται κυρίως σε κυκλικές κατασκευές με όπου η συντεταγμένη Υ 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 γίνεται καθορισμός των μεγεθών της επίλυσης. Για τη δύναμη(Force) είναι kN,για το χρόνο(Time) είναι day και για το μήκος(Length) είναι m.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).



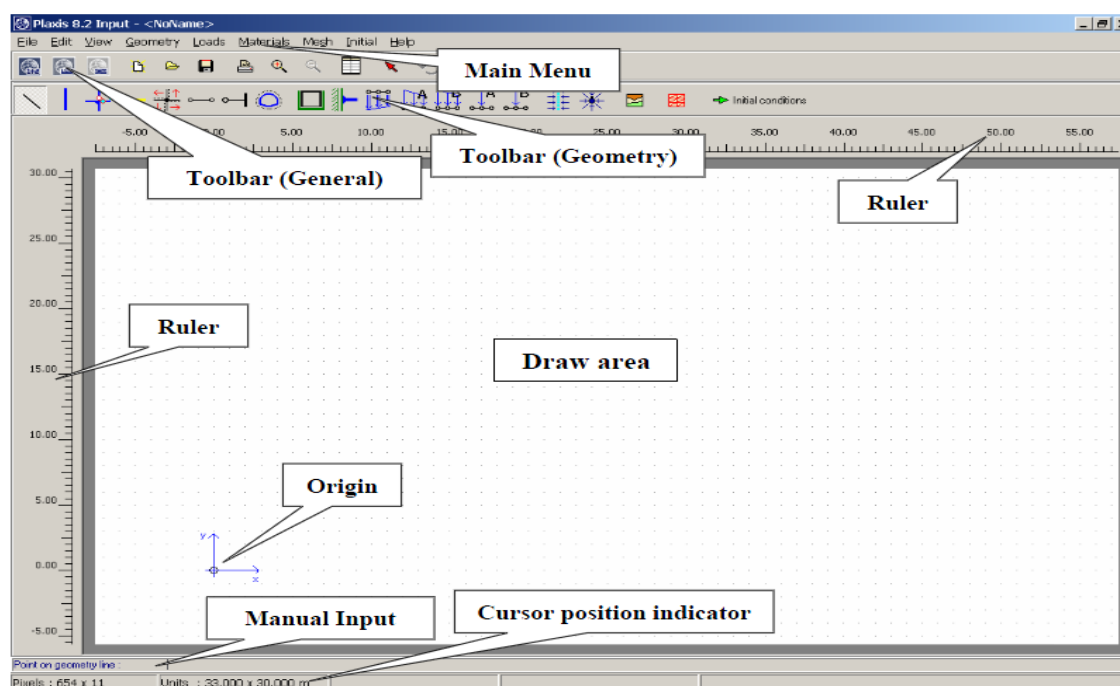
Εικόνα 4-3: Καρτέλα γενικών ρυθμίσεων εισαγωγής του τίτλου του αρχείου

Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.



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

Στη συνέχεια γίνεται η σχεδίαση του γεωμετρικού μοντέλου με την επιλογή των κατάλληλων εργαλείων σχεδίασης(Εικ.4-5).



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

Main Menu-Κύριο Μενού:

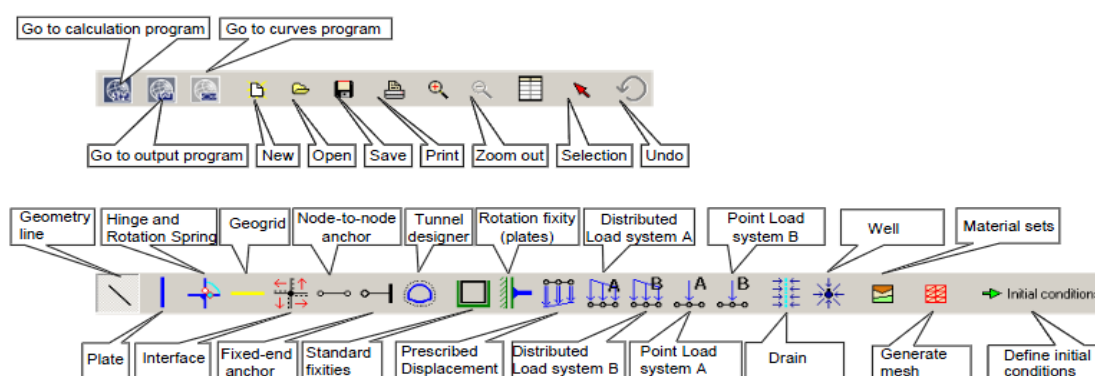
Το κύριο μενού περιέχει όλες τις επιλογές που είναι χρήσιμες για τη γραμμή εργαλείων και μερικές επιπλέον επιλογές που δεν χρησιμοποιούνται συχνά.

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

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

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

Αυτή η γραμμή εργαλείων(Εικ.4-6) περιέχει κουμπιά που σχετίζονται με τη δημιουργία γεωμετρικού μοντέλου.



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

Rulers – Χάρακες:

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

Draw area – Περιοχή σχεδίασης:

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

Origin – Αρχή:

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

Manual Input – Χειροκίνητη Εισαγωγή:

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

Cursor position indicator – Ένδειξη της θέσης του κέρσορα:

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

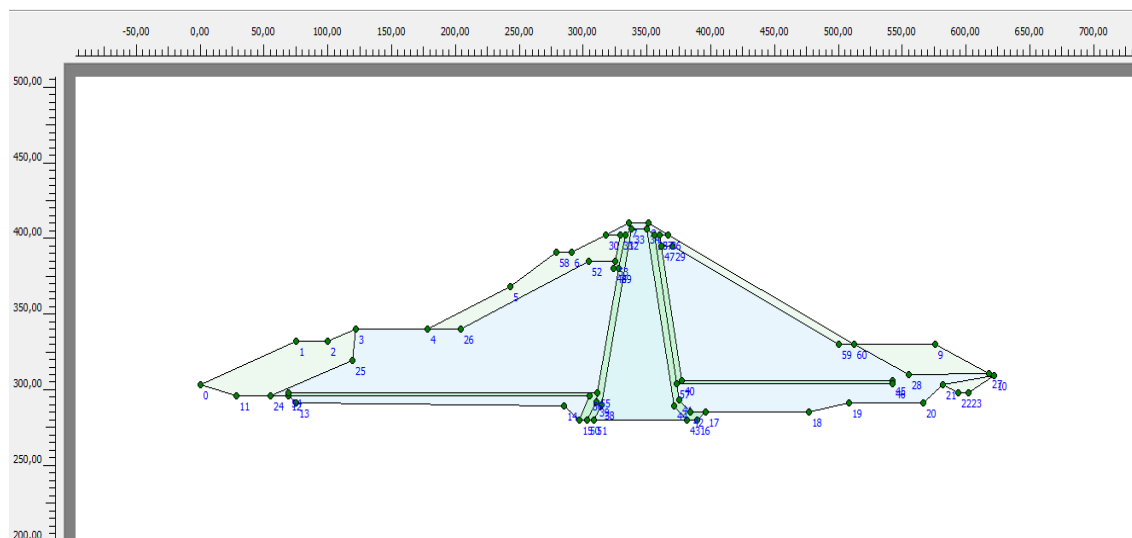
Για την επίλυση ενός γεωτεχνικού προβλήματος θα πρέπει να γίνει η εισαγωγή της γεωμετρίας του καθώς και ο καθορισμός των υλικών και στοιχείων με βάση τα φυσικά και τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά. Για την πραγματοποίηση της σχεδίασης της γεωμετρίας της τομής που προσομοιώθηκε παρέχονται κάποια εργαλεία, τα οποία είναι:



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 ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται η γεωμετρία της τομής του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα(Εικ. 4-7), που εξετάζεται.

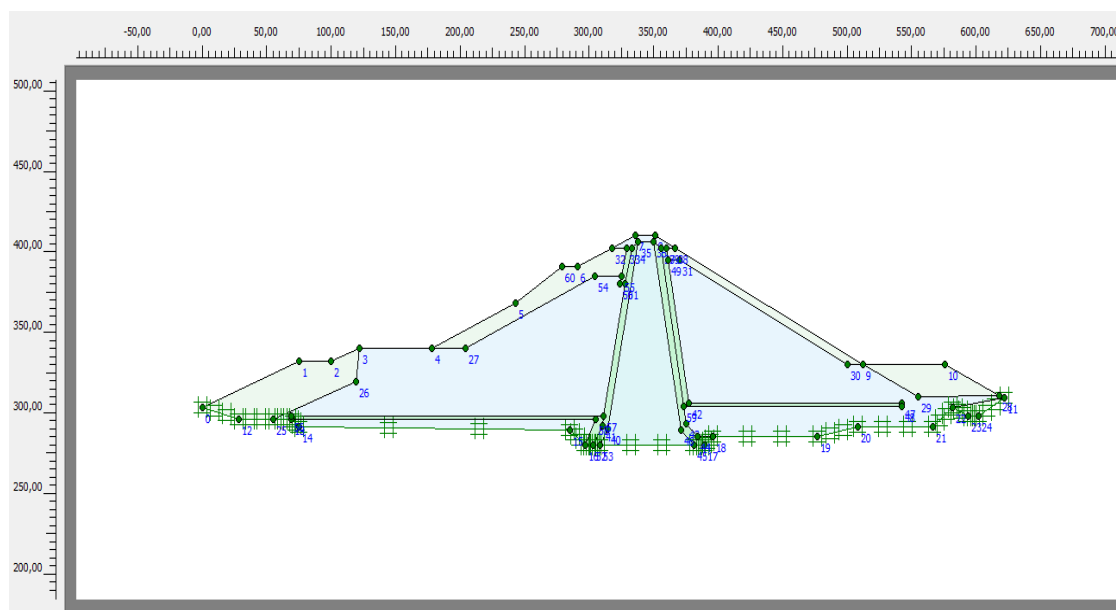
Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.



Εικόνα 4-7: Σχεδιασμός της γεωμετρίας της τομής του φράγματος



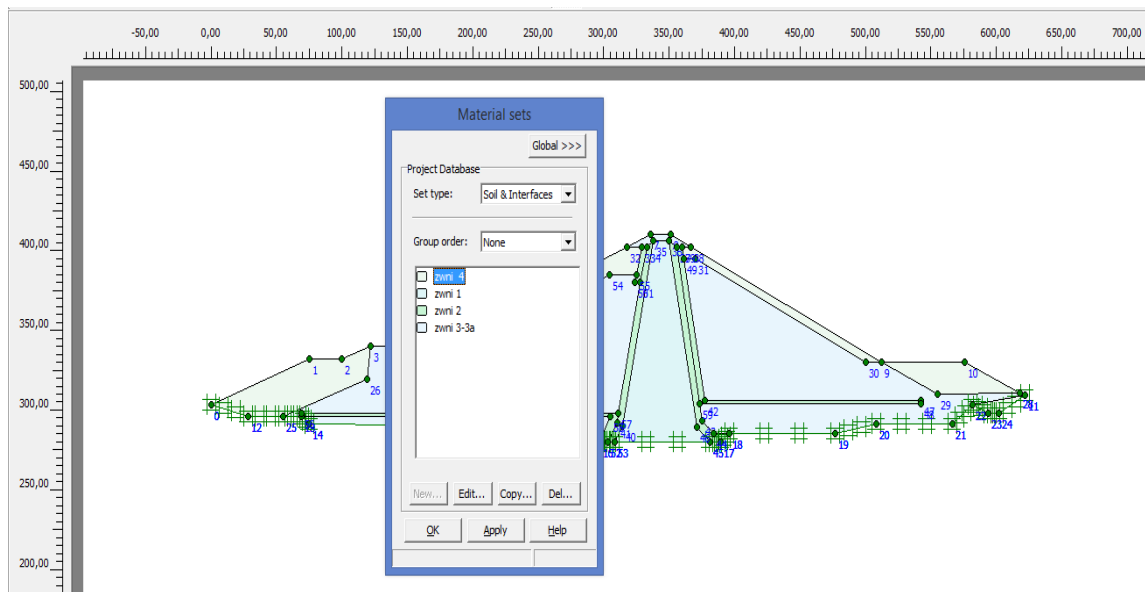
Total fixities : Κατά την ολοκλήρωση του γεωμετρικού μοντέλου , πρέπει να γίνει καθορισμός των συνοριακών συνθηκών. Με την επιλογή του γίνεται αυτόματα μια τοποθέτηση γενικών οριακών συνθηκών. Στην περίπτωση μας, χρειάζεται χειροκίνητη εισαγωγή, στην βάση του φράγματος ,στην επιφάνεια θεμελίωσής του. Τα όρια του τμήματος προσομοιώνει την εξυγιαντική στρώση θεωρήθηκαν και οριακές συνθήκες του μοντέλου και εισήχθησαν με τον αντίστοιχο τρόπο(Εικ.4-8).



Εικόνα 4-8:Καθορισμός συνοριακών συνθηκών στο γεωμετρικό μοντέλο του φράγματος



Material data set (σύνολο υλικών δεδομένων): 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*)(Εικ. 4-9) καθορίζονται αυτά τα αντικείμενα και εισάγονται τα φυσικά και τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά.



Εικόνα 4-9: Παράθυρο εισαγωγής υλικών και στοιχείων

Το εργαλείο αυτό αποτελείται από τρεις καρτέλες:

Στην πρώτη καρτέλα (Generals)(Εικ.4-10), γίνεται ταυτοποίηση του εδάφους με την ονομασία 'Fill' προσδιορίζεται το μοντέλο της μηχανικής συμπεριφοράς. Σε όλα τα παραδείγματα της παρούσας διπλωματικής επιλέχθηκε το μοντέλο Mohr-Coulomb. Το κριτήριο αυτό εκφράζει τη σχέση της διατμητικής αντοχής τα και της ορθής τάσης σ , σε μια επιφάνεια. Επιπλέον, προσδιορίζεται ο τύπος στράγγισης του μοντέλου, όπου σε όλα τα παραδείγματα επιλέχθηκε ο τύπος Drained (στραγγισμένο). Οι παράμετροι που προσδιορίζονται επίσης είναι η μονάδα βάρους του εδάφους πάνω και κάτω από το φρεατικό επίπεδο, γ_{sat} , γ_{unsat} αντίστοιχα, η διαπερατότητα σε κάθετη και οριζόντια κατεύθυνση k_v, k_h αντίστοιχα.

Στη δεύτερη καρτέλα(Parameters)(Εικ.4-11), προσδιορίζεται το μέτρο ελαστικότητας E , ο λόγος Poisson ν , η συνοχή c , η γωνία εσωτερικής τριβής ϕ καθώς και η γωνία διόγκωσης ψ .

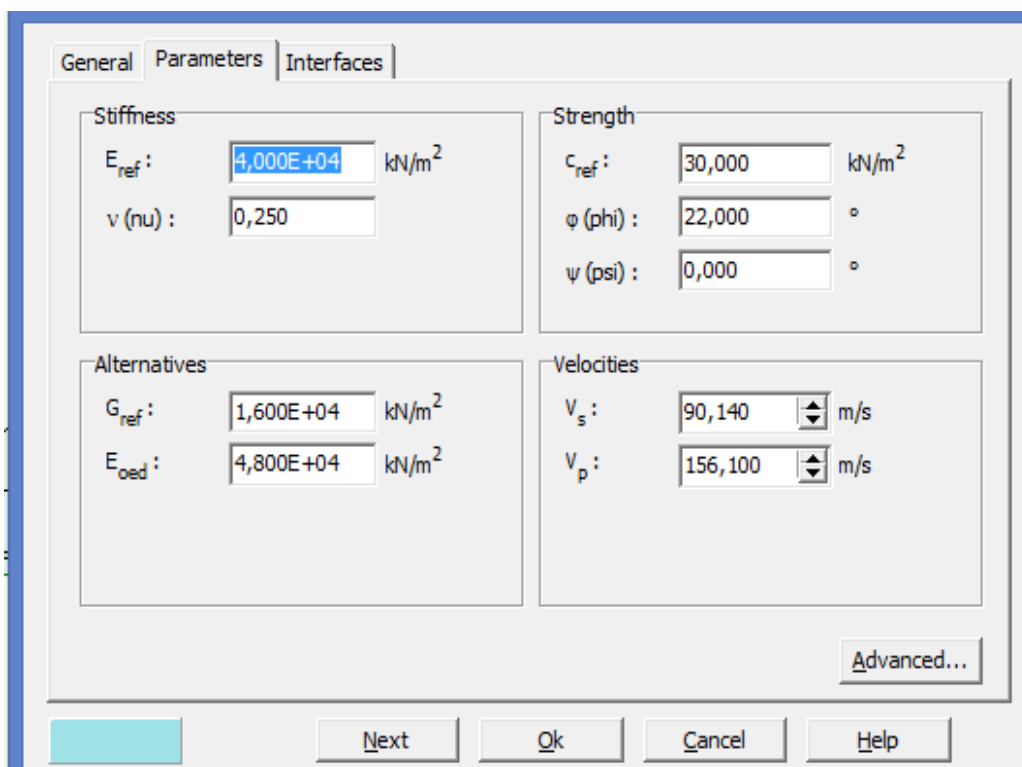
Στην τρίτη καρτέλα(διεπιφάνεια επαφής-interfaces) (Εικ.4-12), δίνεται μία τιμή στην παράμετρο R_{inter} η οποία συσχετίζει την αντοχή του εδάφους με την αντοχή στα οριακά σημεία.

The image shows a software dialog box with the following fields and values:

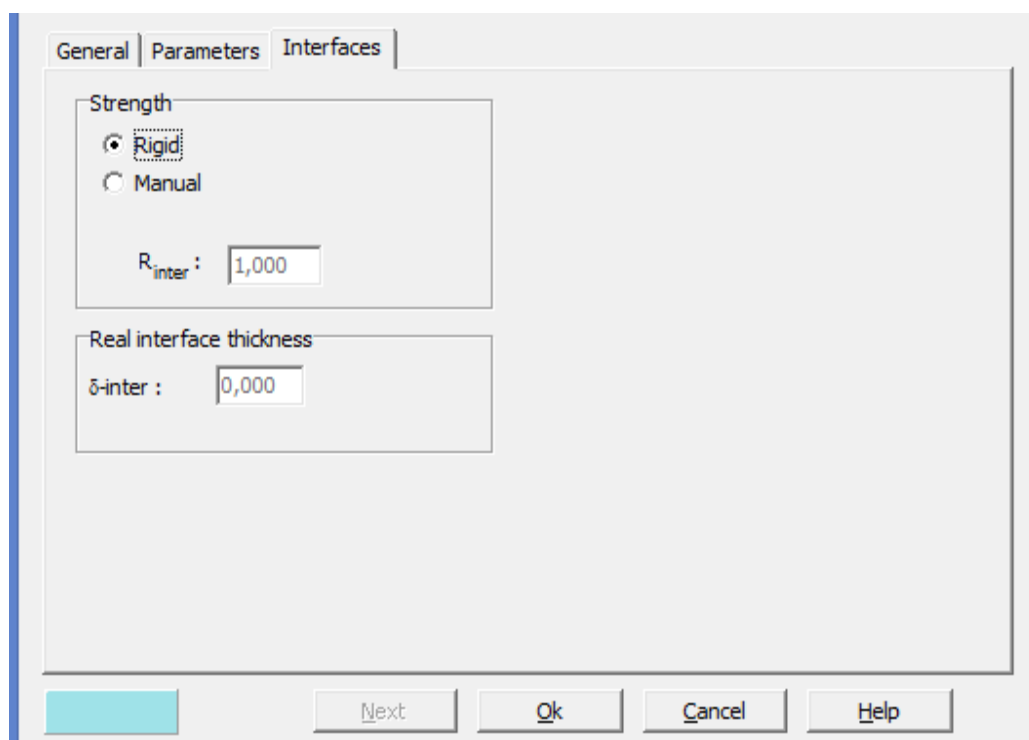
Section	Parameter	Value	Unit
Material Set	Identification	zwni 1	
	Material model	Mohr-Coulomb	
	Material type	Drained	
General properties	γ_{unsat}	19,300	kN/m ³
	γ_{sat}	22,230	kN/m ³
Permeability	k_x	1,440E-04	m/day
	k_y	1,440E-04	m/day

Εικόνα 4-10:Επιλογή παραμέτρων των υλικών στην καρτέλα Generals

*Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.*




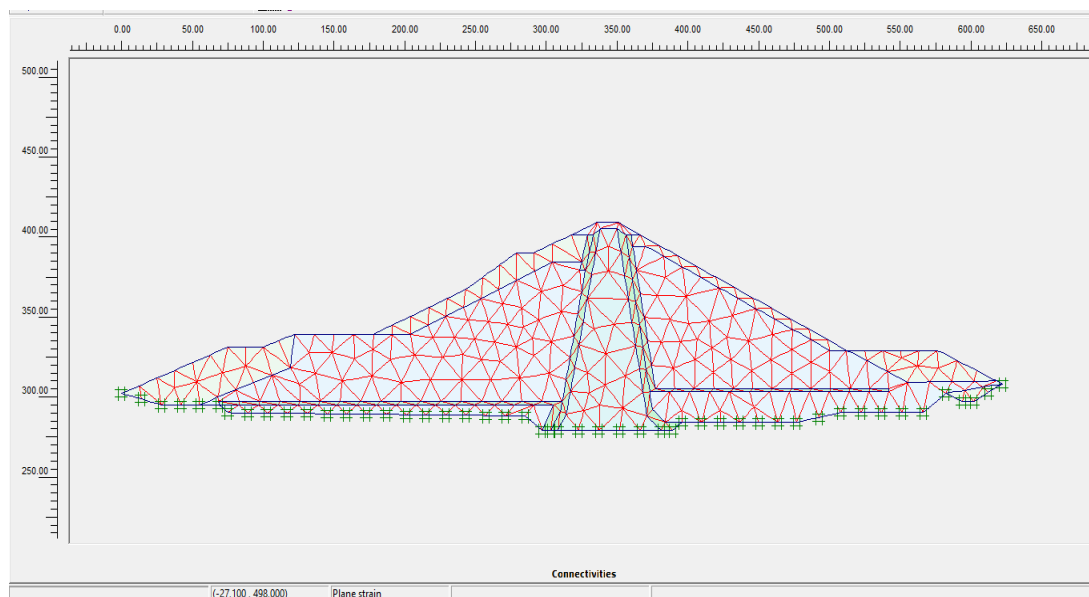
Εικόνα 4-11: Επιλογή παραμέτρων των υλικών στην καρτέλα Parameters



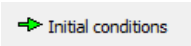
Εικόνα 4-12 : Εισαγωγή τιμής στην παράμετρο R_{inter}

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 *Generate Mesh*  το γεωμετρικό μοντέλο υποδιαιρείται σε τριγωνικά στοιχεία και δημιουργείται πλέγμα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα . Υπάρχει επιλογή πυκνότητας του δικτύου από την εντολή *Global Coarseness*. Είναι προφανές ότι όσο πιο πυκνό είναι το δίκτυο τόσο πιο λεπτομερές θα είναι η ανάλυση αλλά παράλληλα και πιο χρονοβόρα. Στην εικόνα 4-13 φαίνεται το γεωμετρικό πλέγμα του φράγματος.



Εικόνα 4-13: Απεικόνιση του γεωμετρικού πλέγματος

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.

2) Plaxis calculate

Με αυτήν την εντολή, *Calculate* γίνεται η μετάβαση στο άλλο υποπρόγραμμα του *Plaxis*, στο *Calculation Program* που έχει το ρόλο της πραγματοποίησης των υπολογισμών. Στο πρόγραμμα αυτό, δίνεται η δυνατότητα να δημιουργηθούν οι φάσεις κατασκευής του έργου, ανάλογα με τις απαιτήσεις σχεδιασμού.

Παρατηρείται 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 για μια στιγμή, ενεργοποιείται το πρόγραμμα *Plaxis Input* και ενεργοποιούνται ή απενεργοποιούνται τα επιθυμητά στοιχεία ή επιφάνειες .

Οι επιλογές των διαφόρων υπολογισμών είναι:

- Ελαστοπλαστική ανάλυση των παραμορφώσεων (*Plastic*)
- Ανάλυση στερεοποίησης (*Consolidation*)
- Προσδιορισμός συντελεστή ασφαλείας μέσω της σταδιακής μείωσης 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.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, όλα τα παραδείγματα επιλύονται σε τέσσερις φάσεις. Αναλυτικότερα:

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 περίγραμμα που σχεδιάζεται στο πρόγραμμα *Plaxis Input* σταδιακά να αποκτήσει βάρος με σταδιακή αύξηση του συντελεστή βάρους $M_{S_{Weight}}$.

Δεύτερη φάση (Υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας):

Αφού ολοκληρωθεί η πρώτη φάση κατασκευής ,ορίζεται μία φάση *Phi/C reduction*. Με το συγκεκριμένο τύπο υπολογισμού προσδιορίζεται ο συντελεστής ασφαλείας μέσω σταδιακής μείωσης της γωνίας εσωτερικής 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.

Τρίτη φάση (Άνοδος της στάθμης του νερού, στη στάθμη λειτουργίας του φράγματος, η οποία βρίσκεται στα 380 m):

Η φάση αυτή ξεκινά ακριβώς μετά την το πρώτο στάδιο προσομοίωσης (Gravity loading). Στη φάση αυτή έχουμε υδροφόρο ορίζοντα στη στάθμη λειτουργίας του φράγματος. Ενεργοποιείται η εντολή *Reset Displacements to zero* ώστε να μηδενιστούν οι μετακινήσεις του προηγούμενο σταδίου που είναι ανεπιθύμητες. Στη φάση αυτή ενεργοποιήθηκε όλο το φράγμα.

Τέταρτη φάση (Υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας):

Αφού ολοκληρωθεί η Τρίτη φάση, ορίζεται μία ακόμα φάση Phi/C reduction, παρουσία υδροφόρου ορίζοντα. Με το συγκεκριμένο τύπο υπολογισμού προσδιορίζεται ο συντελεστής ασφαλείας μέσω σταδιακής μείωσης της γωνίας εσωτερικής 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.

Στα δύο παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται ,το παράθυρο εκτέλεσης υπολογισμών(Εικ.4-14) καθώς και το παράθυρο ολοκλήρωσης τους(Εικ.4-15).

The screenshot displays a software window with several data panels:

- Total multipliers at the end of previous loading step:**

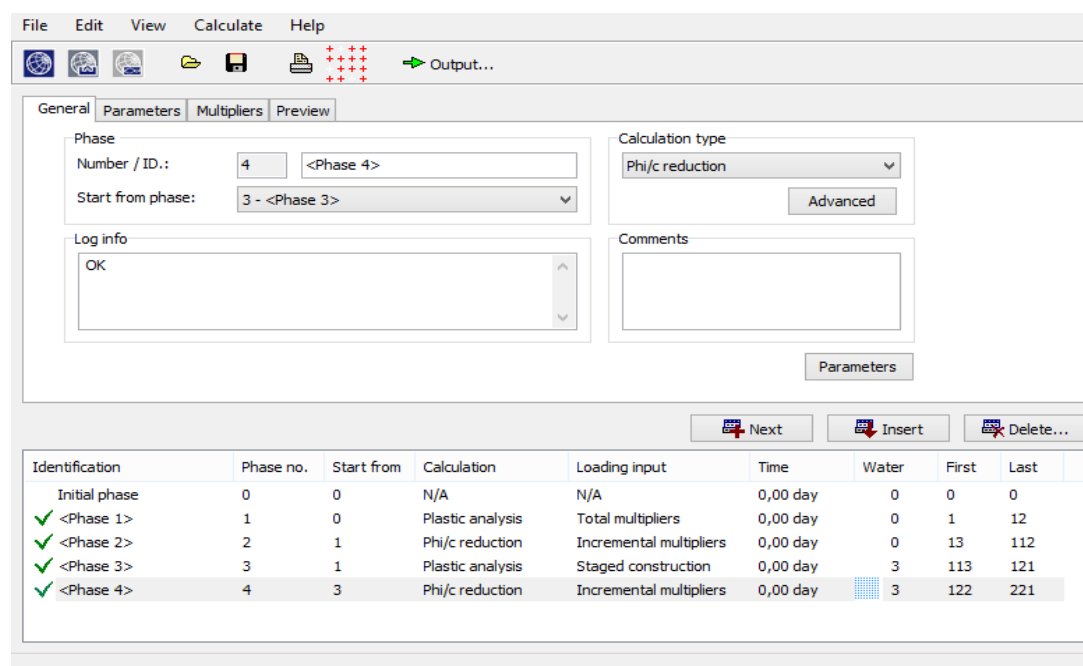
Σ -Mdisp:	1,000	PMax	0.000
Σ -MloadA:	1,000	Σ -Marea:	1,000
Σ -MloadB:	1,000	Force-X:	0,000
Σ -Mweight:	0,014	Force-Y:	0,000
Σ -Maccel:	0,000	Stiffness:	0,997
Σ -Msf:	1,000	Time:	0,000
Σ -Mstage:	0,000	Dyn. time:	0,000
- Calculation progress MWeight:** A graph showing a linear increase from 0 to 1.0. Below the graph is a dropdown menu set to 'Node A'.
- Iteration process of current step:**

Current step:	2030	Max. steps:	2276	Element	548
Iteration:	6	Max. iterations:	60	Decomposition:	100 %
Global error:	7,275E-04	Tolerance:	0,010	Calc. time:	4 s
- Plastic points in current step:**

Plastic stress points:	270	Inaccurate:	24	Tolerated:	30
Plastic interface points:	0	Inaccurate:	0	Tolerated:	3
Tension points:	0	Cap/Hard points:	0	Apex points:	0

A 'Cancel' button is visible at the bottom right of the window.

Εικόνα 4-14: Εκτέλεση υπολογισμών σε εξέλιξη



Εικόνα 4-15: Παράθυρο ολοκλήρωσης επίλυσης σταδίων κατασκευής

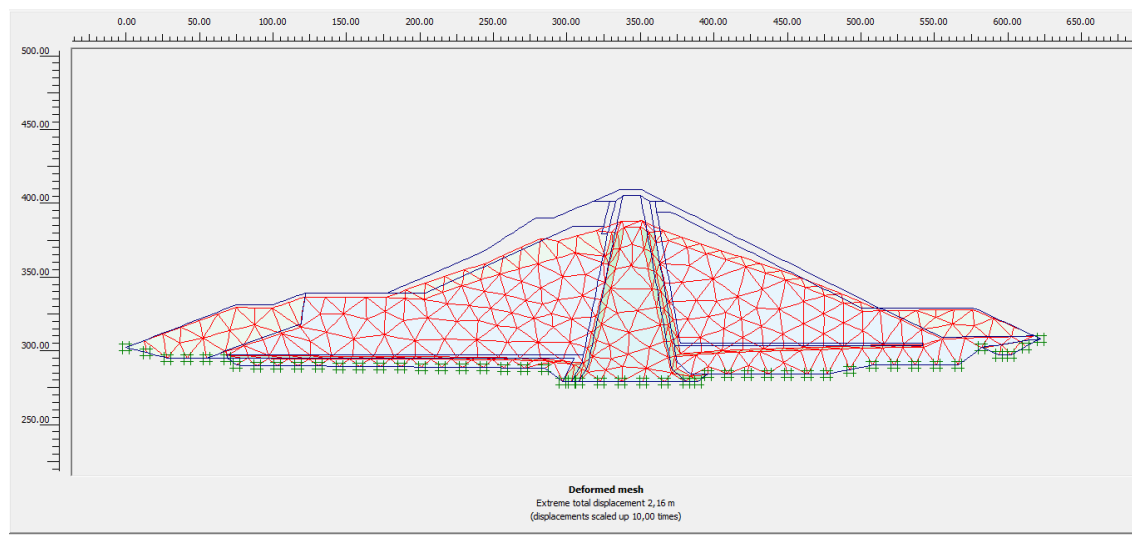
Αφού ολοκληρωθούν (επιλυθούν) όλα τα στάδια κατασκευής γίνεται μετάβαση στο πρόγραμμα αξιολόγησης αποτελεσμάτων (*Plaxis Output*).

3) Plaxis output

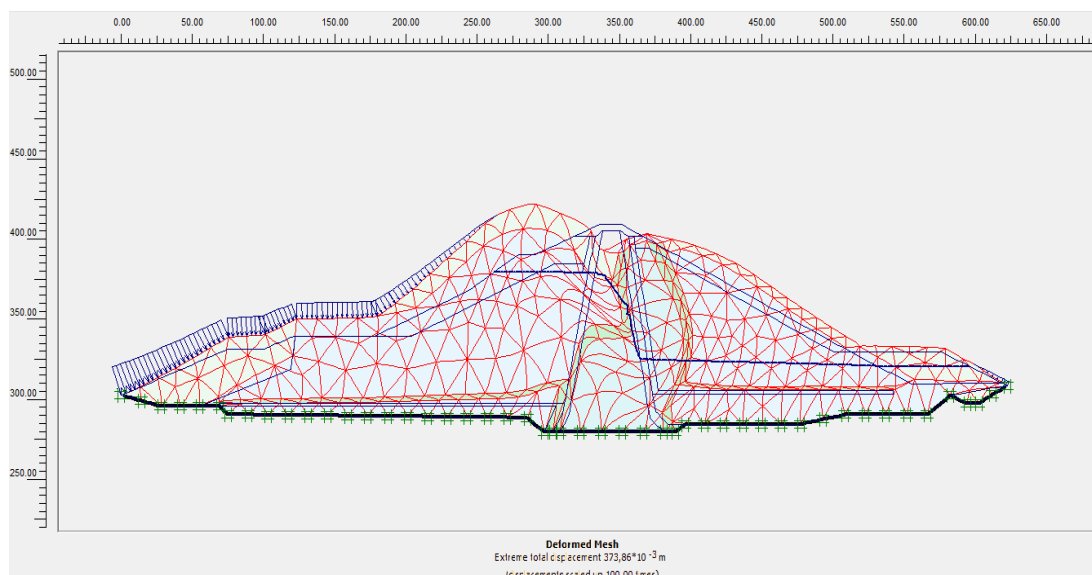
Αφού πραγματοποιηθούν με άρτιο τρόπο οι υπολογισμοί και επιλεγούν τα σημεία πάνω στο γεωμετρικό μοντέλο αξιολογούνται τα αποτελέσματα των μετατοπίσεων και των τάσεων, με αυτό το πρόγραμμα.

Με την επιλογή του *Deformed Mesh* γίνεται η αποτύπωση των συνολικών μετακινήσεων του φράγματος(Εικ4-16,εικ4-17,εικ4-18,εικ4-19).Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να εξαχθούν και να αναπαραστήσουν τις μετατοπίσεις μετά την ολοκλήρωση του κάθε σταδίου, όπως επίσης και του phi/c reduction.

Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.

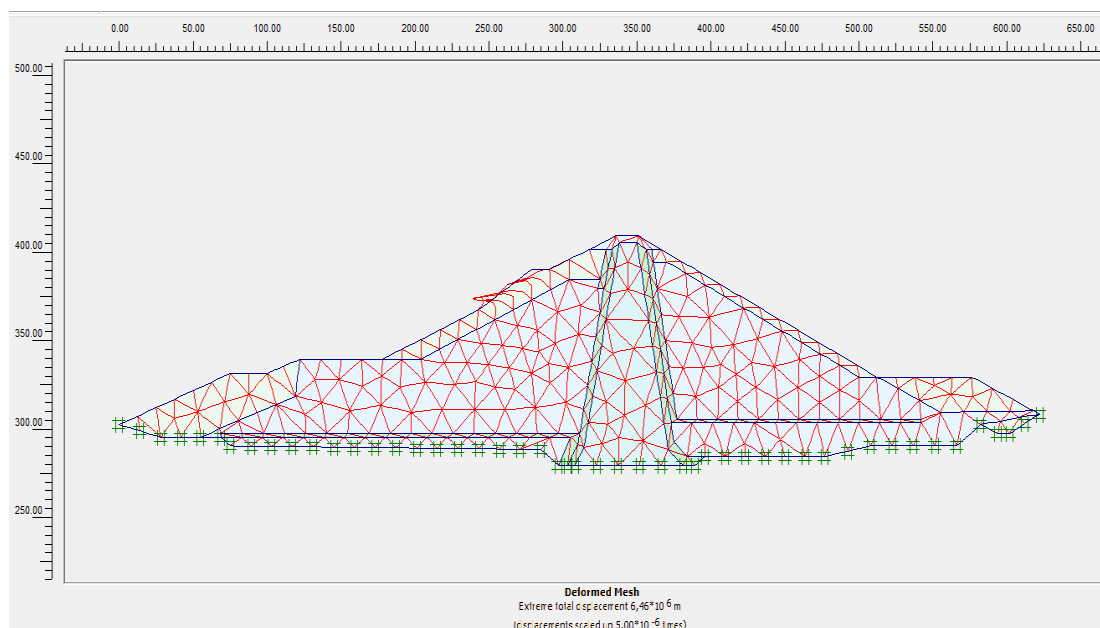


Εικόνα 4-16: Απεικόνιση αποτελεσμάτων συνολικών παραμορφώσεων κατά την 1^η φάση προσομοίωσης (gravity loading).

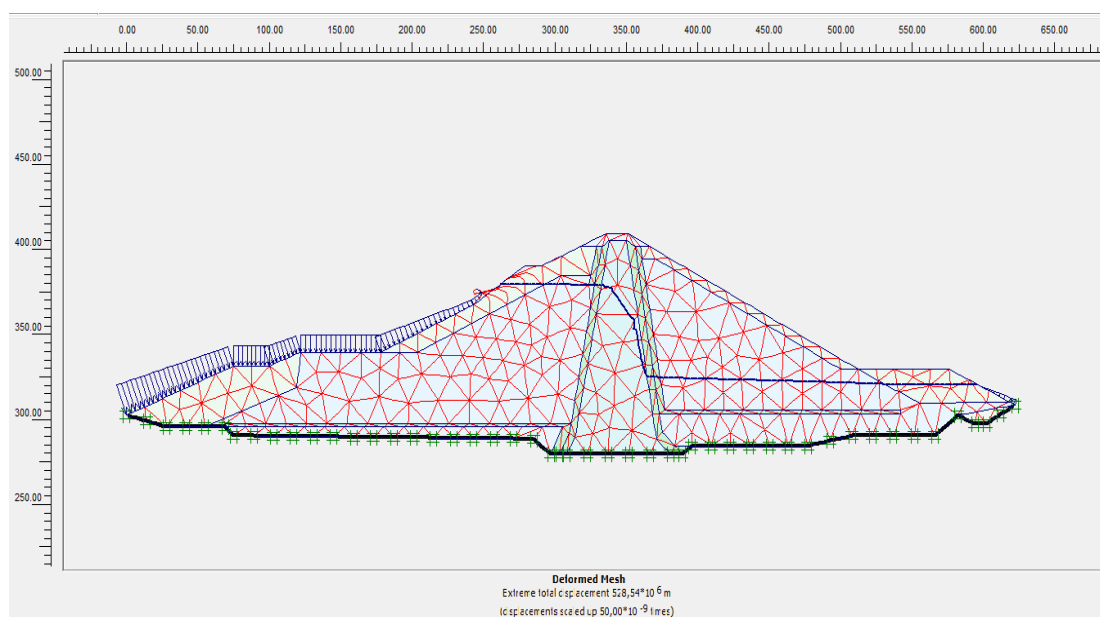


Εικόνα 4-17: Απεικόνιση αποτελεσμάτων συνολικών παραμορφώσεων κατά την 3^η φάση προσομοίωσης.

Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.



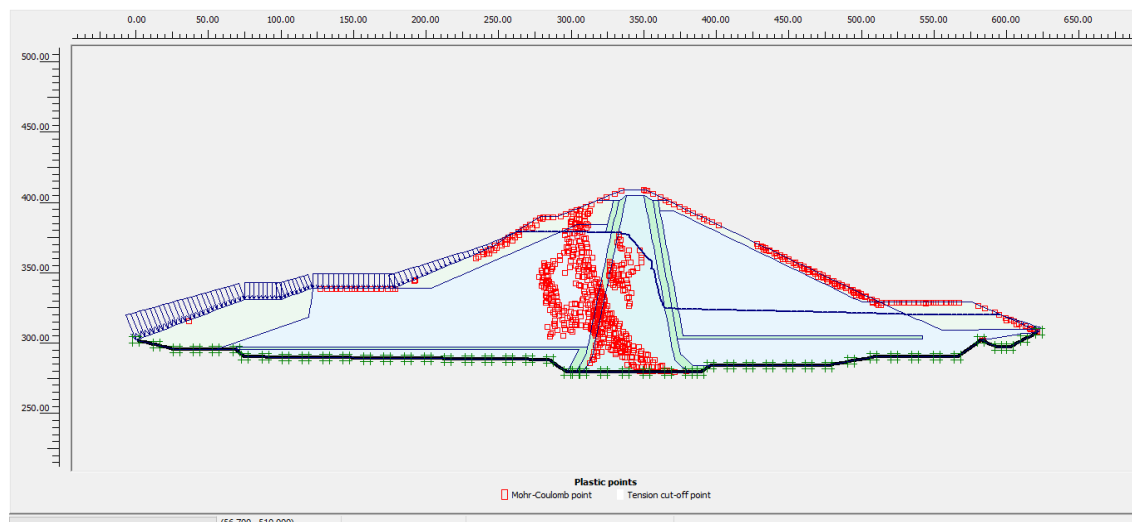
Εικόνα 4-18: Απεικόνιση αποτελεσμάτων πλαστικών, συνολικών παραμορφώσεων κατά το phi/c reduction στην 2^η φάση προσομοίωσης.



Εικόνα 4-19: Απεικόνιση αποτελεσμάτων πλαστικών, συνολικών παραμορφώσεων κατά το phi/c reduction, κατά την 4^η φάση προσομοίωσης.

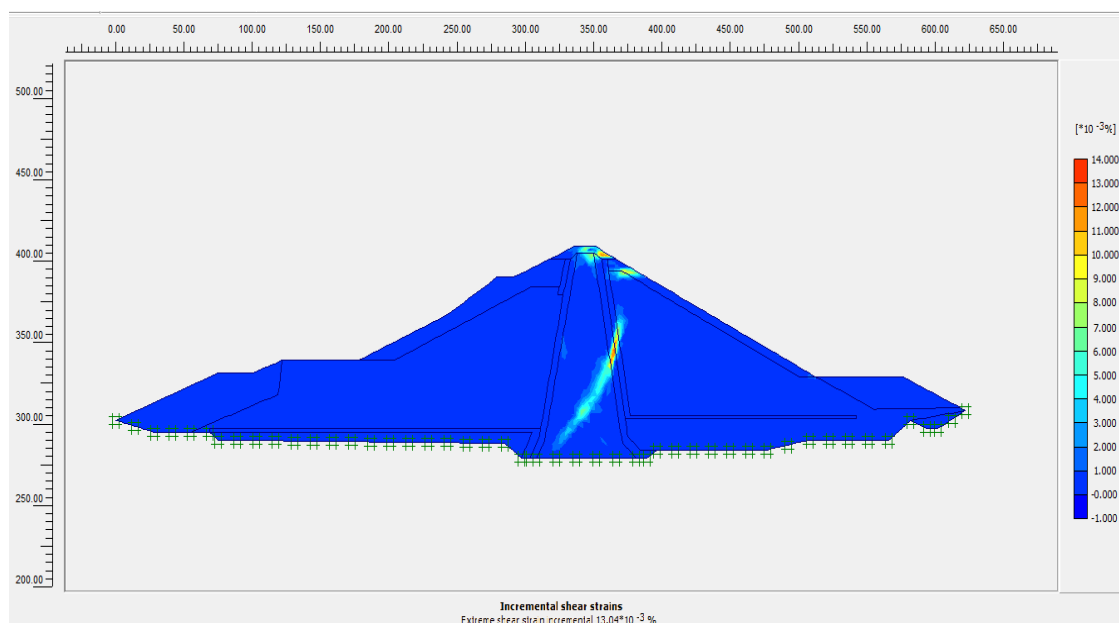
Με την επιλογή Plastic points ,φαίνονται τα σημεία πάνω στο φράγμα τα οποία εμφανίζουν πλαστική παραμόρφωση(Εικ4-20).

Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φράγματων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.



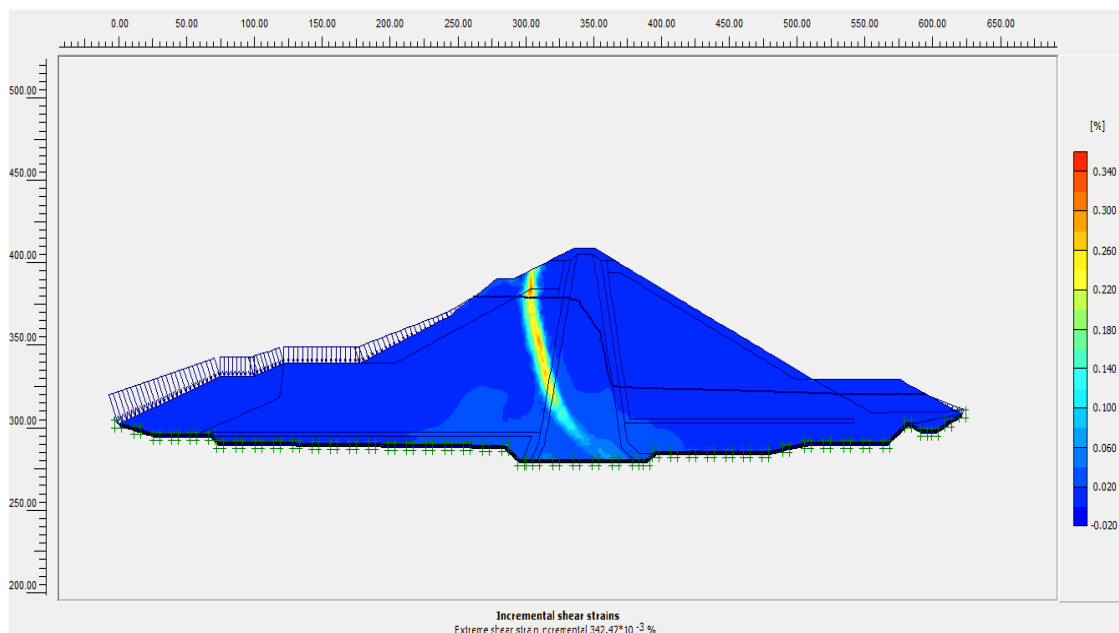
Εικόνα 4-20: Απεικόνιση των σημείων του φράγματος, τα οποία εμφανίζουν έντονη πλαστική συμπεριφορά, κατά την 3^η φάση προσομοίωσης

Κατά την επιλογή εμφάνισης των *incremental strains* (επαυξητικών-οριακών τάσεων) γίνεται η αποτύπωση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος(Εικ4-21,εικ4-22,εικ4-23,εικ4-24).

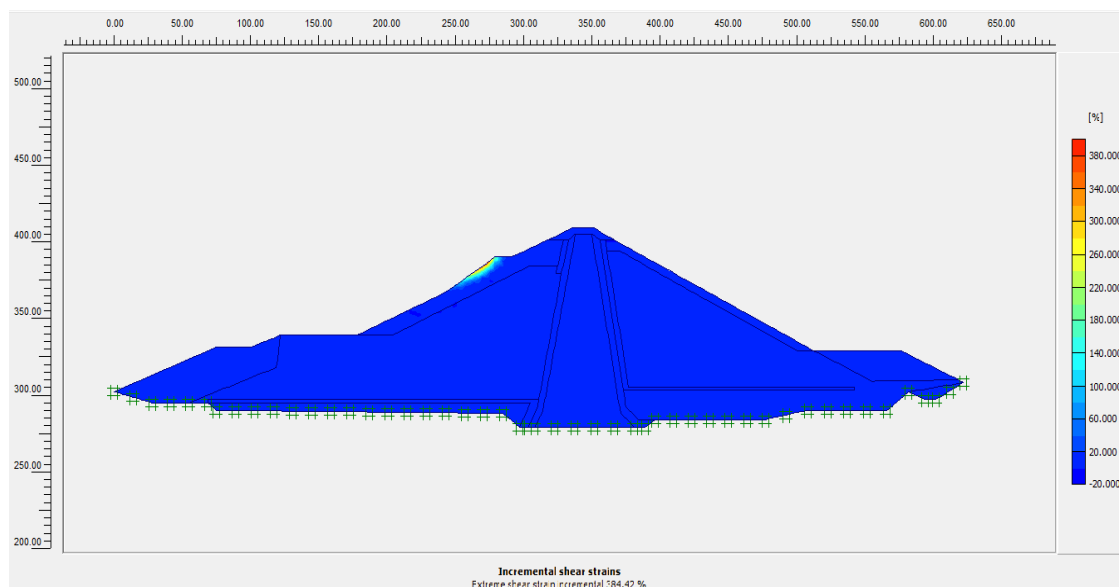


Εικόνα 4-21: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά την 1^η φάση προσομοίωσης.

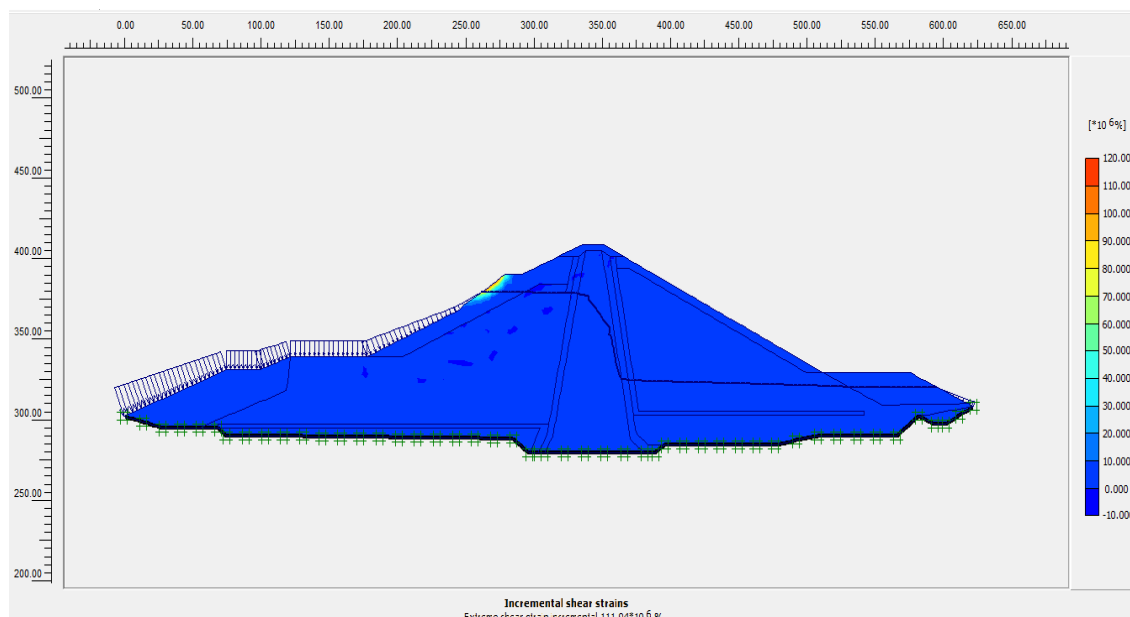
Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.



Εικόνα 4-22: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά την 3^η φάση προσομοίωσης.



Εικόνα 4-23: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το ϕ/c reduction, στη 2^η φάση προσομοίωσης.

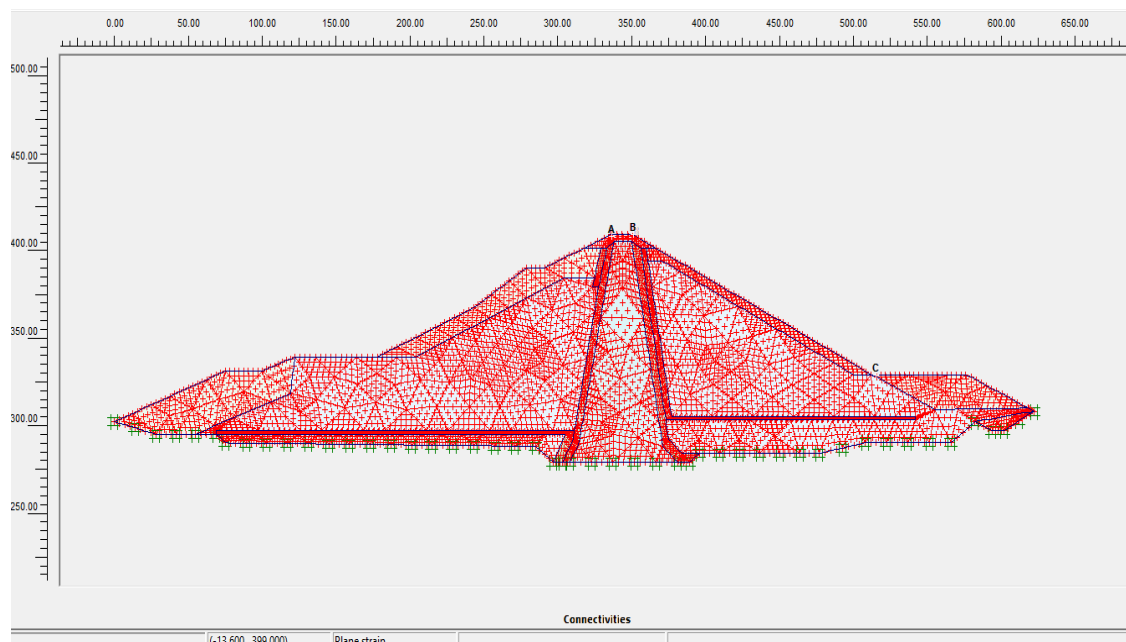


Εικόνα 4-24: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το ϕ/c reduction, στη 4^η φάση προσομοίωσης.

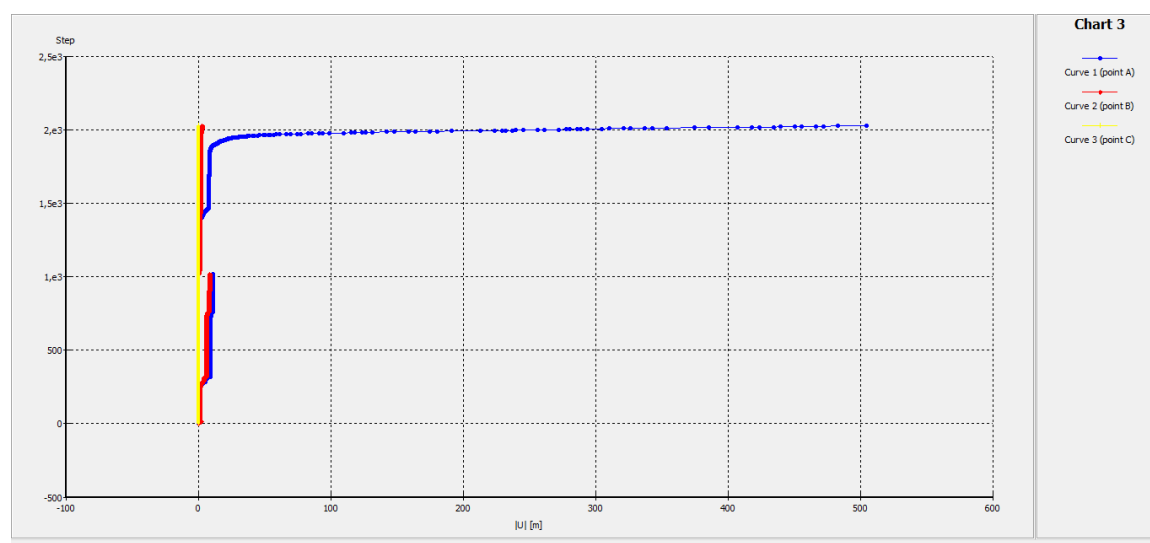
4)Plaxis curves

Με το πρόγραμμα *Plaxis 2D* υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας γραφικών παραστάσεων. Με το υποπρόγραμμα *Curves Program* εξάγονται διαγράμματα τάσεων, παραμορφώσεων, μετακινήσεων καθώς επίσης και διαγράμματα συντελεστών ασφαλείας. Οι γραφικές παραστάσεις αφορούν επιλεγμένα σημεία πάνω στο γεωμετρικό μοντέλο, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα(Εικ.4-25).Στην παρούσα διπλωματική εργασία υπολογίστηκαν οι συνολικές μετακινήσεις στα σημεία A,B,C. Με την εκτέλεση του *Curves Program* εξάγονται αναλυτικά διαγράμματα μετατοπίσεων των σημείων αυτών(Εικ.5-26).

Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.



Εικόνα 4-25: Επιλογή σημείων στο μοντέλο γεωμετρίας



Εικόνα 4-26: Διάγραμμα των συνολικών μετατοπίσεων στα επιλεγμένα σημεία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 :

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των παραμετρικών αναλύσεων, μέσω του προγράμματος PLAXIS 2D. Πραγματοποιήθηκαν 3 σειρές παραμετρικών αναλύσεων.

Η πρώτη σειρά παραμετρικών αναλύσεων περιλαμβάνει την μεταβολή του πάχους των φίλτρων (κατακόρυφων και οριζόντιων) του φράγματος του Ιλαρίωνα. Το αρχικό πάχος των φίλτρων είναι 4 m τα κατακόρυφα και 2 m τα οριζόντια. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η συμπεριφορά του σώματος του φράγματος, όταν μεταβάλλεται το πάχος των φίλτρων, ως εξής:

- 1) Κατακόρυφα φίλτρα με πάχος 1 m και οριζόντια φίλτρα με πάχος 1 m.
- 2) Κατακόρυφα φίλτρα με πάχος 2 m και οριζόντια φίλτρα με πάχος 2 m.
- 3) Κατακόρυφα φίλτρα με πάχος 4 m και οριζόντια φίλτρα με πάχος 4 m.
- 5) Κατακόρυφα φίλτρα με πάχος 5 m και οριζόντια φίλτρα με πάχος 5 m.
- 6) Κατακόρυφα φίλτρα με πάχος 6 m και οριζόντια φίλτρα με πάχος 6 m.

Η δεύτερη σειρά παραμετρικών αναλύσεων περιλαμβάνει την αλλαγή της κλίσης του κατάντη πρανούς του φράγματος. Έτσι μειώθηκε και αυξήθηκε η κλίση του, με στόχο να διαπιστωθεί πως αλλάζει η συμπεριφορά του σώματος του φράγματος, ανάλογα, με την αλλαγή κλίσης του κατάντη πρανούς, ως εξής:

- 1) Μείωση της κλίσης του κατάντη πρανούς κατά 5 μοίρες.
- 2) Μείωση της κλίσης του κατάντη πρανούς κατά 10 μοίρες.
- 3) Αύξηση της κλίσης του κατάντη πρανούς κατά 5 μοίρες.
- 4) Αύξηση της κλίσης του κατάντη πρανούς κατά 10 μοίρες.
- 5) Αύξηση της κλίσης του κατάντη πρανούς κατά 15 μοίρες.

Η Τρίτη σειρά παραμετρικών αναλύσεων περιλαμβάνει την αλλαγή της στάθμης της αρχικής γεωμετρίας του φράγματος. Έτσι μελετήθηκε, η συμπεριφορά του σώματος του φράγματος, στην κατώτερη στάθμη λειτουργίας στα 366 m και στην ανώτερη στάθμη λειτουργίας στα 403 m.

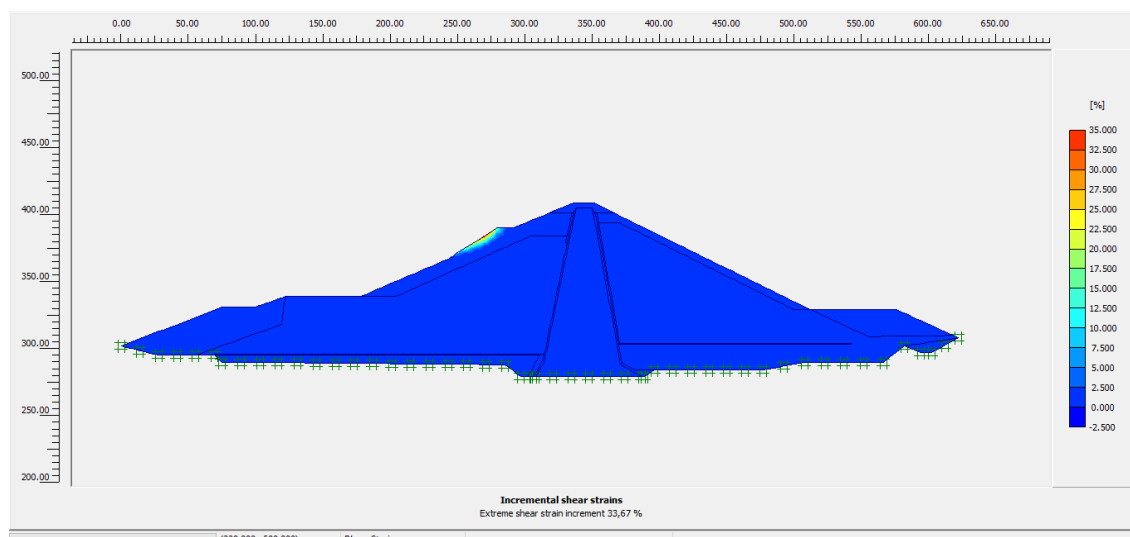
Στις παραπάνω παραμετρικές αναλύσεις ,για κάθε φάση προσομοίωσης υπολογίστηκαν οι συνολικές μετακινήσεις του φράγματος, οι ολικές μετακινήσεις σε κάποια επιλεγμένα σημεία πάνω στο φράγμα και τέλος υπολογίστηκε ο συντελεστής ασφαλείας.

5.1.Πρώτη σειρά παραμετρικών αναλύσεων(Αλλαγή γεωμετρίας φίλτρων)

Πριν την άνοδο της στάθμης

1) Ανάλυση με πάχος κατακόρυφου φίλτρου 1 m και πάχος οριζόντιου φίλτρου 1 m.

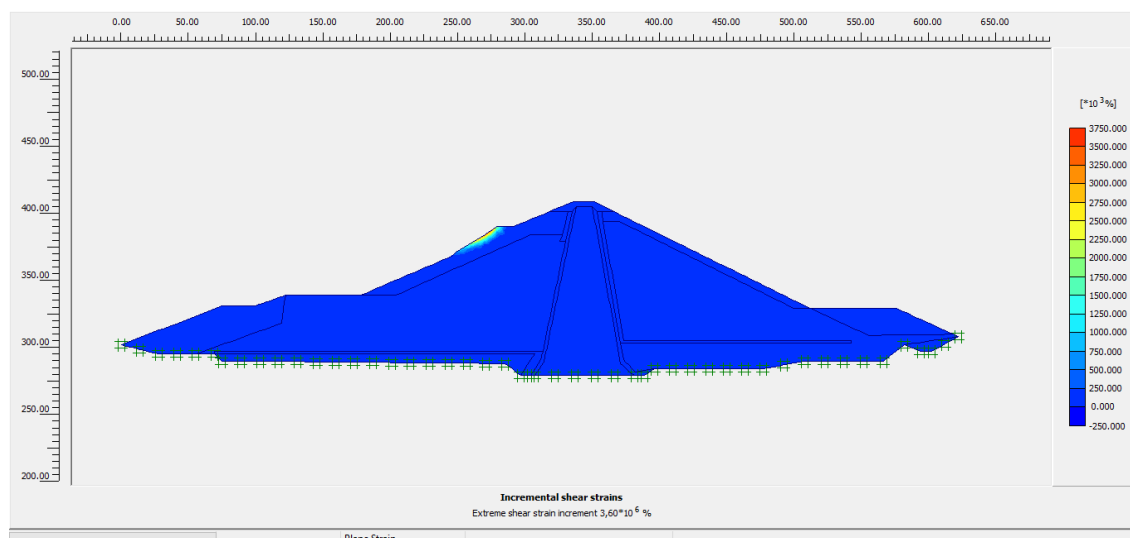
Κατά τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας(ϕ/c reduction),προέκυψε ότι το φράγμα δεν δύναται να αστοχήσει. Όπως φαίνεται, αναπτύσσεται μιας μικρής έκτασης περιστροφική αστοχία, στον ανώτερο αναβαθμό του ανάντη πρανούς(Εικ.5-1) .Ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίστηκε είναι SF:1,706. Παρά την μικρή δυνητική αστοχία που δημιουργείται ,ο συντελεστής ασφαλείας είναι πολύ καλός, για αυτό και το φράγμα δεν αστοχεί.



Εικόνα 5-1: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το ϕ/c reduction στην 2^η φάση προσομοίωσης

2) Ανάλυση με πάχος κατακόρυφου φίλτρου 2 m και πάχος οριζόντιου φίλτρου 2 m.

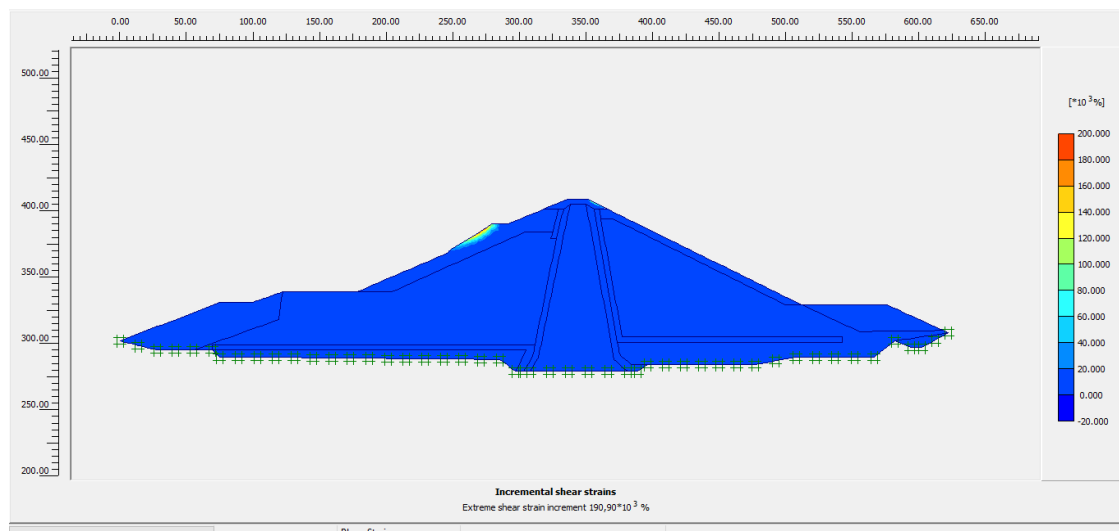
Κατά τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας(ϕ/c reduction), προέκυψε ότι το φράγμα δεν δύναται να αστοχήσει. Όπως φαίνεται, αναπτύσσεται μιας μικρής έκτασης περιστροφική αστοχία, στον ανώτερο αναβαθμό του ανάντη πρανούς(Εικ.5-2) .Ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίστηκε είναι SF:1,703. Παρά την μικρή δυνητική αστοχία που δημιουργείται ,ο συντελεστής ασφαλείας είναι πολύ καλός, για αυτό και το φράγμα δεν αστοχεί.



Εικόνα 5-2: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το ϕ/c reduction ,στην 2^η φάση προσομοίωσης

3) Ανάλυση με πάχος κατακόρυφου φίλτρου 4 m και πάχος οριζόντιου φίλτρου 4 m.

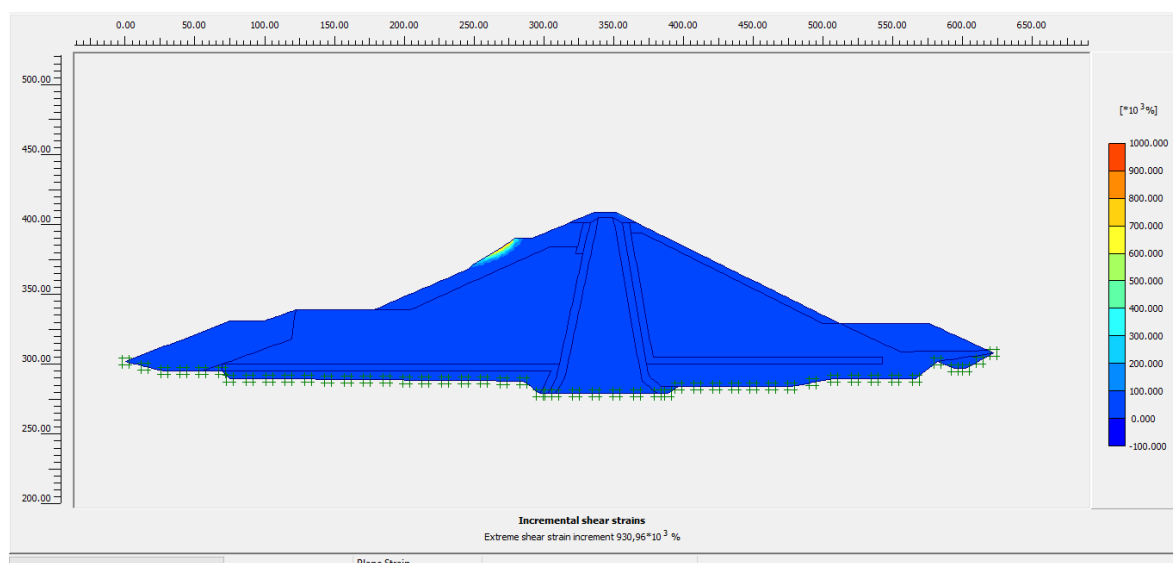
Κατά τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας(ϕ/c reduction), προέκυψε ότι το φράγμα δεν δύναται να αστοχήσει. Όπως φαίνεται, αναπτύσσεται μιας μικρής έκτασης περιστροφική αστοχία, στον ανώτερο αναβαθμό του ανάντη πρανούς(Εικ.5-3) .Ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίστηκε είναι SF:1,698. Παρά την μικρή δυνητική αστοχία που δημιουργείται ,ο συντελεστής ασφαλείας είναι πολύ καλός, για αυτό και το φράγμα δεν αστοχεί.



Εικόνα 5-3: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το $\rho\eta/c$ reduction, στην 2^η φάση προσομοίωσης

4) Ανάλυση με πάχος κατακόρυφου φίλτρου 5 m και πάχος οριζόντιου φίλτρου 5 m.

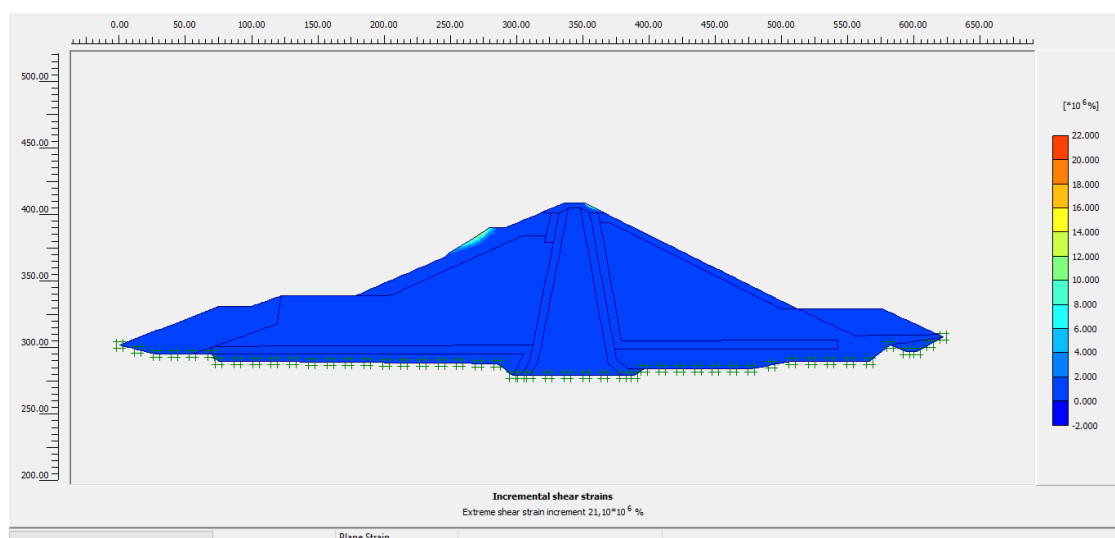
Κατά τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας ($\rho\eta/c$ reduction), προέκυψε ότι το φράγμα δεν δύναται να αστοχήσει. Όπως φαίνεται, αναπτύσσεται μιας μικρής έκτασης περιστροφική αστοχία, στον ανώτερο αναβαθμό του ανάντη πρανούς (Εικ.5-4). Ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίστηκε είναι SF:1,696. Παρά την μικρή δυνητική αστοχία που δημιουργείται, ο συντελεστής ασφαλείας είναι πολύ καλός, για αυτό και το φράγμα δεν αστοχεί.



Εικόνα 5-4: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το $\rho\eta/c$ reduction στην 2^η φάση προσομοίωσης

5) Ανάλυση με πάχος κατακόρυφου φίλτρου 6 m και πάχος οριζόντιου φίλτρου 6 m.

Κατά τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας($\rho\eta/c$ reduction), προέκυψε ότι το φράγμα δεν δύναται να αστοχήσει. Όπως φαίνεται, αναπτύσσεται μιας μικρής έκτασης περιστροφική αστοχία, στον ανώτερο αναβαθμό του ανάντη πρανούς(Εικ.5-5) .Ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίστηκε είναι SF:1,703. Παρά την μικρή δυνητική αστοχία που δημιουργείται ,ο συντελεστής ασφαλείας είναι πολύ καλός, για αυτό και το φράγμα δεν αστοχεί.



Εικόνα 5-5:Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το $\rho\eta/c$ reduction, στην 2^η φάση προσομοίωσης

Πίνακας 5-1: Πίνακας αποτελεσμάτων 1^{ης} παραμετρικής ανάλυσης, χωρίς την παρουσία νερού.

Πλάτος φίλτρων	Συντελεστής ασφαλείας(SF)
K4_O2	1,709
K1_O1	1,706
K2_O2	1,703
K4_O4	1,698
K5_O5	1,696
K6_O6	1,703

Υπόμνημα 3:

K4_O2:Κατακόρυφο φίλτρο 4 m, οριζόντιο φίλτρο 2 m

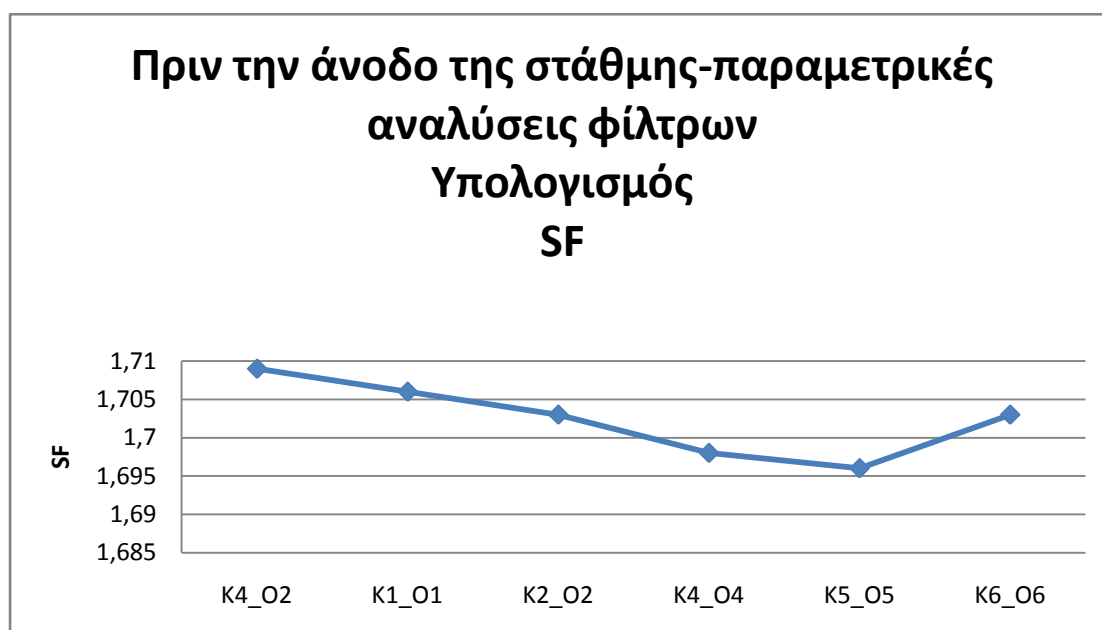
K1_O1:Κατακόρυφο φίλτρο 1 m, οριζόντιο φίλτρο 1 m

K2_O2:Κατακόρυφο φίλτρο 2 m, οριζόντιο φίλτρο 2 m

K4_O4:Κατακόρυφο φίλτρο 4 m, οριζόντιο φίλτρο 4 m

K5_O5:Κατακόρυφο φίλτρο 5 m, οριζόντιο φίλτρο 5 m

K6_O6:Κατακόρυφο φίλτρο 6 m, οριζόντιο φίλτρο 6 m



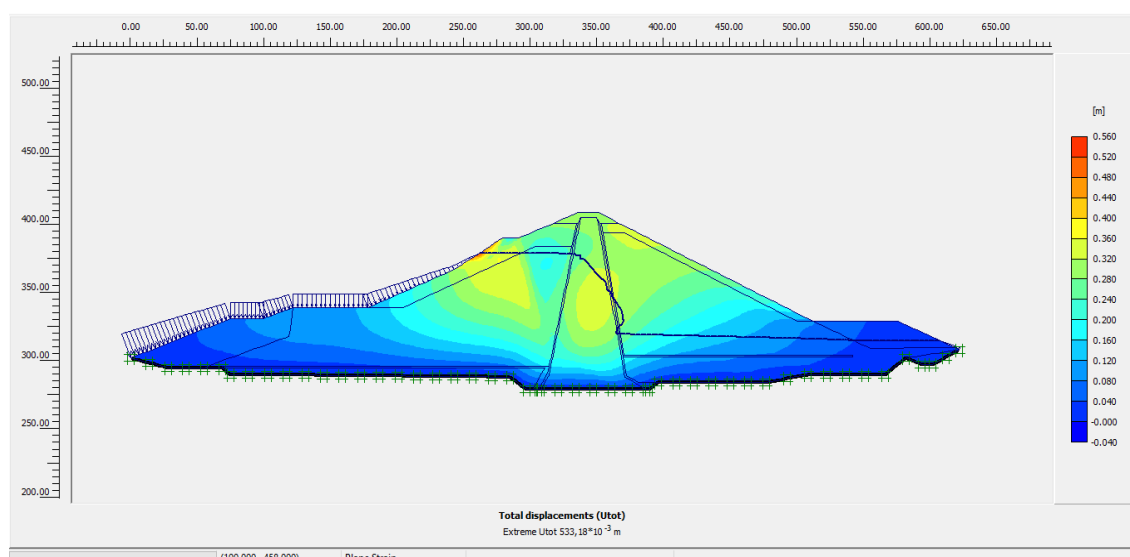
Εικόνα 5-6 : Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας, σε συνάρτηση με την αλλαγή του πάχους των φίλτρων

Όπως διαπιστώνεται από το παραπάνω διάγραμμα όταν μεταβάλλουμε το πάχος των φίλτρων ο συντελεστής ασφαλείας πρακτικά μένει αμετάβλητος αφού οι τιμές του SF ,κυμαίνονταν από 1,696 έως 1,709.

Με την άνοδο της στάθμης του νερού (Υδροφόρος ορίζοντας στη στάθμη λειτουργίας του φράγματος στα 380 m)

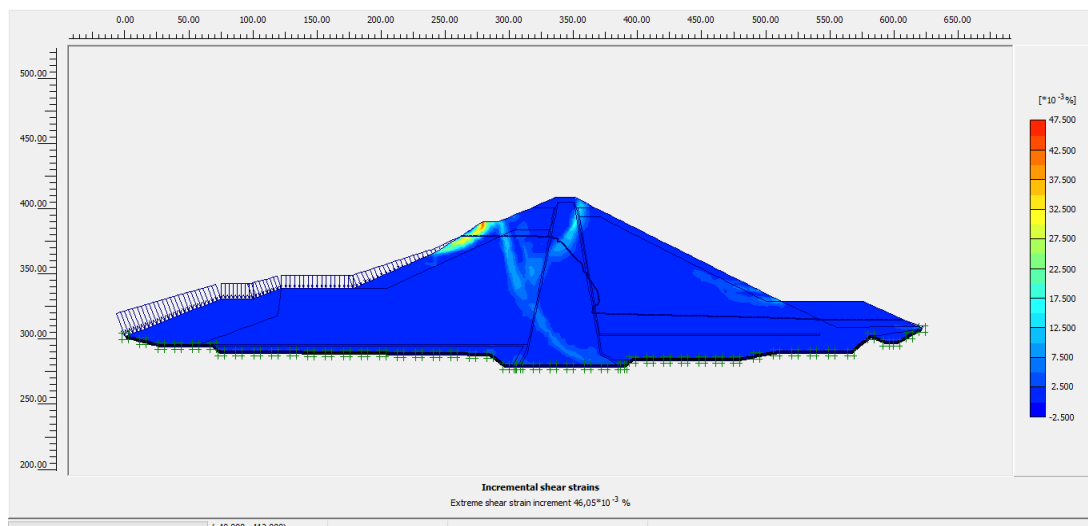
1) Ανάλυση με πάχος κατακόρυφου φίλτρου 1 m και πάχος οριζόντιου φίλτρου 1 m.

Τα αποτελέσματα της επίλυσης κατέγραψαν μέγιστες ολικές μετακινήσεις της τάξεως των 53,318 cm. Οι μετακινήσεις στα επιλεγμένα σημεία Α,Β και C είναι 31 cm, 30,8 cm και 9,1 cm αντίστοιχα .Στο εσωτερικό του σώματος του φράγματος παρατηρούνται οριζόντιες παραμορφώσεις, εξαιτίας της πλευρικής συμπίεσής του από το σώμα στήριξης.(Εικ.5-7). Στην Τρίτη φάση πλαστικής επίλυσης, παρατηρούνται στον ανώτερο αναβαθμό του ανάντη πρανούς, μιας μικρής έντασης ζώνη διάτμησης, όπως επίσης και στο πυρήνα του φράγματος δύο διασταυρούμενες επιφάνειες διάτμησης, μικρής έντασης(Εικ.5-8).Κατά τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας(ρ /c reduction),προέκυψε ότι το φράγμα δεν δύναται να αστοχήσει. Όπως φαίνεται, αναπτύσσεται μιας μικρής έκτασης δυνητική περιστροφική αστοχία, στον ανώτερο αναβαθμό του ανάντη πρανούς(Εικ.5-9) .Ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίστηκε είναι SF:1,582.

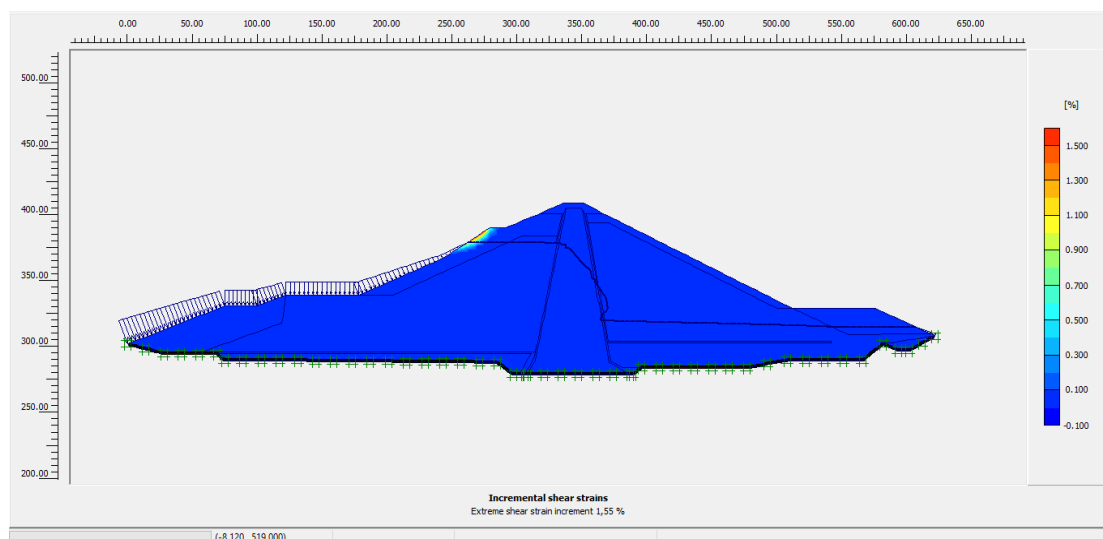


Εικόνα 5-7: Αποτελέσματα συνολικών παραμορφώσεων γεωμετρίας κατά την 3^η φάση προσομοίωσης

Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.



Εικόνα 5-8 : Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά την 3^η φάση προσομοίωσης



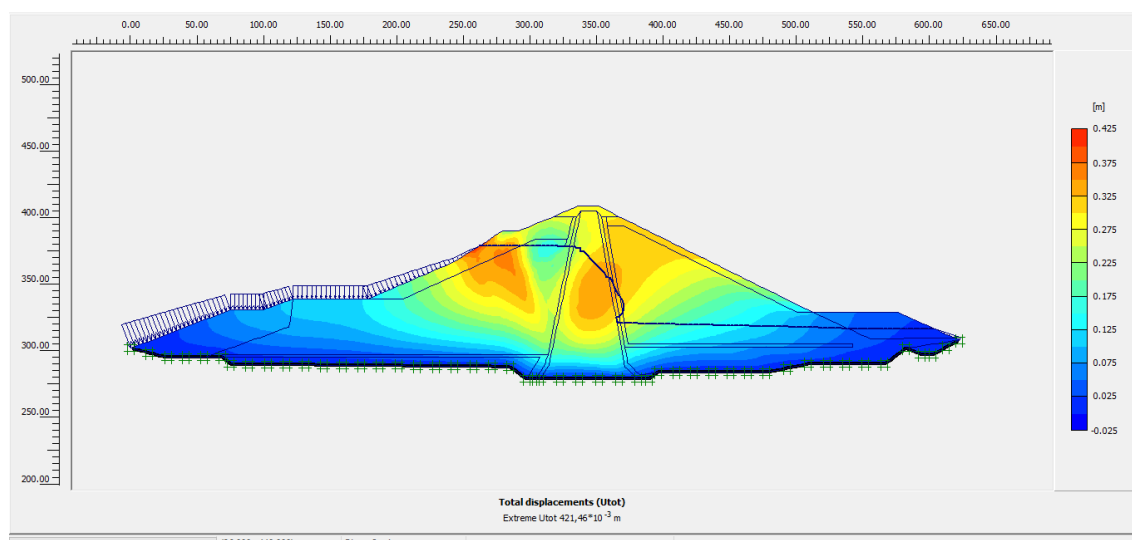
Εικόνα 5-9 : Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το ρ/ϕ reduction , στην 4^η φάση προσομοίωσης

2) Ανάλυση με πάχος κατακόρυφου φίλτρου 2 m και πάχος οριζόντιου φίλτρου 2 m.

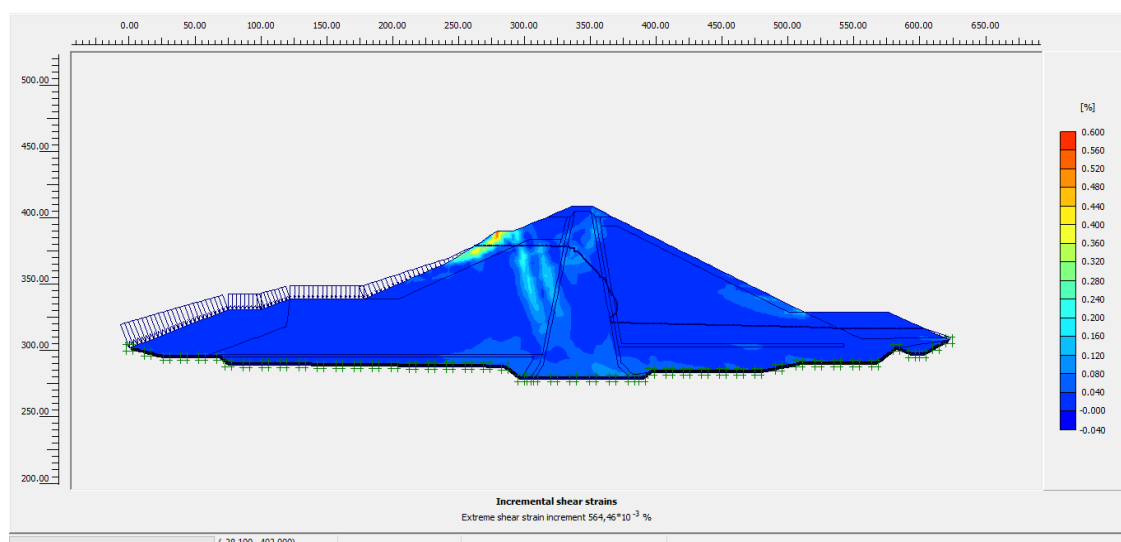
Τα αποτελέσματα της επίλυσης κατέγραψαν μέγιστες ολικές μετακινήσεις της τάξεως των 42,146 cm. Οι μετακινήσεις στα επιλεγμένα σημεία A,B και C είναι 29,4 cm, 28,4 cm και 8,5 cm αντίστοιχα. Στο εσωτερικό του σώματος του φράγματος παρατηρούνται οριζόντιες παραμορφώσεις, εξαιτίας της πλευρικής συμπίεσής του από το σώμα στήριξης.(Εικ.5-10). Στην Τρίτη φάση πλαστικής επίλυσης, παρατηρούνται στον ανώτερο αναβαθμό του ανάντη πρανούς, μιας μικρής έντασης

ζώνη διάτμησης, όπως επίσης και στο πυρήνα του φράγματος δύο επιφάνειες διάτμησης, μικρής έντασης(Εικ.5-11).Κατά τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας(ρ /c reduction),προέκυψε ότι το φράγμα δεν δύναται να αστοχήσει. Όπως φαίνεται, αναπτύσσεται μιας μικρής έκτασης δυνητική περιστροφική αστοχία, στον ανώτερο αναβαθμό του ανάντη πρανούς(Εικ.5-12).

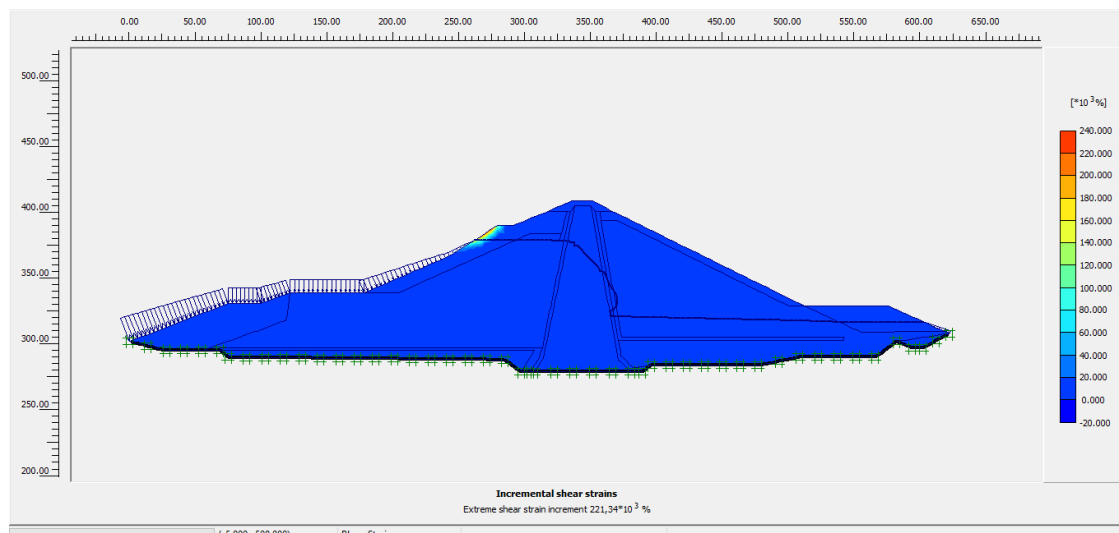
Ο συντελεστής ασφαλείας, που υπολογίστηκε είναι SF: 1,577.



Εικόνα 5-10: Αποτελέσματα συνολικών παραμορφώσεων γεωμετρίας κατά την 3^η φάση προσομοίωσης



Εικόνα 5-11: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά την 3η φάση προσομοίωσης



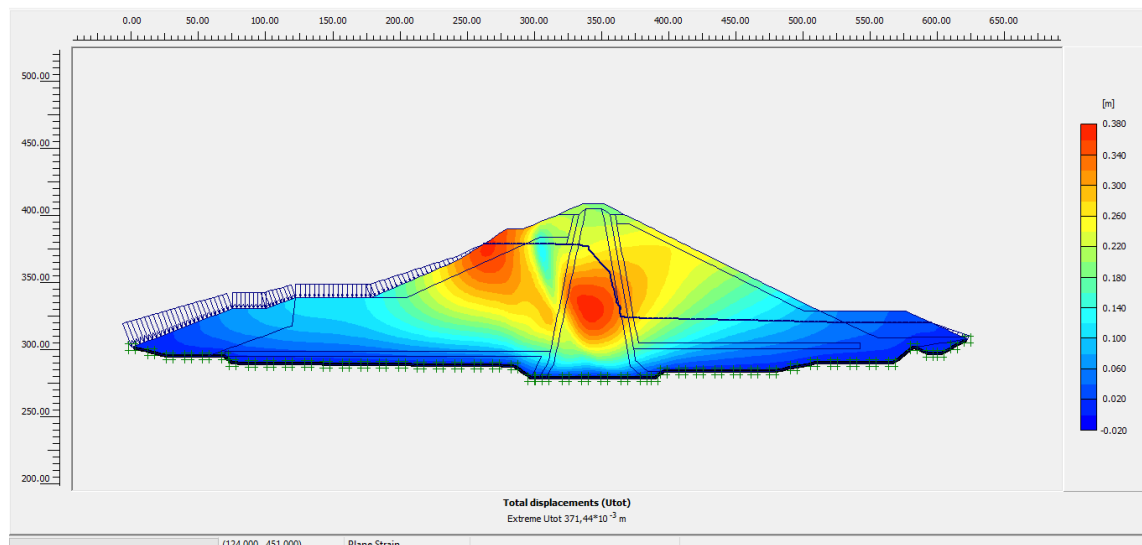
Εικόνα 5-12: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το ρ/c reduction ,στην 4^η φάση προσομοίωσης

3) Ανάλυση με πάχος κατακόρυφου φίλτρου 4 m και πάχος οριζόντιου φίλτρου 4 m.

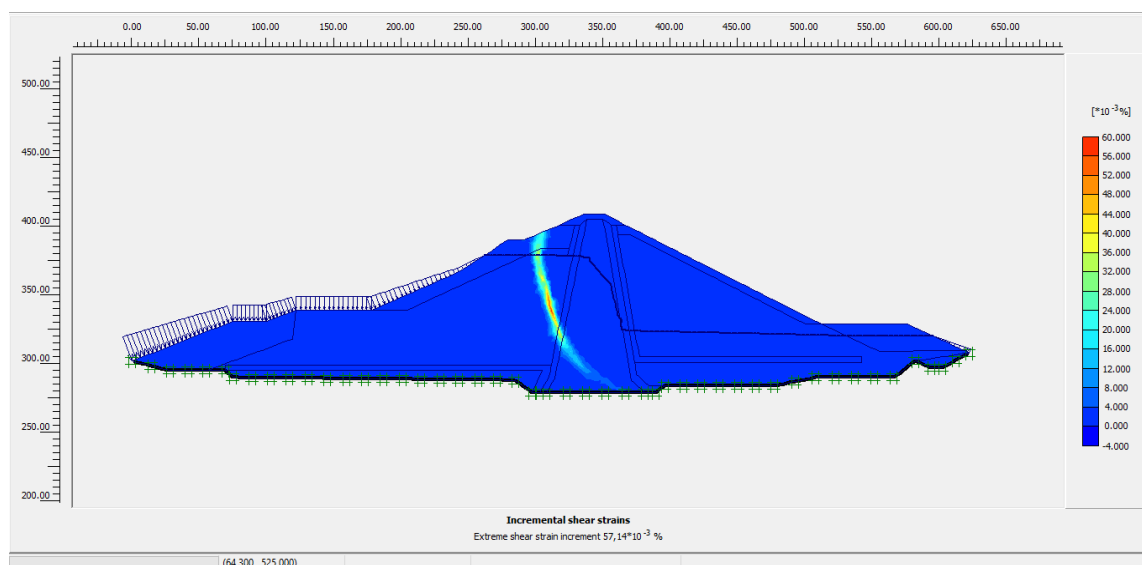
Τα αποτελέσματα της επίλυσης κατέγραψαν μέγιστες ολικές μετακινήσεις της τάξεως των 37,144 cm. Οι μετακινήσεις στα επιλεγμένα σημεία A, B και C είναι 20,1 cm, 18,3 cm και 7,1 cm αντίστοιχα. Στο εσωτερικό του σώματος του φράγματος παρατηρούνται οριζόντιες παραμορφώσεις, εξαιτίας της πλευρικής συμπίεσής του από το σώμα στήριξης. (Εικ.5-13). Στην τρίτη φάση πλαστικής επίλυσης, στο πυρήνα παρατηρείται, μια μεσαίας έντασης ζώνη διάτμησης (Εικ.5-14). Κατά τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας (ρ/c reduction), προέκυψε ότι το φράγμα δεν δύναται να αστοχήσει. Όπως φαίνεται, αναπτύσσεται μιας μικρής έκτασης δυνητική περιστροφική αστοχία, στον ανώτερο αναβαθμό του ανάντη πρανούς (Εικ.5-15).

Ο συντελεστής ασφαλείας, που υπολογίστηκε είναι SF: 1,574.

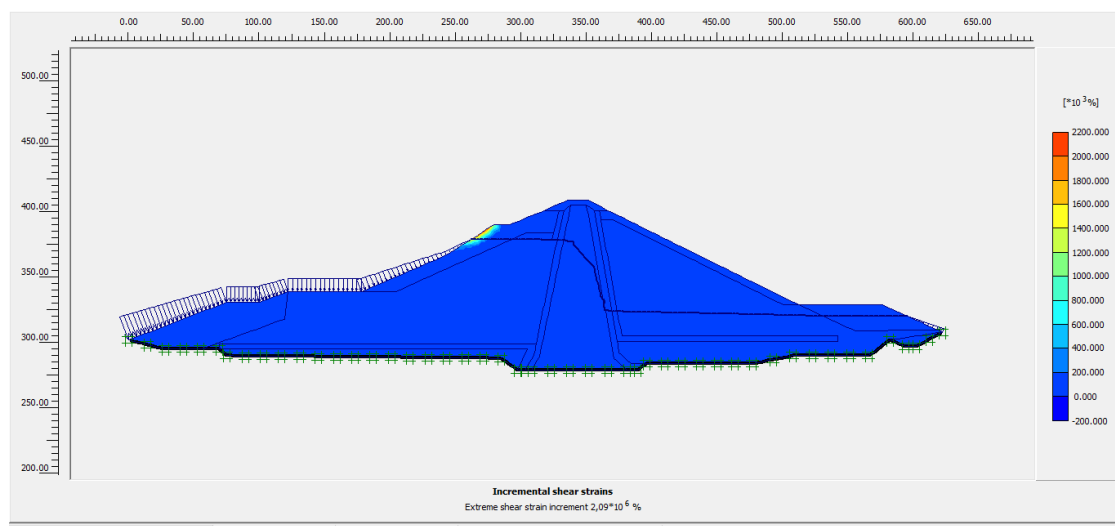
Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.



Εικόνα 5-13: Αποτελέσματα συνολικών παραμορφώσεων γεωμετρίας κατά την 3^η φάση προσομοίωσης



Εικόνα 5-14 : Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά την 3^η φάση προσομοίωσης



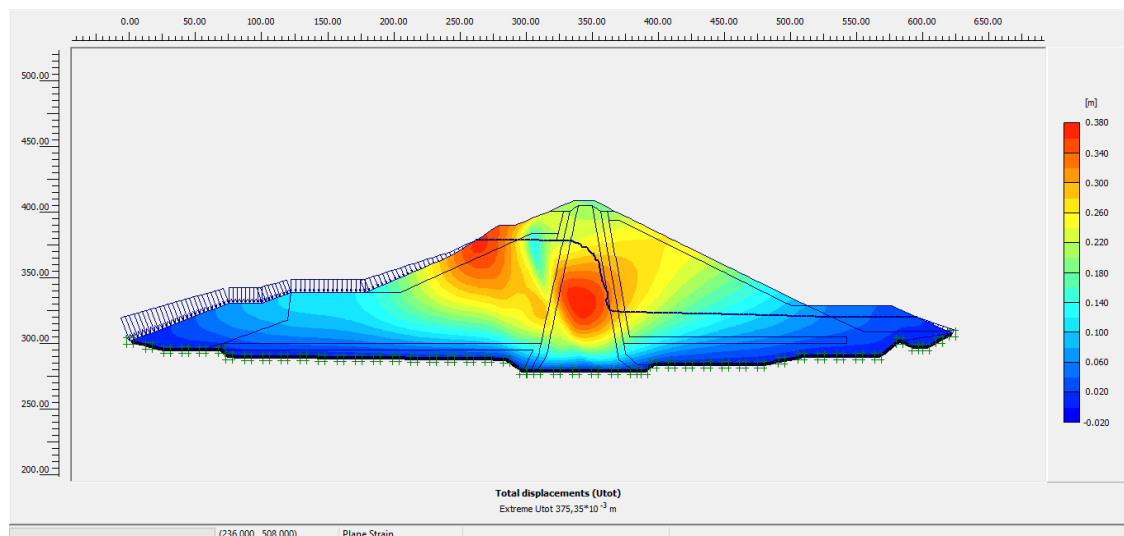
Εικόνα 5-15: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το ϕ/c reduction ,στην 4^η φάση προσομοίωσης

4) Ανάλυση με πάχος κατακόρυφου φίλτρου 5 m και πάχος οριζόντιου φίλτρου 5 m.

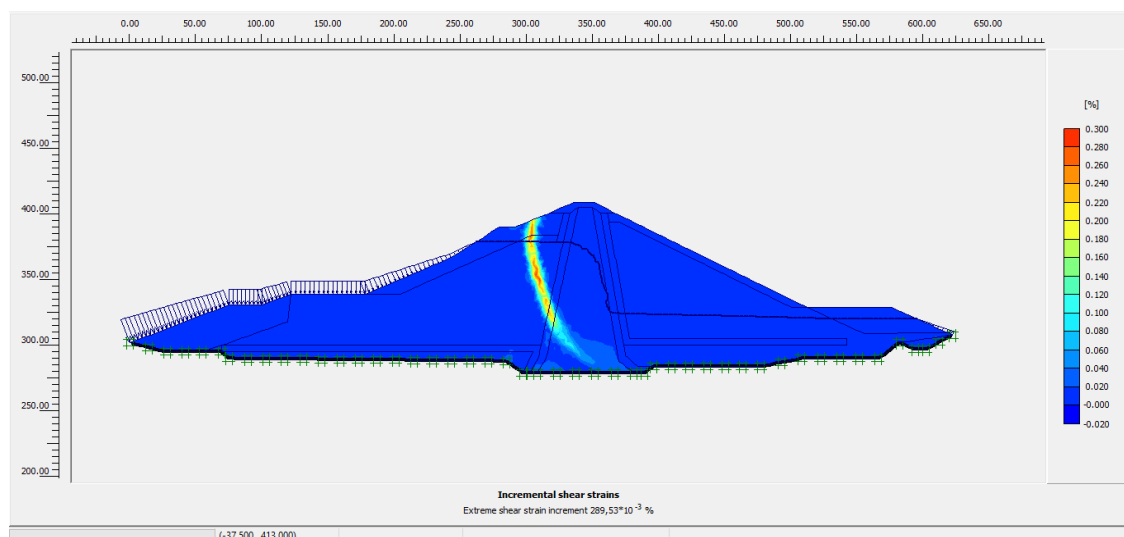
Τα αποτελέσματα της επίλυσης κατέγραψαν μέγιστες ολικές μετακινήσεις της τάξεως των 37,535 cm. Οι μετακινήσεις στα επιλεγμένα σημεία A, B και C είναι 20,4 cm, 18,6 cm και 7,2 cm αντίστοιχα. Στο εσωτερικό του σώματος του φράγματος παρατηρούνται οριζόντιες παραμορφώσεις, εξαιτίας της πλευρικής συμπίεσής του από το σώμα στήριξης. (Εικ.5-16). Στην τρίτη φάση πλαστικής επίλυσης, στο πυρήνα παρατηρείται, μια μεσαίας έντασης ζώνη διάτμησης (Εικ.5-17). Κατά τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας (ϕ/c reduction), προέκυψε ότι το φράγμα δεν δύναται να αστοχήσει. Όπως φαίνεται, αναπτύσσεται μιας μικρής έκτασης δυνητική περιστροφική αστοχία, στον ανώτερο αναβαθμό του ανάντη πρανούς (Εικ.5-18).

Ο συντελεστής ασφαλείας, που υπολογίστηκε είναι SF: 1,584.

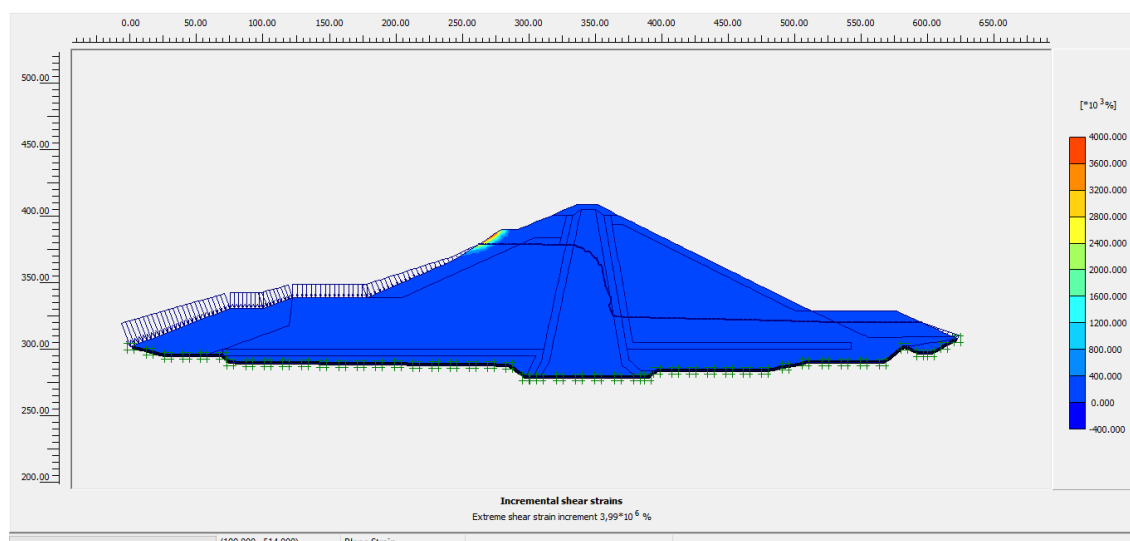
Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.



Εικόνα 5-16: Αποτελέσματα συνολικών παραμορφώσεων γεωμετρίας κατά την 3^η φάση προσομοίωσης



Εικόνα 5-17: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά την 3^η φάση προσομοίωσης

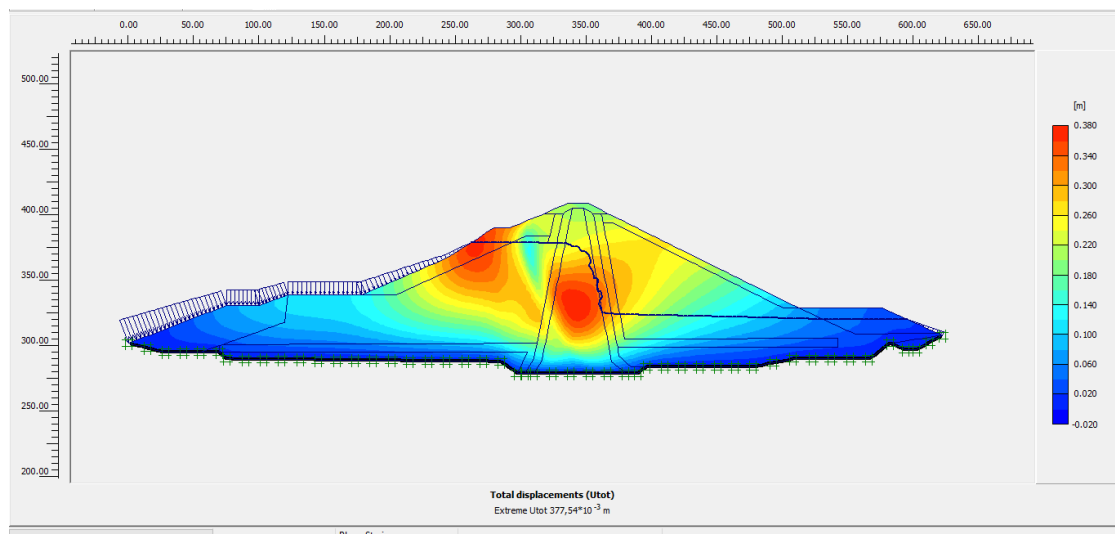


Εικόνα 5-18: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το ϕ/c reduction, στην 4^η φάση προσομοίωσης

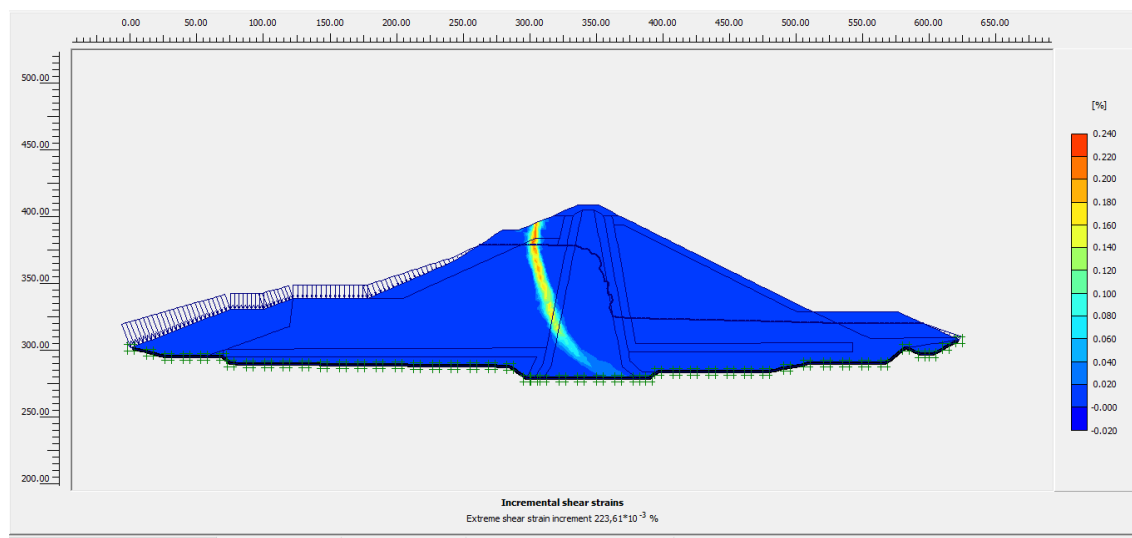
5) Ανάλυση με πάχος κατακόρυφου φίλτρου 6 m και πάχος οριζόντιου φίλτρου 6 m.

Τα αποτελέσματα της επίλυσης κατέγραψαν μέγιστες ολικές μετακινήσεις της τάξεως των 37,754 cm. Οι μετακινήσεις στα επιλεγμένα σημεία A, B και C είναι 20,3 cm, 18,6 cm και 7,2 cm αντίστοιχα. Στο εσωτερικό του σώματος του φράγματος παρατηρούνται οριζόντιες παραμορφώσεις, εξαιτίας της πλευρικής συμπίεσής του από το σώμα στήριξης. (Εικ.5-19). Στην τρίτη φάση πλαστικής επίλυσης, στο πυρήνα παρατηρείται, μια μεσαίας έντασης ζώνη διάτμησης (Εικ.5-20). Κατά τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας (ϕ/c reduction), προέκυψε ότι το φράγμα δεν δύναται να αστοχήσει. Όπως φαίνεται, αναπτύσσεται μιας μικρής έκτασης δυνητική περιστροφική αστοχία, στον ανώτερο αναβαθμό του ανάντη πρανού (Εικ.5-21). Ο συντελεστής ασφαλείας, που υπολογίστηκε είναι SF:1,571.

Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.

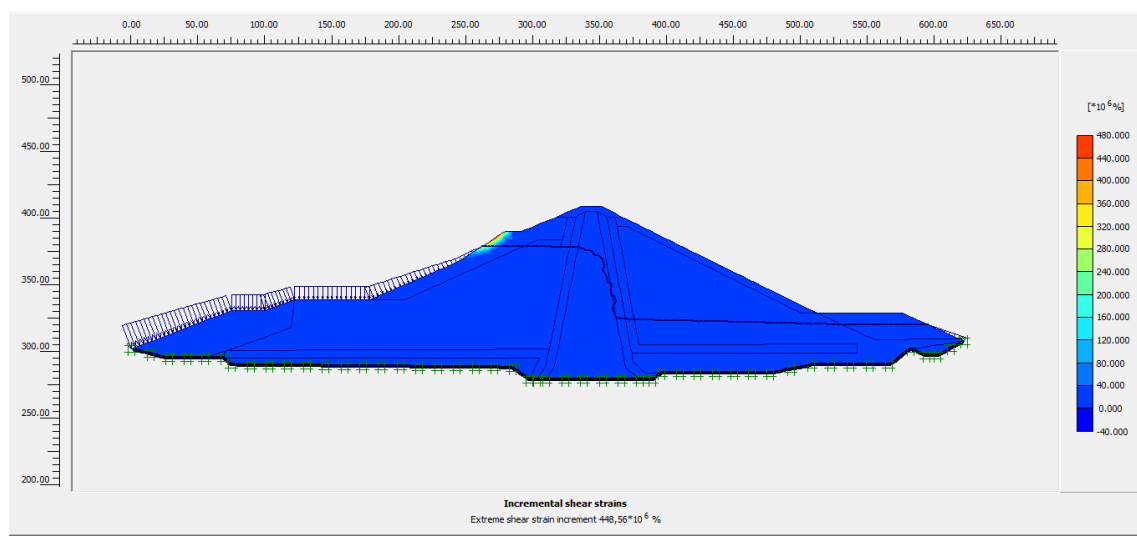


Εικόνα 5-19: Αποτελέσματα συνολικών παραμορφώσεων γεωμετρίας κατά την 3^η φάση προσομοίωσης



Εικόνα 5-20: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά την 3^η φάση προσομοίωσης

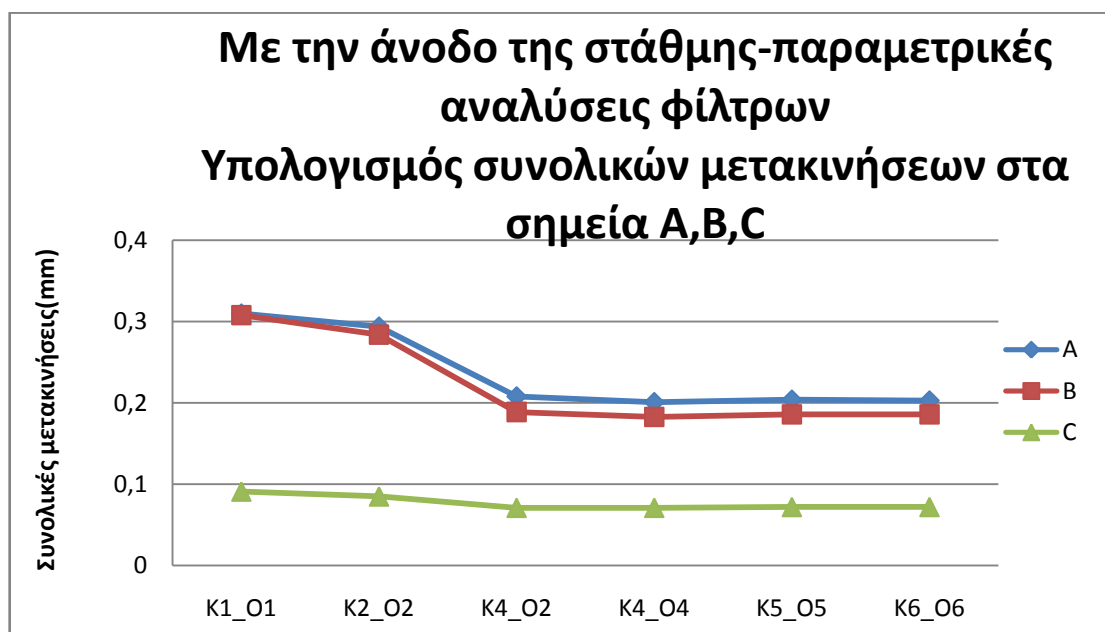
Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.



Εικόνα 5-21: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το phi/c reduction, στην 4^η φάση προσομοίωσης

Πίνακας 5-2: Πίνακας αποτελεσμάτων 1^{ης} παραμετρικής ανάλυσης, με παρουσία νερού.

Πάχος φίλτρων	Συνολικές μετακινήσεις(mm)	Συνολικές μετακινήσεις στο σημείο A(mm)	Συνολικές μετακινήσεις στο σημείο B(mm)	Συνολικές μετακινήσεις στο σημείο C(mm)	Συντελεστής ασφαλείας(SF)
K4_O2	0,374	0,208	0,189	0,071	1,580
K1_O1	0,533	0,310	0,308	0,091	1,582
K2_O2	0,421	0,294	0,284	0,085	1,577
K4_O4	0,371	0,201	0,183	0,071	1,574
K5_O5	0,375	0,204	0,186	0,072	1,584
K6_O6	0,377	0,203	0,186	0,072	1,571



Εικόνα 5-22: Γραφική παράσταση των συνολικών μετακινήσεων στα επιλεγμένα σημεία A,B,C,σε συνάρτηση με την αλλαγή του πάχους των φίλτρων

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα, όσο αυξάνεται το πάχος του οριζοντίου φίλτρου, οι μετακινήσεις στα σημεία A,B,C μειώνονται.



Εικόνα 5-23: Γραφική παράσταση του συντελεστή ασφαλείας, σε συνάρτηση με την αλλαγή του πάχους των φίλτρων

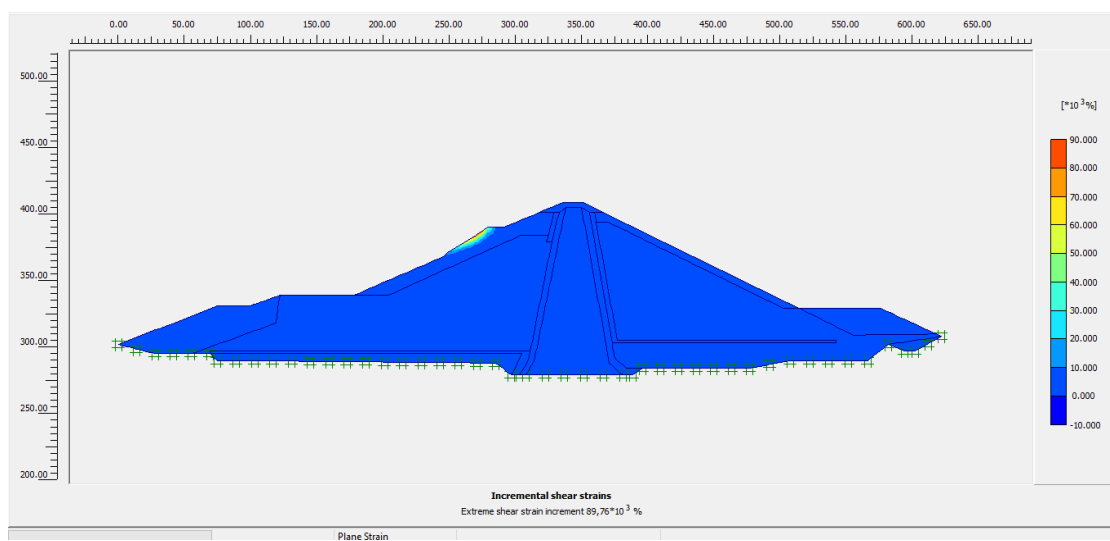
Όπως διαπιστώνεται από το παραπάνω διάγραμμα όταν μεταβάλουμε το πάχος των φίλτρων ο συντελεστής ασφαλείας πρακτικά μένει αμετάβλητος αφού οι τιμές του SF ,κυμαίνονταν από 1,571 έως 1,584.

5.2.Δεύτερη σειρά παραμετρικών αναλύσεων(αλλαγή της κλίσης του κατόντη πρανούς)

Πριν την άνοδο της στάθμης

1) Μείωση της κλίσης κατά 5 μοίρες

Κατά τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας(ϕ/c reduction),προέκυψε ότι το φράγμα δεν δύναται να αστοχήσει. Όπως φαίνεται, αναπτύσσεται μιας μικρής έκτασης περιστροφική αστοχία, στον ανώτερο αναβαθμό του ανάντη πρανούς(Ει.5-24) .Ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίστηκε είναι SF:1,704. Παρά την μικρή δυνητική αστοχία που δημιουργείται ,ο συντελεστής ασφαλείας είναι πολύ καλός, για αυτό και το φράγμα δεν αστοχεί.

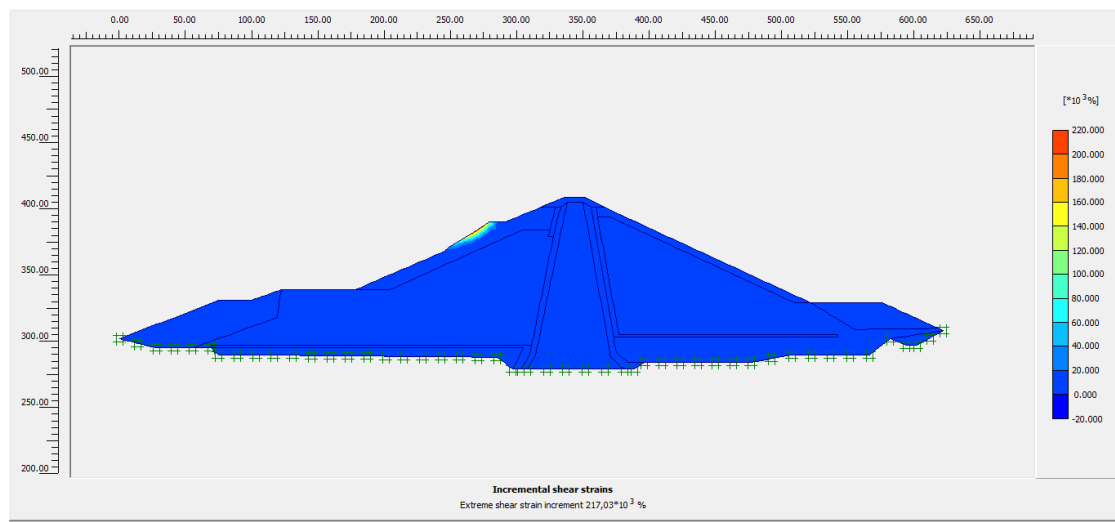


Εικόνα 5-24: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το ϕ/c reduction ,στην 2^η φάση προσομοίωσης

2) Μείωση της κλίσης κατά 10 μοίρες

Κατά τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας(ϕ/c reduction),προέκυψε ότι το φράγμα δεν δύναται να αστοχήσει. Όπως φαίνεται, αναπτύσσεται μιας μικρής έκτασης περιστροφική αστοχία, στον ανώτερο αναβαθμό του ανάντη πρανούς(Εικ.5-25) .Ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίστηκε είναι SF:1,706.

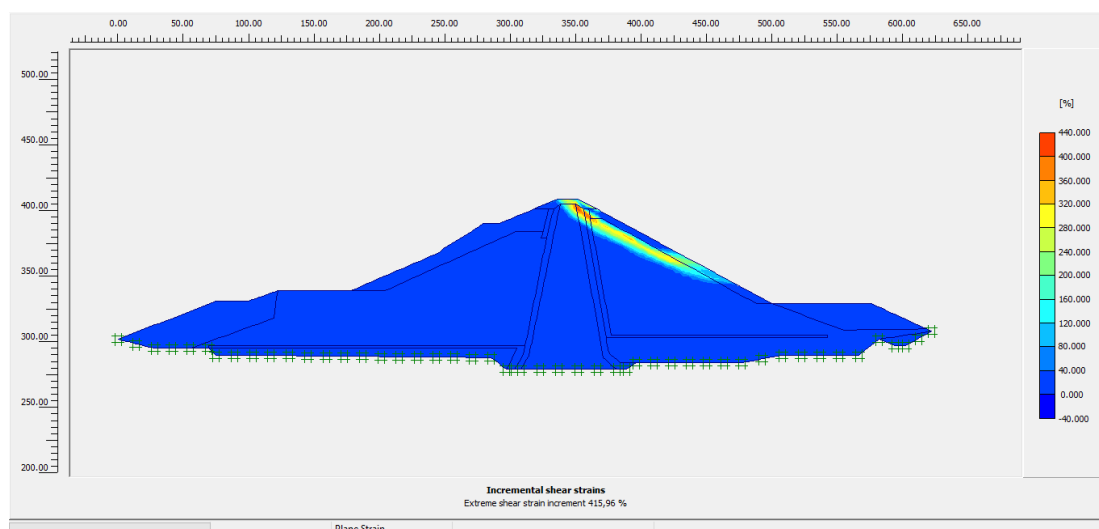
Παρά την μικρή δυνητική αστοχία που δημιουργείται ,ο συντελεστής ασφαλείας είναι πολύ καλός, για αυτό και το φράγμα δεν αστοχεί.



Εικόνα 5-25: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το ρhi/c reduction ,στην 2^η φάση προσομοίωσης

3) Αύξηση της κλίσης κατά 5 μοίρες

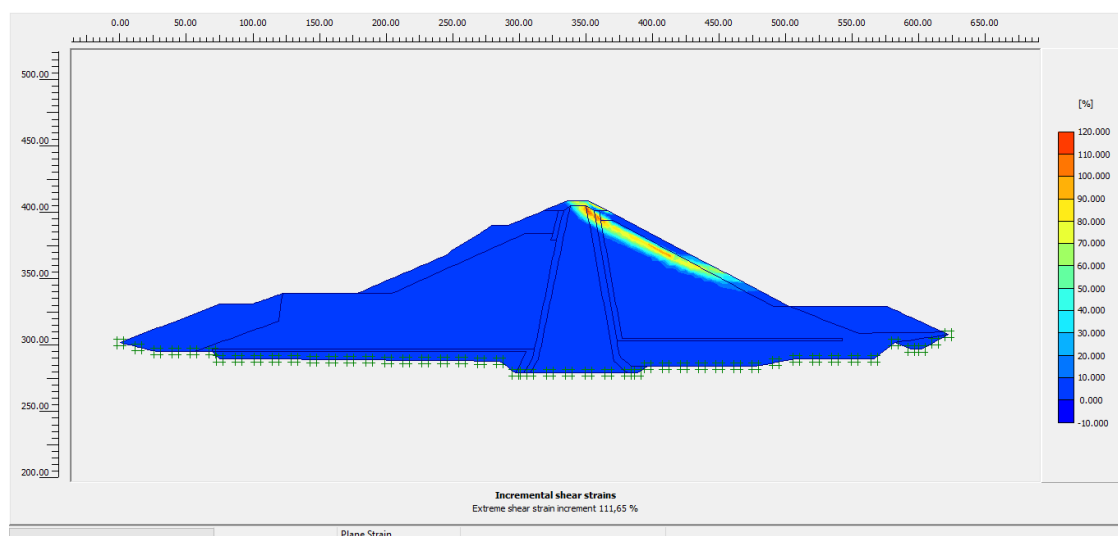
Κατά τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας(ρhi/c reduction),προέκυψε ότι το φράγμα δεν δύναται να αστοχήσει. Όπως φαίνεται, αναπτύσσεται μιας μεγάλης έκτασης περιστροφική αστοχία ,σε σχεδόν όλη την επιφάνεια του κατάντη πρानούς(Εικ.5-26). Ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίστηκε είναι SF:1,660. Παρά την μεγάλης έκτασης δυνητική αστοχία που δημιουργείται ,ο συντελεστής ασφαλείας είναι πολύ καλός, για αυτό και το φράγμα δεν αστοχεί.



Εικόνα 5-26: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το ρhi/c reduction ,στην 2^η φάση προσομοίωσης

4) Αύξηση της κλίσης κατά 10 μοίρες

Κατά τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας(ϕ/c reduction), προέκυψε ότι το φράγμα δεν δύναται να αστοχήσει. Όπως φαίνεται, αναπτύσσεται μιας μεγάλης έκτασης περιστροφική αστοχία ,σε σχεδόν όλη την επιφάνεια του κατάντη πρानούς (Εικ. 5-27). Ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίστηκε είναι SF:1,660. Παρά την μεγάλη έκτασης δυνητική αστοχία που δημιουργείται ,ο συντελεστής ασφαλείας είναι πολύ καλός, για αυτό και το φράγμα δεν αστοχεί.

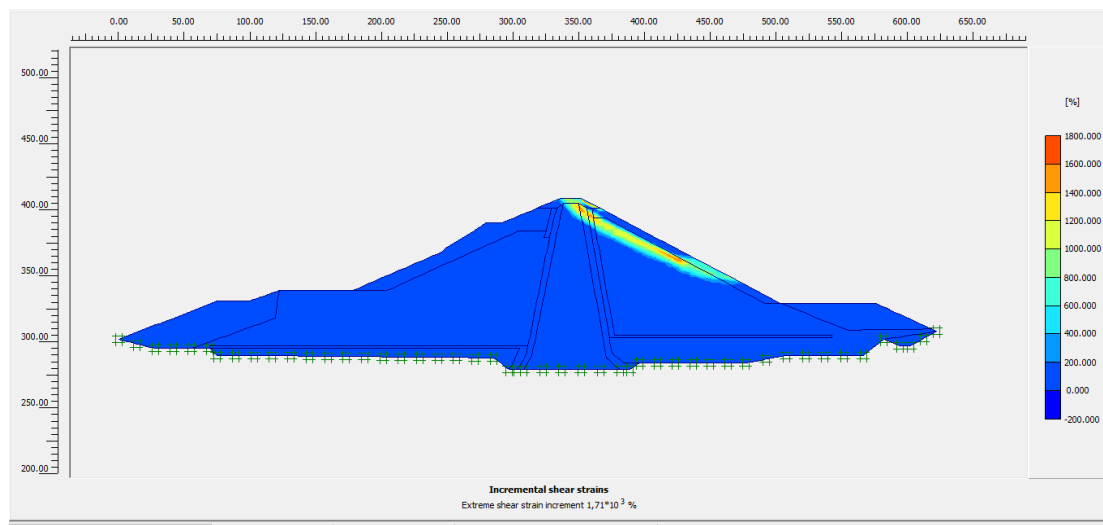


Εικόνα 5-27: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το ϕ/c reduction ,στην 2^η φάση προσομοίωσης

5) Αύξηση της κλίσης κατά 15 μοίρες

Κατά τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας(ϕ/c reduction), προέκυψε ότι το φράγμα δεν δύναται να αστοχήσει. Όπως φαίνεται, αναπτύσσεται μιας μεγάλης έκτασης περιστροφική αστοχία ,σε σχεδόν όλη την επιφάνεια του κατάντη πρानούς(Εικ.5-28). Ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίστηκε είναι SF:1,669. Παρά την μεγάλη έκτασης δυνητική αστοχία που δημιουργείται ,ο συντελεστής ασφαλείας είναι πολύ καλός, για αυτό και το φράγμα δεν αστοχεί.

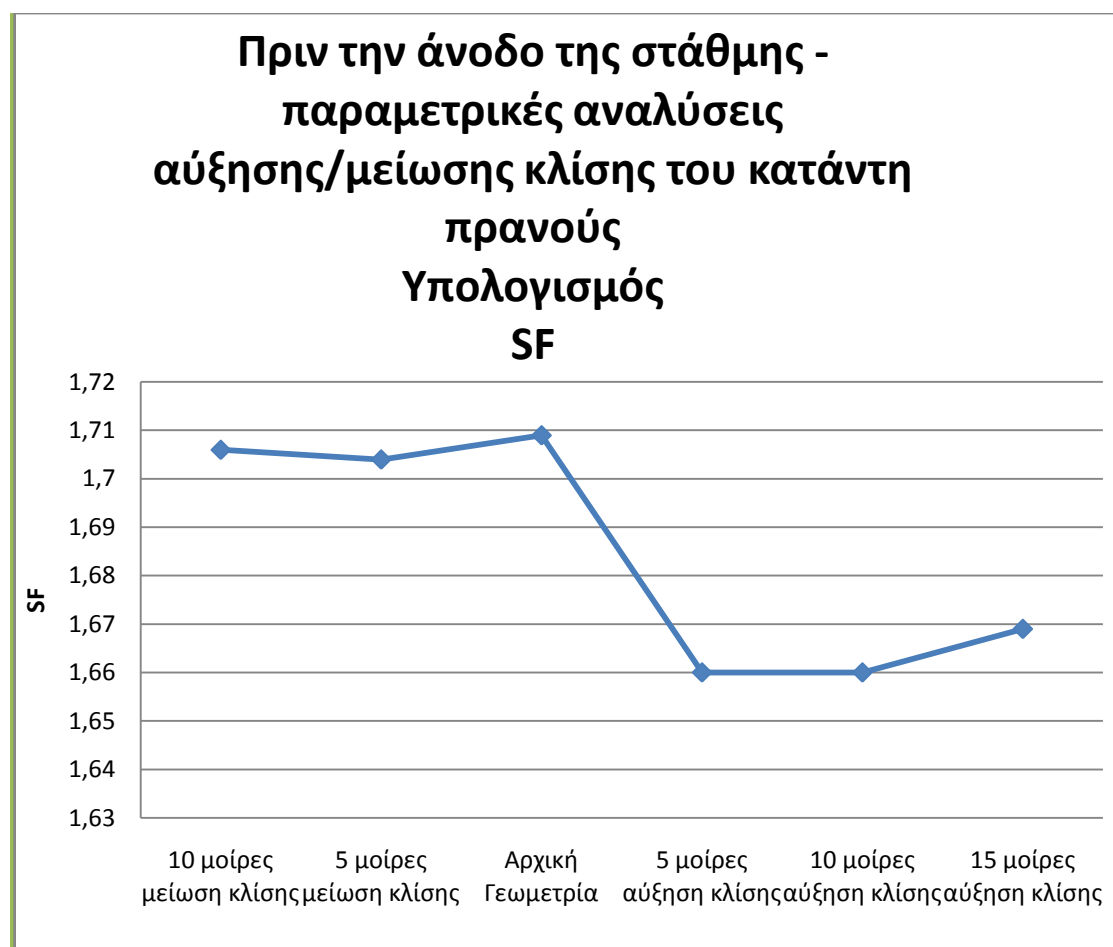
Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.



Εικόνα 5-28: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το ρηί/c reduction, στην 2^η φάση προσομοίωσης

Πίνακας 5-3: Πίνακας αποτελεσμάτων 2^{ης} παραμετρικής ανάλυσης, χωρίς την παρουσία νερού

Αλλαγή κλίσης του κατόντη πρανούς	Συντελεστής ασφαλείας(SF)
Αρχική Γεωμετρία	1,709
Μείωση 5 μοίρες	1,704
Μείωση 10 μοίρες	1,706
Αύξηση 5 μοίρες	1,660
Αύξηση 10 μοίρες	1,660
Αύξηση 15 μοίρες	1,669



Εικόνα 5-29: Γραφική παράσταση του συντελεστή ασφαλείας ,σε συνάρτηση με την αλλαγή της κλίσης του κατάντη πρανούς

Όπως παρατηρείται στο παραπάνω σχήμα όσο αυξάνουμε την κλίση του κατάντη πρανούς, οι τιμές του συντελεστή ασφαλείας μειώνονται. Το γεγονός αυτό είναι λογικό και αναμενόμενο. Σε κάθε περίπτωση όμως ,οι τιμές του κυμαίνονται από 1,660 έως 1,709 και παρέχουν σαφώς την απαιτούμενη ασφάλεια.

Μετά την άνοδο της στάθμης(Υδροφόρος ορίζοντας στη στάθμη λειτουργίας του φράγματος στα 380m)

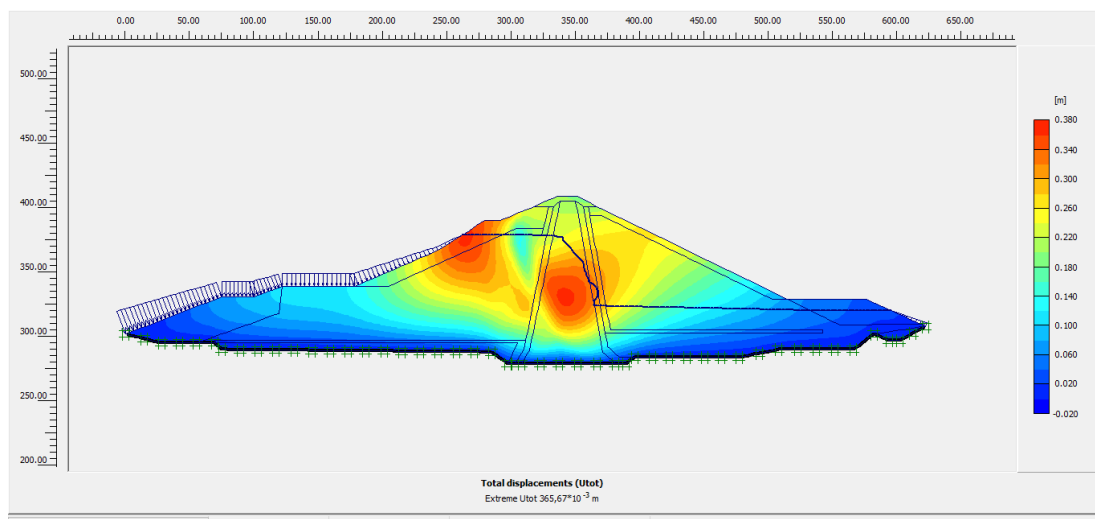
1) Μείωση της κλίσης κατά 5 μοίρες

Τα αποτελέσματα της επίλυσης κατέγραψαν μέγιστες ολικές μετακινήσεις της τάξεως των 36,567 cm.Οι μετακινήσεις στα επιλεγμένα σημεία A,B και C είναι 20,8 cm, 19,4 cm και 7,3 cm αντίστοιχα. Στο εσωτερικό του σώματος του φράγματος παρατηρούνται οριζόντιες παραμορφώσεις, εξαιτίας της πλευρικής συμπίεσής του

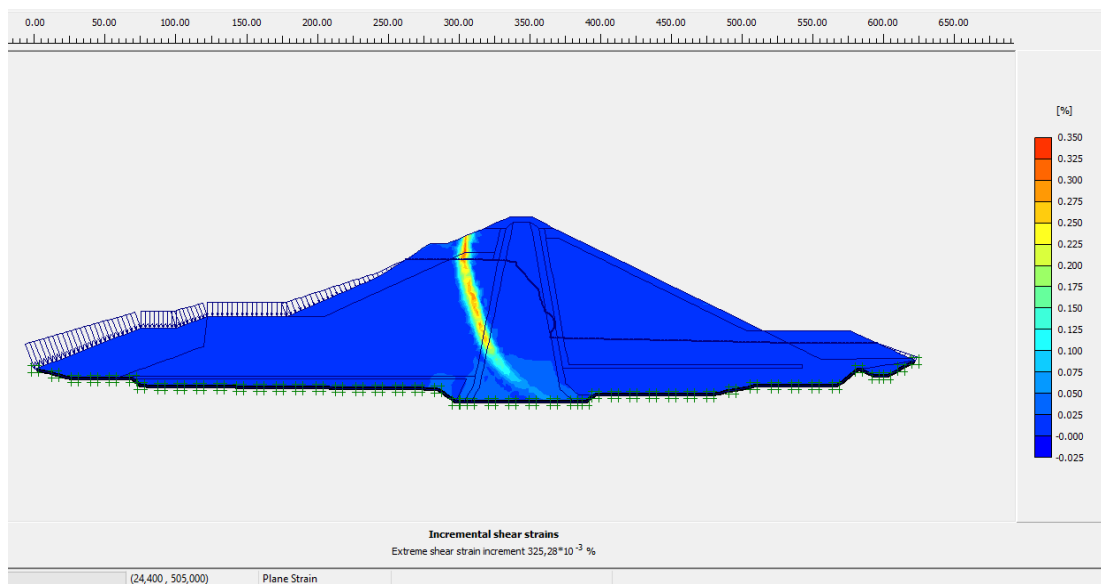
Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.

από το σώμα στήριξης.(Εικ.5-30). Στην τρίτη φάση πλαστικής επίλυσης, στο πυρήνα παρατηρείται, μια μεσαίας έντασης ζώνη διάτμησης(Εικ.5-31).Κατά τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας(ρhi/c reduction),προέκυψε ότι το φράγμα δεν δύναται να αποχήσει. Όπως φαίνεται, αναπτύσσεται μιας μικρής έκτασης δυνητική αστοχία, στον ανώτερο αναβαθμό του ανάντη πρανούς(Εικ.5-32).

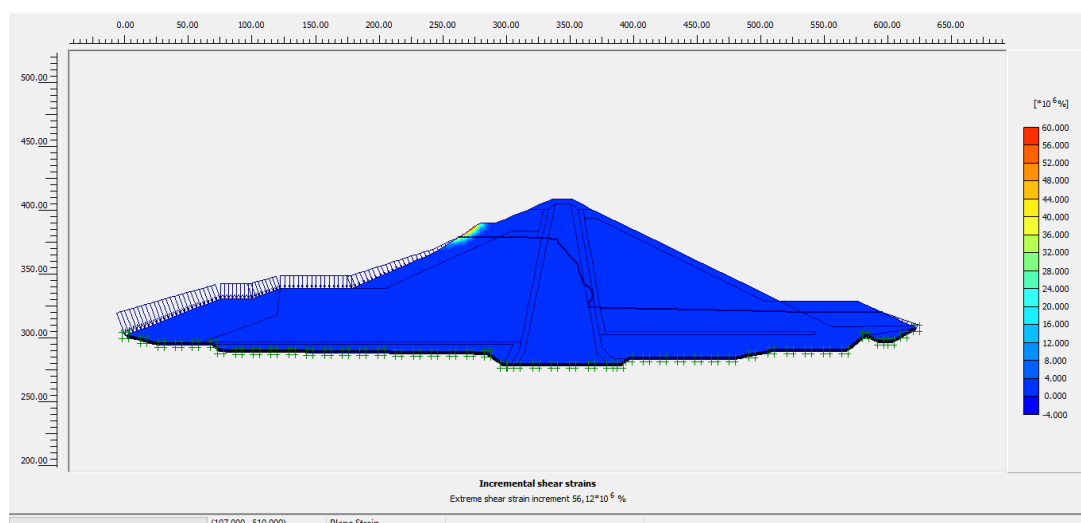
Ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίστηκε είναι SF:1,588.



Εικόνα 5-30: Αποτελέσματα συνολικών παραμορφώσεων γεωμετρίας κατά την 3^η φάση προσομοίωσης



Εικόνα 5-31: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά την 3^η φάση προσομοίωσης



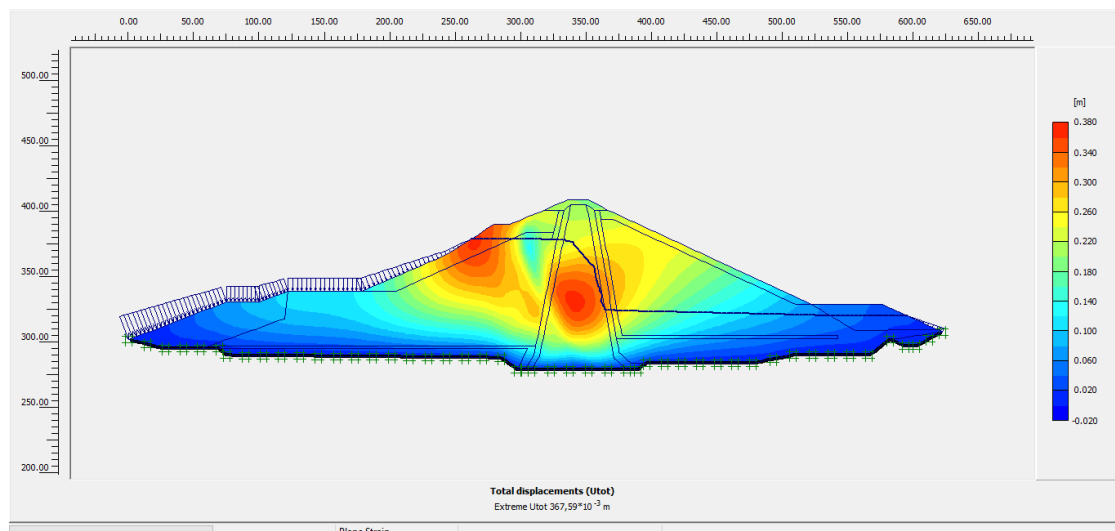
Εικόνα 5-32: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το ϕ/c reduction, στην 4^η φάση προσομοίωσης

2) Μείωση της κλίσης κατά 10 μοίρες

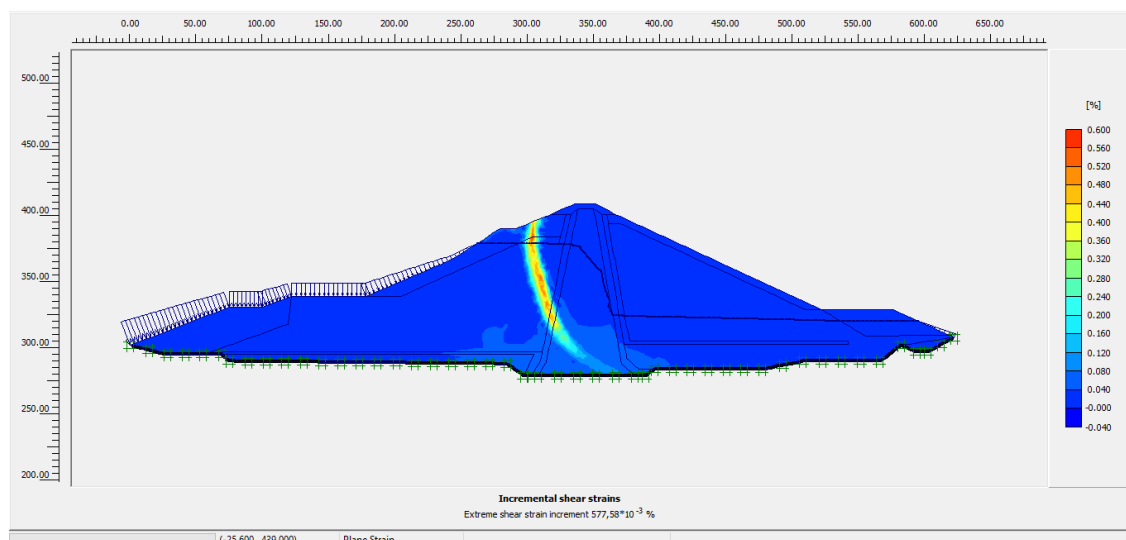
Τα αποτελέσματα της επίλυσης κατέγραψαν μέγιστες ολικές μετακινήσεις της τάξεως των 36,759 cm. Οι μετακινήσεις στα επιλεγμένα σημεία A, B και C είναι 20,6 cm, 18,9 cm και 6,4 cm αντίστοιχα. Στο εσωτερικό του σώματος του φράγματος παρατηρούνται οριζόντιες παραμορφώσεις, εξαιτίας της πλευρικής συμπίεσής του από το σώμα στήριξης. (Εικ.5-33). Στην τρίτη φάση πλαστικής επίλυσης, στο πυρήνα παρατηρείται, μια μεσαίας έντασης ζώνη διάτμησης (Εικ.5-34). Κατά τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας (ϕ/c reduction), προέκυψε ότι το φράγμα δεν δύναται να αστοχήσει. Όπως φαίνεται, αναπτύσσεται μιας μικρής έκτασης δυνητική αστοχία, στον ανώτερο αναβαθμό του ανάντη πρανούς (Εικ.5-35).

Ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίστηκε είναι SF:1,578.

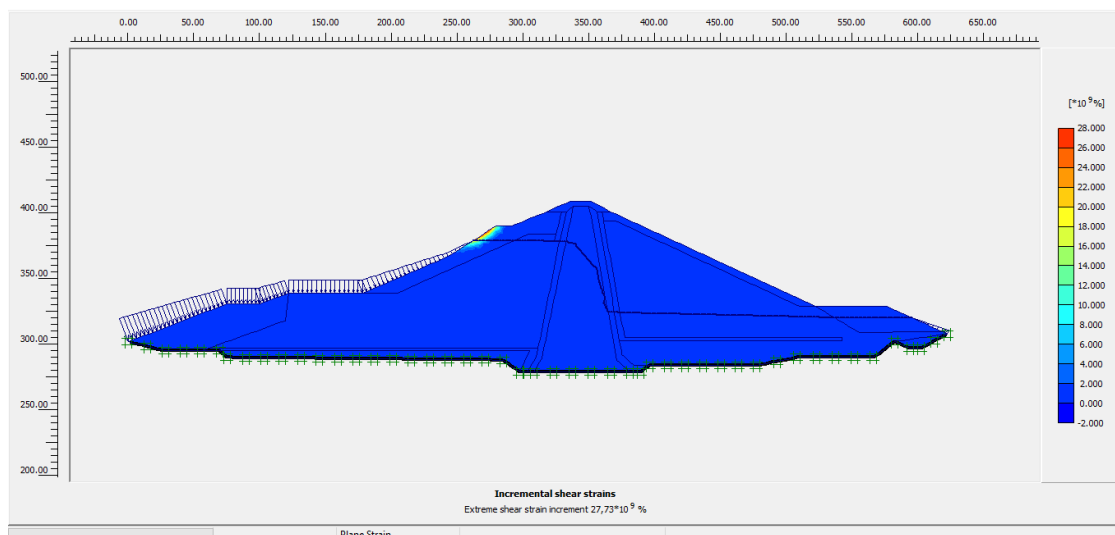
Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.



Εικόνα 5-33: Αποτελέσματα συνολικών παραμορφώσεων γεωμετρίας κατά την 3^η φάση προσομοίωσης



Εικόνα 5-34: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά την 3^η φάση προσομοίωσης



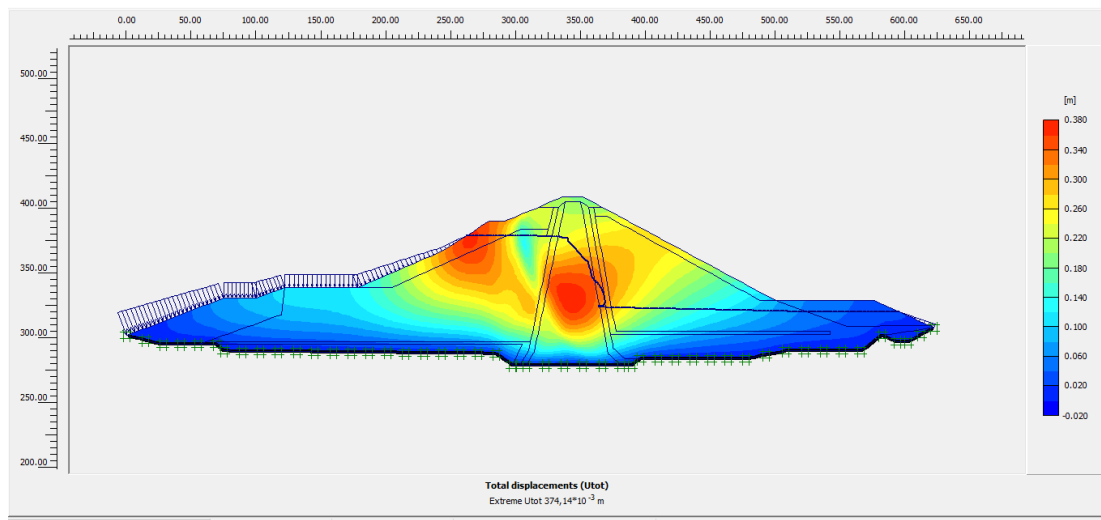
Εικόνα 5-35: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το ϕ/c reduction, στην 4^η φάση προσομοίωσης

3) Αύξηση της κλίσης κατά 5 μοίρες

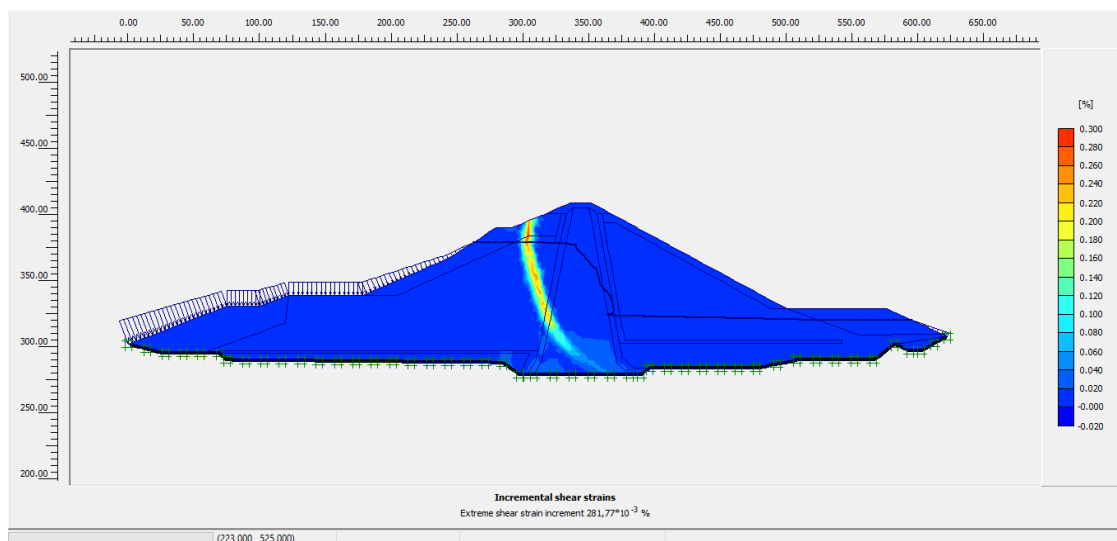
Τα αποτελέσματα της επίλυσης κατέγραψαν μέγιστες ολικές μετακινήσεις της τάξεως των 37,414 cm. Οι μετακινήσεις στα επιλεγμένα σημεία A, B και C είναι 20,5 cm, 18,2 cm και 8 cm αντίστοιχα. Στο εσωτερικό του σώματος του φράγματος παρατηρούνται οριζόντιες παραμορφώσεις, εξαιτίας της πλευρικής συμπίεσής του από το σώμα στήριξης. (Εικ.5-36). Στην τρίτη φάση πλαστικής επίλυσης, στο πυρήνα παρατηρείται, μια μεσαίας έντασης ζώνη διάτμησης (Εικ.5-37). Κατά τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας (ϕ/c reduction), προέκυψε ότι το φράγμα δεν δύναται να αστοχήσει. Όπως φαίνεται, αναπτύσσεται μιας μικρής έκτασης δυνητική αστοχία, στον ανώτερο αναβαθμό του ανάντη πρανούς (Εικ.5-38).

Ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίστηκε είναι SF:1,586.

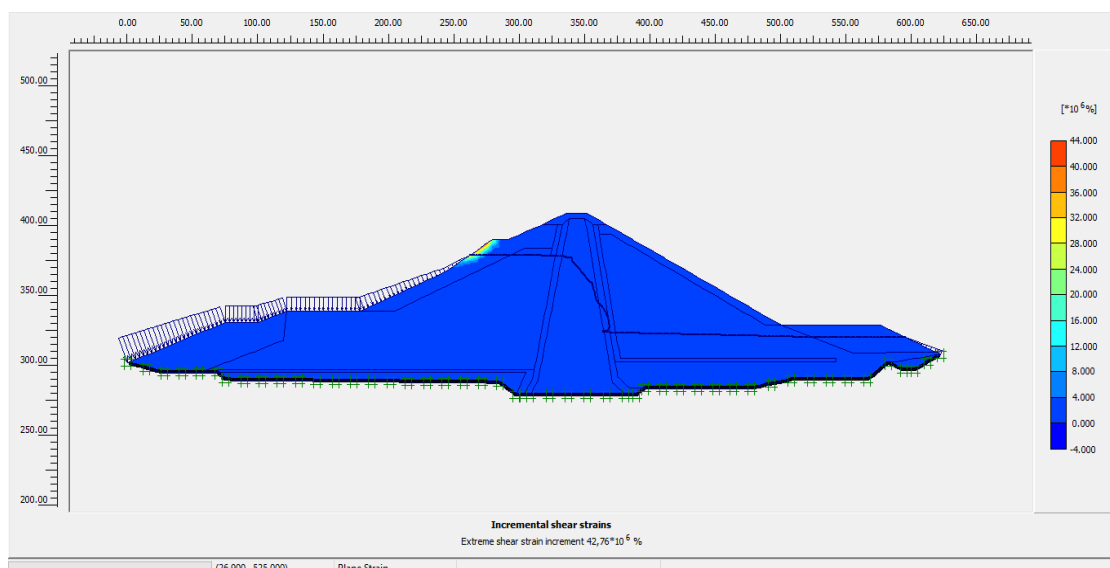
Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φράγματων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.



Εικόνα 5-36 : Αποτελέσματα συνολικών παραμορφώσεων γεωμετρίας κατά την 3^η φάση προσομοίωσης



Εικόνα 5-37: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά την 3^η φάση προσομοίωσης



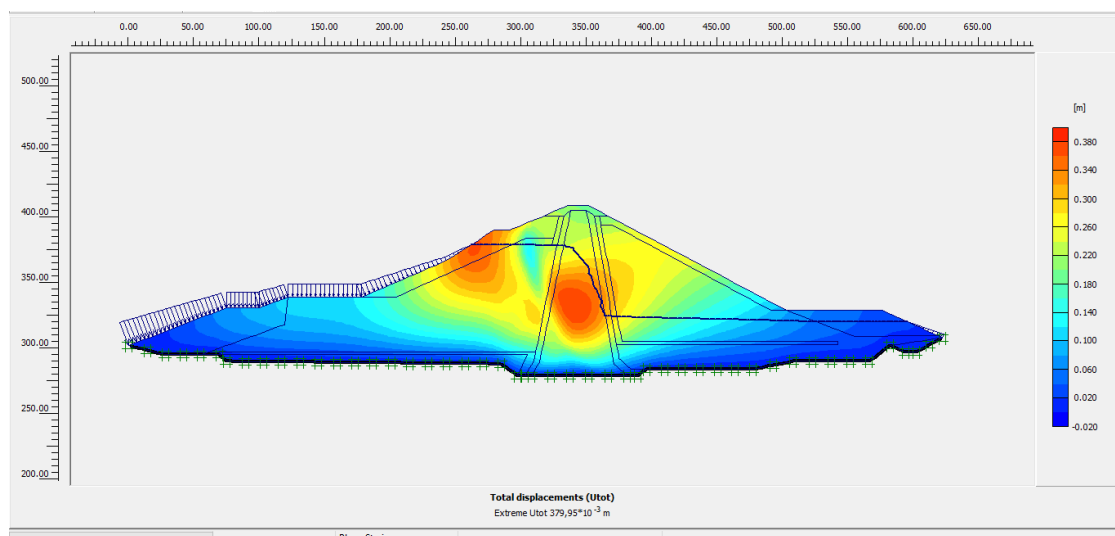
Εικόνα 5-38: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το ρ/c reduction, στην 4^η φάση προσομοίωσης

4) Αύξηση της κλίσης κατά 10 μοίρες

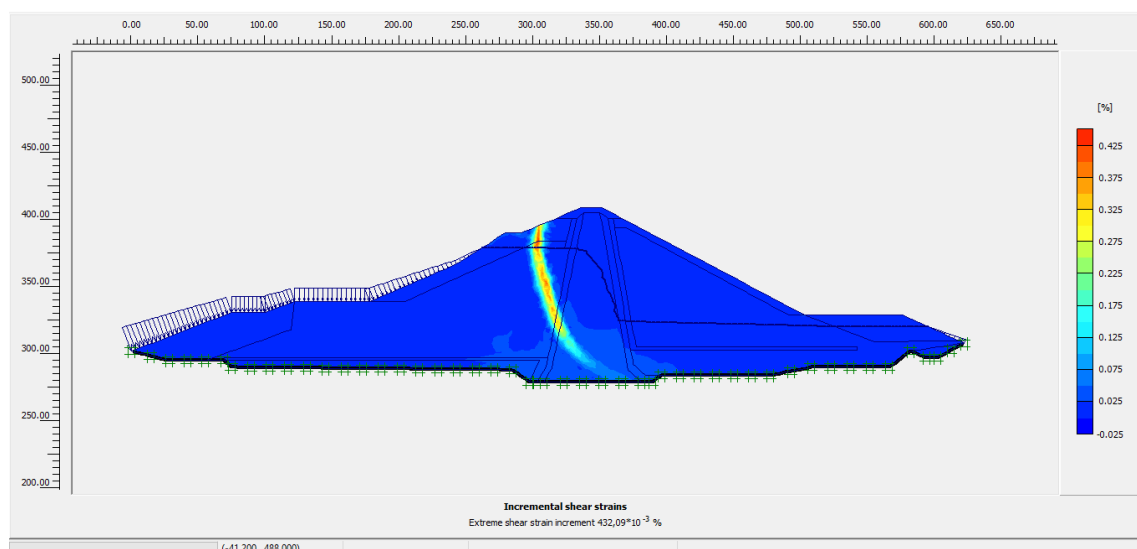
Τα αποτελέσματα της επίλυσης κατέγραψαν μέγιστες ολικές μετακινήσεις της τάξεως των 37,995 cm. Οι μετακινήσεις στα επιλεγμένα σημεία A, B και C είναι 20,7 cm, 18,6 cm και 8,9 cm αντίστοιχα. Στο εσωτερικό του σώματος του φράγματος παρατηρούνται οριζόντιες παραμορφώσεις, εξαιτίας της πλευρικής συμπίεσής του από το σώμα στήριξης. (Εικ.5-39). Στην τρίτη φάση πλαστικής επίλυσης, στο πυρήνα παρατηρείται, μια μεσαία έντασης ζώνη διάτμησης (Εικ.5-40). Κατά τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας (ρ/c reduction), προέκυψε ότι το φράγμα δεν δύναται να αστοχήσει. Όπως φαίνεται, αναπτύσσεται μιας μικρής έκτασης δυνητική αστοχία, στον ανώτερο αναβαθμό του ανάντη πρανούς (Εικ.5-41).

Ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίστηκε είναι SF:1,583.

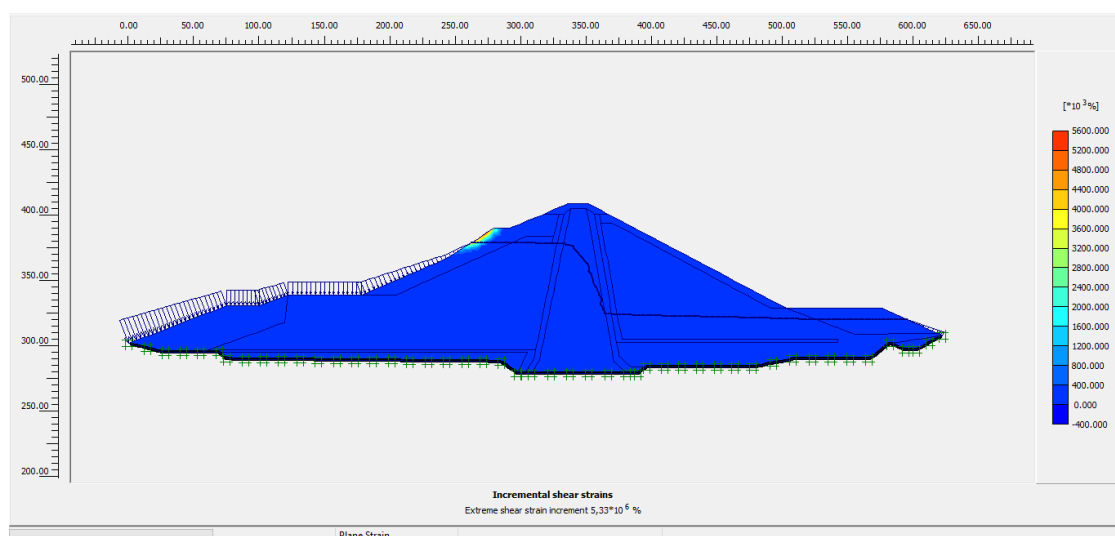
Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.



Εικόνα 5-39: Αποτελέσματα συνολικών παραμορφώσεων γεωμετρίας κατά την 3^η φάση προσομοίωσης



Εικόνα 5-40: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά την 3^η φάση προσομοίωσης



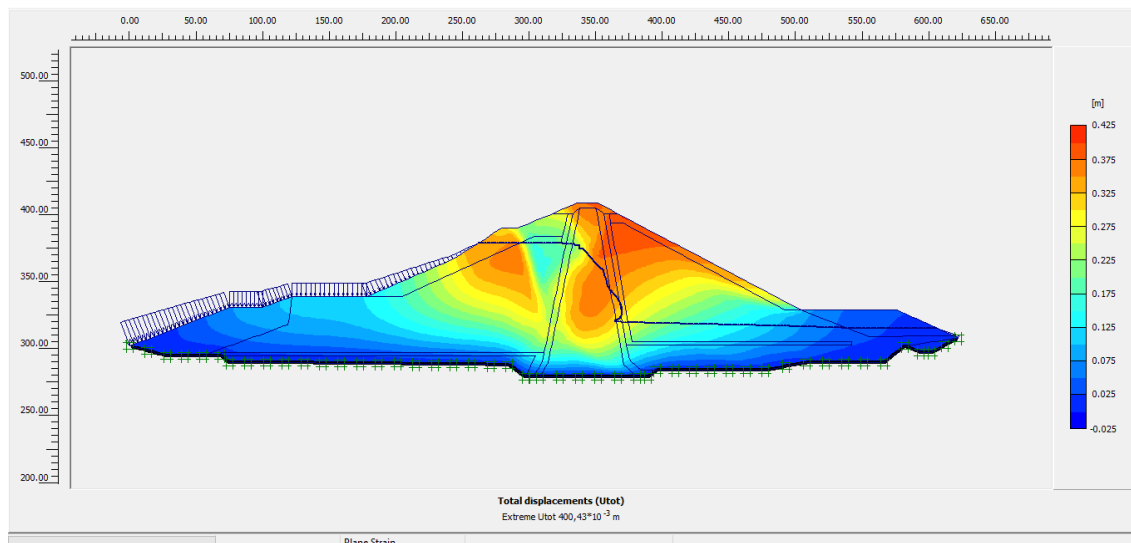
Εικόνα 5-41: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το ϕ/c reduction, στην 4^η φάση προσομοίωσης

5) Αύξηση της κλίσης κατά 15 μοίρες

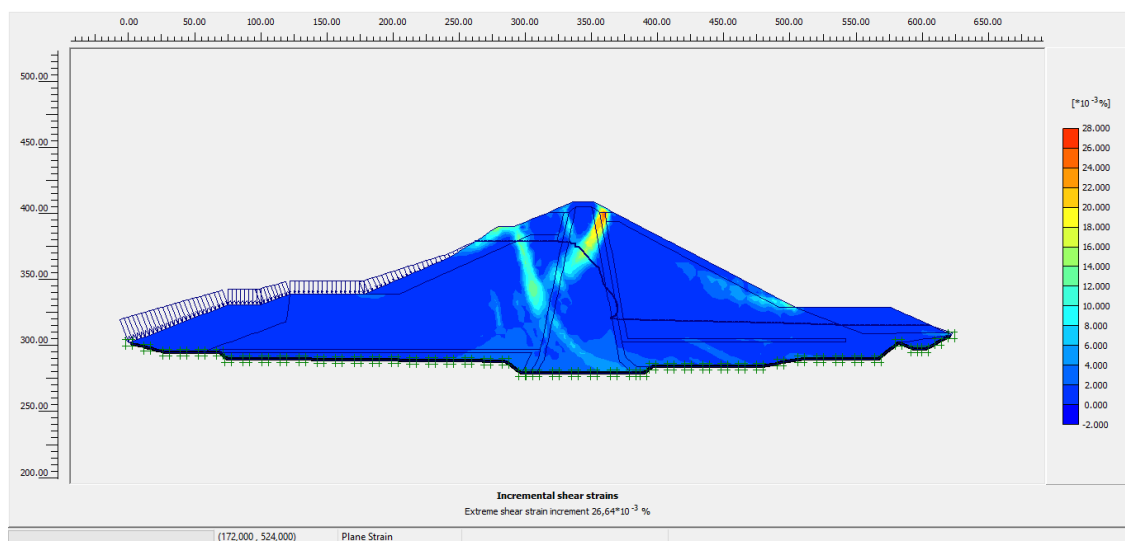
Τα αποτελέσματα της επίλυσης κατέγραψαν μέγιστες ολικές μετακινήσεις της τάξεως των 40,043 cm. Οι μετακινήσεις στα επιλεγμένα σημεία A, B και C είναι 36,8 cm, 38,3 cm και 11,2 cm αντίστοιχα. Στο εσωτερικό του σώματος του φράγματος παρατηρούνται οριζόντιες παραμορφώσεις, εξαιτίας της πλευρικής συμπίεσής του από το σώμα στήριξης. (Εικ.5-42). Στην Τρίτη φάση πλαστικής επίλυσης, παρατηρούνται στον ανώτερο αναβαθμό του ανάντη πρανούς, μιας μικρής έντασης ζώνη διάτμησης, όπως επίσης και στο πυρήνα του φράγματος δύο διασταυρούμενες επιφάνειες διάτμησης (Εικ.5-43). Κατά τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας (ϕ/c reduction), προέκυψε ότι το φράγμα δεν δύναται να αστοχήσει. Όπως φαίνεται, αναπτύσσεται μιας μικρής έκτασης δυνητική αστοχία, στον ανώτερο αναβαθμό του ανάντη πρανούς (Εικ.5-44).

Ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίστηκε είναι SF:1,575.

Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.

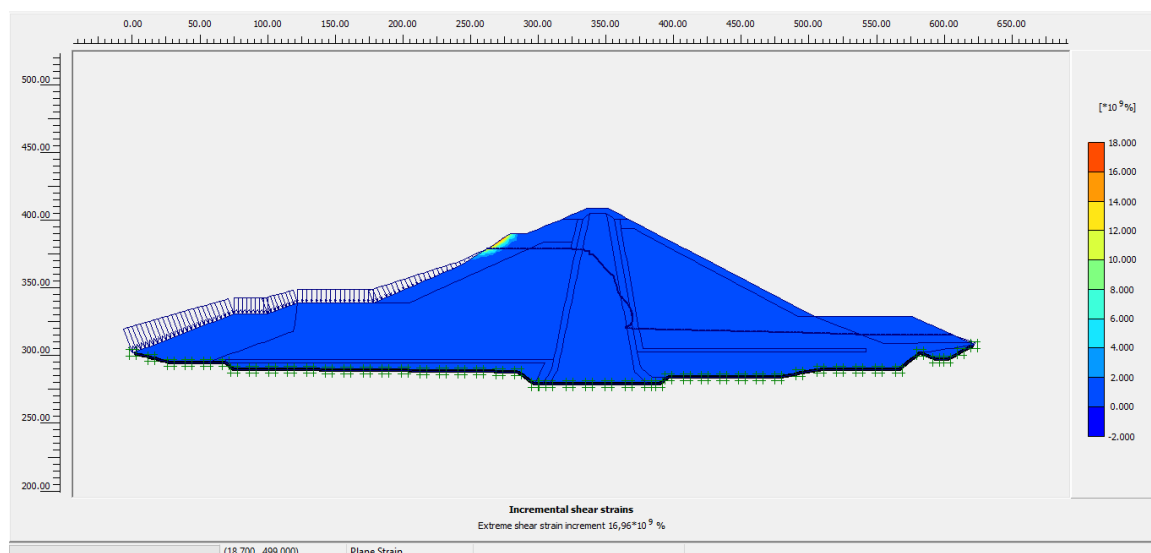


Εικόνα 5-42: Αποτελέσματα συνολικών παραμορφώσεων γεωμετρίας κατά την 3^η φάση προσομοίωσης



Εικόνα 5-43: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά την 3^η φάση προσομοίωσης

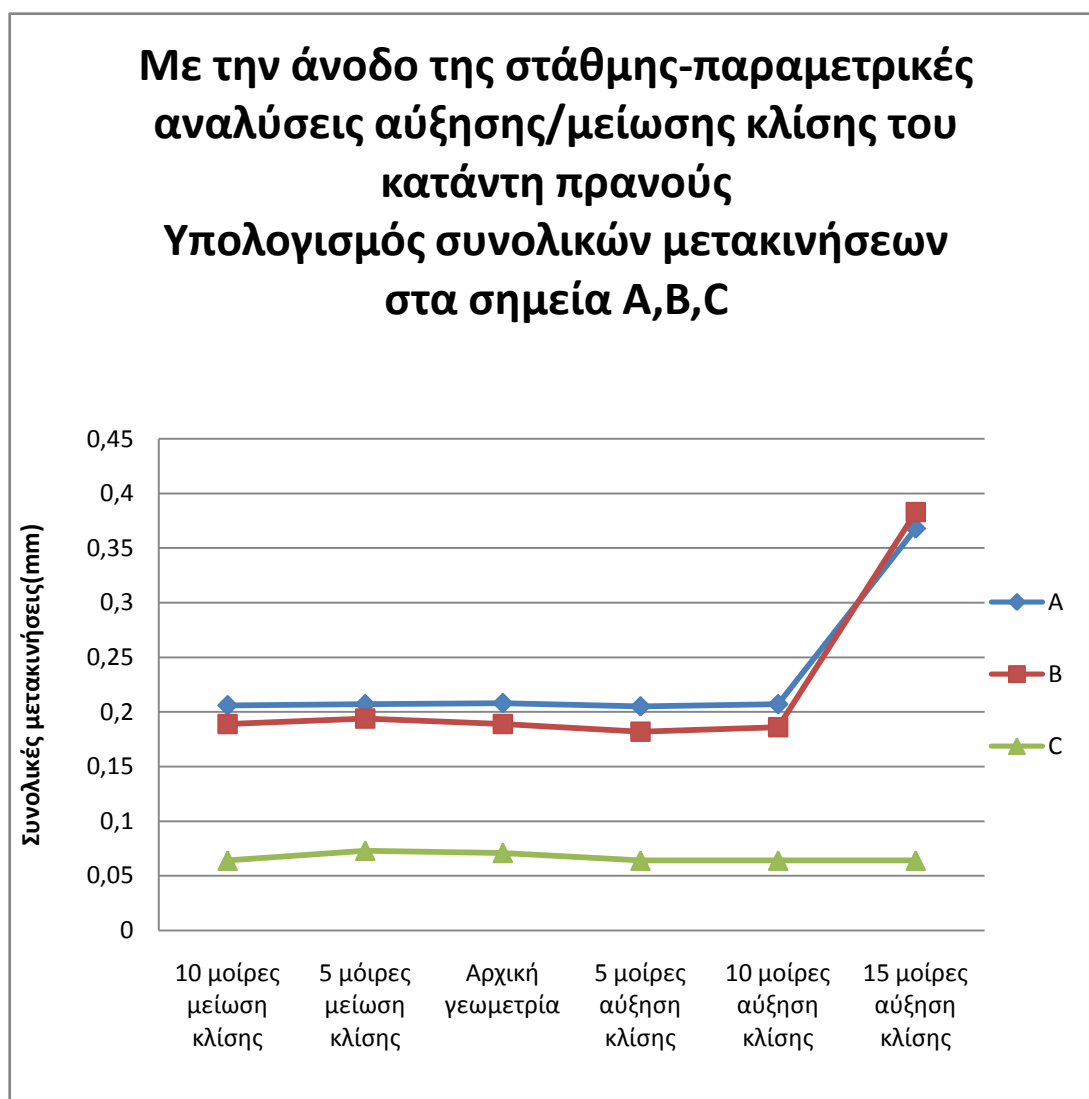
Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.



Εικόνα 5-44: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το phi/c reduction, στην 4^η φάση προσομοίωσης

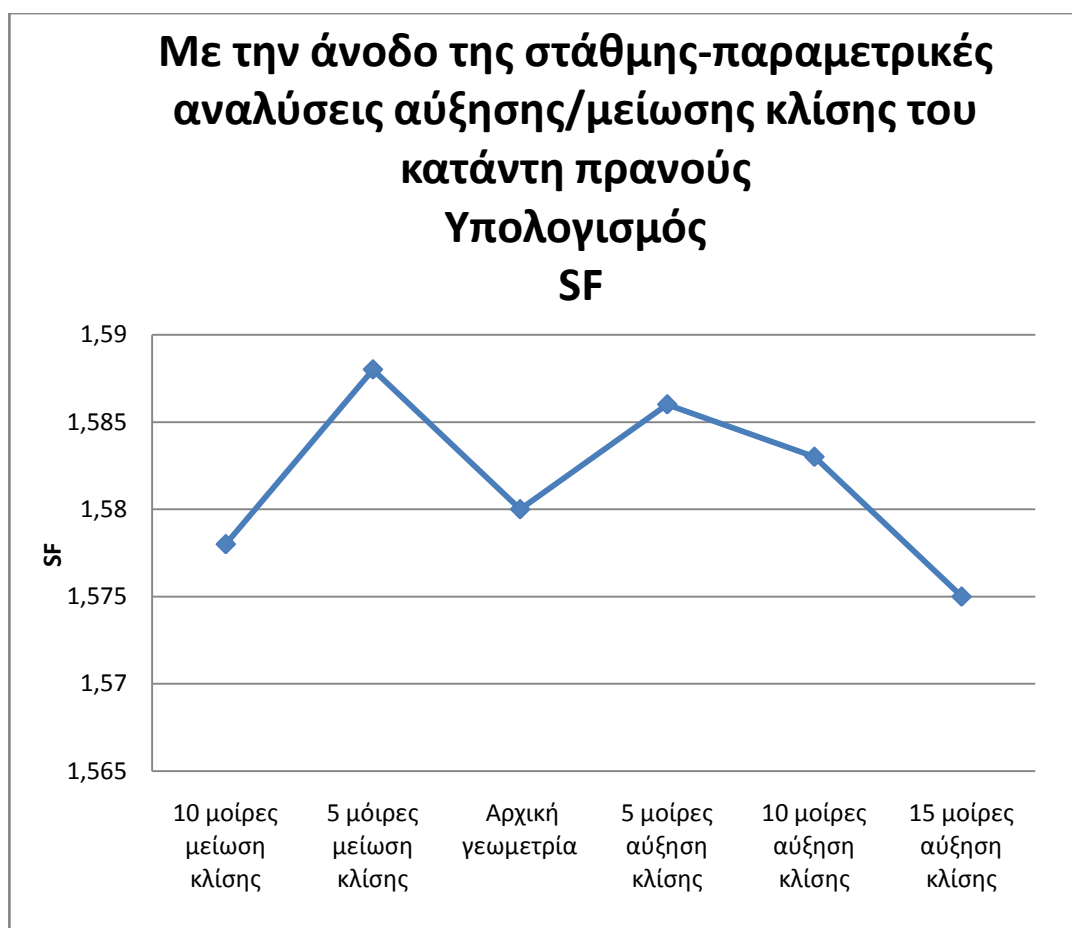
Πίνακας 5-4: Πίνακας αποτελεσμάτων 2^{ης} παραμετρικής ανάλυσης, με την παρουσία νερού.

Αλλαγή κλίσης του κατόντη πρανούς	Συνολικές μετακινήσεις(mm)	Συνολικές μετακινήσεις στο σημείο A(mm)	Συνολικές μετακινήσεις στο σημείο B(mm)	Συνολικές μετακινήσεις στο σημείο C(mm)	Συντελεστής ασφαλείας(SF)
Αρχική κλίση	0,374	0,208	0,189	0,071	1,580
Μείωση 5 μοίρες	0,365	0,207	0,194	0,073	1,588
Μείωση 10 μοίρες	0,367	0,206	0,189	0,064	1,578
Αύξηση 5 μοίρες	0,374	0,205	0,182	0,080	1,586
Αύξηση 10 μοίρες	0,379	0,207	0,186	0,089	1,583
Αύξηση 15 μοίρες	0,400	0,368	0,383	0,112	1,575



Εικόνα 5-45: Γραφική παράσταση των συνολικών μετακινήσεων στα επιλεγμένα σημεία A,B,C ,σε συνάρτηση με την αλλαγή της κλίσης του κατάντη πρανούς

Από το παραπάνω διάγραμμα, εξάγεται το συμπέρασμα, ότι όταν μειώνουμε κατά 5 και 10 μοίρες την κλίση του κατάντη πρανούς και στη συνέχεια την αυξάνουμε κατά 5 και 10 μοίρες οι μετακινήσεις στα σημεία A,B,C παραμένουν σταθερές. Επισημαίνεται ότι οι μετακινήσεις φαίνεται να διπλασιάζονται, όταν η κλίση αυξάνεται κατά 15 μοίρες.



Εικόνα 5-46: Γραφική παράσταση του συντελεστή ασφαλείας, σε συνάρτηση με την αλλαγή της κλίσης του κατάντη πρανούς

Όπως διαπιστώνεται από το παραπάνω διάγραμμα όταν μεταβάλουμε την κλίση του κατάντη πρανούς, ο συντελεστής ασφαλείας πρακτικά μένει αμετάβλητος αφού οι τιμές του SF ,κυμαίνονταν από 1,575 έως 1,588.

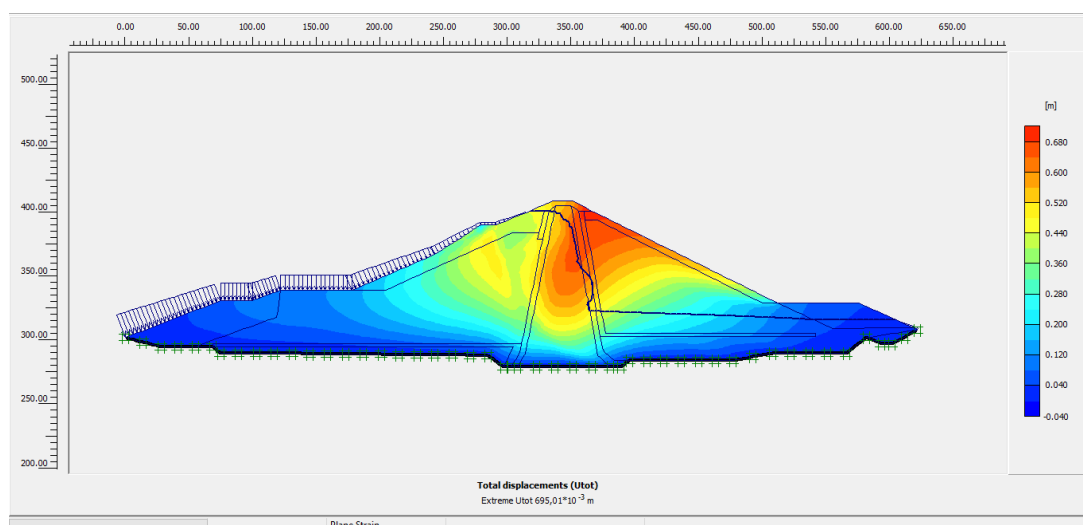
5.3.Τρίτη σειρά παραμετρικών αναλύσεων(Αλλαγή της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα)

1)Στάθμη νερού στο ανώτερο όριο, στα 403 m

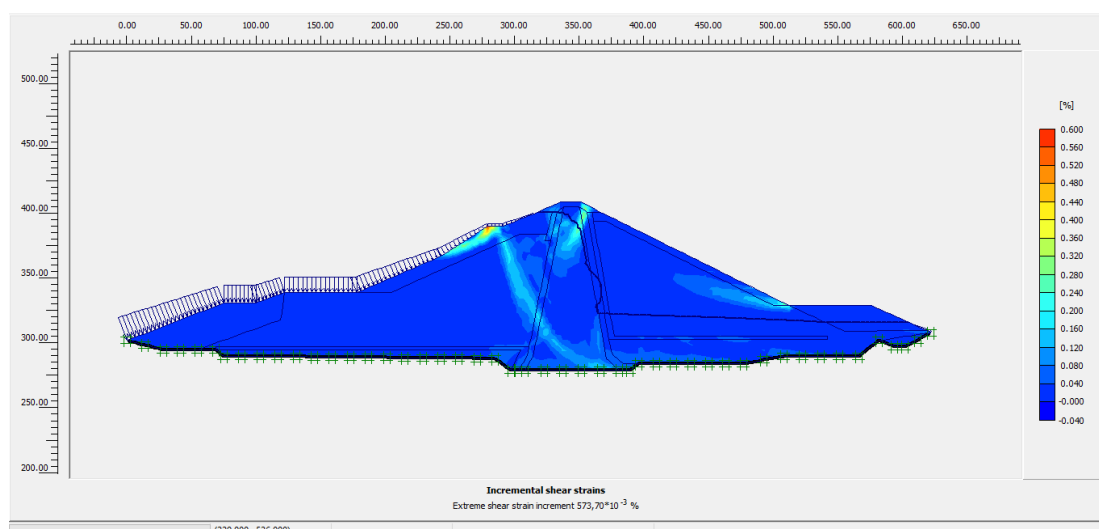
Τα αποτελέσματα της επίλυσης κατέγραψαν μέγιστες ολικές μετακινήσεις της τάξεως των 36,759 cm.Οι μετακινήσεις στα επιλεγμένα σημεία A,B και C είναι 53,5 cm, 57,9 cm και 13,1 cm αντίστοιχα. αστοχήσει. Στο εσωτερικό του σώματος του φράγματος παρατηρούνται οριζόντιες παραμορφώσεις, εξαιτίας της πλευρικής

Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.

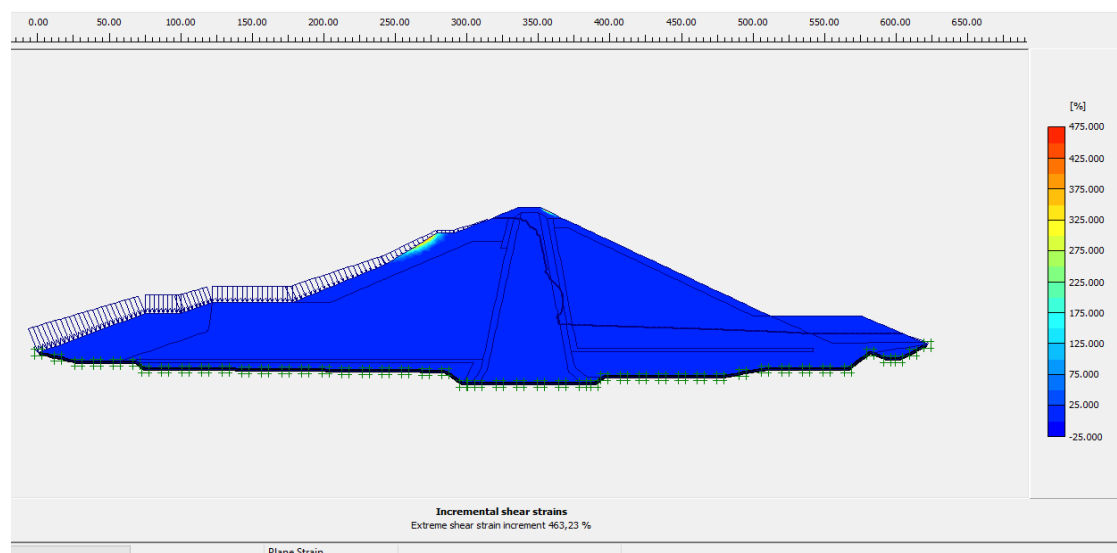
συμπίεσής του από το σώμα στήριξης.(Εικ.5-47). Στην Τρίτη φάση πλαστικής επίλυσης, παρατηρούνται στον ανώτερο αναβαθμό του ανάντη πρανούς, μιας μικρής έντασης ζώνη διάτμησης, όπως επίσης και στο πυρήνα του φράγματος δύο διασταυρούμενες επιφάνειες διάτμησης(Εικ.5-48).Κατά τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας(ρ hi/c reduction),προέκυψε ότι το φράγμα δεν δύναται να αποχήσει. Όπως φαίνεται, αναπτύσσεται μιας μικρής έκτασης δυνητική αστοχία, στον ανώτερο αναβαθμό του ανάντη πρανούς(Εικ.5-49). Ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίστηκε είναι SF:1,713.



Εικόνα 5-47: Αποτελέσματα συνολικών παραμορφώσεων γεωμετρίας κατά την 3^η φάση προσομοίωσης



Εικόνα 5-48: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το ρ hi/c reduction,στην 4^η φάση προσομοίωσης

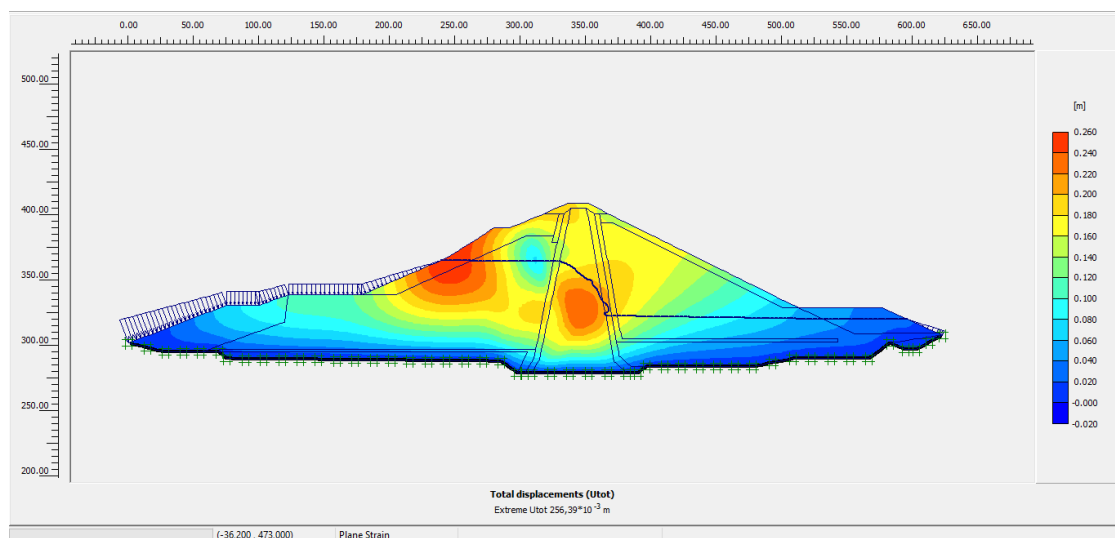


Εικόνα 5-49: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το ϕ/c reduction, στην 4^η φάση προσομοίωσης

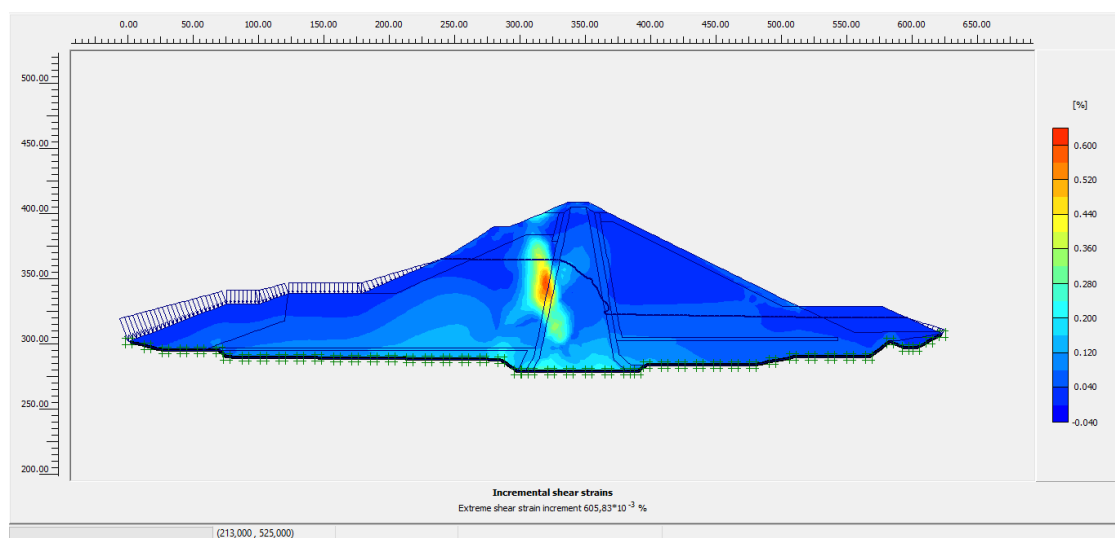
2) Στάθμη νερού στο κατώτερο όριο, στα 366 m

Τα αποτελέσματα της επίλυσης κατέγραψαν μέγιστες ολικές μετακινήσεις της τάξεως των 36,759 cm. Οι μετακινήσεις στα επιλεγμένα σημεία A, B και C είναι 18,5 cm, 16,9 cm και 6 cm αντίστοιχα. Στο εσωτερικό του σώματος του φράγματος παρατηρούνται οριζόντιες παραμορφώσεις, εξαιτίας της πλευρικής συμπίεσής του από το σώμα στήριξης. (Εικ.5-50). Στην Τρίτη φάση πλαστικής επίλυσης, παρατηρείται στον πυρήνα μιας μεσαίας έντασης ζώνη διάτμησης. (Εικ.5-51). Κατά τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας (ϕ/c reduction), προέκυψε ότι το φράγμα δεν δύναται να αστοχήσει. Όπως φαίνεται, αναπτύσσεται μιας μικρής έκτασης δυνητική αστοχία, στον ανώτερο αναβαθμό του ανάντη πρανούς (Εικ.5-52). Ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίστηκε είναι SF:1,696.

Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.

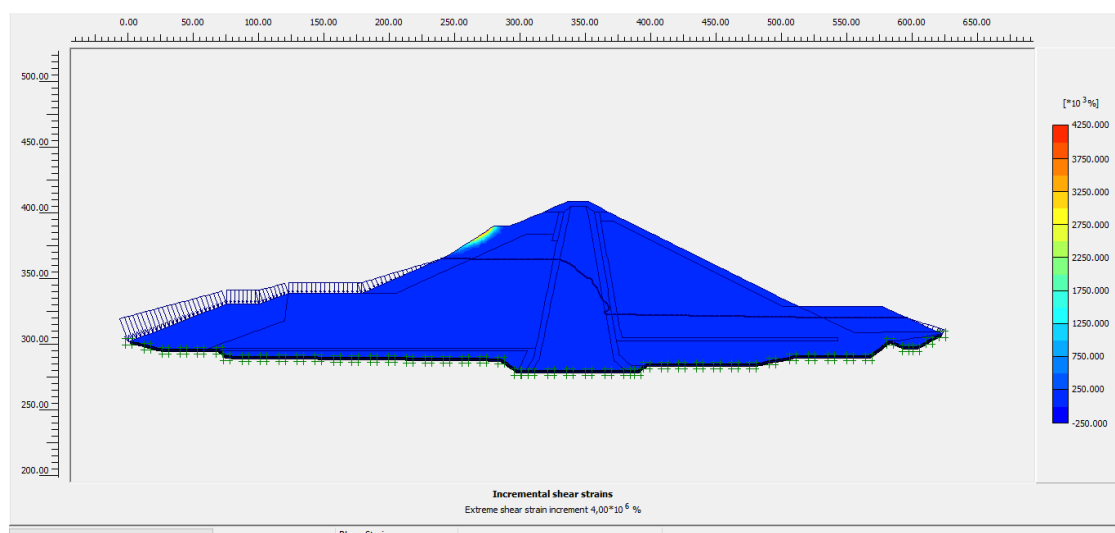


Εικόνα 5-50: Αποτελέσματα συνολικών παραμορφώσεων γεωμετρίας κατά την 3^η φάση προσομοίωσης



Εικόνα 5-51: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το ρη/c reduction, στην 4^η φάση προσομοίωσης

Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φράγματων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.



Εικόνα 5-52: Απεικόνιση των δυνητικών επιφανειών αστοχίας του φράγματος, κατά το phi/c reduction, στην 4^η φάση προσομοίωσης

Πίνακας 5-5: Πίνακας αποτελεσμάτων 3^{ης} παραμετρικής ανάλυσης

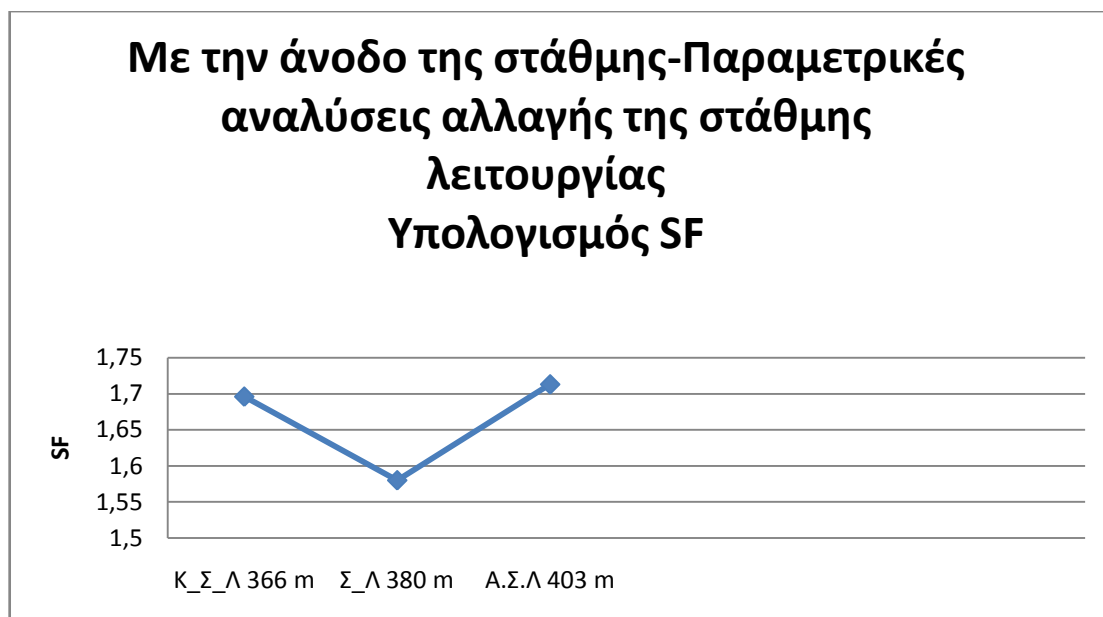
Αλλαγή στάθμης λειτουργίας	Συνολικές μετακινήσεις(mm)	Συνολικές μετακινήσεις στο σημείο A(mm)	Συνολικές μετακινήσεις στο σημείο B(mm)	Συνολικές μετακινήσεις στο σημείο C(mm)	Συντελεστής ασφαλείας
Κ_Σ_Λ 366	0,256	0,185	0,169	0,060	1,696
Σ_Λ 380	0,373	0,208	0,189	0,071	1,580
Α_Σ_Λ 403	0,695	0,535	0,579	0,131	1,713

Υπόμνημα 4:

Κ_Σ_Λ 366 m : Κατώτερη στάθμη λειτουργίας στα 366 m.

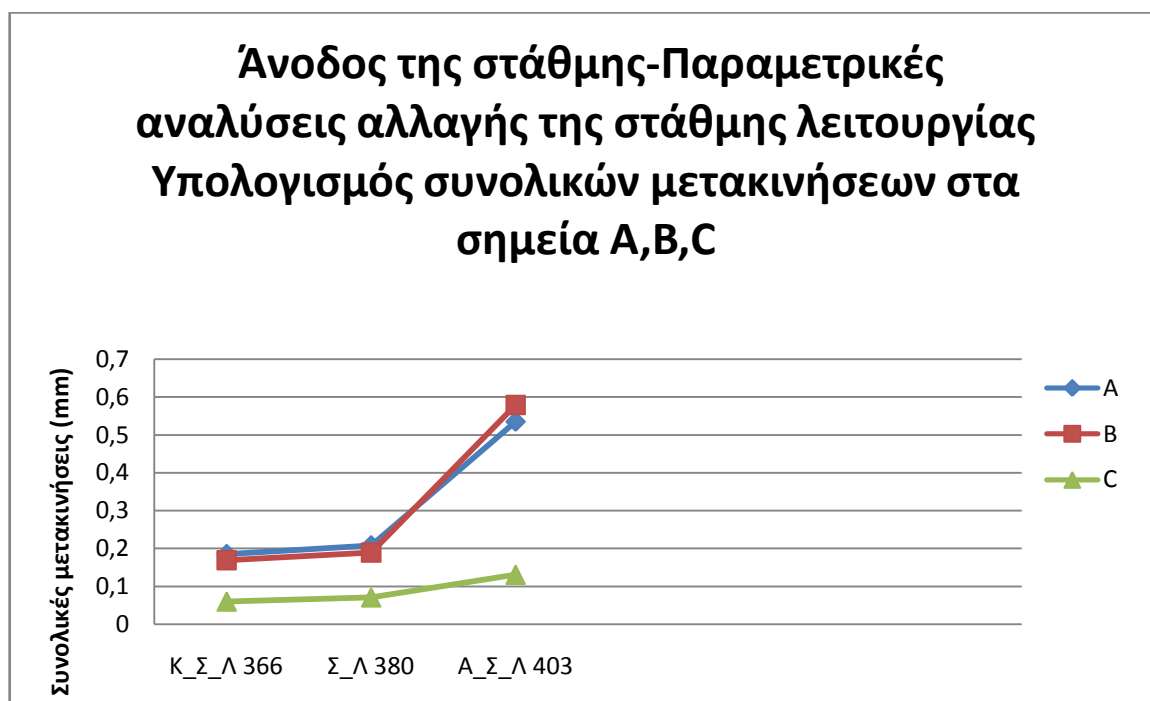
Σ_Λ 380 m: Στάθμη λειτουργίας στα 380 m.

Α_Σ_Λ 403 m: Ανώτερη στάθμη λειτουργίας στα 403 m.



Εικόνα 5-53: Γραφική παράσταση του συντελεστή ασφαλείας, σε συνάρτηση με την αλλαγή της στάθμης

Όπως διαπιστώνεται από το παραπάνω διάγραμμα όταν μεταβάλουμε την κλίση του κατόντη πρανού ο συντελεστής ασφαλείας πρακτικά μένει αμετάβλητος αφού οι τιμές του SF ,κυμαίνονταν από 1,580 έως 1,713.



Εικόνα 5-54 : Γραφική παράσταση των συνολικών μετακινήσεων στα επιλεγμένα σημεία A,B,C ,σε συνάρτηση με την αλλαγή της στάθμης λειτουργίας

Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.

Από το παραπάνω διάγραμμα εξάγεται το συμπέρασμα, ότι όταν αυξάνεται η στάθμη του νερού στο φράγμα οι συνολικές μετακινήσεις αυξάνονται και αυτές στα σημεία A,B,C. Αξιοσημείωτο είναι ότι στην ανώτερη στάθμη που είναι τα 403 m, υπάρχει στα σημεία A και B τριπλασιασμός των μετακινήσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα συμπεράσματα των αποτελεσμάτων που εξάγονται από τις παραμετρικές αναλύσεις, που έγιναν στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Στην πρώτη σειρά παραμετρικών αναλύσεων, όπου έγινε αλλαγή του πάχους των οριζόντιων και κατακόρυφων φίλτρων, παρατηρείται, ότι πριν την άνοδο της στάθμης της λίμνης ο συντελεστής ασφαλείας διατηρείται σταθερός, παρουσιάζοντας αμελητέες αυξομειώσεις, κυμαινόμενος, από 1,696 έως 1,709. Στην στάθμη προσομοίωσης της ανόδου της στάθμης, παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται το πάχος του οριζοντίου φίλτρου, οι συνολικές μετακινήσεις στα επιλεγμένα σημεία A,B,C μειώνονται. Στην τέταρτη φάση προσομοίωσης, όπου έχουμε τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας του φράγματος, ύστερα από την ανύψωση της στάθμης νερού, παρατηρείται ότι οι τιμές του, παραμένουν σταθερές, χωρίς σημαντικές αυξομειώσεις, καθώς κυμαίνεται από 1,574, έως 1,584. Επίσης γίνεται αντιληπτό, ότι ο συντελεστής ασφαλείας για όλες τις παραμετρικές αναλύσεις των φίλτρων, μειώνεται κατά περίπου 0,1, όταν το φράγμα γεμίζει με νερό έως τη στάθμη λειτουργίας. Σε κάθε περίπτωση καλύπτεται ο επιθυμητός συντελεστής ασφαλείας, όπου $SF > 1,2$.

Στην δεύτερη σειρά παραμετρικών αναλύσεων, όπου έγινε αλλαγή της κλίσης του κατάντη πρηνούς, παρατηρείται, ότι πριν την άνοδο της στάθμης της λίμνης, όταν μειώνουμε την κλίση του κατάντη πρηνούς ο συντελεστής ασφαλείας διατηρείται σταθερός, σε σχέση με την αρχική γεωμετρία, παρουσιάζοντας αμελητέες αυξομειώσεις, κυμαινόμενος από 1,704 έως 1,709. Αντίθετα όταν αυξάνουμε την κλίση του κατάντη πρηνούς παρατηρείται ότι ο συντελεστής ασφαλείας έχει μια μικρή μείωση, κυμαινόμενος από 1,660 έως 1,669, αλλά και πάλι οι αυξομειώσεις είναι αμελητέες. Στην στάθμη προσομοίωσης της ανόδου της στάθμης, παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η κλίση του κατάντη πρηνούς, οι

συνολικές μετακινήσεις στα επιλεγμένα σημεία A,B,C,αυξάνονται. Στην αρχή όταν αυξάνεται η κλίση 5 και 10 μοίρες, οι διαφορές των μετακινήσεων σε σχέση με τον αρχικό σχεδιασμό, δεν παρουσιάζουν σημαντικές αλλαγές. Όταν γίνεται αύξηση 15 μοιρών, αυξάνονται σημαντικά, καθώς υπάρχει διπλασιασμός των μετακινήσεων. Όταν μειώνουμε την κλίση οι συνολικές μετακινήσεις διατηρούνται, πολύ κοντά στις τιμές των μετακινήσεων που υπήρχαν κατά τον αρχικό σχεδιασμό. Αυτό το συμπέρασμα, επαληθεύει, ότι η αρχική κλίση η οποία είχε επιλεχτεί είναι η σωστή. Στην τέταρτη φάση προσομοίωσης ,όπου έχουμε τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας του φράγματος ,ύστερα από την ανύψωση της στάθμης νερού ,παρατηρείται ότι οι τιμές του παραμένουν σταθερές, χωρίς σημαντικές αυξομειώσεις, καθώς κυμαίνεται από 1,575,έως 1,588. Επίσης γίνεται αντιληπτό, ότι ο συντελεστής ασφαλείας για όλες τις παραμετρικές αναλύσεις της αλλαγής κλίσης του κατάντη πρανούς, μειώνεται κατά περίπου 0,1, όταν το φράγμα γεμίζει με νερό έως τη στάθμη λειτουργίας. Σε κάθε περίπτωση καλύπτεται ο επιθυμητός συντελεστής ασφαλείας, όπου $SF>1,2$.

Στην τρίτη σειρά παραμετρικών αναλύσεων, όπου πραγματοποιήθηκε αλλαγή της στάθμης νερού, στην αρχική γεωμετρία του φράγματος, παρατηρείται ότι και στην ανώτερη στάθμη νερού, αλλά και στην κατώτερη, στα 402 και 366 m αντίστοιχα, ο συντελεστής ασφαλείας παρουσιάζει πολύ μικρή αύξηση και στις δύο περιπτώσεις. Σε κάθε περίπτωση καλύπτεται ο επιθυμητός συντελεστής ασφαλείας, όπου $SF>1,2$.

Όσον αφορά τις συνολικές μετακινήσεις στα επιλεγμένα σημεία A,B,C, όσο αυξάνεται η στάθμη του νερού αυξάνονται και οι μετακινήσεις. Όταν η στάθμη του νερού είναι στα 366 m , οι τιμές στα σημεία A,B,C είναι 18,5, 16,9, και 6 cm αντίστοιχα. Στα 380 m, που είναι και η στάθμη λειτουργίας του φράγματος οι συνολικές μετακινήσεις στα επιλεγμένα σημεία A,B,C είναι 20,8 , 18,9 και 7,1 cm αντίστοιχα. Επομένως στα 366 m, σε σχέση με τα 380 m, παρατηρείται μείωση των μετακινήσεων στα επιλεγμένα σημεία. Στα 403 m που είναι το ανώτερο επίπεδο νερού οι μετακινήσεις στα σημεία A,B,C είναι 53,5 , 57,9 και 13,1 cm αντίστοιχα. Όπως συμπεραίνει κανείς, στα 403 m , η αύξηση των συνολικών μετακινήσεων είναι μεγάλη ,καθώς στα σημεία A και B στη στέψη του φράγματος, παρατηρείται τριπλασιασμός των συνολικών μετακινήσεων.

6.1.Βιβλιογραφία

Κούκης Γ., Σαμπατακάκης Ν.,2007, Γεωλογία τεχνικών έργων, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα

Κωμοδρόμος Αιμ., Κλήμης Ν., Αναστασιάδης Α., Αναστασόπουλος Κ., 2006, Πρόβλεψη απόκρισης χωμάτινου φράγματος κατά την κατασκευή και την πλήρωση του ταμιευτήρα του, Πρακτικά 5^{ου} Πανελληνίου συνεδρίου γεωτεχνικής και γεωπεριβαλλοντικής μηχανικής. τόμος 3 ,Ξάνθη

Λιάκουρης Δ.,1995,Η γεωλογία και τα φράγματα της ΔΕΗ, Έκδοση της Διευθύνσεως εκπαιδεύσεως της ΔΕΗ, Αθήνα

Λουπασάκης Κ. ,2012 ,Μέθοδοι Βελτίωσης-Αντιστήριξης Εδάφους-Υπεδάφους ,Σημειώσεις διαλέξεων, ΕΜΠ, Αθήνα

Λουπασάκης Κ,1998,Ταξινόμηση βραχώμαζας και ανάλυση μηχανισμών ολίσθησης σε θέσεις κατασκευής σηράγγων. Μεταπτυχιακή εργασία, Σχολή Θετικών επιστημών ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

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

Tutorial Plaxis 2D Professional – VERSION 8.2

Νταλάκου Κ,2015, Διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας μέσω της διενέργειας παραμετρικών αναλύσεων του Αυτοκινητοδρόμου ΙΟΝΙΑ ΟΔΟΣ. Διπλωματική εργασία, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών ΕΜΠ, Αθήνα

Σφύρα Ε, 2006, Προσομοίωση συμπεριφοράς αργλικού πυρήνα φράγματος κατά την κατασκευή – Απλουστευτικές προσεγγίσεις. Διπλωματική εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα

Ergotest , 2004, Φράγμα Ιλαρίωνα Αιανή Κοζάνης. Συγκεντρωτική έκθεση δοκιμών εργαστηρίου ποιοτικού ελέγχου. Τελική έκθεση, Δημοσίευτη τεχνική έκθεση(Α.Τ.Ε),Αθήνα

ΔΕΗ/ΔΑΥΕ,1992, Υδροηλεκτρικό έργο Ιλαρίωνα-γεωλογική έκθεση, Δημοσίευτη τεχνική έκθεση(Α.Τ.Ε),ΔΕΗ/ΔΑΥΕ, Αθήνα

Ιστότοποι

http://library.tee.gr/digital/m2380/m2380_papaioannou.pdf

http://www.evipar.org/innet/files/2o_EVIPAR_53_Karapantelakis.pdf

Παραμετρικές αναλύσεις επί των συνθηκών ευστάθειας του σώματος χωμάτινων φραγμάτων.
Το παράδειγμα του φράγματος του ΥΗΣ Ιλαρίωνα.

(<http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teelar/EKDILWSEIS/damConference/eisigiseis/9.5.pdf>)

(<http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teelar/EKDILWSEIS/damConference/eisigiseis/1-1.doc>)

(http://library.tee.gr/digital/m2134/m2134_klimis2.pdf)