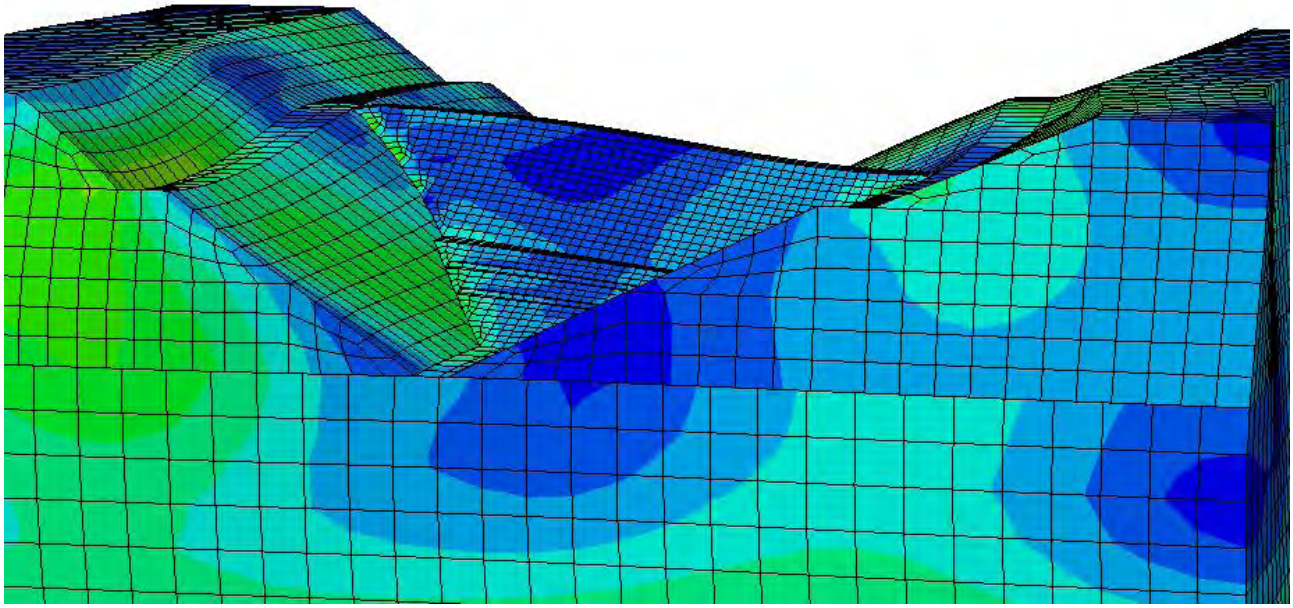
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Π.Μ.Σ. " ΑΝΑΛΥΣΗ & ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ"

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θεμιστοκλής – Ελευθέριος Δ. Βασιλειάδης



"ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ & ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΥΠΟ ΣΤΑΤΙΚΕΣ & ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ABAQUS"

Επιβλέπων: Γεώργιος Εφραιμίδης, Επίκουρος Καθηγητής Π.Θ.

Βόλος, Ιούλιος 2017

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

© 2017 Θεμιστοκλής – Ελευθέριος Δ. Βασιλειάδης

Η έγκριση της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΞΕΤΑΣΗΣ:

Γεώργιος Εφραιμίδης,
Επίκουρος Καθηγητής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Παναγιώτης Ντακούλας,
Καθηγητής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Πολυξένη Καλλιόγλου,
Λέκτορας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Ευχαριστιες

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το χρονικό διάστημα από τον Ιούλιο του έτους 2016 έως και τον Ιούλιο του έτους 2017, στην Πολυτεχνική Σχολή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, υπό το νεοσύστατο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών με τίτλο *"Ανάλυση & Σχεδιασμός Κατασκευών Ενεργειακών Υποδομών"*. Έπειτα από δύο χρόνια μεταπτυχιακών σπουδών, τούτη η εργασία σηματοδοτεί τη λήξη ενός ακόμη πολύ ενδιαφέροντος ακαδημαϊκού κεφαλαίου για εμένα, σε μεταπτυχιακό επίπεδο πλέον, στο οποίο απέκτησα πολύ ενδιαφέρουσες και σύγχρονες γνώσεις πάνω σε ένα αντικείμενο που διευρύνει τους επιστημονικούς ορίζοντες πάνω στις κατασκευές και στη διαχείριση της ενέργειας.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους μου τους καθηγητές, από τους οποίους είχα την τιμή και τη χαρά να διδαχθώ τόσα πράγματα καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών. Ειδικότερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γεώργιο Εφραιμίδη, επίκουρο καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, ο οποίος με επέβλεψε και μου ανέθεσε το συγκεκριμένο θέμα και με τον οποίο είχα μια άριστη συνεργασία και επαφή σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης. Μου παρείχε ένα εκτενές επιστημονικό και βιβλιογραφικό υλικό μέσα από το οποίο βοηθήθηκα και προχώρησα στη συγγραφή της παρούσας εργασίας.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον κ. Παναγιώτη Ντακούλα, καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, ο οποίος μου παρείχε ανεκτίμητη βοήθεια πάνω στο λογισμικό *Abaqus*, με το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μελέτες της εργασίας. Χωρίς τις συμβουλές και κατευθύνσεις του, θεωρώ ότι θα υπήρχαν αρκετά τεχνικά προβλήματα σε όλη την πορεία, τα οποία δε ξέρω αν θα μπορούσα να διαχειριστώ εξ' ολοκλήρου μόνος μου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Πολυξένη Καλλιόγλου, λέκτορα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για τις πολύτιμες συμβουλές και παρατηρήσεις της.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω μέσα από την καρδιά μου τα σημαντικότερα πρόσωπα που υπάρχουν στη ζωή μου και στην καρδιά μου, τους αγαπημένους μου γονείς. Ειδικότερα, αυτή την εργασία την αφιερώνω στον αγαπημένο μου πατέρα, οποίος δεν είναι κοντά μου πια εδώ και δύο χρόνια, ζει μέσα στην καρδιά και το μυαλό μου και είμαι σίγουρος ότι με βλέπει από κάπου εκεί ψηλά. Στην αγαπημένη μου μητέρα, για όλη της την υποστήριξη και την υπομονή που έδειχνε και δείχνει, για όλη της την αγάπη που με περιβάλλει κάθε μέρα, κάθε στιγμή, συνέχεια. Σας αγαπάω πολύ.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Περιληψη

"Παραμετρικη Διερευνηση & Αξιολογηση Καταλληλοτητας Υποβαθρου Θεμελιωσης και Φραγματος Βαρυτητας Υπο Στατικες & Δυναμικες Συνθηκες στο Προγραμμα Abaqus"

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία διερευνάται και αναλύεται η συμπεριφορά μιας σειράς βραχωδών υλικών και σχηματισμών στην περίπτωση της θεμελίωσης και κατασκευής ενός τυπικού φράγματος βαρύτητας εντός μια στενής κοιλάδας. Συγκεκριμένα, λαμβάνεται υπόψη η γεωμετρία του φράγματος του Μαυροματίου, στην περιοχή της Σούρπης, νοτιοδυτικά του ορεινού οικισμού του Αγίου Ιωάννη Βρύναινας. Το συγκεκριμένο φράγμα είναι τυπικό χωμάτινο. Παρ' όλα αυτά, οι μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στην εργασία έγιναν πάνω σε ένα αντίστοιχο φράγμα από σκυρόδεμα, εντός κοιλάδας με παρόμοια γεωμετρία με αυτή της κοιλάδας του φράγματος του Μαυροματίου.

Στο πλαίσιο της μελέτης που έγινε, παρουσιάζονται κάποιες πολύ βασικές έννοιες που αφορούν τα φράγματα, και εν συνεχεία γίνεται ειδική αναφορά στα φράγματα βαρύτητας, με υλικό κατασκευής το σκυρόδεμα. Στη συνέχεια, μοντελοποιείται η κοιλάδα και το φράγμα στο πρόγραμμα *Abaqus*, διαδικασία που θα αναλυθεί στη συνέχεια, εισάγεται μια σειρά από εδαφικά υλικά στα επί μέρους τμήματα της κοιλάδας και πραγματοποιούνται στατικές και δυναμικές αναλύσεις, με τις οποίες λαμβάνεται η εντατική κατάσταση και οι καθιζήσεις που δημιουργούνται από την θεωρητική κατασκευή και πλήρωση με νερό του ταμιευτήρα του φράγματος και την σεισμική του επιφόρτιση, με τα συγκεκριμένα γεωϋλικά σε κάθε περίπτωση.

Είναι προφανές ότι τα φράγματα που κατασκευάζονται στις διάφορες περιοχές ανά τον κόσμο δεν πληρούν αρκετές φορές ορισμένες βασικές προϋποθέσεις για την ομαλή λειτουργία και ύπαρξή τους. Το υπόβαθρο στο οποίο γίνεται η θεμελίωση των φραγμάτων αποτελεί ίσως την πιο βασική προϋπόθεση που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη πριν την κατασκευή, και πολλές φορές οι αστοχίες που συμβαίνουν έχουν ως αιτία ακατάλληλα υπόβαθρα. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να ληφθεί μια γενική εικόνα σχετικά με τη μηχανική συμπεριφορά διαφόρων τύπων γεωϋλικών για την θεμελίωση ενός φράγματος βαρύτητας, καθώς επίσης και η συνολική συμπεριφορά του συστήματος φράγμα-υπόβαθρο υπό στατικές και δυναμικές συνθήκες φόρτισης.

Τέλος, μετά το πέρας των αναλύσεων, αναφέρονται συμπεράσματα.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

ABSTRACT

"PARAMETRIC INVESTIGATION & EVALUATION ON THE SUITABILITY OF A GRAVITY DAM AND ITS GROUND FOUNDATION UNDER STATIC & DYNAMIC CONDITIONS, USING ABAQUS"

In this postgraduate diploma thesis, the behavior of a series of geomaterials and geological formations is investigated and analyzed in the case of the foundation and construction of a typical gravity dam within a narrow valley. Specifically, the geometry of the Mavromati dam, in the area of Sourpi, southwest of the mountain settlement of Agios Ioannis Vrynaina, is taken into account. This particular dam is a typical soil dam. Nevertheless, the studies carried out at this work were on a corresponding concrete dam, in a valley of similar geometry as that of the valley of the Mavromati dam.

In the framework of the study, some very basic concepts concerning the dams are presented, and then special reference is given to the gravity dams, being made of concrete. Next, the valley and the dam are modeled in the *Abaqus* program, a process to be analyzed, a series of geomaterials are introduced into the parts of the valley and static and dynamic analyses are carried out, which take the intensive situation and the strata carried out by the theoretical construction and water filling of the dam, with the specific geomaterials (rock masses) every time.

It is obvious that dams that are constructed in different regions around the world do not meet a number of basic conditions for their healthy functioning and existence. The ground where the dams are built is probably the most critical condition to be taken into consideration before construction, and often the failures that occur are causing by inappropriate geomaterial. The aim of this thesis is to give an overview of the mechanical behavior of various types of geomaterials for the selection of suitable geomaterial for the foundation of a gravity dam as well as the overall behavior of the systemdam-ground under static and dynamic loading conditions.

Finally, at the end of the analyses, the conclusions are presented.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ, ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ & ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....1
1.1. Πλαίσιο εξέτασης προβλήματος.....1
1.2. Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας.....2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ…….....5
2.1. Γενικά για τα φράγματα.....5
2.2. Ταξινόμηση & κατηγορίες φραγμάτων.....7
2.2.1. Ανάλογα με το σκοπό της κατασκευής.....7
2.2.2. Ανάλογα με τη χρήση.....7
2.2.3. Ανάλογα με τη γεωμετρία και τα υλικά κατασκευής.....7
2.2.3.1. Τσιμεντένια φράγματα (*Concrete Dams*)…….7
2.2.3.2. Χωμάτινα φράγματα (*Embankments - Earth Dams*)……..11
2.3. Συνοδά έργα φραγμάτων.....13
2.3.1. Σήραγγα εκτροπής (*Diversion tunnel*)……13
2.3.2. Πρόφραγμα (*Cofferdam*)……13
2.3.3. Υδροληψία (φρεάτιο και αγωγός προσαγωγής) (*Intake- shaft and Headrace tunnel*)……...13
2.3.4. Εκχειλιστής ή Υπερχειλιστής (*Spillway*)……13
2.3.5. Σήραγγα επίσκεψης (*Inspection gallery*)……13
2.3.6. Σήραγγες τσιμεντενέσεων (*Grouting galleries*)……..14
2.3.7. Σήραγγες αποστράγγισης (*Drainage galleries*)……..14
2.3.8. Εκκενωτής πυθμένα (*Bottom outlet*)……...14
2.3.9. Θυροφράγματα (*Gates*)……...14
2.3.10. Υδροηλεκτρικός σταθμός (*Hydroelectric power plant*)……...14
2.3.11. Υδροφράχτες (*Locks*)……14
2.3.12. Ταμιευτήρες άντλησης- αποθήκευσης νερού (*Pumped-Storage reservoirs*)……14
2.3.13. Κλιμακωτό κανάλι διέλευσης ψαριών (*Fish ladder*)……15
2.3.14. Λεκάνη ηρεμίας (*Stilling basin*)……15
2.3.15. Άλλα επιμέρους τμήματα του φράγματος……15
2.4. Αστοχίες φραγμάτων……...16
2.5. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις φραγμάτων……...18
2.6. Σεισμός & φράγματα……...20
2.6.1. Γενικά περί σεισμών & φραγμάτων……20
2.6.2. Αντισεισμικοί κανονισμοί……...21
2.6.2.1. Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (Ε.Α.Κ. 2000)……...21
2.6.2.2. Ευρωπαϊκός Αντισεισμικός Κανονισμός (*Eurocode EC8*)……23
2.6.2.3. Ομοσπονδιακές οδηγίες Η.Π.Α. περί ασφάλειας φραγμάτων……25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ, ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ & ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ.....29
3.1. Περιγραφή θέματος διπλωματικής εργασίας.....29
3.2. Περιγραφή προγράμματος *Abaqus 6.10* & ανάλυση μεθοδολογίας μοντελοποίησης.....30
3.2.1. Πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων *Abaqus 6.10*……...30

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

3.2.2. Αναλυτική μοντελοποίηση του προβλήματος……32
3.2.2.1. Εισαγωγή στο γραφικό περιβάλλον του *Abaqus CAE*……...33
3.2.2.1.1. Εισαγωγή και δημιουργία γεωμετρίας (*Part Modulus*)……34
3.2.2.1.2. Ορισμός και αντιστοίχιση υλικών (*Property Modulus*)……...43
3.2.2.1.3. Συγκέντρωση ανεξαρτήτων σωμάτων σε ένα μοντέλο (*Assembly Modulus*)……...51
3.2.2.1.4. Ορισμός βημάτων και σταδίων επίλυσης (*Step Modulus*)……54
3.2.2.1.5. Αλληλεπίδραση μεταξύ των σωμάτων του τελικού μοντέλου (*Interaction Modulus*)…….57
3.2.2.1.6. Εισαγωγή φορτίσεων και συνοριακών συνθηκών (*Load Modulus*)……..62
3.2.2.1.7. Καθορισμός και εισαγωγή καννάβου (*Mesh Modulus*)……68
3.2.2.1.8. Επίλυση προβλήματος (*Job Modulus*)……..74
3.3. Υλικά μελέτης 75
3.3.1. Υλικό φράγματος....76
3.3.2. Υλικά υποβάθρου 78
3.4. Πραγματικές γεωλογικές συνθήκες....79
3.4.1. Ιζηματογενή πετρώματα……..79
3.4.2. Μεταμορφωμένα πετρώματα……..81
3.4.3. Πυριγενή πετρώματα……...84

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ & ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΚΟΙΛΑΔΑ.....89
4.1. Πλαίσιο έρευνας & οργάνωσης αποτελεσμάτων....89
4.2. Στατικές Αναλύσεις....90
4.2.1. Μονοστρωματικό Υπέδαφος – Μονοστρωματικά Πρανή....90
4.2.1.1. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Α, Πρανή: Γεωϋλικό Α....90
4.2.1.2. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Α, Πρανή: Γεωϋλικό Β....92
4.2.1.3. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Α, Πρανή: Γεωϋλικό Γ....94
4.2.1.4. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Α, Πρανή: Γεωϋλικό Δ....96
4.2.1.5. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Α, Πρανή: Γεωϋλικό Ε....98
4.2.1.6. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Α, Πρανή: Γεωϋλικό ΣΤ....100
4.2.1.7. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Α, Πρανή: Γεωϋλικό Ζ....102
4.2.1.8. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Β, Πρανή: Γεωϋλικό Α....104
4.2.1.9. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Β, Πρανή: Γεωϋλικό Β....106
4.2.1.10. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Β, Πρανή: Γεωϋλικό Γ……108
4.2.1.11. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Β, Πρανή: Γεωϋλικό Δ……110
4.2.1.12. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Β, Πρανή: Γεωϋλικό Ε……112
4.2.1.13. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Β, Πρανή: Γεωϋλικό ΣΤ……..114
4.2.1.14. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Β, Πρανή: Γεωϋλικό Ζ……116
4.2.1.15. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Γ, Πρανή: Γεωϋλικό Α……118
4.2.1.16. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Γ, Πρανή: Γεωϋλικό Β……120
4.2.1.17. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Γ, Πρανή: Γεωϋλικό Γ……122
4.2.1.18. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Γ, Πρανή: Γεωϋλικό Δ……124
4.2.1.19. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Γ, Πρανή: Γεωϋλικό Ε……126
4.2.1.20. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Γ, Πρανή: Γεωϋλικό ΣΤ……...128
4.2.1.21. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Γ, Πρανή: Γεωϋλικό Ζ……130
4.2.1.22. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Δ, Πρανή: Γεωϋλικό Α……132
4.2.1.23. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Δ, Πρανή: Γεωϋλικό Β……134
4.2.1.24. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Δ, Πρανή: Γεωϋλικό Γ……136
4.2.1.25. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Δ, Πρανή: Γεωϋλικό Δ……138

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.26. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Δ, Πρανή: Γεωϋλικό Ε……140
4.2.1.27. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Δ, Πρανή: Γεωϋλικό ΣΤ……..142
4.2.1.28. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Δ, Πρανή: Γεωϋλικό Ζ……144
4.2.1.29. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Ε, Πρανή: Γεωϋλικό Α……146
4.2.1.30. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Ε, Πρανή: Γεωϋλικό Β……148
4.2.1.31. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Ε, Πρανή: Γεωϋλικό Γ……150
4.2.1.32. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Ε, Πρανή: Γεωϋλικό Δ……152
4.2.1.33. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Ε, Πρανή: Γεωϋλικό Ε……154
4.2.1.34. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Ε, Πρανή: Γεωϋλικό ΣΤ……...156
4.2.1.35. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Ε, Πρανή: Γεωϋλικό Ζ……158
4.2.1.36. Υπέδαφος: Γεωϋλικό ΣΤ, Πρανή: Γεωϋλικό Α……..160
4.2.1.37. Υπέδαφος: Γεωϋλικό ΣΤ, Πρανή: Γεωϋλικό Β……..162
4.2.1.38. Υπέδαφος: Γεωϋλικό ΣΤ, Πρανή: Γεωϋλικό Γ……...164
4.2.1.39. Υπέδαφος: Γεωϋλικό ΣΤ, Πρανή: Γεωϋλικό Δ……..166
4.2.1.40. Υπέδαφος: Γεωϋλικό ΣΤ, Πρανή: Γεωϋλικό Ε……...168
4.2.1.41. Υπέδαφος: Γεωϋλικό ΣΤ, Πρανή: Γεωϋλικό ΣΤ……170
4.2.1.42. Υπέδαφος: Γεωϋλικό ΣΤ, Πρανή: Γεωϋλικό Ζ……...172
4.2.1.43. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Ζ, Πρανή: Γεωϋλικό Α……174
4.2.1.44. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Ζ, Πρανή: Γεωϋλικό Β……176
4.2.1.45. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Ζ, Πρανή: Γεωϋλικό Γ……178
4.2.1.46. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Ζ, Πρανή: Γεωϋλικό Δ……180
4.2.1.47. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Ζ, Πρανή: Γεωϋλικό Ε……182
4.2.1.48. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Ζ, Πρανή: Γεωϋλικό ΣΤ……...184
4.2.1.49. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Ζ, Πρανή: Γεωϋλικό Ζ……186
4.2.2. Πολυστρωματικό Υπέδαφος - Μονοστρωματικά Πρανή……188
4.2.2.1. Οριζόντια στρώματα……188
4.2.2.1.1. Υπέδαφος 1: Γεωϋλικό Β, Υπέδαφος 2: Γεωϋλικό Ζ……188
4.2.2.1.2. Υπέδαφος 1: Γεωϋλικό Δ, Υπέδαφος 2: Γεωϋλικό Ζ……191
4.2.2.1.3. Υπέδαφος 1: Γεωϋλικό Ζ, Υπέδαφος 2: Γεωϋλικό Β……193
4.2.2.1.4. Υπέδαφος 1: Γεωϋλικό Ζ, Υπέδαφος 2: Γεωϋλικό Δ……..195
4.2.2.1.5. Υπέδαφος 1: Γεωϋλικό Α, Υπέδαφος 2: Γεωϋλικό Γ
Υπέδαφος 3: Γεωϋλικό Ε, Υπέδαφος 4: Γεωϋλικό Ζ……197
4.2.2.1.6. Υπέδαφος 1: Γεωϋλικό Ζ, Υπέδαφος 2: Γεωϋλικό Ε
Υπέδαφος 3: Γεωϋλικό Γ, Υπέδαφος 4: Γεωϋλικό Α……199
4.2.2.1.7. Υπέδαφος 1: Γεωϋλικό Β, Υπέδαφος 2: Γεωϋλικό Ζ
Υπέδαφος 3: Γεωϋλικό Ζ, Υπέδαφος 4: Γεωϋλικό Ζ……201
4.2.2.1.8. Υπέδαφος 1: Γεωϋλικό Β, Υπέδαφος 2: Γεωϋλικό Β
Υπέδαφος 3: Γεωϋλικό Β, Υπέδαφος 4: Γεωϋλικό Ζ……203
4.2.2.2. Κατακόρυφα στρώματα……205
4.2.2.2.1. Υπέδαφος 1: Γεωϋλικό Β, Υπέδαφος 2: Γεωϋλικό Ζ……205
4.2.2.2.2. Υπέδαφος 1: Γεωϋλικό Δ, Υπέδαφος 2: Γεωϋλικό Ζ……..207
4.2.2.2.3. Υπέδαφος 1: Γεωϋλικό Ζ, Υπέδαφος 2: Γεωϋλικό Β……209
4.2.2.2.4. Υπέδαφος 1: Γεωϋλικό Ζ, Υπέδαφος 2: Γεωϋλικό Δ……..211
4.2.2.2.5. Υπέδαφος 1: Γεωϋλικό Α, Υπέδαφος 2: Γεωϋλικό Γ
Υπέδαφος 3: Γεωϋλικό Ε, Υπέδαφος 4: Γεωϋλικό Ζ……213
4.2.2.2.6. Υπέδαφος 1: Γεωϋλικό Ζ, Υπέδαφος 2: Γεωϋλικό Ε
Υπέδαφος 3: Γεωϋλικό Γ, Υπέδαφος 4: Γεωϋλικό Α……215
4.2.2.3. Κεκλιμένα στρώματα διεύθυνσης Χ……217

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.2.3.1. Υπέδαφος 1: Γεωϋλικό Α, Υπέδαφος 14: Γεωϋλικό Z……...217
4.2.2.4. Κεκλιμένα στρώματα διεύθυνσης Z……219
4.2.2.4.1. Υπέδαφος 1: Γεωϋλικό Α ~ Υπέδαφος 14: Γεωϋλικό Z……219
4.2.3. Μονοστρωματικό Υπέδαφος - Πολυστρωματικά Πρανή……221
4.2.3.1. Οριζόντια στρώματα……221
4.2.3.1.1. Υπέδαφος 1: Γεωϋλικό Β, Υπέδαφος 2: Γεωϋλικό Ε
Υπέδαφος 3: Γεωϋλικό Z……221
4.2.3.1.2. Υπέδαφος 1: Γεωϋλικό Z, Υπέδαφος 2: Γεωϋλικό Ε
Υπέδαφος 3: Γεωϋλικό Β……224
4.2.3.2 Κατακόρυφα στρώματα……226
4.2.3.2.1. Υπέδαφος 1: Γεωϋλικό Α, Υπέδαφος 2: Γεωϋλικό Γ
Υπέδαφος 3: Γεωϋλικό Ε, Υπέδαφος 4: Γεωϋλικό Z……226
4.2.3.2.2. Υπέδαφος 1: Γεωϋλικό Z, Υπέδαφος 2: Γεωϋλικό Ε
Υπέδαφος 3: Γεωϋλικό Γ, Υπέδαφος 4: Γεωϋλικό Α……228
4.2.4. Πολυστρωματικό Υπέδαφος - Πολυστρωματικά Πρανή……..230
4.2.4.1. Οριζόντια στρώματα……230
4.2.4.1.1. Υπέδαφος 1: Γεωϋλικό Α, Υπέδαφος 2: Γεωϋλικό Γ
Υπέδαφος 3: Γεωϋλικό Ε, Υπέδαφος 4: Γεωϋλικό Z……230
4.2.4.1.2. Υπέδαφος 1: Γεωϋλικό Α, Υπέδαφος 2: Γεωϋλικό Γ
Υπέδαφος 3: Γεωϋλικό Ε, Υπέδαφος 4: Γεωϋλικό Z……230
4.2.4.2. Κατακόρυφα στρώματα……233
4.2.4.2.1. Υπέδαφος 1: Γεωϋλικό Α, Υπέδαφος 2: Γεωϋλικό Γ
Υπέδαφος 3: Γεωϋλικό Ε, Υπέδαφος 4: Γεωϋλικό Z……233
4.3. Δυναμικές Αναλύσεις……237
4.3.1. Μονοστρωματικό Υπέδαφος - Μονοστρωματικά Πρανή……237
4.3.1.1. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Z, Πρανή: Γεωϋλικό ΣΤ……237
4.3.1.2. Υπέδαφος: Γεωϋλικό Ε, Πρανή: Γεωϋλικό Δ……...260

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΣΥΜΒΟΛΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ……..299
5.1. Ανασκόπηση διπλωματικής εργασίας……299
5.2. Συμπεράσματα & μελλοντικές επεκτάσεις……299
5.2.1. Ειδικά Συμπεράσματα……...300
5.2.2. Γενικά Συμπεράσματα - Προτάσεις Μελλοντικής Κατασκευής……..301
5.2.3. Μελλοντικές Ερευνητικές Επεκτάσεις……....302

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ……305

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: *Φράγμα βαρύτητας (υδατοφράκτης) Παλαιοχώρι, Καμπί, Επαρχία Λευκωσίας*.....8
Εικόνα 2.2: *Τοξωτό φράγμα Ταυρωπού, Λίμνη Πλαστήρα*.....9
Εικόνα 2.3: *Αντηριδωτό φράγμα Koyna, Ινδία*.....10
Εικόνα 2.4: *Ομογενές χωμάτινο φράγμα Φανερωμένης, Μεσσαρά Ηρακλείου*.....11
Εικόνα 2.5: *Ετερογενές (ζωνώδες) χωμάτινο φράγμα Μαυροματίου, Σούρπη, Νομός Μαγνησίας*.....11
Εικόνα 2.6: *Χάρτης Ζώνης Σεισμικής Επικινδυνότητας Ελλάδος, [Ε.Α.Κ. 2000]*.....22
Εικόνα 2.7: *Σεισμικές δράσεις που αφορούν ανάχωμα ύψους H < 15m, [Ε.Α.Κ. 2000]*.....23
Εικόνα 3.1: *Φράγμα Μαυροματίου, Δήμος Αλμυρού, Νομός Μαγνησίας*.....29
Εικόνα 3.2: *Γραφικό περιβάλλον Abaqus CAE*.....33
Εικόνα 3.3: *Δέντρο Εντολών (Model Tree)* 33
Εικόνα 3.4: *Γραμμή εντολών (Message Area)*.....34
Εικόνα 3.5: *Δημιουργία γεωμετρίας (Part Modulus)*.....34
Εικόνα 3.6: *Επιλογές γεωμετρίας φράγματος*.....35
Εικόνα 3.7: *Σχέδιο κεντρικής διατομής φράγματος στο AutoCAD 2016*.....36
Εικόνα 3.8: *Σχεδιασμός κεντρικής διατομής φράγματος στο Abaqus*.....37
Εικόνα 3.9: *Εισαγωγή διάστασης βάθους στην κεντρική διατομή του φράγματος*.....37
Εικόνα 3.10: *Σώμα φράγματος μετά το σχεδιασμό*.....38
Εικόνα 3.11: *Τελικό σώμα φράγματος μετά το σχεδιασμό*.....38
Εικόνα 3.12: *Επιλογές γεωμετρίας υπεδάφους*.....39
Εικόνα 3.13: *Σχεδιασμός κεντρικής διατομής υπεδάφους στο Abaqus*.....40
Εικόνα 3.14: *Εισαγωγή διάστασης βάθους στην κεντρική διατομή του υπεδάφους*.....40
Εικόνα 3.15: *Σώμα υπεδάφους μετά το σχεδιασμό*.....41
Εικόνα 3.16: *Επιλογές γεωμετρίας βραχωδών πρανών*.....41
Εικόνα 3.17: *Σώμα βραχωδών πρανών μετά το σχεδιασμό*.....42
Εικόνα 3.18: *Ορισμός και αντιστοίχιση υλικών (Property Modulus)*.....43
Εικόνα 3.19: *Ορισμός μέτρου ελαστικότητας Ε και λόγου Poisson ν υλικού φράγματος*.....44
Εικόνα 3.20: *Ορισμός πλαστικού μοντέλου Lee and Fenves υλικού φράγματος*.....44
Εικόνα 3.21: *Ορισμός πυκνότητας ρ υλικού φράγματος*.....45
Εικόνα 3.22: *Ορισμός συντελεστών απόσβεσης Rayleigh*.....45
Εικόνα 3.23: *Δημιουργία γενικευμένης διατομής φράγματος*.....46
Εικόνα 3.24: *Αντιστοίχιση γενικευμένης διατομής σκυροδέματος στο φράγμα*.....46
Εικόνα 3.25: *Ορισμός μέτρου ελαστικότητας Ε και λόγου Poisson ν υλικού υπεδάφους*.....47
Εικόνα 3.26: *Ορισμός συντελεστών απόσβεσης Rayleigh υλικού υπεδάφους*.....47
Εικόνα 3.27: *Δημιουργία γενικευμένης διατομής υπεδάφους*.....48
Εικόνα 3.28: *Αντιστοίχιση γενικευμένης διατομής υπεδάφους στο υπέδαφος*.....48
Εικόνα 3.29: *Ορισμός μέτρου ελαστικότητας Ε και λόγου Poisson ν υλικού βραχωδών πρανών*.....49
Εικόνα 3.30: *Ορισμός συντελεστών απόσβεσης Rayleigh υλικού βραχωδών πρανών*.....49
Εικόνα 3.31: *Δημιουργία γενικευμένης διατομής βραχωδών πρανών*.....50
Εικόνα 3.32: *Αντιστοίχιση γενικευμένης διατομής βραχωδών πρανών στα εδαφικά πρανή*.....50
Εικόνα 3.33: *Συγκέντρωση ανεξαρτήτων σωμάτων σε κοινό μοντέλο (Assembly Modulus)*……..51
Εικόνα 3.34: *Εισαγωγή υπεδάφους στο κοινό μοντέλο*……52
Εικόνα 3.35: *Εισαγωγή βραχωδών πρανών στο κοινό* μοντέλο……..52
Εικόνα 3.36: *Εισαγωγή φράγματος στο κοινό* μοντέλο……52
Εικόνα 3.37: *Τελικό μοντέλο κοιλάδας – φράγματος*…….....53
Εικόνα 3.38: *Ορισμός βημάτων και σταδίων επίλυσης (Step Modulus)*……..54

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Εικόνα 3.39: *Δημιουργία σταδίου επίλυσης με άσκηση του ίδιου βάρους κάθε στρώσης του* φράγματος……55
Εικόνα 3.40: *Δημιουργία σταδίου επίλυσης με άσκηση της υδροστατικής πίεσης στο φράγμα*……56
Εικόνα 3.41: *Αλληλεπίδραση μεταξύ των τμημάτων της κοιλάδας (Interaction Modulus)*……..57
Εικόνα 3.42: *Δημιουργία επαφής υπεδάφους – βραχωδών πρανών (Tie 1)*……58
Εικόνα 3.43: *Επαφή υπεδάφους – βραχωδών πρανών*……59
Εικόνα 3.44: *Δημιουργία επαφής φράγματος – βραχωδών πρανών (Tie 2)*……59
Εικόνα 3.45: *Επαφή φράγματος – βραχωδών πρανών*……60
Εικόνα 3.46: *Δημιουργία επαφής φράγματος – υπεδάφους (Tie 3)*……..60
Εικόνα 3.47: *Επαφή φράγματος – υπεδάφους*……..61
Εικόνα 3.48: *Σταδιακή κατασκευή φράγματος*……62
Εικόνα 3.49: *Εισαγωγή φορτίσεων και συνοριακών συνθηκών (Load Modulus)*……62
Εικόνα 3.50: *Εισαγωγή ίδιου βάρους στην 1η στρώση του φράγματος*……63
Εικόνα 3.51: *Εισαγωγή ίδιου βάρους στην 2η στρώση του φράγματος*……63
Εικόνα 3.52: *Εισαγωγή ίδιου βάρους στην 3η στρώση του φράγματος*……64
Εικόνα 3.53: *Εισαγωγή ίδιου βάρους στην 4η στρώση του φράγματος*……64
Εικόνα 3.54: *Εισαγωγή ίδιου βάρους στην 5η στρώση του φράγματος*……64
Εικόνα 3.55: *Εισαγωγή ίδιου βάρους στην 6η στρώση του φράγματος*……65
Εικόνα 3.56: *Εισαγωγή ίδιου βάρους στην 7η στρώση του φράγματος*……65
Εικόνα 3.57: *Εισαγωγή ίδιου βάρους στην 8η στρώση του φράγματος*……65
Εικόνα 3.58: *Εισαγωγή υδροστατικής πίεσης στην ανάντη πλευρά του φράγματος*……66
Εικόνα 3.59: *Επιταχυνσιογράφημα σεισμού στο φράγμα Koyna, Ινδία, 11 Δεκεμβρίου 1967*……67
Εικόνα 3.60: *Σεισμική διέγερση κατά τον άξονα X*……..67
Εικόνα 3.61: *Σεισμική διέγερση κατά τον άξονα Z*……..67
Εικόνα 3.62: *Καθορισμός και εισαγωγή καννάβου (Mesh Modulus)*……..68
Εικόνα 3.63: *Κάνναβος φράγματος*……69
Εικόνα 3.64: *Ορισμός 1ης στρώσης φράγματος*……70
Εικόνα 3.65: *Ορισμός 2ης στρώσης φράγματος*……70
Εικόνα 3.66: *Ορισμός 3ης στρώσης φράγματος*……70
Εικόνα 3.67: *Ορισμός 4ης στρώσης φράγματος*……71
Εικόνα 3.68: *Ορισμός 5ης στρώσης φράγματος*……71
Εικόνα 3.69: *Ορισμός 6ης στρώσης φράγματος*……71
Εικόνα 3.70: *Ορισμός 7ης στρώσης φράγματος*……71
Εικόνα 3.71: *Ορισμός 8ης στρώσης* φράγματος……...72
Εικόνα 3.72: *Κάνναβος υπεδάφους*.....72
Εικόνα 3.73: *Κάνναβος βραχωδών πρανών*……73
Εικόνα 3.74: *Τελικό διακριτοποιημένο μοντέλο κοιλάδας – φράγματος*……..74
Εικόνα 3.75: *Επίλυση μοντέλου (Job Modulus)*……..74
Εικόνα 3.76: *Δημιουργία αρχείου επίλυσης με παράλληλη επίλυση σε τέσσερις πυρήνες*……75
Εικόνα 3.77: *Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων για μονοαξονικό εφελκυσμό σκυροδέματος*……..76
Εικόνα 3.78: *Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων για μονοαξονική θλίψη σκυροδέματος*……..77
Εικόνα 3.79: *Πτωτικός κλάδος χαλάρωσης υλικού σκυροδέματος διαγράμματος τάσεων – παραμορφώσεων για μονοαξονική θλίψη σκυροδέματος*……....77
Εικόνα 3.80: *Μεταβολή εφελκυστικής βλάβης για μονοαξονική θλίψη σκυροδέματος*……78
Εικόνα 3.81: *Σχηματισμός ιζηματογενών πετρωμάτων*……...80
Εικόνα 3.82: *Ψαμμίτης*……80
Εικόνα 3.83: *Μεταμορφικές τάσεις*……..82
Εικόνα 3.84: *Φυλλίτης*……83
Εικόνα 3.85: *Γνεύσιος*……83

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Εικόνα 3.86: *Πρασινοσχιστόλιθος*……...84
Εικόνα 3.87: *Κατηγορίες πυριγενών πετρωμάτων*……...84
Εικόνα 3.88: *Ταξινόμηση των πυριγενών πετρωμάτων*……...86
Εικόνα 3.89: *Βασάλτης*……86
Εικόνα 3.90: *Γρανίτης*……87
Εικόνα 3.91: *Διορίτης*……87

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

(ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ)

ΜΟΝΟΣΤΡΩΜΑΤΙΚΟ ΥΠΕΔΑΦΟΣ – ΜΟΝΟΣΤΡΩΜΑΤΙΚΑ ΠΡΑΝΗ

Σχήμα 4.1. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Α, πρανή: Γεωϋλικό Α)*……...91
Σχήμα 4.2. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Α, πρανή: Γεωϋλικό Β)*……...93
Σχήμα 4.3. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Α, πρανή: Γεωϋλικό Γ)*……...95
Σχήμα 4.4. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Α, πρανή: Γεωϋλικό Δ)*……...97
Σχήμα 4.5. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Α, πρανή: Γεωϋλικό Ε)*……...99
Σχήμα 4.6. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Α, πρανή: Γεωϋλικό ΣΤ)*……..101
Σχήμα 4.7. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Α, πρανή: Γεωϋλικό Ζ)*……103
Σχήμα 4.8. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Β, πρανή: Γεωϋλικό Α)*……105
Σχήμα 4.9. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Β, πρανή: Γεωϋλικό Β)*……107
Σχήμα 4.10. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Β, πρανή: Γεωϋλικό Γ)*……...109
Σχήμα 4.11. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Β, πρανή: Γεωϋλικό Δ)*……...111
Σχήμα 4.12. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Β, πρανή: Γεωϋλικό Ε)*……...113
Σχήμα 4.13. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Β, πρανή: Γεωϋλικό ΣΤ)*….. 115
Σχήμα 4.14. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Β, πρανή: Γεωϋλικό Ζ)*……...117
Σχήμα 4.15. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Γ, πρανή: Γεωϋλικό Α)*……...119
Σχήμα 4.16. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Γ, πρανή: Γεωϋλικό Β)*……...121
Σχήμα 4.17. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Γ, πρανή: Γεωϋλικό Γ)*……...123
Σχήμα 4.18. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Γ, πρανή: Γεωϋλικό Δ)*……...125
Σχήμα 4.19. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Γ, πρανή: Γεωϋλικό Ε)*……...127
Σχήμα 4.20. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Γ, πρανή: Γεωϋλικό ΣΤ)*……129
Σχήμα 4.21. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Γ, πρανή: Γεωϋλικό Ζ)*……...131
Σχήμα 4.22. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Δ, πρανή: Γεωϋλικό Α)*……...133
Σχήμα 4.23. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Δ, πρανή: Γεωϋλικό Β)*……...135
Σχήμα 4.24. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Δ, πρανή: Γεωϋλικό Γ)*……...137
Σχήμα 4.25. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Δ, πρανή: Γεωϋλικό Δ)*……...139
Σχήμα 4.26. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Δ, πρανή: Γεωϋλικό Ε)*……...141
Σχήμα 4.27. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Δ, πρανή: Γεωϋλικό ΣΤ)*……143
Σχήμα 4.28. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Δ, πρανή: Γεωϋλικό Ζ)*……...145
Σχήμα 4.29. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Ε, πρανή: Γεωϋλικό Α)*……...147
Σχήμα 4.30. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Ε, πρανή: Γεωϋλικό Β)*……...149
Σχήμα 4.31. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Ε, πρανή: Γεωϋλικό Γ)*……...151
Σχήμα 4.32. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Ε, πρανή: Γεωϋλικό Δ)*……...153
Σχήμα 4.33. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Ε, πρανή: Γεωϋλικό Ε)*……...155
Σχήμα 4.34. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Ε, πρανή: Γεωϋλικό ΣΤ)*……157
Σχήμα 4.35. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Ε, πρανή: Γεωϋλικό Ζ)*……...159
Σχήμα 4.36. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό ΣΤ, πρανή: Γεωϋλικό Α)*……161
Σχήμα 4.37. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό ΣΤ, πρανή: Γεωϋλικό Β)*……163
Σχήμα 4.38. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό ΣΤ, πρανή: Γεωϋλικό Γ)*……165
Σχήμα 4.39. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό ΣΤ, πρανή: Γεωϋλικό Δ)*……167
Σχήμα 4.40. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό ΣΤ, πρανή: Γεωϋλικό Ε)*……169
Σχήμα 4.41. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό ΣΤ, πρανή: Γεωϋλικό ΣΤ)*…..171

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Σχήμα 4.42. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό ΣΤ, πρανή: Γεωϋλικό Ζ)*…….173
Σχήμα 4.43. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Ζ, πρανή: Γεωϋλικό Α)*……...175
Σχήμα 4.44. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Ζ, πρανή: Γεωϋλικό Β)*……...177
Σχήμα 4.45. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Ζ, πρανή: Γεωϋλικό Γ)*……...179
Σχήμα 4.46. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Ζ, πρανή: Γεωϋλικό Δ)*……...181
Σχήμα 4.47. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Ζ, πρανή: Γεωϋλικό Ε)*……...183
Σχήμα 4.48. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Ζ, πρανή: Γεωϋλικό ΣΤ)*…….185
Σχήμα 4.49. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος: Γεωϋλικό Ζ, πρανή: Γεωϋλικό Ζ)*……...187

ΠΟΛΥΣΤΡΩΜΑΤΙΚΟ ΥΠΕΔΑΦΟΣ – ΜΟΝΟΣΤΡΩΜΑΤΙΚΑ ΠΡΑΝΗ

(ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ)

Σχήμα 4.50. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος1:Γεωϋλικό Β, υπέδαφος2:Γεωϋλικό Ζ)*...190
Σχήμα 4.51. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος1:Γεωϋλικό Δ, υπέδαφος2:Γεωϋλικό Ζ)*...192
Σχήμα 4.52. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος1:Γεωϋλικό Ζ, υπέδαφος2:Γεωϋλικό Β)*...194
Σχήμα 4.53. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος1:Γεωϋλικό Ζ, υπέδαφος2:Γεωϋλικό Δ)*...196
Σχήμα 4.54. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος1:Γεωϋλικό Α, υπέδαφος2:Γεωϋλικό Γ) υπέδαφος3:Γεωϋλικό Ε, υπέδαφος4:Γεωϋλικό Ζ*…..198
Σχήμα 4.55. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος1:Γεωϋλικό Ζ, υπέδαφος 2:Γεωϋλικό Ε) υπέδαφος3:Γεωϋλικό Γ, υπέδαφος 4:Γεωϋλικό Α)*…200
Σχήμα 4.56. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος1:Γεωϋλικό Β, υπέδαφος 2:Γεωϋλικό Ζ) υπέδαφος3:Γεωϋλικό Ζ, υπέδαφος 4:Γεωϋλικό Ζ)*....202
Σχήμα 4.57. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος1:Γεωϋλικό Β, υπέδαφος 2:Γεωϋλικό Β) υπέδαφος3:Γεωϋλικό Β, υπέδαφος 4:Γεωϋλικό Ζ)*…204

(ΚΑΘΕΤΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ)

Σχήμα 4.58. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος1:Γεωϋλικό Β, υπέδαφος 2:Γεωϋλικό Ζ)*..206
Σχήμα 4.59. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος1:Γεωϋλικό Δ, υπέδαφος2:Γεωϋλικό Ζ)*...208
Σχήμα 4.60. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος1:Γεωϋλικό Ζ, υπέδαφος2:Γεωϋλικό Β)*...210
Σχήμα 4.61. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος1:Γεωϋλικό Ζ, υπέδαφος2:Γεωϋλικό Δ)*...212
Σχήμα 4.62. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος1:Γεωϋλικό Α, υπέδαφος2:Γεωϋλικό Γ) υπέδαφος3:Γεωϋλικό Ε, υπέδαφος4:Γεωϋλικό Ζ*…..214
Σχήμα 4.63. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος1:Γεωϋλικό Ζ, υπέδαφος2:Γεωϋλικό Ε) υπέδαφος3:Γεωϋλικό Γ, υπέδαφος4:Γεωϋλικό Α)*….216

(ΚΕΚΛΙΜΕΝΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ Χ)

Σχήμα 4.64. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος1:Γεωϋλικό Α~υπέδαφος14:Γεωϋλικό Ζ).*218

(ΚΕΚΛΙΜΕΝΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ Ζ)

Σχήμα 4.65. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος1:Γεωϋλικό Α~υπέδαφος14:Γεωϋλικό Ζ).*220

ΜΟΝΟΣΤΡΩΜΑΤΙΚΟ ΥΠΕΔΑΦΟΣ – ΠΟΛΥΣΤΡΩΜΑΤΙΚΑ ΠΡΑΝΗ

(ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ)

Σχήμα 4.66. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος1:Γεωϋλικό Β, υπέδαφος2: Γεωϋλικό Ε) υπέδαφος3: Γεωϋλικό Ζ)*……...223
Σχήμα 4.67. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος1:Γεωϋλικό Ζ, υπέδαφος2: Γεωϋλικό Ε) υπέδαφος3: Γεωϋλικό Β)*……..225

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

(ΚΑΘΕΤΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ)

Σχήμα 4.68. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος1:Γεωϋλικό Α, υπέδαφος2: Γεωϋλικό Γ) υπέδαφος3: Γεωϋλικό Ε, υπέδαφος4: Γεωϋλικό Ζ*…227

Σχήμα 4.69. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος1:Γεωϋλικό Ζ, υπέδαφος2: Γεωϋλικό Ε) υπέδαφος3: Γεωϋλικό Γ, υπέδαφος 4: Γεωϋλικό Α)*..229

ΠΟΛΥΣΤΡΩΜΑΤΙΚΟ ΥΠΕΔΑΦΟΣ – ΠΟΛΥΣΤΡΩΜΑΤΙΚΑ ΠΡΑΝΗ

(ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ)

Σχήμα 4.70. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος1:Γεωϋλικό Α, υπέδαφος2: Γεωϋλικό Γ) υπέδαφος3: Γεωϋλικό Ε, υπέδαφος4: Γεωϋλικό Ζ*…232

(ΚΑΘΕΤΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ)

Σχήμα 4.71. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος1:Γεωϋλικό Α, υπέδαφος2: Γεωϋλικό Γ) υπέδαφος3: Γεωϋλικό Ε, υπέδαφος4: Γεωϋλικό Ζ*…234

Σχήμα 4.72. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 και τάσεων Mises S (υπέδαφος1:Γεωϋλικό Α, υπέδαφος2: Γεωϋλικό Γ) υπέδαφος3: Γεωϋλικό Ε, υπέδαφος4: Γεωϋλικό Ζ*…236

(ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ)

ΜΟΝΟΣΤΡΩΜΑΤΙΚΟ ΥΠΕΔΑΦΟΣ – ΜΟΝΟΣΤΡΩΜΑΤΙΚΑ ΠΡΑΝΗ

Σχήμα 4.73. : *Κοιλάδα με υπέδαφος γεωϋλικό Ζ και υλικό πρανών γεωϋλικό ΣΤ*…….237

Σχήμα 4.74. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=1.000 sec*……..239

Σχήμα 4.75. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=2.340 sec*……..239

Σχήμα 4.76. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=2.995 sec*……..240

Σχήμα 4.77. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=3.287 sec*……..240

Σχήμα 4.78. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=4.122 sec*……..241

Σχήμα 4.79. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=4.222 sec*……..241

Σχήμα 4.80. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=4.358 sec*……..242

Σχήμα 4.81. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=5.068 sec*……..242

Σχήμα 4.82. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=5.804 sec*……..243

Σχήμα 4.83. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=6.224 sec*……..243

Σχήμα 4.84. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=6.884 sec*……..244

Σχήμα 4.85. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=7.484 sec*……..244

Σχήμα 4.86. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=8.204 sec*……..245

Σχήμα 4.87. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=8.804 sec*……..245

Σχήμα 4.88. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=9.244 sec*……..246

Σχήμα 4.89. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=10.000 sec*……246

Σχήμα 4.90. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=1.000 sec*……...248

Σχήμα 4.91. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=2.340 sec*……...248

Σχήμα 4.92. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=2.995 sec*……...249

Σχήμα 4.93. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=3.287 sec*……...249

Σχήμα 4.94. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=4.122 sec*……...250

Σχήμα 4.95. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=4.222 sec*……...250

Σχήμα 4.96. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=4.358 sec*……...251

Σχήμα 4.97. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=5.068 sec*……...251

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Σχήμα 4.98. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=5.804 sec*.....252
Σχήμα 4.99. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=6.224 sec*.....252
Σχήμα 4.100. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=6.884 sec*.....253
Σχήμα 4.101. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=7.484 sec*.....253
Σχήμα 4.102. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=8.204 sec*.....254
Σχήμα 4.103. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=8.804 sec*.....254
Σχήμα 4.104. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=9.244 sec*.....255
Σχήμα 4.105. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=10.000 sec*.....255
Σχήμα 4.106. : *Χρονοϊστορία μετακίνησης U_1 κέντρου στέψης φράγματος*.....256
Σχήμα 4.107. : *Χρονοϊστορία μετακίνησης U_2 κέντρου στέψης φράγματος*.....256
Σχήμα 4.108. : *Χρονοϊστορία μετακίνησης U_3 κέντρου στέψης φράγματος*.....257
Σχήμα 4.109. : *Εφελκυστικές βλάβες τη χρονική στιγμή t=3.210 sec*.....258
Σχήμα 4.110. : *Εφελκυστικές βλάβες τη χρονική στιγμή t=3.215 sec*.....258
Σχήμα 4.111. : *Εφελκυστικές βλάβες τη χρονική στιγμή t=3.219 sec*.....259
Σχήμα 4.112. : *Εφελκυστικές βλάβες τη χρονική στιγμή t=3.223 sec*.....259
Σχήμα 4.113. : *Κοιλάδα με υπέδαφος γεωϋλικό Ε και υλικό πρανών γεωϋλικό Δ*.....260
Σχήμα 4.114. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=0.540 sec*.....262
Σχήμα 4.115. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=1.260 sec*.....262
Σχήμα 4.116. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=2.140 sec*.....263
Σχήμα 4.117. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=2.346 sec*.....263
Σχήμα 4.118. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=2.813 sec*.....264
Σχήμα 4.119. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=2.985 sec*.....264
Σχήμα 4.120. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=3.118 sec*.....265
Σχήμα 4.121. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=3.277 sec*.....265
Σχήμα 4.122. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=3.558 sec*.....266
Σχήμα 4.123. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=3.736 sec*.....266
Σχήμα 4.124. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=4.040 sec*.....267
Σχήμα 4.125. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=4.223 sec*.....267
Σχήμα 4.126. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=4.334 sec*.....268
Σχήμα 4.127. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=4.379 sec*.....268
Σχήμα 4.128. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=5.032 sec*.....269
Σχήμα 4.129. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=5.441 sec*.....269
Σχήμα 4.130. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=5.936 sec*.....270
Σχήμα 4.131. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=6.576 sec*.....270
Σχήμα 4.132. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=7.098 sec*.....271
Σχήμα 4.133. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=8.152 sec*.....271
Σχήμα 4.134. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=8.712 sec*.....272
Σχήμα 4.135. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=9.232 sec*.....272
Σχήμα 4.136. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=9.552 sec*.....273
Σχήμα 4.137. : *Κατανομή τάσεων Mises S τη χρονική στιγμή t=10.000 sec*.....273
Σχήμα 4.138. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=0.540 sec*.....275
Σχήμα 4.139. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=1.260 sec*.....275
Σχήμα 4.140. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=2.140 sec*.....276
Σχήμα 4.141. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=2.346 sec*.....276
Σχήμα 4.142. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=2.813 sec*.....277
Σχήμα 4.143. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=3.985 sec*.....277
Σχήμα 4.144. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=3.118 sec*.....278
Σχήμα 4.145. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=3.277 sec*.....278

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Σχήμα 4.146. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=3.558 sec*……279
Σχήμα 4.147. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=3.736 sec*……279
Σχήμα 4.148. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=4.040 sec*……280
Σχήμα 4.149. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=4.223 sec*……280
Σχήμα 4.150. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=4.334 sec*……281
Σχήμα 4.151. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=4.379 sec*……281
Σχήμα 4.152. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=5.032 sec*……282
Σχήμα 4.153. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=5.441 sec*……282
Σχήμα 4.154. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=5.936 sec*……283
Σχήμα 4.155. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=6.576 sec*……283
Σχήμα 4.156. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=7.098 sec*……284
Σχήμα 4.157. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=8.152 sec*……284
Σχήμα 4.158. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=8.712 sec*……285
Σχήμα 4.159. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=9.232 sec*……285
Σχήμα 4.160. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=9.552 sec*……286
Σχήμα 4.161. : *Κατανομή καθιζήσεων U_2 τη χρονική στιγμή t=10.000 sec*……..286
Σχήμα 4.162. : *Χρονοϊστορία μετακίνησης U_1 κέντρου στέψης φράγματος*……287
Σχήμα 4.163. : *Χρονοϊστορία μετακίνησης U_2 κέντρου στέψης φράγματος*……287
Σχήμα 4.164. : *Χρονοϊστορία μετακίνησης U_3 κέντρου στέψης φράγματος*……288
Σχήμα 4.165. : *Εφελκυστικές βλάβες τη χρονική στιγμή t=2.346 sec*……289
Σχήμα 4.166. : *Εφελκυστικές βλάβες τη χρονική στιγμή t=2.349 sec*……289
Σχήμα 4.167. : *Εφελκυστικές βλάβες τη χρονική στιγμή t=2.358 sec*……290
Σχήμα 4.168. : *Εφελκυστικές βλάβες τη χρονική στιγμή t=2.364 sec*……290
Σχήμα 4.169. : *Εφελκυστικές βλάβες τη χρονική στιγμή t=2.810 sec*……291
Σχήμα 4.170. : *Εφελκυστικές βλάβες τη χρονική στιγμή t=2.813 sec*……291
Σχήμα 4.171. : *Εφελκυστικές βλάβες τη χρονική στιγμή t=2.818 sec*……292
Σχήμα 4.172. : *Εφελκυστικές βλάβες τη χρονική στιγμή t=2.824 sec*……292
Σχήμα 4.173. : *Εφελκυστικές βλάβες τη χρονική στιγμή t=3.104 sec*……293
Σχήμα 4.174. : *Εφελκυστικές βλάβες τη χρονική στιγμή t=3.110 sec*……293
Σχήμα 4.175. : *Εφελκυστικές βλάβες τη χρονική στιγμή t=3.118 sec*……294
Σχήμα 4.176. : *Εφελκυστικές βλάβες τη χρονική στιγμή t=3.552 sec*……294
Σχήμα 4.177. : *Εφελκυστικές βλάβες τη χρονική στιγμή t=3.561 sec*……295
Σχήμα 4.178. : *Εφελκυστικές βλάβες τη χρονική στιγμή t=3.575 sec*……295
Σχήμα 4.179. : *Εφελκυστικές βλάβες τη χρονική στιγμή t=3.697 sec*……296
Σχήμα 4.180. : *Εφελκυστικές βλάβες τη χρονική στιγμή t=3.709 sec*……296
Σχήμα 4.181. : *Εφελκυστικές βλάβες τη χρονική στιγμή t=3.716 sec*……297
Σχήμα 4.182. : *Εφελκυστικές βλάβες τη χρονική στιγμή t=3.730 sec*……297
Σχήμα 4.183. : *Διατομή φράγματος XY με την αποτύπωση της τελικής εφελκυστικής βλάβης*……...298
Σχήμα 4.184. : *Διατομή φράγματος XY με την αποτύπωση της τελικής εφελκυστικής βλάβης*……...298

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ, ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ & ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

1.1. Πλαισιο Εξετασης Προβληματος

Τα φράγματα αποτελούν μία από τις σημαντικότερες και πιο σύγχρονες επιτομές στον κόσμο των κατασκευών. Η κατασκευή τους αποφέρει απεριόριστα οφέλη στον άνθρωπο και στον σύγχρονο κόσμο. Η επιτυχία της κατασκευής ενός φράγματος έγκειται σε μια σειρά από παράγοντες και συνθήκες, ανθρωπογενείς και μη, οι οποίες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη με πολύ μεγάλη προσοχή, ώστε να μην υπάρχουν φαινόμενα αστοχιών και καταστροφών φραγμάτων, με συνέπειες ορισμένες φορές πολύ σοβαρές για τον άνθρωπο.

Ένας πρώτος και κύριος παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στην κατασκευή ενός φράγματος είναι το έδαφος στο οποίο θα θεμελιωθεί. Είναι γνωστό ότι, η χώρα μας διαθέτει ένα αρκετά ποικίλο γεωλογικό περιβάλλον, το οποίο ανά τους αιώνες έχει διαμορφωθεί και έχει τροποποιηθεί, και τροποποιείται ακόμη και σήμερα, και θα συνεχίσει αυτόν τον αέναο κύκλο της γεωλογικής εξέλιξης και στο μέλλον. Συνεπώς, σε κάθε μελέτη που πραγματοποιείται, και ιδιαίτερα όταν πρόκειται για κατασκευές μείζονος σημασίας για την ανθρώπινη ζωή και την εύρυθμη λειτουργία της των σύγχρονων κοινωνιών, ιδιαίτερη σημασία και μελέτη πρέπει να δίνεται και να γίνεται πάνω στην γεωλογία της κοιλάδας, η οποία θα επιλεγεί για να γίνει η θεμελίωση του φράγματος.

Έχουν καταγραφεί πάρα πολλά παραδείγματα φραγμάτων, στα οποία επήλθε αστοχία μετά από σειρά ετών εξαιτίας ακατάλληλης τοποθεσίας θεμελίωσης, με ολέθριες συνέπειες σε ανθρώπινο (απώλειες ζωών) και οικονομικό επίπεδο (οικονομικές ζημίες εταιριών και κρατών). Ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι μερικά από τα παρακάτω: (i) *αστοχία φράγματος Francis (εσωτερική διάβρωση)*, (ii) *αστοχία φράγματος Συκιάς λόγω κατολίσθησης στον Άνω Αχελώο*, (iii) *αστοχία φράγματος Ermenek στην Τουρκία (απώλεια ευστάθειας στο αριστερό αντέρεισμα)*.

Η βαρύτητα και η σημασία της επιλογής της κατάλληλης τοποθεσίας για τη θεμελίωση ενός φράγματος οριοθετεί και συγκεκριμενοποιεί το αντικείμενο μελέτης της παρούσης διπλωματικής εργασίας. Συγκεκριμένα, με τη βοήθεια του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων *Abaqus 6.10*, θα μοντελοποιηθεί και θα μελετηθεί μια κοινή κοιλάδα κατασκευής ενός φράγματος βαρύτητας, στην οποία θα δοθούν ιδιότητες από μια σειρά γεωλογικών σχηματισμών στα επί μέρους τμήματα της κοιλάδας (υπέδαφος, πρανή) και θα πραγματοποιηθούν στατικές και δυναμικές αναλύσεις, με συγκεκριμένες ιδιότητες υλικών. Μετά το πέρας των αναλύσεων, θα είναι εφικτό να απεικονιστούν οι κατανομές των τάσεων και των καθιζήσεων που προκύπτουν από την παρουσία του φράγματος στη συγκεκριμένη θέση και να προκύψουν ορισμένα συμπεράσματα για την καταλληλότητα ή μη των γεωϋλικών που θα χρησιμοποιηθούν παραμετρικά, σε μελλοντικές κατασκευές φραγμάτων του συγκεκριμένου τύπου.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

1.2. ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η διάρθρωση και η συμβολή της ύλης της παρούσης μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας για τα επόμενα κεφάλαια έχει ως εξής:

- Το **πρώτο κεφάλαιο** αποτελεί την εισαγωγή της μεταπτυχιακής εργασίας και διαρθρώνεται σε δύο ενότητες. Στην πρώτη ενότητα γίνεται συνοπτική αναφορά στο γενικότερο πλαίσιο εντός του οποίου κινείται η μελέτη, ορίζεται το αντικείμενο της εργασίας και γίνεται μια σύντομη προσέγγιση με σκοπό την κατανόησή της. Στη δεύτερη, παρουσιάζεται η δομή της εργασίας και η διάρθρωσή της στα κεφάλαια που την αποτελούν.

- Στο **δεύτερο κεφάλαιο** παρουσιάζονται αναλυτικά τα φράγματα ως κατασκευή. Το κεφάλαιο αυτό διαρθρώνεται σε έξι ενότητες. Στην πρώτη ενότητα γίνεται η γνωριμία με την κατασκευή του φράγματος, τη χρησιμότητα τους και ορισμένα γενικά χαρακτηριστικά τους. Στην δεύτερη ενότητα αναφέρονται οι κατηγορίες και οι τύποι των φραγμάτων. Στην τρίτη ενότητα αναφέρονται τα συνοδά έργα που κατασκευάζονται μαζί με τα φράγματα. Στην τέταρτη ενότητα γίνεται αναφορά στις αστοχίες που συμβαίνουν στα φράγματα, στην πέμπτη ενότητα αναφέρονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατασκευή ενός φράγματος, και στην έκτη ενότητα γίνεται αναφορά στα σεισμικά χαρακτηριστικά του φράγματος, στη νομοθεσία και στην γενική αντιμετώπιση που πρέπει να υπάρχει στα φράγματα απέναντι στο σεισμό.

- Στο **τρίτο κεφάλαιο** γίνεται λεπτομερής ανάλυση του πλαισίου έρευνας που ακολουθήθηκε για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας και διαρθρώνεται σε τέσσερις ενότητες. Στην πρώτη ενότητα γίνεται παρουσίαση του θέματος της διπλωματικής εργασίας. Στην δεύτερη ενότητα γίνεται παρουσίαση του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων *Abaqus 6.10* που χρησιμοποιήθηκε και ενδελεχής ανάλυση του προβλήματος και της μεθόδου μοντελοποίησης της κοιλάδας και του φράγματος μελέτης. Στην τρίτη ενότητα γίνεται αναφορά στις ιδιότητες των γεωϋλικών και στο υλικό του φράγματος που χρησιμοποιηθήκαν για τις αναλύσεις και στην τέταρτη ενότητα αναφέρονται κατηγορίες πετρωμάτων, τα οποία ενδέχεται να αποτελούν τμήμα πραγματικής στρωματογραφίας υποβάθρου κοιλάδας, στην οποία θα γίνει κατασκευή φράγματος βαρύτητας.

- Στο **τέταρτο κεφάλαιο** γίνεται αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από το πέρας των αναλύσεων, και διαρθρώνεται σε τρείς ενότητες. Στην πρώτη ενότητα αναφέρεται το πλαίσιο έρευνας και οργάνωσης του παρόντος κεφαλαίου. Στην δεύτερη ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των στατικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν, για τις διάφορες κατηγορίες της κοιλάδας που επιλέχθηκαν, και στην τρίτη ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα δύο ενδεικτικών και αντιπροσωπευτικών δυναμικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

- Στο **πέμπτο κεφάλαιο** γίνεται μια ανασκόπηση του συνόλου της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας που εκπονήθηκε και αναφέρονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν, μελετώντας τα αποτελέσματα. Διαρθρώνεται σε δύο ενότητες. Στην πρώτη ενότητα γίνεται μια ολική ανασκόπηση της εργασίας και του αντικειμένου έρευνας και μελέτης, και στην δεύτερη ενότητα παρουσιάζονται βασικά ειδικά και γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την λεπτομερή μελέτη των αποτελεσμάτων και προτάσεις για μελλοντική ερευνητική δραστηριότητα.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

2.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

Τα φράγματα αποτελούν τα μεγαλύτερα έργα που έχουν κατασκευαστεί από τον άνθρωπο. Πρόκειται για τεχνικά έργα που κατασκευάζονται κάθετα στην κοίτη ενός φυσικού ρεύματος (ποταμού) με σκοπό την αποθήκευση , παροχέτευση ή ανάσχεση της πλημμυρικής παροχής του ρέματος. Σταματώντας όμως τη ροή του νερού και αποθηκεύοντας το πίσω από μεγάλα φράγματα, αμέσως δημιουργείται η ανάγκη για ύπαρξη αυξημένης ασφάλειας αλλά και μελέτης σεναρίων άμεσης δράσης σε περίπτωση αστοχίας ([1], [5], [7], [8]).

Τα φράγματα έχουν να προσφέρουν αναμφίβολα πολλά πλεονεκτήματα ταυτόχρονα με τα μειονεκτήματα. Η λειτουργικότητα τους είναι πολλαπλή μιας και προσφέρουν ανεκτίμητες παροχές στον άνθρωπο (αποταμίευση νερού για ύδρευση και άρδευση, παραγωγή φθηνής ηλεκτρικής ενέργειας, εγγύηση αποτελεσματικής προστασίας από πλημμύρες, δημιουργία νέων υγροτόπων και ανάπτυξη ιχθυοκαλλιεργειών). Ωστόσο οι άσχημες συνέπειές τους δεν μπορούν να αμφισβητηθούν. Ένα από τα κυριότερα προβλήματα είναι η αλλοίωση του φυσικού τοπίου ενώ αυξημένος είναι και ο κίνδυνος τοπικών σεισμών σε περιοχές με φράγματα αφού επιβαρύνεται ο φλοιός της γης. Αυτό που χρειάζεται για να εξασφαλιστεί η ισορροπία, είναι να γίνονται προσεκτικές μελέτες πριν την κατασκευή οποιουδήποτε φράγματος ανάλογα πάντα με τις συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή. Με αυτόν τον τρόπο θα αποφευχθούν κάποια από τα πιθανά προβλήματα, που μπορεί να αποβούν μοιραία στο μέλλον ([1], [5], [7], [8]).

Η ευστάθεια των πρανών των αντερεισμάτων ενός φράγματος αποτελεί ένα πολύ ευρύ θέμα, ένα από τα σημαντικότερα κεφάλαια της βραχομηχανικής, με το οποίο έχει ασχοληθεί εκτεταμένα τόσο η ελληνική όσο και η διεθνής επιστημονική κοινότητα. Όταν η βραχόμαζα αποτελείται από κεκλιμένα στρώματα, η δρώσα συνιστώσα βάρους της έχει την τάση να την παρασύρει προς τα κάτω. Ο παράγοντας εκείνος ο οποίος εμποδίζει την κίνηση της βραχόμαζας προς τα κάτω είναι η αντοχή της σε διάτμηση. Αυτό το απλοϊκό μοντέλο αποτελεί τη βάση για την κατανόηση του θέματος της ευστάθειας των πρανών. Το θέμα βέβαια λίγο θα μας είχε απασχολήσει αν δεν συνέβαιναν πολλές αστοχίες πρανών και αν δεν είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα συμβούν και στο μέλλον. Έτσι, από τις πρώτες δεκαετίες του προηγούμενου αιώνα άρχισαν οι προσπάθειες για τη διερεύνηση και τη μελέτη των αστοχιών πρανών και την ανάπτυξη μεθόδων ελέγχου της ευστάθειάς τους. Παρά τις τεράστιες προόδους που έχουν σημειωθεί μέχρι σήμερα το θέμα κάθε άλλο παρά κλειστό είναι, οι απαιτήσεις κάθε άλλο παρά σίγουρες και οι προσπάθειες κάθε άλλο παρά ολοκληρωμένες ([5], [7], [8]).

Οι συνέπειες από την αστοχία ενός φράγματος μπορεί να είναι τραγικές τόσο σε απώλειες ανθρώπινων ζωών, όσο και σε καταστροφές περιουσιών και γενικά συνοδεύονται από σοβαρές επιπτώσεις στην οικονομία ενός τόπου. Όλα τα φράγματα χρειάζονται προσεκτική

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

φροντίδα και συνεχή έλεγχο από ειδικούς έμπειρους μηχανικούς ώστε να διασφαλίζεται η ασφαλής ζωή και λειτουργία τους ([1], [5], [7], [8]).

Με την πάροδο του χρόνου οι διαστάσεις των φραγμάτων γίνονταν μεγαλύτερες και οι τεχνικές κατασκευής τους συνεχώς βελτιώνονταν κυρίως λόγω της καλύτερης κατανόησης των ιδιοτήτων των υλικών κατασκευής. Η συμβολή της γεωλογίας στο σχεδιασμό φραγμάτων είναι εξαιρετικά σημαντική (Μουτάφης, 1991), το ίδιο και η ανάπτυξη της γεωτεχνικής μηχανικής. Ειδικότερα, η συμβολή του Terzaghi (1925) αποδείχθηκε σταθμός στην κατανόηση της συμπεριφοράς αυτής της κατηγορίας φραγμάτων ([5], [7], [8]).

Συνοψίζοντας, θα δοθούν ορισμένοι βασικοί όροι που αφορούν τα φράγματα, οι οποίοι είναι καλό να είναι γνωστοί, με σκοπό την ευκολότερη και αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση προβλημάτων που ανακύπτουν ([1], [5], [7], [8]).

- **Φράγμα**: Τεχνικό έργο που κατασκευάζεται εγκάρσια στην κοίτη ποταμού, με σκοπό τη δημιουργία κλειστής κοιλότητας για αποθήκευση του νερού.

- **Ταμιευτήρας**: Λεκάνη κατάκλυσης που δημιουργείται ανάντη του φράγματος, τα όρια της οποίας μεταβάλλονται ανάλογα με την αποθηκευμένη ποσότητα νερού.

- **Λεκάνη απορροής**: Κλειστή επιφάνεια, δεδομένου εμβαδού, που συνεισφέρει στην παραγωγή επιφανειακής απορροής, ο υδροκρίτης της οποίας διέρχεται από τη θέση του φράγματος (ο ταμιευτήρας αναπτύσσεται στο κατάντη τμήμα της λεκάνης).

- **Αντερείσματα**: Τμήματα των πρανών της κοιλάδας στο οποία εδράζεται το φράγμα (διάκριση σε αριστερό-δεξιό, κοιτώντας στην κατεύθυνση της ροής του ποταμού).

- **Στέψη φράγματος**: Το ανώτερο υψομετρικά τμήμα του αναχώματος, χωρίς την υπερύψωση (επιπλέον ύψος που αφήνεται για παραλαβή καθιζήσεων).

- **Ύψος φράγματος**: Κατακόρυφη απόσταση από το βαθύτερο σημείο της θεμελίωσης μέχρι τη στέψη.

- **Υδροληψία**: Τεχνικό έργο εισόδου που τοποθετείται σε κατάλληλο υψόμετρο (αρκετά ψηλότερα από τον πόδα του φράγματος) και συνδέεται με τα έργα προσαγωγής.

- **Υπερχειλιστής**: Τεχνικό έργο που τοποθετείται χαμηλότερα από τη στέψη του φράγματος και επιτρέπει την ομαλή διοχέτευση των πλημμυρικών ροών, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος υπερπήδησης του φράγματος (στα Υ/Η έργα συνδυάζεται με τη λειτουργία θυροφραγμάτων, οπότε χρησιμοποιείται ο όρος εκχειλιστής).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

2.2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ & ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Ο τύπος και το μέγεθος ενός φράγματος που πρόκειται να κατασκευαστεί, εξαρτάται από τις τοπογραφικές και γεωλογικές συνθήκες της περιοχής, τη διαθεσιμότητα των απαραίτητων σε κάθε περίπτωση υλικών κατασκευής καθώς τις ανάγκες και τις διαθέσιμες ποσότητες νερού. Γενικά, ταξινομούνται ανάλογα με το σκοπό, τη χρήση τους καθώς και τη γεωμετρία και τα υλικά κατασκευής τους ([1], [5], [7], [8]).

2.2.1. Ανάλογα με το σκοπό της κατασκευής

- *Συγκέντρωσης νερού*:
  Συγκέντρωση νερού σε επιφανειακούς ταμιευτήρες, δηλαδή δημιουργία τεχνητών λιμνών που αποδίδονται και με τον όρο "λεκάνη κατάκλυσης".

- *Εκτροπής*:
  Εκτροπή της ροής του νερού είτε για παροχέτευσή του σε προκαθορισμένο χώρο ή για εκτέλεση εργασιών «εν ξηρώ» και διακρίνονται σε: (α) Μόνιμα και (β) Προσωρινά.

- *Ανάσχεσης*:
  Ανάσχεση της ταχύτητας ροής, δηλαδή επιβράδυνση αυτής με σκοπό τον τεχνητό εμπλουτισμό υδροφορέων, την αποφυγή ή μείωση της διάβρωσης λόγω εκδήλωσης χειμαρρικών φαινομένων.

- *Ρύθμισης*:
  Ρυθμιστικά για τον έλεγχο και πρόληψη πλημμυρών, την ελεγχόμενη παροχέτευση νερού κ.λπ.

2.2.2. Ανάλογα με τη χρήση

- *Υδροηλεκτρικά (Ενεργειακή χρήση)*
- *Αρδευτικά (Ανάγκες άρδευσης)*
- *Υδρευτικά (Ανάγκες ύδρευσης)*
- *Πολλαπλής σκοπιμότητας (Συνδυασμός των παραπάνω)*

2.2.3. Ανάλογα με τη γεωμετρία και τα υλικά κατασκευής

2.2.3.1. **Τσιμεντένια φράγματα** (*Concrete Dams*)

- *Βαρύτητας*

Κατασκευάζονται από άοπλο σκυρόδεμα ή και από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα. Τα τελευταία είναι τα λεγόμενα *RCC* φράγματα (*Roller Compacted Concrete*), όπως για παράδειγμα του ΥΗΣ (Υδροηλεκτρικού Σταθμού) Πλατανόβρυσης στο Νέστο ποταμό, όπου ένα μέρος είναι τσιμέντο και τρία τέφρα προερχόμενη από το ΘΗΣ (Θερμοηλεκτρικό

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Σταθμό) της Πτολεμαΐδας. Από τα παλαιότερα φράγματα βαρύτητας στον Ελληνικό χώρο (έτος 1931) είναι αυτό του Μαραθώνα Αττικής για την ύδρευση των Αθηνών ([1], [5], [7], [8]).

Η λειτουργία των φραγμάτων αυτών στηρίζεται στο βάρος τους με το οποίο και αντισταθμίζουν τις υδροστατικές πιέσεις, την άνωση, τις σεισμικές φορτίσεις και τις δυνάμεις ανατροπής. Παράλληλα, με την κατάλληλη επιλογή της διατομής και τον έλεγχο των συνθηκών θεμελίωσης, αποτρέπεται ο κίνδυνος λόγω διαφορικών καθιζήσεων. Ένα φράγμα βαρύτητας είναι μια συμπαγής, μονολιθική κατασκευή που συνήθως είναι ευθεία στο σχεδιασμό αν και μερικές φορές μπορεί να είναι ελαφρά καμπύλη και η διατομή του είναι περίπου τραπεζοειδής ([1], [5], [7], [8]).

Γενικά, τα φράγματα βαρύτητας μπορεί να ανεχθούν μόνο τις μικρότερες διαφορικές κινήσεις και απαιτούν μεγάλες ποσότητες τσιμέντου, δεδομένου ότι η αντίσταση στη μετατόπιση και γενικότερα η απόκριση σε στατικές και δυναμικές φορτίσεις εξασφαλίζονται από το ίδιο βάρος. Εν τούτοις, φράγματα βαρύτητας έχουν κατασκευασθεί σε έντονα διερρηγμένο και διαφορετικής σύστασης (εναλλαγές) πέτρωμα και ακόμα σε ποτάμιες αποθέσεις, όπου η θεμελίωση απαιτεί εφαρμογή εξειδικευμένων μεθοδολογιών βελτίωσης πριν την κατασκευή. Κατάλληλη θέση κατασκευής, είναι συνήθως σε στένωμα μιας κοιλάδας, όπου το υγιές πέτρωμα είναι λογικά κοντά στην επιφάνεια τόσο στη θεμελίωση όσο και στα ακρόβαθρα. Εάν δε συμβαίνει αυτό, τότε πρέπει να γίνει εκσκαφή και εκκαθάριση των ασθενών εδαφικών στρώσεων, μέχρι να βρεθεί υγιές και βραχώδες υπόβαθρο. Σημαντική επίσης θεώρηση σε μερικές περιοχές είναι η διαθεσιμότητα, σε λογική απόσταση, επαρκών δανειοθαλάμων με κατάλληλα αδρανή για σκυρόδεμα. Ορισμένα σημαντικά χαρακτηριστικά τους είναι τα εξής ([1], [5], [7], [8]):

- Σε υγιή και ικανή βραχόμαζα δεν υπάρχουν περιορισμοί μέγιστου ύψους, κλιματολογικών συνθηκών.
- Είναι αρκετά ευαίσθητα σε σεισμούς, καθιζήσεις – διαφορικές καθιζήσεις και υπόγειες υδροστατικές πιέσεις.
- Δε χρειάζονται υπερχειλιστή, δεν επηρεάζονται από τη μορφολογία, δεν αστοχούν σε ανύποπτο χρόνο.
- Έχουν μεγαλύτερο κόστος κατασκευής από τα εύκαμπτα, αλλά φθηνή συντήρηση.

Εικόνα 2.1. *Φράγμα βαρύτητας (υδατοφράκτης) Παλαιοχώρι, Καμπί, Επαρχία Λευκωσίας* ([23]).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

- *Τοξωτά*

Κατασκευάζονται από άοπλο σκυρόδεμα υψηλής ποιότητας αλλά ενίοτε και οπλισμένο, είναι δε καμπύλα στο σχεδιασμό με την κυρτή επιφάνεια προς τα ανάντη. Μεταφέρουν τις υδροστατικές πιέσεις στα αντερείσματα. Σε σχέση με τα φράγματα βαρύτητας επιτυγχάνεται οικονομία στον όγκο του σκυροδέματος έως και 70%, ενώ όταν το πάχος τους είναι μεγάλο λειτουργούν εν μέρει και ως φράγματα βαρύτητας (βαρύτητας - τοξωτά) ([1], [5], [7], [8]).

Είναι δυνατόν να αντισταθούν σε μεγάλες παραμορφώσεις των σχηματισμών θεμελίωσης, αρκεί αυτές να είναι ομοιόμορφα διανεμημένες. Μεταφέρουν το μεγαλύτερο μέρος της οριζόντιας ώθησης από το νερό του ταμιευτήρα στα ακρόβαθρα με τη λειτουργία του τόξου και αυτό σε συνδυασμό με την περιορισμένη διατομή τους, σημαίνει ότι επιβάλουν ισχυρά θλιπτικά φορτία σε στενές ζώνες στη βάση καθώς και στα ακρόβαθρα. Επομένως η αντοχή της βραχόμαζας, στα ακρόβαθρα και στην αμέσως κατάντη περιοχή του φράγματος πρέπει να είναι ικανοποιητική και το μέτρο ελαστικότητας Ε (*Modulus of Elasticity*) αρκετά μεγάλο για να διασφαλίσει ότι η παραμόρφωσή της, κάτω από την ώθηση του τόξου, δεν είναι τόσο μεγάλη ώστε να επιτρέψει υπερβολικές παραμορφώσεις του τόξου ([1], [5], [7], [8]).

Ιδανικές θέσεις για τοξωτά φράγματα είναι σε στενά φαράγγια, όπου οι παρειές είναι ικανές να δεχθούν την ώθηση που προκαλείται από τη λειτουργία του τόξου. Το τόξο πρέπει να πακτώνεται καλά στα ακρόβαθρα. Ορισμένα βασικά τους χαρακτηριστικά είναι τα εξής ([1], [5], [7], [8]):

- Απαιτήσεις για ιδιαίτερα ικανή βραχόμαζα στα αντερείσματα (σε θέματα αντοχής και παραμόρφωσης).
- Μικρή ευαισθησία στις υπόγειες υδροστατικές πιέσεις, μικρότερο κόστος κατασκευής από τα φράγματα βαρύτητας.
- Κλιματολογικοί παράγοντες επηρεάζουν την κατασκευή, χρονοβόρα κατασκευή και ευαισθησία στο σεισμό.

Εικόνα 2.2. *Τοξωτό φράγμα Ταυρωπού, Λίμνη Πλαστήρα* ([24]).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

- *Αντηριδωτά*

Πρόκειται για πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος η οποία φέρεται σε αντηρίδες μεταβλητού πλάτους. Μεταφέρουν τις υδροστατικές πιέσεις κυρίως στην επιφάνεια θεμελίωσης και λιγότερο στα αντερείσματα, ενώ σε σχέση με τα φράγματα βαρύτητας επιτυγχάνουν οικονομία στον όγκο του απαιτούμενου σκυροδέματος μέχρι και 90% ([1], [5], [7], [8]).

Τα φράγματα αυτά συνιστούν μια πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα που κλίνει ανάντη και η οποία στηρίζεται από αριθμό αντηρίδων με άξονες κάθετα προς την πλάκα. Οι αντηρίδες στηρίζουν την πλάκα και μεταφέρουν τις στατικές και δυναμικές ωθήσεις στη θεμελίωση. Είναι περιορισμένης διατομής, εξασκώντας έτσι τεράστια φορτία στη θεμελίωση. Ο σχεδιασμός των αντηρίδων θα πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να αποτρέπει την ολίσθηση κατά μήκος της επιφάνειας θεμελίωσης. Το πρόβλημα πιέσεων λόγω άνωσης (*uplift pressures*) είναι πρακτικά περιορισμένο στα αντηριδωτά φράγματα και υπάρχει πρόσβαση για την επιθεώρηση της θεμελίωσης αυτών ([1], [5], [7], [8]).

Εικόνα 2.3. *Αντηριδωτό φράγμα Koyna, Ινδία* ([25]).

- *Μικτά*

Πρόκειται για συνδυασμό περιπτώσεων των ανωτέρω (Βαρύτητας- τοξωτά, τοξωτά - αντηριδωτά κ.λπ.)

Η πιο βασική μορφή αστοχίας στα φράγματα σκυροδέματος είναι ο μεγάλος αριθμός ρωγμών που μπορεί να εμφανιστούν στην περίπτωση σεισμικής καταπόνησης, οδηγώντας έτσι το φράγμα σε πιθανή βλάβη ή ακόμα και στην αστοχία του. Για ένα φράγμα από σκυρόδεμα, το οποίο βρίσκεται σε βραχώδες υπόστρωμα και δεν έχει σημαντικές κατασκευαστικές ελλείψεις, η διατήρηση της δομικής ακεραιότητας του κατά τη διάρκεια ενός σεισμού είναι πολύ πιθανή στην περίπτωση που τηρούνται οι ακόλουθοι όροι:

- Το φράγμα είναι καλά κατασκευασμένο και είναι σε καλή κατάσταση.
- Η περιοχή κατασκευής του
- Οι μέγιστες επιταχύνσεις στο βραχώδες υπόστρωμα να είναι 0.2g ή μικρότερες.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Ο συντελεστής ασφάλειας έναντι ολισθήσεως για στατικές συνθήκες να έχει αποδεκτή τιμή.

2.2.3.2. **Χωμάτινα φράγματα** (*Embankments - Earth Dams*)

Πρόκειται για εύκαμπτες κατασκευές που δεν απαιτούν σχηματισμούς θεμελίωσης εξαιρετικής ποιότητας. Διακρίνονται στις εξής κατηγορίες ([1], [5], [7], [8]):

- *Ομογενή φράγματα* (*Homogeneous dams*)

  Σχεδόν εξολοκλήρου ομοιόμορφα φυσικά υλικά κατασκευής.

Εικόνα 2.4. *Ομογενές χωμάτινο φράγμα Φανερωμένης, Μεσσαρά Ηρακλείου* ([27]).

- *Ετερογενή χωμάτινα ή λιθόρριπτα φράγματα* (*Zoned - Rolled fill and Rock-fill dams*)

  Ζωνώδεις κατασκευές με υλικά διαφόρων γεωμηχανικών ιδιοτήτων και σε διαφορετικά ποσοστά ([1], [5], [7], [8]).

  Τα χωμάτινα φράγματα είναι επιχώματα εδαφικών και αδρανών υλικών (τραπεζοειδές επίχωμα) με αδιαπέρατο πυρήνα (*core*) για τον έλεγχο της διήθησης - διαφυγής (*seapage*) νερού. Ο πυρήνας συνήθως είναι από αργιλικά υλικά και εάν αυτά δεν είναι διαθέσιμα σε επαρκείς ποσότητες τότε χρησιμοποιούνται πλάκες σκυροδέματος ή άσφαλτο σκυρόδεμα. Ο πυρήνας συνήθως εκτείνεται με τη μορφή όνυχα (εκσκαφής – διαφραγματικής τάφρου) εντός των σχηματισμών θεμελίωσης όταν η διήθηση κάτω από το φράγμα πρέπει να ελεγχθεί. Αυτές οι τομές (*cut-offs*) μπορεί να είναι και αρκετά βαθιά μερικές δε φορές επεκτείνονται και μέσα στα ακρόβαθρα ως πλευρικές τάφροι. Στραγγιστήρια (*drains*) άμμου ή και χαλίκων τοποθετούνται μέσα και κάτω από το φράγμα για τον έλεγχο επίσης των διαφυγών ([1], [5], [7], [8]).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Εικόνα 2.5. *Ετερογενές χωμάτινο φράγμα Μαυροματίου, Σούρπη, Νομός Μαγνησίας* ([26]).

Λόγω της μεγάλης βάσης τους τα χωμάτινα φράγματα μεταφέρουν πολύ μικρότερες τάσεις στη θεμελίωση από τα τσιμεντένια. Επιπλέον πολύ ευκολότερα μπορεί να παραλάβουν παραμορφώσεις, όπως π.χ. αυτές λόγω διαφορικών καθιζήσεων. Έτσι, τα χωμάτινα φράγματα έχουν κατασκευαστεί σε μεγάλη ποικιλία σχηματισμών θεμελίωσης από χαλαρά, μη στερεοποιημένα υλικά ποτάμιων αποθέσεων έως πολύ σκληρά πετρώματα.

Όπως και στα φράγματα σκυροδέματος, έτσι και τα φράγματα βαρύτητας από εδαφικό υλικό δεν θα παρουσιάσουν παραμορφώσεις που θα οδηγήσουν στην αστοχία τους αν ισχύουν οι παρακάτω προϋποθέσεις: ([1], [5], [7], [8])

- Το φράγμα καθώς και τα θεμέλια του δεν θα υποστούν ρευστοποίηση αν δεν κατασκευαστεί σε χαλαρά εδάφη ή αργίλους.
- Το φράγμα να είναι καλά κατασκευασμένο.
- Η μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση στη βάση του φράγματος να μην είναι μεγαλύτερη από 0.2g.
- Οι στατικοί συντελεστές ασφαλείας σε όλες τις πιθανές επιφάνειες αστοχίας να έχουν τιμή μεγαλύτερη από 1.5.
- Οι κυματισμοί κατά τη διάρκεια του σεισμού να είναι τουλάχιστον το 3% - 5% του ύψους του φράγματος και όχι μικρότερο των 0.9 μέτρα.
- Δεν θα πρέπει να υπάρχουν κρίσιμα στοιχεία που θα εμφανίσουν βλάβες από μικρές κινήσεις του φράγματος ή να προκαλέσουν ρωγμές οδηγώντας σε εσωτερική διάβρωση.

Ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά των εύκαμπτων φραγμάτων είναι τα εξής παρακάτω:

- Προσφέρονται για βραχόμαζες χαμηλών αντοχών, ετερογενείς σχηματισμούς, σεισμογόνες περιοχές.
- Ευαισθησία στην υπόγεια διάβρωση, αστοχούν χωρίς προειδοποίηση.
- Μικρός χρόνος και κόστος κατασκευής , αρκετά μεγάλο κόστος συντήρησης.
- Απαιτούν υπερχειλιστή ή εκχειλιστή και ήπια μορφολογία κοιλάδας.

- *Μικτά ή σύνθετα φράγματα* (*Composite dams*)

Αποτελούν συνδυασμό εύκαμπτων και άκαμπτων (βαρύτητας, χωμάτινα, αντηριδωτά) ([1], [5], [7], [8]).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

2.3. ΣΥΝΟΔΑ ΕΡΓΑ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Η καλή λειτουργία, η πολλαπλή σκοπιμότητα και η ασφάλεια του φράγματος και ταμιευτήρα απαιτούν την κατασκευή μαζί με το σώμα του φράγματος και συνοδών έργων, που ταξινομούνται παρακάτω και για τα οποία απαιτούνται επίσης λεπτομερείς προκαταρκτικές έρευνες όσον αφορά στην υδρολογία, τοπογραφία και τις συνθήκες που επικρατούν στο υπέδαφος ([1], [5], [7], [8]).

2.3.1. Σήραγγα εκτροπής (*Diversion tunnel*)

Το έργο αυτό διευκολύνει τις εργασίες κατασκευής του φράγματος με την ομαλή παροχέτευση (εκτροπή) των νερών του ποταμού προς τα κατάντη. Στην περίπτωση ποταμών μεγάλης παροχής νερού, στους οποίους αναμένονται κατά το στάδιο κατασκευής πιθανές πλημμυρικές παροχές, η σήραγγα εκτροπής συνδυάζεται και με την κατασκευή προφράγματος, τελικά δε με την ολοκλήρωση του έργου και οι δύο αυτές κατασκευές ενσωματώνονται στο κυρίως έργο.

2.3.2. Πρόφραγμα (*Cofferdam*)

Πρόκειται για προσωρινή κατασκευή με όλα τα χαρακτηριστικά μικρού χωμάτινου φράγματος, ανάντη από ένα φράγμα, για τη συγκέντρωση του νερού και ελεγχόμενη ροή αυτού στο στάδιο της κατασκευής του φράγματος μέσω της σήραγγας εκτροπής.

2.3.3. Υδροληψία (φρεάτιο και αγωγός προσαγωγής) (*Intake- shaft and Headrace tunnel*)

Πρόκειται για το έργο που θα μεταφέρει το νερό του ταμιευτήρα στην κατάντη περιοχή για διάφορες χρήσεις, π.χ. παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

2.3.4. Εκχειλιστής ή Υπερχειλιστής (*Spillway*)

Στην περίπτωση πλήρωσης του ταμιευτήρα πάνω από την ανώτατη στάθμη λειτουργίας, λόγω πλημμυρικών παροχών ή πλούσιου γενικά σε ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα υδρολογικού έτους, ο εκχειλιστής εξασφαλίζει την ομαλή ροή της περίσσειας νερού ελεγχόμενα προς τα κατάντη μέσω των θυροφραγμάτων που διαθέτει. Στην περίπτωση του υπερχειλιστή το νερό του ταμιευτήρα παροχετεύεται προς τα κατάντη αυτόματα, χωρίς τη μεσολάβηση θυροφραγμάτων όταν η στάθμη υπερβεί τη μέγιστη στάθμη λειτουργίας.

Ο εκχειλιστής τοποθετείται μέσα ή στην κατάντη όψη του φράγματος, έξω από το φράγμα στη μια ή την άλλη πλευρά ή εντός του ταμιευτήρα οπότε είναι με τη μορφή σήραγγας (φρέαρ και σήραγγα που εξέρχεται κάτω από το φράγμα). Γενικά το μέγεθος και η θέση αυτού σε σχέση με το φράγμα καθορίζονται από το μέγεθος και είδος του φράγματος, την τοπική τοπογραφία, τη γεωλογία και την προσεκτική ανασκόπηση του ιστορικού της ροής του ποταμού στην περιοχή του φράγματος.

2.3.5. Σήραγγα επίσκεψης (*Inspection gallery*)

Μερικά από τα χωμάτινα φράγματα συνδυάζονται και με σήραγγα επίσκεψης που είναι κατά μήκος του άξονα του έργου. Μέσα από τη σήραγγα εκτελούνται οι τσιμεντενέσεις στη

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

θεμελίωση ενώ το έργο ανυψώνεται και παράλληλα λειτουργεί ως σήραγγα αποστράγγισης, για την τοποθέτηση οργάνων κ.λπ.

2.3.6. Σήραγγες τσιμεντενέσεων (*Grouting galleries*)

Μέσα από τα έργα αυτά εκτελούνται οι τσιμεντενέσεις σε διάφορα ύψη των αντερεισμάτων.

2.3.7. Σήραγγες αποστράγγισης (*Drainage galleries*)

Αποστραγγίζουν νερά από τα αντερείσματα. Συνήθως οι σήραγγες των τσιμεντε-νέσεων στα αντερείσματα λειτουργούν και ως αποστραγγιστικές.

2.3.8. Εκκενωτής πυθμένα (*Bottom outlet*)

Κατασκευή με σήραγγα που συμβάλει στην ταπείνωση της στάθμης του ταμιευτήρα ή και στην πλήρη εκκένωση αυτού, όταν υπάρχει πρόβλημα στο έργο ή κριθει απαραίτητη η απόληψη των φερτών υλικών, λόγω της στερεοπαροχής στη λεκάνη κατάκλυσης. Πολλές φορές για λόγους οικονομίας και όταν οι συνθήκες το επιτρέπουν (τοπογραφικές, υπεδαφικές, υδρολογικές) οι δύο σήραγγες, του υπερ- χειλιστή, όταν αυτός είναι σηραγγοειδής και της εκτροπής οδεύουν προς τα κατάντη μέσω κοινής σήραγγας (περίπτωση φραγμάτων Μόρνου, Αώου κ.α.).

2.3.9. Θυροφράγματα (*Gates*)

Πρόκειται για πόρτες που τοποθετούνται στις κορυφές των εκχειλιστών για τον έλεγχο της ροής του νερού από αυτούς.

2.3.10. Υδροηλεκτρικός σταθμός (*Hydroelectric power plant*)

Ο σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που συνήθως τοποθετείται στο πόδι του φράγματος ή σε κάποια απόσταση κατάντη.

2.3.11. Υδροφράχτες (*Locks*)

Κινητά φράγματα (τύπος θυροφραγμάτων) που χρησιμοποιούνται για την ανύψωση ή την ταπείνωση της στάθμης κατά μήκος ποταμών ή καναλιών. Εξυπηρετούν τη ναυσιπλοΐα.

2.3.12. Ταμιευτήρες άντλησης- αποθήκευσης νερού (*Pumped-Storage reservoirs*)

Υπάρχουν περίοδοι κατά τις οποίες η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή και άλλες περίοδοι με περίσσευμα ενέργειας. Η μη χρησιμοποιούμενη πλεονασματική ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε δυναμική με μικρό σχετικά κόστος, που θα χρησιμοποιηθεί στην περίοδο αιχμής. Ο ταμιευτήρας στον οποίο αποθηκεύεται το αντλούμενο, στις νυχτερινές ιδιαίτερα ώρες, νερό που έχει ήδη χρησιμοποιηθεί από τον υδροηλεκτρικό σταθμό, προκειμένου να παραχθεί ενέργεια στην περίοδο αιχμής ή να εκτραπεί προς άλλες χρήσεις λέγεται ταμιευτήρας άντλησης - αποθήκευσης. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα σχεδιασμού επάλληλων ταμιευτήρων (διαδοχικές λεκάνες κατάκλυσης, οι οποίες λειτουργούν ως ταμιευτήρες άντλησης - αποθήκευσης του ανάντη φράγματος).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

2.3.13. Κλιμακωτό κανάλι διέλευσης ψαριών (*Fish ladder*)

Στα φράγματα που κατασκευάζονται σε μονοπάτια μετανάστευσης ψαριών, γίνεται πρόβλεψη παροχής δυνατότητας μετακίνησης των ψαριών μέσω της κατασκευής αυτής που τοποθετείται στην πλευρά ή πάνω στην όψη του φράγματος, για τη διευκόλυνση της μετανάστευσης ανάντη και κατάντη.

2.3.14. Λεκάνη ηρεμίας (*Stilling basin*)

Δημιουργείται στην κατάντη πλευρά του φράγματος και αποτρέπει τη διάβρωση στον πόδα αυτού από τα νερά της υπερχείλισης καθώς και την ομαλή παροχέτευση του νερού στην κατάντη κοίτη του ποταμού.

2.3.15. Άλλα επιμέρους τμήματα του φράγματος

Στη συνέχεια δίνεται η ορολογία για διάφορα τμήματα του φράγματος τα οποία δεν αποτελούν συνοδά έργα, πλην όμως ο ρόλος τους θεωρείται σημαντικός στη λειτουργικότητα του έργου.

- *Ακρόβαθρα* (*Abutments*)

Οι πλευρές της κοιλάδας που είναι σε επαφή με το φράγμα (τμήμα της θεμελίωσης). Επίσης το τμήμα του φράγματος που είναι σε επαφή με τη θεμελίωση στις πλευρές της κοιλάδας. Δεξί η αριστερό ακρόβαθρο ανάλογα με τη δεξιά η αριστερή πλευρά της κοιλάδας, όπως την παρατηρούμε από ανάντη.

- *Φίλτρα αποστράγγισης* (*Drain of porous materials*)

Παροχετεύουν προς τα κατάντη τυχόν νερά που διηθούνται στο σώμα του χωμάτινου φράγματος, έτσι ώστε να μη δημιουργούνται προβλήματα διάβρωσης καθώς και φαινόμενα διασωλήνωσης κατά μήκος της διεπιφάνειας που ορίζεται από την επιφάνεια θεμελίωσης και το φράγμα.

- *Στέψη του φράγματος* (*Crest of the dam*)

Βρίσκεται υψηλότερα από την ανώτατη στάθμη της λίμνης και σε ύψος ασφαλείας, που εξαρτάται από το αναμενόμενο μέγιστο ύψος του κύματος στη λίμνη. Η στέψη συνδυάζεται συνήθως με δρόμο που συνδέει τα δύο άκρα του φράγματος.

- *Διαφράγματα, τάπητες*

Στην περίπτωση που το φράγμα, τσιμεντένιο ή χωμάτινο, εδράζεται σε βραχώδη σχηματισμό που από τη φύση του είναι συνήθως διερρηγμένος και υδροπερατός, κατασκευάζεται κατά μήκος του άξονα του φράγματος κουρτίνα από τσιμεντενέσεις (διαφραγματική κουρτίνα). Το βάθος αυτής είναι συνήθως μέχρι το υγιές και αδιαπέρατο πέτρωμα και όταν αυτό δεν συναντάται η κατασκευή δεν υπερβαίνει σε βάθος το μέγιστο ύψος του φράγματος. Επίσης, πολλές φορές στη ζώνη θεμελίωσης, επιφανειακά, δημιουργείται τάπητας τσιμεντενέσεων για λόγους ευστάθειας και στεγανότητας.

Αντίθετα όταν το φράγμα θεμελιώνεται σε υδροπερατούς εδαφικούς σχηματισμούς, όπως μπορεί να συμβαίνει με τα χωμάτινα φράγματα που στο σύνολο ή μεγάλο μέρος αυτών εδράζεται στις ποταμοχειμάρροιες αποθέσεις, κρίνεται απαραίτητο ανάλογα με την

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

περίπτωση (i) η κατασκευή διαφράγματος - διαφραγματικού τοίχου που αποτελεί συνέχεια του στεγανού αργιλικού πυρήνα του φράγματος. Το βάθος της κατασκευής αυτής εξαρτάται από αυτό του στεγανού υποβάθρου και στην περίπτωση μεγάλου πάχους των πρόσφατων αποθέσεων (το στεγανό υπόβαθρο σε μεγάλο βάθος) το βάθος προσδιορίζεται από τις υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή του έργου (ii) κατασκευή στεγανού τάπητα ανάντη του φράγματος που στην περίπτωση χωμάτινου φράγματος ο τάπητας καταλήγει στη βάση του πυρήνα.

(i) *Διαφράγματα* (*Cut off*)

Κατασκευές που τοποθετούνται για να διακόψουν τη ροή διήθησης κάτω από το φράγμα. Οι κατασκευές ποικίλουν ανάλογα με το πρόβλημα και μπορούν να είναι (1) όνυχας πυρήνα, (2) διάφραγμα από σκυρόδεμα ή ακόμα και διαφραγματικός τοίχος (από μίγμα νερού, τσιμέντου και μπετονίτη) ή (3) κουρτίνα τσιμεντενέσεων - διαφραγματική κουρτίνα.

(ii) *Τάπητας τσιμεντενέσεων* (*Grout blanket*)

Κάνναβος τσιμεντενέσεων ή επάλληλες κουρτίνες τσιμεντενέσεων κάτω από ένα φράγμα και παράλληλα στο μήκος του. Στην περίπτωση αυτή επιτυγχάνεται η βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών των σχηματισμών του υποβάθρου, στη ζώ-νη θεμελίωσης επιφανειακά (βάθος 7-10m) και παράλληλα η μείωση της υδροπερατότητας αυτών. Ο τάπητας αυτός εξυπηρετεί παράλληλα και την καλύτερη συ-νάφεια κατασκευής και θεμελίωσης.

(iii) *Αδιαπέρατος τάπητας ή μεμβράνη* (*Impervious blanket or membrane*)

Λεπτό στρώμα αδιαπέρατου υλικού, που τοποθετείται μέσα σε χωμάτινο φράγμα η στον πυθμένα της λεκάνης κατάκλυσης στη συνέχεια του πυρήνα, για να ελαττώσει ή εξαλείψει διηθήσεις δια μέσου ή κάτω από το φράγμα (αποτελείται από αργιλικά υλικά, σκυρόδεμα, ασφαλτοτάπητα ή ειδικές συνθετικές μεμβράνες).

2.4. ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Τα φράγματα αποτελούν μεγάλα τεχνικά έργα και όπως συμβαίνει σε όλα τα τεχνικά έργα πάντα υπάρχει πιθανότητα αστοχίας την οποία οι μηχανισμοί προσπαθούν να ελαχιστοποιήσουν. Από σχετική διερεύνηση προέκυψε ότι έχουν παρουσιάσει κάποια μορφής αστοχίας για διάφορους λόγους. Όπως αναλύθηκε και στην προηγούμενη ενότητα μελετώντας τις αστοχίες των φραγμάτων τα κυριότερα αίτια που τις προκάλεσαν ήταν: α) θραύση θεμελίωσης, β) υποπιέσεις, διαβρώσεις και υδραυλικές υποσκαφές, γ) μετακινήσεις ρηγμάτων λόγω σεισμού, δ) κατολισθήσεις αντερεισμάτων, ε) μεγάλες παραμορφώσεις τόσο στη θεμελίωση όσο και στο σώμα του φράγματος ([1], [5], [7], [8]).

Είναι απαραίτητο στο σημείο αυτό να δοθεί ο ορθός ορισμός του όρου της αστοχίας, σύμφωνα με τη Διεθνή Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων (ICOLD). Η αστοχία φραγμάτων είναι η «κατάρρευση ή μετακίνηση μέρους του φράγματος ή της θεμελίωσης του με αποτέλεσμα το φράγμα να αδυνατεί να συγκρατήσει το νερό, οδηγώντας έτσι στην

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων νερού με αποτέλεσμα να υπάρξει κίνδυνος για τις ανθρώπινες ζωές αλλά και για τις περιουσίες και γενικότερα για ότι βρίσκεται στα κατάντη του φράγματος». Επομένως, οποιαδήποτε άλλη αδυναμία συγκράτησης του νερού που δεν οφείλεται στην κατάρρευση ή τη μετακίνηση του φράγματος δεν μπορεί να θεωρηθεί αστοχία σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό. Βέβαια, σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό πρέπει να έχουμε απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων νερού για να έχουμε αστοχία, όμως αυτό δεν είναι αναγκαστικό για να αστοχήσει ένα φράγμα, αλλά είναι επακόλουθο αν δεν αντιμετωπιστεί και επιλυθεί άμεσα μία αστοχία ([1], [5], [7], [8]).

Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι υπάρχει πιθανότητα κάποιο φράγμα με βάση τον ορισμό να εμφανίσει κάποια τρωτότητα και να αστοχήσει. Ειδικότερα, η έννοια της αστοχίας περιλαμβάνει τυχόν παραμορφώσεις στο φράγμα ή καθιζήσεις του φράγματος ή θραύσεις ή ρωγμές και άλλες συνθήκες που οδηγούν ή θα οδηγήσουν στην απελευθέρωση ποσοτήτων νερού σύμφωνα με τον ανώτερο ορισμό. Σύμφωνα με τη μελέτη της Διεθνούς Επιτροπής Μεγάλων Φραγμάτων (ICOLD) με τίτλο «Στατιστική ανάλυση αστοχιών φραγμάτων», που εκδόθηκε το 1995 προκύπτουν τα παρακάτω στατιστικά ευρήματα ([1], [5], [7], [8]):

- Το ποσοστό των μεγάλων φραγμάτων που αστόχησαν ως προς το σύνολο τους μειώνεται συνεχώς. Πιο συγκεκριμένα, από το 2.2% σε φράγματα που κατασκευάστηκαν πριν το 1950, σε λιγότερο από 0,5% στα φράγματα που κατασκευάστηκαν μετά το 1950.

- Οι μελέτες σε φράγματα που αστόχησαν έδειξαν ότι τα φράγματα μικρού ύψους παρουσίασαν πιο συχνά αστοχίες, βέβαια τέτοιου είδους φράγματα αριθμητικά είναι πολύ περισσότερα απ’ ότι τα μεγαλύτερου ύψους φράγματα. Επομένως, οι αστοχίες δεν πρέπει να σχετίζονται μόνο με το ύψος των φραγμάτων.

- Οι περισσότερες αστοχίες εμφανίστηκαν σε φράγματα στην αρχική φάση λειτουργίας τους. Ενδεικτικά, το 70% των αστοχιών εμφανίστηκαν τα πρώτα δέκα χρόνια από την πρώτη πλήρωση και κυρίως τον πρώτο χρόνο.

- Στα γεωφράγματα η πιο συχνή αιτία αστοχίας είναι: α) διάβρωση λόγω υπερπήδησης (31% ως πρωτογενής και 18% ως δευτερογενής αιτία), β) διάβρωση λόγω διασωλήνωσης (15% ως πρωτογενής και 13% ως δευτερογενής αιτία) και γ) διάβρωση της θεμελίωσης (12% ως πρωτογενής και 5% ως δευτερογενής αιτία).

- Στα φράγματα βαρύτητας η κυριότερη αιτία αστοχίας οφείλεται σε προβλήματα θεμελίωσης λόγω: α) διάβρωσης (21%) και β) ανεπαρκούς διατμητικής αντοχής (21%).

- Σε συμπληρωματικά έργα οι αστοχίες οφείλονται κυρίως σε ανεπαρκή διαστασιολόγηση του συστήματος υπερχείλισης (22% ως πρωτογενής και 39% ως δευτερογενής αιτία) [Μουτάφης, 2008].

Οι αστοχίες που είναι δυνατόν να παρουσιαστούν σε μια κατασκευή ενός φράγματος, ανεξαρτήτως τύπου και κατηγορίας, είναι οι ακόλουθες, συνοπτικά ([1], [5], [7], [8]):

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

- Ολίσθηση.
- Υποπιέσεις.
- Σεισμοί.
- Μετακίνηση ή ερπυσμός σε ρείγμα.
- Εσωτερική διάβρωση.
- Εξασθένηση της θεμελίωσης από διαβροχή – αποσάθρωση.
- Αστάθεια πρανών στα αντερείσματα του φράγματος.
- Υπερβολική παραμόρφωση της θεμελίωσης.
- Υπερβολική παραμόρφωση του ίδιου του φράγματος.
- Διάβρωση – υποσκαφή από πλημμύρα.
- Φαινόμενα κατολισθήσεων εντός του ταμιευτήρα.

2.5. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Τα φράγματα είναι από τα μεγαλύτερα τεχνικά έργα που κατασκευάζονται από τον άνθρωπο, οπότε είναι προφανές ότι η κατασκευή φραγμάτων έχει σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η μελέτη, η αναγνώριση και η ταξινόμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την κατασκευή κάποιου φράγματος έχει μεγάλη σημασία για τον ορθό σχεδιασμό του. Μερικές από τις πιο σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατασκευή των φραγμάτων είναι οι ακόλουθες ([5], [7], [8]):

- Η κατασκευή του φράγματος είναι γνωστό ότι μεταβάλει την κανονική λειτουργία του ποταμού και κατά συνέπεια έχει σημαντικές μεταβολές στην τοπική υδρολογία και στα κατάντη ρέοντα νερά, όπως και στη μεταφορά των φερτών υλών. Η μεταβολή αυτή είναι δυνατόν να οδηγήσει σε διαβρώσεις στο έδαφος, προκαλώντας και σημαντικές αλλαγές στο οικοσύστημα που υπήρχε πριν την κατασκευή του φράγματος στην περιοχή. Επιπλέον, με τη δημιουργία ενός φράγματος γίνεται μία τεχνητή φραγή των ποταμών, η οποία αυξάνει τον χρόνο παραμονής και τη θερμοκρασία του νερού, αλλάζει τη θολερότητα και τη θερμική στρωματοποίηση. Ωστόσο, η μεταφορά του ιζήματος είναι περιορισμένη, επομένως δημιουργούνται προβλήματα στις κατάντη εκτάσεις τόσο στη χλωρίδα όσο και στη διάβρωση των εδαφών τους.

- Με την κατασκευή του φράγματος είναι πιθανή η κάλυψη αρχαιολογικών χώρων και χώρων ιστορικής σημασίας, ενώ μπορεί να καλυφθούν περιοχές φυσικού και οικιστικού κάλους.

- Με τη συγκράτηση του υδάτινου όγκου εντός του ταμιευτήρα και με τις μεταβολές στη ροή του ποταμού, καθώς και την παρεμπόδιση των φερτών υλών, δυσκολεύεται η αναπαραγωγή και γενικά η ανάπτυξη των ψαριών επηρεάζοντας αρνητικά έτσι και την πανίδα της κατάντη περιοχής.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

- Ο σχηματισμός του ταμιευτήρα μεταβάλει τη θερμοκρασία του νερού, την περιεκτικότητα σε αλάτι και οξυγόνο, εφόσον έχουμε στάσιμο νερό, με αποτέλεσμα την εμφάνιση προβλημάτων στην πανίδα της περιοχής.

- Η διέλευση των ζώων είναι δύσκολη με την ύπαρξη του φράγματος, ενώ παρουσιάζονται προβλήματα στην «προς τα πάνω κίνηση» των ποτάμιων ψαριών (όπως τα χέλια ή οι σολομοί) κατά την περίοδο αναπαραγωγής τους, συμβάλλοντας επομένως στη μείωση των ποτάμιων ψαριών. Επιπλέον, τα ψάρια μπορεί να πληγωθούν περνώντας από τους υδροφράκτες, τους στροβίλους και τις αντλίες των φραγμάτων. Επίσης, στα ζώα που ζουν σε εκείνη την περιοχή, με την αποξήρανση των βάλτων και άλλων ζωνών συσσωρεύσεως του ύδατος, καθώς και με τις εργασίες εκσκαφής, και τις μεταβολές στην κατανομή του νερού, δημιουργούν προβλήματα για την κάλυψη των αναγκών τους.

- Η αποβολή τοξικών ουσιών, όπως τα φυτοφάρμακα, τοξικά μέταλλα, κλπ, μολύνουν κάθε ποτάμιο οικοσύστημα, ειδικά όταν υπάρχει κάποιο φράγμα. Τότε επηρεάζονται κάποια ευαίσθητα ζώα, ενώ ακόμη και όλοι οι οργανισμοί που διαβιούν στο οικοσύστημα μπορεί να τεθούν σε κίνδυνο, όταν το ποτάμιο ρεύμα δεν είναι ικανό να αυτοανακάμψει από τη ρύπανση λόγω της ύπαρξης ενός φράγματος.

- Το υδατικό ισοζύγιο της περιοχής του φράγματος διαφοροποιείται, ενώ απροσδόκητες και μεγάλες πλημμύρες μπορούν να εμφανιστούν και κατά συνέπεια η βλάστηση και οι φυσικές δομές στις όχθες των ποταμών να υποστούν καταστροφές. Οι πλημμύρες εμφανίζονται λόγω της μεγαλύτερης επιφάνειας αποθηκευμένου νερού στον ταμιευτήρα και το φαινόμενο της εξάτμισης. Επίσης, μπορεί να εμφανιστούν και αλλαγές στο τοπικό κλίμα, όπως αλλαγές στο ποσοστό υγρασίας του αέρα, στη θερμοκρασία του και στις μετακινήσεις του. Ένα άλλο πρόβλημα είναι η ύπαρξη μεγάλης ποσότητας στάσιμου νερού στον ταμιευτήρα προκαλώντας έτσι αλλαγές στην τοπογραφία της περιοχής.

- Η ύπαρξη στάσιμου νερού στον ταμιευτήρα μπορεί να προκαλέσει αυξημένη επικινδυνότητα για διάφορες ασθένειες όπως τύφος, τυφοειδής πυρετός, ελονοσία και χολέρα.

Με βάση τις παραπάνω περιβαλλοντικές επιπτώσεις γίνεται αντιληπτό ότι ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός φράγματος επιδρά με διάφορους τρόπους στο περιβάλλον της περιοχής. Ένα φράγμα μπορεί να προκαλέσει αλλαγές σε ολόκληρο το ευρύτερο οικοσύστημα. Ακόμη και η ποιότητα του νερού μεταβάλλεται εφόσον από τρεχούμενο μετατρέπεται σε στάσιμο με αρκετές δυσάρεστες συνέπειες. Επίσης, η κατασκευή του φράγματος τροποποιεί το ανάγλυφο, στις ατμοσφαιρικές κλπ συνθήκες της περιοχής, μεταβάλλοντας το μικροκλίμα της. Οι επιπτώσεις αυτές μπορεί να γίνουν αντιληπτές και στους ανθρώπινους πληθυσμούς με την εμφάνιση/έξαρση διάφορων ασθενειών ([5], [7], [8]).

Συμπερασματικά, με την κατασκευή ενός φράγματος οι περιβαλλοντικές μεταβολές είναι ποικίλες, και η καθεμία έχει την δική της σπουδαιότητα και σημασία. Η εκτίμηση, ο καθορισμός και ο υπολογισμός των επιπτώσεων είναι δύσκολο να γίνει εκ των προτέρων, με ιδιαίτερη δυσκολία διαχωρισμού των αρνητικών και θετικών συνεπειών. Επίσης, είναι αρκετά

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

δύσκολο να γίνει ποσοτικοποίηση των μεταβολών που θα επιφέρει η κατασκευή του φράγματος ακόμα και σε οικονομικούς όρους, ώστε να είναι συγκρίσιμα τα μεγέθη για να είναι πιο εύκολη η τελική επιλογή για την κατασκευή του φράγματος και να είναι δυνατή η πραγματοποίηση της ανάλυσης κόστους-οφέλους ([5], [7], [8]).

Οι περιβαλλοντικές μεταβολές εξαρτώνται από το είδος, τη θέση και το μέγεθος του φράγματος, τη βιοποικιλότητα και ευαισθησία του οικοσυστήματος ανάντη και κατάντη του φράγματος. Η εκτίμηση τους πρέπει να γίνεται ανά περίπτωση για κάθε φράγμα. Για τον καλύτερο και σωστότερο σχεδιασμό, καθώς και την υλοποίηση της κατασκευής του φράγματος έχει σημασία η επιστημονική κατάρτιση και γνώση των μελετητών και η διεθνής εμπειρία στην αξιολόγηση και προσέγγιση των θετικών και αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, καθώς και των πιθανών λύσεων με στόχο την ορθότερη περιβαλλοντική διαχείριση των υδατικών πόρων στην εξεταζόμενη περιοχή ([5], [7], [8]).

Η λήψη των αποφάσεων για τον σχεδιασμό και κατασκευή των φραγμάτων πρέπει να γίνεται μετά από σύγκριση, αξιολόγηση και συνεκτίμηση όλων των πιθανών επιπτώσεων αλλά και των οφελών. Γενικά, ο σχεδιασμός και το μέγεθος του φράγματος πρέπει να γίνεται με στόχο τη μέγιστη δυνατή αξιοποίηση των θετικών επιπτώσεων και μείωση όσο είναι δυνατόν των αρνητικών. Επιπλέον, οι μεταβολές στο οικοσύστημα, είτε αρνητικές είτε θετικές, πρέπει να αποτελούν βασικό στοιχείο καθορισμού της μορφής και της θέσης κάθε φράγματος, καθώς και τη λήψη της απόφασης για την κατασκευή του ή όχι. Η απόφαση αυτή δεν πρέπει να λαμβάνεται μεγεθύνοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ή τα οφέλη από την κατασκευή του φράγματος. Ενώ είναι επίσης λάθος να θεωρηθούν από την αρχή αρνητικές στο σύνολό τους οι επιπτώσεις από την κατασκευή του εξεταζόμενου φράγματος. Η υλοποίηση ενός τέτοιου έργου, καθώς και οι όποιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, απαιτούν διεπιστημονικές προσεγγίσεις και συνεργασίες και τη ρεαλιστική εξέταση και αποτίμηση όλων των ζητημάτων που μπορούν να προκύψουν τόσο άμεσα, όσο και μακροπρόθεσμα ([5], [7], [8]).

2.6. Σεισμος & Φραγματα

2.6.1. Γενικα Περι Σεισμων & Φραγματων

Ο ορθός σχεδιασμός και η υλοποίηση μεγάλων γεωκατασκευών, όπως είναι τα φράγματα, έχει μεγάλη σημασία καθώς οποιαδήποτε παράληψη ή αστοχία μπορεί να οδηγήσει σε δυσάρεστες επιπτώσεις, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Σε σεισμογενείς χώρες, όπως είναι η Ελλάδα, ο σχεδιασμός των γεωκατασκευών χρειάζεται επιπρόσθετη προσοχή καθώς πρέπει να συμπεριληφθούν στον σχεδιασμό για οποιοδήποτε έργο και οι πιθανές σεισμικές καταπονήσεις που μπορεί να ασκηθούν στη γεωκατασκευή. Είναι προφανές ότι στις σεισμογενείς χώρες για την κατασκευή κάποιου έργου είναι απαραίτητη η ορθή εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας τους με βάση τις σχετικές οδηγίες και κανονισμού ([2], [5], [7], [8], [30]).

Η δυναμική απόκριση των φραγμάτων, όπως και ενός οποιουδήποτε συστήματος αντιστήριξης, αποτελεί ένα πολύπλοκο φαινόμενο λόγω της δυναμικής αλληλεπίδρασης

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

ανάμεσα στο σύστημα και στο αντιστηριζόμενο υλικό. Στην περίπτωση των φραγμάτων είναι ακόμα πιο δύσκολο το πρόβλημα, καθώς το αντιστηριζόμενο υλικό είναι το νερό, όπου στην περίπτωση σεισμικής διέγερσης αναπτύσσονται σημαντικές υδροδυναμικές ωθήσεις πάνω στο σώμα του φράγματος από το νερό. Ο υπολογισμός των υδροδυναμικών ωθήσεων που ενεργούν στα φράγματα δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας, αφού η έμφαση δίνεται στην ανάλυση της σεισμικής ευστάθειας των αναχωμάτων και πρανών όπως εφαρμόζεται στα φράγματα. Η δυναμική ανάλυση της ευστάθειας των πρανών που θα αναπτυχθεί στο κεφάλαιο αυτό αφορά στη χρήση των βασικών μεθόδων: της ψευδοστατικής ανάλυσης, της μεθόδου των μόνιμων μετακινήσεων (προσέγγιση *Newmark*), της μεθόδου των τάσεων-παραμορφώσεων μέσω δυναμικής ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων ([2], [5], [7], [8], [30]).

Με την εμφάνιση στην περιοχή κατασκευής του φράγματος κάποιας σεισμικής δράσης, εκτός από την αδρανειακή καταπόνηση λόγω της διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, είναι πολύ πιθανή η καταπόνηση της γεωκατασκευής λόγω εδαφικών μετακινήσεων ή παραμορφώσεων. Αυτές οι κινηματικές σεισμικές καταπονήσεις, όπως είναι για παράδειγμα η ενεργοποίηση και μετακίνηση ενός γειτονικού ρήγματος, η ρευστοποίηση, οι καθιζήσεις καθώς και οι κατολισθήσεις. Γενικά, έχει παρατηρηθεί ότι κατασκευές όπως τα φράγματα, εμφανίζουν αυξημένη τρωτότητα λόγω των μεγάλων επιβαλλόμενων μετακινήσεων. Κατά συνέπεια, οι κινηματικές σεισμικές καταπονήσεις που είναι πιθανόν να υπάρξουν από έναν σεισμό απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή και μελέτη προκειμένου να μην επέλθει αστοχία ([2], [5], [7], [8]).

2.6.2. ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

2.6.2.1. ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (Ε.Α.Κ. 2000)

Ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (Ε.Α.Κ. 2000) δεν κάνει λόγο για τον σχεδιασμό φραγμάτων σαν ξεχωριστή ενότητα, αφού η έμφαση δίνεται στις κτιριακές κατασκευές. Όμως αναφέρεται σε πρανή και σε αναχώματα και σύμφωνα με τα οποία σχεδιάζονται και τα φράγματα. Ως πρανές ορίζεται μία κεκλιμένη επιφάνεια γαιών, φυσική ή τεχνητή. Ως ανάχωμα ορίζεται η συσσώρευση χώματος και η δημιουργία από αυτό ενός μικρού φράγματος με σκοπό τον έλεγχο ή περιορισμό του νερού ([5]).

Ο ελληνικός αντισεισμικός κανονισμός περιέχει δύο ενότητες για τον αντισεισμικό σχεδιασμό τόσο για τα πρανή όσο και για τα αναχώματα, ο οποίος βασίζεται στην ψευδοστατική θεώρηση. Αναλυτικότερα, η ευστάθεια φυσικών ή τεχνητών πρανών κατά τον σεισμικό κραδασμό ελέγχεται με τη θεώρηση των παρακάτω πρόσθετων ενεργών επιταχύνσεων που δρουν στην εδαφική μάζα οριζόντια (a_H) και κατακόρυφα (a_V) ([5]):

- Οριζόντια επιτάχυνση $a_H = a_\Pi$
- Κατακόρυφη επιτάχυνση $a_V = \pm 0.5a_\Pi$

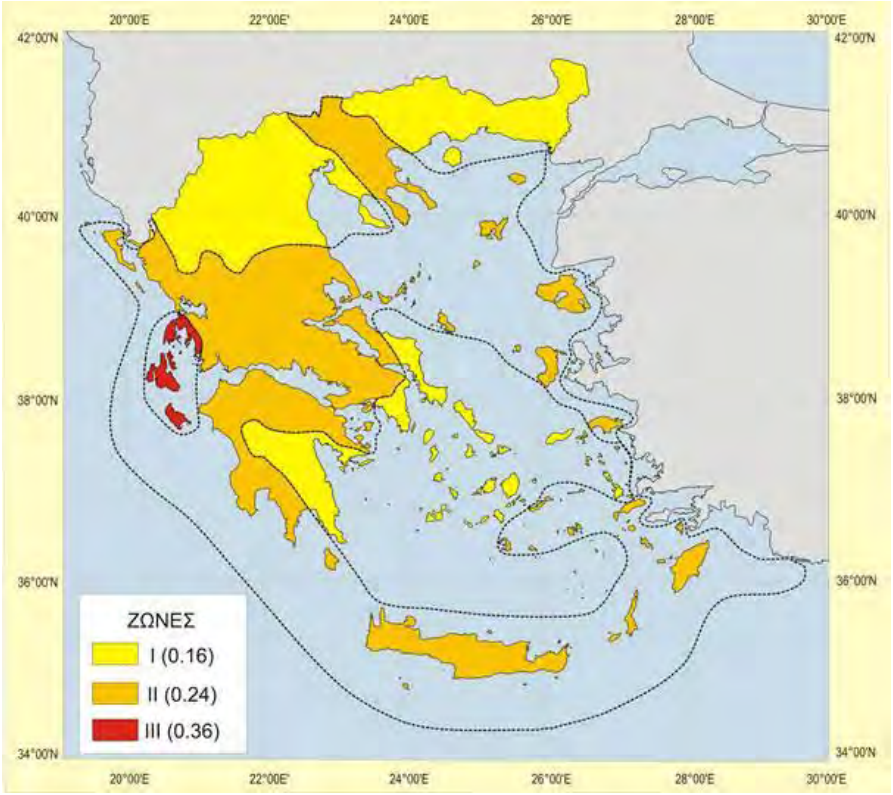
όπου,

a_Π: η επιτάχυνση του πρανού, που λαμβάνεται ίση με 0.5a για φυσικά πρανή,

a: η ανηγμένη σεισμική επιτάχυνση του εδάφους, και η τιμής της εξαρτάται από τη Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Στη συνέχεια, παρατίθεται ο χάρτης της Ζώνης Σεισμικής Επικινδυνότητας [Ε.Α.Κ. 2000] της Ελλάδος, και οι μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις με πιθανότητα υπέρβασης 10% ανά 50 έτη ([5]).



ΑΡΙΘΜΟΣ ΖΩΝΗΣ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΔΑΦΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ
I	0.16g
II	0.24g
III	0.36g

Εικόνα 2.6. *Χάρτης Ζώνης Σεισμικής Επικινδυνότητας Ελλάδος, [Ε.Α.Κ. 2000].*

όπου,

$g = 9.81\ m/sec^2$ η επιτάχυνση της βαρύτητας.

Όσον αφορά στα φράγματα και επιχώματα ο ελληνικός αντισεισμικός κανονισμός αναφέρεται σε επιχώματα με ύψος μέχρι 15m, η ευστάθεια των οποίων ελέγχεται με τη θεώρηση πρόσθετων οριζόντιων ενεργών επιταχύνσεων της μάζα τους, που μεταβάλλονται από ([5]):

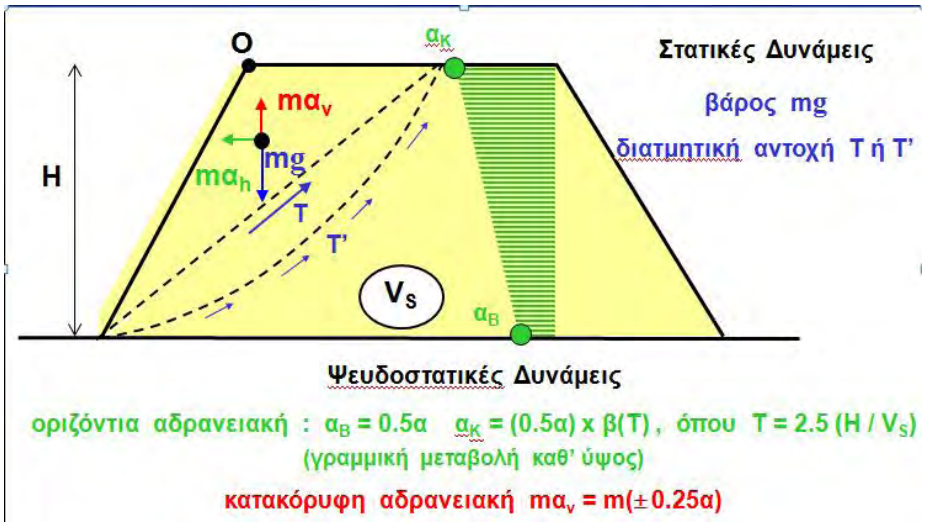
$a_B = 0.50a$ στη βάση, έως και $a_K = a_B * \beta(T)$ στην κορυφή του επιχώματος

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

όπου,

a: η επιτάχυνση που λαμβάνεται από την *εικόνα 2.6.*, β(T): η φασματική μεγέθυνση που αντιστοιχεί στη θεμελιώδη ιδιοπερίοδο του έργου.

Στην αμέσως επόμενη εικόνα παρουσιάζονται συνοπτικά οι οδηγίες που προβλέπει ο ελληνικός αντισεισμικός κανονισμός για τα αναχώματα, όπου φαίνονται οι δυνάμεις (στατικές και ψευδοστατικές) σε ένα τυπικό παράδειγμα τραπεζοειδούς επιχώματος με ύψος μικρότερο των 15 m. Ο ελληνικός αντισεισμικός κανονισμός δεν καλύπτει επιχώματα με ύψος μεγαλύτερο των 15 m άρα δεν καλύπτει τα μεγάλα έργα φραγμάτων. Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να γίνονται ειδικές σεισμικές και γεωτεχνικές μελέτες ([5]).



Εικόνα 2.7. *Σεισμικές δράσεις που αφορούν ανάχωμα ύψους H < 15m, [E.A.K. 2000].*

2.6.2.2. ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (EUROCODE EC8)

Ο ευρωπαϊκός αντισεισμικός κανονισμός (EC8, 2004) δεν καλύπτει με κάθε λεπτομέρεια τις συνθήκες για τον σχεδιασμό των γεωκατασκευών και ειδικότερα των φραγμάτων. Σε σεισμογενείς χώρες ο ευρωπαϊκός κανονισμός τονίζει ότι πρέπει να εφαρμόζονται και τα εθνικά παραρτήματα σε κάθε χώρα, για να λαμβάνονται υπόψη και άλλες τοπικές παράμετροι οι οποίοι δεν μπορούν να συμπεριληφθούν στον γενικό ευρωπαϊκό κανονισμό. Αποτελεί ουσιαστικά έναν συμπληρωματικό κανονισμό των εθνικών ή άλλων κανονισμών σε σεισμογενείς χώρες, όπως η Ελλάδα. Γενικά, σε περίπτωση σεισμού σύμφωνα με τον ευρωπαϊκό αντισεισμικό κανονισμό πρέπει να προστατεύεται η ανθρώπινη ζωή, να περιορίζονται σε μεγάλο βαθμό οι ζημιές και οι αστοχίες και να εξασφαλίζεται η λειτουργικότητα των σημαντικών υποδομών. Ο κανονισμός δεν καλύπτει σημαντικά τον σχεδιασμό ειδικών κατασκευών όπως είναι τα πυρηνικά εργοστάσια, οι θαλάσσιες κατασκευές και τα μεγάλα φράγματα. Ο ευρωπαϊκός κανονισμός, όπως και ο ελληνικός, κάνει αναφορά στην ευστάθεια πρανών και αναφέρει ότι για πρανή (κλίσεις εδαφών), ο

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

σεισμός σχεδιασμού θα υπολογίζεται μέσω απλοποιημένων μεθόδων δυναμικής ανάλυσης, όπως μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων ή μέσω μιας ψευδοστατικής μεθόδου ([5]).

Για τη μέγιστη επιτάχυνση σχεδιασμού λαμβάνεται υπόψη και ένας τοπογραφικός παράγοντας ενίσχυσης, σύμφωνα με τον οποίο γίνεται αύξηση της σεισμικής δράσης σχεδιασμού (έως και 40%), για τον έλεγχο της ευστάθειας του πρανούς. Η ψευδοστατική ανάλυση δεν προβλέπεται σε εδάφη που μπορούν να αναπτύσσουν υψηλές πιέσεις στους πόρους, λόγω της ύπαρξης νερού. Η αύξηση της πίεσης των πόρων θα υπολογίζεται με κατάλληλους ελέγχους, ενώ χωρίς αυτούς τους ελέγχους η εκτίμησή της θα γίνεται από εμπειρικούς τύπους. Η παραπάνω ανάλυση αναφέρει κάποιες παραμέτρους σύμφωνα με τις οποίες επιτυγχάνεται καλύτερα η εκτίμηση της σεισμικής ευστάθειας. Αρχικά, μία από 23 αυτές είναι η επίδραση του εδάφους στη σεισμική δόνηση. Η επίδραση ή ενίσχυση του εδάφους εκφράζεται ως ο λόγος μεταφοράς της σεισμικής κίνησης, από το σεισμικό υπόβαθρο (π.χ. βράχος) στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους, δηλαδή ([5]):

$$\frac{\textit{κίνηση στο σεισμικό υπόβαθρο}}{\textit{κίνηση στην ελεύθερη επιφάνεια}}$$

Η επίδραση του εδάφους δεν είναι απαραίτητα μόνο ενίσχυση μπορεί να είναι και απομείωση, εξαρτάται κυρίως από το είδος του εδάφους και το επίπεδο της σεισμικής διέγερσης. Τα μεγέθη τα οποία επηρεάζονται είναι τόσο η μέγιστη επιτάχυνση a_{max}, το συχνοτικό περιεχόμενο της διέγερσης, καθώς και το ελαστικό φάσμα απόκρισης S_a, κ.α. ([5])

Σύμφωνα με τον ευρωπαϊκό αντισεισμικό κανονισμό είναι απαραίτητο να γίνει η κατάλληλη ανάλυση των εδαφικών συνθηκών και των σεισμικών δράσεων. Πιο αναλυτικά, όσο αφορά στις εδαφικές συνθήκες θα πρέπει: (i) να γίνονται οι απαραίτητες γεωτεχνικές έρευνες για την κατηγοριοποίηση του εδάφους, ανάλογα και με την σημαντικότητα της κατασκευής, (ii) το έδαφος στο οποίο θα είναι κατασκευασμένο το έργο να μην κινδυνεύει από εδαφική διάρρηξη, αστάθεια πρανούς ή μόνιμες καθιζήσεις που οφείλονται στη ρευστοποίηση λόγω της σεισμικής δράσης. Στη συνέχεια, όσο αφορά στις σεισμικές δράσεις θα πρέπει: (i) ανάλογα με τη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας, να ορίζεται η σεισμική επιτάχυνση του σεισμικού υποβάθρου (βράχος) για τον σεισμό σχεδιασμού, (ii) με βάση την κατηγορία του εδάφους, τη σπουδαιότητα της κατασκευής, τον συντελεστή απόσβεσης της κατασκευής να ορίζονται το οριζόντιο ελαστικό φάσμα απόκρισης σχεδιασμού $S_e(T)$ και το κατακόρυφο ελαστικό φάσμα απόκρισης $S_{ve}(T)$ ([5]).

Ειδικά τα προβληματικά εδάφη χωρίζονται σε δύο κατηγορίες στην κατηγορία εδάφους S_1 ανήκουν οι αποθέσεις που αποτελούνται ή εμπεριέχουν μία στρώση τουλάχιστον 10m μαλακής αργίλου ή ιλύος με υψηλό δείκτη πλαστιμότητας (PI>40%) και υψηλό ποσοστό υγρασίας. Ενώ στην κατηγορία εδάφους S_2 ανήκουν οι αποθέσεις ρευστοποιημένων εδαφών ή ευαίσθητων αργίλων. Είναι απαραίτητη η περαιτέρω μελέτη για τον ορισμό των σεισμικών δράσεων στις περιπτώσεις αυτές, καθώς επίσης, για την κατηγορία S_2, θα πρέπει να εξετασθεί η πιθανότητα αστοχίας του εδάφους υπό τη σεισμική φόρτιση ([5]).

Αναφέρθηκε παραπάνω, ένας συντελεστής σπουδαιότητας της κατασκευής, ο οποίος χωρίζει τις κατασκευές σε τέσσερις κατηγορίες σπουδαιότητας. Πιο συγκεκριμένα, οι κατηγορίες είναι οι εξής ([5]):

Ι: Κατασκευές μικρής σπουδαιότητας, όπως οι κατασκευές αγροτικής χρήσης.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

II: Συνήθεις κατασκευές.

III: Κατασκευές υψηλής σπουδαιότητας, παράδειγμα τέτοιων κατασκευών είναι τα σχολεία και χώροι συνάθροισης.

IV: Κατασκευές πολύ υψηλής σπουδαιότητας, με τα νοσοκομεία, τους πυροσβεστικούς σταθμούς και τις μονάδες παραγωγής ενέργειας να αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της κατηγορίας.

Ο ευρωπαϊκός αντισεισμικός κανονισμός δεν καλύπτει λεπτομερειακά τον σχεδιασμό γεωκατασκευών, όπως τα φράγματα. Για τα φράγματα και την πολυπλοκότητας της κατασκευής τους δεν γίνεται καμία ιδιαίτερη αναφορά στις διατάξεις του ευρωπαϊκού κανονισμού. Επομένως, η μελέτη για τον ορθό σχεδιασμό τους χρειάζεται επιπλέον αναλύσεις για την κάλυψη όλων των περιπτώσεων, που επηρεάζουν τα φράγματα υπό την επίδραση κάποιας σεισμικής δράσης. Η διεθνής επιτροπή μεγάλων φραγμάτων (ICOLD) και οι ομοσπονδιακές οδηγίες στις ΗΠΑ για την ασφάλεια των φραγμάτων (FEMA-65) έναντι του σεισμού, χρησιμοποιούνται ευρέως για τη δυναμική ανάλυση φραγμάτων ([5]).

2.6.2.3. ΟΜΟΣΠΟΝΔΙΑΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ Η.Π.Α. ΠΕΡΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Η μεγάλη σημασία και χρησιμότητα των φραγμάτων αύξησε την ανάγκη δημιουργίας οδηγιών και κατευθυντήριων γραμμών με τις οποίες θα παρέχεται πιο πλήρη και έγκυρη αξιολόγηση των πρακτικών σχεδιασμού, διαχείρισης και ασφάλειας των φραγμάτων. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η καταλληλότητα και η αντοχή των φραγμάτων σε σεισμικές καταπονήσεις. Οι ομοσπονδιακές οδηγίες των Η.Π.Α. (FEMA) παρέχουν ένα βασικό πλαίσιο για τον σεισμό σχεδιασμού και την αποτίμηση των φραγμάτων. Μέσω του πλαισίου αυτού αναπτύσσονται κριτήρια για το σχεδιασμό, την κατασκευή, τη λειτουργία, τη συντήρηση και την αποτίμηση των φραγμάτων κάτω από την επίδραση ενός σεισμού ([5]).

Γενικά, η σεισμική μελέτη ενός έργου σε μία περιοχή εξαρτάται από τη σεισμικότητά της, από το είδος του υπεδάφους της, καθώς και τις συνέπειες που θα προκληθούν σε περίπτωση αστοχίας του φράγματος. Ο σχεδιασμός και η αξιολόγηση των φραγμάτων υπό την επίδραση της σεισμικής καταπόνησης θα πρέπει να βασίζεται σε συγκρίσιμο επίπεδο εξέτασης και ανάλυσης για κάθε φάση της σεισμικής μελέτης (σεισμοτεκτονική, γεωλογική, γεωτεκτονική και επιπλέον έρευνες). Φράγματα σε ζώνες χαμηλής σεισμικότητας δεν απαιτούν εκτεταμένες σεισμικές έρευνες και αναλύσεις, εκτός αν μία πιθανή αστοχία μπορεί να οδηγήσει σε απειλή της ανθρώπινης ζωής ή και του περιβάλλοντος. Προηγούμενες μελέτες σε υπάρχοντα φράγματα σκυροδέματος σε περιοχές χαμηλής έως μέτριας σεισμικότητας, έχουν δείξει ότι όταν ήταν κατάλληλα σχεδιασμένα να αντέχουν τις επαρκώς στατικές δυνάμεις, ήταν ικανά να ανταπεξέλθουν σε σεισμούς που μπορούσαν να εμφανιστούν κατά τη λειτουργία τους. Το ίδιο ισχύει και σε καλά κατασκευασμένα φράγματα, τα οποία είναι κατασκευασμένα σε υγιή και σταθερά θεμέλια. Εκτεταμένες έρευνες και αναλύσεις απαιτούν τα φράγματα, τα οποία πρόκειται να σχεδιαστούν σε ζώνες με υψηλή σεισμικότητα, όπου ο κίνδυνος αστοχίας τους είναι μεγάλος ([5]).

Ο σεισμός (ή οι σεισμοί) που χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό ή την αποτίμηση ενός φράγματος θα καθοριστεί από ένα εύρος περιπτώσεων όπως: ο μέγιστος πιθανός σεισμός

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

(*Maximum Credible Earthquake* MCE), ο μέγιστος σεισμός σχεδιασμού (*Maximum Design Earthquake* MDE), ο σεισμός αξιολόγησης ασφάλειας (*Safety* Evaluation Earthquake SEE), ο λειτουργικός σεισμός βάσης (*Operating Basis Earthquake* OBE) που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τους παραπάνω σεισμούς. Ο MCE είναι ο μεγαλύτερος σεισμός που θα μπορούσε να συμβεί. Ο MDE ή SEE είναι ο μέγιστος σεισμός που παράγεται από τη σεισμική κίνηση σύμφωνα με τον οποίο έχει σχεδιαστεί και αξιολογηθεί η κατασκευή. Ο MDE ή SEE μπορούν να τεθούν ίσοι με τον MCE ή λίγο μικρότεροι ανάλογα με τις συνθήκες κάθε έργου. Παράγοντες που προσδιορίζουν τις τιμές τους είναι ο κίνδυνος αστοχίας του φράγματος, η κρισιμότητα λειτουργίας του (ύδρευση - άδρευση, χώρος αναψυχής, έλεγχος πλημμυρών, κλπ), καθώς και ο χρόνος για την αποκατάσταση σε περίπτωση αστοχίας. Τέλος, ο OBE είναι ο σεισμός που αναμένεται να συμβεί κατά τη διάρκεια ζωής του έργου. Η τιμή του σεισμού αυτού εξαρτάται από την απαίτηση είναι ανεκτή λίγη ή καθόλου βλάβη σε αυτό χωρίς να διακόπτεται η λειτουργία του ([5]).

Η τελική επιλογή του σεισμού σχεδιασμού (MDE) κρίνει κατά πόσο ή όχι το φράγμα είναι σε θέση να αντιστέκεται σύμφωνα με τον συγκεκριμένο MCE, χωρίς να προκύψει καταστροφική αστοχία, όπως είναι η απελευθέρωση του νερού του ταμιευτήρα. Για φράγματα υψηλής σπουδαιότητας και επικινδυνότητας ο MDE ταυτίζεται με τον MCE, ωστόσο σε φράγματα χαμηλότερης επικινδυνότητας ο MDE μπορεί να έχει μικρότερη τιμή. Επίσης, αρκετά σημαντική τιμή είναι αυτή του OBE, καθώς ο σεισμός αυτός αντιπροσωπεύει το ανώτατο επίπεδο σεισμού που θα προκύψει κατά τη συνήθη διάρκεια ζωής του φράγματος, και εκτιμάται από τη σεισμικότητα της περιοχής κατασκευής. Στη συνέχεια, θα αναφερθεί η επίδραση του σεισμού στις διάφορες κατηγορίες φραγμάτων ([5]).

- **ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

Η πιο βασική μορφή αστοχίας στα φράγματα σκυροδέματος είναι ο υπερβολικός αριθμός ρωγμών που μπορεί να εμφανιστούν στην περίπτωση σεισμικής καταπόνησης, οδηγώντας έτσι το φράγμα σε πιθανή βλάβη ή ακόμα και στην αστοχία του. Για ένα φράγμα από σκυρόδεμα, το οποίο βρίσκεται σε βραχώδες υπόστρωμα και δεν έχει σημαντικές κατασκευαστικές ελλείψεις, η διατήρηση της δομικής ακεραιότητας του κατά τη διάρκεια ενός σεισμού είναι πολύ πιθανή στην περίπτωση που τηρούνται οι ακόλουθοι όροι ([5]):

- Το φράγμα είναι καλά κατασκευασμένο και είναι σε καλή κατάσταση.
- Οι μέγιστες επιταχύνσεις στο βραχώδες υπόστρωμα να είναι 0,2g ή μικρότερες.
- Ο συντελεστής ασφάλειας έναντι ολισθήσεως για στατικές συνθήκες να έχει αποδεκτή τιμή.

Αν οι προϋποθέσεις αυτές δεν τηρούνται χρειάζονται επιπλέον αναλύσεις και μελέτες για την επίτευξη της ασφαλούς λειτουργίας του έργου.

Έχουν αναπτυχθεί αρκετές μεθοδολογίες για τη σεισμική μελέτη των φραγμάτων σκυροδέματος. Συνήθως, λόγω της πολυπλοκότητας της γεωμετρίας τους η ανάλυση τους γίνεται με τη μέθοδο χρονοϊστοριών, δηλαδή με την επιβολή φυσικών ή τεχνητών επιταχυνσιογραφημάτων. Η συγκεκριμένη μέθοδος δυναμικής ανάλυσης διακρίνεται στη γραμμική-ελαστική ανάλυση και στη μη γραμμική ανάλυση. Όσο αφορά στη γραμμική ανάλυση, η απόκριση του φράγματος υπολογίζεται για ολόκληρη τη διάρκεια της

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

χρονοϊστορίας της επιτάχυνσης, ξεκινώντας από την αρχική στατική κατάσταση και υπολογίζοντας τη γραμμική ελαστική απόκριση σε μικρά χρονικά διαστήματα, δίνοντας έτσι τη συνολική απόκριση του φράγματος λόγω της επιβολής της χρονοϊστορίας. Η μη-γραμμική ανάλυση (η οποία είναι και πιο ρεαλιστική), για να είναι πλήρης θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη όλες τις πηγές της μη-γραμμικότητας που συμβάλλουν στη μη γραμμική απόκριση. Οι ζημιές, που προκαλούνται από μία σεισμική ή άλλη δράση, είναι συνήθως συνδεδεμένες με σημαντική μείωση των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών, μεταβολή γεωμετρίας, κλπ, με αποτέλεσμα τη ρηγμάτωση του σκυροδέματος, την ολίσθηση, κ.α. ([5]).

- **ΧΩΜΑΤΙΝΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ (ΓΕΩΦΡΑΓΜΑΤΑ)**

Τα γεωφράγματα από εδαφικό υλικό αστοχούν κυρίως εξαιτίας της διάβρωσης λόγω υπερχείλισης. Αυτό μπορεί να συμβεί: (i) λόγω κάποιου σφάλματος κατά την κατασκευή με αποτέλεσμα την ανύψωση του ταμιευτήρα πάνω από την κορυφή του φράγματος, (ii) λόγω της κατολίσθησης που μπορεί να συμβεί εξαιτίας κάποιου σεισμού η οποία εκτοπίζει σημαντικό όγκο του νερού, και τέλος (ii) λόγω πιθανών κυματισμών που θα δημιουργηθούν στον ταμιευτήρα από έναν σεισμό. Επιπροσθέτως, σε ένα φράγμα μία σεισμική δόνηση μπορεί να προκαλέσει βλάβες, παραμορφώσεις και ρωγμές στο εσωτερικό του φράγματος, δημιουργώντας προβλήματα στα φίλτρα του ή στις σωληνώσεις και επομένως το φράγμα να εμφανίσει βλάβες και να οδηγηθεί σε αστοχία. Όπως και στα φράγματα σκυροδέματος, έτσι και τα φράγματα βαρύτητας από εδαφικό υλικό δεν θα παρουσιάσουν παραμορφώσεις που θα οδηγήσουν στην αστοχία τους αν ισχύουν οι παρακάτω προϋποθέσεις ([5]):

- Το φράγμα καθώς και τα θεμέλια του δεν θα υποστούν ρευστοποίηση αν δεν κατασκευαστεί σε χαλαρά εδάφη ή αργίλους.
- Το φράγμα να είναι καλά κατασκευασμένο.
- Η μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση στη βάση του φράγματος να μην είναι μεγαλύτερη από 0.2g.
- Οι στατικοί συντελεστές ασφαλείας σε όλες τις πιθανές επιφάνειες αστοχίας να έχουν τιμή μεγαλύτερη από 1.5.
- Οι κυματισμοί κατά τη διάρκεια του σεισμού να είναι τουλάχιστον το 3% - 5% του ύψους του φράγματος και όχι μικρότερο των 0.9 μέτρα.
- Δεν θα πρέπει να υπάρχουν κρίσιμα στοιχεία που θα εμφανίσουν βλάβες από μικρές κινήσεις του φράγματος ή να προκαλέσουν ρωγμές οδηγώντας σε εσωτερική διάβρωση.

Σε περίπτωση που οι προϋποθέσεις αυτές δεν πληρούνται επαρκώς, απαιτείται μία πιο λεπτομερής μελέτη και ανάλυση για την επίτευξη της ασφάλειας και της ευστάθειας των φραγμάτων. Για τον σκοπό αυτό, έχουν αναπτυχθεί αρκετές μεθοδολογίες, όπως η ανάλυση κατά *Newmark* ή ανάλυση με ψευδοστατικές μεθόδους, οι δυναμικές αναλύσεις, κλπ.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ, ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ & ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ

3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΘΕΜΑΤΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το θέμα της παρούσης διπλωματικής εργασία είναι η "*Παραμετρική Διερεύνηση & Αξιολόγηση Καταλληλότητας Υποβάθρου Θεμελίωσης και Φράγματος Βαρύτητας Υπό Στατικές & Δυναμικές Συνθήκες στο Πρόγραμμα Abaqus*". Με λίγα λόγια, θα πραγματοποιηθεί μια θεωρητική μελέτη μιας τυπικής κοιλάδας, στην οποία πρόκειται να κατασκευαστεί ένα φράγμα βαρύτητας, στην οποία θα τροποποιούνται κάθε φορά τα υλικά του υποβάθρου, με σκοπό να λαμβάνονται διαφορετικές εντατικές καταστάσεις και διαφορετικές καταστάσεις παραμορφώσεων του φράγματος με το σύνολο της κοιλάδας. Με τον τρόπο αυτό, θα εξαχθούν συμπεράσματα όσον αφορά στην καταλληλότητα της εκάστοτε κοιλάδας, με συγκεκριμένα βραχώδη υλικά, για την πραγματική κατασκευή ενός φράγματος βαρύτητας.

Η γεωμετρία του φράγματος και της κοιλάδας λήφθηκαν υπόψη με βάση το Φράγμα του Μαυροματίου (ύψος H = 53 m, μέγιστο μήκος στέψης L = 191 m), στην περιοχή της Σούρπης, στο Δήμο Αλμυρού, στο Νομό Μαγνησίας. Δίνεται ενδεικτικά μια άποψη του συγκεκριμένου χωμάτινου φράγματος.

Εικόνα 3.1. *Φράγμα Μαυροματίου, Δήμος Αλμυρού, Νομός Μαγνησίας* ([26]).

Με βάση της γεωμετρία του Φράγματος Μαυροματίου και τα γενικά χαρακτηριστικά της κοιλάδας, επιλέγεται να μελετηθεί ένα αντίστοιχο φράγμα βαρύτητας, του οποίο το υλικό είναι το σκυρόδεμα. Η κοιλάδα και το φράγμα θα μοντελοποιηθούν και θα μελετηθούν στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων *Abaqus 6.10*, όπως θα γίνει σε επόμενη ενότητα.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

3.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ *ABAQUS 6.10* & ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

3.2.1. Πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων *Abaqus 6.10*

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων *Abaqus 6.10* για τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν. Ειδικότερα, αναφέρονται ορισμένα χαρακτηριστικά του προγράμματος. Το *Abaqus* είναι μια ομάδα προγραμμάτων που μοντελοποιούν και αναλύουν πάσης φύσεως διατάξεις στον τομέα της μηχανικής, βασισμένο στην μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων. Είναι διαθέσιμο στην αγορά από την εταιρία *Dassault Systèmes*, μέρος των λογισμικών *SIMULIA Product Life-cycle Management* (*PLM*). Το πρόγραμμα αυτό, μεταξύ άλλων, έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα ([9]):

- Περιέχει εκτεταμένη βιβλιοθήκη με στοιχεία τα οποία μπορούν να μοντελοποιήσουν πρακτικά οποιαδήποτε γεωμετρία.

- Δυνατότητα χρήσης αρκετών διαφορετικών μοντέλων υλικών για μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των πιο τυπικών από αυτά, όπως μέταλλα, ελαστικά, πολυμερή, σύνθετα υλικά, οπλισμένο σκυρόδεμα και γεωτεχνικά υλικά όπως διάφορα είδη εδαφών και βράχοι.

- Είναι σχεδιασμένο ως εργαλείο μοντελοποίησης γενικής χρήσης, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί πέραν προβλημάτων τάσης/παραμόρφωσης. Μπορεί να μοντελοποιήσει προβλήματα σε τομείς όπως μεταφορά θερμότητας, διάχυση μάζας, θερμική διαχείριση σε ηλεκτρονικά εξαρτήματα, ακουστική, πιεζοηλεκτρική ανάλυση και προβλήματα γεωλογίας.

- Παρέχει μεγάλο εύρος δυνατοτήτων για μοντελοποίηση γραμμικών και μη γραμμικών εφαρμογών. Προβλήματα με πολλά μέλη μοντελοποιούνται με το να συσχετιστεί η γεωμετρία ορίζοντας κάθε μέλος με το αντίστοιχο υλικό και διευκρινίζοντας τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μελών. Στη μη γραμμική ανάλυση, το *Abaqus* επιλέγει αυτόματα τα κατάλληλα επαυξητικά βήματα ανάλυσης και ανοχής για κάθε φορτίο και τα προσαρμόζει συνεχώς κατά την πορεία της ανάλυσης για να επιβεβαιώνει ότι επιτυγχάνεται μια ακριβής επίλυση.

- Δυνατότητα στατικής και δυναμικής ανάλυσης.

Το *Abaqus* σε σχέση με το *ANSYS* έχει πολύ καλή απόκριση σε μη-γραμμικά και περίπλοκα γεωμετρικά προβλήματα. Κατ' ακρίβεια, δημιουργήθηκε με σκοπό την επίλυση μη-γραμμικών προβλημάτων. Χρησιμοποιείται περισσότερο στον ακαδημαϊκό τομέα διότι υπάρχει η ευκολία στο να δημιουργήσει ο χρήστης υλικά με συγκεκριμένες ιδιότητες, όπως στην συγκεκριμένη εφαρμογή με το ψεκασμό πλάσματος μπορούμε να δημιουργήσουμε υλικά με κράμα κεραμικών. Τα άλλα προγράμματα χρησιμοποιούνται περισσότερο στη βιομηχανία, διότι έχουν συγκεκριμένα υλικά με συγκεκριμένες ιδιότητες, όπως μέταλλα.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Επίσης στο *Abaqus* υπάρχει η ρουτίνα *UEL*. Το *Abaqus* λειτουργεί με στιγμές (*instances*), δηλαδή το που βρίσκεται το κάθε κομμάτι της διάταξης σε δεδομένη στιγμή, οπότε με αυτό τον τρόπο μπορούν να γίνουν διαφορετικά βήματα ανάλυσης σε κάθε πρόβλημα. ([9])

Η *SIMULIA* παρέχει πολύ καλή υποστήριξη στους χρήστες σε σχέση με τα άλλα προγράμματα, ενώ υπάρχουν ολοκληρωμένα εγχειρίδια τα οποία επιτρέπουν στο χρήστη πρόσβαση σε οποιαδήποτε πληροφορία ψάχνει. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα ενσωμάτωσης κι άλλων προγραμμάτων όπως την πλατφόρμα *CATIA* για εφαρμογές *PLM*, αλλάζοντας ουσιαστικά τον τρόπο σχεδίασης, ανάπτυξης και κατασκευής χρησιμοποιώντας τα πακέτα αυτά. Το *Abaqus* επιτρέπει στο χρήστη να δημιουργεί το πρόγραμμα (*script*) μέσω της γλώσσας *Python* για δημιουργία μοντέλων. Η *Python* είναι γλώσσα προγραμματισμού ευρείας χρήσης και ανεξάρτητη. Οτιδήποτε μπορεί να δημιουργηθεί στο *Abaqus/CAE* χρησιμοποιώντας *GUI* (*graphic user interface*), μπορεί επίσης να δημιουργηθεί γράφοντας κώδικα. Επιπλέον το *Abaqus* επιτρέπει στο χρήστη να δημιουργεί κώδικα γραμμένο στο C++ για γρήγορη επεξεργασία σε δεύτερο στάδιο ([9]).

Μια ολοκληρωμένη ανάλυση στο *Abaqus* συνήθως περιέχει τρία διαφορετικά στάδια: (i) προεπεξεργασία (*preprocessing*), (ii) προσομοίωση (*simulation*) και (iii) μετεπεξεργασία (*postprocessing*) ([9]).

- **Προεπεξεργασία (preprocessing) *Abaqus/CAE***

Σε αυτό το στάδιο πρέπει να οριστεί το μοντέλο και το φυσικό πρόβλημα και να δημιουργηθεί αρχείο εισόδου *Abaqus*. Το μοντέλο συνήθως δημιουργείται γραφικά χρησιμοποιώντας το *Abaqus/CAE* ή άλλο προεπεξεργαστή, παρόλο που το αρχείο εισόδου *Abaqus* για μια απλή ανάλυση μπορεί να δημιουργηθεί άμεσα χρησιμοποιώντας εντολές προγραμματισμού ([9]).

- **Προσομοίωση - *Simulation* (*Abaqus/Standard* ή *Abaqus/Explicit*)**

Η προσομοίωση, η οποία συνήθως εκτελείται ως διαδικασία που τρέχει στο φόντο, είναι το στάδιο στο οποίο το *Abaqus/Standard* ή *Abaqus/Explicit* επιλύει το αριθμητικό πρόβλημα που ορίστηκε στα παραδείγματα μοντέλων εξόδου για ανάλυση τάσεων και περιλαμβάνει παραμορφώσεις και τάσεις οποίες είναι αποθηκευμένες στα αρχεία *binary*, έτοιμα για μετέπειτα επεξεργασία. Μπορεί να χρειαστεί από δευτερόλεπτα μέχρι ημέρες για να ολοκληρωθεί μια ανάλυση, ανάλογα από το πόσο σύνθετο είναι ένα πρόβλημα και τη ταχύτητα του επεξεργαστή που χρησιμοποιείται ([9]).

- **Μετεπεξεργασία (*Postprocessing – Abaqus/CAE*)**

Μπορούν να εκτιμηθούν τα αποτελέσματα όταν η ανάλυση έχει ολοκληρωθεί και οι παραμορφώσεις και τάσεις, ή άλλες βασικές μεταβλητές έχουν υπολογιστεί. Η εκτίμηση γίνεται συνήθως χρησιμοποιώντας το module *Visualization* (οπτικοποίηση) του *Abaqus/CAE* ή άλλου προεπεξεργαστή. Το *module Visualization*, το οποίο διαβάζει το ουδέτερο αρχείο εξόδου *binary*, έχει ποικιλία επιλογών για το πως εμφανίζονται τα αποτελέσματα,

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

συμπεριλαμβανομένου του χρώματος που γίνοται τα διαγράμματα X – Y, τα παραμορφωμένα σχήματα και τα animations ([9]).

Το *Abaqus/CAE* (*Complete Abaqus Environment*) παρέχει απλό και ολοκληρωμένο περιβάλλον για δημιουργία μοντέλων, για κατάθεση και επίβλεψη εργασιών *Abaqus*, και εκτίμηση αποτελεσμάτων από τις προσομοιώσεις *Abaqus*. Το *Abaqus/CAE* χωρίζεται σε module, όπου κάθε ένα από αυτά ορίζει μια λογική όψη της διαδικασίας μοντελοποίησης. Για παράδειγμα, ορισμός της γεωμετρίας, ορισμός των ιδιοτήτων των υλικών και δημιουργίας του πλέγματος. Μετακινώντας από μονάδα σε μονάδα (*module*), κτίζεται το μοντέλο. Όταν αυτό έχει ολοκληρωθεί, το *Abaqus/CAE* δημιουργεί αρχείο εισόδου το οποίο δίδεται στο προϊόν *Abaqus analysis* ([9]).

3.2.2. Αναλυτική μοντελοποίηση του προβλήματος

Η μοντελοποίηση του προβλήματος θα πραγματοποιηθεί στο γραφικό περιβάλλον του *Abaqus*, το *Abaqus CAE*. Ένα πρόβλημα μοντελοποίησης στο *Abaqus* δεν είναι ποτέ κάτι απλό και γρήγορο, αντίθετα διαθέτει έναν μεγάλο αριθμό βημάτων που πρέπει να ακολουθηθούν, προκειμένου να προκύψει το τελικό αποτέλεσμα. Συγκεκριμένα, για να δημιουργηθεί ένα μοντέλο στο *Abaqus CAE*, πρέπει να (i) σχεδιαστεί η γεωμετρία, (ii) να οριστούν τα υλικά και να αντιστοιχηθούν στα τμήματα του προβλήματος που έχουν σχηματιστεί, (iii) να σχηματιστεί το τελικό μοντέλο μελέτης προς επίλυση, (iv) να οριστούν οι φάσεις και τα στάδια της επίλυσης του προβλήματος, (v) να οριστούν οι αλληλεπιδράσεις επαφής και σύνδεσης των τμημάτων της γεωμετρίας, (vi) να εισαχθούν οι καταστάσεις φόρτισης και οι συνοριακές συνθήκες, (vii) να οριστεί ο κατάλληλος κάνναβος επίλυσης που συμφέρει για το πρόβλημα και τέλος (viii) να πραγματοποιηθεί η επίλυση.

Ειδικότερα, τα ανωτέρω απαραίτητα βήματα (μονάδες) που ακολουθούνται σε κάθε ανάλυση *Abaqus* αναφέρονται με τους τεχνικούς όρους, που είναι απαραίτητο να γνωρίζει κανείς όταν είναι έτοιμος να χειριστεί το *Abaqus CAE*, και θα αναλυθούν στη συνέχεια, σε συνδυασμό με την ανάλυση της δημιουργίας του μοντέλου της εργασίας:

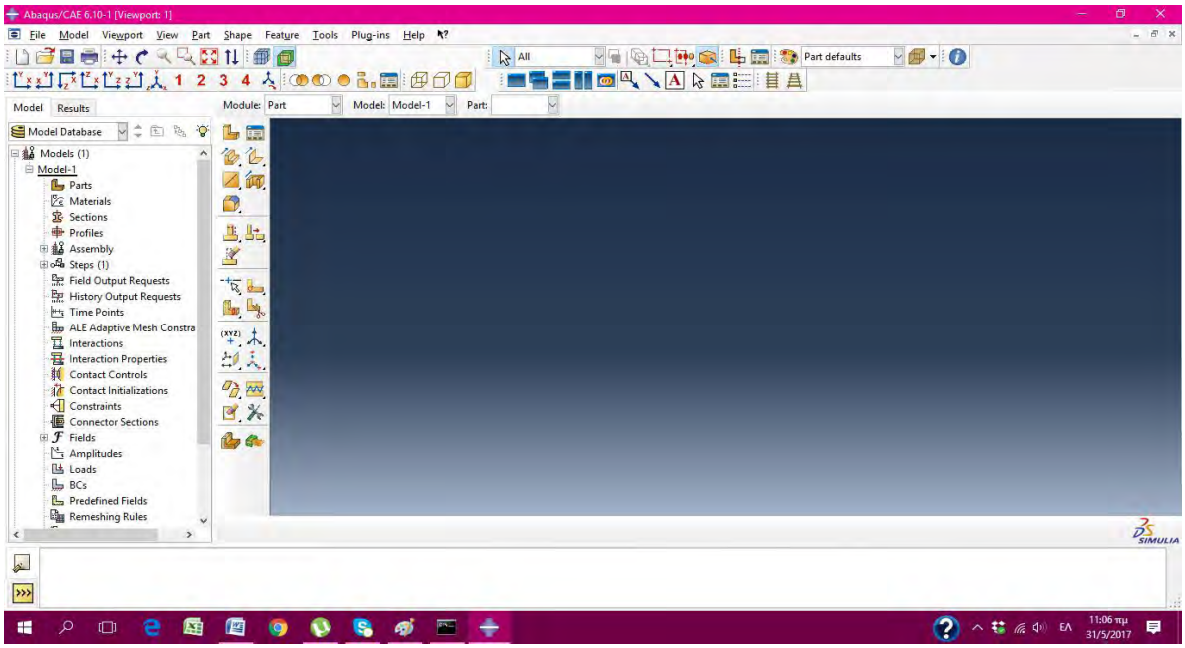
- ***Part Modulus*** (*Δημιουργία γεωμετρίας προβλήματος*)
- ***Property Modulus*** (*Ορισμός υλικών και αντιστοίχηση στη γεωμετρία*)
- ***Assembly Modulus*** (*Δημιουργία τελικού μοντέλου προς επίλυση*)
- ***Step Modulus*** (*Ορισμός φάσεων και σταδίων επίλυσης*)
- ***Interaction Modulus*** (*Αλληλεπίδραση επαφής και σύνδεσης γεωμετρίας*)
- ***Load Modulus*** (*Εισαγωγή φορτίσεων και συνοριακών συνθηκών*)
- ***Mesh Modulus*** (*Ορισμός και δημιουργία καννάβου*)
- ***Job Modulus*** (*Επίλυση προβλήματος*)

Στο *Abaqus* δεν υπάρχουν μονάδες. Συνεπώς, ο μελετητής πρέπει να αποφασίζει εκ των προτέρων τις μονάδες με τις οποίες θα εργαστεί, ώστε κατά τη διάρκεια της εισαγωγής δεδομένων να μην υπάρχουν προβλήματα και τα αποτελέσματα που εξάγονται να είναι "λογικά". Στο μοντέλο που θα κατασκευαστεί παρακάτω αποφασίζεται να χρησιμοποιηθούν οι μονάδες **kN, m, sec**, για τη φόρτιση, το μήκος και το χρόνο, αντίστοιχα.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

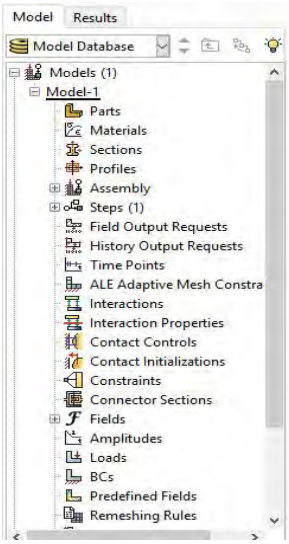
3.2.2.1. Εισαγωγή στο γραφικό περιβάλλον του *Abaqus CAE*

Στην επιφάνεια εργασίας επιλέγεται το εικονίδιο του *Abaqus CAE* και με τον τρόπο αυτό γίνεται εισαγωγή στο γραφικό περιβάλλον, το οποίο φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3.2. *Γραφικό περιβάλλον Abaqus CAE.*

Στο αριστερό πλαίσιο του παραθύρου βρίσκεται ένα Δέντρο Εντολών (***Model Tree***), στο οποίο βρίσκονται όλα τα απαραίτητα βήματα του *Abaqus*, και στο οποίο αποθηκεύεται οποιαδήποτε αλλαγή γίνεται κατά τη διάρκεια της μοντελοποίησης. Με τον τρόπο αυτό είναι αρκετά εύκολο να ελεγχθεί το οτιδήποτε και να γίνει οποιαδήποτε τροποποίηση (διαγραφή, προσθήκη, αλλαγή) οποιασδήποτε ιδιότητας.



Εικόνα 3.3. *Δέντρο Εντολών (Model Tree).*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

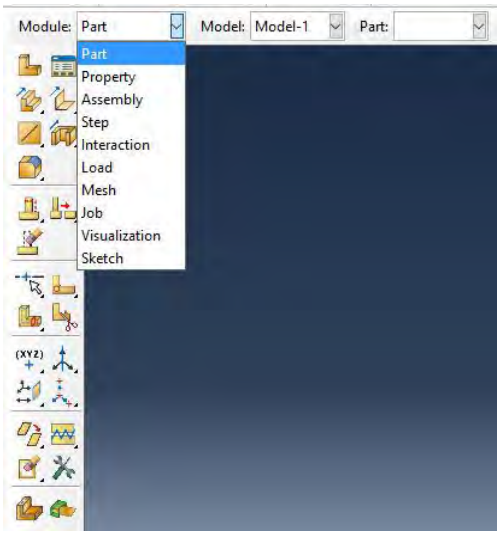
Στο κάτω πλαίσιο του παραθύρου υπάρχει ένας χώρος, όπου υπάρχει η δυνατότητα να δίνονται εντολές (*Message Area*) στο *Abaqus*.

Εικόνα 3.4. *Γραμμή εντολών (Message Area).*

Στη συνέχεια θα γίνει αναλυτική παρουσίαση των βημάτων που ακολουθούνται στο *Abaqus*,και ειδικότερα για την σταδιακή μοντελοποίηση του προβλήματος της κοιλάδας και του φράγματος.

3.2.2.1.1. Εισαγωγή και δημιουργία γεωμετρίας (*Part Modulus*)

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το αρχικό στάδιο της μοντελοποίησης ενός προβλήματος στο *Abaqus* είναι η εισαγωγή της γεωμετρίας στο γραφικό περιβάλλον. Αυτό επιτυγχάνεται στο βήμα του ***Part Modulus***.



Εικόνα 3.5. *Δημιουργία γεωμετρίας (Part Modulus).*

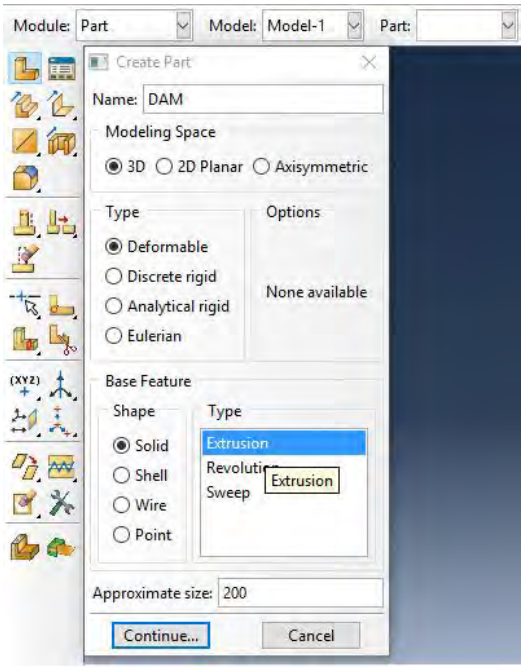
Στο συγκεκριμένο πρόβλημα, θα μοντελοποιηθεί ξεχωριστά το φράγμα μελέτης, το υπέδαφος της κοιλάδας στο οποίο θεμελιώνεται το φράγμα και τα αντερείσματα του φράγματος, τα οποία θα αποτελούν τμήμα των βραχωδών πρανών της κοιλάδας, και τέλος θα μοντελοποιηθεί το φράγμα μελέτης. Συνεπώς, στο τμήμα της γεωμετρίας, θα δημιουργηθούν συνολικά τρία ανεξάρτητα σώματα (*Parts*), (i) το φράγμα (*Dam*), το υπέδαφος (*Foundation*) και τα βραχώδη πρανή (*Valley Rocks*), τα οποία στη συνέχεια θα ενωθούν με τις κατάλληλες συνθήκες για να προκύψει η κοιλάδα της τελικής μελέτης. Το κάθε ένα από τα τρία σώματα θεωρείται στερεό, παραμορφώσιμο σώμα, του οποίου θα σχεδιασθεί μια κεντρική διατομή σε

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

κάτοψη και στη συνέχεια θα δοθεί ένα μήκος επέκτασης στην τρίτη διάσταση, έτσι ώστε να προκύψει στερεό τρισδιάστατο σώμα.

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ (*DAM*)

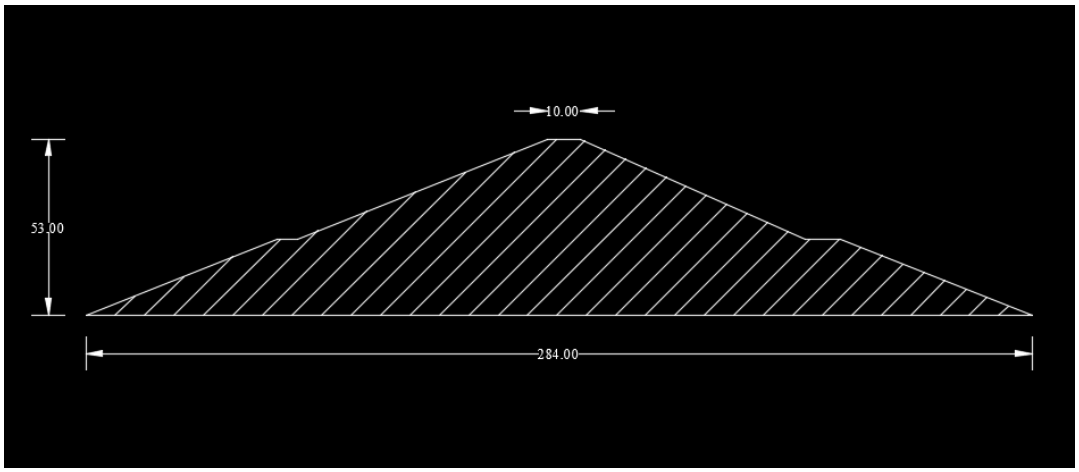
Σε πρώτη φάση έγινε η μοντελοποίηση του φράγματος μελέτης. Με την επιλογή *Create Part*, επιλέγεται τρισδιάστατη γεωμετρία (*Modeling Space: 3D*), τύπος σώματος παραμορφώσιμος (*Type: Deformable*) και επιλέγεται σχήμα στερεό (*Shape: Solid*) με την επιλογή του σχεδιασμού μιας κεντρικής διατομής σε κάτοψη και στη συνέχεια με την εισαγωγή και μια τρίτης διάστασης βάθους, έτσι ώστε να προκύψει στερεό σώμα (*Type: Extrusion*).



Εικόνα 3.6. *Επιλογές γεωμετρίας φράγματος.*

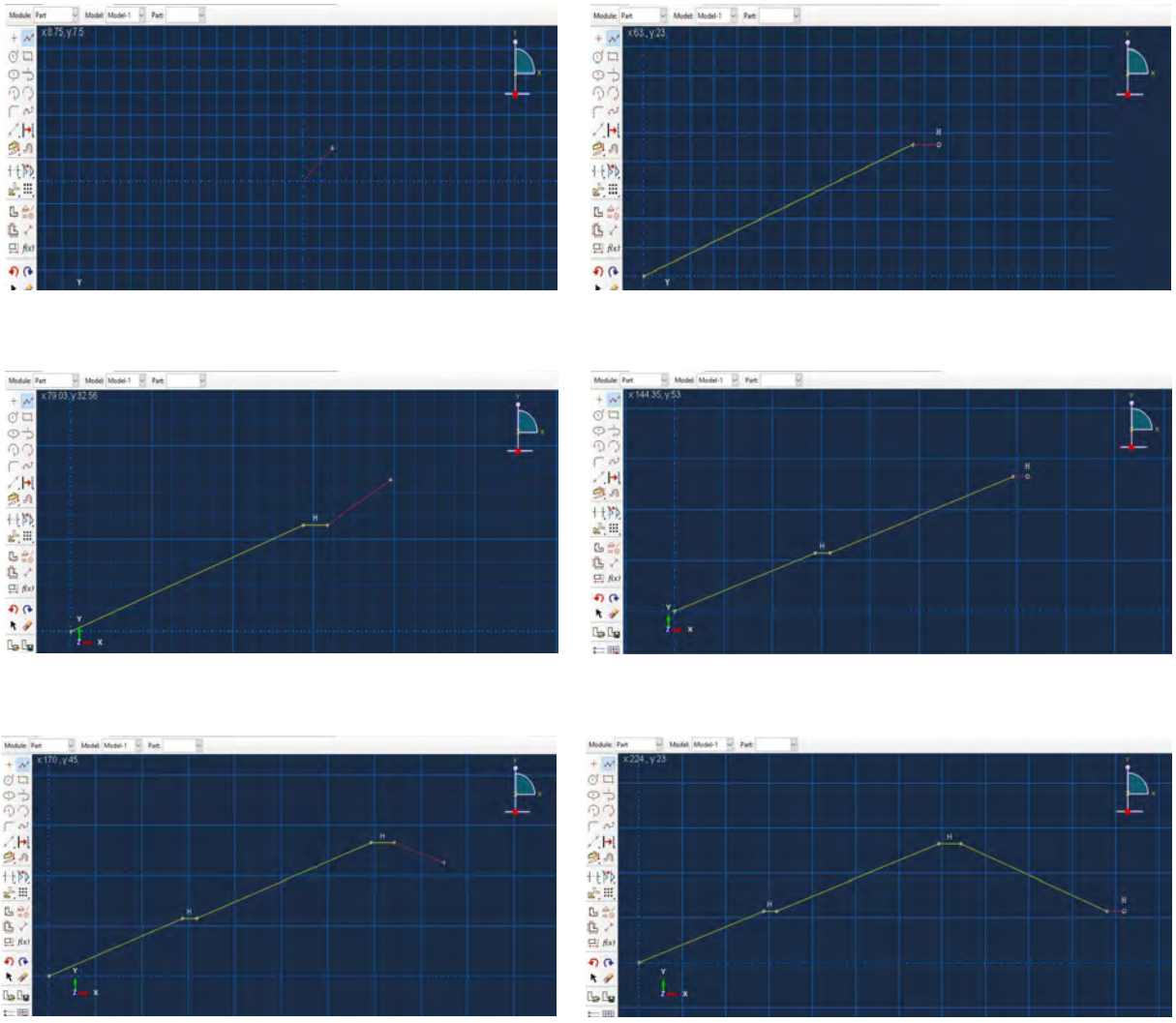
Στη συνέχεια, πατώντας *Continue*, εμφανίζεται ένας επιφανειακός κάνναβος, στον οποίο θα σχεδιαστεί η κεντρική διατομή του φράγματος μελέτης. Το πρόγραμμα παρέχει την δυνατότητα να εισάγεται κάθε φορά ένα ζεύγος συντεταγμένων που δημιουργούν μεμονωμένα σημεία, τα οποία στη συνέχεια ενώνονται με ευθύγραμμα τμήματα όσο προχωράει η διαδικασία, με αποτέλεσμα να δημιουργείται η διατομή. Ιδιαιτέρως για το φράγμα, η γεωμετρία εισάγεται από κατάλληλο σχέδιο που έχει γίνει στο πρόγραμμα *AutoCAD 2016*, με την εισαγωγή των συντεταγμένων βασικών σημείων της περιμέτρου του φράγματος. Τα περιμετρικά σημεία είναι τα εξής: P1 (0,0), P2 (57.5,23), P3 (63.5,23), P4 (138.5,53), P5 (148.5,53), P6 (215.997,23), P7 (226.496,23) και P8 (284,0). Δίνεται το σχέδιο στο *AutoCAD*.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

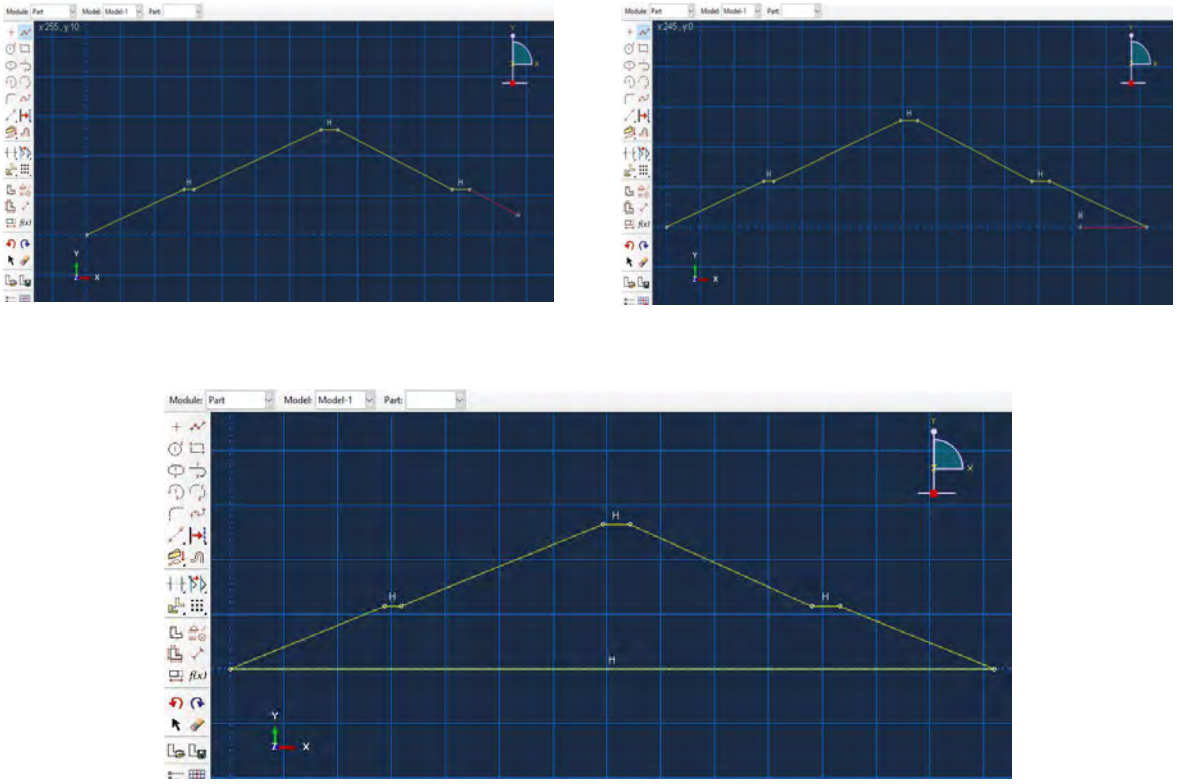


Εικόνα 3.7. *Σχέδιο κεντρικής διατομής φράγματος στο AutoCAD 2016.*

Στο γραφικό περιβάλλον του *Abaqus CAE* αντίστοιχα, εισάγονται οι συντεταγμένες των οκτώ περιμετρικών σημείων του σχεδίου με την επιλογή *Create Lines: Connected*, και προκύπτει σταδιακά η κεντρική διατομή του φράγματος, όπως φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες.

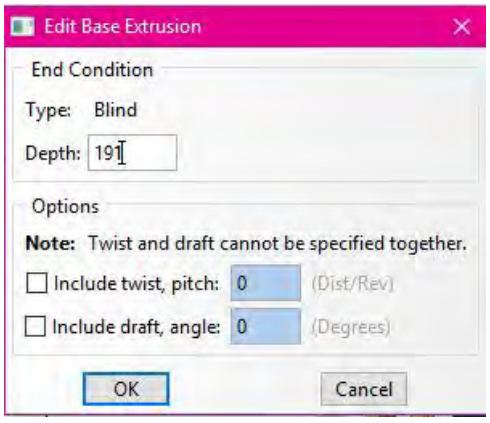


Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



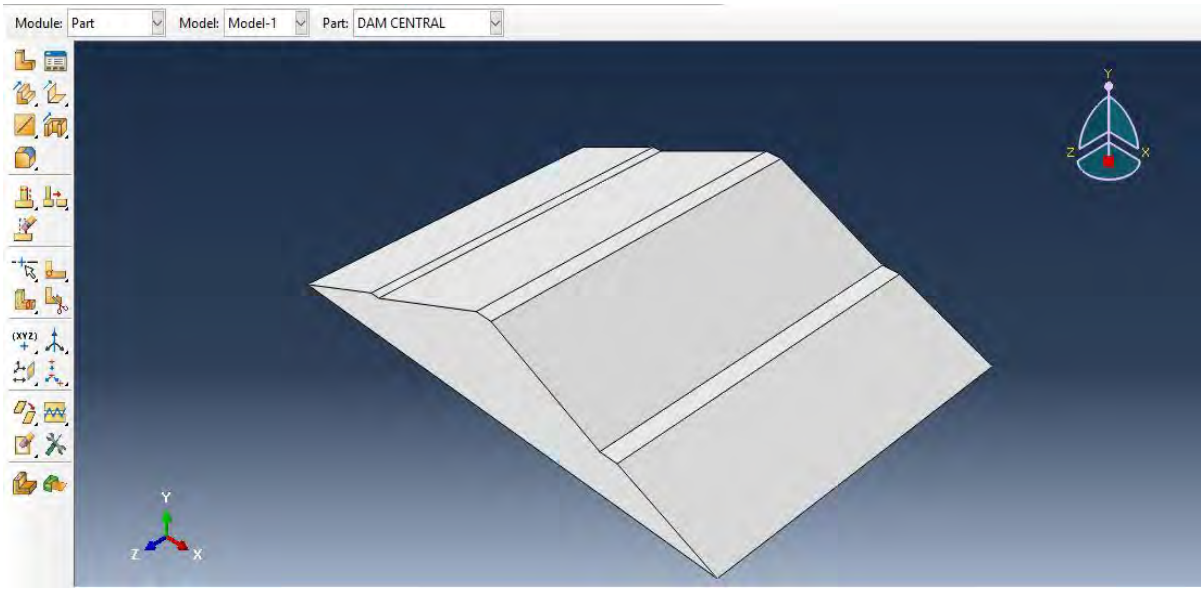
Εικόνα 3.8. *Σχεδιασμός κεντρικής διατομής φράγματος στο Abaqus.*

Στη συνέχεια, στο παράθυρο *Edit Base Extrusion,* δίνεται το μέγιστο μήκος της στέψης του φράγματος (191 m) ως τρίτη διάσταση βάθους (*Depth*), και σχηματίζεται το σώμα του φράγματος, σε τρισδιάστατη μορφή.



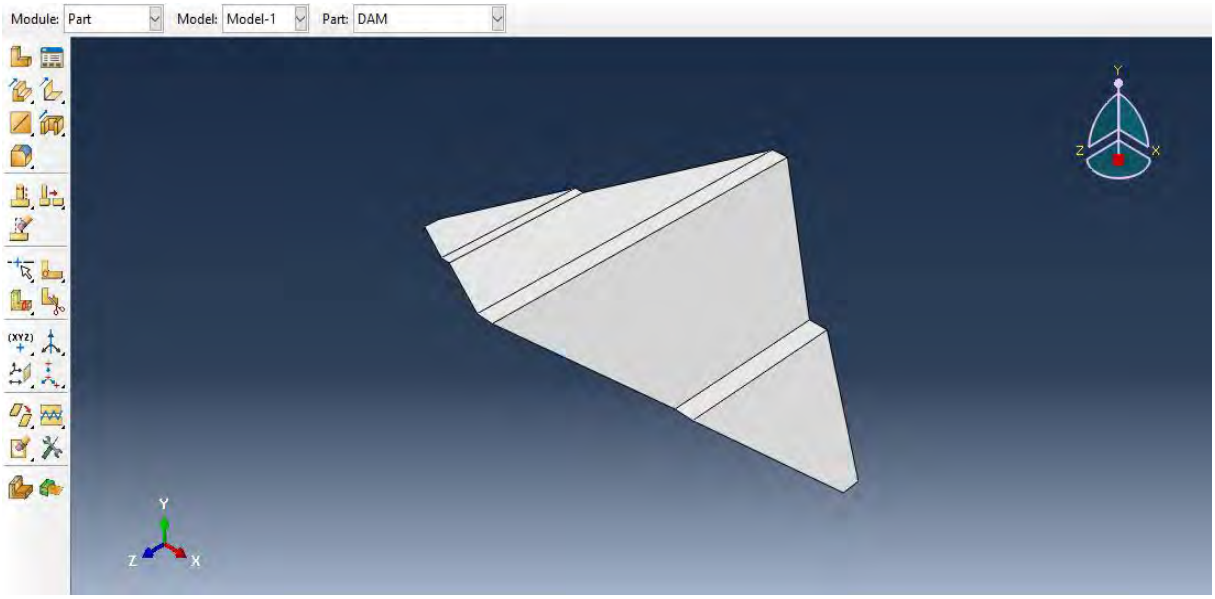
Εικόνα 3.9. *Εισαγωγή διάστασης βάθους στην κεντρική διατομή του φράγματος.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



Εικόνα 3.10. *Σώμα φράγματος μετά το σχεδιασμό.*

Στη συνέχεια, με την εντολή *Create Cut: Extrude* σχεδιάζονται και αποκόβονται κάθετα στο επίπεδο YZ δύο κεκλιμένες επιφάνειες, και με τον τρόπο αυτό προκύπτει το τελικό σώμα του φράγματος της κοιλάδας.

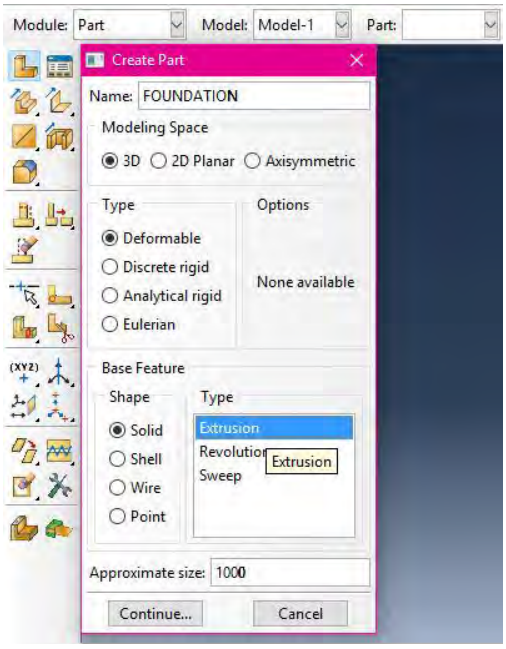


Εικόνα 3.11. *Τελικό σώμα φράγματος μετά το σχεδιασμό.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

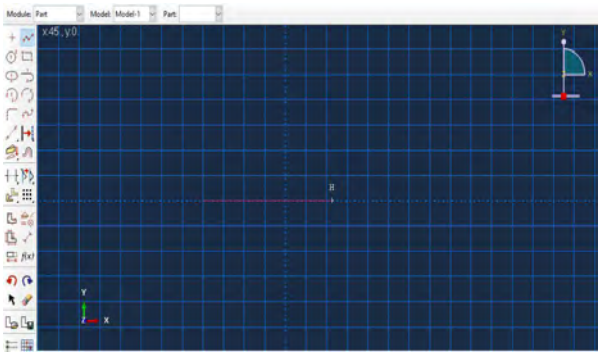
ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ (*FOUNDATION*)

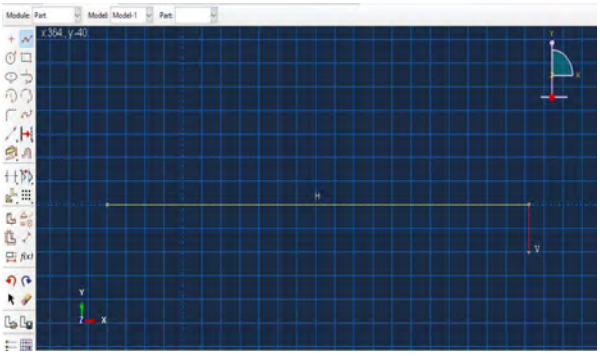
Σε δεύτερη φάση πραγματοποιήθηκε η μοντελοποίηση του υπεδάφους, στο οποίο θεμελιώνεται το φράγμα που σχεδιάστηκε. Με την επιλογή *Create Part*, επιλέγεται τρισδιάστατη γεωμετρία (*Modeling Space: 3D*), τύπος σώματος παραμορφώσιμος (*Type: Deformable*) και επιλέγεται σχήμα στερεό (*Shape: Solid*) με την επιλογή του σχεδιασμού μιας κεντρικής διατομής σε κάτοψη και στη συνέχεια με την εισαγωγή και μια τρίτης διάστασης βάθους, έτσι ώστε να προκύψει στερεό σώμα (*Type: Extrusion*).



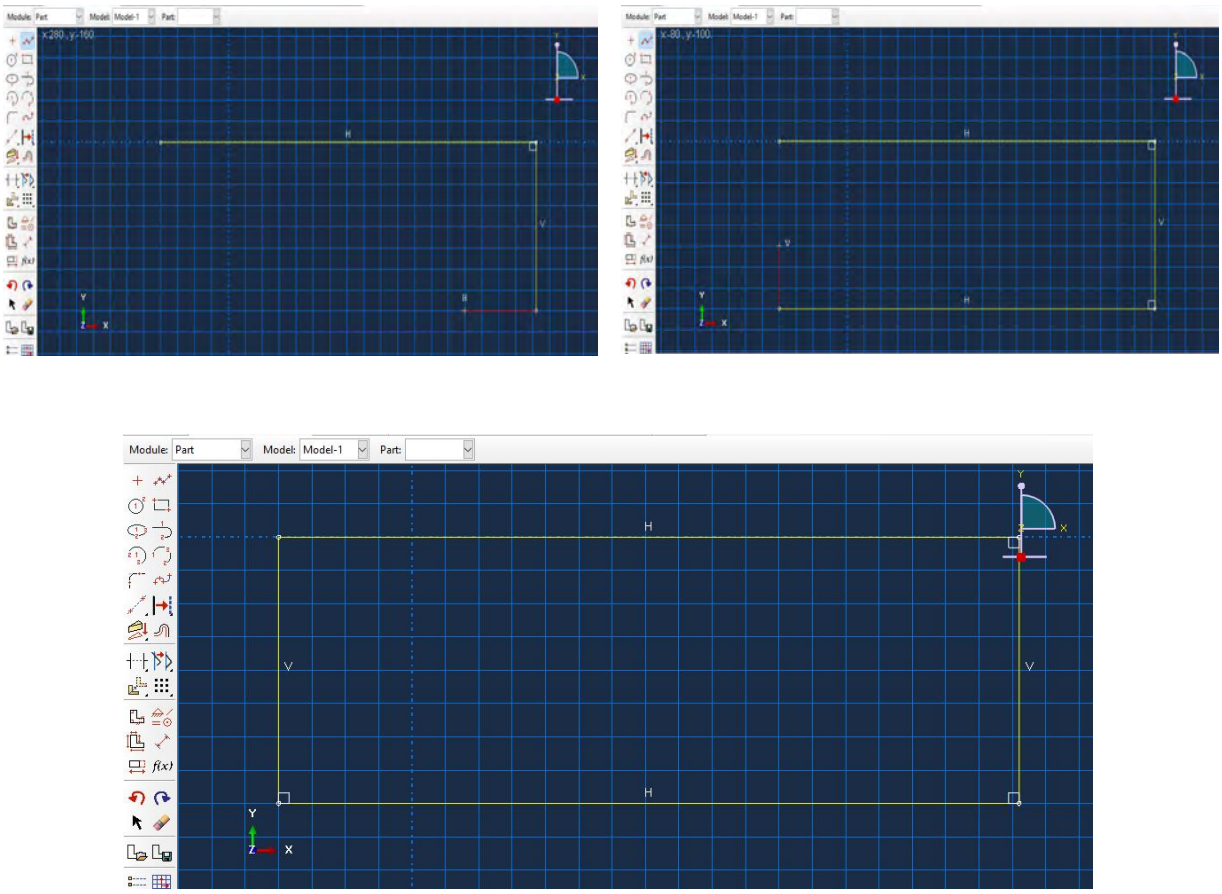
Εικόνα 3.12. *Επιλογές γεωμετρίας υπεδάφους.*

Έγινε η θεώρηση ότι το υπέδαφος θα έχει πάχος 160 m, από τη βάση του φράγματος και προς τα κάτω, κατά X θα εκτείνεται 80 m από την κάθε άκρη του φράγματος και κατά Z θα εκτείνεται 120 m από την κάθε άκρη του φράγματος αντίστοιχα. Συνεπώς, το υπέδαφος θα έχει συνολικές διαστάσεις L_x = 444 m μήκος, L_z = 431 m πλάτος και L_Y = 160 m βάθος. Συνεπώς, τα σημεία που θα εισαχθούν στο *Abaqus* με παρόμοια διαδικασία, με σκοπό να σχηματιστεί μια κεντρική διατομή του υπεδάφους θα είναι τα εξής: P1 (-80,0), P2 (364,0), P3 (364,-160) και P4 (-80,-160).



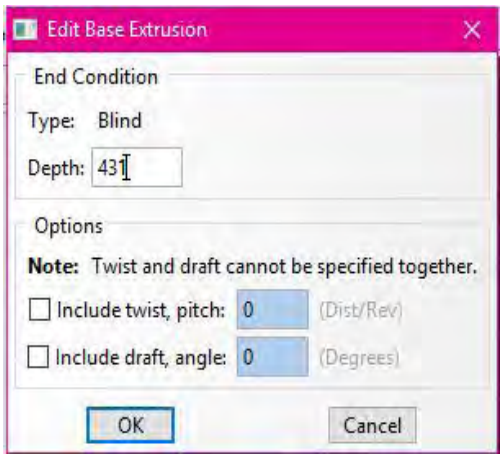


Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



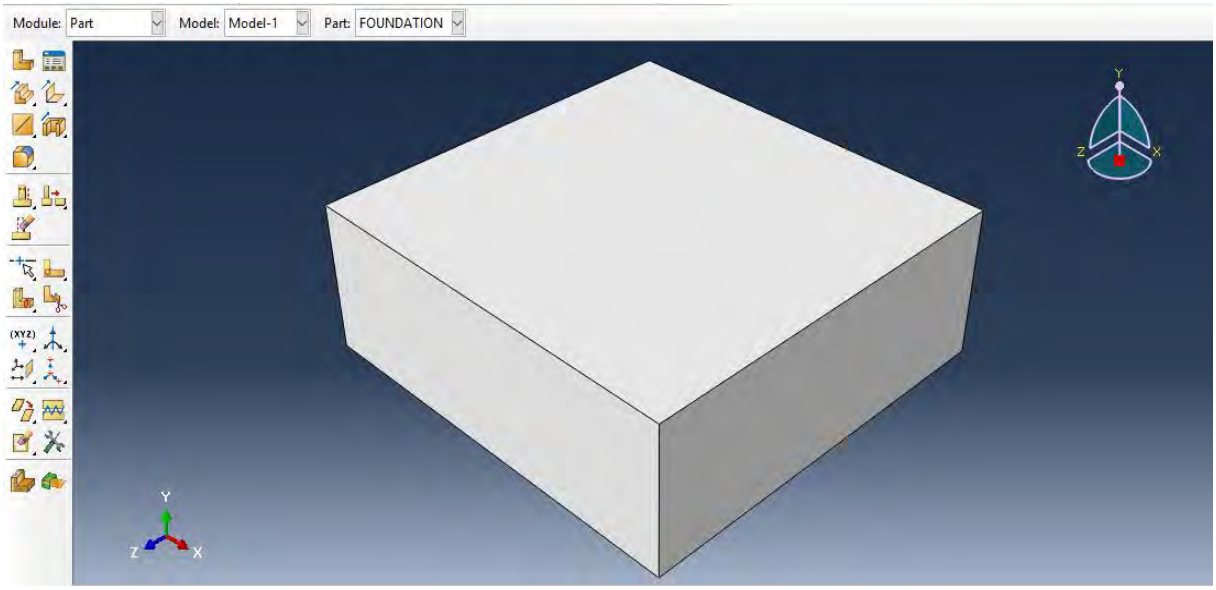
Εικόνα 3.13. *Σχεδιασμός κεντρικής διατομής υπεδάφους στο Abaqus.*

Στη συνέχεια στο παράθυρο *Edit Base Extrusion* δίνεται το μέγιστο μήκος του υπεδάφους (431 m) ως τρίτη διάσταση βάθους (*Depth*), και σχηματίζεται το σώμα του υπεδάφους, σε τρισδιάστατη μορφή.



Εικόνα 3.14. *Εισαγωγή διάστασης βάθους στην κεντρική διατομή του υπεδάφους.*

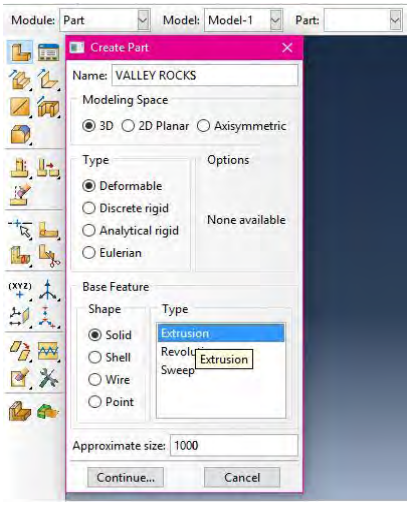
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



Εικόνα 3.15. *Σώμα υπεδάφους μετά το σχεδιασμό.*

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΑΝΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ (*VALLEY ROCKS*)

Σε τρίτη φάση πραγματοποιήθηκε η μοντελοποίηση των πρανών, στα οποία θεμελιώνονται οι κεκλιμένες παρειές του φράγματος που σχεδιάστηκε. Με την επιλογή *Create Part*, επιλέγεται τρισδιάστατη γεωμετρία (*Modeling Space: 3D*), τύπος σώματος παραμορφώσιμος (*Type: Deformable*) και επιλέγεται σχήμα στερεό (*Shape: Solid*) με την επιλογή του σχεδιασμού μιας κεντρικής διατομής σε κάτοψη και στη συνέχεια με την εισαγωγή και μια τρίτης διάστασης βάθους, έτσι ώστε να προκύψει στερεό σώμα (*Type: Extrusion*).

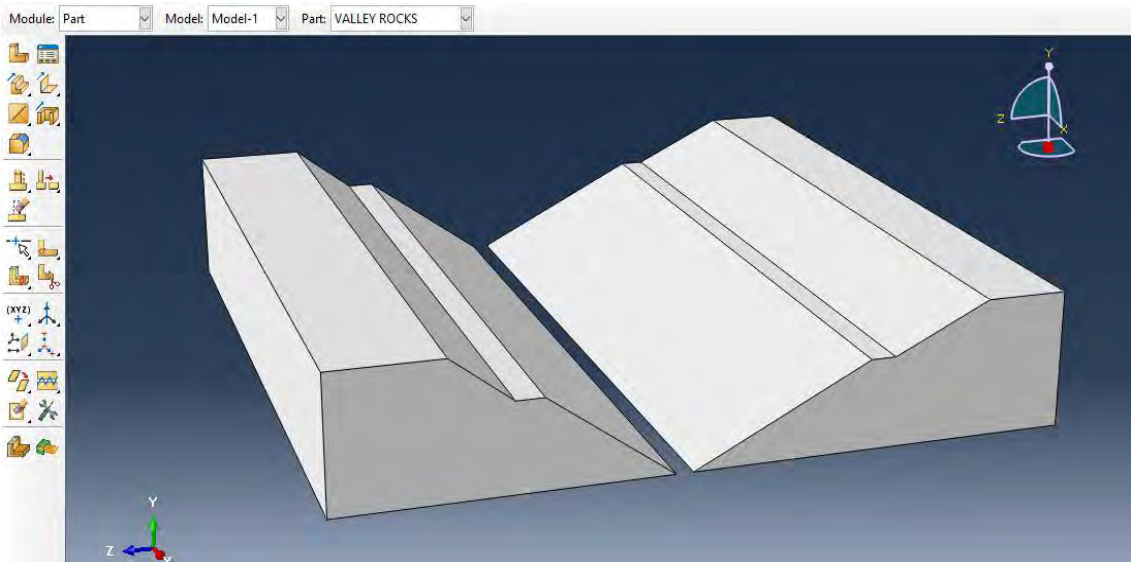


Εικόνα 3.16. *Επιλογές γεωμετρίας πρανών.*

Έγινε η θεώρηση ότι τα πρανή θα έχουν ύψος 80.43 m, από τη βάση του φράγματος. Συνεπώς, τα εδαφικά πρανή του φράγματος θα έχουν συνολικές διαστάσεις L_x = 444 m

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

μήκος, L_z = 420.9546 m πλάτος και L_Y = 80.43 m ύψος. Συνεπώς, τα σημεία που θα εισαχθούν στο *Abaqus* με παρόμοια διαδικασία, σε επίπεδο YZ αυτή τη φορά, με σκοπό να σχηματιστεί μια κεντρική διατομή των πρανών θα είναι τα εξής: P1 (0,115.98986), P2 (53,191), P3 (53,207.59462), P4 (80.43,244.16452), P5 (80.43,311), P6 (0,311), P7 (0,105.9445), P8 (53,0), P9 (53,-14.7005), P10 (80.43,-72.1505), P11 (80.43,-120) και P12 (0,-120). Συνεπώς, σχηματίζονται και τα πρανή της κοιλάδας.



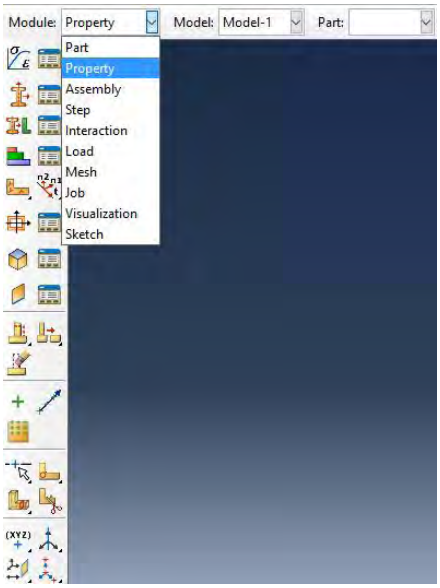
Εικόνα 3.17. *Σώμα εδαφικών πρανών μετά το σχεδιασμό.*

Στο σημείο αυτό ολοκληρώνεται ο σχηματισμός της γεωμετρίας των μελών του μοντέλου. Στη συνέχεια, η μέθοδος προχωρά με τον ορισμό των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν. Το *Abaqus* δίνει τη δυνατότητα να οριστούν και αντιστοιχηθούν υλικά στα γεωμετρικά σώματα του μοντέλου μέσω της μονάδας ***Property Modulus***.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

3.2.2.1.2. Ορισμός και αντιστοίχιση υλικών (*Property Modulus*)

Το επόμενο βήμα στη μοντελοποίηση του προβλήματος είναι ο ορισμός των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του βήματος ***Property Modulus***.



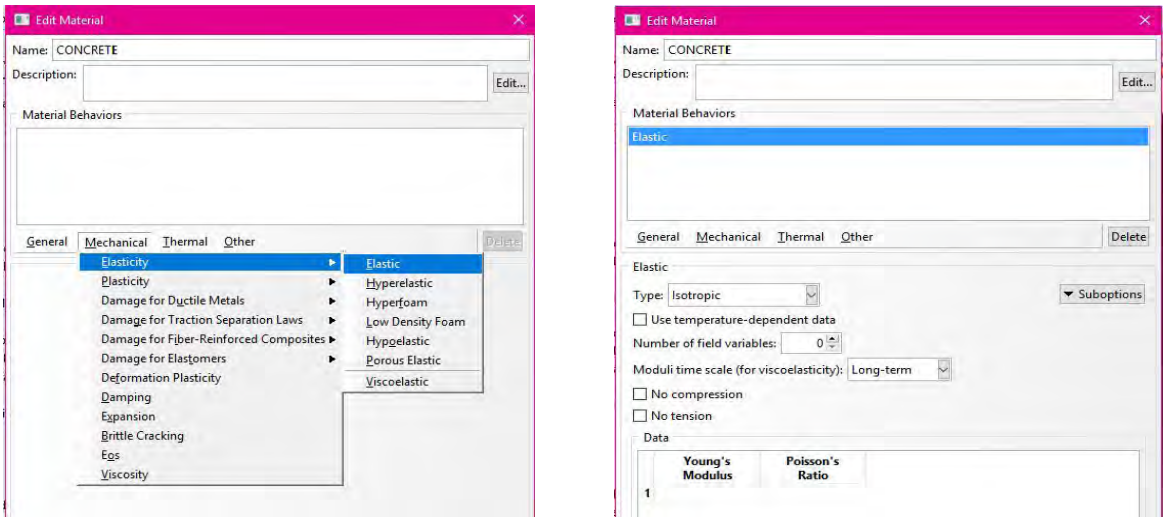
Εικόνα 3.18. *Ορισμός και αντιστοίχιση υλικών (Property Modulus).*

Στο βήμα αυτό, γίνεται αρχικά η δημιουργία και ο ορισμός των ιδιοτήτων των απαραίτητων υλικών που θα χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο. Στη συνέχεια, δημιουργούνται απαραίτητες γενικευμένες "διατομές", στις οποίες αντιστοιχίζεται το κάθε υλικό που έχει δημιουργηθεί, και τέλος οι διατομές αυτές αντιστοιχίζονται σε κάθε σώμα του μοντέλου. Ειδικότερα, για το συγκεκριμένο πρόβλημα, θα οριστούν τρία στο σύνολο υλικά: (i) υλικό για το φράγμα, (ii) υλικό για το υπέδαφος και (iii) υλικό για τα εδαφικά πρανή. Σε όλο το μοντέλο, έγινε η θεώρηση ισότροπων και ομογενών υλικών. Στη συνέχεια, θα δημιουργηθούν τρείς αντίστοιχα γενικευμένες διατομές για το κάθε ένα υλικό και τέλος οι διατομές αυτές θα αντιστοιχηθούν στο φράγμα, στο υπέδαφος και στα εδαφικά πρανή αντίστοιχα, με αποτέλεσμα τα τρία τμήματα του μοντέλου να αποκτήσουν τις ιδιότητες του υλικού από το οποίο αποτελούνται. Στο συγκεκριμένο πρόβλημα, επιλέχθηκε να πραγματοποιηθούν αναλύσεις κατά τις οποίες το υπέδαφος και τα εδαφικά πρανή συμπεριφέρονται ελαστικά και το φράγμα ελαστοπλαστικά, συνεπώς οι ιδιότητες που ενδιαφέρουν είναι το Μέτρο Ελαστικότητας E (*Young Modulus E*) και ο λόγος Poisson ν (*Poisson Ratio ν*), η απόσβεση *Rayleigh* μέσω των συντελεστών a και b (*Damping factors a* και *b*), η πυκνότητα ρ (*Density ρ*) και το πλαστικό μοντέλο ρηγματωμένου σκυροδέματος (*Concrete Damaged Plasticity*) που θα χρησιμοποιηθεί στο φράγμα για το σεισμό. Αναλυτικές ιδιότητες των επί μέρους υλικών θα καταγραφούν σε επόμενο ενότητα.

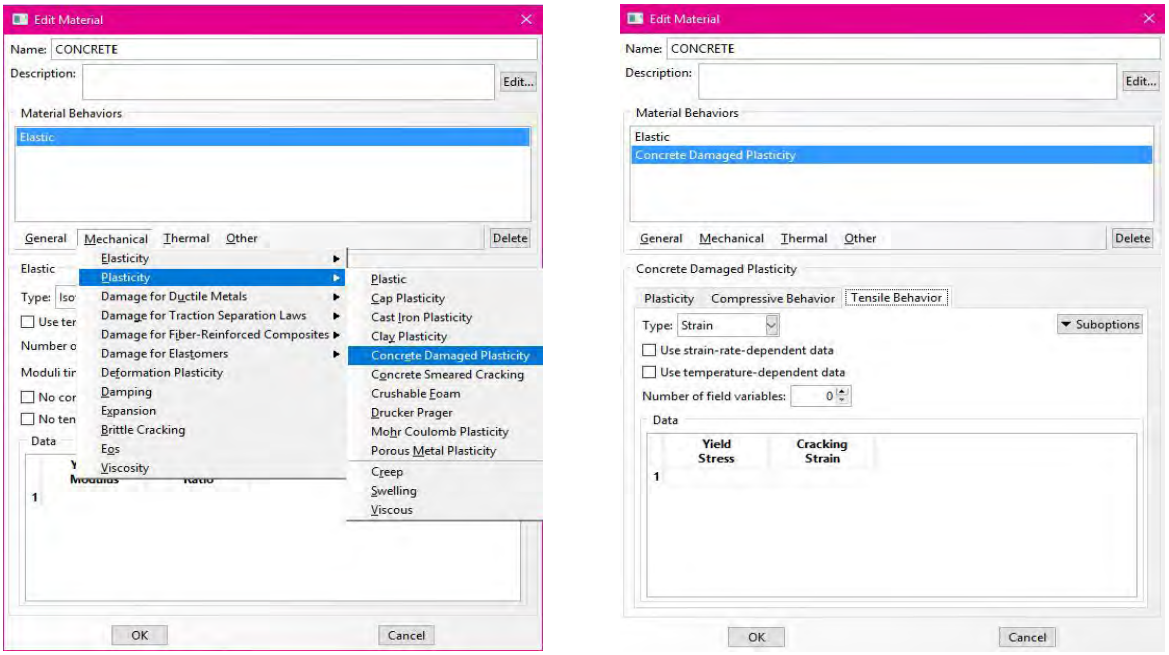
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣΗ ΥΛΙΚΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ (*DAM MATERIAL*)

Σε πρώτη φάση έγινε ο ορισμός του υλικού σκυροδέματος που αντιστοιχεί στο σώμα του φράγματος. Με την εντολή *Create Material*, δίδεται το κατάλληλο όνομα στο υλικό και προσδίνονται το μέτρο ελαστικότητας E και ο λόγος του Poisson ν.

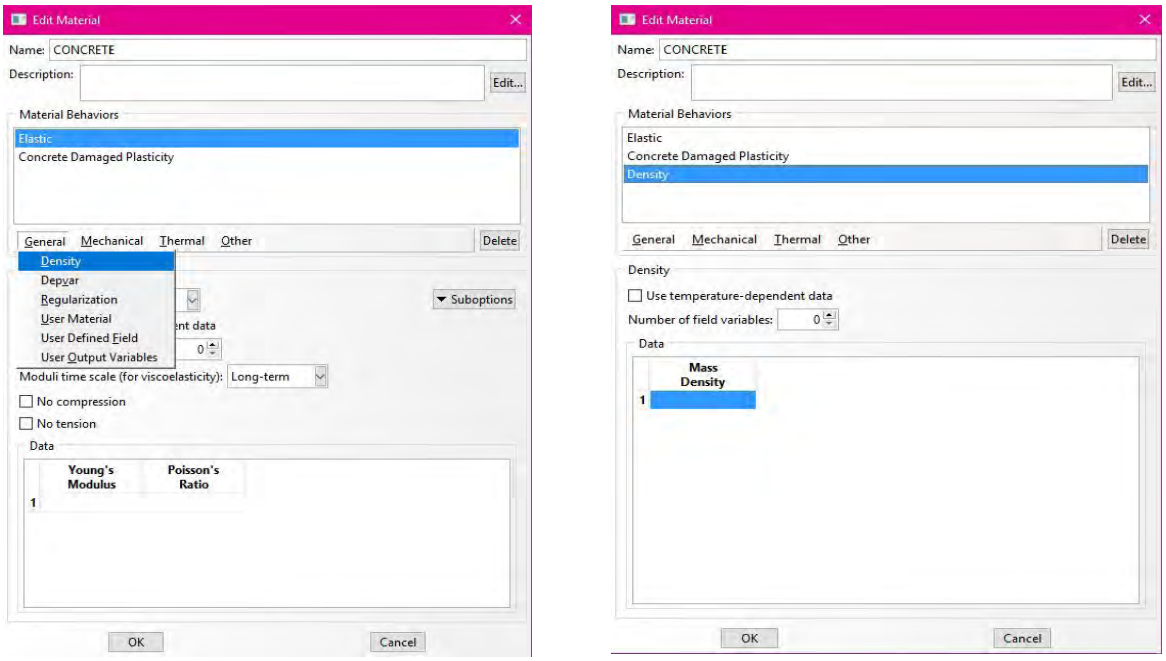


Εικόνα 3.19. *Ορισμός μέτρου ελαστικότητας E και λόγου Poisson ν υλικού φράγματος.*

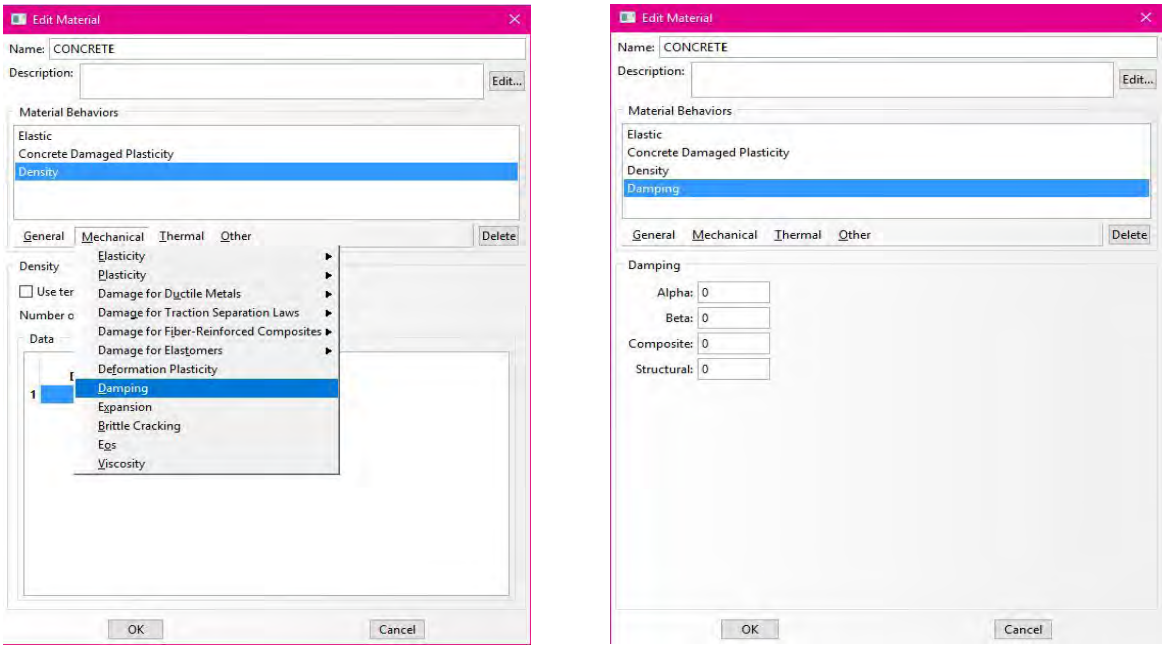


Εικόνα 3.20. *Ορισμός πλαστικού μοντέλου (Lee and Fenves) υλικού φράγματος.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



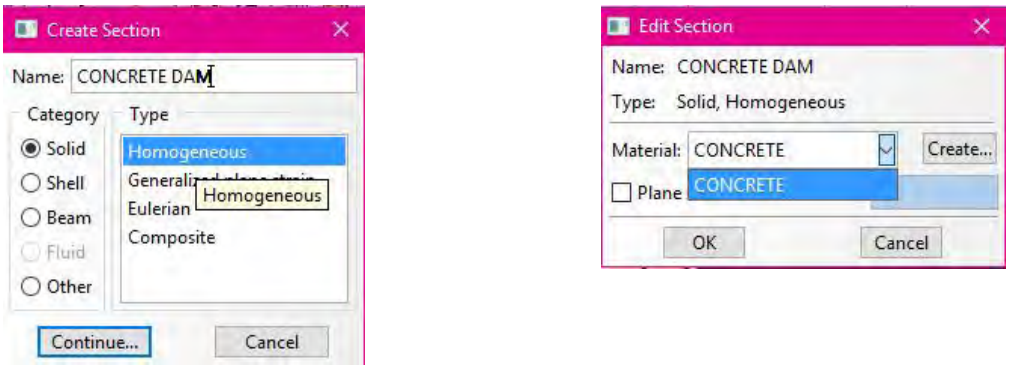
Εικόνα 3.21. *Ορισμός πυκνότητας ρ υλικού φράγματος.*



Εικόνα 3.22. *Ορισμός συντελεστών απόσβεσης Rayleigh.*

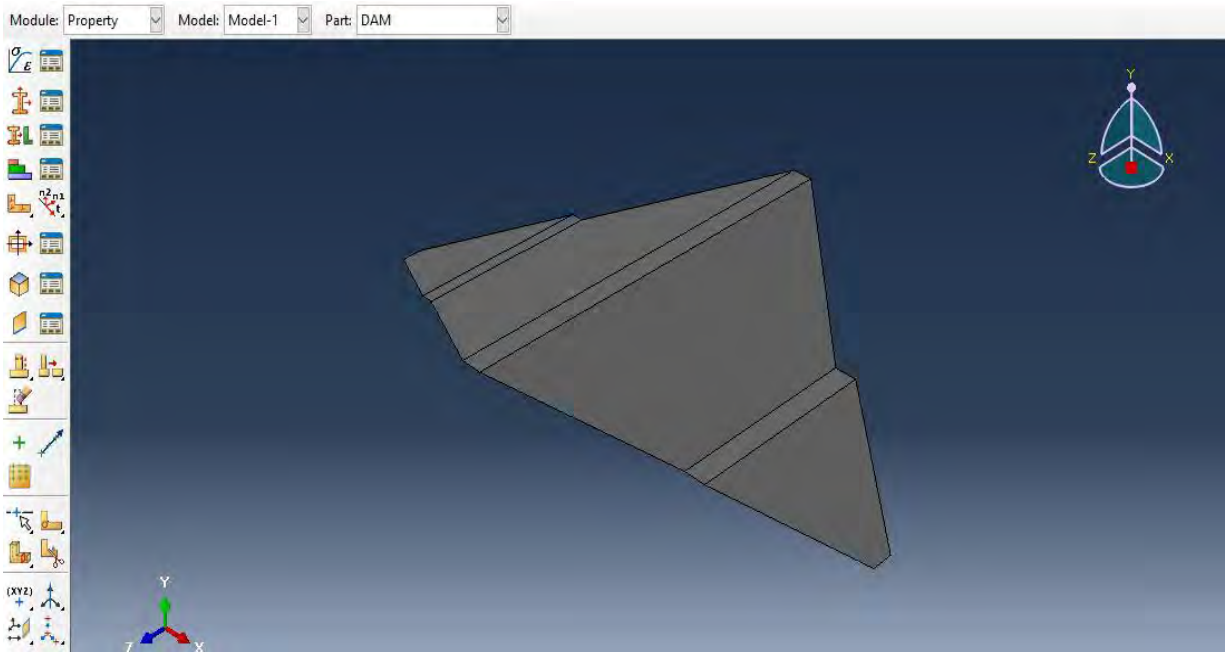
Σε δεύτερη φάση δημιουργήθηκε η αντίστοιχη γενικευμένη διατομή του φράγματος, στην οποία αντιστοιχήθηκε το υλικό του σκυροδέματος. Αυτό πραγματοποιήθηκε με την εντολή *Create Section*. Η γενικευμένη διατομή θεωρήθηκε ομογενής (αποτελείται δηλαδή από ένα και μόνο υλικό).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



Εικόνα 3.23. *Δημιουργία γενικευμένης διατομής φράγματος.*

Σε τρίτη φάση, αντιστοιχήθηκε η γενικευμένη διατομή στο σώμα του φράγματος με την εντολή *Assign Section*, το οποίο απέκτησε τις ιδιότητες του σκυροδέματος που ορίστηκε προηγουμένως.

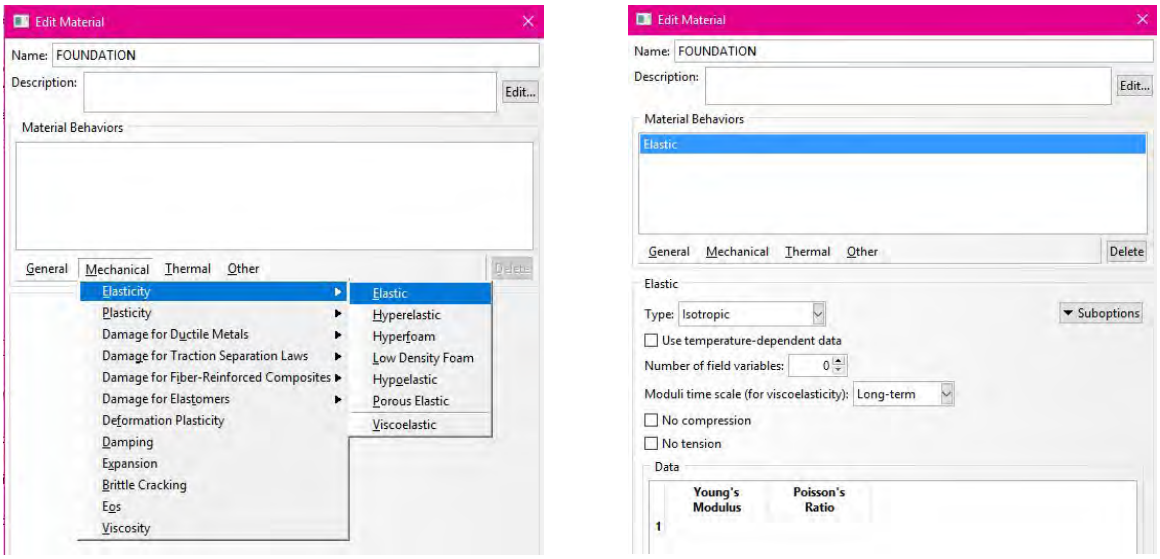


Εικόνα 3.24. *Αντιστοίχιση γενικευμένης διατομής σκυροδέματος στο φράγμα.*

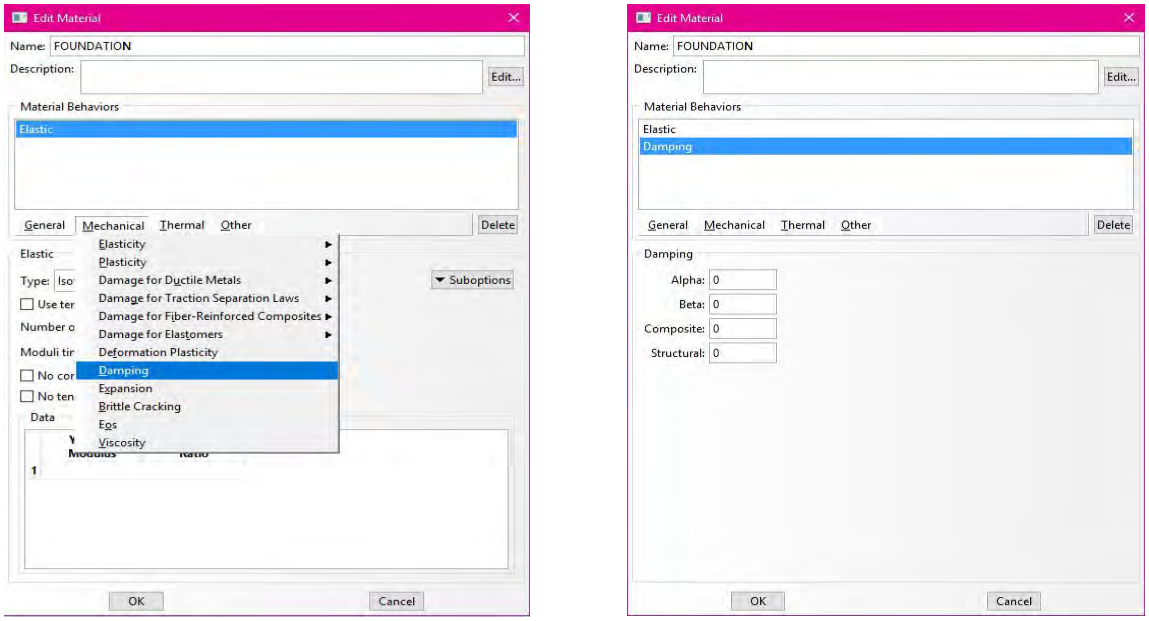
ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣΗ ΥΛΙΚΟΥ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ (*FOUNDATION MATERIAL*)

Σε πρώτη φάση έγινε ο ορισμός του υλικού υπεδάφους που αντιστοιχεί στο σώμα του υπεδάφους. Με την εντολή *Create Material*, δίδεται το κατάλληλο όνομα στο υλικό και προσδίνονται το μέτρο ελαστικότητας E και ο λόγος του Poisson ν.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



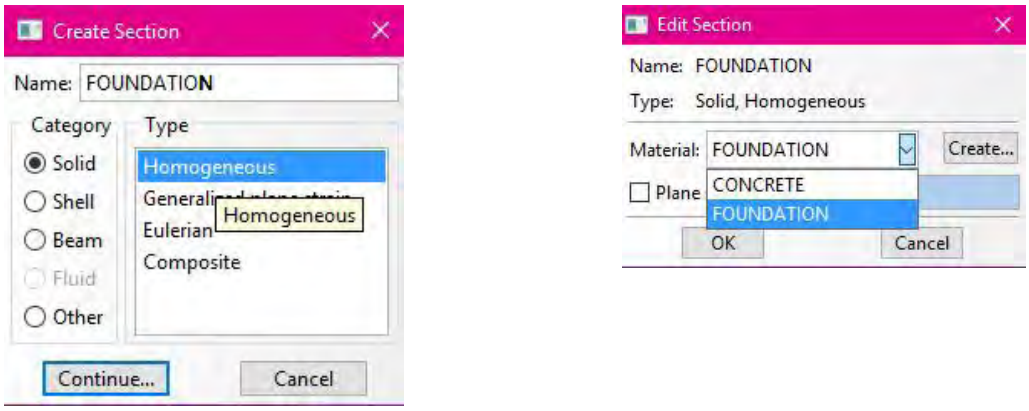
Εικόνα 3.25. *Ορισμός μέτρου ελαστικότητας E και λόγου Poisson ν υλικού υπεδάφους.*



Εικόνα 3.26. *Ορισμός συντελεστών απόσβεσης Rayleigh υλικού υπεδάφους.*

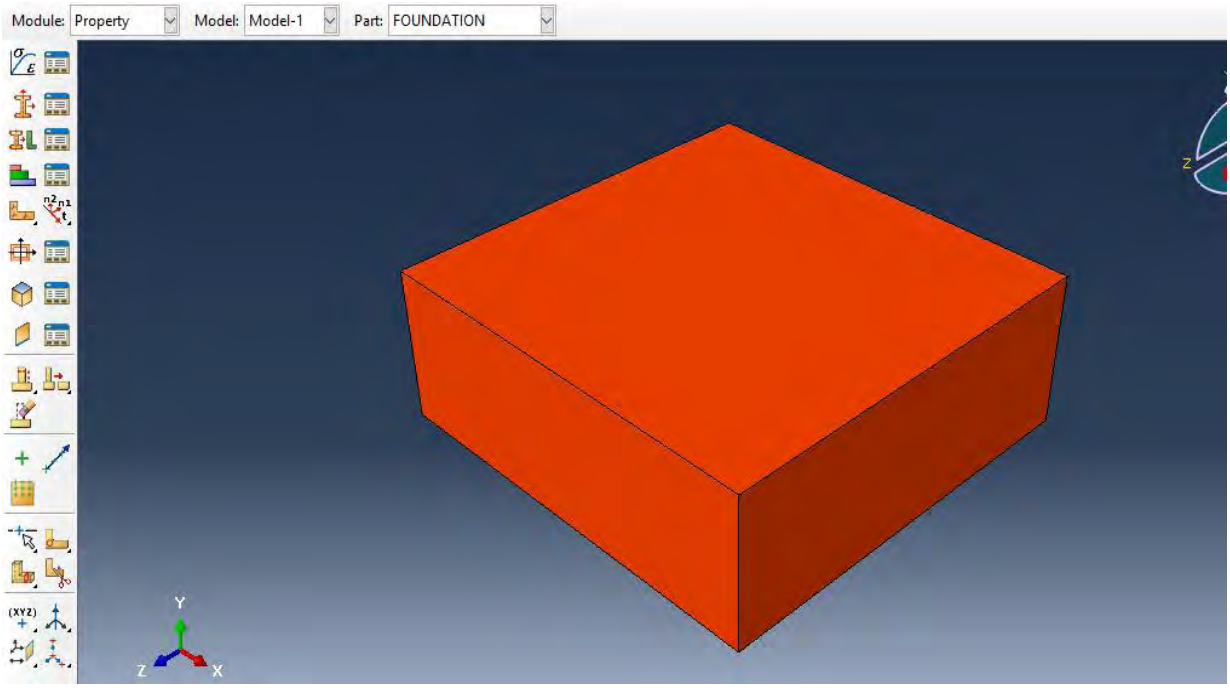
Σε δεύτερη φάση δημιουργήθηκε η αντίστοιχη γενικευμένη διατομή του υπεδάφους, στην οποία αντιστοιχήθηκε το υλικό του υπεδάφους. Αυτό πραγματοποιήθηκε με την εντολή *Create Section*. Η γενικευμένη διατομή θεωρήθηκε ομογενής (αποτελείται δηλαδή από ένα και μόνο υλικό).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



Εικόνα 3.27. *Δημιουργία γενικευμένης διατομής υπεδάφους.*

Σε τρίτη φάση, αντιστοιχήθηκε η γενικευμένη διατομή στο σώμα του φράγματος με την εντολή *Assign Section*, το οποίο απέκτησε τις ιδιότητες του σκυροδέματος που ορίστηκε προηγουμένως.

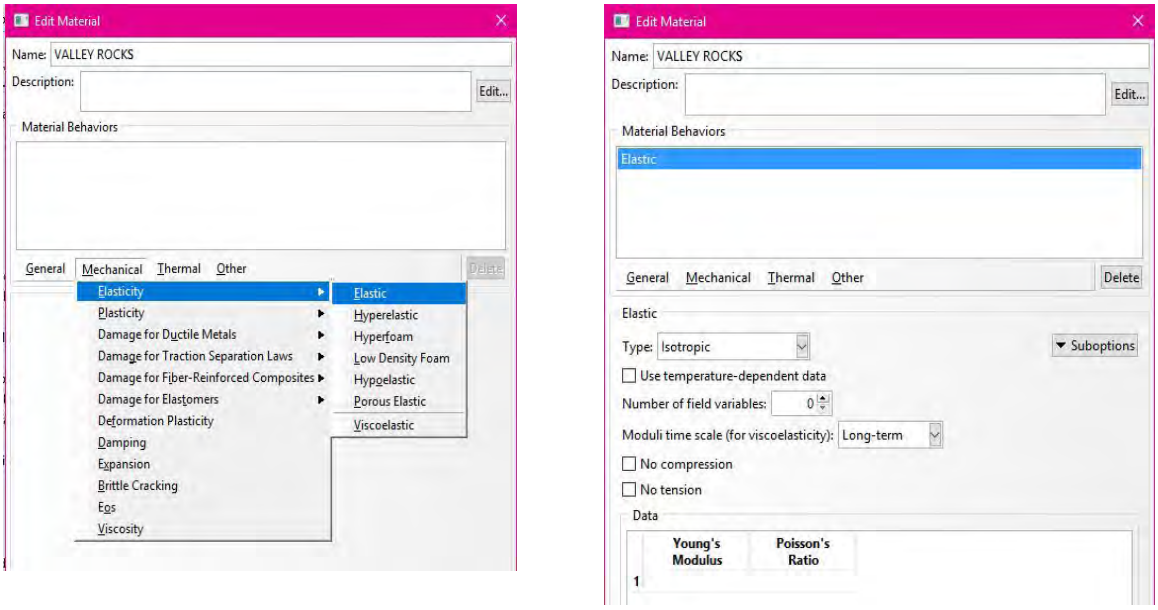


Εικόνα 3.28. *Αντιστοίχιση γενικευμένης διατομής υπεδάφους στο υπέδαφος.*

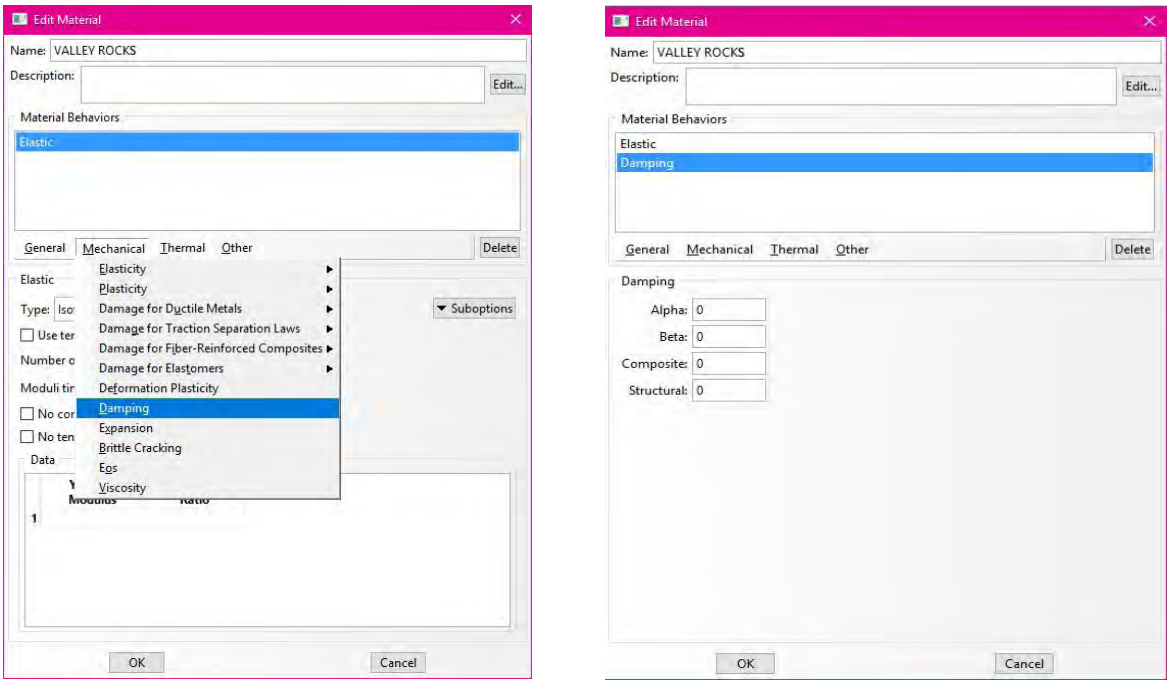
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣΗ ΥΛΙΚΟΥ ΠΡΑΝΩΝ (*VALLEY ROCKS MATERIAL*)

Σε πρώτη φάση έγινε ο ορισμός του υλικού των εδαφικών πρανών που αντιστοιχεί στο σώμα των εδαφικών πρανών. Με την εντολή *Create Material*, δίδεται το κατάλληλο όνομα στο υλικό και προσδίνονται το μέτρο ελαστικότητας E και ο λόγος του Poisson ν.



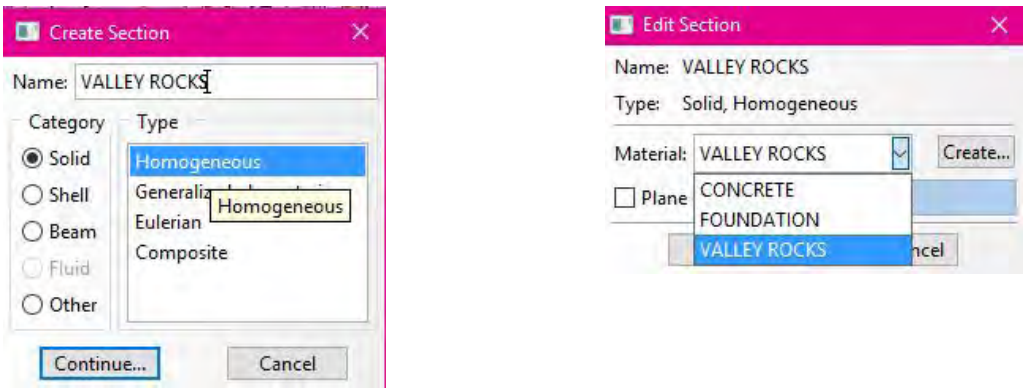
Εικόνα 3.29. *Ορισμός μέτρου ελαστικότητας E και λόγου Poisson ν υλικού πρανών.*



Εικόνα 3.30. *Ορισμός συντελεστών απόσβεσης Rayleigh υλικού πρανών.*

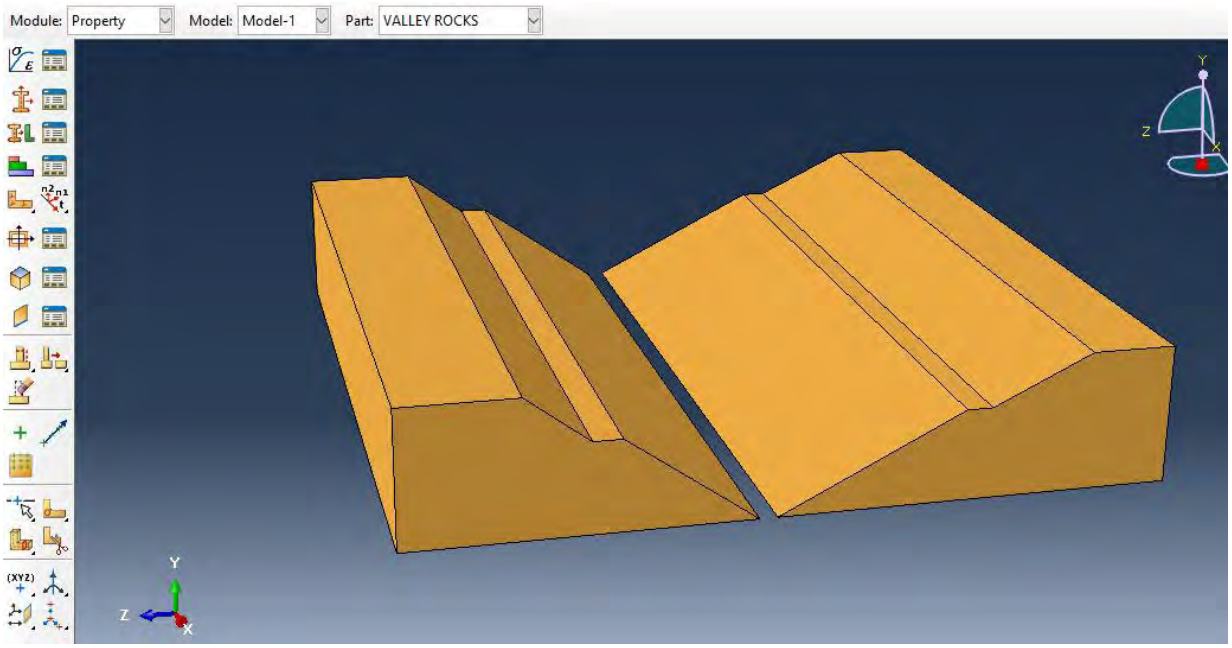
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Σε δεύτερη φάση δημιουργήθηκε η αντίστοιχη γενικευμένη διατομή των πρανών, στην οποία αντιστοιχήθηκε το υλικό των εδαφικών πρανών. Αυτό πραγματοποιήθηκε με την εντολή *Create Section*. Η γενικευμένη διατομή θεωρήθηκε ομογενής (αποτελείται δηλαδή από ένα και μόνο υλικό).



Εικόνα 3.31. *Δημιουργία γενικευμένης διατομής πρανών.*

Σε τρίτη φάση, αντιστοιχήθηκε η γενικευμένη διατομή στο σώμα των πρανών με την εντολή *Assign Section*, το οποίο απέκτησε τις ιδιότητες του υλικού των πρανών που ορίστηκε προηγουμένως.



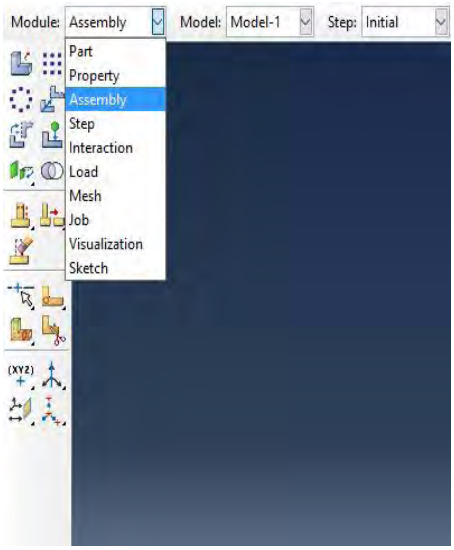
Εικόνα 3.32. *Αντιστοίχιση γενικευμένης διατομής πρανών στα εδαφικά πρανή.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Στο σημείο αυτό ολοκληρώθηκε και η αντιστοίχιση των υλικών στα γεωμετρικά σώματα του μοντέλου. Τα σώματα (*Parts*) έχουν δημιουργηθεί ανεξάρτητα το ένα από το άλλο στο *Abaqus*, και δεν υπάρχει καμία σχέση ή σύνδεση μεταξύ τους. Αντικείμενο της εργασίας είναι η μελέτη μιας κοιλάδας στην οποία κατασκευάζεται ένα φράγμα. Συνεπώς, ως επόμενο βήμα πρέπει να επιλεγούν τα σώματα που έχουν δημιουργηθεί και να συγκεντρωθούν στο τελικό μοντέλο στο οποίο και θα σχηματίζεται η κοιλάδα με το φράγμα, το οποίο και θα οδηγηθεί στην επίλυση. Αυτή η διαδικασία θα πραγματοποιηθεί στο βήμα του ***Assembly Modulus***.

3.2.2.1.3. Συγκέντρωση ανεξαρτήτων σωμάτων σε ένα μοντέλο (*Assembly Modulus*)

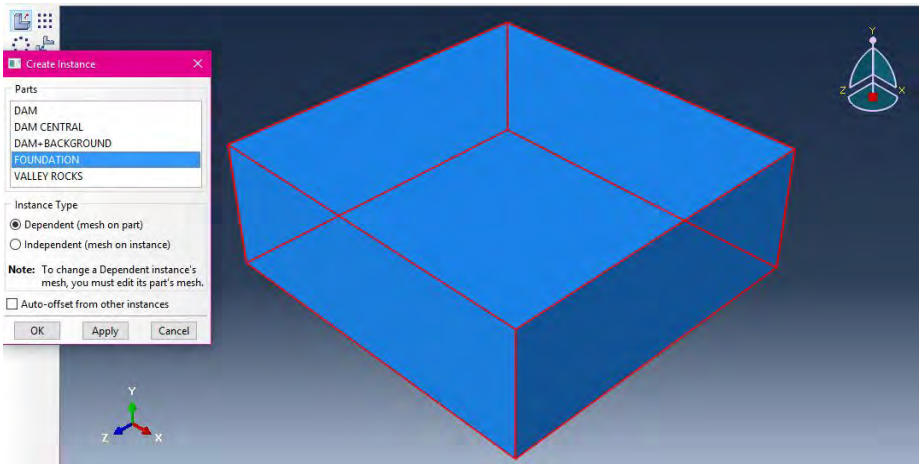
Στο βήμα αυτό επιλέγονται τα ανεξάρτητα μεταξύ τους σώματα (*Parts*) που έχουν δημιουργηθεί σε προηγούμενο βήμα και συγκεντρώνονται σε ένα κοινό μοντέλο, στο οποίο θα σχηματίζεται το σύνολο της κοιλάδας μαζί με το σώμα του φράγματος.



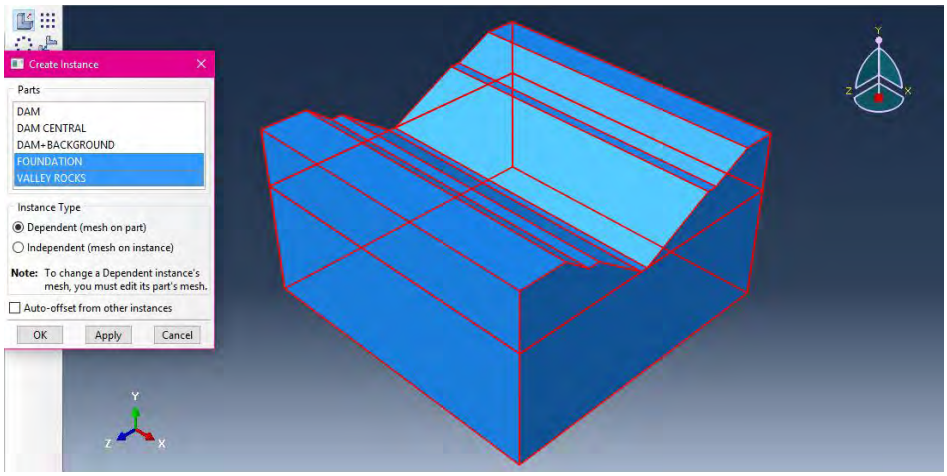
Εικόνα 3.33. *Συγκέντρωση ανεξαρτήτων σωμάτων σε κοινό μοντέλο (Assembly Modulus).*

Η επιλογή και η μεταφορά ενός ανεξάρτητου σώματος σε κοινό μοντέλο προκαλεί μια μεταβολή στο σώμα (*part*) σε οντότητα (*instance*). Η κάθε οντότητα ενδέχεται να είναι εξαρτημένη (*dependent*) ή ανεξάρτητη (*independent*). Σε μια εξαρτημένη οντότητα, υπάρχει η δυνατότητα να εισαχθεί κάνναβος στο βήμα του part, όταν δηλαδή έχει δημιουργηθεί το γεωμετρικό σώμα, και με ενδεχόμενη αλλαγή του καννάβου (*mesh*) να αλλάζει αυτομάτως και στο βήμα του *assembly*. Αντίθετα, σε μια ανεξάρτητη οντότητα, ο κάνναβος είναι δυνατόν να εισαχθεί μονάχα στο βήμα του *assembly*. Αυτό προκαλεί αρκετούς περιορισμούς και δυσκολίες στην επιλογή του κατάλληλου καννάβου, διότι παύει να υπάρχει η επιλογή του ανεξάρτητου ορισμού καννάβου σε κάθε *part* ξεχωριστά, το οποίο ενδεχομένως να ήταν περισσότερο εύκολο και εφικτό. Συνεπώς, για το συγκεκριμένο θέμα, έγινε θεώρηση εξαρτημένων οντοτήτων (*dependent instances*).

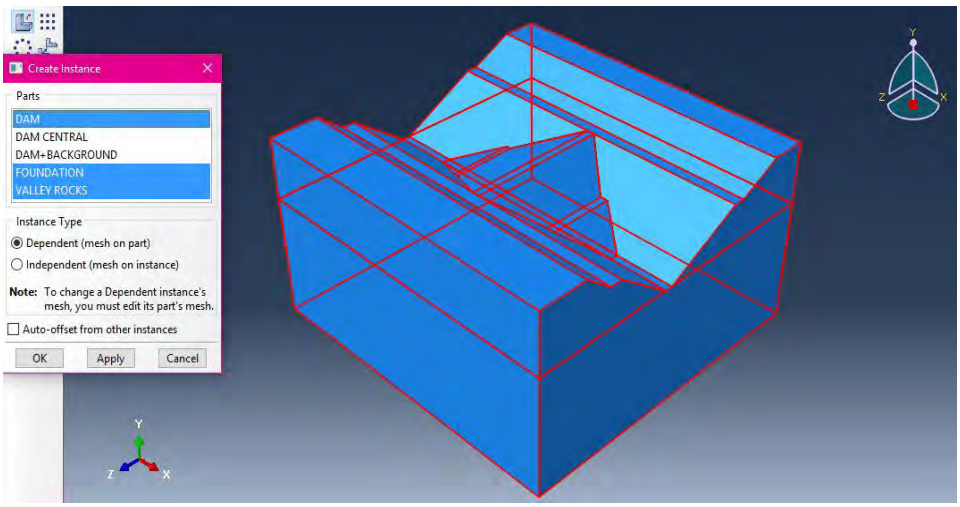
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



Εικόνα 3.34. *Εισαγωγή υπεδάφους στο κοινό μοντέλο.*



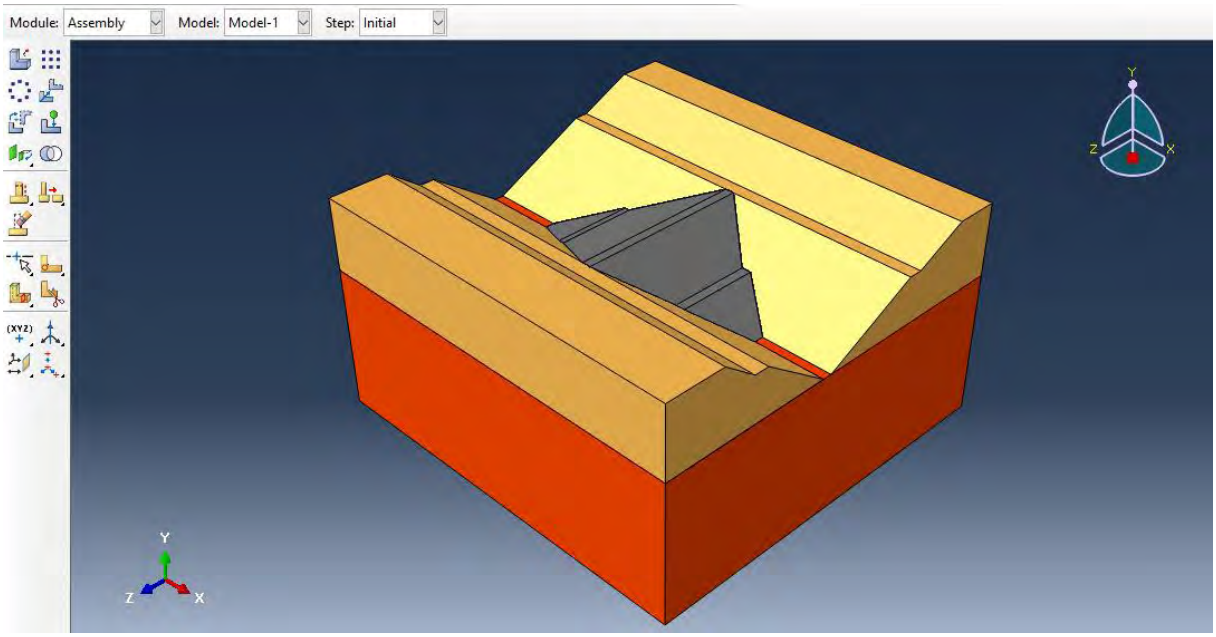
Εικόνα 3.35. *Εισαγωγή πρανών στο κοινό μοντέλο.*



Εικόνα 3.36. *Εισαγωγή φράγματος στο κοινό μοντέλο.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Μετά τη συγκέντρωση των τριών τμημάτων του μοντέλου, προκύπτει το τελικό μοντέλο κοιλάδας – φράγματος.



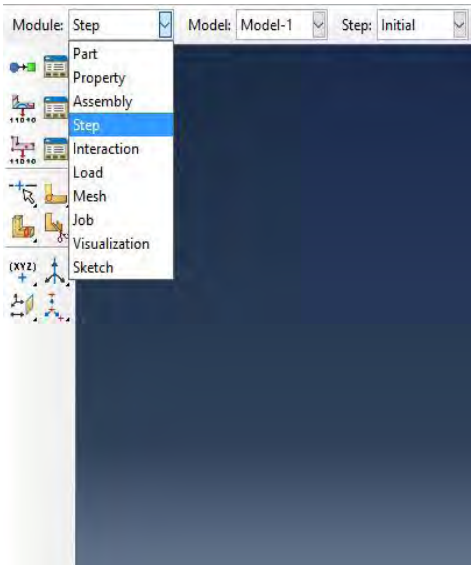
Εικόνα 3.37. *Τελικό μοντέλο κοιλάδας – φράγματος.*

Το τελικό μοντέλο κοιλάδας – φράγματος δημιουργήθηκε. Παρ' όλα αυτά, τα τρία τμήματα που το αποτελούν (φράγμα, υπέδαφος, εδαφικά πρανή) δε συνδέονται με κάποιο τρόπο στο τελικό μοντέλο και ειδικότερα για το φράγμα, δεν υπάρχει κάποια έννοια κατασκευής του στην κοιλάδα. Σε επόμενη ενότητα, θα εξηγηθεί ο τρόπος με τον οποίο τα τρία τμήματα θα συνδεθούν μεταξύ τους και με ποιόν τρόπο θα προσομοιωθεί η σταδιακή κατασκευή του φράγματος σε οκτώ φάσεις (οκτώ στρώσεις) εντός της κοιλάδας. Σε αυτό το σημείο, επόμενο βήμα του προβλήματος αποτελεί ο ορισμός των βημάτων και σταδίων επίλυσης (***Step Modulus***).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

3.2.2.1.4. Ορισμός βημάτων και σταδίων επίλυσης (*Step Modulus*)

Σε αυτή τη φάση της μοντελοποίησης, πραγματοποιείται ο ορισμός των σταδίων και των βημάτων, με τα οποία θα γίνει η επίλυση.



Εικόνα 3.38. *Ορισμός βημάτων και σταδίων επίλυσης (Step Modulus).*

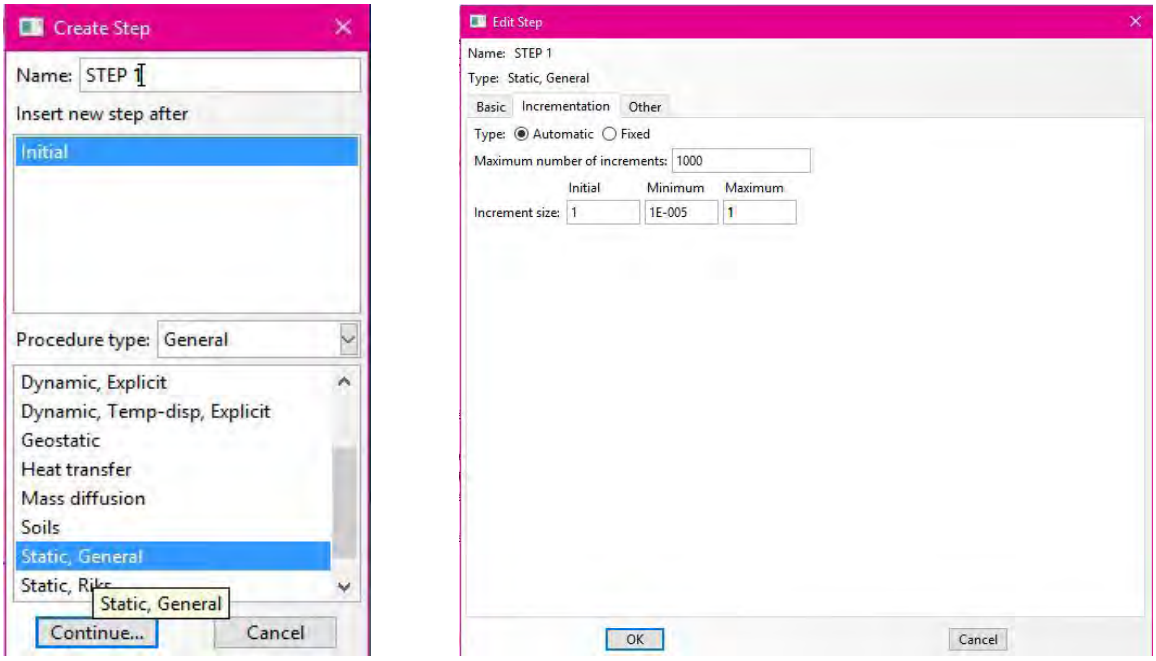
Σημαντικό πριν οριστούν τα ανωτέρω είναι να γίνει γνωστό πως θα επιλυθεί το μοντέλο, υπό ποιες συνθήκες και υπό ποιες φορτίσεις. Κάθε φόρτιση και συνοριακή συνθήκη τοποθετείται σε συγκεκριμένο στάδιο επίλυσης (*step*), στο οποίο δίνεται συγκεκριμένος χαρακτήρας, με γνώμονα το είδος της φόρτισης (π.χ. στατικός, δυναμικός). Για το συγκεκριμένο πρόβλημα, οι φορτίσεις που δρουν στην κοιλάδα είναι (i) το ίδιο βάρος του φράγματος, (ii) η υδροστατική πίεση που ασκείται στην ανάντη πλευρά του φράγματος εξαιτίας πλήρωσης της λεκάνης με νερό και (iii) η σεισμική φόρτιση της κοιλάδας. Συγκεκριμένα για το ίδιο βάρος του φράγματος, επειδή αποφασίστηκε να προσομοιωθεί σταδιακή κατασκευή σε οκτώ φάσεις, οι φορτίσεις του βάρους θα τοποθετηθούν σταδιακά, από την πρώτη έως την τελευταία. Συνεπώς, θα δημιουργηθούν εννιά στάδια επίλυσης στατικού τύπου κι ένα δέκατο στάδιο επίλυσης δυναμικού τύπου.

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΡΩΤΟΥ – ΟΓΔΟΟΥ ΣΤΑΔΙΟΥ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (STEP 1 – 8)

Η προσομοίωση της σταδιακής κατασκευής του φράγματος θα πραγματοποιηθεί σε οκτώ φάσεις, στις οποίες θα δημιουργείται αρχικά η πρώτη στρώση του φράγματος και σταδιακά θα "χτίζονται" μία μία οι επόμενες. Συνεπώς, τα ίδια βάρη των στρώσεων θα ασκούνται τμηματικά. Για την περίπτωση αυτή, με την εντολή *Create Step* θα δημιουργηθούν οκτώ στάδια επίλυσης στατικού τύπου (*Static,General*), σε κάθε μία από τις οποίες θα τοποθετηθεί το ίδιο βάρος της κάθε στρώσης, όπως θα αναλυθεί σε επόμενη ενότητα. Επιλέγεται να γίνει

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Γραμμική Ανάλυση (*Linear Analysis*). Το φορτίο του βάρους ασκείται απευθείας σε ένα βήμα.

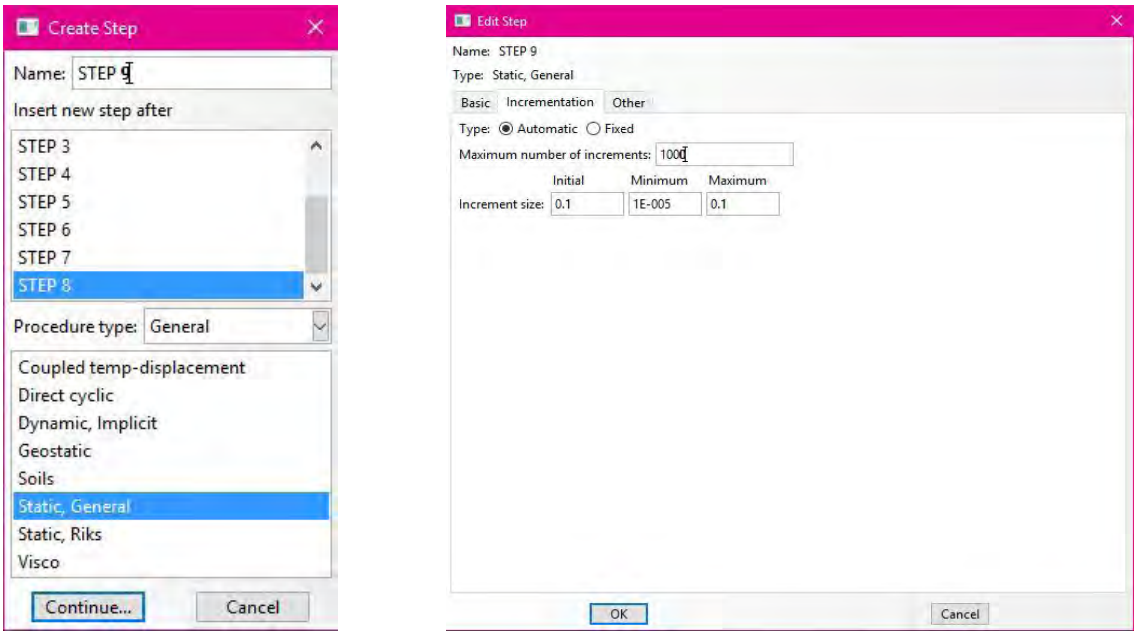


Εικόνα 3.39. *Δημιουργία σταδίου επίλυσης με άσκηση του ίδιου βάρους κάθε στρώσης του φράγματος.*

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΝΑΤΟΥ ΣΤΑΔΙΟΥ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (STEP 9)

Η λεκάνη που δημιουργείται πληρώνεται με νερό. Συνεπώς, στην ανάντη πλευρά του φράγματος ασκείται η υδροστατική πίεση. Μετά την εφαρμογή λοιπόν των ίδιων βαρών των στρώσεων του φράγματος, ακολουθεί η άσκηση της υδροστατικής πίεσης στο φράγμα. Αυτό θα πραγματοποιηθεί με ένα ένατο στάδιο επίλυσης, στο οποίο θα τοποθετηθεί το φορτίο της υδροστατικής πίεσης. Για να γίνει λοιπόν αυτό, με την εντολή *Create Step* όπως έγινε και προηγουμένως, θα δημιουργηθεί ένα ένατο στάδιο επίλυσης, επίσης στατικού τύπου (*Static,General*), στο οποίο θα ενσωματωθεί το φορτίο της πίεσης, όπως θα αναλυθεί παρακάτω. Επιλέγεται να γίνει Γραμμική Ανάλυση (*Linear Analysis*). Το φορτίο της πίεσης επιλέγεται να ασκηθεί σε δέκα υποστάδια (*increments*).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



Εικόνα 3.40. *Δημιουργία σταδίου επίλυσης με άσκηση του φορτίου της υδροστατικής στην ανάντη πλευρά του φράγματος.*

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΔΕΚΑΤΟΥ ΣΤΑΔΙΟΥ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (STEP 10)

Μετά την πλήρωση της λεκάνης με νερό, θεωρείται ότι στην κοιλάδα επιβάλλεται σεισμική διέγερση, έντασης M = 6.5 R (*Richter*). Η σεισμική φόρτιση, σε αντίθεση με το ίδιο βάρος και την υδροστατική πίεση, είναι δυναμική φόρτιση. Δημιουργείται συνεπώς ένα δέκατο στάδιο επίλυσης δυναμικού τύπου (*Dynamic, Implicit*), με την εντολή *Create Step*, στο οποίο θα τοποθετηθεί η σεισμική φόρτιση. Επιλέγεται να πραγματοποιηθεί στο στάδιο αυτό Μη Γραμμική Ανάλυση (*Non Linear Analysis*). Επειδή ο σεισμός είναι ένα αρκετά πολύπλοκο φαινόμενο κι επειδή η προσομοίωσή του και η επίλυσή του στο *Abaqus* πρέπει να αποτυπώνει με λεπτομέρεια κάθε φάση με σχετική ακρίβεια, το χρονικό βήμα της επίλυσης πρέπει να είναι πολύ μικρό, ώστε να επιτυγχάνεται ικανοποιητική σύγκλιση των αποτελεσμάτων ανάμεσα σε δύο υποβήματα. Συνεπώς, το βήμα της επίλυσης ορίζεται ίσο με 0.02 sec. Επίσης, επειδή υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να υπάρξουν αποκλίσεις κατά τη διάρκεια της επίλυσης, ορίζεται ως συντελεστής ανοχής (*Tolerance value*) ίσος με 10^7. Τέλος, ορίζεται μεγάλος συνολικός αριθμός βημάτων επίλυσης (*Maximum number of increments*), ίσος με 5000 βήματα, για να καλυφθεί με επάρκεια το φαινόμενο του σεισμού. [12], [13], [14]

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Συνολικά λοιπόν, το μοντέλο θα επιλυθεί στα εξής παρακάτω στάδια επίλυσης:

- STEP 1 (DAM CONSTRUCTION STAGE 1) – ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ 1ης ΣΤΡΩΣΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ
- STEP 2 (DAM CONSTRUCTION STAGE 2) – ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ 2ης ΣΤΡΩΣΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ
- STEP 3 (DAM CONSTRUCTION STAGE 3) – ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ 3ης ΣΤΡΩΣΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ
- STEP 4 (DAM CONSTRUCTION STAGE 4) – ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ 4ης ΣΤΡΩΣΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ
- STEP 5 (DAM CONSTRUCTION STAGE 5) – ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ 5ης ΣΤΡΩΣΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ
- STEP 6 (DAM CONSTRUCTION STAGE 6) – ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ 6ης ΣΤΡΩΣΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ
- STEP 7 (DAM CONSTRUCTION STAGE 7) – ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ 7ης ΣΤΡΩΣΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ
- STEP 8 (DAM CONSTRUCTION STAGE 8) – ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ 8ης ΣΤΡΩΣΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ
- STEP 9 (HYDROSTATIC PRESSURE STAGE) – ΠΛΗΡΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕ ΝΕΡΟ
- STEP 10 (SEISMIC STAGE) – ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΤΗΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ

3.2.2.1.5. Αλληλεπίδραση μεταξύ των σωμάτων του τελικού μοντέλου (*Interaction Modulus*)

Στο βήμα του *Assembly* δημιουργήθηκε το τελικό μοντέλο κοιλάδας – φράγματος. Όπως δείχτηκε, ανάμεσα στα τρία ξεχωριστά τμήματα του μοντέλου (φράγμα, υπέδαφος, εδαφικά πρανή) δεν υπήρχε κάποια αλληλεπίδραση ή κάποια συνθήκη επαφής ή σύνδεσης. Στο συγκεκριμένο βήμα του *Interaction* θα οριστεί ο τρόπος με τον οποίο θα συνδεθούν τα τμήματα της κοιλάδας μεταξύ τους και θα γίνει η προσομοίωση της σταδιακής κατασκευής του φράγματος.

Εικόνα 3.41. *Αλληλεπίδραση μεταξύ των τμημάτων της κοιλάδας (Interaction Modulus).*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

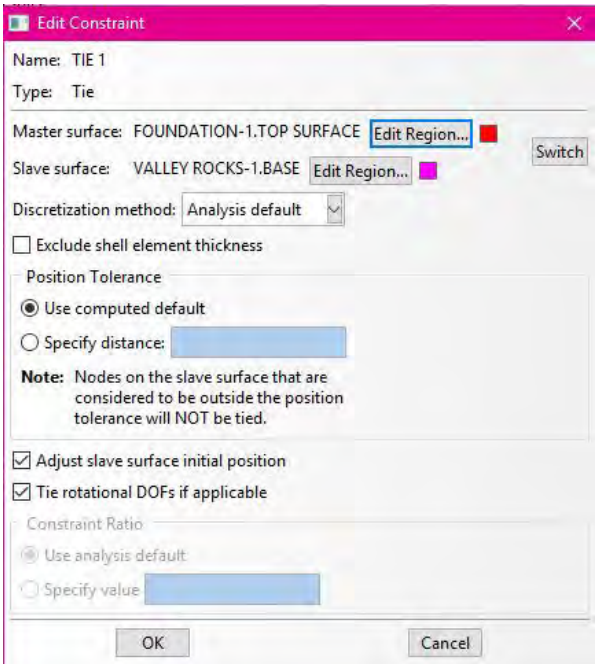
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΑΦΗΣ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Το φράγμα θεμελιώνεται πάνω στο υπέδαφος και στα εδαφικά πρανή της κοιλάδας. Σε πραγματικές συνθήκες, αυτό υποδηλώνει ότι οι διεπιφάνειες φράγματος – υπεδάφους και φράγματος – πρανών λειτουργούν ως διαφράγματα, δηλαδή οι κοινές επιφάνειες που εφάπτονται είναι συνδεδεμένες κατά βάση και δε μετακινούνται η μία ανεξάρτητα από την άλλη, εκτός ακραίως περιπτώσεων, στις οποίες υπάρχει αποκόλληση του εδάφους με το φράγμα και ολίσθηση. Αυτό σημαίνει ότι και στο *Abaqus* είναι δόκιμο να προσομοιωθεί αυτή η σύνδεση. Αυτό επιτυγχάνεται με την επιλογή *Create Constraint* ⇨ *Tie*, με την οποία επιλέγονται δύο επιφάνειες που εφάπτονται και "δένονται" μεταξύ τους, ορίζοντας έτσι ένα διάφραγμα.

Δημιουργούνται τρείς συνδέσεις: (i) Σύνδεση υπεδάφους – πρανών, (ii) σύνδεση φράγματος – πρανών και (iii) σύνδεση φράγματος – υπεδάφους.

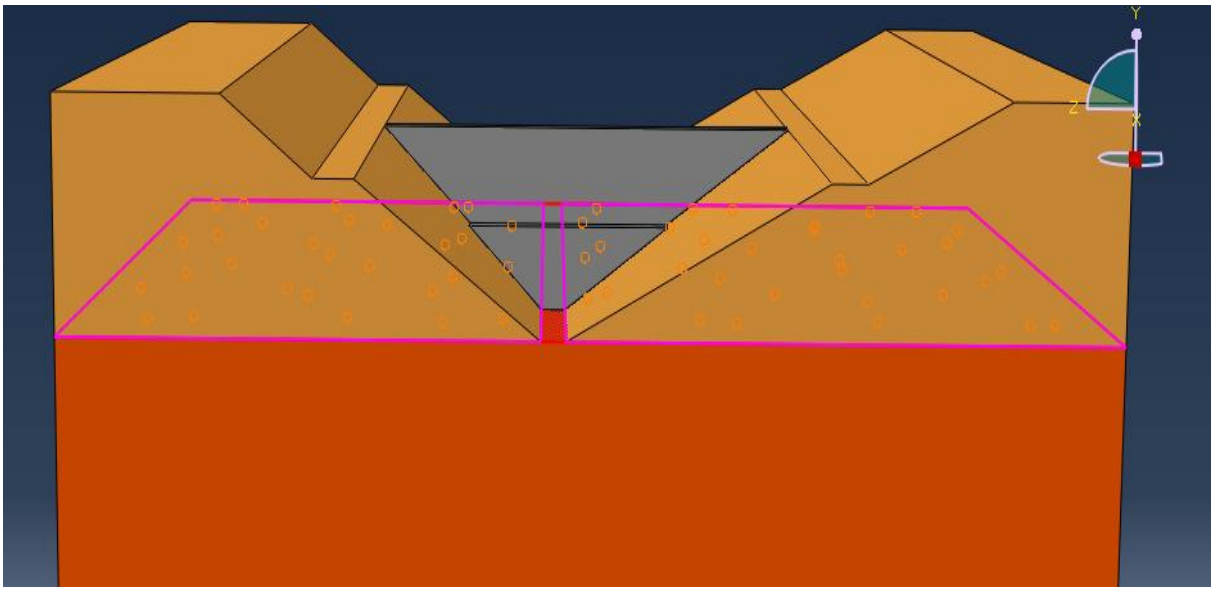
▪ ΣΥΝΔΕΣΗ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ – ΠΡΑΝΩΝ

Επιλέγονται η επάνω επιφάνεια του σώματος του υπεδάφους και η κάτω επιφάνεια του σώματος των εδαφικών πρανών και μεταξύ τους δημιουργείται ένα διάφραγμα που ονομάζεται *Tie 1*.



Εικόνα 3.42. *Δημιουργία επαφής υπεδάφους – πρανών (Tie 1).*

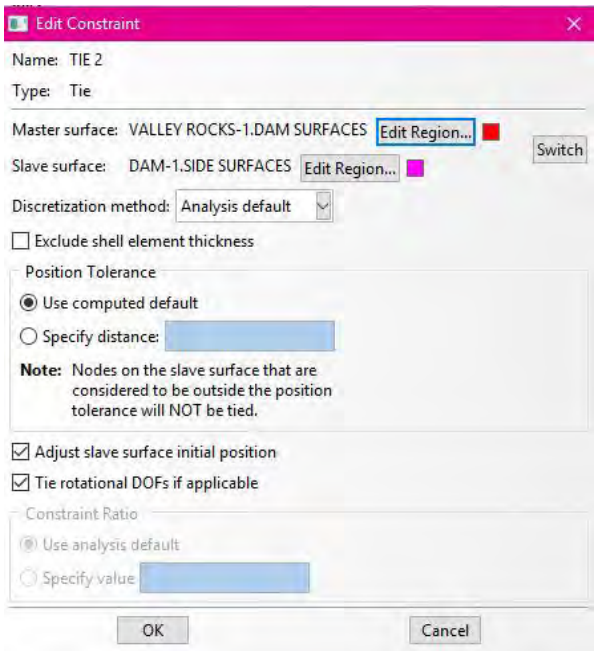
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



Εικόνα 3.43. *Επαφή υπεδάφους – πρανών.*

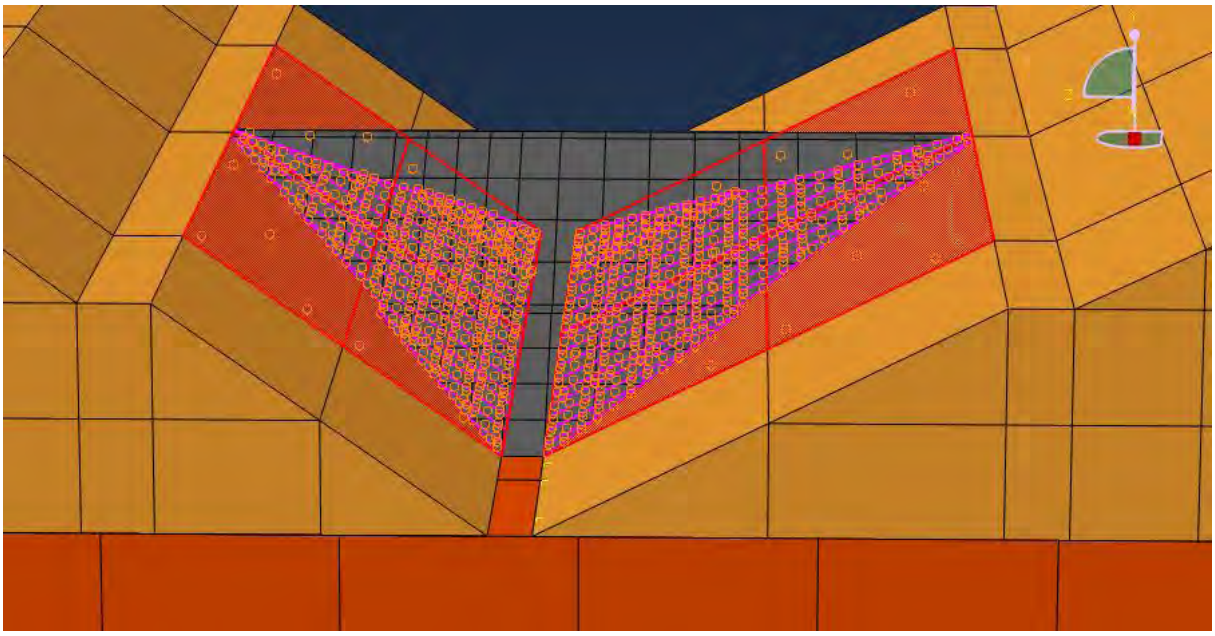
- **ΣΥΝΔΕΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ – ΠΡΑΝΩΝ**

Επιλέγονται οι κεκλιμένες παρειές του φράγματος και οι κεκλιμένες πλευρές των πρανών της και μεταξύ τους δημιουργείται ένα διάφραγμα που ονομάζεται *Tie 2*.



Εικόνα 3.44. *Δημιουργία επαφής φράγματος – πρανών (Tie 2).*

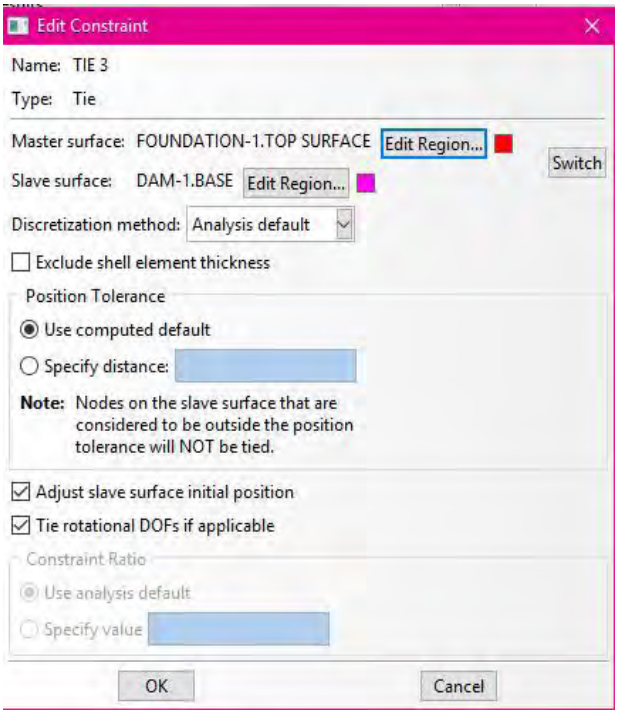
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



Εικόνα 3.45. *Επαφή φράγματος – πρανών.*

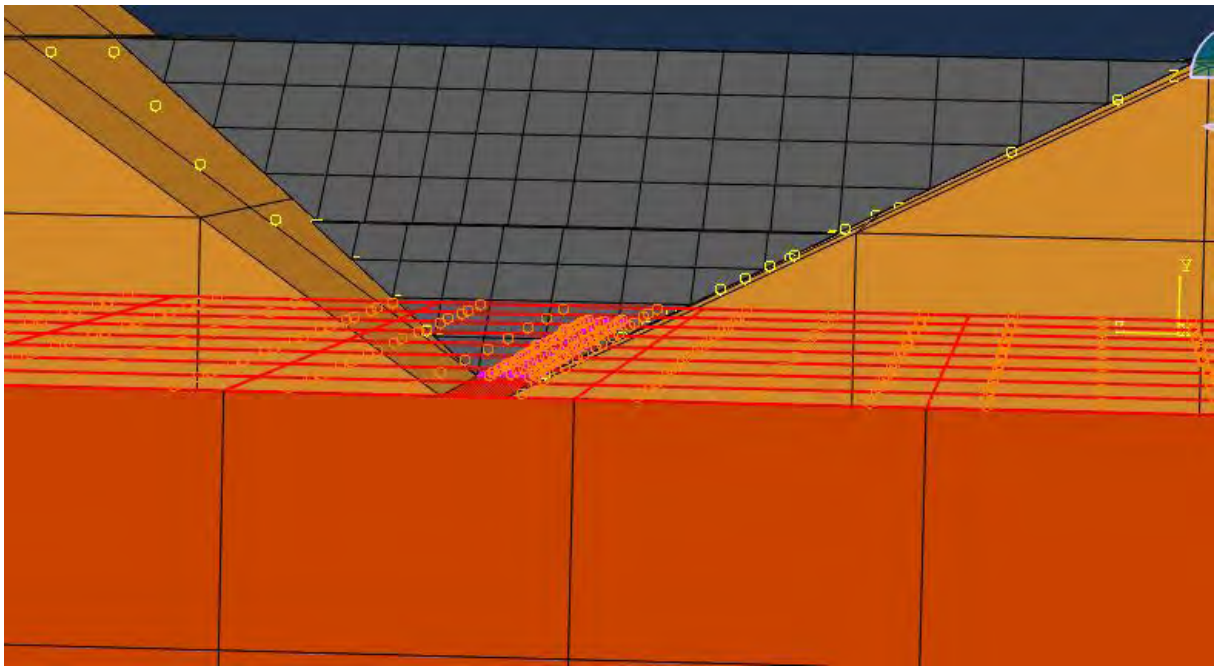
▪ ΣΥΝΔΕΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ – ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ

Επιλέγεται η βάση του φράγματος και η επάνω επιφάνεια του υπεδάφους και μεταξύ τους δημιουργείται ένα διάφραγμα που ονομάζεται *Tie 3*.



Εικόνα 3.46. *Δημιουργία επαφής φράγματος – υπεδάφους (Tie 3).*

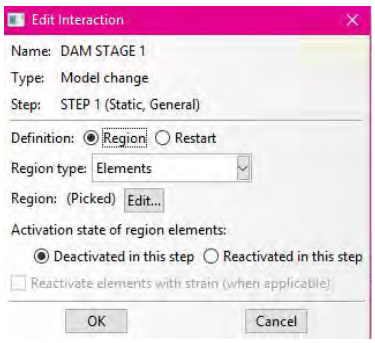
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

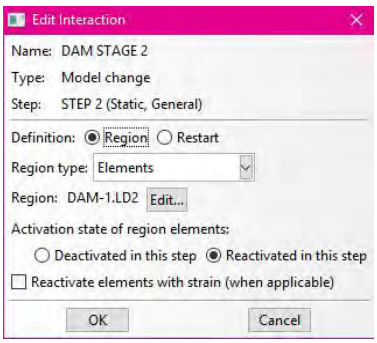


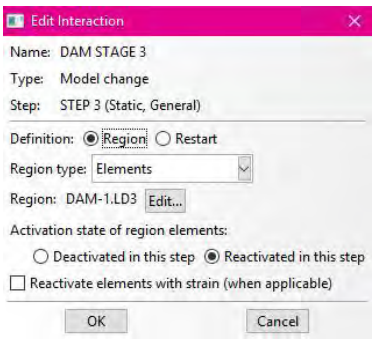
Εικόνα 3.47. *Επαφή φράγματος – υπεδάφους.*

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΑΔΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

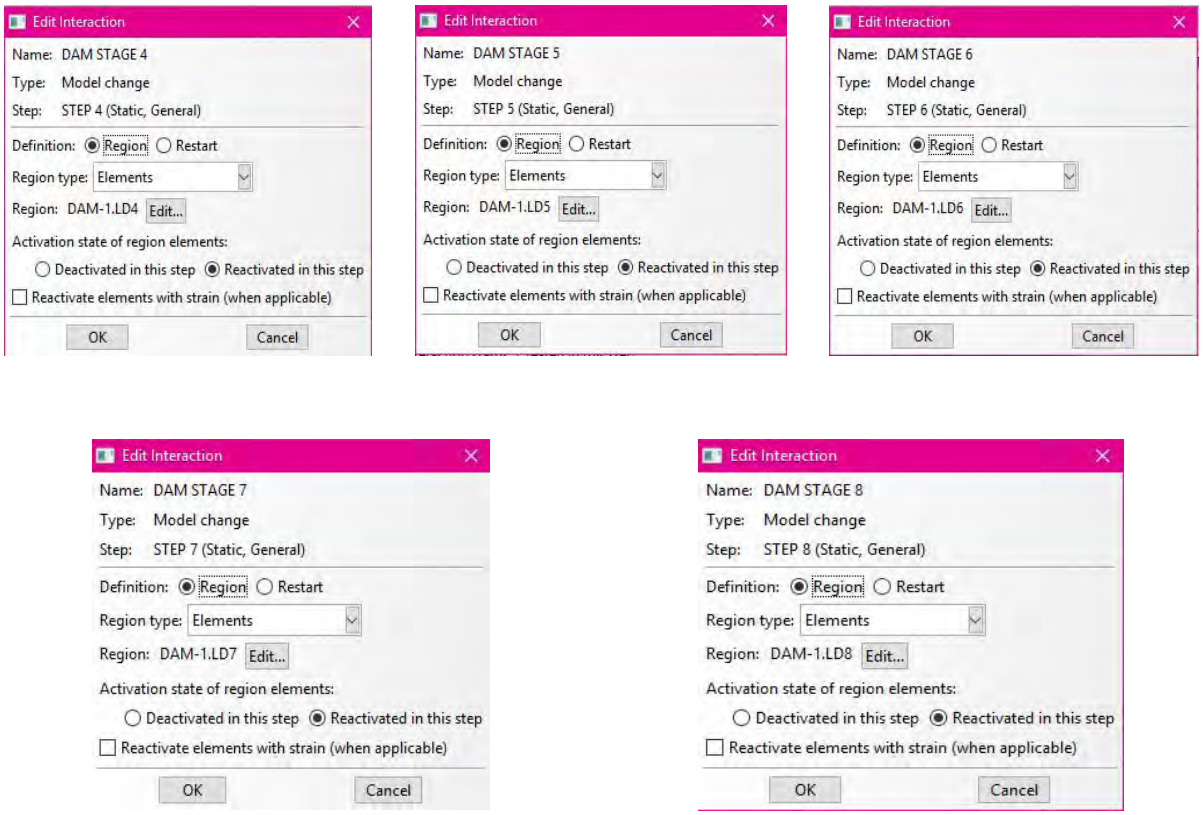
Όπως έχει προαναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα, το φράγμα στην πραγματικότητα κατασκευάζεται σταδιακά, σε πολλές στρώσεις, και όχι απευθείας ως ένα σώμα. Αυτή η κατάσταση θα προσομοιωθεί στο *Abaqus*, με αποτέλεσμα να έχει ρεαλιστικό χαρακτήρα, καθώς θα γίνει εμφανές σε επόμενο κεφάλαιο ότι η στέψη του φράγματος δεν θα υφίσταται καθιζήσεις. Η προσομοίωση της σταδιακής κατασκευής του φράγματος θα γίνει σε οκτώ στάδια, με την εντολή *Create Interaction* ⟹ *Model change*. Στο *Step 1* ουσιαστικά διατηρείται μόνο η πρώτη στρώση του φράγματος και απενεργοποιούνται όλες οι υπόλοιπες και όσο προχωρούν τα στάδια επίλυσης ίδιου βάρους (*Steps 2 – 8*) σε κάθε *step* ενεργοποιείται και τοποθετείται η αντίστοιχη στρώση του φράγματος.







Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

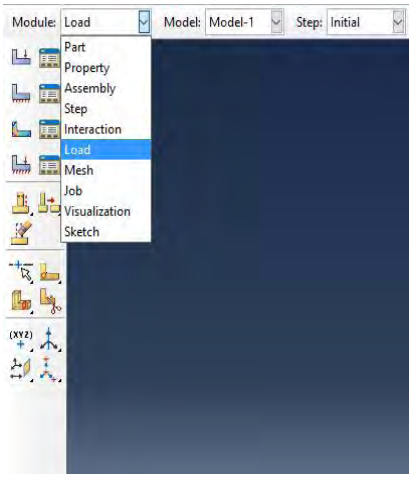


Εικόνα 3.48. *Σταδιακή κατασκευή φράγματος.*

Στο επόμενο βήμα θα τοποθετηθούν οι φορτίσεις και οι συνοριακές συνθήκες στο μοντέλο.

3.2.2.1.6. Εισαγωγή φορτίσεων και συνοριακών συνθηκών (*Load Modulus*)

Στο συγκεκριμένο βήμα θα οριστούν οι φορτίσεις που δρουν στο μοντέλο και οι συνοριακές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή μελέτης.



Εικόνα 3.49. *Εισαγωγή φορτίσεων και συνοριακών συνθηκών (Load Modulus).*

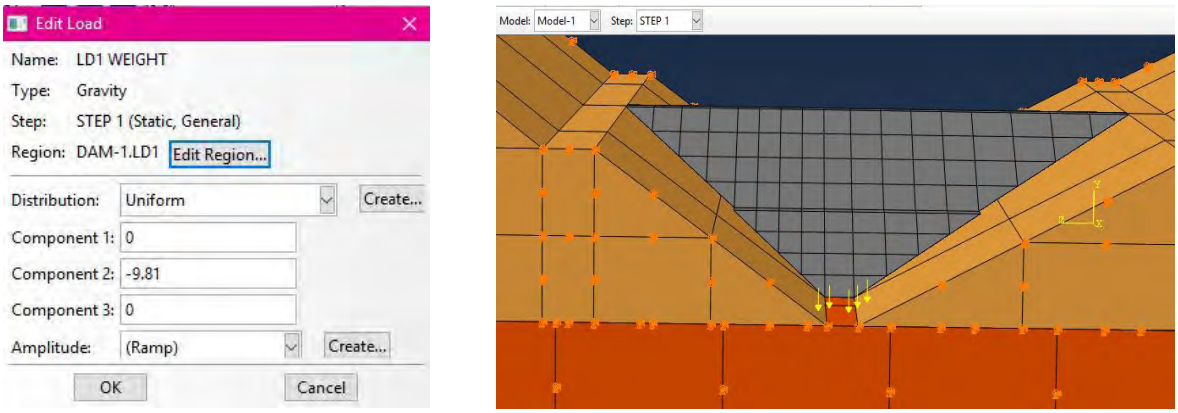
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Στη συνέχεια θα δοθούν αναλυτικά οι φορτίσεις και οι συνοριακές συνθήκες που εισάγονται στο μοντέλο.

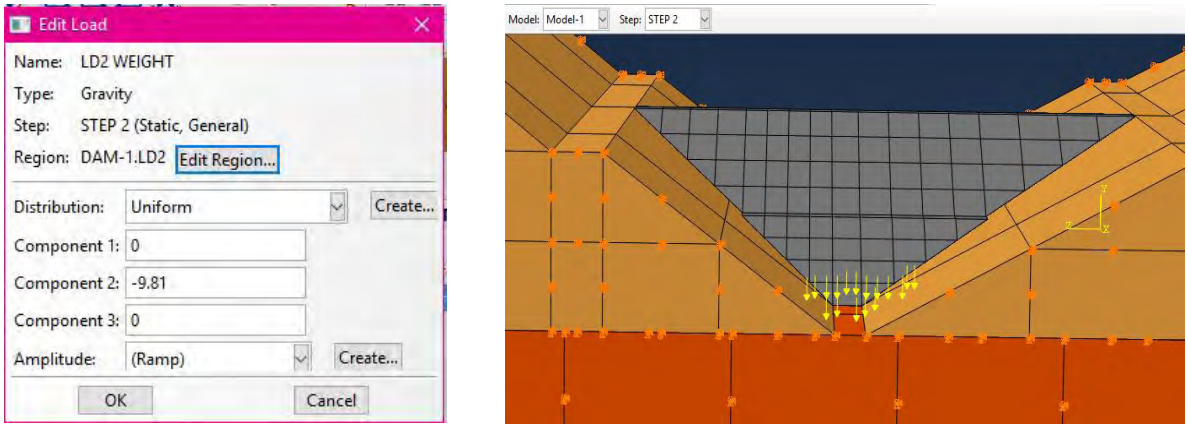
ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ (LOADS)

▪ ΙΔΙΟΝ ΒΑΡΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, το ίδιο βάρος τοποθετείται τμηματικά σε κάθε στρώση του φράγματος, στα αντίστοιχα *steps* που έχουν ήδη δημιουργηθεί (*Step 1 – Step 8*), με σκοπό κατά τη διάρκεια της σταδιακής κατασκευής του φράγματος το βάρος να ασκείται σταδιακά στην κοιλάδα. Με την εντολή *Create Load*, εισάγεται σε κάθε στάδιο επίλυσης ίδιου βάρους φόρτιση βαρύτητας (*Gravity*), εισάγοντας την τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας g = 9.81 m/sec^2 (*Component 2*).

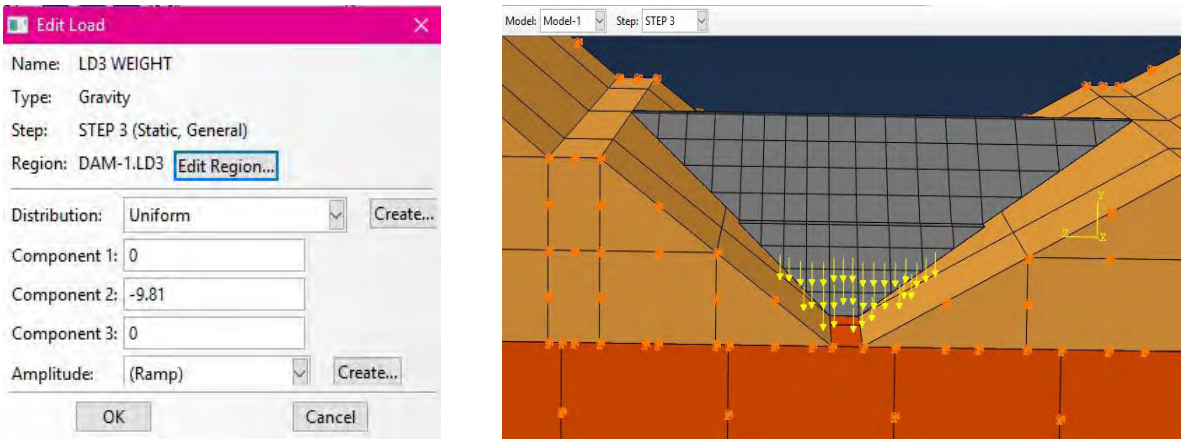


Εικόνα 3.50. *Εισαγωγή ίδιου βάρους στην 1η στρώση του φράγματος.*

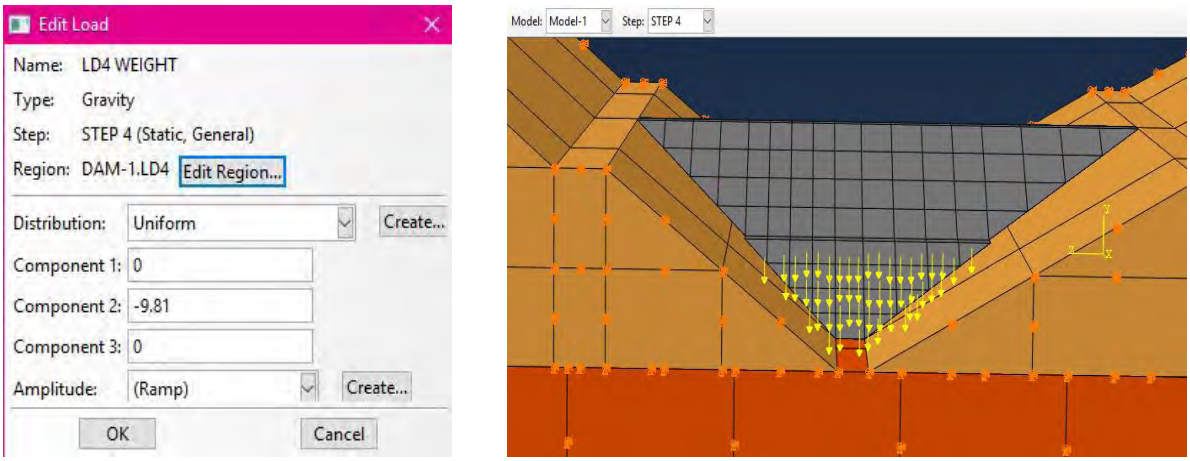


Εικόνα 3.51. *Εισαγωγή ίδιου βάρους στην 2η στρώση του φράγματος.*

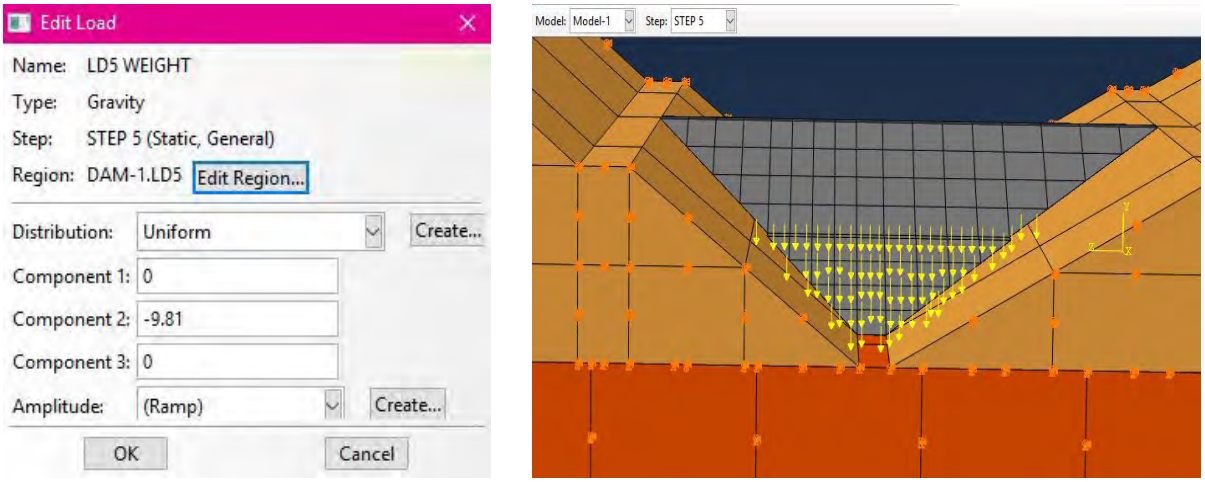
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



Εικόνα 3.52. *Εισαγωγή ίδιου βάρους στην 3η στρώση του φράγματος.*

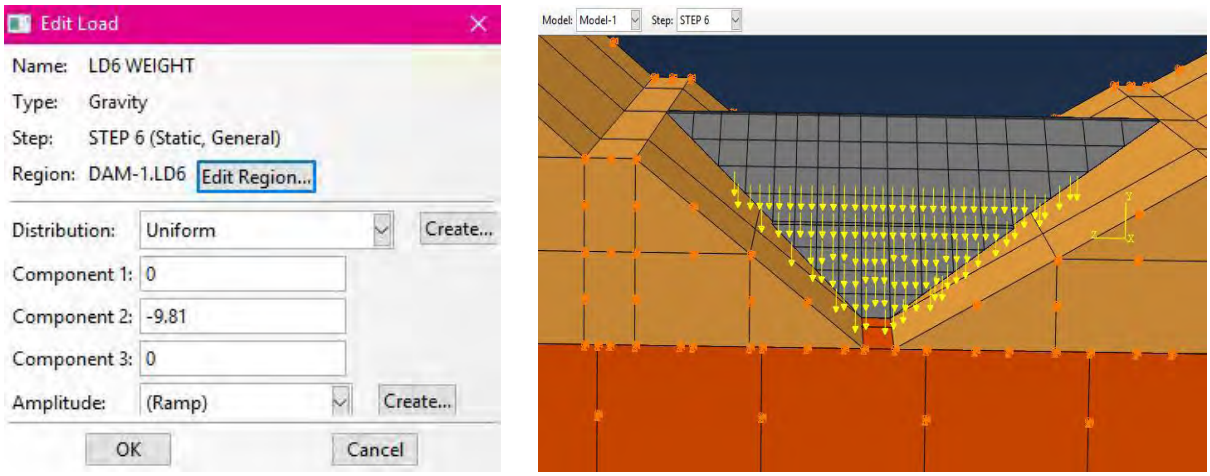


Εικόνα 3.53. *Εισαγωγή ίδιου βάρους στην 4η στρώση του φράγματος.*

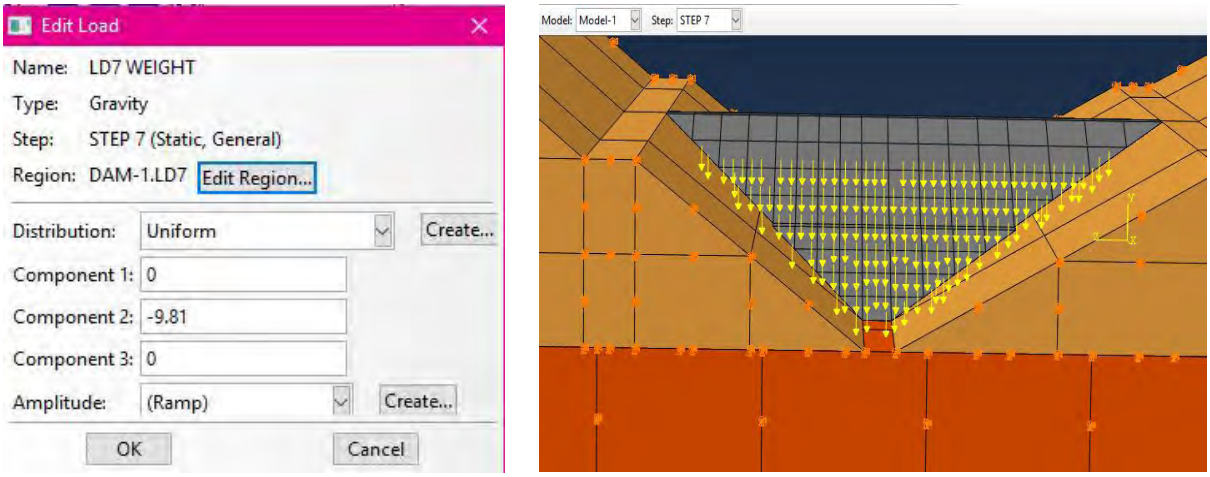


Εικόνα 3.54. *Εισαγωγή ίδιου βάρους στην 5η στρώση του φράγματος.*

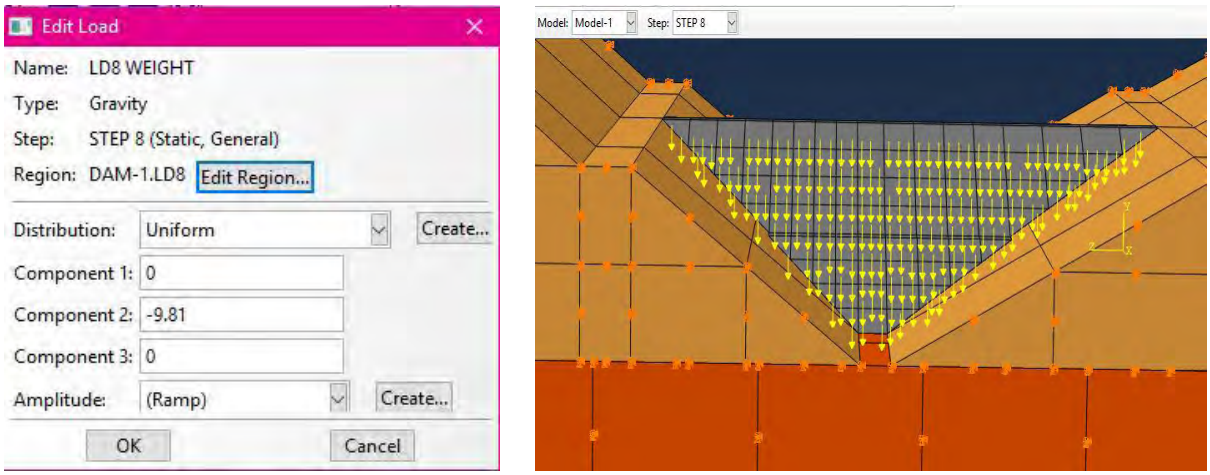
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



Εικόνα 3.55. *Εισαγωγή ίδιου βάρους στην 6η στρώση του φράγματος.*



Εικόνα 3.56. *Εισαγωγή ίδιου βάρους στην 7η στρώση του φράγματος.*

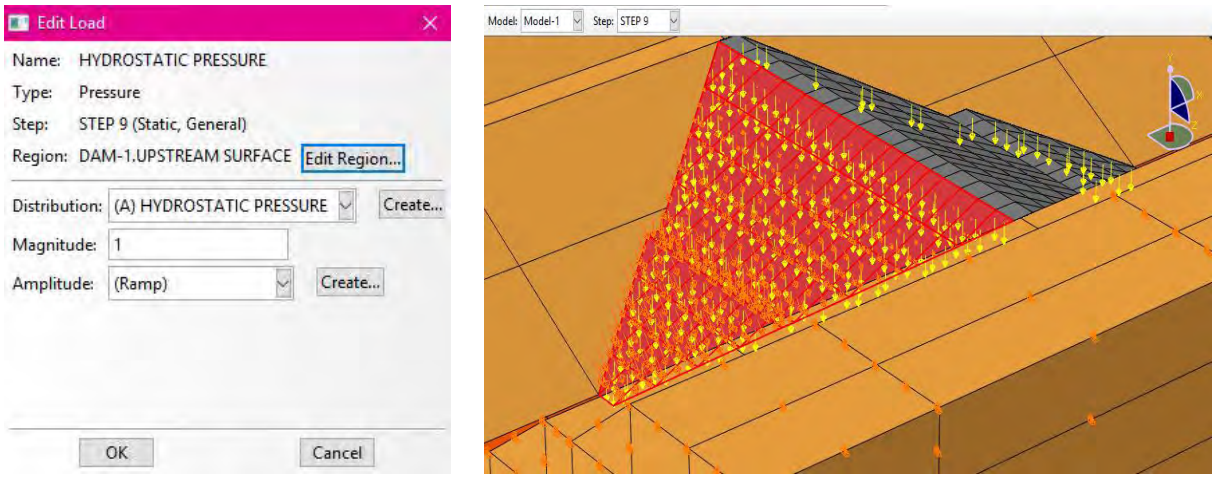


Εικόνα 3.57. *Εισαγωγή ίδιου βάρους στην 8η στρώση του φράγματος.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

▪ Υδροστατικη Πιεση Νερου Στο Φραγμα

Η υδροστατική πίεση που ασκεί το νερό στην ανάντη πλευρά του φράγματος εισάγεται στο *Abaqus* έπειτα από την εφαρμογή του ίδιου βάρους του φράγματος, στο κατάλληλο στάδιο επίλυσης που έχει δημιουργηθεί σε προηγούμενη ενότητα, ήτοι το φορτίο της πίεσης τοποθετείται στο *Step 9*. Με την εντολή *Create Load*, δημιουργείται στατικό φορτίο πίεσης (*Pressure*), το οποίο επιλέγεται να έχει την κατανομή f(Y) = 530 – 10*Y (όπου Y οι συντεταγμένες του κατακόρυφου άξονα Y), δηλαδή υδροστατική κατανομή και τοποθετείται στην ανάντη πλευρά του φράγματος, όπως φαίνεται και παρακάτω.

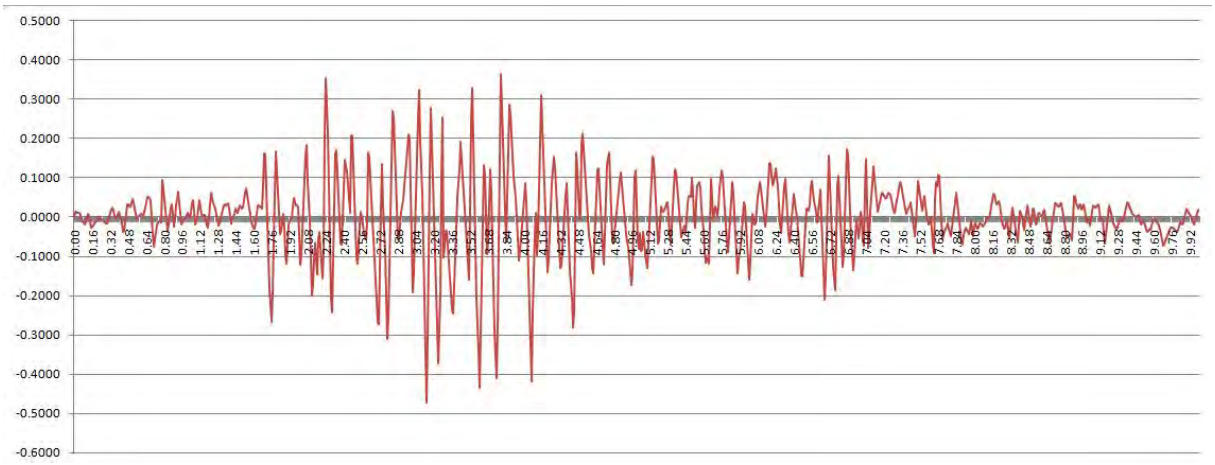


Εικόνα 3.58. *Εισαγωγή υδροστατικής πίεσης στην ανάντη πλευρά του φράγματος.*

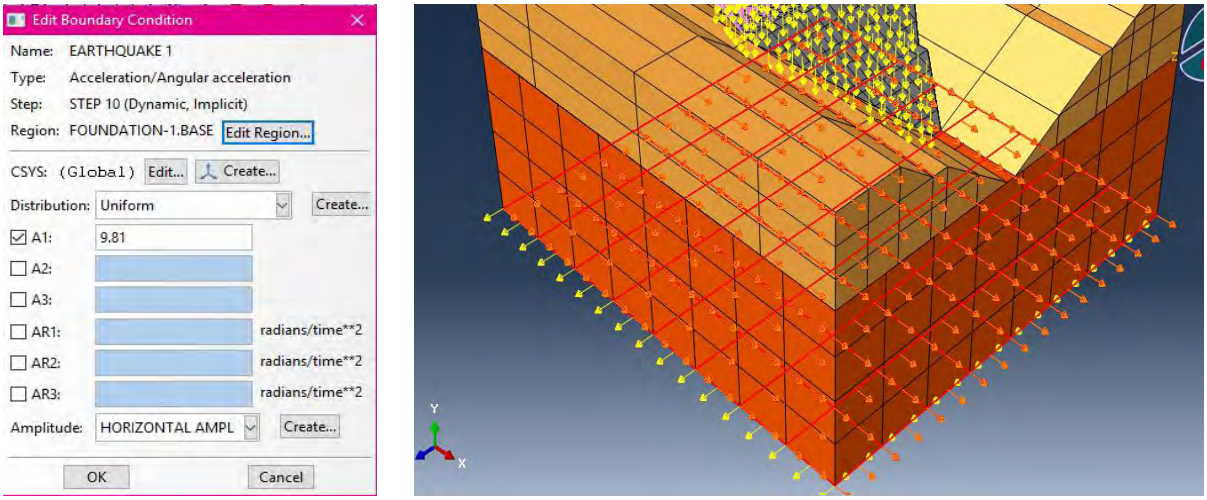
▪ Σεισμικη Φορτιση Κοιλαδας

Μετά την εφαρμογή των στατικών φορτίων, όπως αναλύθηκε στην παρούσα ενότητα, εισάγεται και μία σεισμική διέγερση στην κοιλάδα μελέτης. Η σεισμική διέγερση θα εισαχθεί στο *Abaqus* ως διέγερση της κατώτερης επιφάνειας του μοντέλου με σεισμική επιτάχυνση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, στην βάση του υπεδάφους θα εισαχθεί επιτάχυνση ως συνοριακή συνθήκη με τη μορφή επιταχυνσιογραφήματος, η οποία θα διεγείρει την κοιλάδα σε σεισμό. Η σεισμική φόρτιση θα εισαχθεί στο αντίστοιχο στάδιο ανάλυσης *Step 10* που έχει ήδη δημιουργηθεί σε προηγούμενη ενότητα. Με την επιλογή *Create Boundary Condition* ⇨ *Acceleration / Angular Acceleration* εισάγεται μια επιτάχυνση κατά τις οριζόντιες διευθύνσεις X και Z, στην οποία τίθεται η τιμή g = 9.81 m/sec^2, και στην οποία προσδίδεται η μορφή επιταχυνσιογραφήματος μέσω της εντολής *Amplitude* ⇨ *HORIZONTAL AMPL.* Η εντολή αναφέρεται σε έναν πίνακα τιμών χρόνων – επιταχύνσεων, βασισμένο στο παρακάτω επιταχυνσιογράφημα ([13], [14]).

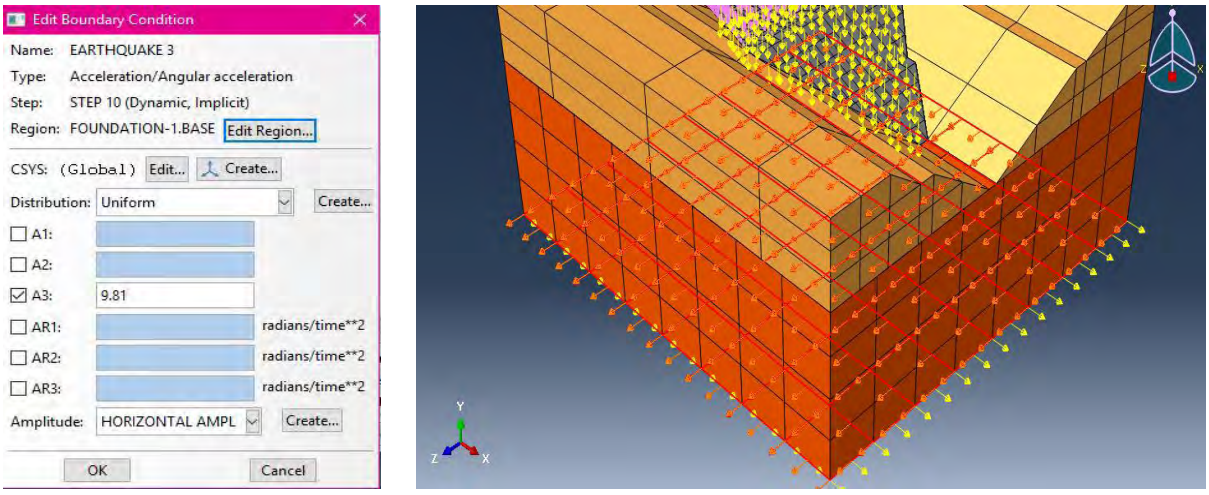
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



Εικόνα 3.59. *Επιταχυνσιογράφημα σεισμού στο φράγμα Κοyna, Ινδία, 11 Δεκεμβρίου 1967.* ([12])



Εικόνα 3.60. *Σεισμική διέγερση κατά τον άξονα X.*



Εικόνα 3.61. *Σεισμική διέγερση κατά τον άξονα Z.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

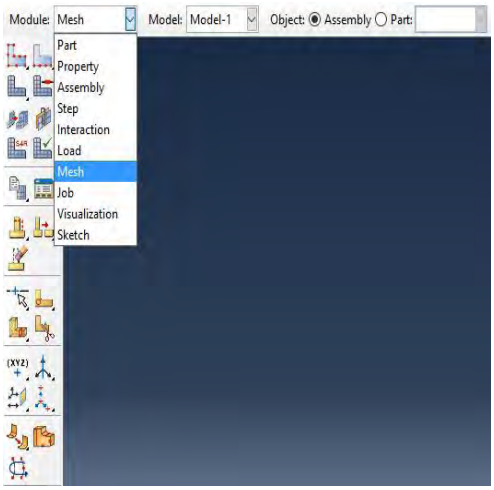
ΣΥΝΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ (BOUNDARY CONDITIONS)

Μετά την εισαγωγή των φορτίσεων ακολουθεί η εισαγωγή των συνοριακών συνθηκών. Το μοντέλο αποτελεί τμήμα μίας ευρύτερης κοιλάδας. Συνεπώς, στις παρειές του μοντέλου θεωρείται ότι δεν υπάρχουν μετακινήσεις σε καμία διεύθυνση ($U_1 = U_2 = U_3 = 0$). Στην περίπτωση του σεισμού, στο τελευταίο στάδιο της επίλυσης, εφόσον τίθεται ενεργή διέγερση κατά τη διεύθυνση των αξόνων X και Z, καταργείται ο περιορισμός μετακίνησης κατά X και Z ($U_1, U_3 \neq 0$) και διατηρείται ο περιορισμός μετακίνησης κατά Y ($U_2 = 0$), κάτι που είναι λογικό, εφόσον πρέπει να επιτρέπονται οι μετακινήσεις κατά X και Z εξαιτίας της κίνησης της κοιλάδας.

Στη συνέχεια, εφόσον ολοκληρώθηκε και η εισαγωγή των φορτίσεων και των συνοριακών συνθηκών στο μοντέλο, ακολουθεί ο καθορισμός του κατάλληλου καννάβου στο μοντέλο.

3.2.2.1.7. Καθορισμός και εισαγωγή καννάβου (*Mesh Modulus*)

Επόμενο και ίσως σημαντικότερο βήμα στη μοντελοποίηση αποτελεί ο καθορισμός του κατάλληλου καννάβου επίλυσης (*mesh*).



Εικόνα 3.62. *Καθορισμός και εισαγωγή καννάβου (Mesh Modulus).*

Ο κάνναβος επίλυσης αποτελεί ένα πλέγμα στερεών στοιχείων, τα οποία διατάσσονται με κατάλληλο τρόπο στο σύνολο των σωμάτων του μοντέλου, έτσι ώστε εντός αυτών να πραγματοποιηθούν οι κατάλληλες διαφορικές εξισώσεις, με τις οποίες θα παραχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Ένας κάνναβος μπορεί να γίνει αραιός, δηλαδή να υπάρχουν λίγα και μεγάλα σε διαστάσεις στοιχεία, κάτι το οποίο μειώνει κατά πολύ τον υπολογιστικό χρόνο της επίλυσης αλλά παρέχει μη ακριβή αποτελέσματα, και πυκνός, δηλαδή να αποτελείται από μικρότερα σε μέγεθος και περισσότερα σε αριθμό στοιχεία, κάτι το οποίο αυξάνει τον υπολογιστικό χρόνο της επίλυσης, αλλά παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Συνεπώς, για κάθε πρόβλημα, αναλόγως τις απαιτήσεις και το μοντέλο, πρέπει να εκλέγεται ο κατάλληλος

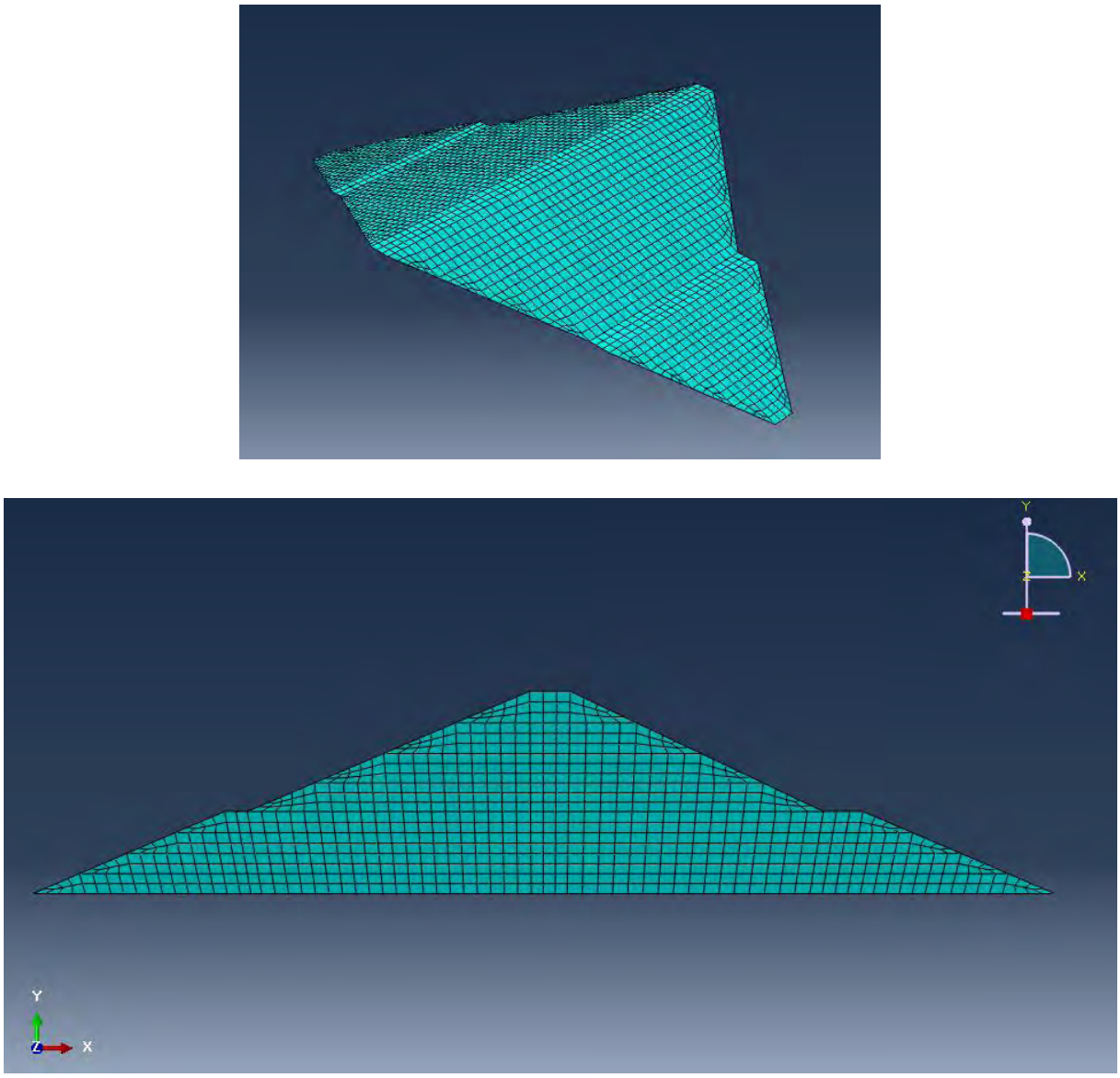
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

κάνναβος, έτσι ώστε και το πέρας της ανάλυσης να έρχεται σε λογικά χρονικά περιθώρια, αλλά και να λαμβάνονται αξιόπιστα αποτελέσματα.

Στο συγκεκριμένο πρόβλημα, εφόσον στο τμήμα του *Assembly* έχει επιλεγεί οι οντότητες (*instances*) που έχουν δημιουργηθεί να είναι εξαρτημένες (*dependent*), θα γίνει καθορισμός κατάλληλου καννάβου σε κάθε ένα σώμα (*part*) ξεχωριστά.

ΚΑΝΝΑΒΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

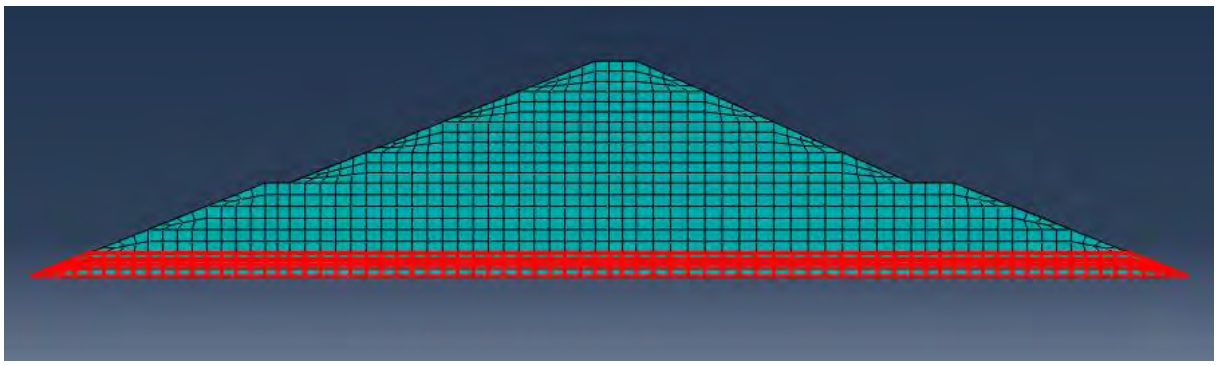
Με την εντολή *Seed Part* καθορίζεται το μέγεθος του κελιού (*cell*) του καννάβου. Στην περίπτωση του φράγματος, επιλέγεται μέγεθος κελιού (*Approximate global size*) ίσο με 4. Με την εντολή *Mesh Part*, σχηματίζεται ο κάνναβος που επιλέχθηκε στο σώμα του φράγματος, όπως φαίνεται και παρακάτω.



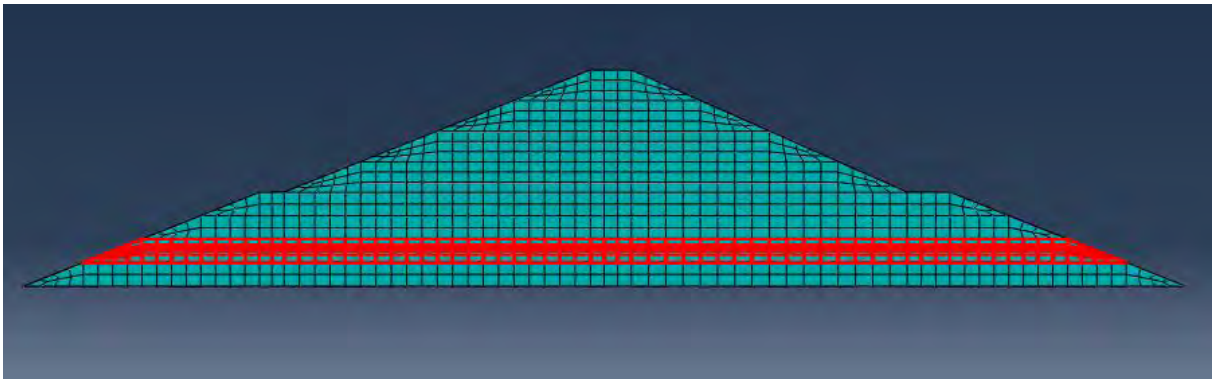
Εικόνα 3.63. *Κάνναβος φράγματος.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

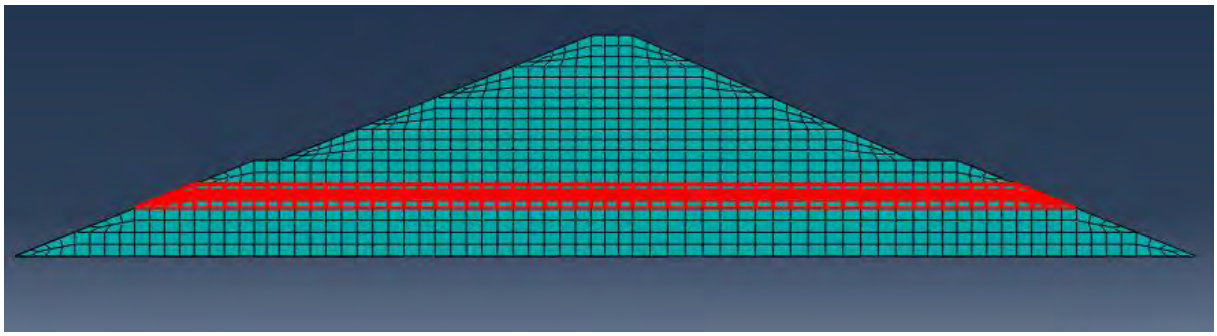
Το φράγμα λοιπόν αποτελείται από 14004 εξαεδρικά οκτάκομβα στοιχεία (*elements*), κατηγορίας *C3D8R* (*3D Stress* τύπου). Οι στρώσεις που ορίστηκαν για την προσομοίωση της σταδιακής κατασκευής δημιουργήθηκαν σε επίπεδο στοιχείων (*element)*, όπως θα φανεί παρακάτω.



Εικόνα 3.64. *Ορισμός 1ης στρώσης φράγματος.*

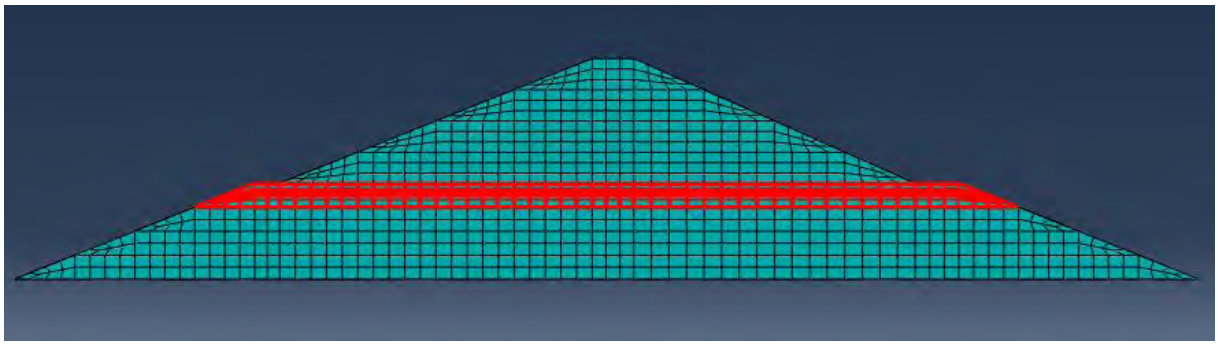


Εικόνα 3.65. *Ορισμός 2ης στρώσης φράγματος.*

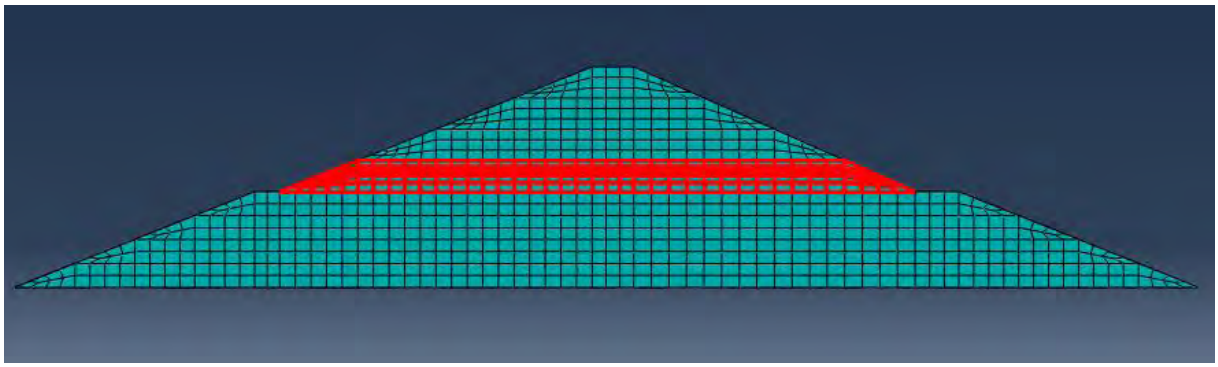


Εικόνα 3.66. *Ορισμός 3ης στρώσης φράγματος.*

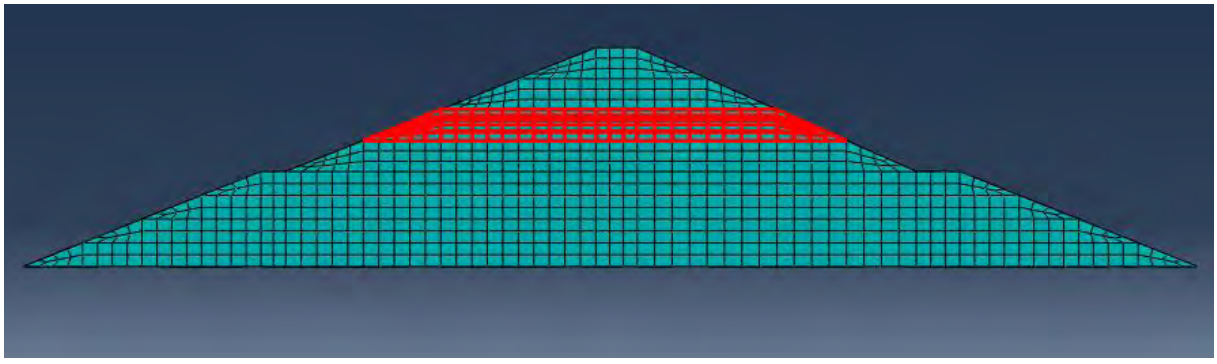
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



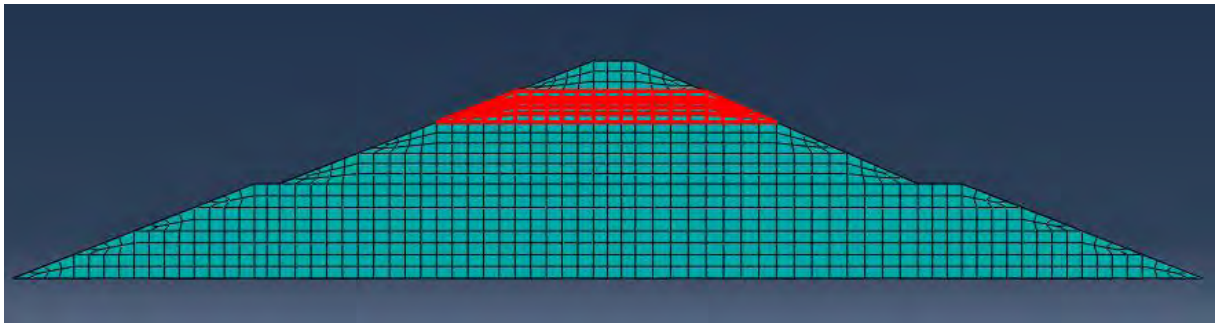
Εικόνα 3.67. *Ορισμός 4ης στρώσης φράγματος.*



Εικόνα 3.68. *Ορισμός 5ης στρώσης φράγματος.*

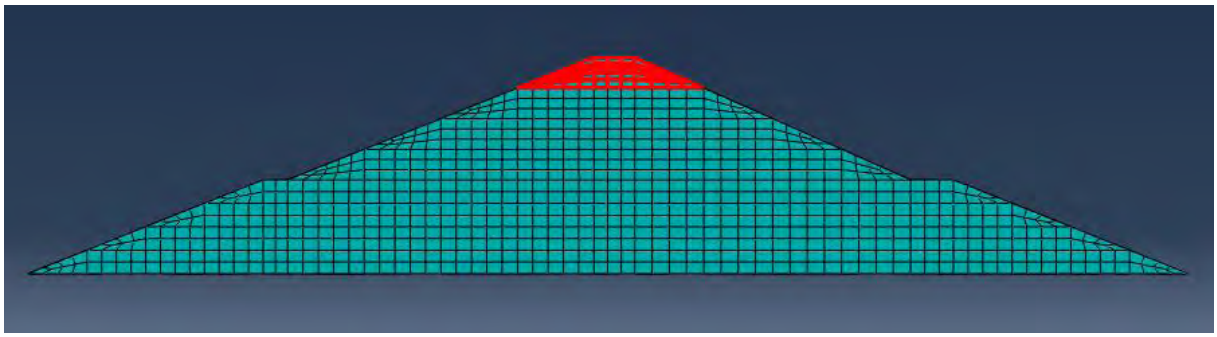


Εικόνα 3.69. *Ορισμός 6ης στρώσης φράγματος.*



Εικόνα 3.70. *Ορισμός 7ης στρώσης φράγματος.*

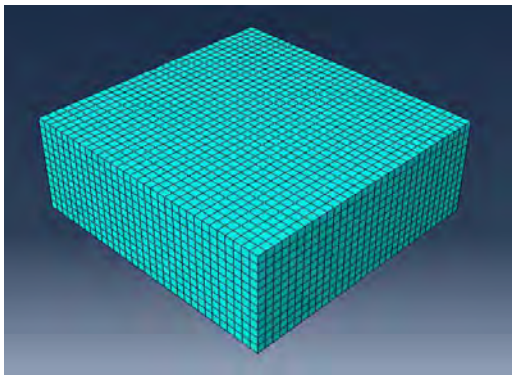
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

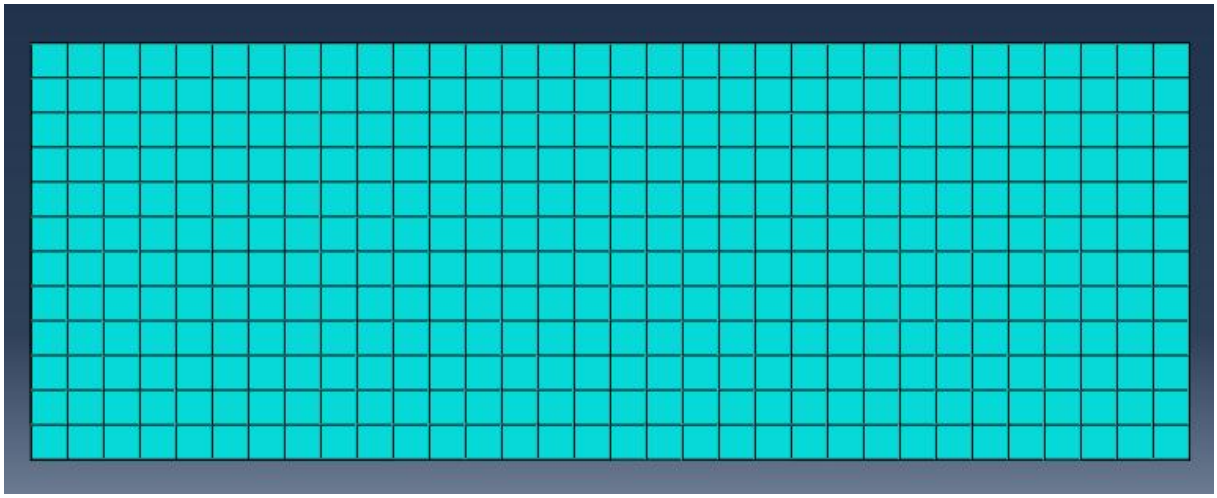


Εικόνα 3.71. *Ορισμός 8ης στρώσης φράγματος.*

ΚΑΝΝΑΒΟΣ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ

Με την εντολή *Seed Part* καθορίζεται το μέγεθος του κελιού (*cell*) του καννάβου. Στην περίπτωση του υπεδάφους, επιλέγεται μέγεθος κελιού (*Approximate global size*) ίσο με 14. Με την εντολή *Mesh Part*, σχηματίζεται ο κάνναβος που επιλέχθηκε στο σώμα του υπεδάφους, όπως φαίνεται και παρακάτω.





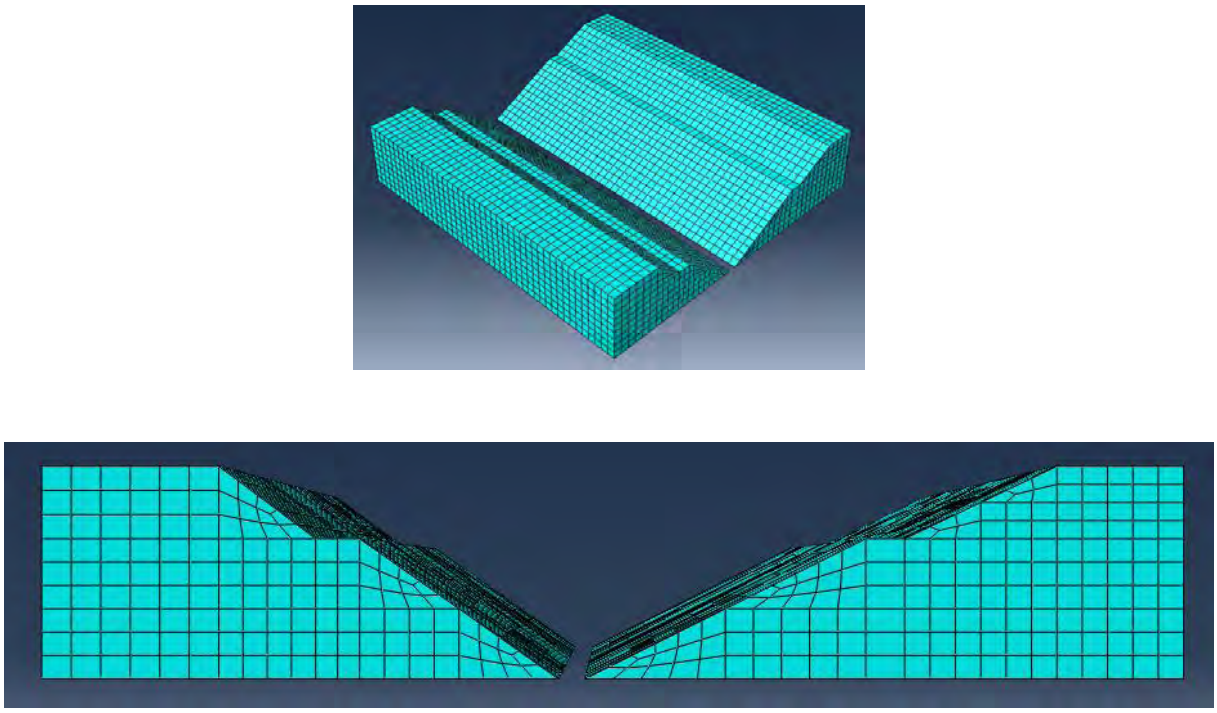
Εικόνα 3.72. *Κάνναβος υπεδάφους.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Το υπέδαφος λοιπόν αποτελείται από 12288 εξαεδρικά οκτάκομβα στοιχεία (*elements*), κατηγορίας *C3D8R* (*3D Stress* τύπου).

ΚΑΝΝΑΒΟΣ ΠΡΑΝΩΝ

Με την εντολή *Seed Part* καθορίζεται το μέγεθος του κελιού (*cell*) του καννάβου. Στην περίπτωση των εδαφικών πρανών, επιλέγεται μέγεθος κελιού (*Approximate global size*) ίσο με 10. Με την εντολή *Mesh Part*, σχηματίζεται ο κάνναβος που επιλέχθηκε στο σώμα των πρανών, όπως φαίνεται και παρακάτω.

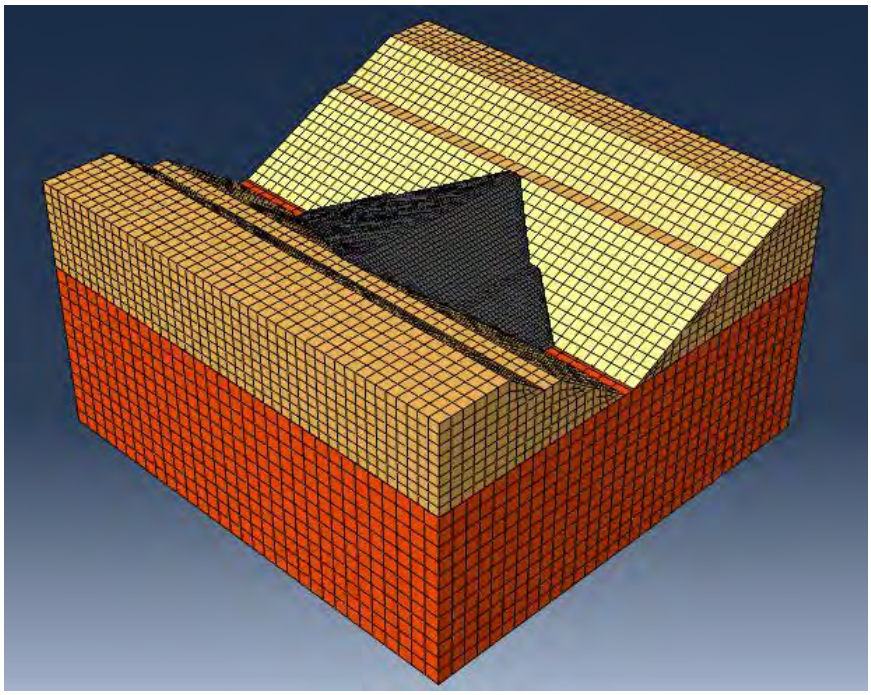


Εικόνα 3.73. *Κάνναβος πρανών.*

Τα εδαφικά πρανή λοιπόν αποτελούνται από 12584 εξαεδρικά οκτάκομβα στοιχεία (*elements*), κατηγορίας *C3D8R* (*3D Stress* τύπου).

Έχοντας εισάγει κάνναβο και στα τρία σώματα (*parts*) της κοιλάδας, είμαστε σε θέση να έχουμε το τελικό μοντέλο της κοιλάδας – φράγματος, με τον κατάλληλο κάνναβο επίλυσης. Συνολικά λοιπόν, το μοντέλο αποτελείται από 38876 εξαεδρικά οκτάκομβα στοιχεία (*elements*), κατηγορίας *C3D8R* (*3D Stress* τύπου).

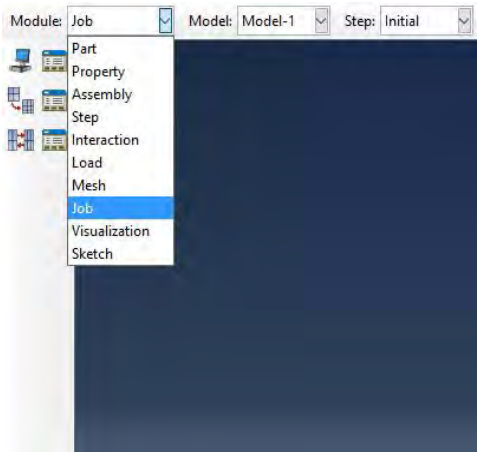
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



Εικόνα 3.74. *Τελικό διακριτοποιημένο μοντέλο κοιλάδας – φράγματος.*

3.2.2.1.8. Επίλυση προβλήματος (*Job Modulus*)

Το μοντέλο που έχει δημιουργηθεί πληροί όλες τις προϋποθέσεις πλέον ώστε να προχωρήσει η διαδικασία τα επίλυσης.

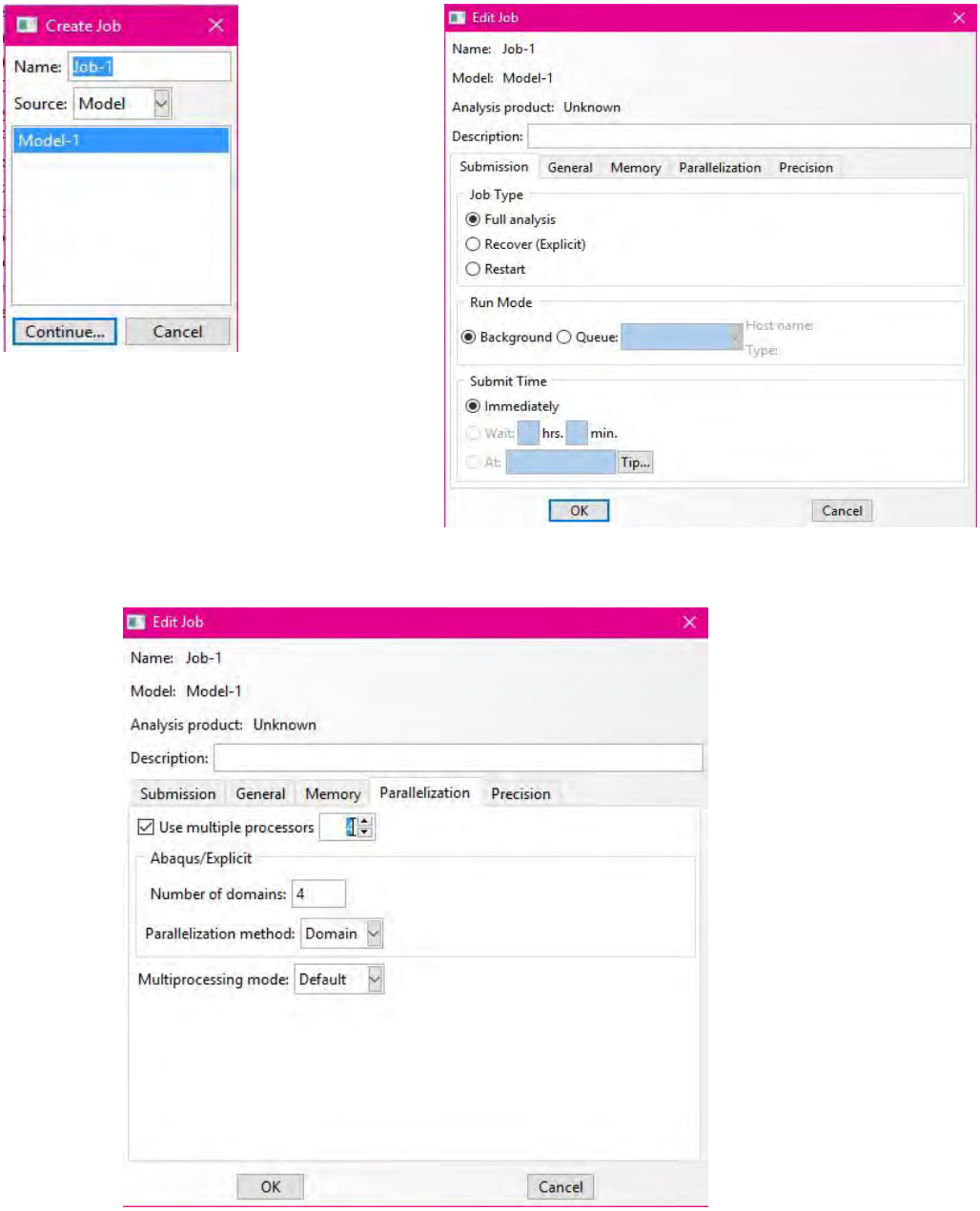


Εικόνα 3.75. *Επίλυση μοντέλου (Job Modulus).*

Δημιουργείται ένα αρχείο επίλυσης (*Job*), στο οποίο επιλέγεται να πραγματοποιηθεί πλήρης ανάλυση (*Full Analysis*). Εφόσον υπάρχει η δυνατότητα, στην επιλογή Parallelization επιλέγεται να γίνει παράλληλη ανάλυση με τέσσερις (4) επεξεργαστές, διότι ο υπολογιστής στον οποίο θα γίνουν όλες οι αναλύσεις διαθέτει τετραπύρηνο (4 *CPUs*) επεξεργαστή. Αυτό

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

θα οδηγήσει σε γρηγορότερη επίλυση, διότι κάθε επεξεργαστής θα αναλάβει να επιλύσει από μια ομάδα στοιχείων (*elements*).



Εικόνα 3.76. *Δημιουργία αρχείου επίλυσης με παράλληλη επίλυση σε τέσσερις πυρήνες.*

3.3. ΥΛΙΚΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί και σε προηγούμενη ενότητα, το φράγμα της μελέτης θεωρήθηκε ότι αποτελείται από άοπλο σκυρόδεμα, και τα τμήματα του υποβάθρου (υπέδαφος, εδαφικά πρανή) αποτελούνται από μια σειρά βραχωδών υλικών που επιλέχθηκαν, τα οποία θα αναλυθούν στη συνέχεια.

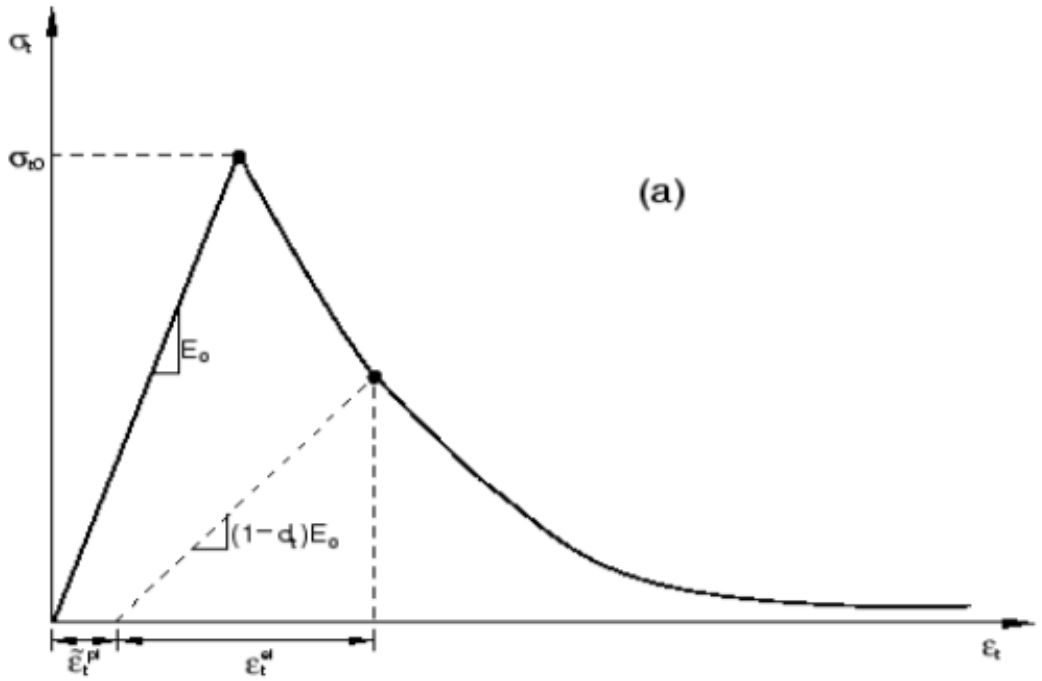
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

3.3.1. ΥΛΙΚΟ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Το υλικό του σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε στο φράγμα μελέτης λήφθηκε υπόψη από το αντίστοιχο υλικό του φράγματος *Koyna*, στην Ινδία. Ήτοι, οι ιδιότητες του εν λόγω τύπου σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε είναι οι εξής ([2], [15]):

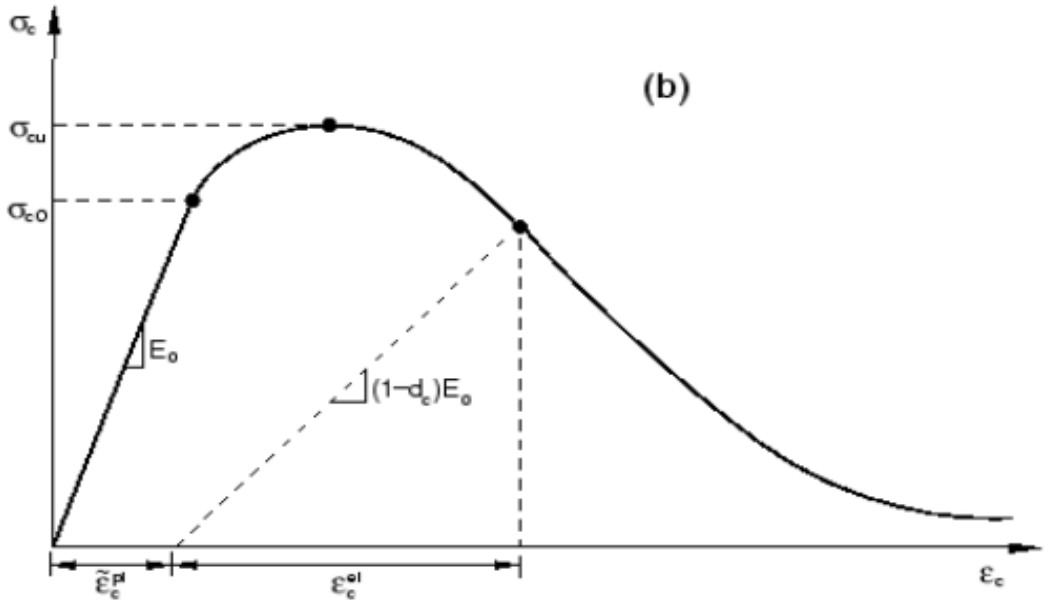
- Μέτρο ελαστικότητας (*Young modulus*): E = 31027 MPa.
- Λόγος Poisson (*Poisson ratio*): ν = 0.25.
- Πυκνότητα (*Density*): ρ = 2643 kg/m^3.
- Γωνία διαστολής (*Dilation angle*): ψ = 36.31^o.
- Αρχική θλιπτική τάση διαρροής (*Compressive initial yield stress*): σ_{co} = 13.0 MPa.
- Τελική θλιπτική τάση κατάρρευσης (*Compressive ultimate stress*): σ_{cu} = 24.1 MPa.
- Εφελκυστική τάση αστοχίας (*Tensile failure stress*): σ_{to} = 2.9 MPa.

Το πλαστικό μοντέλο (*Concrete Damaged Plasticity*) που εισάγεται στο φράγμα είναι το μοντέλο Lee and Fenves που αναφέρεται σε πλαστική συμπεριφορά ρηγματωμένου σκυροδέματος, μοντέλο που χρησιμοποιείται στις σεισμικές αναλύσεις των φραγμάτων βαρύτητας. Ειδικότερα, το συγκεκριμένο μοντέλο στηρίζεται σε δύο βασικούς νόμους τάσεων – παραμορφώσεων, για (i) μονοαξονικό εφελκυσμό και για (ii) μονοαξονική θλίψη ([15]).



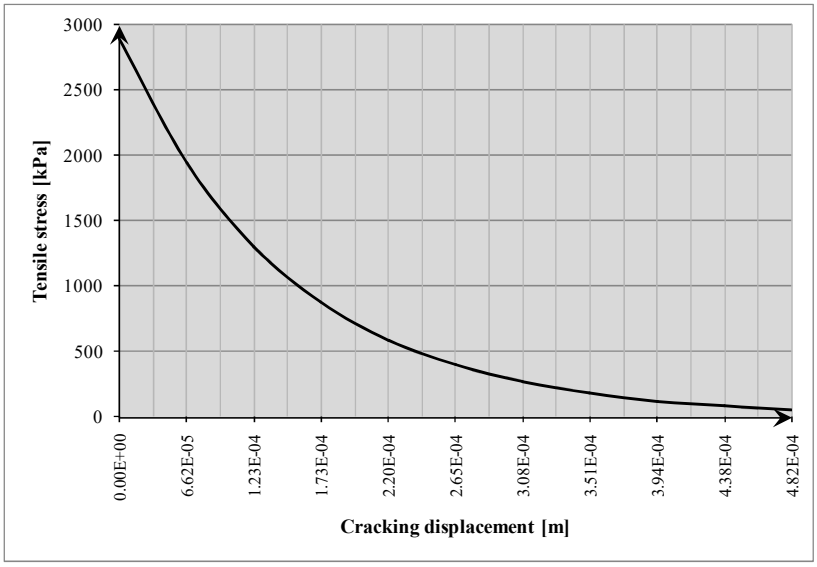
Εικόνα 3.77. *Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων για μονοαξονικό εφελκυσμό σκυροδέματος* ([15]).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



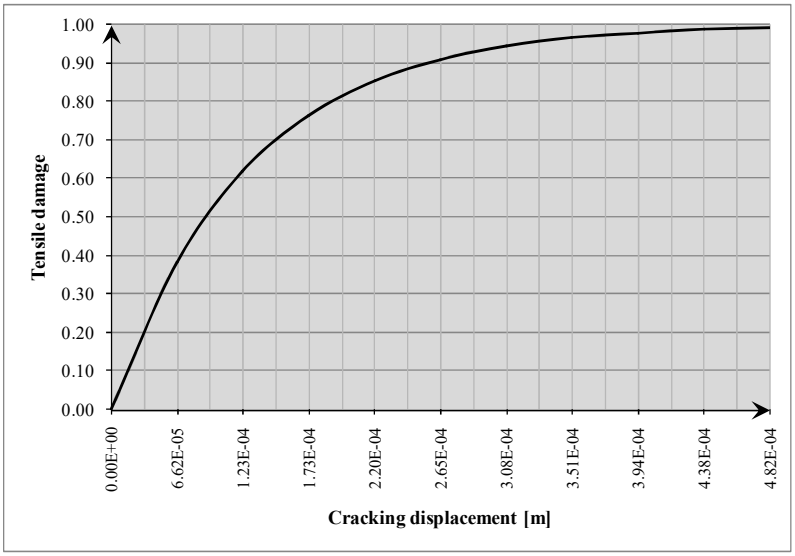
Εικόνα 3.78. *Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων για μονοαξονική θλίψη σκυροδέματος* ([15]).

Και στις δύο περιπτώσεις, μετά το όριο διαρροής του υλικού, υπάρχει χαλάρωση του υλικού (*softening*), που αποτυπώνεται με τον πτωτικό κλάδο του διαγράμματος. Για το πλαστικό μοντέλο ρηγματωμένου σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε στο φράγμα μελέτης της εργασίας, θα εισαχθούν στο πρόγραμμα, στην εντολή *Tensile Behavior* ο πτωτικός κλάδος του διαγράμματος τάσεων – παραμορφώσεων για μονοαξονικό εφελκυσμό και το διάγραμμα με το ποσοστό της εφελκυστικής βλάβης που υφίσταται το υλικό, στην εντολή *Tensile Damage*, κατά τη διάρκεια της παραμόρφωσης ([15]).



Εικόνα 3.79. *Πτωτικός κλάδος χαλάρωσης υλικού σκυροδέματος διαγράμματος τάσεων – παραμορφώσεων για μονοαξονική θλίψη σκυροδέματος.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



Εικόνα 3.80. *Μεταβολή εφελκυστικής βλάβης για μονοαξονική θλίψη σκυροδέματος.*

3.3.2. ΥΛΙΚΑ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ

Η μελέτη που θα πραγματοποιηθεί δεν αφορά κάποια συγκεκριμένη πραγματική κοιλάδα, στην οποία υπάρχει ρεαλιστική στρωματογραφία, αλλά αποτελεί μια θεωρητική μελέτη κατασκευής ενός φράγματος σε μια κοιλάδα. Συνεπώς, θα επιλεχθούν βραχώδη γεωϋλικά τα οποία θα αντιστοιχηθούν στο υπέδαφος και στα πρανή της κοιλάδας, και με βάση μια σειρά από περιπτώσεις διαφορετικής στρωματογραφίας που θα μελετηθούν, θα εξεταστούν διαφορετικές κοιλάδες με την παρουσία του ίδιου φράγματος, με το υλικό που επιλέχθηκε παραπάνω.

Πίνακας 3.1. *Κατηγορίες γεωϋλικών μελέτης.*

ΓΕΩΫΛΙΚΟ	YOUNG MODULUS E [GPa]	POISSON RATIO ν
ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α	5	0.22
ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β	10	0.13
ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ	20	0.18
ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ	40	0.20
ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε	60	0.22
ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ	80	0.23
ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ	100	0.26

Επιλέχθηκαν επτά βραχώδη γεωϋλικά με βάση το μέτρο ελαστικότητας Ε, με βάση τη βιβλιογραφία, και συγκεκριμένα τα συγγράμματα "Στοιχεία Γεωμηχανικής", του *Ζαχαρία Γ. Αγιουτάντη*, καθηγητή Πολυτεχνείου Κρήτης και "Physical Properties of Rocks and Minerals" του *Y. S. Touloukian*, *W. R. Judd, R. F. Roy*. Η μηχανική συμπεριφορά του γεωλογικού υποβάθρου θεωρείται ελαστική. Στο επόμενο κεφάλαιο, θα γίνει αναλυτική περιγραφή, παρουσίαση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

με τη χρήση του προγράμματος *Abaqus 6.10,* με τη μέθοδο που περιγράφηκε παραπάνω. Τέλος, τα χρώματα που χρησιμοποιούνται είναι τα ίδια με εκείνα που χρησιμοποιήθηκαν και στις αναλύσεις του *Abaqus*.

3.4. ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

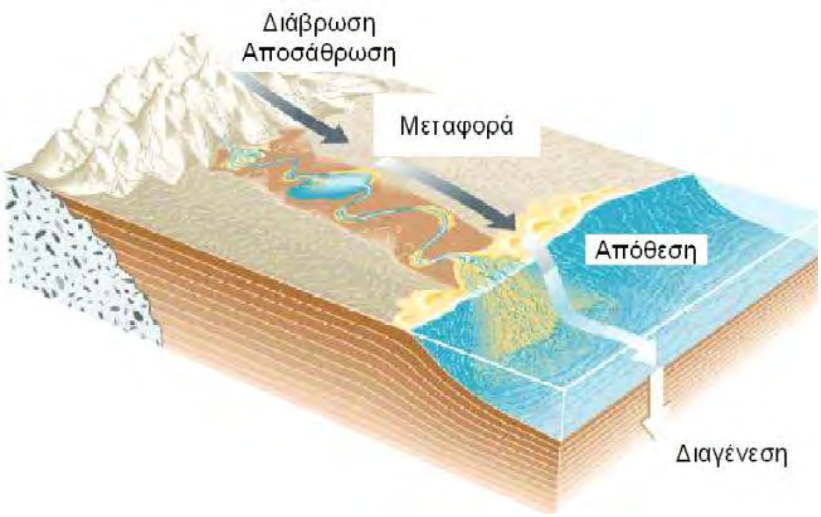
Με βάση την επιλογή των βραχωδών υλικών που έγινε για την κοιλάδα μελέτης, θα αναφερθούν ορισμένες κατηγορίες πετρωμάτων παρόμοιων ιδιοτήτων, που είναι πιθανό να εντοπιστούν στο γεωλογικό υπόβαθρο μιας πραγματικής κοιλάδας, στην οποία γίνεται η θεμελίωση ενός φράγματος βαρύτητας. Συγκεκριμένα, θα αναφερθούν πετρώματα, τα οποία ανήκουν στις κατηγορίες των (i) *ιζηματογενών*, (ii) *μεταμορφωμένων* και (iii) *πυριγενών* πετρωμάτων, με αρκετά μεγάλη διακύμανση της συμπιεστότητάς τους. Στη συνέχεια, θα γίνει μια σύντομη περιγραφή των ανωτέρω κατηγοριών.

3.4.1. *Ιζηματογενή πετρώματα*

Ιζηματογενή πετρώματα είναι εκείνα τα πετρώματα, τα οποία σχηματίζονται από απόθεση ή καταβύθιση υλικών που βρίσκονται σε αιώρηση ή διάλυση μέσα σε ένα ρευστό μέσο (νερό ή αέρας) και τη μετέπειτα συγκόλληση των υλικών που αποτέθηκαν. Χαρακτηρίζονται από τη στρώση των υλικών τους σε διαδοχικά επίπεδα και τα απολιθώματα, τα οποία βρίσκονται μόνο μέσα σε ιζήματα. Για το σχηματισμό των ιζηματογενών πετρωμάτων λαμβάνουν χώρα οι εξής διεργασίες ([16]):

- **Διάβρωση και αποσάθρωση**, που είναι οι φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίες που υφίστανται τα προϋπάρχοντα πετρώματα με αποτέλεσμα την καταστροφή τους.
- **Μεταφορά** των υλικών που προέκυψαν από την αποσάθρωση, με τον άνεμο και το νερό των ποταμών και των θαλασσών.
- **Απόθεση** των υλικών που βρίσκοται σε αιώρηση ή διάλυση. Η απόθεση γίνεται σε διαδοχικά στρώματα.
- **Διαγένεση**, που είναι η διαδικασία με την οποία ένα χαλαρό ίζημα μετατρέπεται σε συμπαγές πέτρωμα, με τη βοήθεια της πίεσης των υπερκείμενων στρωμάτων και της φυσικής συνδετικής ύλης.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



Εικόνα 3.81. *Σχηματισμός ιζηματογενών πετρωμάτων* ([16], [17]).

Διακρίνονται σε 3 κατηγορίες, ανάλογα με τη διαδικασία σχηματισμού τους ([16]):

- Τα **κλαστικά** που είναι ιζήματα που προκύπτουν από απόθεση υλικών αποσάθρωσης, που αιωρούνται στο νερό ή στον αέρα.
- Τα **χημικά** τα οποία σχηματίστηκαν από συγκέντρωση ορυκτών που αποτέθηκαν κατευθείαν από υδατικά διαλύματα με ανόργανες χημικές διεργασίες.
- Τα **βιογενή** όταν γίνεται συσσώρευση ή απόθεση ύλης προερχόμενης από ζωϊκούς ή φυτικούς οργανισμούς.

Πιθανό υλικό υποβάθρου: **ΨΑΜΜΙΤΗΣ**

Εικόνα 3.82. *Ψαμμίτης* ([16], [17]).

Χαρακτηριστικά: Ο **ψαμμίτης** είναι συμπαγές πέτρωμα που προκύπτει από διαγένεση της άμμου. Το συνδετικό υλικό ποικίλει, και χαρακτηρίζει το πέτρωμα (χαλαζιακό, ασβεστιτικό, αργιλικό). Το μέγεθος των κλαστικών κόκκων κυμαίνεται από 2mm έως 1/16mm. Ο χαλαζίας κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής και ακολουθούν οι άστριοι, ο μοσχοβίτης, ο γλαυκονίτης, ο ασβεστίτης και άλλα σε μικρές ποσότητες. Οι ψαμμίτες που είναι πλούσιοι σε αστρίους ονομάζονται **αρκόζες** ([16]).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

3.4.2. *Μεταμορφωμένα πετρώματα*

Μεταμορφωμένα πετρώματα είναι εκείνα τα πετρώματα, τα οποία προκύπτουν από άλλα προϋπάρχοντα μετά από ιστολογικές, ορυκτολογικές και χημικές μεταβολές τις οποίες υφίστανται χωρίς όμως να περάσουν από το στάδιο της τήξης. Τα μεταμορφωμένα πετρώματα χαρακτηρίζονται από τον σχιστοφυή ιστό τους, που εμφανίζεται στα περισσότερα από αυτά (πχ. γνεύσιος), και ο οποίος είναι το αποτέλεσμα της στρωσιφυούς ανάπτυξης των συστατικών των πετρωμάτων κυρίως φυλλόμορφων και ινόμορφων. Χαρακτηρίζονται επίσης από την παρουσία ορυκτών, όπως ανδαλουσίτη, κυανίτη, σιλλιμανίτη, ζοϊσίτη, γρανάτη και άλλων, τα οποία δεν συναντώνται ή είναι επουσιώδη στα πυριγενή πετρώματα ([18]).

Τα αρχικά πετρώματα από τα οποία έχουν προέλθει τα μεταμορφωμένα λέγονται **πρωτόλιθοι** ([18]).

- Όταν οι πρωτόλιθοι είναι **πυριγενή πετρώματα** το μεταμορφωμένο πέτρωμα παίρνει το πρόθεμα **ορθο-**,
- Όταν οι πρωτόλιθοι είναι **ιζηματογενή πετρώματα** το μεταμορφωμένο πέτρωμα παίρνει το πρόθεμα **παρα-,**
- Π.χ. **ορθογνεύσιος**, όταν προέρχεται από τη μεταμόρφωση ενός γρανίτη και **παραγνεύσιος** όταν προέρχεται από αργιλικό σχιστόλιθο.

Οι παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν το είδος και την ένταση της μεταμόρφωσης είναι κυρίως

- Η **πίεση (P)**.
- Η **θερμοκρασία (T)**.
- Τα **θερμά διαλύματα** και **αέρια**.

Ανάλογα με τις αλλαγές του πετρώματος η μεταμόρφωση χαρακτηρίζεται ως ([18]):

- **Ισοφασική** χαρακτηρίζεται η μεταμόρφωση, όταν έχουμε μεταβολή μόνο του ιστού του προϋπάρχοντος πετρώματος. Π.χ. ο γρανίτης που αποτελείται από χαλαζία, αστρίους και μαρμαρυγίες και έχει ολοκρυσταλλικό ιστό μετατρέπεται σε γνεύσιο που αποτελείται από τα ίδια ορυκτά αλλά έχει σχιστοφυή ιστό.
- **Αλλοφασική** χαρακτηρίζεται η μεταμόρφωση, όταν έχουμε αλλαγή και της ορυκτολογικής σύστασης. Π.χ. η άργιλος που αποτελείται από αργιλικά ορυκτά μετατρέπεται σε γνεύσιο που αποτελείται από χαλαζία, αστρίους και μαρμαρυγίες.
- **Ισοχημική** χαρακτηρίζεται η μεταμόρφωση, εάν η χημική σύσταση του πετρώματος παραμένει ίδια. Π.χ. ο ασβεστόλιθος που αποτελείται από ασβεστίτη ($CaCO_3$) με ανακρυστάλλωση του ασβεστίτη μετατρέπεται σε μάρμαρο που έχει την ίδια ορυκτολογική και χημική σύσταση.
- **Αλλοχημική** χαρακτηρίζεται η μεταμόρφωση, εάν έχουμε αλλαγή της χημικής σύστασης του πετρώματος. Π.χ. ένα ανθρακικό πέτρωμα όπως ο ασβεστόλιθος ή το μάρμαρο που αποτελείται από ασβεστίτη ($CaCO_3$) μετατρέπεται κατά την θερμομεταμόρφωση επαφής σε skarn που αποτελείται από ασβεστοπυριτικά ορυκτά (Ca, Fe, Al, Si).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

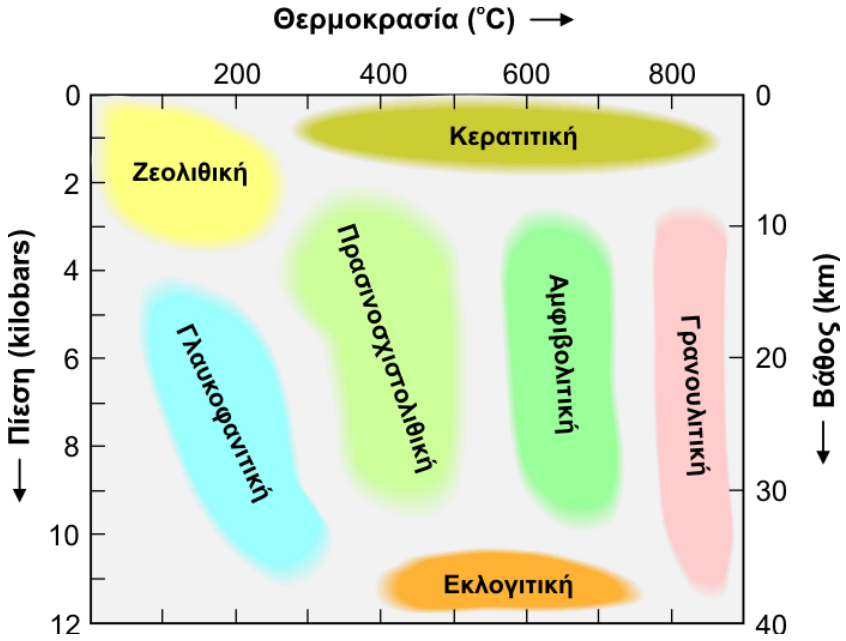
Τα κύρια είδη της μεταμόρφωσης είναι τρία, εξαρτώμενα από τη δράση των παραγόντων μεταμόρφωσης ([18]):

- **Γενική** μεταμόρφωση.
- **Δυναμική** μεταμόρφωση.
- **Θερμική** μεταμόρφωση ή μεταμόρφωση επαφής

Ο **βαθμός μεταμόρφωσης** είναι όρος ο οποίος χρησιμοποιείται για να δηλώσει την ένταση τη δράσης των παραγόντων της. Τρεις γενικοί χαρακτηρισμοί χρησιμοποιούνται για το βαθμό μεταμόρφωσης ([18]).

- **Χαμηλού βαθμού** μεταμόρφωση έχουμε όταν οι μεταμορφικοί παράγοντες έχουν χαμηλές τιμές.
- **Υψηλού βαθμού** όταν οι τιμές των παραγόντων είναι σε υψηλά επίπεδα και τέλος
- **Μέσου βαθμού** μεταμόρφωση όταν έχουμε ενδιάμεσες τιμές.

Με σκοπό να έχουμε ακριβέστερο προσδιορισμό του βαθμού μεταμόρφωσης και συστηματική ταξινόμηση της μεγάλης ποικιλίας των μεταμορφωμένων πετρωμάτων γίνεται κατάταξή τους στις λεγόμενες **μεταμορφικές φάσεις ή φάσεις μεταμόρφωση**. Μία μεταμορφική φάση αποτελείται από όλα εκείνα τα μεταμορφωμένα πετρώματα με διάφορες χημικές και ορυκτολογικές συστάσεις που σχηματίστηκαν κάτω από ορισμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Οι φάσεις παίρνουν το όνομά τους από τα ονόματα ορυκτών ή πετρωμάτων χαρακτηριστικών κάθε φάσης ([18], [19]).



Εικόνα 3.83. *Μεταμορφικές τάσεις* ([18], [19]).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Πιθανό υλικό υποβάθρου: **ΦΥΛΛΙΤΗΣ**

Εικόνα 3.84. *Φυλλίτης* ([18], [19]).

Χαρακτηριστικά: Ο **φυλλίτης** χαρακτηρίζεται από την έντονη σχιστότητα και το πολύ μικρό μέγεθος των ορυκτών συστατικών του. Αποτελείται κυρίως από μοσχοβίτη (σερικίτη), και από χαλαζία, γρανάτη, χλωρίτη. Ως επουσιώδη μπορεί να βρεθούν ασβεστίτης, γραφίτης, επίδοτο, βιοτίτης, σιδηροπυρίτης, μαγνητίτης. Σχηματίζεται με χαμηλού έως μέσου βαθμού μεταμόρφωση **αργιλοπηλιτικών ή μαργαϊκών ιζημάτων** ([18]).

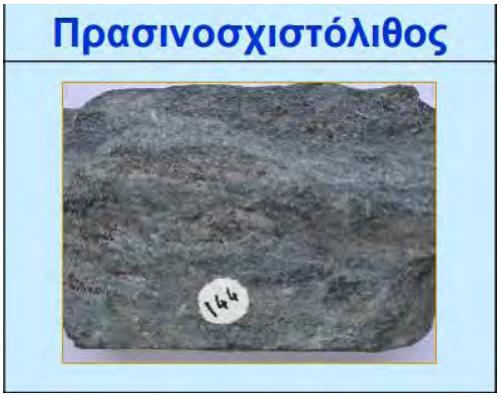
Πιθανό υλικό υποβάθρου: **ΓΝΕΥΣΙΟΣ**

Εικόνα 3.85. *Γνεύσιος* ([18], [19]).

Χαρακτηριστικά: Ο **γνεύσιος** έχει ως θεμελιώδη συστατικά αστρίους και χαλαζία. Είναι κατά το πλείστον μεσόκοκκο και χαρακτηρίζεται από τη σχιστότητα και τη γνευσιοειδή υφή. Κύριο συστατικό του είναι κάποιο είδος μαρμαρυγία, βιοτίτης ή μοσχοβίτης, αλλά μπορούν να βρεθούν πάρα πολλά άλλα ορυκτά, όπως κεροστίλβη, επίδοτο, γρανάτης, κορδιερίτης, σταυρόλιθος, σιλλιμανίτης, ανδαλουσίτης, κυανίτης και άλλα. Μπορεί να έχει **ορθο - ή παρα- προέλευση** ([18]).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Πιθανό υλικό υποβάθρου: **ΠΡΑΣΙΝΟΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ**

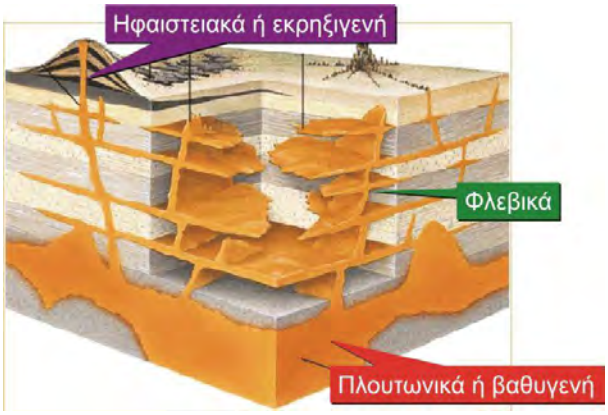


Εικόνα 3.86. *Πρασινοσχιστόλιθος* ([18], [19]).

Χαρακτηριστικά: Ο **πρασινοσχιστόλιθος** αποτελείται από αλβίτη, χλωρίτη, επίδοτο. Με μικρή συμμετοχή βρίσκονται βιοτίτης, χαλαζίας, γρανάτης, ακτινόλιθος κ.ά. Είναι χαρακτηριστικό πέτρωμα της πρασινοσχιστολιθικής φάσης και προέρχεται από **βασικά πυριγενή (γάββροι, βασάλτες, δολερίτες)** ή ακόμη και από **ανάδρομη μεταμόρφωση βιοτιτικών σχιστολίθων και αμφιβολιτών** ([18]).

3.4.3. *Πυριγενή πετρώματα*

Πυριγενή πετρώματα είναι εκείνα τα πετρώματα, τα οποία δημιουργούνται μετά από τη στερεοποίηση του **μάγματος** (φυσικό τήγμα το οποίο υπάρχει μέσα στη Γη σε διάφορα βάθη). Το μάγμα όταν εκχυθεί στην επιφάνεια λέγεται **λάβα**. Όταν το μάγμα στερεοποιηθεί μέσα στο φλοιό, σε βάθος, τα περώματα που προκύπτουν ονομάζονται **βαθυγενή ή πλουτωνίτες**. Στην αντίθετη περίπτωση, όπου το μάγμα (λάβα) φθάνει στην επιφάνεια και στερεοποιείται, τα πετρώματα ονομάζονται **ηφαιστίτες ή εκρηξιγενή**. Μερικές φορές η στερεοποίηση γίνεται σε μικρά βάθη, οπότε τα πετρώματα χαρακτηρίζονται ως **υποηφαιστειακά**. Όταν το μάγμα εισχωρήσει μέσα σε μεγάλα ρήγματα ή ανοίγματα δημιουργούνται τα **φλεβικά** πετρώματα ([20]).



Εικόνα 3.87. *Κατηγορίες πυριγενών πετρωμάτων* ([20], [21]).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Η διάκριση μεταξύ των πλουτωνικών και ηφαιστειακών πετρωμάτων στηρίζεται στον **ιστό** και στην **υφή** του πετρώματος. Ως **ιστός** χαρακτηρίζεται ο τρόπος εμφάνισης των ορυκτών συστατικών μέσα στη μάζα του πετρώματος, ο βαθμός κρυστάλλωσής τους, το μέγεθος και το σχήμα τους ([20]).

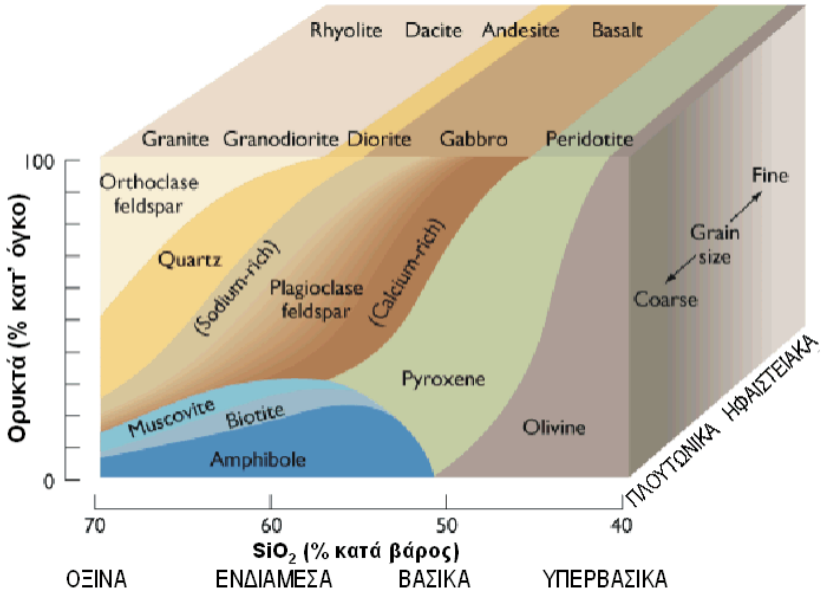
- Κατά το σχηματισμό των **πλουτωνιτών** η ψύξη του μάγματος γίνεται με βραδύ ρυθμό, με συνέπεια να υπάρχει δυνατότητα τα ορυκτά συστατικά να κρυσταλλωθούν πλήρως και να σχηματισθούν ευμεγέθεις κρύσταλλοι, ορατοί με γυμνό μάτι. Στην περίπτωση αυτή ο ιστός ονομάζεται **ολοκρυσταλλικός ή γρανιτικός** (πχ. γρανίτης).
- Στα **ηφαιστειακά** πετρώματα όμως, λόγω της απότομης ανόδου του μάγματος προς την επιφάνεια, η θερμοκρασία του πέφτει απότομα με συνέπεια να σχηματισθούν υαλώδεις ή μικροκρυσταλλικές μάζες. Στην πρώτη περίπτωση μιλάμε για **υαλώδη ιστό** (πχ. οψιδιανός) και στη δεύτερη περίπτωση μιλάμε για **αφυρικό ιστό**.
- Πολλές φορές όμως μέσα στην **υαλώδη ή μικροκρυσταλλική μάζα** βρίσκονται κρύσταλλοι διαφόρων ορυκτών μικροί ή μεγάλοι, οι οποίοι σχηματίζονται πριν την έκχυση της λάβας και οι οποίοι ονομάζονται **φαινοκρύσταλλοι**. Ο συνδυασμός της υαλώδους ή μικροκρυσταλλικής μάζας και των φαινοκρυστάλλων χαρακτηρίζεται ως **πορφυριτικός ιστός** (πχ. ανδεσίτης).

Τα ορυκτά συστατικά των πετρωμάτων διακρίνονται σε **έγχρωμα ή φεμικά** (από το Fe και Mg που συνήθως είναι άφθονα σ' αυτά τα ορυκτά, όπως π.χ. βιοτίτης, κεροστίλβη) και σε **λευκά ή σαλικά** (από το Si και Al που αφθονούν στα ορυκτά αυτά, όπως π.χ. χαλαζίας, άστριοι). **Χρωματικός δείκτης (Χ.Δ.)** ονομάζεται το % ποσοστό των έγχρωμων συστατικών ενός πετρώματος. Ο χρωματικός δείκτης δε χρησιμοποιείται στα ηφαιστειακά πετρώματα. Ανάλογα με το χρωματικό δείκτη διακρίνονται 5 κατηγορίες πετρωμάτων ([20]):

- 0 – 5% **Ολολευκοκρατικά**
- 5 – 35% **Λευκοκρατικά**
- 35 – 65% **Μεσοκρατικά**
- 65 – 95% **Μελανοκρατικά**
- 95 – 100% **Ολομελανοκρατικά**

Οι ουσιαστικότερες ταξινομήσεις των πυριγενών πετρωμάτων βασίζονται στη μεταφορά σε ορθογώνια ή τριγωνικά διαγράμματα ορυκτολογικών κριτηρίων. Το βασικότερο ρόλο στις ταξινομήσεις αυτές έχουν τα ποσοστά του χαλαζία, των αστριοειδών και η ποσοτική αναλογία αλκαλιούχων αστρίων προς πλαγιόκλαστα. Ένα απλό διάγραμμα ταξινόμησης πυριγενών πετρωμάτων φαίνεται παρακάτω, όπου απεικονίζεται επίσης και η μερική χημική σύστασή τους. Όπου δεν είναι δυνατή η ταξινόμηση με βάση την **πραγματική ορυκτολογική σύσταση** (*modus*) αυτή γίνεται με βάση τη χημική σύσταση, από την οποία συντίθεται η **δυνητική ορυκτολογική σύσταση** (*norm*) ([20]).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



Εικόνα 3.88. *Ταξινόμηση των πυριγενών πετρωμάτων* ([20], [21]).

Πιθανό υλικό υποβάθρου: **ΒΑΣΑΛΤΗΣ**

Εικόνα 3.89. *Βασάλτης* ([20], [21]).

Χαρακτηριστικά: Ο **βασάλτης** είναι το αντίστοιχο έκχυτο πέτρωμα του γάββρου και είναι το πιο διαδεδομένο έκχυτο πέτρωμα. Είναι ολομελανοκρατικό έως μελανοκρατικό πέτρωμα με ιστό υαλώδη έως ολοκρυσταλλικό, αλλά κυριαρχεί ο πορφυριτικός. Οι φαινοκρύσταλλοι αντιπροσωπεύονται από βασικά πλαγιόκλαστα, αυγίτη, διοψίδιο ή ολιβίνη. Στους βασάλτες ανήκουν και οι **δολερίτες** που είναι φλεβικά πετρώματα αντίστοιχης σύστασης ([20], [21]).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Πιθανό υλικό υποβάθρου: **ΓΡΑΝΙΤΗΣ**

Εικόνα 3.90. *Γρανίτης* ([20], [21]).

Χαρακτηριστικά: Ο **γρανίτης** είναι πέτρωμα πλουτωνικό με ολοκρυσταλλικό ιστό, λευκοκρατικό, όξινο. Έχει ως ουσιώδη συστατικά αλκαλιούχους αστρίους, χαλαζία και βιοτίτη ή/και μοσχοβίτη ή κεροστίλβη, πιο σπάνια ένα άλλο φεμικό. Επίσης στη σύστασή του συμμετέχει και ένα όξινο πλαγιόκλαστο, σε μικρή όμως αναλογία. Ο χαλαζίας συμμετέχει με περιεκτικότητα >10%, και το άθροισμα χαλαζίας + αλκαλιούχοι άστριοι είναι >40%. Ως επουσιώδη υπάρχουν τιτανίτης, απατίτης, ζιρκόνιο, μαγνητίτης, ιλμενίτης, κ.λ.π. Συνήθως οι γρανίτες χαρακτηρίζονται με προθέματα, ενδεικτικά του είδους του φεμικού το οποίο συμμετέχει στη σύστασή τους. Έτσι έχουμε βιοτιτικούς γρανίτες, κεροστιλβικούς γρανίτες, διμαρμαργιακούς (βιοτίτης + μοσχοβίτης) κ.λ.π. Οι καλιούχοι άστριοι αντιπροσωπεύονται από το ορθόκλαστο και το μικροκλινή. Στην Ελλάδα γρανίτες υπάρχουν άφθονοι στο χώρο της Μακεδονίας και της Θράκης. Επίσης υπάρχουν στο Λαύριο και σε ορισμένα νησιά του Αιγαίου (Μύκονος, Σαμοθράκη, Νάξος) ([20]).

Πιθανό υλικό υποβάθρου: **ΔΙΟΡΙΤΗΣ**

Εικόνα 3.91. *Διορίτης* ([20], [21]).

Χαρακτηριστικά: Ο **διορίτης** είναι και αυτό βαθυγενές, μεσοκρατικό έως μελανοκρατικό, με γρανιτοειδή ιστό. Τα θεμελιώδη συστατικά του είναι **όξινα πλαγιόκλαστα (An<50%)**, κεροστίλβη και πιο σπάνια βιοτίτης ή αυγίτης. Στην Ελλάδα διορίτες συνήθως βρίσκονται ως μέλη μεγαλύτερων πυριγενών συγκροτημάτων. Θεωρείται πρακτικά ασυμπίεστο πέτρωμα ([20]).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ & ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΚΟΙΛΑΔΑ

4.1. ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΡΕΥΝΑΣ & ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν έδωσαν μια εκτενή σειρά αποτελεσμάτων, τα οποία έχουν αποθηκευτεί σε μορφή αρχείων *ODB* (*Output Data Base*), με τα οποία υπάρχει η δυνατότητα να αξιολογηθούν και να σχολιαστούν. Συγκεκριμένα, τα μεγέθη που ενδιαφέρουν να μελετηθούν και να συζητηθούν είναι (i) οι τάσεις *Von Mises S* :

$$S_V = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_{11}-\sigma_{22})^2 + (\sigma_{22}-\sigma_{33})^2 + (\sigma_{33}-\sigma_{11})^2 + 6(\sigma_{12}^2+\sigma_{23}^2+\sigma_{31}^2)]} \quad (1)$$

όπου $\sigma_{11},\sigma_{22},\sigma_{33}$ οι κύριες τάσεις, και $\sigma_{12},\sigma_{13},\sigma_{23}$ οι διατμητικές συνιστώσες του τανυστή της τάσης οι οποίες αναπτύσσονται στην ευρύτερη περιοχή της κοιλάδας και του φράγματος, εξαιτίας των στατικών (ίδιο βάρος φράγματος, υδροστατική πίεση νερού) και δυναμικών (σεισμική διέγερση κοιλάδας) φορτίων, ο οποίος αποτελεί και τον δυσμενέστερο συνδυασμό φόρτισης, (ii) οι *καθιζήσεις* U_2 που προκύπτουν στην κοιλάδα, και ειδικότερα στην κεντρική διατομή του φράγματος και της ευρύτερης περιοχής, και (iii) οι πιθανές βλάβες που δημιουργούνται στο φράγμα.

Το φράγμα βαρύτητας μοντελοποιήθηκε εντός μια ευρύτερης στενής κοιλάδας. Εφόσον πρόκειται για μια αμιγώς θεωρητική μελέτη, αποφασίστηκε κάθε φορά να πραγματοποιηθεί αριθμητική ανάλυση για συγκεκριμένο τύπο υπεδάφους και βραχωδών πρανών, και στο τέλος να γίνει μια συνολική αποτίμηση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων για κάθε περίπτωση. Συγκεκριμένα, οι αναλύσεις περιορίζονται στις εξής περιπτώσεις:

- ΜΟΝΟΣΤΡΩΜΑΤΙΚΟ ΥΠΕΔΑΦΟΣ – ΜΟΝΟΣΤΡΩΜΑΤΙΚΑ ΠΡΑΝΗ
- ΠΟΛΥΣΤΡΩΜΑΤΙΚΟ ΥΠΕΔΑΦΟΣ – ΜΟΝΟΣΤΡΩΜΑΤΙΚΑ ΠΡΑΝΗ
- ΜΟΝΟΣΤΡΩΜΑΤΙΚΟ ΥΠΕΔΑΦΟΣ – ΠΟΛΥΣΤΡΩΜΑΤΙΚΑ ΠΡΑΝΗ
- ΠΟΛΥΣΤΡΩΜΑΤΙΚΟ ΥΠΕΔΑΦΟΣ – ΠΟΛΥΣΤΡΩΜΑΤΙΚΑ ΠΡΑΝΗ

Στα Σχήματα 4.1. – 4.72. που ακολουθούν αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων U_2 και των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται στην ευρύτερη περιοχή του φράγματος και της κοιλάδας για τα στατικά φορτία του ιδίου βάρους και της υδροστατικής πίεσης του νερού, επιλέγοντας κάθε φορά την κατάλληλη κεντρική διατομή ως αποτύπωση (στο κατάλληλο γεωμετρικό επίπεδο), καθώς επίσης και η περίπτωση ανάλυσης που πραγματοποιείται για τις διάφορες περιπτώσεις γεωϋλικών, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2. ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

4.2.1. ΜΟΝΟΣΤΡΩΜΑΤΙΚΟ ΥΠΕΔΑΦΟΣ – ΜΟΝΟΣΤΡΩΜΑΤΙΚΑ ΠΡΑΝΗ

4.2.1.1. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α**, ΠΡΑΝΗ**: ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α**

Στο Σχήμα 4.1. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Α (E = 5 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι επίσης το Γεωϋλικό Α (E = 5 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας αρκετά μαλακής και συμπιεστής κοιλάδας, στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

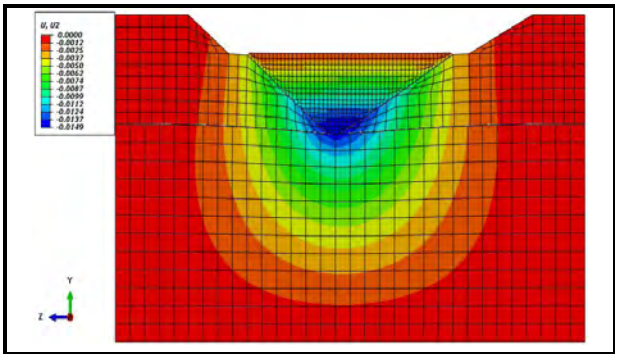
Στο Σχήμα 4.1.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 14.9 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 8.7 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 11.7 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

Στο Σχήμα 4.1.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας και των δύο βραχωδών υλικών, οι τάσεις που αναπτύσσονται στην ευρύτερη περιοχή της κοιλάδας και στη βάση του φράγματος είναι ιδιαίτερα υψηλές, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι τα στατικά φορτία μοιράζονται εξίσου στο υπέδαφος και στα αντερείσματα. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα, με μέγιστη τάση να αναπτύσσεται στη βάση του φράγματος, ίση με S_{max} = 1132 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 567 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 567 kPa.

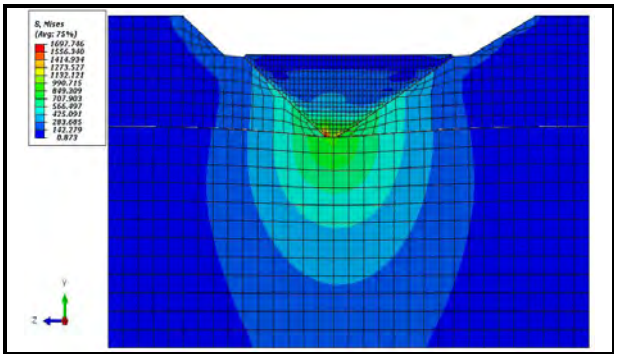
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 5 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 5 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α]

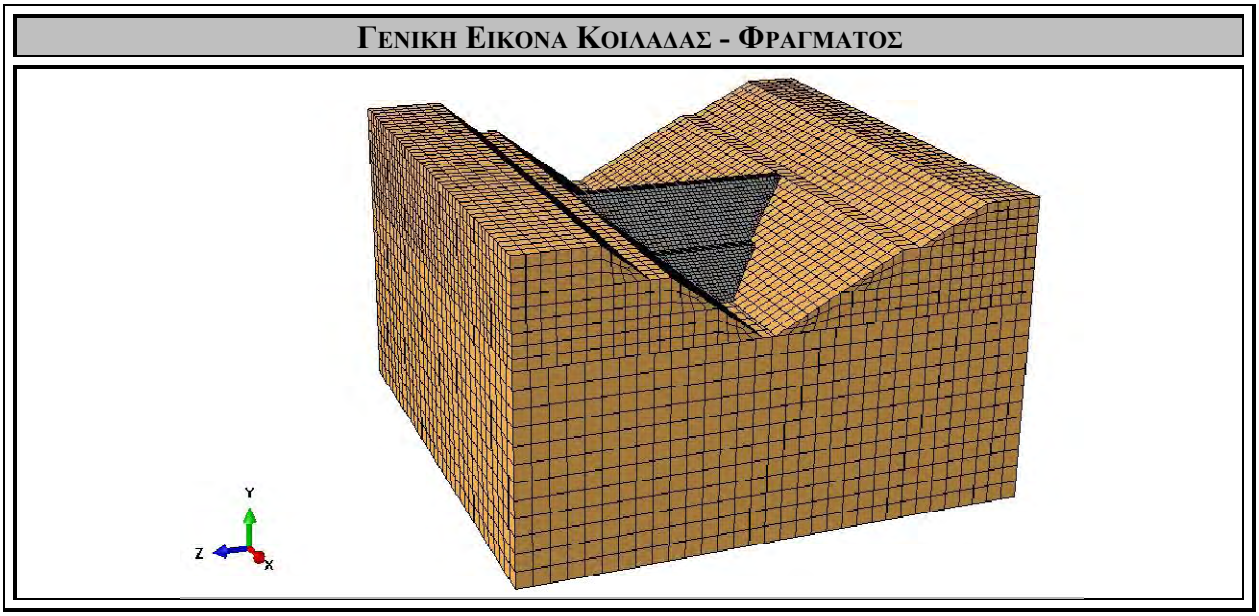
ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]



ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]



ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.1. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa]στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Α και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Α.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.2. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β**

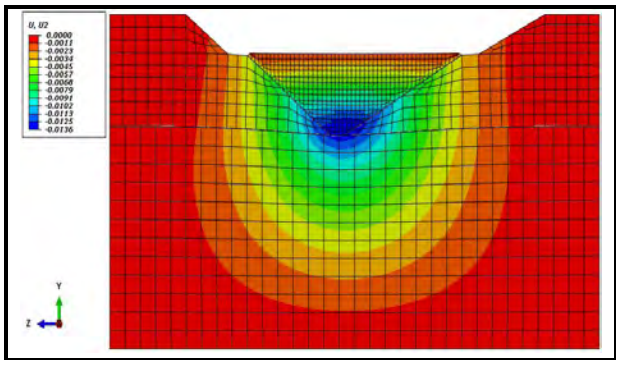
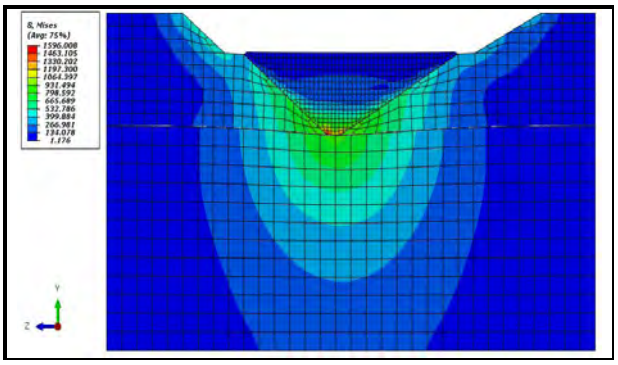
Στο Σχήμα 4.2. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Α (E = 5 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Β (E = 10 GPa, ν = 0.13) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι περισσότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.2.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 13.36 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 9.1 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 9.1 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

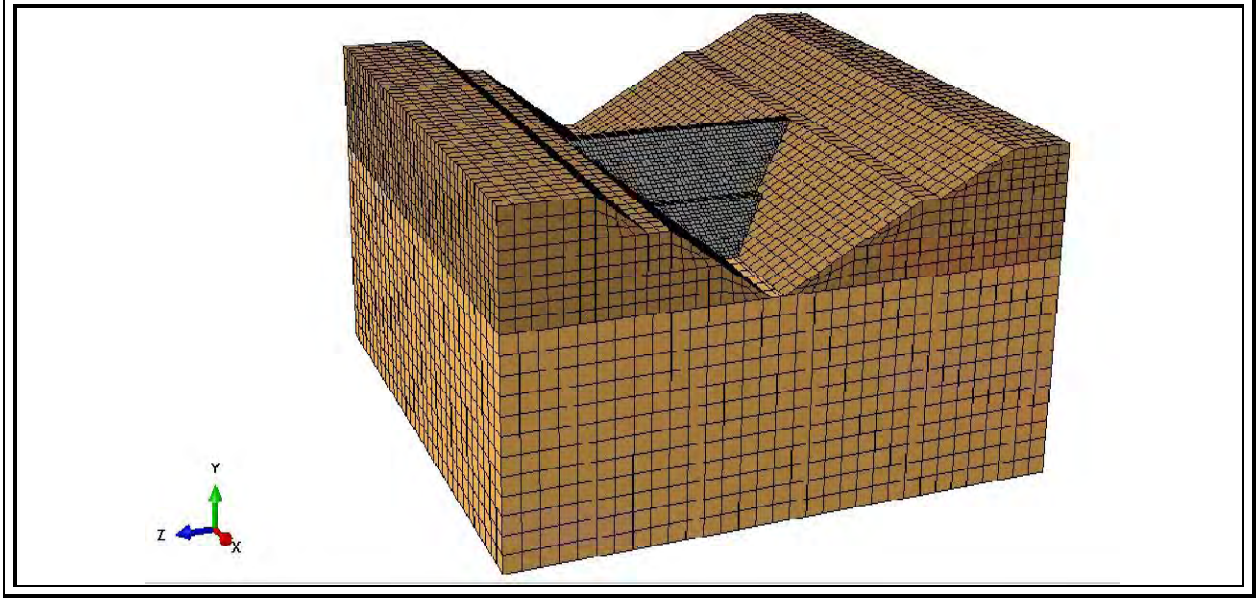
Στο Σχήμα 4.2.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας του υπεδάφους και επειδή το υλικό των βραχωδών πρανών είναι λιγότερο συμπιεστό, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από τα πρανή και λιγότερο από το υπέδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα, με μέγιστη τάση να αναπτύσσεται στη βάση του φράγματος, ίση με S_{max} = 1064 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 665 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 665 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 5 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 10 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.2. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Α και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Β.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.3. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ**

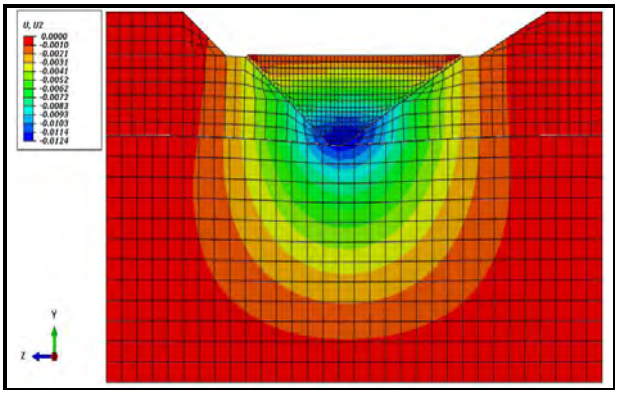
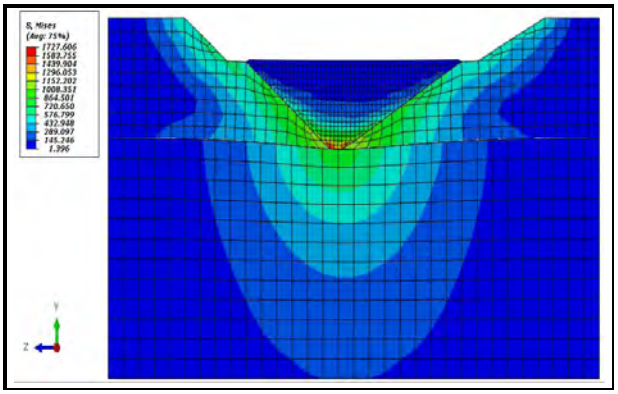
Στο Σχήμα 4.3. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Α (Ε = 5 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Γ (Ε = 20 GPa, ν = 0.18) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι περισσότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.3.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 12.4 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 8.3 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 8.3 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

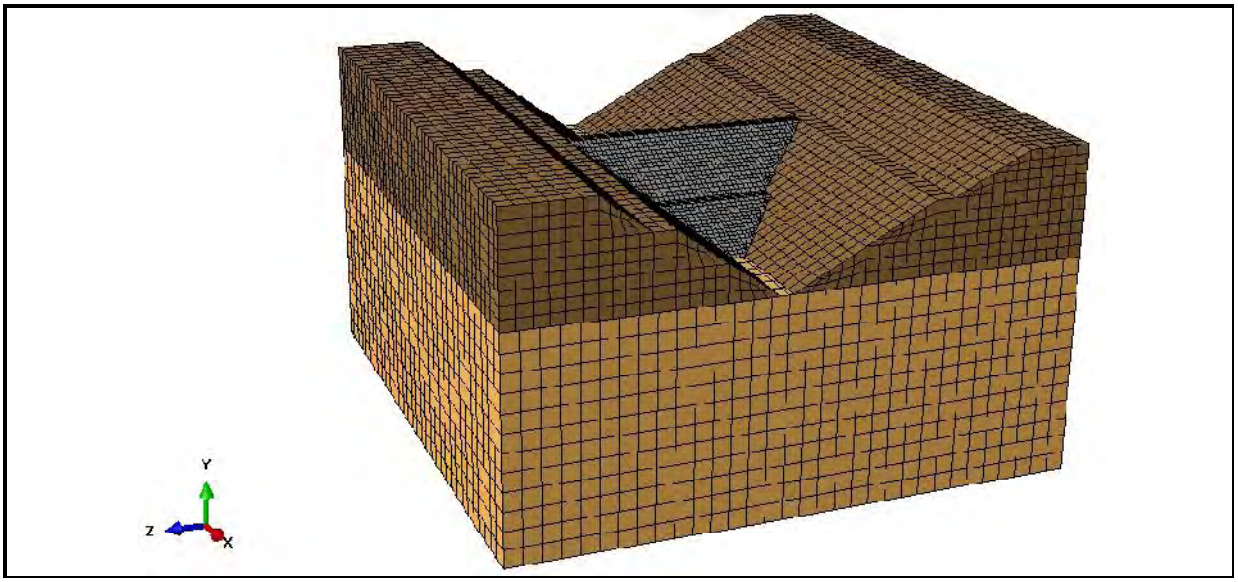
Στο Σχήμα 4.3.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας του υπεδάφους και επειδή το υλικό των βραχωδών πρανών είναι λιγότερο συμπιεστό, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από τα πρανή και λιγότερο από το υπέδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 864 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 1008 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 1008 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 5 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 20 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.3. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa]στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Α και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Γ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.4. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ**

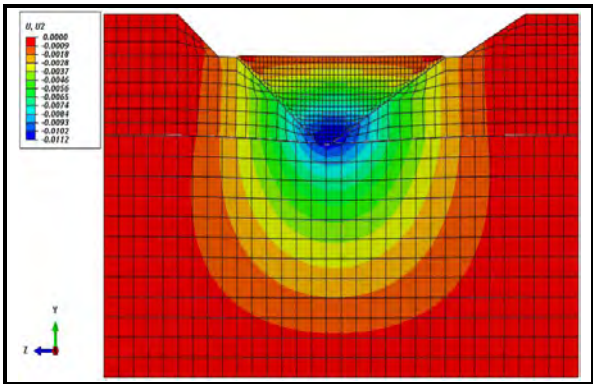
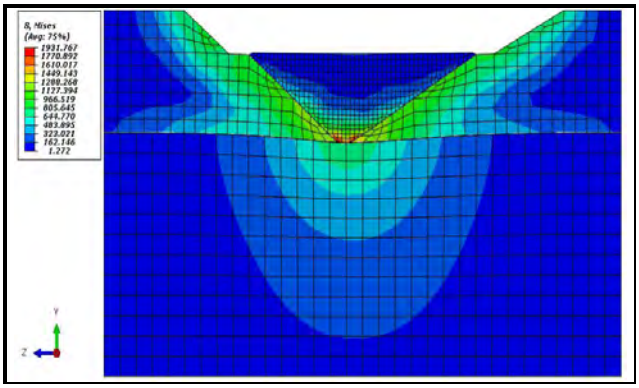
Στο Σχήμα 4.4. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Α (E = 5 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Δ (E = 40 GPa, ν = 0.20) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι περισσότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.4.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 11.2 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 7.4 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 7.4 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

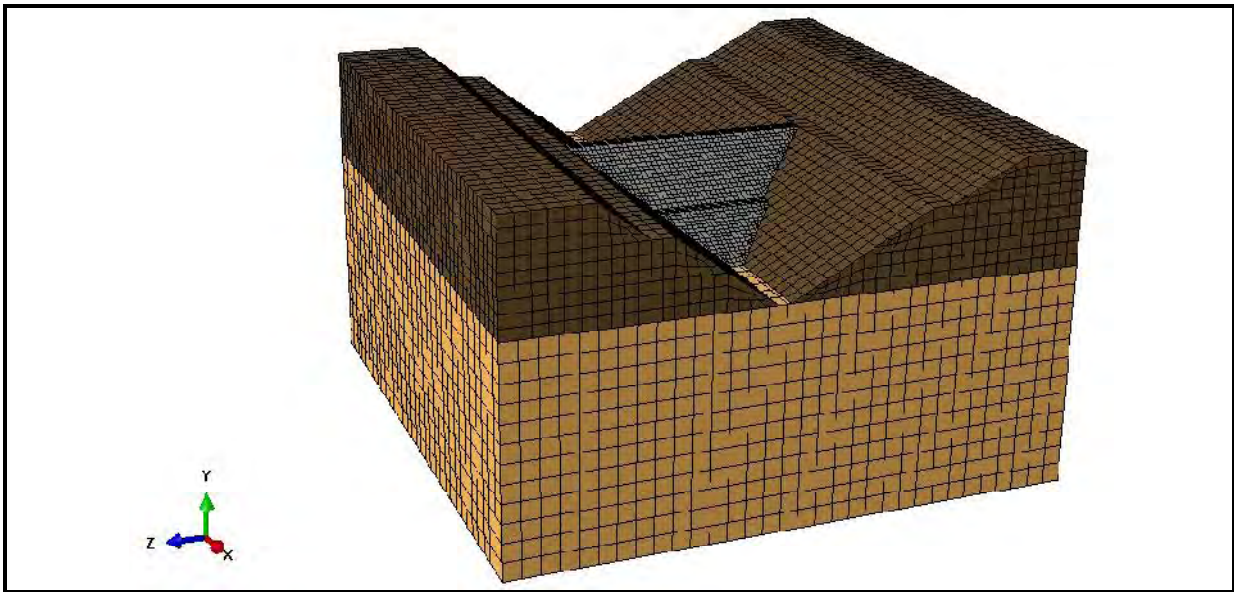
Στο Σχήμα 4.4.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας του υπεδάφους και επειδή το υλικό των βραχωδών πρανών είναι λιγότερο συμπιεστό, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από τα πρανή και λιγότερο από το υπέδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 805 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 1286 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 1286 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 5 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 40 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.4. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa]στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Α και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Δ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.5. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε**

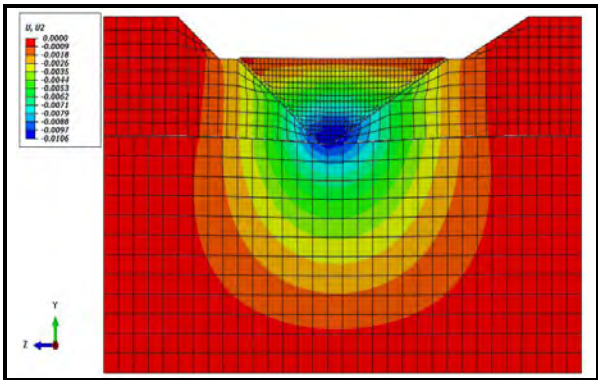
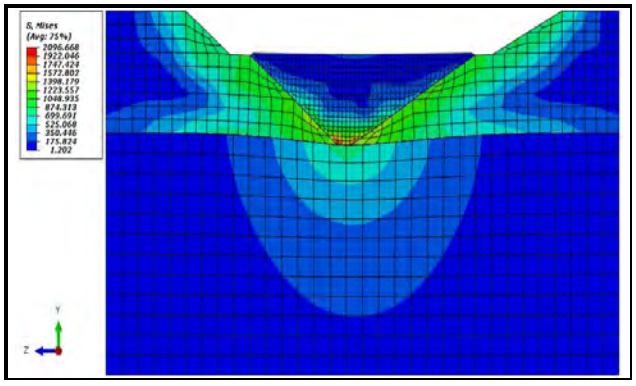
Στο Σχήμα 4.5. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Α (Ε = 5 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Ε (Ε = 60 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι περισσότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.5.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 10.6 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 6.2 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 6.2 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

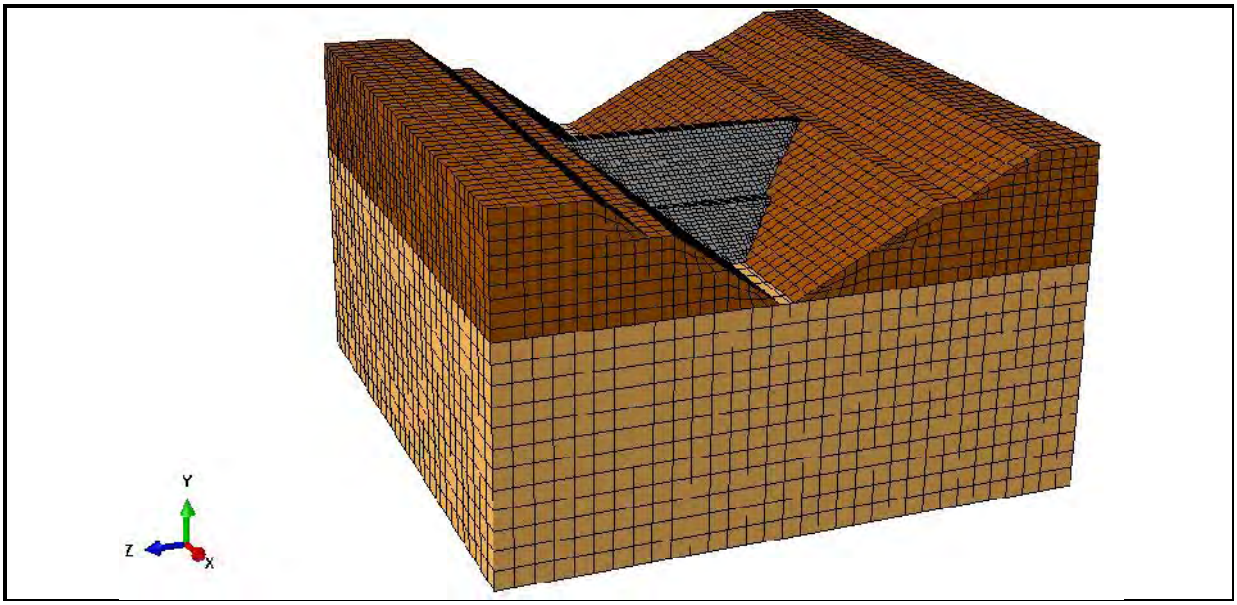
Στο Σχήμα 4.5.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας του υπεδάφους και επειδή το υλικό των βραχωδών πρανών είναι λιγότερο συμπιεστό, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από τα πρανή και λιγότερο από το υπέδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 874 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 1398 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 1398 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 5 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 60 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.5. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa]στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Α και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Ε.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.6. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ**

Στο Σχήμα 4.6. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Α (E = 5 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό ΣΤ (E = 80 GPa, ν = 0.23) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι περισσότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

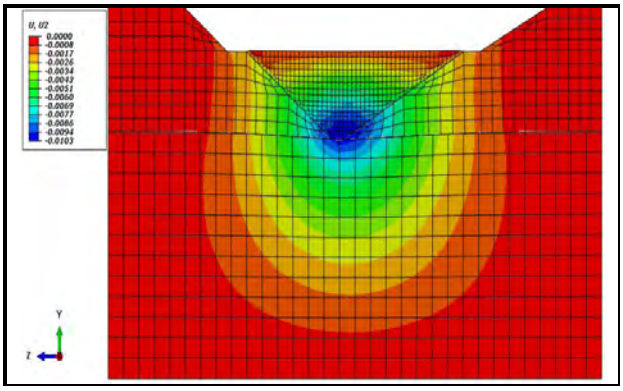
Στο Σχήμα 4.6.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 10.3 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 6 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 6 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

Στο Σχήμα 4.6.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας του υπεδάφους και επειδή το υλικό των βραχωδών πρανών είναι λιγότερο συμπιεστό, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από τα πρανή και λιγότερο από το υπέδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 747 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 1450 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 1450 kPa.

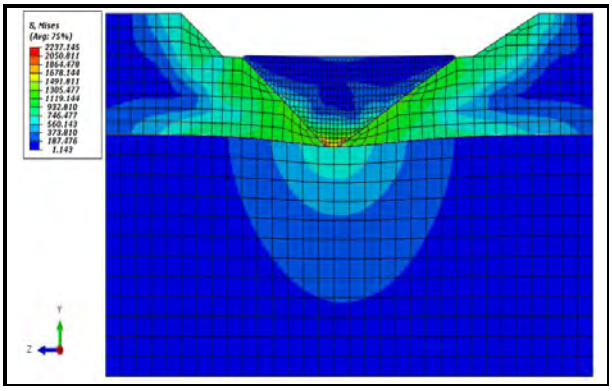
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 5 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 80 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α – ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ]

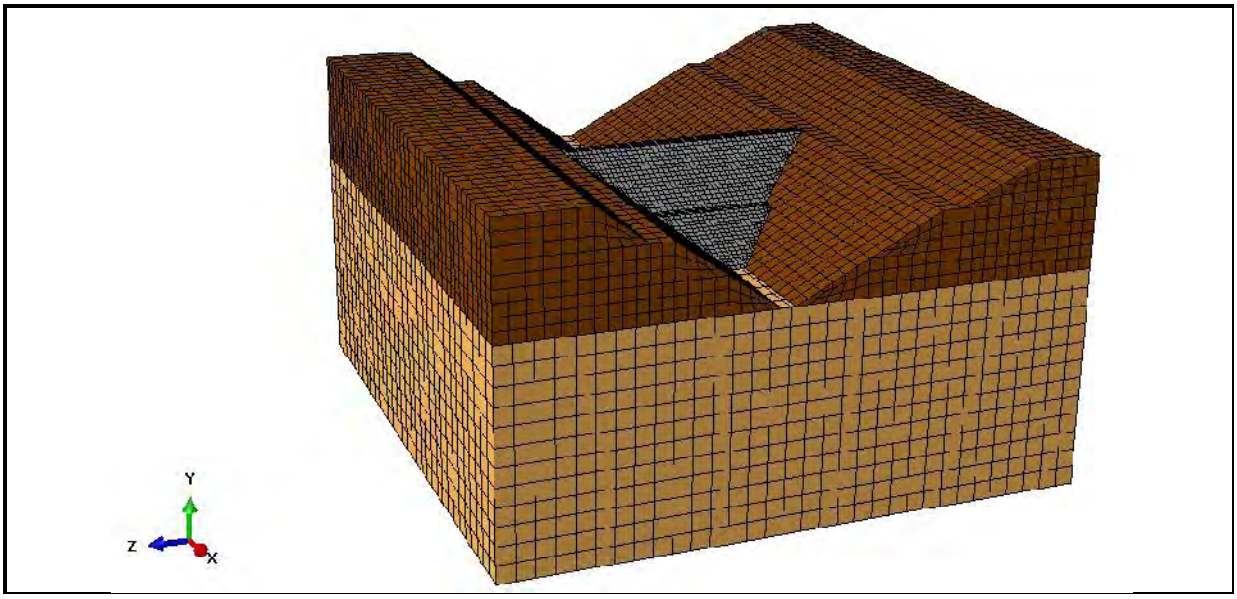
ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]



ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]



ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.6. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa]στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Α και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό ΣΤ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.7. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**

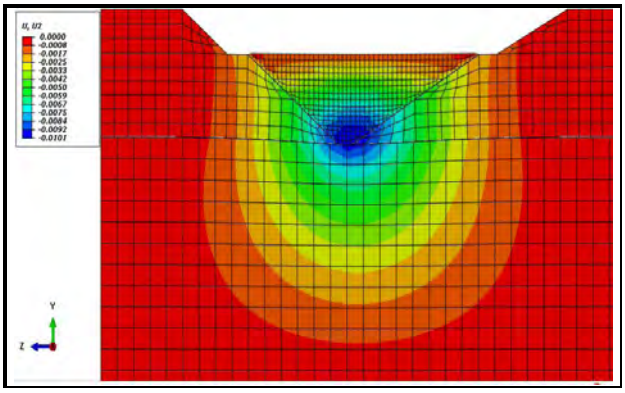
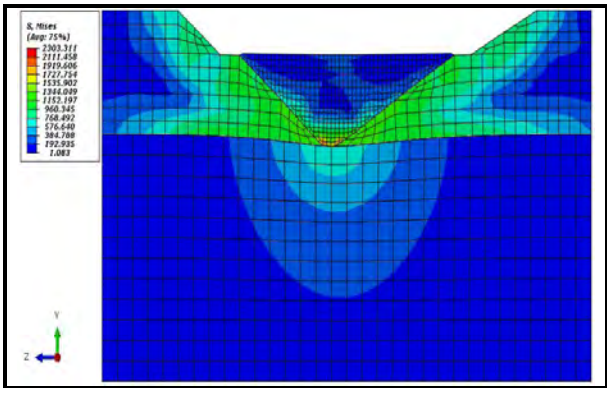
Στο Σχήμα 4.7. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Α (E = 5 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι περισσότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.7.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 10.1 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 5.9 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 5.9 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

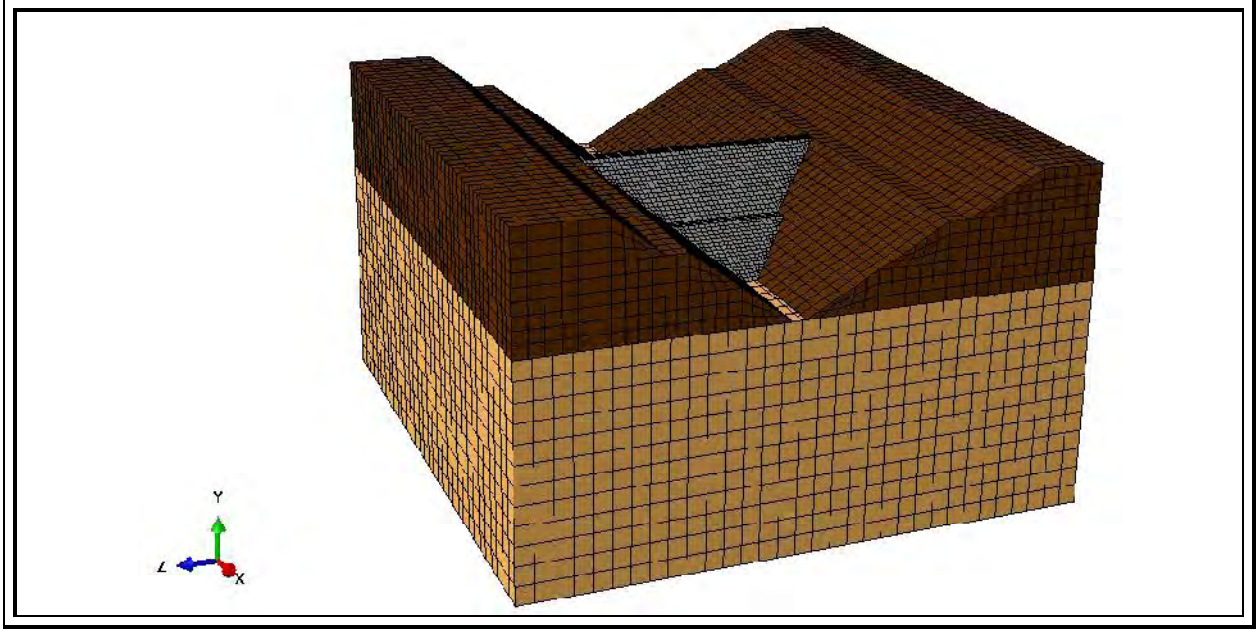
Στο Σχήμα 4.7.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας του υπεδάφους και επειδή το υλικό των βραχωδών πρανών είναι λιγότερο συμπιεστό, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από τα πρανή και λιγότερο από το υπέδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 768 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 1344 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 1344 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 5 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 100 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.7. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa]στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Α και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Ζ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.8. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α**

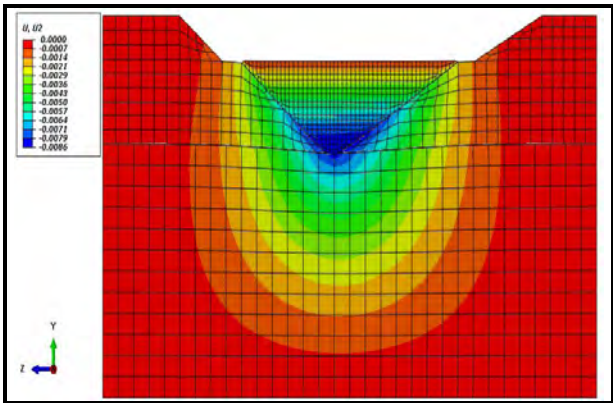
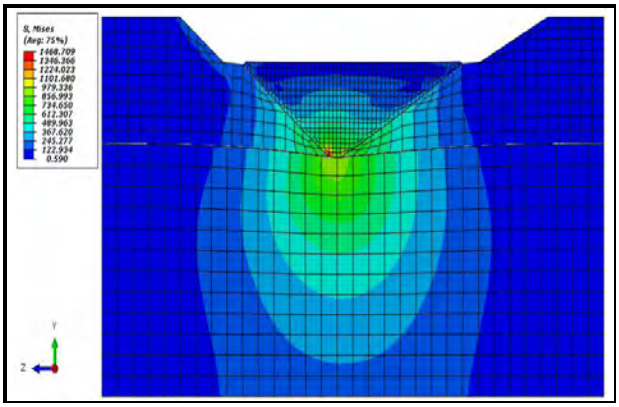
Στο Σχήμα 4.8. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Β (Ε = 10 GPa, ν = 0.13) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Α (Ε = 5 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι λιγότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.8.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης του φράγματος και στις αρχές των βραχωδών πρανών, ίση με U_{max} = 8.6 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 7.1 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 7.1 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

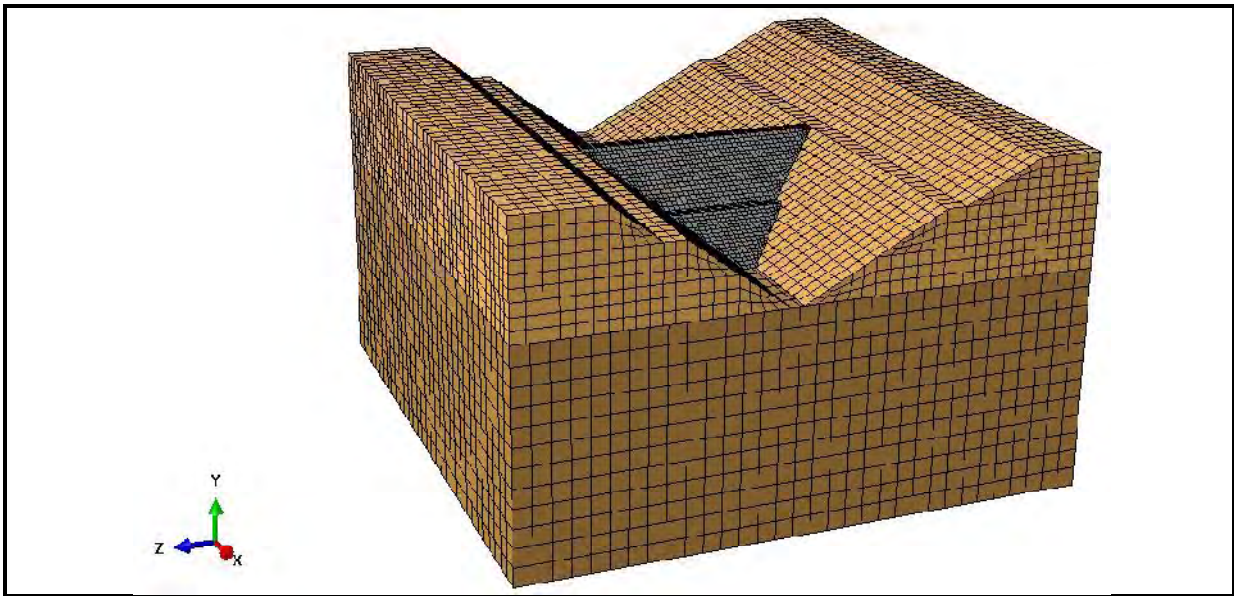
Στο Σχήμα 4.8.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας των βραχωδών πρανών και επειδή το υλικό του υπεδάφους είναι λιγότερο συμπιεστό, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή είναι μικρότερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από το υπέδαφος και λιγότερο από τα βραχώδη πρανή. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 929 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 489 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 489 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 10 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 5 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.8. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa]στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Β και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Α.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.9. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β**

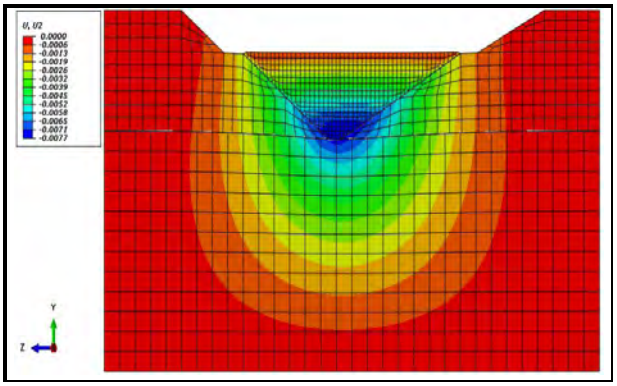
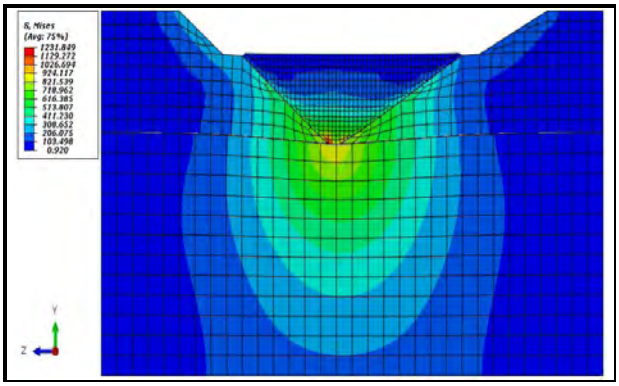
Στο Σχήμα 4.9. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Β (Ε = 10 GPa, ν = 0.13) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Β (Ε = 10 GPa, ν = 0.13) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος και τα βραχώδη πρανή αποτελούνται από το ίδιο βραχώδες υλικό, και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.9.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης του φράγματος και στις αρχές των βραχωδών πρανών, ίση με U_{max} = 7.7 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 5.8 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 5.8 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

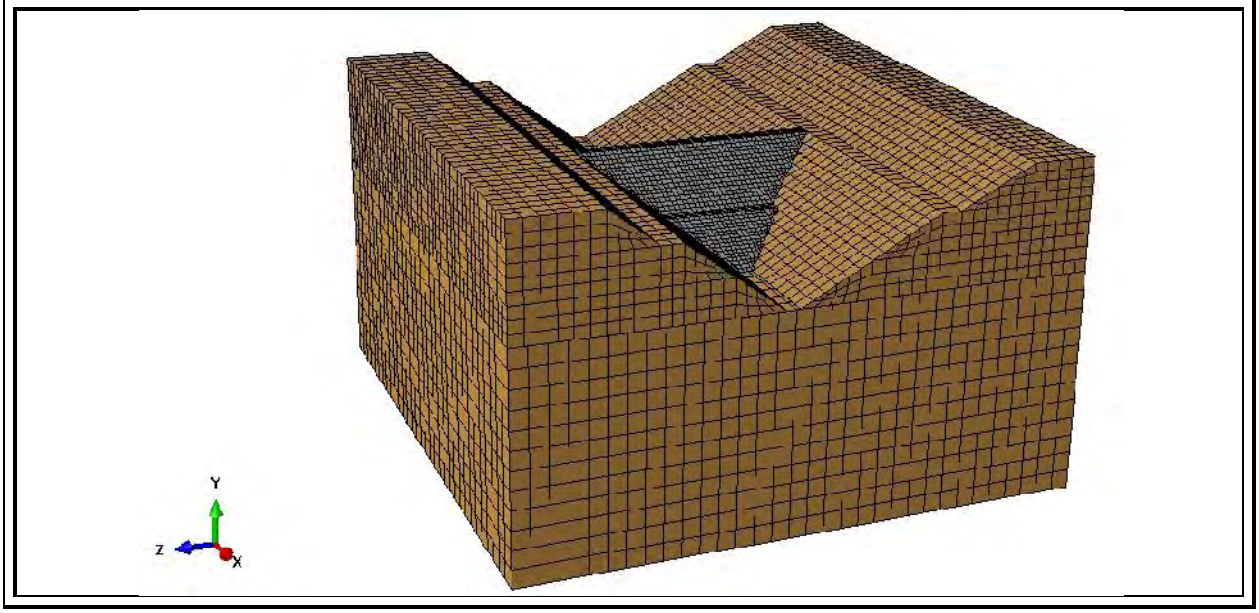
Στο Σχήμα 4.9.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της ίδιας συμπιεστότητας των βραχωδών πρανών και του υπεδάφους, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή και στο υπέδαφος είναι αριθμητικά πολύ κοντά, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι τα στατικά φορτία κατανέμονται εξίσου τόσο στο υπέδαφος όσο και στα βραχώδη πρανή. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 924 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 738 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 738 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 10 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 10 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.9. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa]στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Β και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Β.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.10. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ**

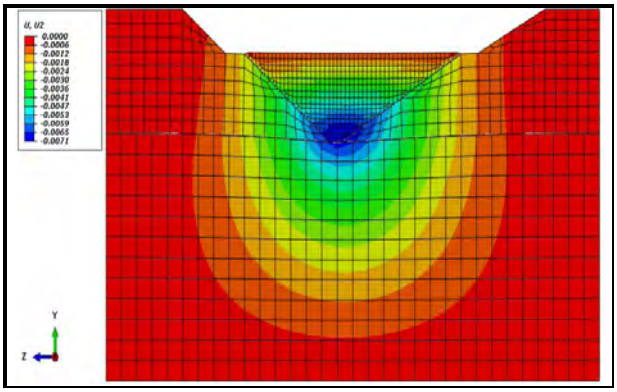
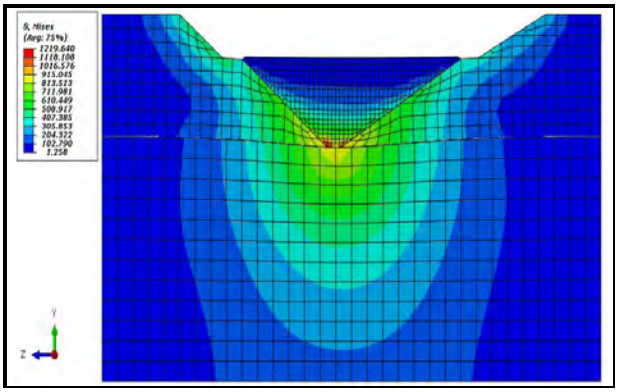
Στο Σχήμα 4.10. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Β (Ε = 10 GPa, ν = 0.13) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Γ (Ε = 20 GPa, ν = 0.18) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι περισσότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.10.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 7.1 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 4.1 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 4.1 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

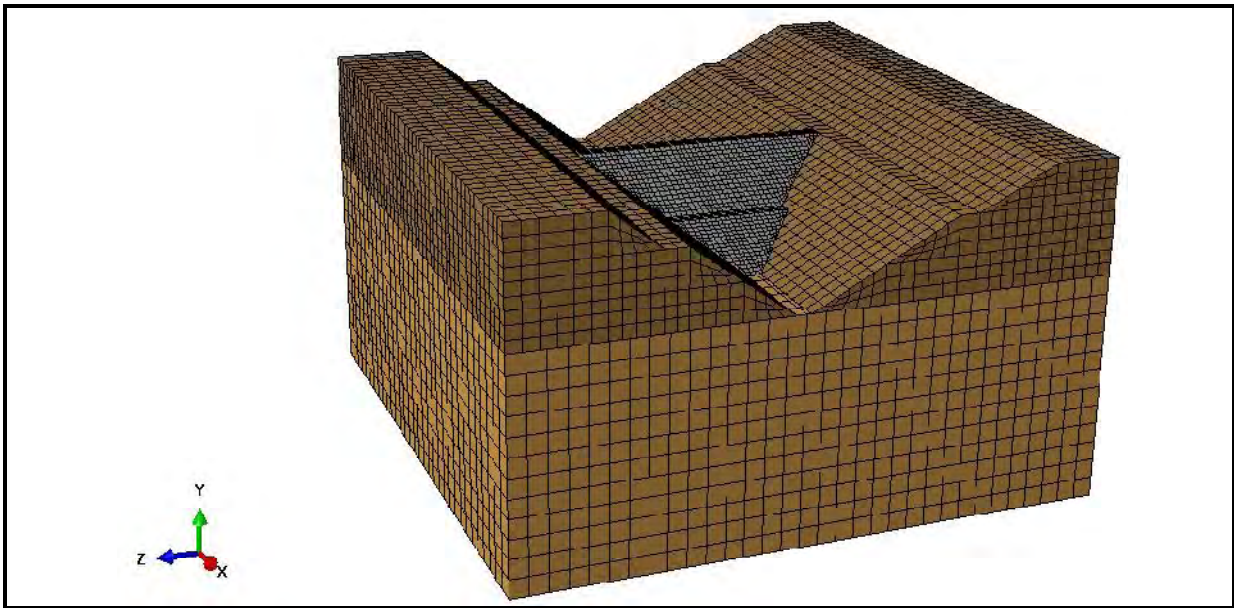
Στο Σχήμα 4.10.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας του υπεδάφους και επειδή το υλικό των βραχωδών πρανών είναι λιγότερο συμπιεστό, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή ενδέχεται σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από τα πρανή και λιγότερο από το υπέδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 915 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 873 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 873 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 10 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 20 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.10. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Β και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Γ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.11. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ**

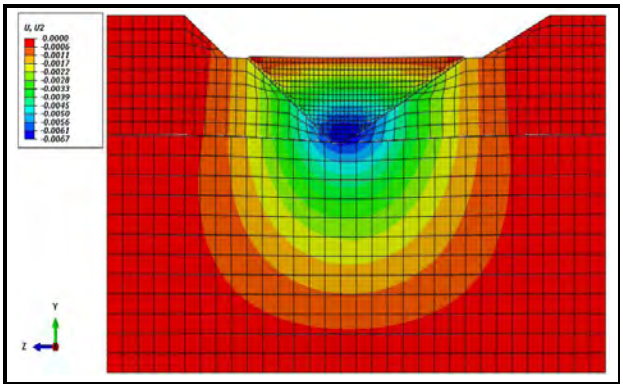
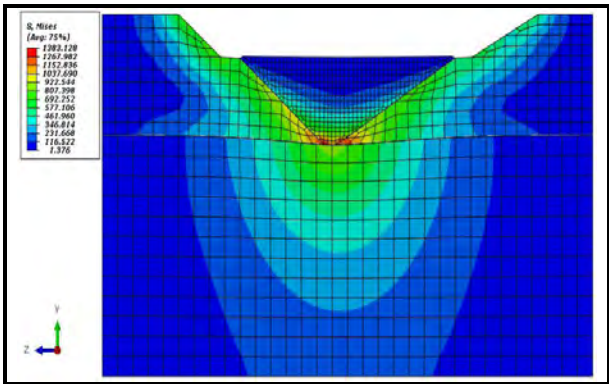
Στο Σχήμα 4.11. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Β (Ε = 10 GPa, ν = 0.13) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Δ (Ε = 40 GPa, ν = 0.20) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι περισσότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.11.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 6.7 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 4.5 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 4.5 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

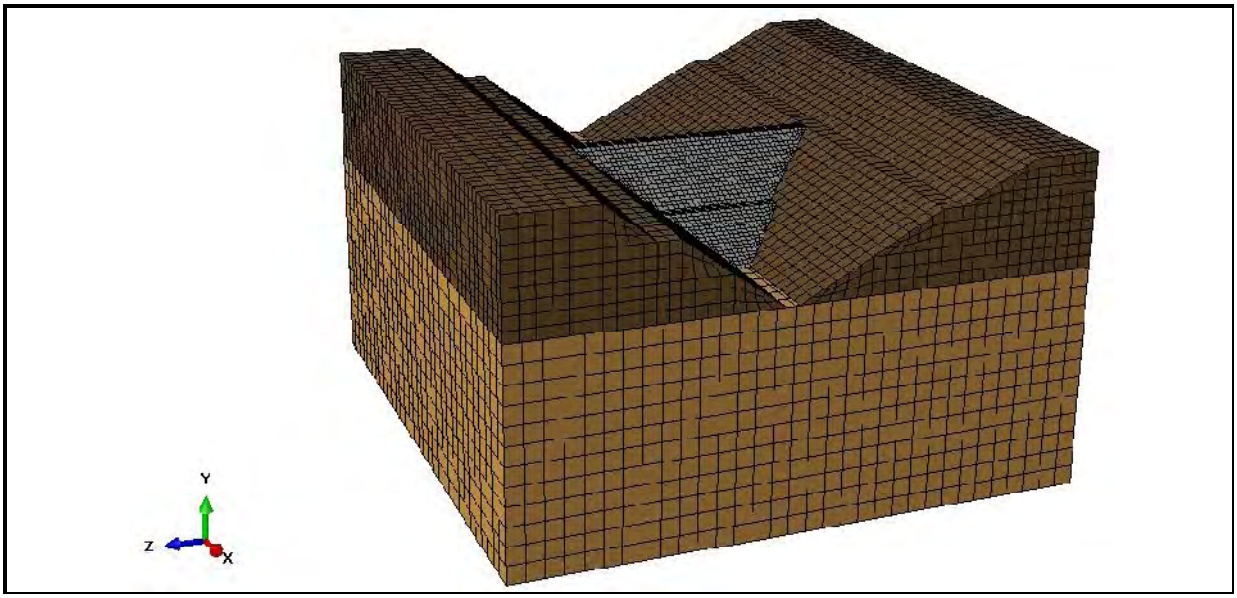
Στο Σχήμα 4.11.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας του υπεδάφους και επειδή το υλικό των βραχωδών πρανών είναι λιγότερο συμπιεστό, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή ενδέχεται σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από τα πρανή και λιγότερο από το υπέδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 922 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 1023 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 807 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 10 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 40 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.11. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Β και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Δ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.12. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε**

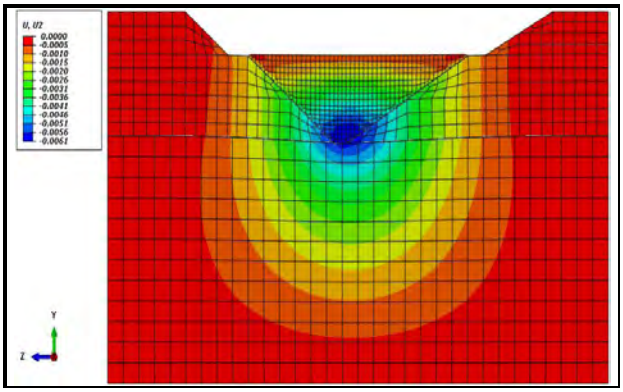
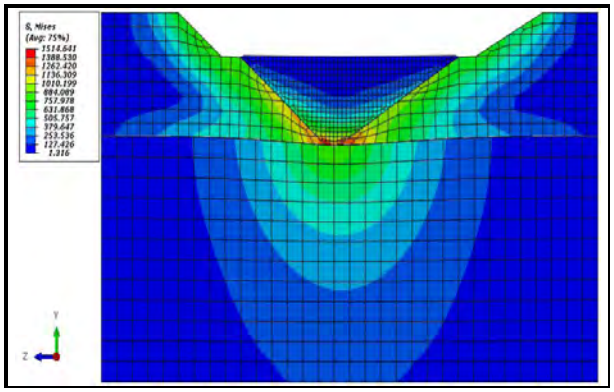
Στο Σχήμα 4.12. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Β (Ε = 10 GPa, ν = 0.13) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Ε (Ε = 60 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι περισσότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.12.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 6.1 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 4.1 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 4.1 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

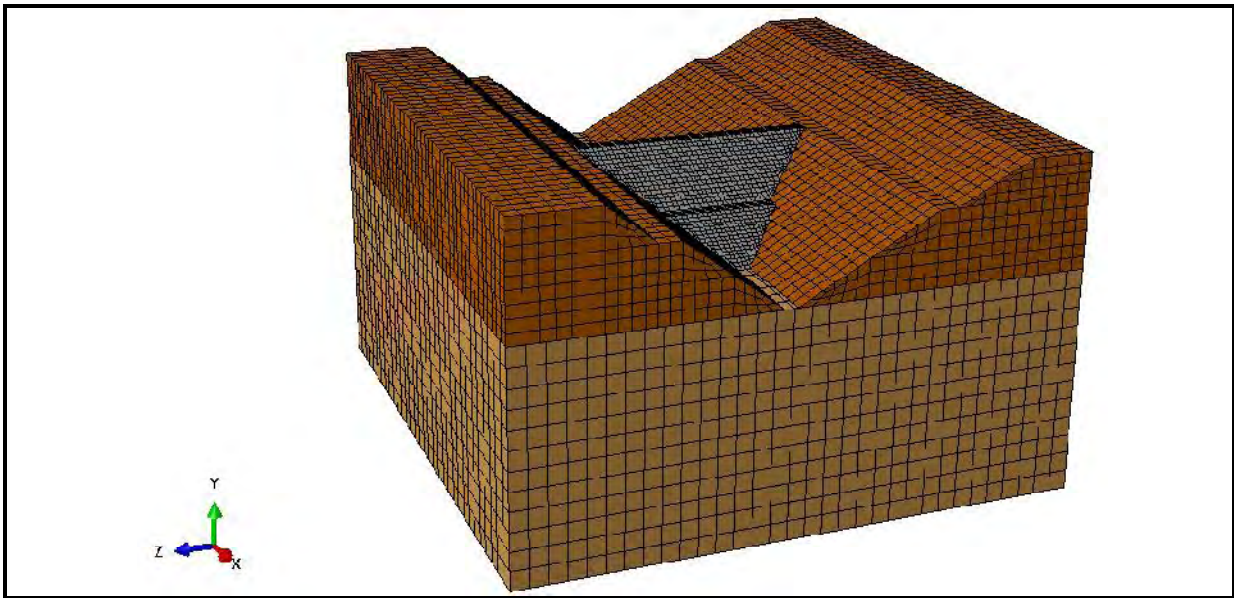
Στο Σχήμα 4.12.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας του υπεδάφους και επειδή το υλικό των βραχωδών πρανών είναι λιγότερο συμπιεστό, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή ενδέχεται σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από τα πρανή και λιγότερο από το υπέδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 734 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 1156 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 1010 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 10 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 60 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.12. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Β και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Ε.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.13. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ**

Στο Σχήμα 4.13. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Β (Ε = 10 GPa, ν = 0.13) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό ΣΤ (Ε = 80 GPa, ν = 0.23) (Παράρτημα) . Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι περισσότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

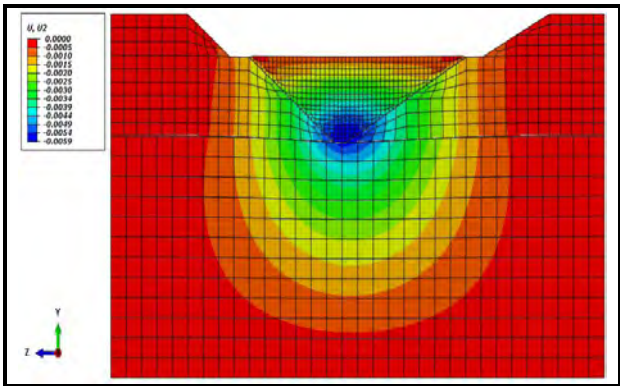
Στο Σχήμα 4.13.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 5.9 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 4 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 4 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

Στο Σχήμα 4.13.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας του υπεδάφους και επειδή το υλικό των βραχωδών πρανών είναι λιγότερο συμπιεστό, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή ενδέχεται σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από τα πρανή και λιγότερο από το υπέδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 783 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 1174 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 1174 kPa.

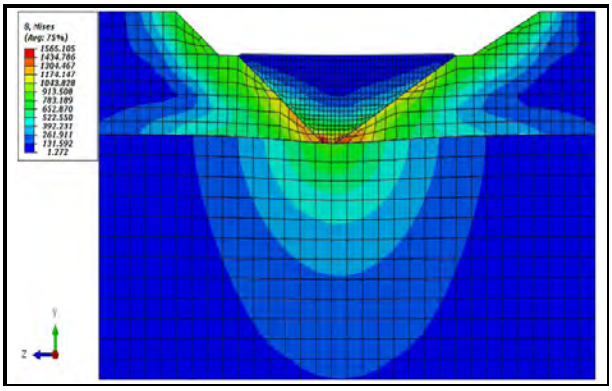
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 10 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 80 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β – ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ]

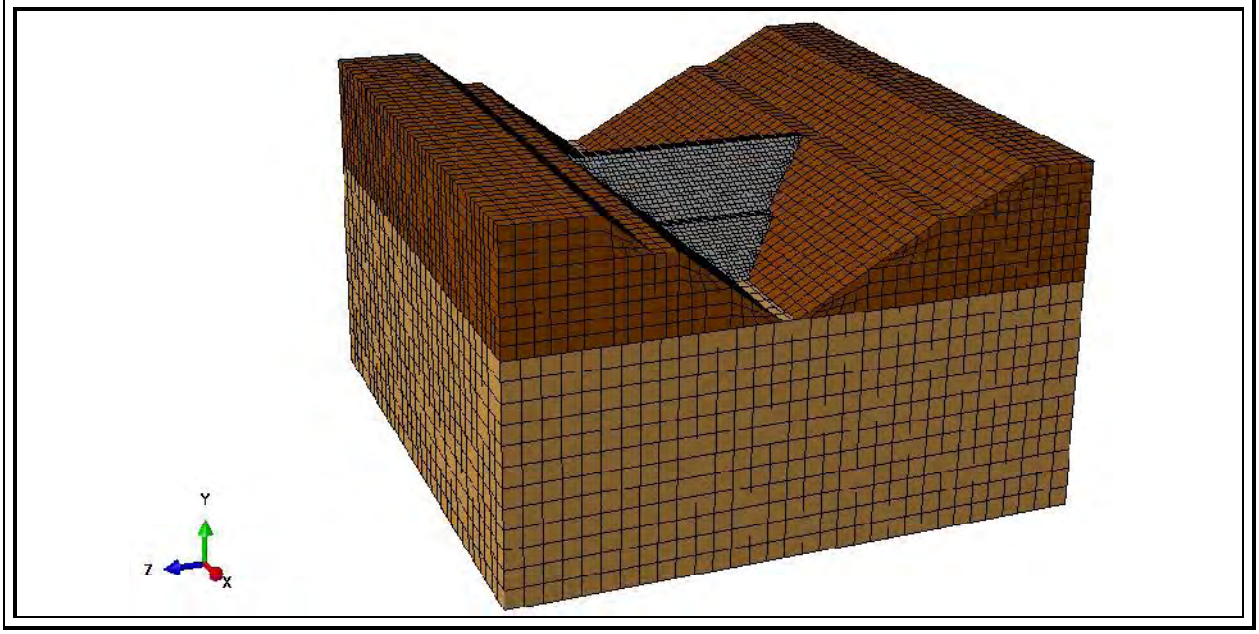
ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]



ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]



ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.13. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Β και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό ΣΤ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.14. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ**

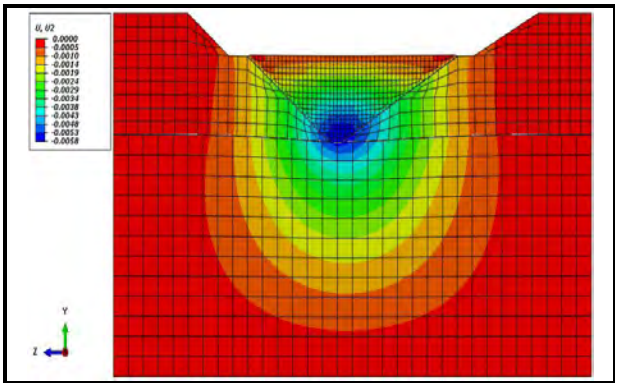
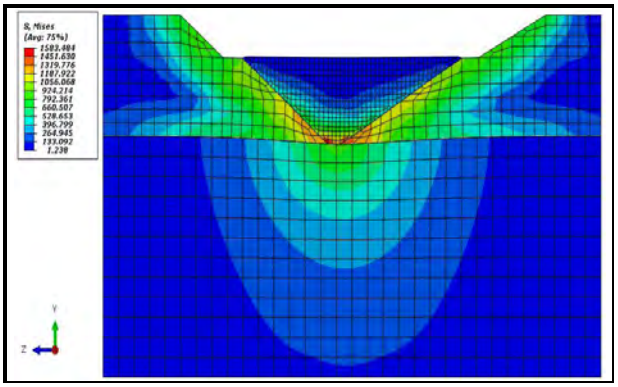
Στο Σχήμα 4.14. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Β (Ε = 10 GPa, ν = 0.13) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Ζ (Ε = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι περισσότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.14.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 5.8 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 3.4 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 3.4 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

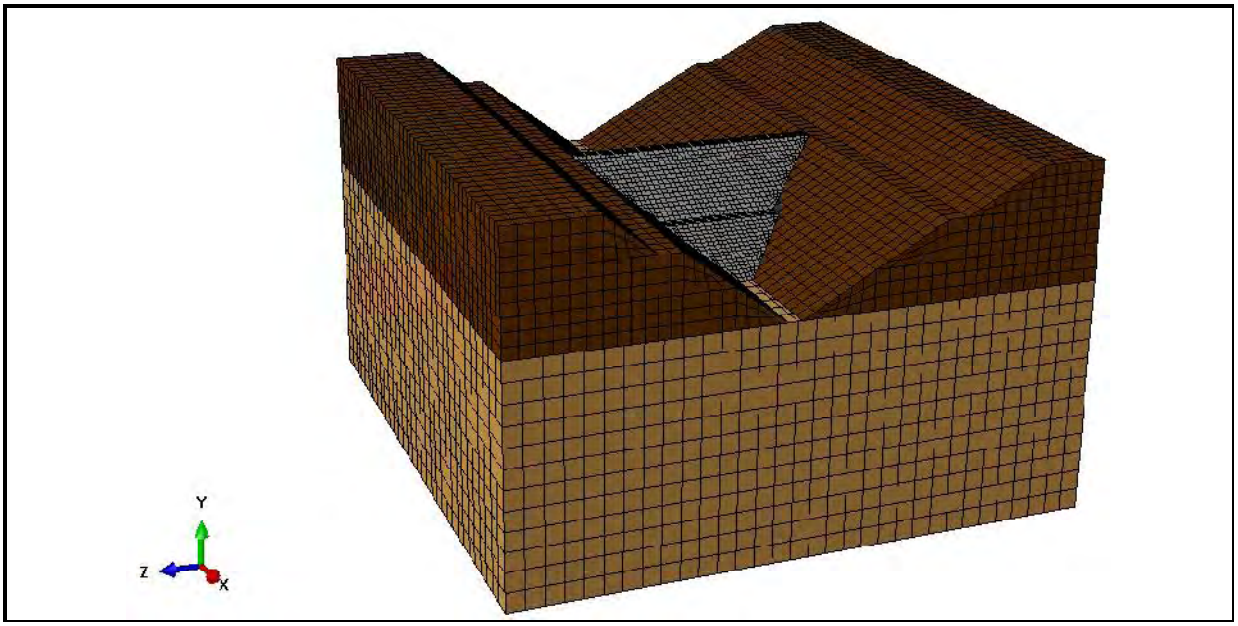
Στο Σχήμα 4.14.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας του υπεδάφους και επειδή το υλικό των βραχωδών πρανών είναι λιγότερο συμπιεστό, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή ενδέχεται σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από τα πρανή και λιγότερο από το υπέδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 792 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 1389 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 1389 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 10 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 100 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.14. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa]στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Β και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Ζ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.15. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α**

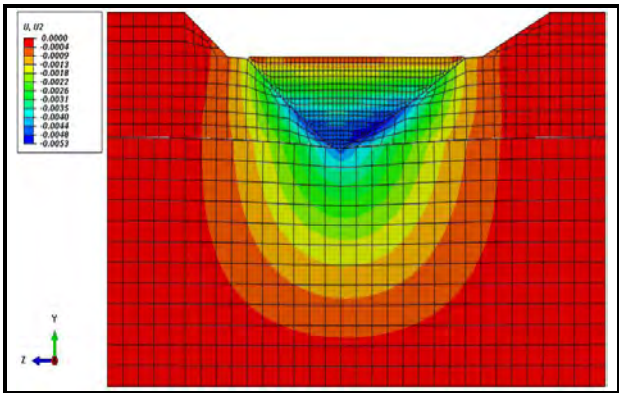
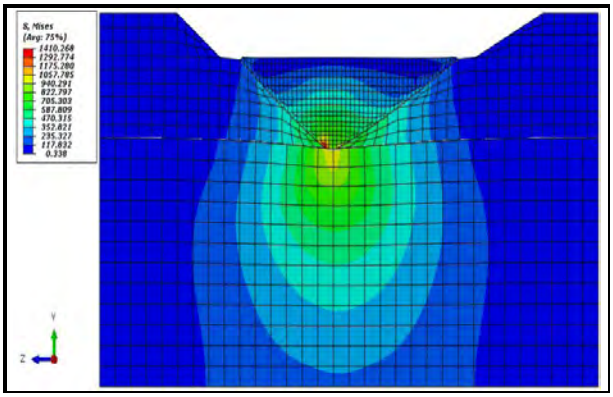
Στο Σχήμα 4.15. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Γ (Ε = 20 GPa, ν = 0.18) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Α (Ε = 5 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι λιγότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.15.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης των αντερεισμάτων του φράγματος, ίση με U_{max} = 4.8 mm, και όχι πια στη βάση του φράγματος, εξαιτίας των αρκετά μαλακών (συμπιεστών) βραχωδών πρανών και του αρκετά ασυμπίεστου υπεδάφους. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

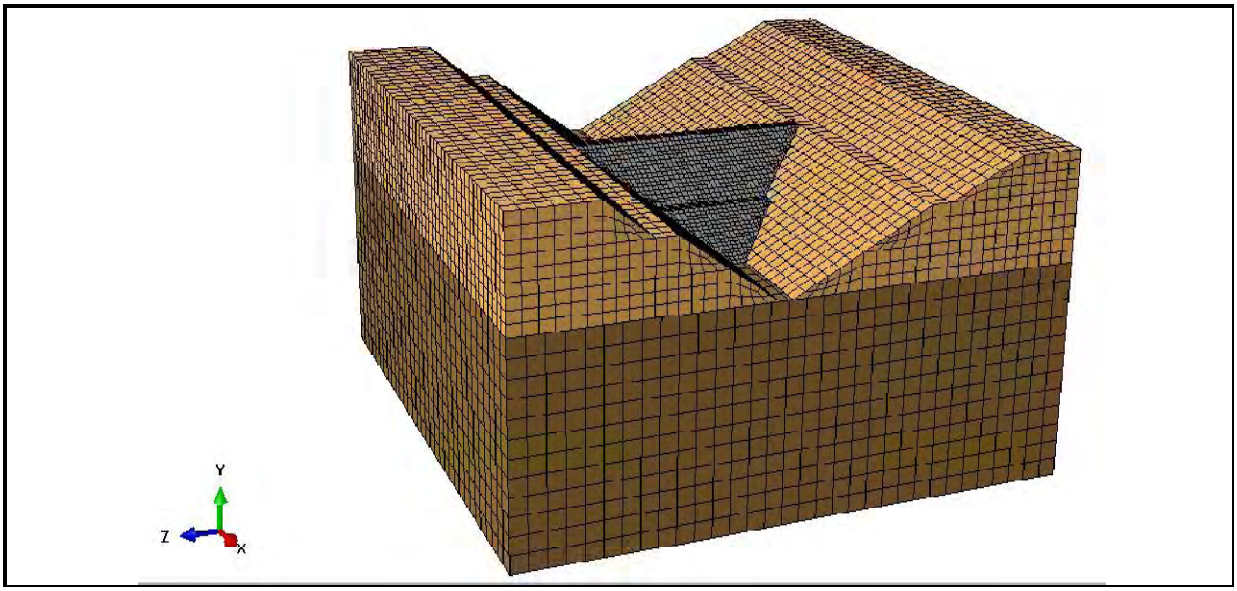
Στο Σχήμα 4.15.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας των βραχωδών πρανών και επειδή το υλικό του υπεδάφους είναι αρκετά σκληρό (περισσότερο ασυμπίεστο), οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή είναι μικρότερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από το υπέδαφος και λιγότερο από τα βραχώδη πρανή. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 1058 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 470 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 470 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 20 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 5 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.15. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Γ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Α.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.16. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β**

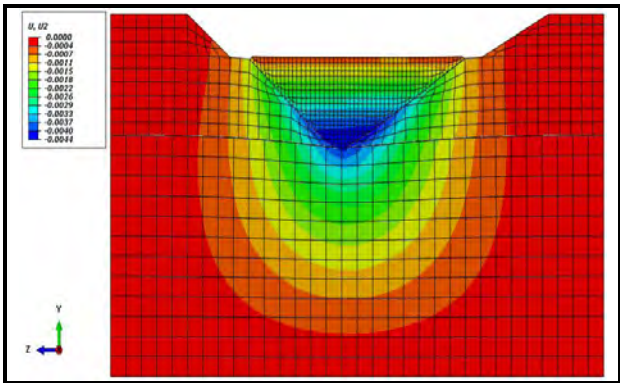
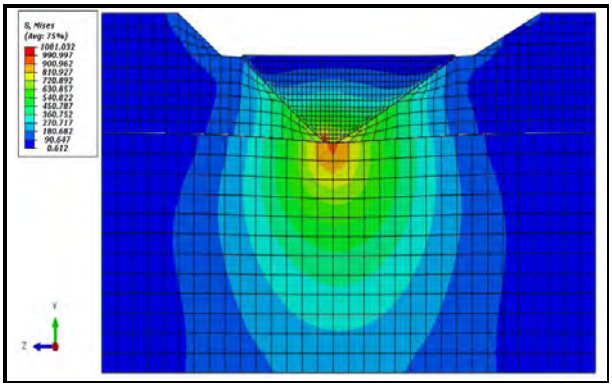
Στο Σχήμα 4.16. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Γ (Ε = 20 GPa, ν = 0.18) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Β (Ε = 10 GPa, ν = 0.13) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι λιγότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.16.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 4.4 mm. Η καθίζηση της βάσης του δεξιού αντερείσματος είναι ίση με U_{right} = 3.7 mm και η καθίζηση της βάσης του αριστερού αντερείσματος είναι ίση με U_{left} = 3.7 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

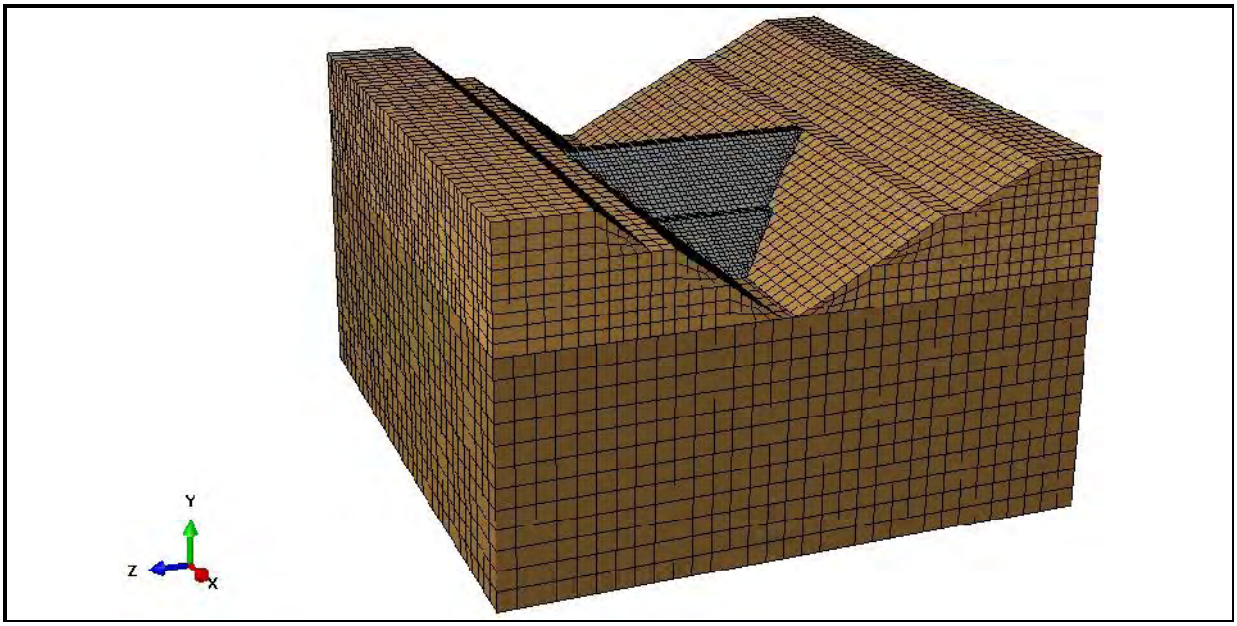
Στο Σχήμα 4.16.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Επειδή το υπέδαφος και τα βραχώδη πρανή έχουν παρόμοια συμπιεστότητα, οι τάσεις που αναπτύσσονται αναμένονται να μην έχουν μεγάλη απόκλιση μεταξύ τους, διότι τα στατικά φορτία κατανέμονται ισότιμα τόσο στο υπέδαφος όσο και στα βραχώδη πρανή, συνεπώς οι τάσεις είναι παρόμοιες, με το υπέδαφος, ως λιγότερο συμπιεστό, να παραλαμβάνει μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων, συνεπώς οι τάσεις του υπεδάφους θα είναι λίγο μεγαλύτερες. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 991 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 630 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 630 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 20 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 10 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.16. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa]στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Γ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Β.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.17. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ**

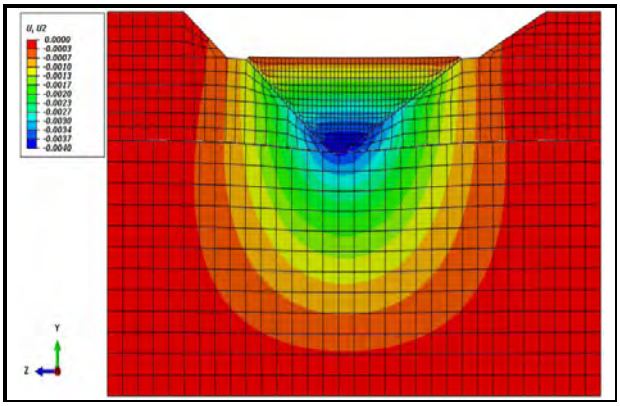
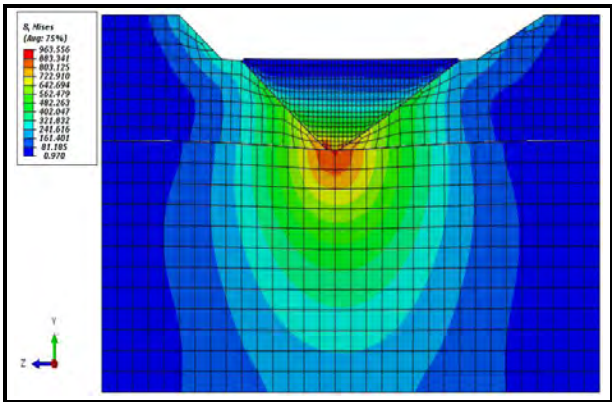
Στο Σχήμα 4.17. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Γ (E = 20 GPa, ν = 0.18) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Γ (E = 20 GPa, ν = 0.18) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος και τα βραχώδη πρανή αποτελούνται από το ίδιο βραχώδες υλικό, και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.17.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης του φράγματος και στις αρχές των βραχωδών πρανών, ίση με U_{max} = 4 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 3 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 3 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

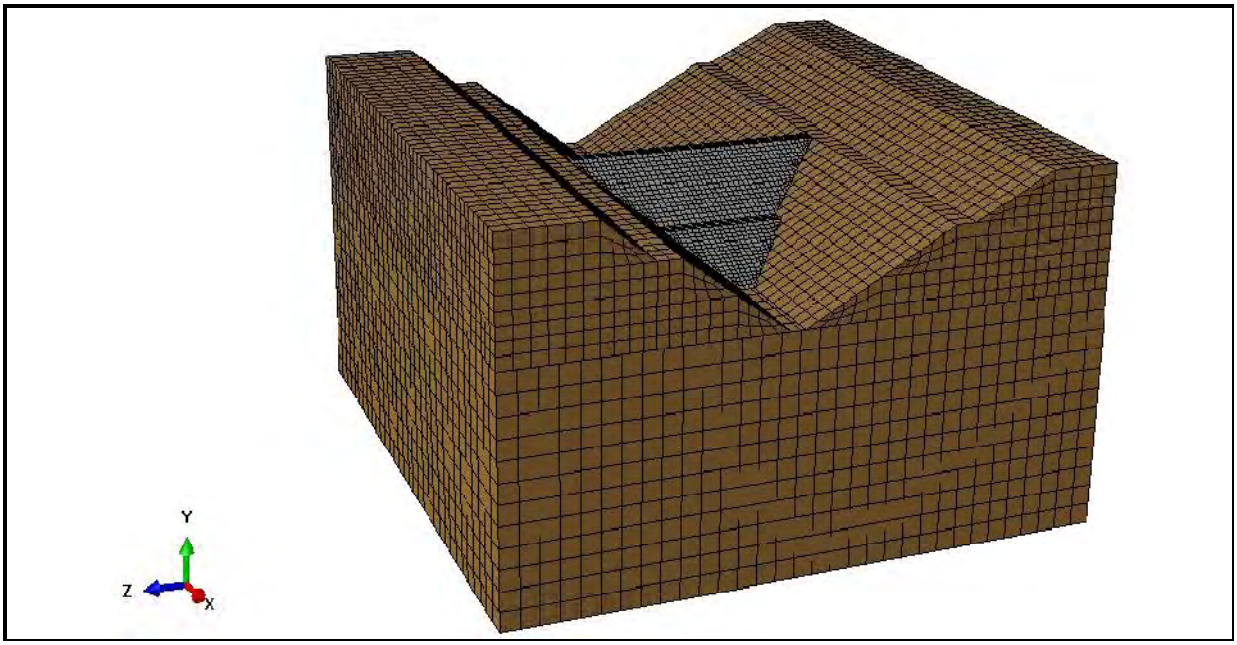
Στο Σχήμα 4.17.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της ίδιας συμπιεστότητας των βραχωδών πρανών και του υπεδάφους, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή και στο υπέδαφος είναι αριθμητικά πολύ κοντά, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι τα στατικά φορτία κατανέμονται εξίσου τόσο στο υπέδαφος όσο και στα βραχώδη πρανή. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 883 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 643 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 643 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 20 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 20 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.17. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Γ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Γ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.18. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ**

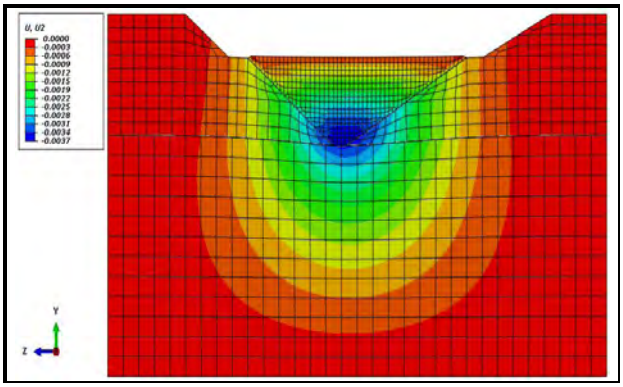
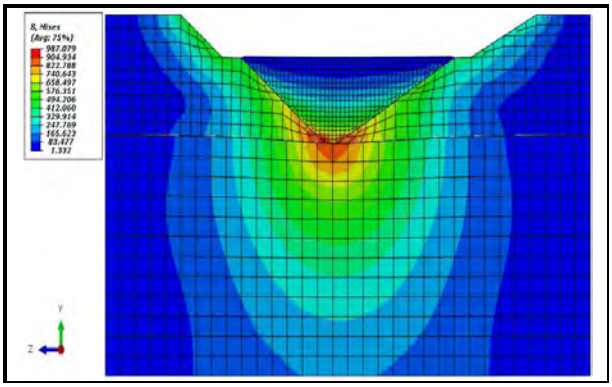
Στο Σχήμα 4.18. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Γ (E = 20 GPa, ν = 0.18) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Δ (E = 40 GPa, ν = 0.20) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι περισσότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.18.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 3.7 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 2.5 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 2.5 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

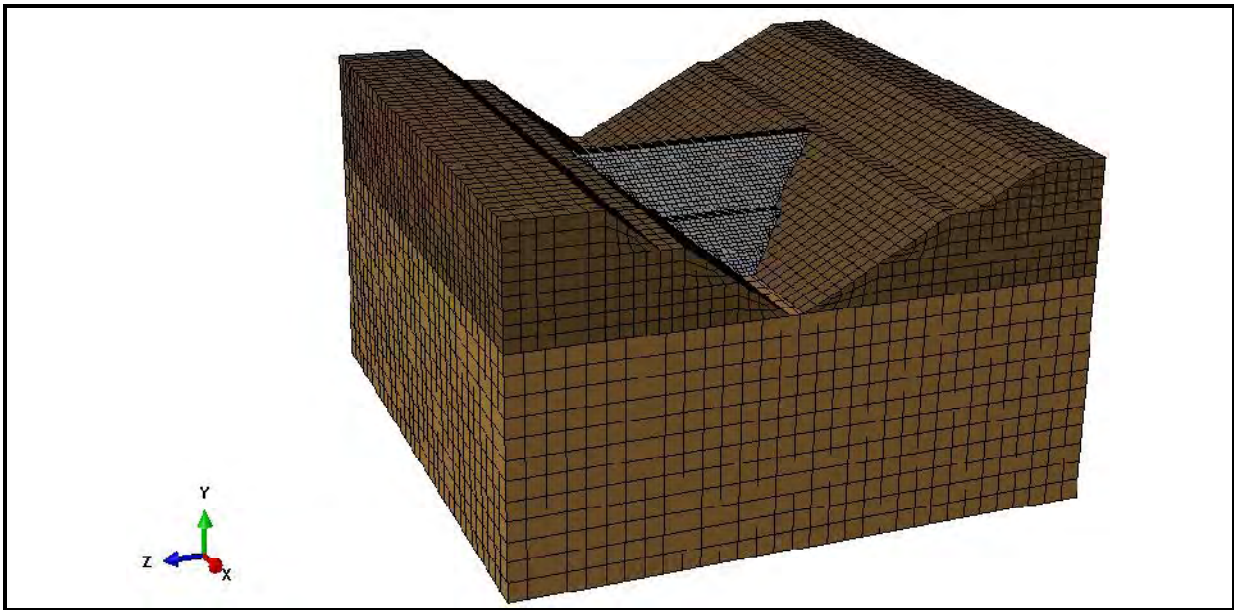
Στο Σχήμα 4.18.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας του υπεδάφους και επειδή το υλικό των βραχωδών πρανών είναι λιγότερο συμπιεστό, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή ενδέχεται σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από τα πρανή και λιγότερο από το υπέδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 904 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 658 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 658 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 20 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 40 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.18. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Γ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Δ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.19. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε**

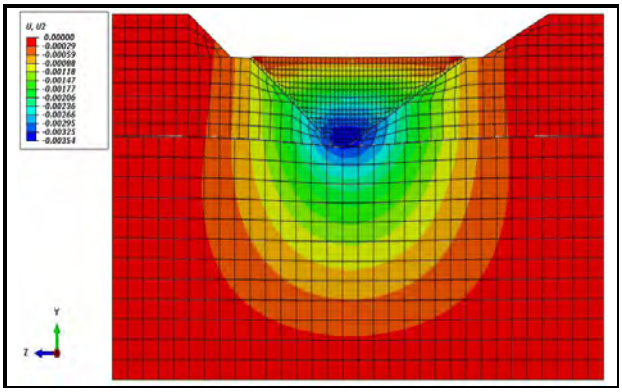
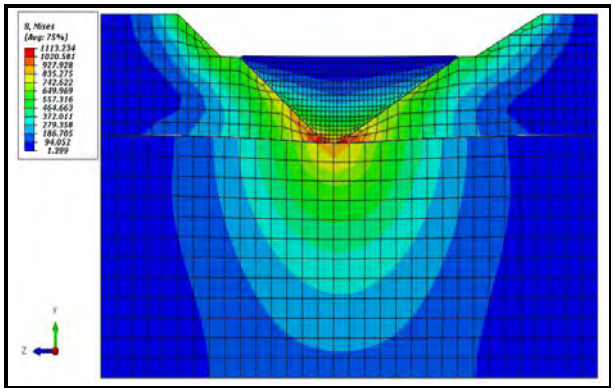
Στο Σχήμα 4.19. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Γ (Ε = 20 GPa, ν = 0.18) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Ε (Ε = 60 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι περισσότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.19.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 3.54 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 2.36 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 2.36 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

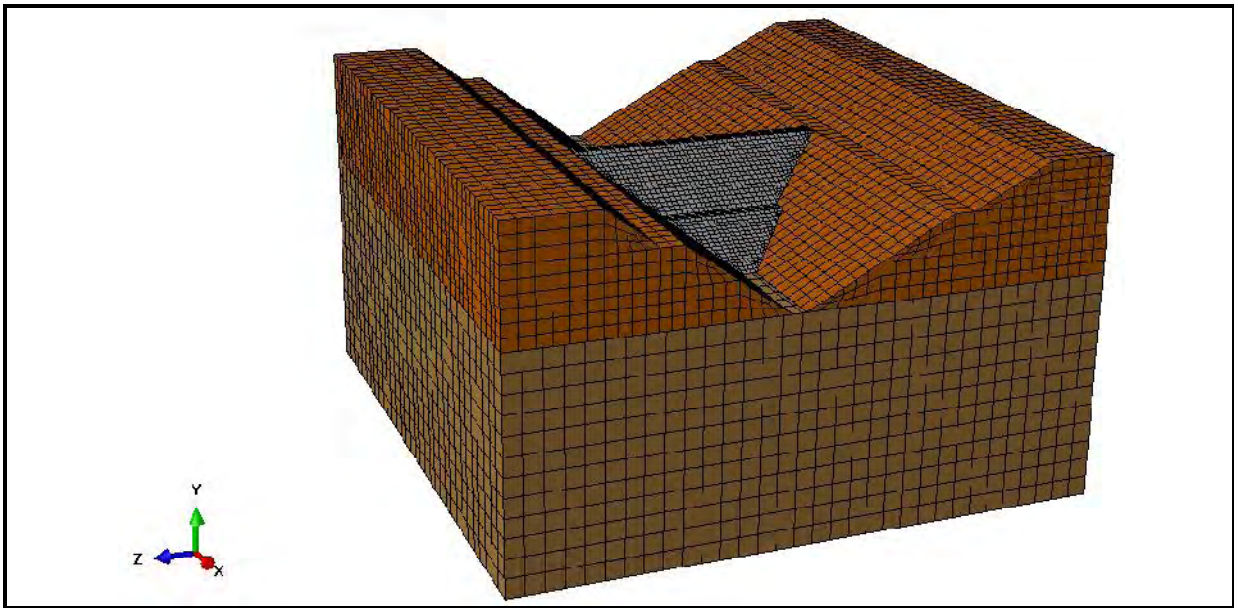
Στο Σχήμα 4.19.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας του υπεδάφους και επειδή το υλικό των βραχωδών πρανών είναι λιγότερο συμπιεστό, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή ενδέχεται σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από τα πρανή και λιγότερο από το υπέδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 928 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 835 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 835 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 20 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 60 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.19. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Γ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Ε.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.20. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ**

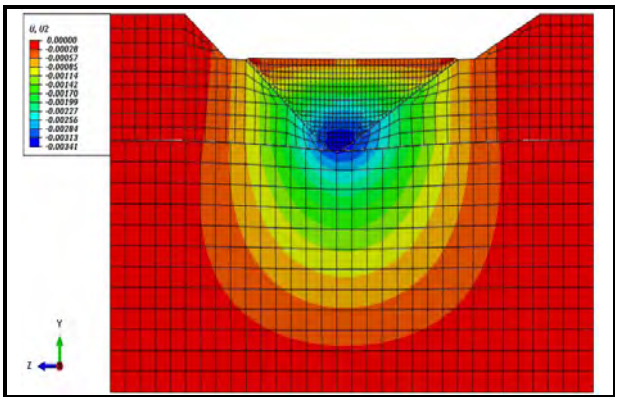
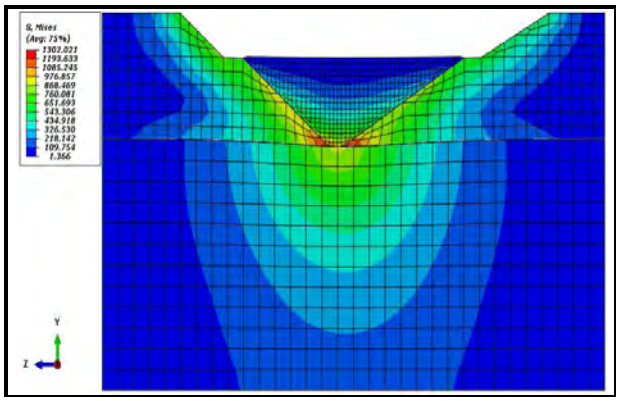
Στο Σχήμα 4.20. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Γ (E = 20 GPa, ν = 0.18) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό ΣΤ (E = 80 GPa, ν = 0.23) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι περισσότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.20.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 3.41 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 2.27 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 2.27 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

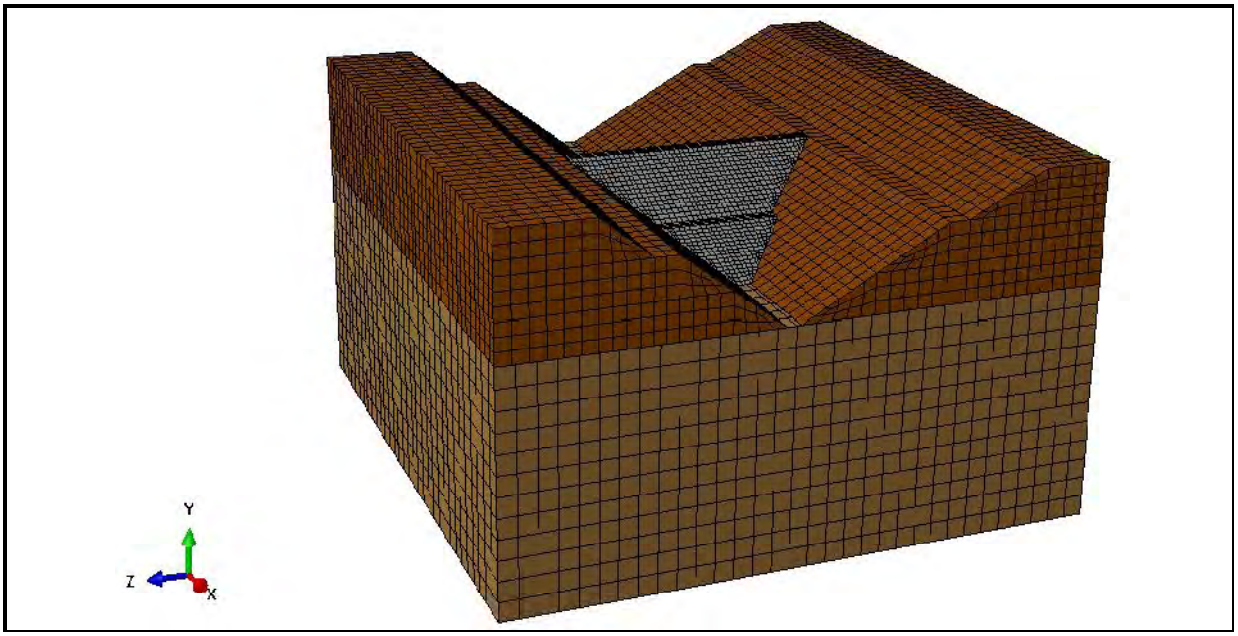
Στο Σχήμα 4.20.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας του υπεδάφους και επειδή το υλικό των βραχωδών πρανών είναι λιγότερο συμπιεστό, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή ενδέχεται σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από τα πρανή και λιγότερο από το υπέδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 976 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 976 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 976 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 20 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 80 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.20. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Γ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό ΣΤ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.21. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**

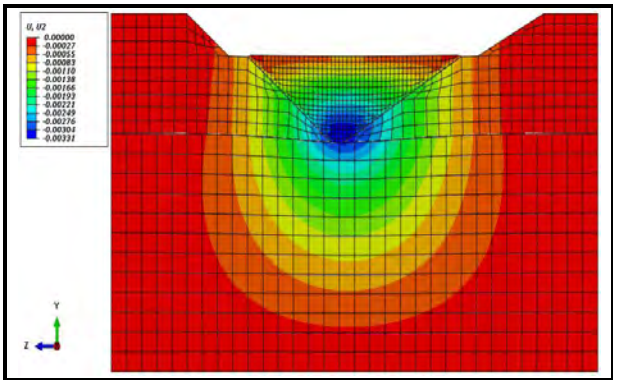
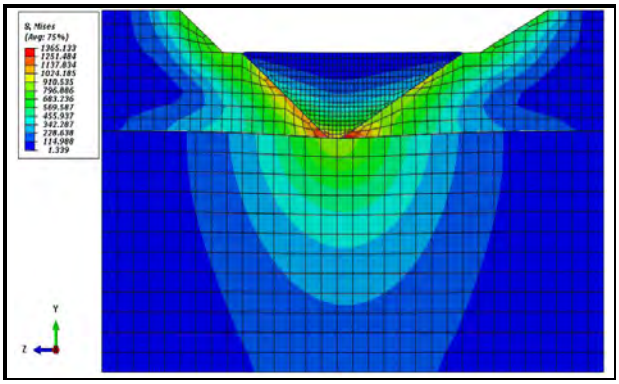
Στο Σχήμα 4.21. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Γ (E = 20 GPa, ν = 0.18) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι περισσότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.21.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 3.31 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 2.21 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 2.21 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

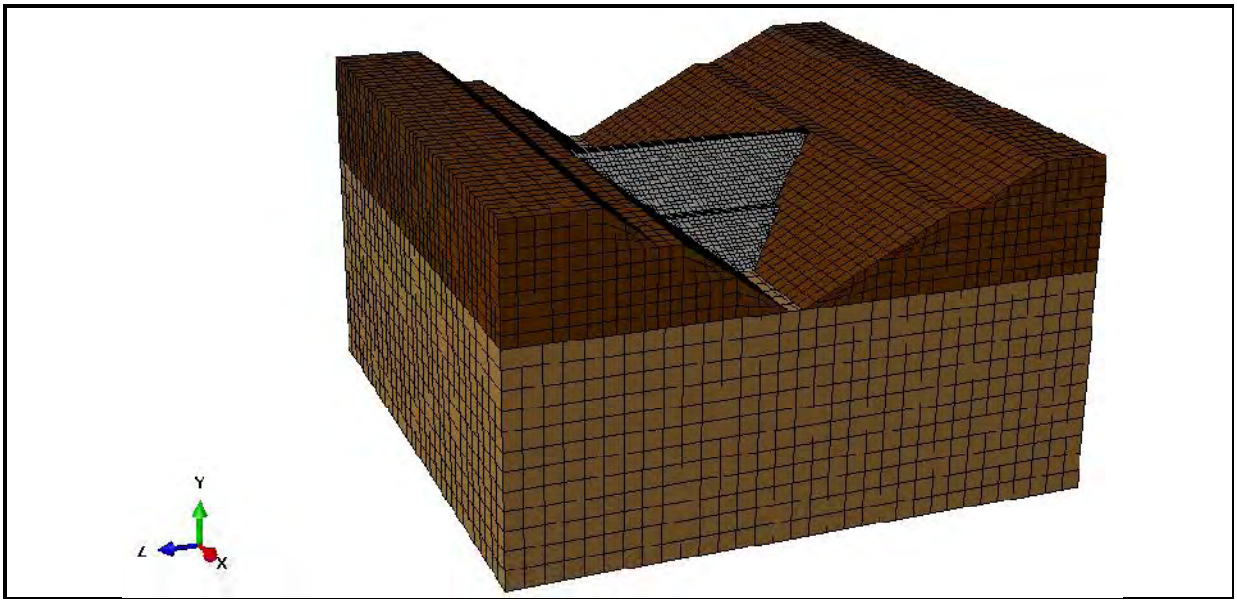
Στο Σχήμα 4.21.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας του υπεδάφους και επειδή το υλικό των βραχωδών πρανών είναι λιγότερο συμπιεστό, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή ενδέχεται σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από τα πρανή και λιγότερο από το υπέδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 911 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 1137 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 911 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 20 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 100 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.21. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa]στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Γ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Ζ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.22. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α**

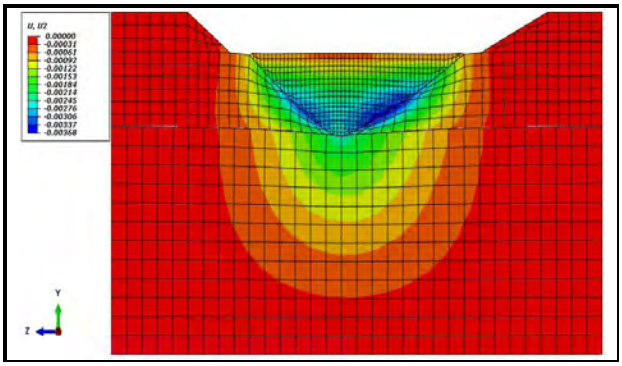
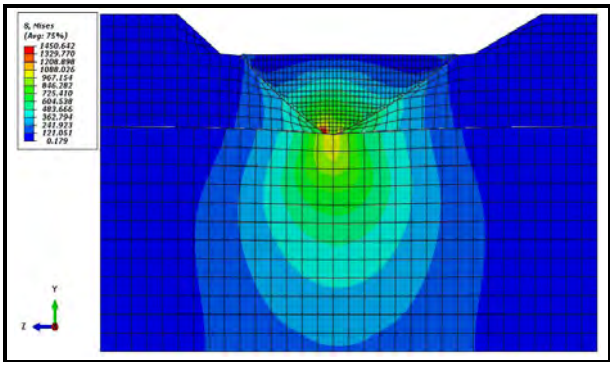
Στο Σχήμα 4.22. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Δ (E = 40 GPa, ν = 0.20) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Α (E = 5 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι λιγότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.22.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης των αντερεισμάτων του φράγματος, ίση με U_{max} = 3.68 mm, και όχι πια στη βάση του φράγματος, εξαιτίας των αρκετά μαλακών (συμπιεστών) βραχωδών πρανών και του αρκετά ασυμπίεστου υπεδάφους. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

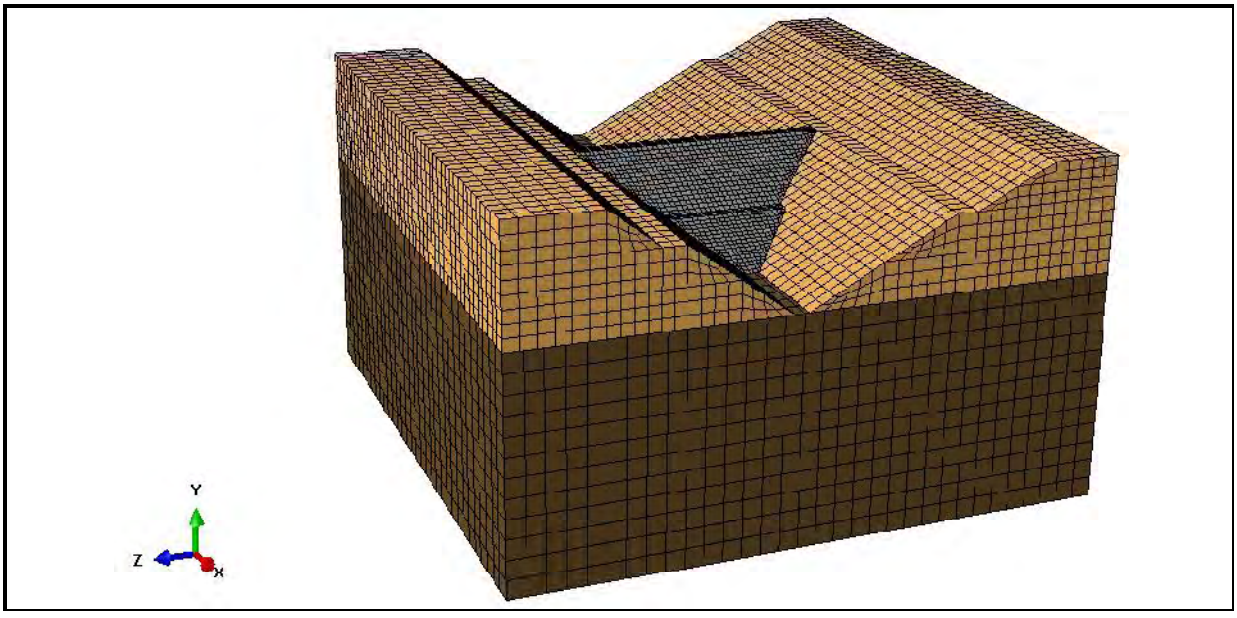
Στο Σχήμα 4.22.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας των βραχωδών πρανών και επειδή το υλικό του υπεδάφους είναι αρκετά σκληρό (περισσότερο ασυμπίεστο), οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή είναι μικρότερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από το υπέδαφος και λιγότερο από τα βραχώδη πρανή. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 1044 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 483 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 483 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 40 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 5 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.22. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Δ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Α.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.23. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β**

Στο Σχήμα 4.23. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Δ (Ε = 40 GPa, ν = 0.20) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Β (Ε = 10 GPa, ν = 0.13) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι λιγότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

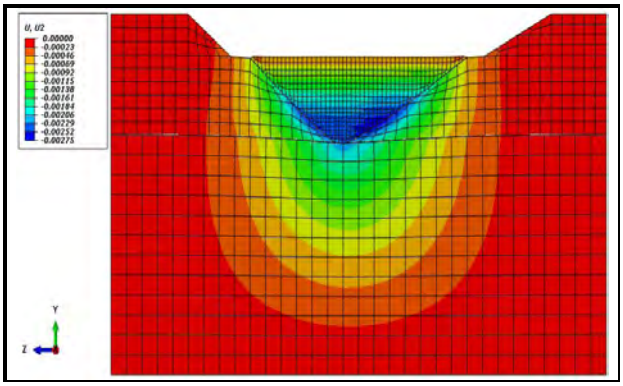
Στο Σχήμα 4.23.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης των αντερεισμάτων του φράγματος, ίση με U_{max} = 2.52 mm, και όχι πια στη βάση του φράγματος, εξαιτίας των αρκετά μαλακών (συμπιεστών) βραχωδών πρανών και του αρκετά ασυμπίεστου υπεδάφους. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

Στο Σχήμα 4.23.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας των βραχωδών πρανών και επειδή το υλικό του υπεδάφους είναι αρκετά σκληρό (περισσότερο ασυμπίεστο), οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή είναι μικρότερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από το υπέδαφος και λιγότερο από τα βραχώδη πρανή. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 971 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 529 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 529 kPa.

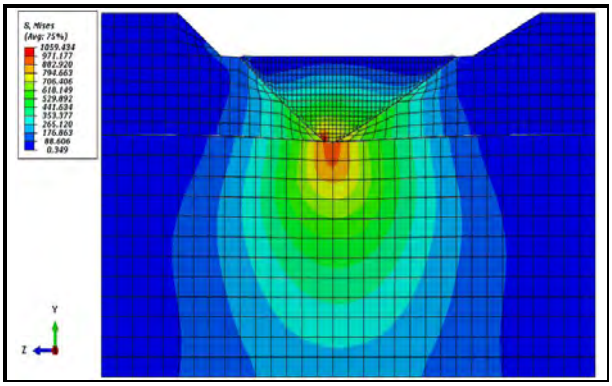
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 40 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 10 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β]

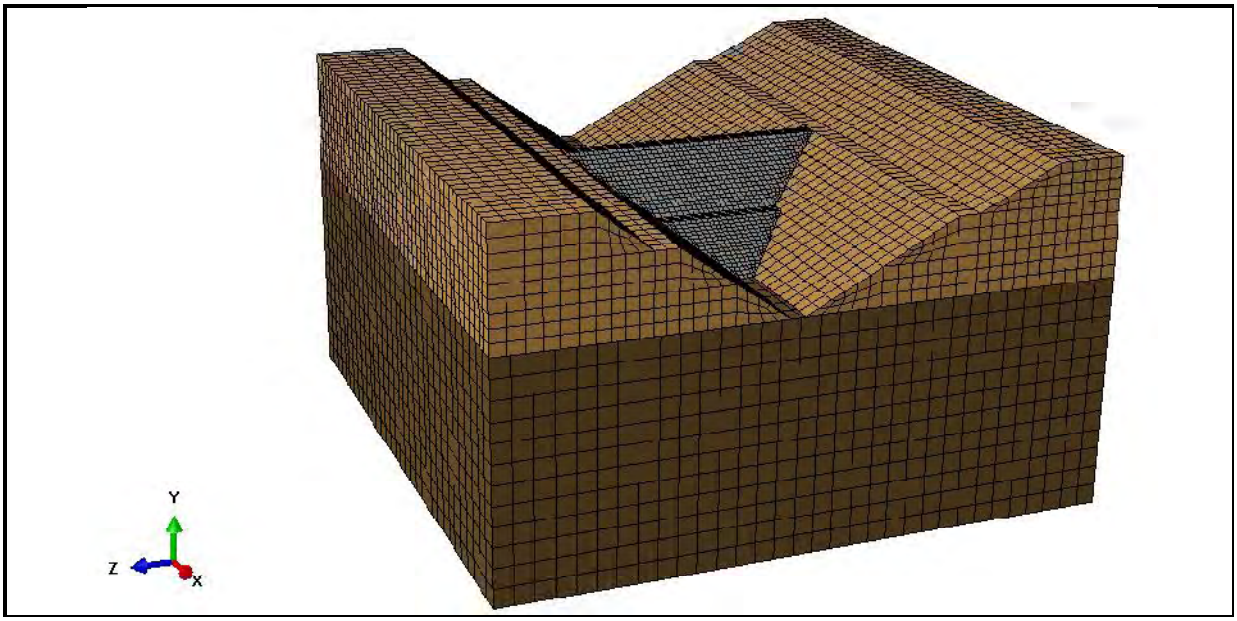
ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]



ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]



ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.23. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Δ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Β.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.24. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ**

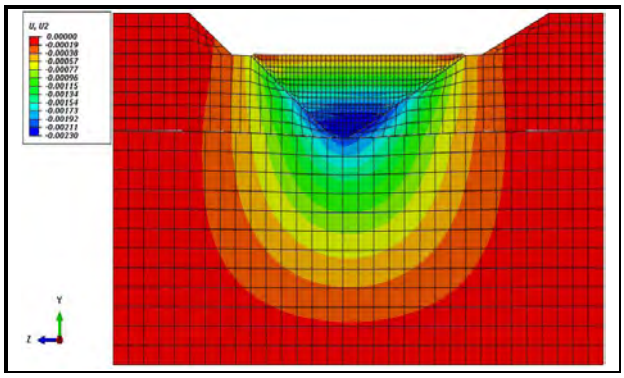
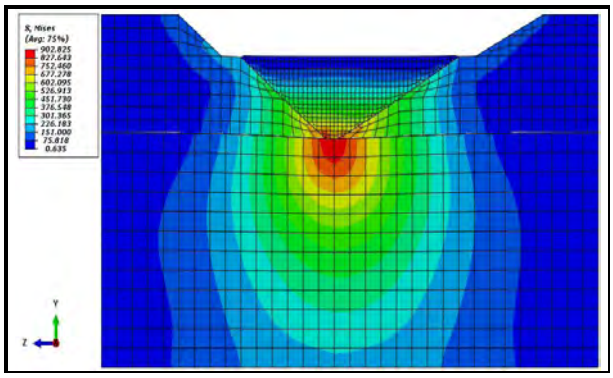
Στο Σχήμα 4.24. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Δ (Ε = 40 GPa, ν = 0.20) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Γ (Ε = 20 GPa, ν = 0.18) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι λιγότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.24.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 2.11 mm. Η καθίζηση της βάσης του δεξιού αντερείσματος είναι ίση με U_{right} = 2.11 mm και η καθίζηση της βάσης του αριστερού αντερείσματος είναι ίση με U_{left} = 2.11 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

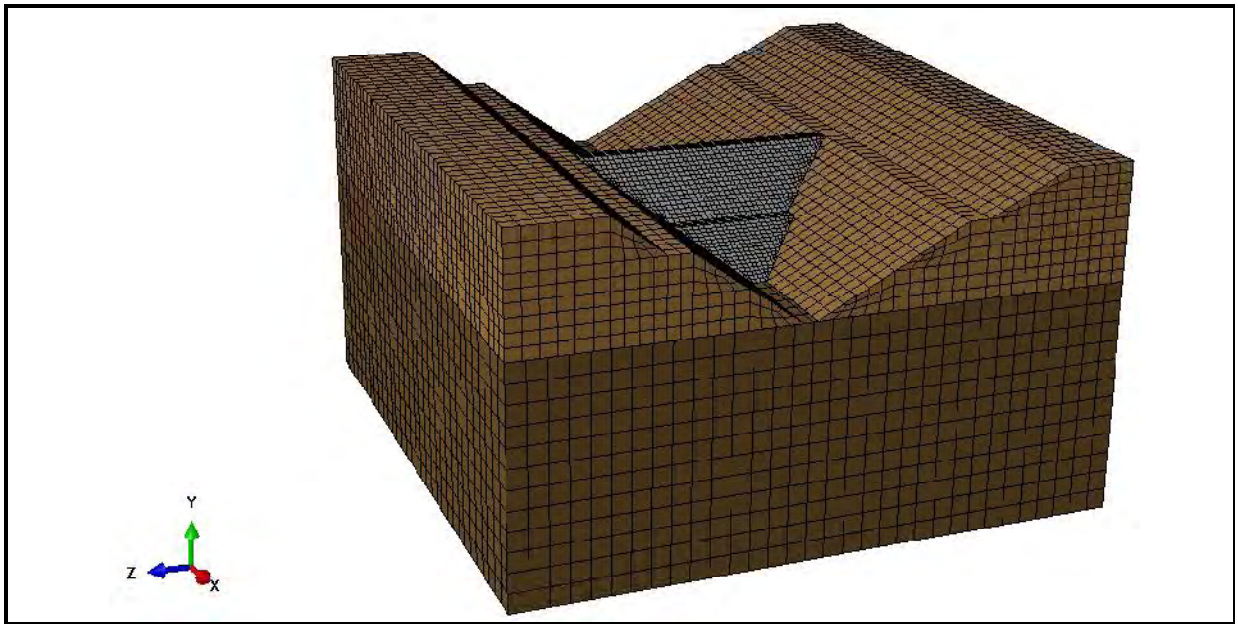
Στο Σχήμα 4.24.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Επειδή το υπέδαφος και τα βραχώδη πρανή έχουν παρόμοια συμπιεστότητα, οι τάσεις που αναπτύσσονται αναμένονται να μην έχουν μεγάλη απόκλιση μεταξύ τους, διότι τα στατικά φορτία κατανέμονται ισότιμα τόσο στο υπέδαφος όσο και στα βραχώδη πρανή, συνεπώς οι τάσεις είναι παρόμοιες, με το υπέδαφος, ως λιγότερο συμπιεστό, να παραλαμβάνει μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων, συνεπώς οι τάσεις του υπεδάφους θα είναι λίγο μεγαλύτερες. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 902 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 602 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 602 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 40 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 20 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.24. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Δ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Γ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.25. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ**

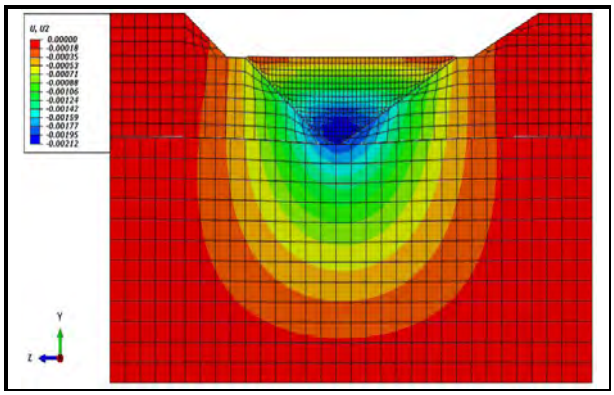
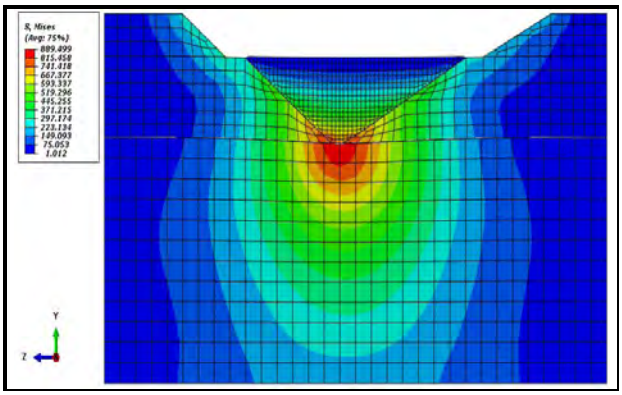
Στο Σχήμα 4.25. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Δ (E = 40 GPa, ν = 0.20) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Δ (E = 40 GPa, ν = 0.20) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος και τα βραχώδη πρανή αποτελούνται από το ίδιο βραχώδες υλικό, και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.25.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης του φράγματος και στις αρχές των βραχωδών πρανών, ίση με U_{max} = 2.12 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 1.77 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 1.77 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

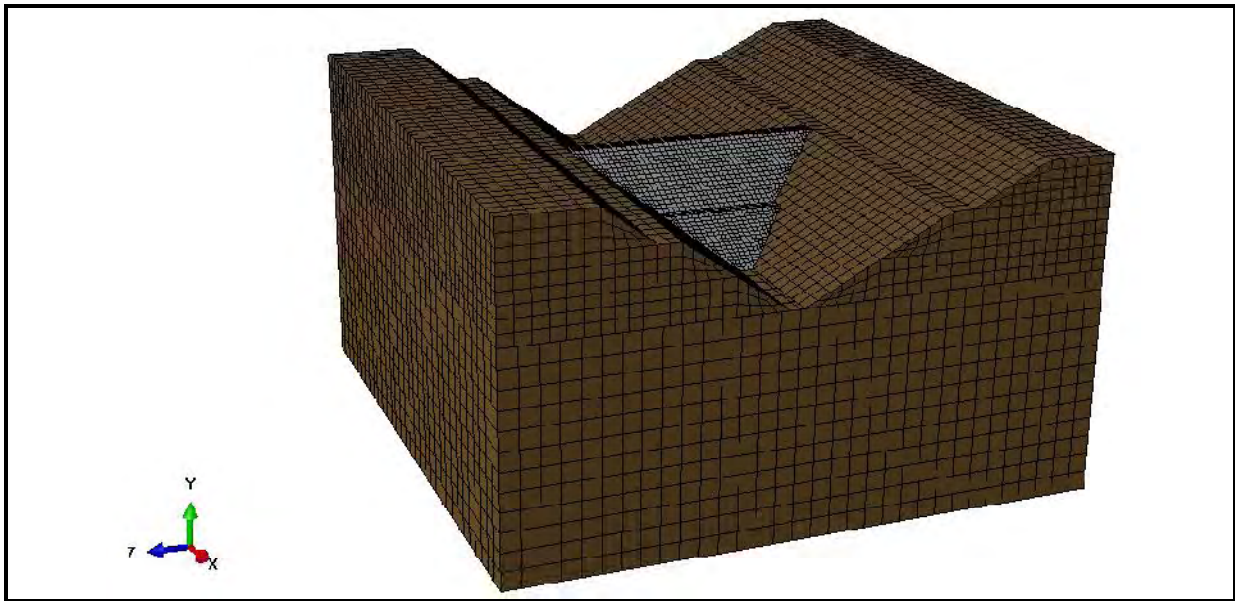
Στο Σχήμα 4.25.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της ίδιας συμπιεστότητας των βραχωδών πρανών και του υπεδάφους, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή και στο υπέδαφος είναι αριθμητικά πολύ κοντά, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι τα στατικά φορτία κατανέμονται εξίσου τόσο στο υπέδαφος όσο και στα βραχώδη πρανή. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 890 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 593 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 593 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 40 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 40 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.25. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa]στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Δ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Δ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.26. ΥΠΕΔΑΦΟΣ**: ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ**, ΠΡΑΝΗ**: ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε**

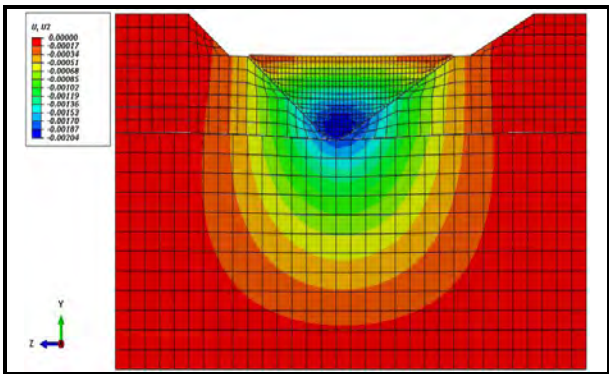
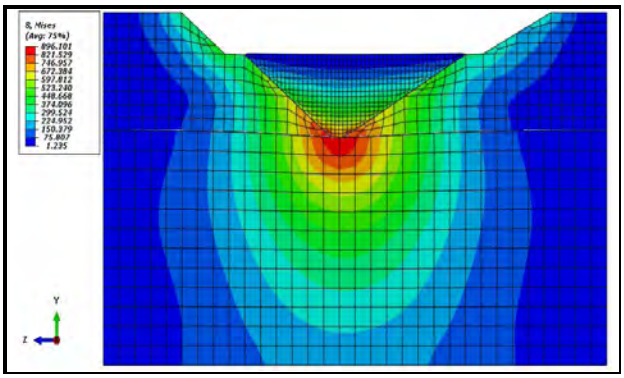
Στο Σχήμα 4.26. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Δ (Ε = 40 GPa, ν = 0.20) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Ε (Ε = 60 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι περισσότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.26.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 2.04 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 1.29 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 1.29 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

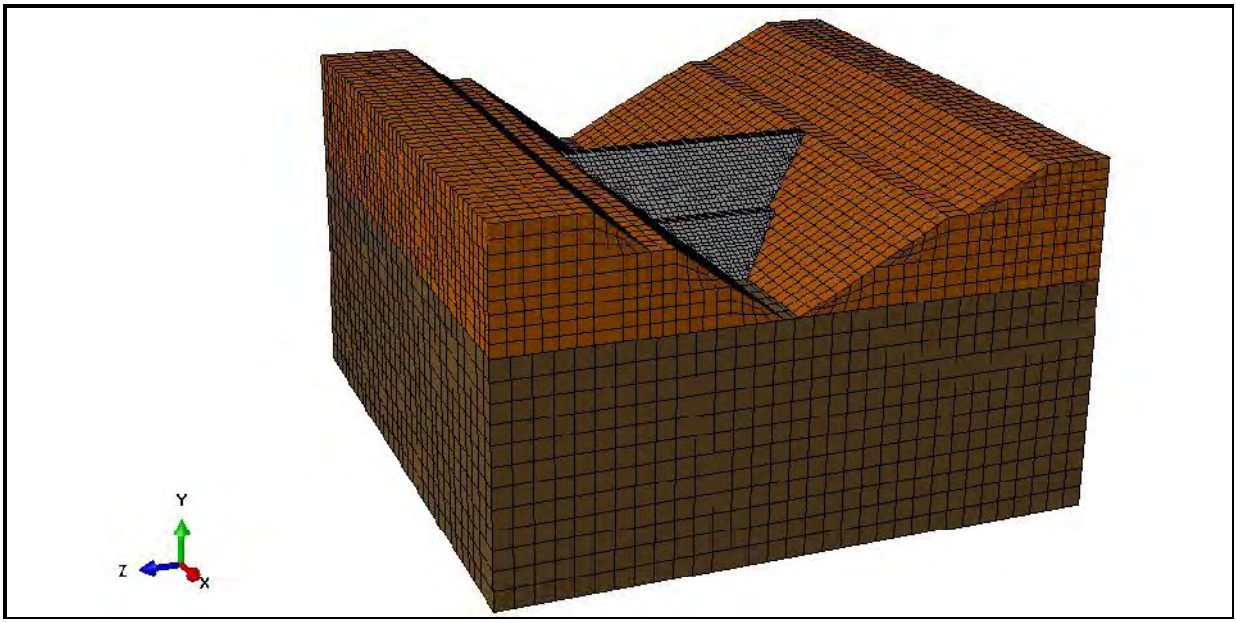
Στο Σχήμα 4.26.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας του υπεδάφους και επειδή το υλικό των βραχωδών πρανών είναι λιγότερο συμπιεστό, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή ενδέχεται σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από τα πρανή και λιγότερο από το υπέδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 897 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 672 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 597 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 40 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 60 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.26. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Δ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Ε.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.27. ΥΠΕΔΑΦΟΣ**: ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ**, ΠΡΑΝΗ**: ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ**

Στο Σχήμα 4.27. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Δ (E = 40 GPa, ν = 0.20) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό ΣΤ (E = 80 GPa, ν = 0.23) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι περισσότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

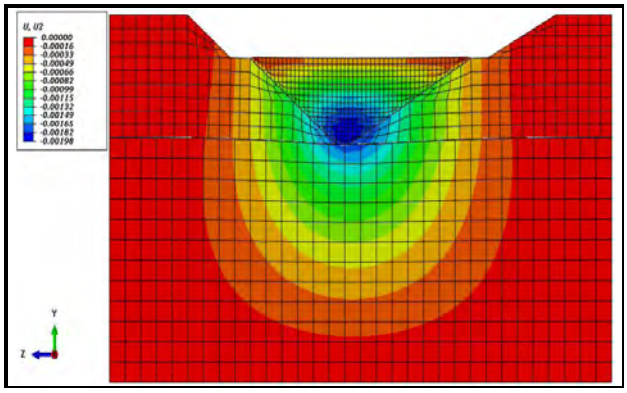
Στο Σχήμα 4.27.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 1.98 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 1.15 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 1.15 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

Στο Σχήμα 4.27.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας του υπεδάφους και επειδή το υλικό των βραχωδών πρανών είναι λιγότερο συμπιεστό, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή ενδέχεται σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από τα πρανή και λιγότερο από το υπέδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 957 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 723 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 634 kPa.

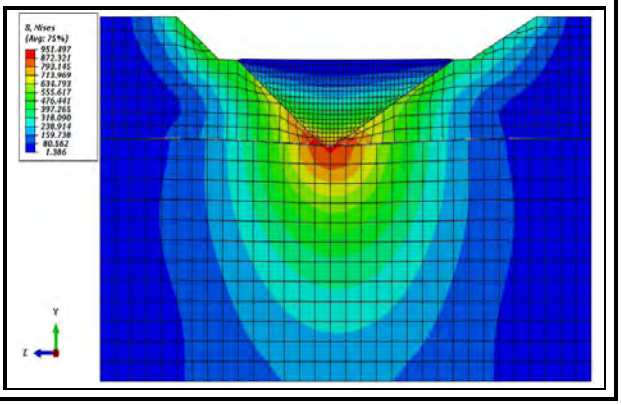
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 40 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 80 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ]

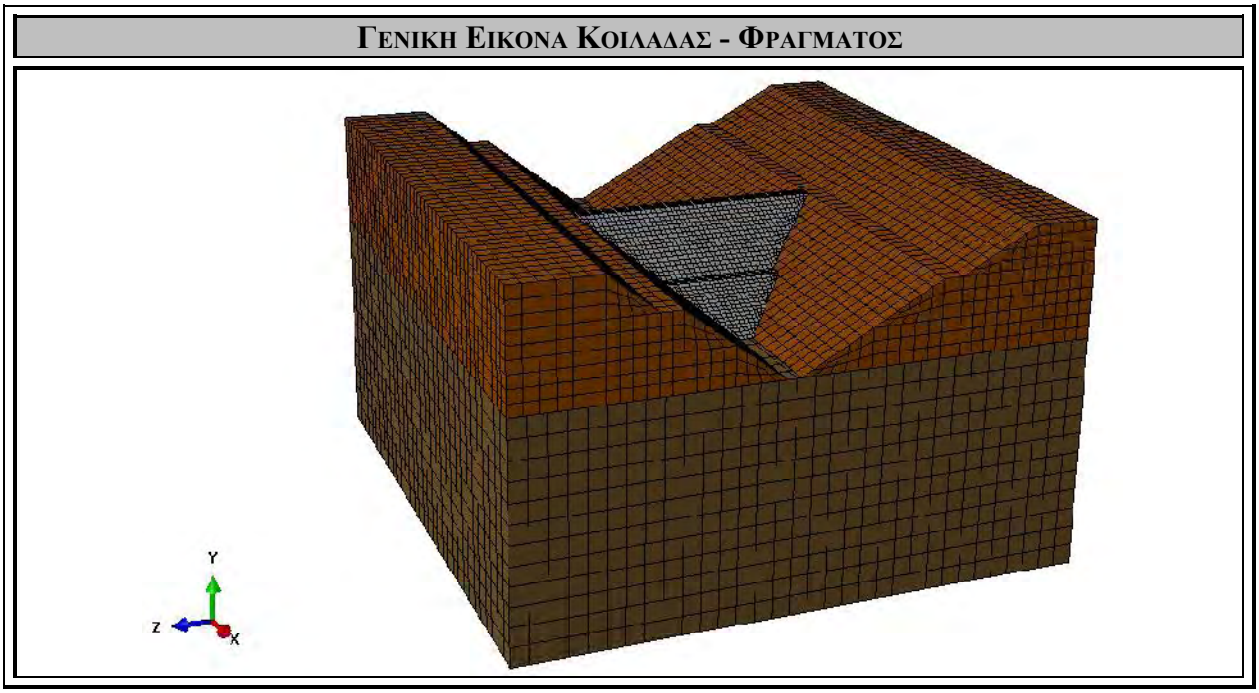
ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]



ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]



ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.27. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Δ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό ΣΤ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.28. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ**, ΠΡΑΝΗ**: ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**

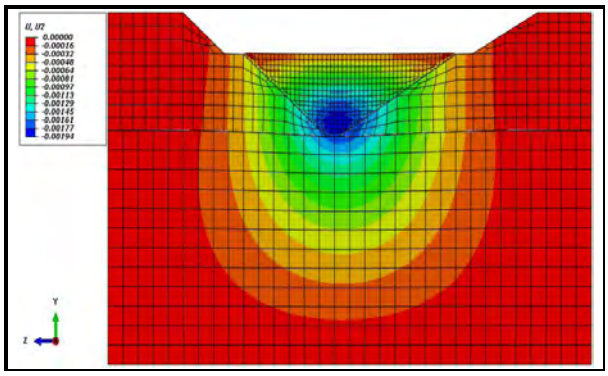
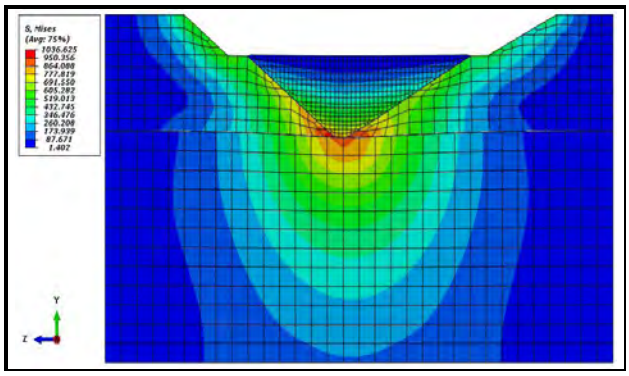
Στο Σχήμα 4.28. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Δ (E = 40 GPa, ν = 0.20) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι περισσότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.28.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 1.77 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 1.13 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 1.13 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

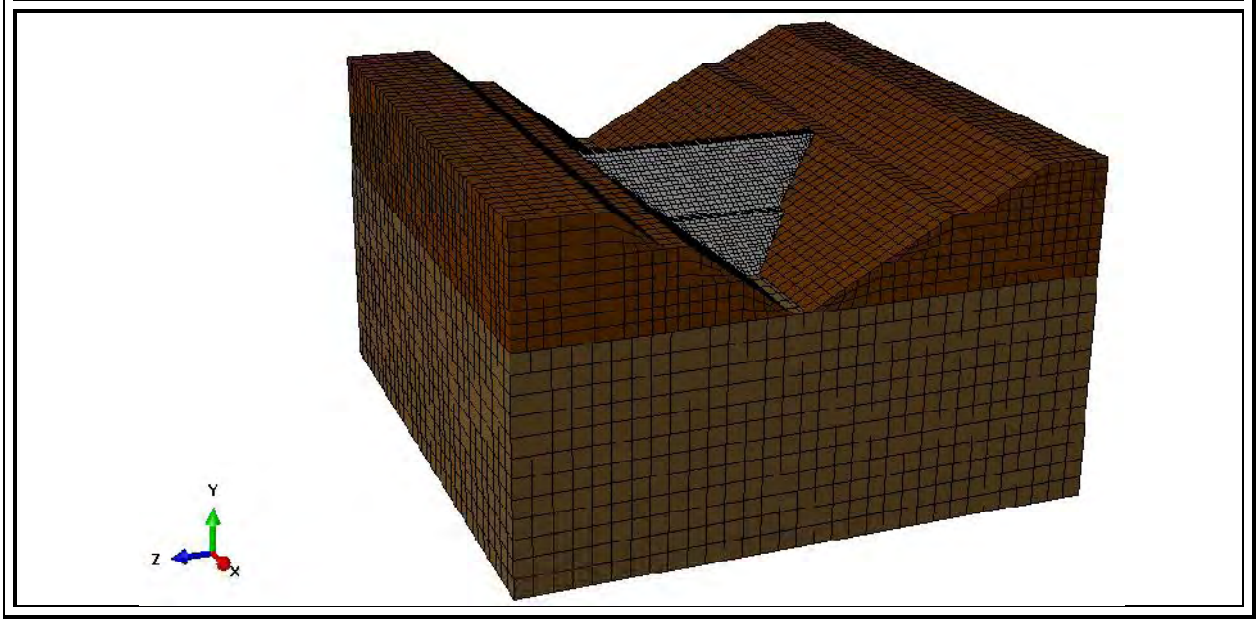
Στο Σχήμα 4.28.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας του υπεδάφους και επειδή το υλικό των βραχωδών πρανών είναι λιγότερο συμπιεστό, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή ενδέχεται σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από τα πρανή και λιγότερο από το υπέδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 910 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 778 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 691 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 40 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 100 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.28. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Δ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Ζ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.29. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α**

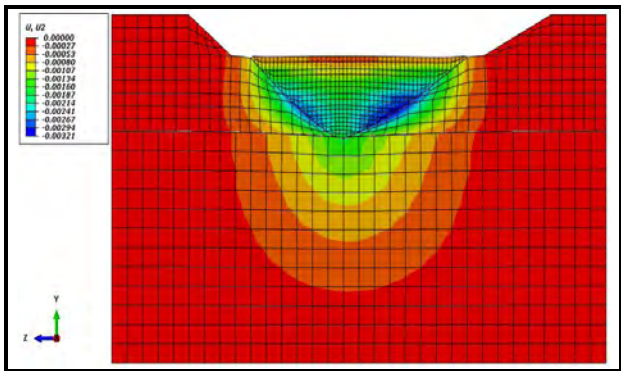
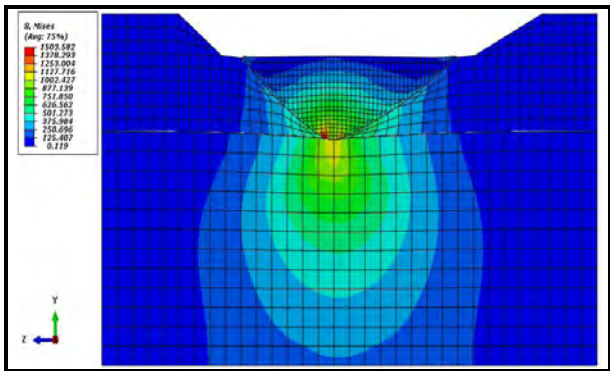
Στο Σχήμα 4.29. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Ε (Ε = 60 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Α (Ε = 5 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι λιγότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.29.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης των αντερεισμάτων του φράγματος, ίση με U_{max} = 3.21 mm, και όχι πια στη βάση του φράγματος, εξαιτίας των αρκετά μαλακών (συμπιεστών) βραχωδών πρανών και του αρκετά ασυμπίεστου υπεδάφους. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

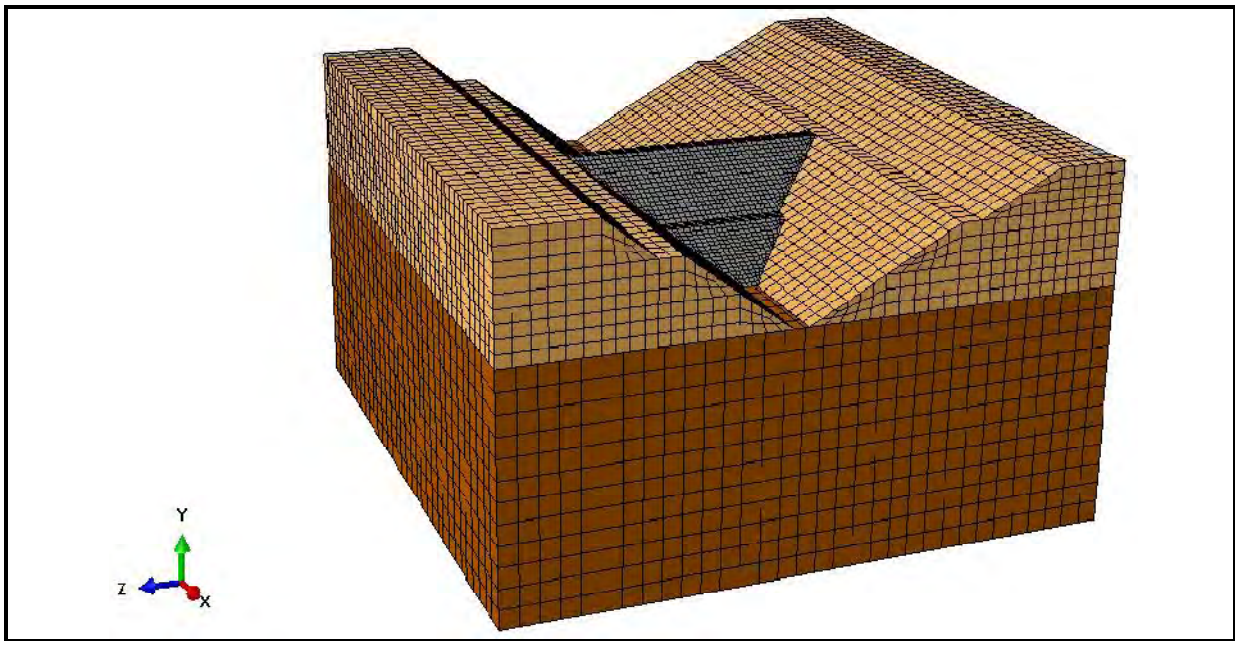
Στο Σχήμα 4.29.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας των βραχωδών πρανών και επειδή το υλικό του υπεδάφους είναι αρκετά σκληρό (περισσότερο ασυμπίεστο), οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή είναι μικρότερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από το υπέδαφος και λιγότερο από τα βραχώδη πρανή. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 1127 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 375 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 501 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 60 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 5 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.29. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Ε και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Α.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.30. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β**

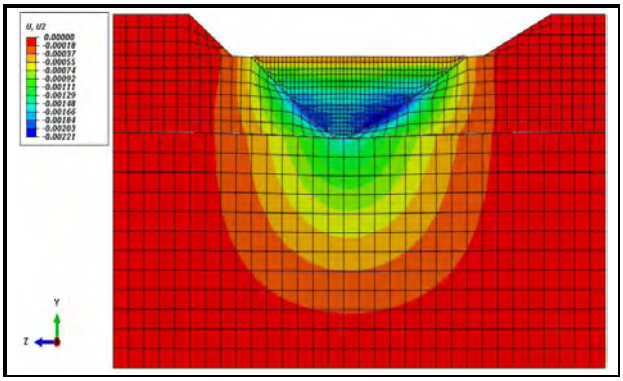
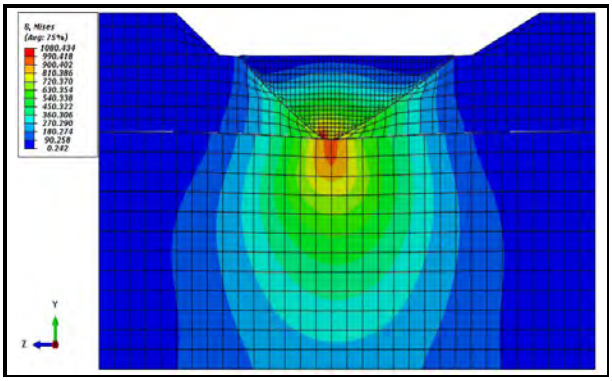
Στο Σχήμα 4.30. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Ε (Ε = 60 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Β (Ε = 10 GPa, ν = 0.13) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι λιγότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.30.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης των αντερεισμάτων του φράγματος, ίση με U_{max} = 2.93 mm, και όχι πια στη βάση του φράγματος, εξαιτίας των αρκετά μαλακών (συμπιεστών) βραχωδών πρανών και του αρκετά ασυμπίεστου υπεδάφους. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

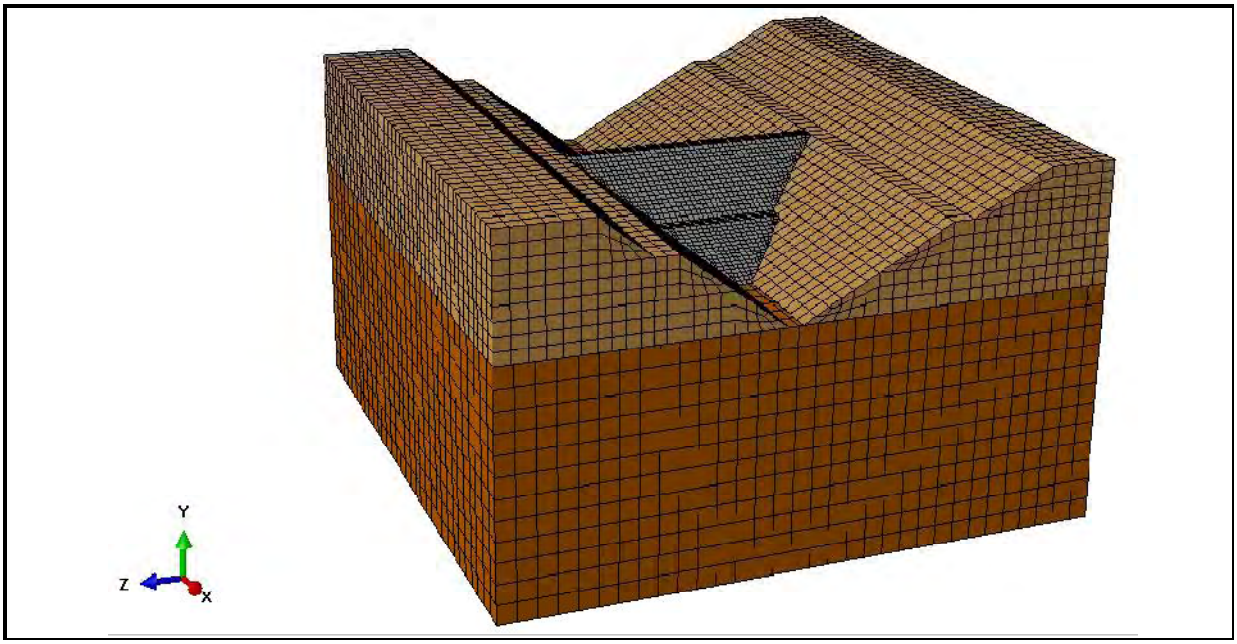
Στο Σχήμα 4.30.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας των βραχωδών πρανών και επειδή το υλικό του υπεδάφους είναι αρκετά σκληρό (περισσότερο ασυμπίεστο), οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή είναι μικρότερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από το υπέδαφος και λιγότερο από τα βραχώδη πρανή. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 991 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 450 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 450 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 60 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 10 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.30. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Ε και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Β.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.31. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ**

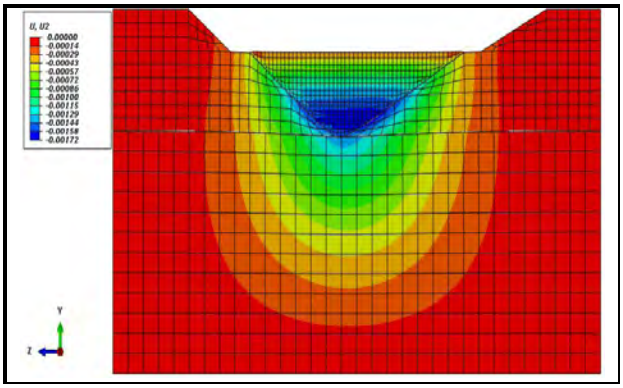
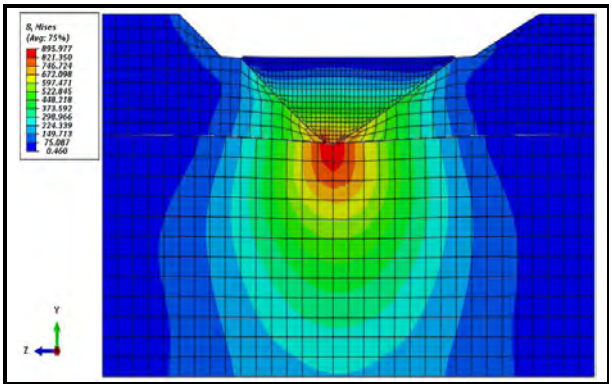
Στο Σχήμα 4.31. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Ε (Ε = 60 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Γ (Ε = 20 GPa, ν = 0.18) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι λιγότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.31.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης των αντερεισμάτων του φράγματος, ίση με U_{max} = 1.58 mm, και όχι πια στη βάση του φράγματος, εξαιτίας των αρκετά μαλακών (συμπιεστών) βραχωδών πρανών και του αρκετά ασυμπίεστου υπεδάφους. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

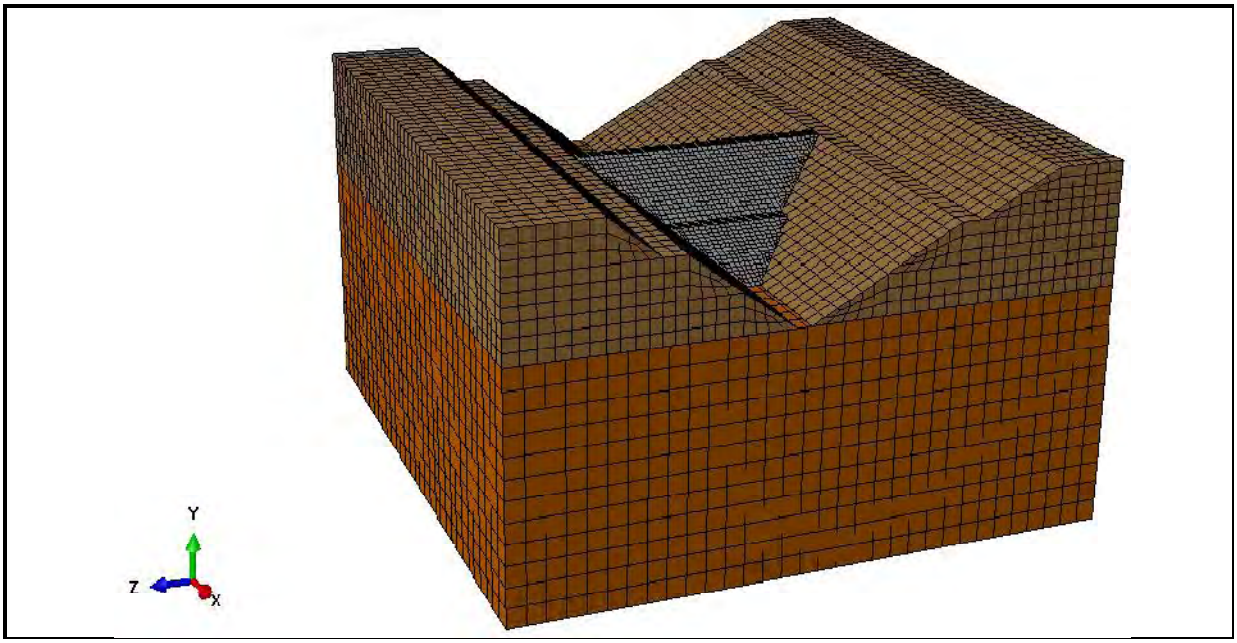
Στο Σχήμα 4.31.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας των βραχωδών πρανών και επειδή το υλικό του υπεδάφους είναι αρκετά σκληρό (περισσότερο ασυμπίεστο), οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή είναι μικρότερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από το υπέδαφος και λιγότερο από τα βραχώδη πρανή. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 896 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 522 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 597 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 60 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 20 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.31. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Ε και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Γ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.32. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ**

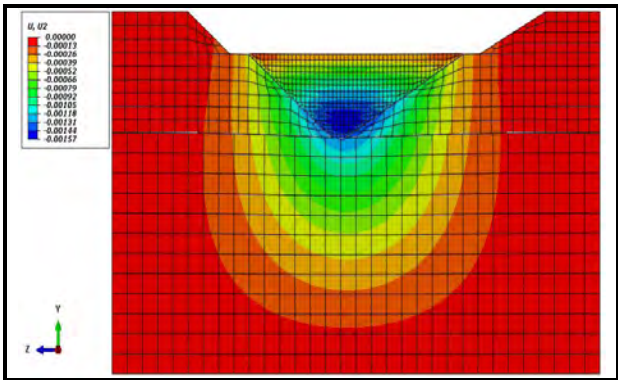
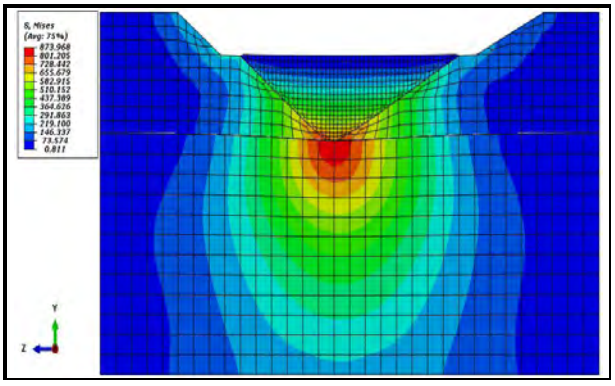
Στο Σχήμα 4.32. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Ε (Ε = 60 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Δ (Ε = 40 GPa, ν = 0.20) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι λιγότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.32.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 1.44 mm. Η καθίζηση της βάσης του δεξιού αντερείσματος είναι ίση με U_{right} = 1.37 mm και η καθίζηση της βάσης του αριστερού αντερείσματος είναι ίση με U_{left} = 1.37 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

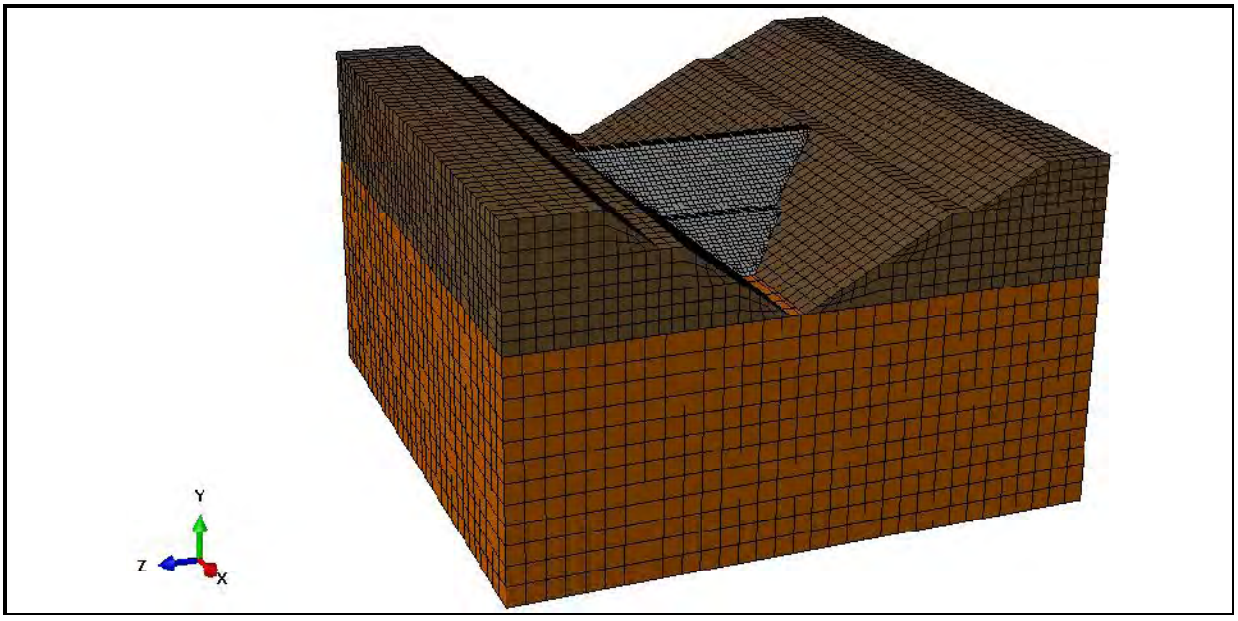
Στο Σχήμα 4.32.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Επειδή το υπέδαφος και τα βραχώδη πρανή έχουν παρόμοια συμπιεστότητα, οι τάσεις που αναπτύσσονται αναμένονται να μην έχουν μεγάλη απόκλιση μεταξύ τους, διότι τα στατικά φορτία κατανέμονται ισότιμα τόσο στο υπέδαφος όσο και στα βραχώδη πρανή, συνεπώς οι τάσεις είναι παρόμοιες, με το υπέδαφος, ως λιγότερο συμπιεστό, να παραλαμβάνει μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων, συνεπώς οι τάσεις του υπεδάφους θα είναι λίγο μεγαλύτερες. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 874 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 582 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 582 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 60 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 40 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.32. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Ε και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Δ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.33. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε**

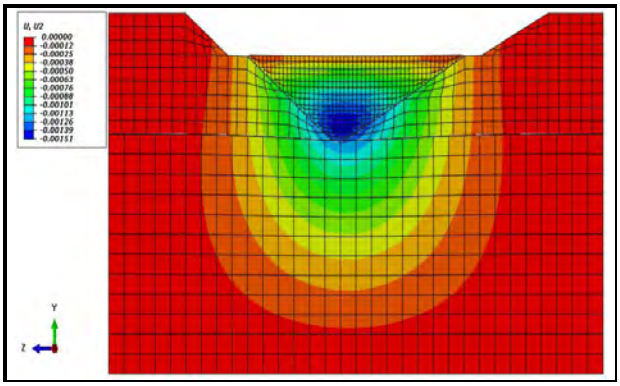
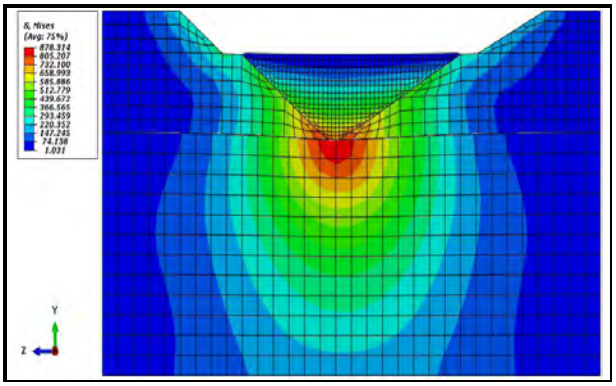
Στο Σχήμα 4.33. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Ε (Ε = 60 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Ε (Ε = 60 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος και τα βραχώδη πρανή αποτελούνται από το ίδιο βραχώδες υλικό, και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.33.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης του φράγματος και στις αρχές των βραχωδών πρανών, ίση με U_{max} = 1.39 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 1.13 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 1.13 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

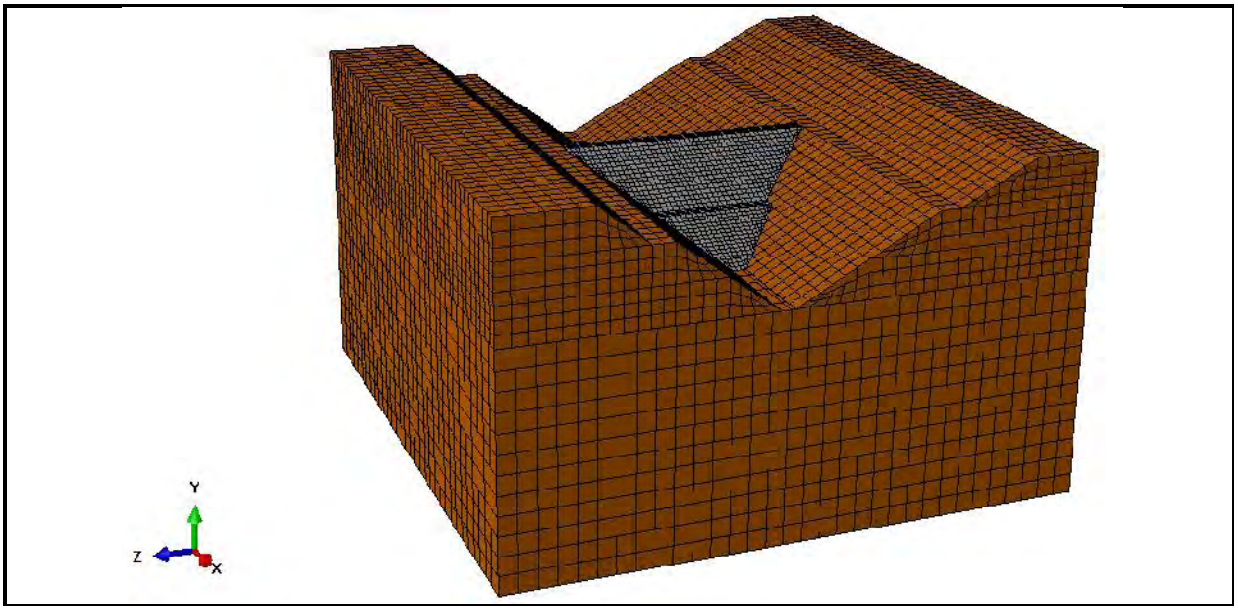
Στο Σχήμα 4.33.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της ίδιας συμπιεστότητας των βραχωδών πρανών και του υπεδάφους, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή και στο υπέδαφος είναι αριθμητικά πολύ κοντά, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι τα στατικά φορτία κατανέμονται εξίσου τόσο στο υπέδαφος όσο και στα βραχώδη πρανή. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 878 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 582 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 582 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 60 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 60 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.33. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Ε και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Ε.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.34. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ**

Στο Σχήμα 4.34. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Ε (Ε = 60 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό ΣΤ (Ε = 80 GPa, ν = 0.23) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι περισσότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

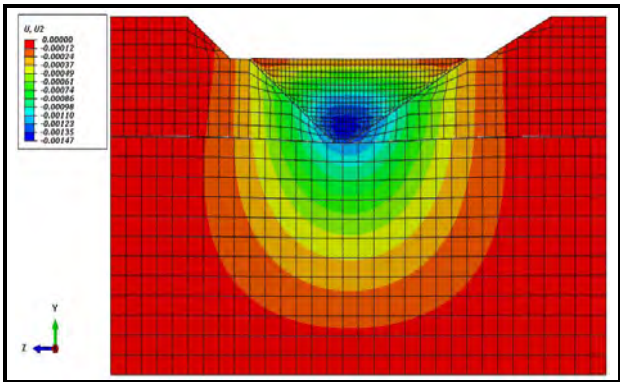
Στο Σχήμα 4.34.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 1.35 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 0.98 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 0.98 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

Στο Σχήμα 4.34.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας του υπεδάφους και επειδή το υλικό των βραχωδών πρανών είναι λιγότερο συμπιεστό, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή ενδέχεται σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από τα πρανή και λιγότερο από το υπέδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 887 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 665 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 592 kPa.

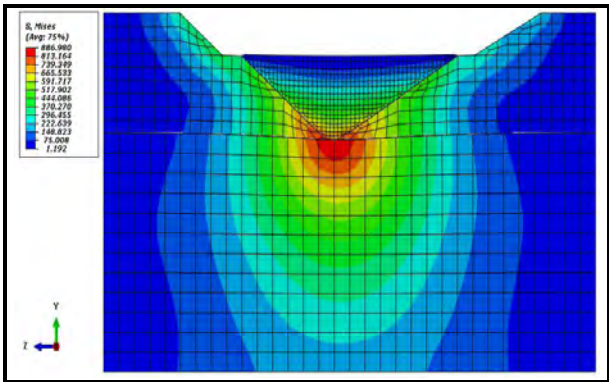
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 60 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 80 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε – ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ]

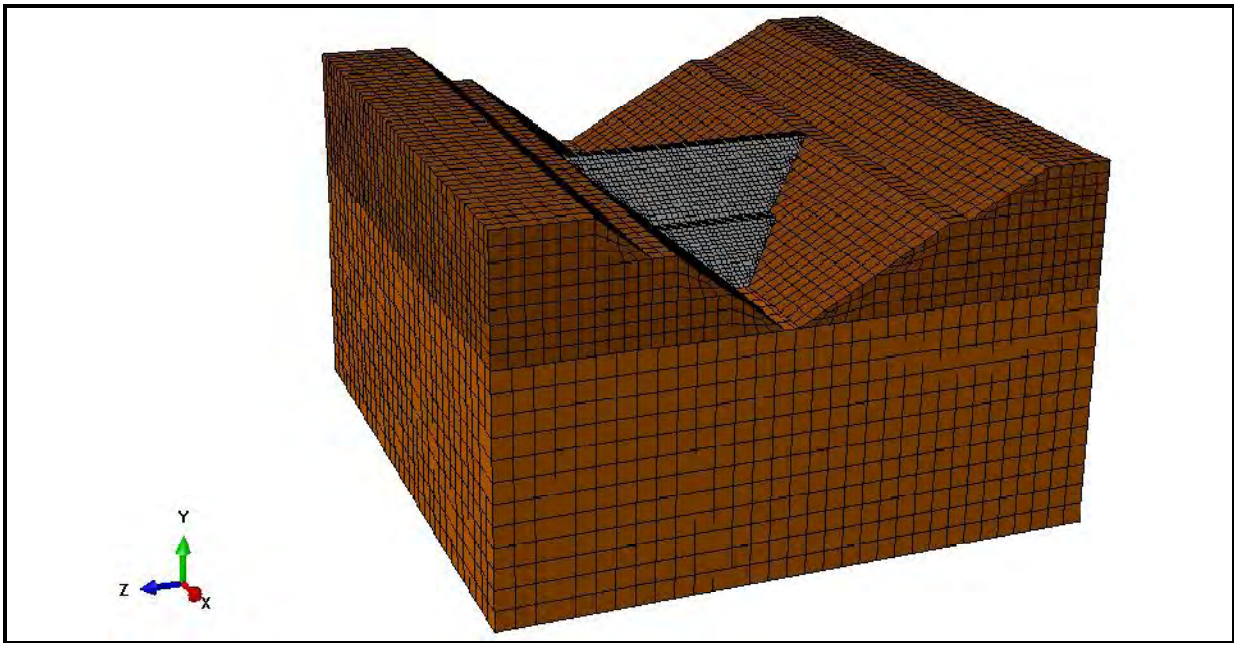
ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]



ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]



ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.34. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Ε και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό ΣΤ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.35. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ**

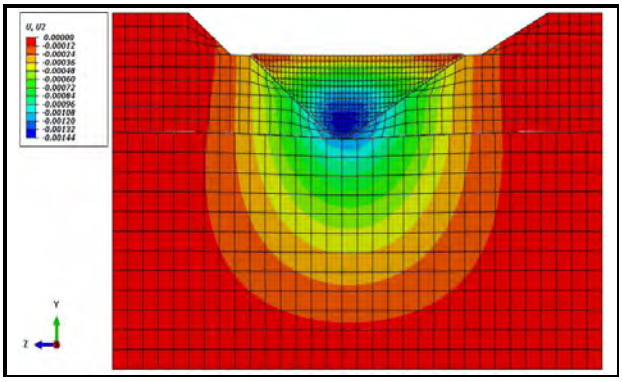
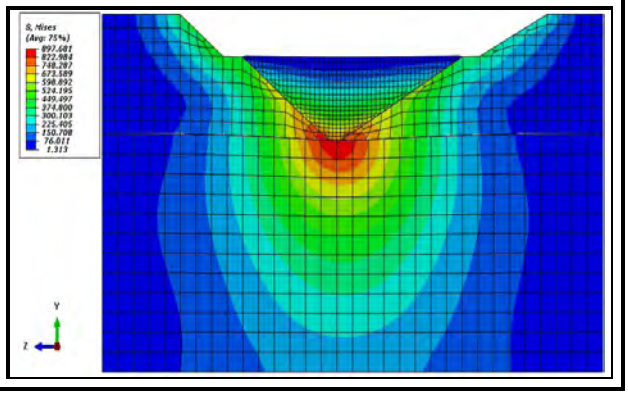
Στο Σχήμα 4.35. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Ε (Ε = 60 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Ζ (Ε = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι περισσότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.35.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 1.32 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 0.84 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 0.84 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

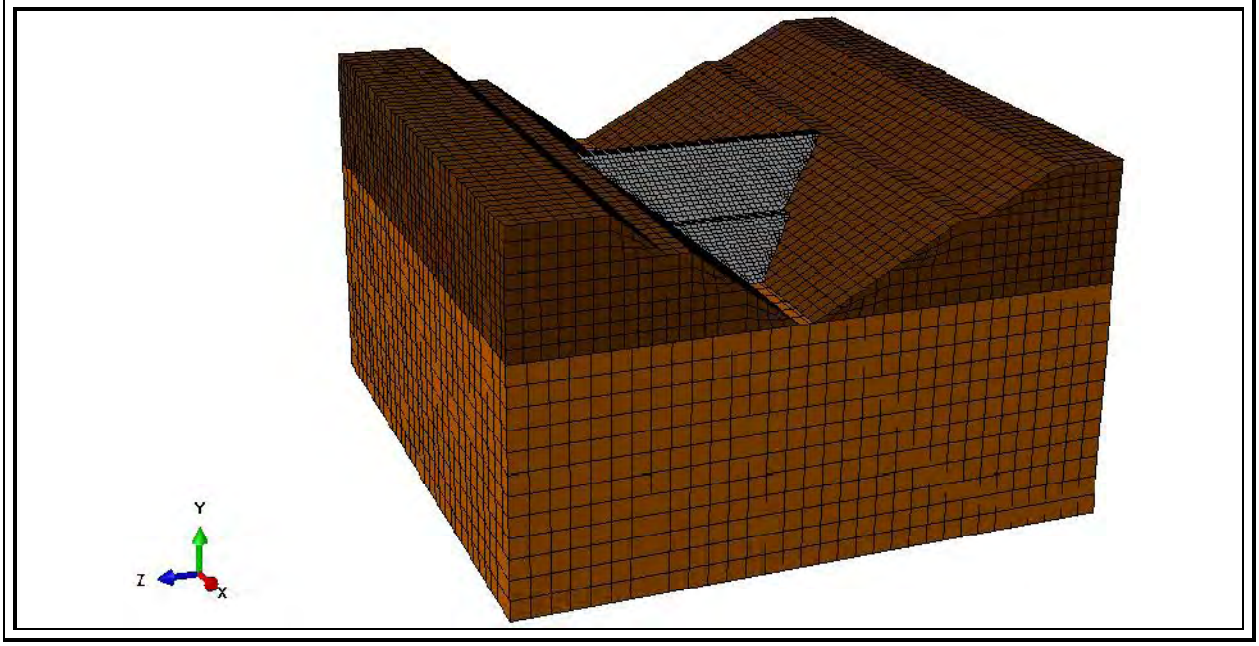
Στο Σχήμα 4.35.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας του υπεδάφους και επειδή το υλικό των βραχωδών πρανών είναι λιγότερο συμπιεστό, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή ενδέχεται σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από τα πρανή και λιγότερο από το υπέδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 898 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 673 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 598 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 60 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 100 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.35. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Ε και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Ζ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.36. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α**

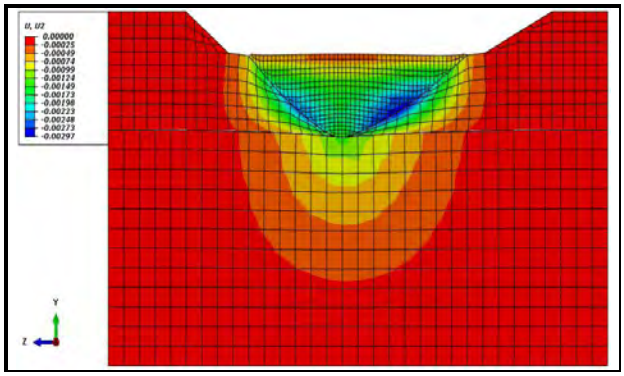
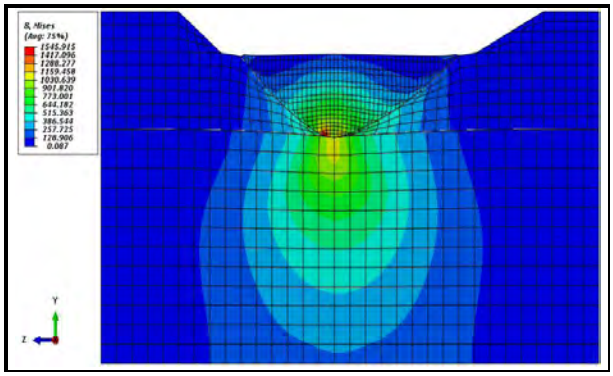
Στο Σχήμα 4.36. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό ΣΤ (Ε = 80 GPa, ν = 0.23) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Α (Ε = 5 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι λιγότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.36.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης των αντερεισμάτων του φράγματος, ίση με U_{max} = 2.97 mm, και όχι πια στη βάση του φράγματος, εξαιτίας των αρκετά μαλακών (συμπιεστών) βραχωδών πρανών και του αρκετά ασυμπίεστου υπεδάφους. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

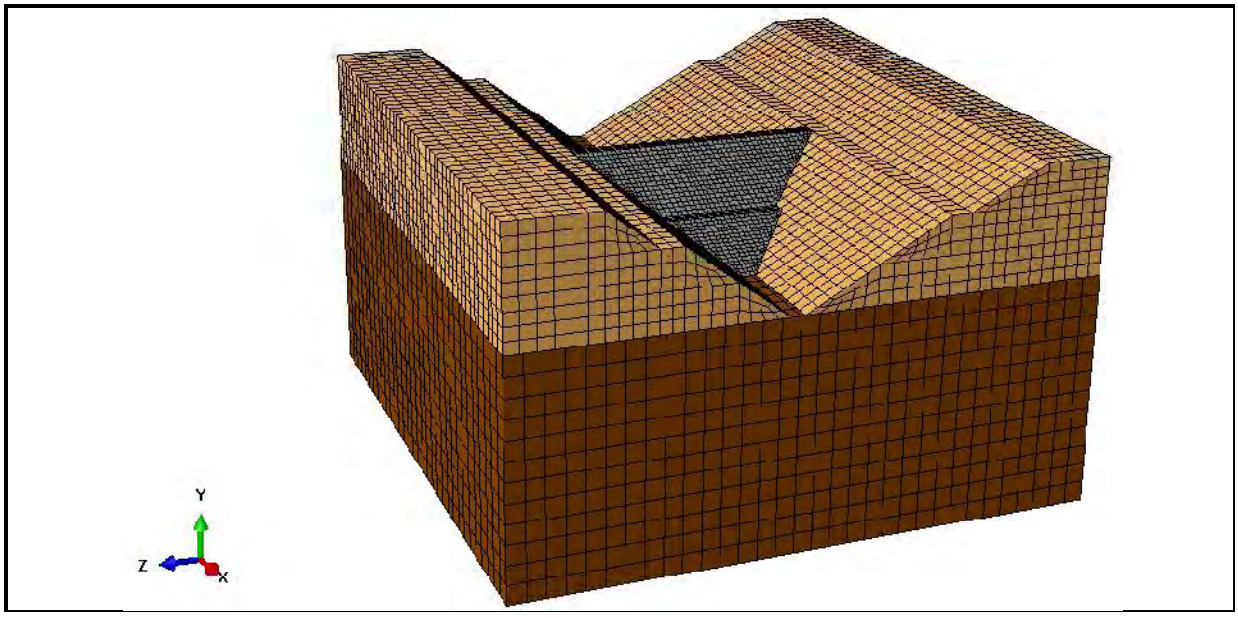
Στο Σχήμα 4.36.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας των βραχωδών πρανών και επειδή το υλικό του υπεδάφους είναι αρκετά σκληρό (περισσότερο ασυμπίεστο), οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή είναι μικρότερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από το υπέδαφος και λιγότερο από τα βραχώδη πρανή. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 1159 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 386 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 386 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 80 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 5 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.36. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό ΣΤ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Α.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.37. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β**

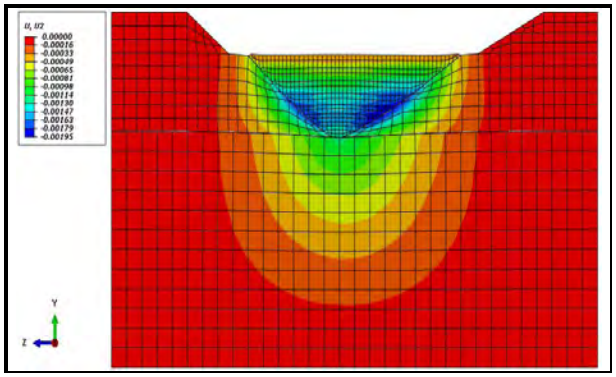
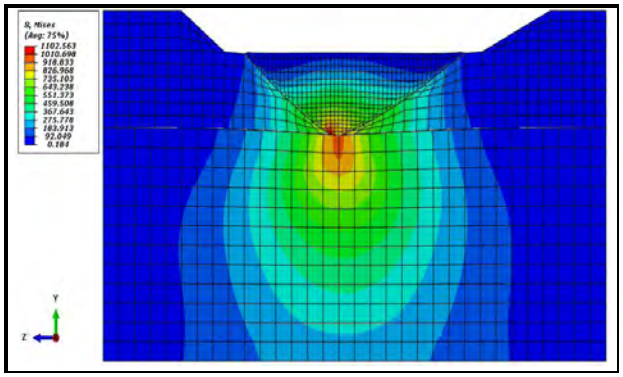
Στο Σχήμα 4.37. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό ΣΤ (E = 80 GPa, ν = 0.23) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Β (E = 10 GPa, ν = 0.13) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι λιγότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.37.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης των αντερεισμάτων του φράγματος, ίση με U_{max} = 1.95 mm, και όχι πια στη βάση του φράγματος, εξαιτίας των αρκετά μαλακών (συμπιεστών) βραχωδών πρανών και του αρκετά ασυμπίεστου υπεδάφους. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

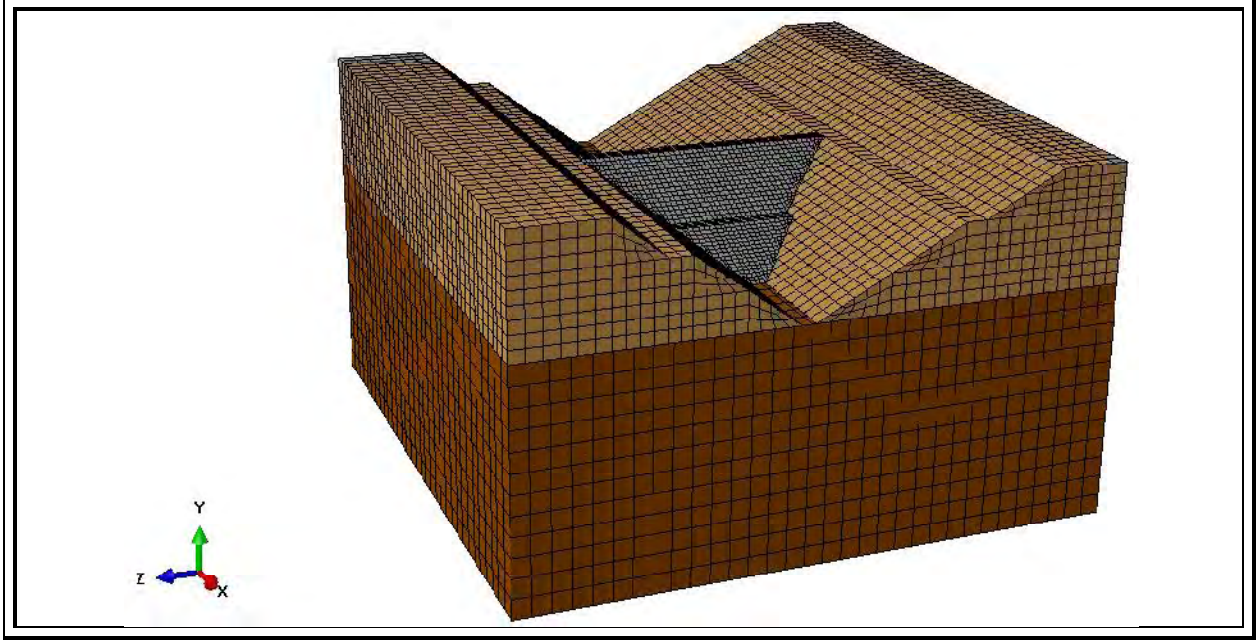
Στο Σχήμα 4.37.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας των βραχωδών πρανών και επειδή το υλικό του υπεδάφους είναι αρκετά σκληρό (περισσότερο ασυμπίεστο), οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή είναι μικρότερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από το υπέδαφος και λιγότερο από τα βραχώδη πρανή. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 1010 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 459 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 459 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 80 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 10 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.37. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό ΣΤ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Β.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.38. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ**

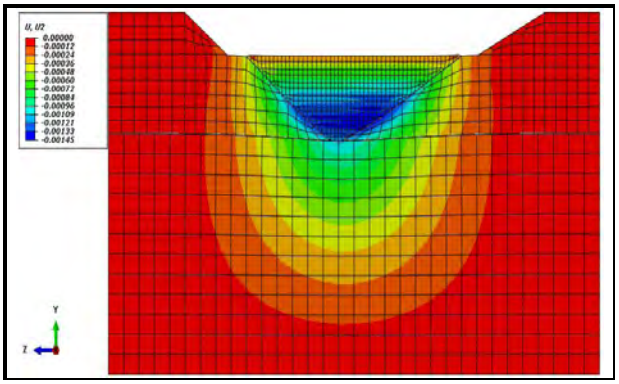
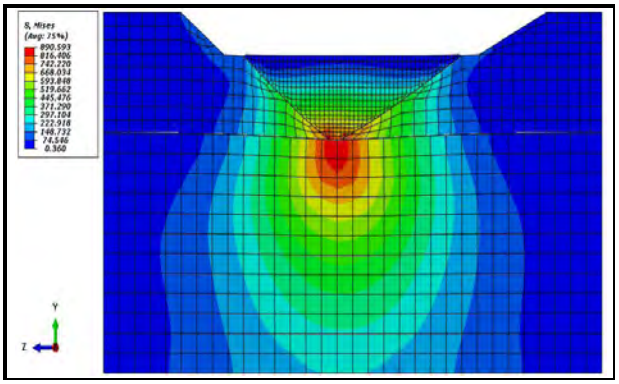
Στο Σχήμα 4.38. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό ΣΤ (E = 80 GPa, ν = 0.23) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Γ (E = 20 GPa, ν = 0.18) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι λιγότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.38.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης των αντερεισμάτων του φράγματος, ίση με U_{max} = 1.33 mm, και όχι πια στη βάση του φράγματος, εξαιτίας των αρκετά μαλακών (συμπιεστών) βραχωδών πρανών και του αρκετά ασυμπίεστου υπεδάφους. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

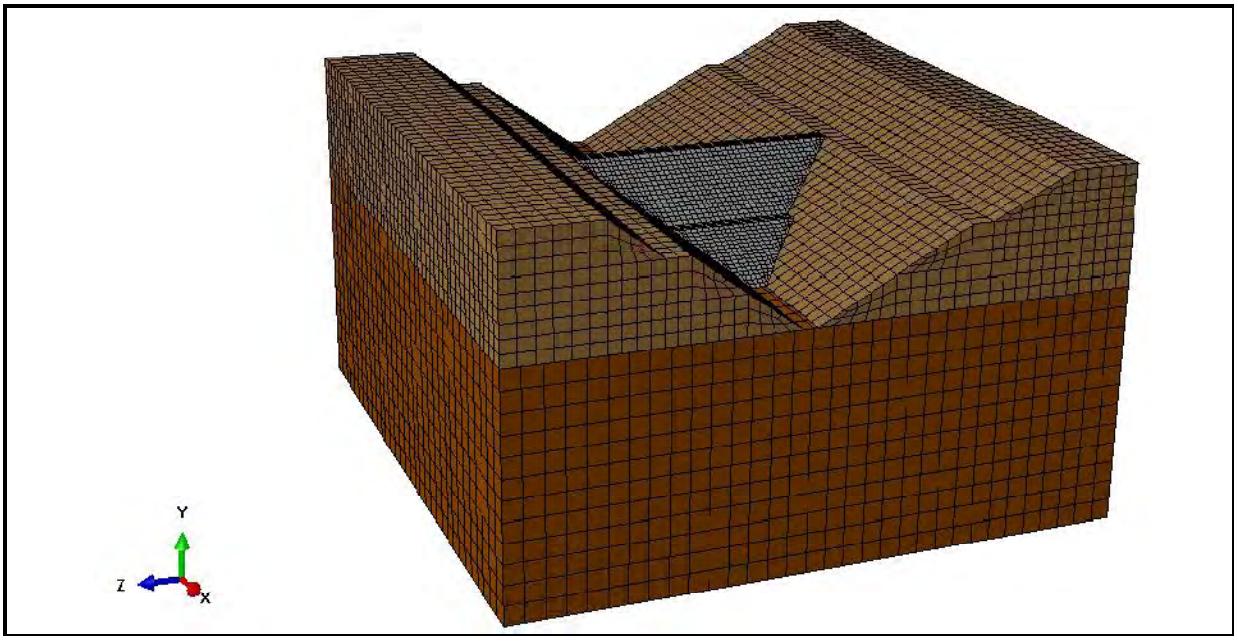
Στο Σχήμα 4.38.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας των βραχωδών πρανών και επειδή το υλικό του υπεδάφους είναι αρκετά σκληρό (περισσότερο ασυμπίεστο), οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή είναι μικρότερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από το υπέδαφος και λιγότερο από τα βραχώδη πρανή. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 890 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 519 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 593 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 80 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 20 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.38. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό ΣΤ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Γ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.39. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ**

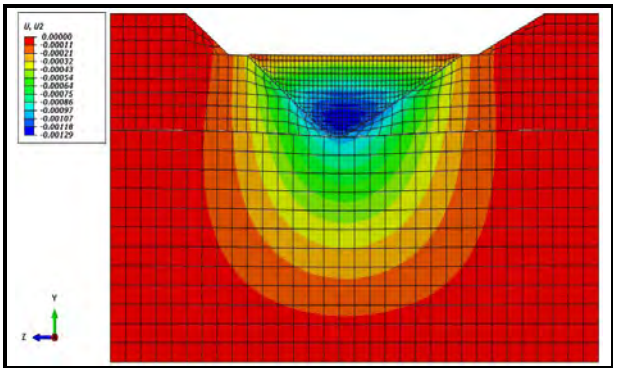
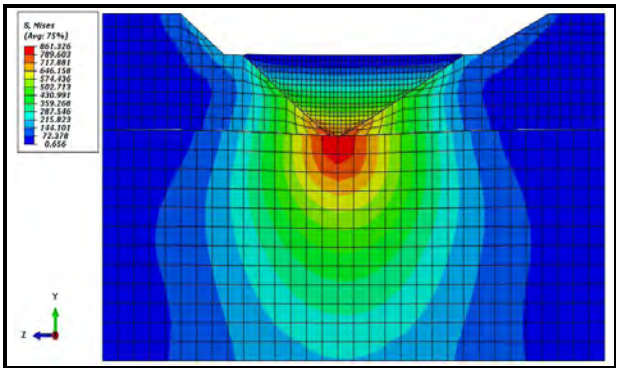
Στο Σχήμα 4.39. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό ΣΤ (Ε = 80 GPa, ν = 0.23) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Δ (Ε = 40 GPa, ν = 0.20) (Παράρτημα) . Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι λιγότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.39.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 1.18 mm. Η καθίζηση της βάσης του δεξιού αντερείσματος είναι ίση με U_{right} = 0.86 mm και η καθίζηση της βάσης του αριστερού αντερείσματος είναι ίση με U_{left} = 0.86 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

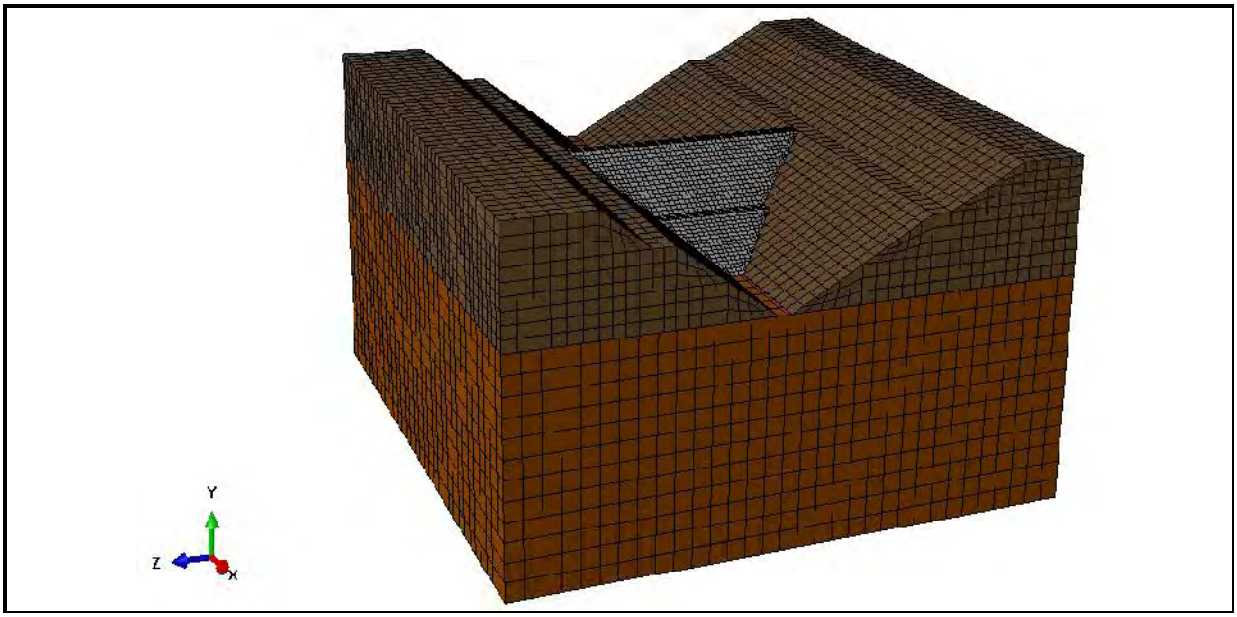
Στο Σχήμα 4.39.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Επειδή το υπέδαφος και τα βραχώδη πρανή έχουν παρόμοια συμπιεστότητα, οι τάσεις που αναπτύσσονται αναμένονται να μην έχουν μεγάλη απόκλιση μεταξύ τους, διότι τα στατικά φορτία κατανέμονται ισότιμα τόσο στο υπέδαφος όσο και στα βραχώδη πρανή, συνεπώς οι τάσεις είναι παρόμοιες, με το υπέδαφος, ως λιγότερο συμπιεστό, να παραλαμβάνει μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων, συνεπώς οι τάσεις του υπεδάφους θα είναι λίγο μεγαλύτερες. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 861 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 574 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 574 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 80 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 40 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.39. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό ΣΤ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Δ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.40. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε**

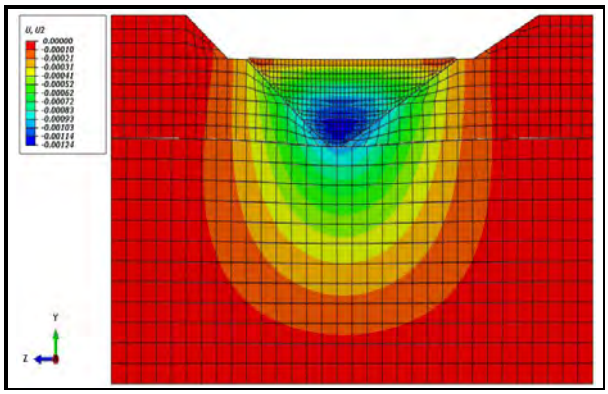
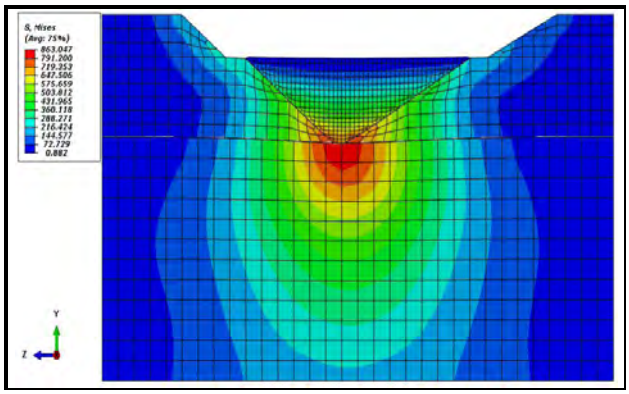
Στο Σχήμα 4.40. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό ΣΤ (Ε = 80 GPa, ν = 0.23) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Ε (Ε = 60 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι λιγότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.40.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 1.03 mm. Η καθίζηση της βάσης του δεξιού αντερείσματος είναι ίση με U_{right} = 0.83 mm και η καθίζηση της βάσης του αριστερού αντερείσματος είναι ίση με U_{left} = 0.83 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

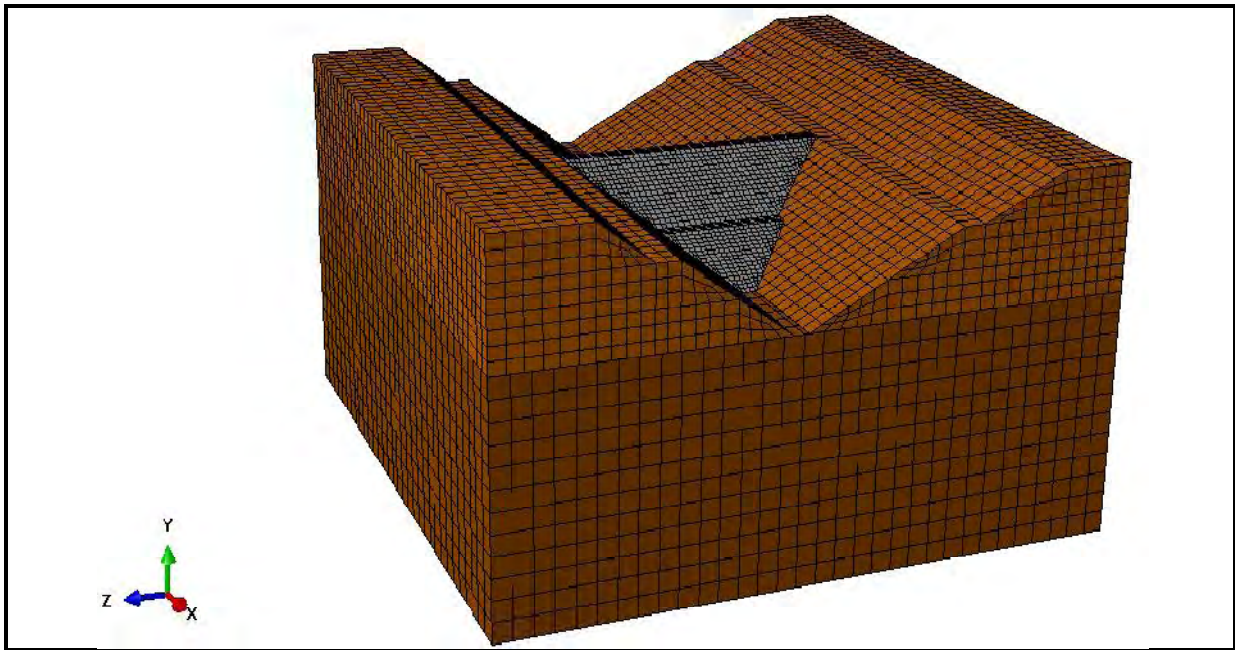
Στο Σχήμα 4.40.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Επειδή το υπέδαφος και τα βραχώδη πρανή έχουν παρόμοια συμπιεστότητα, οι τάσεις που αναπτύσσονται αναμένονται να μην έχουν μεγάλη απόκλιση μεταξύ τους, διότι τα στατικά φορτία κατανέμονται ισότιμα τόσο στο υπέδαφος όσο και στα βραχώδη πρανή, συνεπώς οι τάσεις είναι παρόμοιες, με το υπέδαφος, ως λιγότερο συμπιεστό, να παραλαμβάνει μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων, συνεπώς οι τάσεις του υπεδάφους θα είναι λίγο μεγαλύτερες. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 863 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 576 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 576 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 80 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 60 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.40. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό ΣΤ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Ε.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.41. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ**

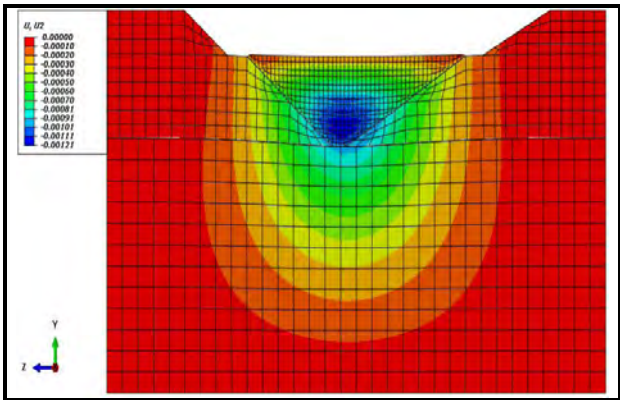
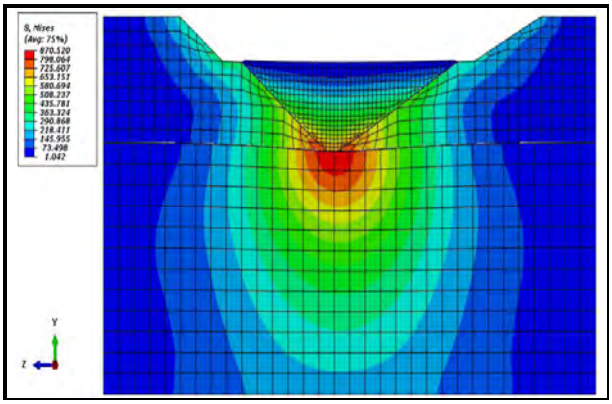
Στο Σχήμα 4.41. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό ΣΤ (E = 80 GPa, ν = 0.23) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό ΣΤ (E = 80 GPa, ν = 0.23) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος και τα βραχώδη πρανή αποτελούνται από το ίδιο βραχώδες υλικό, και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.41.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης του φράγματος και στις αρχές των βραχωδών πρανών, ίση με U_{max} = 1.01 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 0.81 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 0.81 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

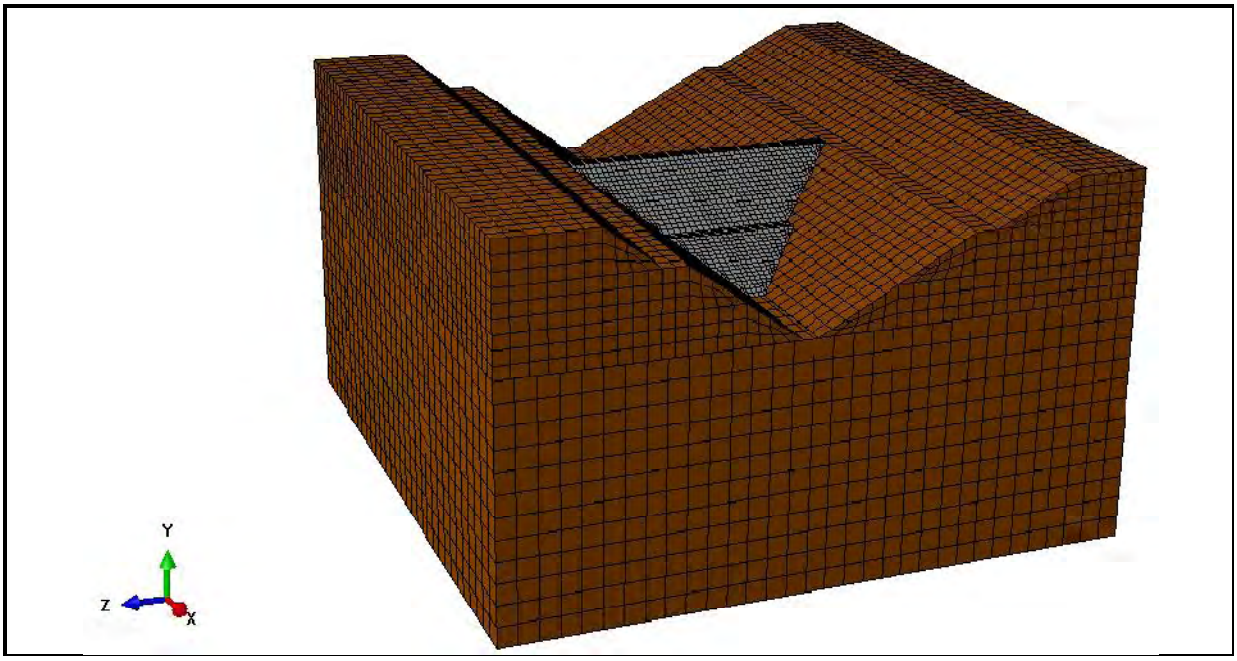
Στο Σχήμα 4.41.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της ίδιας συμπιεστότητας των βραχωδών πρανών και του υπεδάφους, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή και στο υπέδαφος είναι αριθμητικά πολύ κοντά, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι τα στατικά φορτία κατανέμονται εξίσου τόσο στο υπέδαφος όσο και στα βραχώδη πρανή. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 871 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 653 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 580 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 80 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 80 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.41. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό ΣΤ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό ΣΤ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.42. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**

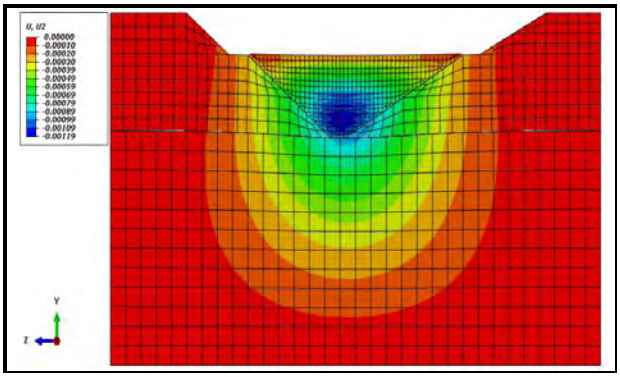
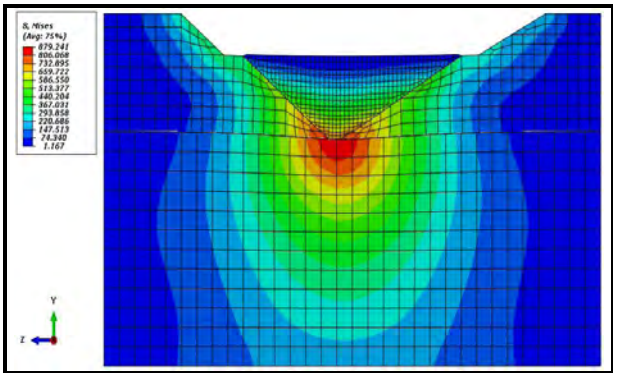
Στο Σχήμα 4.42. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό ΣΤ (E = 80 GPa, ν = 0.23) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι περισσότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.42.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο κέντρο της βάσης του φράγματος, ίση με U_{max} = 0.99 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 0.89 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 0.89 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

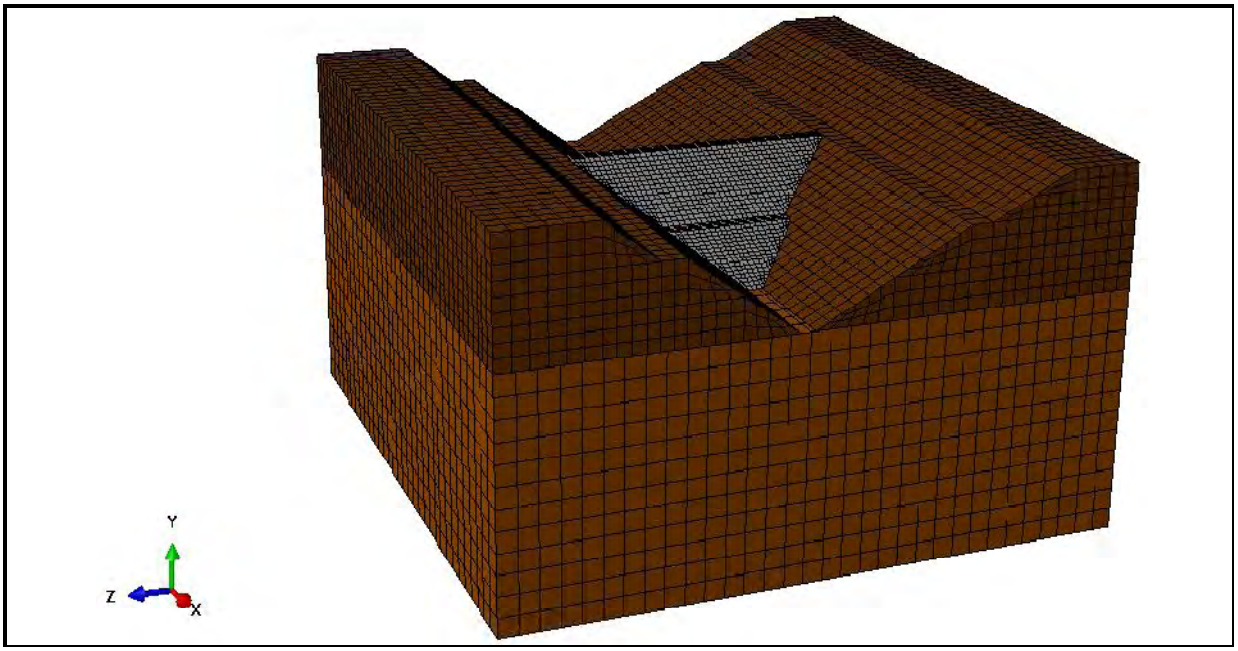
Στο Σχήμα 4.42.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας του υπεδάφους και επειδή το υλικό των βραχωδών πρανών είναι λιγότερο συμπιεστό, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή ενδέχεται σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από τα πρανή και λιγότερο από το υπέδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 879 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 586 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 586 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 80 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 100 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.42. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό ΣΤ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Ζ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.43. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α**

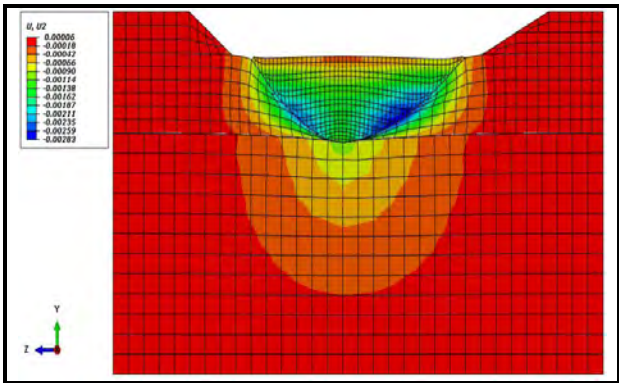
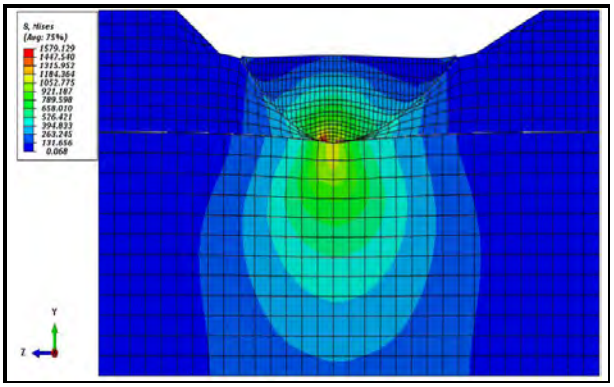
Στο Σχήμα 4.43. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Α (E = 5 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι λιγότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.43.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης των αντερεισμάτων του φράγματος, ίση με U_{max} = 2.83 mm, και όχι πια στη βάση του φράγματος, εξαιτίας των αρκετά μαλακών (συμπιεστών) βραχωδών πρανών και του αρκετά ασυμπίεστου υπεδάφους. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

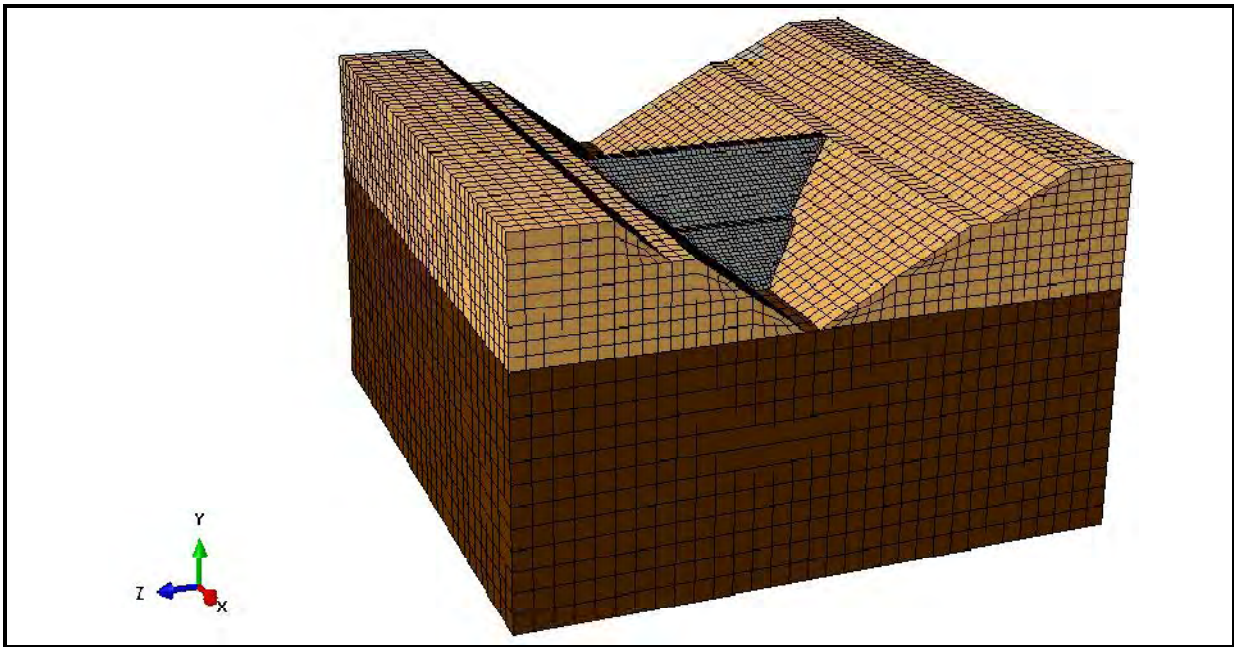
Στο Σχήμα 4.43.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας των βραχωδών πρανών και επειδή το υλικό του υπεδάφους είναι αρκετά σκληρό (περισσότερο ασυμπίεστο), οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή είναι μικρότερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από το υπέδαφος και λιγότερο από τα βραχώδη πρανή. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 1184 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 394 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 394 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 100 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 5 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.43. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Ζ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Α.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.44. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ B**

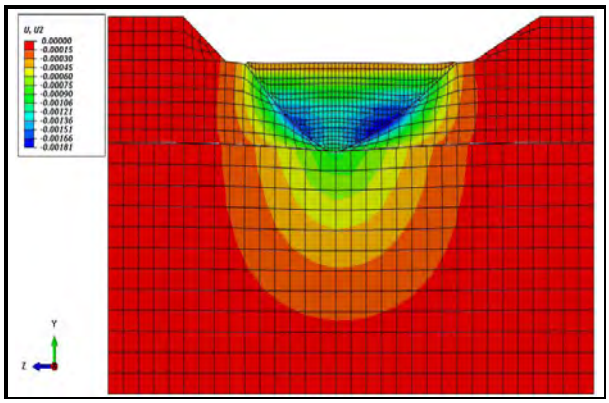
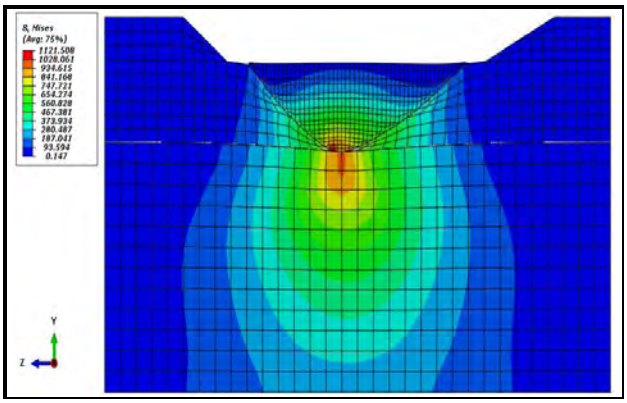
Στο Σχήμα 4.44. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό B (E = 10 GPa, ν = 0.13) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι λιγότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.44.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης των αντερεισμάτων του φράγματος, ίση με U_{max} = 1.81 mm, και όχι πια στη βάση του φράγματος, εξαιτίας των αρκετά μαλακών (συμπιεστών) βραχωδών πρανών και του αρκετά ασυμπίεστου υπεδάφους. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

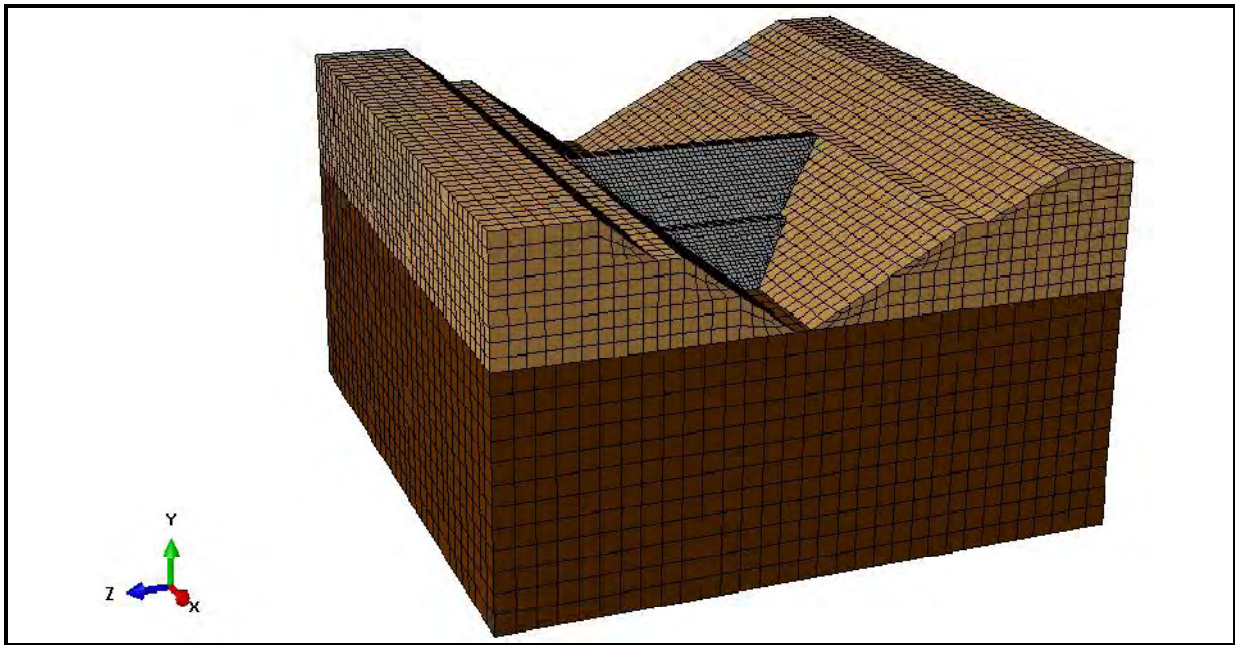
Στο Σχήμα 4.44.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας των βραχωδών πρανών και επειδή το υλικό του υπεδάφους είναι αρκετά σκληρό (περισσότερο ασυμπίεστο), οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή είναι μικρότερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από το υπέδαφος και λιγότερο από τα βραχώδη πρανή. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 1028 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 467 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 467 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 100 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 10 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z – ΓΕΩΫΛΙΚΟ B]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.44. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Z και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό B.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.45. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ**

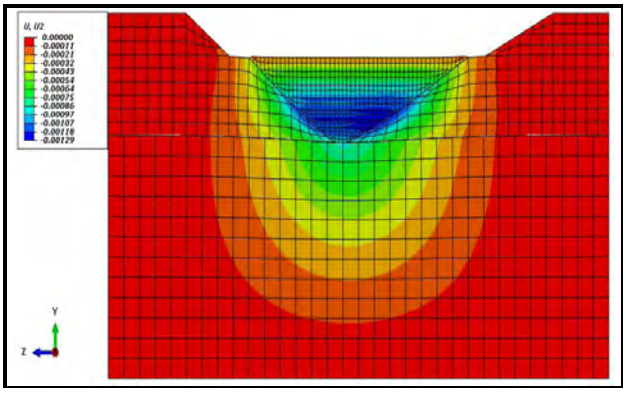
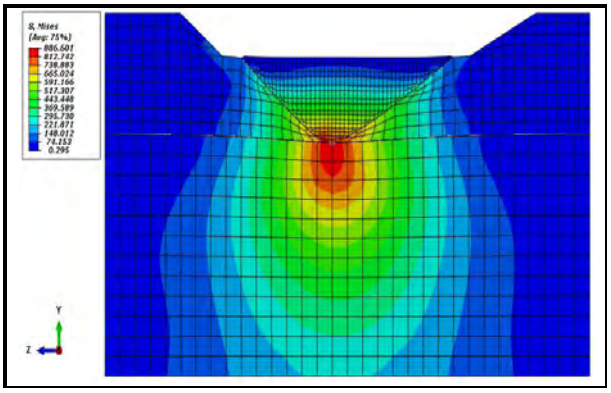
Στο Σχήμα 4.45. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Γ (E = 20 GPa, ν = 0.18) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι λιγότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.45.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης των αντερεισμάτων του φράγματος, ίση με U_{max} = 1.29 mm, και όχι πια στη βάση του φράγματος, εξαιτίας των αρκετά μαλακών (συμπιεστών) βραχωδών πρανών και του αρκετά ασυμπίεστου υπεδάφους. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

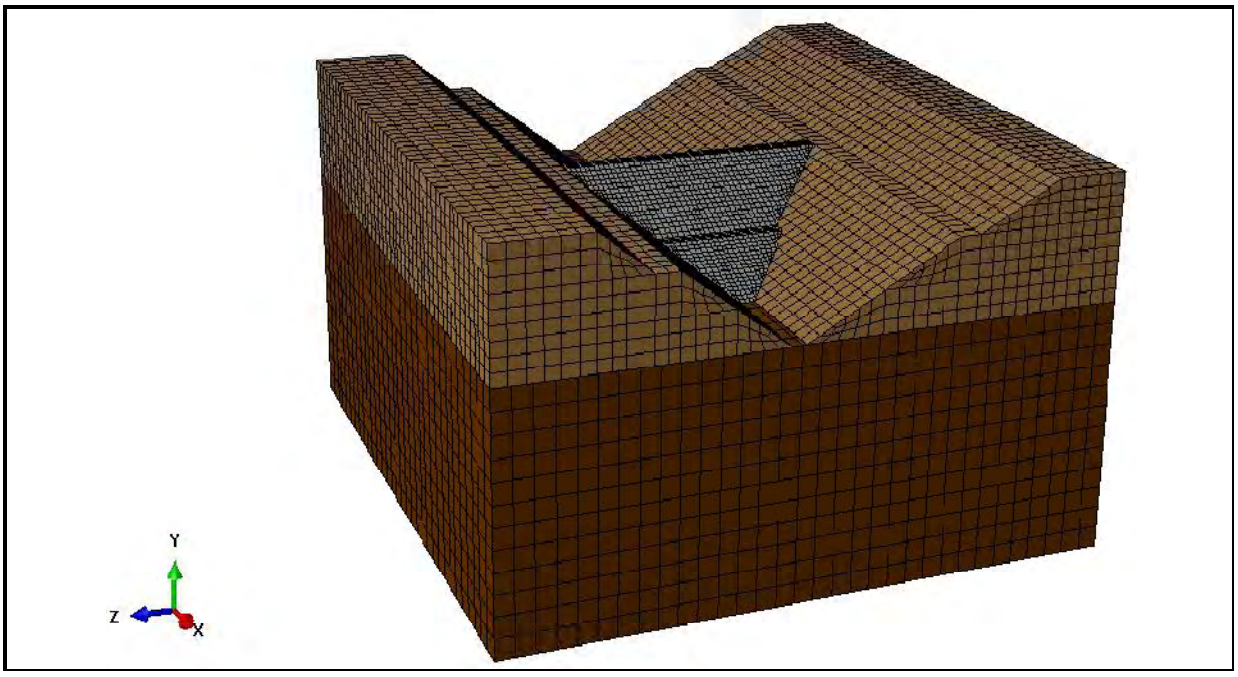
Στο Σχήμα 4.45.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου βαθμού συμπιεστότητας των βραχωδών πρανών και επειδή το υλικό του υπεδάφους είναι αρκετά σκληρό (περισσότερο ασυμπίεστο), οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή είναι μικρότερες σε σχέση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι ένα μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων παραλαμβάνεται από το υπέδαφος και λιγότερο από τα βραχώδη πρανή. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 887 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 592 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 592 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 100 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 20 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.45. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Ζ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Γ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.46. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ**

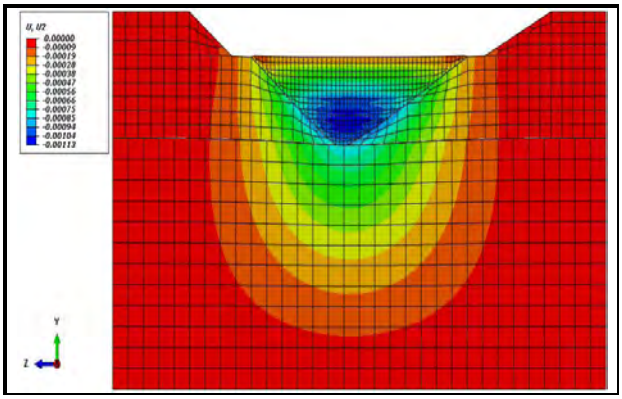
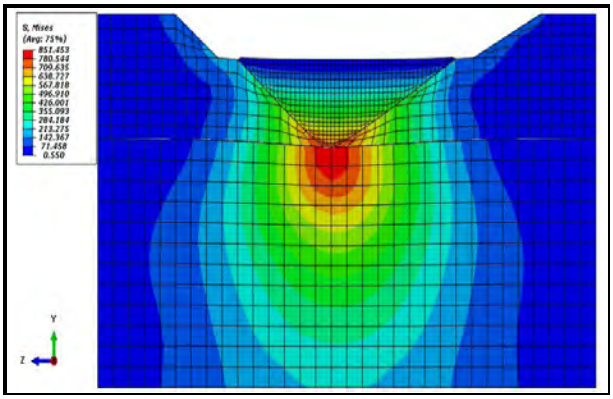
Στο Σχήμα 4.46. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Δ (E = 40 GPa, ν = 0.20) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι λιγότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.46.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο του φράγματος, ίση με U_{max} = 1.13 mm. Η καθίζηση της βάσης του δεξιού αντερείσματος είναι ίση με U_{right} = 0.85 mm και η καθίζηση της βάσης του αριστερού αντερείσματος είναι ίση με U_{left} = 0.94 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

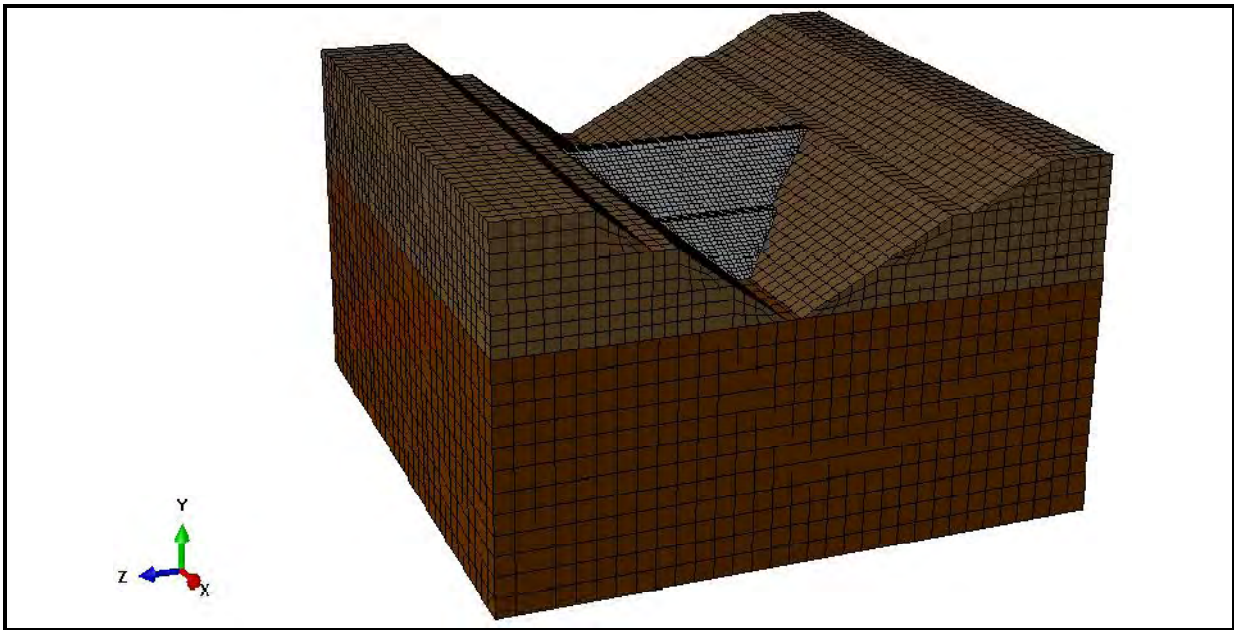
Στο Σχήμα 4.46.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Επειδή το υπέδαφος και τα βραχώδη πρανή έχουν παρόμοια συμπιεστότητα, οι τάσεις που αναπτύσσονται αναμένονται να μην έχουν μεγάλη απόκλιση μεταξύ τους, διότι τα στατικά φορτία κατανέμονται ισότιμα τόσο στο υπέδαφος όσο και στα βραχώδη πρανή, συνεπώς οι τάσεις είναι παρόμοιες, με το υπέδαφος, ως λιγότερο συμπιεστό, να παραλαμβάνει μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων, συνεπώς οι τάσεις του υπεδάφους θα είναι λίγο μεγαλύτερες. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 851 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 496 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 496 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 100 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 40 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.46. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Ζ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Δ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.47. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε**

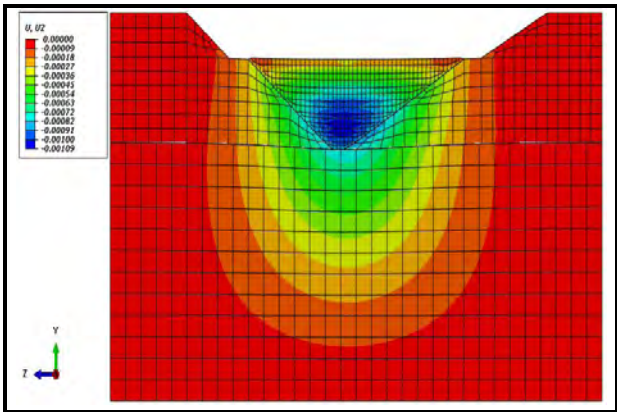
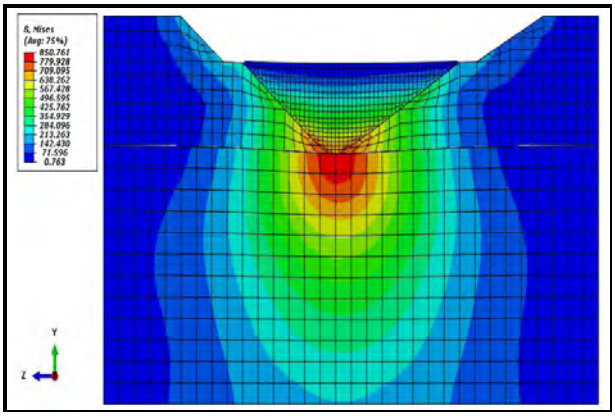
Στο Σχήμα 4.47. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Ε (E = 60 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι λιγότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.47.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο του φράγματος, ίση με U_{max} = 1.09 mm. Η καθίζηση της βάσης του δεξιού αντερείσματος είναι ίση με U_{right} = 0.72 mm και η καθίζηση της βάσης του αριστερού αντερείσματος είναι ίση με U_{left} = 0.72 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

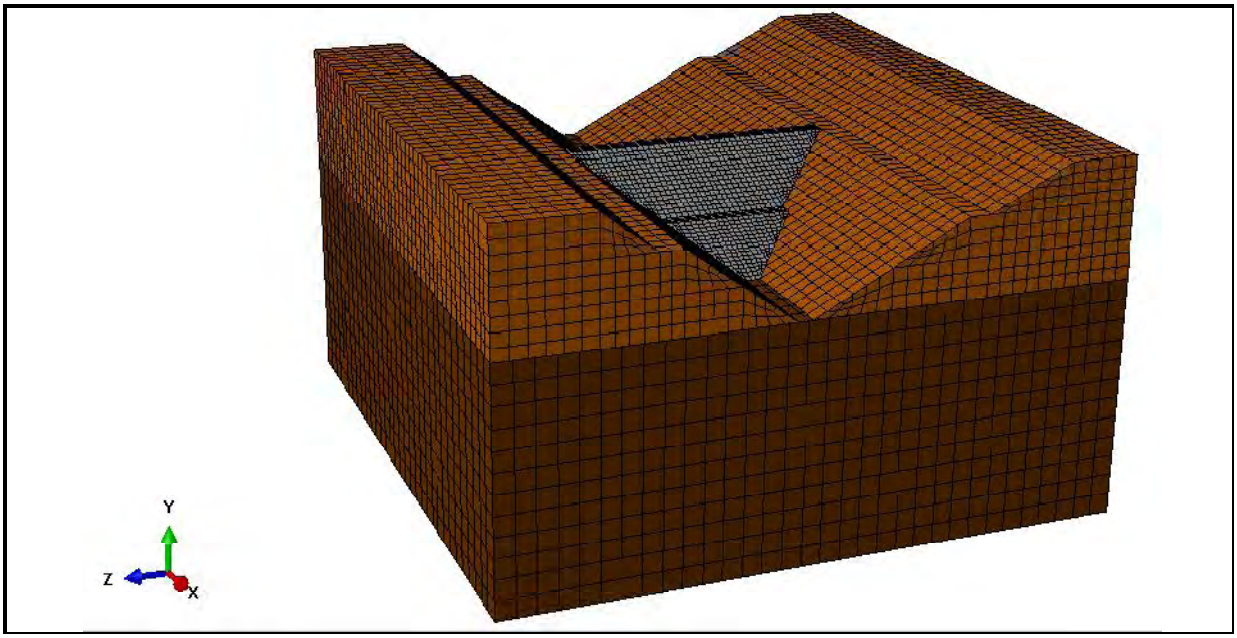
Στο Σχήμα 4.47.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Επειδή το υπέδαφος και τα βραχώδη πρανή έχουν παρόμοια συμπιεστότητα, οι τάσεις που αναπτύσσονται αναμένονται να μην έχουν μεγάλη απόκλιση μεταξύ τους, διότι τα στατικά φορτία κατανέμονται ισότιμα τόσο στο υπέδαφος όσο και στα βραχώδη πρανή, συνεπώς οι τάσεις είναι παρόμοιες, με το υπέδαφος, ως λιγότερο συμπιεστό, να παραλαμβάνει μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων, συνεπώς οι τάσεις του υπεδάφους θα είναι λίγο μεγαλύτερες. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 851 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 567 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 567 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 100 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 60 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.47. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa]στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Z και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Ε.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.48. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ**

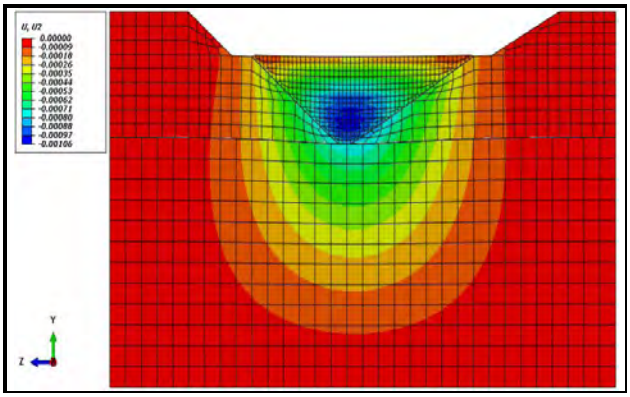
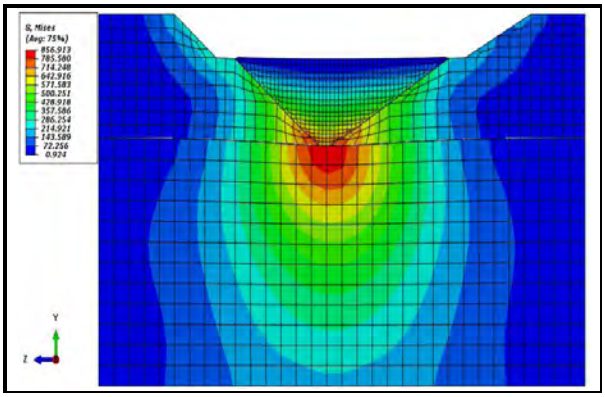
Στο Σχήμα 4.48. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό ΣΤ (E = 80 GPa, ν = 0.23) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι λιγότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.48.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο του φράγματος, ίση με U_{max} = 1.06 mm. Η καθίζηση της βάσης του δεξιού αντερείσματος είναι ίση με U_{right} = 0.71 mm και η καθίζηση της βάσης του αριστερού αντερείσματος είναι ίση με U_{left} = 0.71 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

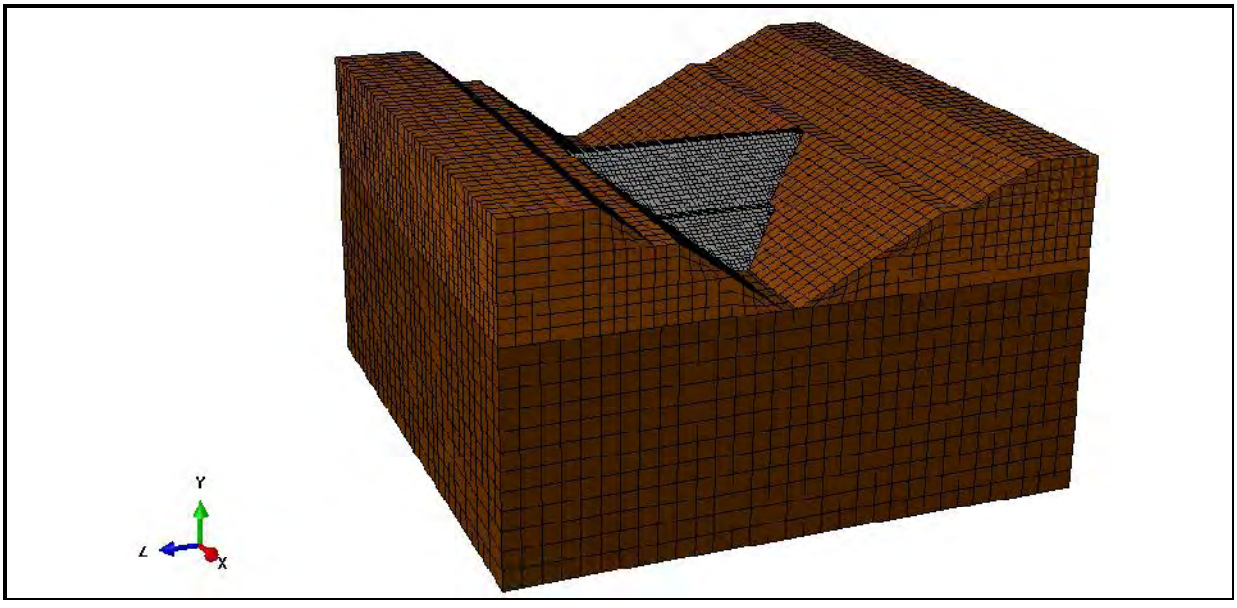
Στο Σχήμα 4.48.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Επειδή το υπέδαφος και τα βραχώδη πρανή έχουν παρόμοια συμπιεστότητα, οι τάσεις που αναπτύσσονται αναμένονται να μην έχουν μεγάλη απόκλιση μεταξύ τους, διότι τα στατικά φορτία κατανέμονται ισότιμα τόσο στο υπέδαφος όσο και στα βραχώδη πρανή, συνεπώς οι τάσεις είναι παρόμοιες, με το υπέδαφος, ως λιγότερο συμπιεστό, να παραλαμβάνει μεγαλύτερο τμήμα των στατικών φορτίων, συνεπώς οι τάσεις του υπεδάφους θα είναι λίγο μεγαλύτερες. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 857 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 642 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 642 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 100 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 80 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.48. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Ζ και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό ΣΤ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.1.49. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**

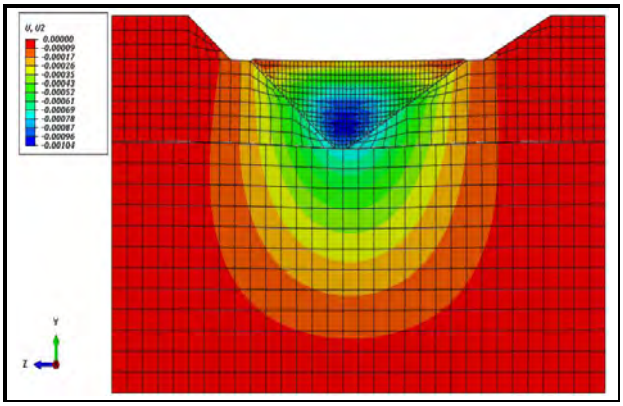
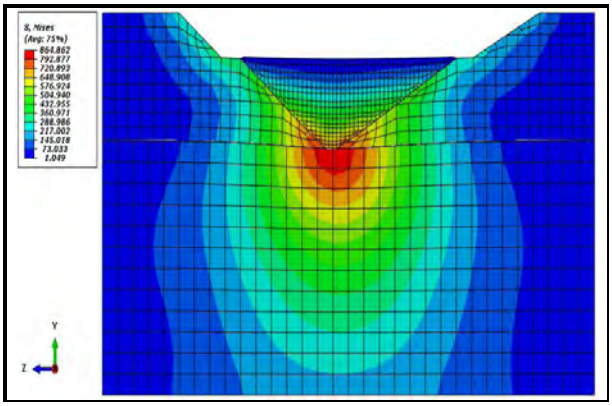
Στο Σχήμα 4.49. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα) και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος και τα βραχώδη πρανή αποτελούνται από το ίδιο πολύ σκληρό και πρακτικά ασυμπίεστο βραχώδες υλικό, και στην οποία σταδιακά θα κατασκευαστεί το φράγμα μελέτης και θα πληρωθεί η λεκάνη με νερό, κατάσταση κατά την οποία θα ασκηθεί η μέγιστη υδροστατική πίεση στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.49.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης του φράγματος και στις αρχές των βραχωδών πρανών, ίση με U_{max} = 1.04 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 0.61 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 0.61 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

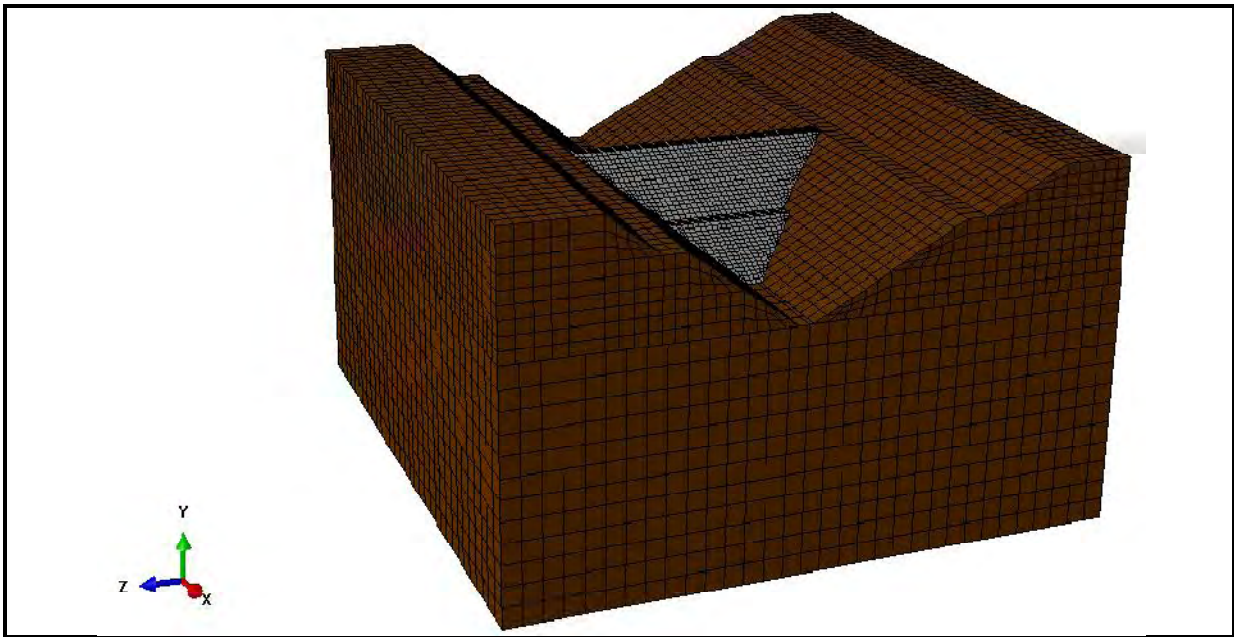
Στο Σχήμα 4.49.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της ίδιας συμπιεστότητας των βραχωδών πρανών και του υπεδάφους, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή και στο υπέδαφος είναι αριθμητικά πολύ κοντά, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι τα στατικά φορτία κατανέμονται εξίσου τόσο στο υπέδαφος όσο και στα βραχώδη πρανή. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 864 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 648 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 576 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation}$ = 100 GPa – $E_{Valley\ Rocks}$ = 100 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.49. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Z και υλικό βραχωδών πρανών γεωϋλικό Z.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.2. ΠΟΛΥΣΤΡΩΜΑΤΙΚΟ ΥΠΕΔΑΦΟΣ – ΜΟΝΟΣΤΡΩΜΑΤΙΚΑ ΠΡΑΝΗ

Σε αυτή την κατηγορία των αναλύσεων τα βραχώδη πρανή στα οποία θεμελιώνεται το φράγμα μελέτης θεωρείται ότι αποτελούνται από ένα και μόνο βραχώδες υλικό μέσης συμπιεστότητας, και ειδικότερα αποτελούνται από Γεωϋλικό Δ (E = 40 GPa, ν = 0.20) (Παράρτημα). Το υπέδαφος θεμελίωσης θεωρείται πολυστρωματικό, στο οποίο θα γίνει θεώρηση (i) *Οριζόντιων βραχωδών στρωμάτων*, (ii) *κατακόρυφων βραχωδών στρωμάτων* και (iii) *κεκλιμένων βραχωδών στρωμάτων*. Θα διερευνηθούν περιπτώσεις στις οποίες η συμπιεστότητα των διαφορετικών βραχωδών στρωμάτων θα διαφέρει σε μεγάλο βαθμό, και θα εξεταστεί η κατανομή των τάσεων και των καθιζήσεων στην ευρύτερη περιοχή κατασκευής του φράγματος.

4.2.2.1. ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ

4.2.2.1.1. ΥΠΕΔΑΦΟΣ 1: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β**, ΥΠΕΔΑΦΟΣ 2: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ**

Στο Σχήμα 4.50. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση πολυστρωματικού υπεδάφους με οριζόντια στρώματα βραχωδών υλικών, με δύο οριζόντια στρώματα ίδιου πάχους. Στο πρώτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Β (E = 10 GPa, ν = 0.13) (Παράρτημα) και στο δεύτερο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Ζ (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα). Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή το υπέδαφος αποτελείται από ένα πολύ μαλακό και συμπιεστό βραχώδες υλικό στην επάνω στρώση και ένα πολύ σκληρό και πρακτικά ασυμπίεστο βραχώδες υλικό στην κάτω στρώση. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.50.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων που περιορίζεται στην επάνω στρώση του υπεδάφους, εξαιτίας της μεγάλης συμπιεστότητας του επάνω υλικού, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης του φράγματος και στις αρχές των βραχωδών πρανών, ίση με U_{max} = 5.4 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 3.6 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 3.6 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

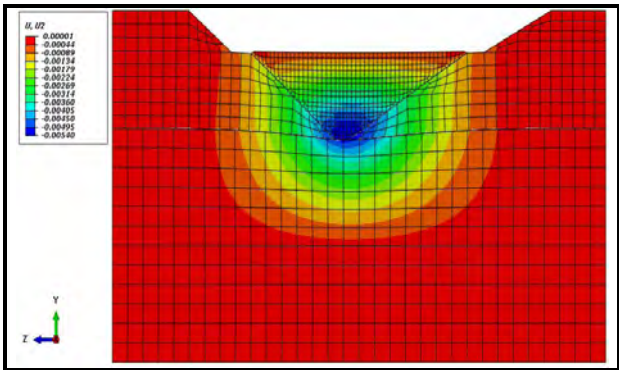
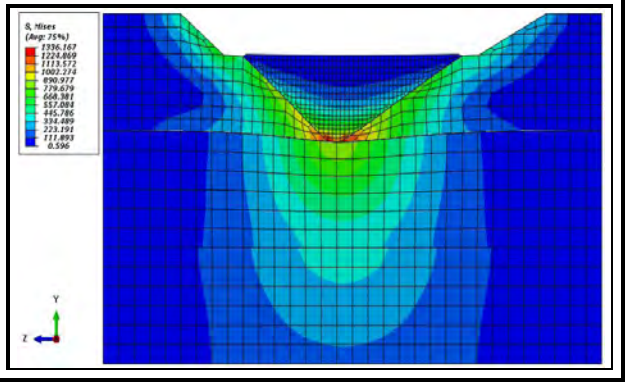
Στο Σχήμα 4.50.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της μεγάλης συμπιεστότητας του πρώτου στρώματος υπεδάφους σε σχέση με τα βραχώδη πρανή,

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

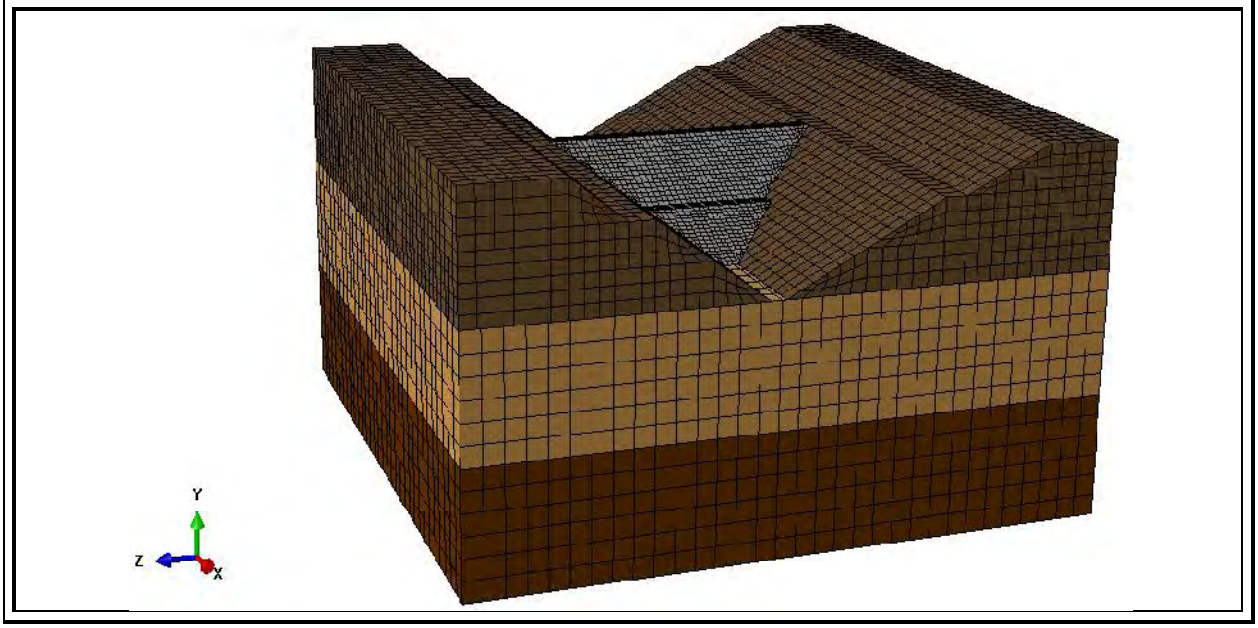
οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή είναι αριθμητικά μεγαλύτερες σε σχέση με τη βάση του φράγματος, κάτι το οποίο αναμένεται. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 890 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 1002 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 1002 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation\ 1}$ = 10 GPa – $E_{Foundation\ 2}$ = 100 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.50. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό $1^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Β και υλικό $2^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Ζ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.2.1.2. ΥΠΕΔΑΦΟΣ 1: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ**, ΥΠΕΔΑΦΟΣ 2: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**

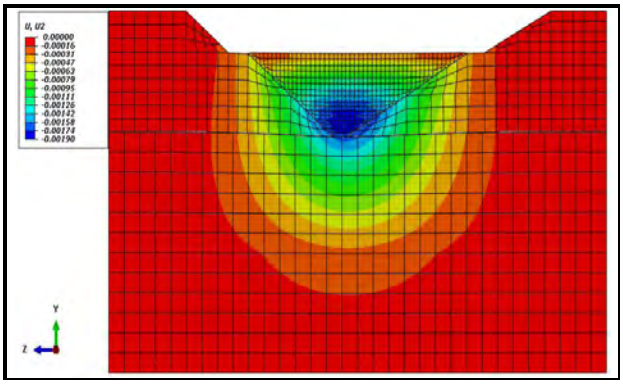
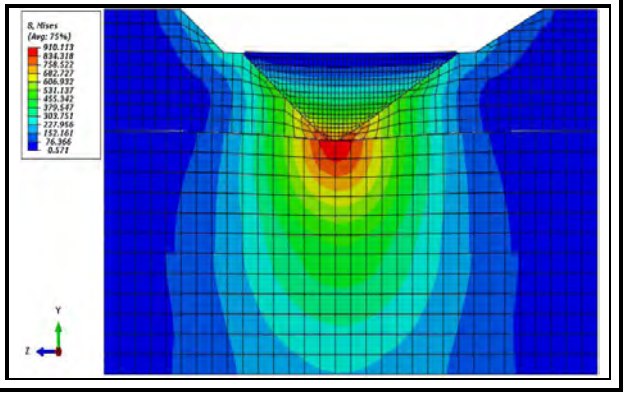
Στο Σχήμα 4.51. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση πολυστρωματικού υπεδάφους με οριζόντια στρώματα βραχωδών υλικών, με δύο οριζόντια στρώματα ίδιου πάχους. Στο πρώτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Δ (E = 40 GPa, ν = 0.20) (Παράρτημα) και στο δεύτερο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα). Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή το υπέδαφος αποτελείται από ένα αρκετά σκληρό βραχώδες υλικό στην επάνω στρώση και ένα πολύ σκληρό και πρακτικά ασυμπίεστο βραχώδες υλικό στην κάτω στρώση. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.51.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων που δεν περιορίζεται αποκλειστικά στην επάνω στρώση του υπεδάφους, εξαιτίας της μικρότερης συμπιεστότητας του επάνω υλικού, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης του φράγματος και στις αρχές των βραχωδών πρανών, ίση με U_{max} = 1.90 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 1.42 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 1.42 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

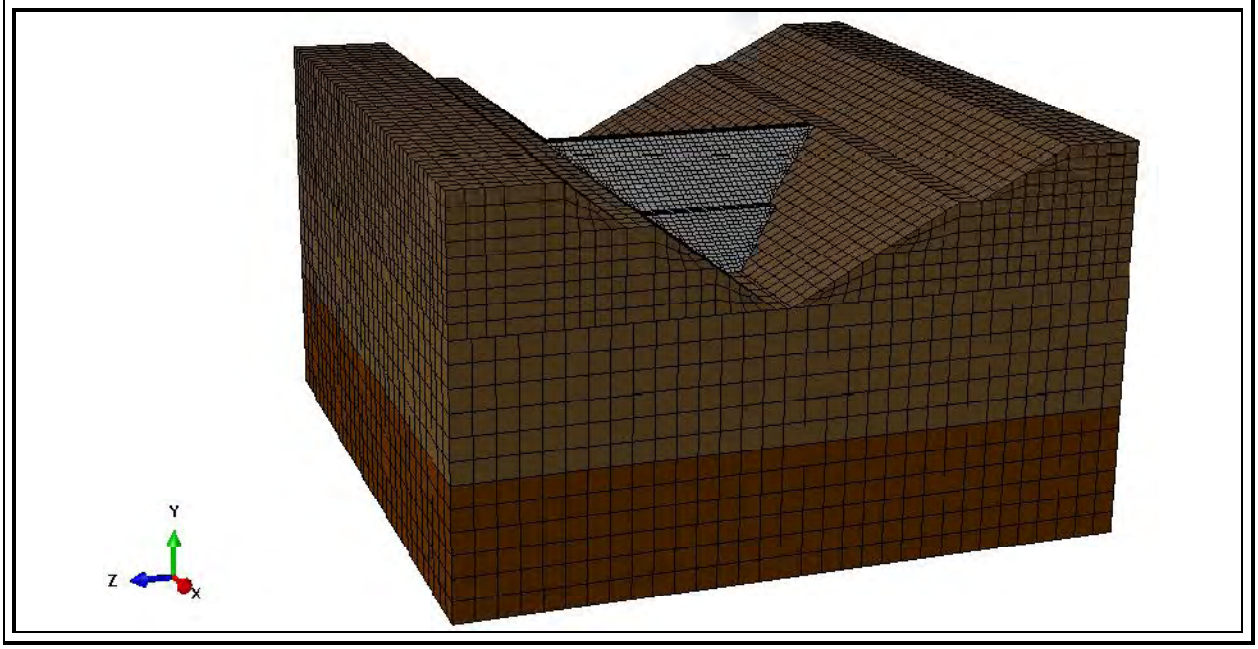
Στο Σχήμα 4.51.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της ίδιας συμπιεστότητας του πρώτου στρώματος υπεδάφους σε σχέση με τα βραχώδη πρανή, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή και στο υπέδαφος κατανέμονται πιο ομοιόμορφα, κάτι το οποίο αναμένεται. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 910 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 606 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 606 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation\ 1}$ = 40 GPa – $E_{Foundation\ 2}$ = 100 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.51. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό $1^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Δ και υλικό $2^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Ζ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.2.1.3. ΥΠΕΔΑΦΟΣ 1: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**, ΥΠΕΔΑΦΟΣ 2: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β**

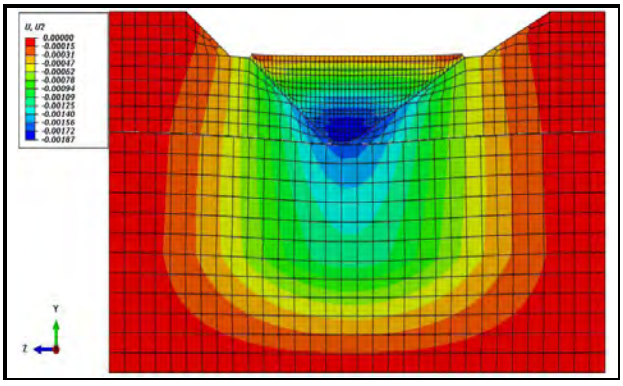
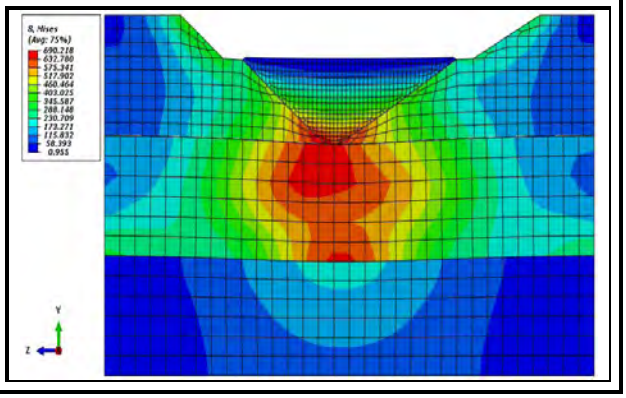
Στο Σχήμα 4.52. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση πολυστρωματικού υπεδάφους με οριζόντια στρώματα βραχωδών υλικών, με δύο οριζόντια στρώματα ίδιου πάχους. Στο πρώτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα) και στο δεύτερο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Β (E = 10 GPa, ν = 0.13) (Παράρτημα). Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή το υπέδαφος αποτελείται από ένα πολύ σκληρό και πρακτικά ασυμπίεστο βραχώδες υλικό στην επάνω στρώση και ένα πολύ μαλακό και συμπιεστό βραχώδες υλικό στην κάτω στρώση. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.52.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων αρκετά μεγάλου εύρους, στην οποία ολόκληρο το πρώτο σκληρό βραχώδες στρώμα υφίσταται μια υποχώρηση, η οποία είναι μεγαλύτερη κοντά στην βάση του φράγματος. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του χαμηλότερου στρώματος που παρουσιάζει μεγαλύτερη συμπιεστότητα. Η μέγιστη καθίζηση εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης του φράγματος και στις αρχές των βραχωδών πρανών, ίση με U_{max} = 1.87 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 1.72 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 1.72 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

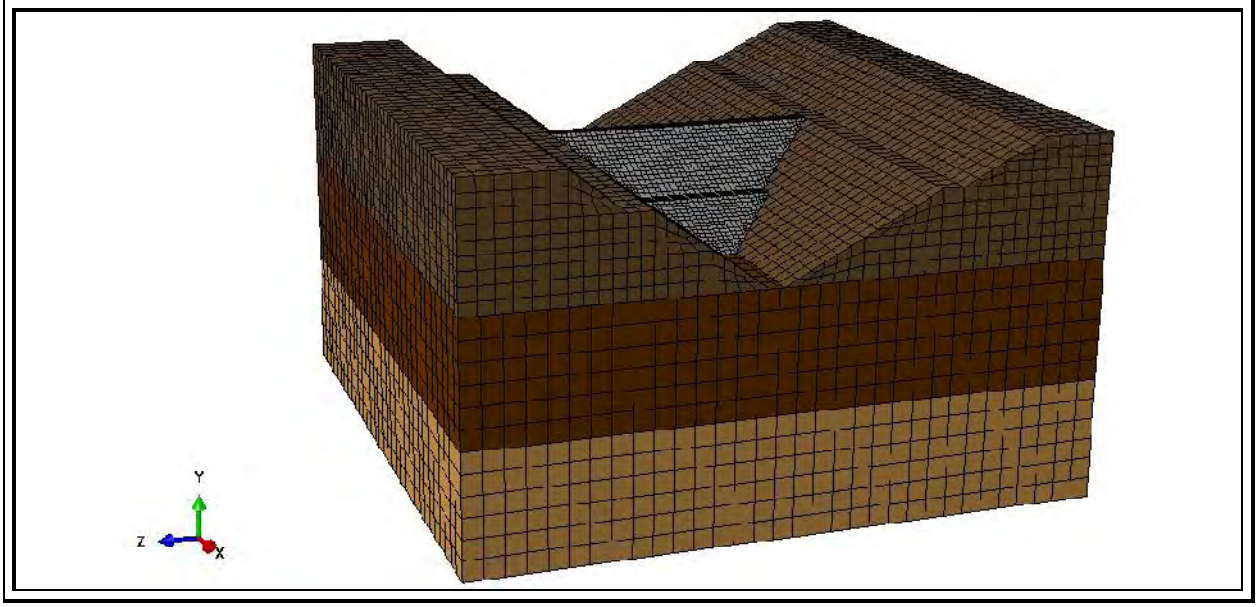
Στο Σχήμα 4.52.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της πολύ μικρής συμπιεστότητας του πρώτου στρώματος σε σχέση με το δεύτερο στρώμα υπεδάφους και με τα βραχώδη πρανή, οι τάσεις που αναπτύσσονται στο πρώτο στρώμα του υπεδάφους είναι αριθμητικά μεγαλύτερες σε σχέση με το δεύτερο στρώμα του υπεδάφους, κάτι το οποίο αναμένεται. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στο δεύτερο στρώμα αναπτύσσονται μικρές τάσεις. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 691 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 460 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 460 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation\ 1}$ = 100 GPa – $E_{Foundation\ 2}$ = 10 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z – ΓΕΩΫΛΙΚΟ B]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.52. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό $1^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Z και υλικό $2^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό B.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.2.1.4. ΥΠΕΔΑΦΟΣ 1: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**, ΥΠΕΔΑΦΟΣ 2: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ**

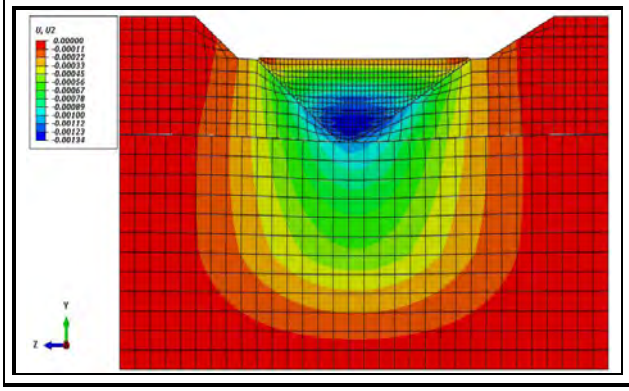
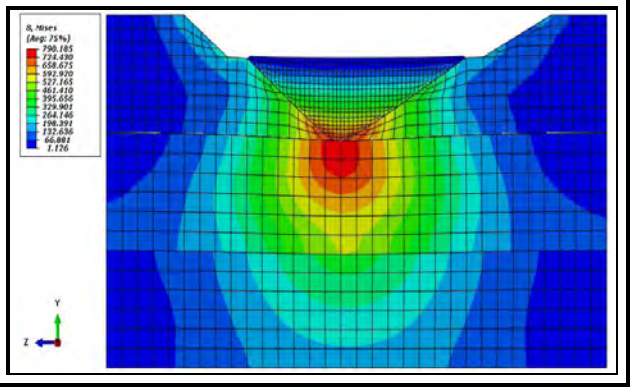
Στο Σχήμα 4.53. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση πολυστρωματικού υπεδάφους με οριζόντια στρώματα βραχωδών υλικών, με δύο οριζόντια στρώματα ίδιου πάχους. Στο πρώτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα) και στο δεύτερο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Δ (E = 40 GPa, ν = 0.20) (Παράρτημα). Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή το υπέδαφος αποτελείται από ένα πολύ σκληρό και πρακτικά ασυμπίεστο βραχώδες υλικό στην επάνω στρώση και ένα λιγότερο σκληρό και ασυμπίεστο βραχώδες υλικό στην κάτω στρώση. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.53.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων μικρότερου εύρους, στην οποία ολόκληρο το πρώτο σκληρό βραχώδες στρώμα υφίσταται μια υποχώρηση, η οποία είναι μεγαλύτερη κοντά στην βάση του φράγματος. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του χαμηλότερου στρώματος που παρουσιάζει μεγαλύτερη συμπιεστότητα σε σχέση με το υψηλότερο στρώμα, αλλά χαμηλότερη από την προηγούμενη περίπτωση. Η μέγιστη καθίζηση εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης του φράγματος και στις αρχές των βραχωδών πρανών, ίση με U_{max} = 1.34 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 1.17 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 1.17 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

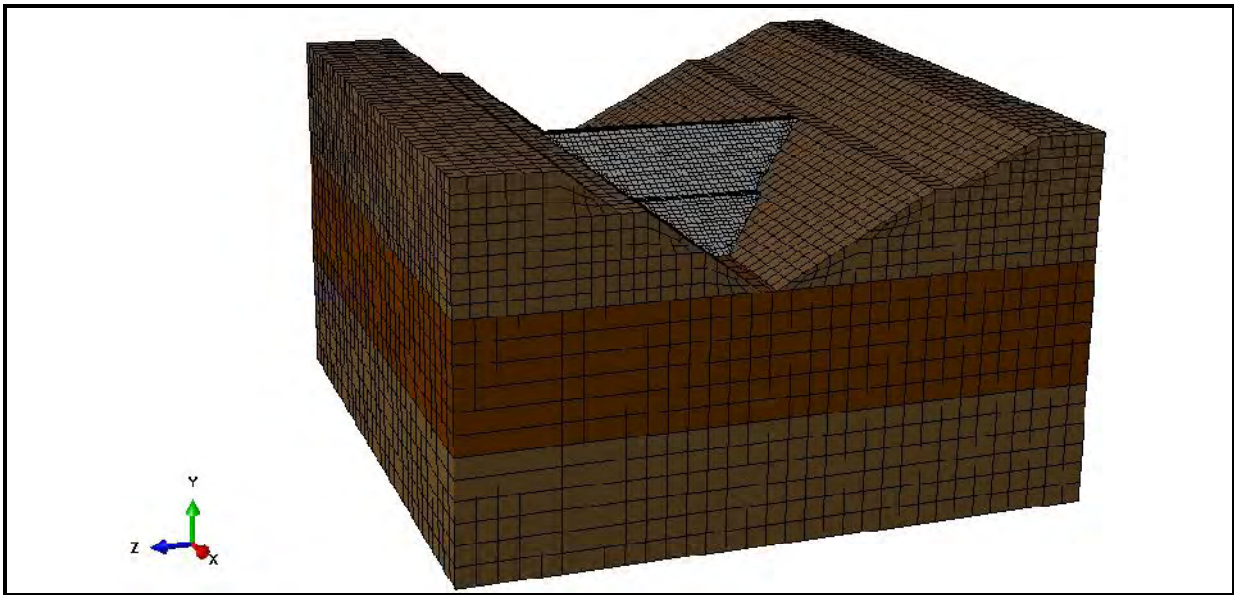
Στο Σχήμα 4.53.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της πολύ μικρής συμπιεστότητας του πρώτου στρώματος σε σχέση με το δεύτερο στρώμα υπεδάφους και με τα βραχώδη πρανή, οι τάσεις που αναπτύσσονται στο πρώτο στρώμα του υπεδάφους είναι αριθμητικά μεγαλύτερες σε σχέση με το δεύτερο στρώμα του υπεδάφους, κάτι το οποίο αναμένεται. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στο δεύτερο στρώμα αναπτύσσονται μεγαλύτερες τάσεις. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 790 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 461 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 461 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation\ 1}$ = 100 GPa – $E_{Foundation\ 2}$ = 40 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.53. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό $1^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Ζ και υλικό $2^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Δ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.2.1.5. ΥΠΕΔΑΦΟΣ 1: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α**, ΥΠΕΔΑΦΟΣ 2: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ** ΥΠΕΔΑΦΟΣ 3: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε**, ΥΠΕΔΑΦΟΣ 4: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ**

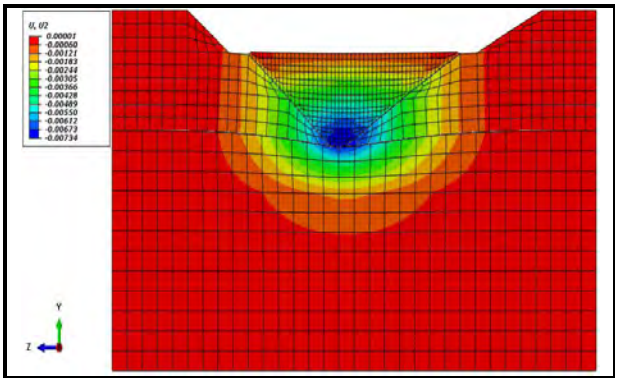
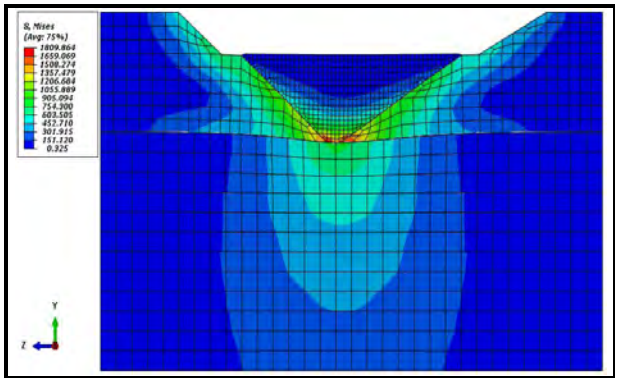
Στο Σχήμα 4.54. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση πολυστρωματικού υπεδάφους με οριζόντια στρώματα βραχωδών υλικών, με τέσσερα οριζόντια στρώματα ίδιου πάχους. Στο πρώτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Α (Ε = 5 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα), στο δεύτερο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Γ (Ε = 20 GPa, ν = 0.18) (Παράρτημα), στο τρίτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Ε (Ε = 60 GPa , ν = 0.22) (Παράρτημα) και στο τέταρτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Ζ (Ε = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα). Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή το υπέδαφος αποτελείται από ένα αρχικά επιφανειακό μαλακό και αρκετά συμπιεστό βραχώδες υλικό, και όσο το βάθος αυξάνεται, η συμπιεστότητα των βραχωδών υλικών ελαττώνεται. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.54.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη κατανομή καθιζήσεων μικρότερου εύρους, στην οποία ολόκληρο το πρώτο σκληρό βραχώδες στρώμα υφίσταται μια σχετικά μεγάλη υποχώρηση. Μετά το δεύτερο βραχώδες στρώμα, δε παρατηρείται κάποια σημαντική καθίζηση. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της πολύ χαμηλότερης συμπιεστότητας των υπόλοιπων στρωμάτων σε σχέση με το πρώτο στρώμα. Η μέγιστη καθίζηση εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης του φράγματος και στις αρχές των βραχωδών πρανών, ίση με U_{max} = 7.34 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 4.28 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 4.28 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

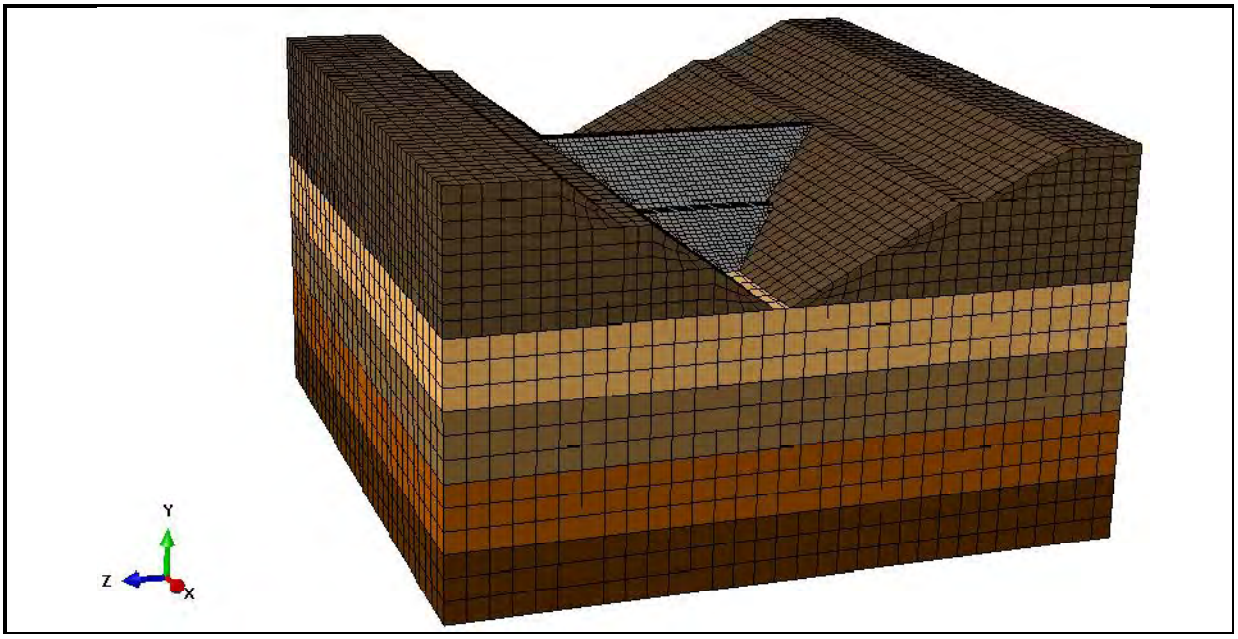
Στο Σχήμα 4.54.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της πολύ μεγάλης συμπιεστότητας του πρώτου στρώματος σε σχέση με τα υπόλοιπα στρώματα υπεδάφους και με τα βραχώδη πρανή, οι τάσεις που αναπτύσσονται στο υπέδαφος είναι συνολικά μικρότερες σε σχέση με τα βραχώδη πρανή, κάτι το οποίο αναμένεται. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 754 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 1205 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 1205 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Found\ 1}$ = 5 GPa – $E_{Found\ 2}$ = 20 GPa – $E_{Found\ 3}$ = 60 GPa – $E_{Found\ 4}$ = 100 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.54. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό $1^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Α, υλικό $2^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Γ, υλικό $3^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Ε και υλικό $4^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Ζ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.2.1.6. ΥΠΕΔΑΦΟΣ 1: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**, ΥΠΕΔΑΦΟΣ 2: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε** ΥΠΕΔΑΦΟΣ 3: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ**, ΥΠΕΔΑΦΟΣ 4: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α**

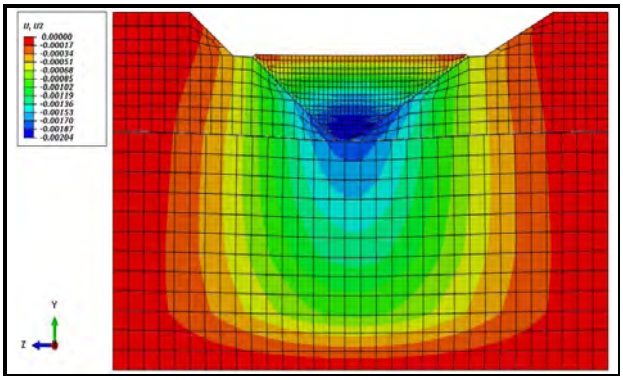
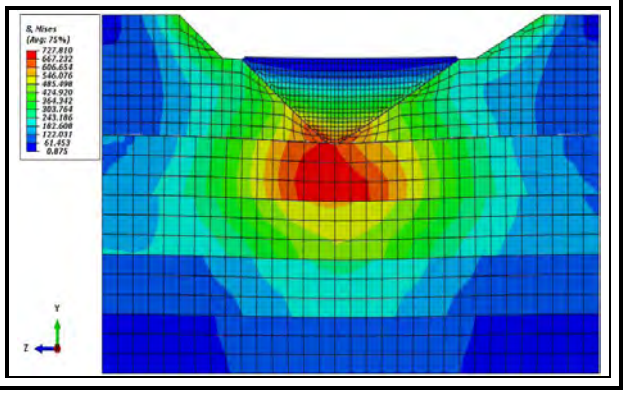
Στο Σχήμα 4.55. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση πολυστρωματικού υπεδάφους με οριζόντια στρώματα βραχωδών υλικών, με τέσσερα οριζόντια στρώματα ίδιου πάχους. Στο πρώτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα), στο δεύτερο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Ε (E = 60 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα), στο τρίτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Γ (E = 20 GPa , ν = 0.18) (Παράρτημα) και στο τέταρτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Α (E = 5 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα). Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή το υπέδαφος αποτελείται από ένα αρχικά επιφανειακό πολύ σκληρό και πρακτικά ασυμπίεστο βραχώδες υλικό, και όσο το βάθος αυξάνεται, η συμπιεστότητα των βραχωδών υλικών αυξάνεται. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.55.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη κατανομή καθιζήσεων, κατά την οποία ολόκληρο το υπέδαφος κάτω από το φράγμα και στην ευρύτερη περιοχή της κοιλάδας υφίσταται μια γενική υποχώρηση, όχι σημαντική. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της πολύ χαμηλότερης συμπιεστότητας του πρώτου στρώματος σε σχέση με τα υπόλοιπα. Η μέγιστη καθίζηση εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης του φράγματος και στις αρχές των βραχωδών πρανών, ίση με U_{max} = 2.04 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 1.87 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 1.87 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

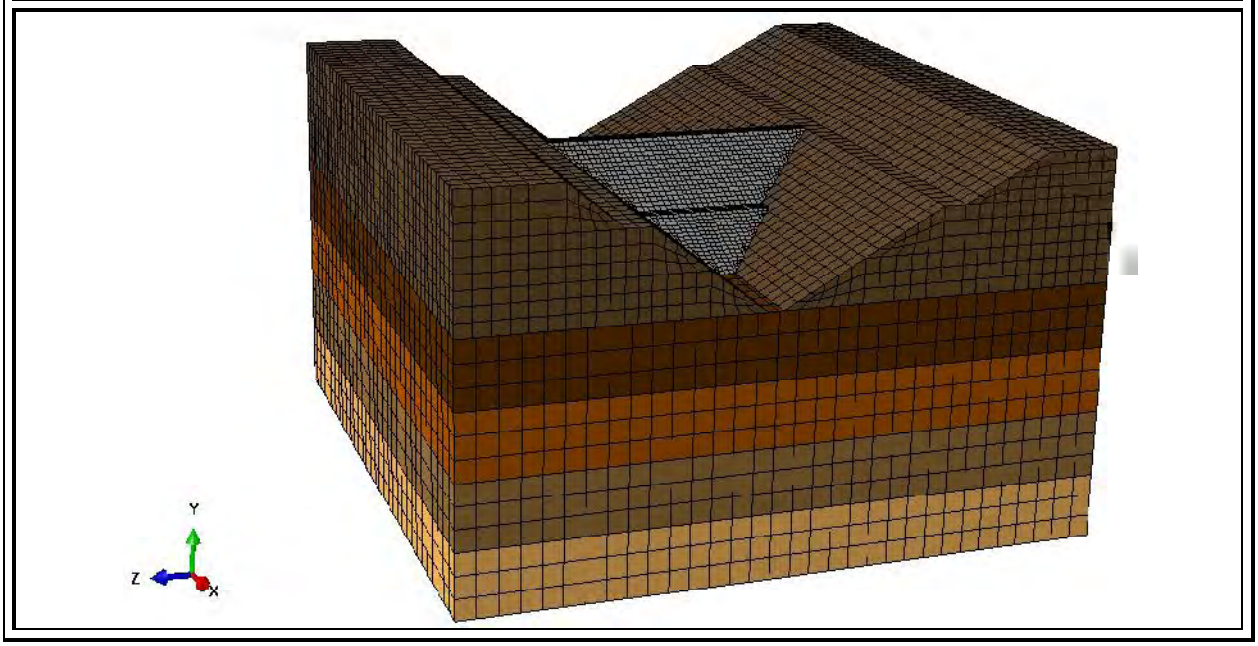
Στο Σχήμα 4.55.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της πολύ μικρής συμπιεστότητας του πρώτου στρώματος σε σχέση με τα υπόλοιπα στρώματα υπεδάφους και με τα βραχώδη πρανή, οι τάσεις που αναπτύσσονται στο πρώτο βραχώδες στρώμα του υπέδαφος, και ιδιαίτερα κάτω από το φράγμα είναι συνολικά μεγαλύτερες σε σχέση με τα υπόλοιπα στρώματα και τα βραχώδη πρανή, κάτι το οποίο αναμένεται. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 728 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 485 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 485 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Found\ 1}$ = 100 GPa – $E_{Found\ 2}$ = 60 GPa – $E_{Found\ 3}$ = 20 GPa – $E_{Found\ 4}$ = 5 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.55. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό $1^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Ζ, υλικό $2^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Ε, υλικό $3^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Γ και υλικό $4^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Α.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.2.1.7. ΥΠΕΔΑΦΟΣ 1: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β**, ΥΠΕΔΑΦΟΣ 2: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ**
ΥΠΕΔΑΦΟΣ 3: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ**, ΥΠΕΔΑΦΟΣ 4**: ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ**

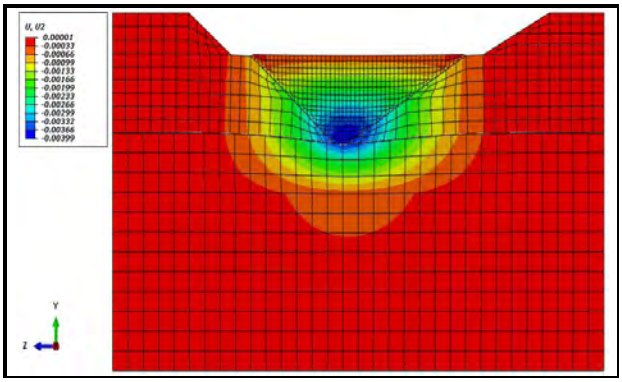
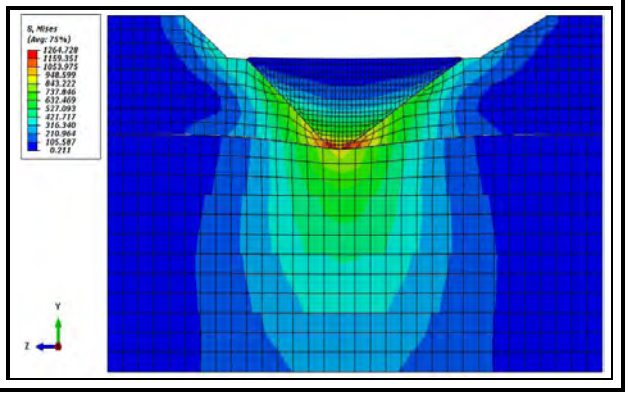
Στο Σχήμα 4.56. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση πολυστρωματικού υπεδάφους με οριζόντια στρώματα βραχωδών υλικών, με τέσσερα οριζόντια στρώματα ίδιου πάχους. Στο πρώτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Β (E = 10 GPa, ν = 0.13) (Παράρτημα), στο δεύτερο, στο τρίτο και στο τέταρτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Ζ (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα). Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή το υπέδαφος αποτελείται από ένα αρχικά επιφανειακό αρκετά μαλακό και συμπιεστό βραχώδες υλικό, και στα υπόλοιπα στρώματα εντοπίζεται πολύ σκληρό και πρακτικά ασυμπίεστο βραχώδες υλικό, όσο το βάθος αυξάνεται. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.56.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη κατανομή καθιζήσεων μικρότερου εύρους, στην οποία ολόκληρο το πρώτο μαλακό βραχώδες στρώμα υφίσταται μια αρκετά σημαντική υποχώρηση. Μετά το δεύτερο βραχώδες στρώμα, δε παρατηρείται κάποια σημαντική καθίζηση. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της πολύ χαμηλότερης συμπιεστότητας των υπόλοιπων στρωμάτων σε σχέση με το πρώτο στρώμα. Η μέγιστη καθίζηση εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης του φράγματος και στις αρχές των βραχωδών πρανών, ίση με U_{max} = 4 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 2.66 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 2.66 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

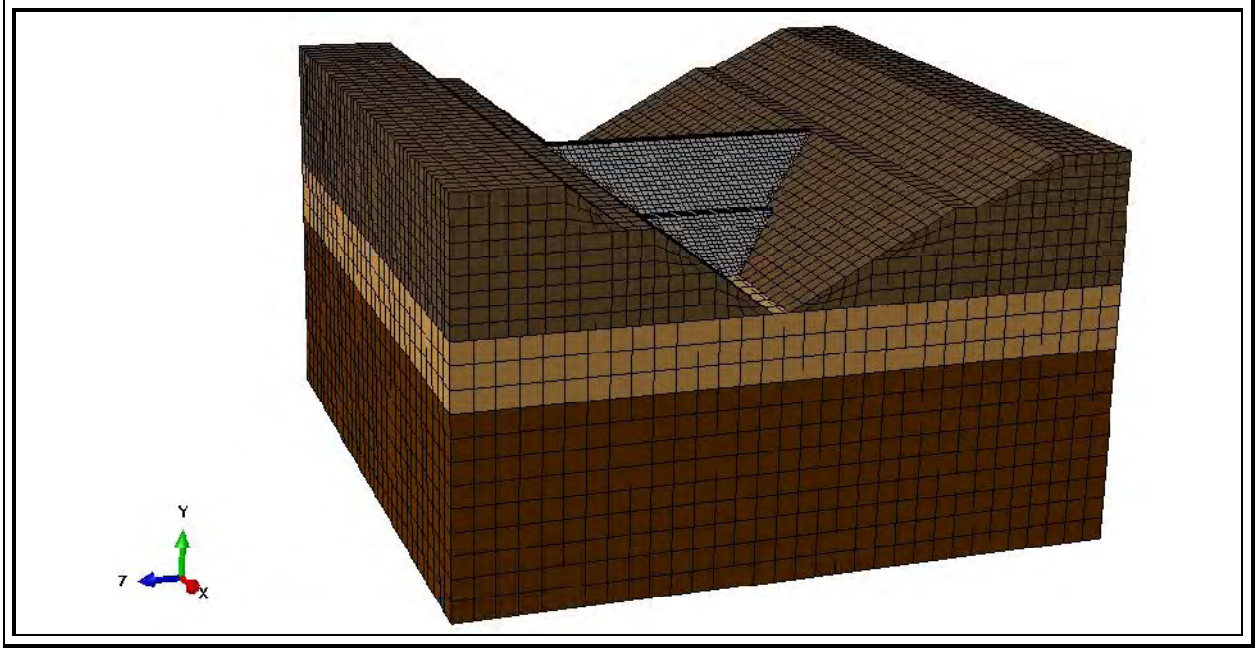
Στο Σχήμα 4.56.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της πολύ μεγάλης συμπιεστότητας του πρώτου στρώματος σε σχέση με τα υπόλοιπα στρώματα υπεδάφους και με τα βραχώδη πρανή, οι τάσεις που αναπτύσσονται στο υπέδαφος είναι συνολικά μικρότερες σε σχέση με τα βραχώδη πρανή, κάτι το οποίο αναμένεται. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 949 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 949 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 949 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

E_{F1} = 10 GPa – E_{F2} = 100 GPa – E_{F3} = 100 GPa – E_{F4} = 100 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.56. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό $1^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Β, υλικό $2^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Ζ, υλικό $3^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Ζ και υλικό $4^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Ζ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.2.1.8. ΥΠΕΔΑΦΟΣ 1: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β**, ΥΠΕΔΑΦΟΣ 2: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β**
ΥΠΕΔΑΦΟΣ 3: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β**, ΥΠΕΔΑΦΟΣ 4: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**

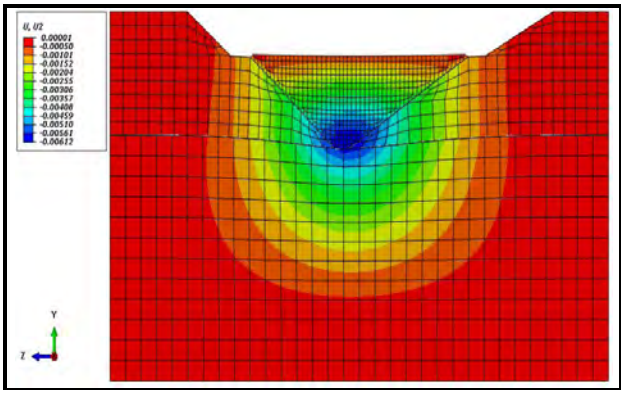
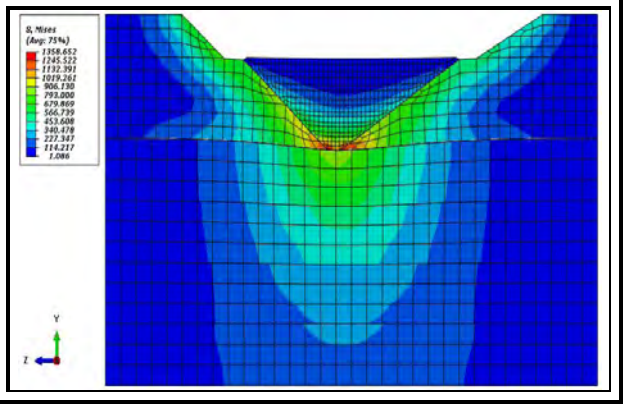
Στο Σχήμα 4.57. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση πολυστρωματικού υπεδάφους με οριζόντια στρώματα βραχωδών υλικών, με τέσσερα οριζόντια στρώματα ίδιου πάχους. Στο πρώτο, στο δεύτερο και στο τρίτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Β (Ε = 10 GPa, ν = 0.13) (Παράρτημα) και στο τέταρτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Z (Ε = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα). Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή το υπέδαφος αποτελείται από ένα αρχικά αρκετά μαλακό και συμπιεστό βραχώδες υλικό, με έκταση βάθους τα ¾ του υπεδάφους, και στο τελευταίο στρώμα εντοπίζεται πολύ σκληρό και πρακτικά ασυμπίεστο βραχώδες υλικό. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.57.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη κατανομή καθιζήσεων μεγαλύτερου εύρους, στην οποία ολόκληρο το πρώτο, το δεύτερο και το τρίτο βραχώδες στρώμα υφίστανται μια αρκετά συνολικά σημαντική υποχώρηση. Μετά το τρίτο βραχώδες στρώμα, δε παρατηρείται κάποια σημαντική καθίζηση. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της πολύ χαμηλότερης συμπιεστότητας του τελευταίου στρώματος. Η μέγιστη καθίζηση εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης του φράγματος και στις αρχές των βραχωδών πρανών, ίση με U_{max} = 6.12 mm, στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 4.08 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 4.08 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

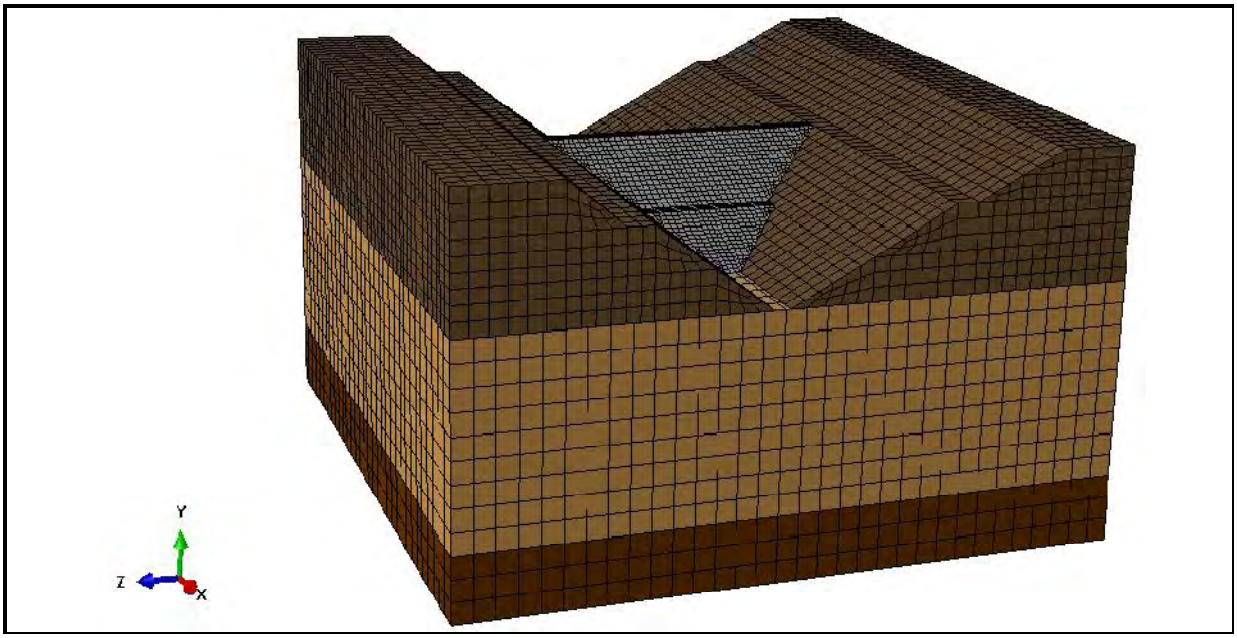
Στο Σχήμα 4.57.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της πολύ μεγάλης συμπιεστότητας των τριών πρώτων στρωμάτων του υπεδάφους σε σχέση με τα βραχώδη πρανή, οι τάσεις που αναπτύσσονται στο υπέδαφος είναι συνολικά μικρότερες, κάτι το οποίο αναμένεται. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 905 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 1019 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 1019 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Found\ 1}$ = 10 GPa – $E_{Found\ 2}$ = 10 GPa – $E_{Found\ 3}$ = 10 GPa – $E_{Found\ 4}$ = 100 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.57. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό $1^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Β, υλικό $2^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Β, υλικό $3^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Β και υλικό $4^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Ζ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.2.2. ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ

4.2.2.2.1. ΥΠΕΔΑΦΟΣ 1: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β**, ΥΠΕΔΑΦΟΣ 2: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**

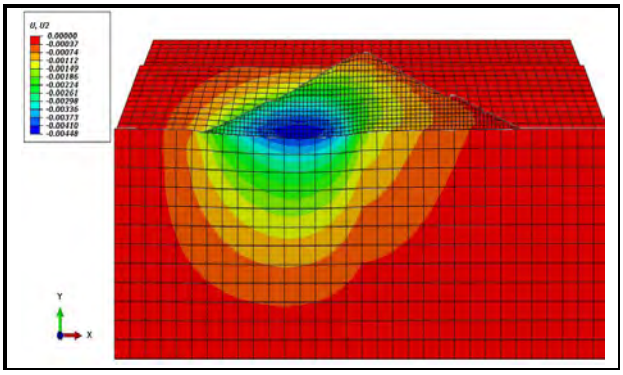
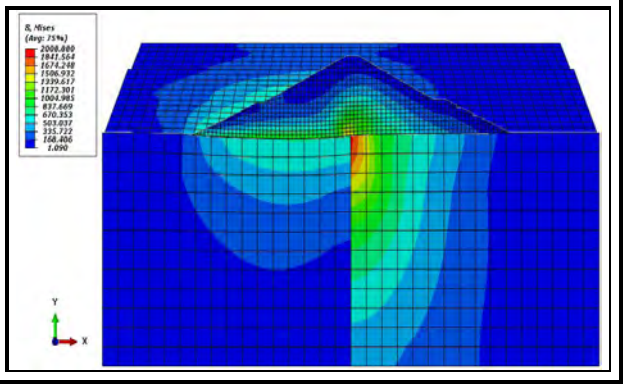
Στο Σχήμα 4.58. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση πολυστρωματικού υπεδάφους με κάθετα στρώματα βραχωδών υλικών, με δύο στρώματα ίδιου πάχους, παράλληλα στη στέψη του φράγματος, στο επίπεδο YZ. Στο πρώτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Β (E = 10 GPa, ν = 0.13) (Παράρτημα) και στο δεύτερο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα). Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή το υπέδαφος αποτελείται από ένα πολύ μαλακό και συμπιεστό βραχώδες υλικό στην αριστερή στρώση και ένα πολύ σκληρό και πρακτικά ασυμπίεστο βραχώδες υλικό στην δεξιά στρώση, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό μια εδαφική ασυνέχεια, πάνω στην οποία κατασκευάζεται το φράγμα. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.58.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ανομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων που περιορίζεται στην αριστερή στρώση του υπεδάφους, εξαιτίας της μεγάλης συμπιεστότητας του υλικού, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο αριστερό τμήμα της διατομής του φράγματος, ίση με U_{max} = 4.48 mm. Εξαιτίας της παρουσίας του νερού στην ανάντη πλευρά του φράγματος, η συνολική καθίζηση της αριστερής πλευράς του υπεδάφους αυξάνεται. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

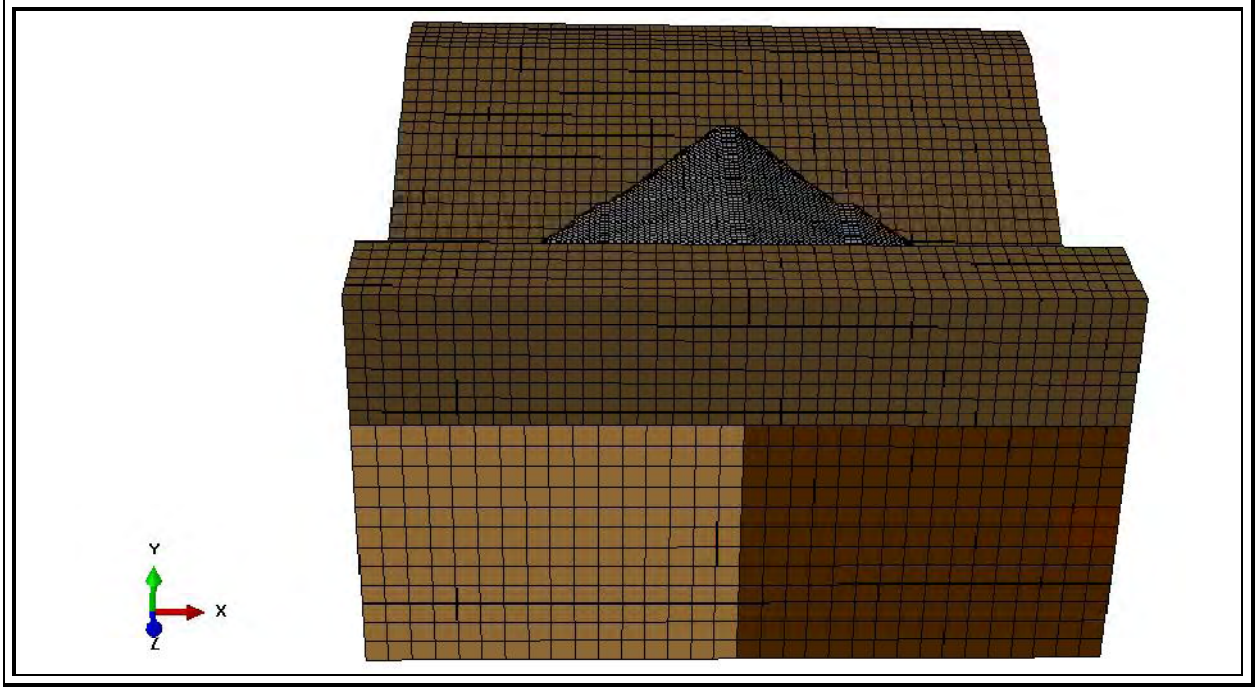
Στο Σχήμα 4.58.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της πολύ μεγάλης συμπιεστότητας του αριστερού στρώματος υπεδάφους σε σχέση με το δεξί, οι τάσεις που αναπτύσσονται στο δεξί τμήμα είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις του αριστερού τμήματος υπεδάφους, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι το σύνολο των στατικών φορτίων τείνουν να παραληφθούν από το περισσότερο ασυμπίεστο έδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Η μέγιστη τάση στο αριστερό τμήμα είναι ίση με $S_{max,left}$ = 670 kPa, και στο δεξί τμήμα είναι ίση με $S_{max,right}$ = 2009 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation\ 1}$ = 10 GPa – $E_{Foundation\ 2}$ = 100 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.58. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή XY κάθετα στη στέψη του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό $1^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Β και υλικό $2^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Ζ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.2.2.2. ΥΠΕΔΑΦΟΣ 1: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ**, ΥΠΕΔΑΦΟΣ 2**: ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**

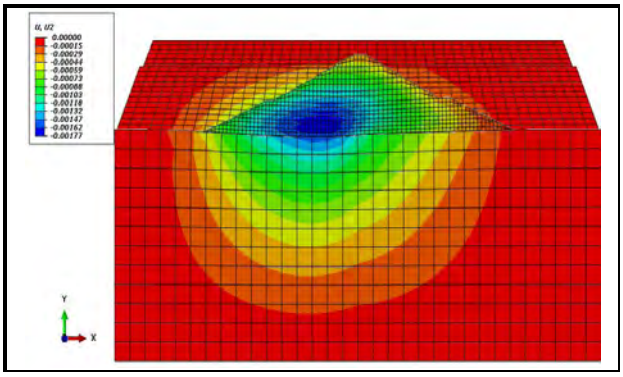
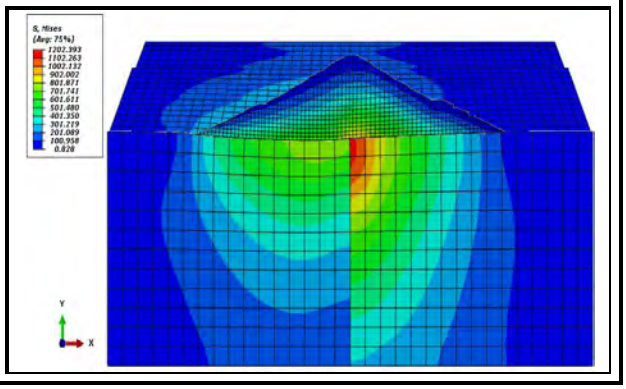
Στο Σχήμα 4.59. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση πολυστρωματικού υπεδάφους με κάθετα στρώματα βραχωδών υλικών, με δύο στρώματα ίδιου πάχους, παράλληλα στη στέψη του φράγματος, στο επίπεδο YZ. Στο πρώτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Δ (E = 40 GPa, ν = 0.20) (Παράρτημα) και στο δεύτερο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα). Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή το υπέδαφος αποτελείται από ένα λιγότερο μαλακό και συμπιεστό βραχώδες υλικό στην αριστερή στρώση και ένα πολύ σκληρό και πρακτικά ασυμπίεστο βραχώδες υλικό στην δεξιά στρώση, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό μια εδαφική ασυνέχεια, πάνω στην οποία κατασκευάζεται το φράγμα. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.59.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια εξίσου ανομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων που περιορίζεται αφενός στην αριστερή στρώση του υπεδάφους, εξαιτίας της μεγαλύτερης συμπιεστότητας του υλικού, αλλά αφετέρου τείνει περισσότερο προς το κέντρο του φράγματος, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο αριστερό τμήμα της διατομής του φράγματος, κοντά στο κέντρο του, και είναι ίση με U_{max} = 1.77 mm. Εξαιτίας της παρουσίας του νερού στην ανάντη πλευρά του φράγματος, η συνολική καθίζηση της αριστερής πλευράς του υπεδάφους αυξάνεται. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

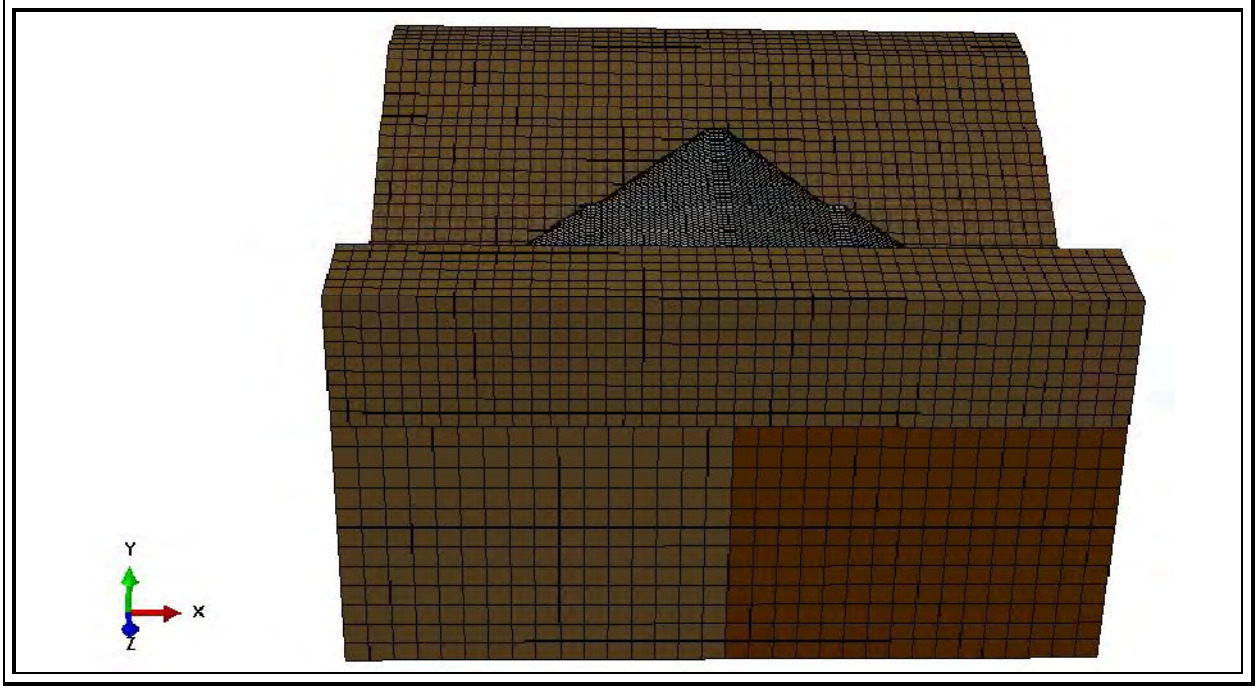
Στο Σχήμα 4.59.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της μεγαλύτερης συμπιεστότητας του αριστερού στρώματος υπεδάφους σε σχέση με το δεξί, οι τάσεις που αναπτύσσονται στο δεξί τμήμα είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις του αριστερού τμήματος υπεδάφους, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι το σύνολο των στατικών φορτίων τείνουν να παραληφθούν σε μεγαλύτερο βαθμό από το πιο ασυμπίεστο έδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Η μέγιστη τάση στο αριστερό τμήμα είναι ίση με $S_{max,left}$ = 802 kPa, και στο δεξί τμήμα είναι ίση με $S_{max,right}$ = 1202 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation\ 1}$ = 40 GPa – $E_{Foundation\ 2}$ = 100 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.59. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή XY κάθετα στη στέψη του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό $1^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Δ και υλικό $2^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Ζ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.2.2.3. ΥΠΕΔΑΦΟΣ 1: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**, ΥΠΕΔΑΦΟΣ 2: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ B**

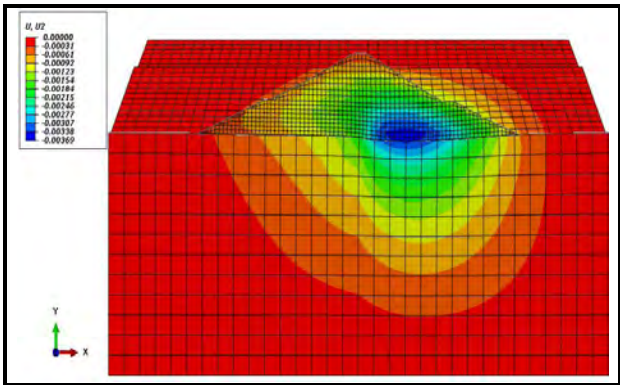
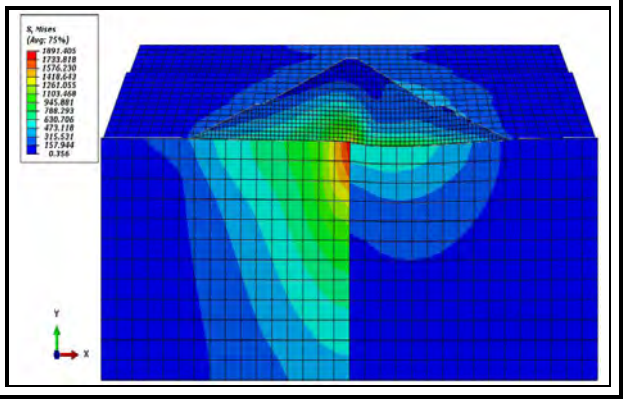
Στο Σχήμα 4.60. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση πολυστρωματικού υπεδάφους με κάθετα στρώματα βραχωδών υλικών, με δύο στρώματα ίδιου πάχους, παράλληλα στη στέψη του φράγματος, στο επίπεδο YZ. Στο πρώτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα) και στο δεύτερο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό B (E = 10 GPa, ν = 0.13) (Παράρτημα). Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή το υπέδαφος αποτελείται από ένα πολύ σκληρό και πρακτικά ασυμπίεστο βραχώδες υλικό στην αριστερή στρώση και ένα πολύ μαλακό και αρκετά συμπιεστό βραχώδες υλικό στην δεξιά στρώση, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό μια εδαφική ασυνέχεια, πάνω στην οποία κατασκευάζεται το φράγμα. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.60.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ανομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων που περιορίζεται στην δεξιά στρώση του υπεδάφους, εξαιτίας της μεγάλης συμπιεστότητας του υλικού, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο δεξί τμήμα της διατομής του φράγματος, ίση με U_{max} = 3.69 mm. Εξαιτίας της παρουσίας του νερού στην ανάντη πλευρά του φράγματος, η συνολική καθίζηση της δεξιάς πλευράς του υπεδάφους αυξάνεται λιγότερο. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

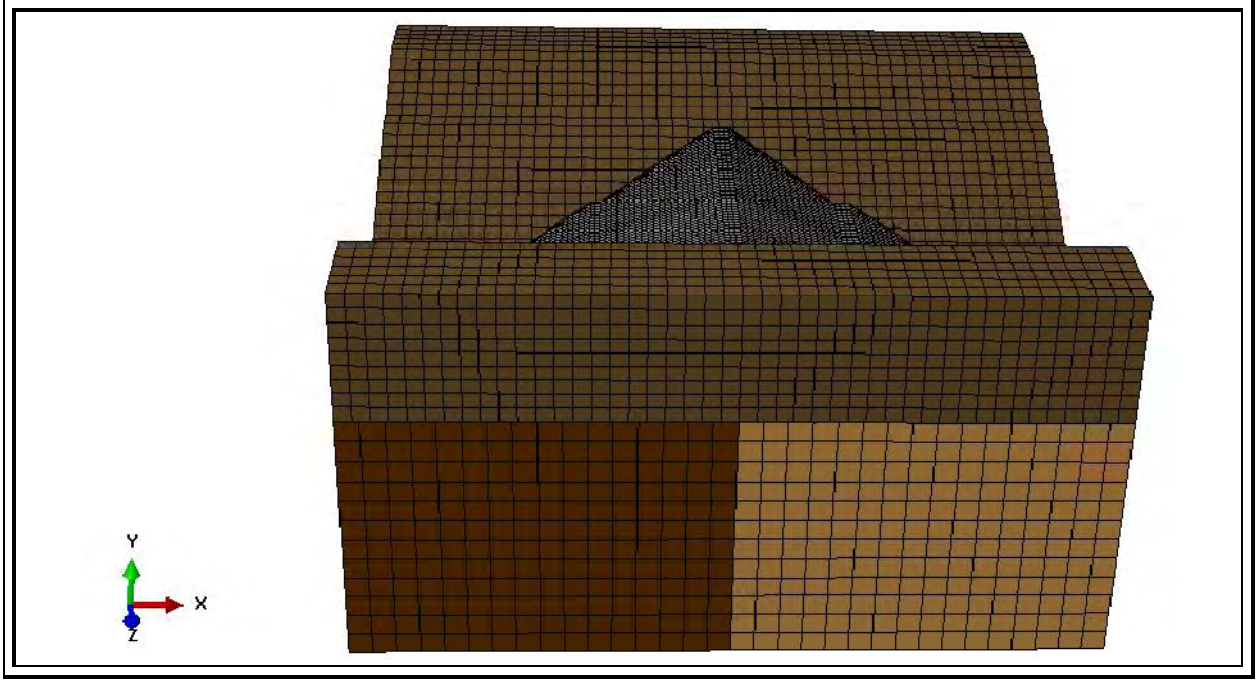
Στο Σχήμα 4.60.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της πολύ μεγάλης συμπιεστότητας του δεξιού στρώματος υπεδάφους σε σχέση με το αριστερό, οι τάσεις που αναπτύσσονται στο αριστερό τμήμα είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις του δεξιού τμήματος υπεδάφους, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι το σύνολο των στατικών φορτίων τείνουν να παραληφθούν από το περισσότερο ασυμπίεστο έδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Η μέγιστη τάση στο αριστερό τμήμα είναι ίση με $S_{max,left}$ = 1891 kPa, και στο δεξί τμήμα είναι ίση με $S_{max,right}$ = 631 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation\ 1}$ = 100 GPa – $E_{Foundation\ 2}$ = 10 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z – ΓΕΩΫΛΙΚΟ B]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.60. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή XY κάθετα στη στέψη του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό $1^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Z και υλικό $2^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό B.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.2.2.4. ΥΠΕΔΑΦΟΣ 1: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z,** ΥΠΕΔΑΦΟΣ 2: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ**

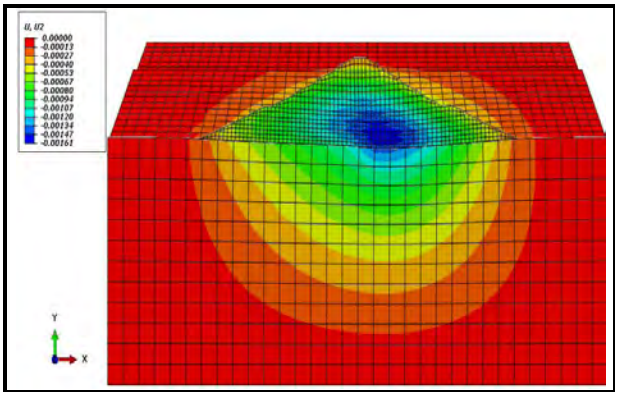
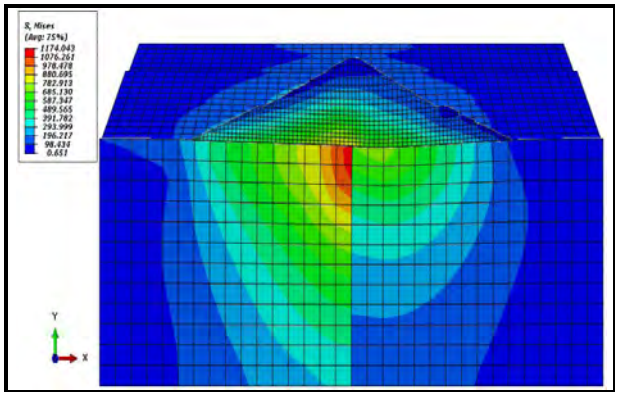
Στο Σχήμα 4.61. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση πολυστρωματικού υπεδάφους με κάθετα στρώματα βραχωδών υλικών, με δύο στρώματα ίδιου πάχους, παράλληλα στη στέψη του φράγματος, στο επίπεδο YZ. Στο πρώτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα) και στο δεύτερο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Δ (E = 40 GPa, ν = 0.20) (Παράρτημα). Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή το υπέδαφος αποτελείται από ένα πολύ σκληρό και πρακτικά ασυμπίεστο βραχώδες υλικό στην αριστερή στρώση και ένα λιγότερο μαλακό και συμπιεστό βραχώδες υλικό στην δεξιά στρώση, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό μια εδαφική ασυνέχεια, πάνω στην οποία κατασκευάζεται το φράγμα. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.61.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια εξίσου ανομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων που περιορίζεται αφενός στην δεξιά στρώση του υπεδάφους, εξαιτίας της μεγαλύτερης συμπιεστότητας του υλικού, αλλά αφετέρου τείνει περισσότερο προς το κέντρο του φράγματος, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο δεξί τμήμα της διατομής του φράγματος, κοντά στο κέντρο του, και είναι ίση με U_{max} = 1.61 mm. Εξαιτίας της παρουσίας του νερού στην ανάντη πλευρά του φράγματος, η συνολική καθίζηση της δεξιάς πλευράς του υπεδάφους αυξάνεται λιγότερο. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

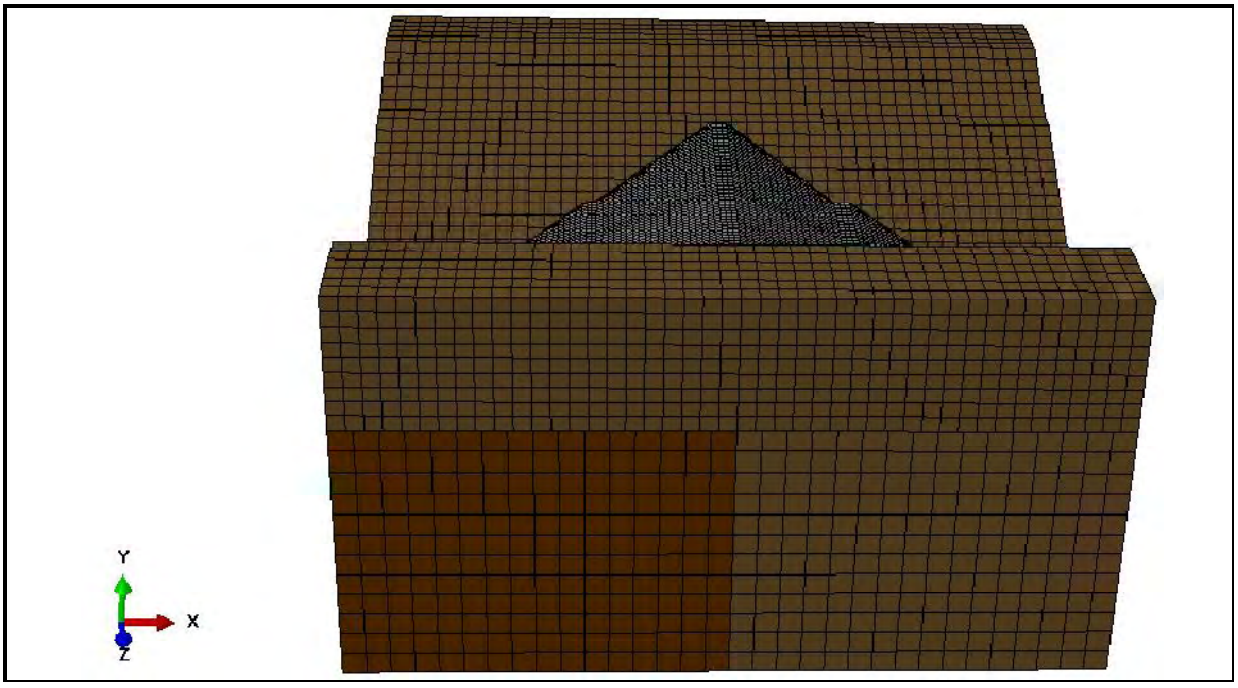
Στο Σχήμα 4.61.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της μεγαλύτερης συμπιεστότητας του δεξιού στρώματος υπεδάφους σε σχέση με το αριστερό, οι τάσεις που αναπτύσσονται στο αριστερό τμήμα είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις του δεξιού τμήματος υπεδάφους, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι το σύνολο των στατικών φορτίων τείνουν να παραληφθούν σε μεγαλύτερο βαθμό από το πιο ασυμπίεστο έδαφος. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Η μέγιστη τάση στο αριστερό τμήμα είναι ίση με $S_{max,left}$ = 1174 kPa, και στο δεξί τμήμα είναι ίση με $S_{max,right}$ = 782 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Foundation\ 1}$ = 100 GPa – $E_{Foundation\ 2}$ = 40 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.61. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή XY κάθετα στη στέψη του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό $1^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Ζ και υλικό $2^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Δ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.2.2.5. ΥΠΕΔΑΦΟΣ 1: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α**, ΥΠΕΔΑΦΟΣ 2: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ**
ΥΠΕΔΑΦΟΣ 3: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε**, ΥΠΕΔΑΦΟΣ 4: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ**

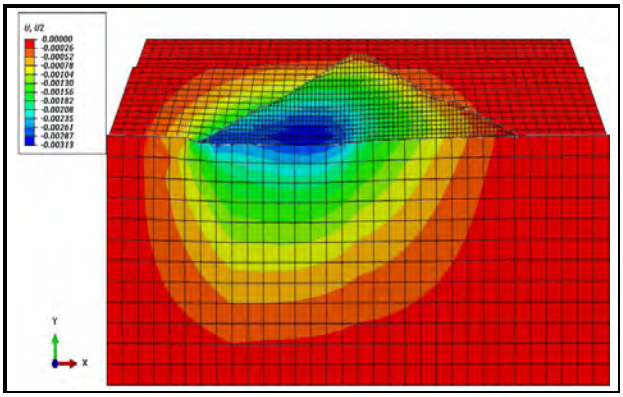
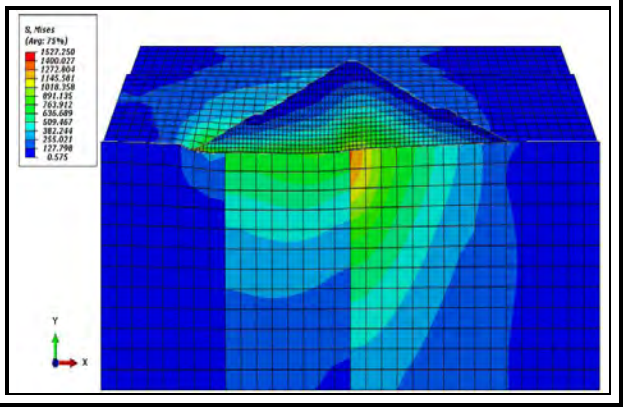
Στο Σχήμα 4.62. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση πολυστρωματικού υπεδάφους με κάθετα στρώματα βραχωδών υλικών, με τέσσερα στρώματα ίδιου πάχους, παράλληλα στη στέψη του φράγματος, στο επίπεδο YZ. Από την ανάντη προς την κατάντη πλευρά του φράγματος, στο πρώτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Α (E = 5 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα), στο δεύτερο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Γ (E = 20 GPa, ν = 0.18) (Παράρτημα), στο τρίτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Ε (E = 60 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα) και στο τέταρτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα). Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή το υπέδαφος αποτελείται από τέσσερα κάθετα στρώματα, με βραχώδη υλικά των οποίων η συμπιεστότητα ελαττώνεται βαθμιαία από αριστερά προς τα δεξιά, όπως φαίνεται στο σχήμα, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό τρεις εδαφικές ασυνέχειες, πάνω στις οποίες κατασκευάζεται το φράγμα. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.62.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ανομοιόμορφη κατανομή καθιζήσεων που περιορίζεται κυρίως στις αριστερές στρώσεις υπεδάφους, εξαιτίας της μεγαλύτερης συμπιεστότητας των υλικών, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο αριστερό τμήμα της διατομής του φράγματος, ίση με U_{max} = 3.13 mm. Εξαιτίας της παρουσίας του νερού στην ανάντη πλευρά του φράγματος, η συνολική καθίζηση της αριστερής πλευράς του υπεδάφους αυξάνεται. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

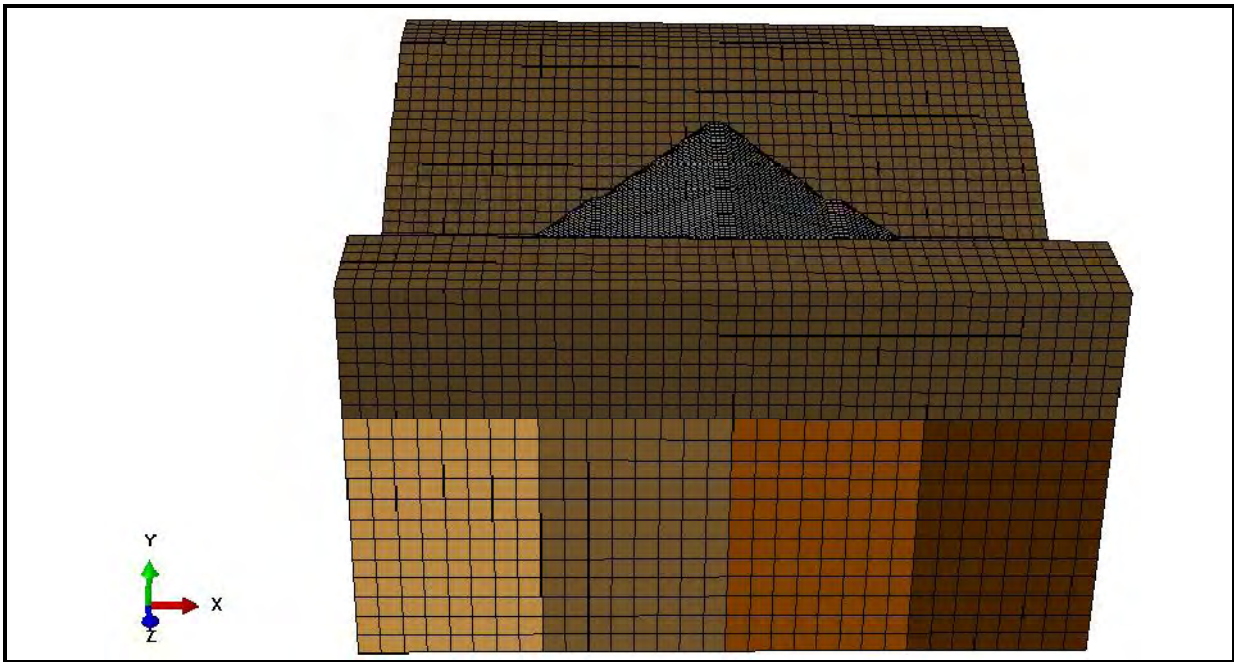
Στο Σχήμα 4.62.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της μεγαλύτερης συμπιεστότητας των αριστερών στρωμάτων υπεδάφους σε σχέση με τα δεξιά, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα δεξιά τμήματα είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις των αριστερών τμημάτων υπεδάφους, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι το σύνολο των στατικών φορτίων τείνουν να παραληφθούν από τα περισσότερο ασυμπίεστα εδάφη. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Η μέγιστη τάση στο πρώτο τμήμα και είναι ίση με $S_{max,1}$ = 382 kPa, στο δεύτερο τμήμα είναι ίση με $S_{max,2}$ = 763 kPa, στο τρίτο τμήμα είναι ίση με $S_{max,3}$ = 1400 kPa και στο τέταρτο τμήμα είναι ίση με $S_{max,4}$ = 255 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Found\ 1}$ = 5 GPa – $E_{Found\ 2}$ = 20 GPa – $E_{Found\ 3}$ = 60 GPa – $E_{Found\ 4}$ = 100 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.62. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή XY κάθετα στη στέψη του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό 1ης στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Α, υλικό 2ης στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Γ, υλικό 3ης στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Ε και υλικό 4ης στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Ζ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.2.2.6. ΥΠΕΔΑΦΟΣ 1: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**, ΥΠΕΔΑΦΟΣ 2: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε** ΥΠΕΔΑΦΟΣ 3: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ**, ΥΠΕΔΑΦΟΣ 4: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α**

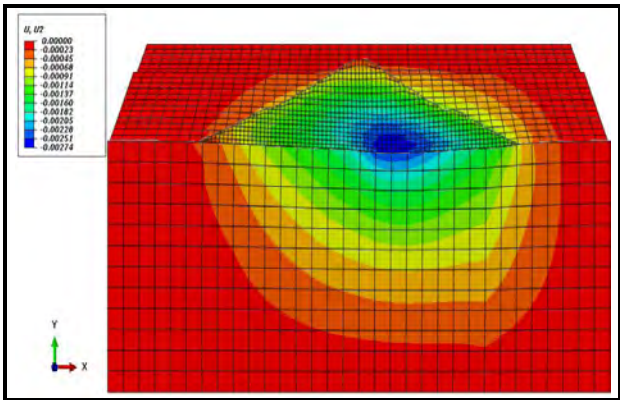
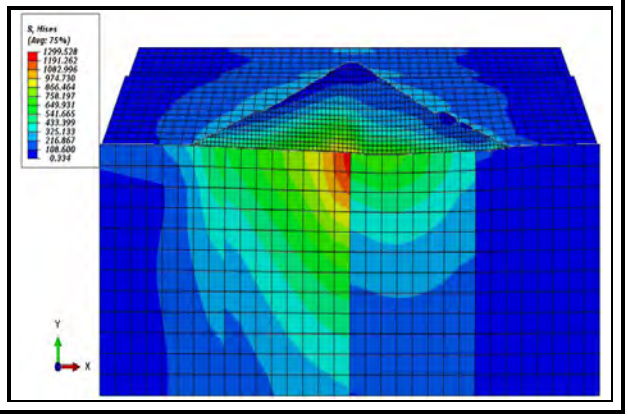
Στο Σχήμα 4.63. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση πολυστρωματικού υπεδάφους με κάθετα στρώματα βραχωδών υλικών, με τέσσερα στρώματα ίδιου πάχους, παράλληλα στη στέψη του φράγματος, στο επίπεδο YZ. Από την ανάντη προς την κατάντη πλευρά του φράγματος, στο πρώτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα), στο δεύτερο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Ε (E = 60 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα), στο τρίτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Γ (E = 20 GPa, ν = 0.18) (Παράρτημα) και στο τέταρτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Α (E = 5 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα). Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή το υπέδαφος αποτελείται από τέσσερα κάθετα στρώματα, με βραχώδη υλικά των οποίων η συμπιεστότητα αυξάνεται βαθμιαία από αριστερά προς τα δεξιά, όπως φαίνεται στο σχήμα, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό τρεις εδαφικές ασυνέχειες, πάνω στις οποίες κατασκευάζεται το φράγμα. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

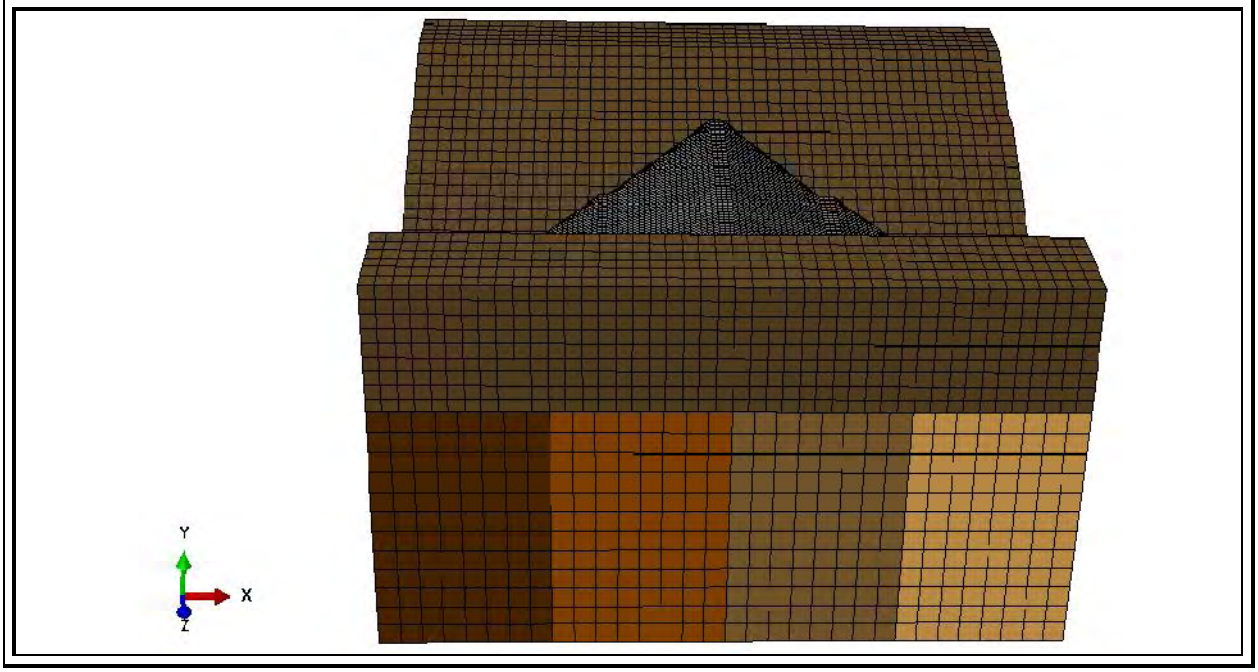
Στο Σχήμα 4.63.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ανομοιόμορφη κατανομή καθιζήσεων που περιορίζεται κυρίως στις δεξιές στρώσεις υπεδάφους, εξαιτίας της μεγαλύτερης συμπιεστότητας των υλικών, με τη μέγιστη καθίζηση να εντοπίζεται στο δεξί τμήμα της διατομής του φράγματος, κοντά στο κέντρο της διατομής του, ίση με U_{max} = 2.74 mm. Εξαιτίας της παρουσίας του νερού στην ανάντη πλευρά του φράγματος, η συνολική καθίζηση της αριστερής πλευράς του υπεδάφους αυξάνεται λιγότερο. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

Στο Σχήμα 4.63.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της μεγαλύτερης συμπιεστότητας των δεξιών στρωμάτων υπεδάφους σε σχέση με τα αριστερών, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα αριστερά τμήματα είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις τάσεις των δεξιών τμημάτων υπεδάφους, κάτι το οποίο αναμένεται, διότι το σύνολο των στατικών φορτίων τείνουν να παραληφθούν από τα περισσότερο ασυμπίεστα εδάφη. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Η μέγιστη τάση στο πρώτο τμήμα και είναι ίση με $S_{max,1}$ = 433 kPa, στο δεύτερο τμήμα είναι ίση με $S_{max,2}$ = 1299 kPa, στο τρίτο τμήμα είναι ίση με $S_{max,3}$ = 758 kPa και στο τέταρτο τμήμα είναι ίση με $S_{max,4}$ = 216 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Found\ 1}$ = 100 GPa – $E_{Found\ 2}$ = 60 GPa – $E_{Found\ 3}$ = 20 GPa – $E_{Found\ 4}$ = 5 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ


Σχήμα 4.63. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή XY κάθετα στη στέψη του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό $1^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Ζ, υλικό $2^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Ε, υλικό $3^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Γ και υλικό $4^{ης}$ στρώσης υπεδάφους γεωϋλικό Α.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.2.3. ΚΕΚΛΙΜΕΝΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ Χ

4.2.2.3.1. ΥΠΕΔΑΦΟΣ 1: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α** ~ ΥΠΕΔΑΦΟΣ 14: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ**

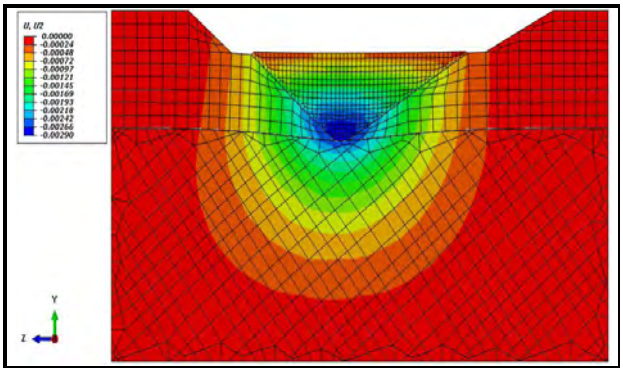
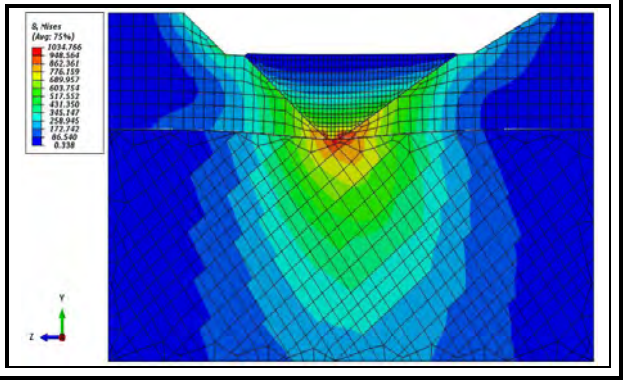
Στο Σχήμα 4.64. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση πολυστρωματικού υπεδάφους με κεκλιμένη διάταξη στρωμάτων βραχωδών υλικών, με μια σειρά πλάγιων στρωμάτων ίδιου πάχους, παράλληλα στον άξονα Χ. Η περίπτωση αυτή αποτελεί την πιο ρεαλιστική μορφή υπεδάφους που συναντάται στη φύση. Από την αριστερή προς την δεξιά πλευρά του υπεδάφους, όπως φαίνεται στο σχήμα, στο πρώτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Α (Ε = 5 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα) και στο τελευταίο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Z (Ε = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα). Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή το υπέδαφος αποτελείται από κεκλιμένα στρώματα παράλληλα στον άξονα Χ, με βραχώδη υλικά των οποίων η συμπιεστότητα μειώνεται βαθμιαία από αριστερά προς τα δεξιά, όπως φαίνεται στο σχήμα, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό μεταξύ τους παράλληλες κεκλιμένες διεπιφάνειες μεταξύ των στρωμάτων. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.64.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων κάτω από το φράγμα. Η μέγιστη καθίζηση εντοπίζεται κοντά στη βάση του φράγματος, στο κέντρο της διατομής του, ίση με U_{max} = 2.90 mm. Η καθίζηση στη βάση του δεξιού εδαφικού πρανούς είναι ίση με U_{right} = 1.93 mm, και η καθίζηση στη βάση του αριστερού εδαφικού πρανούς είναι ίση με U_{left} = 1.93 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

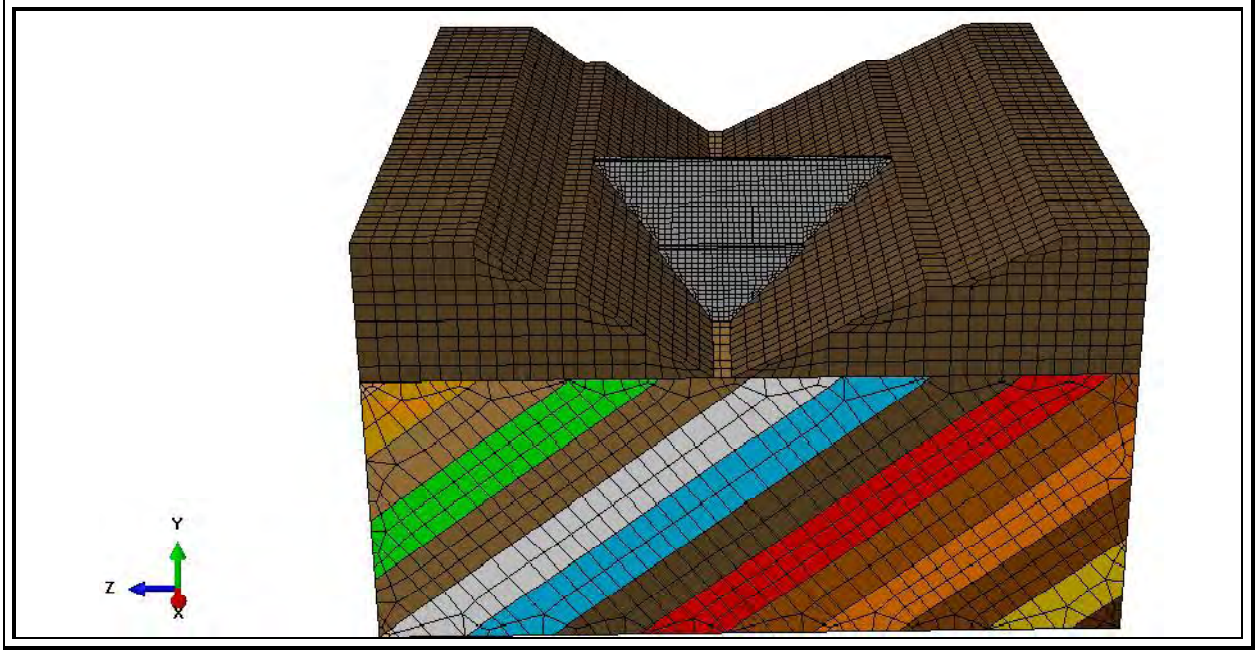
Στο Σχήμα 4.64.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου εύρους συμπιεστότητας των βραχωδών υλικών των στρωμάτων του υπεδάφους, οι τάσεις που αναπτύσσονται κάτω από το φράγμα ακολουθούν κάποια κανονικότητα, είναι αρκετά ομοιόμορφη. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Η τάση στη βάση του φράγματος είναι ίση με S_{base} = 949 kPa, η τάση στη βάση του δεξιού εδαφικού πρανούς είναι ίση με S_{right} = 603 kPa και η τάση στη βάση του αριστερού εδαφικού πρανούς είναι ίση με S_{left} = 684 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Found\ 1}$ = 5 GPa ~ $E_{Found\ 14}$ = 100 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α ~ ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.64. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για πλάγια διάταξη βραχωδών στρώσεων υπεδάφους κατά μήκος του άξονα διεύθυνσης X, με αυξανόμενο μέτρο ελαστικότητας, κυμαινόμενο σε εύρος τιμών 5 GPa (Γεωϋλικό Α – Πολύ συμπιεστό υλικό) έως 100 GPa (Γεωϋλικό Ζ – Πρακτικά ασυμπίεστο υλικό).*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.2.4. ΚΕΚΛΙΜΕΝΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ Z

4.2.2.4.1. ΥΠΕΔΑΦΟΣ 1: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α** ~ ΥΠΕΔΑΦΟΣ 14: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**

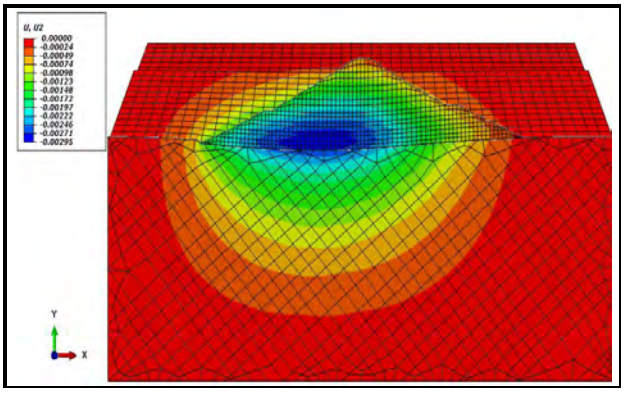
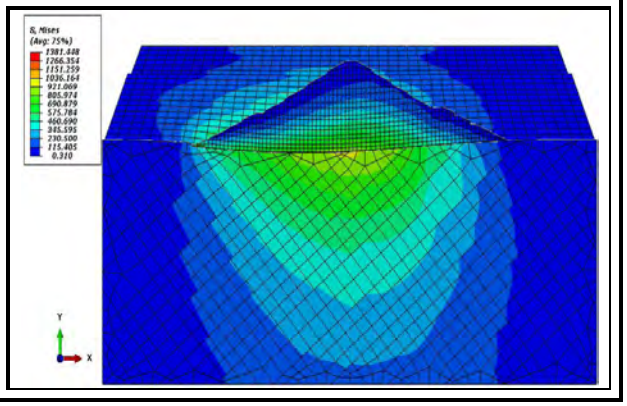
Στο Σχήμα 4.65. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση πολυστρωματικού υπεδάφους με πλάγια διάταξη στρωμάτων βραχωδών υλικών, με μια σειρά πλάγιων στρωμάτων ίδιου πάχους, παράλληλα στον άξονα Z. Η περίπτωση αυτή αποτελεί την πιο ρεαλιστική μορφή υπεδάφους που συναντάται στη φύση. Από την αριστερή προς την δεξιά πλευρά του υπεδάφους, όπως φαίνεται στο σχήμα, στο πρώτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Α (E = 5 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα) και στο τελευταίο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα). Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή το υπέδαφος αποτελείται από κεκλιμένα στρώματα παράλληλα στον άξονα Z, με βραχώδη υλικά των οποίων η συμπιεστότητα μειώνεται βαθμιαία από αριστερά προς τα δεξιά, όπως φαίνεται στο σχήμα, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό μεταξύ τους παράλληλες κεκλιμένες διεπιφάνειες στρωμάτων. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.65.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων κάτω από το φράγμα. Η μέγιστη καθίζηση εντοπίζεται κοντά στη βάση του φράγματος, προς την ανάντη πλευρά του, ίση με U_{max} = 2.95 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

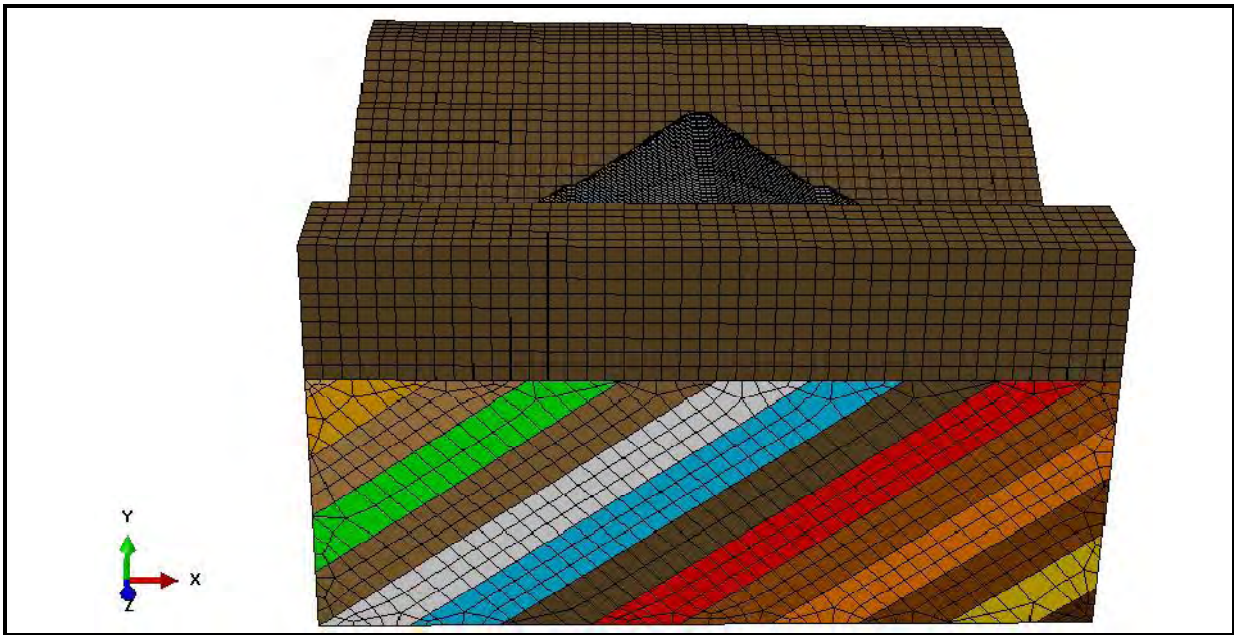
Στο Σχήμα 4.65.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας του μεγάλου εύρους συμπιεστότητας των βραχωδών υλικών των στρωμάτων του υπεδάφους, οι τάσεις που αναπτύσσονται κάτω από το φράγμα ακολουθούν κάποια κανονικότητα, είναι αρκετά ομοιόμορφη. Ακολουθείται η κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Η μέγιστη τάση στη βάση του φράγματος είναι ίση με S_{base} = 1036 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Found\ 1}$ = 5 GPa ~ $E_{Found\ 14}$ = 100 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α ~ ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.65. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή XY κάθετα στη στέψη του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για πλάγια διάταξη βραχωδών στρώσεων υπεδάφους κατά μήκος του άξονα διεύθυνσης Z, με αυξανόμενο μέτρο ελαστικότητας, κυμαινόμενο σε εύρος τιμών 5 GPa (Γεωϋλικό Α – Πολύ συμπιεστό υλικό) έως 100 GPa (Γεωϋλικό Ζ – Πρακτικά ασυμπίεστο υλικό).*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.3. ΜΟΝΟΣΤΡΩΜΑΤΙΚΟ ΥΠΕΔΑΦΟΣ – ΠΟΛΥΣΤΡΩΜΑΤΙΚΑ ΠΡΑΝΗ

Σε αυτή την κατηγορία των αναλύσεων το υπέδαφος στο οποίο θεμελιώνεται το φράγμα μελέτης θεωρείται ότι αποτελείται από ένα και μόνο βραχώδες υλικό μικρής συμπιεστότητας, και ειδικότερα αποτελείται από Γεωϋλικό ΣΤ (E = 80 GPa, ν = 0.23). Τα βραχώδη πρανή θεμελίωσης θεωρούνται πολυστρωματικά, στα οποία θα γίνει θεώρηση (i) *Οριζόντιων βραχωδών στρωμάτων*, (ii) *κατακόρυφων βραχωδών στρωμάτων.* Θα διερευνηθούν περιπτώσεις στις οποίες η συμπιεστότητα των διαφορετικών βραχωδών στρωμάτων θα διαφέρει σε μεγάλο βαθμό, και θα εξεταστεί η κατανομή των τάσεων και των καθιζήσεων στην ευρύτερη περιοχή κατασκευής του φράγματος.

4.2.3.1. ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ

4.2.3.1.1. ΠΡΑΝΗ 1: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β**, ΠΡΑΝΗ 2: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε** ΠΡΑΝΗ 3: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ**

Στο Σχήμα 4.66. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση πολυστρωματικών βραχωδών πρανών με οριζόντια στρώματα βραχωδών υλικών, με τρία οριζόντια στρώματα ίδιου πάχους. Στο ανώτερο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Β (E = 10 GPa, ν = 0.13) (Παράρτημα), στο ενδιάμεσο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Ε (E = 60 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα) και στο κατώτερο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Ζ (E = 100, ν = 0.26) (Παράρτημα). Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή τα βραχώδη πρανή αποτελούνται από ένα ανώτερο πολύ μαλακό και συμπιεστό βραχώδες υλικό, ένα ενδιάμεσο υλικό μέσης συμπιεστότητας και ένα κατώτερο πολύ σκληρό υλικό, πρακτικά ασυμπίεστο. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.66.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων κάτω από το φράγμα. Η μέγιστη καθίζηση εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της διατομής του φράγματος, ίση με U_{max} = 1.22 mm. Στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 0.71 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 0.71 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

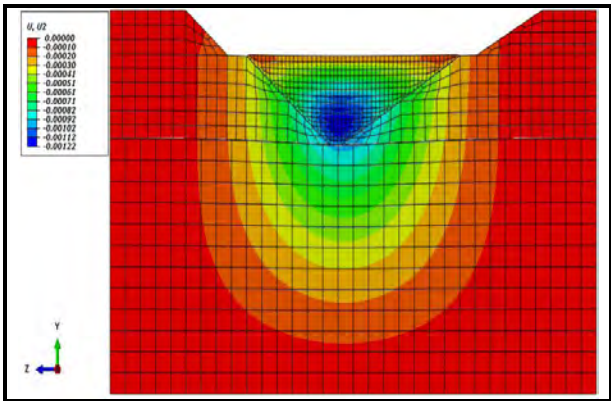
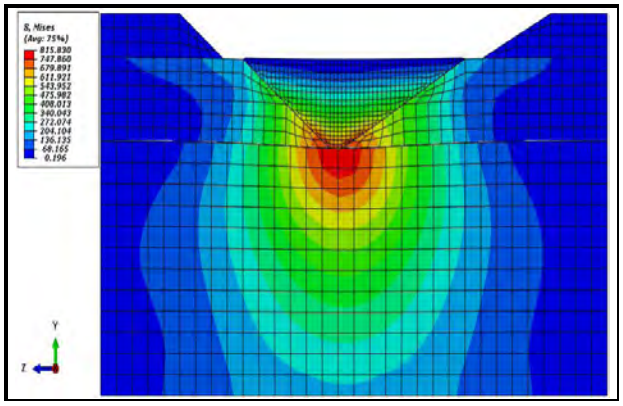
Στο Σχήμα 4.66.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της μικρής συμπιεστότητας του ενδιάμεσου, του κατώτερου στρώματος των βραχωδών πρανών και του υπεδάφους, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή και στο υπέδαφος ακολουθούν

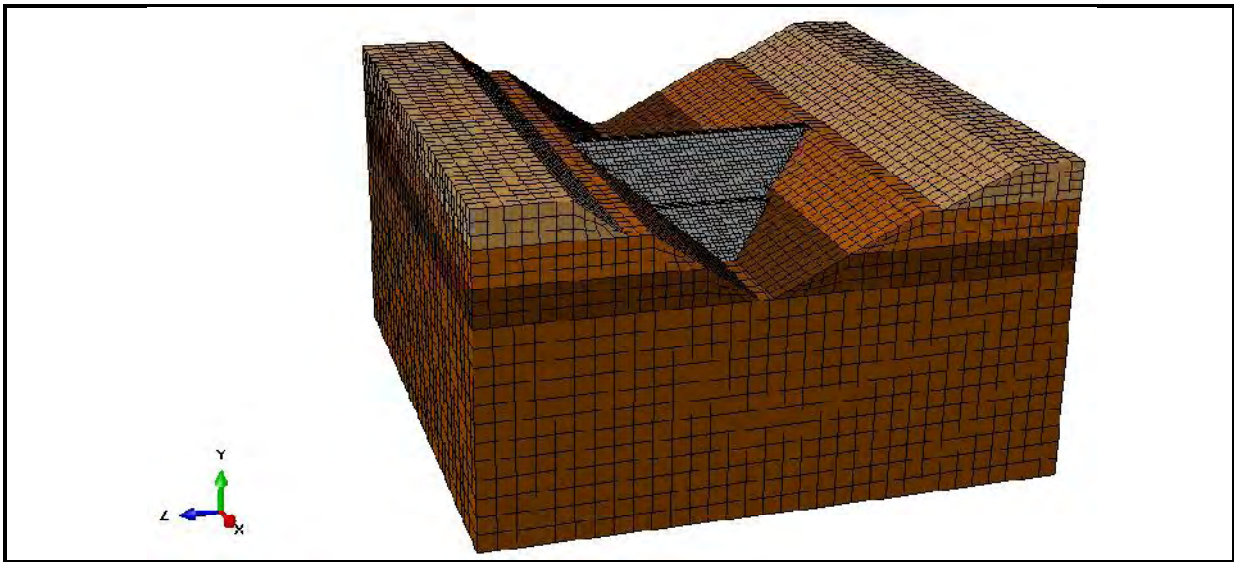
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

μια πολύ ομοιόμορφη κατανομή που φαίνεται στην εικόνα. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 815 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 543 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 543 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Valley\ Rocks\ 1}$ = 10 GPa – $E_{Valley\ Rocks\ 2}$ = 60 GPa – $E_{Valley\ Rocks\ 3}$ = 100 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ


Σχήμα 4.66. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό $1^{ης}$ στρώσης βραχωδών πρανών γεωϋλικό Β, υλικό $2^{ης}$ στρώσης βραχωδών πρανών γεωϋλικό Ε και υλικό $3^{ης}$ στρώσης βραχωδών πρανών γεωϋλικό Ζ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.3.1.2. ΠΡΑΝΗ 1: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**, ΠΡΑΝΗ 2: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε** ΠΡΑΝΗ 3: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β**

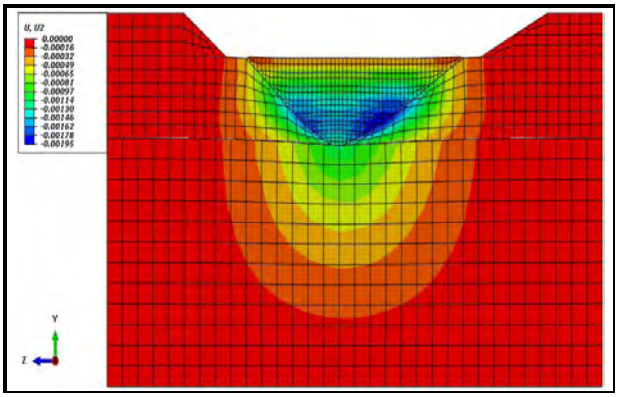
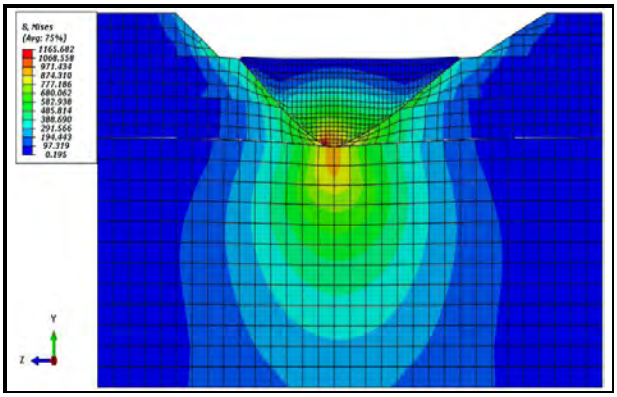
Στο Σχήμα 4.67. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση πολυστρωματικών βραχωδών πρανών με οριζόντια στρώματα βραχωδών υλικών, με τρία οριζόντια στρώματα ίδιου πάχους. Στο ανώτερο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα), στο ενδιάμεσο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Ε (E = 60 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα) και στο κατώτερο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Β (E = 10, ν = 0.13) (Παράρτημα). Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή τα βραχώδη πρανή αποτελούνται από ένα ανώτερο πολύ σκληρό, πρακτικώς ασυμπίεστο βραχώδες υλικό, ένα ενδιάμεσο υλικό μέσης συμπιεστότητας και ένα κατώτερο πολύ μαλακό και συμπιεστό υλικό. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.67.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων κάτω από το φράγμα. Η μέγιστη καθίζηση εντοπίζεται στη βάση των βραχωδών πρανών, στο κάτω τμήμα, εξαιτίας της υψηλής συμπιεστότητας των χαμηλών στρωμάτων, ίση με U_{max} = 1.95 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

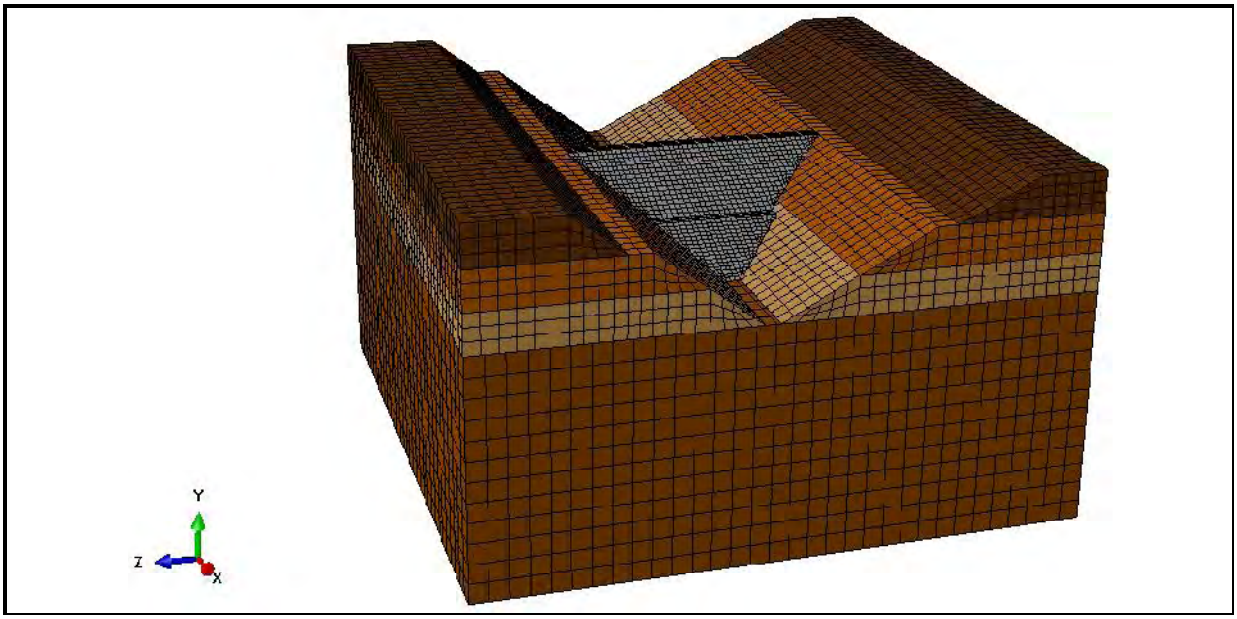
Στο Σχήμα 4.67.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της μεγάλης συμπιεστότητας του κατώτερου στρώματος, οι τάσεις που αναπτύσσονται στο υπέδαφος είναι αριθμητικά μεγαλύτερες σε σύγκριση με τις τάσεις που αναπτύσσονται στα πρανή. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 971 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 485 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 485 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{Valley\ Rocks\ 1}$ = 100 GPa – $E_{Valley\ Rocks\ 2}$ = 60 GPa – $E_{Valley\ Rocks\ 3}$ = 10 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Β]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.67. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό $1^{ης}$ στρώσης βραχωδών πρανών γεωϋλικό Z, υλικό $2^{ης}$ στρώσης βραχωδών πρανών γεωϋλικό Ε και υλικό $3^{ης}$ στρώσης βραχωδών πρανών γεωϋλικό Β.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.3.2. ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ

4.2.3.2.1. ΠΡΑΝΗ 1: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α**, ΠΡΑΝΗ 2: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ** ΠΡΑΝΗ 3: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε**, ΠΡΑΝΗ 4: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ**

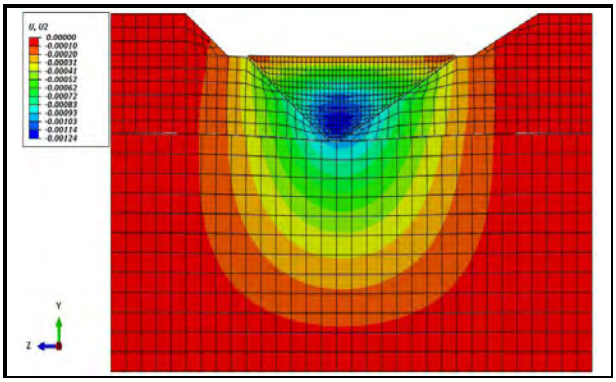
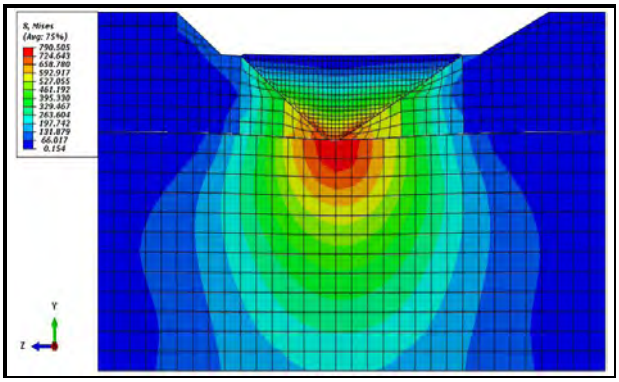
Στο Σχήμα 4.68. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση πολυστρωματικών βραχωδών πρανών με κάθετα στρώματα βραχωδών υλικών, παράλληλα στον άξονα Χ, κάθετα στην στέψη του φράγματος, με τέσσερα οριζόντια στρώματα ίδιου πάχους. Στο εξωτερικό στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Α (Ε = 5 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα), στο δεύτερο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Γ (Ε = 20 GPa, ν = 0.18) (Παράρτημα), στο τρίτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Ε (Ε = 60, ν = 0.22) (Παράρτημα) και στο τέταρτο και εσωτερικό στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Ζ (Ε = 100, ν = 0.26) (Παράρτημα). Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή τα βραχώδη πρανή αποτελούνται από ένα εξωτερικό πολύ μαλακό και συμπιεστό υλικό και, προχωρώντας προς την περιοχή της θεμελίωσης του φράγματος, η συμπιεστότητα των υλικών ελαττώνεται. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.68.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων κάτω από το φράγμα. Η μέγιστη καθίζηση εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της διατομής του φράγματος, εξαιτίας της χαμηλής συμπιεστότητας των εσωτερικών στρωμάτων, ίση με U_{max} = 1.24 mm. Στη βάση του δεξιού εδαφικού πρανούς υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} = 0.72 mm και στη βάση του αριστερού εδαφικού πρανούς υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 0.72 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

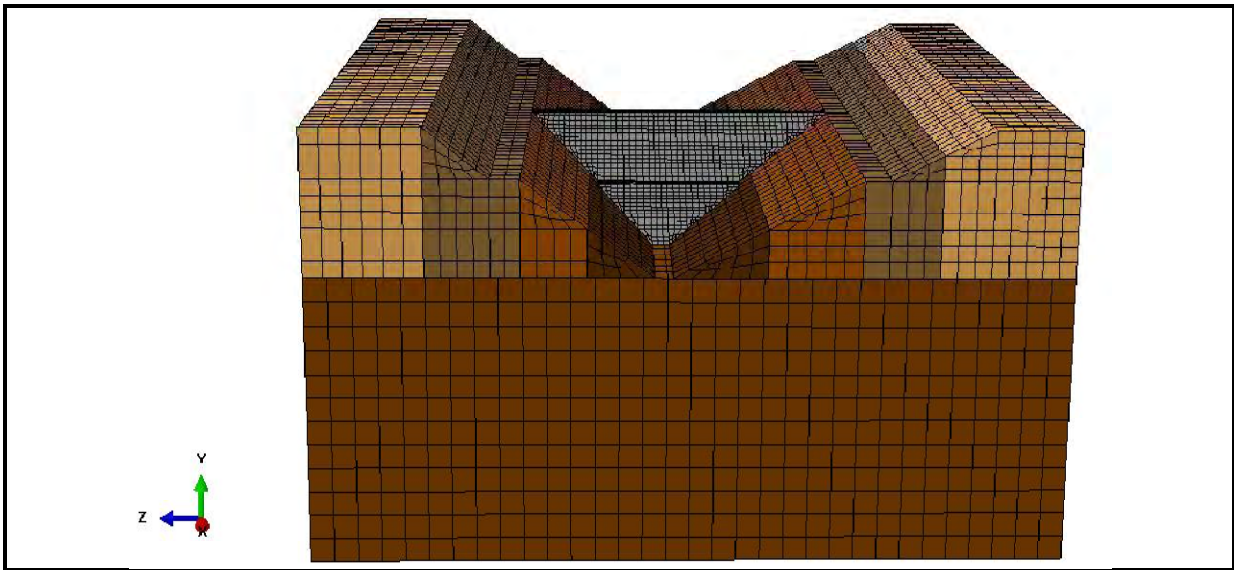
Στο Σχήμα 4.68.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της μικρής συμπιεστότητας των εσωτερικών στρωμάτων και του υπεδάφους, οι τάσεις που αναπτύσσονται στο υπέδαφος και στα πρανή ακολουθούν μια αρκετά ομοιόμορφη κατανομή. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 791 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 461 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 527 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{V.R.1}$ = 5 GPa – $E_{V.R.2}$ = 20 GPa – $E_{V.R.3}$ = 60 GPa – $E_{V.R.4}$ = 100 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.68. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό $1^{ης}$ στρώσης βραχωδών πρανών γεωϋλικό Α, υλικό $2^{ης}$ στρώσης βραχωδών πρανών γεωϋλικό Γ, υλικό $3^{ης}$ στρώσης βραχωδών πρανών γεωϋλικό Ε και υλικό $4^{ης}$ στρώσης βραχωδών πρανών γεωϋλικό Ζ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.3.2.2. ΠΡΑΝΗ 1: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**, ΠΡΑΝΗ 2: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε** ΠΡΑΝΗ 3: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ**, ΠΡΑΝΗ 4: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α**

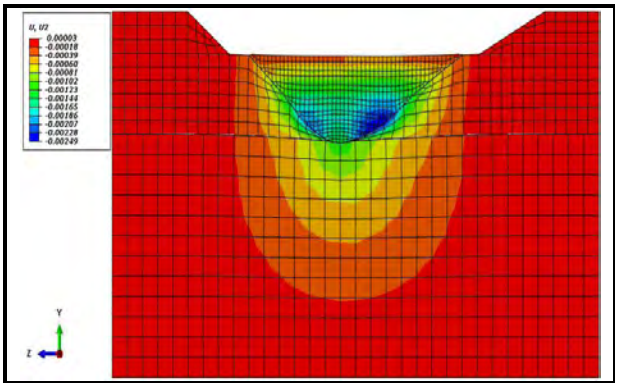
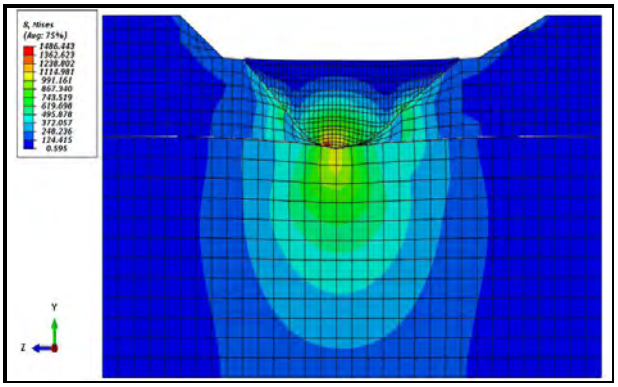
Στο Σχήμα 4.69. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση πολυστρωματικών βραχωδών πρανών με κάθετα στρώματα βραχωδών υλικών, παράλληλα στον άξονα Χ, κάθετα στην στέψη του φράγματος, με τέσσερα οριζόντια στρώματα ίδιου πάχους. Στο εξωτερικό στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα), στο δεύτερο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Ε (E = 60 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα) , στο τρίτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Γ (E = 20, ν = 0.18) (Παράρτημα) και στο τέταρτο και εσωτερικό στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Α (E = 5, ν = 0.22) (Παράρτημα). Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή τα βραχώδη πρανή αποτελούνται από ένα εξωτερικό πολύ σκληρό, πρακτικώς ασυμπίεστο υλικό και, προχωρώντας προς την περιοχή της θεμελίωσης του φράγματος, η συμπιεστότητα των υλικών αυξάνεται. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.69.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων κάτω από το φράγμα, μικρού εύρους. Η μέγιστη καθίζηση εντοπίζεται κοντά στη βάση των βραχωδών πρανών, εξαιτίας της υψηλής συμπιεστότητας των εσωτερικών στρωμάτων, ίση με U_{max} = 2.49 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

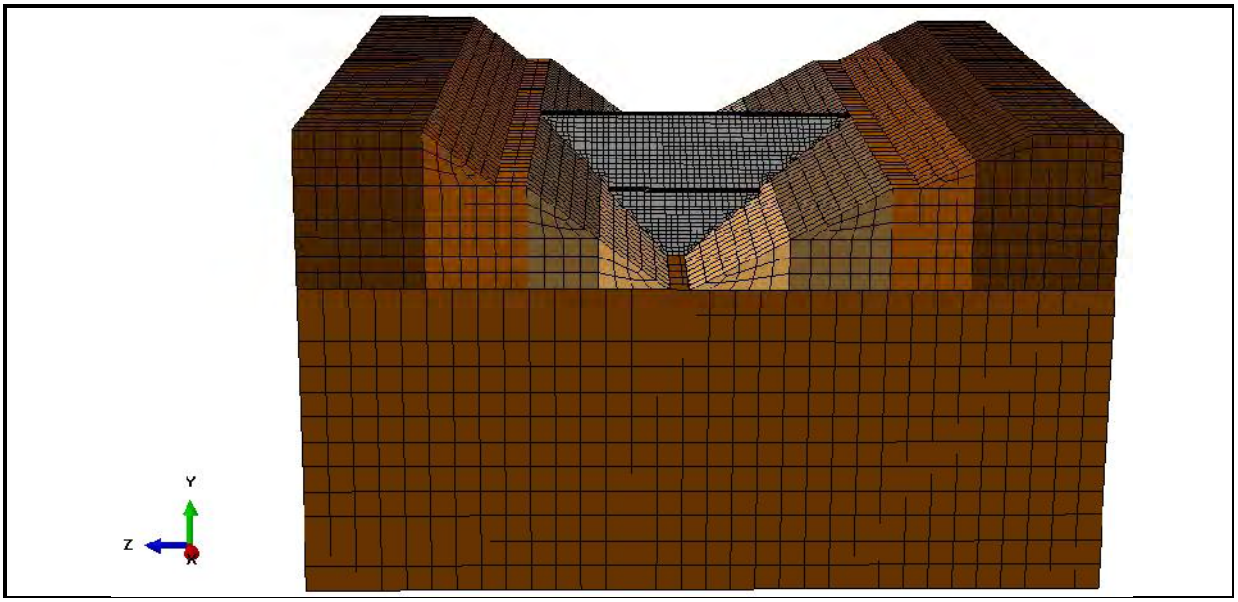
Στο Σχήμα 4.69.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της μεγάλης συμπιεστότητας των εσωτερικών στρωμάτων και της μικρής συμπιεστότητας του υπεδάφους, οι τάσεις που αναπτύσσονται στο υπέδαφος είναι μεγαλύτερες συγκριτικά με τις τάσεις των βραχωδών πρανών. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 1115 kPa. Στη βάση του δεξιού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{right} = 495 kPa, και στη βάση του αριστερού αντερείσματος η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{left} = 495 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

$E_{V.R.1}$ = 100 GPa – $E_{V.R.2}$ = 60 GPa – $E_{V.R.3}$ = 20 GPa – $E_{V.R.4}$ = 5 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.69. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa]στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για υλικό $1^{ης}$ στρώσης βραχωδών πρανών γεωϋλικό Ζ, υλικό $2^{ης}$ στρώσης βραχωδών πρανών γεωϋλικό Ε, υλικό $3^{ης}$ στρώσης βραχωδών πρανών γεωϋλικό Γ και υλικό $4^{ης}$ στρώσης βραχωδών πρανών γεωϋλικό Α.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.4. ΠΟΛΥΣΤΡΩΜΑΤΙΚΟ ΥΠΕΔΑΦΟΣ – ΠΟΛΥΣΤΡΩΜΑΤΙΚΑ ΠΡΑΝΗ

Σε αυτή την κατηγορία των αναλύσεων το υπέδαφος και τα βραχώδη πρανή, στα οποία θεμελιώνεται το φράγμα μελέτης θεωρούνται αμφότερα πολυστρωματικά, στα οποία θα γίνει θεώρηση (i) *Οριζόντιων βραχωδών στρωμάτων*, (ii) *κατακόρυφων βραχωδών στρωμάτων.* Θα διερευνηθούν ενδεικτικά περιπτώσεις στις οποίες η συμπιεστότητα των διαφορετικών βραχωδών στρωμάτων θα διαφέρει σε μεγάλο βαθμό, και θα εξεταστεί η κατανομή των τάσεων και των καθιζήσεων στην ευρύτερη περιοχή κατασκευής του φράγματος.

4.2.4.1. ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ

4.2.4.1.1. ΥΛΙΚΟ 1: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α**, ΥΛΙΚΟ 2: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ**, ΥΛΙΚΟ 3: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε**, ΥΛΙΚΟ 4: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ**

Στο Σχήμα 4.70. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση πολυστρωματικού υπεδάφους και πολυστρωματικών βραχωδών πρανών με οριζόντια στρώματα βραχωδών υλικών, με το υπέδαφος να αποτελείται από τέσσερα οριζόντια στρώματα ίδιου πάχους και τα βραχώδη πρανή από τρία οριζόντια στρώματα ίδιου πάχους. Στο υπέδαφος, στην πρώτη στρώση εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Α (Ε = 5 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα), στην δεύτερη στρώση εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Γ (Ε = 20 GPa, ν = 0.18) (Παράρτημα), στην τρίτη στρώση εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Ε (Ε = 60 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα) και στην τέταρτη και κατώτερη στρώση εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Ζ (Ε = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα). Στα βραχώδη πρανή, στο ανώτερο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Ζ (Ε = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα), στο ενδιάμεσο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Ε (Ε = 60 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα) και στο κατώτερο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Α (Ε = 5, ν = 0.22) (Παράρτημα). Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή το υπέδαφος αποτελείται από ένα επιφανειακό πολύ μαλακό και συμπιεστό υλικό και όσο αυξάνεται το βάθος, η συμπιεστότητα των υλικών ελαττώνεται, και τα βραχώδη πρανή αποτελούνται από ένα ανώτερο πολύ σκληρό, πρακτικώς ασυμπίεστο βραχώδες υλικό, ένα ενδιάμεσο υλικό μέσης συμπιεστότητας και ένα κατώτερο πολύ μαλακό και συμπιεστό υλικό. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.70.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος και την πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων κάτω από το φράγμα, που περιορίζεται κυρίως στην ανώτερη εδαφική στρώση του υπεδάφους, εξαιτίας υψηλής συμπιεστότητας. Η μέγιστη καθίζηση εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της διατομής του φράγματος, ίση με U_{max} = 8.01 mm. Στο δεξί αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{right} =

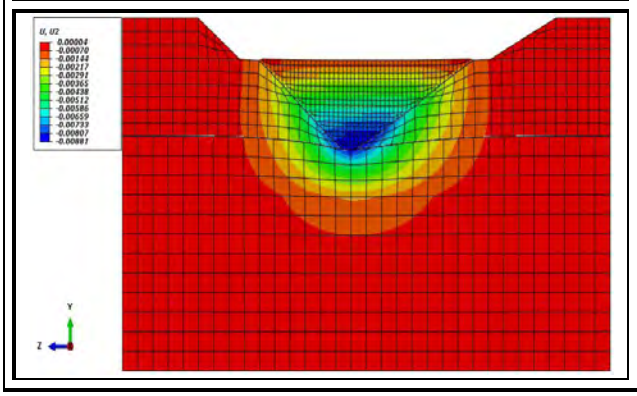
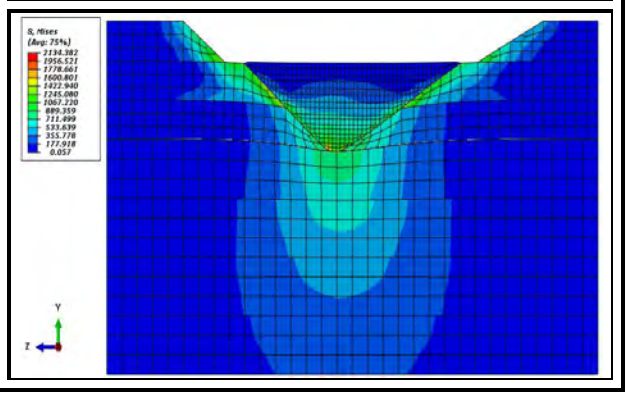
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.38 mm και στο αριστερό αντέρεισμα υπάρχει καθίζηση ίση με U_{left} = 4.38 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

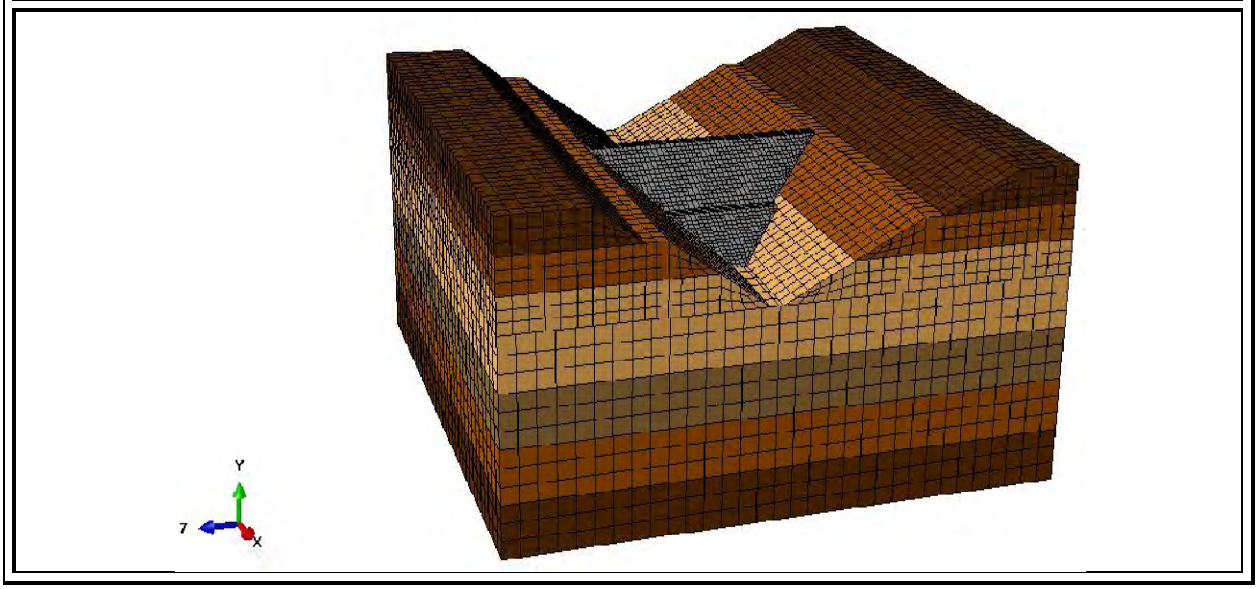
Στο Σχήμα 4.70.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Εξαιτίας της μεγάλης συμπιεστότητας των κατώτερων στρωμάτων των βραχωδών πρανών και του ανώτερου στρώματος του υπεδάφους, οι τάσεις που αναπτύσσονται στα ανώτερα στρώματα των πρανών είναι μεγαλύτερες. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 889 kPa. Στη βάση των ανώτερων βραχωδών στρώσεων των πρανών η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{max} = 1600 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

E_1 = 5 GPa – E_2 = 20 GPa – E_3 = 60 GPa – E_4 = 100 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 4.70. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για (α) βραχώδες υλικό γεωϋλικό Α, (β) βραχώδες υλικό γεωϋλικό Γ, (γ) βραχώδες υλικό γεωϋλικό Ε και (δ) βραχώδες υλικό γεωϋλικό Ζ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.2.4.2. ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ

4.2.4.2.1. ΥΛΙΚΟ 1: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α**, ΥΛΙΚΟ 2: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ**, ΥΛΙΚΟ 3: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε**, ΥΛΙΚΟ 4: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ**

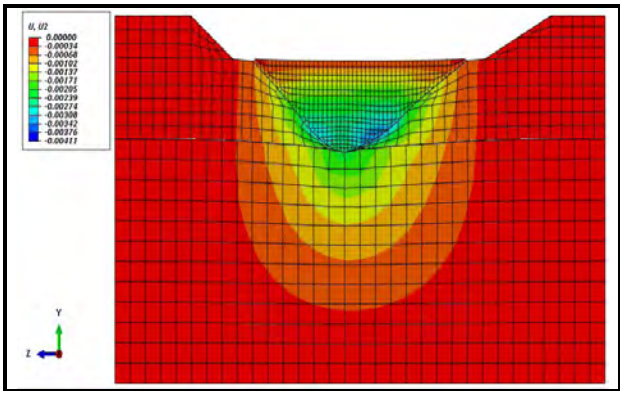
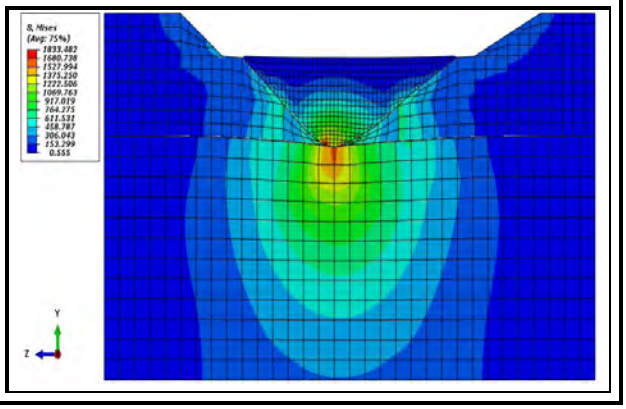
Στα Σχήματα 4.71. και 4.72. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση πολυστρωματικού υπεδάφους και πολυστρωματικών βραχωδών πρανών με κάθετα στρώματα βραχωδών υλικών, με το υπέδαφος να αποτελείται από τέσσερα κάθετα στρώματα ίδιου πάχους, παράλληλα με τη στέψη του φράγματος και τα βραχώδη πρανή από τέσσερα κάθετα στρώματα ίδιου πάχους, κάθετα στη στέψη του φράγματος. Στο υπέδαφος, στην πρώτη στρώση εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Α (Ε = 5 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα), στην δεύτερη στρώση εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Γ (Ε = 20 GPa, ν = 0.18) (Παράρτημα), στην τρίτη στρώση εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Ε (Ε = 60 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα) και στην τέταρτη και κατώτερη στρώση εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Ζ (Ε = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα). Στα βραχώδη πρανή, στο εξωτερικό στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Ζ (Ε = 100 GPa, ν = 0.26), στο δεύτερο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Ε (Ε = 60 GPa, ν = 0.22), στο τρίτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Γ (Ε = 20, ν = 0.18) και στο εσωτερικό και τέταρτο στρώμα εντοπίζεται ως κύριο βραχώδες υλικό το Γεωϋλικό Α (Ε = 5 GPa, ν = 0.22). Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή το υπέδαφος αποτελείται από τέσσερα βραχώδη υλικά, μειούμενης συμπιεστότητας, από ανάντη προς κατάντη, και τα βραχώδη πρανή αποτελούνται από τέσσερα υλικά, αυξανόμενης συμπιεστότητας, εξωτερικά προς εσωτερικά. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργούνται εδαφικές ασυνέχειες, πάνω στις οποίες θεμελιώνεται το φράγμα. Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι καθιζήσεις U_2 που δημιουργούνται στην ευρύτερη κοιλάδα και η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του ιδίου βάρους του φράγματος και της παρουσίας του νερού, μέσω της υδροστατικής πίεσης.

Στο Σχήμα 4.71.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας των βραχωδών ασυνεχειών των βραχωδών πρανών. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων κάτω από το φράγμα. Η μέγιστη καθίζηση εντοπίζεται κοντά στο κατώτερο τμήμα των βραχωδών πρανών, ίση με U_{max} = 3.42 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

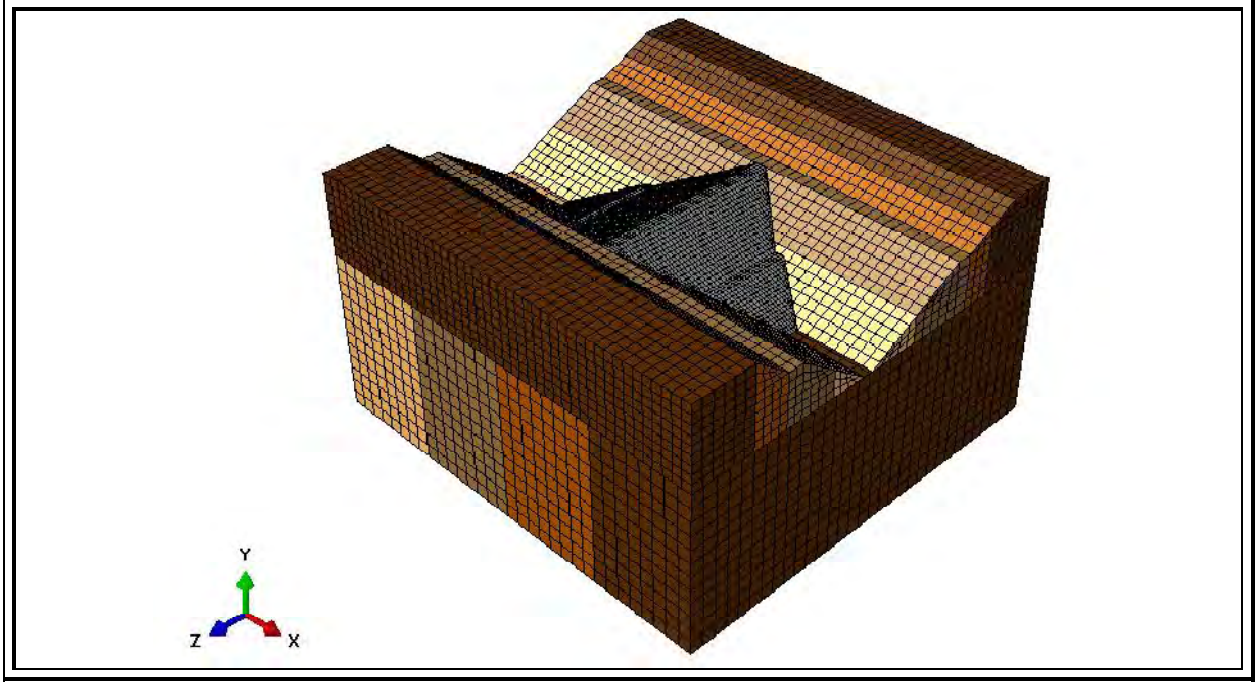
Στο Σχήμα 4.71.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Στη βάση του φράγματος αναπτύσσεται τάση ίση με S_{base} = 1681 kPa. Στη βάση των ενδιάμεσων βραχωδών στρώσεων των πρανών η τάση που αναπτύσσεται είναι ίση με S_{max} = 611 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

E_1 = 5 GPa – E_2 = 20 GPa – E_3 = 60 GPa – E_4 = 100 GPa
[ΓΕΩΫΛΙΚΟ Α – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Γ – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε – ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ζ]

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



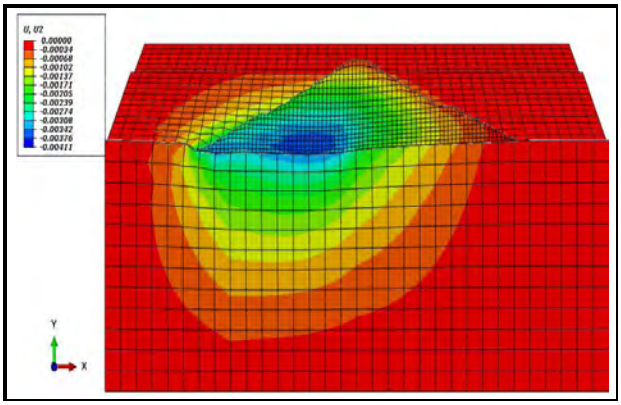
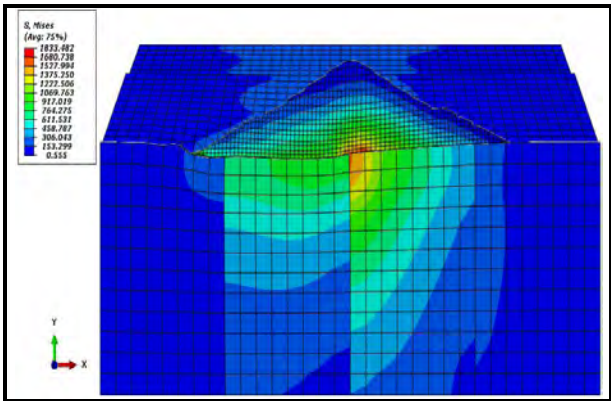
Σχήμα 4.71. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή YZ κατά μήκος της στέψης του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για (α) βραχώδες υλικό γεωϋλικό Α, (β) βραχώδες υλικό γεωϋλικό Γ, (γ) βραχώδες υλικό γεωϋλικό Ε και (δ) βραχώδες υλικό γεωϋλικό Ζ.*

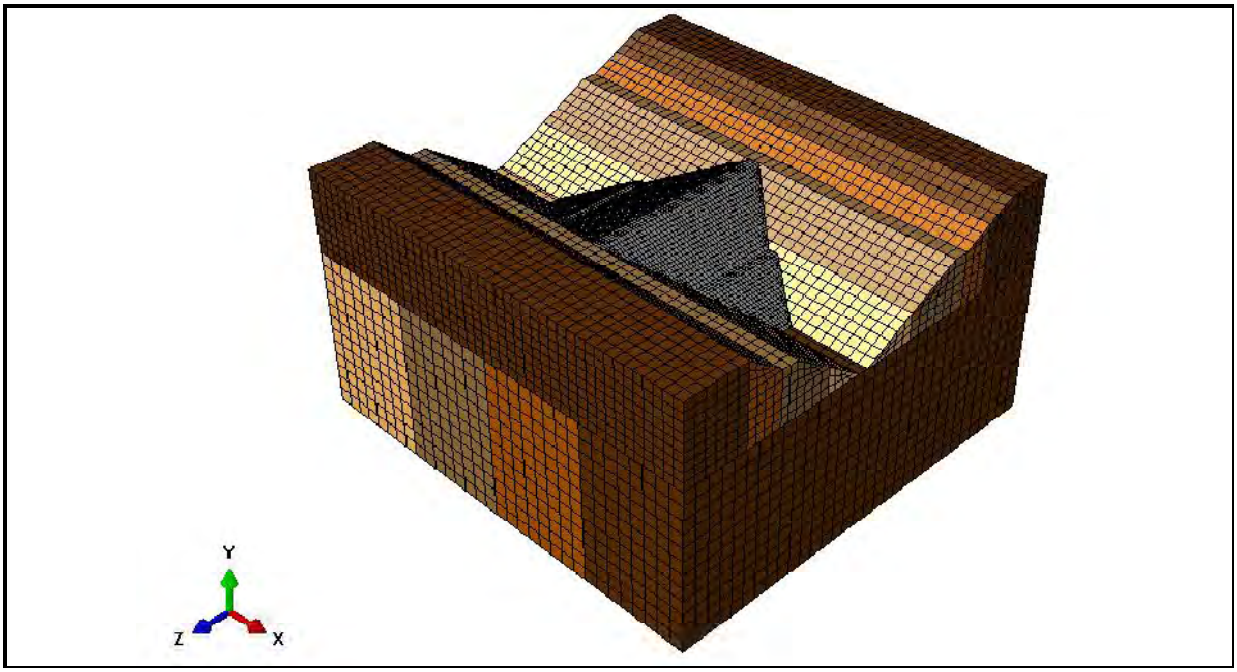
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Στο Σχήμα 4.72.α αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων που προκύπτουν εξαιτίας των βραχωδών ασυνεχειών του υπεδάφους. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη ημικυκλική κατανομή καθιζήσεων κάτω από το φράγμα, που περιορίζεται στα δύο αριστερά στρώματα, εξαιτίας της μεγάλης συμπιεστότητας των αντίστοιχων βραχωδών υλικών. Η μέγιστη καθίζηση εντοπίζεται κοντά στο κέντρο της βάσης του φράγματος, στην αριστερή πλευρά του υπεδάφους, ίση με U_{max} = 4.11 mm. Στη στέψη του φράγματος δε παρατηρείται καθίζηση, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό και επιδιωκόμενο.

Στο Σχήμα 4.72.β αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται εξαιτίας των στατικών φορτίων του βάρους του φράγματος που ασκείται σταδιακά, και της υδροστατικής πίεσης που ασκείται, εξαιτίας της πλήρωσης της λεκάνης με νερό. Στη βάση της πρώτης στρώσης του υπεδάφους αναπτύσσεται τάση ίση με $S_{max,1}$ = 306 kPa, στη βάση της δεύτερης στρώσης του υπεδάφους αναπτύσσεται τάση ίση με $S_{max,2}$ = 917 kPa, στη βάση της τρίτης στρώσης του υπεδάφους αναπτύσσεται τάση ίση με $S_{max,3}$ = 1681 kPa και στη βάση της τέταρτης στρώσης του υπεδάφους αναπτύσσεται τάση ίση με $S_{max,4}$ = 306 kPa.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ U_2 [m]	ΤΑΣΕΙΣ VON MISES S [kPa]
	

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΟΙΛΑΔΑΣ - ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ


Σχήμα 4.72. *Κατανομή καθιζήσεων U_2 [m] και τάσεων Von Mises S [kPa] στην κοιλάδα, σε εγκάρσια τομή XY κάθετα στην στέψη του φράγματος, για πληρωμένο ταμιευτήρα με νερό, μετά το πέρας της σταδιακής κατασκευής του φράγματος, για (α) βραχώδες υλικό γεωϋλικό Α, (β) βραχώδες υλικό γεωϋλικό Γ, (γ) βραχώδες υλικό γεωϋλικό Ε και (δ) βραχώδες υλικό γεωϋλικό Ζ.*

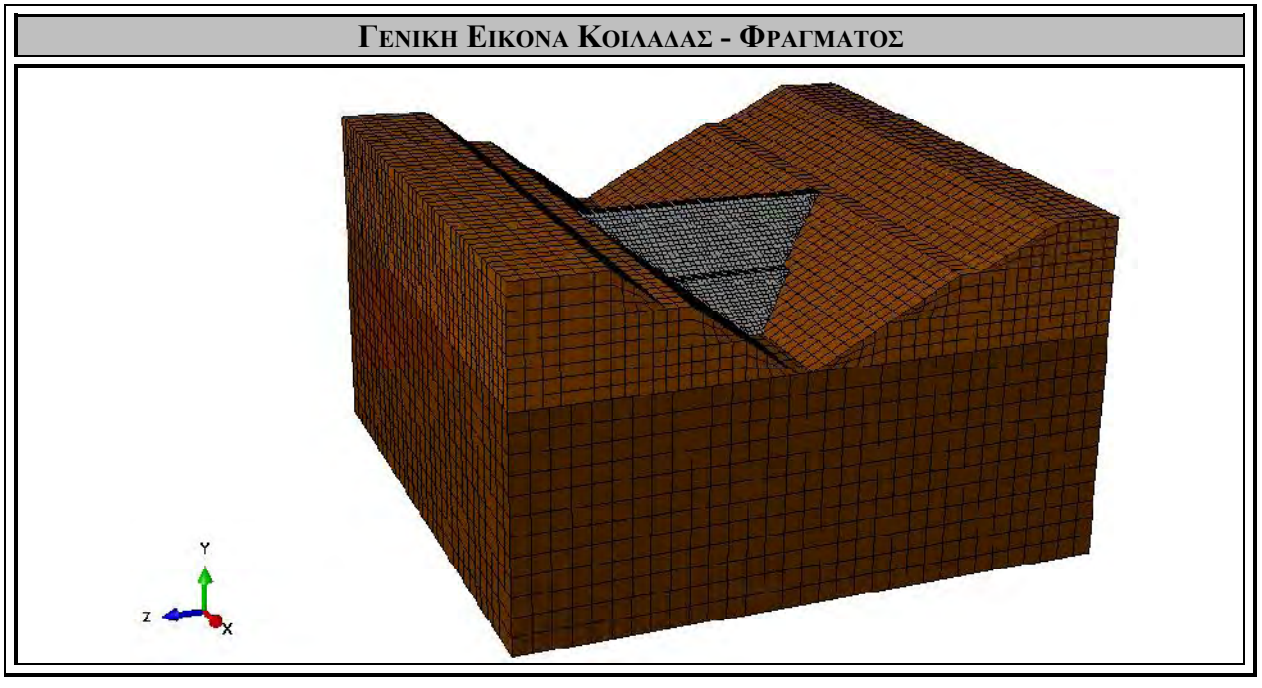
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.3. ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

4.3.1. ΜΟΝΟΣΤΡΩΜΑΤΙΚΟ ΥΠΕΔΑΦΟΣ – ΜΟΝΟΣΤΡΩΜΑΤΙΚΑ ΠΡΑΝΗ

4.3.1.1. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Z**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ ΣΤ**

Στα Σχήματα 4.74. – 4.111. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Z (E = 100 GPa, ν = 0.26) (Παράρτημα), και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό ΣΤ (E = 80 GPa, ν = 0.23) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος είναι λιγότερο συμπιεστό από τα βραχώδη πρανή. Μετά την σταδιακή κατασκευή του φράγματος και την πλήρωση της λεκάνης με νερό (εφαρμογή στατικών φορτίων βάρους φράγματος και υδροστατικής πίεσης), η κοιλάδα υποβάλλεται σε ταυτόχρονη σεισμική διέγερση κατά τις οριζόντιες διευθύνσεις X και Z, μεγέθους M = 6.5 R, μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης A = 0.47g, και διάρκειας 10 sec. Στα σχήματα που ακολουθούν αποτυπώνονται (i) η κατανομή των τάσεων *Von Mises S*, (ii) οι κατακόρυφες βυθίσεις U_2, (iii) η χρονική μεταβολή των μετατοπίσεων U_1, U_2 και U_3 του κέντρου της στέψης του φράγματος και (iv) οι βλάβες στο σώμα του φράγματος που δημιουργούνται εξαιτίας των σεισμικών φορτίων ανά συγκεκριμένες χρονικές στιγμές, κατά τη διάρκεια της διέγερσης.



Σχήμα 4.74. *Κοιλάδα με υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Z και υλικό πρανών γεωϋλικό ΣΤ.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

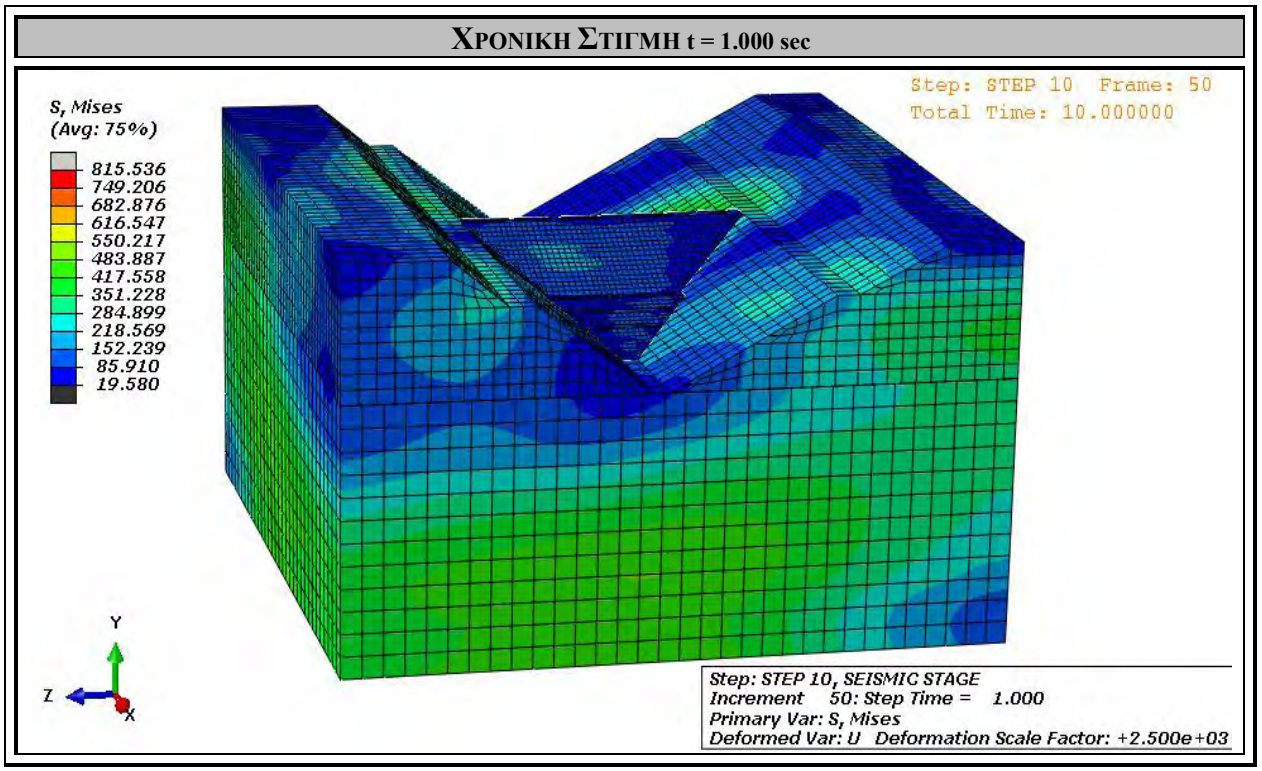
Στα Σχήματα 4.74. – 4.89. αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται στην περιοχή της κοιλάδας και του φράγματος, με τη δράση της ταυτόχρονης κατά τις δύο οριζόντιες διευθύνσεις σεισμικής διέγερσης, μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης A = 0.47g και συνολικής διάρκειας 10 sec. Στη δυναμική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, η κοιλάδα αποτελείται πολύ σκληρό υπέδαφος (E_F = 100 GPa) και εξίσου σκληρά βραχώδη πρανή (E_V = 80 GPa), τα υλικά των οποίων, λόγω του υψηλού μέτρου ελαστικότητας, είναι πρακτικά ασυμπίεστα. Αυτό οδηγεί στην ανάληψη πολύ υψηλών τάσεων από το υπόβαθρο που δημιουργούνται από τον σεισμό, με αποτέλεσμα το σώμα του φράγματος να ανακουφίζεται σε σχέση με την υπόλοιπη κοιλάδα και οι τάσεις που αναπτύσσονται σε αυτό να είναι αισθητά μικρότερες. Αυτό σημαίνει ότι τα βραχώδη υλικά του υποβάθρου πρέπει να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο υγιή και να εμφανίζουν πολύ υψηλές τιμές συνοχής, ώστε να μην υπάρξει ο κίνδυνος εμφάνισης κάποιας αστοχίας.

Ειδικότερα, από τη χρονική στιγμή t_4 = 3.287 sec, όπου η εδαφική επιτάχυνση γίνεται μέγιστη (0.47g) έως και τη χρονική στιγμή t_8 = 5.068 sec, στην κοιλάδα αναπτύσσονται οι μεγαλύτερες τάσεις, με μέγιστη τιμή τάσης S_{max} = 6027.5 kPa κοντά στη βάση του υπεδάφους όπου και λαμβάνει χώρα η διέγερση, τη χρονική στιγμή t_6 = 4.222 sec. Μετά από εκείνη τη στιγμή, και όσο συνεχίζεται η σεισμική διέγερση, είναι αντιληπτό ότι οι τάσεις που εμφανίζονται στην κοιλάδα είναι πολύ μικρότερες. Μετά το πέρας του σεισμού, τη χρονική στιγμή δηλαδή t_{16} = 10 sec, η μέγιστη τάση στην κοιλάδα είναι S_{max} = 854 kPa. Στο υπόβαθρο και στο φράγμα εντοπίζονται πολύ χαμηλές τάσεις, πράγμα που σημαίνει ότι μετά το πέρας της σεισμικής διέγερσης δεν υπάρχουν περιοχές όπου υπάρχει ο κίνδυνος ανεπιθύμητης αστοχίας.

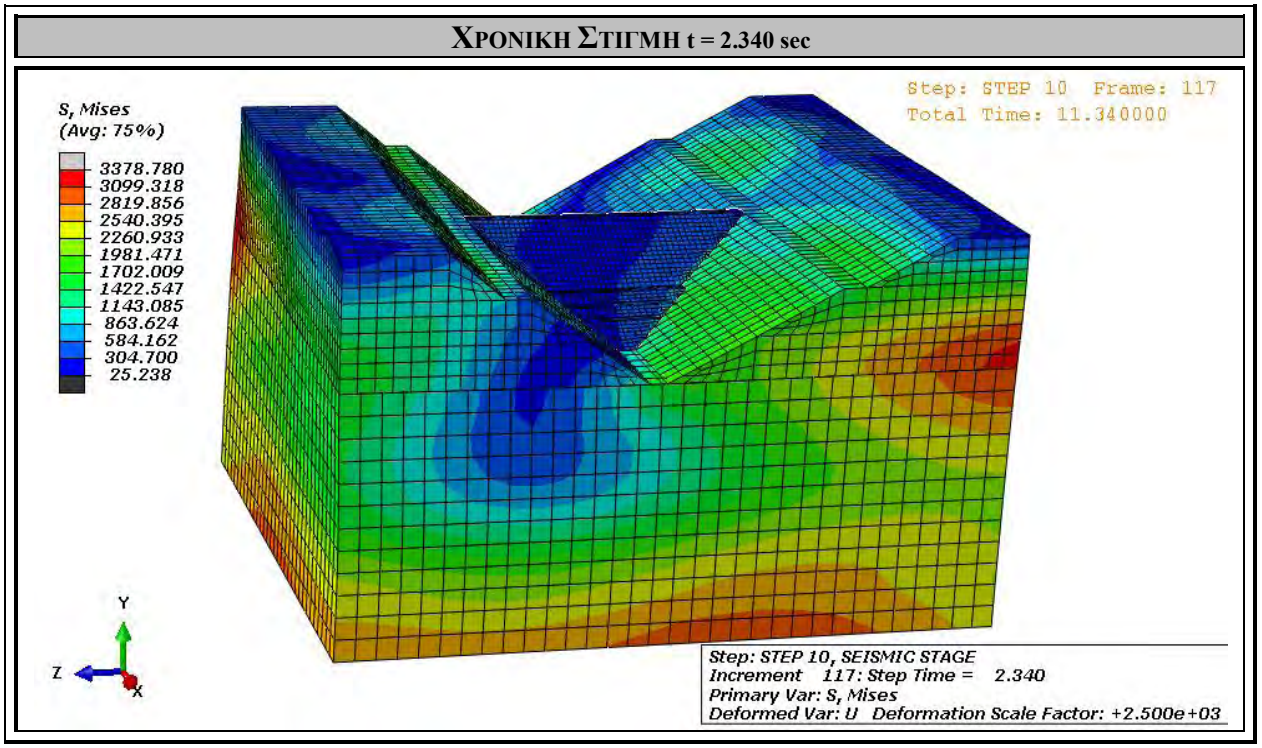
Στη συνέχεια γίνεται μια αποτύπωση των μέγιστων τιμών της τάσης σε κάθε χρονική στιγμή της σεισμικής διέγερσης που έχει απεικονιστεί στα αποτελέσματα.

ΧΡΟΝΙΚΗ ΣΤΙΓΜΗ t [sec]	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΑΣΗ VON MISES S [kPa]
1.000	815.54
2.340	3378.78
2.995	2294.82
3.287	3493.45
4.122	4343.27
4.222	6027.50
4.358	5516.21
5.068	3353.00
5.804	2455.65
6.224	1085.40
6.884	2677.05
7.484	1806.02
8.204	961.90
8.804	1237.87
9.244	1441.45
10.000	854.03

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

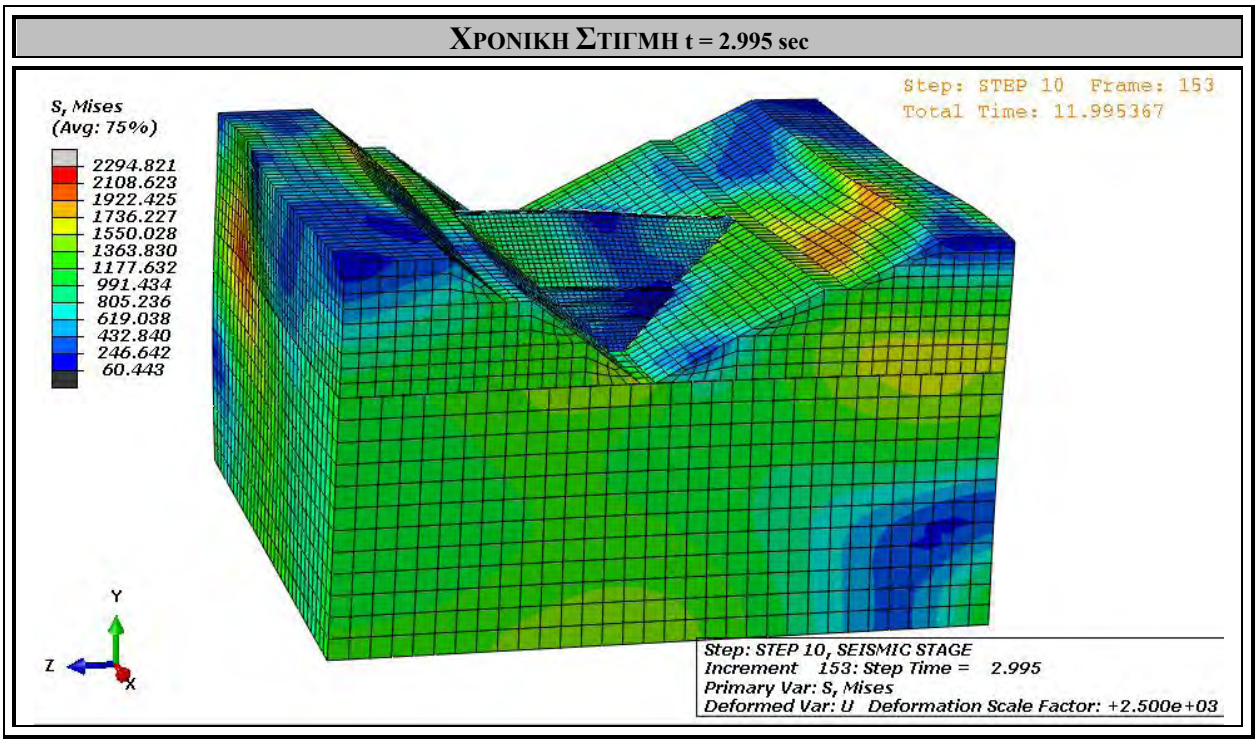


Σχήμα 4.74. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_1 = 1.000 sec.*

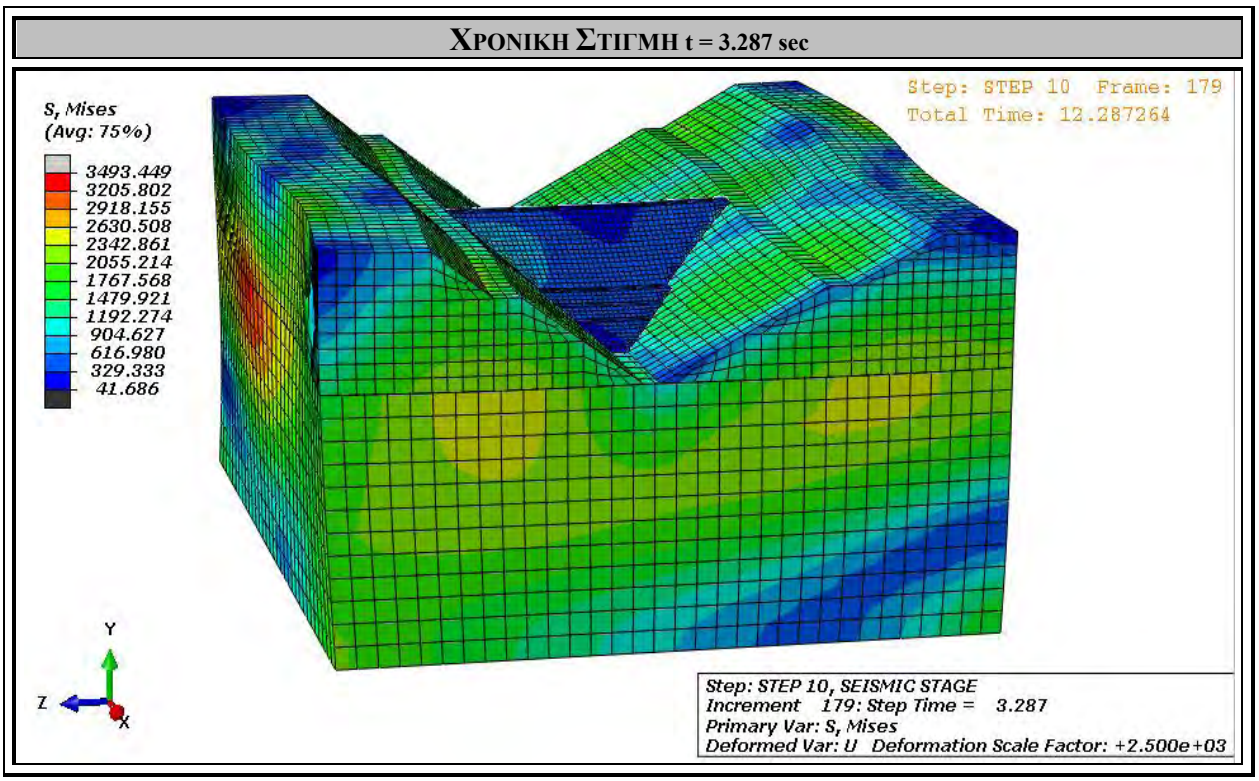


Σχήμα 4.75. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_2 = 2.340 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

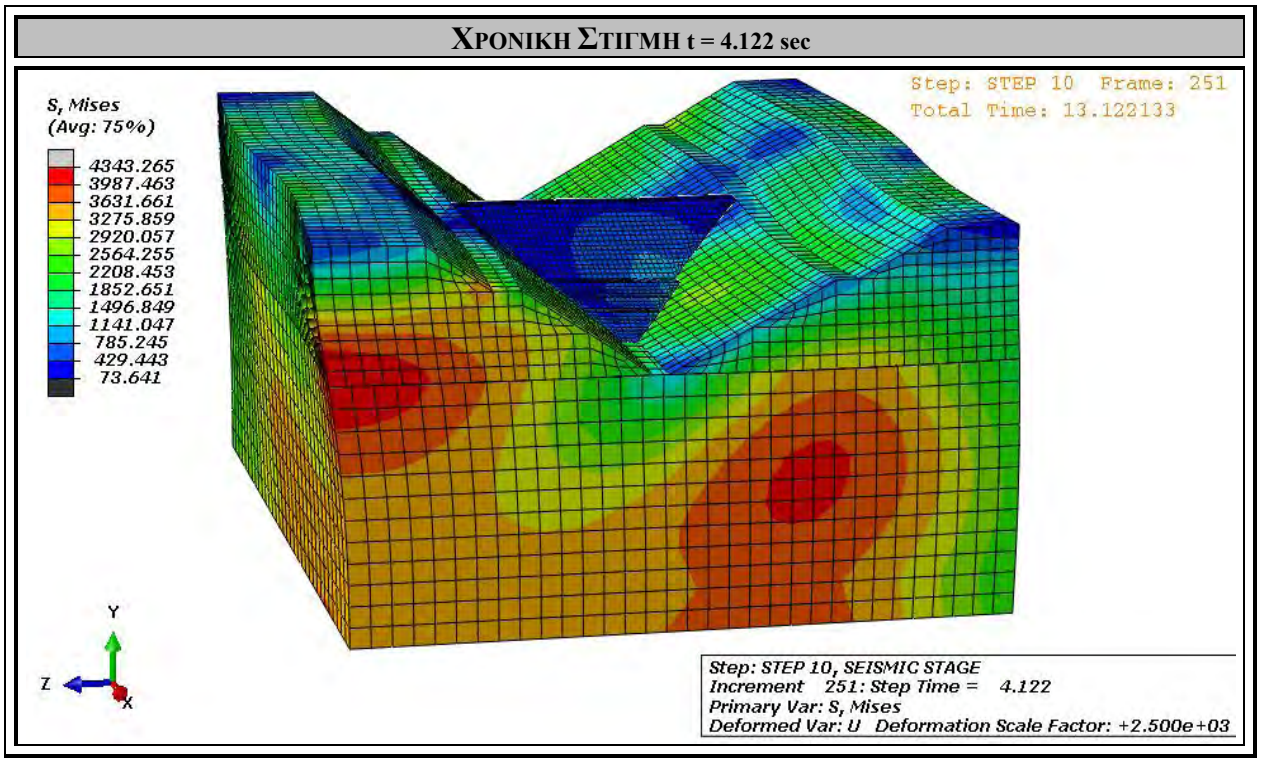


Σχήμα 4.76. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_3 = 2.995 sec.*

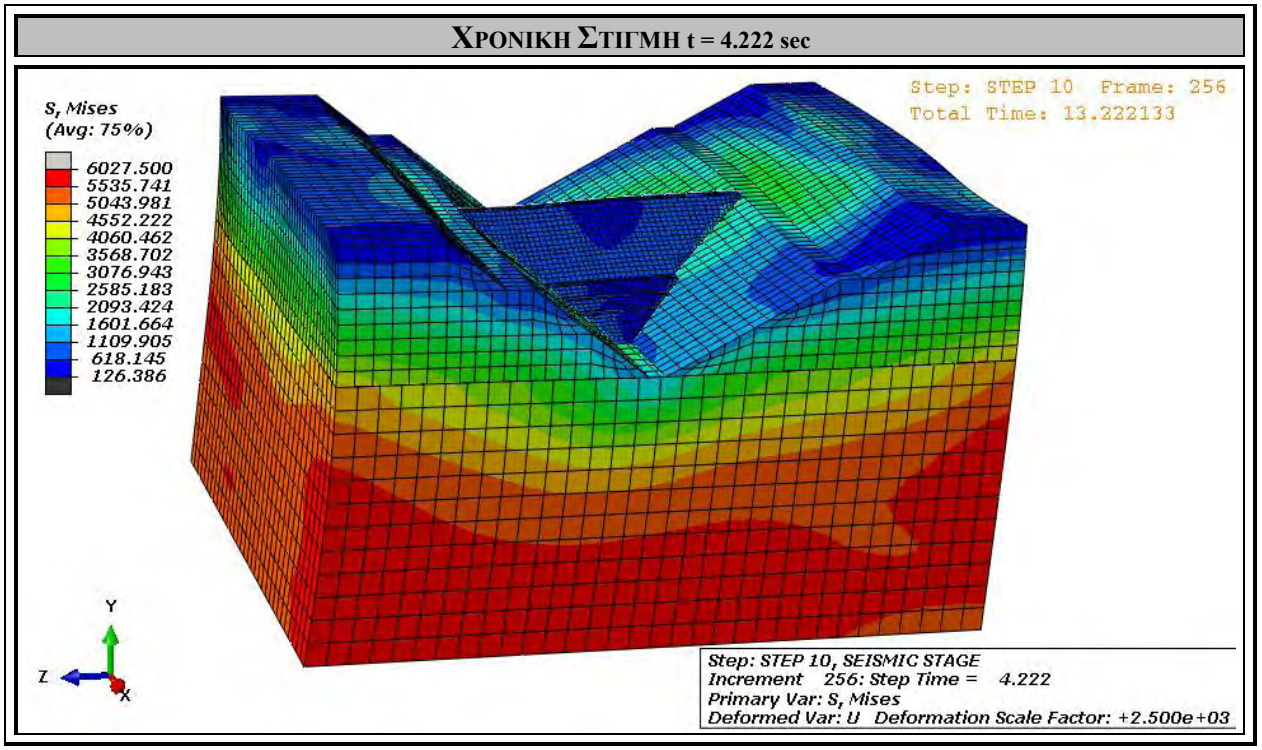


Σχήμα 4.77. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_4 = 3.287 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

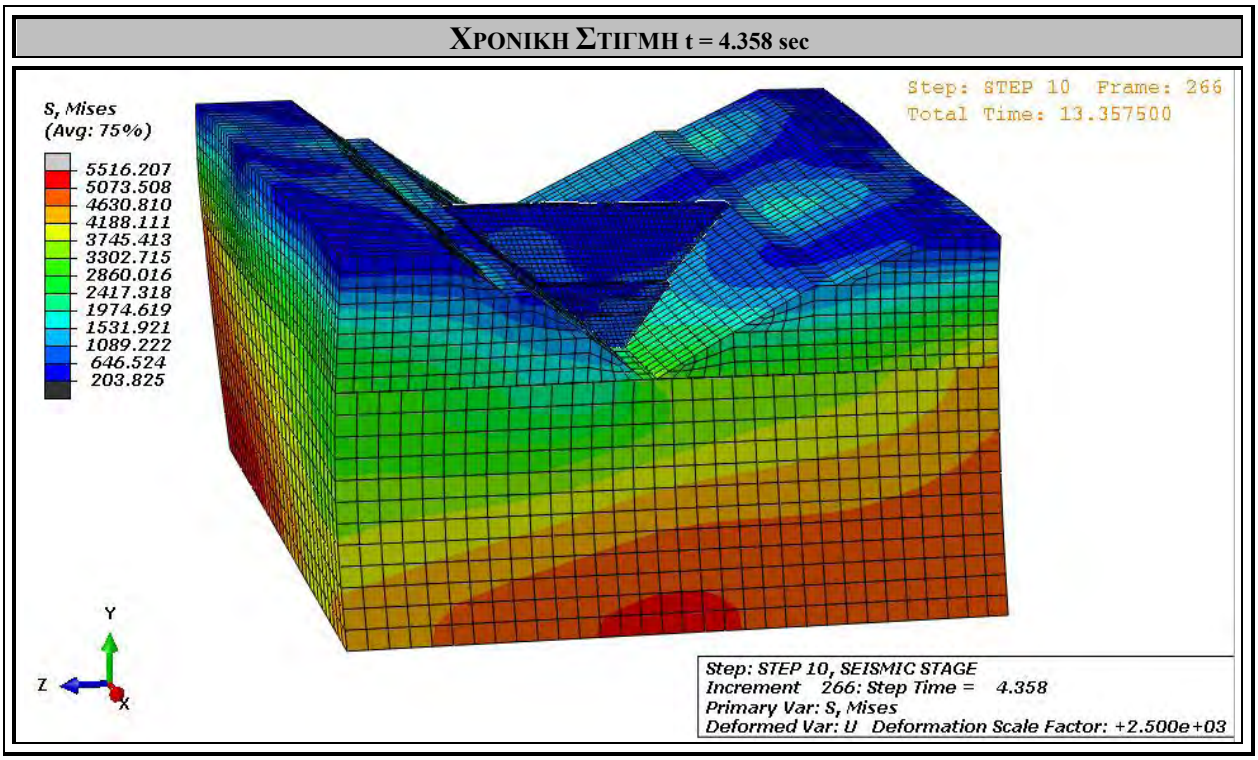


Σχήμα 4.78. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_5 = 4.122 sec.*

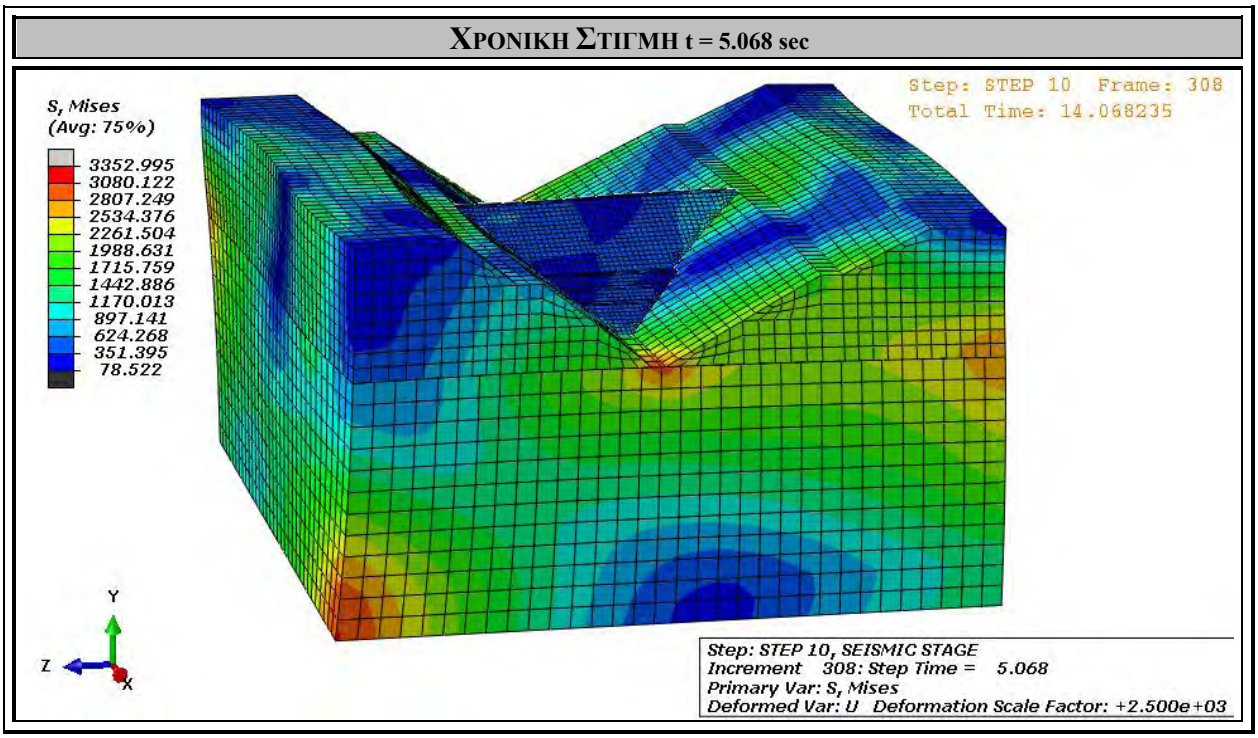


Σχήμα 4.79. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_6 = 4.222 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

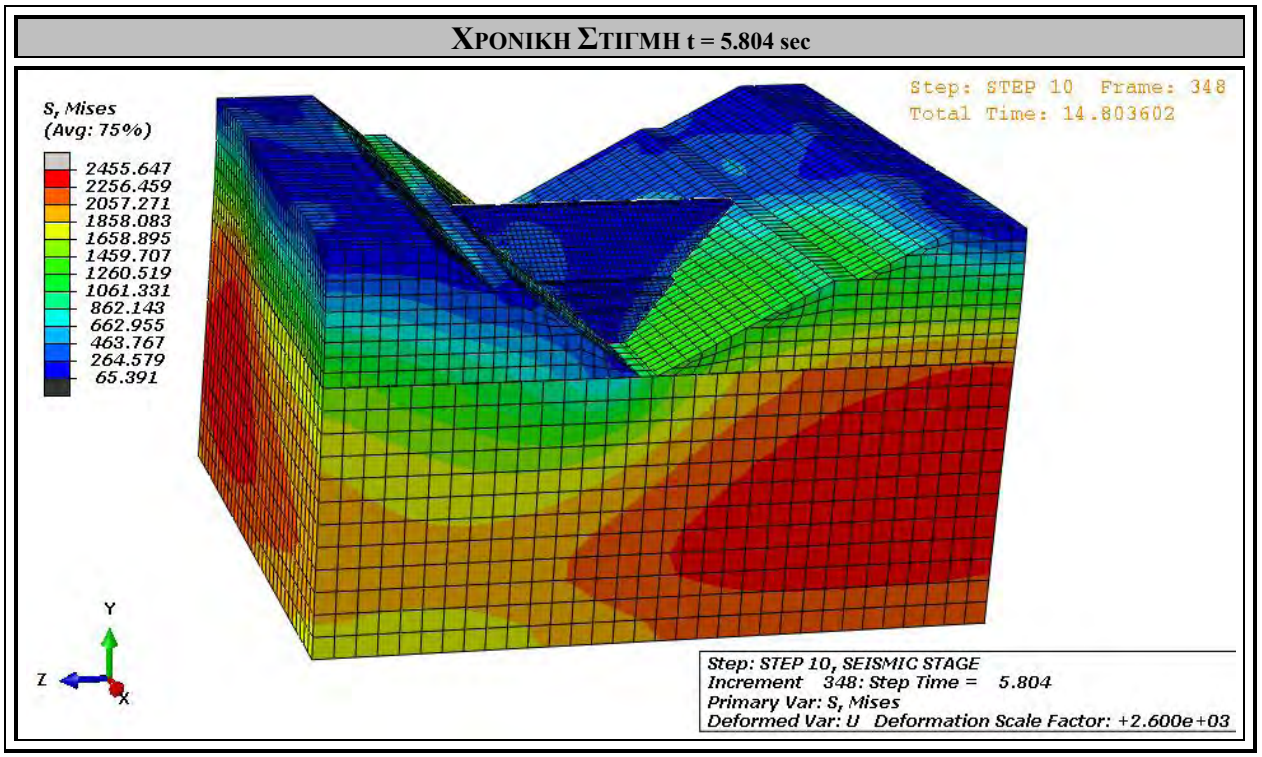


Σχήμα 4.80. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_7 = 4.358 sec.*

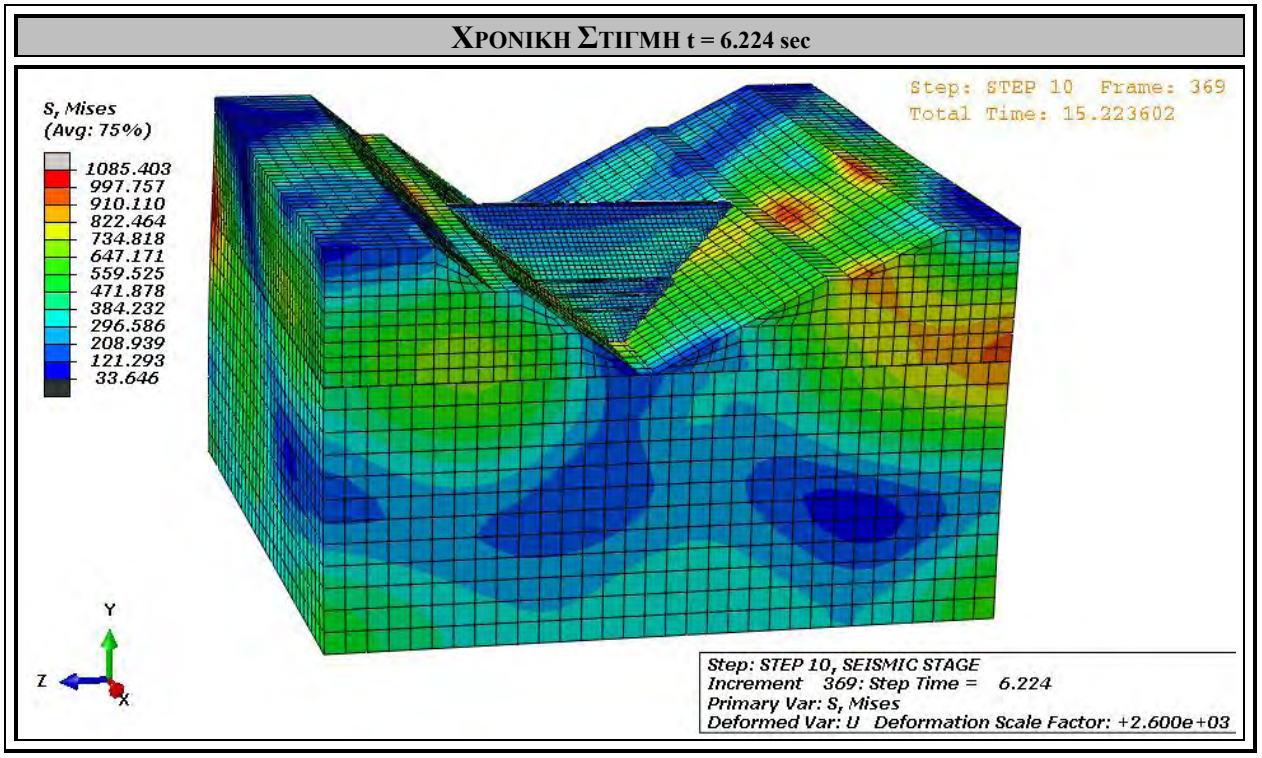


Σχήμα 4.81. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_8 = 5.068 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

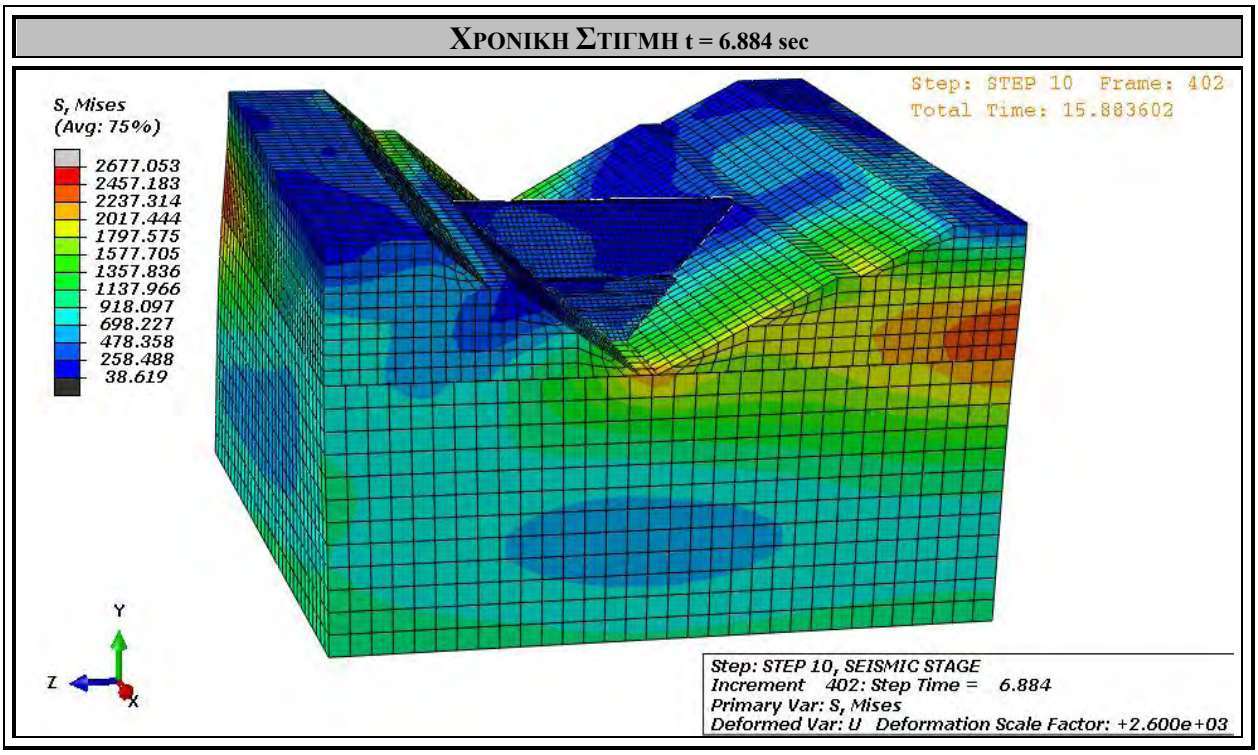


Σχήμα 4.82. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_9 = 5.804 sec.*

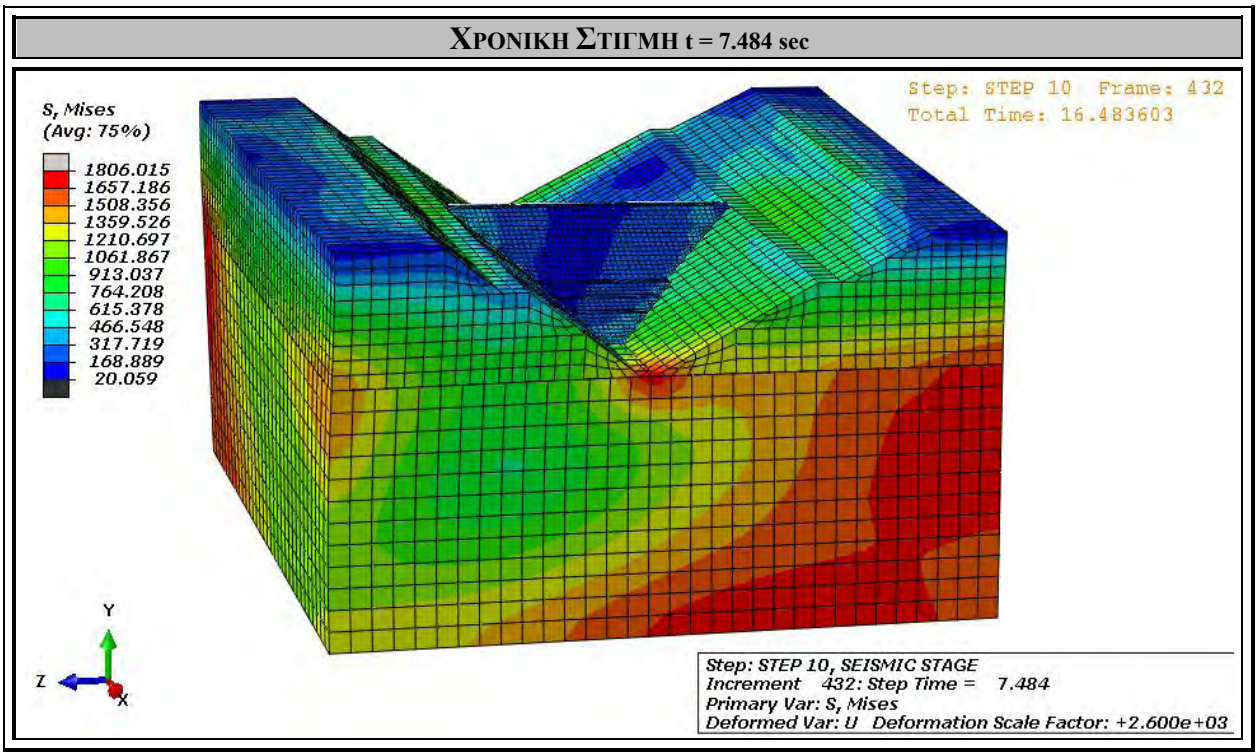


Σχήμα 4.83. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{10} = 6.224 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

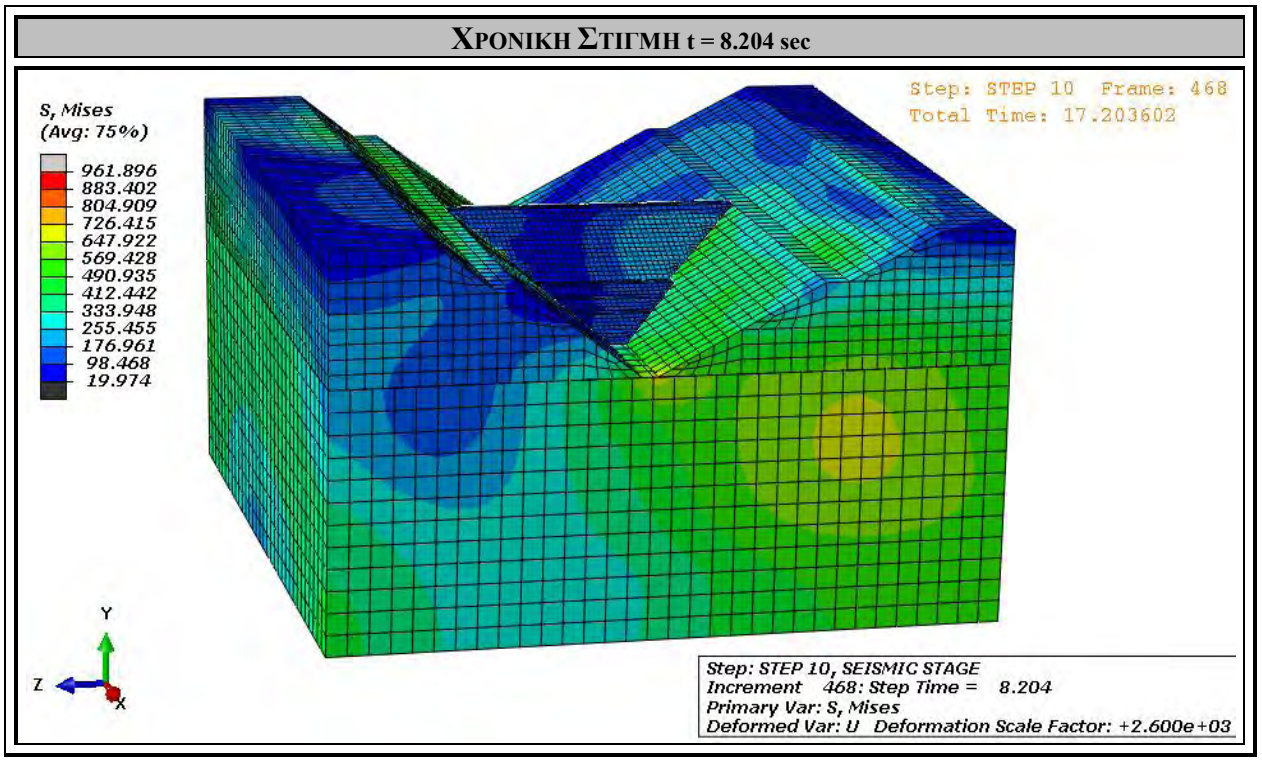


Σχήμα 4.84. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{11} = 6.884 sec.*

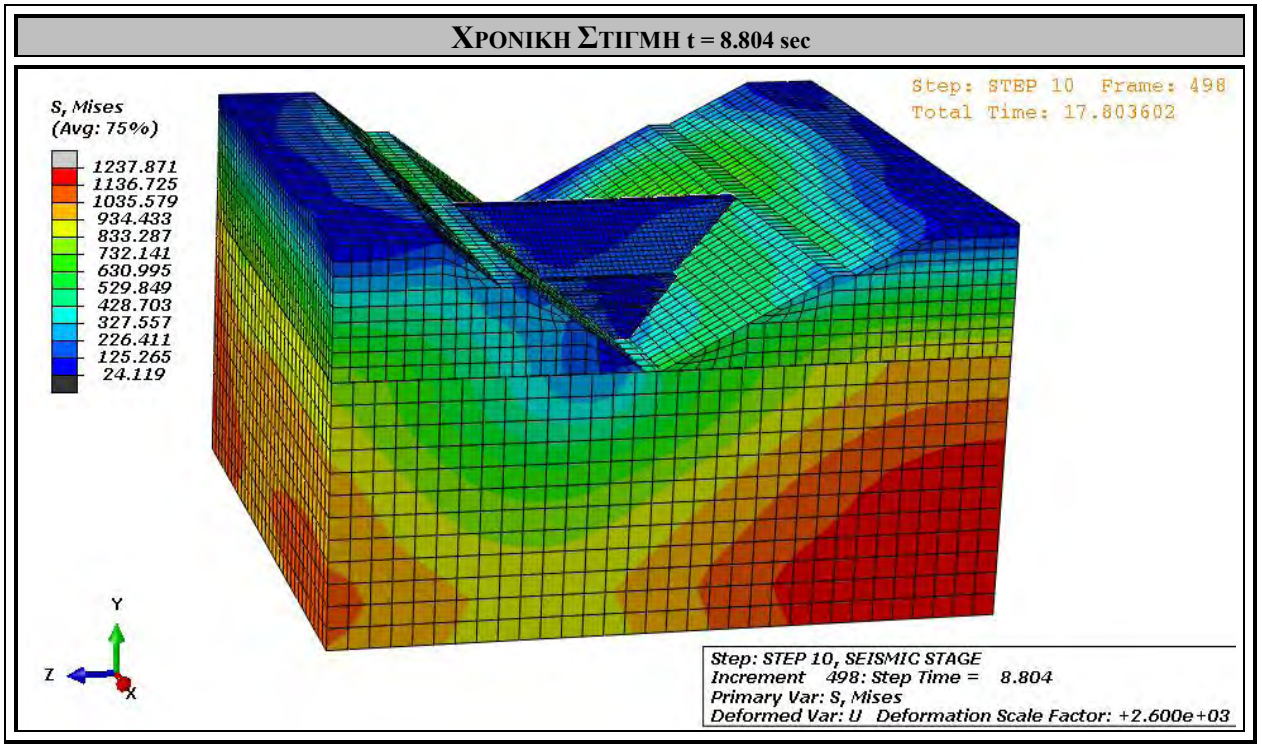


Σχήμα 4.85. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{12} = 7.484 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

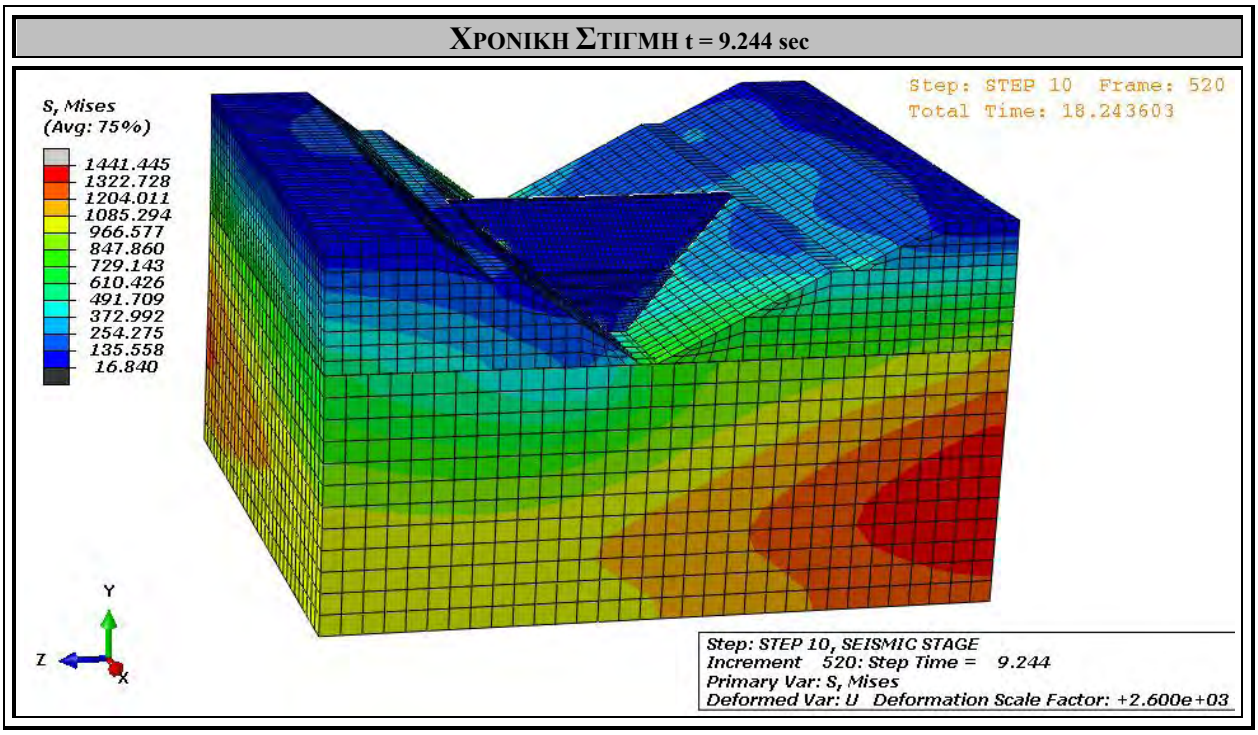


Σχήμα 4.86. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{13} = 8.204 sec.*

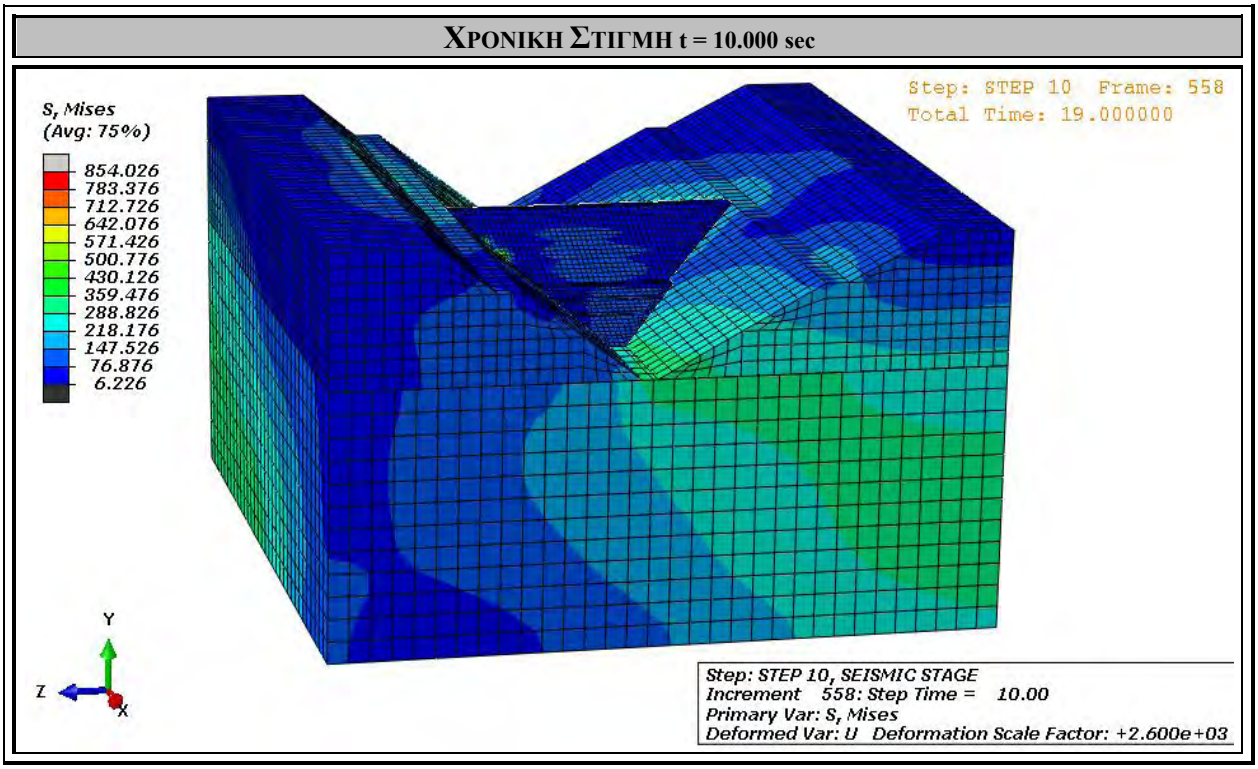


Σχήμα 4.87. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{14} = 8.804 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



Σχήμα 4.88. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{15} = 9.244 sec.*



Σχήμα 4.89. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{16} = 10.000 sec.*

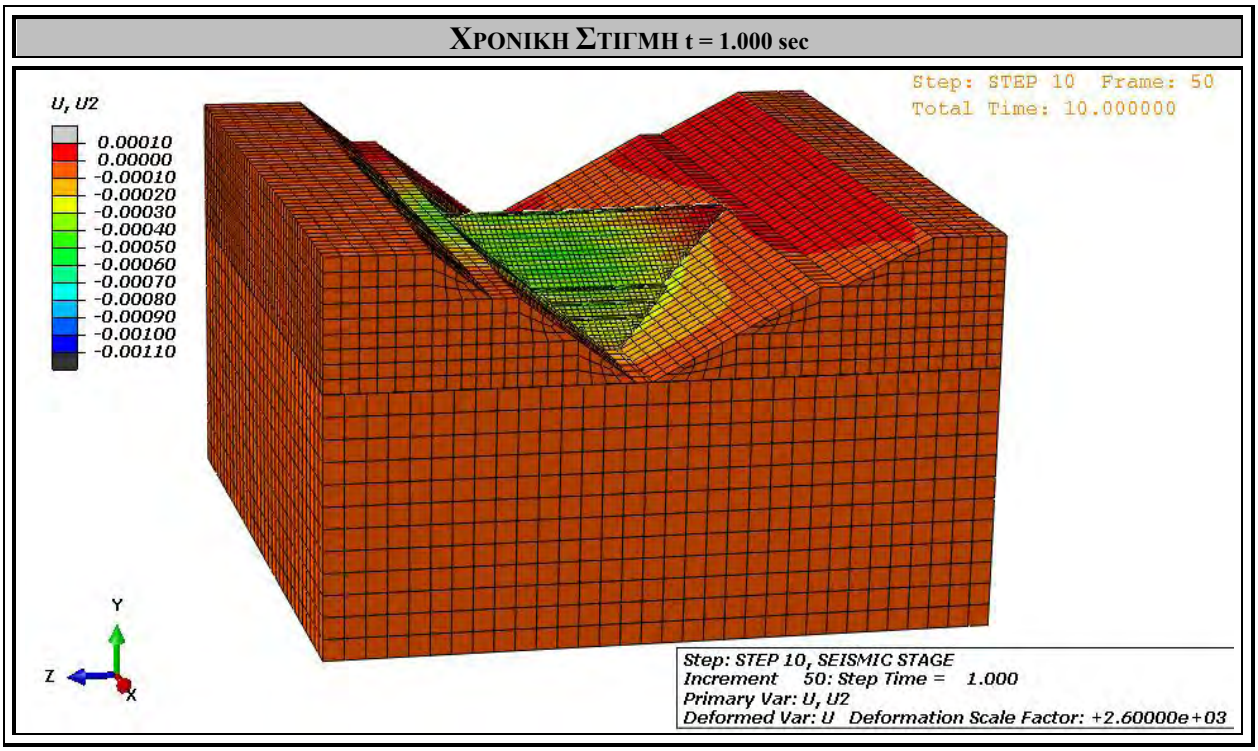
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Στα Σχήματα 4.90. – 4.105. αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων U_2 που προκύπτουν στην περιοχή της κοιλάδας και του φράγματος, με τη δράση της ταυτόχρονης κατά τις δύο οριζόντιες διευθύνσεις σεισμικής διέγερσης, μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης A = 0.47g και συνολικής διάρκειας 10 sec. Στη δυναμική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, η κοιλάδα αποτελείται πολύ σκληρό υπέδαφος (E_F = 100 GPa) και εξίσου σκληρά βραχώδη πρανή (E_V = 80 GPa), τα υλικά των οποίων, λόγω του υψηλού μέτρου ελαστικότητας, είναι πρακτικά ασυμπίεστα.

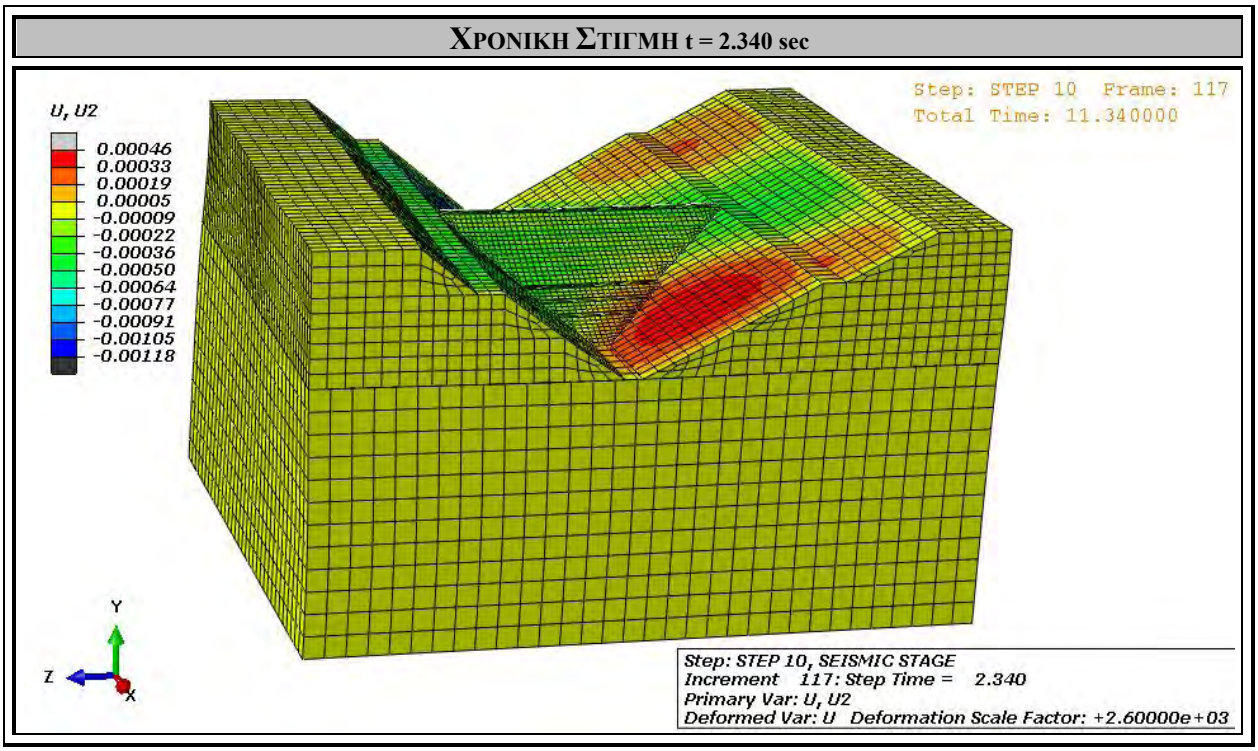
Η σεισμική κίνηση που υφίσταται η κοιλάδα προκαλεί ανύψωση και υποχώρηση αντίστοιχα της στέψης του φράγματος, με μια παλινδρομική κίνηση. Παρακάτω θα γίνει αποτύπωση των μέγιστων τιμών της κατακόρυφης μετατόπισης που συμβαίνει στην κοιλάδα, εξαιτίας της σεισμικής διέγερσης, τις χρονικές στιγμές που επιλέχτηκαν να απεικονισθούν.

ΧΡΟΝΙΚΗ ΣΤΙΓΜΗ t [sec]	ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗ U_2 [mm]
1.000	-1.10
2.340	-1.18
2.995	-1.85
3.287	-1.24
4.122	+1.81
4.222	+2.10
4.358	+1.16
5.068	-1.44
5.804	-0.74
6.224	-0.98
6.884	-0.93
7.484	-1.10
8.204	-1.14
8.804	-1.08
9.244	-1.04
10.000	-1.12

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

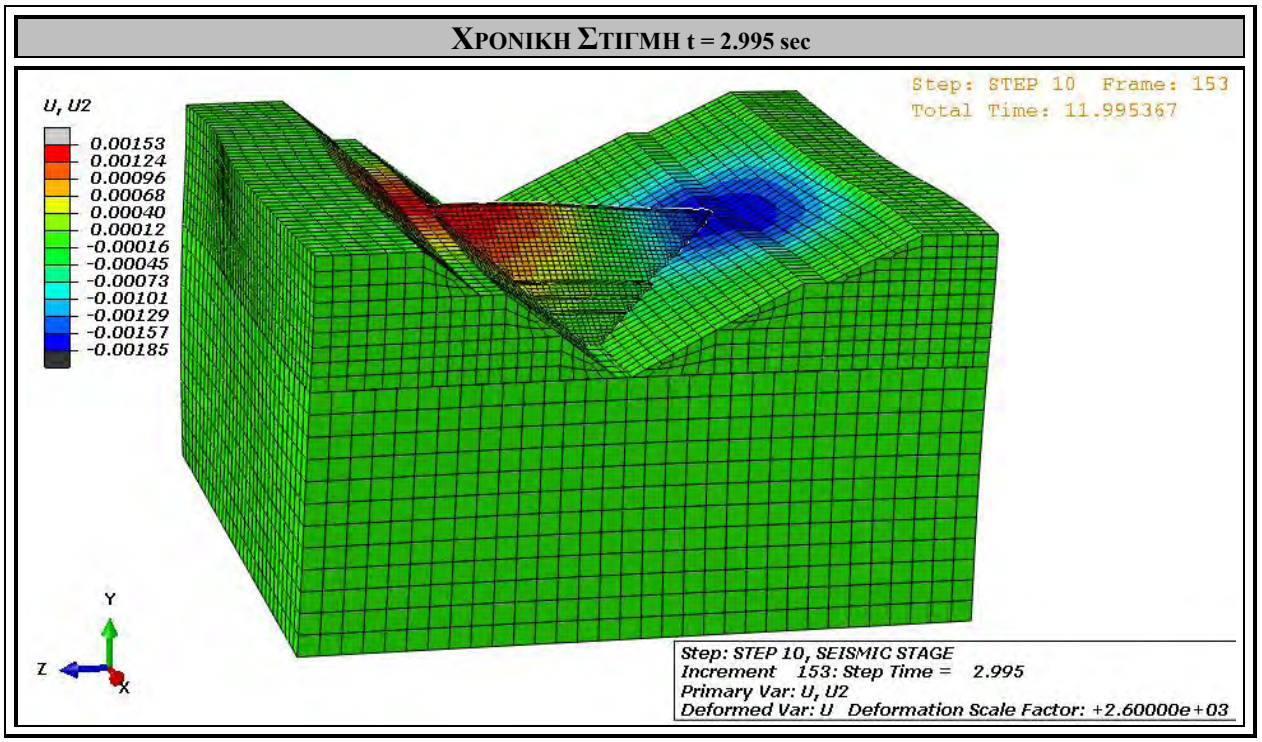


Σχήμα 4.90. *Κατανομή καθιζήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_1 = 1.000 sec.*

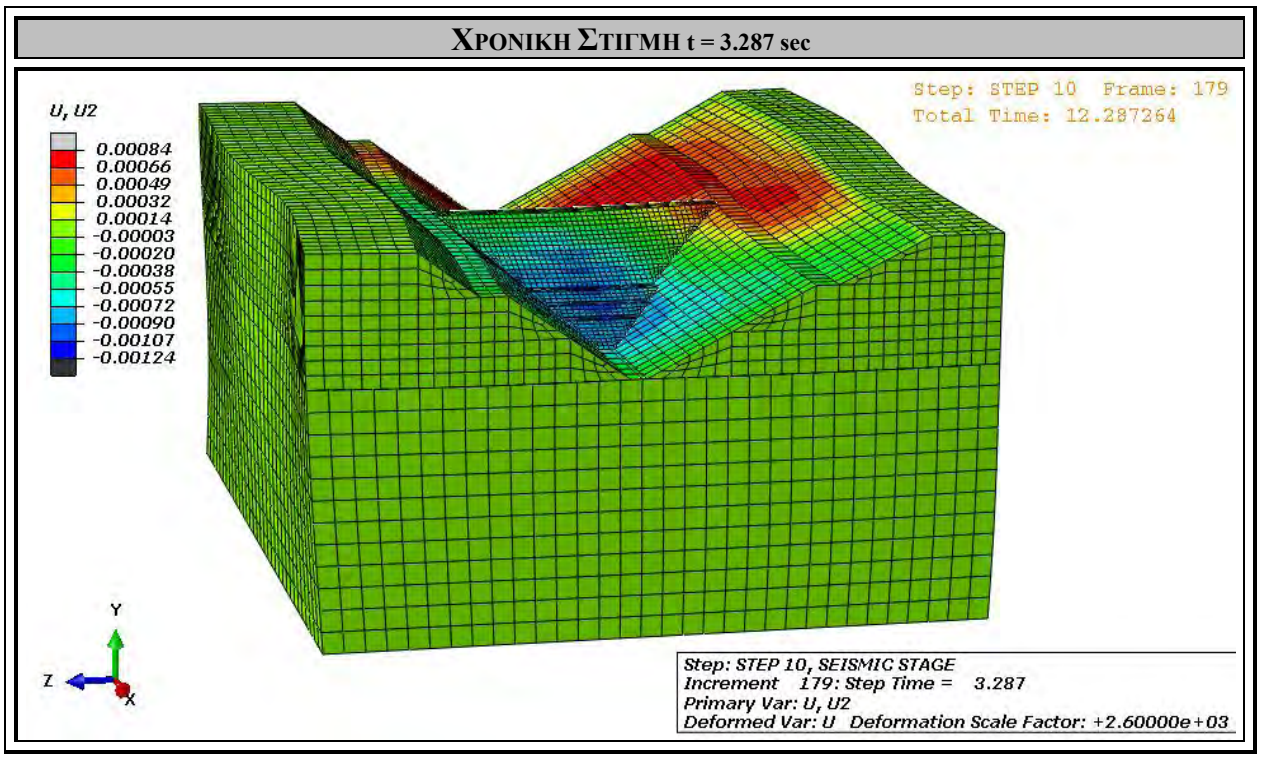


Σχήμα 4.91. *Κατανομή καθιζήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_2 = 2.340 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

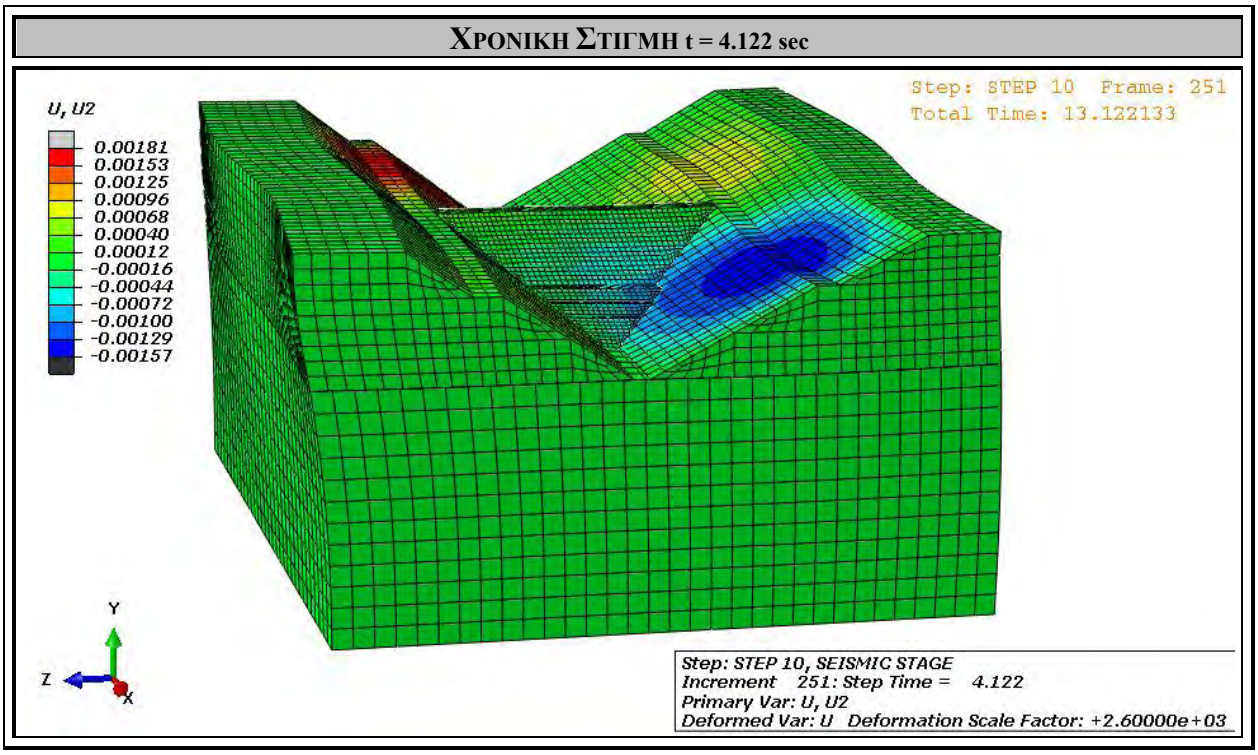


Σχήμα 4.92. *Κατανομή καθιζήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_3 = 2.995 sec.*

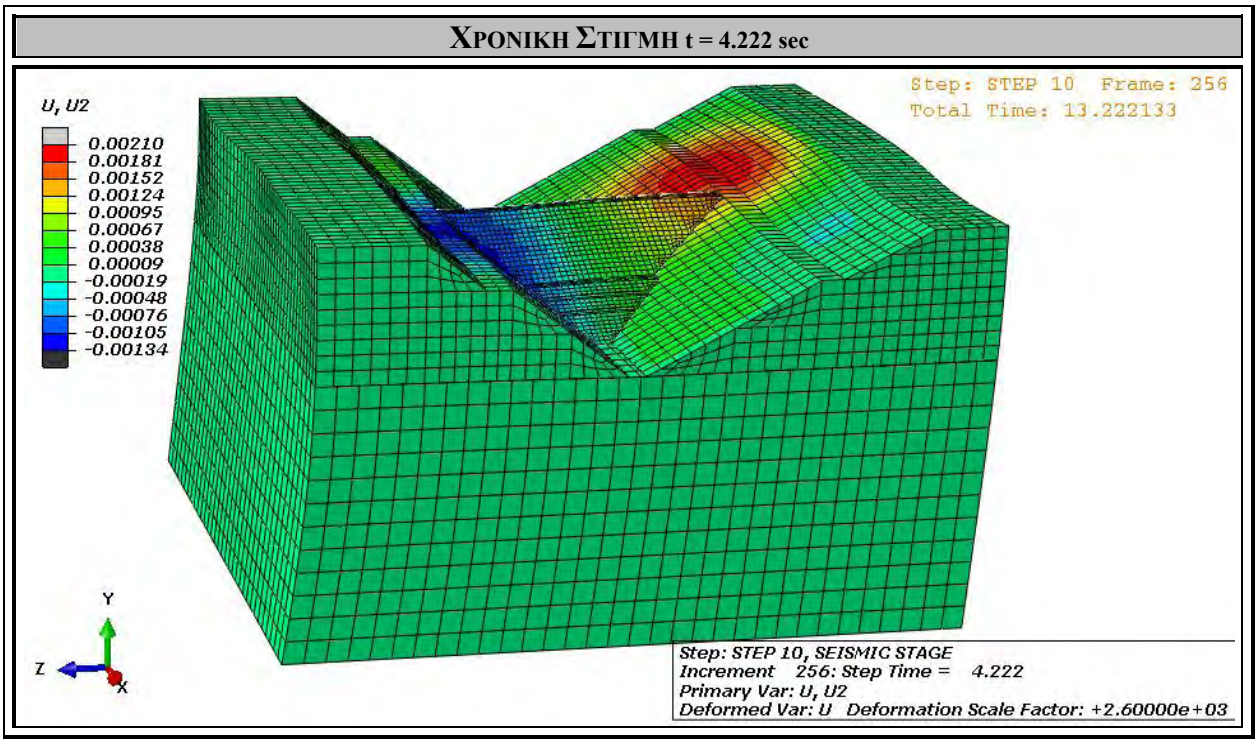


Σχήμα 4.93. *Κατανομή καθιζήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_4 = 3.287 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

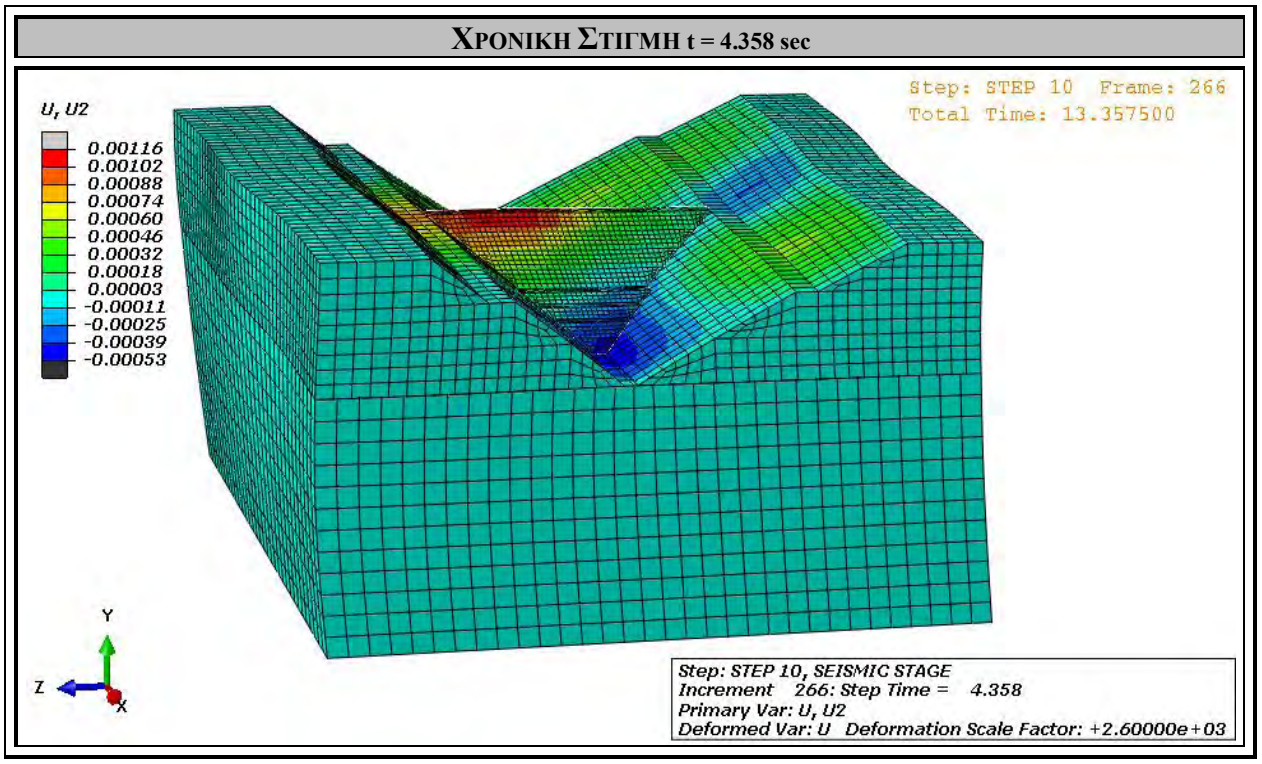


Σχήμα 4.94. *Κατανομή καθιζήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_5 = 4.122 sec.*

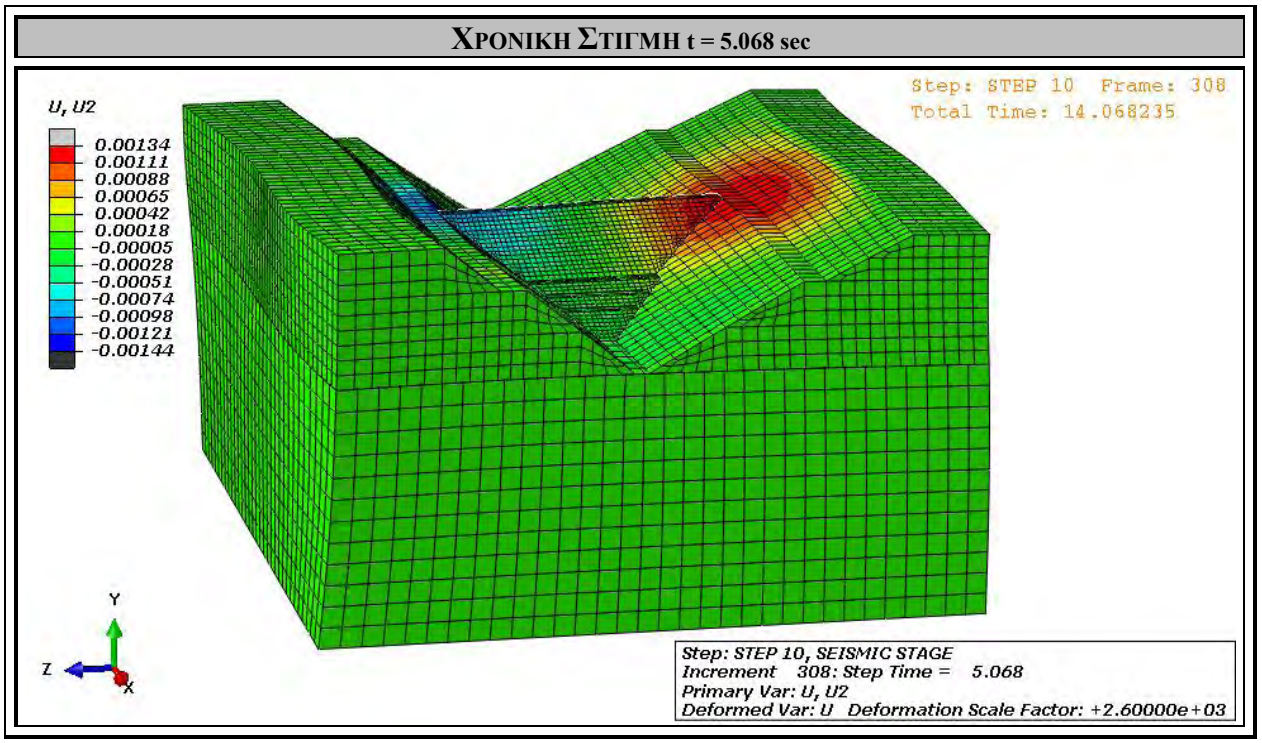


Σχήμα 4.95. *Κατανομή καθιζήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_6 = 4.222 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

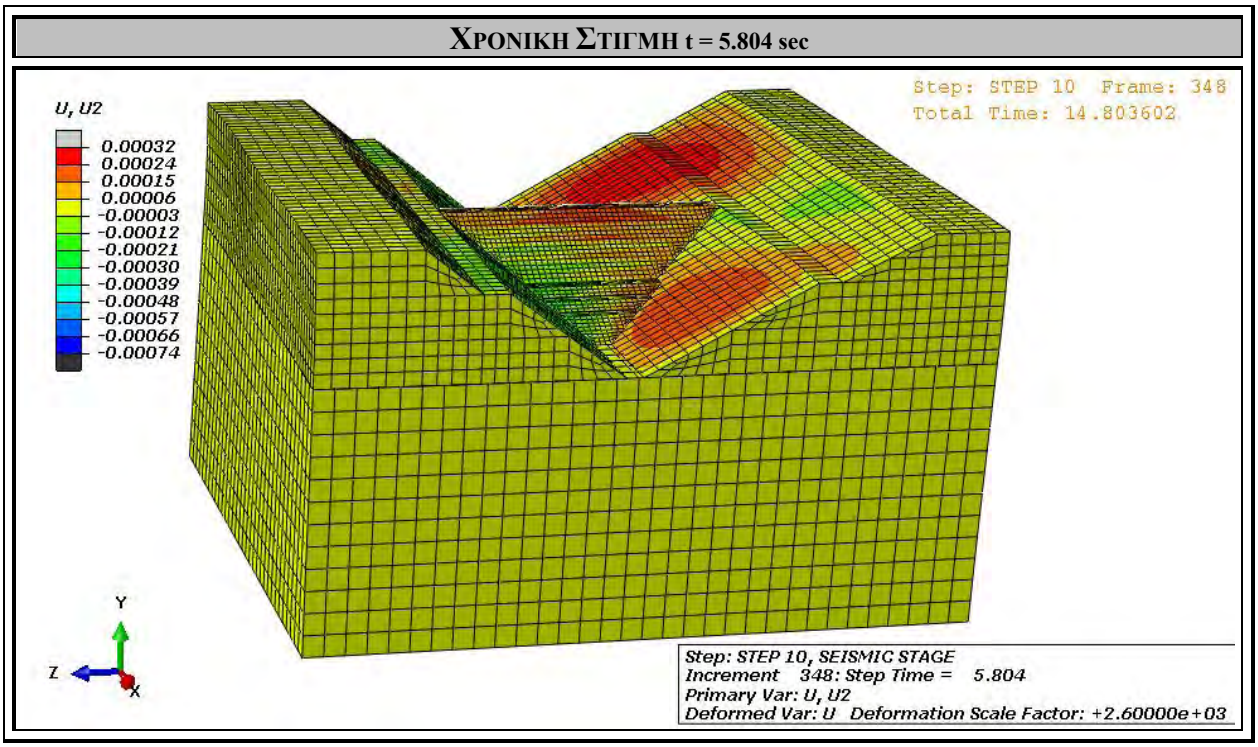


Σχήμα 4.96. *Κατανομή καθιζήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_7 = 4.358 sec.*

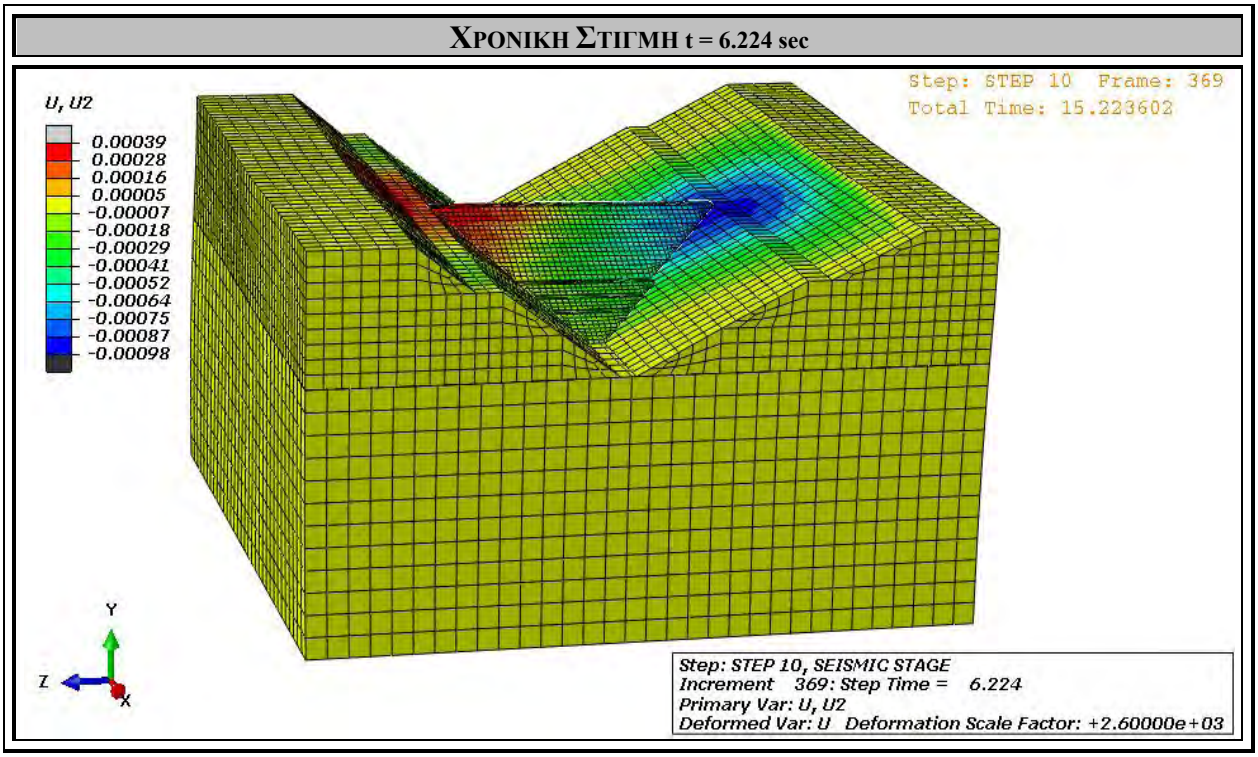


Σχήμα 4.97. *Κατανομή καθιζήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_8 = 5.068 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

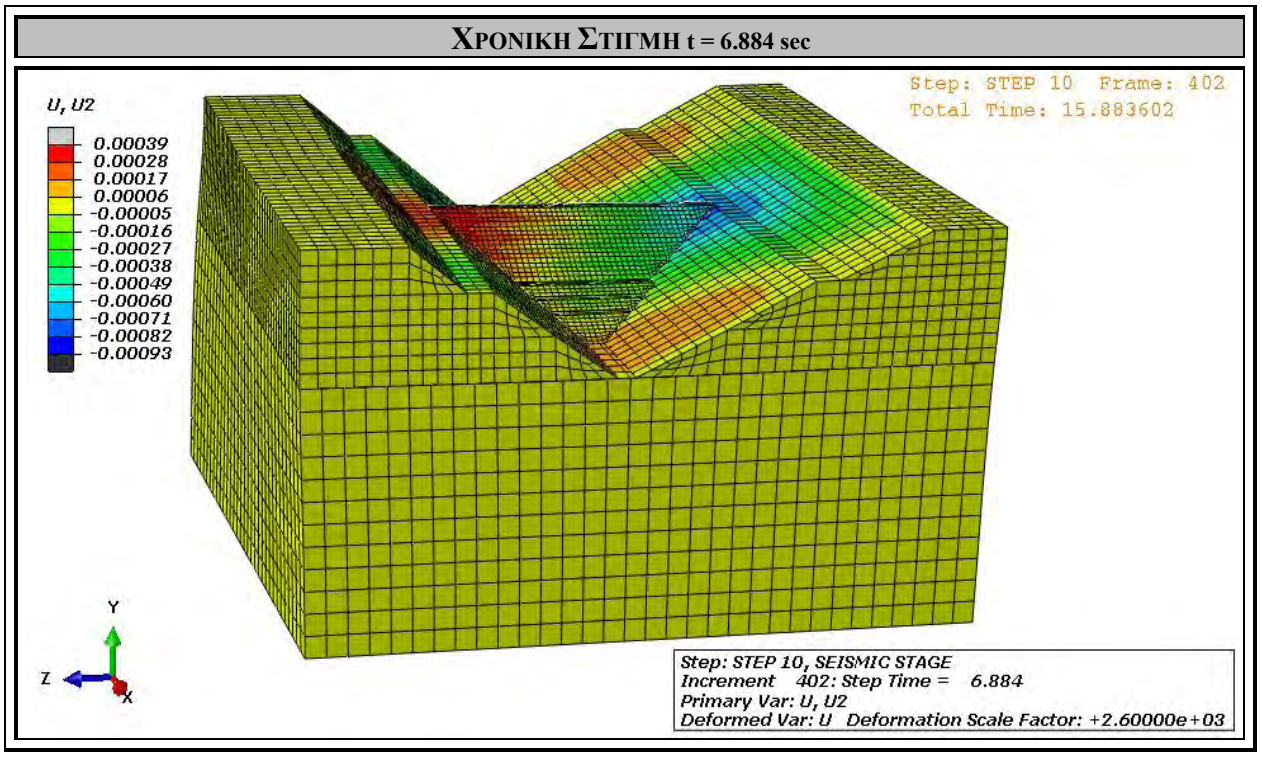


Σχήμα 4.98. *Κατανομή καθιζήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_9 = 5.804 sec.*

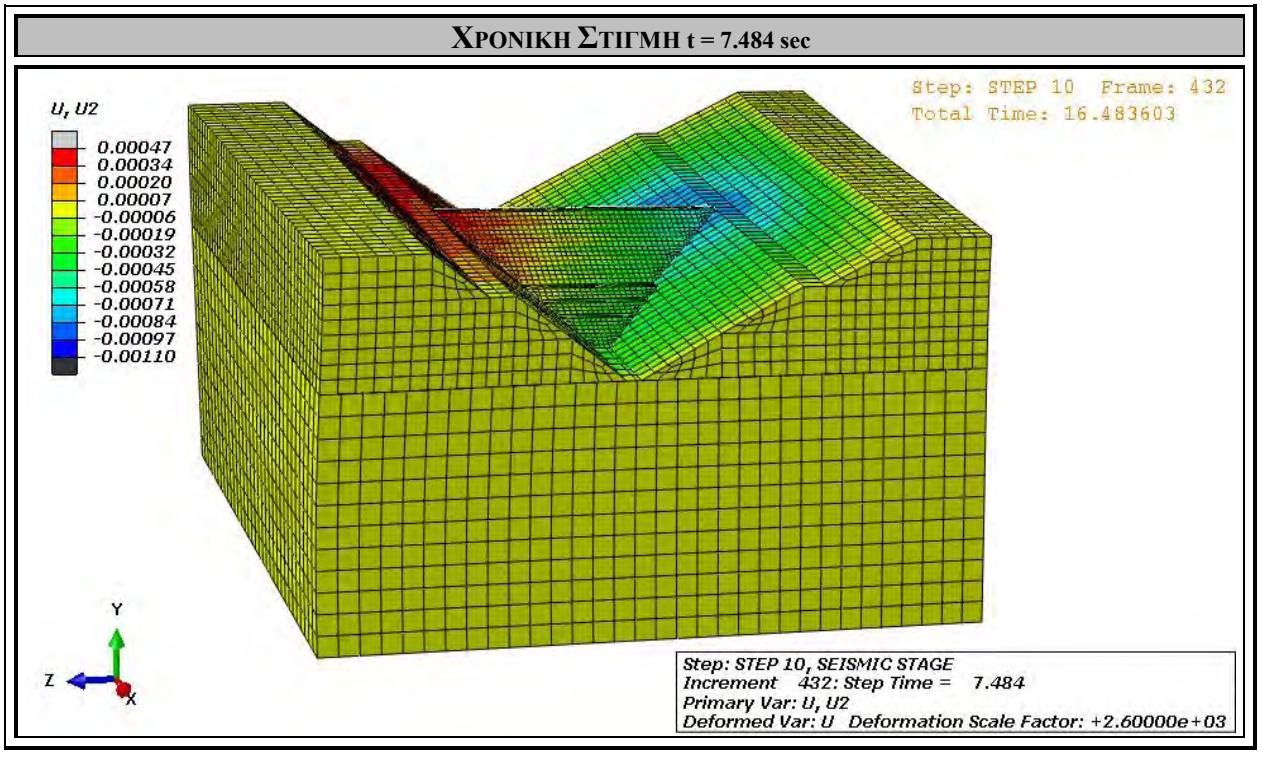


Σχήμα 4.99. *Κατανομή καθιζήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{10} = 6.224 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

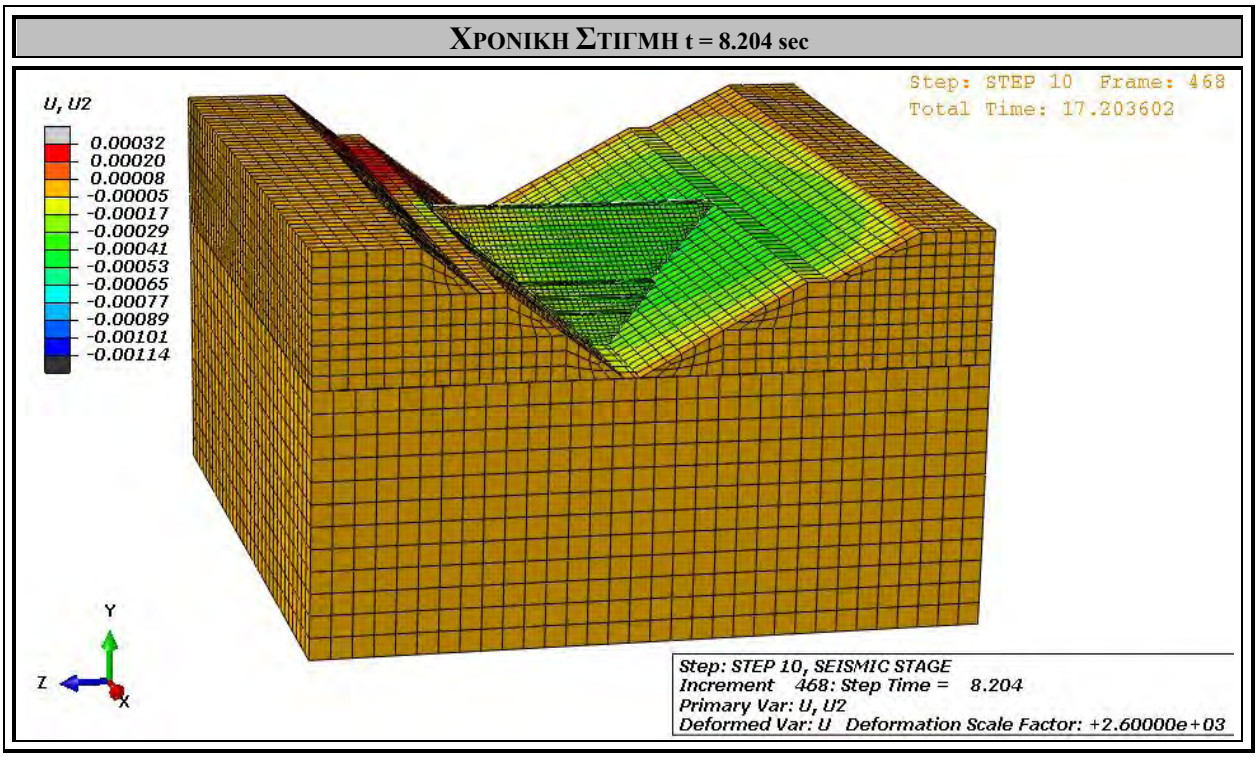


Σχήμα 4.100. *Κατανομή καθιζήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{11} = 6.884 sec.*

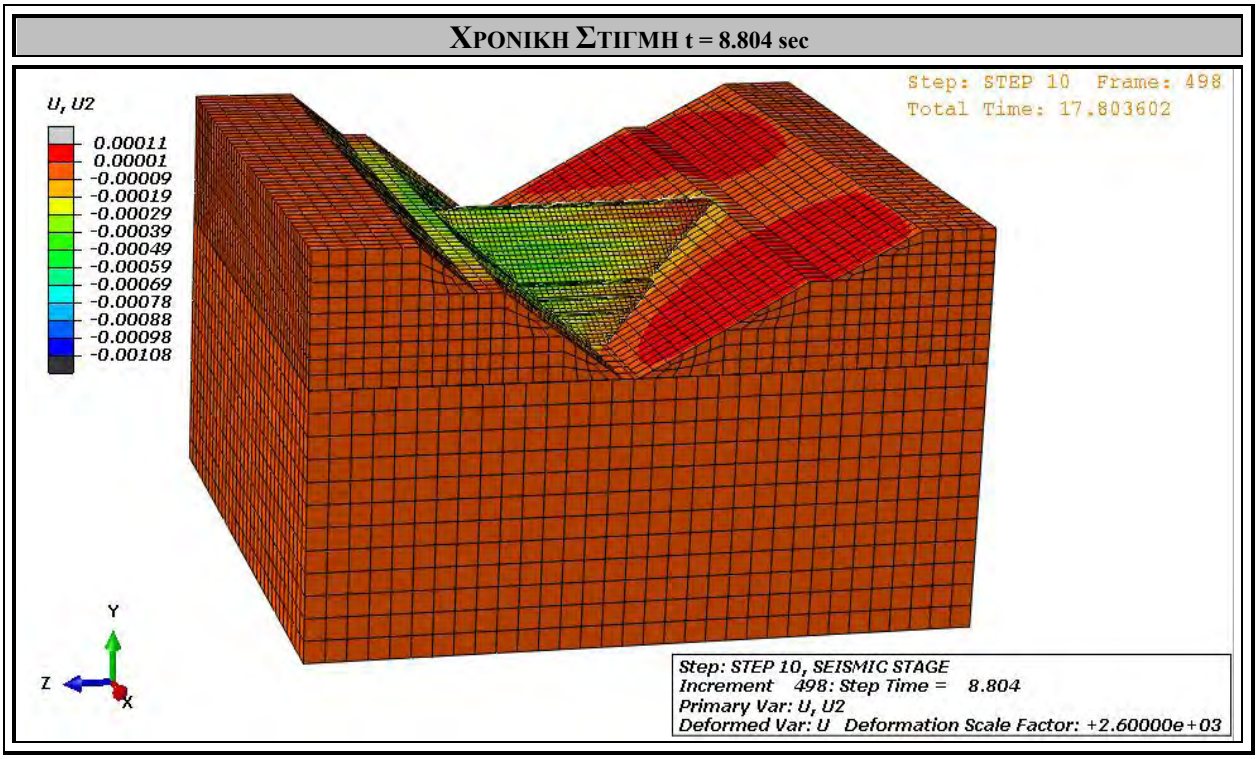


Σχήμα 4.101. *Κατανομή καθιζήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{12} = 7.484 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

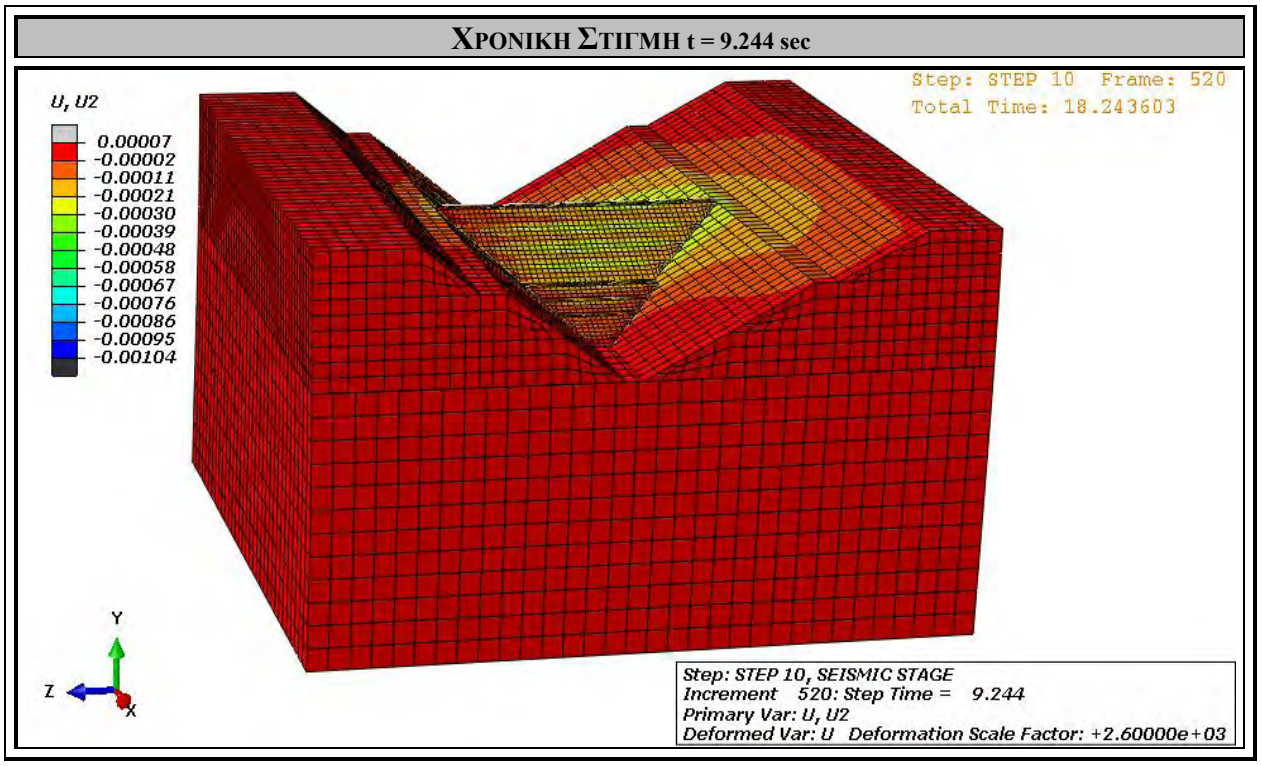


Σχήμα 4.102. *Κατανομή καθιζήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{13} = 8.204 sec.*

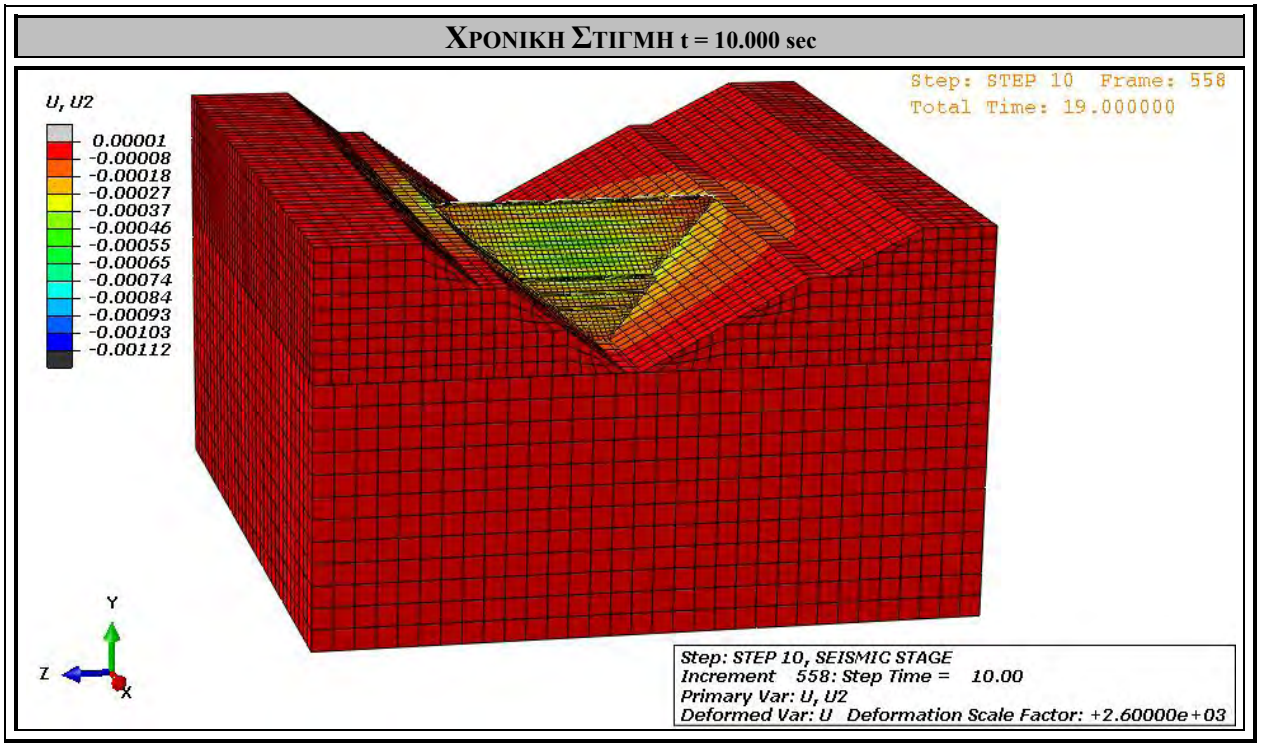


Σχήμα 4.103. *Κατανομή καθιζήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{14} = 8.804 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



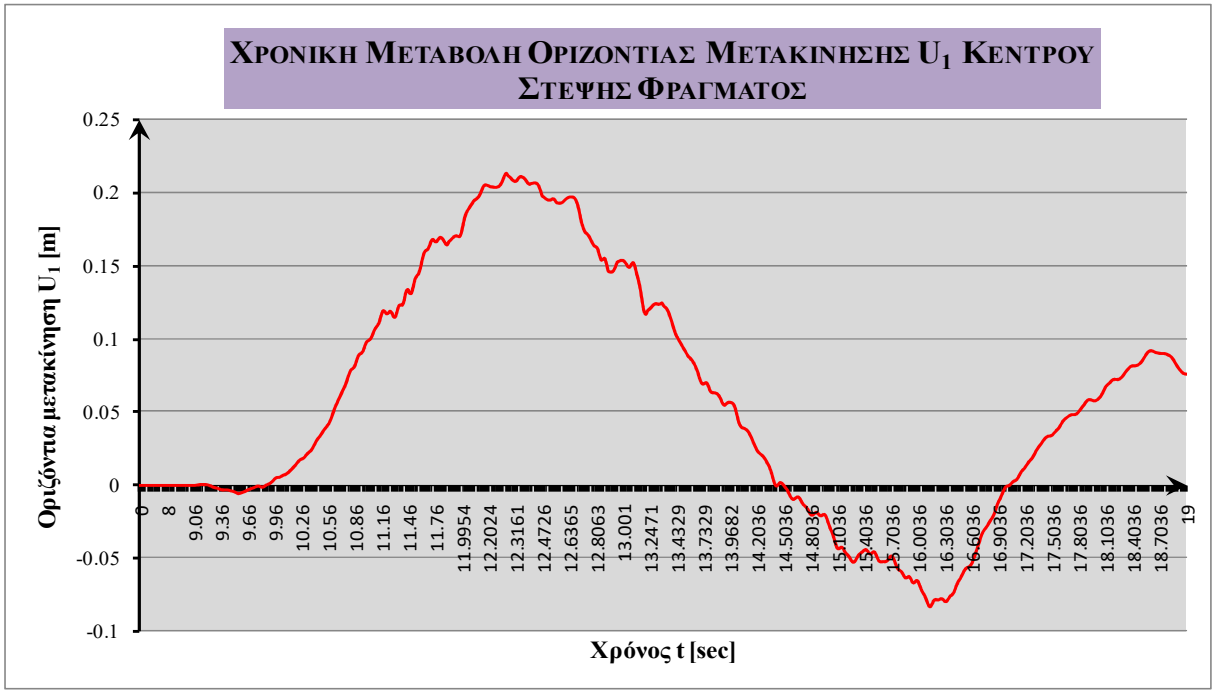
Σχήμα 4.104. *Κατανομή καθιζήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{15} = 9.244 sec.*



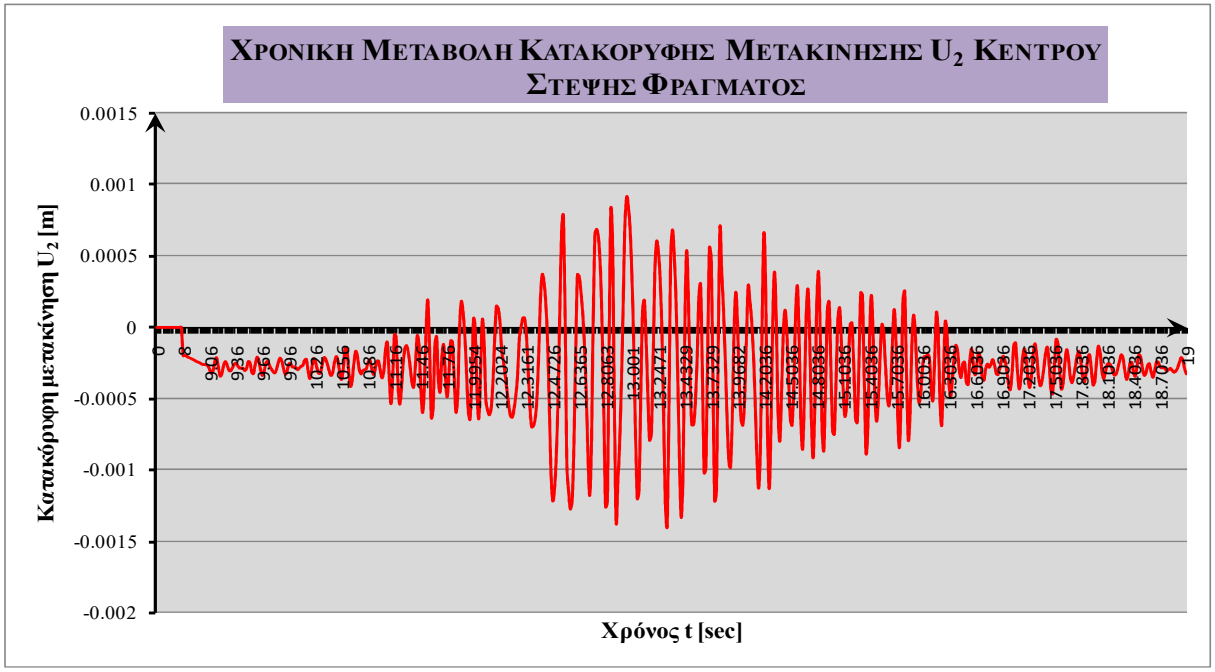
Σχήμα 4.105. *Κατανομή καθιζήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{16} = 10.000 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

▪ ΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ ΚΕΝΤΡΟΥ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

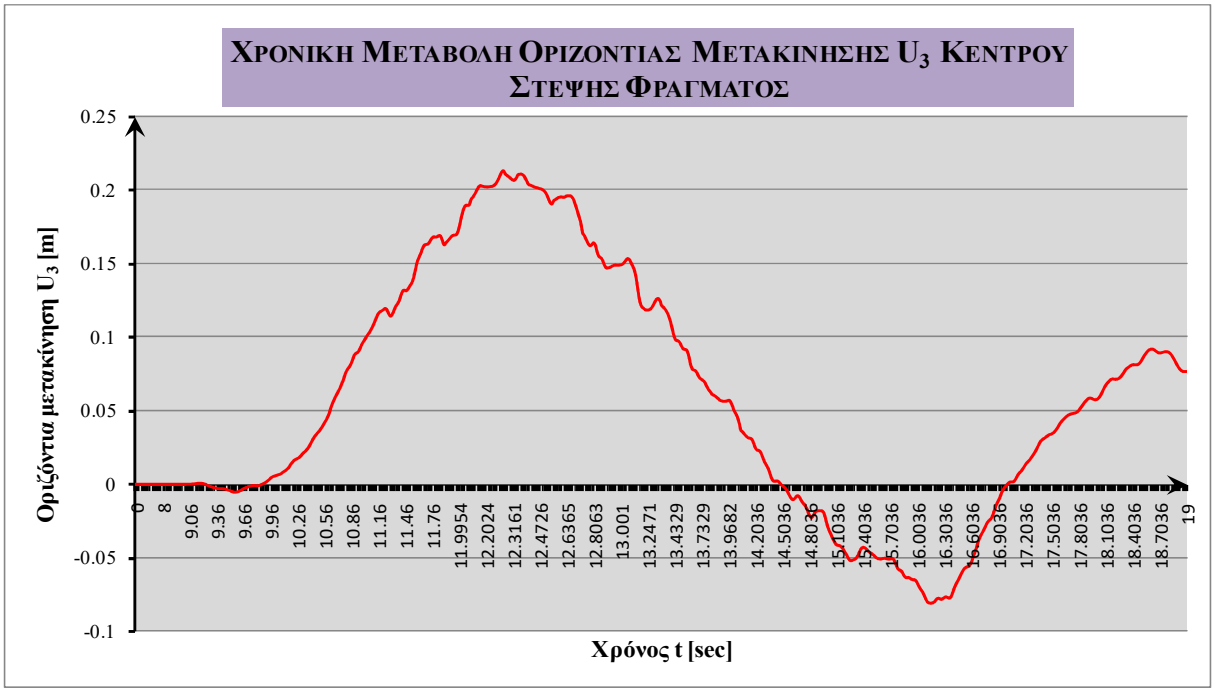


Σχήμα 4.106. *Χρονική μεταβολή οριζόντιας μετακίνησης U_1 [m] του κέντρου της στέψης του φράγματος, για στατικά και δυναμικά φορτία.*



Σχήμα 4.107. *Χρονική μεταβολή κατακόρυφης μετακίνησης U_2 [m] του κέντρου της στέψης του φράγματος, για στατικά και δυναμικά φορτία.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

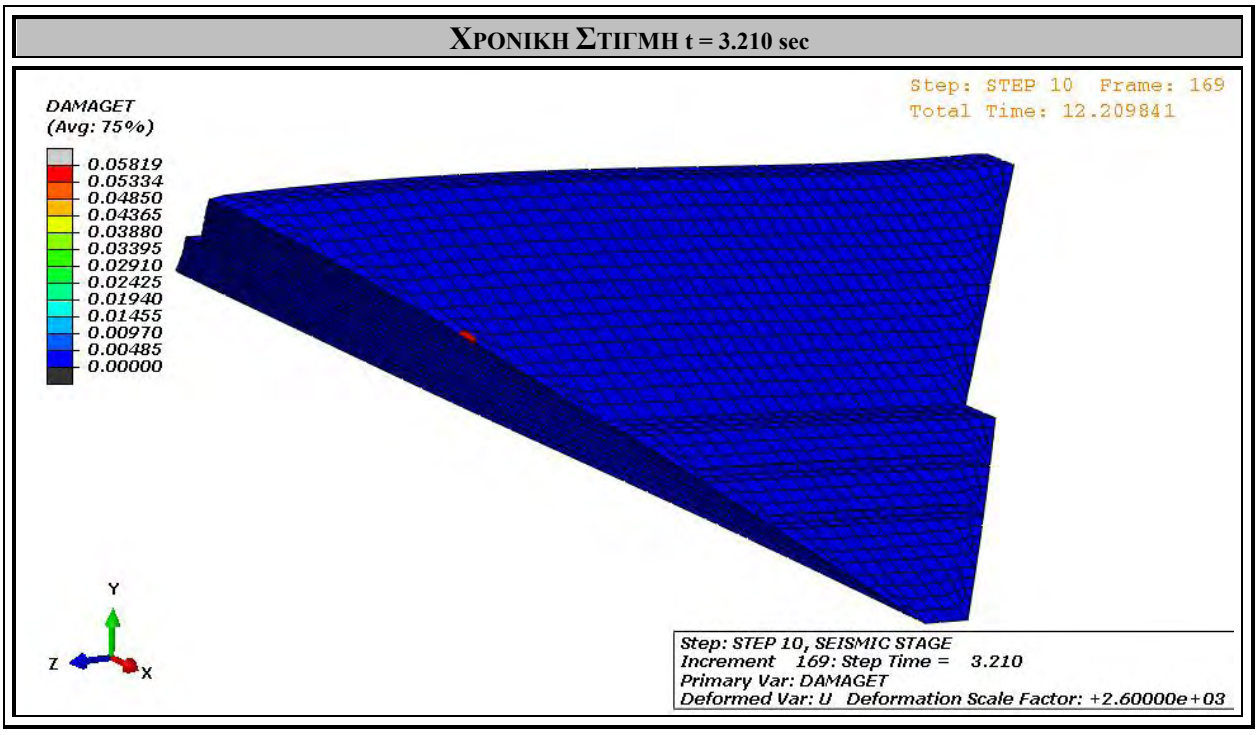


Σχήμα 4.108. *Χρονική μεταβολή οριζόντιας μετακίνησης U_3 [m] του κέντρου της στέψης του φράγματος, για στατικά και δυναμικά φορτία.*

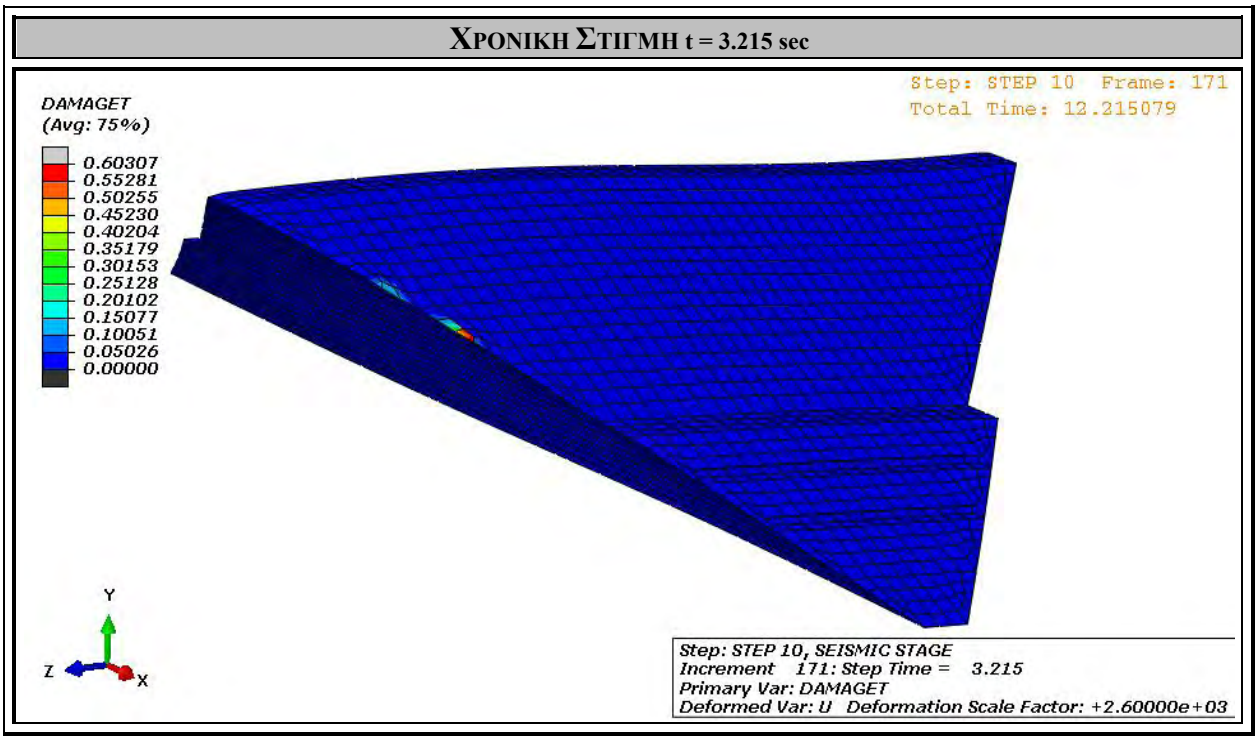
Στα Σχήματα 4.109. – 4.112. αποτυπώνεται η δημιουργία εφελκυστικών βλαβών στο φράγμα, εξαιτίας της σεισμικής κίνησης. Μετά την πλήρωση της λεκάνης με νερό, όπως έχει ήδη αναλυθεί, η κοιλάδα τίθεται σε ταυτόχρονη σεισμική διέγερση κατά τους οριζόντιους άξονες. Αυτό προκαλεί σταδιακά μια παλινδρομική κίνηση του υπεδάφους και των βραχωδών πρανών, κατά την οποία διεγείρεται κατ' επέκταση και το φράγμα. Όπως έχει προκύψει, οι τάσεις που αναπτύσσονται στην κοιλάδα και στο φράγμα υπό τη δράση των σεισμικών φορτίων είναι πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με τα στατικά φορτία και, σε συνδυασμό με τη σύνδεση φράγματος – κοιλάδας και την ταλάντωση που υφίσταται ολόκληρη η κοιλάδα, σε αρκετές χρονικές στιγμές τμήματα του φράγματος υφίστανται έντονο εφελκυσμό. Με βάση λοιπόν το ελαστοπλαστικό καταστατικό μοντέλο *Lee and Fenves* που έχει χρησιμοποιηθεί στο φράγμα, αναμένεται να δημιουργηθούν εφελκυστικές ρωγμές σε περιοχές με τάσεις ανώτερες των 2900 kPa (πτωτικός κλάδος ελαστοπλαστικού μοντέλου).

Τη χρονική στιγμή t = 3.210 sec αρχίζει και δημιουργείται εφελκυστική ρωγμή στην κατάντη πλευρά του φράγματος, στην πλευρά του δεξιού αντερείσματος, κοντά στη στέψη. Όσο προχωρά η ανάλυση, γίνεται εμφανές ότι η εφελκυστική ρωγμή διαδίδεται βαθμιαία και προς τα άνω, τη χρονική στιγμή t = 3.215 sec και t = 3.219 sec, και τη χρονική στιγμή t = 3.223 sec λαμβάνει το μέγιστο εύρος της και δεν υφίσταται μεγαλύτερη διάδοση εως και το πέρας της διέγερσης. Στη συγκεκριμένη περιοχή είναι αδύνατον να αναληφθούν περαιτέρω τάσεις.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

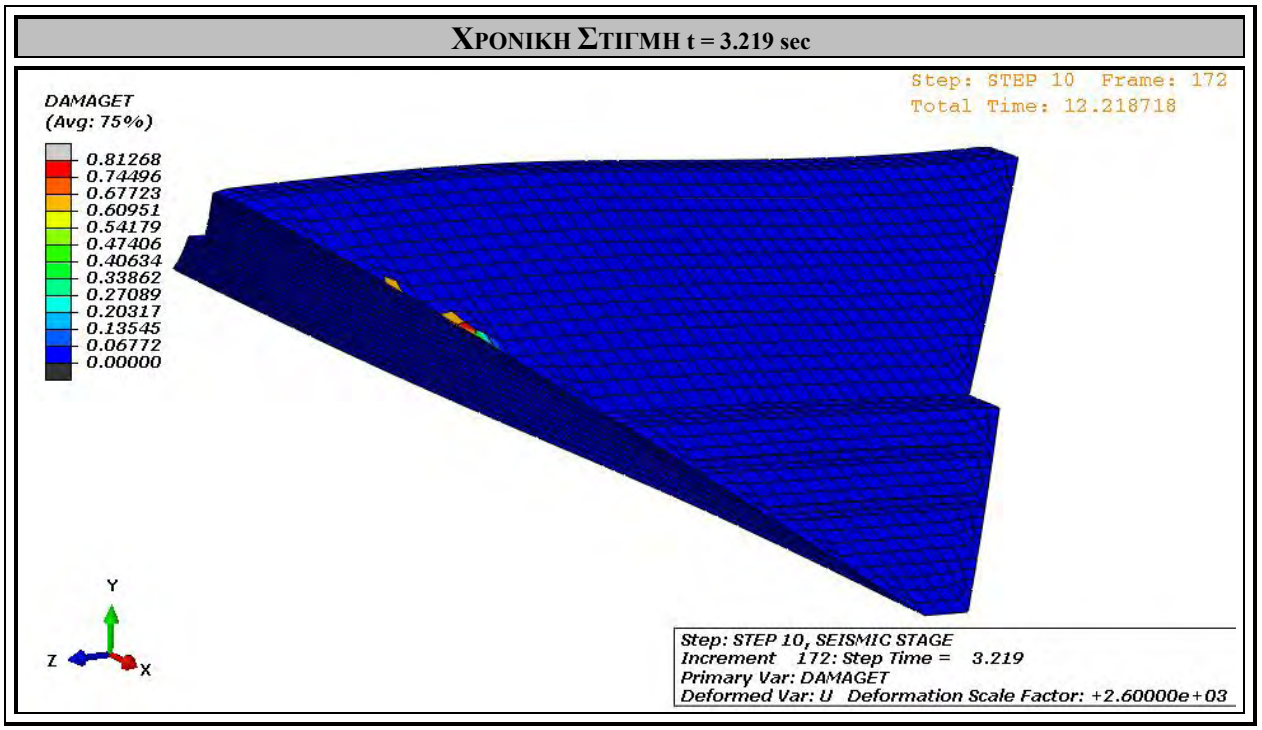


Σχήμα 4.109. *Έμφάνιση εφελκυστικών βλαβών στην δεξιά παρειά του φράγματος (στην κατάντη πλευρά, στο δεξί αντέρεισμα) τη χρονική στιγμή t = 3.210 sec.*

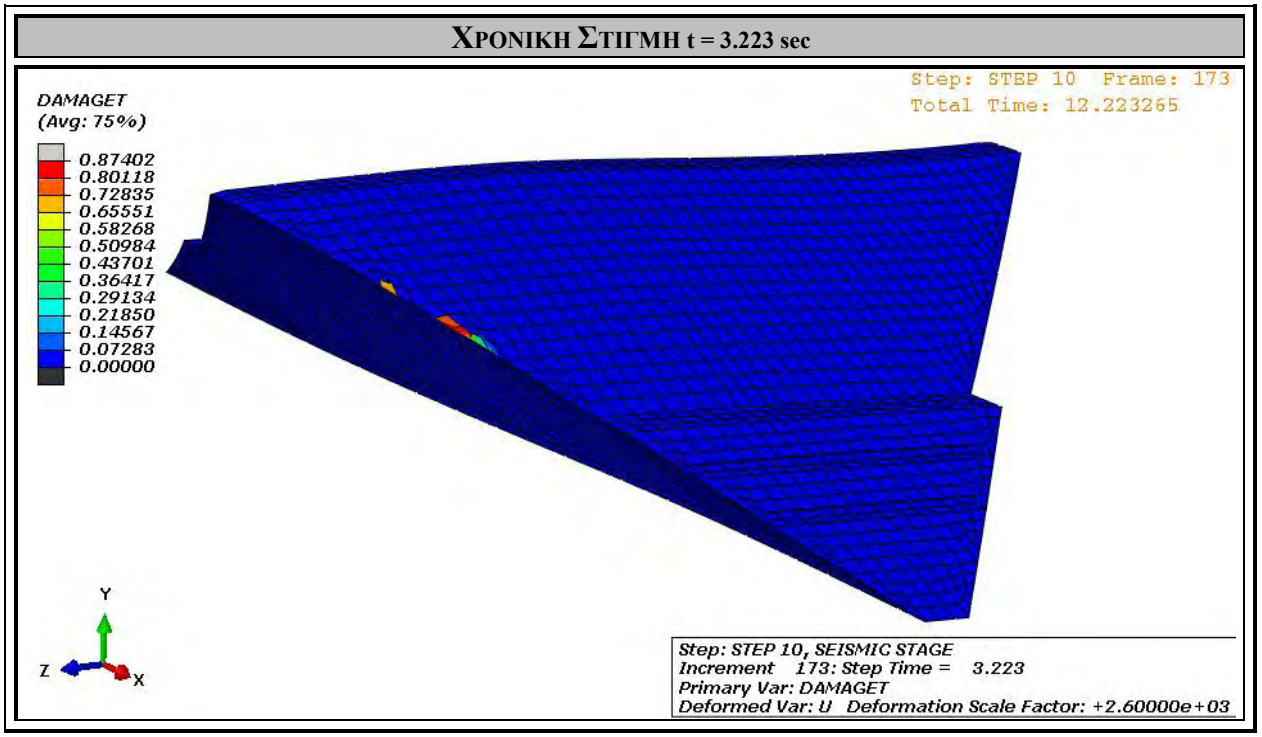


Σχήμα 4.110. *Επέκταση εφελκυστικών βλαβών στην δεξιά παρειά του φράγματος (στην κατάντη πλευρά, στο δεξί αντέρεισμα) τη χρονική στιγμή t = 3.215 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



Σχήμα 4.111. *Επέκταση εφελκυστικών βλαβών στην δεξιά παρειά του φράγματος (στην κατάντη πλευρά, στο δεξί αντέρεισμα) τη χρονική στιγμή t = 3.219 sec.*

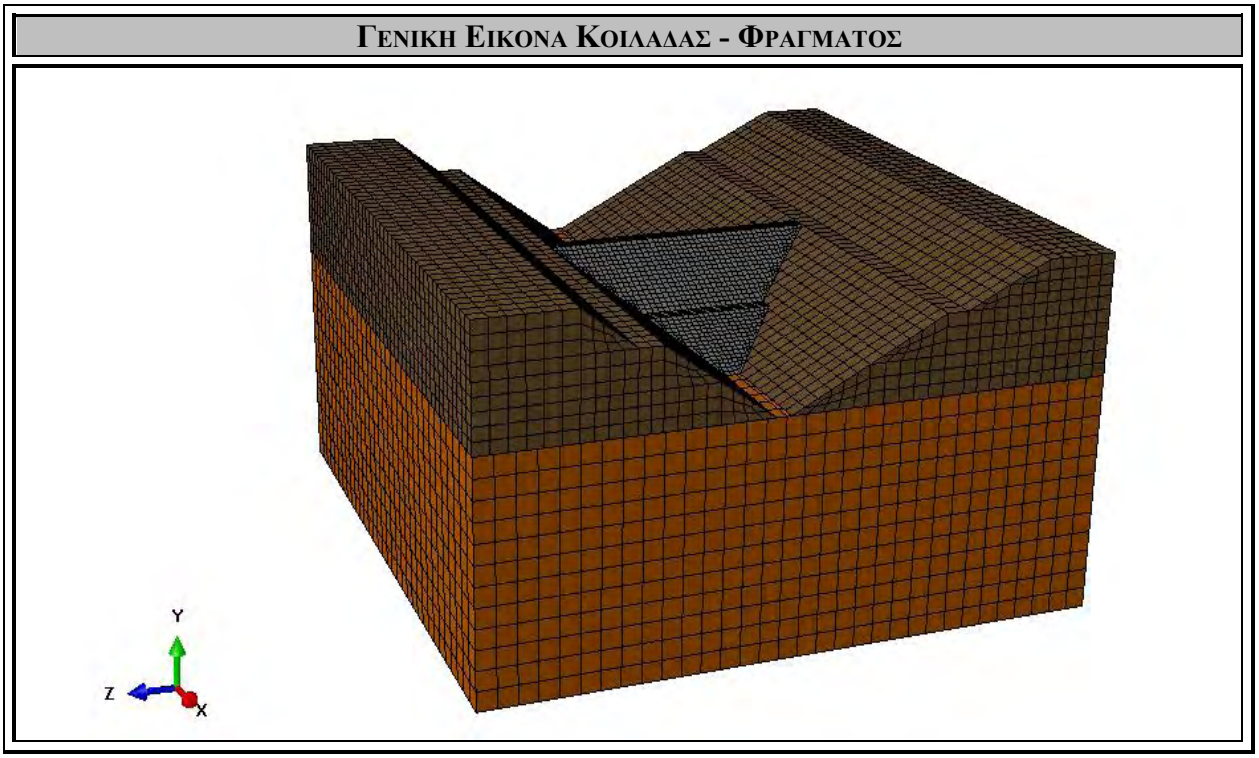


Σχήμα 4.112. *Επέκταση εφελκυστικών βλαβών στην δεξιά παρειά του φράγματος (στην κατάντη πλευρά, στο δεξί αντέρεισμα) τη χρονική στιγμή t = 3.223 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

4.3.1.2. ΥΠΕΔΑΦΟΣ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Ε**, ΠΡΑΝΗ: **ΓΕΩΫΛΙΚΟ Δ**

Στα Σχήματα 4.114. – 4.182. εξετάζεται και αναλύεται η περίπτωση του μονοστρωματικού υπεδάφους, στο οποίο θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Ε (E = 60 GPa, ν = 0.22) (Παράρτημα), και η περίπτωση των μονοστρωματικών βραχωδών πρανών, στα οποία θεωρείται ότι το κύριο βραχώδες υλικό που εντοπίζεται είναι το Γεωϋλικό Δ (E = 40 GPa, ν = 0.20) (Παράρτημα). Συνεπώς, εξετάζεται η περίπτωση μιας κοιλάδας της οποίας το υπέδαφος και τα βραχώδη πρανή είναι περισσότερο συμπιεστά από την προηγούμενη ανάλυση. Μετά την σταδιακή κατασκευή του φράγματος και την πλήρωση της λεκάνης με νερό (εφαρμογή στατικών φορτίων βάρους φράγματος και υδροστατικής πίεσης), η κοιλάδα υποβάλλεται σε ταυτόχρονη σεισμική διέγερση κατά τις οριζόντιες διευθύνσεις X και Z, μεγέθους M = 6.5 R, μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης A = 0.47g, και διάρκειας 10 sec. Στα σχήματα που ακολουθούν αποτυπώνονται (i) η κατανομή των τάσεων *Von Mises S*, (ii) οι κατακόρυφες βυθίσεις U_2, (iii) η χρονική μεταβολή των μετατοπίσεων U_1, U_2 και U_3 του κέντρου της στέψης του φράγματος και (iv) οι βλάβες στο σώμα του φράγματος που δημιουργούνται εξαιτίας των σεισμικών φορτίων ανά συγκεκριμένες χρονικές στιγμές, κατά τη διάρκεια της διέγερσης.



Σχήμα 4.113. *Κοιλάδα με υλικό υπεδάφους γεωϋλικό Ε και υλικό πρανών γεωϋλικό Δ.*

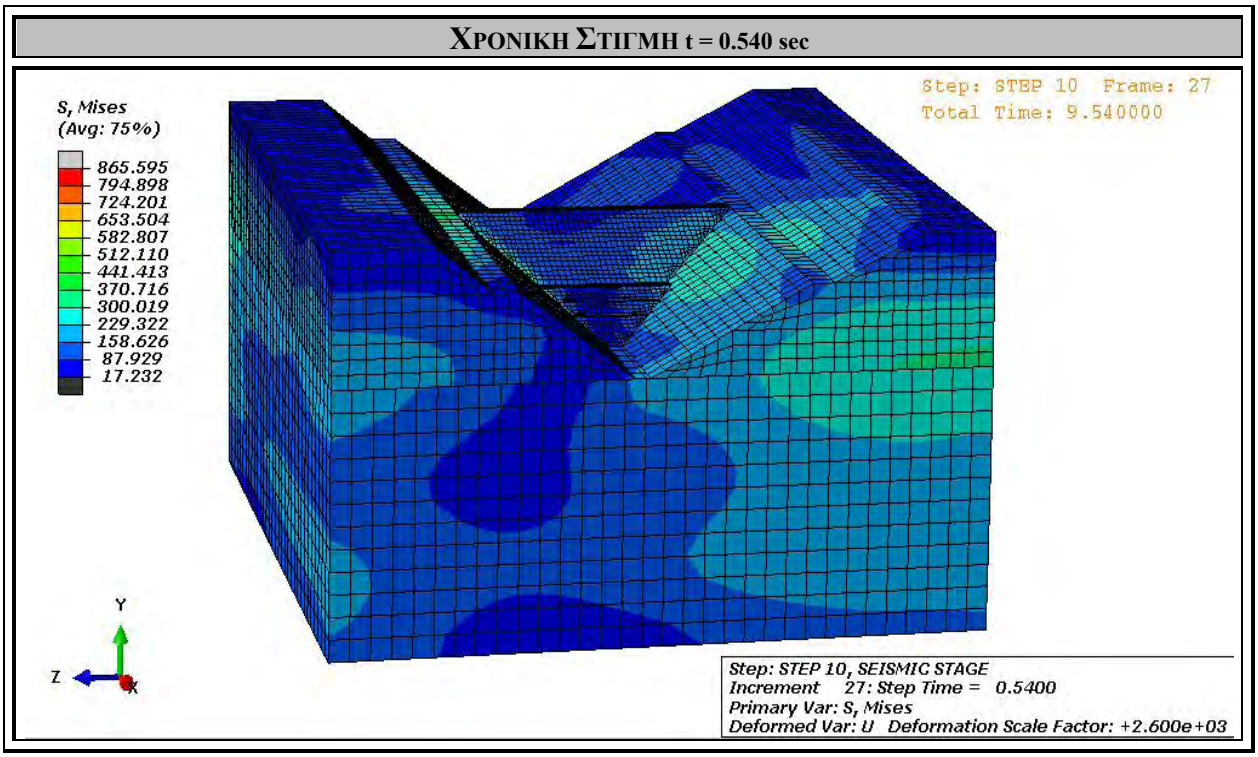
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Στα Σχήματα 4.114. – 4.135. αποτυπώνεται η κατανομή των τάσεων *Von Mises S* που αναπτύσσονται στην περιοχή της κοιλάδας και του φράγματος, με τη δράση της ταυτόχρονης κατά τις δύο οριζόντιες διευθύνσεις σεισμικής διέγερσης, μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης A = 0.47g και συνολικής διάρκειας 10 sec. Στη δυναμική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, η κοιλάδα αποτελείται από λιγότερο ασυμπίεστο και σκληρό υπέδαφος (E_F = 60 GPa) και λιγότερο ασυμπίεστα και λιγότερο σκληρά βραχώδη πρανή (E_V = 40 GPa). Αυτό οδηγεί στην ανάληψη πολύ υψηλών τάσεων από το υπόβαθρο που δημιουργούνται από τον σεισμό. Παρ'όλα αυτά, επειδή στην περίπτωση αυτή τα γεωϋλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι περισσότερο μαλακά και συμπιεστά, με την ταλάντωση που προκαλείται στην κοιλάδα, τα βραχώδη πρανή και το υπέδαφος υφίστανται μεγαλύτερες βυθίσεις και μετατοπίσεις, με αποτέλεσμα τμήματα του φράγματος να υφίστανται τοπικό εφελκυσμό και μεγαλύτερες παραμορφώσεις. Τα γεωϋλικά που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι υγιή, με σκοπό την αποφυγή ρηγματώσεων και αστοχιών στη μάζα τους.

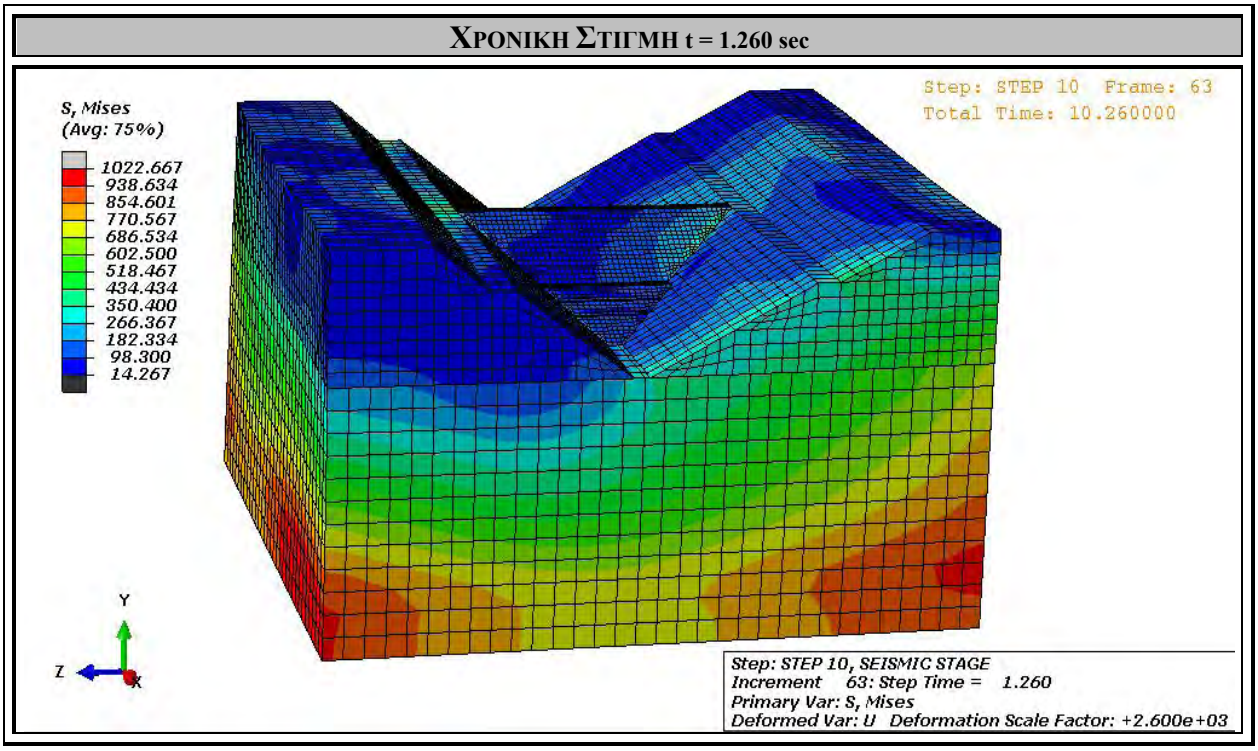
Ειδικότερα, από τη χρονική στιγμή t_6 = 2.985 sec έως και τη χρονική στιγμή t_{16} = 5.441 sec, στην κοιλάδα αναπτύσσονται οι μεγαλύτερες τάσεις, με μέγιστη τιμή τάσης S_{max} = 7464 kPa τη χρονική στιγμή t_{10} = 3.736 sec, στο υπέδαφος. Από τη χρονική στιγμή αυτή και έπειτα, έως και το πέρας της σεισμικής διέγερσης, στο σώμα του φράγματος δημιουργούνται βλάβες εφελκυστικού τύπου, κάτι το οποίο οδηγεί σε παραμένουσες τάσεις. Τη χρονική στιγμή t_{24} = 10.000 sec, η μέγιστη παραμένουσα τάση στο φράγμα είναι ίση με $S_{rem,max}$ = 4754 kPa. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι μέγιστες τάσεις Von Mises S που αναπτύσσονται στην κοιλάδα, σε ορισμένες από τις χρονικές στιγμές που μελετήθηκε το σεισμικό φαινόμενο.

ΧΡΟΝΙΚΗ ΣΤΙΓΜΗ t [sec]	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΑΣΗ VON MISES [kPa]
0.540	865.60
1.260	1022.67
2.346	2962.15
2.985	5506.73
3.277	5175.81
3.558	7505.86
3.736	7463.88
4.040	5801.69
4.334	6917.54
5.032	5269.34
5.441	5782.76
6.576	4500.56
7.098	3841.78
8.152	4948.81
9.232	4278.04
10.000	4753.99

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

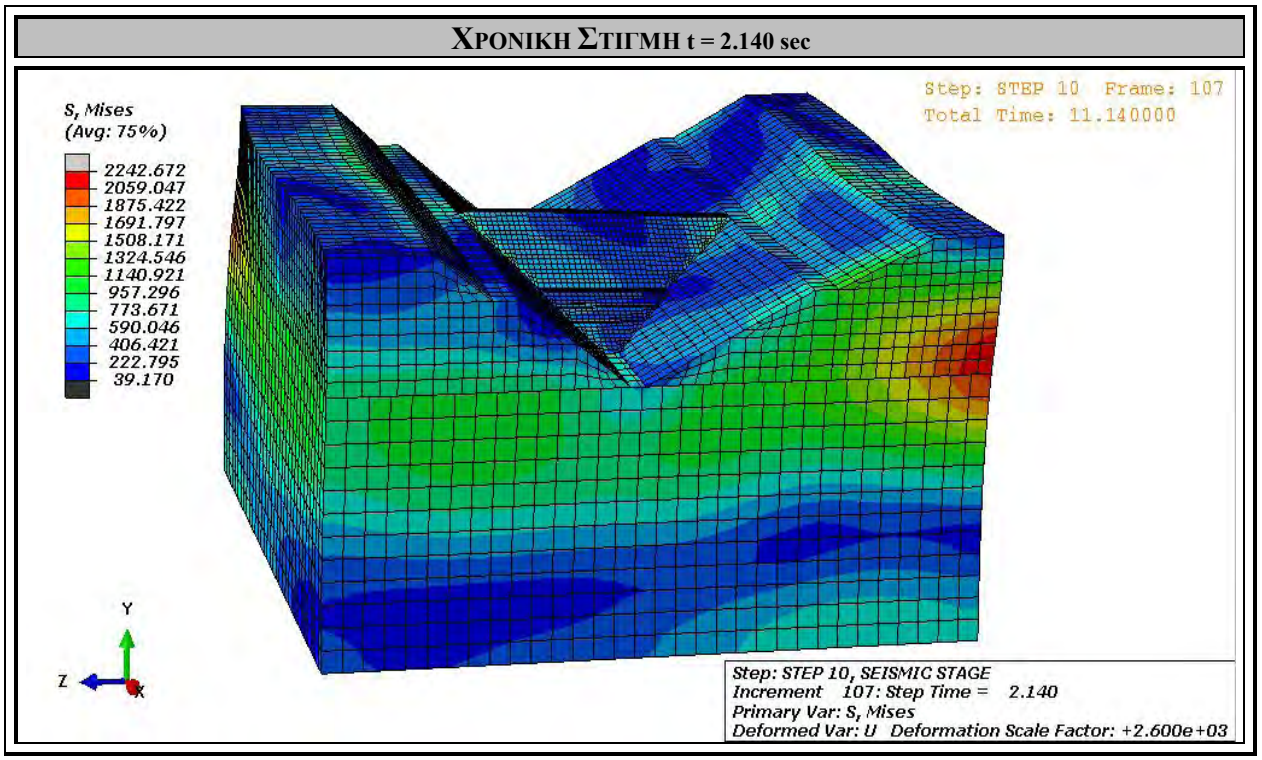


Σχήμα 4.114. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_1 = 0.540 sec.*

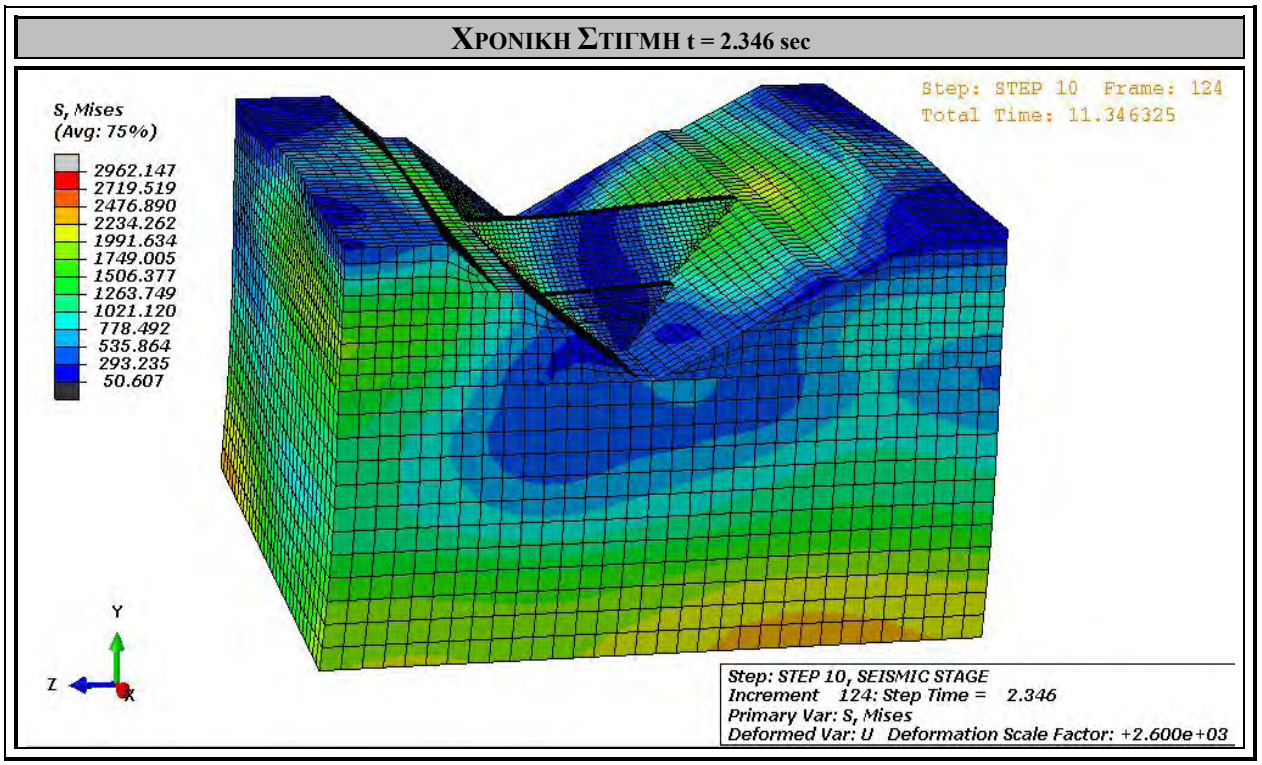


Σχήμα 4.115. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_2 = 1.260 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

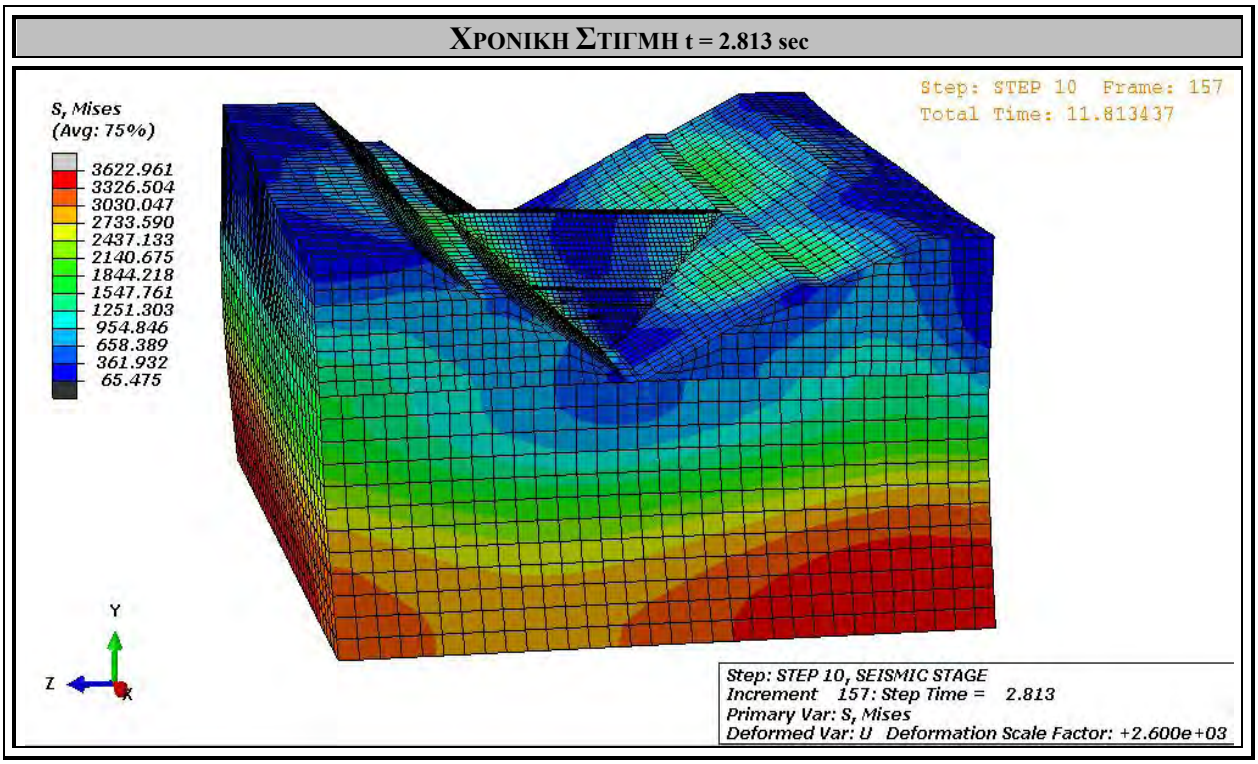


Σχήμα 4.116. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_3 = 2.140 sec.*

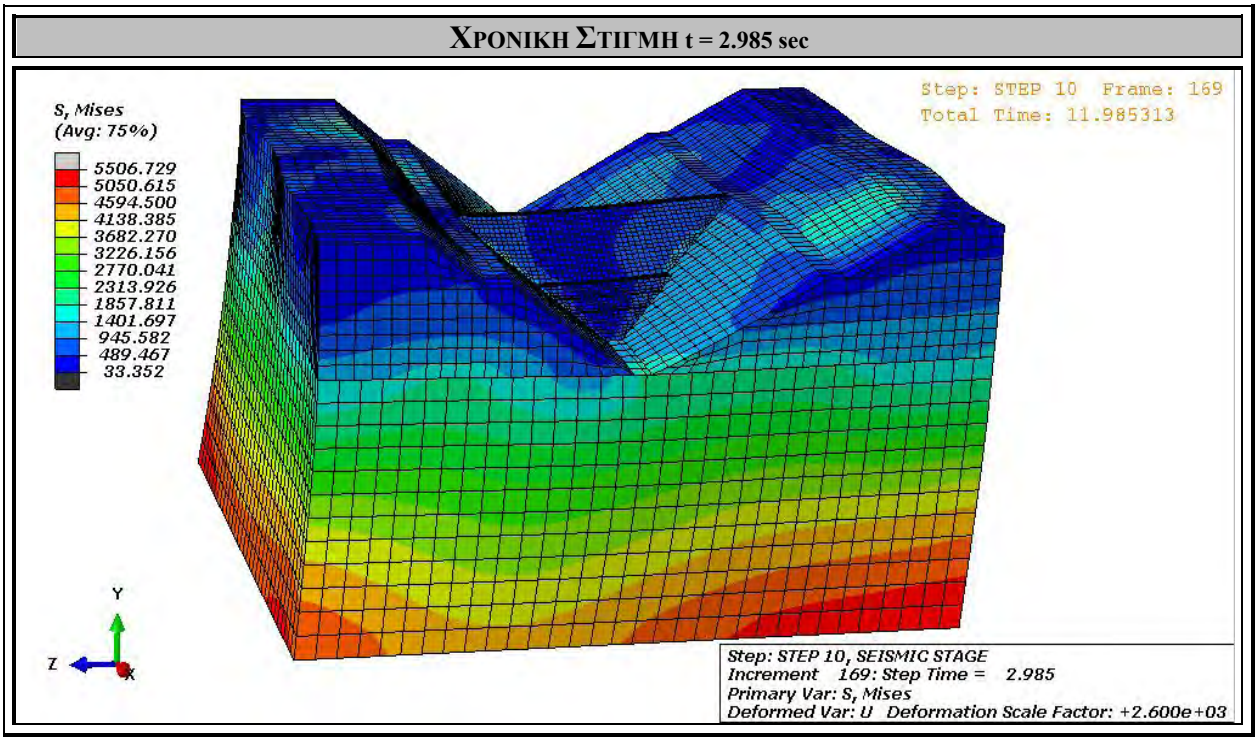


Σχήμα 4.117. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_4 = 2.346 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

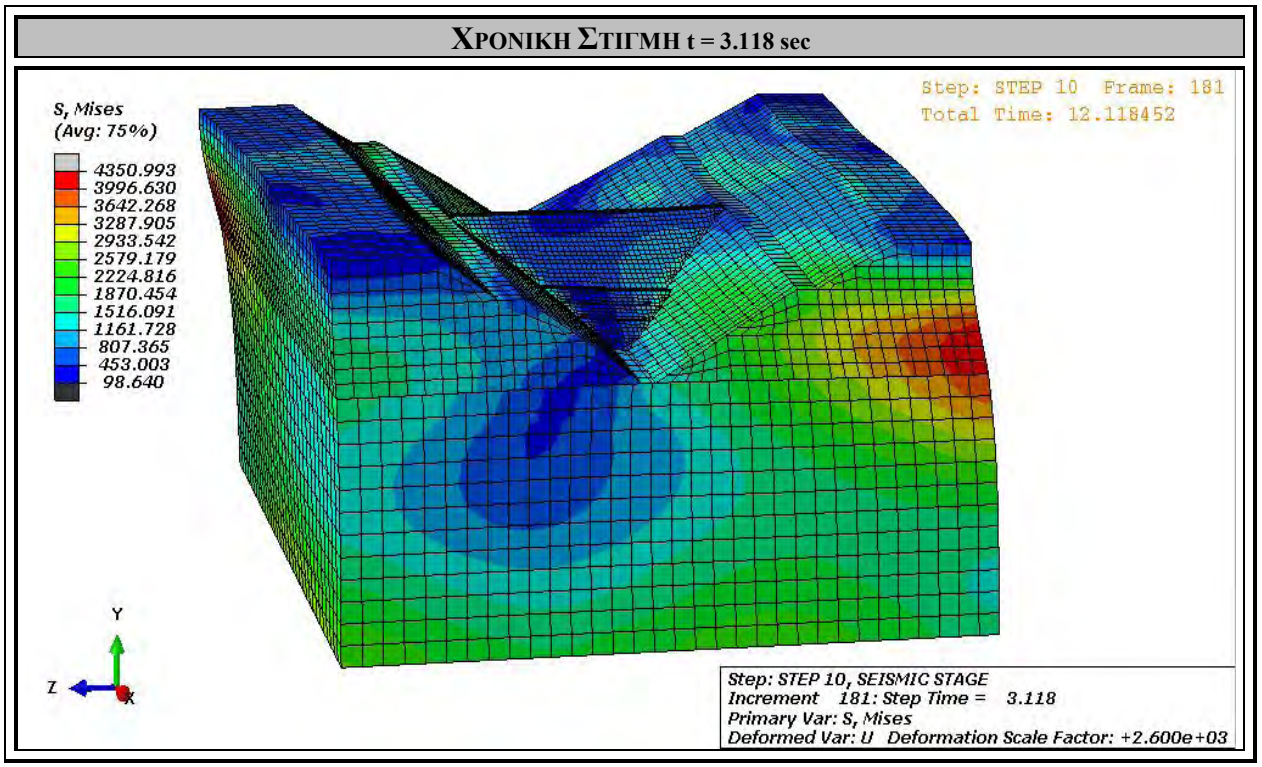


Σχήμα 4.118. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_5 = 2.813 sec.*

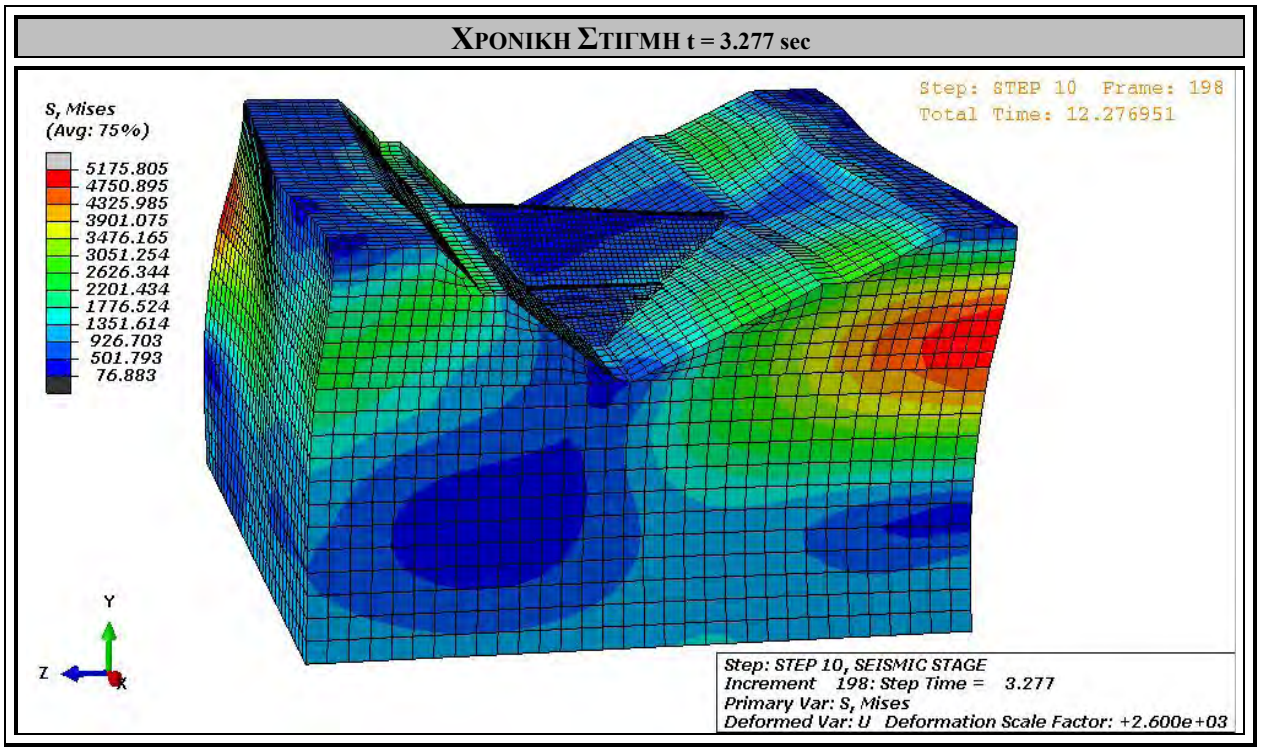


Σχήμα 4.119. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_6 = 2.985 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

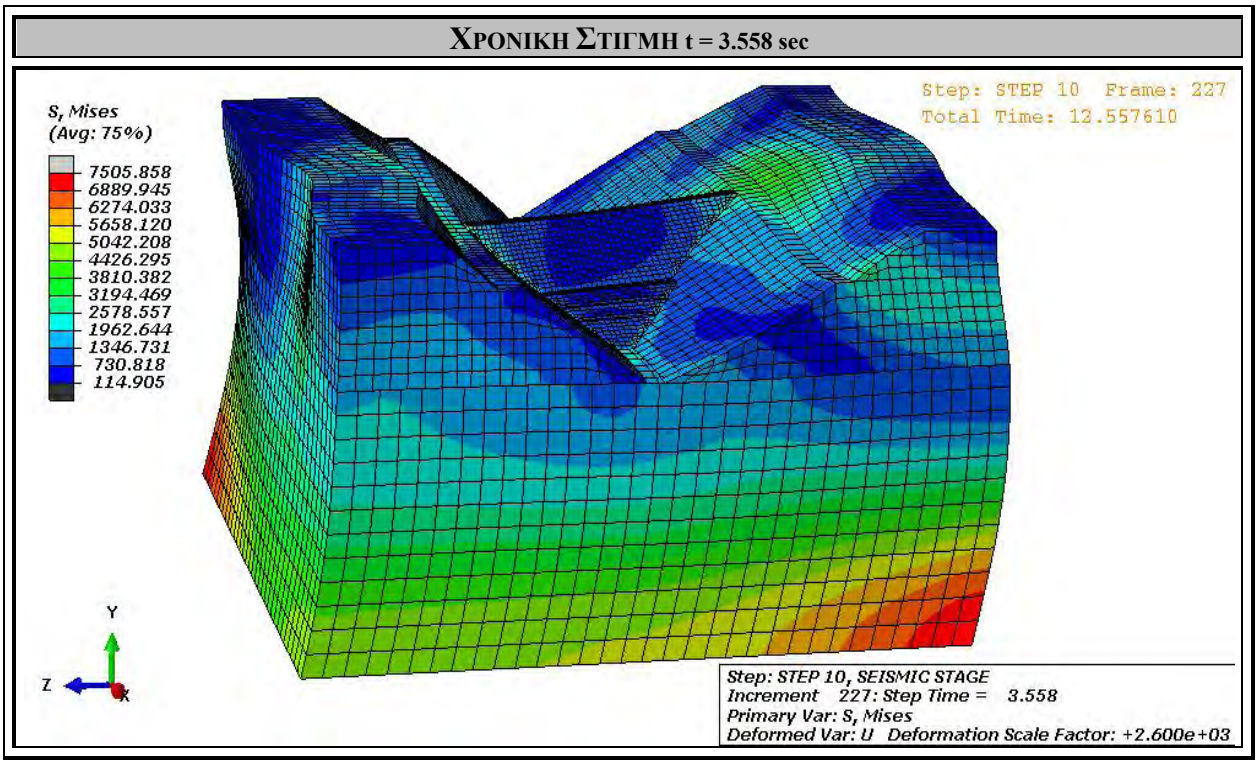


Σχήμα 4.120. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_7 = 3.118 sec.*

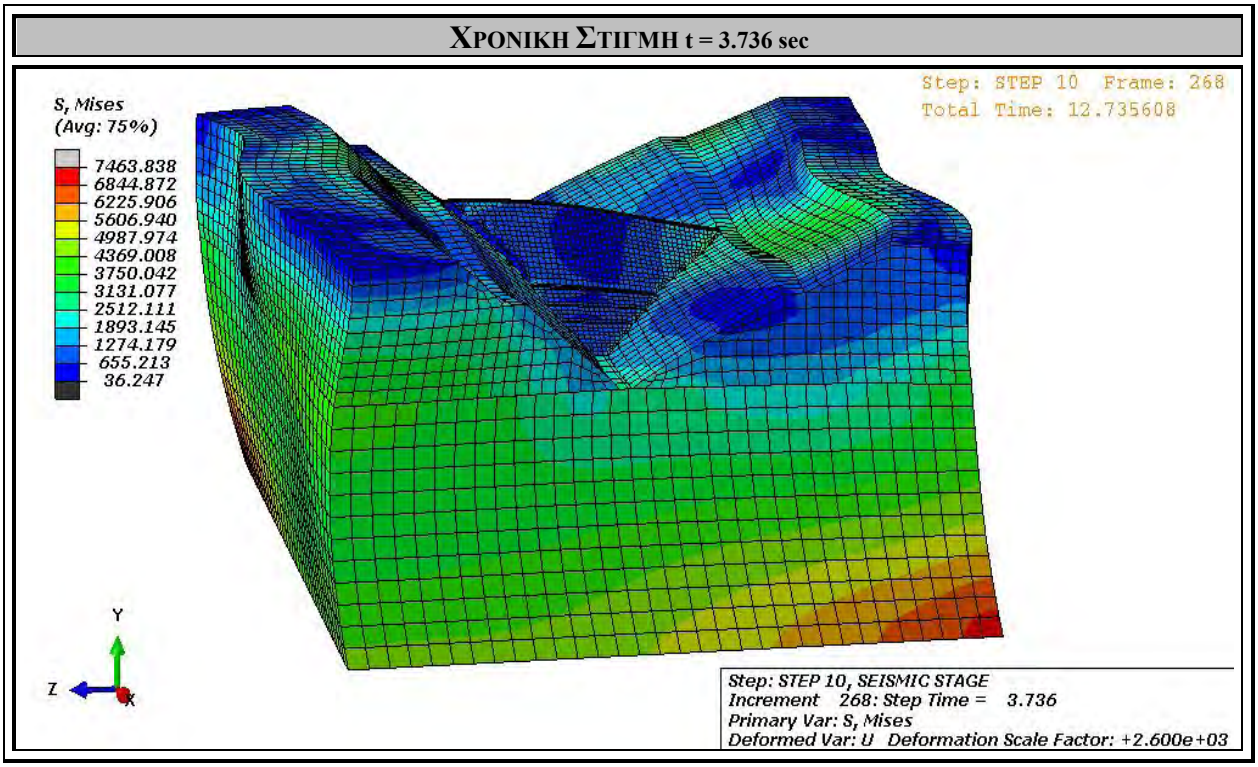


Σχήμα 4.121. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_8 = 3.277 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

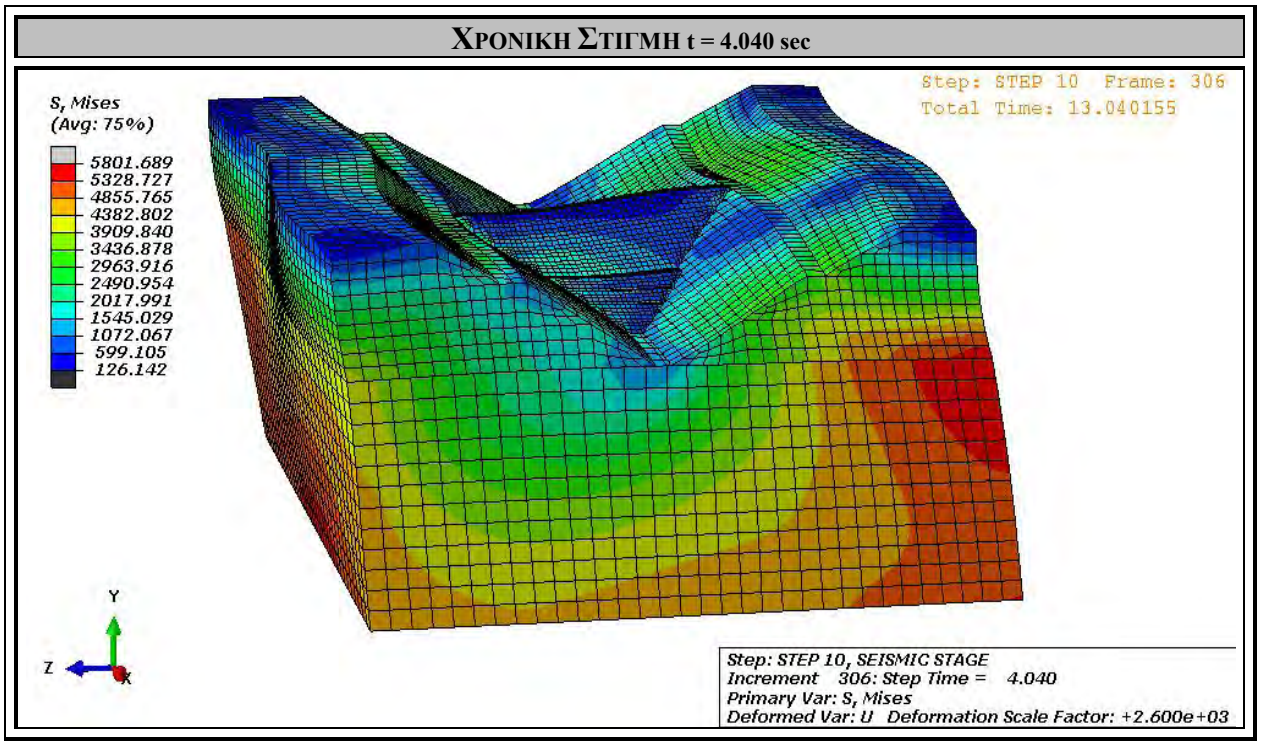


Σχήμα 4.122. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_9 = 3.558 sec.*

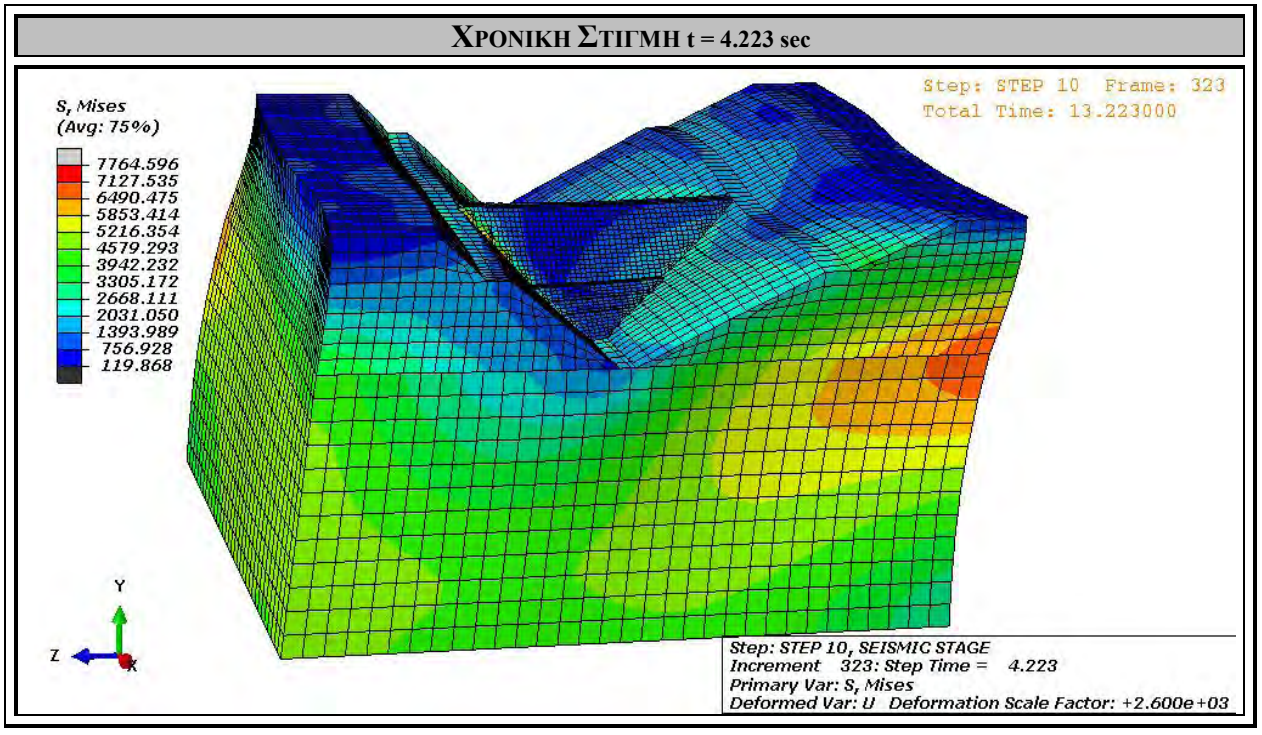


Σχήμα 4.123. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{10} = 3.736 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

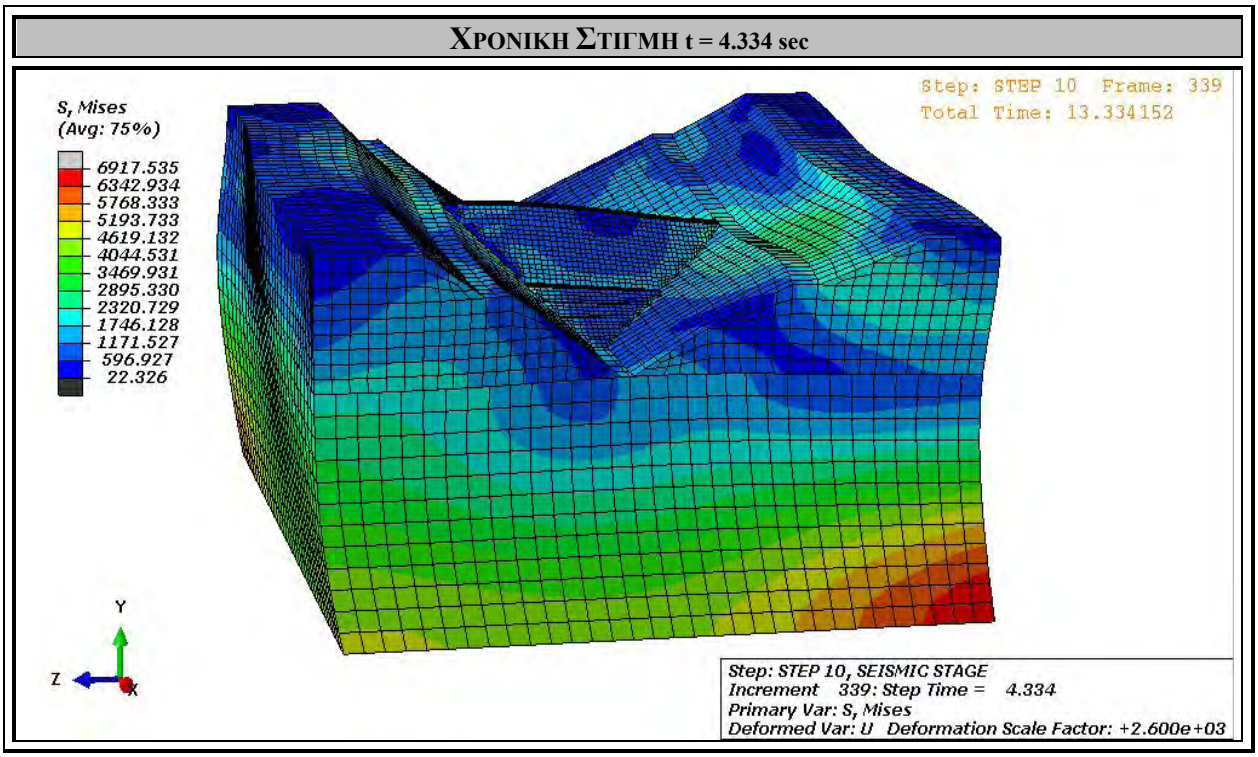


Σχήμα 4.124. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{11} = 4.040 sec.*

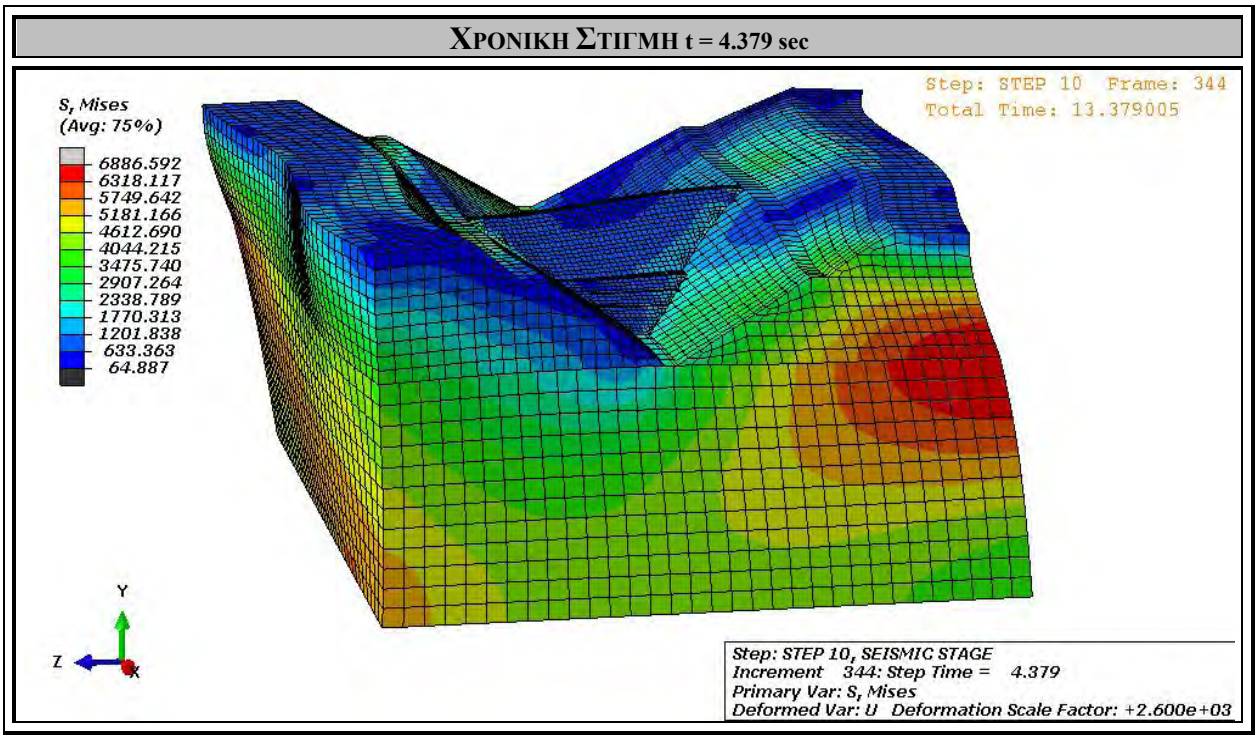


Σχήμα 4.125. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{12} = 4.223 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

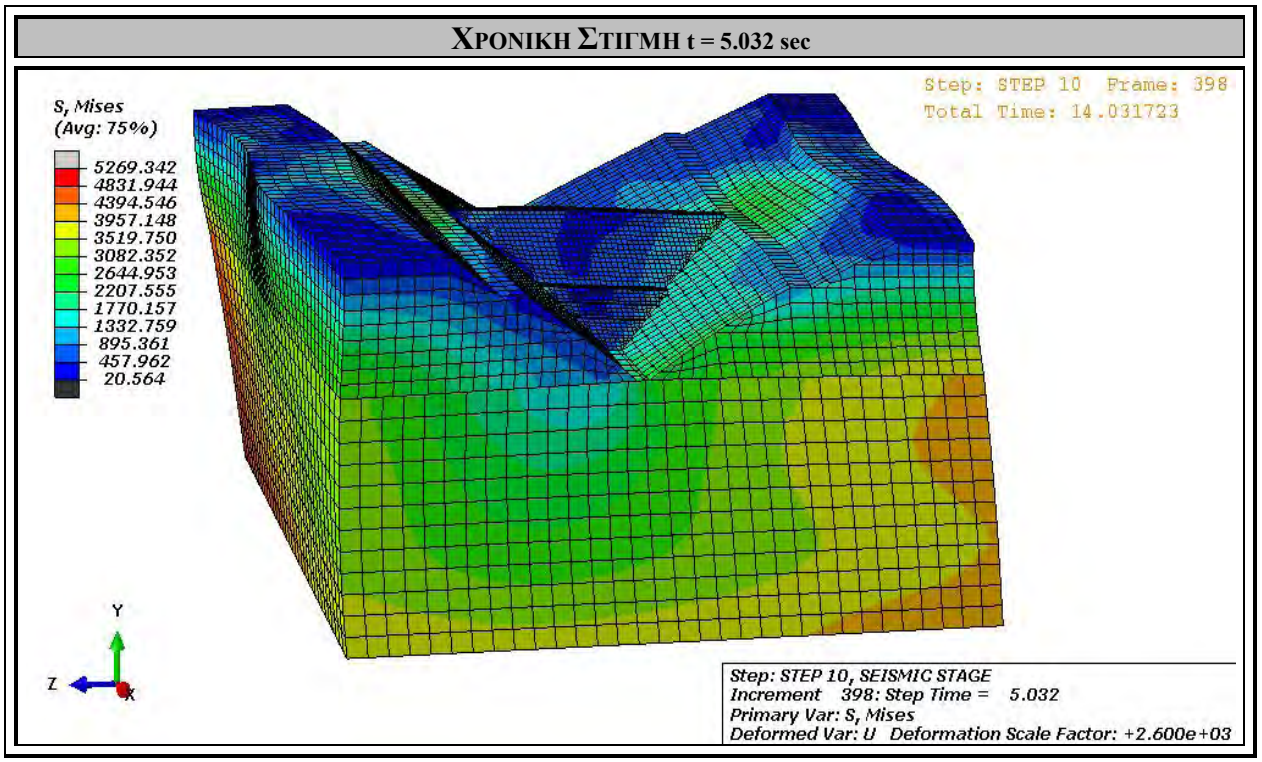


Σχήμα 4.126. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{13} = 4.334 sec.*

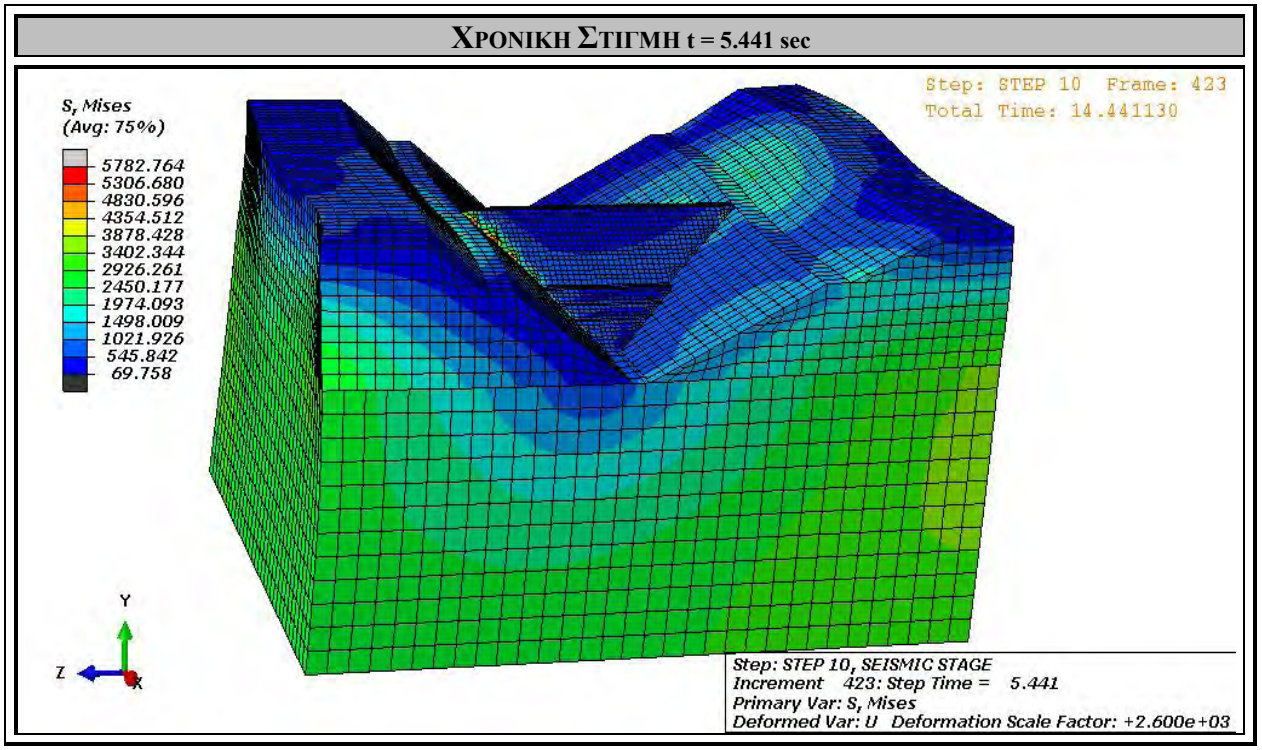


Σχήμα 4.127. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{14} = 4.379 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

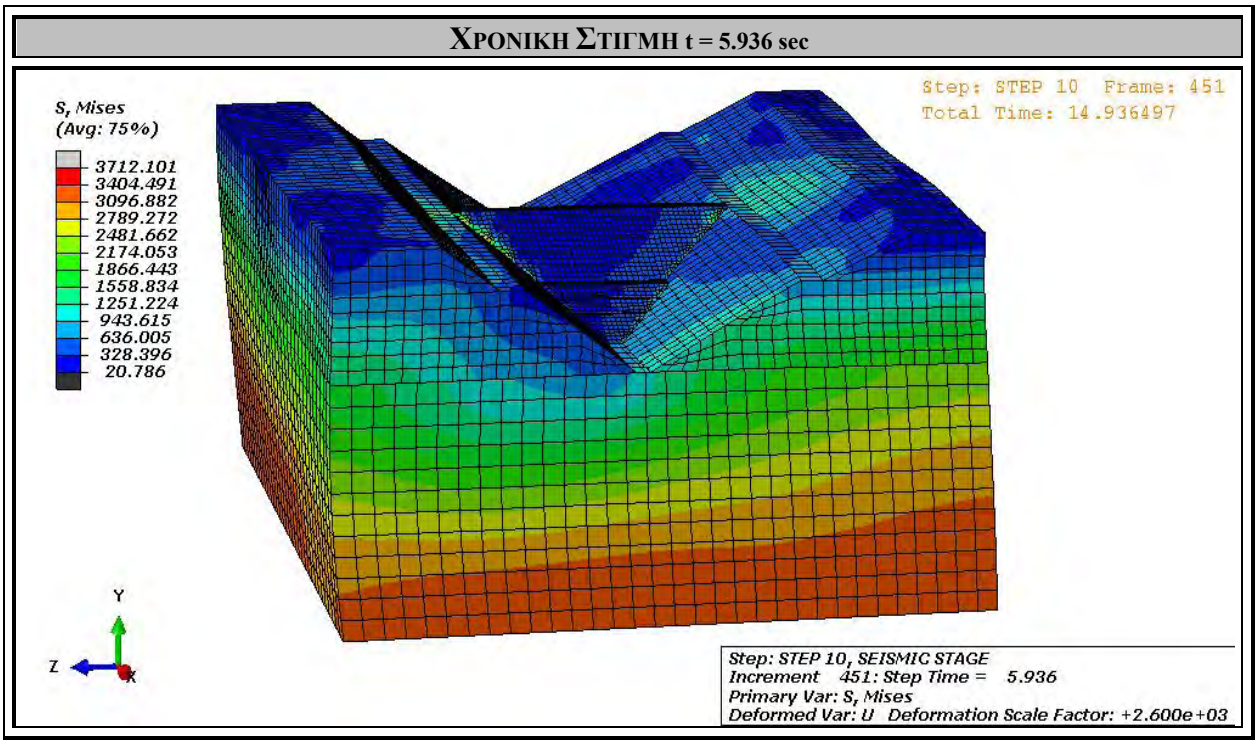


Σχήμα 4.128. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{15} = 5.032 sec.*

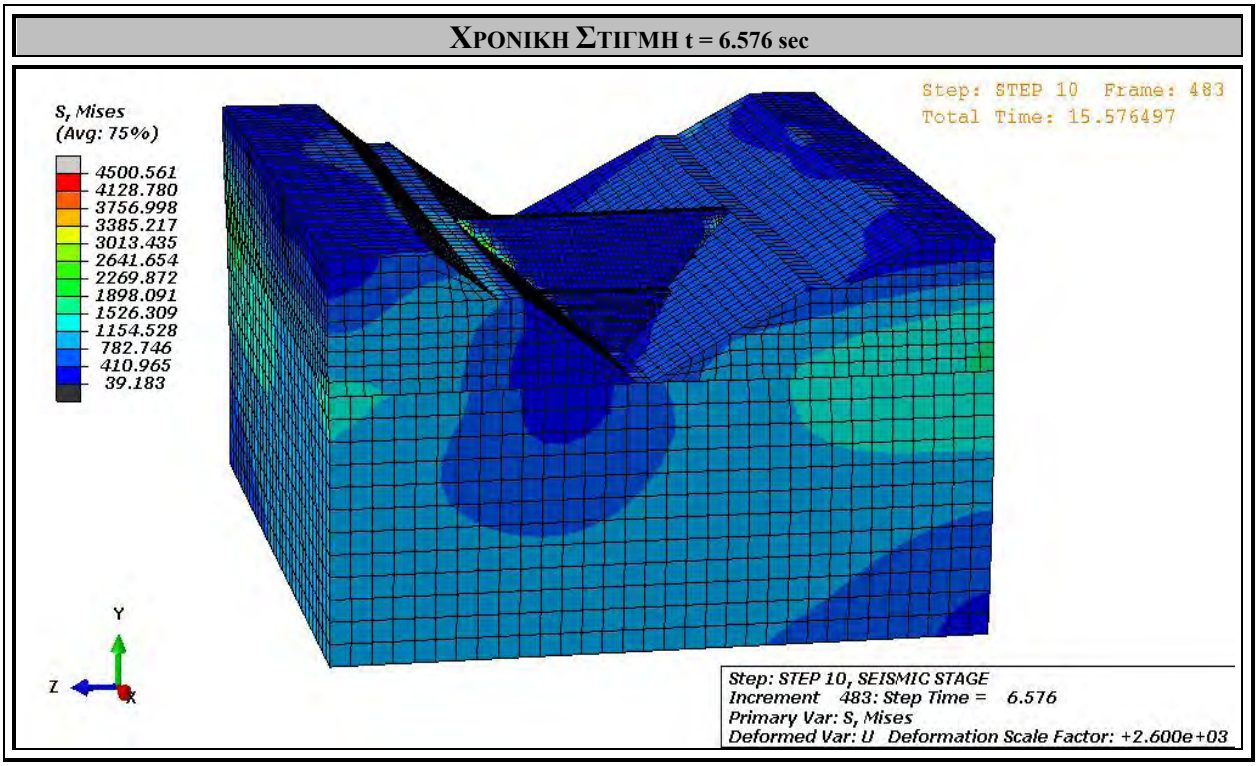


Σχήμα 4.129. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{16} = 5.441 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

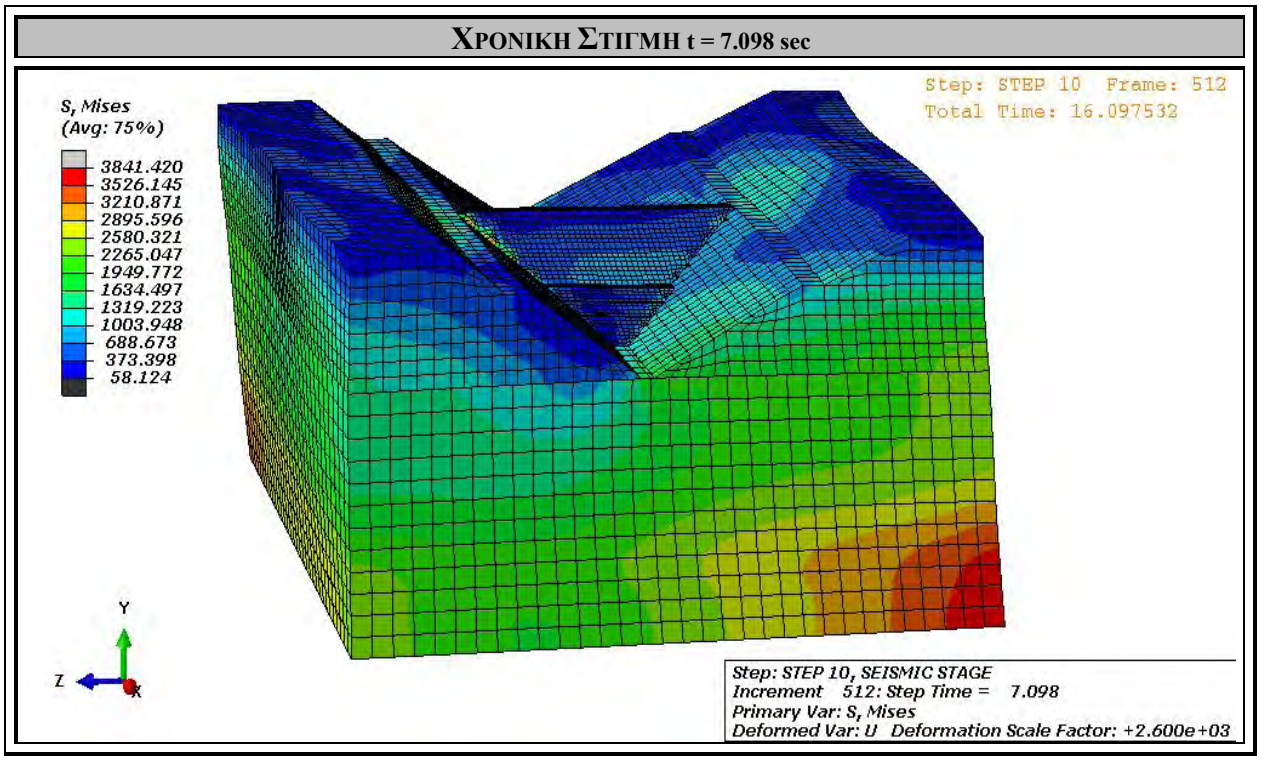


Σχήμα 4.130. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{17} = 5.936 sec.*

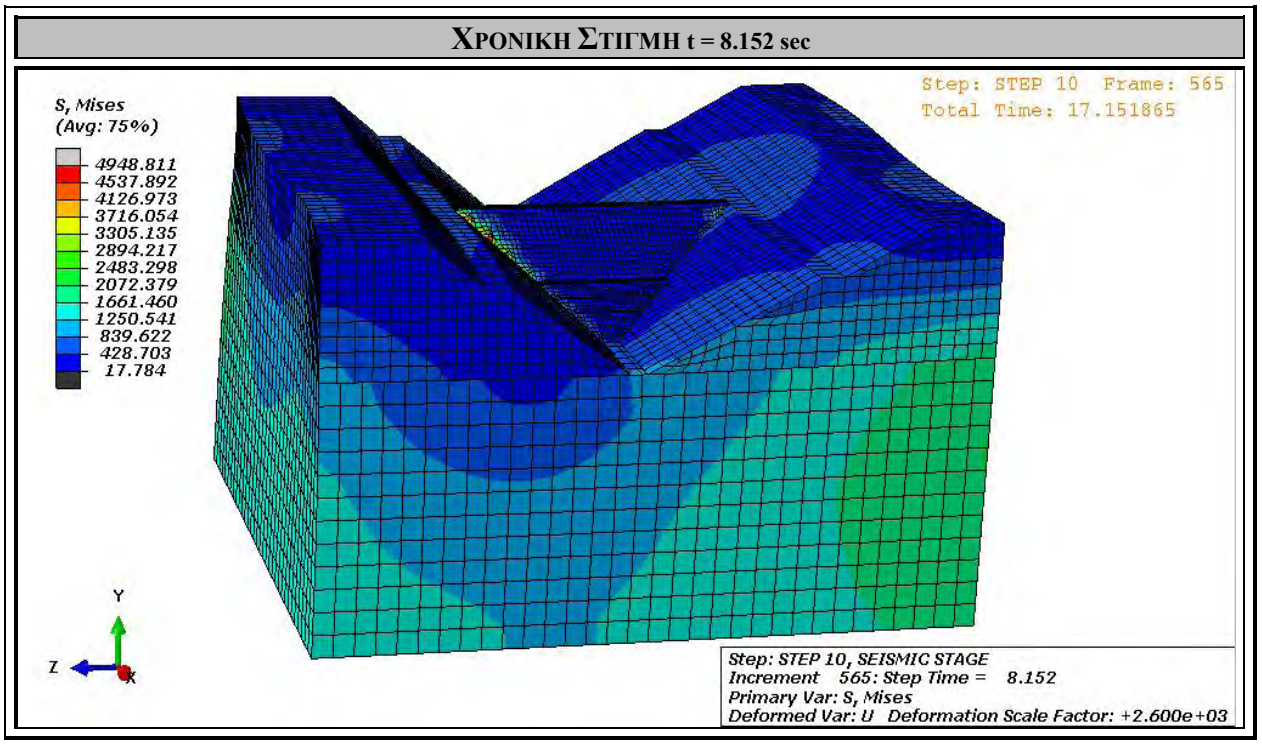


Σχήμα 4.131. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{18} = 6.576 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

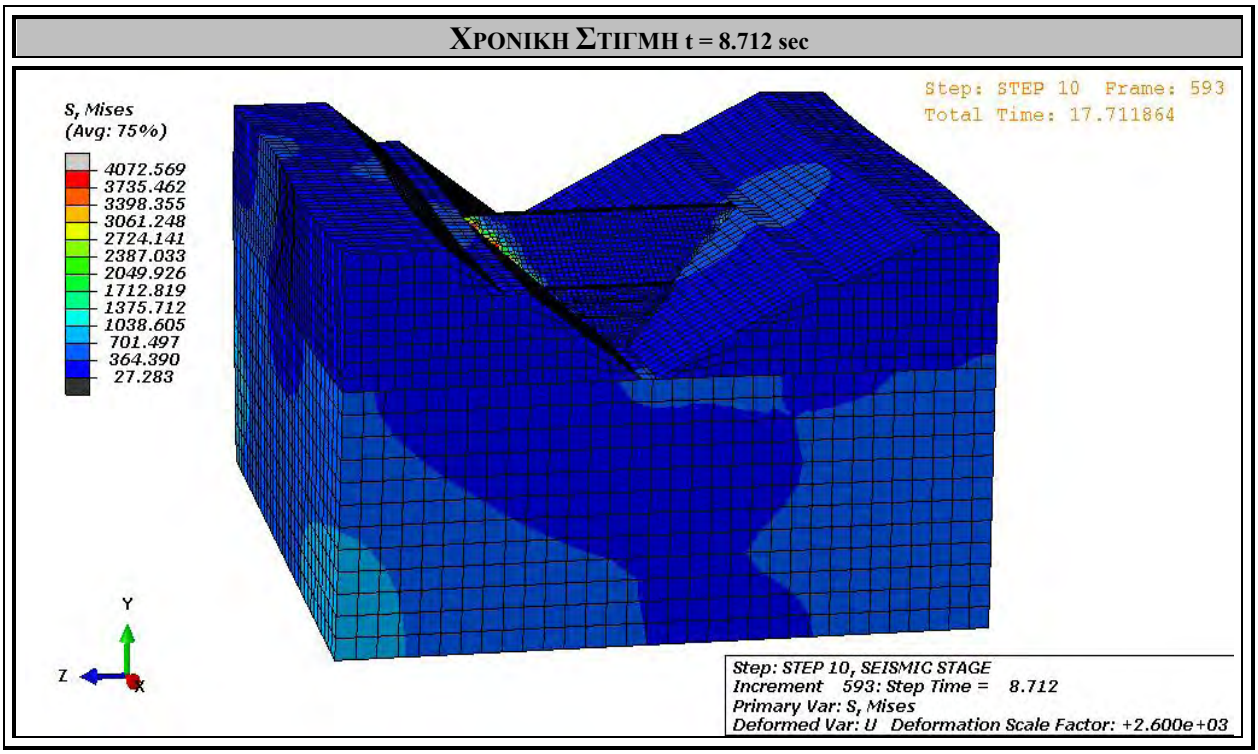


Σχήμα 4.132. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{19} = 7.098 sec.*

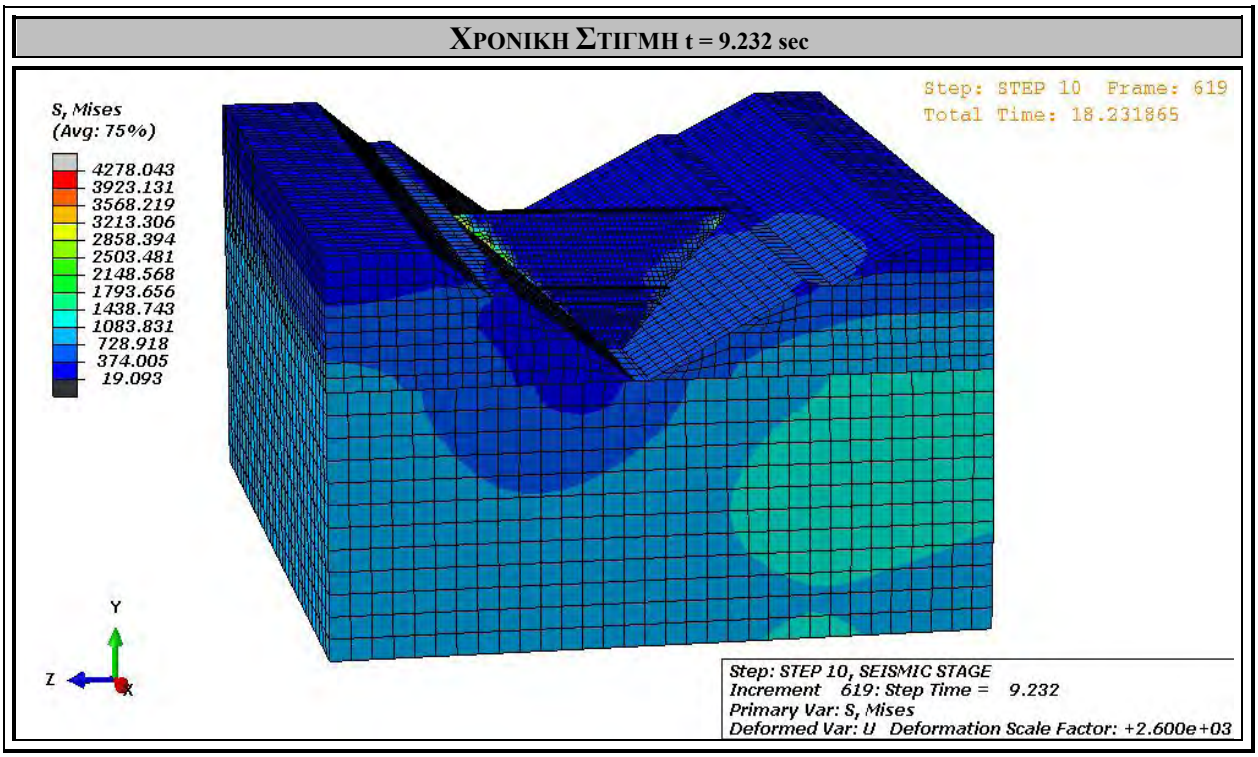


Σχήμα 4.133. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{20} = 8.152 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

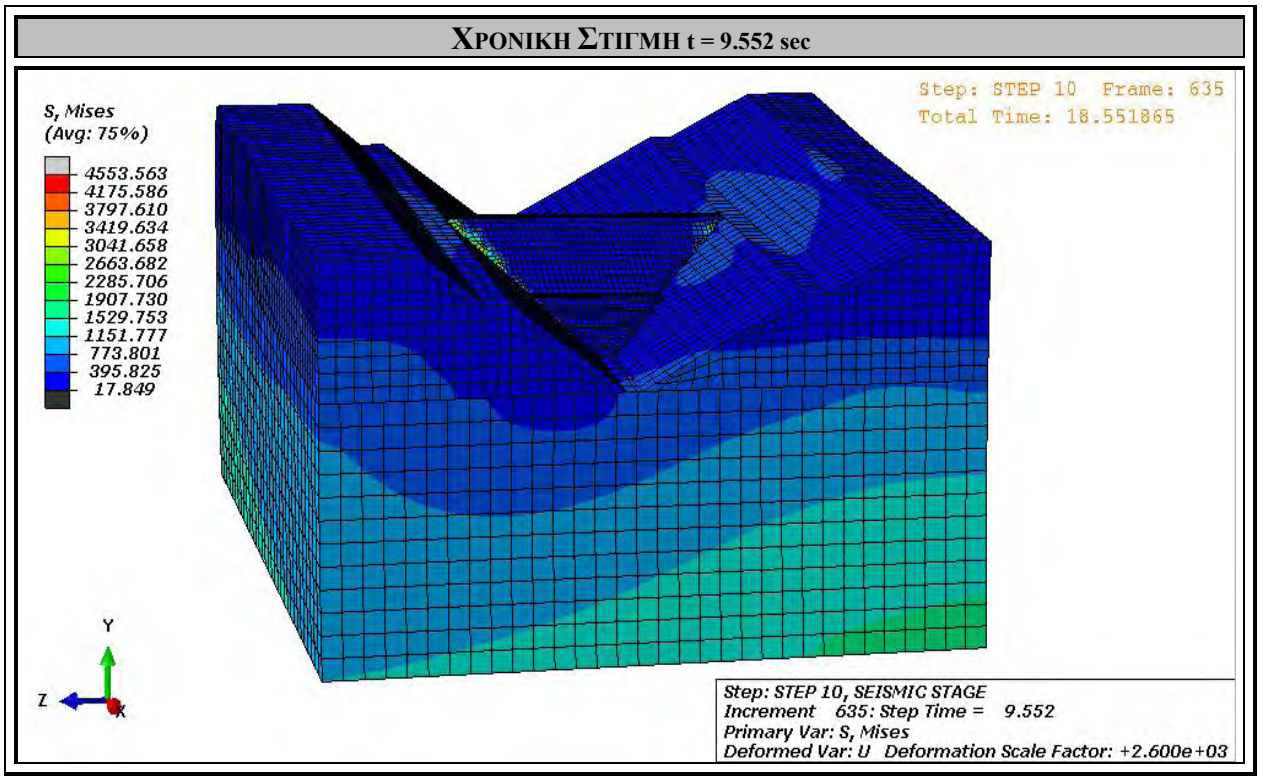


Σχήμα 4.134. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{21} = 8.712 sec.*

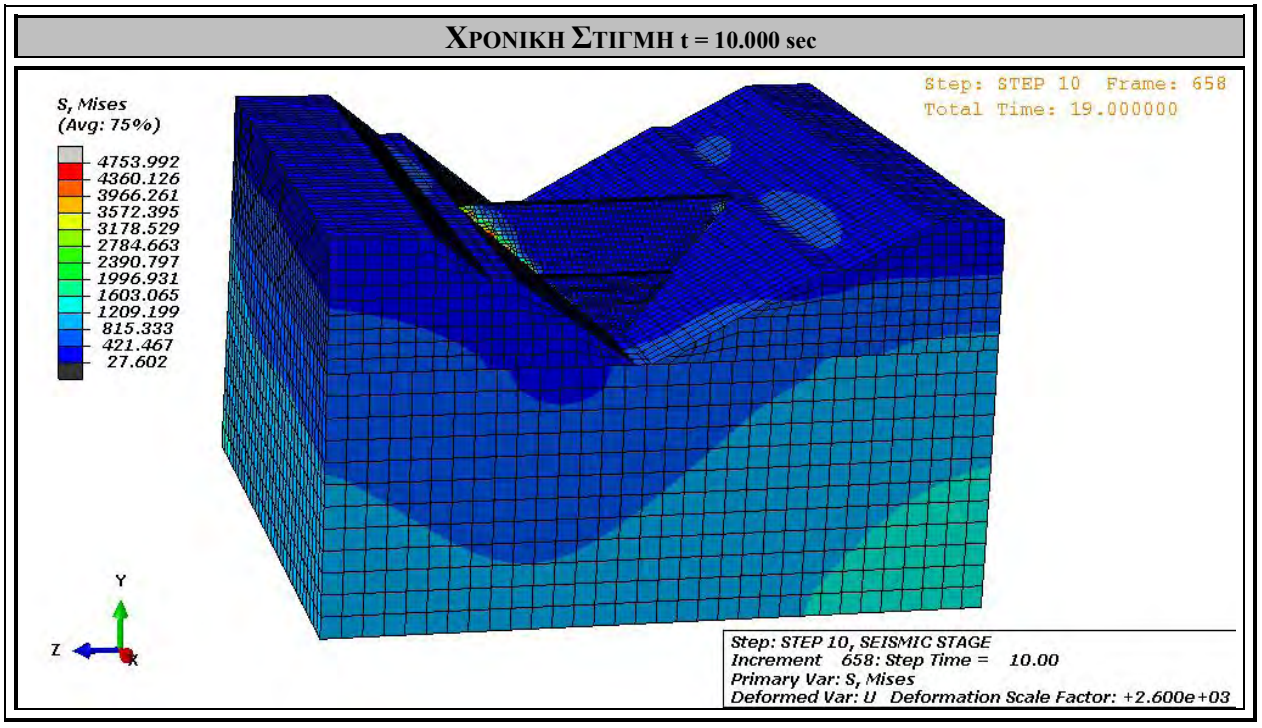


Σχήμα 4.135. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{22} = 9.232 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



Σχήμα 4.136. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{23} = 9.552 sec.*



Σχήμα 4.137. *Κατανομή τάσεων Von Mises [kPa] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{24} = 10.000 sec.*

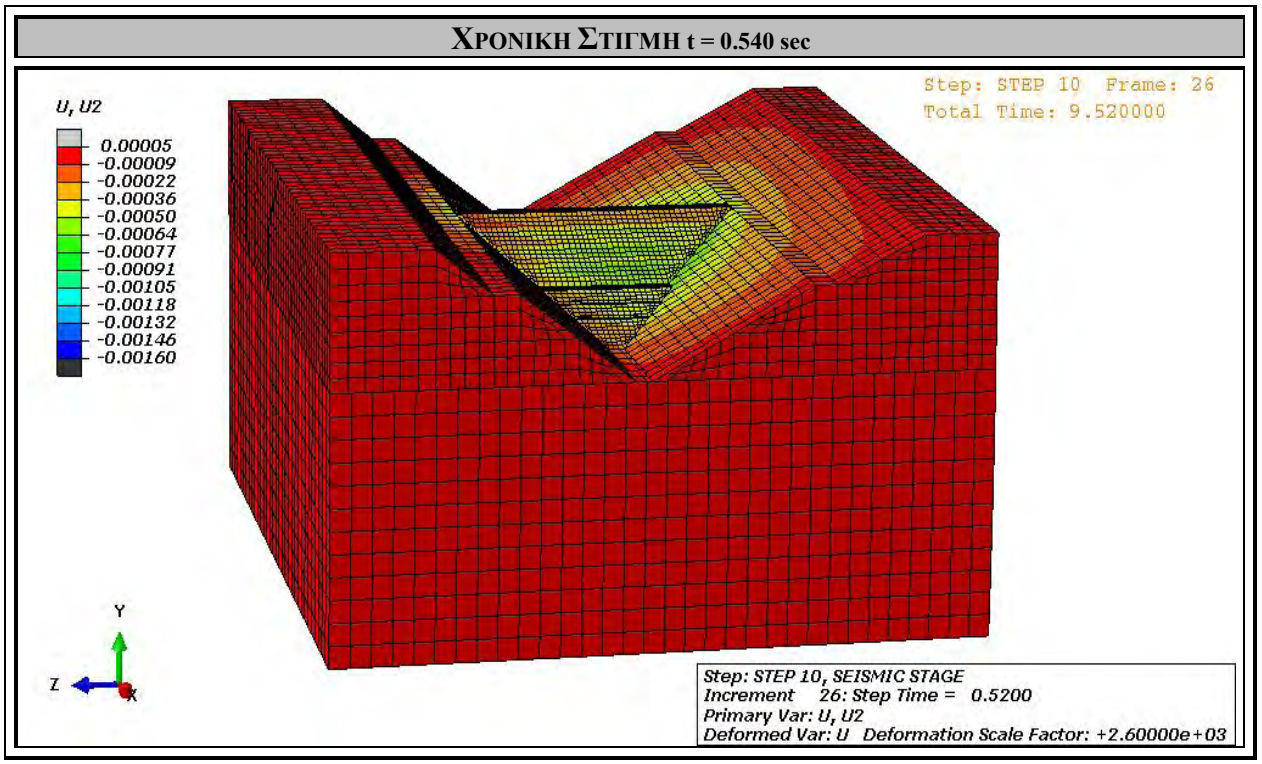
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Στα Σχήματα 4.138. – 4.161. αποτυπώνεται η κατανομή των καθιζήσεων U_2 που προκύπτουν στην περιοχή της κοιλάδας και του φράγματος, με τη δράση της ταυτόχρονης κατά τις δύο οριζόντιες διευθύνσεις σεισμικής διέγερσης, μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης A = 0.47g και συνολικής διάρκειας 10 sec. Στη δυναμική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, η κοιλάδα αποτελείται περισσότερο συμπιεστό υπέδαφος (E_F = 60 GPa) και βραχώδη πρανή (E_V = 40 GPa) σε σχέση με την προηγούμενη ανάλυση.

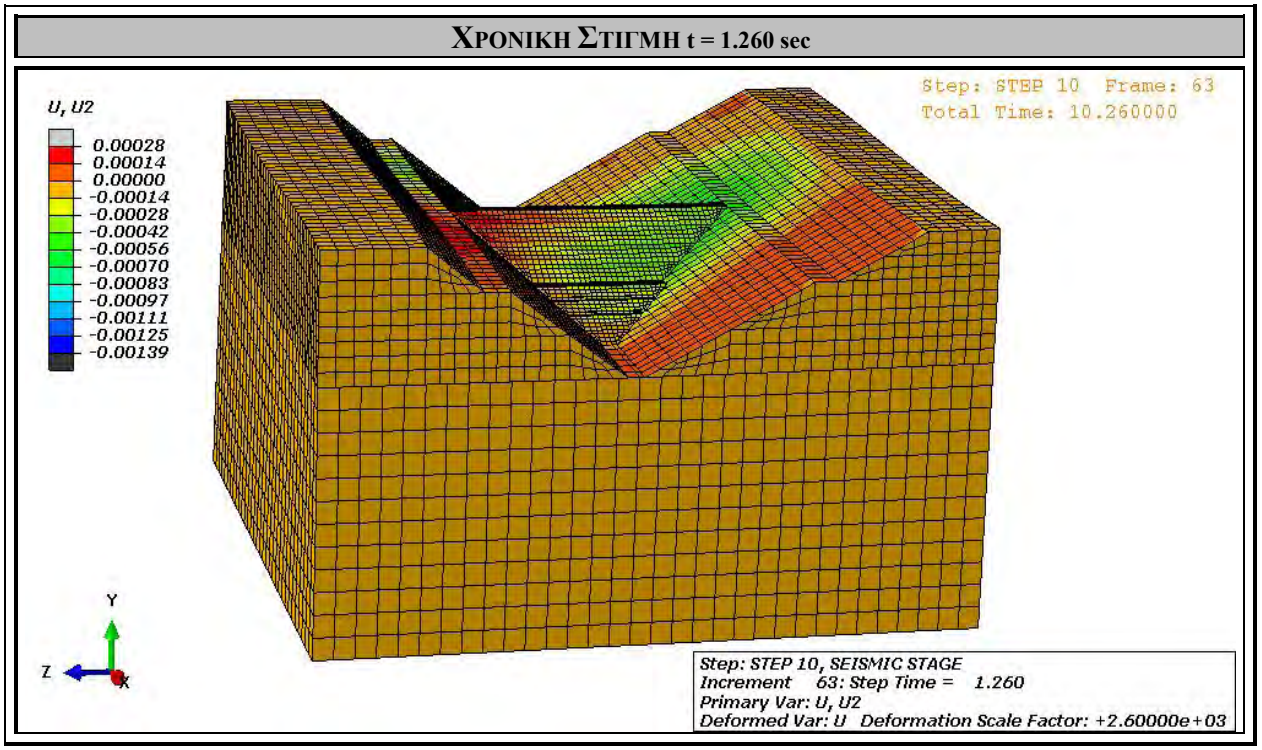
Η σεισμική κίνηση που υφίσταται η κοιλάδα προκαλεί ανύψωση και υποχώρηση αντίστοιχα της στέψης του φράγματος, με μια παλινδρομική κίνηση. Το ιδιαίτερο και διαφορετικό χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης ανάλυσης σε σχέση με την προηγούμενη είναι οι μεγάλες ανυψώσεις και υποχωρήσεις αντίστοιχα της κοιλάδας, και ιδιαίτερα των βραχωδών πρανών, κάτι το οποίο προκαλεί έντονες ανυψώσεις και υποχωρήσεις στις παρειές του φράγματος, φαινόμενο το οποίο παρακάτω όπως θα δούμε δημιουργεί πιο έντοες και εκτεταμένες εφελκυστικές βλάβες στο φράγμα .Παρακάτω θα γίνει αποτύπωση των μέγιστων τιμών της κατακόρυφης μετατόπισης που συμβαίνει στην κοιλάδα, εξαιτίας της σεισμικής διέγερσης, τις χρονικές στιγμές που επιλέχτηκαν να απεικονισθούν.

ΧΡΟΝΙΚΗ ΣΤΙΓΜΗ t [sec]	**ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗ U_2 [mm]**
0.540	-1.60
1.260	-1.39
2.346	-3.12
2.985	-2.78
3.277	-2.17
3.558	-3.89
3.736	+4.81
4.040	-3.50
4.334	-4.22
5.032	-2.29
5.441	+0.95
6.576	-2.10
7.098	-1.61
8.152	-1.54
9.232	-1.54
10.000	-1.51

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

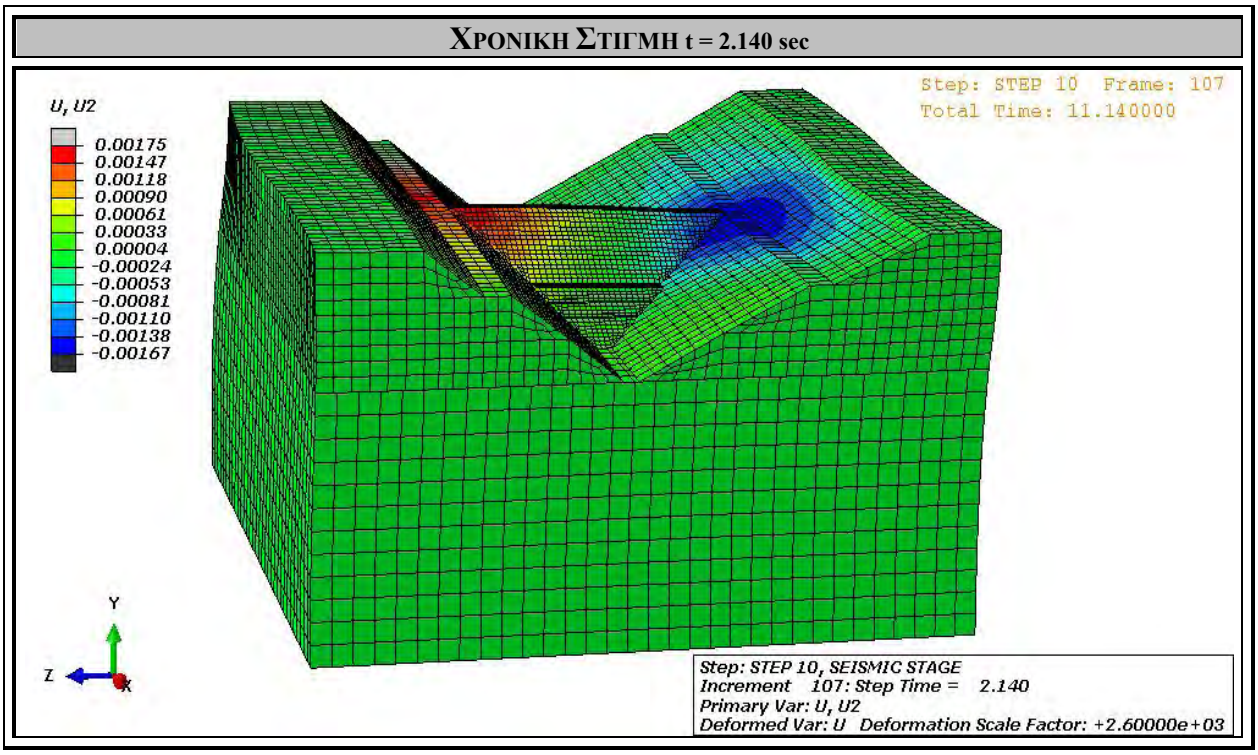


Σχήμα 4.138. *Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_1 = 0.540 sec.*

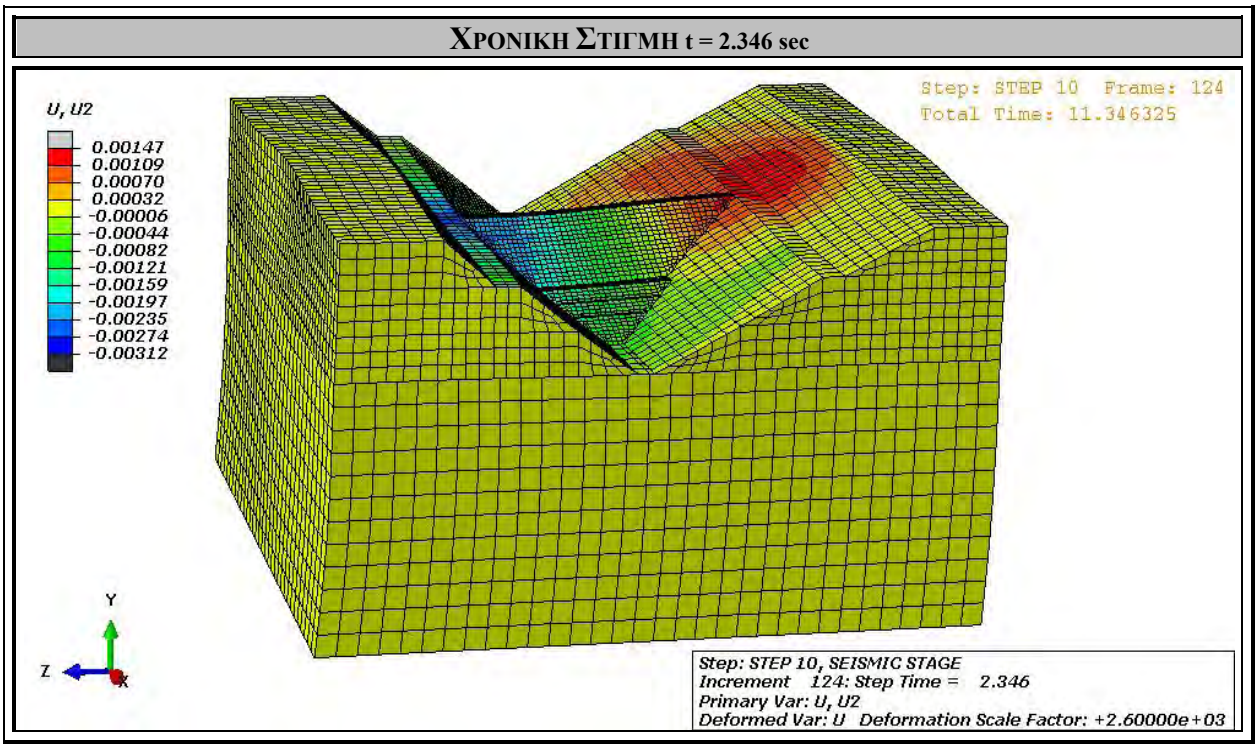


Σχήμα 4.139. *Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_2 = 1.260 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

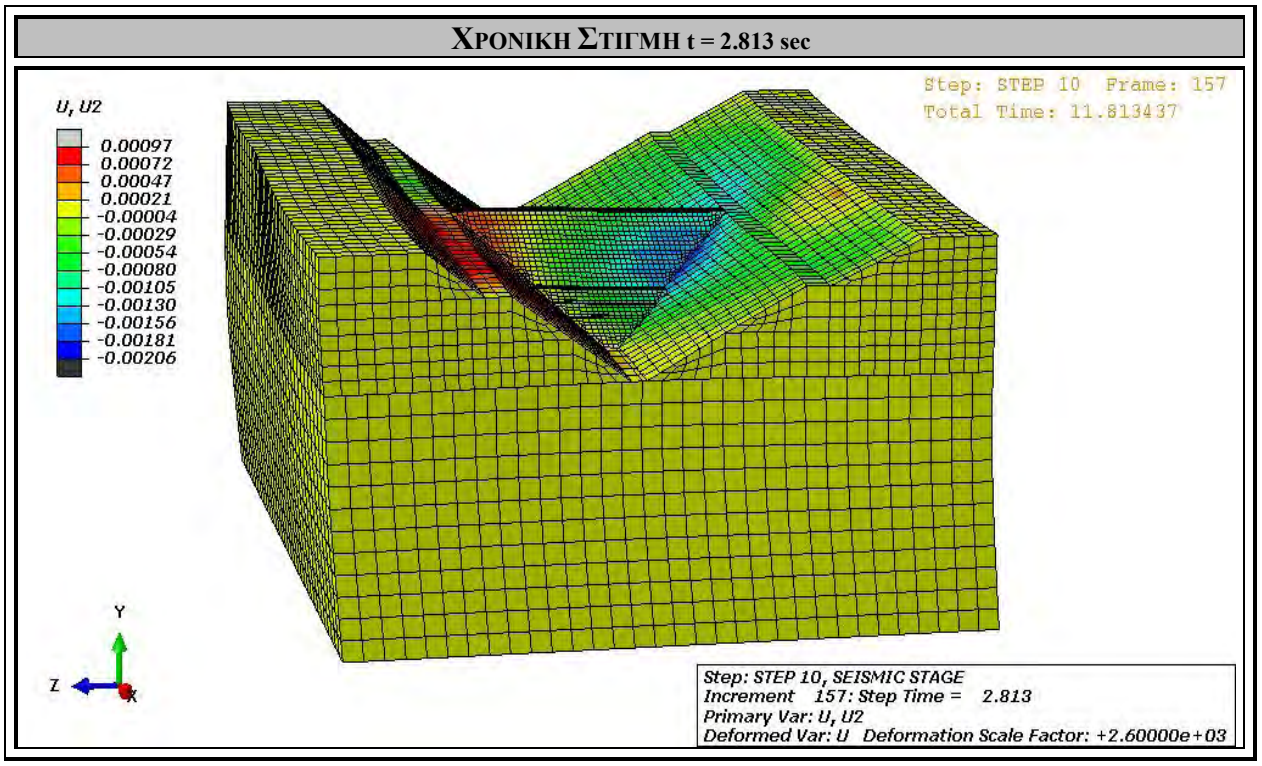


Σχήμα 4.140. *Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_3 = 2.140 sec.*

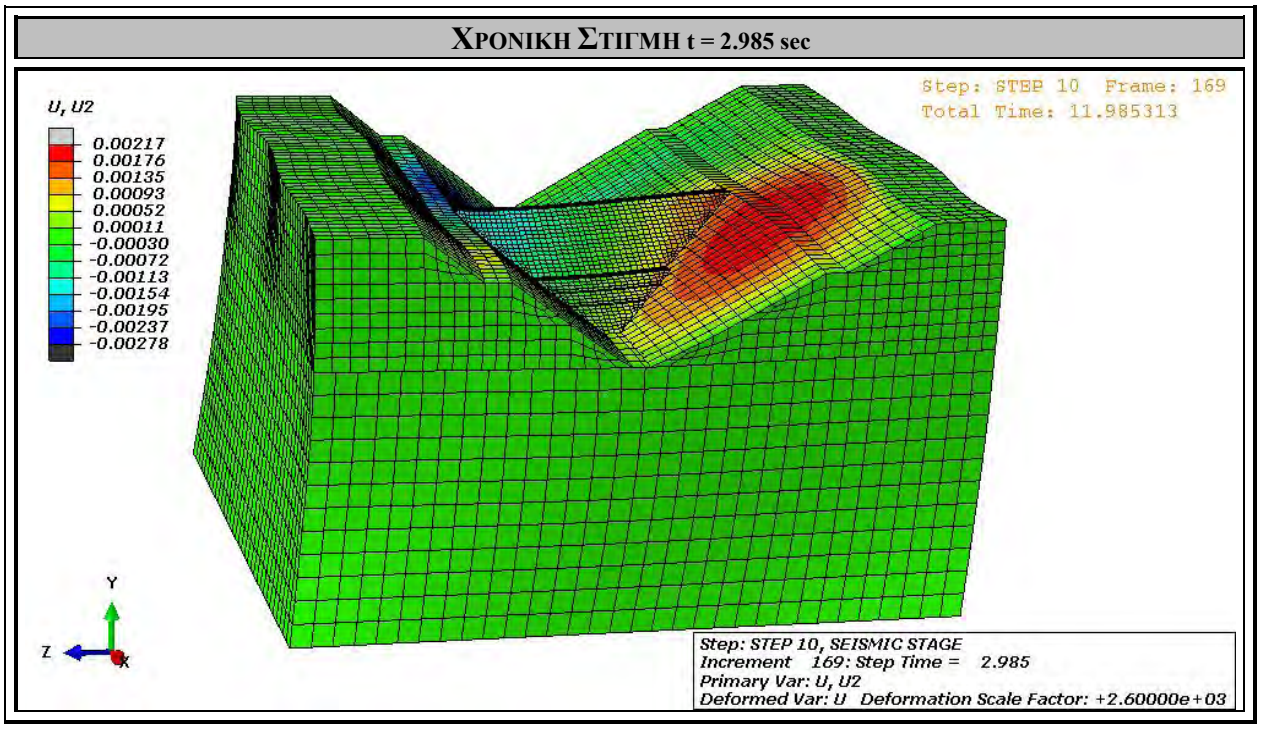


Σχήμα 4.141. *Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_4 = 2.346 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

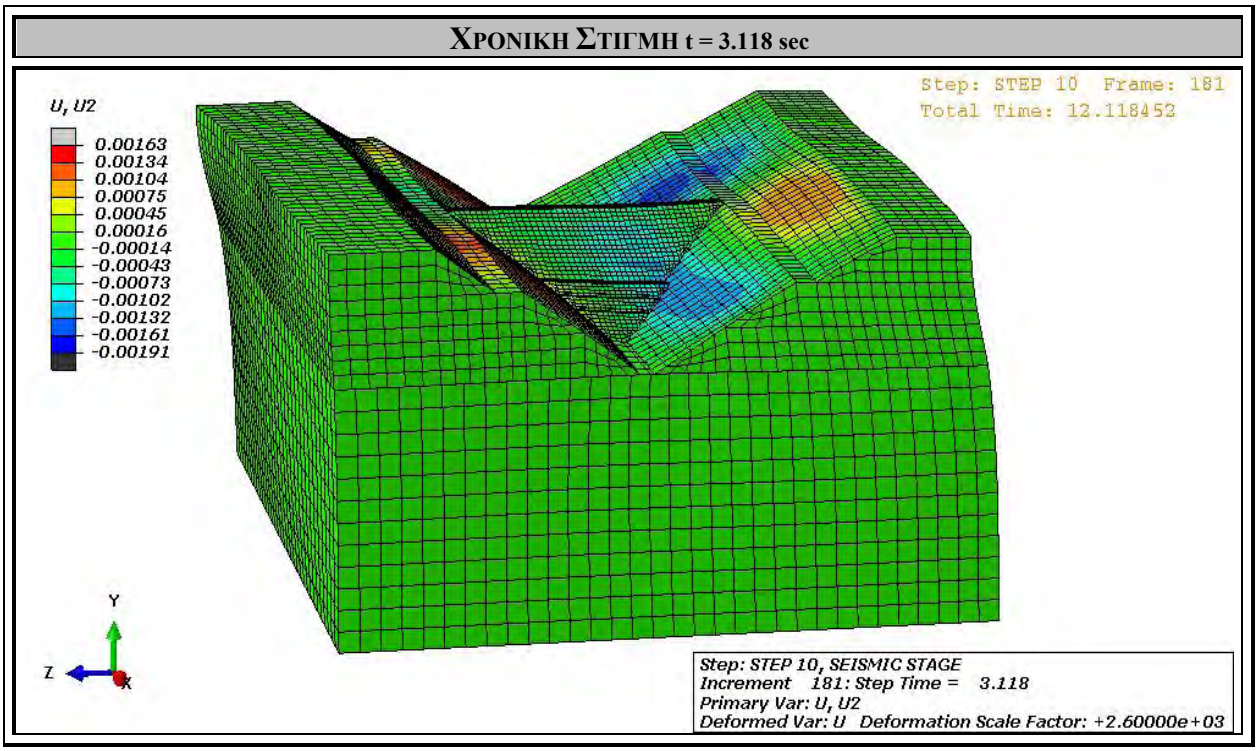


Σχήμα 4.142. *Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_5 = 2.813 sec.*

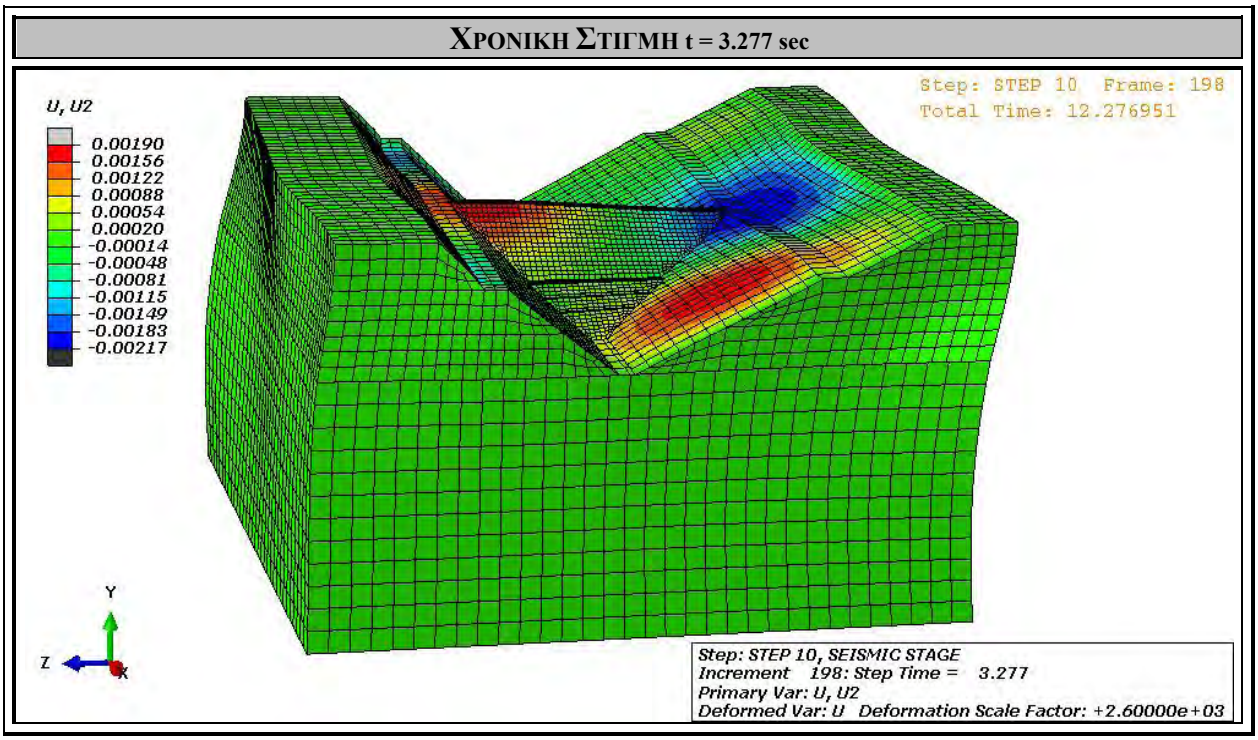


Σχήμα 4.143. *Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_6 = 2.985 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

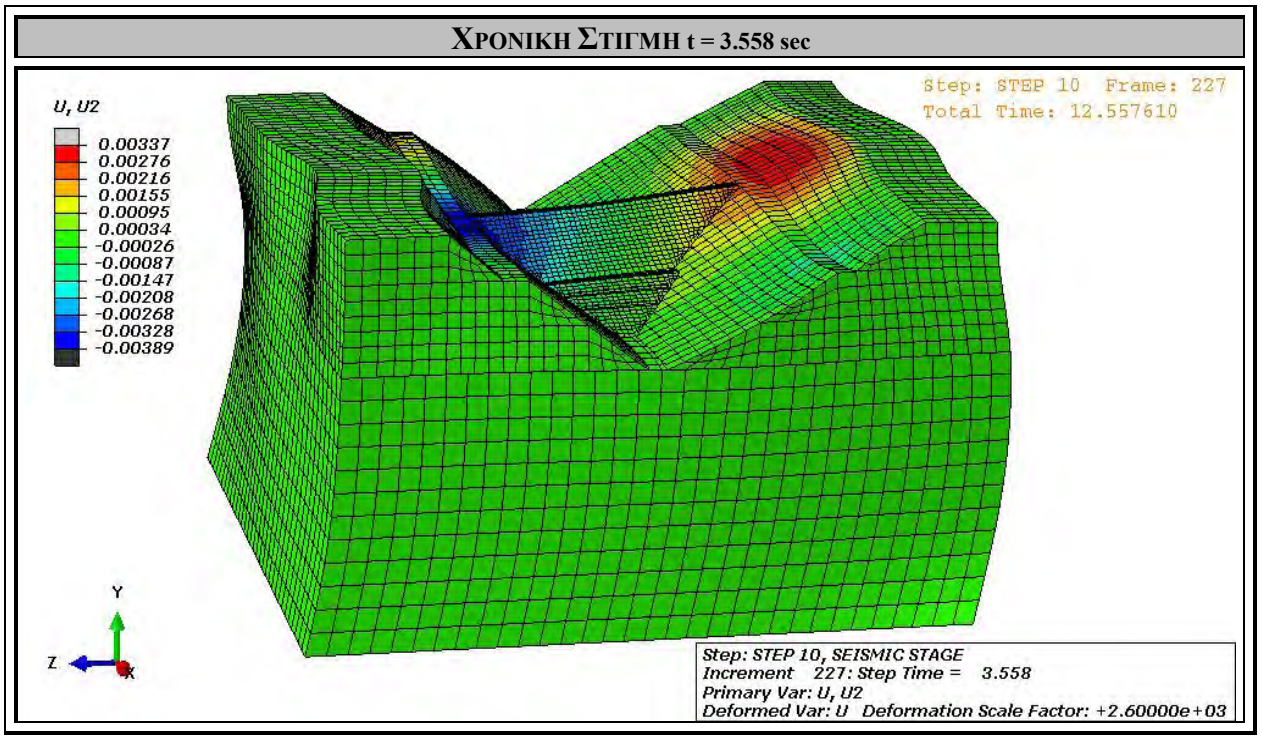


Σχήμα 4.144. *Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_7 = 3.118 sec.*

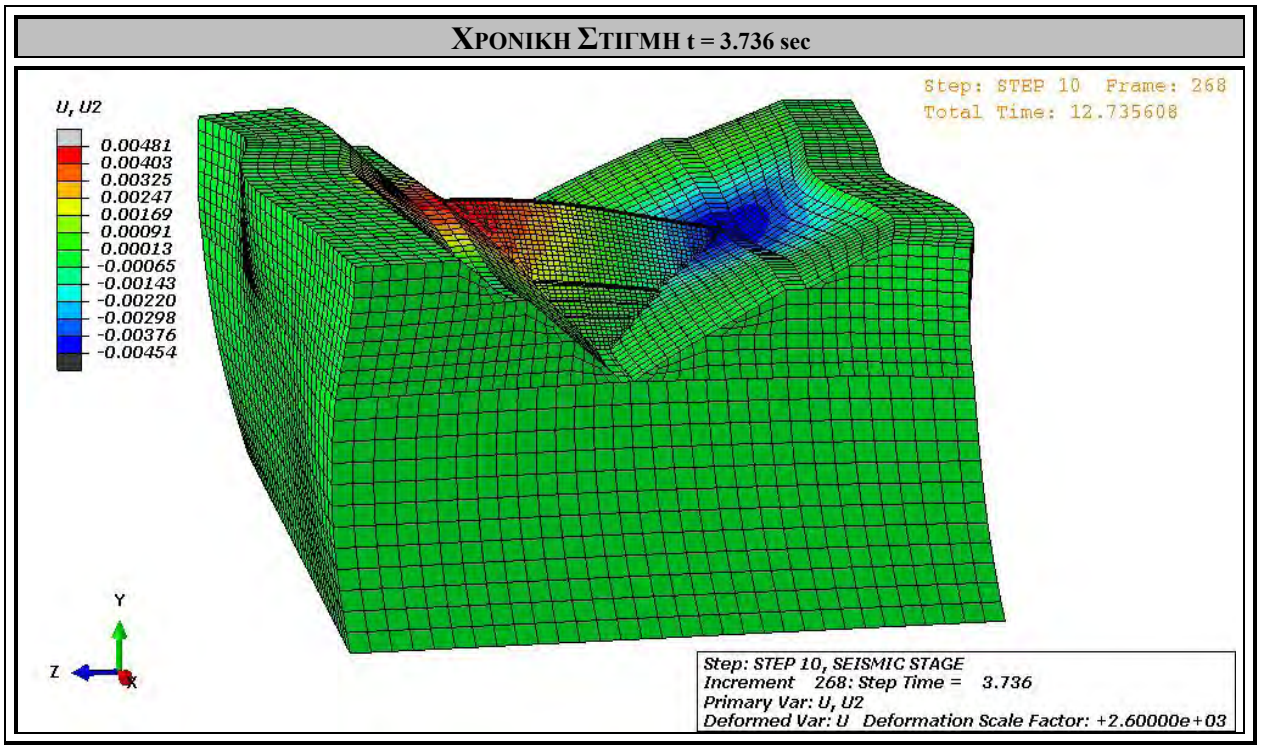


Σχήμα 4.145. *Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_8 = 3.277 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

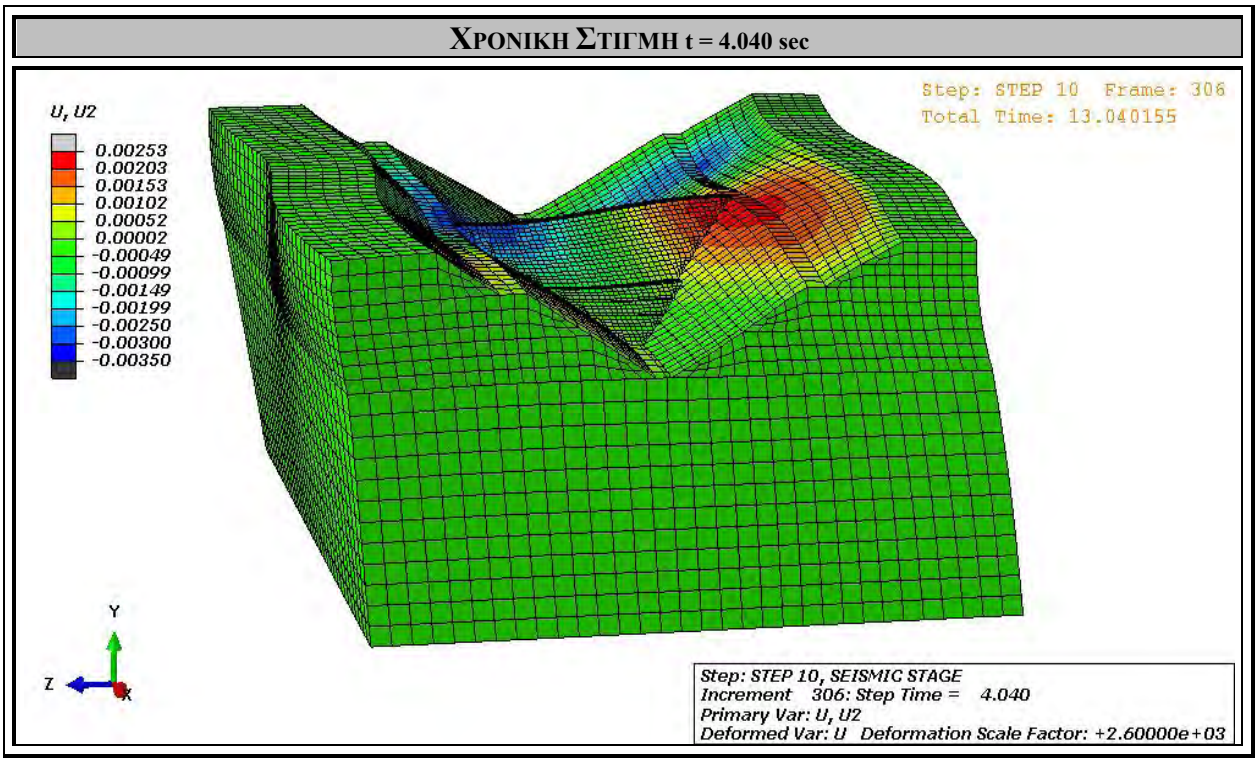


Σχήμα 4.146. *Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_9 = 3.558 sec.*

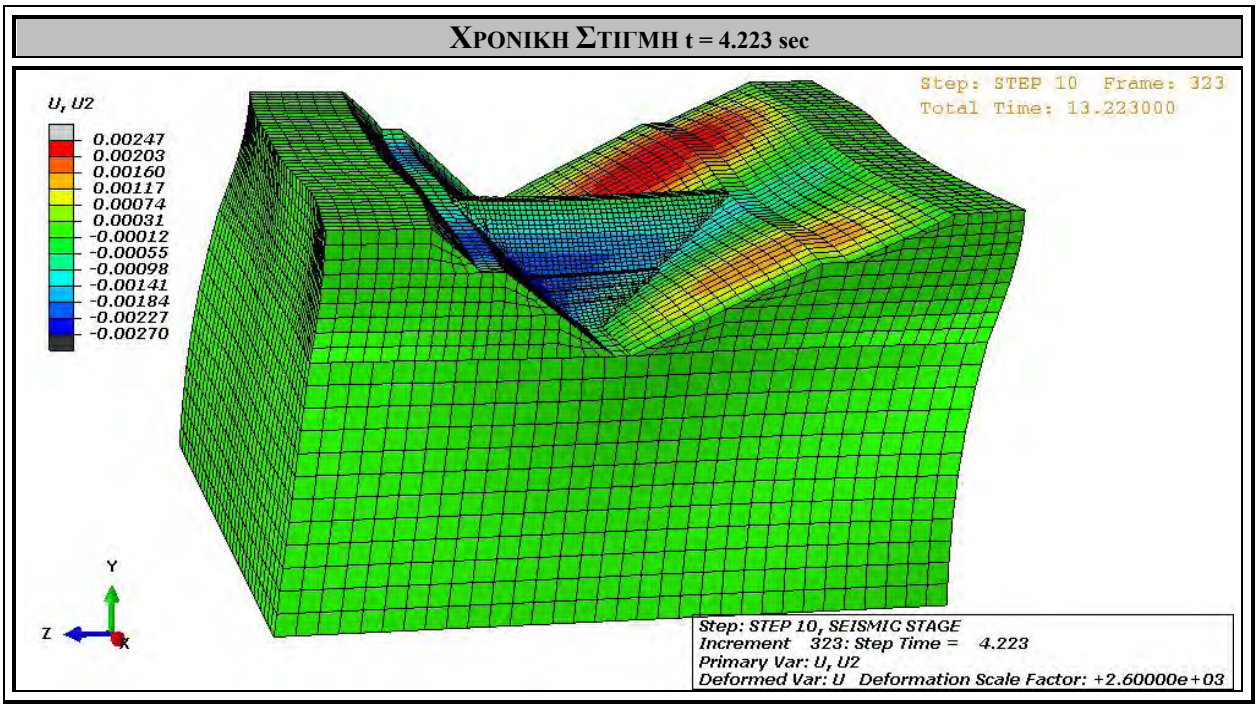


Σχήμα 4.147. *Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{10} = 3.736 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

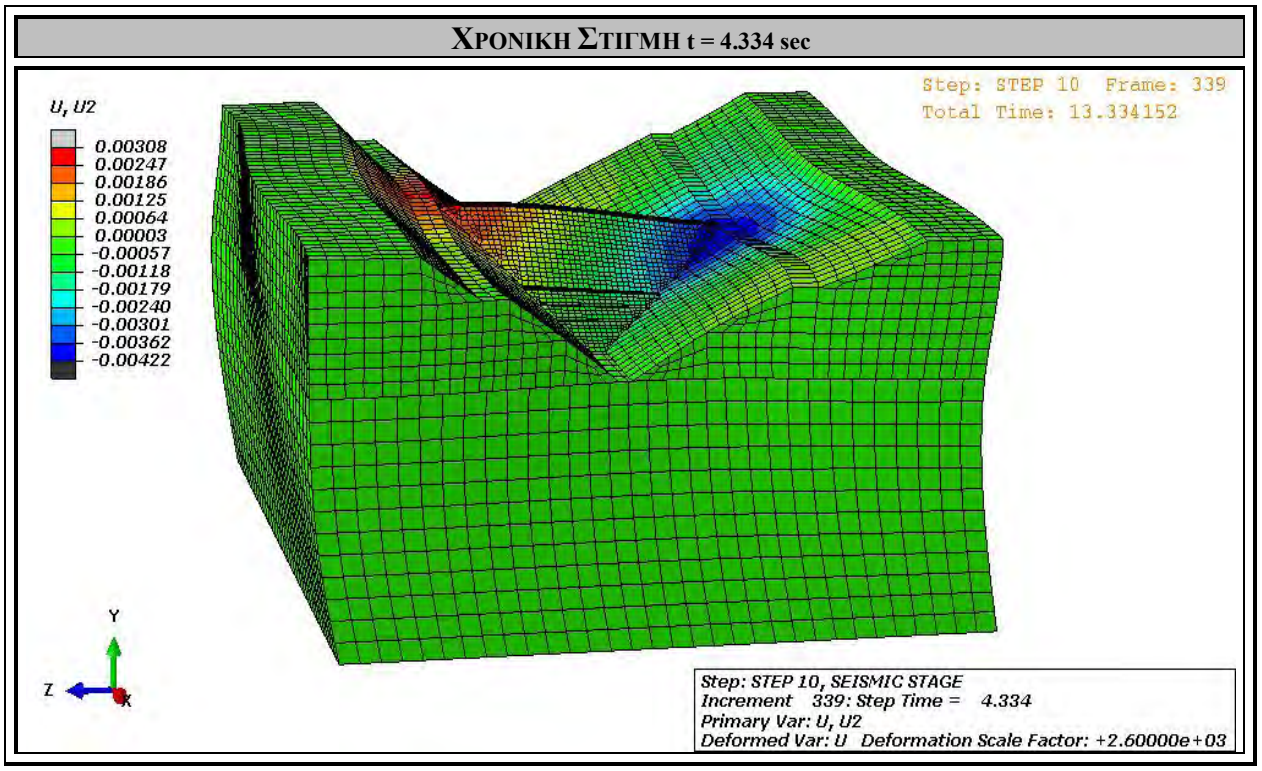


Σχήμα 4.148. *Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{11} = 4.040 sec.*

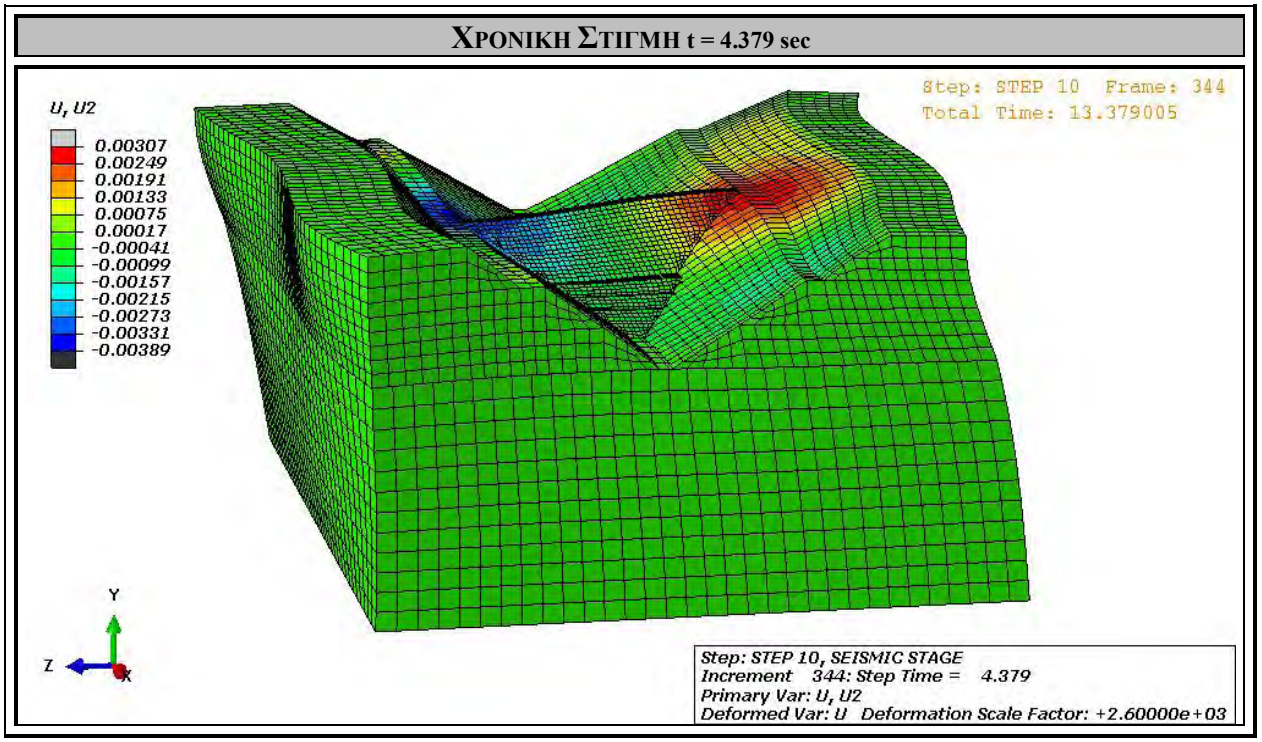


Σχήμα 4.149. *Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{12} = 4.223 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

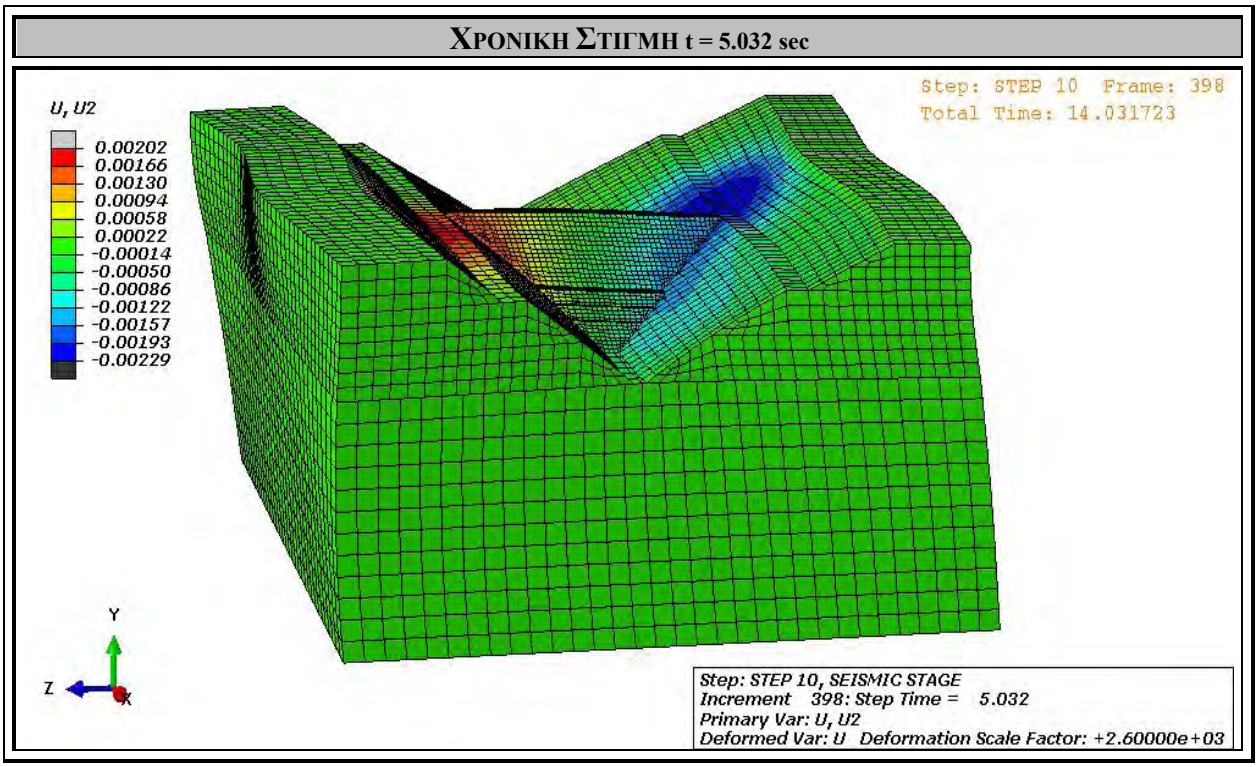


Σχήμα 4.150. *Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{13} = 4.334 sec.*

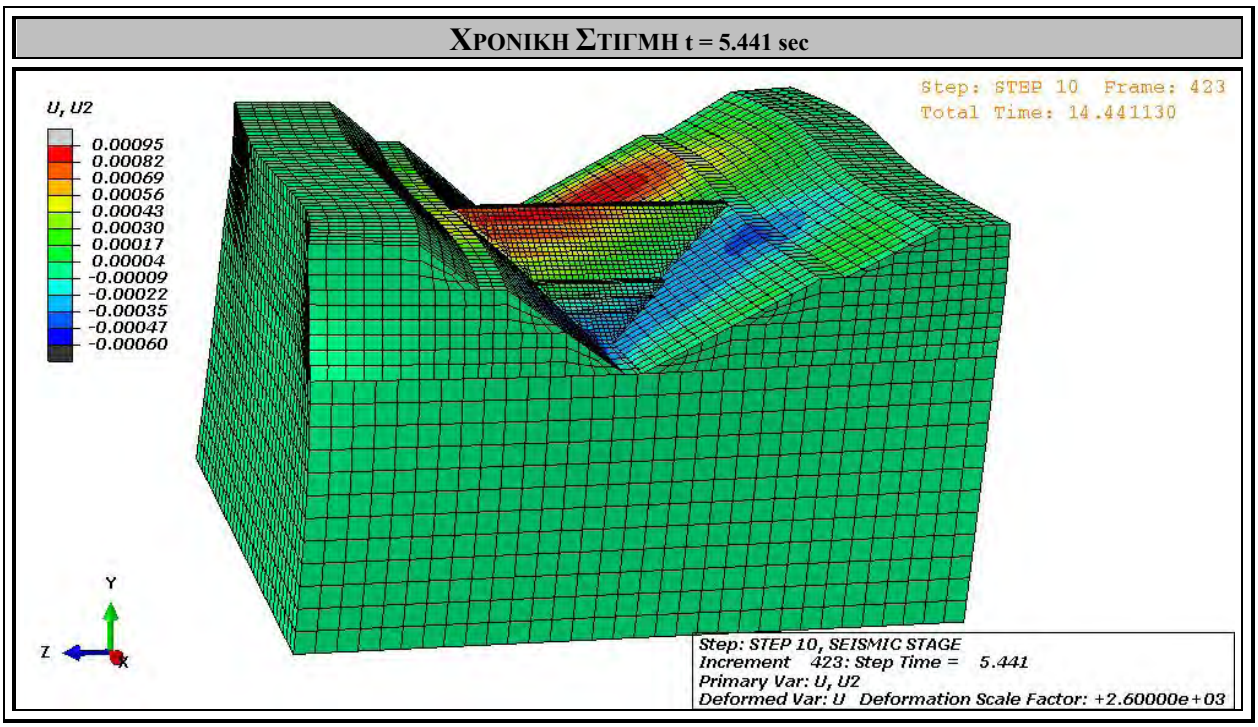


Σχήμα 4.151. *Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{14} = 4.379 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

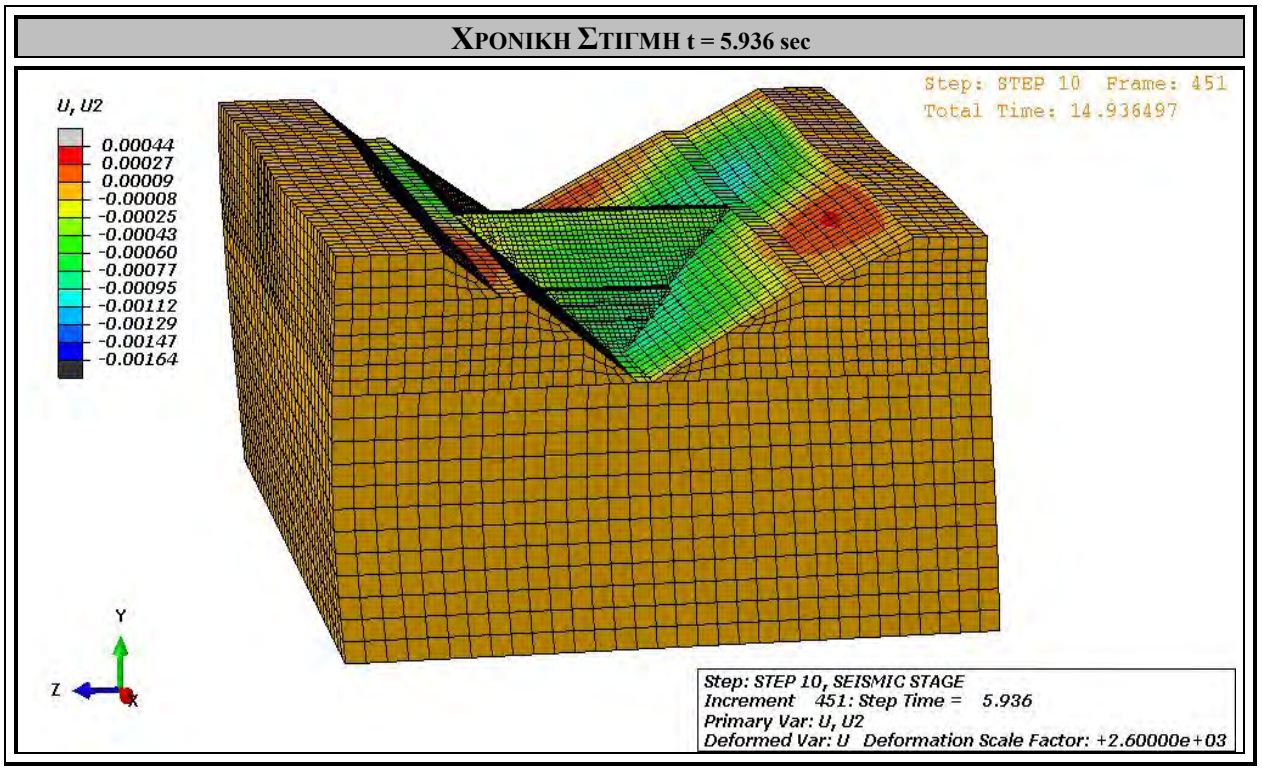


Σχήμα 4.152. *Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{15} = 5.032 sec.*

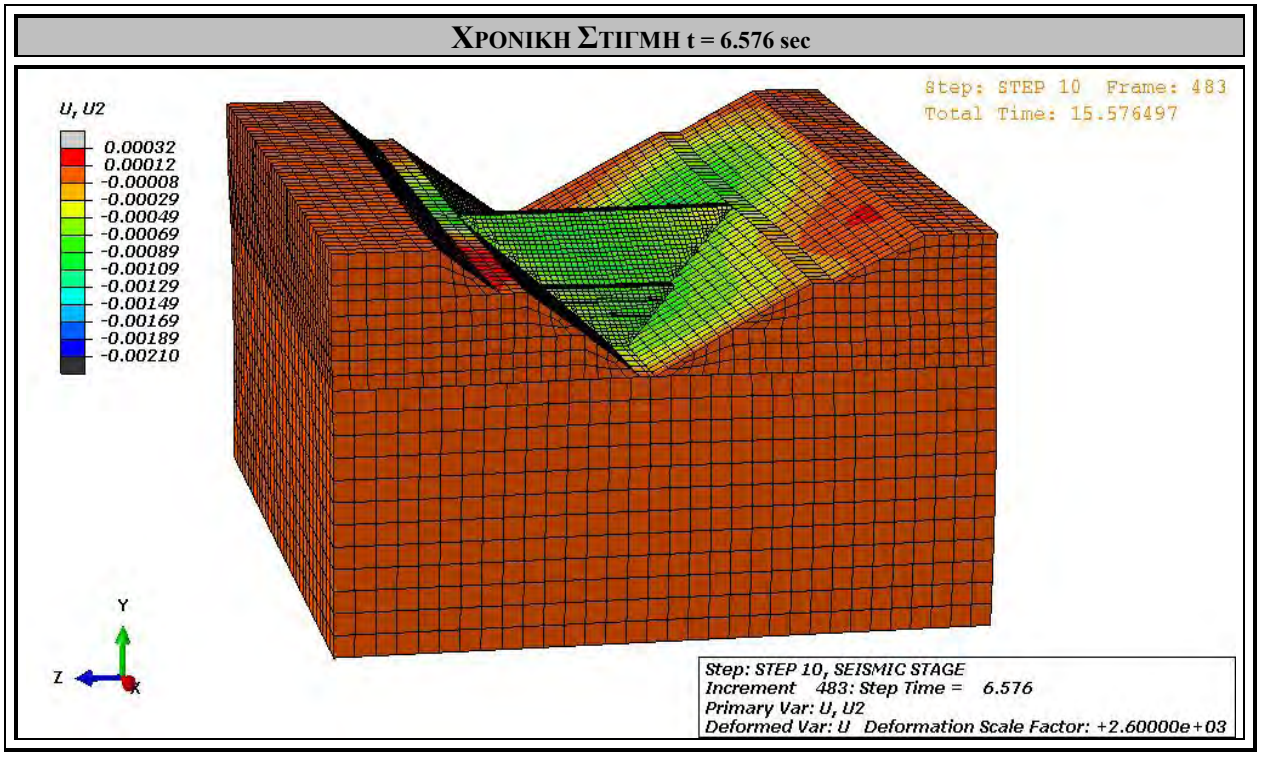


Σχήμα 4.153. *Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{16} = 5.441 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

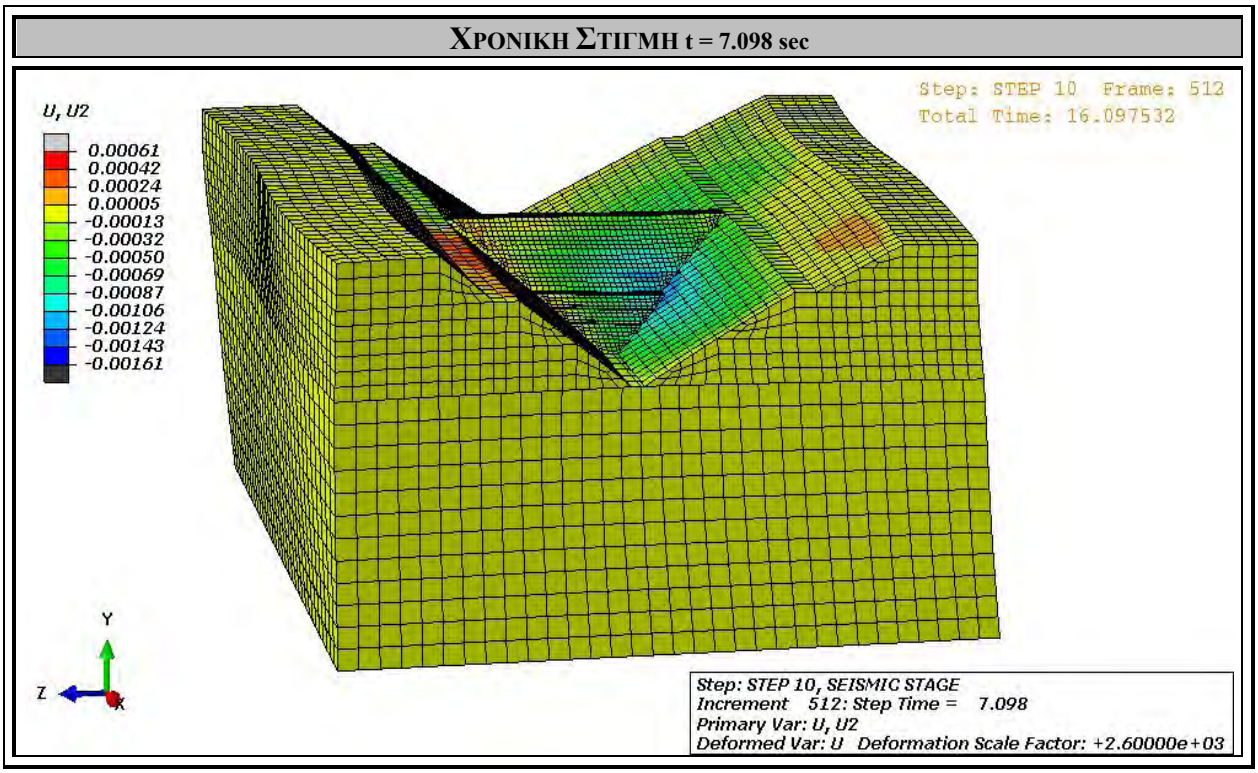


Σχήμα 4.154. *Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{17} = 5.936 sec.*

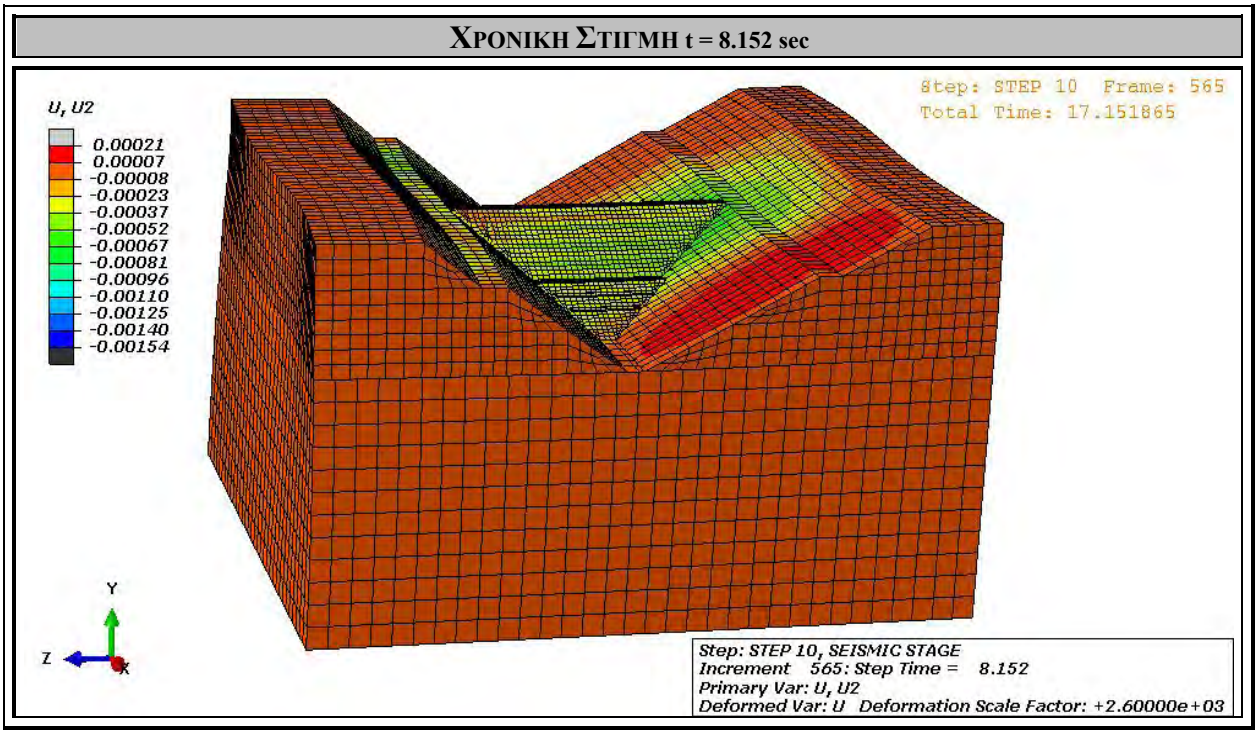


Σχήμα 4.155. *Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{18} = 6.576 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

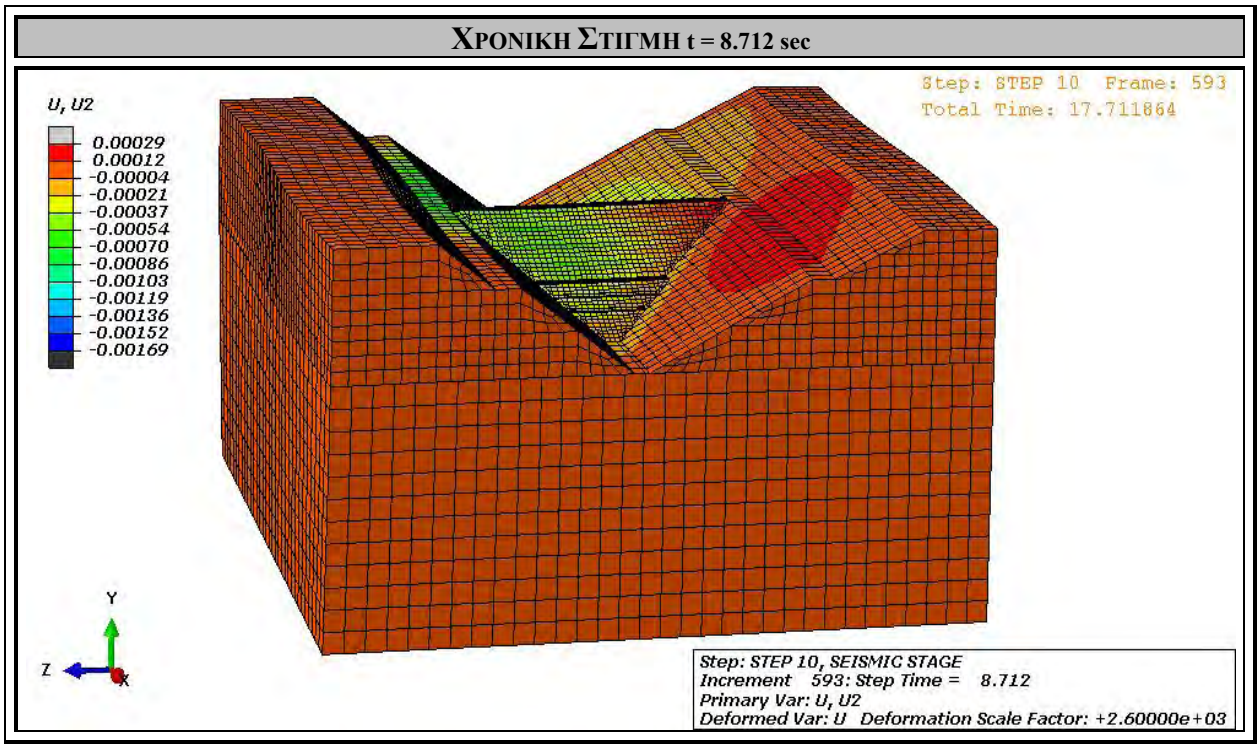


Σχήμα 4.156. *Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{19} = 7.098 sec.*

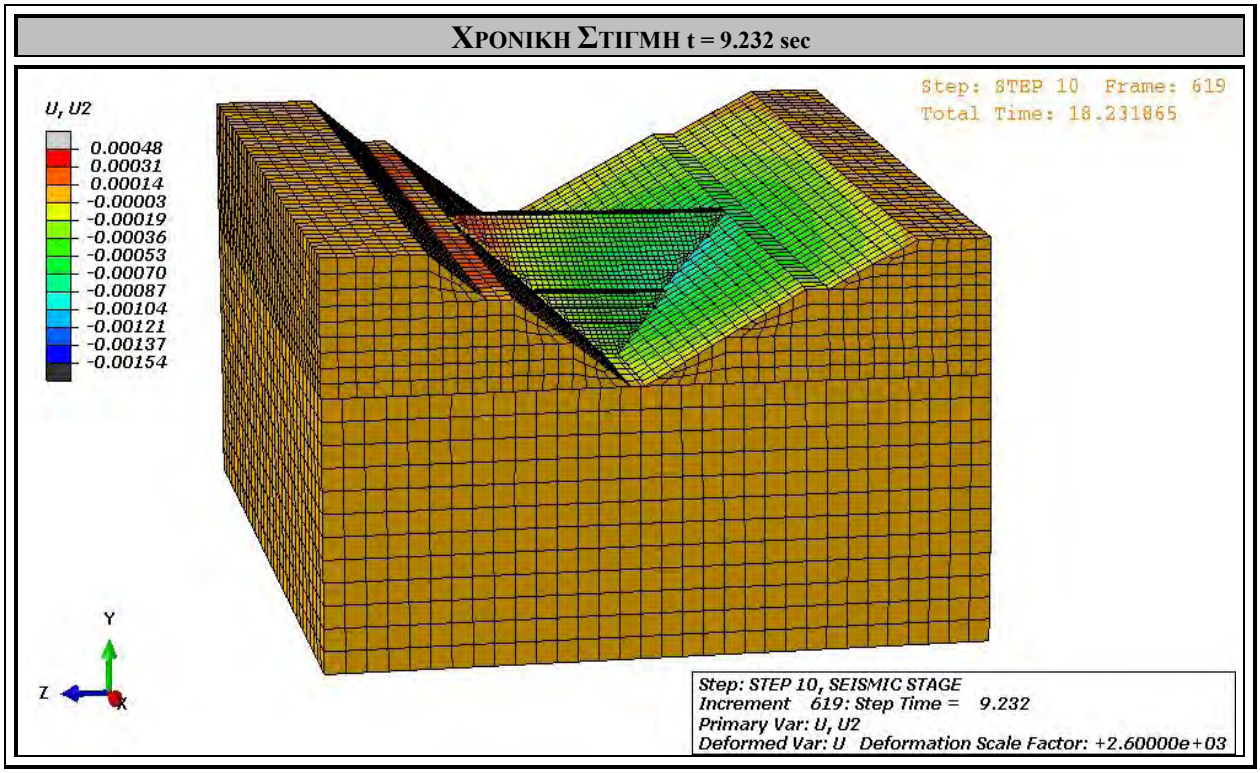


Σχήμα 4.157. *Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{20} = 8.152 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

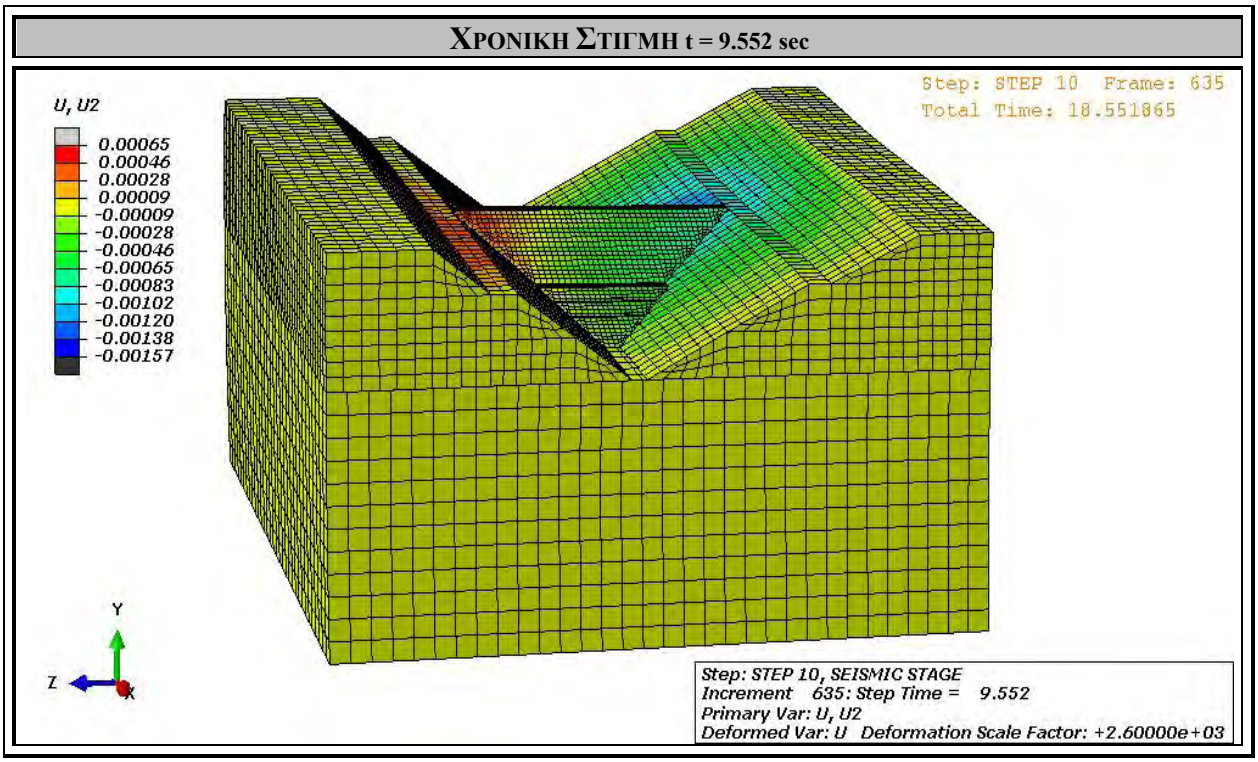


Σχήμα 4.158. *Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{21} = 8.712 sec.*

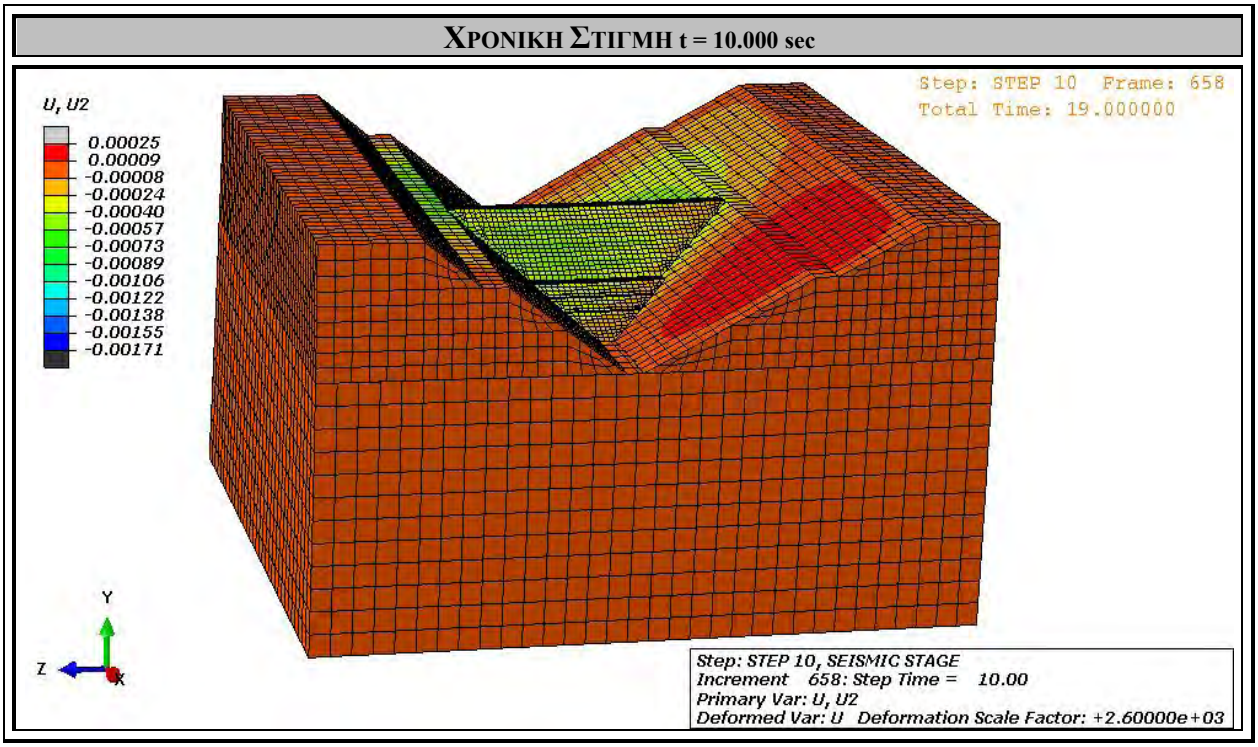


Σχήμα 4.159. *Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{22} = 9.232 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



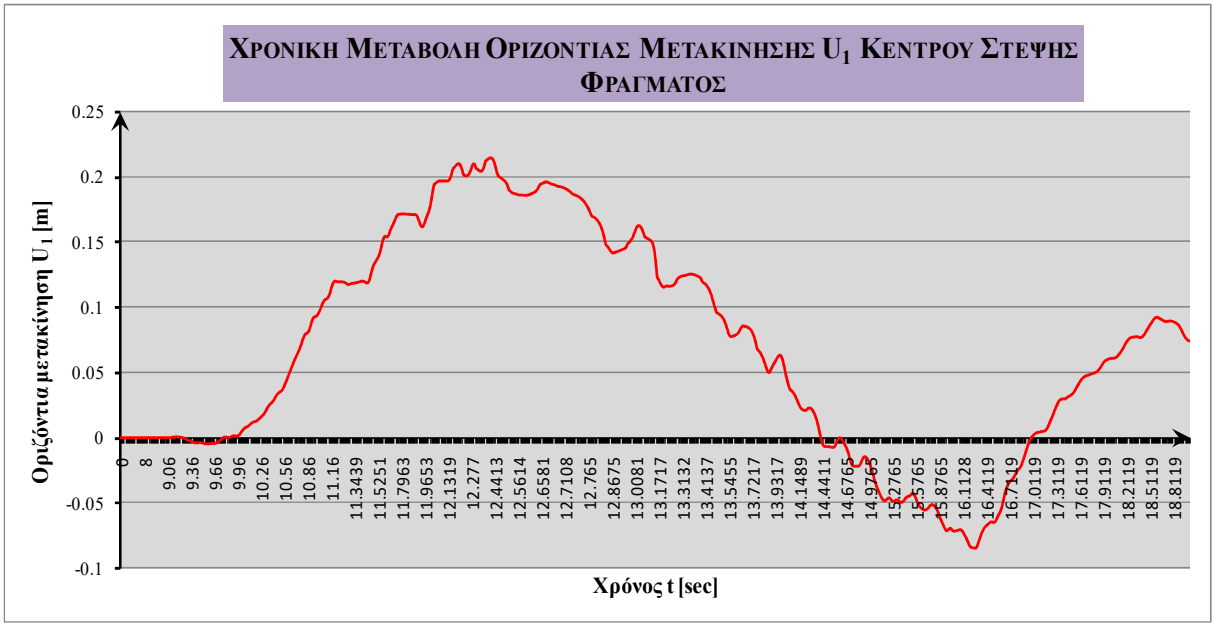
Σχήμα 4.160. *Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{23} = 9.552 sec.*



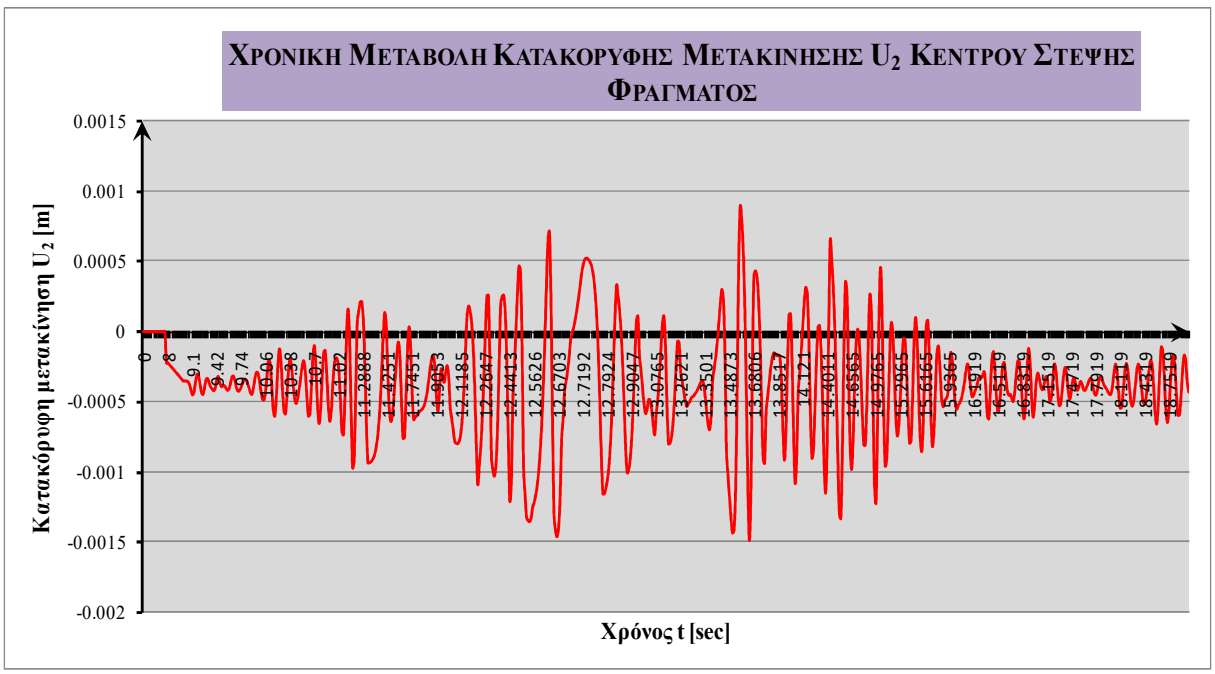
Σχήμα 4.161. *Κατανομή κατακόρυφων μετακινήσεων [m] στην κοιλάδα υπό τη δράση ταυτόχρονης σεισμικής διέγερσης κατά X και Z, τη χρονική στιγμή t_{24} = 10.000 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

- **ΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ ΚΕΝΤΡΟΥ ΣΤΕΨΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ**

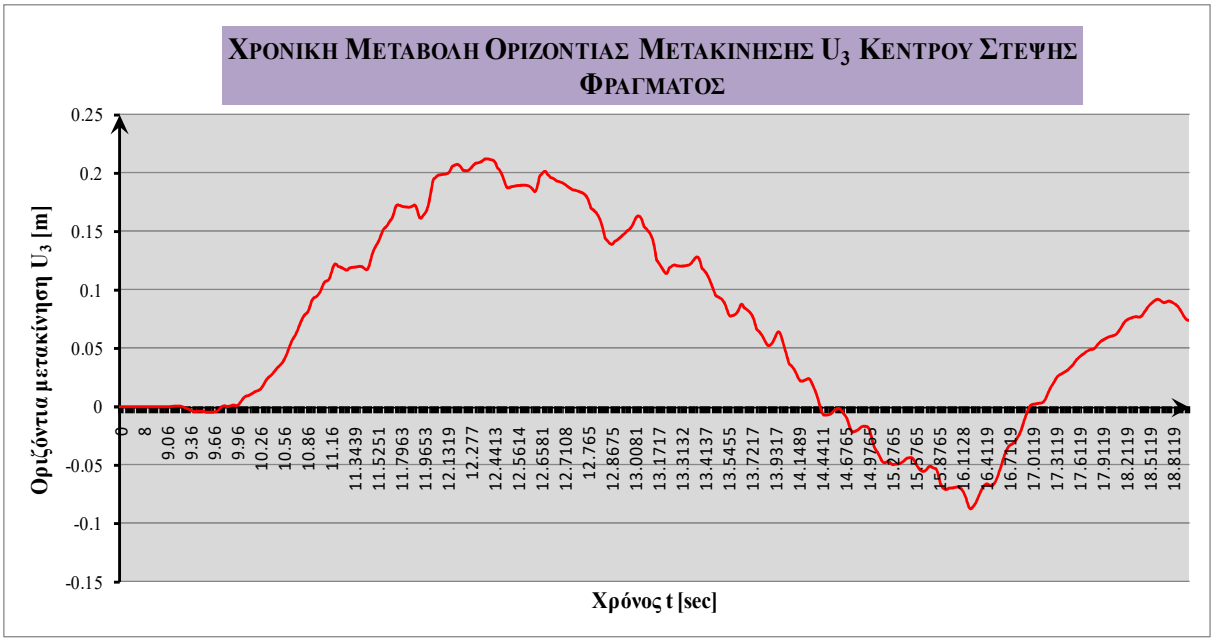


Σχήμα 4.162. *Χρονική μεταβολή οριζόντιας μετακίνησης U_1 [m] του κέντρου της στέψης του φράγματος, για στατικά και δυναμικά φορτία.*



Σχήμα 4.163. *Χρονική μεταβολή κατακόρυφης μετακίνησης U_2 [m] του κέντρου της στέψης του φράγματος, για στατικά και δυναμικά φορτία.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

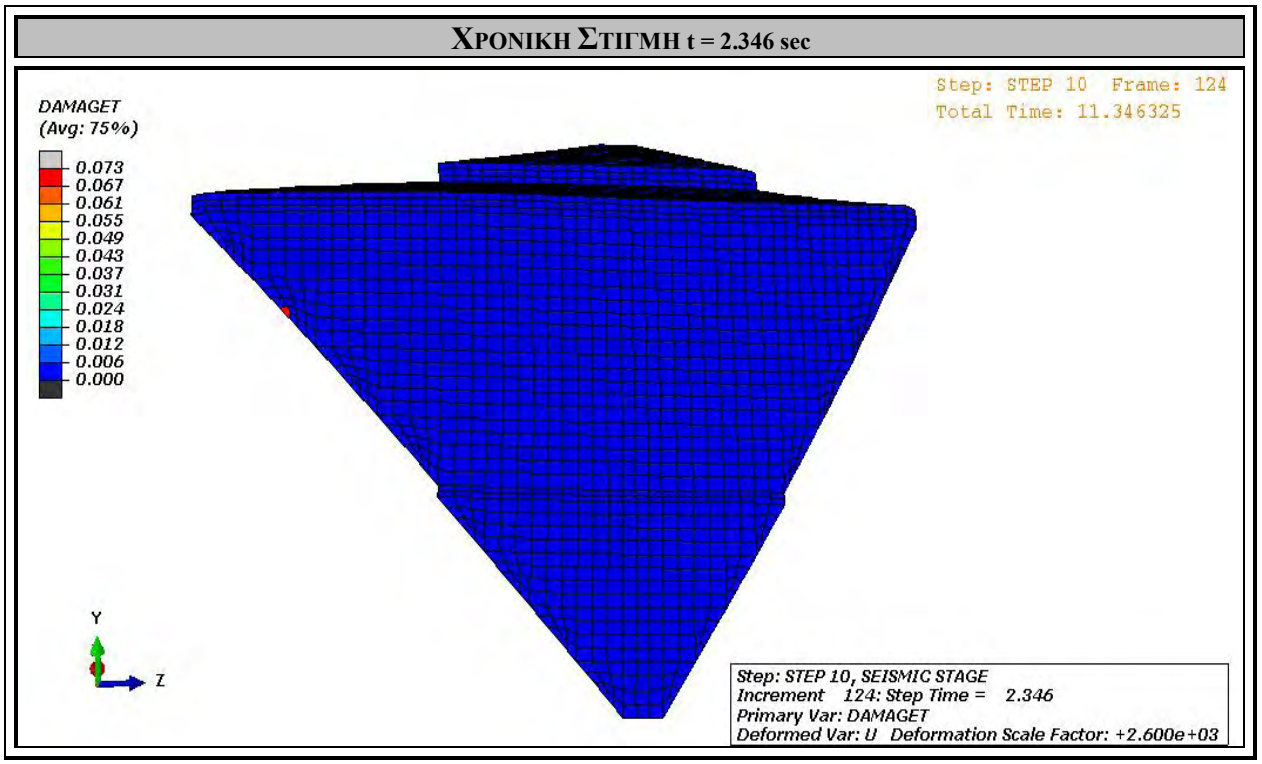


Σχήμα 4.164. *Χρονική μεταβολή οριζόντιας μετακίνησης U_3 [m] του κέντρου της στέψης του φράγματος, για στατικά και δυναμικά φορτία.*

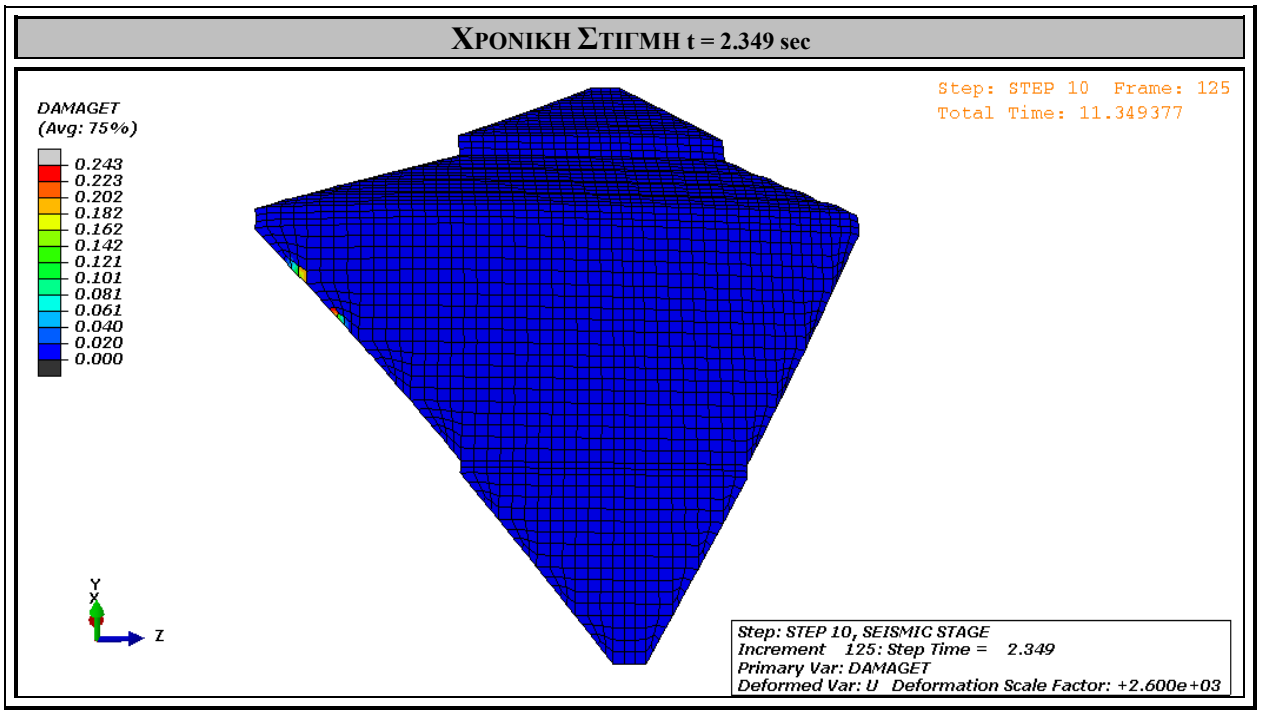
Στα Σχήματα 4.165. – 4.184. αποτυπώνεται η δημιουργία εφελκυστικών βλαβών στο φράγμα, εξαιτίας της σεισμικής κίνησης. Μετά την πλήρωση της λεκάνης με νερό, όπως έχει ήδη αναλυθεί, η κοιλάδα τίθεται σε ταυτόχρονη σεισμική διέγερση κατά τους οριζόντιους άξονες. Αυτό προκαλεί σταδιακά μια παλινδρομική κίνηση του υπεδάφους και των βραχωδών πρανών, κατά την οποία διεγείρεται κατ' επέκταση και το φράγμα. Όπως έχει προκύψει, οι τάσεις που αναπτύσσονται στην κοιλάδα και στο φράγμα υπό τη δράση των σεισμικών φορτίων είναι πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με τα στατικά φορτία και, σε συνδυασμό με τη σύνδεση φράγματος – κοιλάδας και την ταλάντωση που υφίσταται ολόκληρη η κοιλάδα, σε αρκετές χρονικές στιγμές τμήματα του φράγματος υφίστανται έντονο εφελκυσμό.

Στη συγκεκριμένη ανάλυση, όπως έχει διαποστωθεί και παραπάνω, στην κοιλάδα και ιδιαίτερα κοντά στις παρειές του φράγματος προκαλούνται πολύ έντονες ανυψώσεις και υποχωρήσεις των βραχωδών πρανών, λόγω του ότι το μέτρο ελαστικότητας των βραχωδών πρανών είναι μικρότερο από το μέτρο ελαστικότητας του υπεδάφους (E_V = 40 GPa < E_F = 60 GPa), δηλαδή τα βραχώδη πρανή συμπιέζονται και αποσυμπιέζονται περισσότερο έντονα. Συνεπώς, όπως φαίνεται και στα παρακάτω σχήματα, θα δημιουργηθούν εφελκυστικές ρωγμές στις παρειές του φράγματος, στην ένωση με τα βραχώδη πρανή, οι οποίες διαδίδονται βαθμιαία. Η πρώτη ρωγμή εμφανίζεται τη χρονική στιγμή t = 2.346 sec στην ανάντη πλευρά, δίπλα στο αριστερό αντέρεισμα, και διαδίδεται στην ευρύτερη περιοχή έως και τη χρονική στιγμή t = 2.364 sec. Στη συνέχεια, τη χρονική στιγμή t = 2.810 sec εμφανίζεται ρωγμή στην κατάντη πλευρά, δίπλα στο δεξί αντέρεισμα, και διαδίδεται έως τη χρονική στιγμή t = 2.824 sec. Από τη χρονική στιγμή t = 3.104 sec έως και τη χρονική στιγμή t = 3.730 sec γίνεται περαιτέρω επέκταση των βλαβών στην ανάντη πλευρά, και στις δύο παρειές του φράγματος.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

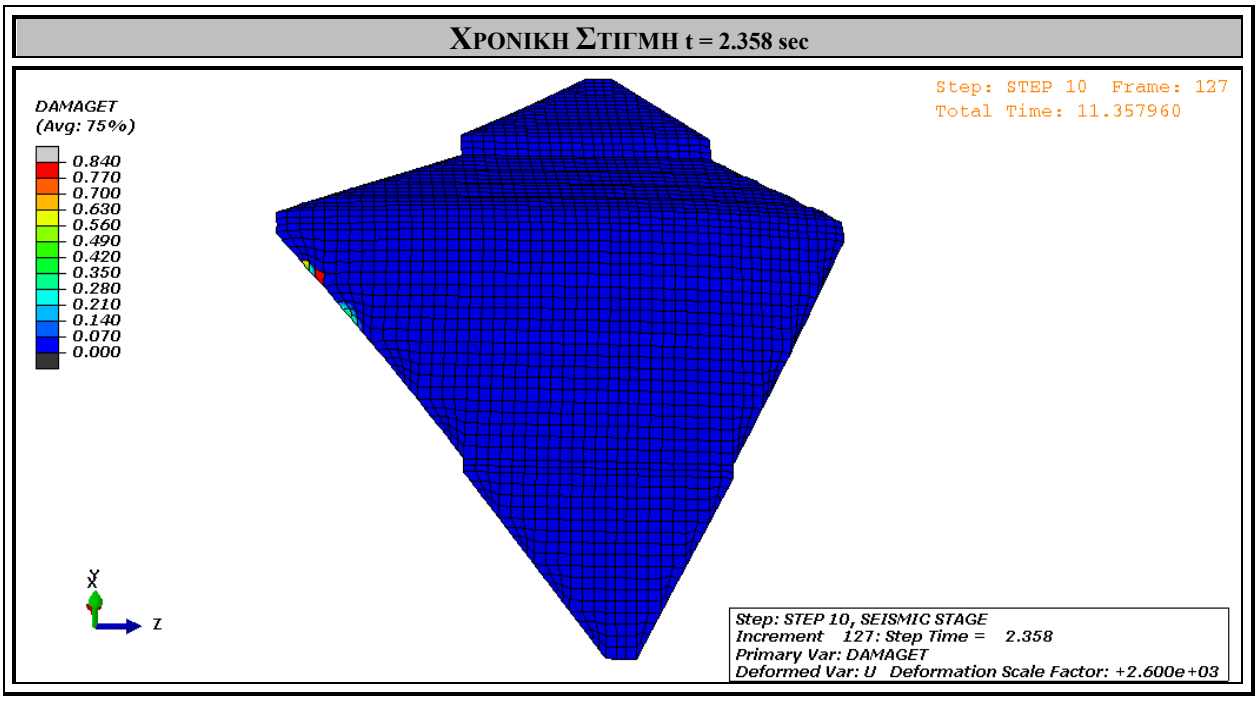


Σχήμα 4.165. *Δημιουργία εφελκυστικών βλαβών στην αριστερή παρειά του φράγματος (στην ανάντη πλευρά, κοντά στο αριστερό αντέρεισμα) τη χρονική στιγμή t = 2.346 sec.*

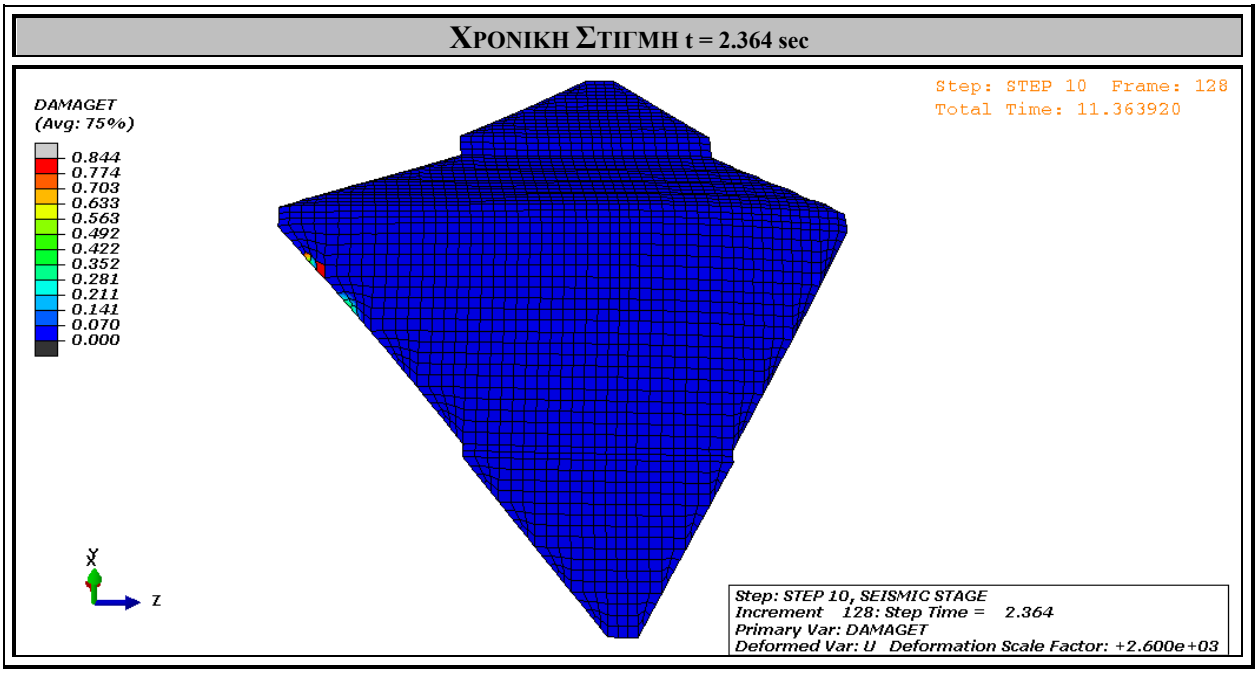


Σχήμα 4.166. *Επέκταση εφελκυστικών βλαβών στην αριστερή παρειά του φράγματος (στην ανάντη πλευρά, κοντά στο αριστερό αντέρεισμα) τη χρονική στιγμή t = 2.349 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

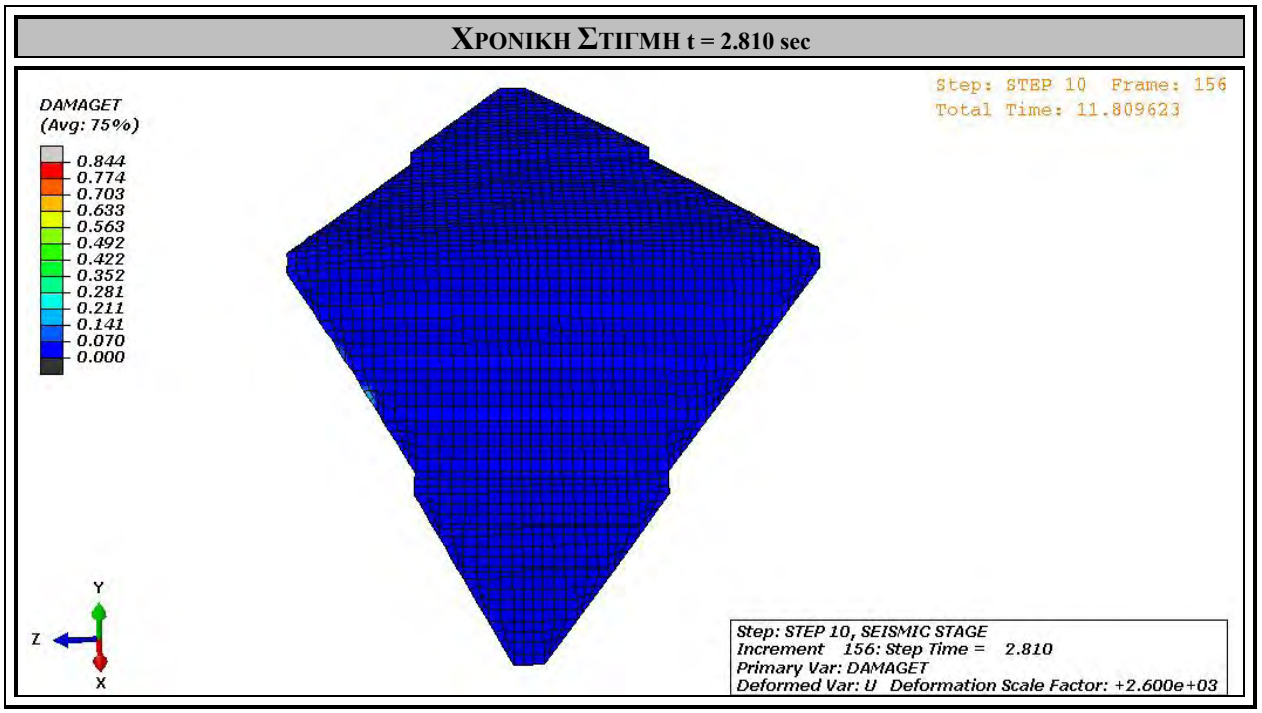


Σχήμα 4.167. *Επέκταση εφελκυστικών βλαβών στην αριστερή παρειά του φράγματος (στην ανάντη πλευρά, κοντά στο αριστερό αντέρεισμα) τη χρονική στιγμή t = 2.358 sec.*

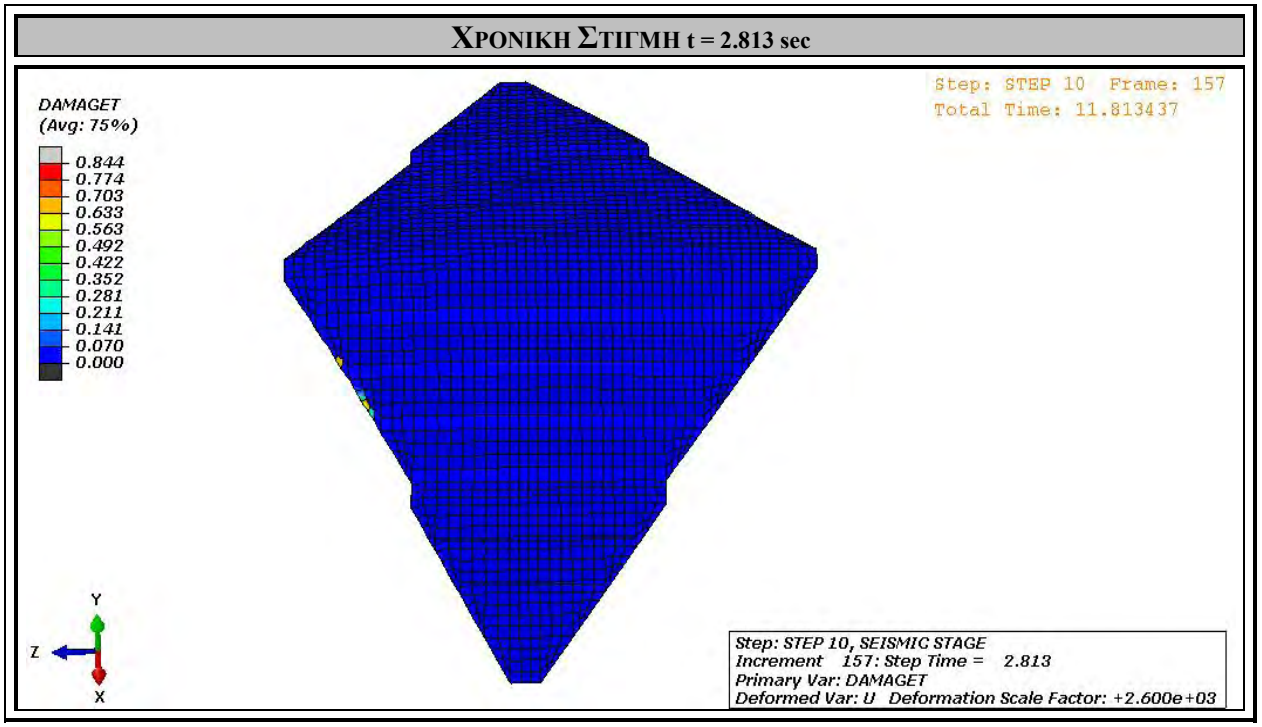


Σχήμα 4.168. *Επέκταση εφελκυστικών βλαβών στην αριστερή παρειά του φράγματος (στην ανάντη πλευρά, κοντά στο αριστερό αντέρεισμα) τη χρονική στιγμή t = 2.364 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

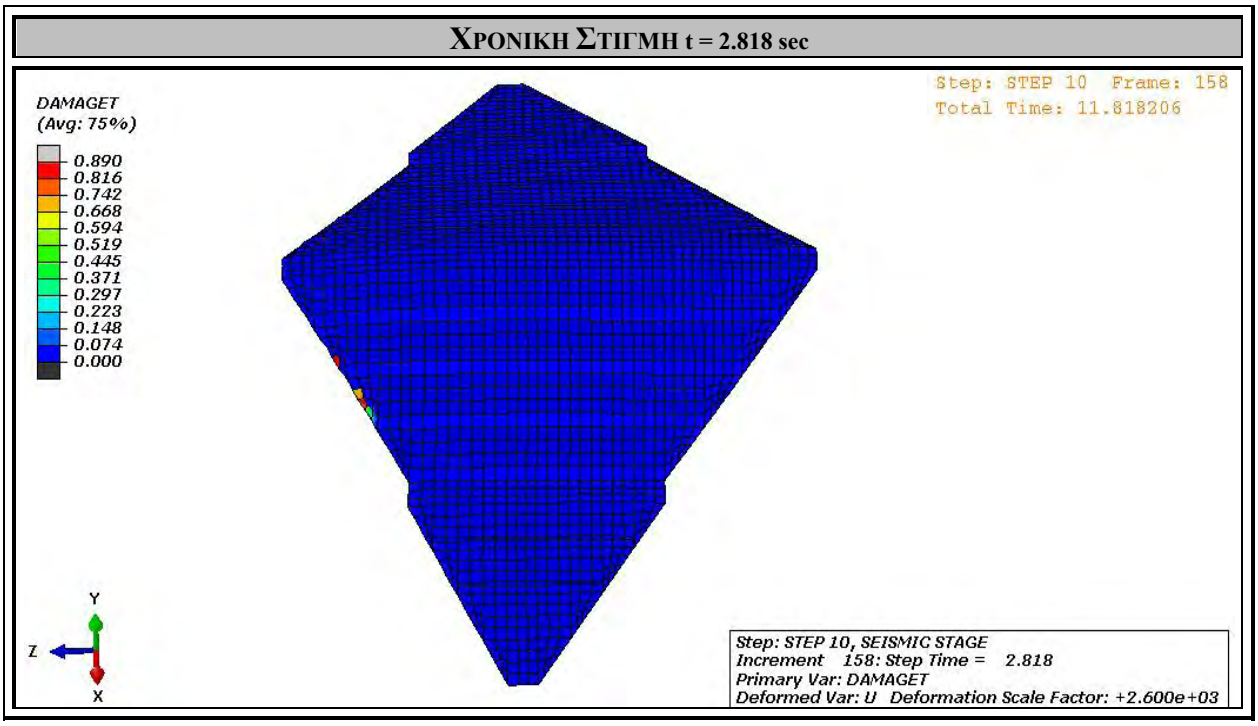


Σχήμα 4.169. *Δημιουργία εφελκυστικών βλαβών στην δεξία παρειά του φράγματος (στην κατάντη πλευρά, κοντά στο δεξί αντέρεισμα) τη χρονική στιγμή t = 2.810 sec.*

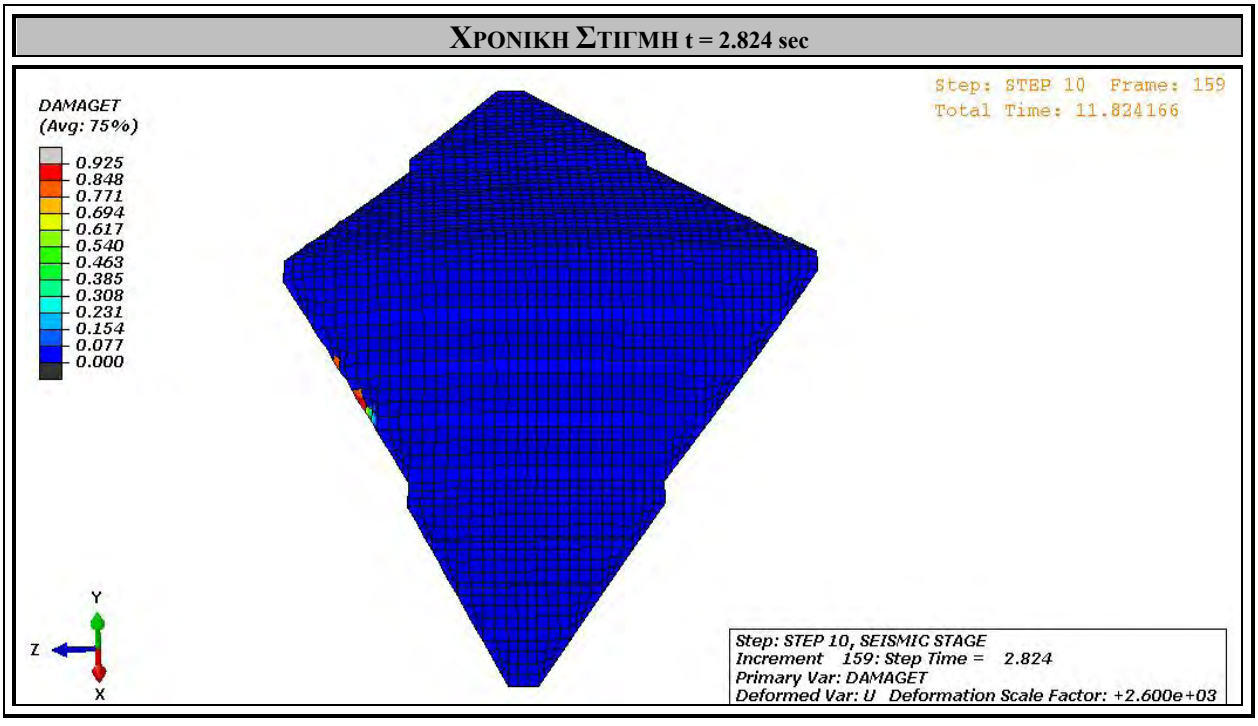


Σχήμα 4.170. *Επέκταση εφελκυστικών βλαβών στην δεξιά παρειά του φράγματος (στην κατάντη πλευρά, κοντά στο δεξί αντέρεισμα) τη χρονική στιγμή t = 2.813 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

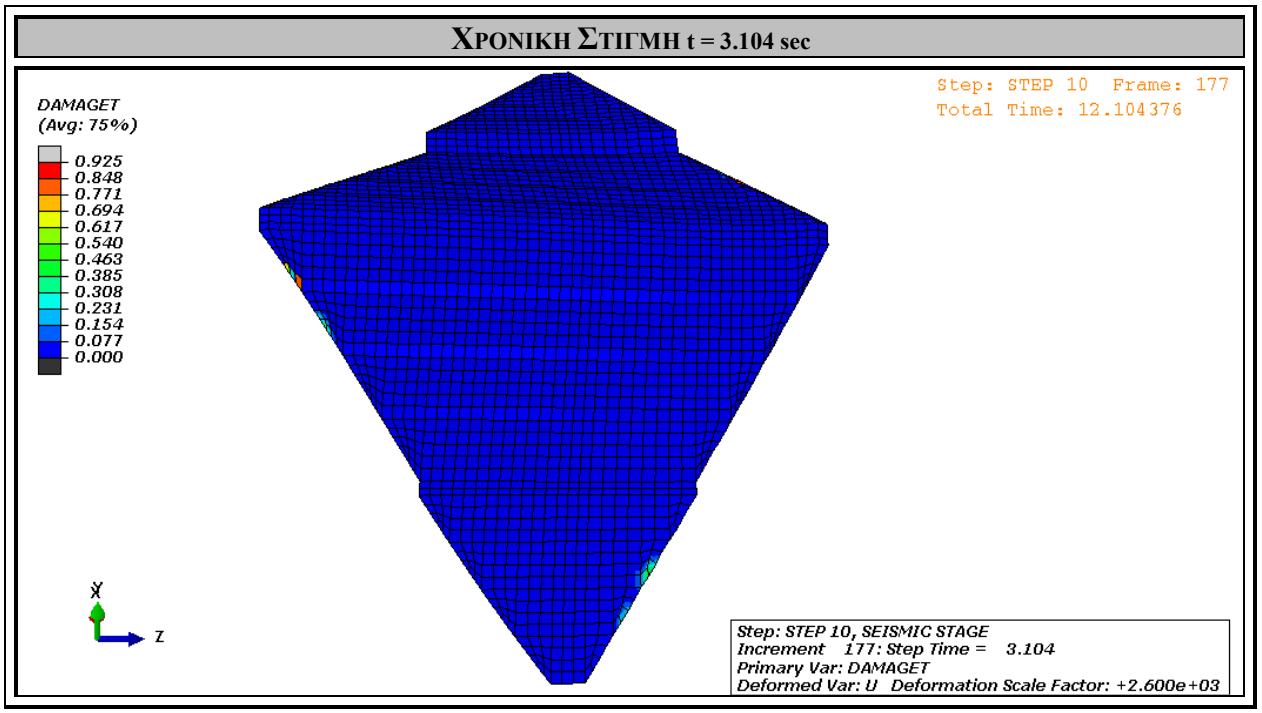


Σχήμα 4.171. *Επέκταση εφελκυστικών βλαβών στην δεξία παρειά του φράγματος (στην κατάντη πλευρά, κοντά στο δεξί αντέρεισμα) τη χρονική στιγμή t = 2.818 sec.*

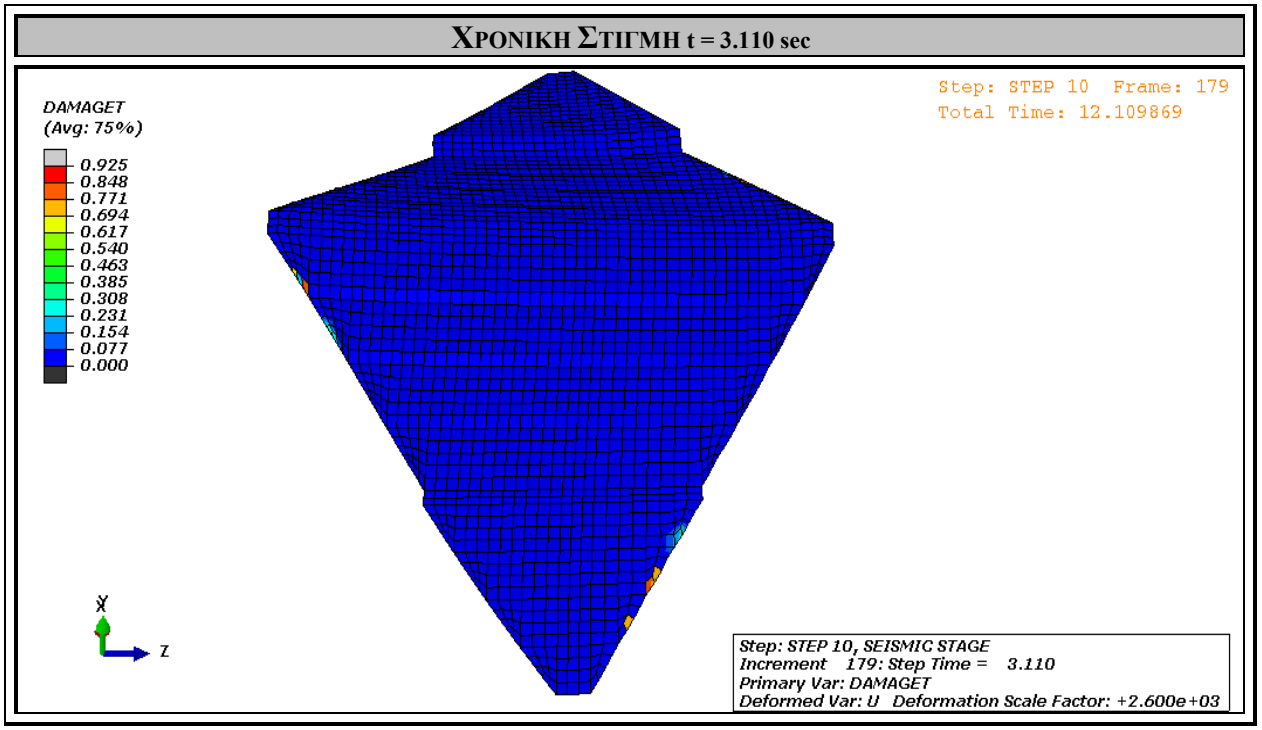


Σχήμα 4.172. *Επέκταση εφελκυστικών βλαβών στην δεξιά παρειά του φράγματος (στην κατάντη πλευρά, κοντά στο δεξί αντέρεισμα) τη χρονική στιγμή t = 2.824 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

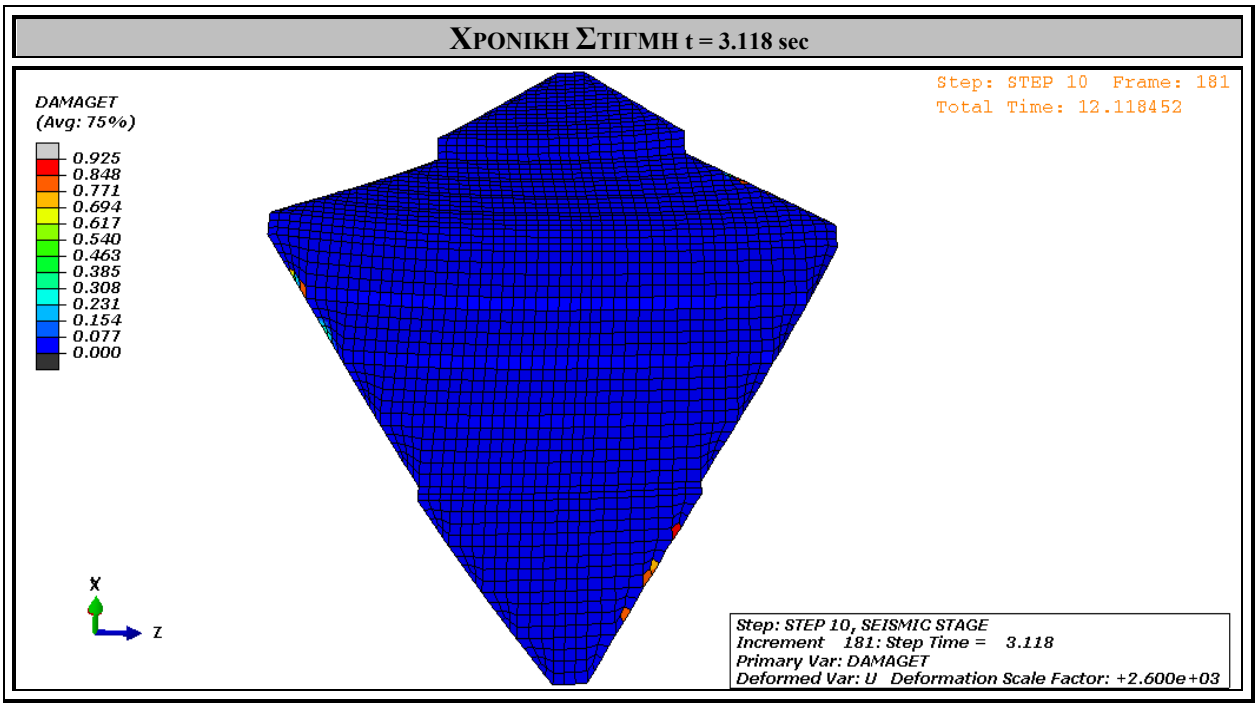


Σχήμα 4.173. *Δημιουργία εφελκυστικών βλαβών στην δεξία παρειά του φράγματος (στην ανάντη πλευρά, κοντά στο δεξί αντέρεισμα) τη χρονική στιγμή t = 3.104 sec.*

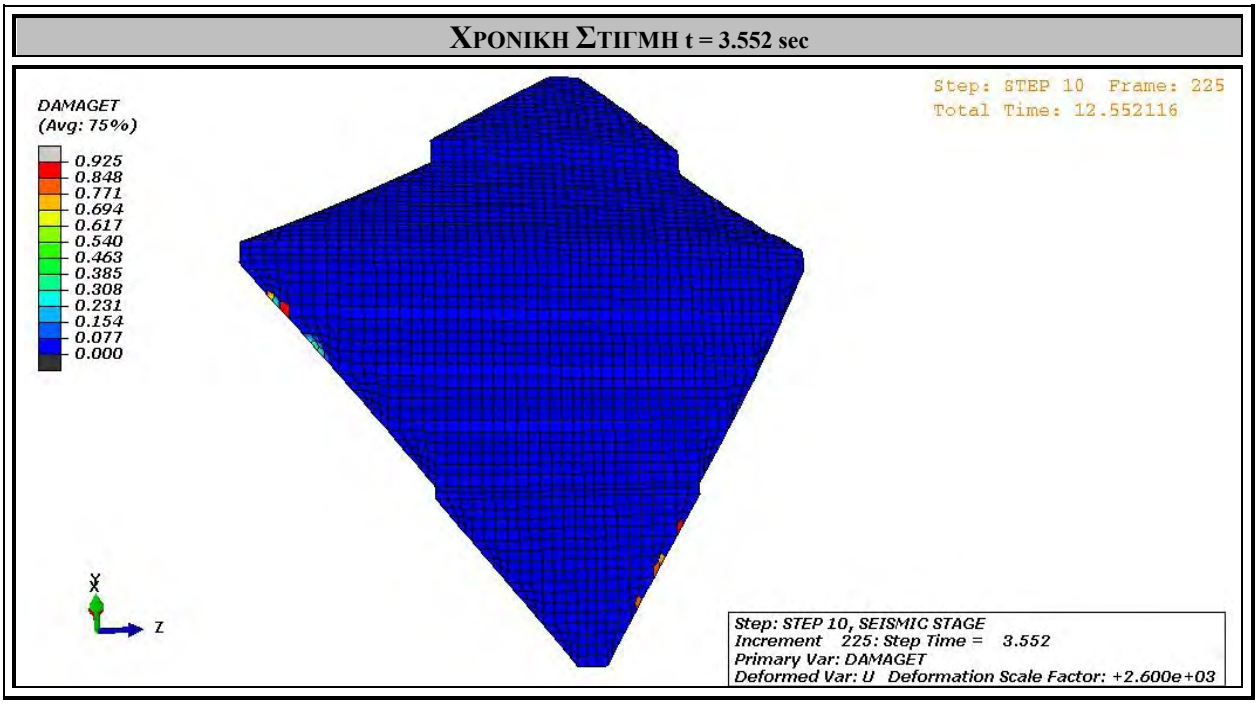


Σχήμα 4.174. *Επέκταση εφελκυστικών βλαβών στην δεξιά παρειά του φράγματος (στην ανάντη πλευρά, κοντά στο δεξί αντέρεισμα) τη χρονική στιγμή t = 3.110 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

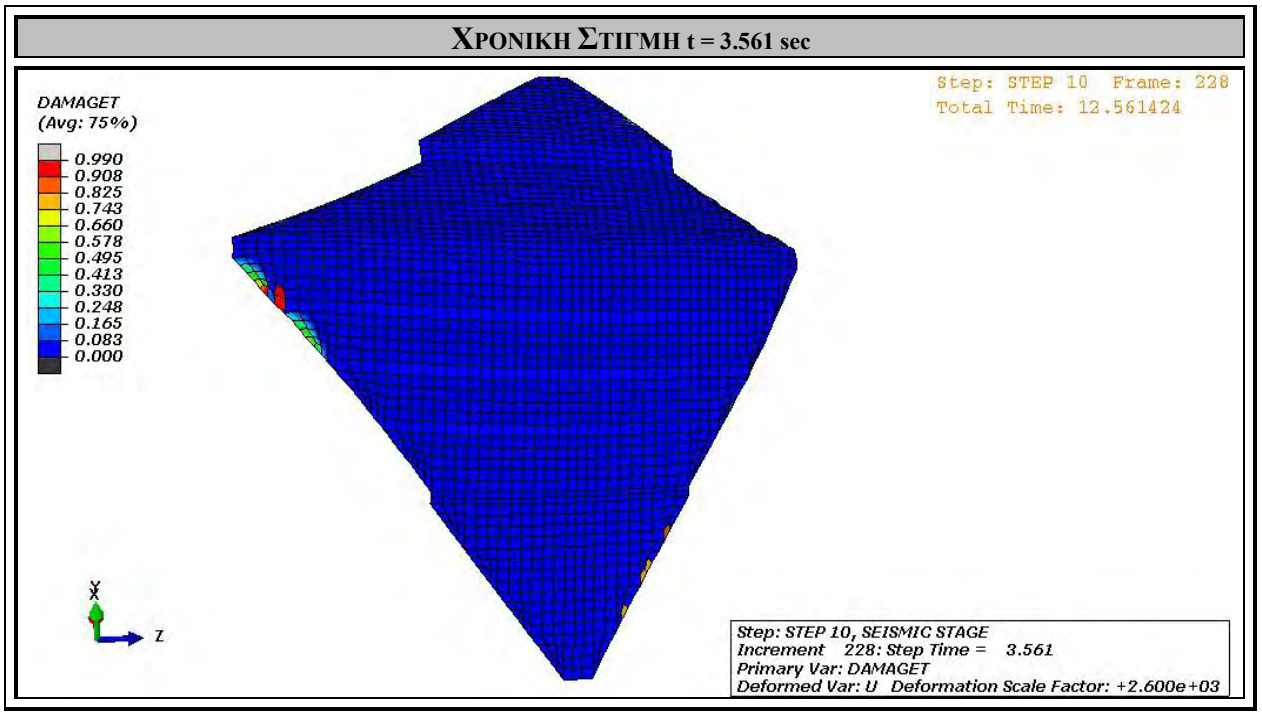


Σχήμα 4.175. *Επέκταση εφελκυστικών βλαβών στην δεξία παρειά του φράγματος (στην ανάντη πλευρά, κοντά στο δεξί αντέρεισμα) τη χρονική στιγμή t = 3.118 sec.*

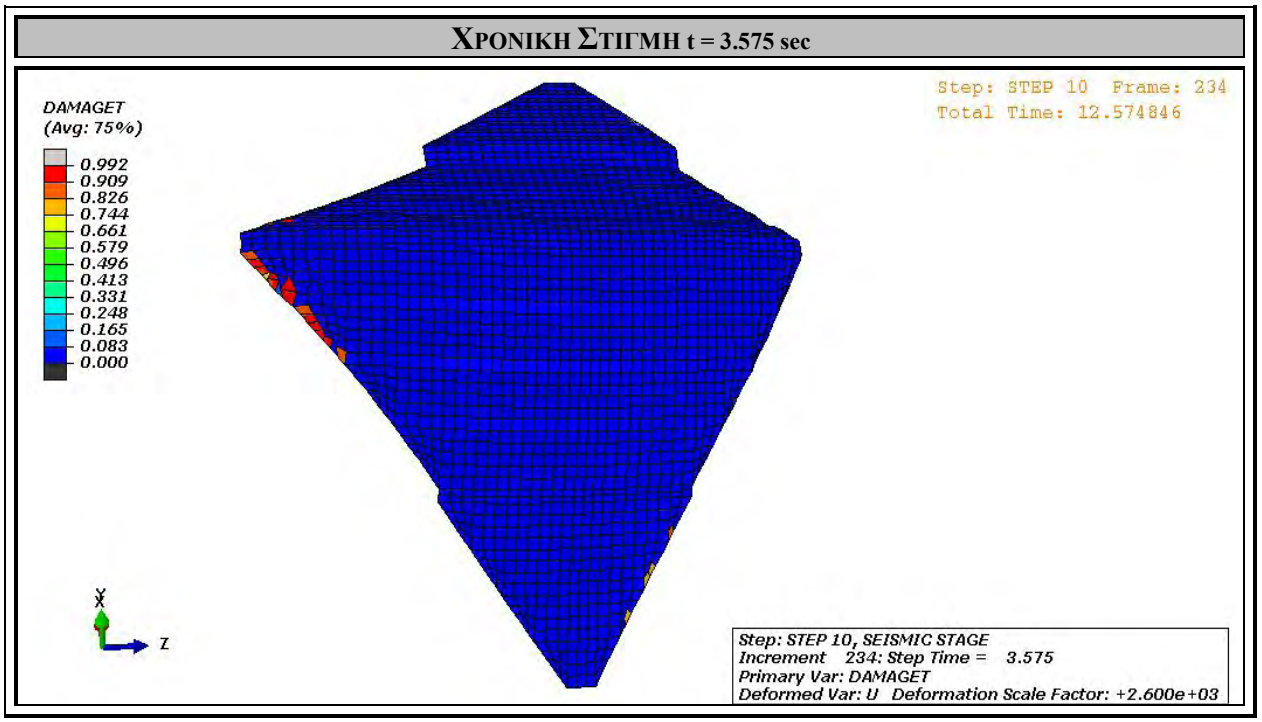


Σχήμα 4.176. *Επέκταση εφελκυστικών βλαβών στην αριστερή παρειά του φράγματος (στην ανάντη πλευρά, κοντά στο αριστερό αντέρεισμα) τη χρονική στιγμή t = 3.552 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

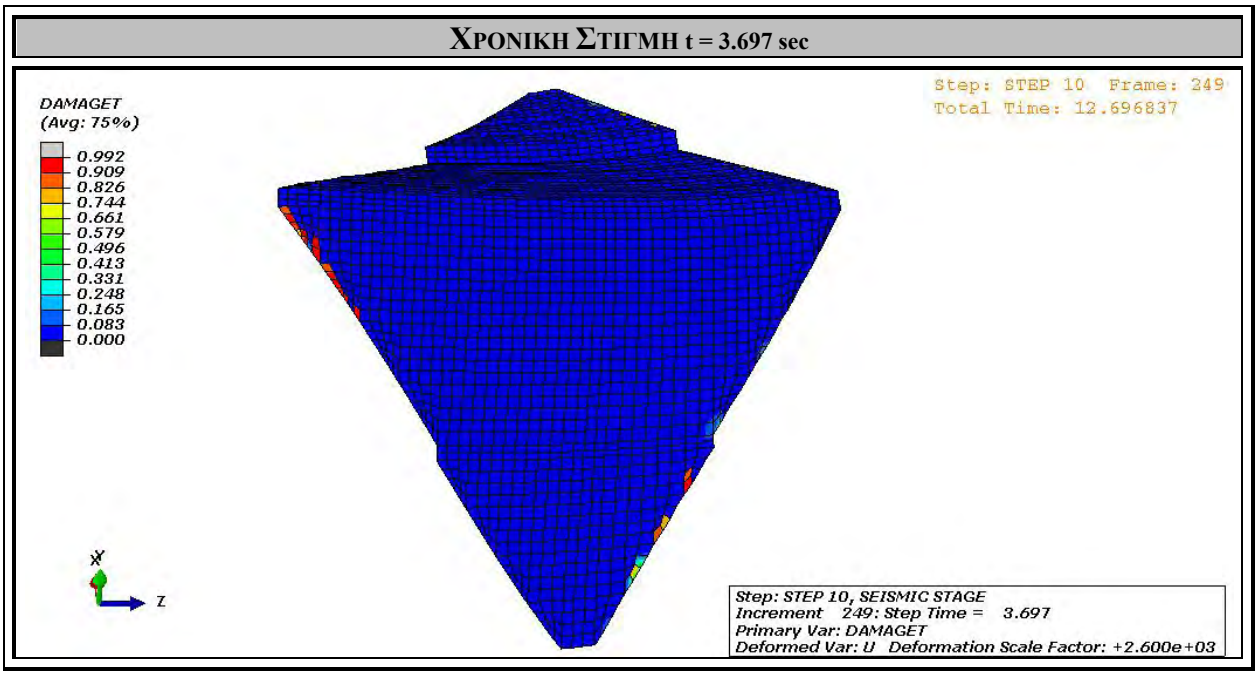


Σχήμα 4.177. *Επέκταση εφελκυστικών βλαβών στην αριστερή παρειά του φράγματος (στην ανάντη πλευρά, κοντά στο αριστερό αντέρεισμα) τη χρονική στιγμή t = 3.561 sec.*

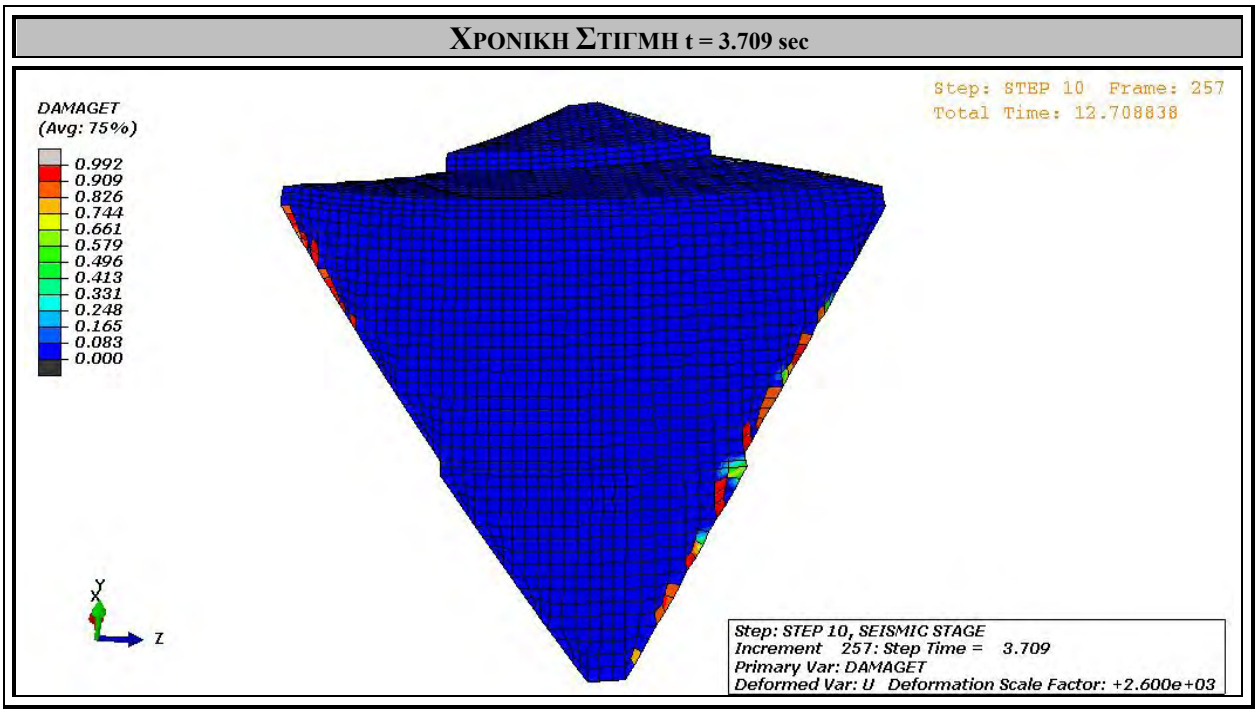


Σχήμα 4.178. *Επέκταση εφελκυστικών βλαβών στην αριστερή παρειά του φράγματος (στην ανάντη πλευρά, κοντά στο αριστερό αντέρεισμα) τη χρονική στιγμή t = 3.575 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

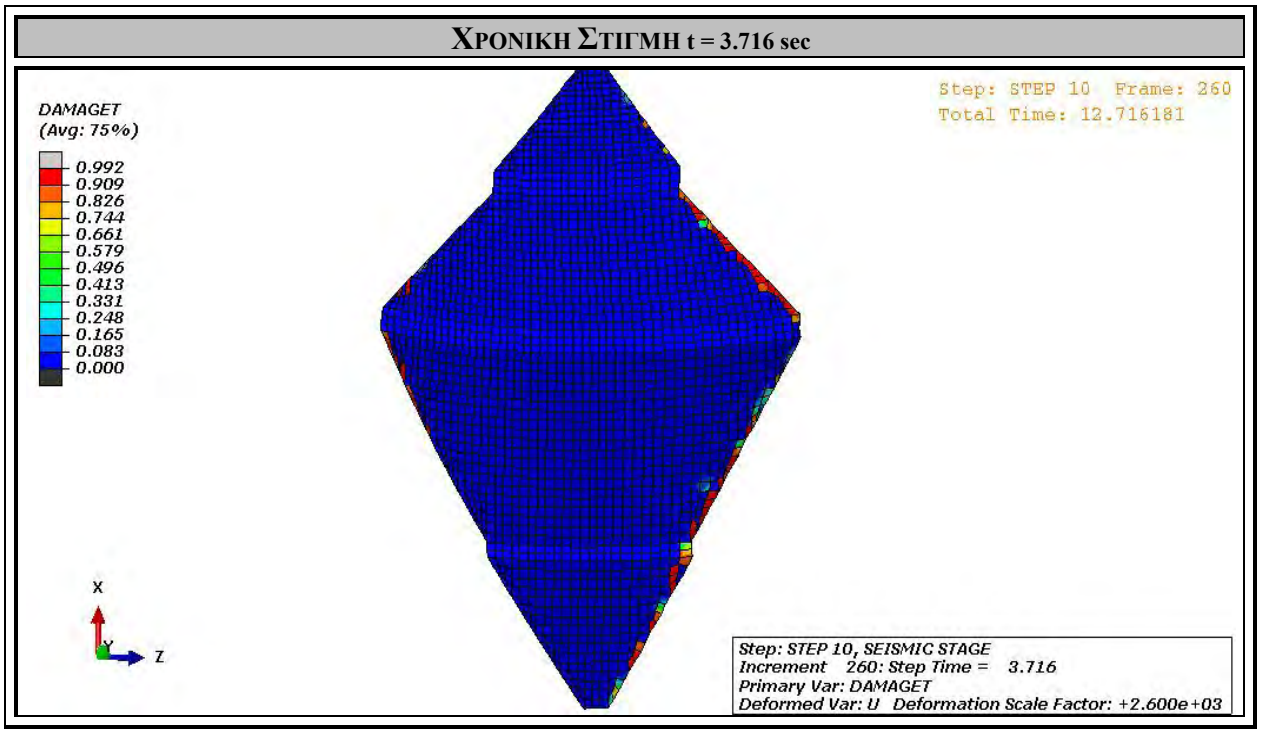


Σχήμα 4.179. *Επέκταση εφελκυστικών βλαβών στην δεξιά παρειά του φράγματος (στην ανάντη πλευρά, κοντά στο δεξί αντέρεισμα) τη χρονική στιγμή t = 3.697 sec.*

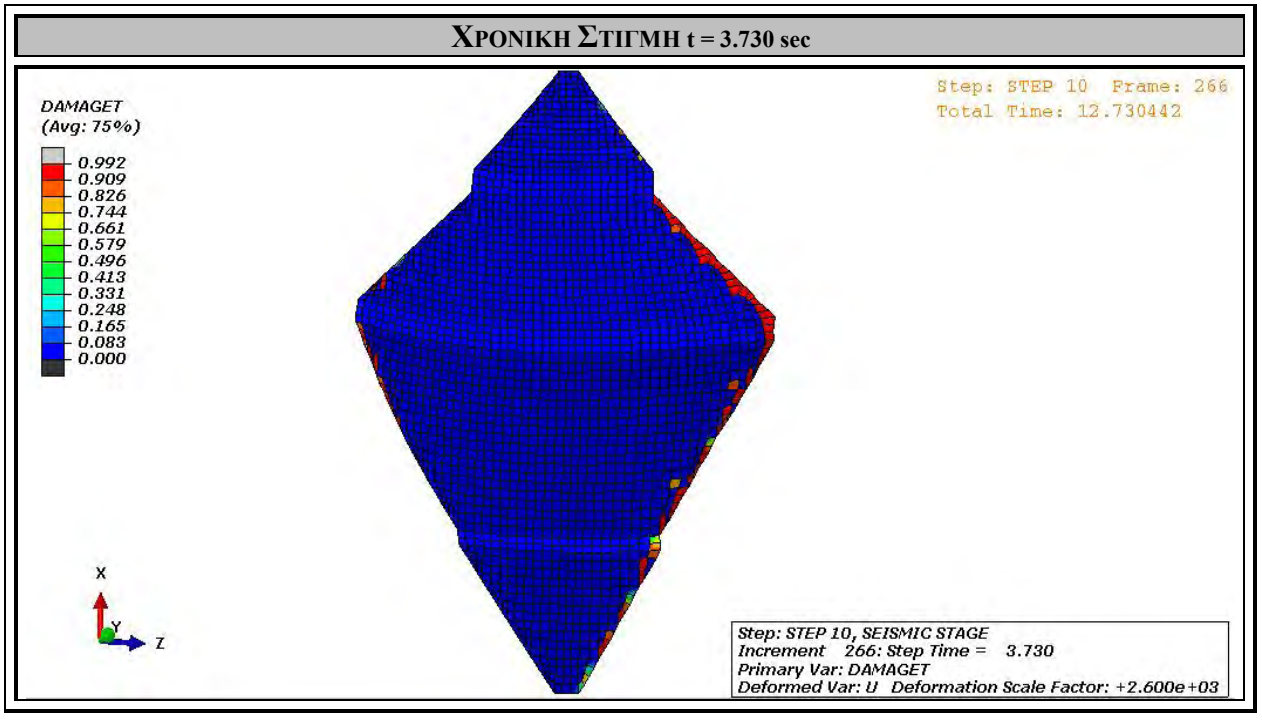


Σχήμα 4.180. *Επέκταση εφελκυστικών βλαβών στην δεξιά παρειά του φράγματος (στην ανάντη πλευρά, κοντά στο δεξί αντέρεισμα) τη χρονική στιγμή t = 3.709 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

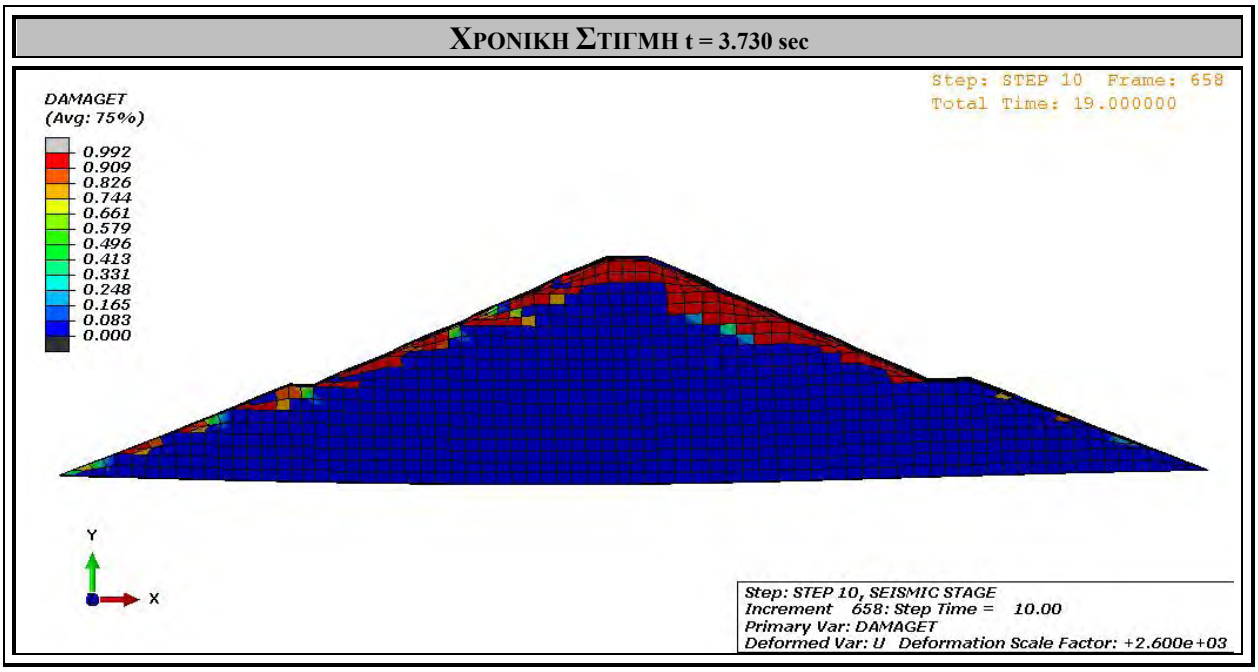


Σχήμα 4.181. *Επέκταση εφελκυστικών βλαβών στην δεξιά παρειά του φράγματος (στην ανάντη και κατάντη πλευρά, κοντά στο δεξί αντέρεισμα) τη χρονική στιγμή t = 3.716 sec.*

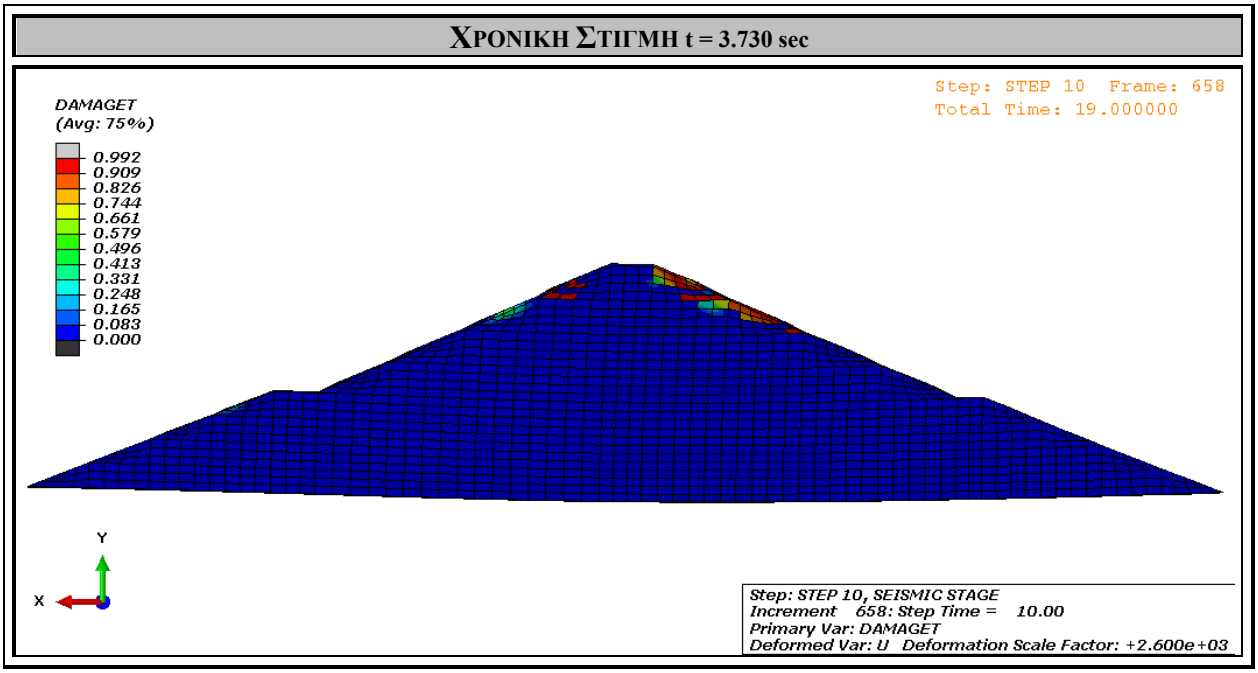


Σχήμα 4.182. *Επέκταση εφελκυστικών βλαβών στην δεξιά παρειά του φράγματος (στην ανάντη και κατάντη πλευρά, κοντά στο δεξί αντέρεισμα) τη χρονική στιγμή t = 3.730 sec.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



Σχήμα 4.183. *Διατομή φράγματος ΧΥ με την αποτύπωση της τελικής εφελκυστικής βλάβης.*



Σχήμα 4.184. *Διατομή ΥΧ φράγματος με την αποτύπωση της τελικής εφελκυστικής βλάβης.*

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΣΥΜΒΟΛΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

5.1. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάστηκαν τα φράγματα ως μια από τις σημαντικότερες κατασκευές στο σύγχρονο κόσμο και αναφέρθηκαν οι αιτίες αστοχιών. Βασικός και κυρίαρχος παράγοντας που πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη είναι το υπόβαθρο θεμελίωσης του φράγματος. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων *Abaqus 6.10*, μοντελοποιήθηκε μια κοιλάδα και προσομοιώθηκε η σταδιακή κατασκευή ενός φράγματος βαρύτητας εντός της κοιλάδας, η πλήρωση της λεκάνης με νερό και η σεισμική διέγερση της κοιλάδας. Επιλέχθηκε μια σειρά από βραχώδη γεωϋλικά και εξετάστηκαν διάφορες περιπτώσεις γεωλογικής διαστρωμάτωσης υπεδάφους και πρανών, με σκοπό την κατασκευή του φράγματος στην υπό μελέτη κοιλάδα με συγκεκριμένα βραχώδη υλικά. Η εξεταζόμενη στρωματογραφία έχει καθαρά παραμετρικό σκοπό χωρίς να λαμβάνει υπόψη την γεωλογική ιστορία των εκάστοτε σχηματισμών. Οι αναλύσεις που πραγματοποιηθήκαν ήταν στατικού και δυναμικού τύπου.

Σκοπός της εργασίας ήταν να μελετηθούν οι κατανομές των τάσεων και των καθιζήσεων που προέκυψαν για κάθε περίπτωση κοιλάδας και να εξαχθούν ορισμένα χρήσιμα και βασικά συμπεράσματα για την προοπτική πραγματικής κατασκευής ενός φράγματος βαρύτητας σε κοιλάδες με βραχώδη υλικά παρόμοιας μηχανικής συμπεριφοράς και τις περιπτώσεις τοποθεσιών που πρέπει να αποφεύγονται, με σκοπό την προσπάθεια αποτελεσματικότερης αντιμετώπισης αστοχιών φραγμάτων.

5.2. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

Αναλύοντας και μελετώντας τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από τις παραμετρικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, συγκεντρώνεται μια πλειάδα βασικών και χρήσιμων συμπερασμάτων που αφορούν τις γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν σε μια κοιλάδα, στην οποία πρόκειται να γίνει η κατασκευή ενός φράγματος βαρύτητας και η σεισμική διέγερση της συγκεκριμένης περιοχής. Τα συμπεράσματα που συγκεντρώνονται είναι τα παρακάτω:

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

5.2.1. ΕΙΔΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Στις κοιλάδες στις οποίες εντοπίζονται μαλακά υλικά με μεγάλη συμπιεστότητα, ήτοι με πολύ μικρό μέτρο ελαστικότητας, μετά την σταδιακή κατασκευή του φράγματος εμφανίζονται αρκετά μεγάλες καθιζήσεις, της τάξης των cm.

- Αντίστοιχα, σε αντίθετη περίπτωση, σε κοιλάδες δηλαδή όπου τα βραχώδη υλικά μπορούν να χαρακτηριστούν πρακτικώς ασυμπίεστα, ήτοι εμφανίζουν πολύ μεγάλο μέτρο ελαστικότητας, οι καθιζήσεις που προκύπτουν είναι της τάξης των mm, πολύ μικρές.

- Στην περίπτωση της κοιλάδας, στην οποία τα βραχώδη αντερείσματα και το υπέδαφος χαρακτηρίζονται από πρακτικά ανόμοια συμπιεστότητα, παρατηρούμε έντονη καθίζηση στο τμήμα της κοιλάδας με τη μεγαλύτερη συμπιεστότητα, ήτοι με το μικρότερο μέτρο ελαστικότητας. Συνεπώς, σε μια κοιλάδα, στην οποία τα βραχώδη αντερείσματα του φράγματος αποτελούνται από αρκετά πιο συμπιεστό γεωϋλικό σε σχέση με το υπέδαφος, οι καθιζήσεις που εμφανίζονται στις παρειές του φράγματος που θεμελιώνονται στα πρανή είναι πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με τις καθιζήσεις της βάσης. Αντίθετα, σε μια κοιλάδα στην οποία τα βραχώδη πρανή του φράγματος αποτελούνται από πρακτικά ασυμπίεστο γεωϋλικό σε σχέση με το υπέδαφος, οι καθιζήσεις που εμφανίζει η βάση του φράγματος είναι μεγαλύτερες.

- Σε μια κοιλάδα αντίθετα, στην οποία η συμπιεστότητα των βραχωδών πρανών και του υπεδάφους του φράγματος είναι παρόμοια (είτε μεγάλη είτε μικρή), η μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση εμφανίζεται κοντά στο κέντρο του φράγματος.

- Έγινε αντιληπτό ότι, στις κοιλάδες στις οποίες το υπέδαφος και τα βραχώδη αντερείσματα διακρίνονται από διαφορετική συμπιεστότητα, ήτοι το μέτρο ελαστικότητάς τους διαφέρει κατά πολύ, υπάρχει μια άνιση κατανομή των τάσεων που αναπτύσσονται, και μάλιστα μέγιστες τάσεις αναπτύσσονται στο τμήμα της κοιλάδας με τη μικρότερη συμπιεστότητα, δηλαδή το μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας. Αυτό συμβαίνει διότι, το βραχώδες υλικό με τη μικρότερη συμπιεστότητα εμφανίζει μεγαλύτερη αντίσταση στις παραμορφώσεις, συνεπώς παραλαμβάνει μεγαλύτερες τάσεις. Συνεπώς, σε κοιλάδα με πρακτικά ασυμπίεστα βραχώδη πρανή και συμπιεστό υπόβαθρο οδηγεί σε μεγαλύτερη ανάπτυξη τάσεων στις παρειές του φράγματος, και, αντίστοιχα, σε κοιλάδα με συμπιεστά βραχώδη πρανή και πρακτικά ασυμπίεστο υπόβαθρο οδηγεί σε μεγαλύτερη ανάπτυξη τάσεων στη βάση του φράγματος.

- Στις κοιλάδες στις οποίες το μέτρο ελαστικότητας των βραχωδών πρανών και του υποβάθρου είναι πρακτικά όμοιο, έγινε αντιληπτό ότι υπάρχει μια περισσότερο ισοκατανομή των τάσεων στην κοιλάδα, με αποτέλεσμα να μην υπερφορτίζεται κάποιο συγκεκριμένο τμήμα κοντά στο φράγμα.

- Στην περίπτωση κοιλάδας όπου εντοπίζονται διεπιφάνειες βραχωδών στρωμάτων, έγινε αντιληπτό ότι, στο τμήμα της κοιλάδας όπου υπήρχε πιο συμπιεστό γεωϋλικό

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

παρατηρήθηκαν μεγαλύτερες καθιζήσεις και μικρότερες τάσεις, για τους λόγους που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο συμπέρασμα.

- Σε περίπτωση πολυστρωματικού σχηματισμού με οριζόντιες στρώσεις, παρατηρήθηκε ότι, στις περιπτώσεις που υπήρχε φθίνουσα πορεία συμπιεστότητας με αύξηση του βάθους (το πιο ασυμπίεστο υλικό στο μεγαλύτερο βάθος), οι καθιζήσεις ήταν εντονότερες στην επιφάνεια του υπεδάφους και οι τάσεις ισοκατανεμημένες, ενώ στις περιπτώσεις που υπήρχε αύξουσα πορεία συμπιεστότητας με αύξηση του βάθους (το πιο ασυμπίεστο υλικό στην επιφάνεια του υπεδάφους), παρατηρήθηκε πολύ έντονη εμφάνιση τάσεων στο πιο σκληρό στρώμα, ενώ υπήρξε μια γενική βύθιση ολόκληρου του υπεδάφους, εξαιτίας της παρουσίας μαλακών στρωμάτων σε μεγαλύτερα βάθη.

- Στην περίπτωση της σεισμικής καταπόνησης μιας κοιλάδας έγινε εμφανές ότι, στις κοιλάδες στις οποίες τα βραχώδη πρανή και το υπέδαφος αποτελούνται από αρκετά ασυμπίεστα βραχώδη υλικά το φράγμα εμφανίζει καλύτερη συμπεριφορά απέναντι σε κοιλάδες στις οποίες εμφανίζονται συμπιεστά υλικά. Αυτό συμβαίνει διότι, η μεγάλη συμπιεστότητα των βραχωδών υλικών, σε συνδυασμό με την δυναμική κίνηση που εμφανίζεται στην κοιλάδα, οδηγεί σε έντονες ανυψώσεις και υποχωρήσεις του εδάφους, με αποτέλεσμα να προκαλείται τοπικός εφελκυσμός στο φράγμα. Περισσότερο συμπιεστό υλικό στα αντερείσματα προκαλεί έντονο εφελκυσμό στις παρειές του φράγματος, και κατ' επέκταση μεγαλύτερη πιθανότητα εφελκυστικών βλαβών, ενώ, περισσότερο συμπιεστό υλικό στο υπέδαφος οδηγεί σε εντονότερο εφελκυσμό τη βάση του φράγματος, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης εφελκυστικών βλαβών να εμφανίζεται κοντά στη βάση του φράγματος.

- Συμπεραίνοντας από το σύνολο των αναλύσεων, η χρήση υγιούς βραχώδους υλικού οδήγησε στην ασφαλέστερη ανάληψη των τάσεων και αποφυγή ανάληψή τους από το ίδιο το φράγμα.

5.2.2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

- Η κοιλάδα, στην οποία πρόκειται να γίνει θεμελίωση ενός φράγματος, πρέπει να αποτελείται από όσο το δυνατόν υγιή βραχόμαζα, χωρίς αποσάθρωση ή μεγάλου εύρους ασυμφωνίες, με σκοπό να αποφεύγονται μακροχρόνιες αστοχίες.

- Η συμπιεστότητα των βραχωδών πρανών και του υπεδάφους πρέπει να είναι παρόμοια και να μην υπάρχει μεγάλη απόκλιση του μέτρου ελαστικότητάς τους, διότι, όπως φάνηκε και στις αναλύσεις, σε περίπτωση πρανών με αρκετά σκληρό υλικό και υπέδαφος με μαλακό και συμπιεστό υλικό και το αντίστροφο προκύπτει ανάπτυξη μεγάλων τάσεων στο περισσότερο ασυμπίεστο υλικό, κάτι το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία ή ολίσθηση και κατ' επέκταση πιθανή αστοχία του φράγματος.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

- Οι κοιλάδες, στις οποίες εντοπίζονται μαλακά και συμπιεστά υλικά, πρέπει να αποφεύγονται, διότι οι καθιζήσεις που θα προκύψουν από την κατασκευή του φράγματος και την πλήρωση της λεκάνης με νερό θα είναι μεγάλες, κάτι το οποίο οδηγεί το φράγμα σε πολλά προβλήματα Σε περίπτωση που επιλέγεται τέτοιου τύπου κοιλάδα, είναι επιβεβλημένο πριν την οποιαδήποτε έναρξη κατασκευής του φράγματος να πραγματοποιείται εκσκαφή των επιφανειακών υλικών, έως ότου βρεθεί κατάλληλο βραχώδες υπόβαθρο για τη θεμελίωση.

- Δεν πρέπει να γίνεται ποτέ θεμελίωση πάνω σε διεπιφάνειες μεταξύ διαφορετικών στρωμάτων, στις οποίες υπάρχει μεγάλη απόκλιση συμπιεστότητας (μεγάλη απόκλιση στα μέτρα ελαστικότητας των διαφορετικών βραχωδών υλικών) στα διαφορετικά γεωϋλικά. Αυτό οδηγεί σε διαφορικές καθιζήσεις της βάσης του φράγματος, κάτι το οποίο δεν είναι σε καμία περίπτωση επιθυμητό. Πρέπει το μέτρο ελαστικότητας των διαφορετικών γεωϋλικών να είναι σχετικά παρεμφερές και αρκετά μεγάλης τάξης μεγέθους.

- Οι κοιλάδες που διαθέτουν πρανή και υπέδαφος με πρακτικά ασυμπίεστα και σκληρά υλικά είναι οι ιδανικές για την κατασκευή ενός φράγματος βαρύτητας, διότι οι τάσεις που αναπτύσσονται στη βραχόμαζα του υπεδάφους και των πρανών είναι ισοκατανεμημένες σε όλη τη μάζα τους, πράγμα που σημαίνει ότι αποφεύγεται η υπερφόρτιση μεμονωμένων περιοχών, με αποτέλεσμα να αποτρέπεται και η μακροχρόνια αστοχία εδαφών.

- Πολυστρωματικό υπέδαφος με ασυμπίεστες και σκληρές ανώτερες στρώσεις και μαλακές και συμπιεστές κατώτερες στρώσεις δεν ενδείκνυται για θεμελίωση φράγματος, διότι οι καθιζήσεις του υποβάθρου είναι αρκετά μεγάλες και οι τάσεις που αναπτύσσονται στα ανώτερα στρώματα είναι πολύ μεγάλες, σε σχέση με τα κατώτερα στρώματα.

- Η κεκλιμένη διάταξη βραχωδών στρωμάτων, η οποία είναι και η πιο διαδεδομένη στη φύση, είναι μια πολύ καλή περίπτωση υπεδάφους θεμελίωσης, διότι η κατανομή των τάσεων που αναπτύσσονται γίνεται σε ολόκληρο το σώμα του υπεδάφους με ομοιόμορφη κατανομή, με αποτέλεσμα να μην επιβαρύνονται συγκεκριμένες περιοχές με υψηλές τάσεις.

- Στην περίπτωση σεισμού, έγινε αντιληπτό ότι στα περισσότερο συμπιεστά εδάφη είναι συχνό φαινόμενο η διαρκής έντονη ανύψωση και υποχώρηση του εδάφους. Αυτό προκαλεί έντονο και συνεχή εφελκυσμό στο σώμα του φράγματος, κάτι το οποίο προκαλεί εφελκυστικές ρωγμές. Συνεπώς, είναι λογικό το φράγμα να θεμελιώνεται σε αρκετά ασυμπίεστο έδαφος.

5.2.3. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η παρούσα μελέτη που εκπονήθηκε αποτελεί μια καθαρά θεωρητική μελέτη, κατά την οποία πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση μιας κοιλάδας κι ενός φράγματος βαρύτητας, της οποίας η γεωλογική στρωματογραφία αποτελείτο από μια σειρά

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

πραγματικών γεωϋλικών, σε θεωρητική διαστρωμάτωση και μορφολογία. Μελετήθηκε η ανάπτυξη τάσεων και καθιζήσεων στο σύνολο της κοιλάδας, καθώς και η δημιουργία βλαβών στο σώμα του φράγματος, υπό στατικές και δυναμικές συνθήκες. Η μελέτη δεν αποτελεί απεικόνιση πραγματικών γεωλογικών συνθηκών, παρ' όλα αυτά το αντικείμενό της εστιάζεται στην επιρροή της συμπιεστότητας (μέτρο ελαστικότητας Ε, λόγος *Poisson* ν) στην μελέτη της εντατικής και παραμορφωσιακής κατάστασης στην κοιλάδα και εντέλει, στην θεωρητική επιλογή κατάλληλης θέσης θεμελίωσης ενός τέτοιους φράγματος.

Παρ' όλα αυτά, η συγκεκριμένη μελέτη μπορεί να δημιουργήσει χρήσιμες μελλοντικές επεκτάσεις, ερευνητικού ενδιαφέροντος, μερικές από τις οποίες παρατίθενται παρακάτω:

- Η μελέτη περιπτώσεων κοιλάδας, στην οποία να επικρατούν πραγματικές γεωλογικές και γεωμορφολογικές συνθήκες.

- Η μελέτη περιπτώσεων κοιλάδας, στην οποία τα γεωϋλικά που εντοπίζονται να εμφανίζουν ελαστοπλαστική συμπεριφορά και να διαθέτουν σημαντικό βαθμό αποσάθρωσης και ασυνέχειες στη μάζα τους.

- Η μελέτη μεθόδων και τρόπων ενίσχυσης του σώματος του φράγματος βαρύτητας στις ευαίσθητες περιοχές όπου θα δημιουργούνται εφελκυστικές ρωγμές έπειτα από ισχυρό σεισμό.

- Η μελέτη τρόπων αντιμετώπισης της εισόδου υπόγειου νερού κάτω από το φράγμα, σε συνδυασμό με την επιλογή των καταλληλότερων γεωϋλικών και τη μεταβολή της διαπερατότητάς τους.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Εφραιμίδης Γ., Διαφάνειες μαθήματος «Τεχνική & Θαλάσσια Γεωλογία», Π.Μ.Σ. "Ανάλυση & Σχεδιασμός Κατασκευών Ενεργειακών Υποδομών» - Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Π.Θ. (2016).

[2] Ντακούλας Π., Θανόπουλος Γ., Αναστασόπουλος Κ., Δήμου Χ., «Σεισμική αξιολόγηση του φράγματος Ταυρωπού: Μη – γραμμική δυναμική ανάλυση φράγματος – κοιλάδας – ύδατος», 2^{ο} Πανελλήνιο Συνέδριο Φραγμάτων και Ταμιευτήρων, Αθήνα, 2013.

[3] Κροκίδης Σ. Γ., Διατριβή Διπλώματος Ειδίκευσης «Ευστάθεια Υψηλών Πρανών Στο Φλύσχη: Η περίπτωση του δυτικού (βόρειου) αντερείσματος του φράγματος Μόρνου», Πανεπιστήμιο Πατρών, Απρίλιος 2013, Πάτρα.

[4] Μπλάνα Μ. Χ., Διατριβή Διπλώματος Ειδίκευσης «Ευστάθεια Υψηλών Πρανών Στο Φλύσχη: Η περίπτωση του αριστερού (νότιου) αντερείσματος του φράγματος του Μόρνου», Πανεπιστήμιο Πατρών, Απρίλιος 2013, Πάτρα.

[5] Αχιλλέως Γ. Σ., Διπλωματική Εργασία «Σεισμική Ευστάθεια Γεωφραγμάτων», Χανιά, 2015.

[6] Σαμπατάκης Ν., Άρθρο μαθήματος «Γεωλογία για Πολιτικούς Μηχανικούς. Μέρος 3: «Τεχνικά χαρακτηριστικά πετρωμάτων – επίδραση των γεωλογικών χαρακτηριστικών των γεωϋλικών στα τεχνικά έργα»».

[7] Μαρίνος Β., Λέκτορας Α.Π.Θ., Τεχνικός Γεωλόγος MSc, DIC, PhD, Διαφάνειες μαθήματος «Γεωλογικές Μελέτες Τεχνικών Έργων – 8 – 9^{ο} μάθημα: Φράγματα».

[8] Ευστρατιάδης Α., Μαμάσης Ν. & Κουτσογιάννης Δ., Διαφάνειες μαθήματος «Υδροηλεκτρικά Έργα – Φράγματα», Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ακαδημαϊκό Έτος 2014 – 2015.

[9] Ιεροδιακόνου Α., Διπλωματική Εργασία «Προσομοίωση Πειραμάτων Θλίψης και Φθοράς Επικαλύψεων με Ψεκασμό Πλάσματος με Χρήση της Μεθόδου Πεπερασμένων Στοιχείων (*Abaqus – Code*)», Αθήνα, 2013.

[10] Παπανακλή Σ. Θ., Διδακτορική Διατριβή «Προσδιορισμός Μηχανικών Παραμέτρων του Βραχώδους Υλικού και Εφαρμογή αυτών στην Εκτίμηση της Αντοχής και Παραμορφωσιμότητας της Βραχόμαζας», Πάτρα, 2007.

[11] Μπελόκας Γ., Εκπαιδευτικές σημειώσεις για το μάθημα «Βραχομηχανική και Σήραγγες», 2^{η} Έκδοση, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. & Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής – Τομέας Δομικής Μηχανικής, Φεβρουάριος 2012.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

[12] Πρόγραμμα *Abaqus 6.10,* παράδειγμα με τίτλο «Dynamic Stress/Displacement Analyses – Seismic Analysis of a Concrete Gravity Dam».

[13] Barbara Mills – Bria, Larry Nuss, Dan O' Connell and Dave Harris, «State of Practice for the Nonlinear Analysis of Concrete Dams at the Bureau of Reclamation», Bureau of Reclamation, Denver Federal Center, P.O. Box 25007, Denver, CO 80225, January 2006.

[14] Huang J. and Zerva A., «Nonlinear Analysis of a Dam – Reservoir – Foundation System Under Spatially Variable Seismic Excitations», The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12 – 17, Beijing, China, 2008.

[15] Lee J., and Fenves, G.L (1998), A plastic-damage concrete model for earthquake analysis of dams, Journal of Earthq. Eng. & Struct. Dynamics, 27: 937-596.

[16] http://www.geo.auth.gr/106/theory/pet_sedimentary.htm (Ιζηματογενή πετρώματα)

[17] http://www.geo.auth.gr/106/lessons/lesson_petro_2_sed.pdf (Ιζηματογενή πετρώματα)

[18] http://www.geo.auth.gr/106/theory/pet_metamorphic.htm (Μεταμορφωμένα πετρώματα)

[19] http://www.geo.auth.gr/106/lessons/lesson_petro_3_met.pdf (Μεταμορφωμένα πετρώματα)

[20] http://www.geo.auth.gr/106/theory/pet_igneous.htm (Πυριγενή πετρώματα)

[21] http://www.geo.auth.gr/106/lessons/lesson_petro_1_ign.pdf (Πυριγενή πετρώματα)

[22] https://en.wikipedia.org/wiki/Von_Mises_yield_criterion (Κριτήριο Von Mises)

[23] http://www.jandpcy.com/el/Palekhori-Kampi-Dam-gr

[24] http://1gym-korop.att.sch.gr/1gymkoro/index.php/oi-mathites-mas/ergasies/15-fragmata

[25] http://www.onefivenine.com/india/villag/Satara

[26] http://www.taxydromos.gr/Almyros/242266-se-leitoyrgia-to-fragma-sto-mayromati-almyroy.html

[27] http://edafotexniki.gr/index.webman?lang=gr&section=work&id=7

[28] Αγιουτάντης Ζ., ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΕΩΜΗΧΑΝΙΚΗΣ, Μηχανική Πετρωμάτων, Εκδόσεις "ΙΩΝ" Στέλλα Παρίκου & ΣΙΑ Ο.Ε., 2010.

[29] Touloukian Y.S., Judd W.R., Roy R.F., PHYSICAL PROPERTIES OF ROCKS AND MINERALS, Hemisphere Publishing Corporation, 1989.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

[30] Dakoulas P., Nonlinear seismic response of tall concrete – faced rockfill dams in narrow canyons, Soil Dynamic and Earthquake Engineering 34 11 – 24, 2012.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Πίνακας 7.6: Μηχανικές ιδιότητες πυριγενών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων που απαντώνται στη Μεγάλη Βρετανία (Bell, 1983)

Πέτρωμα	Πυκνότητα (g/cm^3)	Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (MPa)	Δείκτης σημειακής Φόρτισης (MPa)	Σκληρότητα κατά Shore	Δοκιμή αναπήδησης Schmidt	Μέτρο ελαστικότητας (GPa)
Γρανίτης Α	2.68	176.4	11.3	77	54	60.6
Γρανίτης Β	2.65	198.3	12.0	80	50	56.6
Γρανίτης Γ	2.67	147.8	10.3	74	69	41.1
Ανδεσίτης	2.79	204.3	14.8	82	67	77.0
Βασάλτης	2.91	321.0	16.9	86	61	93.6
Σχιστόλιθος	2.66	82.7	7.2	47	31	35.5
Γνεύσιος	2.66	162.0	12.7	68	49	46.0
Ψαμμίτης	2.68	11.6	0.7	18	10	6.4
Ασβεστόλιθος	2.83	54.6	2.7	43	35	41.3

Γρανίτης Α = Γρανίτης από την περιοχή Mount Sorrel, Γρανίτης Β = Γρανίτης από την περιοχή Eskdale, Γρανίτης Γ = Γρανίτης από την περιοχή Dalbeattie, Ανδεσίτης = Ανδεσίτης από την περιοχή Somerset, Βασάλτης = Βασάλτης από την περιοχή Derbyshire, Σχιστόλιθος = Σχιστόλιθος από την περιοχή Aberdeenshire (δοκιμές κάθετα προς τη σχιστότητα), Ψαμμίτης = Ψαμμίτης από την περιοχή Edwinstowe, Ασβεστόλιθος = Ασβεστόλιθος από την περιοχή Anston.

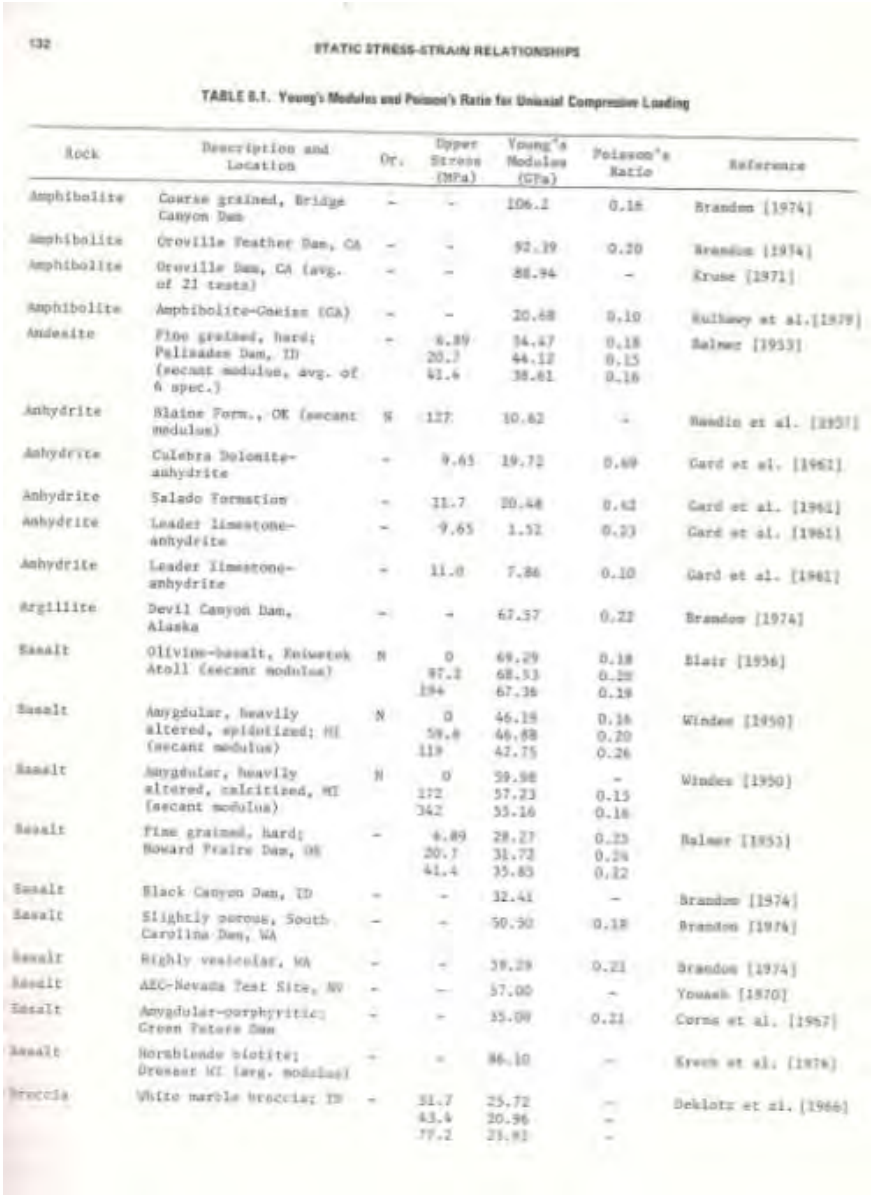
Παράρτημα Α: *Πίνακας ιδιοτήτων γεωϋλικών, ([28])*.

Πίνακας 7.7: Μηχανικές ιδιότητες ορισμένων πετρωμάτων (Bieniawski, 1984)

	Αντοχή σε θλίψη (MPa)			Αντοχή σε εφελκυσμό (MPa)			Μέτρο ελαστικότητας (GPa)			Λόγος Poisson		
	Ελαχ.	Μεγ.	Μέση	Ελαχ.	Μεγ.	Μέση	Ελαχ.	Μεγ.	Μέση	Ελαχ.	Μεγ.	Μέση
Βασάλτης	42	355	150	2	28	13	16	101	53	0.13	0.38	0.22
Δολερίτης	227	319	280	12	26	20	60	90	70	0.15	0.29	0.20
Γνεύσιος	73	340	159	3	21	14	16	103	58	0.10	0.40	0.22
Γρανίτης	30	324	166	3	39	12	10	74	45	0.10	0.39	0.23
Ασβεστόλιθος	48	210	102	2	40	12	1	92	48	0.08	0.39	0.25
Νορίτης	290	326	298	15	25	20	90	110	100	0.21	0.26	0.24
Χαλαζίτης	200	304	252	17	28	25	70	105	90	0.11	0.25	0.16
Ψαμμίτης	40	179	96	3	7	5	10	46	22	0.10	0.40	0.24
Σχιστόλιθος	36	172	95	2	5	3	10	44	28	0.10	0.19	0.14
Άνθρακας Pittsburgh	14.4	29.7	22.2	1.9	3.2	2.5	1.5	3.7	3.2	-	-	0.37
Άνθρακας Pocahontas	18.2	19.5	18.9	-	-	-	2.4	2.7	2.6	-	-	-
Άνθρακας Herrin	10.0	14.1	11.4	-	-	-	3.1	3.8	3.5	-	-	0.42
Άνθρακας Witbank	23.5	39.3	31.6	-	-	-	3.9	5.3	4.6	0.33	0.37	0.35

Παράρτημα Β: *Πίνακας ιδιοτήτων γεωϋλικών, ([28])*.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212



132 STATIC STRESS-STRAIN RELATIONSHIPS

TABLE 8.1. Young's Modulus and Poisson's Ratio for Uniaxial Compressive Loading

Rock	Description and Location	Or.	Upper Stress (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Poisson's Ratio	Reference
Amphibolite	Course grained, Bridge Canyon Dam	-	-	106.2	0.18	Brandon [1974]
Amphibolite	Oroville Feather Dam, CA	-	-	92.39	0.20	Brandon [1974]
Amphibolite	Oroville Dam, CA (avg. of 21 tests)	-	-	88.94	-	Kruse [1971]
Amphibolite	Amphibolite-Gneiss (GA)	-	-	20.68	0.10	Hathaway et al.[1979]
Andesite	Fine grained, hard; Palisades Dam, ID (secant modulus, avg. of 6 spec.)	-	6.89 20.7 41.4	34.47 44.12 38.61	0.18 0.15 0.16	Balmer [1953]
Anhydrite	Blaine Form., OK (secant modulus)	N	127	10.62	-	Handin et al. [1957]
Anhydrite	Culebra Dolomite-anhydrite	-	9.65	19.72	0.69	Gard et al. [1961]
Anhydrite	Salado Formation	-	11.7	20.48	0.42	Gard et al. [1961]
Anhydrite	Leader limestone-anhydrite	-	9.65	1.52	0.23	Gard et al. [1961]
Anhydrite	Leader limestone-anhydrite	-	11.0	7.86	0.10	Gard et al. [1961]
Argillite	Devil Canyon Dam, Alaska	-	-	67.57	0.22	Brandon [1974]
Basalt	Olivine-basalt, Eniwetok Atoll (secant modulus)	N	0 97.2 194	69.29 68.53 67.36	0.18 0.20 0.19	Blair [1956]
Basalt	Amygdular, heavily altered, epidotized; MI (secant modulus)	N	0 59.8 119	46.16 46.88 47.75	0.16 0.20 0.26	Windes [1950]
Basalt	Amygdular, heavily altered, calcitized, MI (secant modulus)	N	0 172 342	59.98 57.23 55.16	- 0.15 0.16	Windes [1950]
Basalt	Fine grained, hard; Howard Prairie Dam, OR	-	6.89 20.7 41.4	28.27 31.72 35.83	0.23 0.24 0.32	Balmer [1953]
Basalt	Black Canyon Dam, ID	-	-	32.41	-	Brandon [1974]
Basalt	Slightly porous, South Carolina Dam, WA	-	-	50.90	0.18	Brandon [1974]
Basalt	Highly vesicular, WA	-	-	38.29	0.21	Brandon [1974]
Basalt	AEC-Nevada Test Site, NV	-	-	57.00	-	Yousseb [1970]
Basalt	Amygdular-porphyritic; Green Peters Dam	-	-	35.09	0.21	Corns et al. [1957]
Basalt	Hornblende biotite; Dresser MI (avg. modulus)	-	-	86.10	-	Krech et al. [1974]
Breccia	White marble breccia; ID	-	31.7 43.4 77.2	25.72 20.96 23.93	- - -	Deklotz et al. [1966]

Παράρτημα Γ: *Πίνακας ιδιοτήτων γεωϋλικών,* (*[29]*).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

TABLE 6.1. Young's Modulus and Poisson's Ratio for Uniaxial Compressive Loading (continued)

Rock	Description and Location	Or.	Upper Stress (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Poisson's Ratio	Reference
Breccia	Marble breccia; GA	-	1.38	2.07	-	Deklotz et al. [1966]
			2.76	5.44	-	
			5.52	7.31	-	
Chalk	Niobrara, Smoky Hill Formation	-	-	1.24	-	Underwood [1964]
			-	2.76	-	
Chert	Calcedonic; Boone Formation (OK-KS) (secant modulus)	S	0	53.36	0.09	Blair [1955]
			180	55.23	0.16	
			360	56.03	0.34	
Chert	Dolomitic; Fort Payne, TN (secant modulus)	S	0	60.54	0.08	Blair [1956]
			105	61.98	0.19	
			210	73.29	0.30	
Claystone	Weathered, porous, calcareous; Palisades Dam, ID	-	-	2.83	0.04	Brandon [1974]
Claystone	Silty	-	0.69	0.21	-	Ore [1953]
Coal	Old Ben Mine, Herrin 6 seam (orientations No. 1, No. 2, and No. 3 are perpendicular)	No. 1	-	3.83	0.42	Ko et al. [1976]
		No. 2	-	3.45	0.42	
		No. 3	-	5.15	0.42	
Coal	Burreton Mine, Pittsburgh, PA, coal seam (isotropic)	No. 2	-	1.52		Ko et al. [1976]
		No. 3	-	1.66		
			-	2.97	0.37	
Coal	Gewell coal seam	-	-	4.69	-	Holland [1954]
Coal	Harlem coal seam	-	-	2.55	-	Holland [1954]
Coal	Pocahontas No. 4 seam	-	-	3.93	-	Holland [1954]
Coal	Pittsburgh coal seam	-	-	2.55	-	Holland [1954]
Coal	Mary Lee coal seam	-	-	3.24	-	Holland [1954]
Coal	York Canyon Mine, NM	-	-	9.37	0.27	Stewart [1977]
Coal	Hanna Basin, seam F80	-	-	3.31	0.32	Djahanguiri [1977]
Conglomerate	Flaming George Dam, CT	-	-	14.13	0.03	Brandon [1974]
Conglomerate	McDowell Dam, AZ	-	-	1.26	0.12	Brandon [1974]
Diabase	Altered, calcitized; Baltic Load, MT (secant modulus)	S	0	68.95	0.21	Winkler [1950]
			27.9	61.36	0.25	
			138	59.85	0.30	
Diabase	No. 1 and No. 2 are two normal directions; PA	No. 1	-	108.6	0.19	Sellers [1970]
		No. 2	-	105.2	0.27	
Diabase	Altered, with basalt; NY	-	-	95.80	0.28	Wenrker [1958]
Diorite	Diorite-hornblende, Negaunee Mine, MI (secant modulus)	S	0	103.1	0.26	Blair [1956]
			137	100.8	0.26	
			274	96.73	0.29	
Diorite	Diorite-quartz; Garden Valley Dam, ID	-	0	21.37	0.05	Balmer [1953]
			20.7	25.51	0.10	
			34.5	28.96	0.25	
Diorite	Massive, altered; CT	-	-	4.09	0.20	Pratt et al. [1972]
Diorite	Quartz-diorite; ID	-	-	28.96	-	Wuerker [1956]

Παράρτημα Δ: *Πίνακας ιδιοτήτων γεωϋλικών,* (*[29]*).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212

TABLE 8.1 Young's Modulus and Poisson's Ratio for Uniaxial Compressive Loading (continued)

Rock	Description and Location	Or.	Upper Stress (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Poisson's Ratio	Reference
Gneiss	Gneiss-granitic, Northfield Power Station, MA	P	112	57.23	-	Wild et al. [1971]
Gneiss	Gneiss-granitic, Northfield Power Station, MA	N	55.8	38.61	-	Wild et al. [1971]
Gneiss	Lake Mead, NV	-	-	67.22	0.13	Rising et al. [1971]
Gneiss	Coarse grained, Bridge Canyon Dam, AZ	-	-	61.71	0.11	Brandon [1974]
Granite	Gneissic; Lithonia Belt, GA (secant modulus)	N	0 96.5 193	21.86 34.82 38.95	0.09 0.19 0.48	Blair [1955]
Granite	Uneweep Formation, CO (secant modulus)	N	0 87.9 176	16.06 21.30 31.65	0.03 0.05 0.15	Blair [1955]
Granite	Grant County, WA (secant modulus)	-	6.89 20.7 34.5	29.65 32.40 35.85	0.13 0.14 0.15	Balmer [1953]
Granite	Coarse grained, North Fork, CO (secant modulus)	-	1.38 4.14 9.65	26.89 26.20 26.89	0.14 0.13 0.12	Balmer [1953]
Granite	Slightly altered; Grant County, WA (secant modulus)	-	3.45 10.3 17.2	6.21 8.96 11.03	0.06 0.12 0.20	Balmer [1953]
Granite	Slightly altered; Grant County, WA (secant modulus)	-	3.45 20.7 34.5	5.52 8.27 9.65	0.04 0.13 0.24	Balmer [1953]
Granite	Granite-pegmatite, North Fork, CO (secant modulus)	-	1.38 5.52 9.65	17.24 19.31 20.68	0.09 0.09 0.11	Balmer [1953]
Granite	Dense, medium grained; VT	-	-	61.40	0.39	Miller [1965]
Granite	Homogeneous; Fremont Canyon	-	-	64.10	0.14	Nesbitt [1960]
Granite	Slightly weathered; Fremont Canyon	-	-	45.10	0.10	Nesbitt [1960]
Granodiorite	Barre, VT (Barre granite) (avg. tangent modulus)	-	-	43.60	-	Krech et al. [1974]
Granodiorite	Cold Spring, MN (avg. tangent modulus)	-	-	70.80	-	Krech et al. [1974]
Granodiorite	Westerly, RI (Westerly granite) (avg. tangent modulus)	-	-	49.90	-	Krech et al. [1974]
Graywacke	Sub-graywacke, coarse grained; Monticello Dam, CA (secant modulus, avg. 2 tests)	-	2.76 8.27 13.8	10.00 10.34 11.37	0.03 0.06 0.09	Balmer [1953]
Graywacke	Fine-grained, Monticello Dam, CA (secant modulus)	-	2.76 8.27 13.8	11.03 11.03 12.41	0.04 0.06 0.10	Balmer [1953]

Παράρτημα Ε: *Πίνακας ιδιοτήτων γεωϋλικών,* (*[29]*).

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
15/10/2023 17:04:02 EEST - 167.114.118.212