



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ

Διπλωματική Εργασία

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΟΥΣ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ
ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΗΣ Δ.Ε.Η. Α.Ε. ΣΤΗ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ**



ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ
Α.Μ.: 01110514

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΒΒΑΔΑΣ Ι. ΜΙΧΑΗΛ
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, 2016

Περίληψη

Ο ποταμός Αλφειός διαπερνάει το ορυχείο λιγνίτη της Δ.Ε.Η. Α.Ε. στην περιοχή της Μεγαλόπολης, με αποτέλεσμα να μετατοπιστεί δυτικά η κοίτη του για να είναι τεχνοοικονομικά εκμεταλλεύσιμο το κοιτάσμα. Όταν τα ορύγματα του ορυχείου άρχισαν να προσεγγίζουν την κοίτη του ποταμού, δημιουργήθηκε η ανάγκη διερεύνησης και προσδιορισμού της μέγιστης δυνατής εκμετάλλευσης στο μέτωπο κατά μήκος του ποταμού και ο προσδιορισμός των (ρεαλιστικών) γεωτεχνικών παραμέτρων του ορυχείου. Αυτός είναι και ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Για την επίτευξή του εκπονήθηκαν ανάστροφες και εμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις, με σκοπό την όσο το δυνατόν βέλτιστη προσέγγιση των γεωτεχνικών παραμέτρων και της ευστάθειας του πρηνούς του τεχνητού αναχώματος αντιπλημμυρικής προστασίας του ορυχείου.

Αρχικά, παρουσιάζονται γεωλογικά και ιστορικά στοιχεία για τη λιγνιτοφόρο λεκάνη στην περιοχή της Μεγαλόπολης. Γίνεται αναφορά στην ιστορία της περιοχής, καθώς και στη διαπίστωση και την έναρξη εκμετάλλευσης του κοιτάσματος. Επιπλέον, αναφέρονται στοιχεία που αφορούν τόσο την δημιουργία–γένεση του λιγνίτη, όσο και τις γεωλογικές και τεκτονικές συνθήκες οι οποίες επικρατούν στην περιοχή. Ειδικότερα γίνεται λόγος για την γεωμορφολογία, την στρωματογραφία, την υδρογεωλογία και την τεκτονική της Μεγαλόπολης, ενώ δίνεται έμφαση στις εργασίες προσδιορισμού του οικονομικά εκμεταλλεύσιμου κοιτάσματος.

Στη συνέχεια, παρατίθενται στοιχεία για την σύσταση του λιγνίτη στην Μεγαλόπολη, καθώς είναι ιδιαίτερα φτωχός σε θερμαντική ικανότητα και είναι η πρώτη φορά σε παγκόσμιο επίπεδο, που χρησιμοποιήθηκε ένας τέτοιος λιγνίτης για ηλεκτροπαραγωγή. Επιπλέον, παρουσιάζεται η διαδικασία εξόρυξης, διαλογής και μεταφοράς του λιγνίτη από το ορυχείο στο ατμοηλεκτρικό σταθμό.

Στο τελικό μέρος της διπλωματικής εργασίας, παρουσιάζονται, η περιγραφή της προσομοιούμενης γεωμετρίας του τεχνητού αναχώματος του Αλφειού, οι παραδοχές των αναλύσεων καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις τέσσερις διαφορετικές θεωρήσεις που εκπονήθηκαν. Τέλος, επιχειρείται σύγκριση των αποτελεσμάτων και εξαγωγή των συμπερασμάτων τα οποία μας επιτρέπουν να προβούμε στο τελικό πόρισμα για τη διαμόρφωση του πρηνούς στο τεχνητό ανάχωμα (φράγμα) του Αλφειού ποταμού και τον προσδιορισμό ορισμένων γεωτεχνικών παραμέτρων αντοχής σε κρίσιμα στρώματα της περιοχής που αφορούν την δημιουργία της επιφάνειας ολίσθησης.

Abstract

Alfios river passes through the lignite mine, of Public Power Cooperation (P.P.C. S.A.) in the area of Megalopolis. In order to assure that the lignite deposit is techno–economically exploitable the riverbed was shifted by several hundred meters to the West. Once the excavation face reached the riverbed, the necessity arose for an extensive and thorough investigation and determination of the maximum possible exploitation of the West side, along the river. Furthermore, determinations of (realistic) geotechnical in–situ parameters are crucial in the assessment of slope stability. Hence, the current diploma thesis focuses on addressing the aforementioned goals. To this end, an ensemble of back–analyses and forward numerical simulations were drafted in order to provide insight into the in–situ geotechnical conditions aiming in an optimum design of the anti–flood mine’s artificial embankment.

The geological and the historical data for the lignite basin in the area of Megalopolis are presented herein. Within the context of the present thesis follows a brief review of the area’s historical significance, followed by the ascertainment and commencement of the exploitation of the deposit. Information both on the lignite formation and in–situ geological and tectonic conditions in the area are summarized. More specifically, the geomorphology, stratigraphy, hydrogeology and tectonics of Megalopolis are addressed, while emphasizing on revealing (determination of) the economically exploitable deposit.

Additional, information follow on the lignite composition. Note that the heating capacity of the lignite is very poor, thus comprising the first attempt globally to have been used for electricity production. The extraction procedure, screening and transport processes from the mine to the steam electric station are presented briefly.

The final section of the diploma thesis discusses the numerical simulation of the artificial embankment, namely the geometrical configuration and inherent assumptions. An ensemble of four different scenarios aims to clarify the underlying geotechnical conditions prior to designing the embankment at an optimum geometric slope.

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ. Μιχαήλ Καββαδά, Διευθυντή του Τομέα Γεωτεχνικής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π., για την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων. Τον ευχαριστώ για τις γνώσεις που μου προσέφερε τόσο στα στενά πλαίσια του ακαδημαϊκού προγράμματος, όσο και στα πλαίσια της διπλωματικής μου εργασίας. Η κατανόηση που έδειξε και η πολύπλευρη βοήθεια που χρειάστηκα, σε κάθε ευκαιρία, ήταν πολύτιμα εφόδια.

Εν συνεχεία, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Νικόλαο Γαλίτη, Διευθυντή της Κεντρικής Υποστήριξης Διεύθυνσης Ορυχείων (ΔΚΥΟΡ) της Δ.Ε.Η. Α.Ε., που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο πρόβλημα, αλλά και όλους τους ανθρώπους της εταιρείας με τους οποίους συνεργάστηκα για την αμέριστη βοήθεια που μου προσέφερε και την άψογη και υποδειγματική συνεργασία που είχαμε. Ειδικότερα, θα πρέπει να ευχαριστήσω τον κ. Παύλο – Παντελή Σκυλίτση, Τομέαρχη Γεωμηχανικών Μελετών του Κλάδου Μεταλλευτικών Μελετών της ΔΚΥΟΡ, χωρίς την βοήθεια του οποίου η εκπόνηση και η ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήταν αδύνατη. Οι υποδείξεις του και οι γνώσεις τις οποίες μου παρείχε κατά τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας έπαιξαν θεμελιώδη ρόλο. Μου έδωσε τη δυνατότητα να διαπιστώσω ιδίοις όμμασι το πρόβλημα που μελέτησα και να έρθω σε επαφή με ανθρώπους, των οποίων η εμπειρία με έκανε να αγαπήσω ακόμη περισσότερο το επάγγελμα του Πολιτικού Μηχανικού.

Βεβαίως θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω τον κ. Αλέξανδρο Καλό, μεταδιδακτορικό ερευνητή του Τομέα Γεωτεχνικής, για το χρόνο που διέθεσε για τον έλεγχο και την διόρθωση του παρόντος τεύχους. Με τις συμβουλές του και τις υποδείξεις του συνέβαλε ουσιαστικά στη σύνταξη και ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ θα πρέπει να πάει στους γονείς μου και στα αδέρφια μου τόσο για τα εφόδια που μου δώσανε όλα αυτά τα χρόνια, όσο και για την ψυχολογική και πνευματική, στήριξη και κατανόηση που δείξαν σε όλες τις ευχάριστες αλλά κυρίως στις δυσάρεστες στιγμές που πέρασα. Ήταν πάντα δίπλα μου με όποιο πιθανό τρόπο μπορούσαν και χωρίς αυτούς δε θα είχα καταφέρει τίποτα.

Καραγιάννης Ευάγγελος
Αθήνα 2016

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Ευχαριστίες	7
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.1. Σύντομη Περιγραφή του Προβλήματος	11
1.2. Στόχος της Διπλωματικής Εργασίας	11
1.3. Σύντομη Περιγραφή της Μεθοδολογίας	12
2. Η ΛΙΓΝΙΤΟΦΟΡΟΣ ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ	15
2.1. Εισαγωγή	15
2.2. Ιστορική Ανάδρομη.....	17
2.3. Γενικά για τη Λιγνιτογένεση	19
2.4. Γεωμορφολογία.....	21
2.5. Περιγραφή και Θέση των Ερευνητικών Εργασιών	23
2.6. Στρωματογραφία	23
2.7. Όρια Ορυχείων – Αποθέσεων – Λιγνιτοφόρου Λεκάνης Μεγαλόπολης – Θέσεις Γεωτρήσεων Δ.Ε.Η. Α.Ε.....	29
2.8. Υδρογεωλογία	30
2.9. Τεκτονική.....	32
3. ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ	33
3.1. Εισαγωγή	33
3.2. Εξόρυξη Λιγνίτη.....	35
3.3. Επιφανειακή Εκμετάλλευση του Κοιτάσματος της Μεγαλόπολης.....	35
3.4. Εκσκαφή στο Λιγνιτωρυχείο Πεδίου Χωρεμίου	38
3.5. Λιγνίτης Μεγαλόπολης	40
3.6. Τα Επί Μέρους Πεδία Εκμετάλλευσης	42
3.7. Γεωλογικά και Κοιτασματολογικά Στοιχεία των Επιμέρους Πεδίων Εκμετάλλευσης.....	43
3.8. Δρόμοι Προσπέλασης από το Κύριο Δίκτυο προς τους Χώρους Εκμετάλλευσης των Ορυχείων.....	46
4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΟΥΣ	49
4.1. Περιγραφή του Προβλήματος	49
4.2. Αριθμητική Διερεύνηση του Προβλήματος	56
4.3. Σύντομη Περιγραφή Γεωτεχνικών Χαρακτηριστικών Περιοχής Μελέτης ..	60

4.4. Αναλύσεις.....	61
4.5. Θεώρηση Συνεκτικού Εδάφους ($c, \varphi \neq 0$) με την Στάθμη Υδροφόρου στα $-6m$, από την Κοίτη του Ποταμού.....	64
4.6. Θεώρηση Μη – Συνεκτικού Εδάφους ($c=0, \varphi \neq 0$) με την Στάθμη Υδροφόρου στα $-6m$, από την Κοίτη του Ποταμού.....	71
4.7. Θεώρηση Ολικών Τάσεων σε Συνεκτικό Έδαφος ($c, \varphi \neq 0$), με την Στάθμη Υδροφόρου στα $-6m$, από την Κοίτη του Ποταμού.....	78
4.8. Θεώρηση Ενεργών Τάσεων σε Μη – Συνεκτικό Έδαφος ($c=0, \varphi \neq 0$), χωρίς την Στάθμη Υδροφόρου Ορίζοντα.....	85
4.9. Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα των Θεωρήσεων.....	92
4.10. Συμπεράσματα – Σχολιασμός.....	95
5. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	97
5.1. Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.....	97
5.2. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	99
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	101
Βιβλιογραφία.....	159

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Σύντομη Περιγραφή του Προβλήματος

Στην Πελοπόννησο, στην περιοχή της Μεγαλόπολης βρίσκεται ένα από τα λιγνιτωρυχεία της Δ.Ε.Η. Α.Ε. Στο δυτικό τμήμα του ορυχείου, στο πεδίο του Χωρεμίου, υπάρχει η κοίτη του Αλφειού ποταμού, που κινείται από τον Νότο προς τον Βορρά. Για λόγους εκμετάλλευσης του ορυχείου η εν λόγω κοίτη έχει μετακινηθεί προς τη δύση περίπου 400m και αποτελεί το δυτικό όριο του ορυχείου. Για την προστασία του ορυχείου από πλημμύρες έχει κατασκευαστεί ένα τεχνητό αντιπλημμυρικό ανάχωμα, η στέψη του οποίου τοποθετείται στο +364 από την επιφάνεια της θάλασσας, η τεχνητή κοίτη του ποταμού βρίσκεται στο +352 και το φυσικό έδαφος στην παλαιά κοίτη του Αλφειού κυμαίνονταν από το +360 έως το +362.

Κατά την διάρκεια του Ιουλίου 2015, το δυτικό μέτωπο του ορυχείου είχε προχωρήσει δυτικά 400m προσεγγίζοντας την περιοχή της παλαιάς θέσης του ποταμού. Κατά μήκος της στέψης του τεχνητού αναχώματος (φράγματος), που διαχωρίζει το ορυχείο από την κοίτη του ποταμού Αλφειού παρατηρήθηκαν έντονες μετακινήσεις και εντοπιστήκαν ρωγμές.

Για την προστασία του ορυχείου από τυχόν αστοχία, προτάθηκαν μέτρα αντιστήριξης τα οποία εφαρμόστηκαν και εντοπίστηκαν οι αναμενόμενες μειώσεις στο ρυθμό των μετακινήσεων, οπότε και σταμάτησε η εξέλιξη της καταγραφείσας ρωγμής. Αν και τα μέτρα αντιστήριξης πέτυχαν το σκοπό τους χαρακτηρίστηκαν ως αρκετά δυσμενή όσον αφορά την επαρκή εμπορική εκμετάλλευση του ορυχείου.

Αξίζει να αναφερθεί ότι στην περιοχή της παλαιάς κοίτης του Αλφειού, κατά την κοιτασματολογική μελέτη του ορυχείου εντοπίστηκαν δύο βασικές ζώνες εκμεταλλεύσιμου λιγνίτη: α) η ανώτερη ζώνη λιγνίτη και β) η κατώτερη ζώνη λιγνίτη. Οι λιγνιτικές στρώσεις εμφανίζουν μικρή κλίση (περίπου 3 – 8%) με βύθιση από την Δύση προς την Ανατολή. Λόγω της προσέγγισης του ορυχείου προς τα δυτικά κράσπεδα της λιγνιτοφόρου λεκάνης, η κλίση των λιγνιτικών στρώσεων κρίνεται δυσμενής για την ευστάθεια, κατά την προώθηση του ορυχείου προς την Δύση.

1.2. Στόχος της Διπλωματικής Εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι πολλαπλός. Αρχικά, αναζητήθηκε ένας βέλτιστος οικονομοτεχνικός σχεδιασμός βασιζόμενος σε αριθμητικές αναλύσεις ευστάθειας πρνανών και παράλληλα προσεγγίστηκαν οι

γεωτεχνικές παράμετροι σε κρίσιμα στρώματα της περιοχής που αφορούν την δημιουργία της επιφάνειας ολίσθησης, δεδομένου ότι στις μέχρι τώρα αναλύσεις χρησιμοποιούνταν εμπειρικές μέθοδοι.

Ο σκοπός του ορυχείου είναι η μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση του κοιτάσματος και ως αποτέλεσμα, κρίθηκε απαραίτητο να προσδιοριστούν οι επιτρεπτές κλίσεις στα ορύγματα κατόπιν του τεχνητού αναχώματος (φράγμα) του Αλφειού. Ο προσδιορισμός των παραπάνω επιτρεπτών κλίσεων είναι ζωτικής σημασίας για την εταιρία, καθώς μία πιθανή αστοχία θα μπορούσε να προκαλέσει σοβαρά, οικονομικά και όχι μόνο, προβλήματα τόσο στη λειτουργία του ορυχείου, όσο και στη λειτουργία του ατμοηλεκτρικού σταθμού της Μεγαλόπολης.

Επιπλέον θεωρήθηκε αναγκαίο να αξιολογηθεί η εκτίμηση για το αν η συνοχή έχει σημαντική επίδραση στην ευστάθεια του πρανούς, λόγω της αποτόνωσης που υφίσταται το γεωυλικό εξαιτίας της συνεχούς εκσκαφής του ορυχείου.

Η χρήση εμπειρικών μεθόδων στην ανάλυση ευστάθειας πρανών λόγω της εγγενούς αδυναμίας προσδιορισμού του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα, μια διαδικασία αβέβαιη και επίπονη, δημιούργησε την ανάγκη προσέγγισης του προβλήματος με πιο ρεαλιστικά δεδομένα.

Συνεπώς, η εύρεση της βέλτιστης κλίσης εκσκαφής των πρανών αποτελεί μία πρόκληση καθώς θα δώσει τη δυνατότητα περαιτέρω εκμετάλλευσης και την παράταση του χρόνου ζωής του ορυχείου.

1.3. Σύντομη Περιγραφή της Μεθοδολογίας

Για την εκπλήρωση των παραπάνω στόχων, αλλά και την προσέγγιση της βέλτιστης λύσης στην ευστάθεια του τεχνητού αναχώματος του ποταμού Αλφειού, εκπονήθηκε μια ενδελεχής μελέτη όσον αφορά την γεωλογία της περιοχής και έγινε προσπάθεια ρεαλιστικής προσέγγισης του προβλήματος.

Αρχικά, μελετήθηκαν τα γεωλογικά και ιστορικά στοιχεία για τη λιγνιτοφόρο λεκάνη στην περιοχή της Μεγαλόπολης. Πραγματοποιήθηκε έρευνα που αφορούσε τόσο την ιστορία της περιοχής, όσο και τα στοιχεία που αφορούν την δημιουργία του λιγνίτη, τις γεωλογικές και τεκτονικές συνθήκες οι οποίες επικρατούν στην περιοχή. Ειδικότερα, αναζητήθηκαν στοιχεία για την γεωμορφολογία, την στρωματογραφία, την υδρογεωλογία και την τεκτονική της Μεγαλόπολης.

Στη συνέχεια, εντοπίστηκαν στοιχεία για την σύσταση του λιγνίτη στην Μεγαλόπολη και επιπλέον, μελετήθηκε η διαδικασία εξόρυξης, διαλογής και μεταφοράς του λιγνίτη από το ορυχείο στον ατμοηλεκτρικό σταθμό.

Τέλος, αφού μελετήθηκαν και αξιολογήθηκαν τα στοιχεία που προέκυψαν από την παραπάνω έρευνα, εκπονήθηκαν τέσσερις διαφορετικές προσεγγίσεις, η κάθε μία από τις οποίες αποσκοπούσε σε κάποιο διαφορετικό σκοπό. Η πρώτης δύο θεωρήσεις έγιναν με σκοπό την αξιολόγηση της συμβολής της συνοχής στην ευστάθεια των πρυνών με παράλληλη προσέγγιση της στάθμης του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα. Εκπονήθηκε, επίσης, μια αριθμητική διερεύνηση ευστάθειας των πρυνών με προσέγγιση ολικών τάσεων που στηρίχθηκε επί αυτών των θεωρήσεων.

Σε τελικό στάδιο, πραγματοποιήθηκε μία αριθμητική διερεύνηση ευστάθειας των πρυνών με προσέγγιση ενεργών τάσεων. Η εν λόγω θεώρηση, δεν προσομοιώνει υδροφόρο ορίζοντα, αφού όπως έχει ήδη αναφερθεί ο προσδιορισμός του είναι μία εξαιρετικά δύσκολη κι επίπονη διαδικασία.

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας των αναλύσεων αξιολογούνται και συγκρίνονται όλα τα αποτελέσματα που προέκυψαν με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων για τις γεωτεχνικές συνθήκες του ορυχείου, για τα προβλήματα που αφορούν την τελική διαμόρφωση του αναχώματος και τέλος, την υποβολή προτάσεων για περαιτέρω έρευνα.

Με την παραπάνω διαδικασία εξασφαλίζεται η εκπλήρωση των προαναφερθέντων στόχων, αφού τεκμηριώνεται η επιλογή της κλίσης για την ασφαλή διαμόρφωση του κατάντη πρυνούς στο τεχνητό ανάχωμα του ποταμού Αλφειού και παράλληλα διαμορφώνεται μια ολοκληρωμένη πρόταση εκσκαφής του δυτικού μετώπου στο ορυχείο στο πεδίο του Χωρεμίου.

2. Η ΛΙΓΝΙΤΟΦΟΡΟΣ ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ

2.1. Εισαγωγή

Ο ελληνικός λιγνίτης χαρακτηρίζεται γενικά, από χαμηλή θερμαντική ικανότητα και σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα. Βρίσκεται σε 68 λιγνιτοφόρες λεκάνες διαφορετικού μεγέθους σε όλη την έκταση της επικράτειας.

Η λιγνιτογένεση σημειώνεται στον Ελληνικό χώρο από το Ηώκαινο μέχρι και το Κατώτερο Πλειστόκαινο. Κατά το Πλειστόκαινο και το Νεογενές σχηματίστηκαν τα πιο πολλά και σημαντικότερα λιγνιτικά κοιτάσματα της χώρας μας. Οι περίοδοι αυτές έχουν άμεση σχέση με την έντονη μεταλπηκή ρηξιγενή τεκτονική και ταφρογένεση. Δημιουργήθηκαν πολυάριθμες παράκτιες, οι οποίες είναι ανοικτές στη θάλασσα και διάφορες ηπειρωτικές λεκάνες, που είτε επικοινωνούσαν παροδικά με τη θάλασσα, μόνο κατά τη διάρκεια της εξέλιξής τους με αυτήν (περιηπειρωτικές), είτε δεν είχαν καμιά επικοινωνία με τη θάλασσα (ενδοηπειρωτικές). Στις ηπειρωτικές λεκάνες στις οποίες πληρούνταν οι προϋποθέσεις για τον εκτεταμένο σχηματισμό κάτω – τυρφών και για μεγάλα χρονικά διαστήματα τη δυνατότητα διατήρησης της τυρφογένεσης, με άμεσο αποτέλεσμα να προκύψουν λιγνιτικά στρώματα με επαρκή εξάπλωση και πάχος, με κυριότερα τα κοιτάσματα να βρίσκονται στην Πτολεμαΐδα, στο Αλιβέρι, στη Μεγαλόπολη, στη Φλώρινα και σε άλλες περιοχές. Αντιθέτως, οι λιγνιτικές αποθέσεις των περιόδων αυτών παράκτιες λεκάνες όπως αυτές στην Κατερίνη, στην Πρέβεζα – Ακαρνανία, στον Πύργος – Ολυμπία και στην Κρήτη παρουσιάζουν αρκετά μικρό πάχος, αν και πολλές φορές έχουν σημαντική έκτασή. Στους Παλαιογενείς σχηματισμούς (Ηώκαινο – Ολιγόκαινο) κατά κανόνα ανήκουν τα κοιτάσματα των παράκτιων λεκανών όπως για παράδειγμα αυτή της Αλεξανδρούπολης, του Πενταλόφου στο νομό Κοζάνης, των Ζαγοριών στο νομό Ιωαννίνων, των Γρεβενών και σε άλλες τοποθεσίες. Πιο συγκεκριμένα, ο λιγνίτης της Μεγαλόπολης είναι αρκετά νεαρός ηλικιακά καθώς ανήκει στο Πλειστόκαινο. Μέσα στα θαλάσσια ιζήματα παρεμβάλλονται τελματικές και λιμναίες αποθέσεις, από τις οποίες (τελματικές) προέκυψαν καλής ποιότητας φακοειδή στρώματα λιγνίτη. Τα κοιτάσματα αυτά, λόγω των γενικά περιορισμένων διαστάσεών τους, δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερο μεταλλευτικό ενδιαφέρον.

Στην Ελλάδα οι ορυκτοί άνθρακες συναντώνται σε πολλές ιζηματογενείς λεκάνες. Τα πετρογραφικά δεδομένα υποδεικνύουν μια μεγάλη ποικιλία σε χημική και ορυκτολογική σύσταση. Ο βαθμός ενανθράκωσής τους ποικίλλει, από ζώνη μετάβασης τύρφης – λιγνίτη ως υπό – βιτουμενιούχους λιγνίτης. Ο κύριος τύπος γαιάνθρακα στην Ελλάδα είναι ο λιγνίτης και τα πιο σημαντικά λιγνιτικά κοιτάσματα

σχηματίστηκαν κατά το Πλειστόκαινο και το Πλειόκαινο σε έλη στα περιθώρια αβαθών λιμνών σε περιοχές όπως στη Δράμα, στη Φλώρινα και στην Πτολεμαΐδα στη Μακεδονία και στην περιοχή της Μεγαλόπολης στη Πελοπόννησο. Τα αποδεδειγμένα αποθέματα, χωρίς να συμπεριλαμβάνονται τα $4300Mm^3$ τύρφης στους Φιλίππους, εκτιμώνται περίπου στους $6.750Mt$. Στους Φιλίππους, το 58% του κοιτάσματος, δηλαδή περίπου $3.900Mt$, θεωρείται οικονομικά ανακτήσιμο. Αυτοί οι λιγνίτες, οι οποίοι ήδη εκμεταλλεύονται, έχουν υψηλά επίπεδα τέφρας και πολύ χαμηλή θερμιδική αξία. Τα μεγαλύτερα κέντρα εξόρυξης λιγνίτη βρίσκονται στα ανοιχτά ορυχεία του Αμυνταίου, της Πτολεμαΐδας και της Μεγαλόπολης. Το 98% του εξορυγμένου λιγνίτη χρησιμοποιείται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τροφοδοτεί ατμοηλεκτρικά εργοστάσια τα οποία αθροιστικά έχουν ισχύ περίπου $4.600MW$, που αντιστοιχούν σε περίπου 60% της συνολικής ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας. Ακόμη και σε παγκόσμια κλίμακα οι ορυκτοί άνθρακες αποτελούν μία από τις κύριες πρώτες ύλες για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Στην Ελλάδα το 70% της συνολικής ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια της χώρας, παράγεται από εγχώριες πρώτες ύλες, οι οποίες προέρχονται από την καύση λιγνίτη.

Από τα χρόνια της αρχαιότητας ήταν γνωστές οι διάφορες εμφανίσεις του λιγνίτη στην περιοχή της Μεγαλόπολης. Ο Πausanias τον 2^ο μ.Χ. αιώνα αναφέρει, ότι κοντά σε μια πηγή ο ποταμός Αλφειός διασχίζει τη λεκάνη «ανέθρωςκεν πυρ», γεγονός το οποίο φανερώνει πιθανά περιστατικά αυτανάφλεξης λιγνίτη. Μέχρι το 1957 τα αποθέματα της λεκάνης υπολογίζονταν περίπου σε 2 – 3Mt και λειτουργούσαν μικρές ιδιωτικές εκμεταλλεύσεις, αλλά λόγω της κακής ποιότητας του λιγνίτη, δεν υπήρχε ιδιαίτερο μεταλλευτικό ενδιαφέρον.

Το γεωτεκτονικό βύθισμα της λεκάνης της Μεγαλοπόλεως Πελοποννήσου έχει πληρωθεί από λιμναία ιζήματα των τελευταίων γεωλογικών διαπλάσεων. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται πολλά και παχιά στρώματα γεώδους λιγνίτη σε διάφορα σημεία της λεκάνης. Οι πραγματοποιηθείσες γεωτρήσεις και φρέατα εξακρίβωσαν την ύπαρξη τμήματος της λιγνιτοφόρου διάπλασης της λεκάνης αυτής, η οποία βρίσκεται κατά μήκος του ποταμού Αλφειού, και περικλείει απόθεμα λιγνίτη $236.000.000tn$, σε έκταση $3,6km^2$ και μόνο σε γνωστό βάθος $100m$. Τα στρώματα του λιγνίτη απλώνονται οριζόντια χωρίς αξιοσημείωτη γεωτεκτονική ανωμαλία. Το πάχος του υπερκείμενου στρώματος, του λιγνίτη μέχρι την επιφάνεια στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι γεωτρήσεις, δεν υπερβαίνει τα λίγα μέτρα.

Ο λιγνίτης της Μεγαλοπόλεως είναι κατώτερης θερμογόνου δύναμης με θείο, τέφρα και πολύ υγρασία. Τα ξυλιτικά συστατικά εντός του λιγνίτη σπανίζουν και η περιεκτικότητα σε πτητικά συστατικά είναι σχετικώς υψηλή. Εντός της μάζας του συνυπάρχουν αδρανή τμήματα (φουσινίτης και μικρινίτης) καθώς και ρητίνες. Στα

παρακάτω κεφάλαια, δίνεται μία πρώτη περιγραφή των πετρωμάτων, της λεκάνης και ειδικότερα του λιγνίτη, ως προς την ποιότητα, την κοιτασματολογία, την συνοδεύουσα αδρανή άργιλο και τα αποθέματα.

Οι εκτελεσθείσες γεωτρήσεις και αναλύσεις με τη συνεργασία του Ι.Γ.Ε.Υ. και της Δ.Ε.Η. Α.Ε. αποτελούν το πρώτο στάδιο της έρευνας στην ευρύτερη περιοχή της Μεγαλοπόλεως.

2.2. Ιστορική Ανάδρομη

Σε πολλά σημεία της λεκάνης της Μεγαλοπόλεως Πελοποννήσου ήταν γνωστή η ύπαρξη του λιγνίτη, κατά καιρούς πραγματοποιούνταν μικρές εργασίες εκμεταλλεύσεως, αλλά η πολύ χαμηλή ποιότητα του λιγνίτη δεν βοήθησε την ανάπτυξη συστηματικής παράγωγης. Όλες οι προσπάθειες εκμεταλλεύσεως που έγιναν από ιδιώτες ήταν σύντομες, παρόλο που οι υπαίθριες δυνατότητες εξορύξεως ήταν ευνοϊκές δεδομένης της ύπαρξης του ποταμού Αλφειού στην ΝΔ λεκάνη της Μεγαλοπόλεως. Σε αυτή τη θέση κατά τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο εξαγόταν λιγνίτης προς χρήση των τότε ατμοκίνητων εγκαταστάσεων ηλεκτροπαραγωγής Τριπόλεως και Καλαμών. Έκτοτε μικρές μόνο ποσότητες λιγνίτη εξορυσσότουσαν κατά καιρούς προς χρήση των τοπικών κεραμοποιείων. Ομοίως παρά το χωριό Κιόσε ή Γέφυρα και κάτω από το Λεοντάριο. Άλλη περίπτωση υπήρξε το χωριό Σαλέση ή Μακρύσιο, στην ανατολική πλευρά της λεκάνης, στη οποία προσπάθησαν με υπόγειες εργασίες να εκμεταλλευθούν κεκλιμένα στρώματα λιγνίτη μικρού πάχους ανώτερης σχετικώς ποιότητας.

Για μία ευρύτερη αξιοποίηση του λιγνιτικού πεδίου της Μεγαλοπόλεως το μεταλλευτικό ενδιαφέρον ήταν συγκρατημένο, διότι θεωρήθηκε ότι η ποσότητας αυτή ήταν περιορισμένη, παρά το πλήθος των λιγνιτικών εμφανίσεων στην λεκάνη. Οι εργασίες κατά το 1920 της Κρατικής Επιτροπής Καυσίμων δεν ασχολήθηκαν με τον συγκεκριμένο λιγνίτη. Το Ανώτατο Οικονομικό Συμβούλιο του Κράτους (1933) υπολόγισε, ότι τα αποθέματα λιγνίτη στην Μεγαλόπολη και στη Λακωνία ανέρχονται σε 100.000tn, σε πιθανούς 500.000tn και σε δυνατούς 1.000.000tn. Ο γερμανός καθηγητής KEGEL, γνωστός από την μελέτη του περί της Πτολεμαΐδας, επανέλαβε τους ίδιους αριθμούς αποθεμάτων στο Ανώτατο Οικονομικό Συμβούλιο. Παραλείπεται, επίσης, ο λιγνίτης Μεγαλοπόλεως στο βιβλίο της U.N.R.R.A. περί του Ορυκτού πλούτου της Ελλάδας (1947). Τέλος, σε σχετική έκθεση του Υπουργείου Εφοδιασμού (1948), αναβαθμίζεται το απόθεμα σε πιθανούς 1.000.000tn και σε δυνατούς 2.500.000tn. Η επικρατούσα εντύπωση περί του μικρού πάχους του λιγνιτικού στρώματος προέρχονταν μάλλον από το γεγονός ότι κατά τις εκσκαφές

που έγιναν στον ποταμό Αλφειό συναντήθηκε σε μικρό βάθος στρώμα αργίλου κάτω από τον λιγνίτη.

Κατά το έτος 1957, το γεωλογικό συνεργείο της Β΄ Υπηρεσίας του Ινστιτούτου Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους (Ι.Γ.Ε.Υ.) ανέλαβε τη συστηματική γεωλογική και κοιτασματολογική μελέτη της λιγνιτοφόρου λεκάνης της Μεγαλοπόλεως.

Από την αρχή της παραπάνω εργασίας κατέστη αντιληπτή η πιθανότητα υπάρξεως μίας σημαντικής διπλάσιας, τυρφοειδούς τύπου, εντός του υπεδάφους της λεκάνης.

Οι σχετικές ευνοϊκές γεωλογικές ενδείξεις ήταν κυρίως δύο. Αφενός οι εμφανίσεις πολλών λιγνιτικών στρωμάτων εκ σαπροπηλίτου, επαναλαμβανόμενων μεταξύ τους, σε ολόκληρη σχεδόν την λεκάνη. Από αυτά τα λιγνιτικά στρώματα τα περισσότερα δύσκολα γινόταν αντιληπτά επί της επιφανείας, λόγω της οξειδωσης αυτού του λίαν γεώδους λιγνίτη και την μεταβολή τους σε ένα σκουρότερο χρώμα. Αφετέρου παρατηρήθηκε πετρολογική ομοιομορφία των λεπτόκοκκων μαργαϊκών αργίλων που συνόδευαν τα λιγνιτικά στρώματα. Τα γεγονότα αυτά σε συνάρτηση με τη σχεδόν καθολική τεκτονική ηρεμία των στρωμάτων στο εσωτερικό της λεκάνης οδήγησαν το συμπέρασμα ότι εντός αυτής θα προϋπήρχε μακροχρόνιο έλος συνεπώς, φαινόταν πιθανή η ύπαρξη αξιόλογου λιγνιτοφόρου διαπλάσεως σε βάθος και έκταση. Επιπλέον οι πραγματοποιηθείσες μετρήσεις των ορατών αποθεμάτων, μόνο στην περιοχή κατά μήκος του Αλφειού, υπήρξαν ενθαρρυντικές, διότι υπολογίστηκε ότι το ορατό συνολικό ποσό του λιγνίτη άνω των $4.000.000 \text{tn}/\text{km}^2$.

Σε μία ευτυχή σύμπτωση τότε (1959) η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η. Α.Ε.), ενδιαφερόταν για την ενεργειακή αξιοποίηση του λιγνιτικού δυναμικού της Ελλάδας ζήτησε να γνωρίζει τις απόψεις του Ι.Γ.Ε.Υ. για την Μεγαλόπολη. Στη συνέχεια, ανέλαβε, σε συνεργασία με οικονομικά και τεχνικά μέσα δικά της και του Ι.Γ.Ε.Υ., την μεταλλευτική έρευνα.

Οι έρευνες βασίζονται σε γεωτρήσεις και φρέατα. Έγιναν 38 γεωτρήσεις βάθους 70 – 100m από τρία γεωτρήματα και δύο φρέατα σχεδόν 60m. Από της παραπάνω γεωτρήσεις οι 33 τοποθετήθηκαν σε προκαθορισμένα σημεία κατά μήκος του Αλφειού ποταμού, κάθε 500m η κάθε μία και βάση ενός χάρτη 1:5.000 που είχε συνταχθεί από την Δ.Ε.Η. Α.Ε. (μεταξύ των χωριών Ψαθί, Χωρέμι, Τριπόταμο, Μαραθούσα). Το τμήμα αυτό επιλέχθηκε λόγω των πρόδηλων κοιτασματολογικών και μεταλλευτικών πλεονεκτημάτων. Οι υπόλοιπες 5 γεωτρήσεις έγιναν σποραδικά αναγνωριστικά σε άλλα σημεία της λεκάνης. Τα δύο φρέατα έρευνας και δειγματοληψίας πραγματοποιήθηκαν, το πρώτο πλησίον μίας γεώτρησης ανατολικά του Αλφειού σε απόσταση 500m λίγο Νότια της οδού Αθηνών – Καλαμών και το δεύτερο δίπλα στη θέση Λουτρό του χωριού Ψαθί εντός ενός τριγώνου γεωτρήσεων.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι τα φρέατα επιβεβαίωσαν ικανοποιητικώς τις γεωτρήσεις όσον αφορά τα αποτελέσματα, μολονότι το γεωτρύπανο ήταν παλαιωμένα και η απόδοση που επετεύχθη στους πυρήνες των γεωτρήσεων ήταν γενικώς πολύ ικανοποιητική. Λόγω ανεπάρκειας των χρησιμοποιηθέντων γεωτρύπανων οι γεωτρήσεις δεν ξεπέρασαν τα 100m μολονότι επιβάλλεται η εις βάθος μελέτη.

2.3. Γενικά για τη Λιγνιτογένεση

Η λιγνιτογένεση είναι μία μη – αντιστρεπτή διαδικασία, που οδηγεί στον σχηματισμό του λιγνίτη με τα τελικά στερεά προϊόντα να είναι ο λιγνίτης, ο ανθρακίτης ο υποβιτουμενιούχος και ο βιτουμενιούχος γαιάνθρακας και με τα τελικά αέρια προϊόντα να είναι αυτά τα οποία εκλύονται από τους ορυκτούς άνθρακες. Ο λιγνίτης είναι ένα προϊόν που έχει σχηματιστεί από διάφορες χημικές και φυσικές διεργασίες των φυτικών υλών που έχουν συσσωρευτεί σε κάποια περιοχή. Κατά τη διάρκεια των μεταβολών αυτών μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό του στοιχειακού άνθρακα (C) μπορεί να διαφεύγει στην ατμόσφαιρα με τη μορφή διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) ή μεθανίου (CH₄). Το μεγαλύτερο μέρος του στοιχειακού άνθρακα (C) παραμένει στο κοίτασμα και το ποσοστό του αυξάνεται βαθμιαία από περίπου 60% στην τύρφη, σε ανθρακίτη σε ποσοστό 90% ή και περισσότερο. Η έναρξη της λιγνιτογένεσης ξεκινάει τη στιγμή κατά την οποία το κοίτασμα της τύρφης καλύπτεται από άλλα γεωυλικά. Στα πρώτα στάδια των μεταβολών, όπως για παράδειγμα, κατά τη δημιουργία τύρφης και χουμικών συστατικών, το δυναμικό οξειδαναγωγής και οι μικροοργανισμοί του περιβάλλοντος παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο. Μετά τον σχηματισμό της τύρφης, η βιοχημική διαδικασία θεωρείται ότι περιορίζεται, χωρίς όμως να σταματά τουλάχιστον μέχρι το στάδιο του σχηματισμού των βιτουμενιούχων ανθράκων. Σε αυτό το στάδιο, οι κύριες μεταβολές που προκύπτουν στη χημική και φυσική σύσταση του γεωυλικού οφείλονται μόνο σε γεωχημικούς και όχι σε βιοχημικούς παράγοντες. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τη γεωχημική ενανθράκωση του κοιτάσματος είναι η πίεση, ο χρόνος και η θερμοκρασία.

Η θερμοκρασία είναι καθοριστικός παράγοντας, ακόμη και αν δεν είναι ιδιαίτερα υψηλή. Υπολογίζεται ότι αν μία θερμοκρασία της τάξεως των T=100 – 150°C, που επικρατεί για μεγάλο χρονικό διάστημα, βοηθά στον σχηματισμό των λιγνιτών. Η θερμοκρασία καθορίζεται κυρίως από τρεις παράγοντες. Τη γηγενή θερμότητα, καθώς για κάθε 33m βάθος αυξάνεται η θερμοκρασία κατά 1°C, τη θερμότητα που εκλύεται από ορισμένες αντιδράσεις της ενανθράκωσης και τη θερμότητα από τυχόν γειτνίαση ή ακόμη και επαφή του κοιτάσματος με μαγματική διείδυση.

Η γηγενής θερμότητα είναι η σημαντικότερη παράμετρος και για αυτό το λόγο το βάθος έχει αποφασιστική επίδραση στον βαθμό ενανθράκωσης του κοιτάσματος.

Η πίεση που ασκείται σε ένα κοιτάσμα καθορίζεται από την πίεση των υπερκείμενων στρωμάτων. Η πίεση επιδρά σημαντικά στις φυσικές μεταβολές του άνθρακα μειώνοντας τον όγκο (και συνεπώς, το πορώδες) και την περιεκτικότητα σε νερό και αέρια. Κατά τη διάρκεια της ενανθράκωσης, η πίεση των υπερκείμενων στρωμάτων καθυστερεί τις χημικές αντιδράσεις και αλλάζει τη φυσική δομή του ορυκτού άνθρακα. Ο χρόνος που χρειάζεται η διαδικασία της ενανθράκωσης εξαρτάται από την πίεση, αλλά κυρίως από την επικρατούσα θερμοκρασία. Η ενανθράκωση μπορεί να επιτευχθεί ακόμη και σε πολύ χαμηλές πιέσεις και θερμοκρασίες, αν αυτές επικρατούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα στο κοιτάσμα.

Συνήθως η ηλικία η οποία έχει κάποιος γαιάνθρακας είναι ανάλογη του ποσοστού ενανθράκωσης, δηλαδή όσο μεγαλύτερη ηλικία έχει τόσο εντονότερα ενανθρακωμένος, δηλαδή ωριμότερος, είναι. Έτσι οι λιγνίτες εμφανίζονται κατά κανόνα στο Τριτογενές, ενώ οι λιθάνθρακες εμφανίζονται κατά κανόνα στο Λιθανθρακοφόρο. Η επίδραση του χρόνου είναι μεγαλύτερη όσο η θερμοκρασία βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα. Μόνο σε αυτή την περίπτωση, ο χρόνος έχει επίδραση στην ενανθράκωση, όταν δηλαδή οι θερμοκρασίες που παρατηρούνται είναι αρκετά υψηλές και μπορούν να οδηγήσουν σε χημικές αντιδράσεις. Σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες εντοπίζεται μειωμένη συχνότητα τέλεσης των χημικών διεργασιών, ακόμα και σε πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα. Για παράδειγμα, οι άνθρακες στη λεκάνη της Μόσχας, αν και ηλικίας κατώτερου Λιθανθρακοφόρου, δεν βυθίστηκαν σε μεγαλύτερα βάθη από αυτά που αντιστοιχούν σε θερμοκρασίες 20 – 25°C και για το λόγο αυτό ενανθρακώθηκαν μέχρι το στάδιο του λιγνίτη και όχι περαιτέρω.

Η γεωχημική ενανθράκωση τελειώνει με τη δημιουργία μιας κρυσταλλικής μορφής του άνθρακα που μοιάζει με αυτή του γραφίτη, αλλά δεν έχει την τελειότητα του γραφίτη. Γραφίτης μπορεί να σχηματιστεί μόνο αν σε κάποια περιοχή υπάρξουν ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες, της τάξεως των T=1500 – 2000°C.

2.4. Γεωμορφολογία

Η λεκάνη της Μεγαλοπόλεως, η οποία βρίσκεται στο κέντρο της Πελοποννήσου στο νομό Αρκαδίας, περιορίζεται από τα όρη Μαίναλο προς Βορρά, Ταΰγετο προς Νότο, Λύκαιο και Τετράδιο προς Δυσμάς. Είναι περίπου τετράπλευρη με ισχυρές εγκοιλώσεις και γλώσσες στην περιφέρεια, κυρίως στο Νότο. Ο μεγαλύτερος άξονας ΒΒΑ – ΝΝΑ, έχει μήκος περί τα 18km και ο βραχύτερος ΑΒΑ – ΔΝΔ περί τα 10km. Η όλη επιφάνεια της λεκάνης αγγίζει περίπου τα 200km². Το μέσο υψόμετρο του εσωτερικού βρίσκεται στα 410m από τη στάθμη της θάλασσας, η δε διαφορά από τα διάφορα υψώματα γύρω από τη λεκάνη στα 340 – 450m.

Εντός της λεκάνης δεν συγκρατούνται στάσιμα νερά, όπως σε άλλες λεκάνες της Πελοποννήσου. Ο ποταμός Αλφειός με τους παραποτάμους του αποστραγγίζουν φυσικώς την λεκάνη και εξέρχονται από αυτή μέσω ενός στενού ασβεστολιθικού φαραγγιού στην ΒΔ γωνία, στην Καρύταινα. Η θέση του Αλφειού, εντός της λεκάνης, είναι ασύμμετρη ως προς την πλευρά, διότι ο ποταμός ρέει προς το Βορρά και απέχει 2km από την δυτική παρυφή και οχτώ από την ανατολική παρυφή της λεκάνης. Το τμήμα αυτό του Αλφειού αποτελεί το άνω όριο του ποταμού, ο οποίος ρέει όλο το έτος. Οι μεγαλύτεροι παραπόταμοι του Αλφειού, εντός της λεκάνης, είναι ο Ξερίλας, ο Γουδάνης και ο Ελισσώνας. Η αρχή του Αλφειού, στην ΝΑ γωνία της λεκάνης, ανατολικώς του υψώματος του Λεονταρίου, ονομάζεται Ρέμα Κουτηφάρινας. Σε αυτό το σημείο το υψόμετρο του ποταμού είναι 383m ενώ η έξοδος στην Καρύταινα βρίσκεται στα 322m. Συνεπώς, η κοίτη ταπεινώνεται βραδέως κατά 60m ύψους σε 22km.

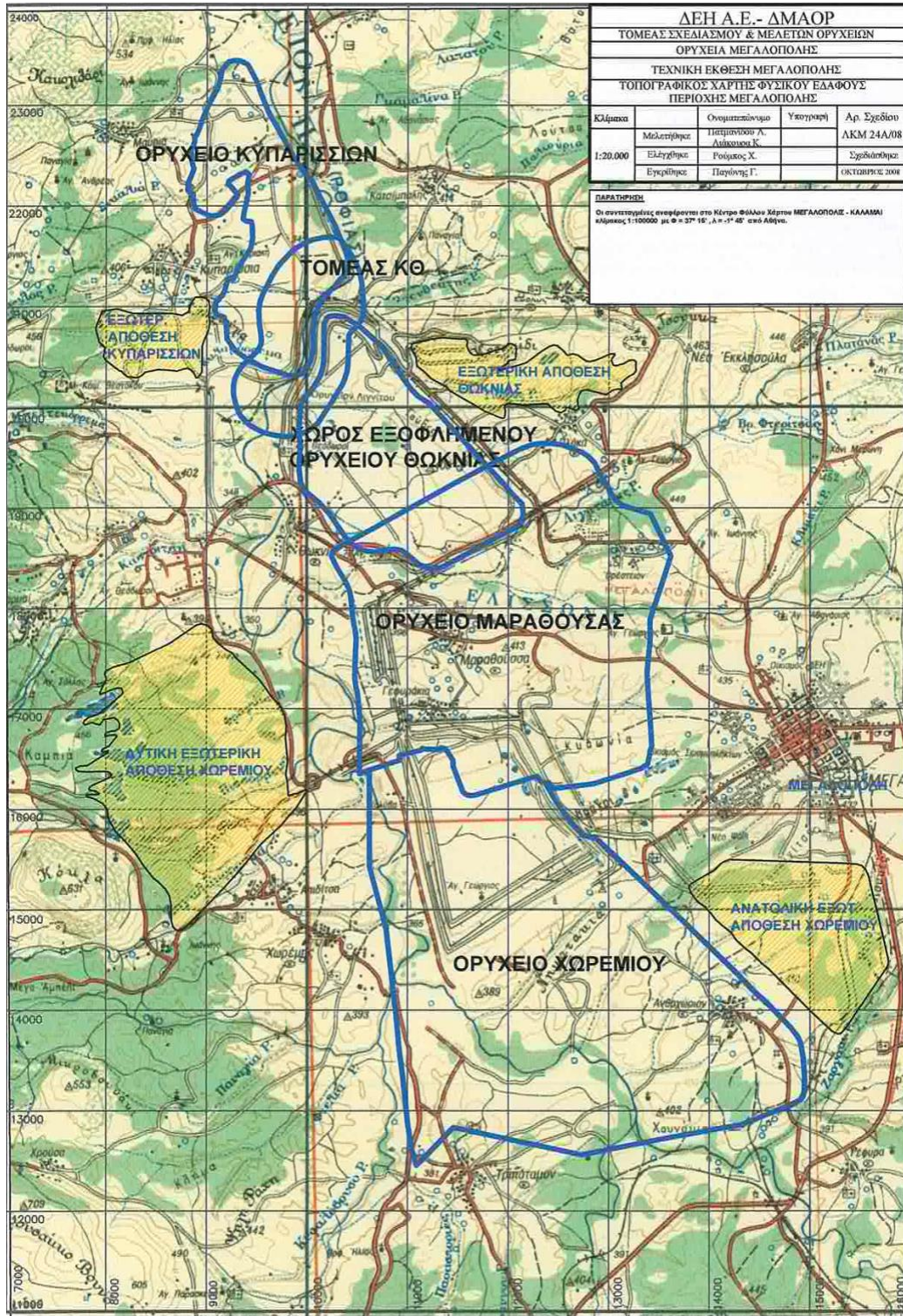
Το ύψωμα, το οποίο κλείνει τη λεκάνη στην ΝΑ γωνία, αποτελεί υδροκρίτη των λεκανών του Αλφειού και του Ευρώτα και φτάνει στο χαμηλό υψόμετρο των 483m το οποίο υπερέχει ελάχιστα από τα υψώματα στο εσωτερικό της λεκάνης. Συνεπώς, οι ισχυρισμοί του MAULL ότι ο Αλφειός κατά τους προϊστορικούς χρόνους έρεε στον Ευρώτα κρίνονται αβάσιμοι.

Τα στρώματα γενικά είναι οριζόντια και μαλακά ώστε να συντελούν στη διαμόρφωση χαμηλής μορφολογίας με λοφίσκους που χωρίζονται από στενά ρέματα, συνήθως ξηρά το καλοκαίρι. Η ομαλότερη έκταση είναι η κοιλάδα του Αλφειού, στην δυτική πλευρά της λεκάνης, πλάτους κοντά στο 1km. Εκεί βρίσκεται και οι γόνιμες αγροτικές εκτάσεις. Επιπλέον, το έδαφος της λεκάνης είναι μετριότατης γονιμότητας, ξηρό κατά τους θερινούς μήνες και σε πολλά σημεία παραμένει ακαλλιέργητο και καλυπτόμενο από βελανιδιές.

Στις παρειές της λεκάνης τα υπερκείμενα στρώματα αργίλου ή ο φλύσχης της υπαίθρου, βρίσκονται υπό συνεχή κατολίσθηση. Η γεωμορφολογία, γενικά, της

περιοχής υφίσταται σημαντικές αλλαγές λόγω των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων των ορυχείων.

Στο χάρτη της **Εικόνας 2.1**, παρουσιάζεται ο τοπογραφικός χάρτης φυσικού εδάφους στην περιοχή της Μεγαλόπολης.



Εικόνα 2.1: (Σχέδιο Λ.Κ.Μ. 24 Α/08) Τοπογραφικός χάρτης φυσικού εδάφους στην περιοχή της Μεγαλόπολης.

2.5. Περιγραφή και Θέση των Ερευνητικών Εργασιών

Οι γεωτρήσεις που έχουν γίνει στην περιοχή του Λιγνιτωρυχείου Μεγαλόπολης από το 1958 έως το 2007, παρουσιάζονται αναλυτικά στον **Πίνακα 2.1**.

Σημειώνεται ότι από τις κοιτασματολογικές γεωτρήσεις οι 764 έγιναν από τη Δ.Ε.Η. Α.Ε. και οι υπόλοιπες 789 από τους γερμανούς κατασκευαστές. Οι γεωτρήσεις της Δ.Ε.Η. Α.Ε. άρχισαν να εκτελούνται από το έτος έναρξης της εκμετάλλευσης.

Πίνακας 2.1: Γεωτρήσεις Λιγνιτωρυχείου Μεγαλόπολης από το 1958 έως το 2007.

	ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΕΤΡΑ (m)
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ	1553	119058
ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ	142	10411
ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΑ – ΚΛΙΣΙΟΜΕΤΡΑ	509	27633
ΕΔΑΦΟΤΕΧΝΙΚΕΣ	247	7736
ΣΥΝΟΛΟ:	2451	164838

2.6. Στρωματογραφία

Στην περιοχή της Μεγαλόπολης, τα αρχαιότερα στρώματα είναι ηλικίας από το Ανώτερο Παλαιοζωικό – Κατώτερο Τριαδικό, ανήκουν στη χαλαζιτική – φυλλιτική σειρά και αποτελούνται από μαρμαρυγιακούς και χλωριτοειδείς σχιστολίθους με χαλαζία, μοσχοβίτη, επίδοτο και τιτανίτη, μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους με χαλαζία και αστρίους και χαλαζιακούς σχιστολίθους. Εμφανίσεις των στρωμάτων αυτών έχουμε στις παρυφές του οικισμού Κερασάρη, 9km Α – ΒΑ της Μεγαλόπολης.

Των ανωτέρω στρωμάτων, υπέρκειται το ημιμεταμορφωμένο υπόβαθρο που περιλαμβάνει από τα στρώματα Τυρού, ηλικίας επίσης Ανώτερου Παλαιοζωικού – Κατώτερου Τριαδικού, αποτελούμενο από διαδοχικές εναλλαγές στρωμάτων ψαμμούχων δολομιτών, ασβεστολιθικών φυλλιτών, μεσοκρυσταλλικών ασβεστολίθων – δολομιτών και εμφανίζεται σε απόσταση περί τα 7km Β – ΒΑ της περιοχής της Μεγαλόπολης.

Πάνω από τα στρώματα αυτά βρίσκονται οι σχηματισμοί της ζώνης Τρίπολης, οι οποίοι παρουσιάζουν ιδιαίτερα μεγάλη εξάπλωση στην περιοχή και αποτελούν τις ορεινές περιοχές Β, ΒΑ, Α, ΝΑ, και Ν της λεκάνης Μεγαλόπολης. Η ζώνη αυτή αποτελείται από την ανθρακική σειρά ηλικίας Ανώτερου Τριαδικού έως Ανώτερου

Ηωκαίνου από ασβεστολίθους και δολομίτες, και την σειρά του φλύσχη ηλικίας Ανώτερου Ηωκαίνου και Ολιγόκαινου, η οποία υπέρκειται σε ασυμφωνία των ασβεστόλιθων της ανθρακικής σειράς και είναι επί το πλείστον ψαμμιτικής σύστασης με ενστρώσεις αργιλικών σχιστόλιθων και ιλυολίθων.

Των στρωμάτων αυτών υπέρκεινται ένας πολύμικτος τεκτονικός σχηματισμός αποτελούμενος από ψαμμίτες, κερατόλιθους, εκρηξιγενή πετρώματα και ασβεστόλιθους, που ανήκουν τόσο στη ζώνη Τρίπολης όσο και στην υπερκείμενη ζώνη Ολονού – Πίνδου.

Η ζώνη Ολονού – Πίνδου υπέρκειται των ανωτέρω σχηματισμών και εμφανίζεται ΒΔ και Δ της λεκάνης Μεγαλόπολης. Αποτελείται από τον πρώτο φλύσχη ηλικίας Κάτω Κρητιδικού, τους Άνω Κρητιδικούς ασβεστόλιθους, που είναι ιδιαίτερα διαδεδομένοι στο υπόβαθρο και στα περιθώρια των λιγνιτωρυχείων Μεγαλόπολης (πεδίο Κυπαρισσίων) και λόγω της έντονης καρστικοποίησης αποτελούν τον κυριότερο υδροφορέα της περιοχής, και στρώματα μετάβασης της ζώνης Ολονού – Πίνδου που αποτελούνται από ασβεστόλιθους, φλύσχες, πυριτόλιθους και μάργες.

Μέσα στη λεκάνη έχει αποθεθεί μία μεγάλη ποικιλία κλαστικών σχηματισμών (άργιλοι, ιλύες, άμμοι, κροκάλες, λιγνίτης), οι οποίοι διακρίνονται σε επιμέρους ενότητες (βαθμίδες), βάσει της πετρογραφικής τους σύστασης αλλά και της ηλικίας σχηματισμού τους. Υπάρχουν συνολικά έξι βαθμίδες, εκ των οποίων οι δύο ανήκουν στο Πλειόκενο (Μακρυσίου και Τριλόφου) και τέσσερις στην Πλειστόκενο περίοδο (Απιδίτσας, Χωρεμίου, Ποταμιάς και Θωκνίας).

Τα παλαιότερα ιζήματα ανήκουν στη βαθμίδα Μακρυσίου που αποτελείται από μάργες λιμναίας φάσεως, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται και τρία με τέσσερα λιγνιτικά στρώματα. Στην υπερκείμενη βαθμίδα Τριλόφου εμφανίζονται αργιλομάργες με παρεμβολές στρωμάτων άμμου, ιλύος και χαλαρών κροκαλοπαγών. Στην επόμενη προς τα πάνω βαθμίδα Απιδίτσας υπάρχουν πηλοί με χάλικες και θραύσματα ασβεστόλιθων, κερατόλιθων και χαλαζία που είναι ιζήματα χερσαίας προέλευσης.

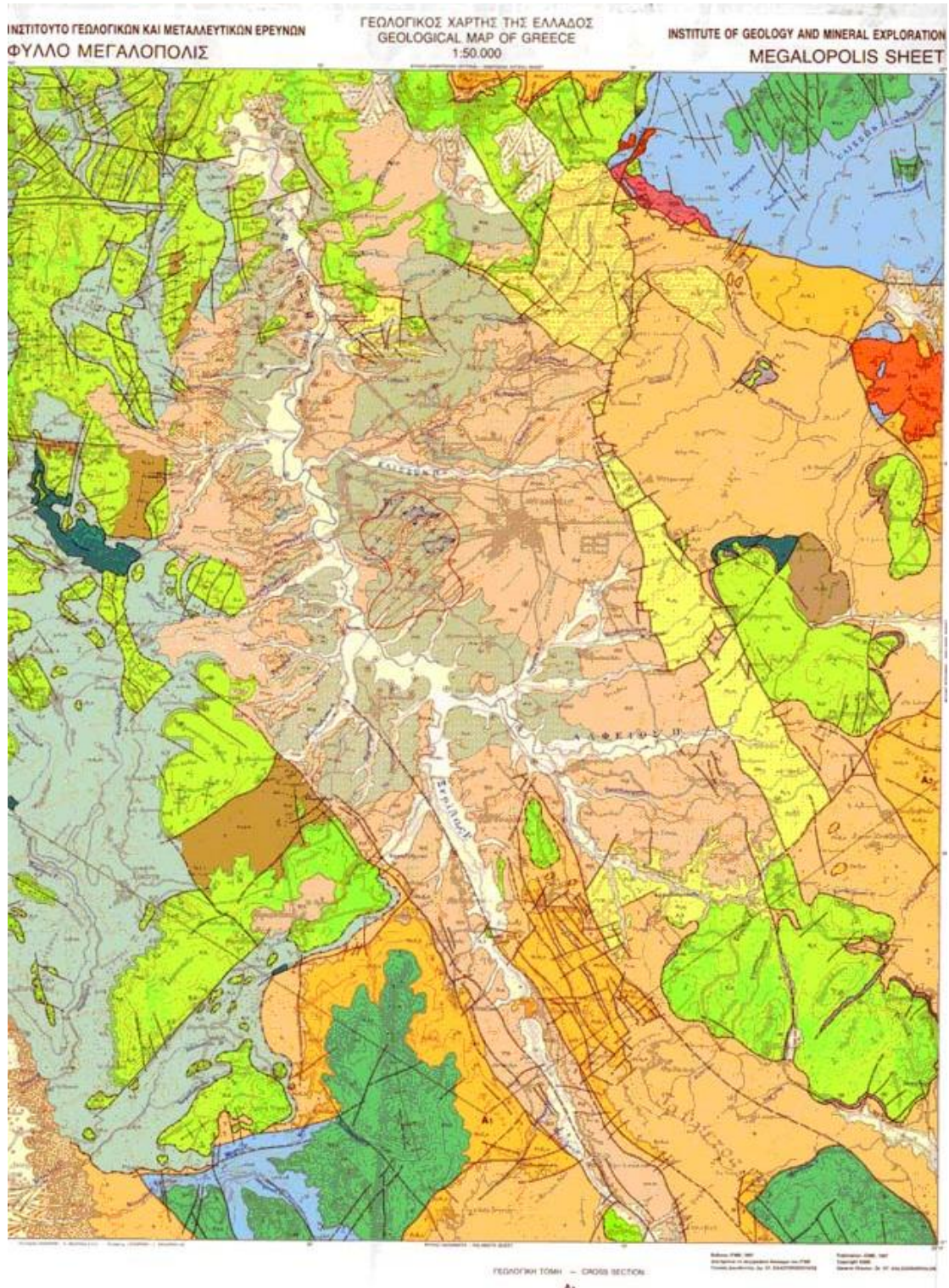
Η πιο σημαντική στη λεκάνη είναι η βαθμίδα Χωρεμίου, η οποία διακρίνεται περαιτέρω σε δύο υποβαθμίδες. Στα κατώτερα μέλη, όπου βρίσκονται τα λιγνιτοφόρα στρώματα Μαραθούσας με αργίλους, μάργες και τρεις λιγνιτικούς ορίζοντες, και στα ανώτερα μέλη, όπου βρίσκονται τα ποτάμια στρώματα Μεγαλόπολης, που αποτελούνται από εναλλαγές αργίλων, πηλών, άμμων, χάλικων και χαλαρών κροκαλοπαγών.

Οι υπερκείμενες βαθμίδες Ποταμιάς και Θωκνίας όπως και οι σύγχρονες αποθέσεις του Αλφειού αποτελούνται από αργιλοάμμους, κροκάλες, πηλούς και ασύνδετα κροκαλοπαγή.

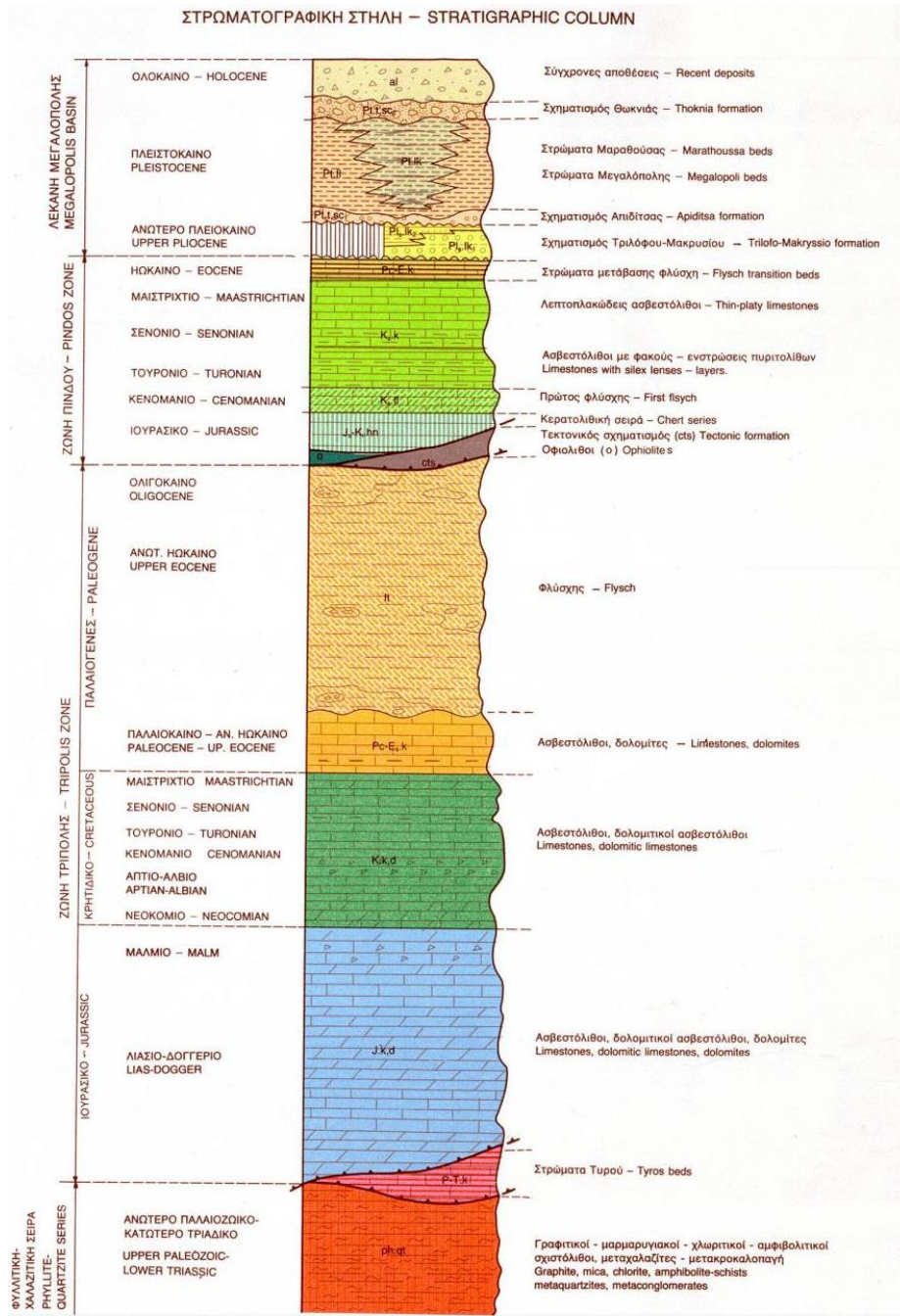
Από την άποψη του πάχους ανάπτυξης, πιο σημαντικό είναι αυτό της βαθμίδας Χωρεμίου και κυρίως των στρωμάτων Μαραθούσας που φτάνει τα 200m περίπου, και ακολουθούν οι βαθμίδες Μακρυσίου και Τριλόφου, με πάχος ιζημάτων μέχρι τα 100m η κάθε μία. Στις υπόλοιπες τρεις βαθμίδες τα ιζήματα έχουν μικρό πάχος από λίγα εκατοστά ως 60m (βαθμίδα Απιδίτσας).

Το συνολικό πάχος των ιζημάτων της λεκάνης δεν είναι ενιαίο. Στο βόρειο τμήμα (περιοχή Κυπαρισσίων) το πάχος είναι κατά θέσεις 3 – 4m, ενώ προοδευτικά αυξάνει σημαντικά προς το νότο όπου στην περιοχή Χωρεμίου – Τριπόταμου υπερβαίνει τα 270m. Υπάρχει, δηλαδή, μια προοδευτική αύξηση του πάχους των ιζημάτων από Βορρά προς Νότο και επομένως, και του βάθους του βραχώδους υποβάθρου.

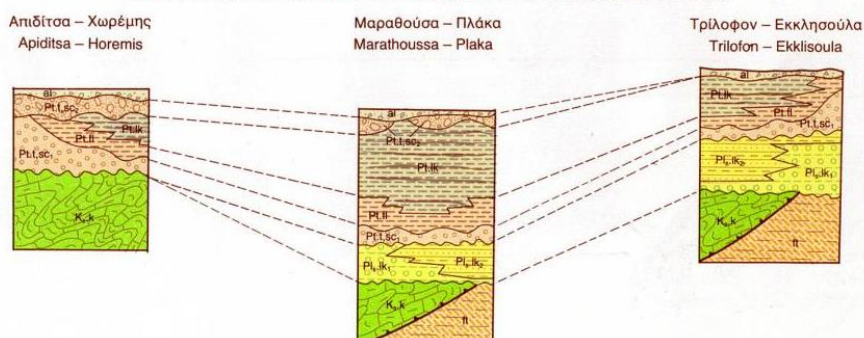
Στο χάρτη της **Εικόνας 2.2** παρουσιάζεται ο γεωλογικός χάρτης του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.) της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης, στη συνέχεια, στην **Εικόνα 2.3** παρουσιάζονται το υπόμνημα του παραπάνω χάρτη και η κοιτασματολογική τομή Α – Α2 (αναφορικά με το χάρτη της **Εικόνας 2.3**). Τέλος, στο χάρτη της **Εικόνας 2.4** παρουσιάζεται η στρωματογραφική στήλη της περιοχής Μεγαλόπολης.



Εικόνα 2.2: Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.).



**ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΤΗΛΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ
CORRELATION OF STRATIGRAPHIC COLUMNS OF MEGALOPOLIS BASIN**



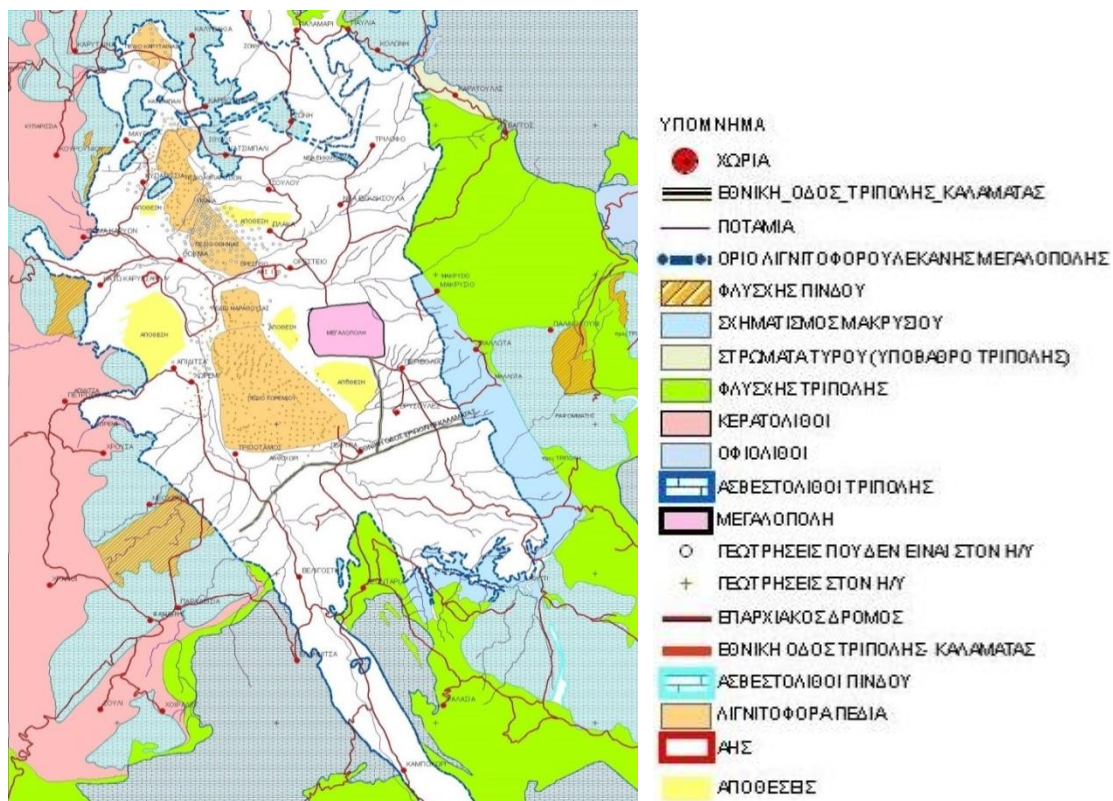
Εικόνα 2.4: Στρωματογραφική στήλη στην περιοχή της Μεγαλόπολης.

2.7. Όρια Ορυχείων – Αποθέσεων – Λιγνιτοφόρου Λεκάνης Μεγαλόπολης – Θέσεις Γεωτρήσεων Δ.Ε.Η. Α.Ε.

Με βάση τον γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε., τις υπάρχουσες μελέτες εκμετάλλευσης για τα ορυχεία του Λ.Κ.Μ. και τα στοιχεία των υπαρχουσών γεωτρήσεων, σχεδιάστηκε ο τεχνικός και γεωλογικός χάρτης ορυχείων του λιγνιτικού κέντρου της Δ.Ε.Η. Α.Ε. στην περιοχή της Μεγαλόπολης, που απεικονίζεται στο χάρτη της **Εικόνας 2.5**, και φαίνονται τα όρια της λιγνιτοφόρου λεκάνης, τα όρια εκμετάλλευσης των ορυχείων, τα όρια των αποθέσεων αγόνων υπερκειμένων και ενδιαμέσων γεωυλικών του λιγνιτικού κοιτάσματος και οι θέσεις των γεωτρήσεων.

Οι κοιτασματολογικές γεωτρήσεις που έχουν εκτελεστεί από τη Δ.Ε.Η. Α.Ε. μέχρι το έτος 2008 που σχεδιάστηκε ο χάρτης αυτός στα λιγνιτικά πεδία Χωρεμίου, Κυπαρισσίων και Μαραθούσας είναι 535.

Οι κοιτασματολογικές γεωτρήσεις που έχουν εκτελεστεί στο αντίστοιχο διάστημα στο πεδίο Θωκνίας και στο πεδίο Καρύταινας είναι 229. Σημειώνεται ότι στο πεδίο Θωκνίας λειτούργησε το ομώνυμο ορυχείο κατά τα έτη 1970 – 1994.



Εικόνα 2.5: Τεχνικός και γεωλογικός χάρτης ορυχείων του λιγνιτικού κέντρου της Δ.Ε.Η. Α.Ε. στην περιοχή της Μεγαλόπολης με τα όρια της λιγνιτοφόρου λεκάνης, τα όρια εκμετάλλευσης των ορυχείων, τα όρια των αποθέσεων αγόνων υπερκειμένων και ενδιαμέσων γεωυλικών του λιγνιτικού κοιτάσματος και οι θέσεις των γεωτρήσεων. Δεξιά σημειώνεται το υπόμνημα του τεχνικού και γεωλογικού χάρτη των ορυχείων του λιγνιτικού κέντρου της Δ.Ε.Η. Α.Ε.

2.8. Υδρογεωλογία

Οι υδροφόροι ορίζοντες που αναπτύσσονται στην ευρύτερη περιοχή αναφέρονται:

- Στους καρστικούς υδροφόρους ορίζοντες που αναπτύσσονται μέσα στη μάζα των ασβεστολιθικών πετρωμάτων, που είναι και οι σπουδαιότεροι.
- Στον φρεάτιο υδροφόρο ορίζοντα που αναπτύσσεται στα ποταμοχειμάρρια και τα υπόλοιπα υδροπερατά γεωυλικά της ευρείας κοίτης του Αλφειού και των σημαντικότερων υδατορεμάτων του.
- Στους υπό πίεση μικρούς υδροφόρους ορίζοντες που αναπτύσσονται στις αμμώδεις και αμμοχαλικώδεις υδροπερατές στρώσεις οι οποίες παρεμβάλλονται μεταξύ υδατοστεγανών σχηματισμών στο σύνολο του πάχους των κλαστικών ιζημάτων της λεκάνης της Μεγαλόπολης.

Οι υδροφόροι αυτοί ορίζοντες χωρίζονται μέσω των αδιαπέρατων γεωυλικών και δεν επικοινωνούν μεταξύ τους, ενώ ο Αλφειός και οι παραπόταμοί του επικοινωνούν μόνο με τους ποταμοχειμάρριους υδροφόρους ορίζοντες που τους περιβάλλουν, οι οποίοι έχουν περιορισμένη έκταση.

Οι καρστικοί υδροφορείς των ασβεστολιθικών βουνών είναι δύο ειδών. Οι υδροφορείς του ανατολικού τομέα που αναπτύσσονται μέσα στη μάζα των ασβεστόλιθων της ενότητας της Τρίπολης και οι υδροφορείς που αναπτύσσονται μέσα στους ασβεστόλιθους της ενότητας Ολονού – Πίνδου.

Στους ασβεστόλιθους της Τρίπολης το νερό διηθείται απευθείας από τις βροχοπτώσεις στο κατ' επιφάνεια ανάπτυγμα τους και κινείται προς τα κάτω με επικρατούσα κατεύθυνση προς τα ανατολικά και επίπεδο αναφοράς που βρίσκεται σε μεγάλο βάθος, αρκετά χαμηλότερα από το επίπεδο της πεδινής περιοχής της λεκάνης.

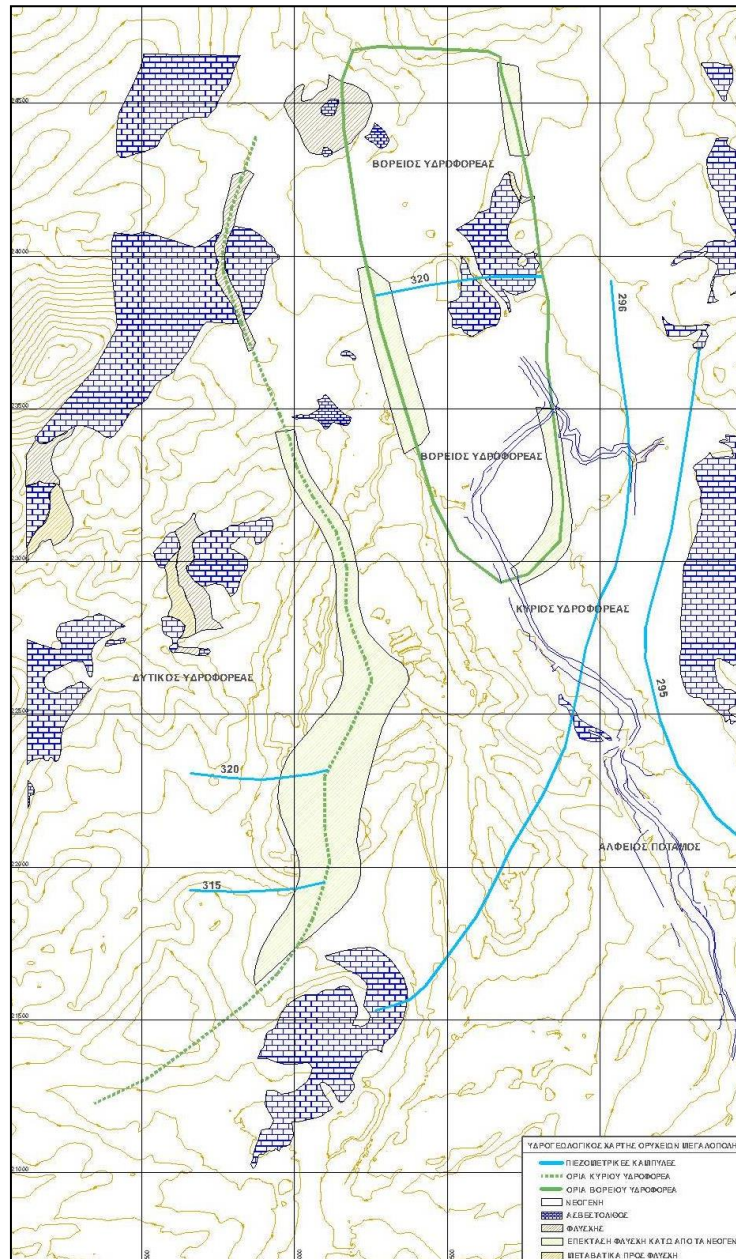
Οι καρστικοί υδροφορείς που αναπτύσσονται στους ασβεστόλιθους της ενότητας Ολονού – Πίνδου έχουν στενή διασύνδεση με τα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά του εσωτερικού και των βορείων και δυτικών περιθωρίων της λεκάνης. Από αυτούς, δηλαδή, τους υδροφορείς προέρχεται το νερό των περισσότερων υδατορεμάτων στον τομέα αυτό, από τις πολλές πηγές που αναβλύζουν κυρίως στα ΝΔ και νότια περιθώρια της λεκάνης.

Ο φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας των γεωυλικών της ευρείας κοίτης του Αλφειού εξαρτάται άμεσα από την επιφανειακή απορροή του ποταμού από την οποία κυρίως τροφοδοτείται. Αναπτύσσεται μέσα στα ποταμοχειμάρρια γεωυλικά και η στάθμη του βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με αυτό της στάθμης του ποταμού. Η δυναμικότητά του είναι μεταβαλλόμενη και εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες.

Εκτός από το ποτάμι, η τροφοδοσία του φρεάτιου υδροφόρου ορίζοντα γίνεται και από την άμεση διήθηση του νερού των βροχοπτώσεων.

Διάφοροι τοπικού ενδιαφέροντος υπό πίεση υδροφορείς αναπτύσσονται σε βάθος μέσα σε αδρόκοκκες κυρίως αμμούχες, εδαφικές στρώσεις που παρεμβάλλονται μεταξύ των λιγνιτών. Η ετερογένεια των εδαφικών στρώσεων δημιουργεί απομονωμένους υδροφορείς και όχι ενιαίο υδραυλικό σύστημα σε κάποιο βάθος.

Ο υδρογεωλογικός χάρτης των ορυχείων της περιοχής της Μεγαλόπολης, στον οποίο φαίνεται η περιοχή του ορυχείου και η υδρολογική λεκάνη της, απεικονίζεται στο χάρτη της **Εικόνας 2.6**.



Εικόνα 2.6: Υδρογεωλογικός χάρτης των ορυχείων της περιοχής της Μεγαλόπολης, στον οποίο φαίνεται η περιοχή του ορυχείου και η υδρολογική λεκάνη της.

2.9. Τεκτονική

Η ζώνη Ωλονού – Πίνδου θεωρείται σήμερα τεκτονικό κάλυμμα που δημιουργήθηκε από επώθηση πάνω στα ιζήματα της ζώνης Τριπόλεως, και επωθήθηκε δυτικότερα πάνω στη ζώνη Πύλου – Γαβρόβου. Τα στρώματα στη ζώνη αυτή παρουσιάζονται σε συμφωνία από το Άνω Τριαδικό έως και το Ηώκαινο. Η κύρια φάση της πτύχωσης για τη ζώνη συμπίπτει με την Πυρηναϊκή φάση. Κατά την περίοδο μεταξύ Ηώκαινου και Ανώτερου Πλειόκαινου πτυχώθηκαν οι θαλάσσιες σειρές από το τριαδικό έως τη βάση του τριτογενούς, που αποτελούν τον πυθμένα και τα περιθώρια της λεκάνης.

Η τεκτονική δομή της λεκάνης είναι απλή στο σύνολό της. Το εσωτερικό της λεκάνης έχει βυθισθεί τεκτονικά και δημιουργήθηκε ως αποτέλεσμα κλιμακοειδών διαρρήξεων που έλαβαν χώρα μετά την πτύχωση και τη δημιουργία των επωθήσεων των θαλάσσιων ιζημάτων, τα οποία αποτελούν το υπόβαθρο της λεκάνης, κατά το στάδιο της εκτόνωσης των τάσεων που είχαν συσσωρευτεί λόγω της πτύχωσης.

Στην περιφέρεια της λεκάνης διακρίνονται τα ρήγματα και οι μεταπτώσεις, κυρίως στους συμπαγείς ασβεστολίθους. Διακρίνονται δύο κύρια συστήματα ρηγμάτων ΒΒΔ – ΝΝΑ και Α – Δ που τέμνουν τα λιμναία καθώς και τα παλιότερα στρώματα. Οι μεταπτώσεις προβάλλουν εντονότερα στην ανατολική πλευρά της λεκάνης τέμνοντας κλιμακωτά τον φλύσχη, στη συνέχεια τα λιμναία στρώματα, πλειοκαινικά και πλειστοκαινικά, τα οποία αρχικά έχουν μία μέτρια κλίση προς Δυσμάς κατόπιν όμως, προς το εσωτερικό της λεκάνης γίνονται οριζόντια.

Στη δυτική πλευρά της λεκάνης (δυτικά του Αλφειού) δεν διακρίνονται μεγάλες μεταπτώσεις. Προφανώς, όμως, και η δυτική πλευρά είναι ρηξιγενής, εάν κρίνουμε από τη μορφολογία της και από τους σεισμούς που εντοπίζονται στα χωριά Κυπαρίσσια και Χωρέμι.

Ο σχηματισμός της τυρφοειδούς λιγνιτικής διαπλάσεως, κατά μήκος περίπου της κοιλάδας του Αλφειού στη δυτική λεκάνη, αποδεικνύει ότι η λιγνιτοφόρος αυτή ζώνη υπήρξε τομέας συνεχούς ρυθμικής συνιζήσεως της όλης λεκάνης, που βρίσκεται στην προέκταση της ρηξιγενοῦς τάφρου του ποταμού Ξερίλα.

Τα λιμναία ανωκαινοζωϊκά στρώματα της Μεγαλόπολης είναι οριζόντια στο εσωτερικό της λεκάνης και χωρίς εμφανείς μεταπτώσεις, γεγονός ασυνήθιστο για τις γνωστές νεογενείς λιγνιτοφόρους λεκάνες της Ελλάδας.

3. ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

3.1. Εισαγωγή

Μεταξύ των ετών 1957 – 1960 έλαβαν χώρα οι πρώτες συστηματικές έρευνες για τον εντοπισμό λιγνίτη στην ευρύτερη περιοχή με θετικό αποτέλεσμα. Από τα 700Mt βέβαια λιγνιτικά αποθέματα που διαπιστώθηκαν, τα 490Mt θεωρήθηκαν τεχνικοοικονομικά απολήψιμα. Το 1969, η Δ.Ε.Η. Α.Ε., ξεκίνησε την εκμετάλλευση του λιγνίτη από το πεδίο Θωκνίας. Η κίνηση αυτή θεωρήθηκε πολύ σημαντική για τα παγκόσμια δεδομένα, διότι για πρώτη φορά ένας τόσο φτωχός λιγνίτης όσον αφορά τη θερμαντική του ικανότητα χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

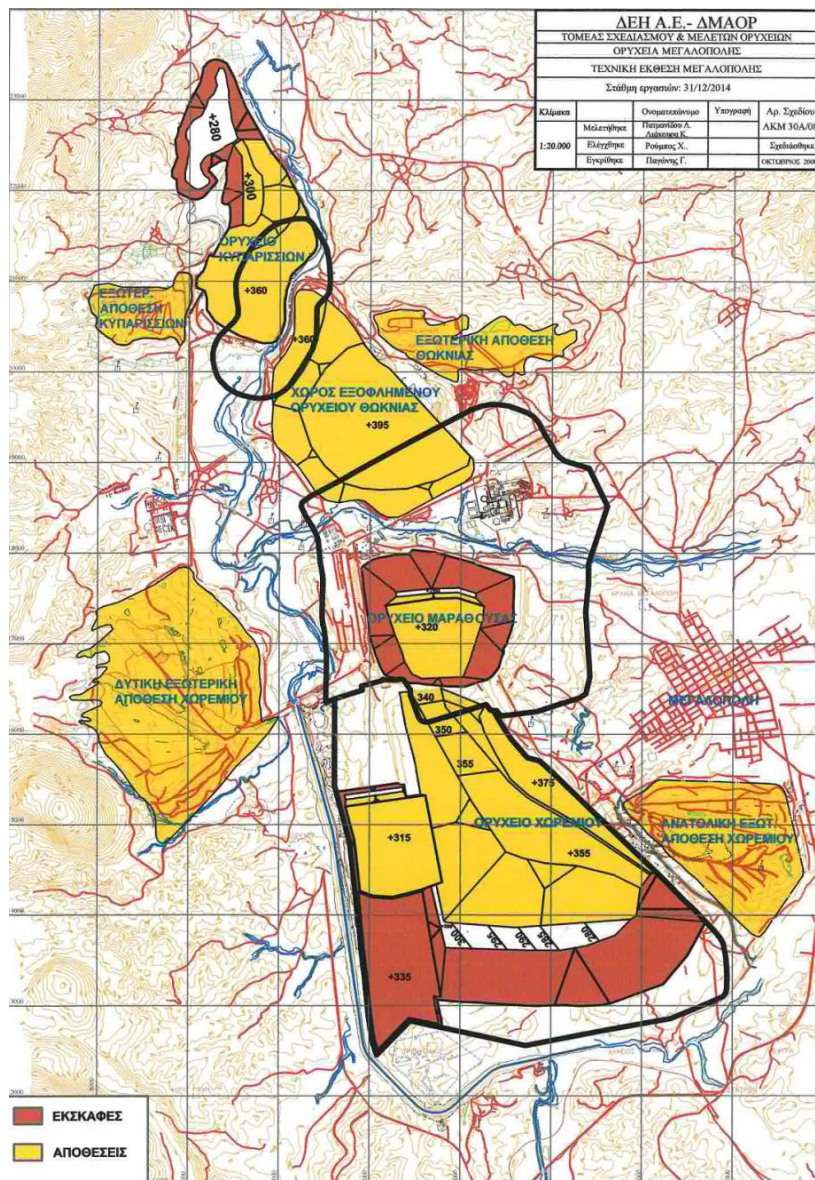
Η εκμετάλλευση του λιγνιτικού κοιτάσματος γίνεται επιφανειακά με ορθές βαθμίδες. Στην επιλογή της συνεχούς γερμανικής μεθόδου εκσκαφής, μεταφοράς και απόθεσης οδήγησαν οι απαιτήσεις αφενός μεν για εκλεκτική εξόρυξη του λιγνίτη ή των αγόνων γεωυλικών, αφετέρου δε για υψηλή παραγωγή.

Για την εξόρυξη του κοιτάσματος τα υπερκείμενα άγονα γεωυλικά και τα λιγνιτικά στρώματα χωρίζονται σε βαθμίδες ύψους 10 – 30m. Το κοίτασμα εκσκάπτεται κατά στρώσεις. Τα μεν άγονα γεωυλικά (υπερκείμενα ή ενδιάμεσα) μεταφέρονται στους αποθέτες, ο δε λιγνίτης μεταφέρεται στις αυλές των ατμοηλεκτρικών σταθμών ή σε υπαίθριες αποθήκες των λιγνιτωρυχείων. Στο σύνολό της η μεταφορά των γεωυλικών γίνεται μέσω ταινιοδρόμων. Η απόθεση των αγόνων γεωυλικών γίνεται σε ειδικά επιλεγμένες περιοχές στις οποίες μεταφέρεται και η τέφρα, το υπόλειμμα της καύσης του λιγνίτη, από τους σταθμούς. Στη λεκάνη της Μεγαλόπολης διακρίνονται τρία λιγνιτικά κοιτάσματα.

Τα κοιτάσματα αυτά, όπως απεικονίζονται και στο χάρτη που αναπαρίσταται στην **Εικόνα 3.1**, είναι του Χωρεμίου – Μαραθούσας, με ολικό πάχος 140m, της Θωκνίας – Κυπαρισσίας, με ολικό πάχος 20 – 100m και της Καρύταινας, με ολικό πάχος 45m. Τη μεγαλύτερη έκταση, σε σχέση με τα υπόλοιπα κοιτάσματα, έχει το λιγνιτωρυχείο του Χωρεμίου, ενώ, για τα δεδομένα της Μεγαλόπολης, παράγει έναν από τους καλύτερους λιγνίτες, όσον αφορά στη θερμαντική ικανότητα, την υγρασία και την τέφρα. Ο λιγνίτης του κοιτάσματος της Μαραθούσας είναι εξίσου καλός από άποψη θερμαντικής ικανότητας, καθώς και υγρασίας, αν και τα αποθέματα και η έκταση του ορυχείου είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με το κοίτασμα του Χωρεμίου. Το κοίτασμα των Κυπαρισσιών θεωρείται επίσης αξιόλογο τόσο από άποψη αποθεμάτων, συγκριτικά με την έκταση που καταλαμβάνει, όσο και από άποψη

θερμαντικής ικανότητας, που θεωρείται εξίσου ικανοποιητική πάντα για τα δεδομένα της περιοχής. Παρόλα αυτά, το συγκεκριμένο κοίτασμα έχει σχεδόν εξαντληθεί και μόνο μικρές ποσότητες εξορύσσονται μόνο με συμβατικά μέσα.

Η ανάπτυξη όλων των λιγνιτωρυχείων της Δ.Ε.Η. Α.Ε. έχει φέρει τη χώρα μας στη δεύτερη θέση στην παραγωγή λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στην πέμπτη θέση σε όλο τον κόσμο. Το Λιγνιτικό Κέντρο Μεγαλόπολης (Λ.Κ.Μ.) ξεκίνησε με μία ετήσια παραγωγή 1Mt, έφτασε το 2002 τους 14,5Mt και το 2003 ανήλθε στους 13,5Mt. Τα εναπομείναντα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη στην περιοχή της Μεγαλόπολης ανέρχονται σε 251Mt και με βάση τους ρυθμούς κατανάλωσης, τα παραπάνω αποθέματα επαρκούν περίπου για τα επόμενα 20 χρόνια (Καβουρίδης κ.ά., 2008).



Εικόνα 3.1: Χάρτης αναπαράστασης των κοιτασμάτων του Χωρεμίου – Μαραθούσας, της Θωκνίας – Κυτταρισσίας, και της Καρύταινας.

3.2. Εξόρυξη Λιγνίτη

Το κύριο χαρακτηριστικό των λιγνιτικών κοιτασμάτων στην περιοχή της Μεγαλόπολης είναι η συχνή εναλλαγή ποικίλου πάχους οριζοντίων περίπου λιγνιτικών στρωμάτων και ενδιάμεσων στείρων (άγονων) γεωυλικών (κυρίως άργιλος και ιλύς). Επίσης, μεγάλα πάχη αγόνων γεωυλικών βρίσκονται, πάνω από τα λιγνιτικά στρώματα. Τα στείρα υπερκείμενα συνίστανται κυρίως από μάργες, αμμοχάλικα και αργίλους.

Η εκμετάλλευση των λιγνιτικών κοιτασμάτων γίνεται επιφανειακά με ορθές αναβαθμίδες. Οι απαιτήσεις, αφενός για εκλεκτική εξόρυξη του λιγνίτη ή των αγόνων γεωυλικών και αφετέρου για υψηλή παραγωγή οδήγησαν στην επιλογή της “γερμανικής μεθόδου” εκσκαφής μεταφοράς και απόθεσης.

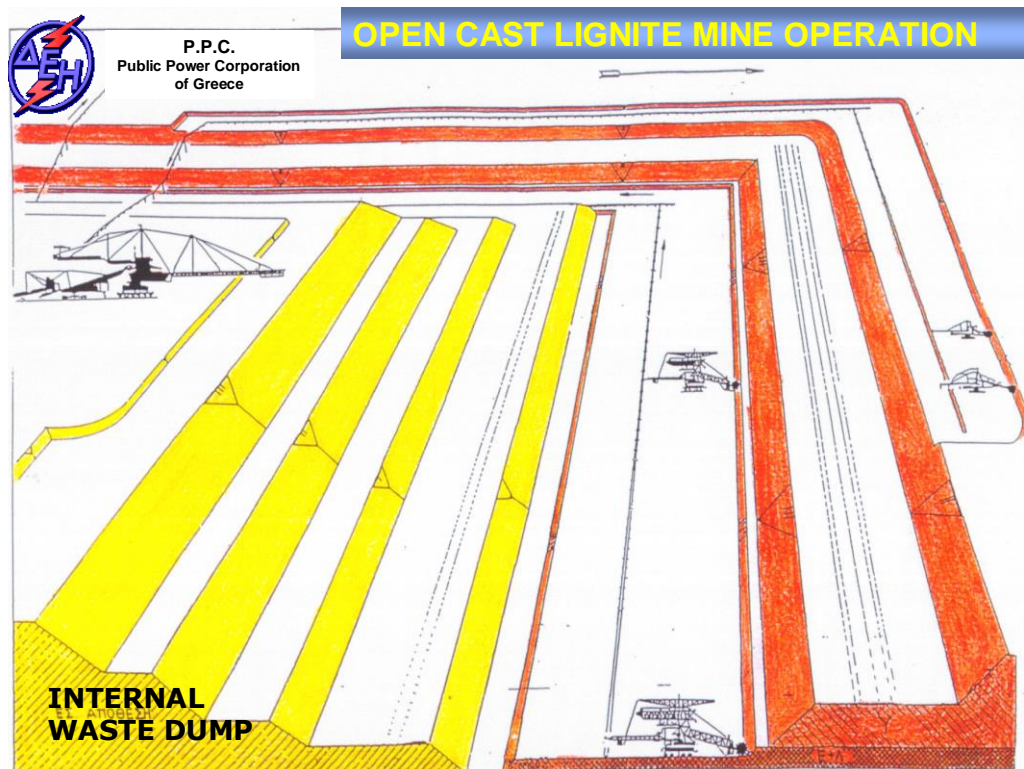
Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ως κύριος εξοπλισμός ένα σύστημα συνεχούς λειτουργίας, που αποτελείται από ηλεκτροκίνητους καδοφόρους εκσκαφείς, ταινιόδρομους και αποθέτες. Για την εξόρυξη του κοιτάσματος χωρίζονται τα υπερκείμενα άγονα γεωυλικά και τα λιγνιτικά στρώματα σε βαθμίδες ύψους 10 – 30m ανάλογα με τον τύπο του καδοφόρου εκσκαφέα. Το κοιτάσμα εκσκάπτεται κατά στρώσεις και τα μεν άγονα γεωυλικά (υπερκείμενα ή ενδιάμεσα) μεταφέρονται με τους ταινιόδρομους σε πλατείες, όπου με τη βοήθεια αποθετών δημιουργούνται σωροί, ο δε λιγνίτης μεταφέρεται στις αυλές των ατμοηλεκτρικών σταθμών ή σε άλλους καταναλωτές ή σε υπαίθριες αποθήκες των λιγνιτωρυχείων.

3.3. Επιφανειακή Εκμετάλλευση του Κοιτάσματος της Μεγαλόπολης

Λόγω του μικρού βάθους του λιγνιτικού κοιτάσματος και του μικρού πάχους των υπερκειμένων αγόνων έχει επιλεγεί η επιφανειακή εκμετάλλευση του κοιτάσματος, μέθοδος που εφαρμόζεται και διεθνώς για την αξιοποίηση παρομοίων κοιτασμάτων. Η μέθοδος αυτή απεικονίζεται σχηματικά στην **Εικόνα 3.2**, όπου εμφανίζονται οι ηλεκτροκίνητοι καδοφόροι εκσκαφείς στην εκσκαφή του λιγνιτικού κοιτάσματος, οι ηλεκτροκίνητοι ταινιόδρομοι στη μεταφορά των εξορυσσόμενων γεωυλικών και οι αποθέτες στην απόθεση αγόνων γεωυλικών.

Μέσω των αποθετών με κατάλληλο σχεδιασμό, διενεργείται η απόθεση των αγόνων, έτσι ώστε να εναρμονίζεται με το γενικότερο τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής. Αρχικά, κατά την απόθεση αγόνων εκτός του ορυχείου, επιλέγονται κενοί χώροι (κοιλότητες) άλλων εξοφλημένων ορυχείων ή άλλες κατάλληλες περιοχές, ενώ στη συνέχεια όταν δημιουργείται κενός χώρος εντός του ορυχείου, η απόθεση διενεργείται εσωτερικά, έτσι ώστε η απόσταση μεταξύ εκσκαφής και απόθεσης να είναι η ελάχιστη δυνατή. Η εσωτερική απόθεση αγόνων ακολουθεί τις εκσκαφές του

ορυχείου για λόγους ευστάθειας των πρανών, αλλά και για λόγους κατάλληλης περιβαλλοντικής αποκατάστασης παράλληλα με την εξέλιξη της εκμετάλλευσης.



Εικόνα 3.2: Σχηματική απεικόνιση της επιφανειακής εκμετάλλευσης λιγνιτικού κοιτάσματος.

Τα στάδια της μεθόδου είναι τα εξής:

- **Αποκάλυψη του κοιτάσματος.** Η αποκάλυψη του κοιτάσματος γίνεται κυρίως με καδοφόρους εκσκαφείς και σε μικρότερη έκταση με συμβατικό εξοπλισμό, όπως για παράδειγμα με προωθητές ή φορτωτές.
- **Μεταφορά των αγόνων προς τους χώρους απόθεσης.** Η διακίνηση αυτή γίνεται με μεταφορικές ταινίες, (ταινιοδρόμους) συνολικού μήκους 43km και πλάτος 1,2 – 1,6m, από τους καδοφόρους εκσκαφείς, αλλά και με εργολαβικά αυτοκίνητα. Για τη φόρτωση των εκσκαφθέντων γεωλικών χρησιμοποιούνται σε ορισμένες περιπτώσεις τα ταινιοχήματα μεταξύ εκσκαφών και ταινιοδρόμων. Η απόθεση αγόνων στα πρώτα στάδια εκμετάλλευσης γίνεται εκτός των ορυχείων (Εξωτερικές Αποθέσεις). Με την πρόοδο της εκμετάλλευσης και τη δημιουργία κενών χώρων η απόθεση διενεργείται εσωτερικά των ορυχείων (Εσωτερικές Αποθέσεις). Η σχηματική απεικόνιση των παραπάνω ακολουθεί στην **Εικόνα 3.3**.
- **Εκλεκτική εξόρυξη του λιγνίτη και των ενδιάμεσων αγόνων ώστε να πληρούνται τα ποιοτικά κριτήρια του καυσίμου.**

- **Μεταφορά των ενδιάμεσων αγόνων στους χώρους απόθεσης αγόνων και του λιγνίτη στις αυλές λιγνίτη.**
- **Φόρτωση του λιγνίτη από τις αυλές λιγνίτη προς τους Α.Η.Σ., η οποία γίνεται μέσω των αποληπτών λιγνίτη.**



Εικόνα 3.3: Εκσκαφτικές εργασίες με συμβατικά μέσα, στην καρδιά του ορυχείου, αποκάλυψης του λιγνίτη και ταυτόχρονης εξόρυξής του. Φαίνονται οι βαθμίδες του ορυχείου καθώς και τα στρώματα αγόνων (με γκρι χρώμα) και το στρώμα λιγνίτη (με καφέ στρώμα). Αριστερά από το σημείο της εκσκαφής υπάρχει μία περίπτωση εσωτερικής απόθεσης. Στο βάθος φαίνονται δύο καδοφόροι εκσκαφείς οι οποίοι λειτουργούν στο Νότιο μέτωπο του ορυχείου.

Οι παραπάνω κύριες δραστηριότητες συνοδεύονται απαραίτητα και από πλήθος βοηθητικών έργων. Συμπληρωματικά, είτε για την προετοιμασία των αρχικών μετώπων των καδοφόρων εκσκαφών και την υποβοήθηση της εργασίας τους, είτε για συμπληρωματική παραγωγή λιγνίτη, χρησιμοποιείται συμβατικός εξοπλισμός ασυνεχούς εξόρυξης, δηλαδή υδραυλικοί εκσκαφείς ανεστραμμένου κάδου ή προωθητές γαιών και φορτωτές και η μεταφορά διενεργείται με φορτηγά αυτοκίνητα. Τον εξοπλισμό αυτόν η Δ.Ε.Η. Α.Ε. τον εξασφαλίζει μέσω εργολαβικών συμβάσεων. Στο Λιγνιτικό Κέντρο Μεγαλόπολης (Λ.Κ.Μ.) απασχολούνται περί τα 1.000 άτομα.

Οι εκτάσεις γης που δεσμεύονται για την ανάπτυξη του ορυχείου ελευθερώνονται σταδιακά με την πρόοδο της εκμετάλλευσης. Η διαδικασία αποκατάστασης και αναδιαμόρφωσης του ανάγλυφου με την πλήρωση των κοιλοτήτων που δημιουργούνται από την εξόρυξη με άγονα, και την αναδιαμόρφωση των εσωτερικών και των εξωτερικών αποθέσεων, καθώς και των κενών που αναπόφευκτα θα απομείνουν μετά την ολοκλήρωση της εκμετάλλευσης, αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα των λιγνιτικών εκμεταλλεύσεων. Οι νέες εκτάσεις που προκύπτουν είτε αποδίδονται για γεωργικές ή κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις, είτε αποτελούν τον βασικό χώρο για την ανάπτυξη δασών και λιμνών.

3.4. Εκσκαφή στο Λιγνιτωρυχείο Πεδίου Χωρεμίου

Η εκσκαφή των υπερκείμενων αγόνων και του λιγνιτικού κοιτάσματος γίνεται σε ορθές βαθμίδες ύψους 15 – 20m. Σε ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιείται επικουρικά συμβατικός ντιζελοκίνητος εξοπλισμός για την εξόρυξη του λιγνίτη. Η παραγωγή λιγνίτη σε ετήσια βάση ανέρχεται σε περίπου 10.000.000tn. Για την επίτευξη αυτής της παραγωγής είναι αναγκαία η διακίνηση περίπου 30.000.000m³ γεωυλικών (λιγνίτη και αγόνων γεωυλικών που υπέρκεινται ή παρεμβάλλονται μεταξύ των λιγνιτικών στρωμάτων).

Η εκμετάλλευση λειτουργεί σε έξι τομές, εκ των οποίων οι πέντε στο κύριο πεδίο Χωρεμίου με δεξιόστροφη λειτουργία και μία στο δυτικό πεδίο Χωρεμίου με διεύθυνση από Βορρά προς Νότο. Οι δύο από αυτές είναι τομές υπερκείμενων και οι άλλες τέσσερις τομές λιγνίτη. Οι καδοφόροι εκσκαφείς, ένας από τους οποίους απεικονίζεται στην **Εικόνα 3.4**, εξυπηρετούνται από τέσσερις αποθέτες αγόνων. Από το 2011 μέχρι και σήμερα έχει ενταχθεί ένας επιπλέον εκσκαφέας από το Πεδίο Μαραθούσας καθώς και ένας ακόμα αποθέτης. Κατόπιν αυτού, λειτουργούν πέντε εκσκαφείς στο κύριο πεδίο Χωρεμίου και δύο εκσκαφείς στο δυτικό πεδίο Χωρεμίου υποστηριζόμενοι από πέντε αποθέτες. Η απόθεση των αγόνων του πεδίου Χωρεμίου γίνεται μόνο εσωτερικά του ορυχείου.



Εικόνα 3.4: Καδοφόρος εκσκαφέας σε ώρα λειτουργίας. Εκσκάπτει τμήμα ενός λιγνιτικού στρώματος στην περιοχή του νοτίου Χωρεμίου. Φαίνονται επιπλέον οι ταινιόδρομοι μεταφοράς λιγνίτη καθώς και το Νότιο μέτωπο του ορυχείου. Στο βάθος και δεξιά βρίσκεται η ατμοηλεκτρική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Μεγαλόπολης.

3.5. Λιγνίτης Μεγαλόπολης

Στη λεκάνη της Μεγαλόπολης η ανάπτυξη πλούσιας βλάστησης έγινε σε τέλματα ή σε αβαθείς λίμνες κατά τις θερμές περιόδους του Πλειστόκαινου, γεγονός που είχε ως αποτέλεσμα τον ασυνεχή σχηματισμό λιγνιτικών στρωμάτων, που καλύπτονταν από φερτά γαιώδη υλικά του ποταμού Αλφειού. Συνολικά δημιουργήθηκαν τρεις λιγνιτικοί ορίζοντες με ανόργανα ιζήματα μεταξύ τους.

Στη λεκάνη διακρίνονται τρία λιγνιτικά κοιτάσματα, τα οποία οριοθετούνται μεταξύ τους από τεκτονικές γραμμές, με διαφορετικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά. Τα κοιτάσματα αυτά είναι του Χωρεμίου – Μαραθούσας, της Θωκνίας – Κυπαρισσίας και της Καρύταινας.

3.5.1. Μακροσκοπικά Χαρακτηριστικά

Ο “γαιώδης” λιγνίτης Μεγαλόπολης έχει σκούρο ή ανοιχτό καστανό ή μαύρο χρώμα, είναι πλούσιος σε φυτικά υπολείμματα και εμπεριέχει απολιθώματα, κυρίως στις επαφές του με τα ανόργανα ιζήματα.

Σύμφωνα με την ταξινόμηση της Διεθνούς Επιτροπής Πετρολογίας Γαιανθράκων και Οργανικών Ιζημάτων (I.C.C.P., 1993) οι κυρίαρχοι λιθότυποι είναι ο matrix και ο οрукτομιγής, ενώ ο ξυλιτικός λιθότυπος εμφανίζεται πολύ σπάνια.

3.5.2. Υγρασία, Τέφρα, Πτητικά Συστατικά και Μόνιμος Άνθρακας

Σημαντικές παράμετροι του προσδιορισμού του βαθμού ενανθράκωσης είναι η υγρασία και η περιεκτικότητα σε πτητικά συστατικά, που παράλληλα αποτελούν χρήσιμα στοιχεία για τις τεχνολογικές εφαρμογές του λιγνίτη. Η τέφρα αποτελεί το μέτρο της περιεκτικότητας του λιγνίτη σε ανόργανα συστατικά, καθώς και της ποιότητάς του, ενώ παράλληλα η τέφρα, είναι σημαντική για περιβαλλοντικές εφαρμογές (Diessel, 1992; Taylor et al., 1998; Thomas, 2002).

Συνοπτικά οι παράμετροι του προσδιορισμού του βαθμού ενανθράκωσης του λιγνίτη της Μεγαλόπολης είναι:

- **Υγρασία:** Αρχικά, η υγρασία του λιγνίτη της Μεγαλόπολης έχει τιμές που κυμαίνονται από 48 – 65%, με τη μέση τιμή του να είναι στο 59,3% (Μαρίνος κ.ά. 1959). Ειδικότερα, για το πεδίο Χωρεμίου η υγρασία έχει τιμές που κυμαίνονται από 41,7 – 59,3%, με τη μέση τιμή του να είναι στο 53,3% (Sakorafa and Michailidis, 1997), ενώ για το πεδίο Μαραθούσας οι αντίστοιχες τιμές

κυμαίνονται από 45,6 – 72%, με τη μέση τιμή του να είναι στο 60% (Αθανασίου κ.ά., 1972).

- **Τέφρα:** Οι τιμές της τέφρας αναφέρονται σε δείγματα επί ξηρού και έχει τιμές που κυμαίνονται από 21,7 – 47,7%. Η μέση τιμή της τέφρας επί ξηρού είναι στο 32,6% (Μαρίνος κ.ά., 1959). Στην περιοχή του Χωρεμίου η διακύμανση των τιμών της τέφρας είναι 10,7 – 66%, με τη μέση τιμή του να είναι στο 36,7% (Sakorafa and Michailidis, 1997). Στο πεδίο Μαραθούσας η τέφρα έχει τιμές που κυμαίνονται από 18,4 – 60%, με τη μέση τιμή του να είναι στο 36,7% (Αθανασίου κ.ά., 1972).
- **Πτητικά συστατικά:** Όπως και στην περίπτωση της τέφρας, οι τιμές των πτητικών συστατικών αναφέρονται σε δείγματα επί ξηρού. Σύμφωνα με τους Μαρίνο κ.ά. (1959) οι τιμές των πτητικών συστατικών για όλο το λιγνιτικό κοίτασμα της Μεγαλόπολης κυμαίνονται από 29,4 – 46,54%, με τη μέση τιμή να είναι στο 41,2%. Οι τιμές των πτητικών συστατικών για το λιγνίτη του πεδίου Χωρεμίου κυμαίνονται από 29,8 – 54,3%, με τη μέση τιμή του στο 43,7% (Sakorafa and Michailidis, 1997). Τέλος, για το πεδίο της Μαραθούσας η διακύμανση της τιμής των πτητικών συστατικών είναι από 30,8 – 50,8%, με τη μέση τιμή του να είναι στο 42,9% (Καπερώνης κ.ά., 1974).
- **Μόνιμος άνθρακας:** Η περιεκτικότητα του λιγνίτη σε μόνιμο άνθρακα λαμβάνει τιμές που κυμαίνονται από 20 – 32,7%, με τη μέση τιμή του να προσεγγίζει το 26,1% (Μαρίνος κ.ά., 1959). Στο πεδίο Χωρεμίου οι τιμές μόνιμου άνθρακα παρουσιάζουν διακύμανση από 6,5 – 34,9%, με τη μέση τιμή του να είναι στο 19,5% (Sakorafa and Michailidis, 1997). Στο πεδίο της Μαραθούσας οι αντίστοιχες τιμές κυμαίνονται από 13 – 34,4%, με τη μέση τιμή του να είναι στο 23,1% (Καπερώνης κ.ά., 1974).

3.5.3. Θερμαντική Ικανότητα

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του λιγνίτη Μεγαλόπολης είναι η πολύ χαμηλή θερμαντική ικανότητά του. Μάλιστα ήταν η πρώτη φορά σε παγκόσμιο επίπεδο, που χρησιμοποιήθηκε λιγνίτης για ηλεκτροπαραγωγή με τόσο χαμηλή θερμαντική ικανότητα. Η θερμαντική ικανότητα αποτελεί μία από τις παραμέτρους του βαθμού ενανθράκωσης, με καλή εφαρμογή σε ορυκτούς άνθρακες χαμηλού βαθμού ενανθράκωσης (Diessel, 1992). Η διακύμανση των τιμών της θερμαντικής ικανότητας έχει τιμές που κυμαίνονται από 8 – 11,4 MJ/kg σε υγρό και ελεύθερο τέφρας δείγμα, με τη μέση τιμή του να είναι στο 9,3 MJ/kg (Μαρίνος κ.ά., 1959).

3.6. Τα Επί Μέρους Πεδία Εκμετάλλευσης

Η εκμετάλλευση των λιγνιτικών κοιτασμάτων της Μεγαλόπολης ξεκίνησε το 1969, από το πεδίο Θωκνίας που περιοριζόταν από τους ποταμούς Αλφειό και Ζάμπκακα, με έναρξη της εκμετάλλευσης από το Β – ΒΔ τμήμα. Το 1994 ολοκληρώθηκαν οι εκσκαφές στο ορυχείο και στη διάρκεια της ζωής του εξορύχτηκαν 69.300.000tn λιγνίτη, με συνολικές εκσκαφές 150.400.000m³ και σχέση εκμετάλλευσης 1,34m³/tn.

Σήμερα στο Λ.Κ.Μ. λειτουργούν τα 3 λιγνιτωρυχεία, του πεδίου Χωρεμίου, του πεδίου Κυπαρισσίων και του πεδίου Μαραθούσας τα οποία τροφοδοτούν με λιγνίτη τον Α.Η.Σ. Μεγαλόπολης Α' με εγκατεστημένη ισχύ 550MW (2 μονάδες x 125MW + 1 μονάδα 300MW) και τον Α.Η.Σ. Μεγαλόπολης Β' ισχύος 300MW (συνολική εγκατεστημένη ισχύς 850MW).

Συνοπτικά σημειώνονται τα ακόλουθα για τα τρία λιγνιτωρυχεία:

- **Το λιγνιτωρυχείο του πεδίου Χωρεμίου** είναι το μεγαλύτερο και νοτιότερο πεδίο της περιοχής. Το 1972 ξεκίνησε τη λειτουργία του και χωρίζεται σε 2 τμήματα, στο Κυρίως Χωρέμι και στο Δυτικό Χωρέμι. Για την εκμετάλλευση του Δυτικού Χωρεμίου έγινε εκτροπή του ποταμού Αλφειού σε πλάτος περί τα 400m σε μήκος περίπου 3000m. Στην πορεία της εκμετάλλευσης έγιναν απαλλοτριώσεις των κοινοτήτων Ανθοχωρίου και Ψαθίου. Τα σημερινά απολήψιμα αποθέματα λιγνίτη είναι 147.600.000tn λιγνίτη, με συνολικές εκσκαφές 380.000.000m³ και σχέση εκμετάλλευσης 1,74m³/tn.
- **Το λιγνιτωρυχείο του πεδίου Κυπαρισσίων** είναι το βορειότερο λιγνιτωρυχείο. Το 1980 ξεκίνησε από το ΝΔ τμήμα με κάποιες πρώτες αποκαλύψεις. Το 1987 ξεκίνησε με συμβατικό εξοπλισμό, ενώ το 1993 άρχισε πλέον η εκμετάλλευση της 1^{ης} τομής με πάγιο εξοπλισμό. Με την έναρξη της 2^{ης} τομής ξεκίνησε κι η εσωτερική απόθεση αγόνων. Έχει υπολογιστεί ότι από το συνολικό κοίτασμα δεσμεύονται 5.000.000tn λιγνίτη στα δυτικά του πεδίου από την αρχαιολογική υπηρεσία. Χαρακτηριστικό του πεδίου Κυπαρισσίων είναι το γεγονός ότι περιέχει φτωχό λιγνίτη με πολύ καλή σχέση εκμετάλλευσης. Τα σημερινά απολήψιμα αποθέματα λιγνίτη είναι περί τα 24.500.000tn λιγνίτη, με συνολικές εκσκαφές 85.500.000m³ και σχέση εκμετάλλευσης 2,66m³/tn.
- **Το λιγνιτωρυχείο του πεδίου Μαραθούσας** βρίσκεται ανάμεσα στα λιγνιτωρυχεία των πεδίων Κυπαρισσίων και Χωρεμίου και ήταν το τελευταίο που ανοίχτηκε και ξεκίνησε το 1989. Τα σημερινά απολήψιμα αποθέματα λιγνίτη είναι 91.300.000tn λιγνίτη, με συνολικές εκσκαφές 548.000.000m³ και σχέση εκμετάλλευσης 5,17m³/tn.

3.7. Γεωλογικά και Κοιτασματολογικά Στοιχεία των Επιμέρους Πεδίων Εκμετάλλευσης.

Έχει διατυπωθεί η άποψη ότι εντός της λεκάνης της Μεγαλόπολης υπήρξαν τρεις τουλάχιστον παλαιές λίμνες εντός των οποίων έλαβε χώρα ο σχηματισμός του κοιτάσματος. Η πρώτη λίμνη οριοθετείτο βόρεια του υψώματος του Λεονταρίου μέχρι τα χωριά Τριπόταμο – Χωρέμι – Απιδίτσα – Μαραθούσα έως τα δυτικά της Μεγαλόπολης μέχρι τα Γεφυράκια, η δεύτερη καταλάμβανε τον χώρο Θωκνίας – Κυπαρισσιών και κατά καιρούς συνδεόταν με την πρώτη και η τρίτη βρισκόταν ανατολικά της Καρύταινας. Η κοιτασματολογική ζώνη έχει χωριστεί στα παρακάτω τμήματα εκμετάλλευσης.

3.7.1. Λιγνιτωρυχείο Πεδίου Χωρεμίου.

Βρίσκεται στο νότιο τμήμα της λεκάνης πλάτους 1,5 – 2,5km και μήκους 4km περίπου. Λόγω της διέλευσης του ποταμού Αλφειού μέσα από το χώρο εκμετάλλευσης, η επιφάνεια παρουσιάζει διακυμάνσεις. Το υψόμετρο της περιοχής κυμαίνεται μεταξύ +360m και +420m. Τρεις κύριες λιγνιτικές ομάδες εμφανίζονται στην στρωματογραφική ακολουθία με την σειρά και τα αντίστοιχα πάχη που συνοψίζονται στον **Πίνακα 3.1**.

Πίνακας 3.1: Οι τρεις κύριες λιγνιτικές ομάδες που εμφανίζονται στην στρωματογραφική ακολουθία.

ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ	ΠΑΧΟΣ (m)
Υπερκείμενα	3,1 – 46,8
Ανώτερη λιγνιτική ομάδα	3,0 – 13,0
Ενδιάμεσα στείρα	5,0 – 17,0
Μεσαία λιγνιτική ομάδα	8,0 – 21,0
Ενδιάμεσα στείρα	11,0 – 40,0
Κατώτερη λιγνιτική ομάδα	3,0 – 18,0

Η ανώτερη λιγνιτική ομάδα έχει διαβρωθεί σε μεγάλο βαθμό και περιέχει τα λιγότερα αποθέματα, ενώ αντίθετα, η κατώτερη λιγνιτική ομάδα περιέχει τα περισσότερα αποθέματα. Ανατολικά του Αλφειού το πάχος των υπερκειμένων αυξάνεται και το πάχος του λιγνίτη μειώνεται. Το ολικό βάθος κοιτάσματος κυμαίνεται από 60 – 140m. Με άξονα παράλληλο στην αρχική κοίτη του ποταμού, το κοίτασμα διαιρέθηκε σε δύο τμήματα, το Ανατολικό και το Δυτικό Χωρέμι.

3.7.2. Λιγνιτωρυχείο Πεδίου Κυπαρισσιών.

Το χαρακτηριστικό του πεδίου Κυπαρισσιών είναι ότι λείπει η σαφής κατά ομάδες διάταξη των στρωμάτων λιγνίτη, αυτός εμφανίζεται ουσιαστικά σε ένα συμπαγές στρώμα, διασπώμενο από λίγα ενδιάμεσα στείρα επίσης, στο πεδίο αυτό το υπερκείμενο είναι μικρού πάχους.

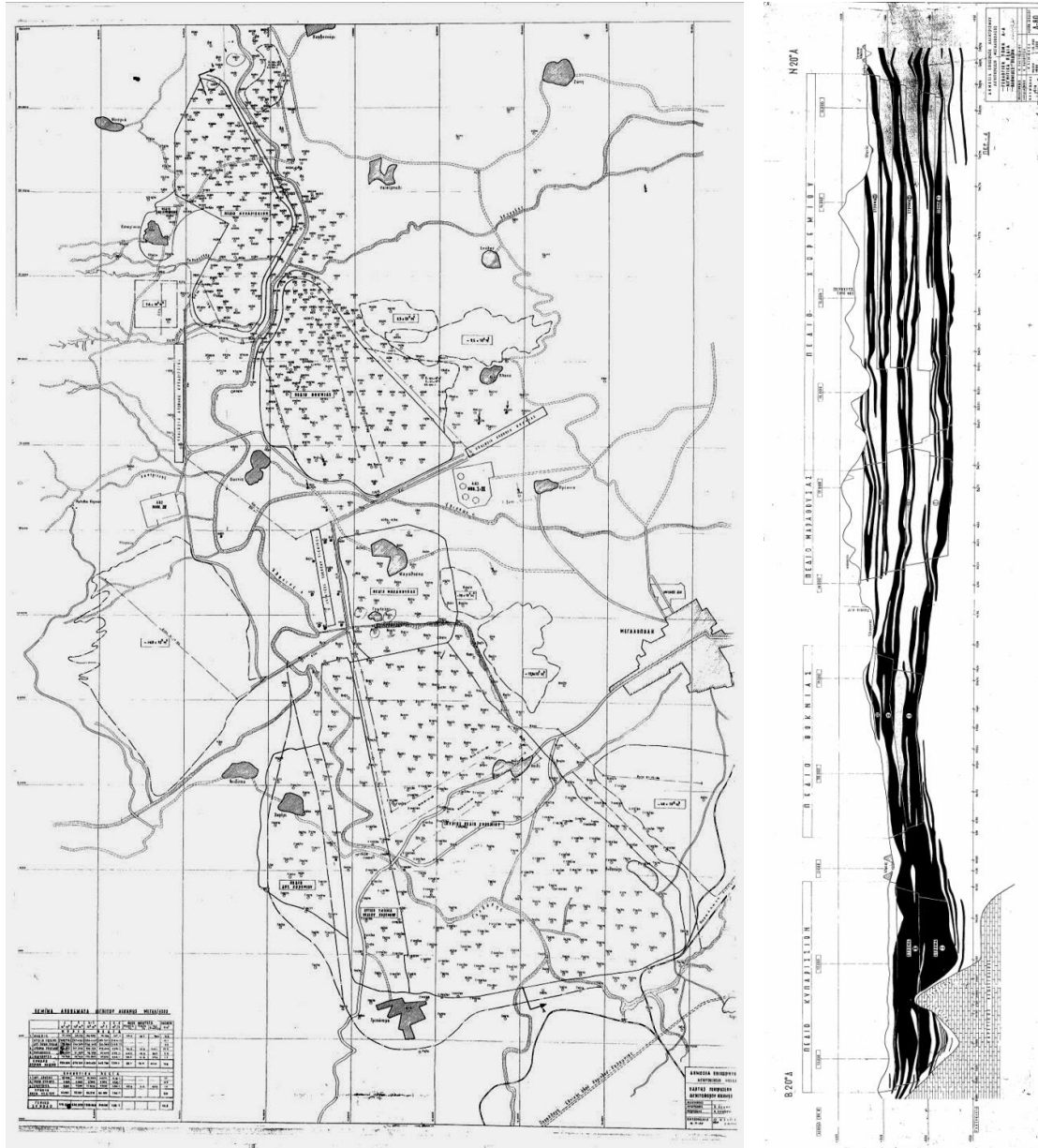
Το υπόβαθρο της λεκάνης στα Κυπαρίσσια αποτελείται από ασβεστολίθους του ανώτερου Κρητιδικού και από φλύσχη. Ανατολικά του χωριού των Κυπαρισσιών υπάρχει μια ασβεστολιθική έξαρση όπου τα υποκείμενα λιμνογενή μαργαικά και αργιλικά ιζήματα αποσφηνώνονται και ο λιγνίτης επικάθεται απ' ευθείας στον ασβεστόλιθο. Το αντίκλινο αυτό, βορειοανατολικής διεύθυνσης, καλύπτεται εντός του πεδίου από λιγνίτες και από νεώτερες αποθέσεις, ενώ διαχωρίζει την λεκάνη των Κυπαρισσιών σε δύο μέρη.

Ο λιγνίτης των Κυπαρισσιών αντιστοιχεί στις κατώτερες ομάδες λιγνιτών του κοιτάσματος Χωρεμίου. Προς τα ανατολικά εντοπίζεται σύστημα ρηγμάτων με διευθύνσεις ΒΒΔ – ΝΝΑ. Στα δυτικά όρια του πεδίου, το ανθρακούχο υλικό αποτελείται από μία χουμική άργιλο και δεν είναι εκμεταλλεύσιμο.

3.7.3. Λιγνιτωρυχείο Πεδίου Μαραθούσας.

Στη συνέχεια του κοιτάσματος Χωρεμίου και μέχρι τα όρια του κοιτάσματος Θωκνίας αναπτύσσεται το κοιτάσμα Μαραθούσας πλάτους περί τα 1,3km και μήκους περί τα 1,5km. Και εδώ η επιφάνεια παρουσιάζει διακυμάνσεις. Το υψόμετρο της περιοχής κυμαίνεται μεταξύ +360m και +410m. Εμφανίζονται με την ίδια σειρά οι τρεις κύριες λιγνιτικές ομάδες που αναπτύσσονται και στο πεδίο Χωρεμίου. Παρουσιάζεται όμως αύξηση, τόσο του πάχους των ενδιαμέσων αγόνων, όσο και του αριθμού των στρωμάτων ανά ομάδα λιγνίτη, με αποτέλεσμα τη μείωση του πάχους των στρωμάτων και την επιδείνωση της σχέσης εκμετάλλευσης.

Οι περιοχές των αναφερόμενων πεδίων φαίνονται στο χάρτη της **Εικόνας 3.5** των γεωτρήσεων του Λ.Κ.Μ. (1989), παράλληλα με την κοιτασματολογική τομή ΑΑ των Λιγνιτικών Πεδίων του Λ.Κ.Μ.



Εικόνα 3.5: Αριστερά εντοπίζεται ο χάρτης των γεωτρήσεων του Λ.Κ.Μ. (1989). Η Κοπασματολογική Τομή ΑΑ των Λιγνιτικών Πεδίων του Λ.Κ.Μ. εμφανίζεται στην δεξιά εικόνα.

3.8. Δρόμοι Προσπέλασης από το Κύριο Δίκτυο προς τους Χώρους Εκμετάλλευσης των Ορυχείων.

Το εσωτερικό δίκτυο των δρόμων που έχει κατασκευάσει η Δ.Ε.Η. Α.Ε. για τη μεταφορά του προσωπικού και των προϊόντων εξόρυξης είναι ιδιαίτερα εκτεταμένο και σε ότι αφορά τις κύριες μεταφορικές αρτηρίες είναι ασφαλτοστρωμένο, η δε πρόσβαση στις περιοχές εκμετάλλευσης θεωρείται εύκολη και δεν απαιτεί σημαντικά έργα κατασκευής νέων οδών προσπέλασης.

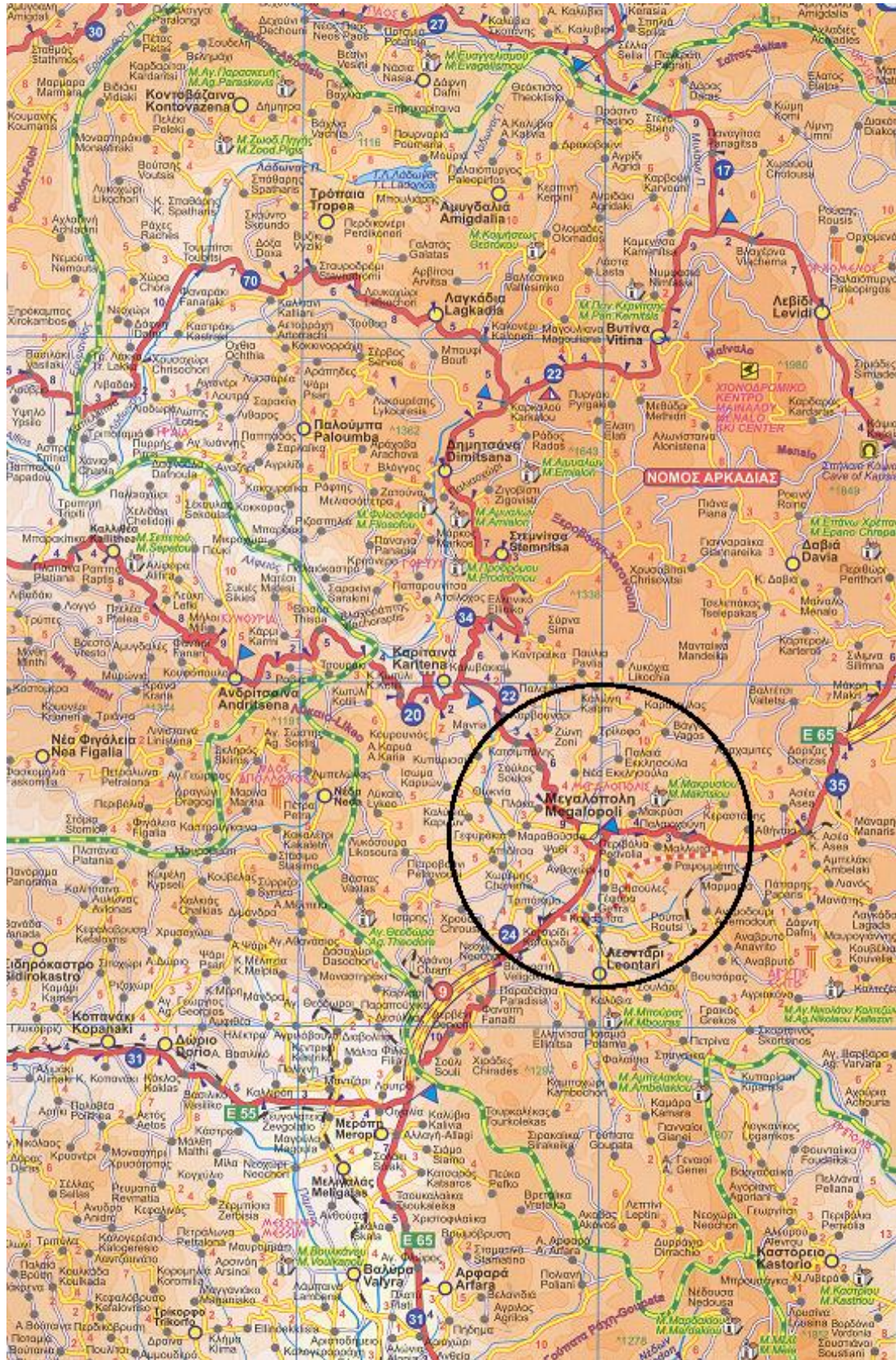
Ο κεντρικός οδικός άξονας που συνδέει τις, Κόρινθο – Τρίπολη – Καλαμάτα, διέρχεται από την Μεγαλόπολη. Κάθετα σε αυτόν στον κεντρικό οδικό άξονα υπάρχει ο οδικός άξονας Σπάρτης – Μεγαλόπολης – Ανδρίτσαινας – Πύργου που ξεκινά από την Σπάρτη ως επαρχιακός δρόμος και συνεχίζει από την Μεγαλόπολη και μετά ως Εθνικός. Νοτιότερα της Μεγαλόπολης, περί τα 22 km, διακλαδίζεται από την Εθνική οδό Μεγαλόπολης – Καλαμάτας η οδός προς Κυπαρισσία που συνδέει τους δύο σημαντικούς οδικούς άξονες της Πελοποννήσου Πατρών – Πύργου – Κυπαρισσίας και Κορίνθου – Καλαμάτας.

Πολλές ακόμη οδοί του επαρχιακού δικτύου είναι αξιόλογες όπως η επαρχιακή οδός Καρύταινας – Δημητσάνας – Λαγκάδια και η δασική οδός που διασχίζει το Μαίναλο από Στεμνίτσα – Χρυσοβίτσι – Τρίπολη και Στεμνίτσα – Ελάτη – Βυτίνα.

Αεροδρόμια δεν υπάρχουν στη λεκάνη της Μεγαλόπολης. Στην Καλαμάτα υπάρχει στρατιωτικό και πολιτικό αεροδρόμιο, όπου δύναται όπως προσεγγίσει (προσγειωθεί) αεροπλάνο. Στην Τρίπολη υπάρχει μόνο στρατιωτικό αεροδρόμιο, του οποίου ο διάδρομος προσγείωσης (πίστα) χρησιμοποιείται και για αγώνες αυτοκινήτων και μοτοσικλετών.

Όλα τα παραπάνω εμφανίζονται αναλυτικά στο χάρτη προσπέλασης του λιγνιτωρυχείου της Μεγαλόπολης που ακολουθεί στην **Εικόνα 3.6**.

3. ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ



Εικόνα 3.6: Χάρτης προσπέλασης του λιγνιτωρυχείου της Μεγαλόπολης.

4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΟΥΣ

4.1. Περιγραφή του Προβλήματος

Κατά την διάρκεια του Ιουλίου 2015 στο λιγνιτωρυχείο της Δ.Ε.Η. Α.Ε. στη Μεγαλόπολη, στην περιοχή του δυτικού Χωρεμίου, παρατηρήθηκαν ρωγμές κατά μήκος της στέψης του τεχνητού αναχώματος (φράγματος), που διαχωρίζει το ορυχείο από την νέα κοίτη του ποταμού Αλφειού. Ταυτοχρόνως, οι μάρτυρες μέτρησης των μετακινήσεων του φράγματος έδωσαν αυξημένους ρυθμούς μετακινήσεων.

Στη περιοχή του δυτικού τμήματος του ορυχείου, στο πεδίο του Χωρεμίου, στα παλαιά χρόνια, υπήρχε η κοίτη του Αλφειού ποταμού, που κινείται από τον Νότο προς τον Βορρά. Η εν λόγω κοίτη έχει μετακινηθεί προς τη δύση περίπου 400m. Αυτό αποτελεί και το δυτικό όριο του ορυχείου.

Για την προστασία του ορυχείου από πλημμύρες έχει κατασκευαστεί ένα τεχνητό αντιπλημμυρικό ανάχωμα, η στέψη του οποίου τοποθετείται στο +364 από την επιφάνεια της θάλασσας. Η τεχνητή κοίτη του ποταμού βρίσκεται στο +352. Το φυσικό έδαφος στην παλαιά κοίτη του Αλφειού κυμαίνονταν από το +360 έως το +362. Σήμερα, το δυτικό μέτωπο του ορυχείου έχει προχωρήσει δυτικά 400m προσεγγίζοντας την περιοχή της παλαιάς θέσης του ποταμού.

Στην περιοχή της παλαιάς κοίτης του Αλφειού, κατά την κοιτασματολογική μελέτη του ορυχείου εντοπίστηκαν δύο βασικές ζώνες εκμεταλλεύσιμου λιγνίτη: α) η ανώτερη ζώνη λιγνίτη μεταξύ των σταθμών +330 και +350 (με ενδιάμεσες στρώσεις αγόνων) και β) η κατώτερη ζώνη λιγνίτη μεταξύ των σταθμών +295 και +310 (με ενδιάμεσες στρώσεις αγόνων). Οι λιγνιτικές στρώσεις εμφανίζουν μικρή κλίση με βύθιση από την Δύση προς την Ανατολή (περίπου 3 – 8%). Λόγω της προσέγγισης του ορυχείου προς τα δυτικά κράσπεδα της λιγνιτοφόρου λεκάνης, η κλίση των λιγνιτικών στρώσεων κρίνεται δυσμενής για την ευστάθεια, κατά την προώθηση του ορυχείου προς την Δύση.

Η μελέτη εκμετάλλευσης του ορυχείου στην περιοχή ενδιαφέροντος έχει ως σκοπό, την εκμετάλλευση της κατώτερης λιγνιτικής στιβάδας, με δάπεδο στο +305 (κατά προσέγγιση) και συγκεκριμένα με τον εξής τρόπο (τα άνωθεν υψόμετρα σκιαγραφούνται στην **Εικόνα 4.1**):

- Γενική εκσκαφή από το φυσικό έδαφος (+360 περίπου) μέχρι περί το +340. Κατά την εκσκαφή αυτή δεν παρατηρήθηκαν αυξημένες μετακινήσεις ή εμφάνιση ρωγμών.
- Σε δεύτερο στάδιο, γίνεται εκσκαφή από το +340 έως το +320 περίπου. Για λόγους διασφάλισης της ευστάθειας του πρανούς προς τον Αλφειό, η εκσκαφή

αυτή δεν πλησιάζει την στέψη του τεχνητού αναχώματος (φράγματος) του Αλφειού σε απόσταση μικρότερη των 200m. Η εκσκαφή αυτή γίνεται με εκσκαφέα ορυχείων και το μέτωπο προωθείται προς τον Νότο, με παράλληλη κίνηση του εκσκαφέα προς την Δύση σε κάθε ζώνη. Συνεπώς, διατηρείται μια μέση κλίση πρανούς (ύψος : βάση) ίση περίπου με: $(364-320)/200=1:4,5$.



Εικόνα 4.1: Τα δάπεδα του ορυχείου τον Ιούλιο 2015. Η φωτογραφία έχει τραβηχτεί από τη στέψη του τεχνητού αναχώματος.

- Κατά την προσέγγιση στο πρανές του Αλφειού, όταν προωθείται ο εκσκαφέας, ο μάρτυρας των μετακινήσεων που είναι εγκατεστημένος κατόντη του τεχνητού αναχώματος του Αλφειού (σε στάθμη +340 – μάρτυρας Νο TN17a) επιδεικνύει ρυθμούς μετακίνησης περί τα 10 έως 12 mm/ημέρα και οι μάρτυρες των μετακινήσεων που είναι εγκατεστημένοι στην στέψη του τεχνητού αναχώματος του Αλφειού (σε στάθμη +364 – μάρτυρες Νο TN20 και Νο TN26, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 4.2**) εμφανίζει ρυθμούς μετακίνησης περί τα 4 έως 6 mm/ημέρα. Επιπλέον, παρατηρήθηκε διαμήκης ρωγμή στην στέψη του τεχνητού αναχώματος, η οποία προωθείται προς το Νότο ακολουθώντας την αντίστοιχη προώθηση του ορυχείου.

- Σε τρίτο στάδιο, γίνεται εκσκαφή από το +320 έως το +300. Για λόγους διασφάλισης της ευστάθειας του πρανούς προς τον Αλφειό, η εκσκαφή αυτή δεν πλησιάζει την στέψη του τεχνητού αναχώματος (φράγματος) του Αλφειού σε απόσταση μικρότερη των 300m. Επομένως, διατηρείται μια μέση κλίση πρανούς: $(364-300)/300=1:4,7$.



Εικόνα 4.2: Ο μάρτυρας – στόχος Νο TN26 στην κορυφή του τεχνητού αναχώματος.

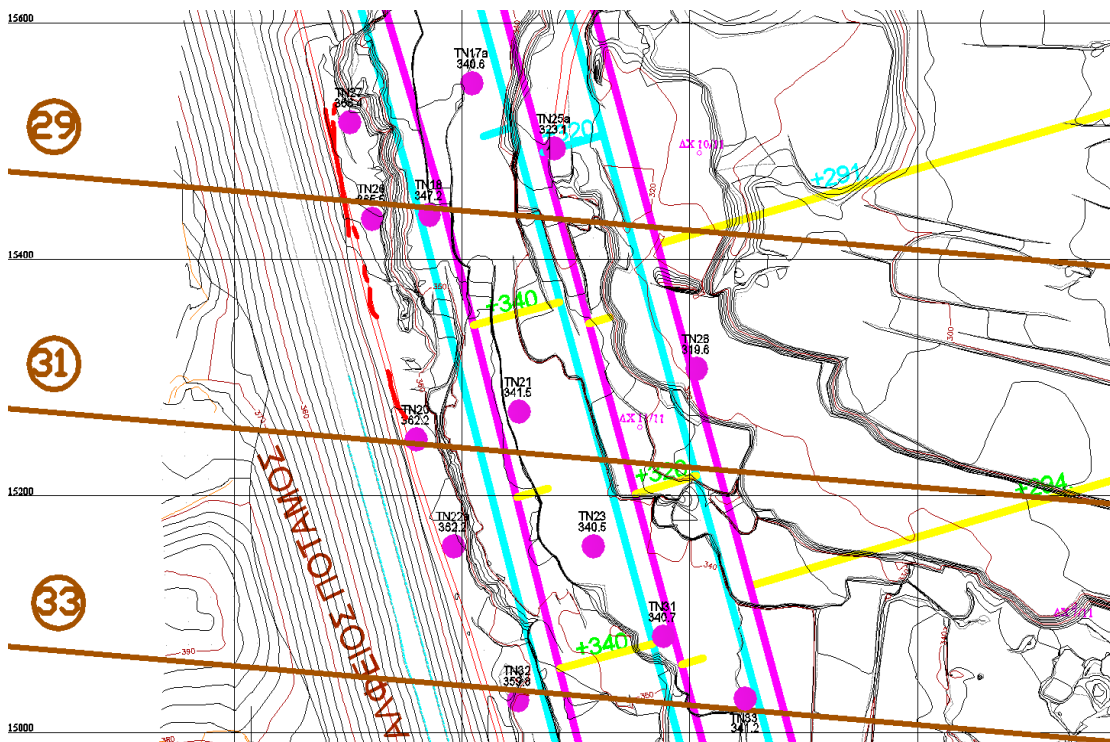
- Κατά την προσέγγιση στο πρανές του Αλφειού, όταν προωθείται ο εκσκαφέας, ο μάρτυρας των μετακινήσεων που είναι εγκατεστημένος κατόντη του τεχνητού αναχώματος του Αλφειού (σε στάθμη +340 – μάρτυρας Νο TN18) εμφανίζει ρυθμό μετακίνησης περί τα 10 έως 12 mm/ημέρα, με τον μετρούμενο ρυθμό μετακινήσεων να εντοπίζει μείωση στην στέψη του τεχνητού αναχώματος (φράγματος) του Αλφειού (σε στάθμη +364 – μάρτυρας Νο TN27) μετακίνησης προσεγγίζοντας τιμές που κυμαίνονται από τα 4 έως 6 mm/ημέρα. Επιπλέον, φαίνεται να διευρύνεται η διαμήκης ρωγμή στην στέψη του φράγματος, η οποία προωθείται προς τον Νότο ακολουθώντας την αντίστοιχη προώθηση του ορυχείου.
- Σε τέταρτο στάδιο, γίνεται εκσκαφή από το +320 έως το +305. Το τμήμα του κοιτάσματος που βρίσκεται μεταξύ των προαναφερθέντων σταθμών (δάπεδο λιγνίτη), σε απόσταση περίπου 250 – 300m από την στρέψη του τεχνητού αναχώματος (φράγματος) του Αλφειού. Η εκσκαφή πραγματοποιείται τμηματικά, με ελαφρά μηχανικά μέσα (συμβατικούς εκσκαφείς) και με άμεση επανεπίχωση του εκσκαπτόμενου τμήματος, ώστε το πλάτος του βαθέως αυτού τμήματος να μην υπερβαίνει τα 70 – 80m. Με τον τρόπο αυτό, το βαθύ τμήμα της εκσκαφής (που σημειώνεται ότι έχει περιορισμένο πλάτος) προσεγγίζει μια μέση κλίση πρανούς: $(364-305)/250=1:4,25$.
- Κατά την προώθηση αυτής της εκσκαφής, οι μάρτυρες των μετακινήσεων που είναι εγκατεστημένοι κατόντη του τεχνητού αναχώματος (φράγματος) του Αλφειού (σε στάθμη +340) επιδεικνύουν ρυθμούς μετακίνησης περί τα 8 έως 12 mm/ημέρα. Σημειώνεται ότι οι μάρτυρες των μετακινήσεων που είναι εγκατεστημένοι στην στέψη του φράγματος του Αλφειού (σε στάθμη +364) εμφανίζουν ρυθμούς μετακίνησης περί τα 3 έως 4 mm/ημέρα.

Από τα ανωτέρω, προκύπτουν τα κατωτέρω συμπεράσματα (Καββαδάς, Ιούλιος 2015):

- Η μέση κλίση πρανούς είναι 1:4,5, κατά την εκσκαφή σε στάθμη +320 σε απόσταση μεγαλύτερη των 200m από το φράγμα του Αλφειού και η μέση κλίση στη συνέχεια του πρανούς είναι 1:4,7, κατά την προχώρηση του μετώπου εκσκαφής σε στάθμη +300 σε απόσταση μεγαλύτερη των 300m από το φράγμα του Αλφειού, προκαλώντας ρυθμούς μετακινήσεων που κυμαίνονται από 10 έως 12 mm/ημέρα με ταυτόχρονη ανάπτυξη διαμήκους ρωγμής στη στέψη του φράγματος (η οποία ακολουθεί την προώθηση της εκσκαφής).

- Από τα χαρακτηριστικά και το άνοιγμα της ρωγμής κρίνεται ότι οι μετακινήσεις της μάζας του πρανούς εξαντλούνται με την εμφάνιση της ρωγμής στη στέψη του τεχνητού αναχώματος και συνεπώς, η πιθανότητα ύπαρξης ή δημιουργίας κάποιας άλλης ρωγμής στο ανάντη μέρος του πρανούς (π.χ. εντός της κοίτης του Αλφειού) εμφανίζεται μειωμένη. Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή ανάντη της υπάρχουσας ρωγμής (κοίτη του Αλφειού) έχει χαμηλές στάθμες και επομένως, δεν φορτίζει το πρανές ώστε να προκαλέσει την δημιουργία επιπλέον ρωγμών ανάντη της στέψης του τεχνητού αναχώματος.
- Το γεγονός ότι, με τις ανωτέρω κλίσεις εκσκαφής εμφανίζονται ρωγμές και αυξημένοι ρυθμοί μετακινήσεων κατά την θερινή περίοδο, κατά την οποία οι πιεζομετρικές στάθμες είναι σχετικώς χαμηλές, συνεπάγεται ότι κατά την χειμερινή περίοδο, όταν οι υδραυλικές συνθήκες αναμένονται δυσμενέστερες, εντοπίζεται αυξημένη πιθανότητα προοδευτικούς αστοχίας του πρανούς με την ανάγκη λήψης μέτρων αντιστήριξης να προβάλλει επιτακτική.

Με βάση τα παραπάνω συμπεράσματα, προτάθηκε (Καββαδάς, Ιούλιος 2015) η περαιτέρω προώθηση του ορυχείου, στην περιοχή ενδιαφέροντος ($Y=15000$ έως $Y=15600$, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 4.3**), να εναρμονίζεται με τα κατωτέρω.



Εικόνα 4.3: Κάτοψη του δυτικού μετώπου εκμετάλλευσης του ορυχείου Χωρεμίου. Φαίνονται η ρωγμή στην στέψη του τεχνητού αναχώματος και οι θέσεις των τριών διατομών 29, 31 και 33 που αναλύθηκαν. Στη διατομή 29 εκπονήθηκε ανάστροφη ανάλυση (back analysis) και στις τομές 31 και 33 εκτελέστηκαν έμπροσθεν αναλύσεις και μελετήθηκαν οι πιθανές προτεινόμενες κλίσεις εκσκαφών (1:4,5, 1:5, 1:5,5).

- Αύξηση των αποστάσεων των δύο τομών, από το φράγμα του Αλφειού, ώστε οι μετρούμενοι ρυθμοί των μετακινήσεων να μειωθούν σε 3 έως 4 mm/ημέρα (από 10 έως 12 mm/ημέρα). Πιο συγκεκριμένα, προτείνεται η κατ' αρχήν αύξηση της απόστασης των τομών κατά 50m, δηλαδή για την τομή (+340 σε +320) από 200m σε 250m και για την τομή (+320 σε +300) από 300m σε 350m. Με τον τρόπο αυτό, η μέση κλίση του πρανού γίνεται:
 - Για την τομή έως το +320: κλίση = $(364-320)/250=1:5,7$ (αντί για 1:4,5).
 - Για την τομή έως το +300: κλίση = $(364-300)/350=1:5,5$ (αντί για 1:4,7).

Οι μάρτυρες των μετακινήσεων θα συνεχίσουν να παρακολουθούνται και μετά την εφαρμογή των ανωτέρω κλίσεων. Η αύξηση της απόστασης (των τομών) και η μείωση των κλίσεων αποσκοπεί στην μείωση του ρυθμού των μετακινήσεων στους μάρτυρες από 10 έως 12 mm/ημέρα σε 3 έως 4 mm/ημέρα. Επιπλέον, η εν λόγω αύξηση που προτείνεται στοχεύει στον τερματισμό της εξέλιξη της καταγραφείσας ρωγμής και στην αποτροπή ανάπτυξης μελλοντικών ρωγμών στο τεχνητό ανάχωμα (φράγμα) του Αλφειού. Σε περίπτωση μη επίτευξης της μείωσης του ρυθμού των μετακινήσεων στα επιθυμητά επίπεδα θα πρέπει να αυξηθεί και άλλο η απόσταση των τομών από το τεχνητό ανάχωμα (φράγμα) του Αλφειού.

Εν συνεχεία, το τμήμα του κοιτάσματος που βρίσκεται μεταξύ των σταθμών +320 έως +305 (δάπεδο λιγνίτη), σε απόσταση περίπου 250 – 300m από την στέψη του τεχνητού αναχώματος (φράγματος) του Αλφειού, πρέπει να εκσκάπτεται τμηματικά με ελαφρά μηχανικά μέσα (συμβατικούς εκσκαφείς) και με άμεση επανεπίχωση του εκσκαπτόμενου τμήματος, ώστε το πλάτος του βαθύς αυτού τμήματος να μην υπερβαίνει τα 70 – 80m. Με τον τρόπο αυτό, το βαθύ τμήμα της εκσκαφής (που σημειώνεται πως έχει περιορισμένο πλάτος) εμφανίζει μια μέση κλίση πρανούς: $(364-305)/250=1:4,25$.

Δεδομένης της απότομης θεωρηθείσας κλίσης 1:4,25 κρίνεται επιτακτική η ανάγκη διασφάλισης της τρισδιάστατης αντιστήριξης του ποδός (του πρανού). Για το λόγω αυτό προτείνεται η περιορισμένη και τμηματική προώθηση της εκσκαφής, σε περιοχές οι οποίες δε θα υπερβαίνουν σε πλάτος τα 70 – 80m έτσι ώστε να διασφαλίζεται, μέσω του δεξιού και του αριστερού αντερείσματος η τρισδιάστατη στήριξη του ποδός. Επομένως, η πλήρης εκσκαφή (από το +320 έως το τελικό δάπεδο) θα πρέπει να γίνεται όσον το δυνατόν ταχύτερα, ώστε να ακολουθήσει ταχέως η επανεπίχωση της εκσκαφής μέχρι τη στάθμη +320.

Σημειώνεται ότι απαιτείται συνεχής παρακολούθηση των μετακινήσεων του πρανού καθ' όλη τη διάρκεια των εργασιών καθώς και ο ενδελεχής έλεγχος της

υπάρχουσας ρωγμής (η οποία εμφανίζεται στην **Εικόνα 4.4**) αλλά και οποιωνδήποτε μελλοντικών ρωγματώσεων στη στέψη του τεχνητού αναχώματος (φράγματος) με τον ίδιο τρόπο και μέσα που γίνεται έως και σήμερα. Σκοπός του προτεινόμενου τρόπου εκμετάλλευσης είναι η μείωση του ρυθμού των μετακινήσεων στους μάρτυρες από 10 έως 12 mm/ημέρα σε 3 έως 4 mm/ημέρα και η αποτροπή εμφάνισης νέων ρηγματώσεων στο τεχνητό ανάχωμα (φράγμα) του Αλφειού. Στην υποθετική περίπτωση που η επιθυμητή μείωση του ρυθμού των μετακινήσεων δεν επιτευχθεί με τα ανωτέρω, το πρόγραμμα των εργασιών του ορυχείου θα τροποποιείται ώστε οι ρυθμοί των μετακινήσεων να μειωθούν.



Εικόνα 4.4: Η ρωγμή στη στέψη του τεχνητού ορύγματος (φράγματος) του Αλφειού ποταμού.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί, για την πληρότητα της πληροφόρησης, ότι με την εφαρμογή των άνωθεν προτάσεων όντως εντοπίστηκαν οι αναμενόμενες μειώσεις στο ρυθμό των μετακινήσεων και σταμάτησε η εξέλιξη της καταγραφείσας ρωγμής. Η μείωση της κλίσης (από 1:4,2 σε 1:5,5 και από 1:4,5 σε 1:5,7) βασίστηκε σε εμπειρικές προσεγγίσεις και χαρακτηρίστηκε ως αρκετά δυσμενής όσον αφορά την επαρκή εμπορική εκμετάλλευση του ορυχείου. Ως εκ τούτου, αναζητήθηκε η προσέγγιση ενός βέλτιστου οικονομοτεχνικού σχεδιασμού βασισμένη σε αριθμητικές αναλύσεις ευστάθειας πρανών.

4.2. Αριθμητική Διερεύνηση του Προβλήματος

Σε μία ιδανική περίπτωση οι μετακινήσεις θα έπρεπε να είναι μηδενικές. Επειδή όμως τα πρανά έχουν μικρή διάρκεια ζωής και η μορφή είναι εντόνως ευμετάβλητη επιτρέπεται η εμφάνιση κάποιων μικρών μετακινήσεων, οι οποίες δεν επηρεάζουν την ευστάθεια, της τάξεως των 4 έως 6 mm/ημέρα. Οι μάρτυρες που έχουν τοποθετηθεί μετράνε την κίνηση των πρανών, με σκοπό τον έλεγχο της σε περίπτωση κατά την οποία γίνει εντονότερη. Στα παρακάτω διαγράμματα οι αρνητικές τιμές οι οποίες εμφανίζονται, συμβολίζουν την τάση την οποία έχουν τα πρανά να κινηθούν σύμφωνα με το νόμο της βαρύτητας και να αστοχήσουν. Οι θετικές τιμές θα απεικόνιζαν την τάση του πρανούς να κινηθεί αντίθετα από το νόμο της βαρύτητας και συνεπώς, αποτελούν σφάλματα μέτρησης για λόγους οι οποίοι εξηγούνται παρακάτω.

Τα ορύγματα (πρανά) του λιγνιτωρυχείου παρακολουθούνται σε καθημερινή βάση, όσον αφορά τις μετακινήσεις τους από γεωδαιτικούς σταθμούς μέσω μαρτύρων. Με αυτόν τον τρόπο, εξασφαλίζεται η ευστάθεια των ορυγμάτων καθώς με την εμφάνιση μεγάλων μετακινήσεων υπάρχει η δυνατότητα άμεσης παρέμβασης στην περιοχή, με σκοπό τον περιορισμό είτε την ελαχιστοποίηση των μετακινήσεων.

Εκτός από την παρακολούθηση μέσω οργάνων γίνεται και επί τόπου επιθεώρηση. Συνεπώς, είναι δυνατός ο εντοπισμός πιθανών νέων ρωγμών σε σημεία που δεν έχουν τοποθετηθεί μάρτυρες και δεν υπάρχει ενόργανη παρακολούθηση. Ένα πολύ μεγάλο πλεονέκτημα των επιθεωρήσεων των πρανών έγκειται στον έλεγχο και τη διαπίστωση των σφαλμάτων στις μετρήσεις. Σφάλματα μπορούν να προκύψουν από λάθος μέτρηση του οργάνου λόγω κακών καιρικών συνθηκών, λόγω κακής τοποθέτησης του γεωδαιτικού σταθμού ή από ανθρώπινη παρέμβαση, καθώς οι στόχοι είναι άμεσα προσβάσιμοι από όλο το εργοτάξιο και η κατά λάθος μετακίνηση του, αλλά και μέσω απλής επαφής, όπως για παράδειγμα από την πρόσκρουση κάποιου οχήματος.

Στην περίπτωση του Δυτικού Χωρεμίου και στην περιοχή της καταγραφείσας ρωγμής οι υπάρχοντες στόχοι (No TN17a, No TN18, No TN20 , No TN22, No TN23, No TN26, No TN27) κατά την περίοδο του Ιουλίου έδωσαν αυξημένες μετακινήσεις με αποτέλεσμα να πραγματοποιηθεί επί τόπου έλεγχος στην περιοχή και να διαπιστωθεί η ύπαρξη ρωγμής στην στέψη του τεχνητού αναχώματος. Αποτέλεσμα αυτού ήταν η διακοπή εργασιών στη συγκεκριμένη περιοχή και την άμεση επανεπίχωση στη βάση του πρανούς σύμφωνα με τις παραπάνω υποδείξεις (Καββαδάς, Ιούλιος 2015).

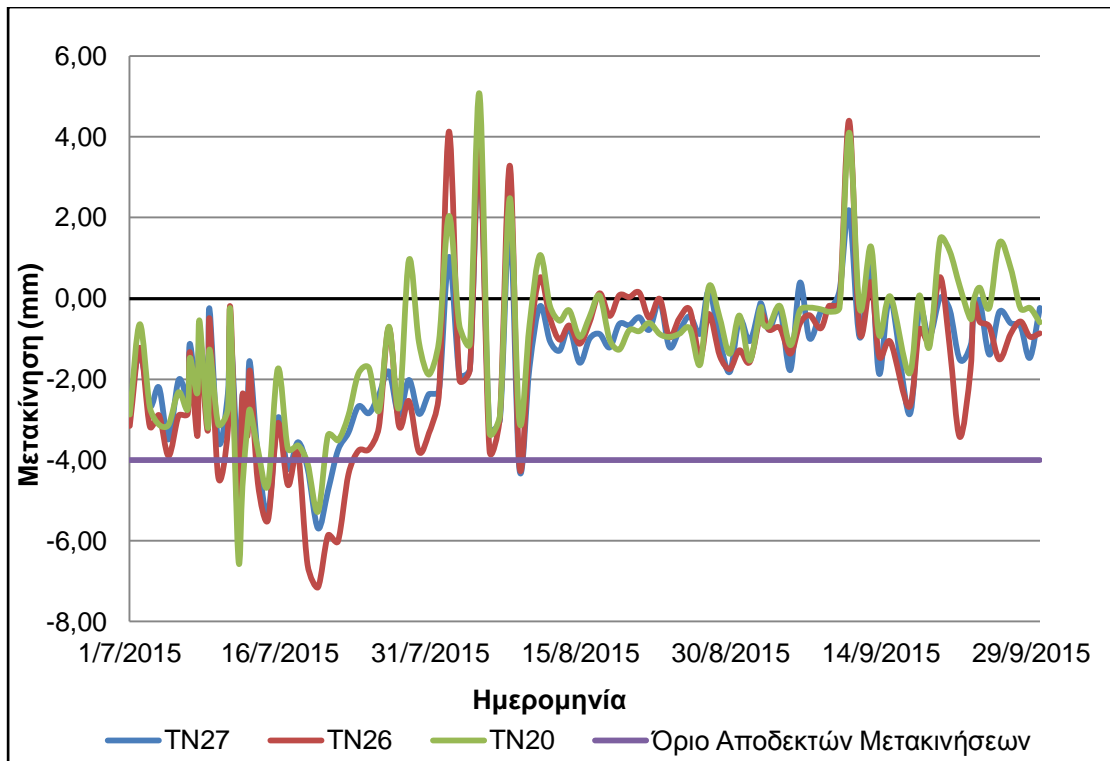
Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά οι μετακινήσεις τόσο στη ρωγμή όσο και στη μάζα του ορύγματος – πρανούς.

Όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 4.1 οι ημερήσιες καταγραφές διερεύνησης της ρηγμάτωσης** την περίοδο του Ιουλίου έφτασαν μέχρι και τα 6 mm/ημέρα, ενώ μετά την επέμβαση οι μετακινήσεις περιορίστηκαν στα 1 έως 2 mm/ημέρα. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε πολλές περιπτώσεις εμφανίζονται μεγάλες θετικές μετακινήσεις. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω αυτές αποδίδονται σε σφάλματα μετρήσεων καθώς είναι αδύνατον η μάζα του πρανούς να μετακινήθηκε προς τα επάνω.

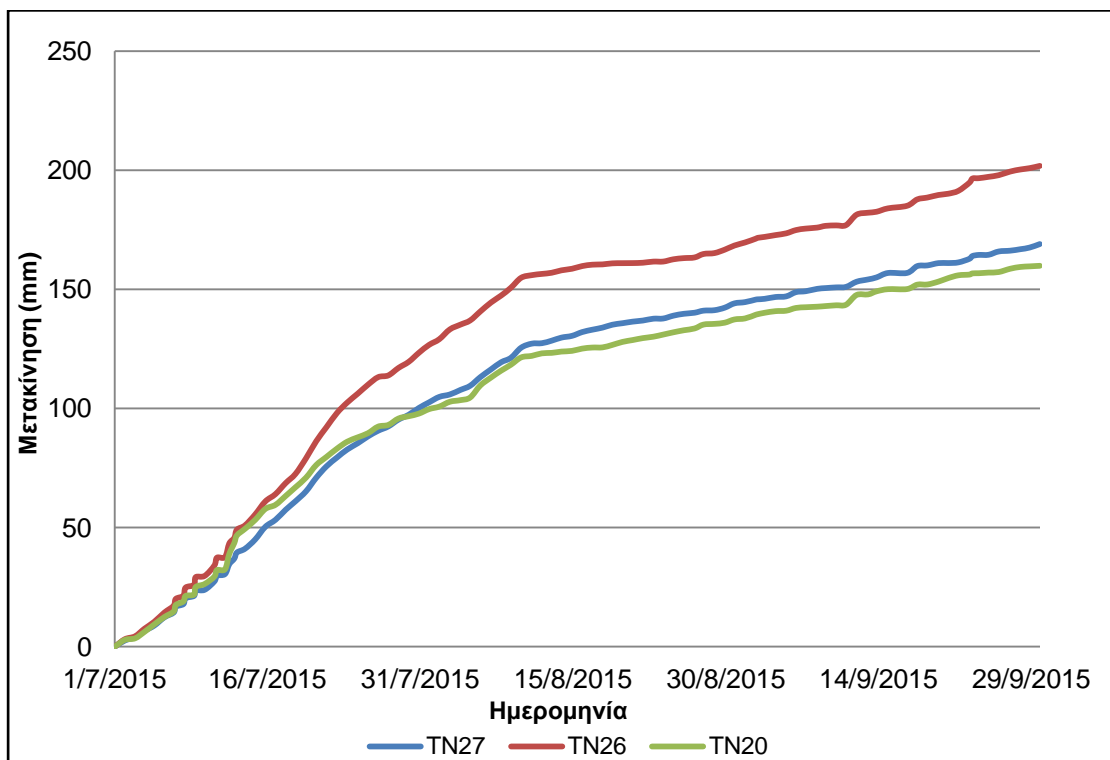
Όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 4.2 οι συνολικές μετακινήσεις καταγραφές διερεύνησης της ρηγμάτωσης** από τον Ιούλιο μέχρι και τον Σεπτέμβριο ανήλθαν στα 200mm. Αυτές οι μετρήσεις επιβεβαιώνονται από την παρατηρηθείσα ρωγμή, καθώς στην στέψη του φράγματος το ίχνος της ρωγμής είναι εμφανές και με (περίπου) σταθερό πλάτος 15 – 20cm. Είναι εμφανής η ταχεία αύξηση των μετακινήσεων μέχρι τις πρώτες μέρες του Αυγούστου και στη συνέχεια σημειώνεται μείωση της αύξησης μετά την λήψη μέτρων αντιστήριξης στον πόδα του πρανούς.

Όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 4.3 οι ημερήσιες μετακινήσεις στη μάζα του πρανούς** την περίοδο του Ιουλίου άγγιξαν τα 20 mm/ημέρα, ενώ μετά την επέμβαση οι μετακινήσεις περιορίστηκαν σε λιγότερο από 5 mm/ημέρα. Οι θετικές μετακινήσεις κατά πάσα πιθανότητα οφείλονται σε σφάλμα.

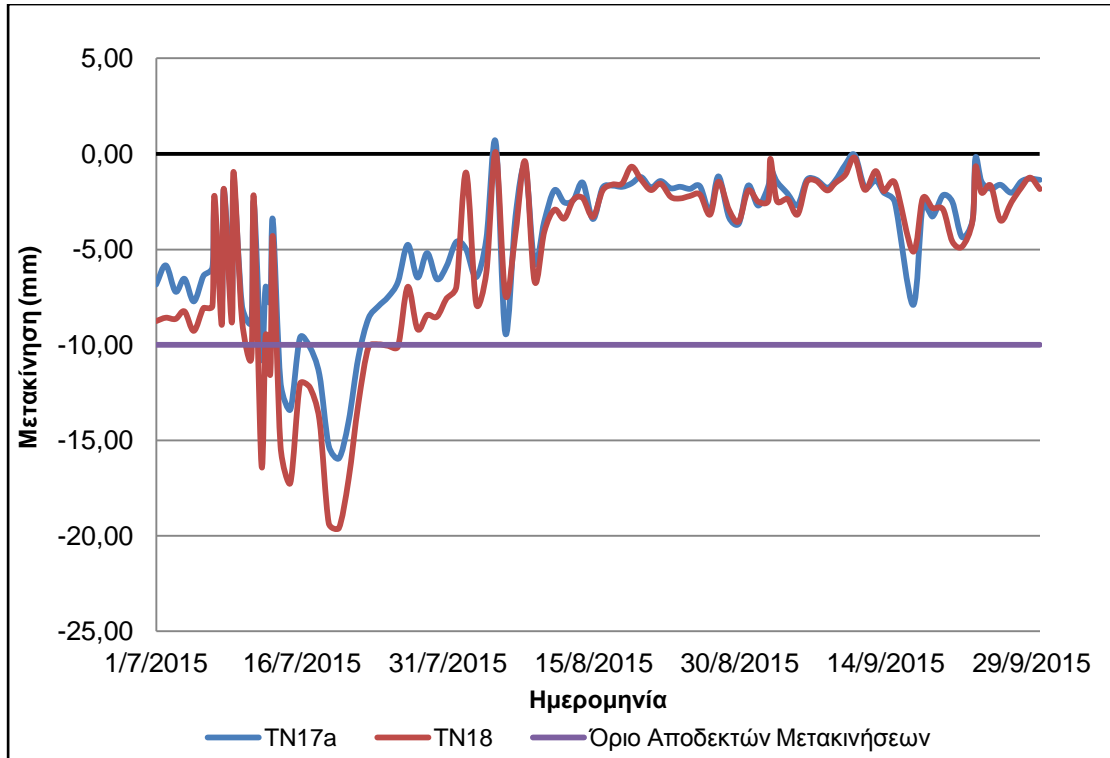
Όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 4.4 οι συνολικές μετακινήσεις στη μάζα του πρανούς** από τον Ιούλιο μέχρι και τον Σεπτέμβριο ξεπέρασαν τα 500mm. Είναι και εδώ εμφανής η ταχεία αύξηση των μετακινήσεων μέχρι τις πρώτες μέρες του Αυγούστου και στη συνέχεια σημειώνεται μείωση της αύξησης μετά την λήψη μέτρων αντιστήριξης στον πόδα του πρανούς. Αξίζει να σημειωθεί ότι μετά την επιβολή των μέτρων η μάζα του πρανούς παρουσιάζει σημαντική μείωση στην αύξηση των μετακινήσεων.



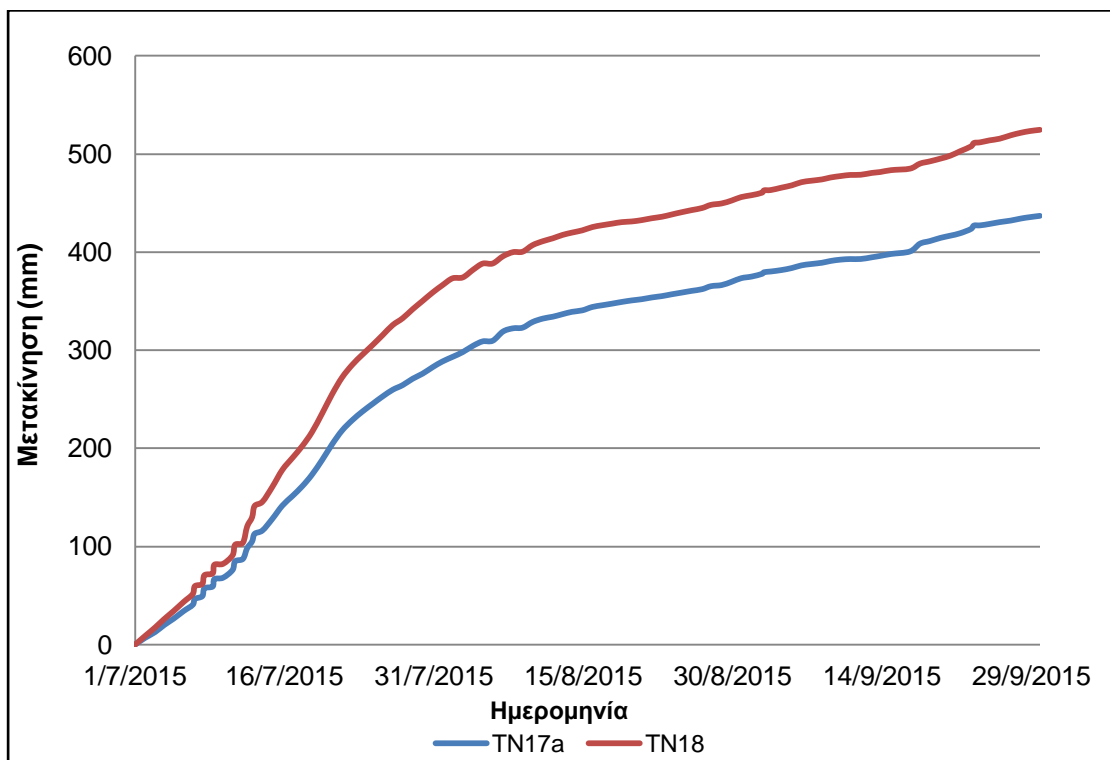
Διάγραμμα 4.1: Ημερήσιες καταγραφές διερεύνησης της ρηγμάτωσης



Διάγραμμα 4.1: Συνολικές καταγραφές διερεύνησης της ρηγμάτωσης



Διάγραμμα 4.2: Απόλυτες μετακινήσεις στη μάζα του πρανούς.



Διάγραμμα 4.3: Συνολικές μετακινήσεις στη μάζα του πρανούς.

4.3. Σύνομη Περιγραφή Γεωτεχνικών Χαρακτηριστικών Περιοχής Μελέτης

Κατά τον καθορισμό των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών προέκυψαν διάφορα προβλήματα, όπως το ύψος του υδροφόρου ορίζοντα, οι αντοχές των διαφόρων στρωμάτων καθώς και η μορφή μίας ενδεχόμενης αστοχίας. Για τον λόγο αυτό πραγματοποιήθηκαν αριθμητικές αναλύσεις με σκοπό την όσο τον δυνατόν ακριβέστερη προσέγγιση των πραγματικών γεωτεχνικών συνθηκών και την εύρεση της βέλτιστης λύσης.

Αρχικά, αποφασίστηκε ότι η περιοχή μελέτης θα είναι από $Y=15600$ έως $Y=15000$ (από Βορρά προς Νότο) που περιελάμβανε τις γεωλογικές τομές 29, 31 και 33. Στην περιοχή της τομής 29 είχαν παρατηρηθεί οι έντονες μετακινήσεις, οι οποίες αναφέρονται στο προηγούμενο εδάφιο, με αποτέλεσμα την εμφάνιση της ρωγμής, οπότε προτάθηκε να εκπονηθούν ανάστροφες αναλύσεις (back analysis), που αντιστοιχούν σε οριακό συντελεστή ασφαλείας $FS=1$, με σκοπό τον πλήρη και σωστό προσδιορισμό των γεωτεχνικών παραμέτρων των υλικών. Στη συνέχεια, μέσω έμπροσθεν αριθμητικών αναλύσεων προσδιορίστηκαν οι συντελεστές ασφαλείας στις άλλες τομές (31, 33). Στο τελευταίο στάδιο εκπονήθηκαν έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις με τις διάφορες προτεινόμενες κλίσεις για την αναμενόμενη τελική διαμόρφωση του ορύγματος, με σκοπό να βρεθεί η βέλτιστη κλίση για την εκσκαφή του ορύγματος.

Οι στρώσεις λιγνίτη είναι οριζόντιες με μικρή κλίση και αντίστοιχα ακολουθούν και οι ενδιάμεσες στρώσεις των αγόνων (αργίλοι, ιλύες). Από παλαιότερη κατολίσθηση είναι γνωστό ότι η αστοχία ακολουθεί καμπυλοειδή επιφάνεια μέχρι να συναντήσει ένα ιδεατό λεπτό ασθενές στρώμα, το οποίο ακολουθεί ευθύγραμμο μέχρι να ολοκληρωθεί ο αρχικός κύκλος και να εμφανιστεί η επιφάνεια αστοχίας. Η λεπτή αυτή στρώση βρίσκεται είτε κάτω από το τελευταίο στρώμα λιγνίτη είτε κάτω από ένα στρώμα αργίλου πάχους περίπου $10m$, το οποίο τοποθετείται με τη σειρά του και αυτό κάτω από το τελευταίο στρώμα λιγνίτη. Αυτά τα δύο στρώματα θεωρήθηκε ότι έχουν γωνία τριβής αλλά δεν έχουν συνοχή διότι αυτή αποδομείται κατά την αστοχία, λόγω των μεγάλων μετακινήσεων.

Συνεπώς, αποφασίστηκε η εκπόνηση αριθμητικών αναλύσεων με διαφορετικές θεωρήσεις γεωτεχνικών συνθηκών με σκοπό την σύγκριση των αποτελεσμάτων και την εύρεση των πραγματικών – πιθανοτικά βέλτιστων – γεωτεχνικών συνθηκών που διέπουν την περιοχή μελέτης.

Η αρχική προσέγγιση έγινε με ένα μοντέλο στο οποίο ο υδροφόρος ορίζοντας θα βρίσκεται $6m$ κάτω από στη κοίτη του ποταμού και θα ακολουθεί ομαλή κλίση μέχρι το πόδι του τελευταίου επί μέρους πρανού. Εκτιμήθηκε ότι η συνοχή δεν θα

έχει σημαντική επίδραση στην ευστάθεια του πρανούς, λόγω της οριζόντιας αποτόνωσης που έχει υποστεί το υλικό εξαιτίας της εκσκαφής. Επομένως, για να αξιολογηθεί η συμβολή και η αξία της στα διάφορα στρώματα του λιγνίτη και των αγόνων (άργιοι, ιλύες) μορφώθηκαν δύο πυλώνες αριθμητικών αναλύσεων.

Στον πρώτο πυλώνα αναλύσεων, τα θεωρούμενα γεωυλικά προσομοιώθηκαν με πεπερασμένη συνοχή και γωνία τριβής ενώ στο δεύτερο πλαίσιο αριθμητικής διερεύνησης εντάσσονται αναλύσεις με τη θεώρηση αποκλειστικά και μόνο γωνίας τριβής. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι στα δύο λεπτά στρώματα που αναμένεται η αστοχία, η συνοχή θεωρείται μηδενική (σε κάθε περίπτωση).

Στη συνέχεια, αφού επιβεβαιώθηκαν οι αντοχές των υλικών με τις τιμές που εκτιμήθηκαν στο ορυχείο, πραγματοποιήθηκε αριθμητική ανάλυση ολικών τάσεων (επειδή ο προσδιορισμός του υδροφόρου ορίζοντα κρίνεται ως εξαιρετικά δύσκολος). Σε αυτή την θεώρηση όλα τα γεωυλικά προσομοιώθηκαν με γωνία τριβής και συνοχή. Σε αντίθεση όμως με την προηγούμενη προσέγγιση οι λεπτές στρώσεις είχαν μόνο αστράγγιστη διατμητική αντοχή, όπως αυτή προέκυψε από τις αντίστροφες αναλύσεις.

Στην τελική προσέγγιση έγινε παραδοχή ενεργών τάσεων. Επειδή, ο προσδιορισμός – εντοπισμός του υδροφόρου ορίζοντα είναι εξαιρετικά δύσκολος, στο εξιδανικευμένο προσομοίωμα που αναλύθηκε δεν υπήρχε υδροφόρος ορίζοντας, και οι αναλύσεις εκπονήθηκαν με την παραδοχή ότι ο συντελεστής πίεσης πόρων (R_u) θα είναι μηδέν και ότι το σύνολο των γεωυλικών (συμπεριλαμβανομένων και των λεπτών στρώσεων) δύνανται όπως περιγράφουν ως προς την αντοχή τους αποκλειστικά και μόνο από την γωνία τριβής (θεωρώντας συνεπώς, μηδενική συνοχή). Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι αυτή η τελευταία προσέγγιση είναι και αυτή που χρησιμοποιείται από τη Δ.Ε.Η. Α.Ε., για την αξιολόγηση της ευστάθειας των πρανών σε όλα τα ορυχεία της εταιρείας, αφού αποδεδειγμένα δίνει ρεαλιστικά αποτελέσματα και ξεπερνάει (σε αποδεκτό βαθμό) το πρόβλημα που ανακύπτει με τον υδροφόρο ορίζοντα.

4.4. Αναλύσεις

Το εδάφιο αυτό περιλαμβάνει την μέθοδο και τα αποτελέσματα των αναλύσεων ευστάθειας σε τρεις χαρακτηριστικές θέσεις του δυτικού πρανούς του ορυχείου Χωρεμίου του ΛΚΜ (στην προαναφερθείσα περιοχή), με σκοπό τον έλεγχο της ασφάλειας των πρανών που προβλέπεται να δημιουργηθούν για την περαιτέρω εκμετάλλευση του κοιτάσματος, μετά τις έντονες μετακινήσεις και την εμφάνιση ρωγμής στη στέψη του τεχνητού αναχώματος τον Ιούλιο του 2015.

Οι αριθμητικές αναλύσεις ευστάθειας εκπονήθηκαν με τη χρήση του Προγράμματος Πεπερασμένων Στοιχείων, SLIDE v5 το οποίο διατίθεται από την εταιρεία ROCSCIENCE INC. Το πρόγραμμα αυτό αναλύει την ευστάθεια πρανών με τη μέθοδο των λωρίδων και υπολογίζει τον συντελεστή ασφαλείας. Η αριθμητική επίλυση ακολουθεί την μέθοδο Morgenstern – Price/GLE, η οποία έχει χρησιμοποιηθεί κατά το παρελθόν και έχει δώσει επανειλημμένως ορθά και ρεαλιστικά αποτελέσματα όσον αφορά τις περιπτώσεις αστοχίας σε πρανή του συγκεκριμένου ορυχείου.

Η μορφή των επιφανειών είναι κυκλική με εξαίρεση τα λεπτά στρώματα. Όταν αυτά τμηθούν από την επιφάνεια αστοχίας, η επιφάνεια τα ακολουθεί σε ευθύγραμμη πορεία – τροχιά. Για αυτόν τον λόγο έχουν διαμορφωθεί κατάλληλα τα εξιδανικευμένα προσομοιώματα. Έχει ενεργοποιηθεί η επιλογή Composite Surfaces που επιτρέπει τον έλεγχο επιφανειών, οι οποίες όταν συναντούν το εξωτερικό όριο του μοντέλου το ακολουθούν, μέχρι να συναντήσουν την αρχική κυκλική επιφάνεια. Για την αποτροπή πρόβλεψης ρηχών επιφανειών αστοχίας έχει τεθεί ο περιορισμός των 20m όσον αφορά το ελάχιστο βάθος της κάθε επιφάνειας αστοχίας. Ο κάρναβος για τον ορισμό των κέντρων για τον έλεγχο των πιθανές κυκλικές επιφάνειες αστοχίας, σε όλες τις αναλύσεις, είναι 80m x 40m.

Οι τρεις διατομές που μελετήθηκαν, αποτυπώθηκαν από την Δ.Ε.Η. Α.Ε. ως εξής:

1. Αποτυπώθηκε η γεωμετρία του ορυχείου **αμέσως μετά** από την εμφάνιση των **μεγάλων μετακινήσεων** (Ιούλιος 2015).
2. Αποτυπώθηκε η γεωμετρία του ορυχείου **αμέσως μετά** από την **εφαρμογή των προτεινόμενων μέτρων** για την αποφυγή της αστοχίας (Σεπτέμβριος 2015).
3. Διαμορφώθηκε η γεωμετρία της τομής 29 κατά την περίοδο του Ιουλίου 2015.
4. Διαμορφώθηκαν οι γεωμετρίες των τομών 29, 31 και 33 κατά την περίοδο του Σεπτεμβρίου 2015.
5. Διαμορφώθηκαν οι γεωμετρίες των τομών 31 και 33 σύμφωνα με όλες τις πιθανές επιθυμητές κλίσεις.

Ειδικότερα, για κάθε μία από τις τρεις διατομές εφαρμόστηκε η εξής μέθοδος ανάλυσης:

Αναλύθηκε η διατομή 29 αμέσως μετά από την εμφάνιση των μεγάλων μετακινήσεων και της ρωγμής (γεγονότα ικανά να προκαλέσουν Προοδευτική αστοχία) και προσαρμόστηκαν οι γεωτεχνικές και υδραυλικές παράμετροι των υλικών ώστε να προκύψει συντελεστής ασφαλείας ίσος με την μονάδα. Στις

αναλύσεις επιλέχθηκε κυκλική επιφάνεια αστοχίας μέχρι τις λεπτές στρώσεις και στη συνέχεια, επίπεδη επιφάνεια ολίσθησης κατά μήκος της λεπτής αργιλικής στρώσης στην βάση της κατώτερης λιγνιτικής στιβάδας ή στη βάση του στρώματος της αργίλου πάχους 10m, το οποίο βρίσκεται κάτω από της τελευταία λιγνιτική στιβάδα.

Πιο συγκεκριμένα, έγινε προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν οι ίδιες τιμές των παραμέτρων αντοχής των διαφόρων γεωυλικών σε όλες τις διατομές με το σκεπτικό ότι τα υλικά είναι παρόμοια σε όλες τις θέσεις.

Ειδικότερα, κρίσιμη παράμετρος στους υπολογισμούς ευστάθειας αποτελεί η αντοχή της λεπτής αργιλικής στρώσης που εντοπίζεται στο δάπεδο της κατώτερης λιγνιτικής στιβάδας (και ενίοτε και κάτω από ένα στρώμα αργίλου πάχους 10m το οποίο με τη σειρά του βρίσκεται κάτω από της τελευταία λιγνιτική στιβάδα). Λόγω της οριζόντιας αποτόνωσης των τάσεων, που προκαλείται κατά την προώθηση του ορυχείου, εκδηλώνονται έντονες οριζόντιες μετακινήσεις που εντοπίζονται ως ολίσθηση κατά μήκος της ασθενέστερης στρώσης που είναι η προαναφερθείσα ανώτερη λεπτή στρώση αργίλου (που βρίσκεται στο δάπεδο της κατώτερης λιγνιτικής στιβάδας). Λόγω της έντονης διατμητικής παραμόρφωσης αυτής της αργίλου, η αντοχή της μειώνεται στην παραμένουσα τιμή αυτής, που δύναται όπως αντιστοιχηθεί με πρακτικώς μηδενική συνοχή και πολύ μικρή γωνία τριβής (παραμένουσα).

Με χρήση των ανωτέρω ιδιοτήτων, αναλύθηκαν οι διατομές 29, 31 και 33 αμέσως μετά την εφαρμογή των μέτρων αντιστήριξης (Καββαδάς, Ιούλιος 2015) και υπολογίσθηκε ο νέος συντελεστής ασφαλείας. Λόγω των σημαντικών μειώσεων των μετακινήσεων, που παρατηρήθηκαν, ο συντελεστής ασφαλείας προέκυψε υψηλότερος της μονάδας (όπως αναμενόταν).

Με χρήση των ιδίων ως άνω παραμέτρων αναλύθηκαν η διατομές 31 και 33 με την γεωμετρία που προκύπτει μετά την επιβολή των πιθανών προτεινόμενων κλίσεων εκσκαφών (1:4,5, 1:5, 1:5,5). Η κλίση που θα επιλεγεί θα συντελέσει στη δημιουργία του τελικού επιθυμητού πρανούς εκμετάλλευσης (στάθμες και εύρη βαθμίδων) κατά την περαιτέρω προώθηση του ορυχείου προς Νότο.

4.5. Θεώρηση Συνεκτικού Εδάφους (c , $\varphi \neq 0$) με την Στάθμη Υδροφόρου στα $-6m$, από την Κοίτη του Ποταμού

4.5.1. Σύνομη Περιγραφή της Εξιδανικευμένης Αριθμητικής Προσομοίωσης

Σε αυτή την 1^η αδρή προσέγγιση όλα τα γεωυλικά έχουν συνοχή (c) και γωνία τριβής (φ) και ακολουθούν τον καταστατικό νόμο μηχανικής συμπεριφοράς Mohr – Coulomb ($\tau=c+\sigma_n \cdot \tan(\varphi)$). Η στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα εντοπίζεται στα $-6m$ κάτω από την κοίτη του ποταμού και ακολουθεί καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς. Από εκεί και έως τα όρια του προσομοιώματος ακολουθεί την επιφάνεια του εδάφους. Όλες οι πιέσεις οι οποίες έχουν υπολογιστεί είναι υδροστατικές.

Στα ακόλουθα υποκεφάλαια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων ευστάθειας. Σε κάθε διατομή συνοψίζονται οι δυσμενείς περιπτώσεις, ενώ οι υπόλοιπες διατομές παρατίθενται σε επισυναπτόμενο Παράρτημα.

4.5.2. Αποτελέσματα Αριθμητικών Αναλύσεων

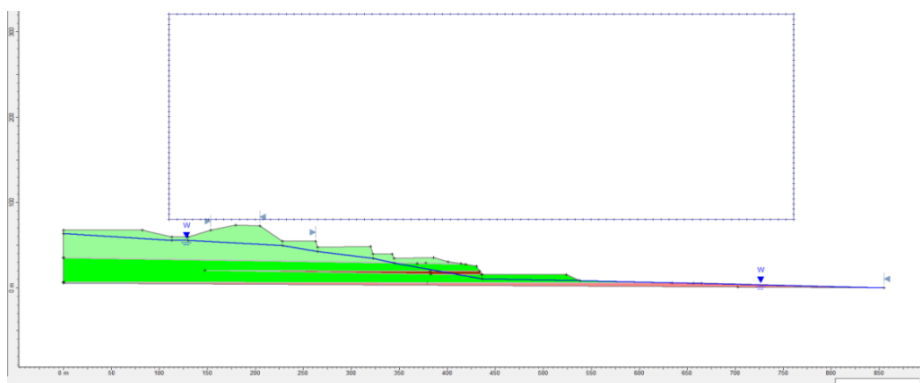
Από τις ανάστροφες αριθμητικές αναλύσεις που εκπονήθηκαν (και αντιστοιχούν σε συντελεστή ασφαλείας $FS=1$), προέκυψαν οι ακόλουθες τιμές των μηχανικών παραμέτρων των γεωυλικών (που διαφαίνονται στον Πίνακα 4.1):

Πίνακας 4.1: Τιμές των μηχανικών παραμέτρων των γεωυλικών όπως αυτές προέκυψαν από την ανάστροφη αριθμητική ανάλυση (συντελεστής ασφαλείας $FS=1$).

Διαστρωμάτωση Εδαφικής Μάζας	γ (kN/m^3)	Συνοχή (kPa)	Γωνία Τριβής
Ανώτερες λιγνιτικές στιβάδες	12	30	20°
Κατώτερη λιγνιτική στιβάδα	12	30	25°
Ανώτερες στρώσεις αγόνων	19	10	20°
Ενδιάμεσες στρώσεις αγόνων	19	10	15°
Κατώτερη στρώση αγόνων	19	10	15°
Λεπτή στρώση αργίλου στη βάση της λιγνιτικής στιβάδας (η στρώση αυτή δημιουργεί την άνωθεν επιφάνεια της κατολίσθησης)	19	0	14°
Λεπτή στρώση αργίλου, κάτω από στρώμα αργίλου πάχους περίπου $10m$, στη βάση της λιγνιτικής στιβάδας (η στρώση αυτή δημιουργεί την κάτωθεν επιφάνεια της κατολίσθησης)	19	0	14°

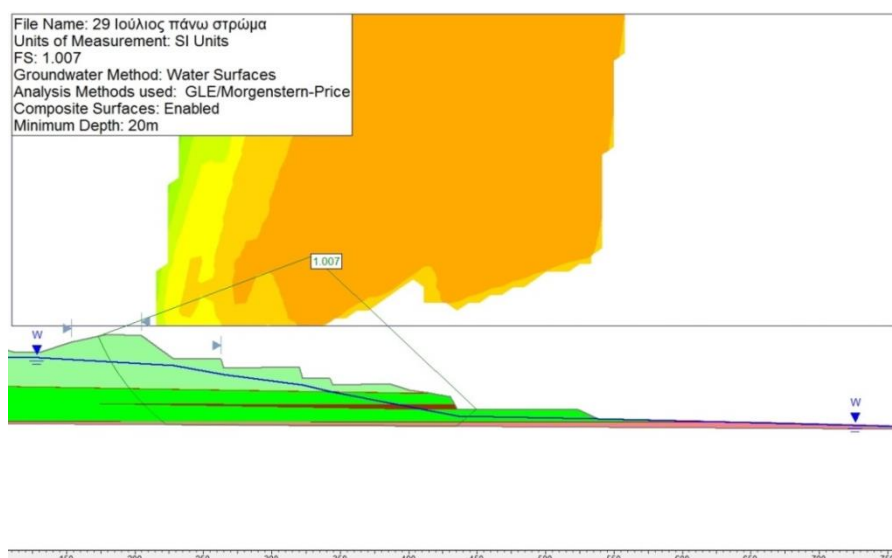
4.5.3. Ανάστροφη Αριθμητική Προσομοίωση της Τομής 29 (Ιούλιος 2015)

Αρχικά, εκπονήθηκαν ανάστροφες αριθμητικές αναλύσεις (back analysis simulations) στην Τομή 29, με τη γεωμετρία της περιόδου του Ιουλίου 2015, με σκοπό τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των λεπτών στρωμάτων, στα οποία αναμένεται να εντοπιστεί η αστοχία. Η θεωρούμενη γεωμετρία του προσομοιώματος που αναλύθηκε, απεικονίζεται στην **Εικόνα 4.5**.



Εικόνα 4.5: Γεωμετρία της τομής 29 τον Ιούλιο 2015 που αναλύθηκε. Η ανάστροφη ανάλυση που εκπονήθηκε προβαίνει στη θεώρηση συνεκτικού εδάφους ($c, \varphi \neq 0$) με τη στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

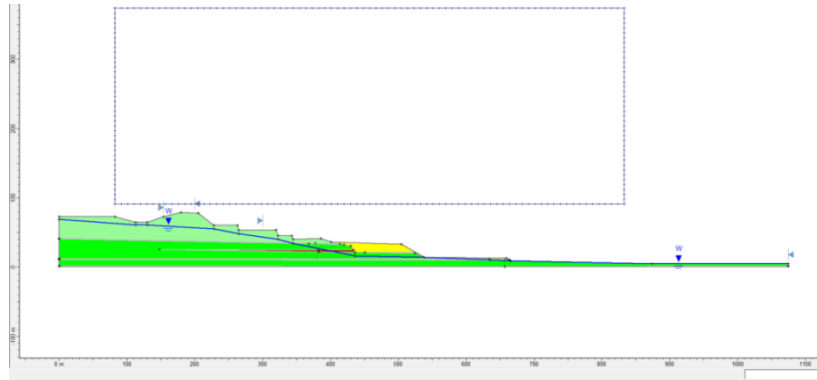
Έχουν πραγματοποιηθεί δύο ανάστροφες αναλύσεις (δύο λεπτά στρώματα αστοχίας). Οι ισοκαμπύλες του συντελεστή ασφαλείας για την δυσμενέστερη περίπτωση και οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης απεικονίζονται στην **Εικόνα 4.6** (σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο Παράρτημα).



Εικόνα 4.6: Ισοκαμπύλες της δυσμενέστερης ανάστροφης ανάλυσης της τομής 29, για συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας $FS=1.007$.

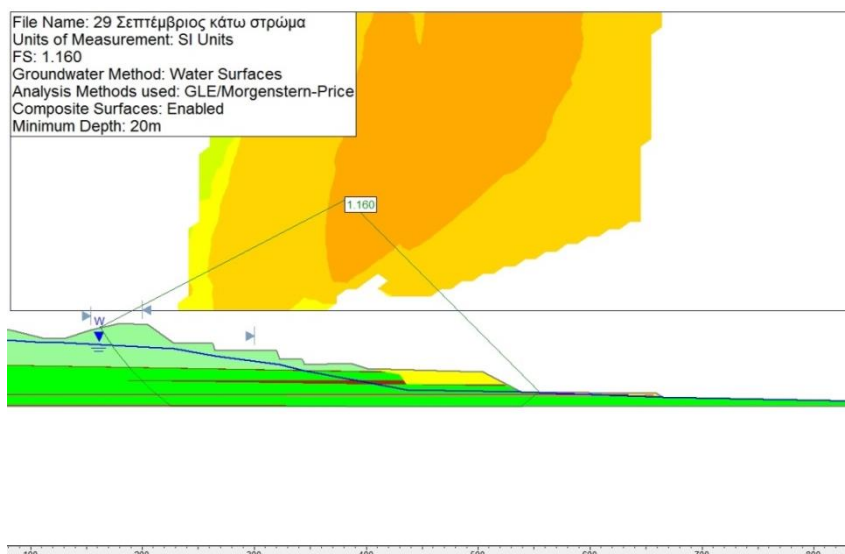
4.5.4. Εκτίμηση της Επάρκειας των Μέτρων Αντιστήριξης στην Τομή 29 (Σεπτέμβριος 2015)

Πέρα από τις ανάστροφες αναλύσεις που εκπονήθηκαν, εκτελέστηκαν επιπλέον, έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις (forward numerical simulations) στην Τομή 29, με τη γεωμετρία της περιόδου του Σεπτεμβρίου 2015, με απώτερο σκοπό τον έλεγχο της ευστάθειας του πρανούς μετά την επιβολή των μέτρων υποστήριξης που ελήφθησαν (Καβαδάς, Ιούλιος 2015). Η γεωμετρία του μοντέλου που αναλύθηκε, απεικονίζεται στην **Εικόνα 4.7**.



Εικόνα 4.7: Γεωμετρία της Τομής 29 τον Σεπτέμβριο 2015 που αναλύθηκε, για τον έλεγχο επάρκειας των μέτρων αντιστήριξης. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση συνεκτικού εδάφους ($c, \varphi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

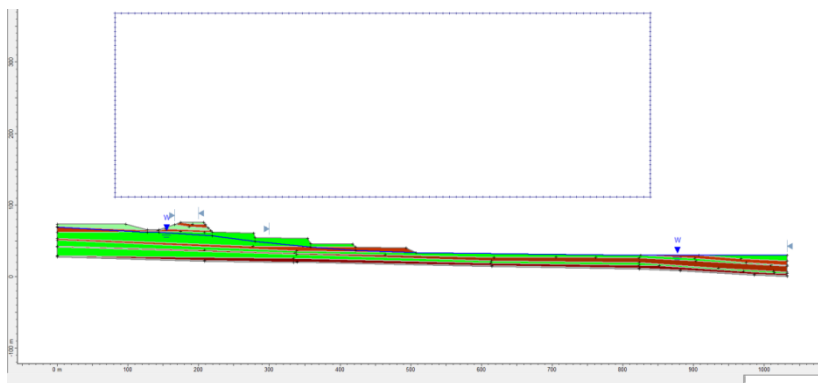
Έχουν εκτελεστεί δύο έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις για την Τομή 29, με τη γεωμετρία της περιόδου του Σεπτεμβρίου 2015 (δύο λεπτά στρώματα αστοχίας). Οι ισοκαμπύλες του συντελεστή ασφαλείας για την δυσμενέστερη περίπτωση καθώς και οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης απεικονίζονται στην **Εικόνα 4.8** (σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο Παράρτημα).



Εικόνα 4.8: Ισοκαμπύλες της δυσμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 29 για τον έλεγχο επάρκειας των μέτρων αντιστήριξης, σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.160$.

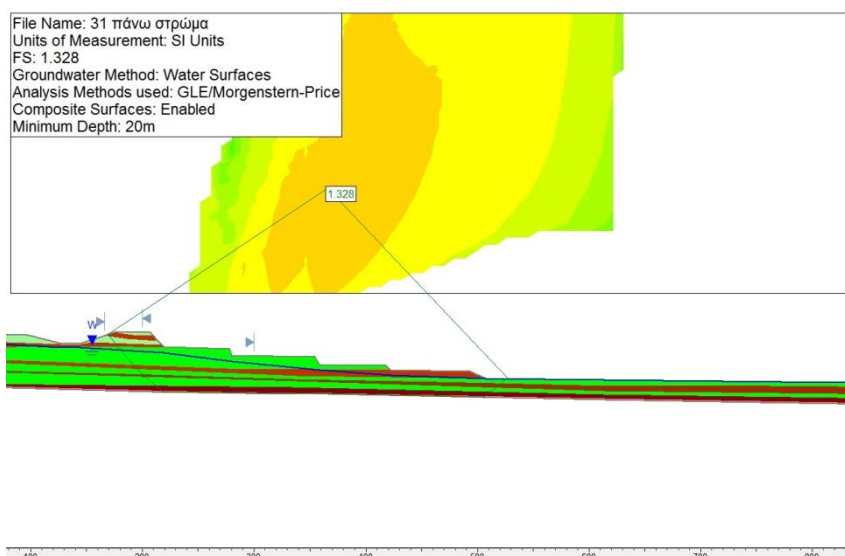
4.5.5. Εκτίμηση της Δυνατότητας Επιβολής των Προτιμώμενων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 31

Έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις (forward numerical simulations) εκπονήθηκαν στην Τομή 31, για τον έλεγχο της ευστάθειας του πρανούς, με σκοπό την διερεύνηση της δυνατότητας επιβολής των προτιμώμενων κλίσεων εκσκαφής και για τον προσδιορισμό των γεωτεχνικών συνθηκών. Η γεωμετρία του εξιδανικευμένου προσομοιώματος που αναλύθηκε, εμφανίζεται στην **Εικόνα 4.9**.



Εικόνα 4.9: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των προτιμώμενων κλίσεων εκσκαφής. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση συνεκτικού εδάφους ($c, \varphi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

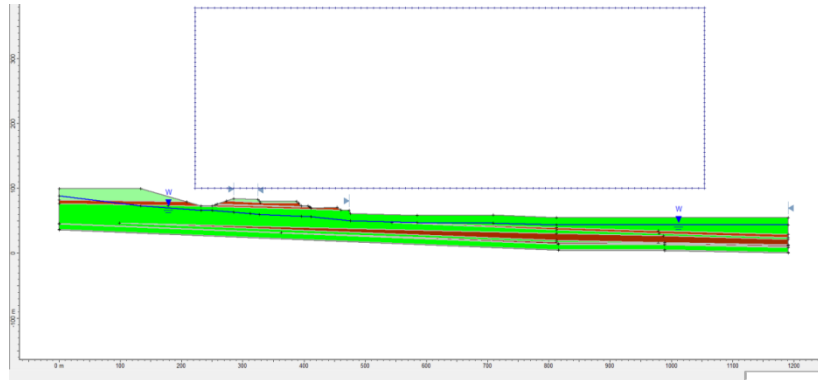
Πραγματοποιήθηκαν έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις για την Τομή 31 (2 λεπτά στρώματα αστοχίας). Οι ισοκαμπύλες του συντελεστή ασφαλείας για την δυσμενέστερη περίπτωση καθώς και οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης απεικονίζονται στην **Εικόνα 4.10** (σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο Παράρτημα).



Εικόνα 4.10: Ισοκαμπύλες της δυσμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των προτιμώμενων κλίσεων, σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.328$.

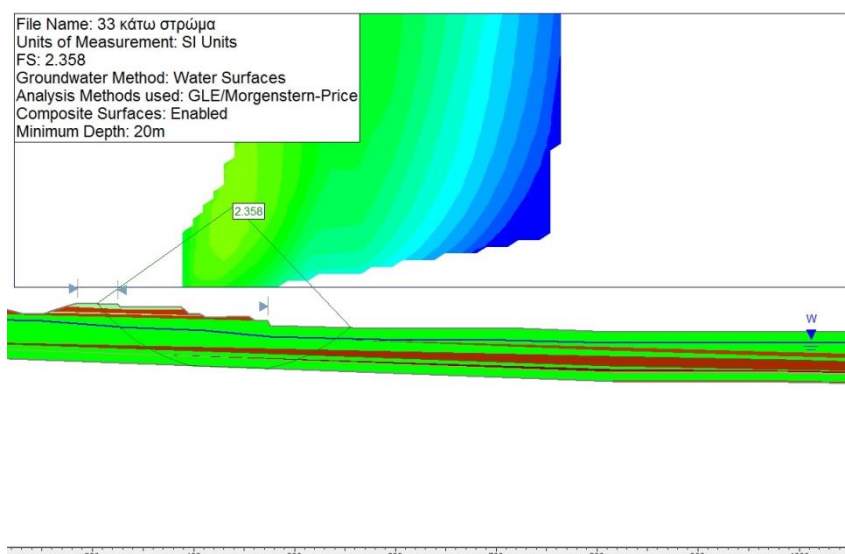
4.5.6. Εκτίμηση της Δυνατότητας Επιβολής των Προτιμώμενων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 33

Για τον έλεγχο της ευσταθείας του πρανούς, με σκοπό την διερεύνηση της δυνατότητας επιβολής των προτιμώμενων κλίσεων εκσκαφής και για τον προσδιορισμό των γεωτεχνικών συνθηκών, εκπονήθηκαν επιπρόσθετες έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις (forward numerical simulations). Η γεωμετρία του εξιδανικευμένου προσομοιώματος που αναλύθηκε, απεικονίζεται στην **Εικόνα 4.11**.



Εικόνα 4.11: Γεωμετρία της τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των προτιμώμενων κλίσεων εκσκαφής. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση συνεκτικού εδάφους ($c, \phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

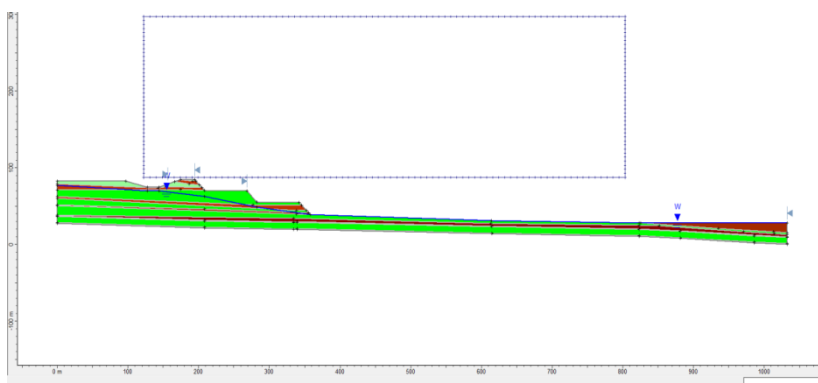
Πραγματοποιήθηκαν δυο έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις για την Τομή 33 (δύο λεπτά στρώματα αστοχίας). Οι ισοκαμπύλες του συντελεστή ασφαλείας για την δυσμενέστερη περίπτωση καθώς και οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης απεικονίζονται στην **Εικόνα 4.12** (σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο Παράρτημα).



Εικόνα 4.12: Ισοκαμπύλες της δυσμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των προτιμώμενων κλίσεων, σε συνεκτικό έδαφος ($c, \phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=2.358$.

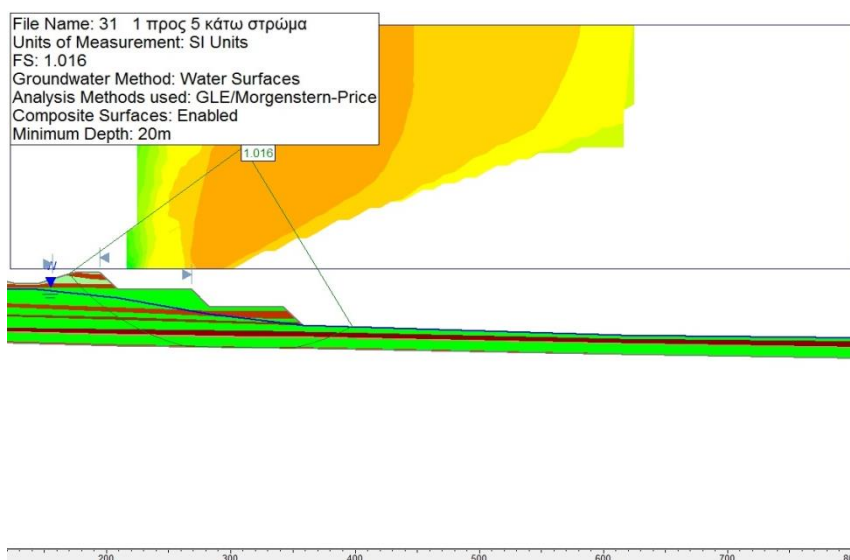
4.5.7. Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 31

Επιπρόσθετες έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις (forward numerical simulations) εκτελέστηκαν για τις προτεινόμενες (αναθεωρημένες – αυξημένες) κλίσεις εκσκαφών στην Τομή 31, με σκοπό τον έλεγχο της ευστάθειας του πρανού. Η γεωμετρία του μορφούμενου εξιδανικευμένου προσομοιώματος με κλίση 1:5 που αναλύθηκε, απεικονίζεται στην **Εικόνα 4.13**.



Εικόνα 4.13: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:5. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση συνεκτικού εδάφους ($c, \varphi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανού.

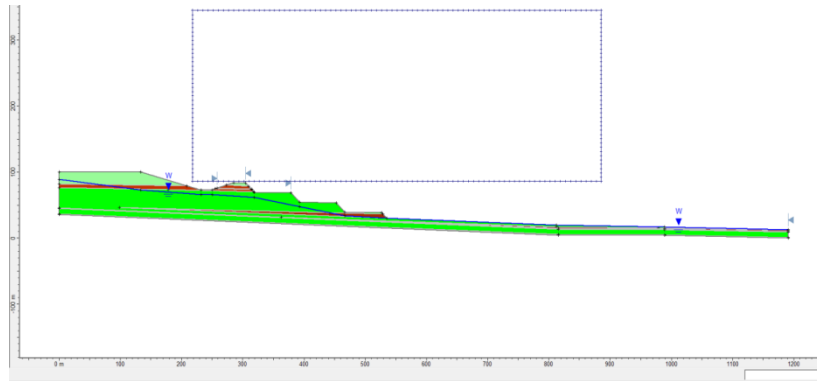
Εκπονήθηκαν έξι έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις για τις αναθεωρημένες εκσκαφές στην Τομή 31 (δύο λεπτά στρώματα αστοχίας x τρεις προτεινόμενες κλίσεις). Οι ισοκαμπύλες του συντελεστή ασφαλείας για την δυσμενέστερη περίπτωση καθώς και οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης απεικονίζονται στην **Εικόνα 4.14** (σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο Παράρτημα).



Εικόνα 4.14: Ισοκαμπύλες της δυσμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5, σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανού, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.016$.

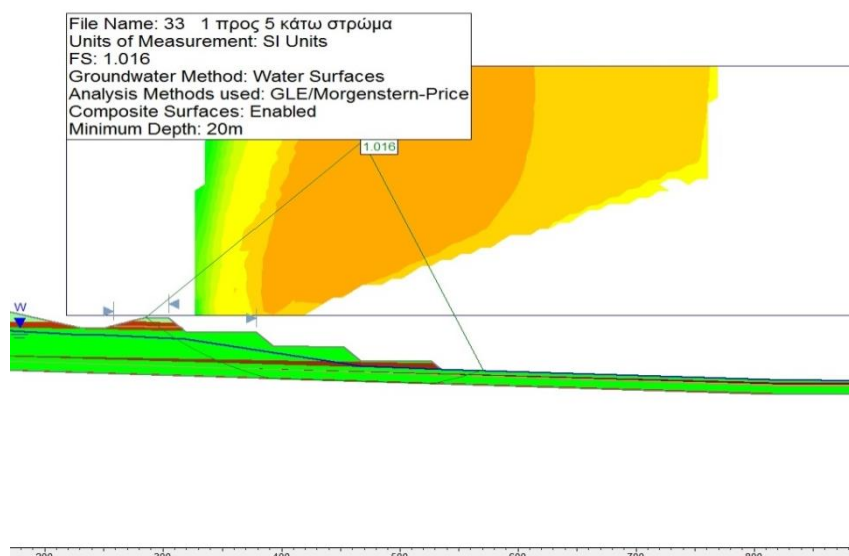
4.5.8. Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 33

Έμπροσθεν αριθμητικές αριθμητικές αναλύσεις (forward numerical simulations) εκτελέστηκαν για τις προτεινόμενες – αναθεωρημένες κλίσεις εκσκαφών στην Τομή 33, αποσκοπούν στον έλεγχο της ευστάθειας. Η γεωμετρία του μοντέλου με κλίση 1:5 που αναλύθηκε, απεικονίζεται στην **Εικόνα 4.15**.



Εικόνα 4.15: Γεωμετρία της Τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:5. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση συνεκτικού εδάφους ($c, \phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

Εκτελέστηκαν έξι έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις για τις αναθεωρημένες κλίσεις εκσκαφών στην Τομή 33 (δύο λεπτά στρώματα αστοχίας x τρεις προτεινόμενες κλίσεις). Οι ισοκαμπύλες του συντελεστή ασφαλείας για την δυσμενέστερη περίπτωση καθώς και οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης απεικονίζονται στην **Εικόνα 4.16** (σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο Παράρτημα).



Εικόνα 4.16: Ισοκαμπύλες της δυσμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5, σε συνεκτικό έδαφος ($c, \phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.016$.

4.6. Θεώρηση Μη – Συνεκτικού Εδάφους ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με την Στάθμη Υδροφόρου στα $-6m$, από την Κοίτη του Ποταμού

4.6.1. Σύνομη Περιγραφή της Εξιδανικευμένης Αριθμητικής Προσομοίωσης

Σε αυτή την 2^η αδρή προσέγγιση όλα τα γεωυλικά έχουν γωνία τριβής (φ) και ακολουθούν τον καταστατικό νόμο μηχανικής συμπεριφοράς Mohr – Coulomb ($\tau=c+\sigma_n \cdot \tan(\varphi)$) αλλά δεν έχουν συνοχή ($c=0$). Η στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα εντοπίζεται στα $-6m$ κάτω από την κοίτη του ποταμού και ακολουθεί καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς. Από εκεί και έως τα όρια του προσομοιώματος ακολουθεί την επιφάνεια του εδάφους. Όλες οι πιέσεις οι οποίες έχουν υπολογιστεί είναι υδροστατικές.

Στα ακόλουθα υποκεφάλαια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων ευστάθειας. Σε κάθε διατομή συνοψίζονται οι δυσμενείς περιπτώσεις, ενώ οι υπόλοιπες διατομές παρατίθενται σε επισυναπτόμενο Παράρτημα.

4.6.2. Αποτελέσματα Αριθμητικών Αναλύσεων.

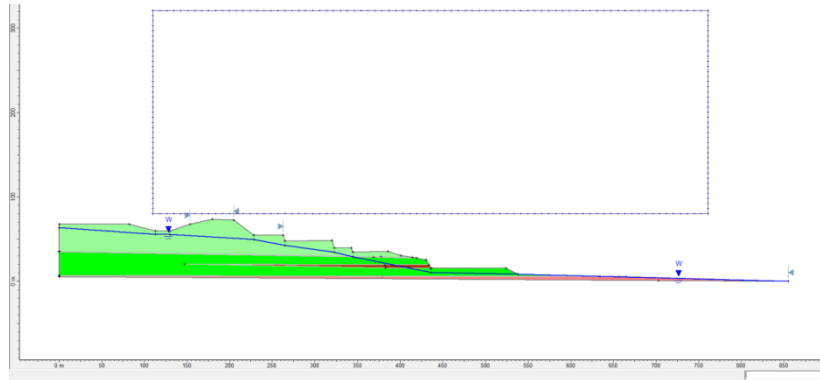
Από τις ανάστροφες αριθμητικές αναλύσεις που εκπονήθηκαν (και αντιστοιχούν σε συντελεστή ασφαλείας $FS=1$), προέκυψαν οι ακόλουθες τιμές των μηχανικών παραμέτρων των γεωυλικών (που διαφαίνονται στον **Πίνακα 4.2**):

Πίνακας 4.2: Τιμές των μηχανικών παραμέτρων των γεωυλικών όπως αυτές προέκυψαν από την ανάστροφη αριθμητική ανάλυση (συντελεστής ασφαλείας $FS=1$).

Διαστρωμάτωση Εδαφικής Μάζας	γ (kN/m^3)	Συνοχή (kPa)	Γωνία Τριβής
Ανώτερες λιγνιτικές στιβάδες	12	0	20°
Κατώτερη λιγνιτική στιβάδα	12	0	25°
Ανώτερες στρώσεις αγόνων	19	0	20°
Ενδιάμεσες στρώσεις αγόνων	19	0	15°
Κατώτερη στρώση αγόνων	19	0	15°
Λεπτή στρώση αργίλου στη βάση της λιγνιτικής στιβάδας (η στρώση αυτή δημιουργεί την άνωθεν επιφάνεια της κατολίσθησης)	19	0	15°
Λεπτή στρώση αργίλου, κάτω από στρώμα αργίλου πάχους περίπου $10m$, στη βάση της λιγνιτικής στιβάδας (η στρώση αυτή δημιουργεί την κάτωθεν επιφάνεια της κατολίσθησης)	19	0	15°

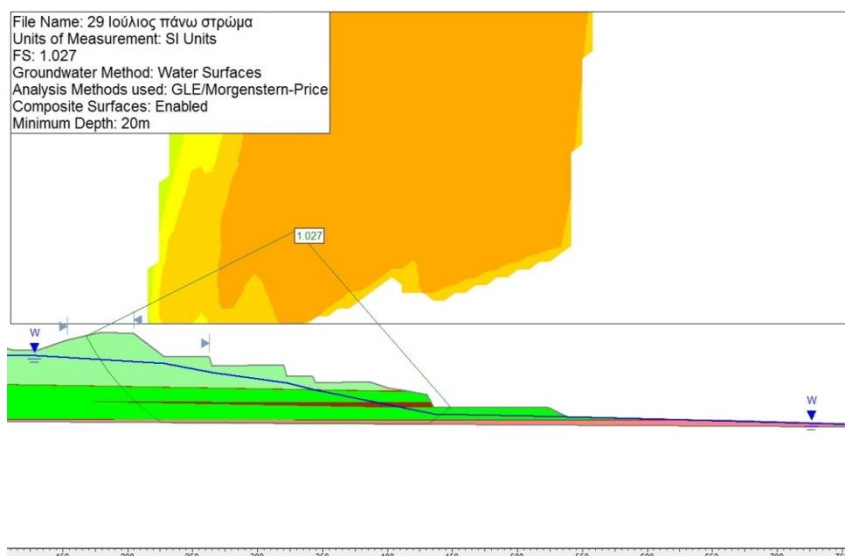
4.6.3. Ανάστροφη Αριθμητική Προσομοίωση της Τομής 29 (Ιούλιος 2015)

Αρχικά, εκπονήθηκαν ανάστροφες αριθμητικές αναλύσεις (back analysis simulations) στην Τομή 29, με τη γεωμετρία της περιόδου του Ιουλίου 2015, με σκοπό τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των λεπτών στρωμάτων, στα οποία αναμένεται να εντοπιστεί η αστοχία. Η θεωρούμενη γεωμετρία του προσομοιώματος που αναλύθηκε, απεικονίζεται στην **Εικόνα 4.17**.



Εικόνα 4.17: Γεωμετρία της τομής 29 τον Ιούλιο 2015 που αναλύθηκε. Η ανάστροφη ανάλυση που εκπονήθηκε προβαίνει στη θεώρηση μη – συνεκτικού εδάφους ($c=0$, $\phi \neq 0$) με τη στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

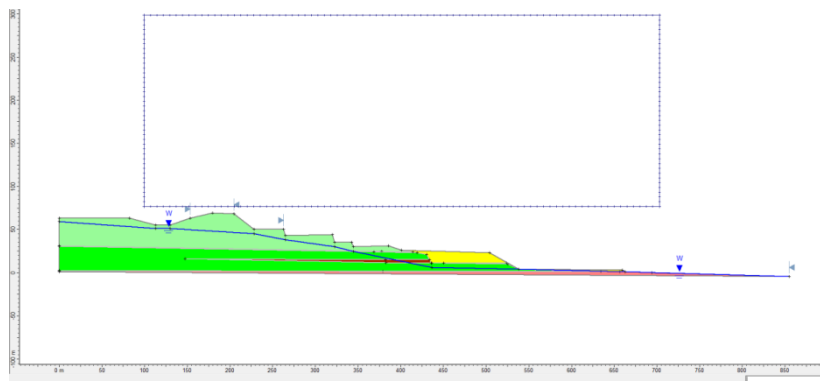
Έχουν πραγματοποιηθεί δύο ανάστροφες αναλύσεις (δύο λεπτά στρώματα αστοχίας). Οι ισοκαμπύλες του συντελεστή ασφαλείας για την δυσμενέστερη περίπτωση και οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης απεικονίζονται στην **Εικόνα 4.18** (σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο Παράρτημα).



Εικόνα 4.18: Ισοκαμπύλες της δυσμενέστερης ανάστροφης ανάλυσης της τομής 29, για μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας $FS=1.027$.

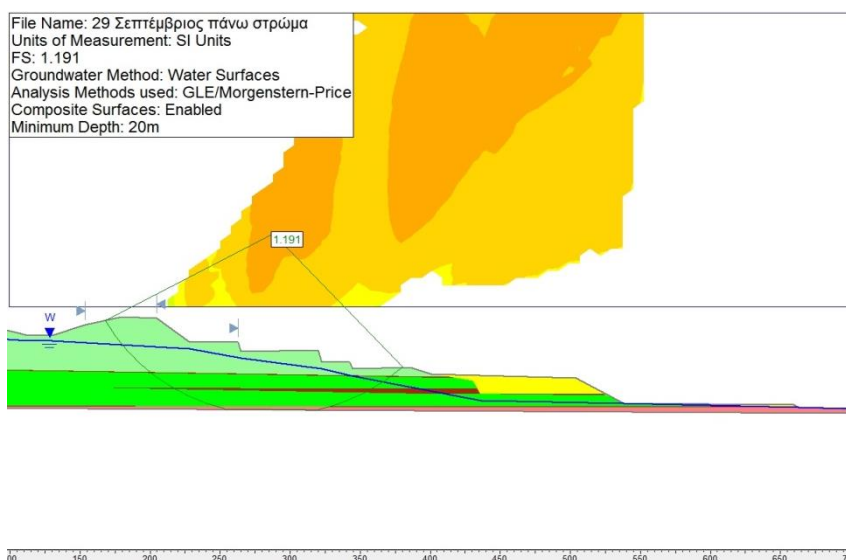
4.6.4. Εκτίμηση της Επάρκειας των Μέτρων Αντιστήριξης στην Τομή 29 (Σεπτέμβριος 2015)

Πέρα από τις ανάστροφες αναλύσεις που εκπονήθηκαν, εκτελέστηκαν επιπλέον, έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις (forward numerical simulations) στην Τομή 29, με τη γεωμετρία της περιόδου του Σεπτεμβρίου 2015, με απώτερο σκοπό τον έλεγχο της ευστάθειας του πρανούς μετά την επιβολή των μέτρων υποστήριξης που ελήφθησαν (Καβαδάς, Ιούλιος 2015). Η γεωμετρία του μοντέλου που αναλύθηκε, απεικονίζεται στην **Εικόνα 4.19**.



Εικόνα 4.19: Γεωμετρία της Τομής 29 τον Σεπτέμβριο 2015 που αναλύθηκε, για τον έλεγχο επάρκειας των μέτρων αντιστήριξης. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση μη – συνεκτικού εδάφους ($c=0$, $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

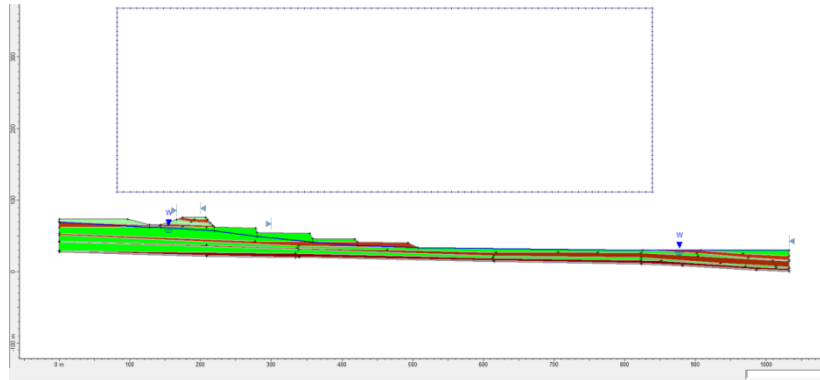
Έχουν εκτελεστεί δύο έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις για την Τομή 29, με τη γεωμετρία της περιόδου του Σεπτεμβρίου 2015 (δύο λεπτά στρώματα αστοχίας). Οι ισοκαμπύλες του συντελεστή ασφαλείας για την δυσμενέστερη περίπτωση καθώς και οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης απεικονίζονται στην **Εικόνα 4.20** (σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο Παράρτημα).



Εικόνα 4.20: Ισοκαμπύλες της δυσμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 29 για τον έλεγχο επάρκειας των μέτρων αντιστήριξης, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.191$.

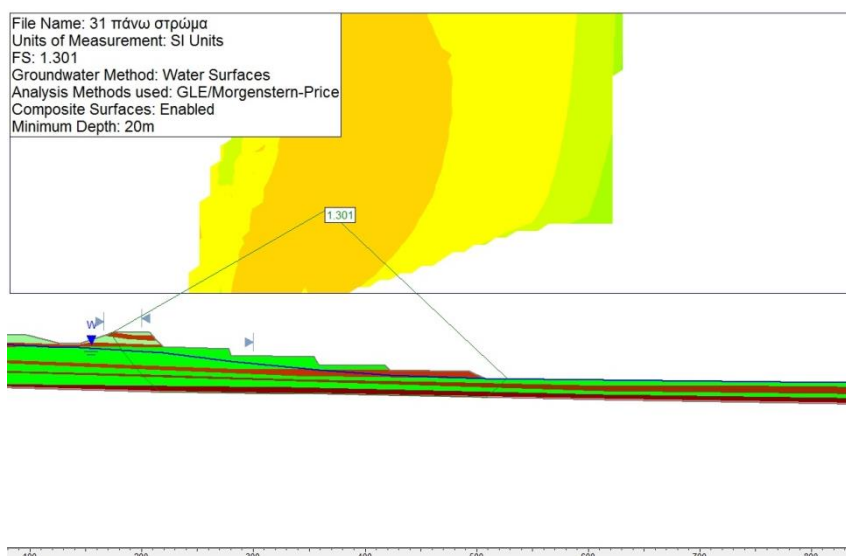
4.6.5. Εκτίμηση της Δυνατότητας Επιβολής των Προτιμώμενων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 31

Έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις (forward numerical simulations) εκπονήθηκαν στην Τομή 31, για τον έλεγχο της ευστάθειας του πρανούς, με σκοπό την διερεύνηση της δυνατότητας επιβολής των προτιμώμενων κλίσεων εκσκαφής και για τον προσδιορισμό των γεωτεχνικών συνθηκών. Η γεωμετρία του εξιδανικευμένου προσομοιώματος που αναλύθηκε, εμφανίζεται στην **Εικόνα 4.21**.



Εικόνα 4.21: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των προτιμώμενων κλίσεων εκσκαφής. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση μη – συνεκτικού εδάφους ($c=0$, $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

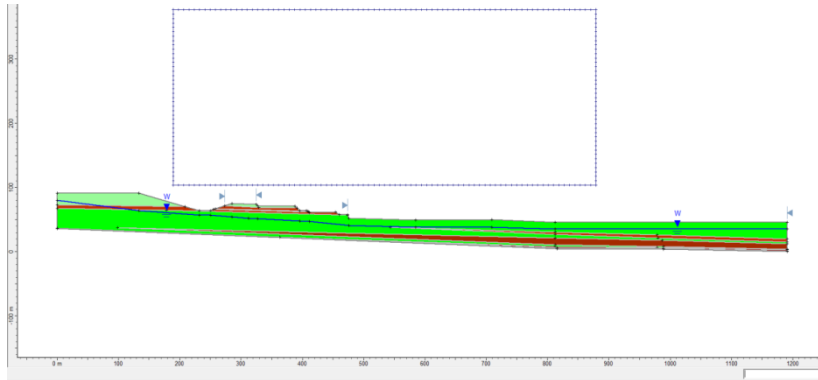
Πραγματοποιήθηκαν έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις για την Τομή 31 (δύο λεπτά στρώματα αστοχίας). Οι ισοκαμπύλες του συντελεστή ασφαλείας για την δυσμενέστερη περίπτωση καθώς και οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης απεικονίζονται στην **Εικόνα 4.22** (σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο Παράρτημα).



Εικόνα 4.22: Ισοκαμπύλες της δυσμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των προτιμώμενων κλίσεων, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.301$.

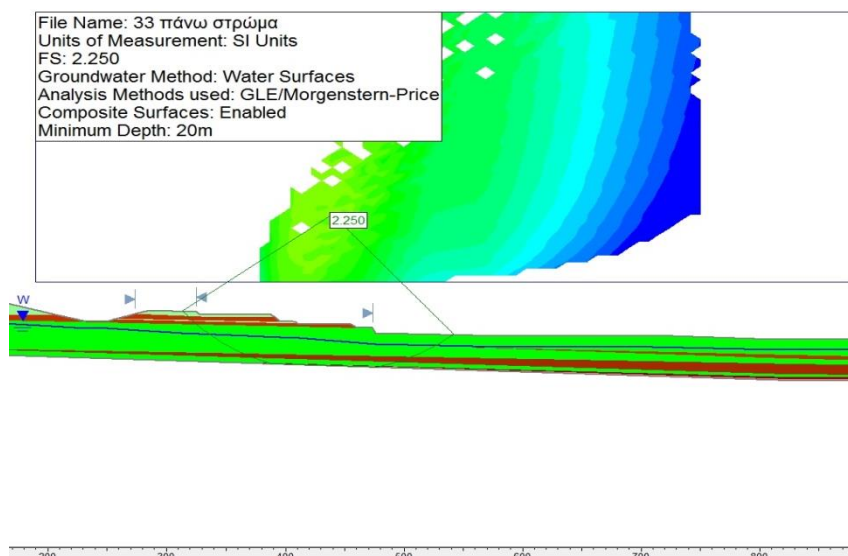
4.6.6. Εκτίμηση της Δυνατότητας Επιβολής των Προτιμώμενων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 33

Για τον έλεγχο της ευστάθειας του πρανούς, με σκοπό την διερεύνηση της δυνατότητας επιβολής των προτιμώμενων κλίσεων εκσκαφής και για τον προσδιορισμό των γεωτεχνικών συνθηκών, εκπονήθηκαν επιπρόσθετες έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις (forward numerical simulations). Η γεωμετρία του εξιδανικευμένου προσομοιώματος που αναλύθηκε, απεικονίζεται στην **Εικόνα 4.23**.



Εικόνα 4.23: Γεωμετρία της τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των προτιμώμενων κλίσεων εκσκαφής. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση μη – συνεκτικού εδάφους ($c=0$, $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

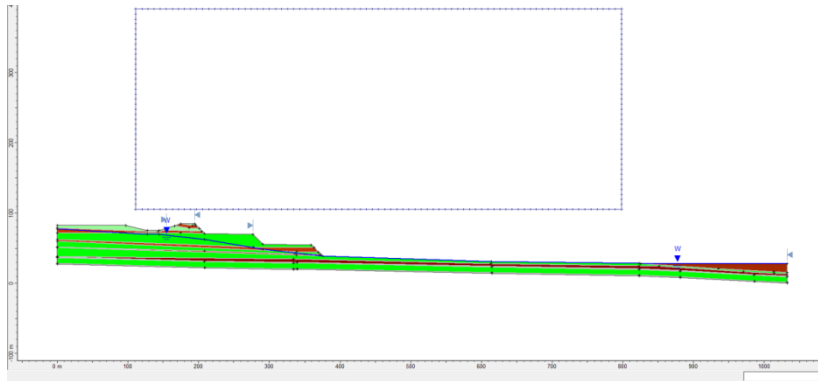
Πραγματοποιήθηκαν δυο έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις για την Τομή 33 (δύο λεπτά στρώματα αστοχίας). Οι ισοκαμπύλες του συντελεστή ασφαλείας για την δυσμενέστερη περίπτωση καθώς και οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης απεικονίζονται στην **Εικόνα 4.24** (σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο Παράρτημα).



Εικόνα 4.24: Ισοκαμπύλες της δυσμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των προτιμώμενων κλίσεων, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=2.350$.

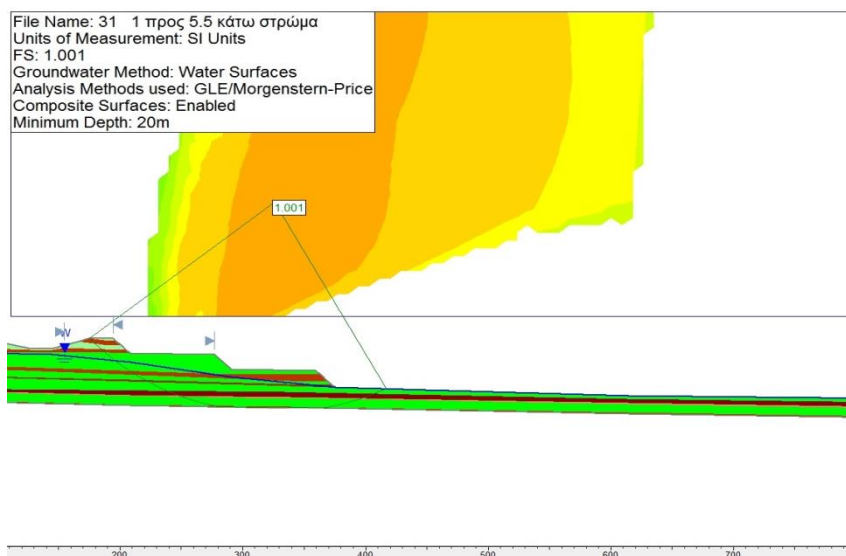
4.6.7. Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 31

Επιπρόσθετες έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις (forward numerical simulations) εκτελέστηκαν για τις προτεινόμενες (αναθεωρημένες – αυξημένες) κλίσεις εκσκαφών στην Τομή 31, με σκοπό τον έλεγχο της ευστάθειας του πρανούς. Η γεωμετρία του μορφούμενου εξιδανικευμένου προσομοιώματος με κλίση 1:5,5 που αναλύθηκε, απεικονίζεται στην **Εικόνα 4.25**.



Εικόνα 4.25: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:5,5. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση μη – συνεκτικού εδάφους ($c=0$, $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

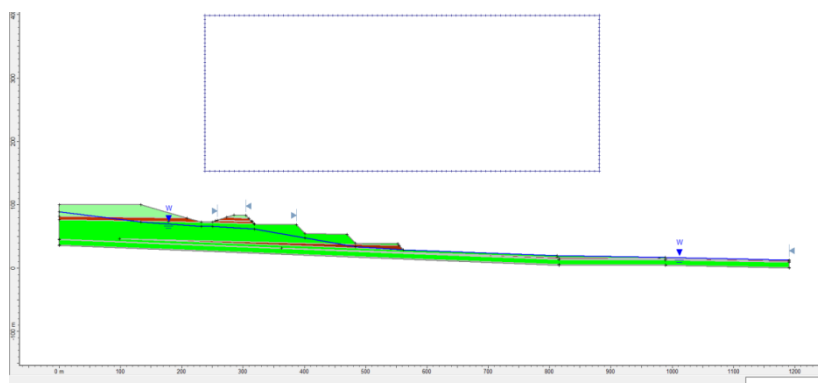
Εκπονήθηκαν έξι έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις για τις αναθεωρημένες εκσκαφές στην Τομή 31 (δύο λεπτά στρώματα αστοχίας x τρεις προτεινόμενες κλίσεις). Οι ισοκαμπύλες του συντελεστή ασφαλείας για την δυσμενέστερη περίπτωση καθώς και οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης απεικονίζονται στην **Εικόνα 4.26** (σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο Παράρτημα).



Εικόνα 4.26: Ισοκαμπύλες της δυσμενέστερης έμπροσθεν ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5,5, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.001$.

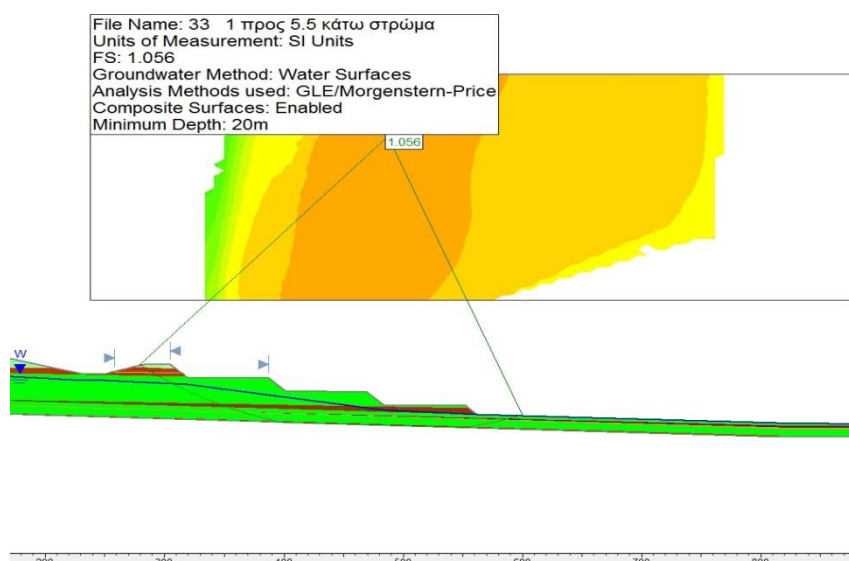
4.6.8. Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 33

Έμπροσθεν αριθμητικές αριθμητικές αναλύσεις (forward numerical simulations) εκτελέστηκαν για τις προτεινόμενες – αναθεωρημένες κλίσεις εκσκαφών στην Τομή 33, αποσκοπούν στον έλεγχο της ευστάθειας. Η γεωμετρία του μοντέλου με κλίση 1:5,5 που αναλύθηκε, απεικονίζεται στην **Εικόνα 4.27**.



Εικόνα 4.27: Γεωμετρία της Τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:5,5. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση μη – συνεκτικού εδάφους ($c=0$, $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

Εκτελέστηκαν έξι έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις για τις αναθεωρημένες κλίσεις εκσκαφών στην Τομή 33 (δύο λεπτά στρώματα αστοχίας x τρεις προτεινόμενες κλίσεις). Οι ισοκαμπύλες του συντελεστή ασφαλείας για την δυσμενέστερη περίπτωση καθώς και οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης απεικονίζονται στην **Εικόνα 4.28** (σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο Παράρτημα).



Εικόνα 4.28: Ισοκαμπύλες της δυσμενέστερης έμπροσθεν ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5,5, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.056$.

4.7. Θεώρηση Ολικών Τάσεων σε Συνεκτικό Έδαφος (c , $\varphi \neq 0$), με την Στάθμη Υδροφόρου στα $-6m$, από την Κοίτη του Ποταμού

4.7.1. Σύνομη Περιγραφή της Εξιδανικευμένης Αριθμητικής Προσομοίωσης

Σε αυτή την 3^η αδρή προσέγγιση όλα τα γεωυλικά (εκτός από τις δύο λεπτές στρώσεις από τις οποίες περνάνε οι επιφάνειες αστοχίας) έχουν συνοχή (c) και γωνία τριβής (φ) και ακολουθούν τον καταστατικό νόμο μηχανικής συμπεριφοράς Mohr – Coulomb ($\tau=c+\sigma_n \cdot \tan(\varphi)$). Η στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα εντοπίζεται στα $-6m$ κάτω από την κοίτη του ποταμού, να ακολουθεί καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς. Από εκεί έως και τα όρια του προσομοιώματος ακολουθεί την επιφάνεια του εδάφους. Όλες οι πιέσεις οι οποίες έχουν υπολογιστεί είναι υδροστατικές. Σε αυτές τις δύο λεπτές στρώσεις έχει γίνει η παραδοχή αστράγγιστων συνθηκών ($c=c_u$ και $\varphi=0$).

Στα ακόλουθα υποκεφάλαια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων ευστάθειας. Σε κάθε διατομή συνοψίζονται οι δυσμενείς περιπτώσεις, ενώ οι υπόλοιπες διατομές παρατίθενται σε επισυναπτόμενο Παράρτημα.

4.7.2. Αποτελέσματα Αριθμητικών Αναλύσεων

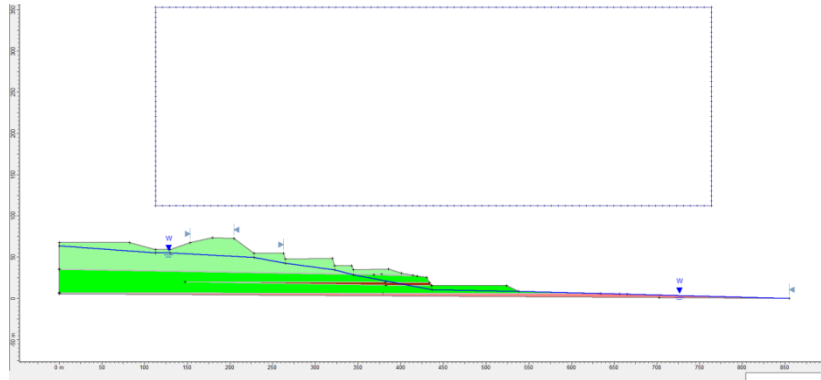
Από τις ανάστροφες αριθμητικές αναλύσεις που εκπονήθηκαν (και αντιστοιχούν σε συντελεστή ασφαλείας $FS=1$), προέκυψαν οι ακόλουθες τιμές των μηχανικών παραμέτρων των γεωυλικών (που διαφαίνονται στον **Πίνακα 4.3**):

Πίνακας 4.3: Τιμές των μηχανικών παραμέτρων των γεωυλικών όπως αυτές προέκυψαν από την ανάστροφη αριθμητική ανάλυση (συντελεστής ασφαλείας $FS=1$).

Διαστρωμάτωση Εδαφικής Μάζας	γ (kN/m^3)	Συνοχή (kPa)	Γωνία Τριβής
Ανώτερες λιγνιτικές στιβάδες	12	30	20°
Κατώτερη λιγνιτική στιβάδα	12	30	25°
Ανώτερες στρώσεις αγόνων	19	10	20°
Ενδιάμεσες στρώσεις αγόνων	19	10	15°
Κατώτερη στρώση αγόνων	19	10	15°
Λεπτή στρώση αργίλου στη βάση της λιγνιτικής στιβάδας (η στρώση αυτή δημιουργεί την άνωθεν επιφάνεια της κατολίσθησης)	19	125	0°
Λεπτή στρώση αργίλου, κάτω από στρώμα αργίλου πάχους περίπου $10m$, στη βάση της λιγνιτικής στιβάδας (η στρώση αυτή δημιουργεί την κάτωθεν επιφάνεια της κατολίσθησης)	19	110	0°

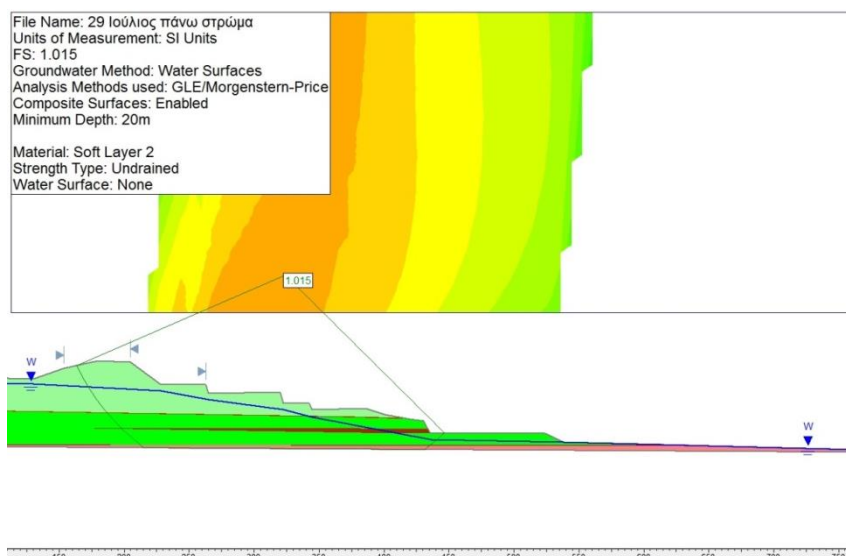
4.7.3. Ανάστροφη Αριθμητική Προσομοίωση της Τομής 29 (Ιούλιος 2015)

Αρχικά, εκπονήθηκαν ανάστροφες αριθμητικές αναλύσεις (back analysis simulations) στην Τομή 29, με τη γεωμετρία της περιόδου του Ιουλίου 2015, με σκοπό τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των λεπτών στρωμάτων, στα οποία αναμένεται να εντοπιστεί η αστοχία. Η θεωρούμενη γεωμετρία του προσομοιώματος που αναλύθηκε, απεικονίζεται στην **Εικόνα 4.29**.



Εικόνα 4.29: Γεωμετρία της τομής 29 τον Ιούλιο 2015 που αναλύθηκε. Η ανάστροφη ανάλυση που εκπονήθηκε προβαίνει στη θεώρηση ολικών τάσεων σε συνεκτικό έδαφος (c , $\varphi \neq 0$) με τη στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρानού.

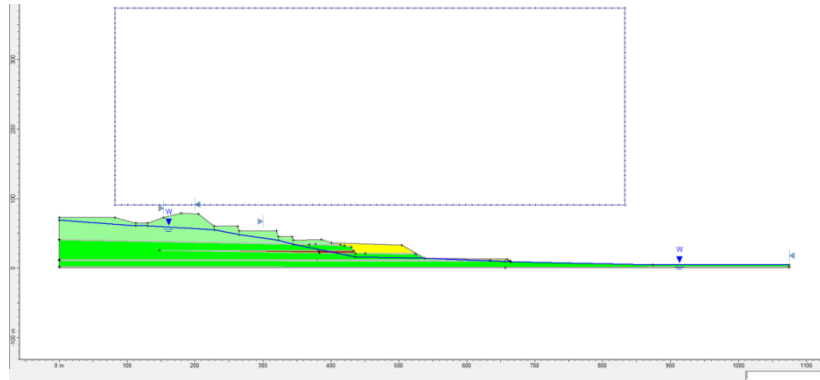
Έχουν πραγματοποιηθεί δύο ανάστροφες αναλύσεις (δύο λεπτά στρώματα αστοχίας). Οι ισοκαμπύλες του συντελεστή ασφαλείας για την δυσμενέστερη περίπτωση και οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης απεικονίζονται στην **Εικόνα 30** (σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο Παράρτημα).



Εικόνα 4.30: Ισοκαμπύλες της δυσμενέστερης ανάστροφης ανάλυσης της τομής 29, για συνεκτικό έδαφος (c , $\varphi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρानού, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας $FS=1.015$.

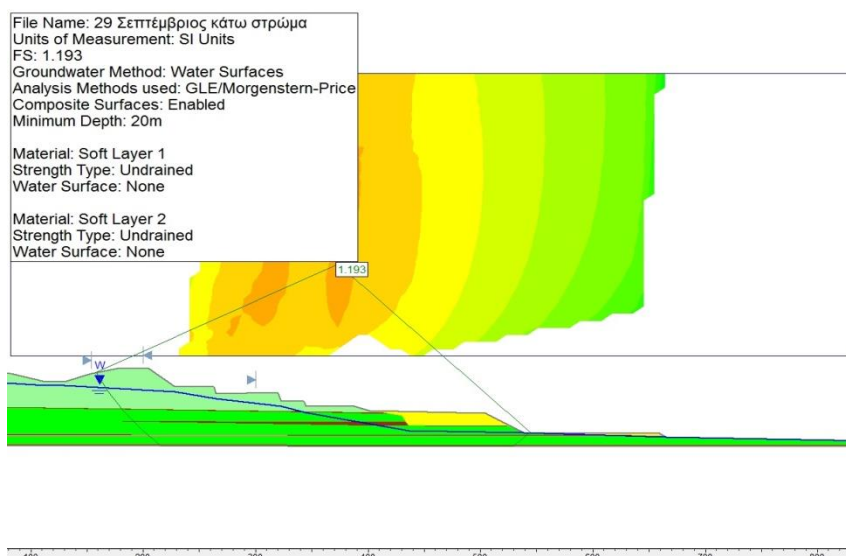
4.7.4. Εκτίμηση της Επάρκειας των Μέτρων Αντιστήριξης στην Τομή 29 (Σεπτέμβριος 2015)

Πέρα από τις ανάστροφες αναλύσεις που εκπονήθηκαν, εκτελέστηκαν επιπλέον, έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις (forward numerical simulations) στην Τομή 29, με τη γεωμετρία της περιόδου του Σεπτεμβρίου 2015, με απώτερο σκοπό τον έλεγχο της ευστάθειας του πρανούς μετά την επιβολή των μέτρων υποστήριξης που ελήφθησαν (Καββαδάς, Ιούλιος 2015). Η γεωμετρία του μοντέλου που αναλύθηκε, απεικονίζεται στην **Εικόνα 4.31**.



Εικόνα 4.31: Γεωμετρία της Τομής 29 τον Σεπτέμβριο 2015 που αναλύθηκε, για τον έλεγχο επάρκειας των μέτρων αντιστήριξης. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση συνεκτικού εδάφους ($c, \varphi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

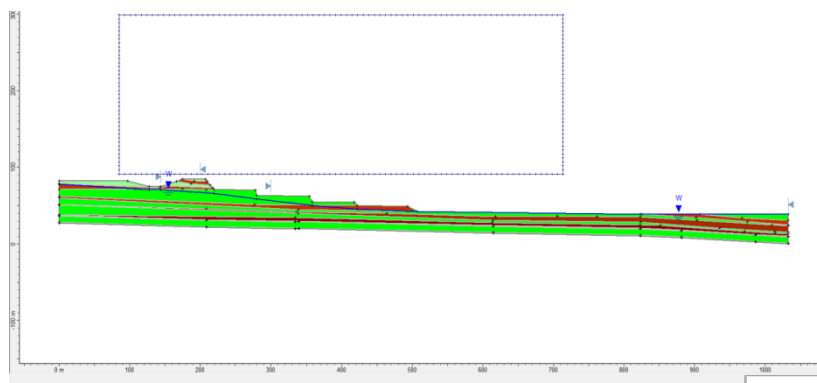
Έχουν εκτελεστεί δύο έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις για την Τομή 29, με τη γεωμετρία της περιόδου του Σεπτεμβρίου 2015 (δύο λεπτά στρώματα αστοχίας). Οι ισοκαμπύλες του συντελεστή ασφαλείας για την δυσμενέστερη περίπτωση καθώς και οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης απεικονίζονται στην **Εικόνα 4.32** (σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο Παράρτημα).



Εικόνα 4.32: Ισοκαμπύλες της δυσμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 29 για τον έλεγχο επάρκειας των μέτρων αντιστήριξης, σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.193$.

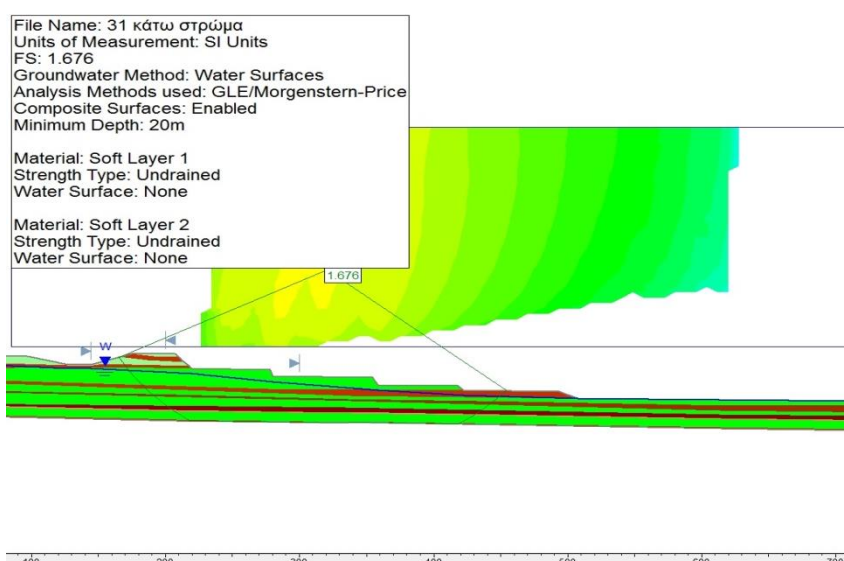
4.7.5. Εκτίμηση της Δυνατότητας Επιβολής των Προτιμώμενων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 31

Έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις (forward numerical simulations) εκπονήθηκαν στην Τομή 31, για τον έλεγχο της ευστάθειας του πρανούς, με σκοπό την διερεύνηση της δυνατότητας επιβολής των προτιμώμενων κλίσεων εκσκαφής και για τον προσδιορισμό των γεωτεχνικών συνθηκών. Η γεωμετρία του εξιδανικευμένου προσομοιώματος που αναλύθηκε, εμφανίζεται στην **Εικόνα 4.33**.



Εικόνα 4.33: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των προτιμώμενων κλίσεων εκσκαφής. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ολικών τάσεων σε συνεκτικό έδαφος ($c, \phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

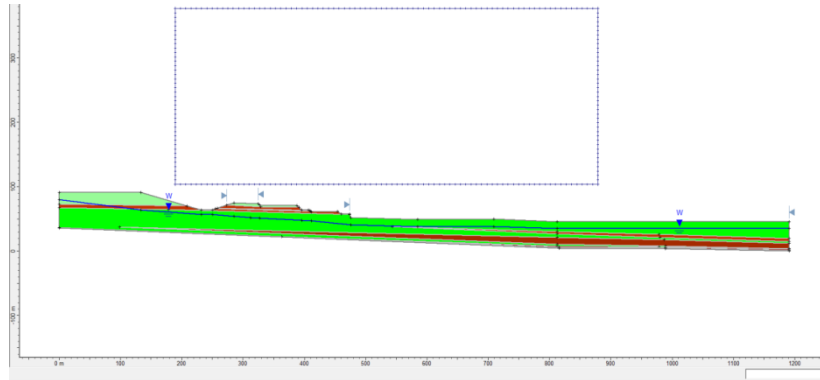
Πραγματοποιήθηκαν έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις για την Τομή 31 (2 λεπτά στρώματα αστοχίας). Οι ισοκαμπύλες του συντελεστή ασφαλείας για την δυσμενέστερη περίπτωση καθώς και οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης απεικονίζονται στην **Εικόνα 4.34** (σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο Παράρτημα).



Εικόνα 4.34: Ισοκαμπύλες της δυσμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των προτιμώμενων κλίσεων, σε συνεκτικό έδαφος ($c, \phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.676$.

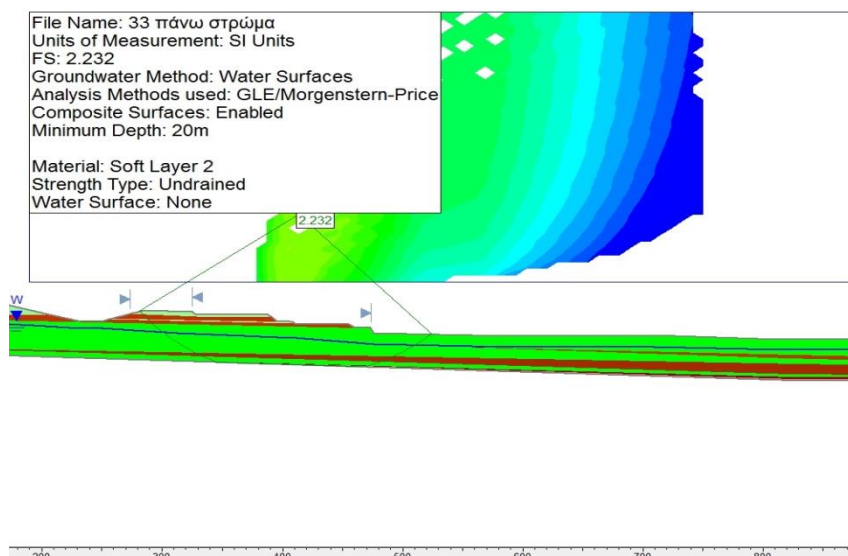
4.7.6. Εκτίμηση της Δυνατότητας Επιβολής των Προτιμώμενων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 33

Για τον έλεγχο της ευσταθείας του πρανούς, με σκοπό την διερεύνηση της δυνατότητας επιβολής των προτιμώμενων κλίσεων εκσκαφής και για τον προσδιορισμό των γεωτεχνικών συνθηκών, εκπονήθηκαν επιπρόσθετες έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις (forward numerical simulations). Η γεωμετρία του εξιδανικευμένου προσομοιώματος που αναλύθηκε, απεικονίζεται στην **Εικόνα 4.35**.



Εικόνα 4.35: Γεωμετρία της τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των προτιμώμενων κλίσεων εκσκαφής. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ολικών τάσεων σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

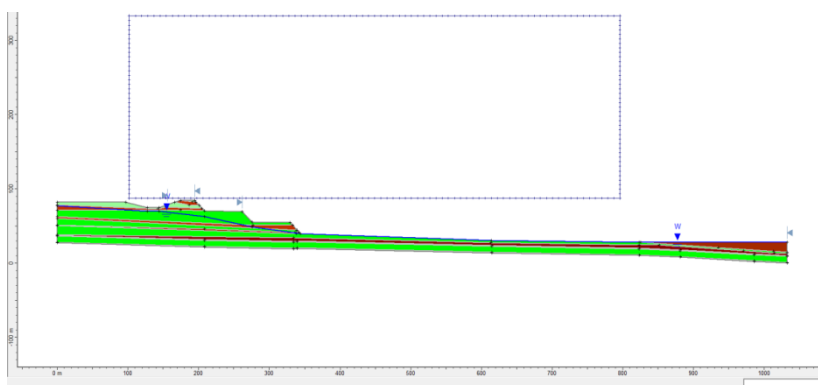
Πραγματοποιήθηκαν δυο έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις για την Τομή 33 (δύο λεπτά στρώματα αστοχίας). Οι ισοκαμπύλες του συντελεστή ασφαλείας για την δυσμενέστερη περίπτωση καθώς και οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης απεικονίζονται στην **Εικόνα 4.36** (σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο Παράρτημα).



Εικόνα 4.36: Ισοκαμπύλες της δυσμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των προτιμώμενων κλίσεων, σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=2.232$.

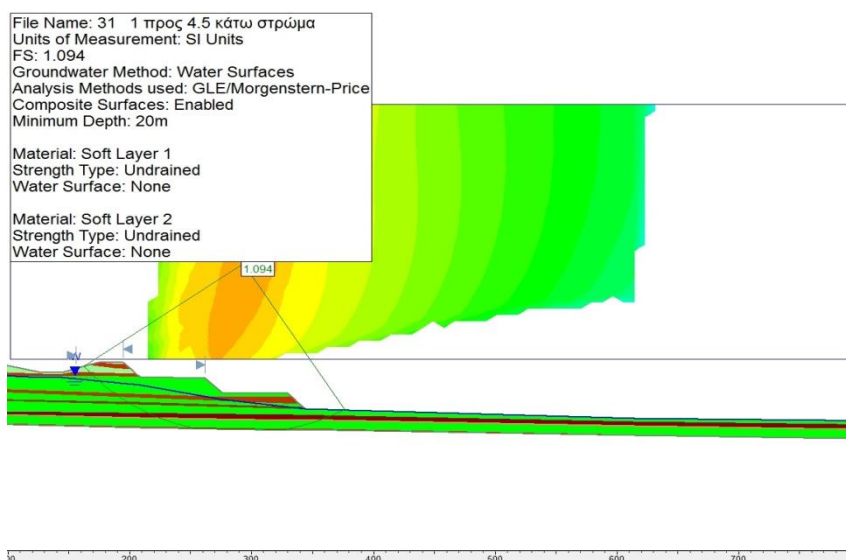
4.7.7. Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 31

Επιπρόσθετες έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις (forward numerical simulations) εκτελέστηκαν για τις προτεινόμενες (αναθεωρημένες – αυξημένες) κλίσεις εκσκαφών στην Τομή 31, με σκοπό τον έλεγχο της ευστάθειας του πρανούς. Η γεωμετρία του μορφούμενου εξιδανικευμένου προσομοιώματος με κλίση 1:4,5 που αναλύθηκε, απεικονίζεται στην **Εικόνα 4.37**.



Εικόνα 4.37: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:4,5. Η ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ολικών τάσεων σε συνεκτικό έδαφος (c , $\varphi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

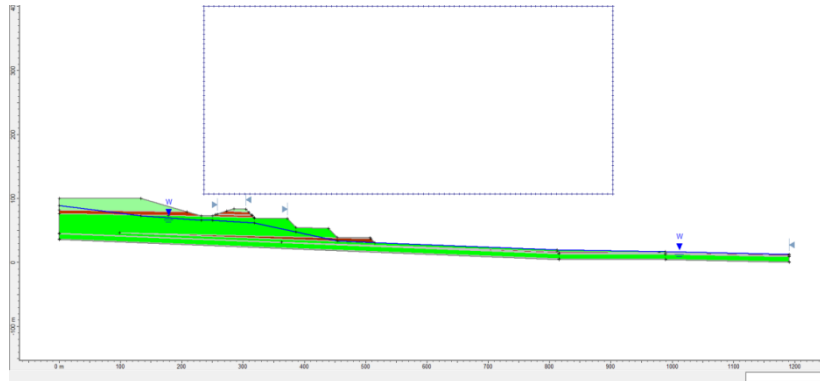
Εκπονήθηκαν έξι έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις για τις αναθεωρημένες εκσκαφές στην Τομή 31 (δύο λεπτά στρώματα αστοχίας x τρεις προτεινόμενες κλίσεις). Οι ισοκαμπύλες του συντελεστή ασφαλείας για την δυσμενέστερη περίπτωση καθώς και οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης απεικονίζονται στην **Εικόνα 4.38** (σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο Παράρτημα).



Εικόνα 4.38: Ισοκαμπύλες της δυσμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:4,5, σε συνεκτικό έδαφος (c , $\varphi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.094$.

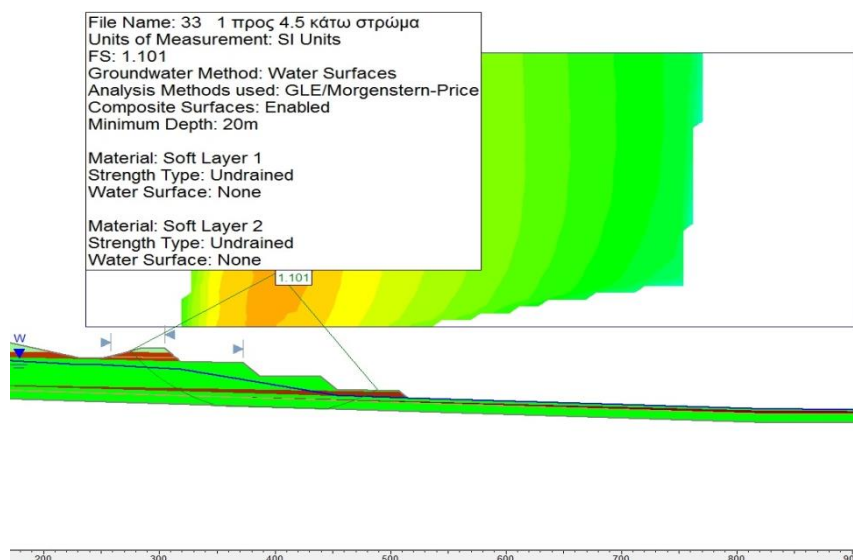
4.7.8. Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 33

Έμπροσθεν αριθμητικές αριθμητικές αναλύσεις (forward numerical simulations) εκτελέστηκαν για τις προτεινόμενες – αναθεωρημένες κλίσεις εκσκαφών στην Τομή 33, αποσκοπούν στον έλεγχο της ευστάθειας. Η γεωμετρία του μοντέλου με κλίση 1:4,5 που αναλύθηκε, απεικονίζεται στην **Εικόνα 4.39**.



Εικόνα 4.39: Γεωμετρία της Τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:4,5. Η ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ολικών τάσεων σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

Εκτελέστηκαν έξι έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις για τις αναθεωρημένες κλίσεις εκσκαφών στην Τομή 33 (δύο λεπτά στρώματα αστοχίας x τρεις προτεινόμενες κλίσεις). Οι ισοκαμπύλες του συντελεστή ασφαλείας για την δυσμενέστερη περίπτωση καθώς και οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης απεικονίζονται στην **Εικόνα 4.40** (σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο Παράρτημα).



Εικόνα 4.40: Ισοκαμπύλες της δυσμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:4,5, σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.101$.

4.8. Θεώρηση Ενεργών Τάσεων σε Μη – Συνεκτικό Έδαφος ($c=0, \varphi \neq 0$), χωρίς την Στάθμη Υδροφόρου Ορίζοντα

4.8.1. Σύνομη Περιγραφή της Εξιδανικευμένης Αριθμητικής Προσομοίωσης

Σε αυτή την 4^η αδρή προσέγγιση όλα τα γεωυλικά έχουν γωνία τριβής (φ) και ακολουθούν τον καταστατικό νόμο μηχανικής συμπεριφοράς Mohr – Coulomb ($\tau=c+\sigma_n \cdot \tan(\varphi)$) αλλά έχουν μηδενική συνοχή ($c=0$). Επιπλέον, έχει γίνει η παραδοχή ότι δεν υπάρχει Υπόγειος Υδροφόρος Ορίζοντας καθώς ο προσδιορισμός του είναι μία εξαιρετικά δύσκολος. Επομένως έχει ακολουθηθεί η λογική των ενεργών τάσεων και στην οποία ο συντελεστής πίεσης πόρων (R_u) είναι μηδέν. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι αυτή η τελευταία προσέγγιση είναι και αυτή που χρησιμοποιείται από τη Δ.Ε.Η. Α.Ε., για την αξιολόγηση της ευστάθειας των πρानών σε όλα τα ορυχεία της εταιρείας, αφού αποδεδειγμένα δίνει ρεαλιστικά αποτελέσματα και ξεπερνάει (σε αποδεκτό βαθμό) το πρόβλημα που ανακύπτει με τον υδροφόρο ορίζοντα.

Στα ακόλουθα υποκεφάλαια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων ευστάθειας. Σε κάθε διατομή συνοψίζονται οι δυσμενείς περιπτώσεις, ενώ οι υπόλοιπες διατομές παρατίθενται σε επισυναπτόμενο Παράρτημα.

4.8.2. Αποτελέσματα Αριθμητικών Αναλύσεων

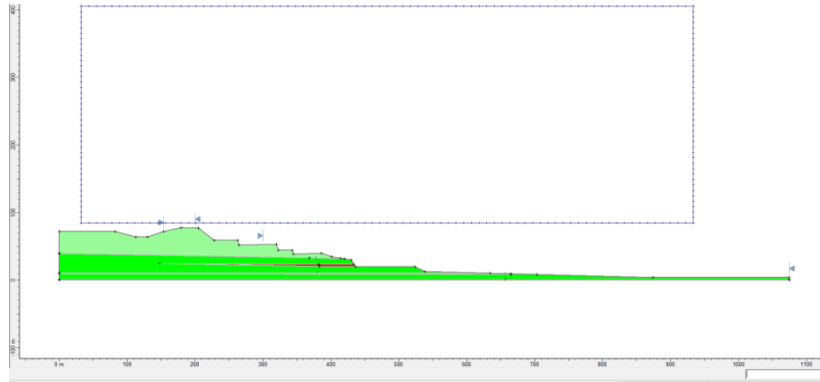
Από τις ανάστροφες αριθμητικές αναλύσεις που εκπονήθηκαν (και αντιστοιχούν σε συντελεστή ασφαλείας $FS=1$), προέκυψαν οι ακόλουθες τιμές των μηχανικών παραμέτρων των γεωυλικών (που διαφαίνονται στον **Πίνακα 4.4**):

Πίνακας 4.4: Τιμές των μηχανικών παραμέτρων των γεωυλικών όπως αυτές προέκυψαν από την ανάστροφη αριθμητική ανάλυση (συντελεστής ασφαλείας $FS=1$).

Διαστρωμάτωση Εδαφικής Μάζας	γ (kN/m^3)	Συνοχή (kPa)	Γωνία Τριβής
Ανώτερες λιγνιτικές στιβάδες	12	0	20°
Κατώτερη λιγνιτική στιβάδα	12	0	25°
Ανώτερες στρώσεις αγόνων	19	0	20°
Ενδιάμεσες στρώσεις αγόνων	19	0	15°
Κατώτερη στρώση αγόνων	19	0	15°
Λεπτή στρώση αργίλου στη βάση της λιγνιτικής στιβάδας (η στρώση αυτή δημιουργεί την άνωθεν επιφάνεια της κατολίσθησης)	19	0	8°
Λεπτή στρώση αργίλου, κάτω από στρώμα αργίλου πάχους περίπου 10m, στη βάση της λιγνιτικής στιβάδας (η στρώση αυτή δημιουργεί την κάτωθεν επιφάνεια της κατολίσθησης)	19	0	7°

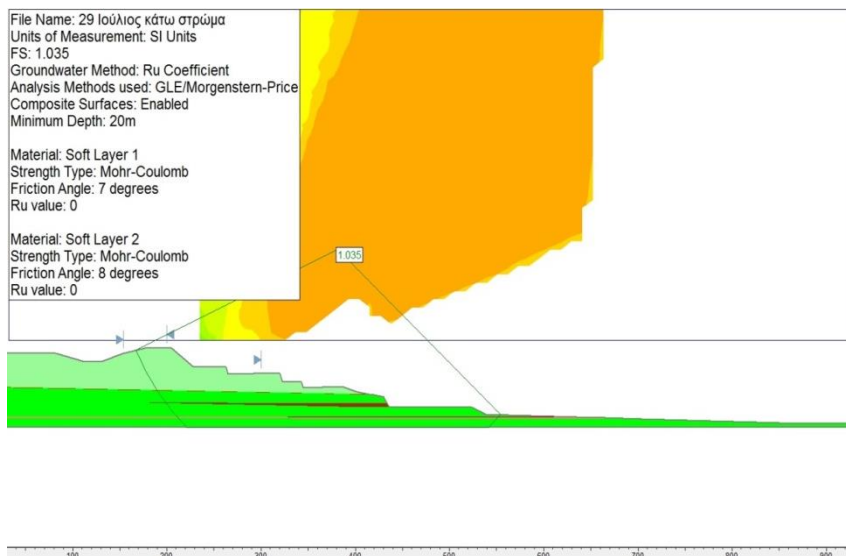
4.8.3. Ανάστροφη Αριθμητική Προσομοίωση της Τομής 29 (Ιούλιος 2015)

Αρχικά, εκπονήθηκαν ανάστροφες αριθμητικές αναλύσεις (back analysis simulations) στην Τομή 29, με τη γεωμετρία της περιόδου του Ιουλίου 2015, με σκοπό τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των λεπτών στρωμάτων, στα οποία αναμένεται να εντοπιστεί η αστοχία. Η θεωρούμενη γεωμετρία του προσομοιώματος που αναλύθηκε, απεικονίζεται στην **Εικόνα 4.41**.



Εικόνα 4.41: Γεωμετρία της τομής 29 τον Ιούλιο 2015 που αναλύθηκε. Η ανάστροφη ανάλυση που εκπονήθηκε προβαίνει στη θεώρηση ενεργών τάσεων σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα.

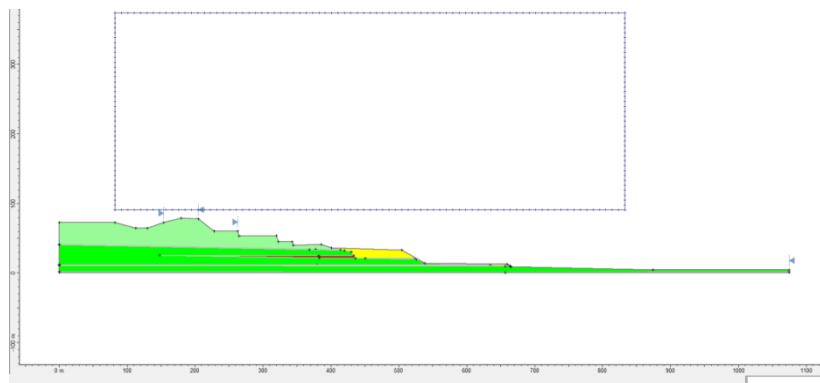
Έχουν πραγματοποιηθεί δύο ανάστροφες αναλύσεις (δύο λεπτά στρώματα αστοχίας). Οι ισοκαμπύλες του συντελεστή ασφαλείας για την δυσμενέστερη περίπτωση και οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης απεικονίζονται στην **Εικόνα 4.42** (σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο Παράρτημα).



Εικόνα 4.42: Ισοκαμπύλες της δυσμενέστερης ανάστροφης ανάλυσης της τομής 29, για μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.035$.

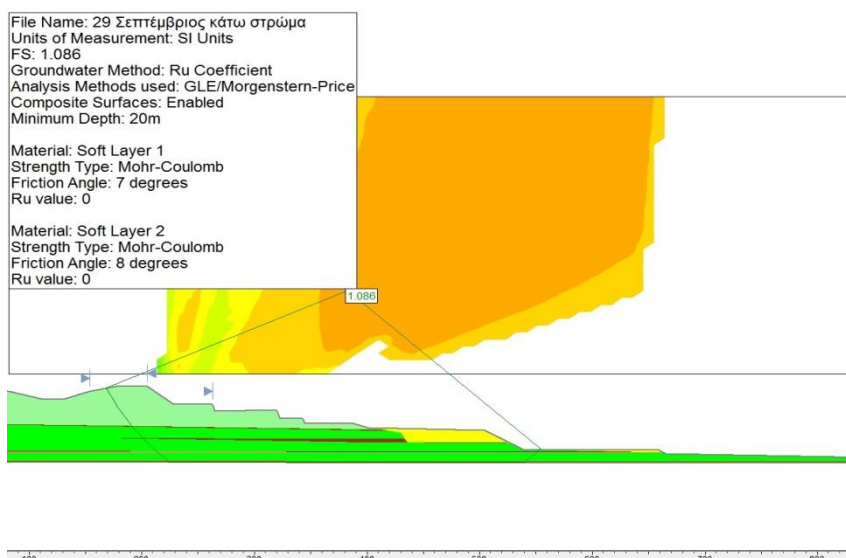
4.8.4. Εκτίμηση της Επάρκειας των Μέτρων Αντιστήριξης στην Τομή 29 (Σεπτέμβριος 2015)

Πέρα από τις ανάστροφες αναλύσεις που εκπονήθηκαν, εκτελέστηκαν επιπλέον, έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις (forward numerical simulations) στην Τομή 29, με τη γεωμετρία της περιόδου του Σεπτεμβρίου 2015, με απώτερο σκοπό τον έλεγχο της ευστάθειας του πρανού μετά την επιβολή των μέτρων υποστήριξης που ελήφθησαν (Καββαδάς, Ιούλιος 2015). Η γεωμετρία του μοντέλου που αναλύθηκε, απεικονίζεται στην **Εικόνα 4.43**.



Εικόνα 4.43: Γεωμετρία της Τομής 29 τον Σεπτέμβριο 2015 που αναλύθηκε, για τον έλεγχο επάρκειας των μέτρων αντιστήριξης. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ενεργών τάσεων σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα.

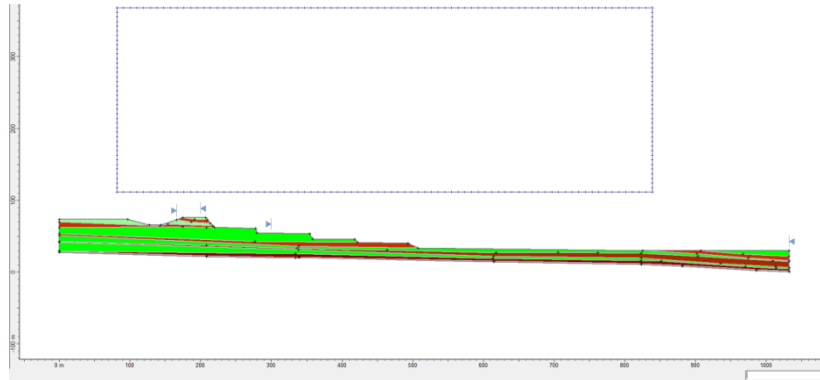
Έχουν εκτελεστεί δύο έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις για την Τομή 29, με τη γεωμετρία της περιόδου του Σεπτεμβρίου 2015 (δύο λεπτά στρώματα αστοχίας). Οι ισοκαμπύλες του συντελεστή ασφαλείας για την δυσμενέστερη περίπτωση καθώς και οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης απεικονίζονται στην **Εικόνα 4.44** (σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο Παράρτημα).



Εικόνα 4.44: Ισοκαμπύλες της δυσμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 29 για τον έλεγχο επάρκειας των μέτρων αντιστήριξης, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.086$.

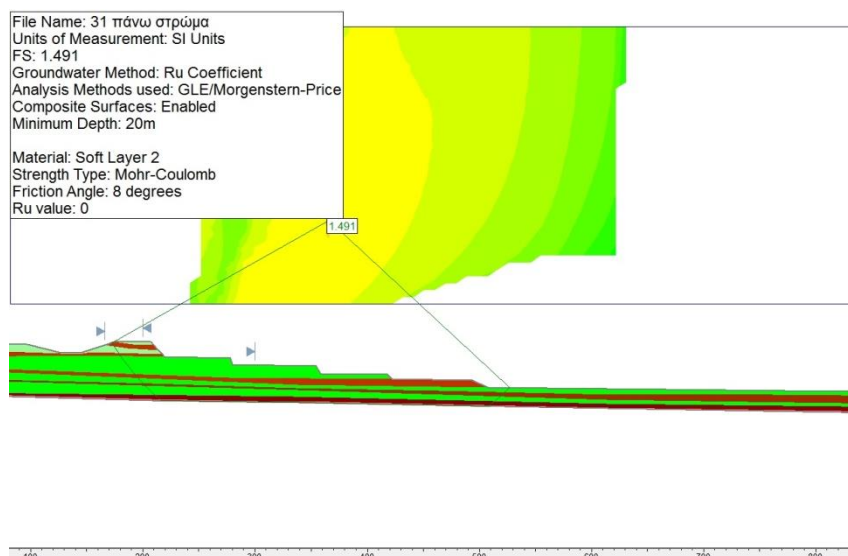
4.8.5. Εκτίμηση της Δυνατότητας Επιβολής των Προτιμώμενων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 31

Έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις (forward numerical simulations) εκπονήθηκαν στην Τομή 31, για τον έλεγχο της ευστάθειας του πρανούς, με σκοπό την διερεύνηση της δυνατότητας επιβολής των προτιμώμενων κλίσεων εκσκαφής και για τον προσδιορισμό των γεωτεχνικών συνθηκών. Η γεωμετρία του εξιδανικευμένου προσομοιώματος που αναλύθηκε, εμφανίζεται στην **Εικόνα 4.45**.



Εικόνα 4.45: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των προτιμώμενων κλίσεων εκσκαφής. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ενεργών τάσεων σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα.

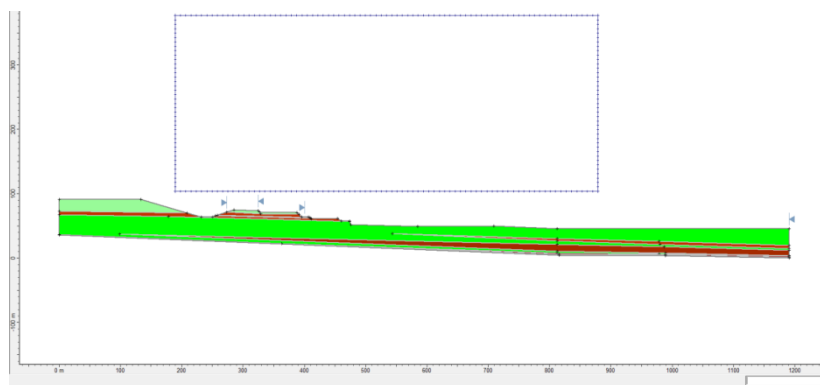
Πραγματοποιήθηκαν έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις για την Τομή 31 (2 λεπτά στρώματα αστοχίας). Οι ισοκαμπύλες του συντελεστή ασφαλείας για την δυσμενέστερη περίπτωση καθώς και οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης απεικονίζονται στην **Εικόνα 4.46** (σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο Παράρτημα).



Εικόνα 4.46: Ισοκαμπύλες της δυσμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των προτιμώμενων κλίσεων, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.491$.

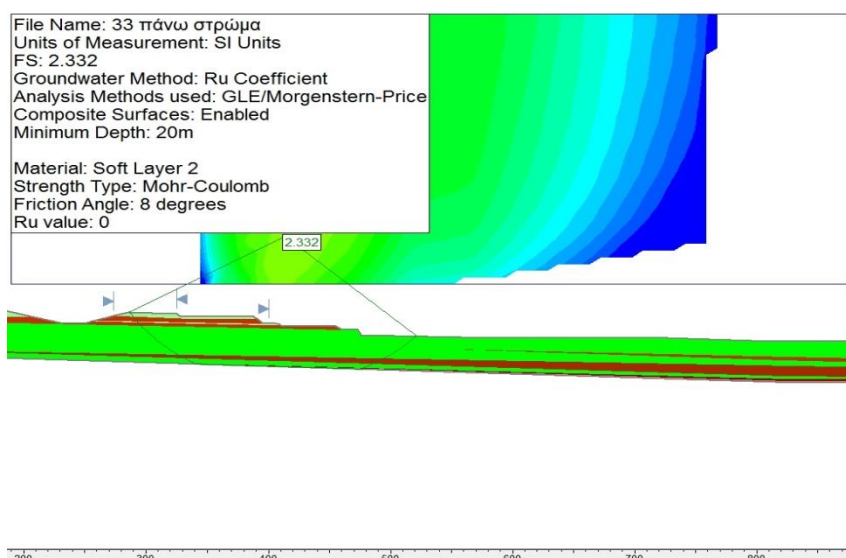
4.8.6. Εκτίμηση της Δυνατότητας Επιβολής των Προτιμώμενων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 33

Για τον έλεγχο της ευστάθειας του πρανούς, με σκοπό την διερεύνηση της δυνατότητας επιβολής των προτιμώμενων κλίσεων εκσκαφής και για τον προσδιορισμό των γεωτεχνικών συνθηκών, εκπονήθηκαν επιπρόσθετες έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις (forward numerical simulations). Η γεωμετρία του εξιδανικευμένου προσομοιώματος που αναλύθηκε, απεικονίζεται στην **Εικόνα 4.47**.



Εικόνα 4.47: Γεωμετρία της τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των προτιμώμενων κλίσεων εκσκαφής. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ενεργών τάσεων σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα.

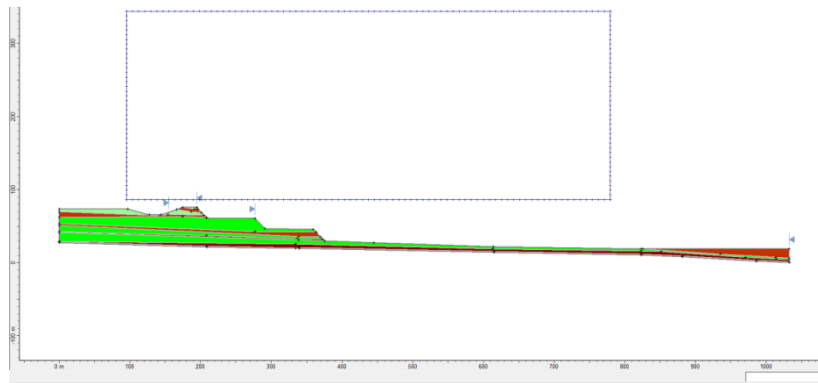
Πραγματοποιήθηκαν δυο έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις για την Τομή 33 (δύο λεπτά στρώματα αστοχίας). Οι ισοκαμπύλες του συντελεστή ασφαλείας για την δυσμενέστερη περίπτωση καθώς και οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης απεικονίζονται στην **Εικόνα 4.48** (σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο Παράρτημα).



Εικόνα 4.48: Ισοκαμπύλες της δυσμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των προτιμώμενων κλίσεων, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=2.332$.

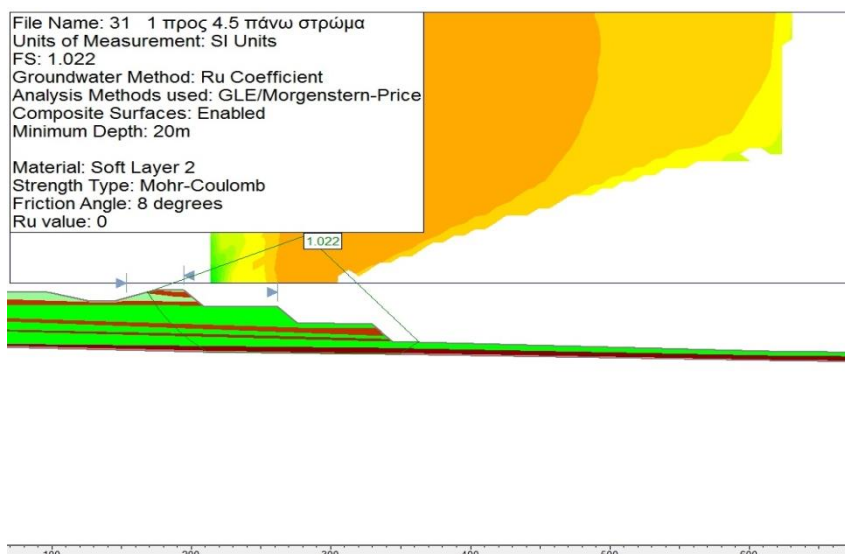
4.8.7. Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 31

Επιπρόσθετες έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις (forward numerical simulations) εκτελέστηκαν για τις προτεινόμενες (αναθεωρημένες – αυξημένες) κλίσεις εκσκαφών στην Τομή 31, με σκοπό τον έλεγχο της ευστάθειας του πρανού. Η γεωμετρία του μορφούμενου εξιδανικευμένου προσομοιώματος με κλίση 1:5,5 που αναλύθηκε, απεικονίζεται στην **Εικόνα 4.49**.



Εικόνα 4.49: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:4,5. Η ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ενεργών τάσεων σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα.

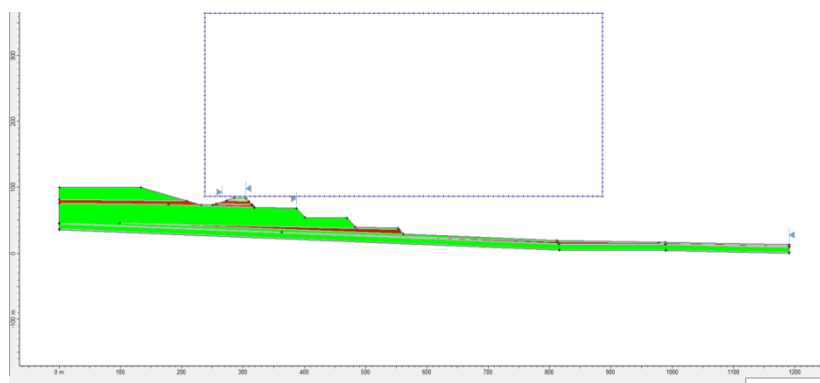
Εκπονήθηκαν έξι έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις για τις αναθεωρημένες εκσκαφές στην Τομή 31 (δύο λεπτά στρώματα αστοχίας x τρεις προτεινόμενες κλίσεις). Οι ισοκαμπύλες του συντελεστή ασφαλείας για την δυσμενέστερη περίπτωση καθώς και οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης απεικονίζονται στην **Εικόνα 4.50** (σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο Παράρτημα).



Εικόνα 4.50: Ισοκαμπύλες της δυσμενέστερης έμπροσθεν ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:4,5, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.022$.

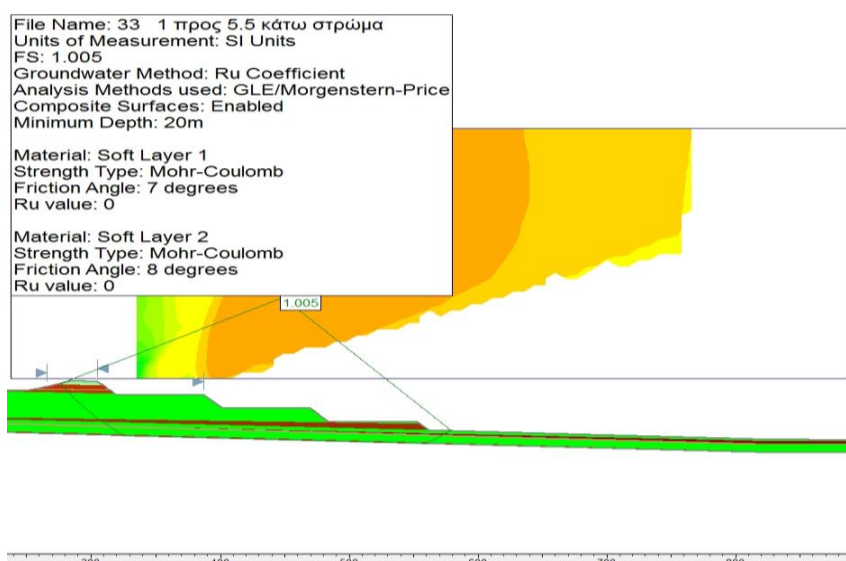
4.8.8. Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 33

Έμπροσθεν αριθμητικές αριθμητικές αναλύσεις (forward numerical simulations) εκτελέστηκαν για τις προτεινόμενες – αναθεωρημένες κλίσεις εκσκαφών στην Τομή 33, αποσκοπούν στον έλεγχο της ευστάθειας. Η γεωμετρία του μοντέλου με κλίση 1:5,5 που αναλύθηκε, απεικονίζεται στην **Εικόνα 4.51**.



Εικόνα 4.51: Γεωμετρία της Τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:5,5. Η ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ενεργών τάσεων σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα.

Εκτελέστηκαν έξι έμπροσθεν αριθμητικές αναλύσεις για τις αναθεωρημένες κλίσεις εκσκαφών στην Τομή 33 (δύο λεπτά στρώματα αστοχίας x τρεις προτεινόμενες κλίσεις). Οι ισοκαμπύλες του συντελεστή ασφαλείας για την δυσμενέστερη περίπτωση καθώς και οι βασικές παραδοχές της ανάλυσης απεικονίζονται στην **Εικόνα 4.52** (σημειώνεται ότι οι υπόλοιπες περιπτώσεις παρατίθενται στο Παράρτημα).



Εικόνα 4.52: Ισοκαμπύλες της δυσμενέστερης έμπροσθεν ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5,5, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.005$.

4.9. Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα των Θεωρήσεων

Για λόγους πληρότητας όσον αφορά το κομμάτι της ανάλυσης, στο παρόν εδάφιο, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά όλοι οι συντελεστές ασφαλείας που προέκυψαν από τις τέσσερις διαφορετικές θεωρήσεις που εκτελέστηκαν.

Στον **Πίνακα 4.5** καταγράφονται οι τιμές των συντελεστών ασφαλείας που προέκυψαν στην 1η προσέγγιση, κατά την οποία όλα τα γεωυλικά έχουν συνοχή και γωνία τριβής και ακολουθούν τον καταστατικό νόμο μηχανικής συμπεριφοράς Mohr – Coulomb. Η στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα εντοπίζεται στα -6m κάτω από την κοίτη του ποταμού και ακολουθεί καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς. Από εκεί και έως τα όρια του προσομοιώματος ακολουθεί την επιφάνεια του εδάφους. Όλες οι πιέσεις οι οποίες έχουν υπολογιστεί είναι υδροστατικές.

Πίνακας 4.5: Συγκεντρωτικά όλοι οι συντελεστές ασφαλείας που προέκυψαν για τη θεώρηση σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) με την στάθμη Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα -6m, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

		Αστοχία στο άνωθεν λεπτό στρώμα	Αστοχία στο κάτωθεν λεπτό στρώμα
Ανάστροφη ανάλυση	Τομή 29 Ιούλιος	1.007	1.030
Έμπροσθεν ανάλυση	Τομή 29 Σεπτέμβριος	1.173	1.160
	Τομή 31	1.328	1.377
	Τομή 33	2.371	2.358
Εκσκαφές	Τομή 31 1:4,5	0.995	0.965
	Τομή 31 1:5	1.041	1.016
	Τομή 31 1:5,5	1.100	1.080
	Τομή 33 1:4,5	1.015	0.956
	Τομή 33 1:5	1.078	1.016
	Τομή 33 1:5,5	1.153	1.093

Στον **Πίνακα 4.6** καταγράφονται οι τιμές των συντελεστών ασφαλείας που προέκυψαν στην 2^η προσέγγιση, κατά την οποία όλα τα γεωυλικά έχουν γωνία τριβής και ακολουθούν τον καταστατικό νόμο μηχανικής συμπεριφοράς Mohr – Coulomb

αλλά δεν έχουν συνοχή. Η στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα εντοπίζεται στα $-6m$ κάτω από την κοίτη του ποταμού και ακολουθεί καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανού. Από εκεί και έως τα όρια του προσομοιώματος ακολουθεί την επιφάνεια του εδάφους. Όλες οι πιέσεις οι οποίες έχουν υπολογιστεί είναι υδροστατικές.

Πίνακας 4.6: Συγκεντρωτικά όλοι οι συντελεστές ασφαλείας που προέκυψαν για τη θεώρηση σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) με την στάθμη Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανού.

		Αστοχία στο άνωθεν λεπτό στρώμα	Αστοχία στο κάτωθεν λεπτό στρώμα
Ανάστροφη ανάλυση	Τομή 29 Ιούλιος	1.027	1.034
	Τομή 29 Σεπτέμβριος	1.191	1.194
Έμπροσθεν ανάλυση	Τομή 31	1.301	1.365
	Τομή 33	2.250	2.255
	Τομή 31 1:4,5	0.931	0.887
Εκσκαφές	Τομή 31 1:5	0.995	0.940
	Τομή 31 1:5,5	1.071	1.001
	Τομή 33 1:4,5	0.963	0.915
	Τομή 33 1:5	1.034	0.979
	Τομή 33 1:5,5	1.125	1.056

Στον **Πίνακα 4.7** καταγράφονται οι τιμές των συντελεστών ασφαλείας που προέκυψαν στην θεώρηση 3η προσέγγιση, κατά την όλα τα γεωυλικά (εκτός από τις δύο λεπτές στρώσεις από τις οποίες περνάνε οι επιφάνειες αστοχίας) έχουν συνοχή και γωνία τριβής και ακολουθούν τον καταστατικό νόμο μηχανικής συμπεριφοράς Mohr – Coulomb. Η στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα εντοπίζεται στα $-6m$ κάτω από την κοίτη του ποταμού, να ακολουθεί καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανού. Από εκεί έως και τα όρια του προσομοιώματος ακολουθεί την επιφάνεια του εδάφους. Όλες οι πιέσεις οι οποίες έχουν υπολογιστεί είναι υδροστατικές.

υδροστατικές. Σε αυτές τις δύο λεπτές στρώσεις έχει γίνει η παραδοχή αστράγγιστων συνθηκών ($c=c_u$ και $\varphi=0$).

Πίνακας 4.7: Συγκεντρωτικά όλοι οι συντελεστές ασφαλείας που προέκυψαν για τη θεώρηση ολικών τάσεων σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$), με την στάθμη Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

		Αστοχία στο άνωθεν λεπτό στρώμα	Αστοχία στο κάτωθεν λεπτό στρώμα
Ανάστροφη ανάλυση	Τομή 29 Ιούλιος	1.015	1.027
	Τομή 29 Σεπτέμβριος	1.324	1.193
Έμπροσθεν ανάλυση	Τομή 31	1.701	1.676
	Τομή 33	2.232	2.235
	Τομή 31 1:4,5	1.183	1.094
Εκσκαφές	Τομή 31 1:5	1.245	1.152
	Τομή 31 1:5,5	1.320	1.223
	Τομή 33 1:4,5	1.165	1.101
	Τομή 33 1:5	1.230	1.163
	Τομή 33 1:5,5	1.315	1.241

Στον **Πίνακα 4.8** καταγράφονται οι τιμές των συντελεστών ασφαλείας που προέκυψαν στην θεώρηση 4^η προσέγγιση, κατά την όλα τα γεωυλικά έχουν γωνία τριβής και ακολουθούν τον καταστατικό νόμο μηχανικής συμπεριφοράς Mohr – Coulomb αλλά έχουν μηδενική συνοχή. Επιπλέον, έχει γίνει η παραδοχή ότι δεν υπάρχει Υπόγειος Υδροφόρος Ορίζοντας καθώς ο προσδιορισμός του είναι εξαιρετικά δύσκολος. Επομένως έχει ακολουθηθεί η λογική των ενεργών τάσεων και στην οποία ο συντελεστής πίεσης πόρων είναι μηδέν.

Πίνακας 4.8: Συγκεντρωτικά όλοι οι συντελεστές ασφαλείας που προέκυψαν για τη θεώρηση ενεργών τάσεων σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$), με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα.

		Αστοχία στο άνωθεν λεπτό στρώμα	Αστοχία στο κάτωθεν λεπτό στρώμα
Ανάστροφη ανάλυση	Τομή 29 Ιούλιος	1.043	1.035
Έμπροσθεν ανάλυση	Τομή 29 Σεπτέμβριος	1.126	1.086
	Τομή 31	1.491	1.493
	Τομή 33	2.332	2.384
Εκσκαφές	Τομή 31 1:4,5	1.022	1.039
	Τομή 31 1:5	1.060	1.072
	Τομή 31 1:5,5	1.105	1.109
	Τομή 33 1:4,5	0.918	0.912
	Τομή 33 1:5	0.967	0.954
	Τομή 33 1:5,5	1.026	1.005

4.10. Συμπεράσματα – Σχολιασμός

Ο σκοπός της παρούσας διερεύνησης είναι διττός. Αρχικά κρίθηκε απαραίτητο να προσδιοριστούν οι επιτρεπτές κλίσεις στα ορύγματα κατόπιν του τεχνητού αναχώματος (φράγμα) του Αλφειού. Επιπλέον, θεωρήθηκε ως μείζονος σημασίας να γίνει μια προσεκτική εκτίμηση των γεωτεχνικών συνθηκών, δεδομένου ότι στις μέχρι τώρα αναλύσεις χρησιμοποιούνταν εμπειρικές μέθοδοι.

Εκπονήθηκαν τέσσερις διαφορετικές προσεγγίσεις, η κάθε μία από τις οποίες αποσκοπούσε σε κάποιο διαφορετικό σκοπό. Ένα σημαντικό ερώτημα ήταν κατά πόσο η συνοχή των διάφορων στρωμάτων έχει σημαντική επίδραση στην ευστάθεια των πρανών. Το παραπάνω ερώτημα κρίθηκε σημαντικό καθώς οι μέχρι τώρα οι αναλύσεις, οι οποίες εκτελούνται από την Δ.Ε.Η. Α.Ε. για τη μελέτη και παρακολούθηση της ευστάθειας πρανών σε όλα τα ορυχεία της εταιρείας, εκτός των άλλων, γίνονται με την παραδοχή μηδενικής συνοχής. Για το λόγο αυτό στην πρώτη θεώρηση έγινε η παραδοχή ότι η στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα τοποθετείται στα -6m από την κοίτη του ποταμού, ενώ τα γεωυλικά θεωρούνται

συνεκτικά (όπως καταγράφεται στον Πίνακα 1), ενώ η επόμενη θεώρηση προβαίνει στην παραδοχή μη – συνεκτικών γεωυλικών. Η συγκεκριμένη παραδοχή κρίνεται εύλογη λόγω της αποτόνωσης που έχει υποστεί το υλικό, εξαιτίας της εκσκαφής, η συνοχή έχει μειωθεί αισθητά προσεγγίζοντας την παραμένουσα τιμή αυτής, ήτοι μηδενική. Επιπροσθέτως, η επιφάνεια αστοχίας ουσιαστικά ακολουθεί τα λεπτά στρώματα αργίλου, τα οποία εξορισμού δεν έχουν συνοχή, όπως έχει αναλυθεί παραπάνω. Επομένως, η επιρροή της συνοχής των υπόλοιπων στρωμάτων κρίνεται ως ήσσονος σημασίας καθώς η επιφάνεια αστοχίας δεν ακολουθεί μεγάλη διαδρομή εντός των υπολοίπων στρωμάτων.

Στη συνέχεια, έγινε μια προσπάθεια αριθμητικής διερεύνησης της ευσταθείας των πρανών με προσέγγιση ολικών τάσεων. Σε αυτή την θεώρηση όλα τα στρώματα, με εξαίρεση τα δύο λεπτά στρώματα αργίλου επί των οποίων πραγματοποιείται η αστοχία των πρανών, χαρακτηρίστηκαν και προσομοιώθηκαν ως συνεκτικά. Επίσης, διατηρήθηκε η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα στην προηγούμενη θέση αυτής. Για τα δύο λεπτά στρώματα θεωρήθηκε μηδενική γωνία τριβής και αστράγγιστες συνθήκες. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν θεωρήθηκαν μη – συντηρητικά, και ειδικά σε σχέση με αυτά τα οποία προέκυψαν στην επόμενη θεώρηση, η οποία αποτελεί και τη βάση σύγκρισης μιας και είναι η μοναδική, αν και εμπειρική, η οποία αποδεδειγμένα δίνει ορθά αποτελέσματα.

Στο τελευταίο στάδιο, οι αριθμητική διερεύνηση στηρίχθηκε πάνω στην θεώρηση ενεργών τάσεων. Εν προκειμένω δεν προσομοιώνει υδροφόρος ορίζοντας, αφού όπως έχει ήδη αναφερθεί ο προσδιορισμός του είναι μία εξαιρετικά δύσκολη κι επίπονη διαδικασία. Τα γεωυλικά χαρακτηρίζονται αποκλειστικά από την παραμένουσα τιμή της γωνία τριβής (ϕ) και μηδενική συνοχή ($c=0$). Ο συντελεστής πίεσης πόρων (λόγω παντελούς απουσίας του υπόγειου υδροφόρου στην προσομοίωση) είναι μηδενικός ($R_u=0$). Τα αποτελέσματα αυτής της τελευταίας θεώρησης, επιβεβαίωσαν την αρχική μελέτη του κ. Καββαδά, καθώς οι τελικές κλίσεις εκσκαφής οι οποίες προέκυψαν ήταν αντίστοιχες με αυτές που αρχικά προτεινόταν.

5. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1. Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα

Το παρόν εδάφιο πραγματεύεται παρατηρήσεις και συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την μελέτη της εμφανισθείσας ρωγμής στη στέψη του τεχνητού αναχώματος (φράγματος) του Αλφειού ποταμού.

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι διττός. Αρχικά κρίθηκε απαραίτητο να προσδιοριστούν οι επιτρεπτές κλίσεις εκσκαφής στα ορύγματα κατάντη του τεχνητού αναχώματος (φράγμα) του Αλφειού. Επιπλέον, θεωρήθηκε ως μείζονος σημασίας να γίνει μια προσεκτική εκτίμηση των γεωτεχνικών παραμέτρων αντοχής στα κρίσιμα στρώματα της περιοχής που αφορούν την διαμόρφωση της επιφάνειας ολίσθησης, δεδομένου ότι στις μέχρι τώρα αναλύσεις χρησιμοποιούνταν εμπειρικές μέθοδοι. Για όλους τους παραπάνω λόγους, έγιναν τέσσερις διαφορετικές θεωρήσεις για την βέλτιστη προσέγγιση της πραγματικότητας.

Στην αρχική εκτίμηση που πραγματοποιήθηκε, έγινε η υπόθεση, ότι η συνοχή ήταν ήσσονος σημασίας όσον αφορά την ευστάθεια του πρηνούς. Επομένως, ο σκοπός των δύο πρώτων θεωρήσεων ήταν να αποτιμηθεί κατά πόσο ήταν αληθής η εκτίμηση αυτή. Η θεώρηση συνεκτικού και μη – συνεκτικού εδάφους με την παράλληλη διατήρηση των υπολοίπων γεωτεχνικών παραμέτρων στις δύο πρώτες θεωρήσεις αντίστοιχα, έδωσε την δυνατότητα σύγκρισης των αποτελέσματα που προέκυψαν. Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν ήταν πολύ μικρές και συνεπώς, εξήχθη το συμπέρασμα ότι η συνοχή δεν παίζει καθοριστικό ρόλο στην ευστάθεια του κατάντη πρηνούς του τεχνητού αναχώματος. Το παραπάνω συμπέρασμα κρίθηκε λογικό, καθώς λόγω της αποτόνωσης που έχουν υποστεί τα γεωυλικά εξαιτίας των εκσκαφών του ορυχείου, έχουν απολέσει σημαντικό μέρος της συνοχής τους και σε συνδυασμό με την ύπαρξη των κρίσιμων στρωμάτων μηδενικής συνοχής, που αφορούν την διαμόρφωση της επιφάνειας ολίσθησης, η συνεισφορά της στην ευστάθεια των ορυγμάτων είναι αμελητέα.

Στη συνέχεια, έγινε μία θεώρηση ολικών τάσεων, κατά την οποία στα δύο προαναφερθέντα κρίσιμα στρώματα ίσχυαν αστράγγιστες συνθήκες ενώ στα υπόλοιπα γεωυλικά παρέμειναν αμετάβλητες οι γεωτεχνικές παράμετροι. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση θεωρήθηκαν μη – συντηρητικά καθώς έδωσαν τελικές κλίσεις εκσκαφών αρκετά υψηλές οι οποίες όταν εφαρμόστηκαν στα πρηνή δημιούργησαν το πρόβλημα που μελετήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Η τελευταία θεώρηση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με εμπειρικές θεωρήσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται από την Δ.Ε.Η. Α.Ε. για την αξιολόγηση της ευστάθειας πρανών σε όλα τα ορυχεία της εταιρίας. Σύμφωνα με τις υποδείξεις της εταιρίας, όλα τα γεωυλικά χαρακτηρίζονται αποκλειστικά από την παραμένουσα τιμή της γωνίας τριβής (φ) και μηδενική συνοχή ($c=0$). Επιπλέον, ο συντελεστής πίεσης πόρων (λόγω παντελούς απουσίας του υπόγειου υδροφόρου στην προσομοίωση) είναι μηδενικός ($R_u=0$). Αυτή η τελευταία θεώρηση αποτελεί και τη βάση σύγκρισης με τις υπόλοιπες θεωρήσεις αφού αποδεδειγμένα έχει δώσει ρεαλιστικά αποτελέσματα κατά το παρελθόν. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις διαπιστώθηκε ότι είναι αρκετά κοντά σε αυτά των δύο πρώτων θεωρήσεων, ενώ επιβεβαιώθηκε η ύπαρξη διαφοράς με τα αποτελέσματα της θεώρησης των ολικών τάσεων.

Τέλος, όσον αφορά τις κλίσεις εκσκαφής για την τελική διαμόρφωση του πρανούς, πραγματοποιήθηκε σύγκριση και αξιολόγηση όλων των δεδομένων που προέκυψαν από τις διάφορες θεωρήσεις. Η τελική απόφαση ήταν να διατηρηθεί η κλίση που προτεινόταν από την αρχική μελέτη του κ. Καββαδά (1:5,5) με παράλληλη διασφάλιση της τρισδιάστατης αντιστήριξης του ποδός (του πρανούς), μέσω του δεξιού και του αριστερού αντερείσματος, στο τμήμα του κοιτάσματος που βρίσκεται μεταξύ των σταθμών +320 έως +305 (δάπεδο λιγνίτη). Επιπλέον, θα πρέπει το τμήμα μεταξύ των συγκεκριμένων σταθμών να εκσκάπτεται τμηματικά και όσον το δυνατόν ταχύτερα, με ελαφρά μηχανικά μέσα και να πραγματοποιείται άμεση επανεπίχωση του εκσκαπτόμενου τμήματος, ώστε το πλάτος του τμήματος αυτού να μην υπερβαίνει τα 70 – 80m. Τέλος, προτείνεται η διενέργεια εκσκαφών να πραγματοποιείται μόνο κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, κατά την οποία οι πιεζομετρικές στάθμες είναι σχετικώς χαμηλές και οι υδραυλικές συνθήκες αναμένονται ευμενέστερες σε σχέση με τις αντίστοιχες της χειμερινής περιόδου.

5.2. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Σε κάθε γεωτεχνική μελέτη οι αβεβαιότητες που υπεισέρχονται είναι πολλές, ενώ και οι παραδοχές οι οποίες γίνονται, για την προσέγγιση της ιδεατής πραγματικότητας, ουσιαστικά είναι συμβάσεις και απλοποιήσεις κάποιας υφιστάμενης κατάστασης. Οι προτάσεις για περαιτέρω έρευνα που μπορούν να πραγματοποιηθούν για ένα πρόβλημα, όπως και στο παρόν, αφορούν πολλούς τομείς και δραστηριότητες.

Πιο συγκεκριμένα, για το παρόν πρόβλημα, με στόχο την καλύτερη προσέγγιση της πραγματικότητας, θα μπορούσαν να διενεργηθούν εργαστηριακές έρευνες και δοκιμές, μέσω των οποίων να προσδιοριστούν ακριβέστερα οι αντοχές των επί μέρους γεωλικών.

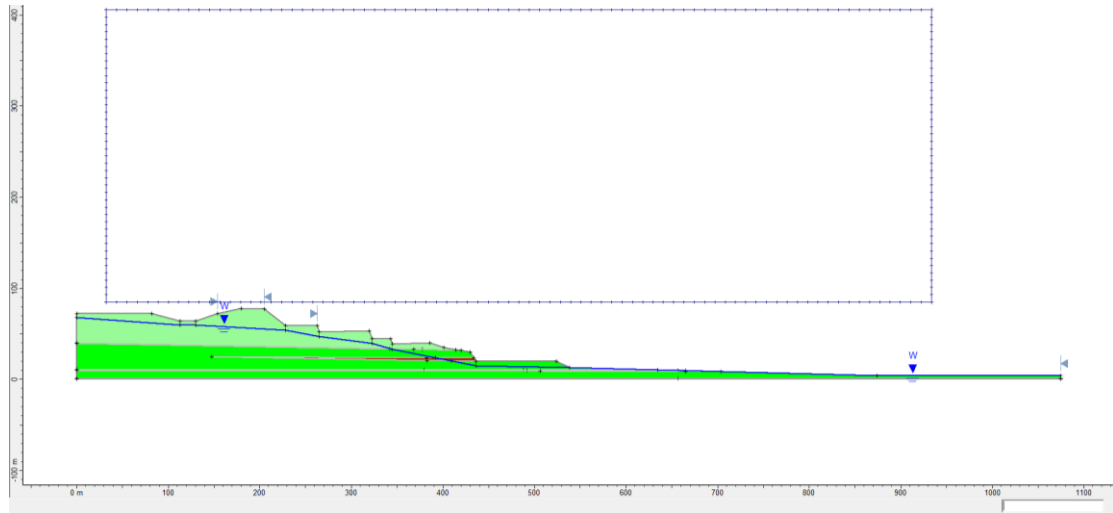
Επιπλέον, η διερεύνηση του συγκεκριμένου προβλήματος μέσω ενός τρισδιάστατου προσομοιώματος θα μπορούσε να παρέχει ακριβέστερες πληροφορίες για την βέλτιστη διαδικασία εκσκαφής που θα έπρεπε να ακολουθηθεί. Ειδικά, στη συγκεκριμένη περίπτωση μία τέτοια προσέγγιση θα ήταν ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα, καθώς θα μπορούσαν να προσομοιωθούν όλα τα διαφορετικά στάδια εκσκαφής και να αξιολογηθεί η επίδραση τους ξεχωριστά. Επίσης, η αξιολόγηση της προσφοράς των αντρευσμάτων στην ευστάθεια των ορυγμάτων θα ήταν σημαντική, καθώς στο μέτωπο εκσκαφής υπάρχει περίπτωση να εκσκάπτεται τμηματικά σε πλάτη όχι μεγαλύτερα των 100m.

Τέλος, μία πρόταση η οποία σίγουρα θα μπορούσε να προσφέρει σημαντικές επιπλέον πληροφορίες και να προσεγγίσει ακόμη περισσότερο την πραγματικότητα, θα ήταν ο καθορισμός της στάθμης του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα τόσο σε σχέση με την κοίτη του ποταμού όσο και μη την στάθμη των επιμέρους βαθμίδων εκσκαφής, καθώς θα προσέφερε τη δυνατότητα μίας πιο ρεαλιστικής προσομοίωσης.

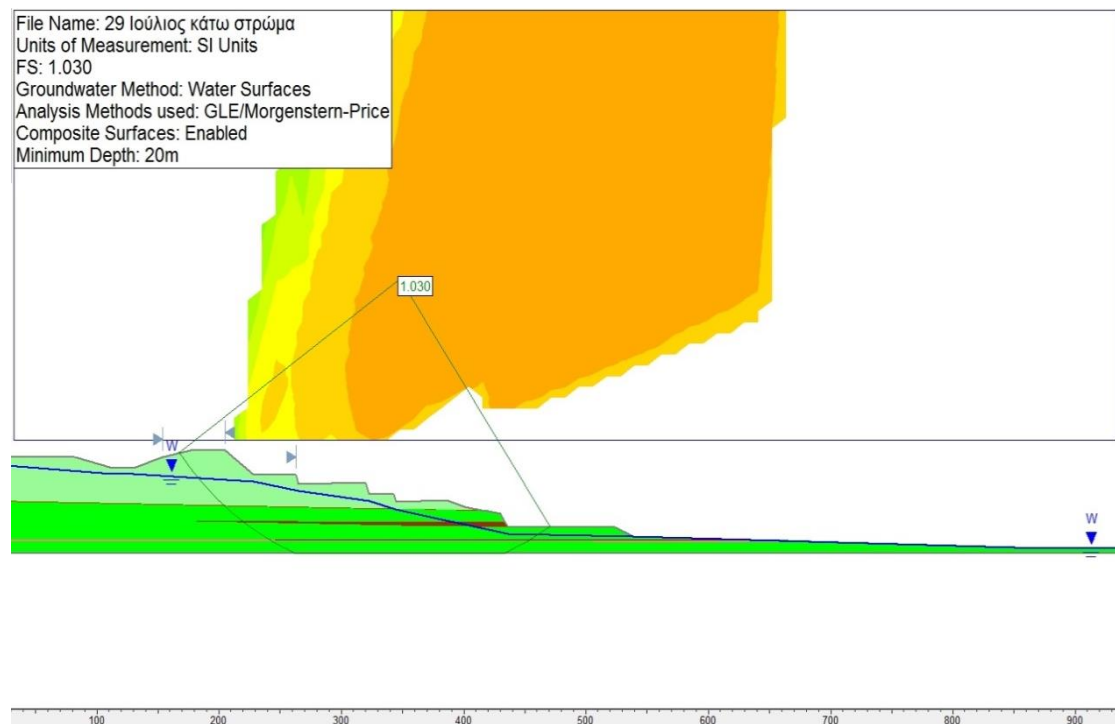
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Θεώρηση Συνεκτικού Εδάφους ($c, \varphi \neq 0$) με την Στάθμη Υδροφόρου στα -6m, από την Κοίτη του Ποταμού

Ανάστροφη Αριθμητική Προσομοίωση της Τομής 29 (Ιούλιος 2015)

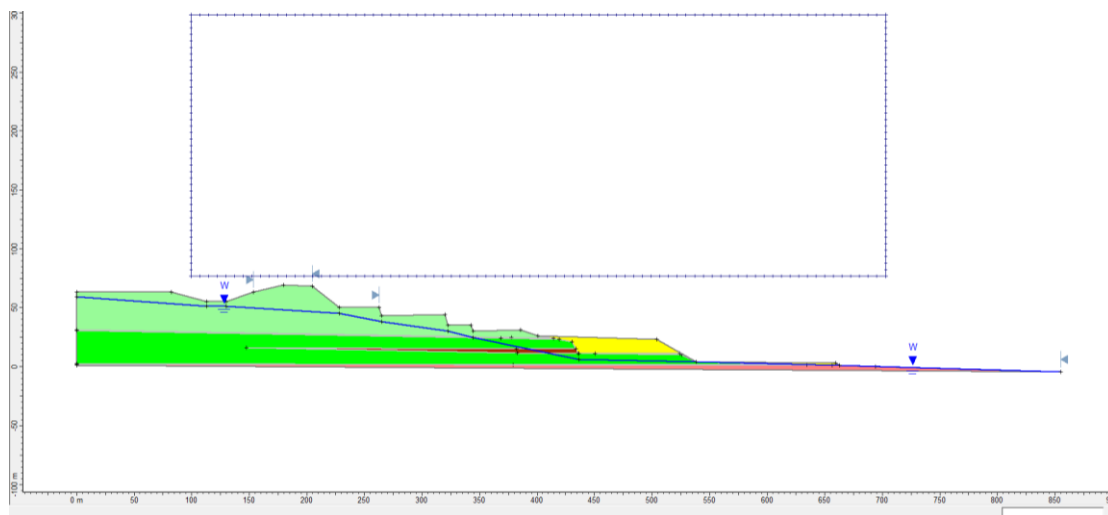


Εικόνα 1: Γεωμετρία της τομής 29 τον Ιούλιο 2015 που αναλύθηκε. Η ανάστροφη ανάλυση που εκπονήθηκε προβαίνει στη θεώρηση συνεκτικού εδάφους ($c, \varphi \neq 0$) με τη στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα να εντοπίζεται στα -6m, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

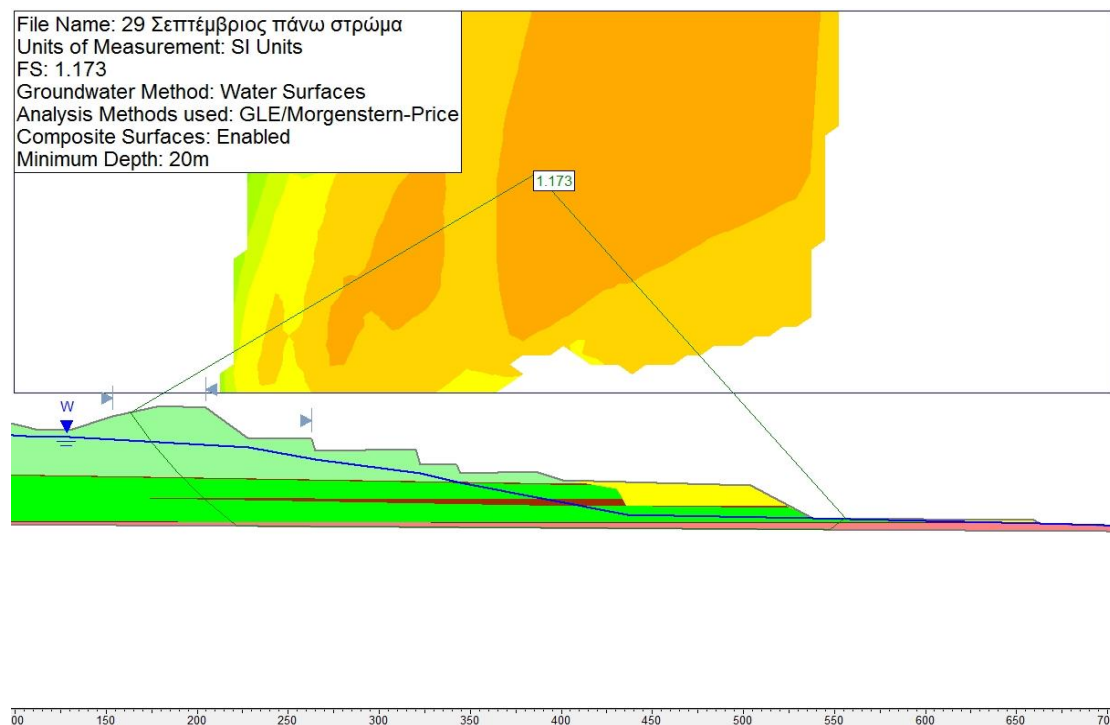


Εικόνα 2: Ισοκαμπύλες της ευμενέστερης ανάστροφης ανάλυσης της τομής 29, για συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου στα -6m, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας $FS=1.030$.

Εκτίμηση της Επάρκειας των Μέτρων Αντιστήριξης στην Τομή 29 (Σεπτέμβριος 2015)

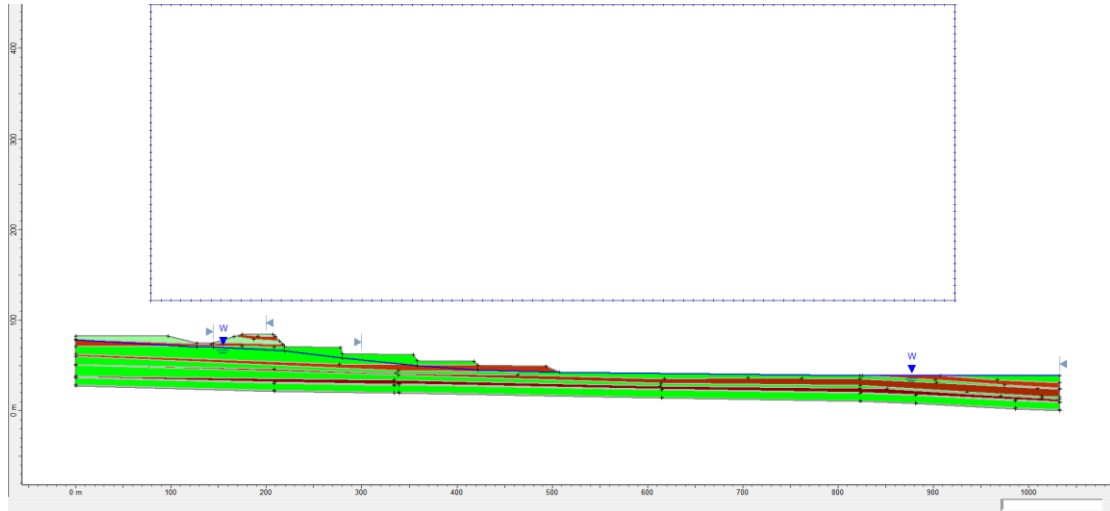


Εικόνα 3: Γεωμετρία της Τομής 29 τον Σεπτέμβριο 2015 που αναλύθηκε, για τον έλεγχο επάρκειας των μέτρων αντιστήριξης. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση συνεκτικού εδάφους ($c, \phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρηνούς.

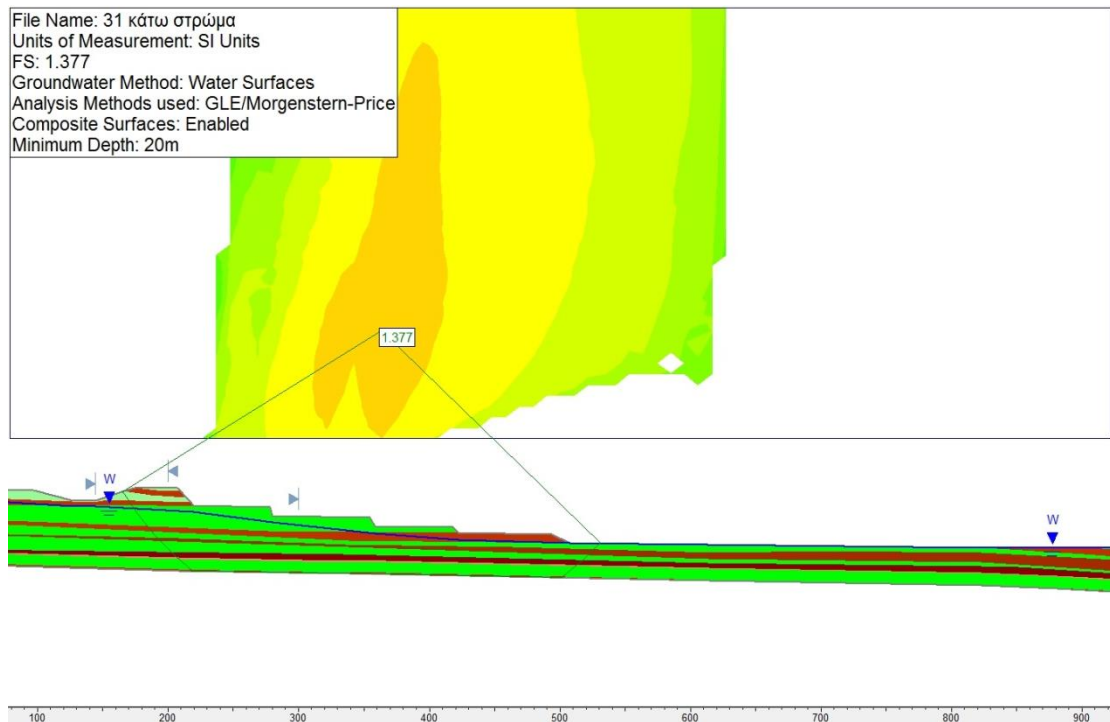


Εικόνα 4: Ισοκαμπύλες της ευμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 29 για τον έλεγχο επάρκειας των μέτρων αντιστήριξης, σε συνεκτικό έδαφος ($c, \phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρηνούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.173$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Επιβολής των Προτιμώμενων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 31

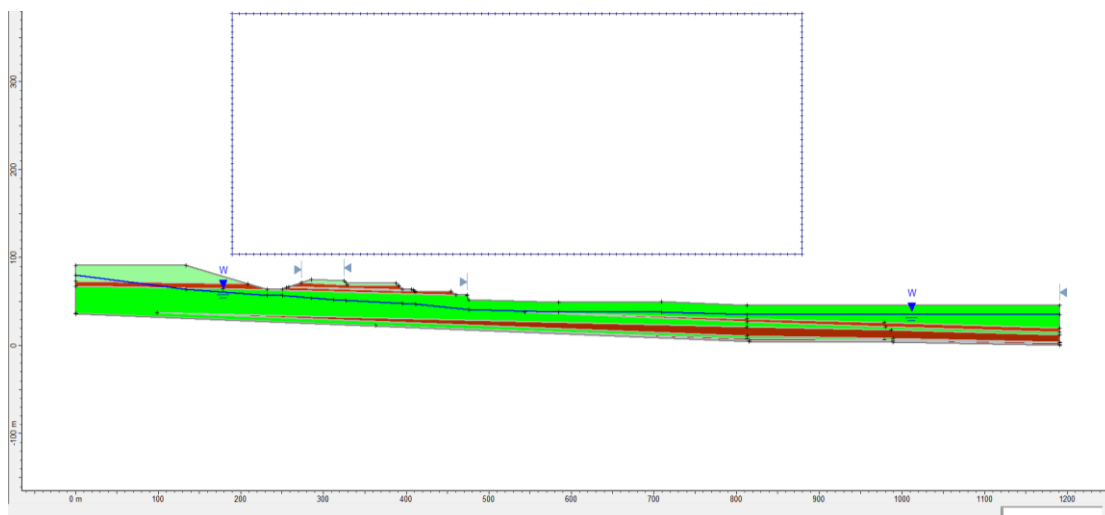


Εικόνα 5: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των προτιμώμενων κλίσεων εκσκαφής. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση συνεκτικού εδάφους ($c, \phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

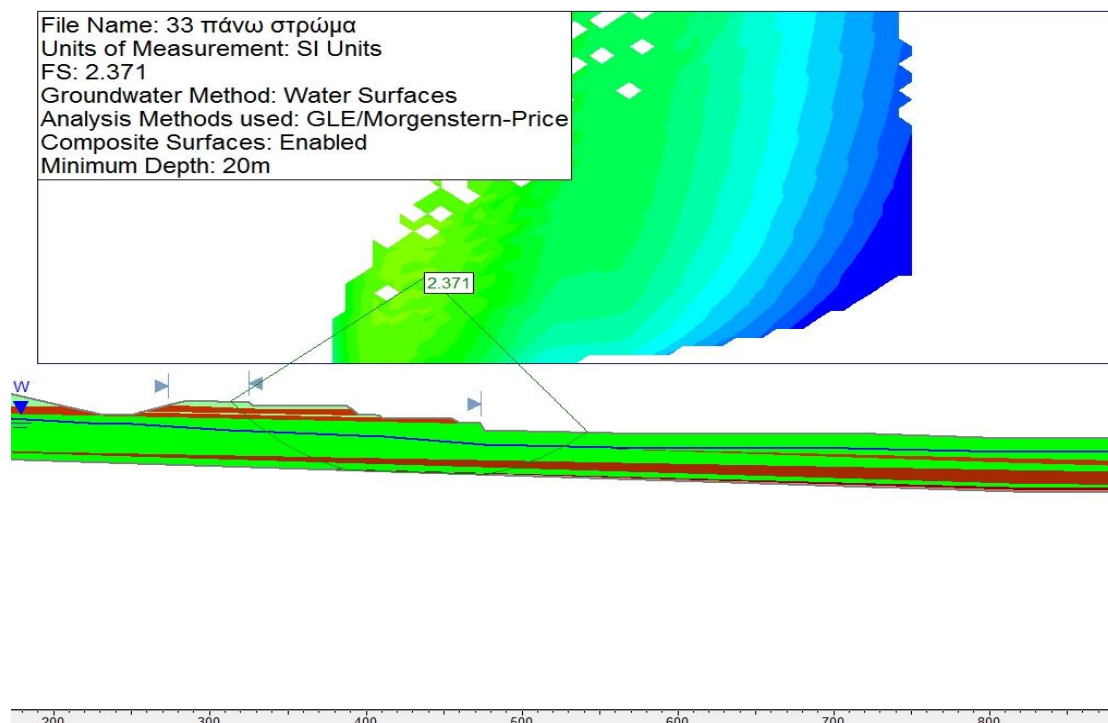


Εικόνα 6: Ισοκαμπύλες της ευμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των προτιμώμενων κλίσεων, σε συνεκτικό έδαφος ($c, \phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.377$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Επιβολής των Προτιμώμενων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 33

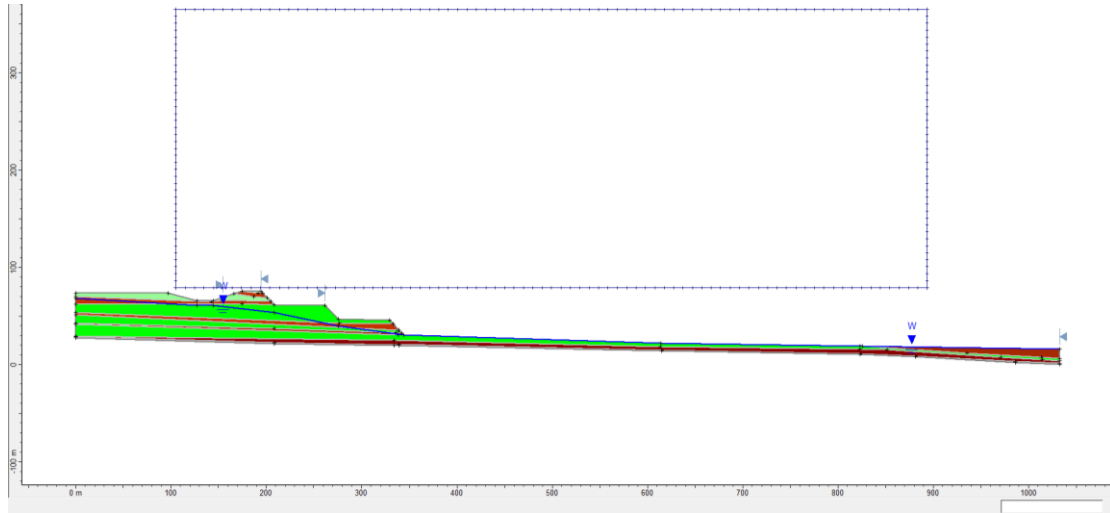


Εικόνα 7: Γεωμετρία της τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των προτιμώμενων κλίσεων εκσκαφής. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση συνεκτικού εδάφους ($c, \phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

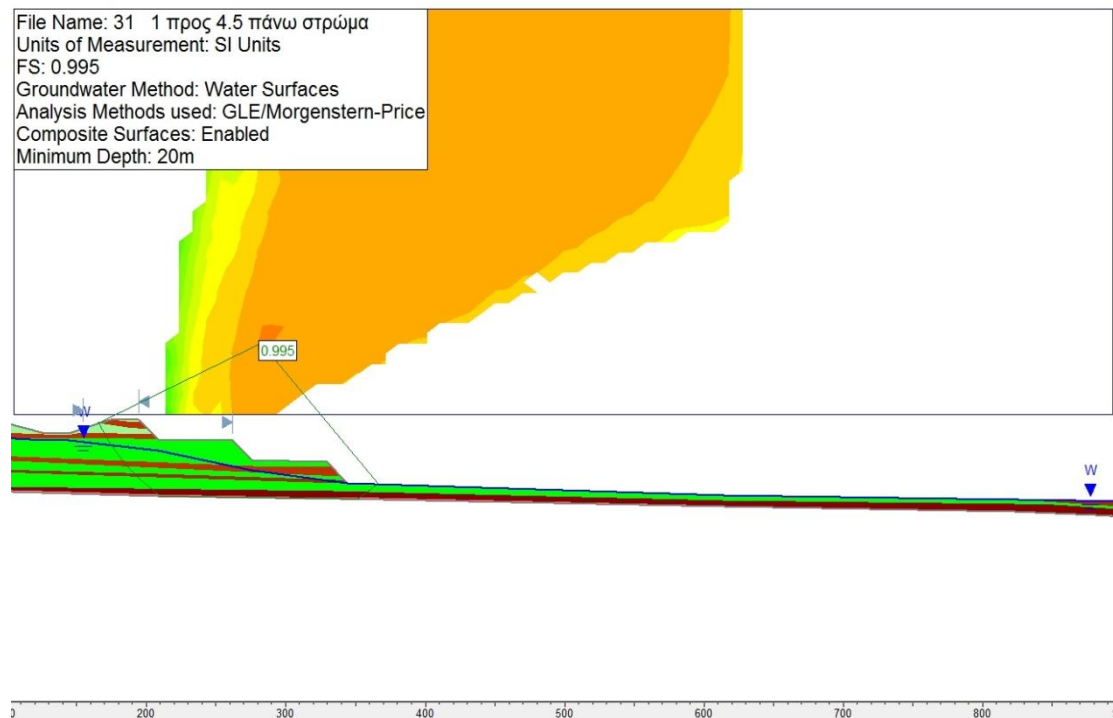


Εικόνα 8: Ισοκαμπύλες της ευμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των προτιμώμενων κλίσεων, σε συνεκτικό έδαφος ($c, \phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=2.371$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 31 με Κλίση 1:4,5

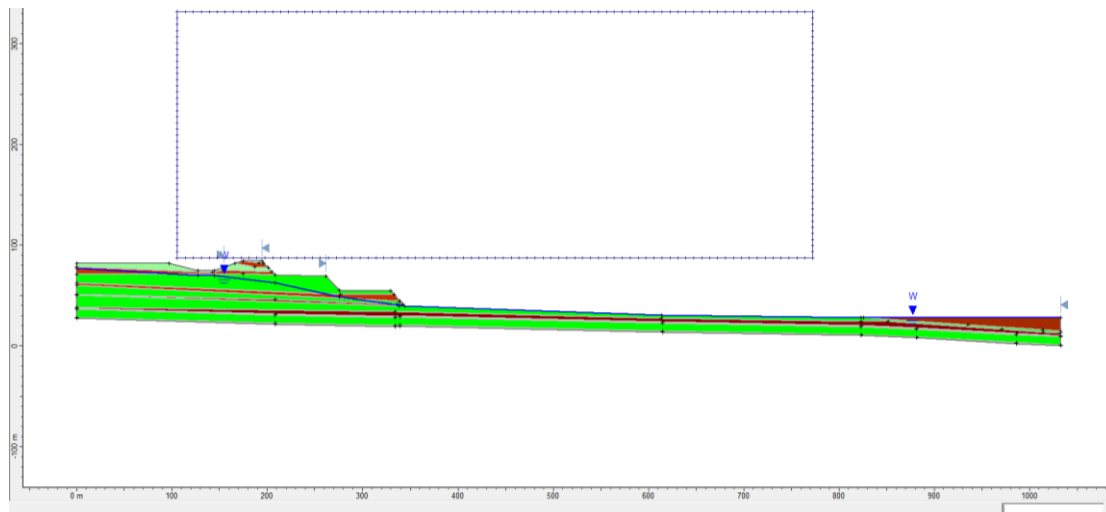


Εικόνα 9: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:4,5. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση συνεκτικού εδάφους (c , $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

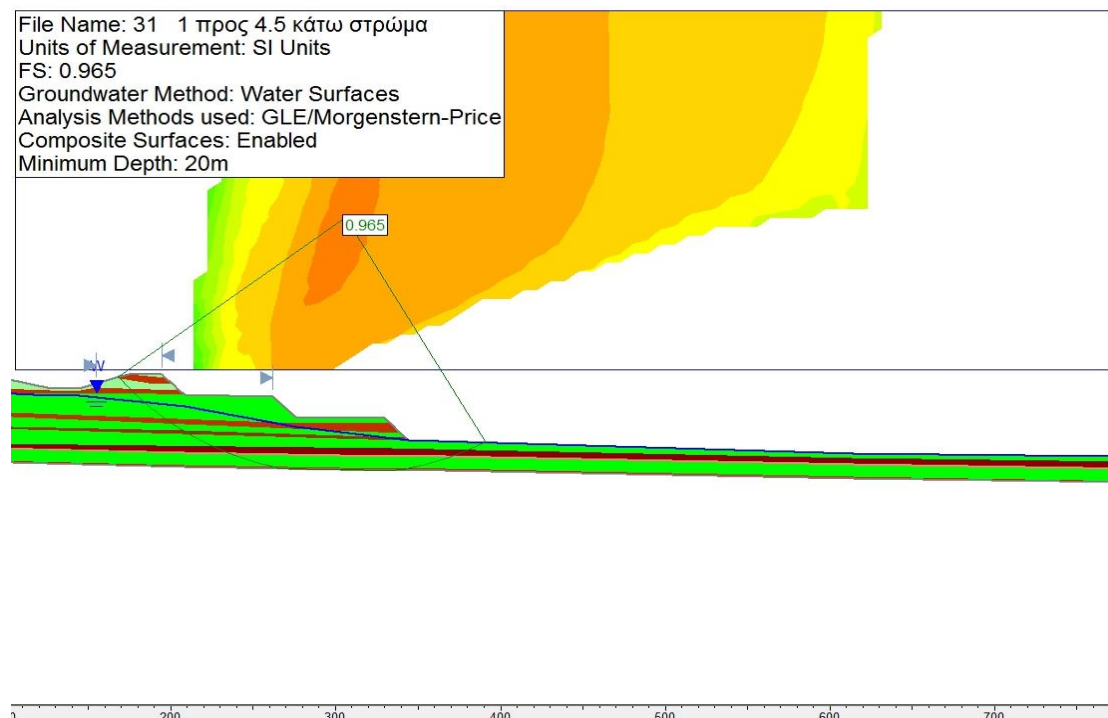


Εικόνα 10: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:4,5, σε συνεκτικό έδαφος (c , $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=0.995$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εσκαφής στην Τομή 31 με Κλίση 1:4,5

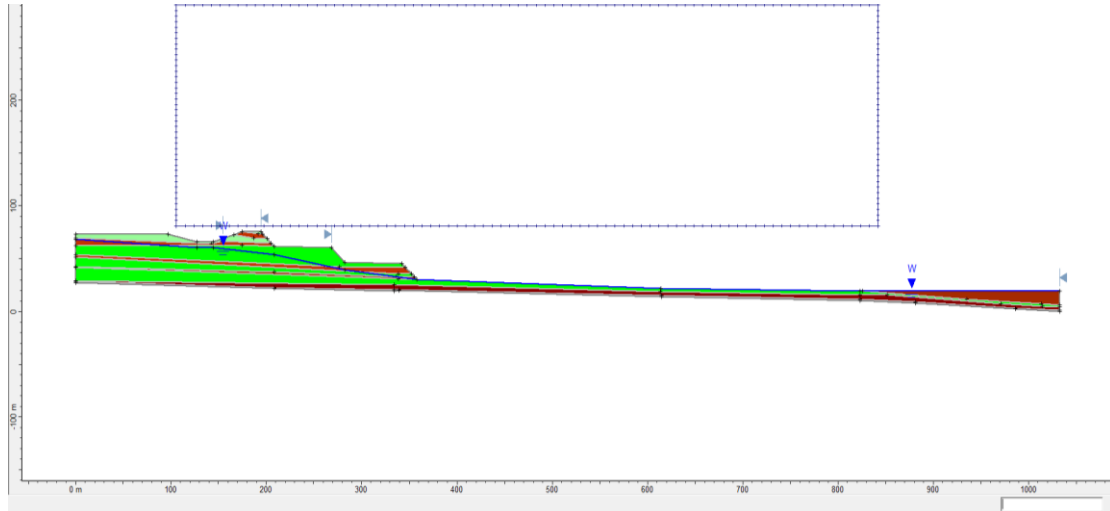


Εικόνα 11: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εσκαφής 1:4,5. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση συνεκτικού εδάφους (c , $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

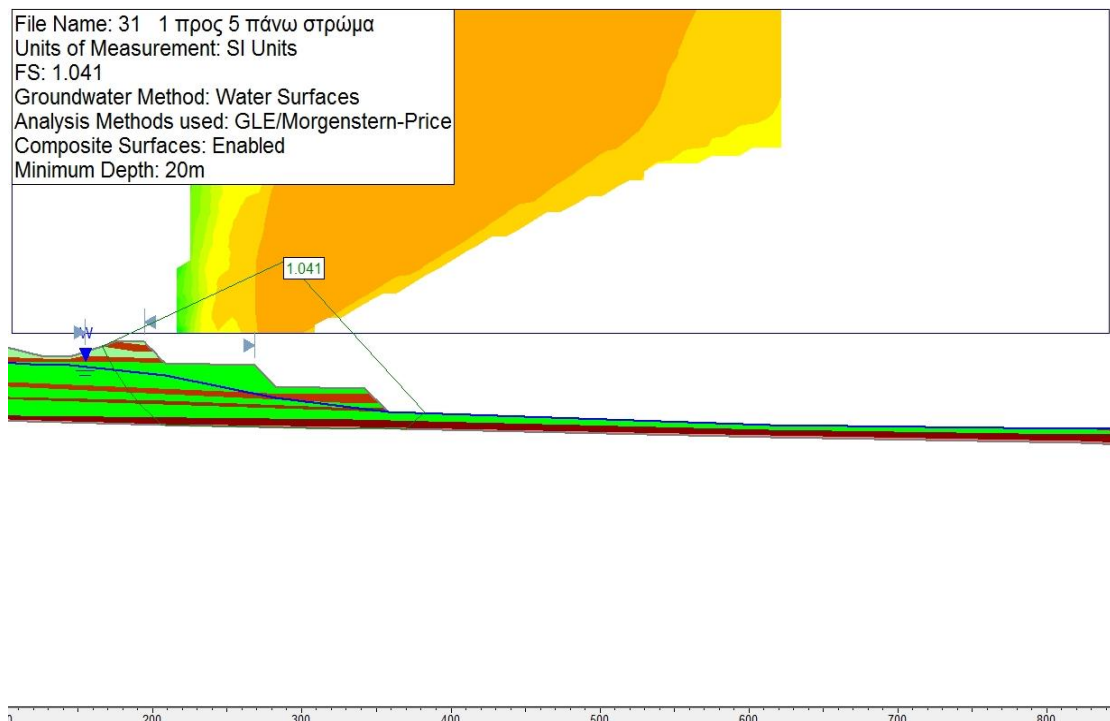


Εικόνα 12: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:4,5, σε συνεκτικό έδαφος (c , $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=0.965$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 31 με Κλίση 1:5

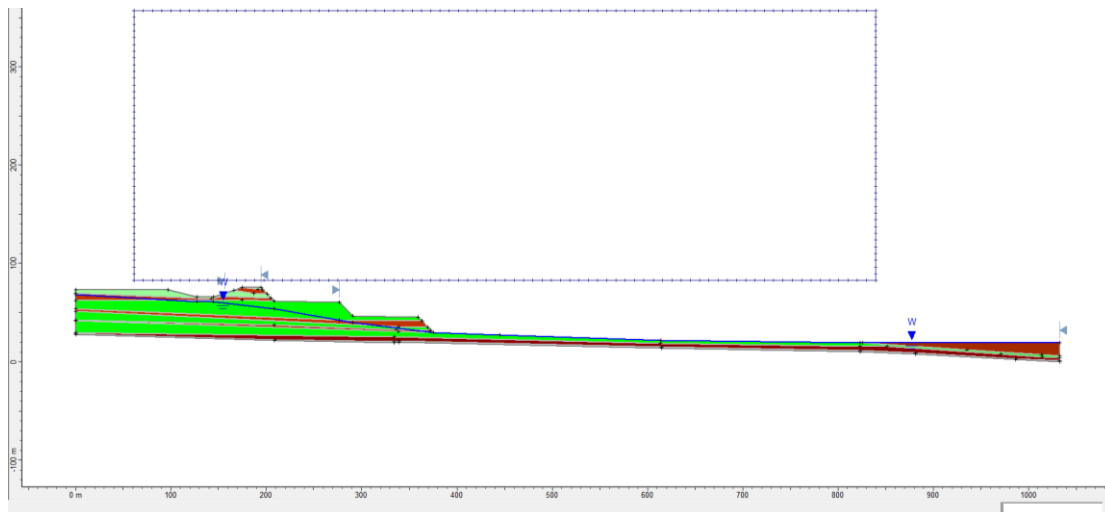


Εικόνα 13: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:5. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση συνεκτικού εδάφους (c , $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανού.

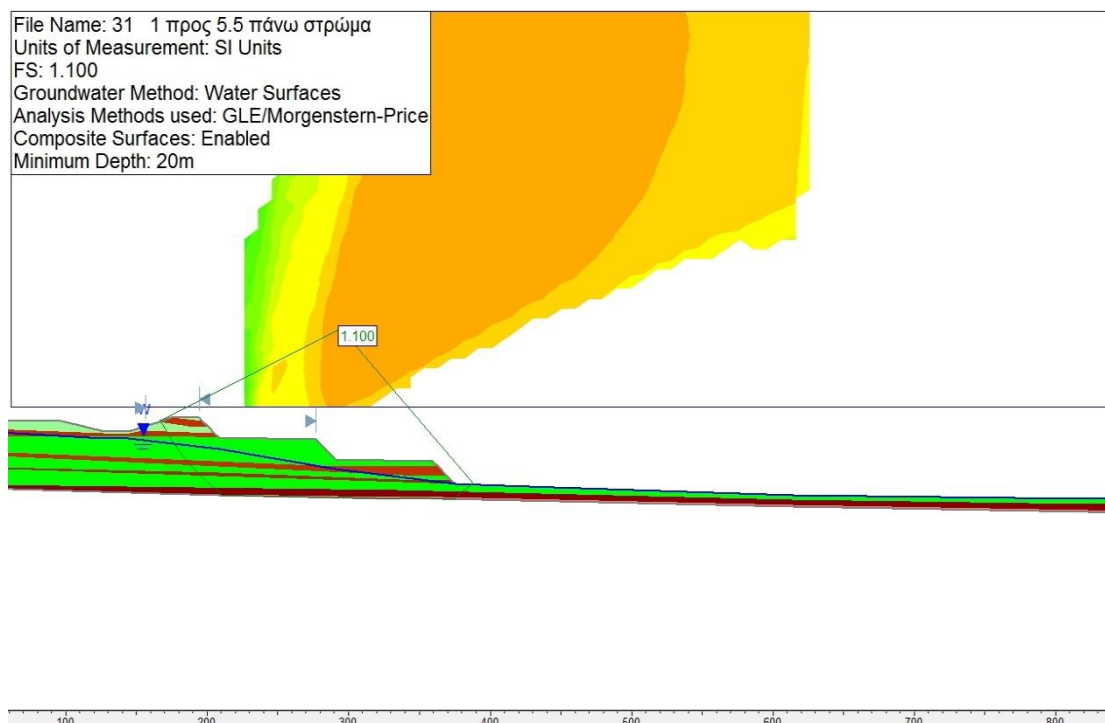


Εικόνα 14: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5, σε συνεκτικό έδαφος (c , $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανού, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.041$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εσκαφής στην Τομή 31 με Κλίση 1:5,5

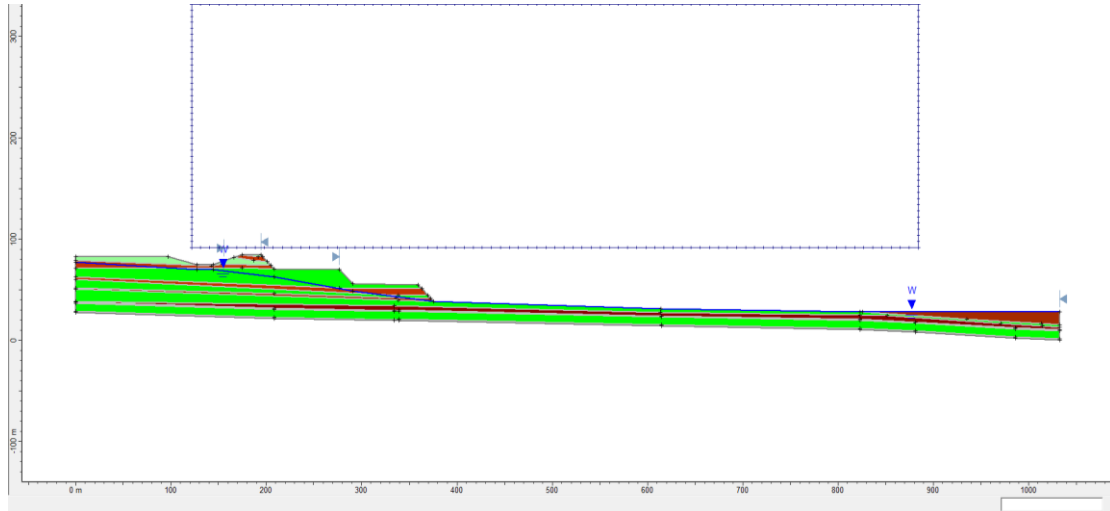


Εικόνα 15: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εσκαφής 1:5,5. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση συνεκτικού εδάφους (c , $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρσανούς.

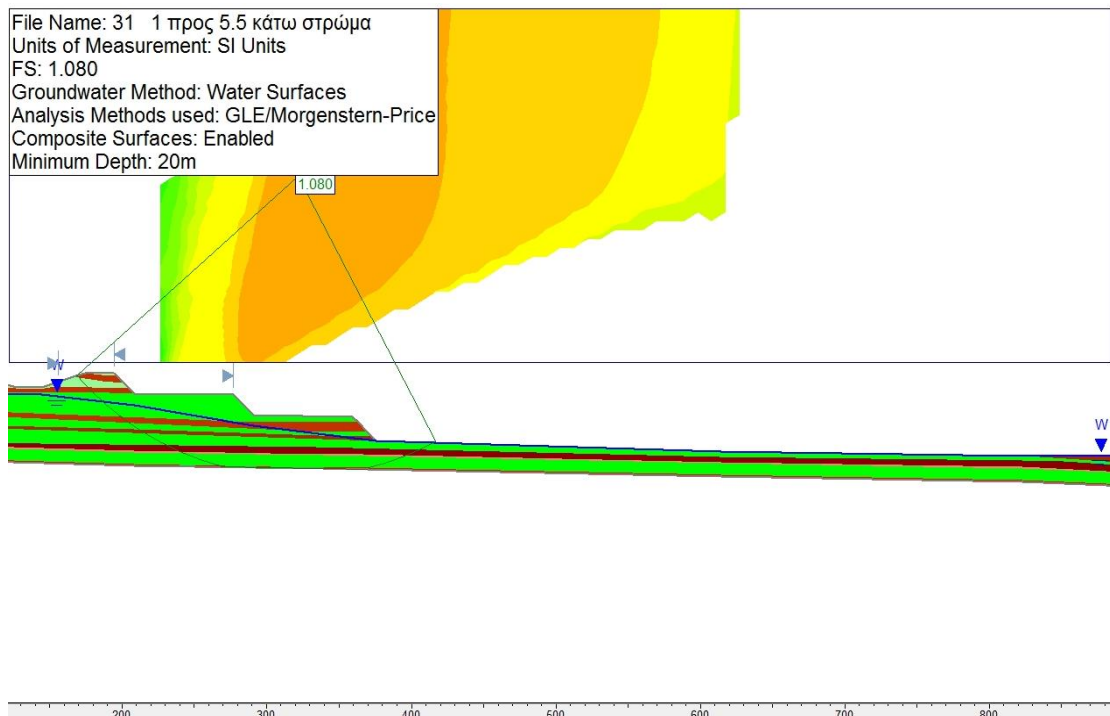


Εικόνα 16: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5,5, σε συνεκτικό έδαφος (c , $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρσανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.100$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 31 με Κλίση 1:5,5

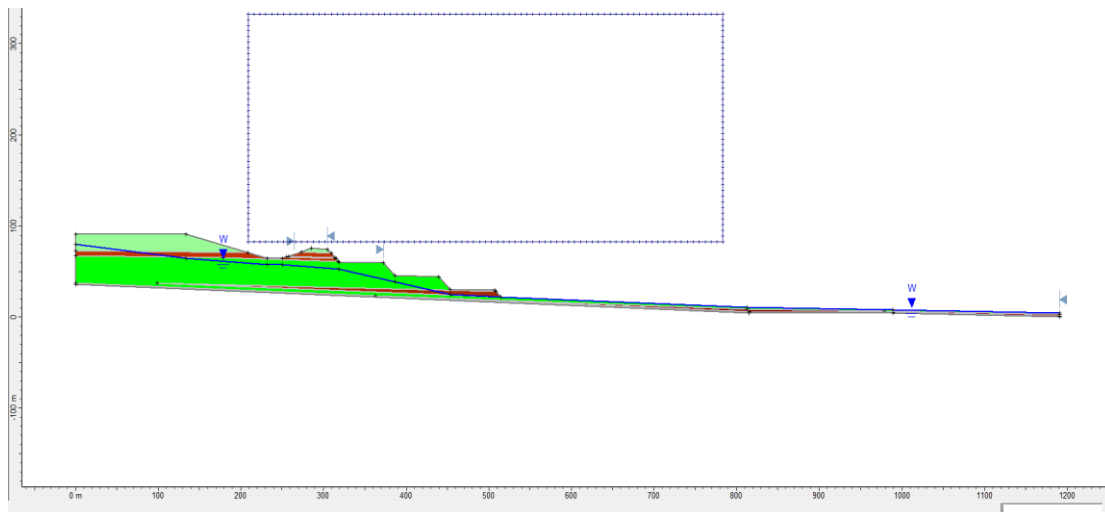


Εικόνα 17: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:5,5. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση συνεκτικού εδάφους (c , $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

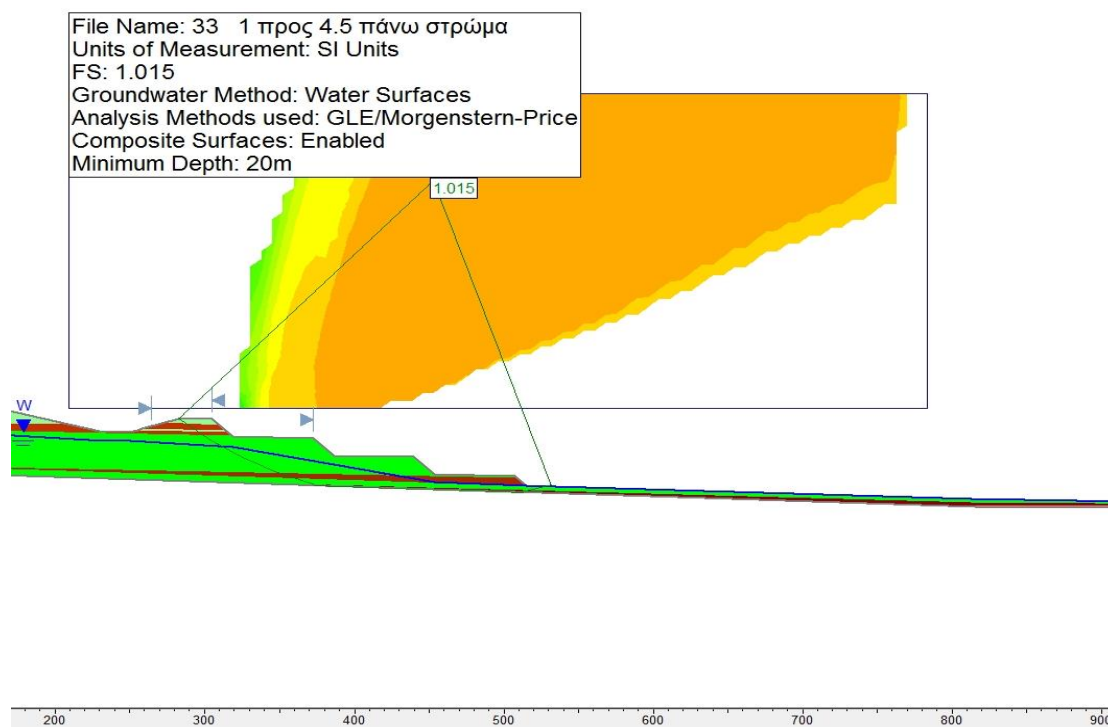


Εικόνα 18: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5,5, σε συνεκτικό έδαφος (c , $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.080$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εσκαφής στην Τομή 33 με Κλίση 1:4,5

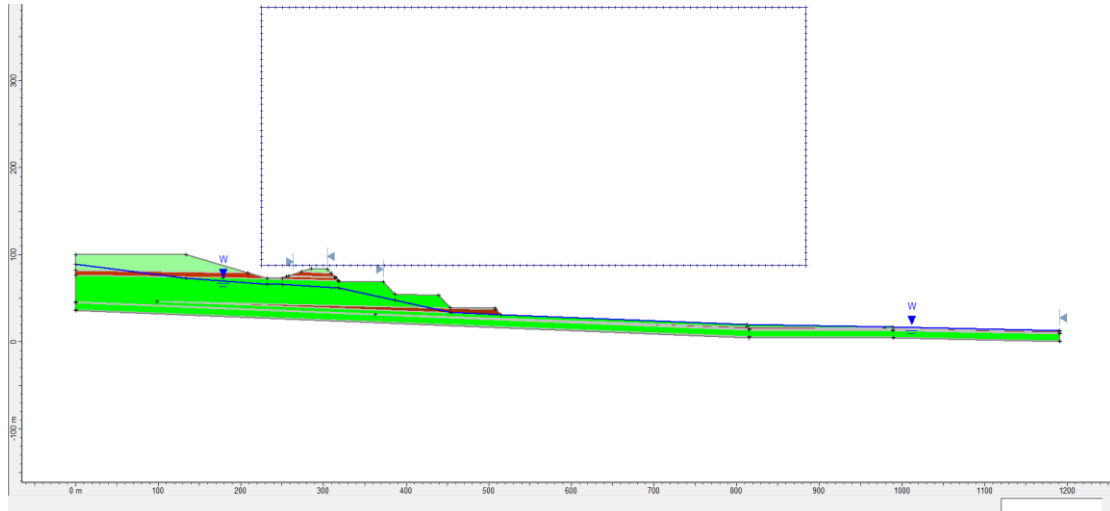


Εικόνα 19: Γεωμετρία της Τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εσκαφής 1:4,5. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση συνεκτικού εδάφους (c , $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρσανούς.

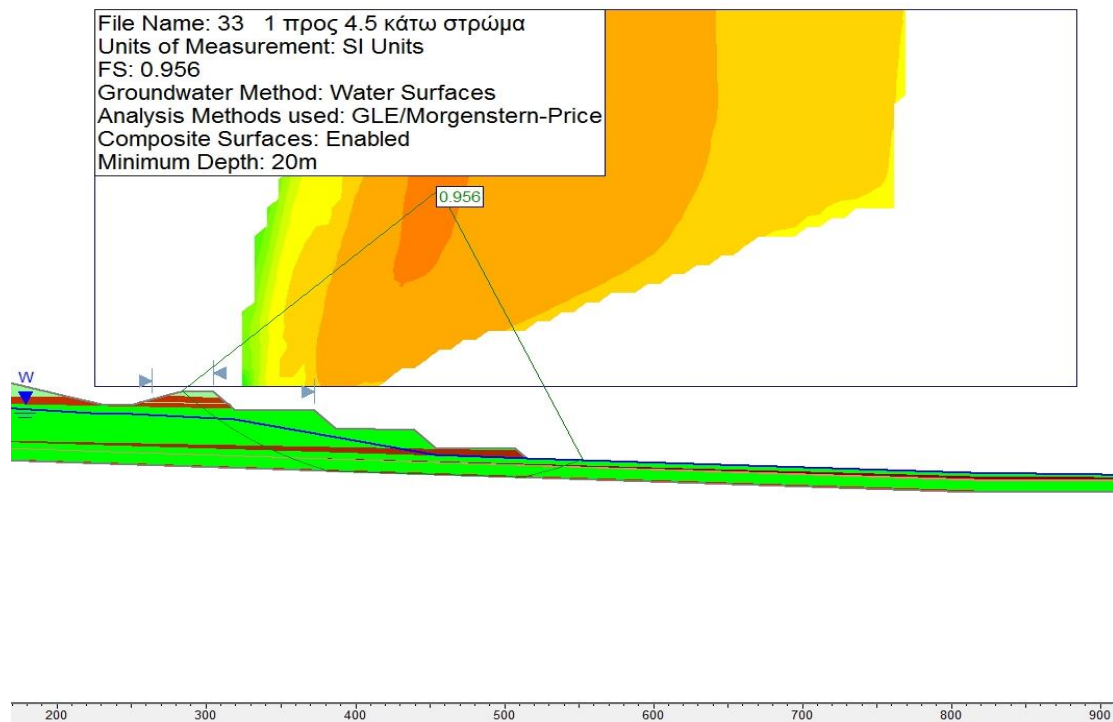


Εικόνα 20: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:4,5, σε συνεκτικό έδαφος (c , $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρσανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.015$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 33 με Κλίση 1:4,5

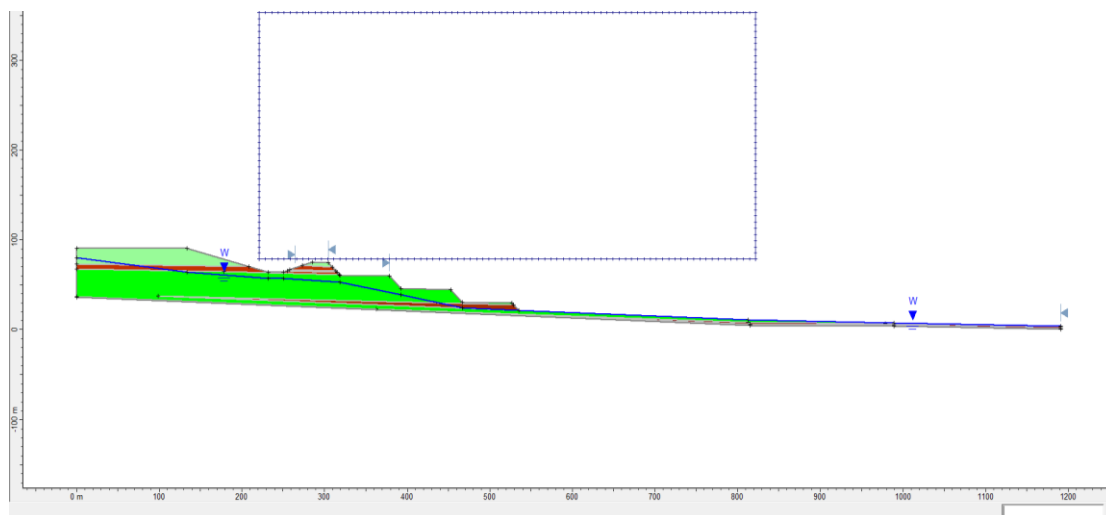


Εικόνα 21: Γεωμετρία της Τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:4,5. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση συνεκτικού εδάφους (c , $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

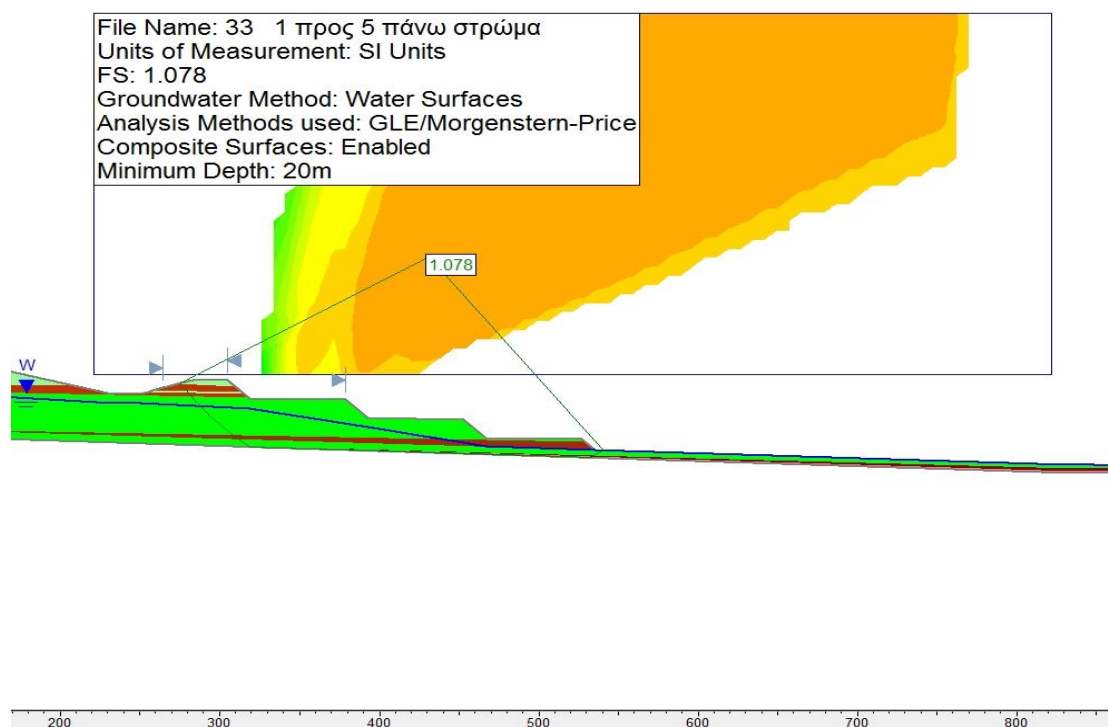


Εικόνα 22: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:4,5, σε συνεκτικό έδαφος (c , $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=0.956$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 33 με Κλίση 1:5

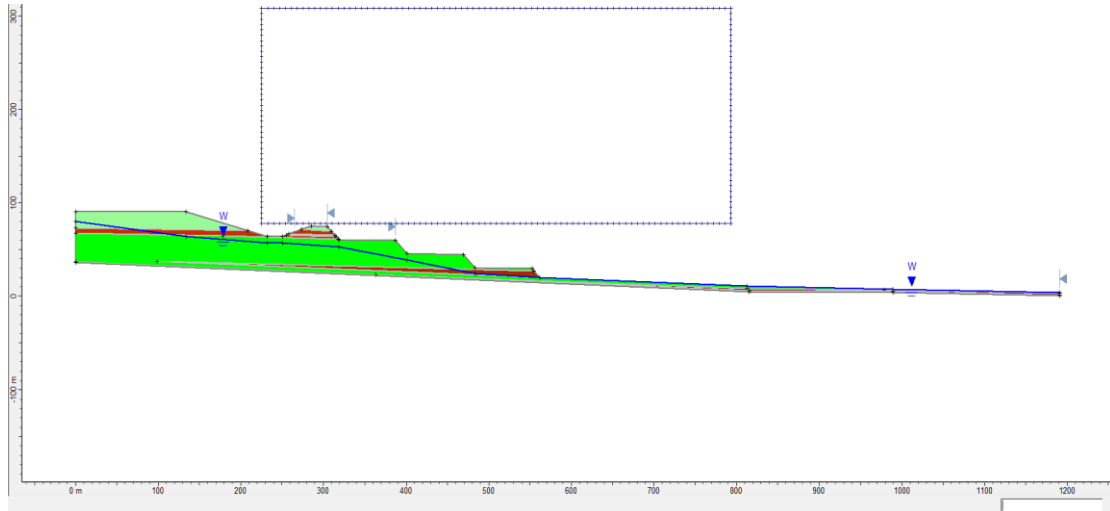


Εικόνα 23: Γεωμετρία της Τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:5. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση συνεκτικού εδάφους (c , $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

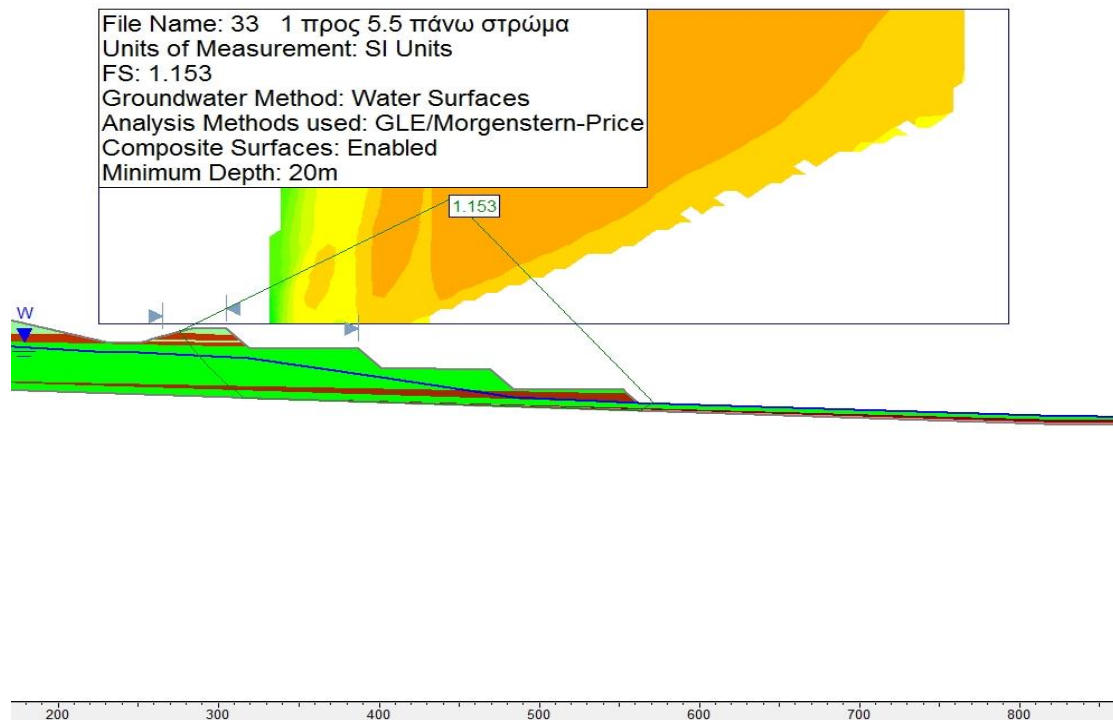


Εικόνα 24: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5, σε συνεκτικό έδαφος (c , $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.078$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 33 με Κλίση 1:5,5

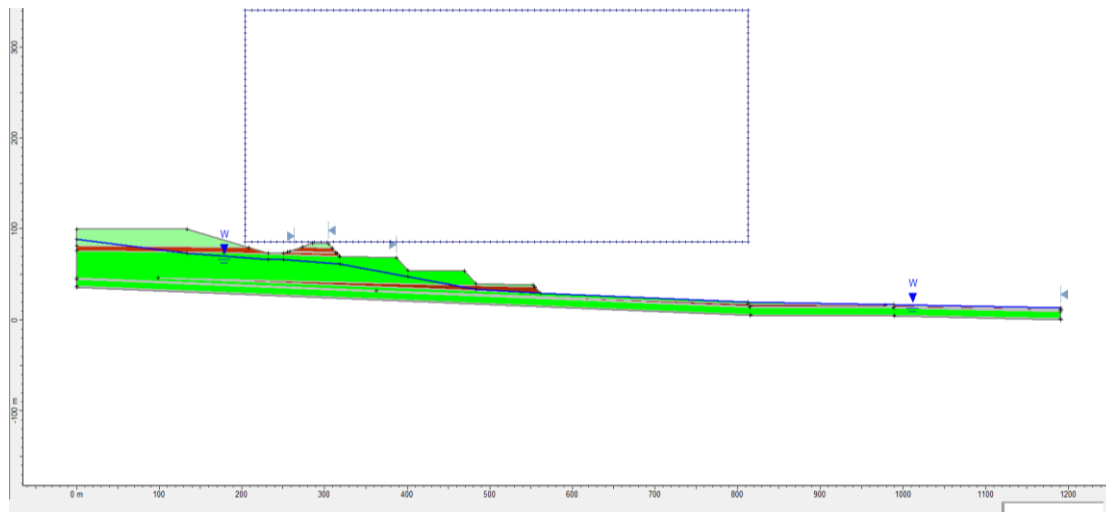


Εικόνα 25: Γεωμετρία της Τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:5,5. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση συνεκτικού εδάφους (c , $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

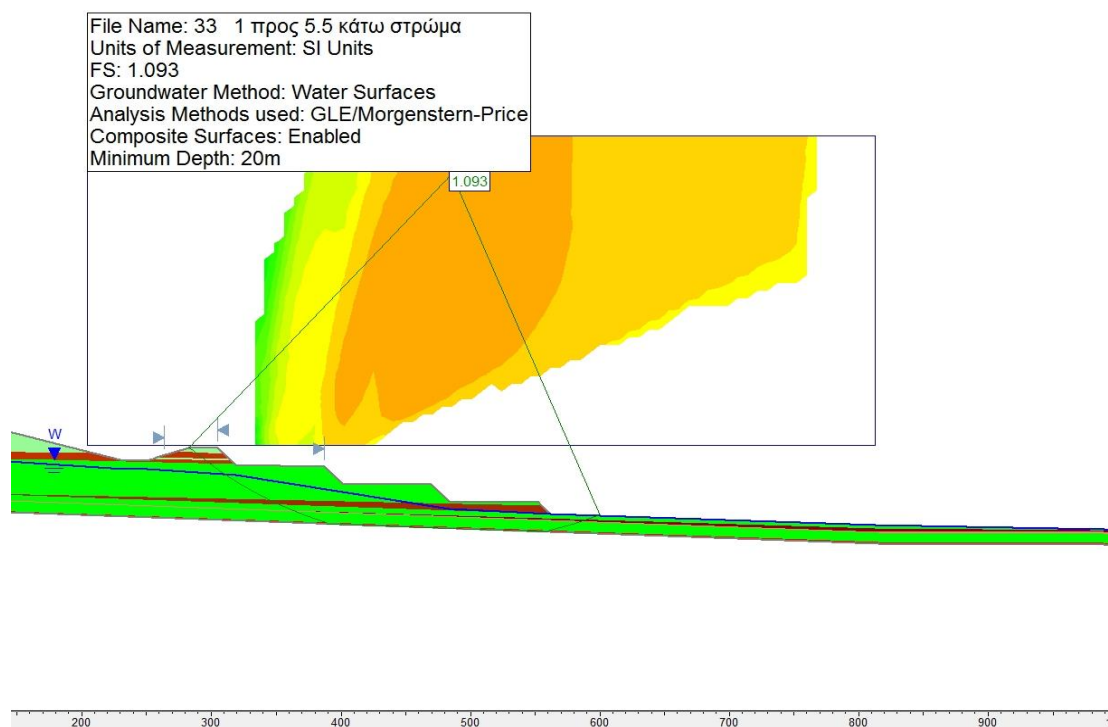


Εικόνα 26: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5,5, σε συνεκτικό έδαφος (c , $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.153$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εσκαφής στην Τομή 33 με Κλίση 1:5,5



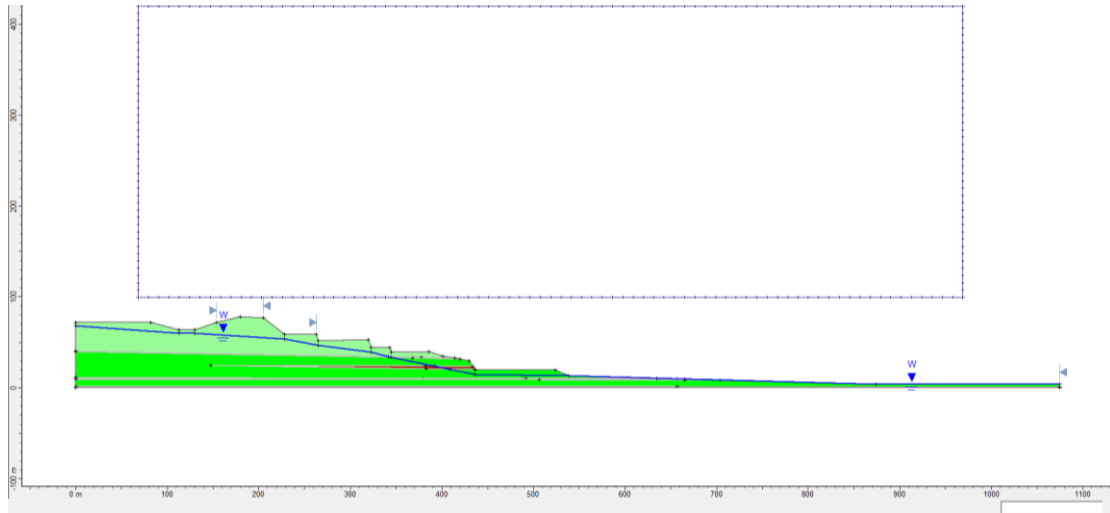
Εικόνα 27: Γεωμετρία της Τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εσκαφής 1:5,5. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση συνεκτικού εδάφους (c , $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.



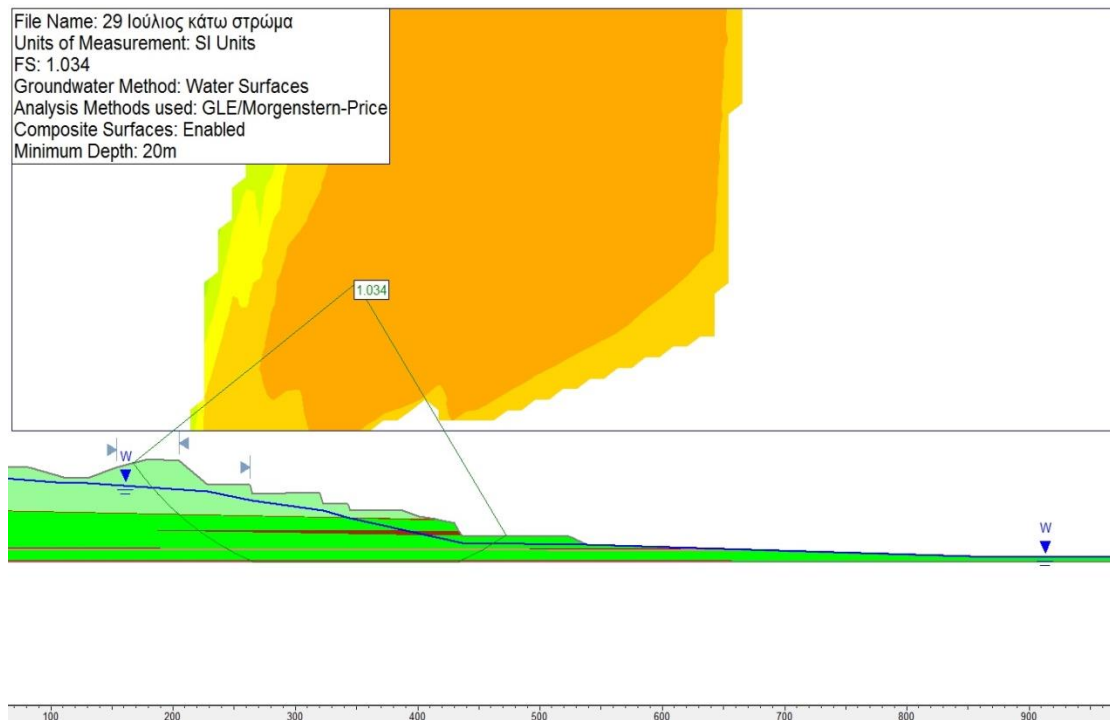
Εικόνα 28: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5,5, σε συνεκτικό έδαφος (c , $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.093$.

Θεώρηση Μη – Συνεκτικού Εδάφους ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με την Στάθμη Υδροφόρου στα -6m, από την Κοίτη του Ποταμού

Ανάστροφη Αριθμητική Προσομοίωση της Τομής 29 (Ιούλιος 2015)

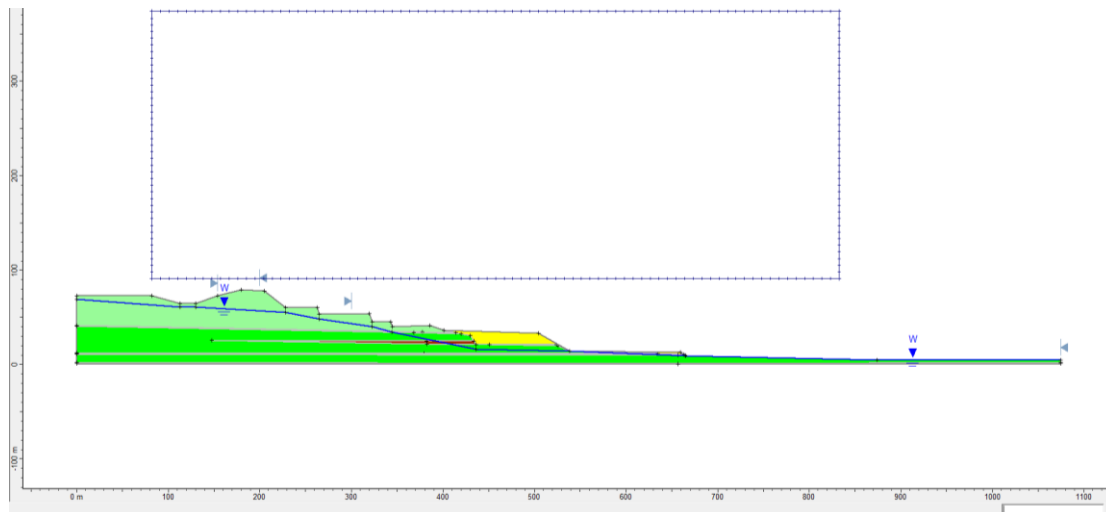


Εικόνα 29: Γεωμετρία της τομής 29 τον Ιούλιο 2015 που αναλύθηκε. Η ανάστροφη ανάλυση που εκπονήθηκε προβαίνει στη θεώρηση μη – συνεκτικού εδάφους ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με τη στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα -6m, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

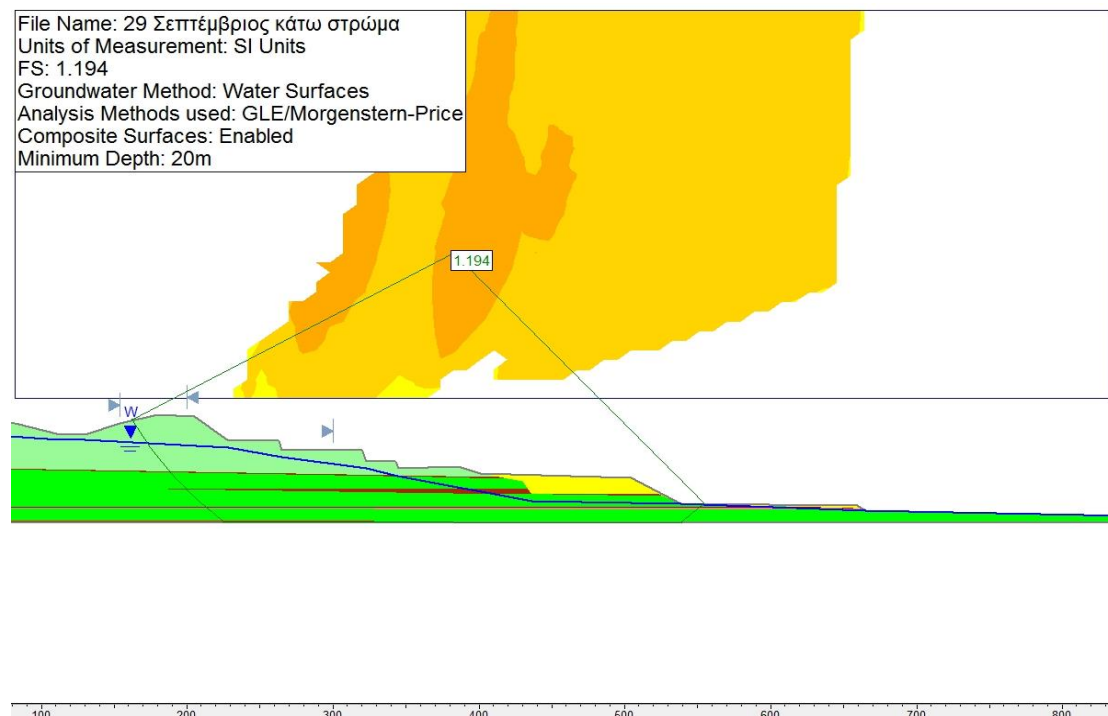


Εικόνα 30: Ισοκαμπύλες της ευμενέστερης ανάστροφης ανάλυσης της τομής 29, για μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\varphi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου στα -6m, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας $FS=1.034$.

Εκτίμηση της Επάρκειας των Μέτρων Αντιστήριξης στην Τομή 29 (Σεπτέμβριος 2015)

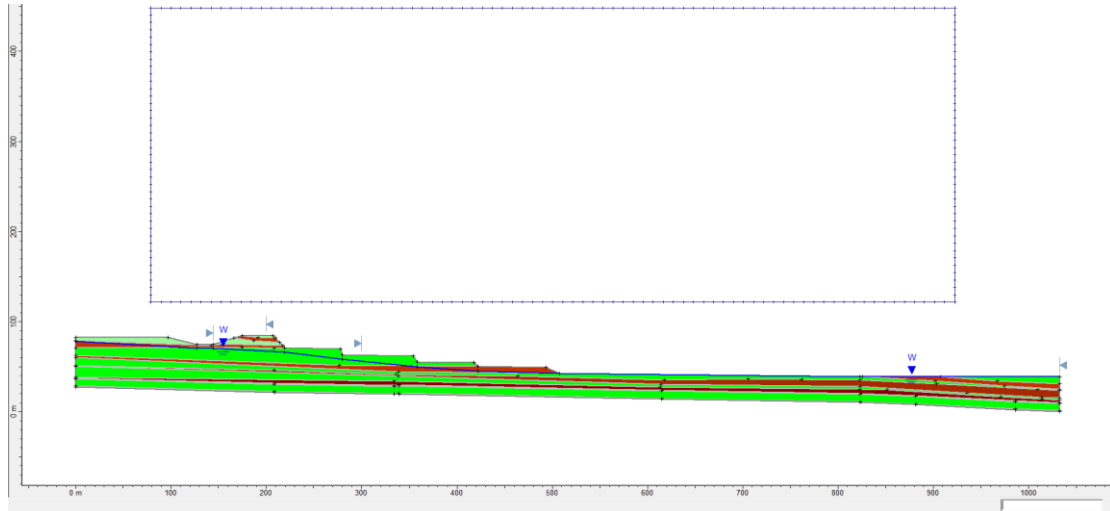


Εικόνα 31: Γεωμετρία της Τομής 29 τον Σεπτέμβριο 2015 που αναλύθηκε, για τον έλεγχο επάρκειας των μέτρων αντιστήριξης. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση μη – συνεκτικού εδάφους ($c=0$, $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πριανούς.

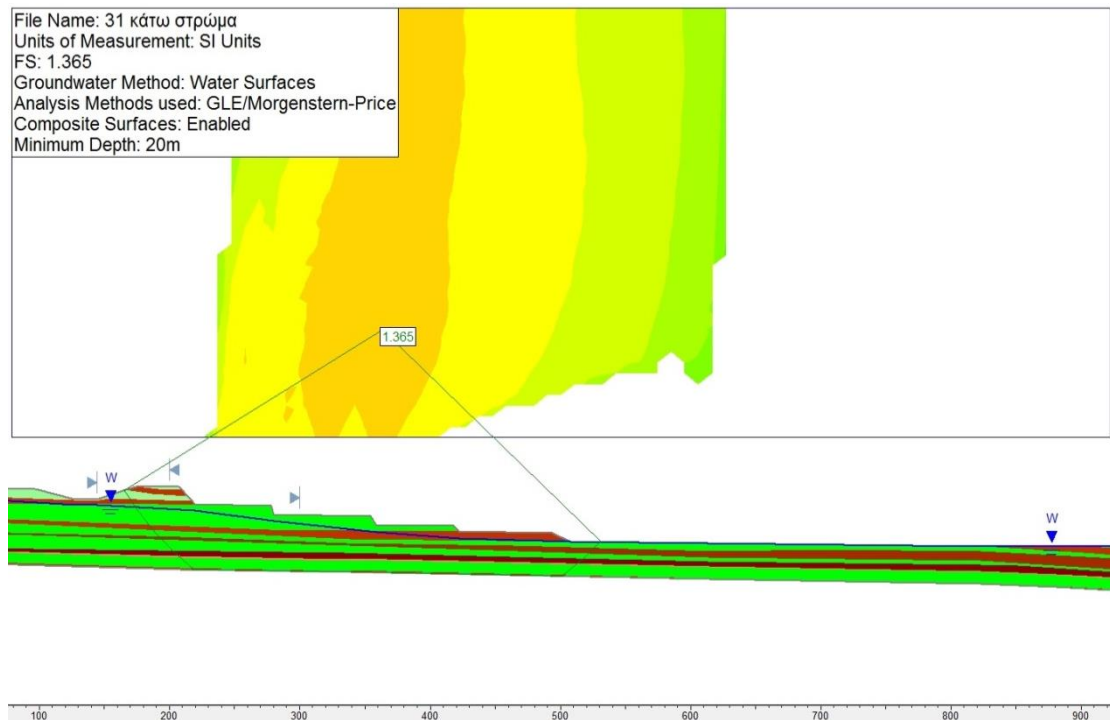


Εικόνα 32: Ισοκαμπύλες της ευμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 29 για τον έλεγχο επάρκειας των μέτρων αντιστήριξης, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πριανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.194$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Επιβολής των Προτιμώμενων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 31

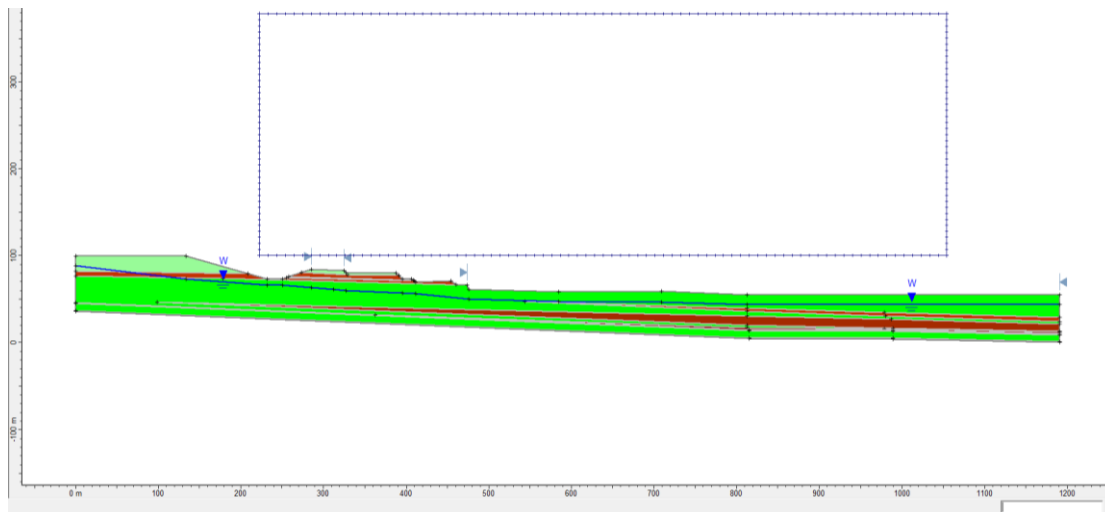


Εικόνα 33: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των προτιμώμενων κλίσεων εκσκαφής. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση μη – συνεκτικού εδάφους ($c=0$, $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

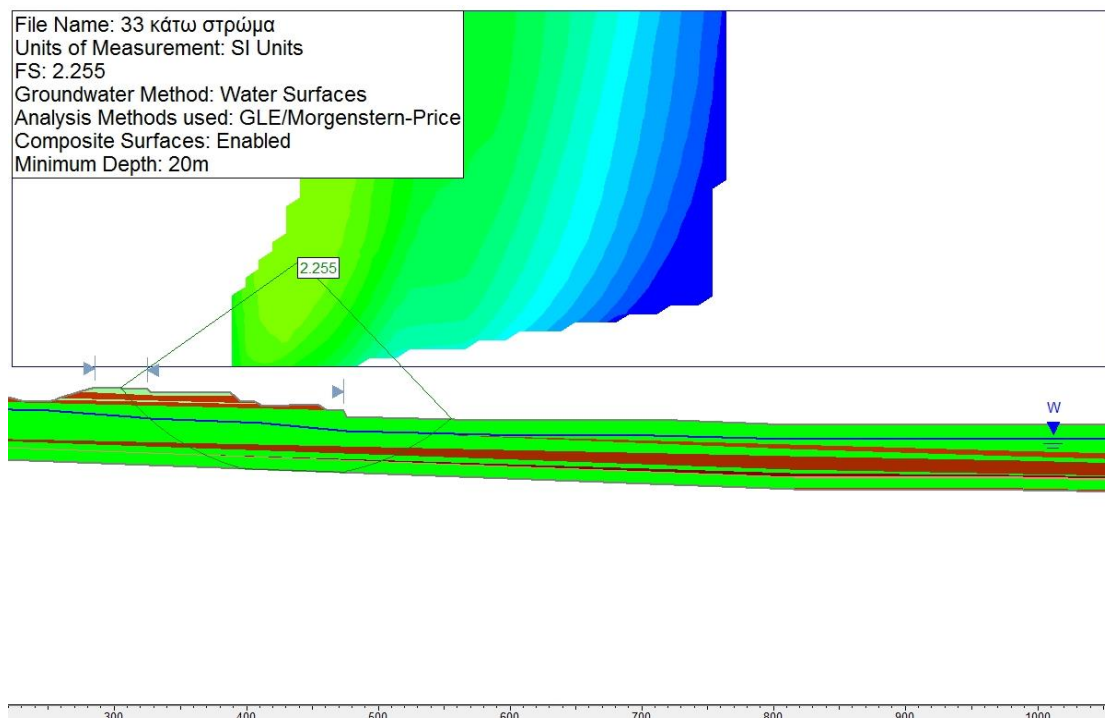


Εικόνα 34: Ισοκαμπύλες της ευμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των προτιμώμενων κλίσεων, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.365$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Επιβολής των Προτιμώμενων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 33

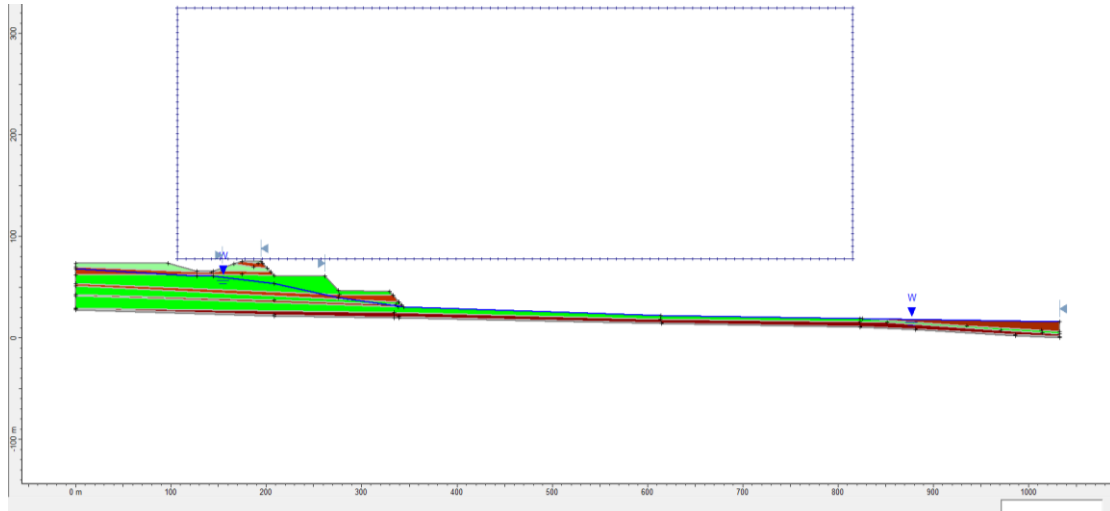


Εικόνα 35: Γεωμετρία της τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των προτιμώμενων κλίσεων εκσκαφής. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση μη – συνεκτικού εδάφους ($c=0$, $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρσανούς.

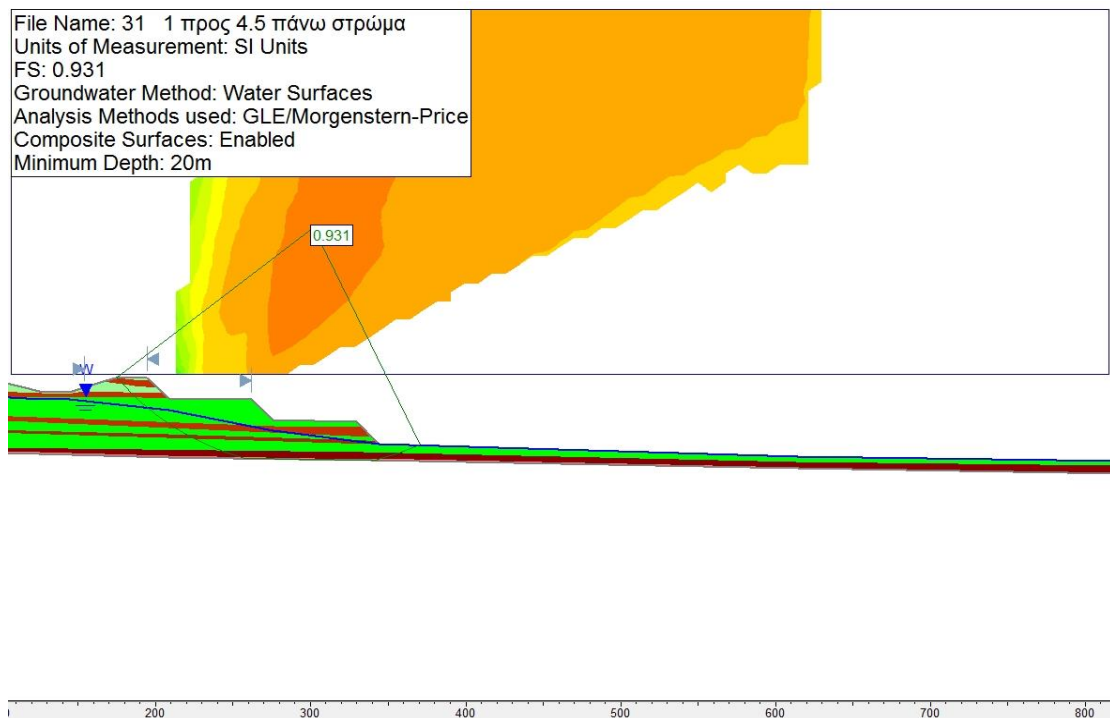


Εικόνα 36: Ισοκαμπύλες της ευμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των προτιμώμενων κλίσεων, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρσανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=2.255$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 31 με Κλίση 1:4,5

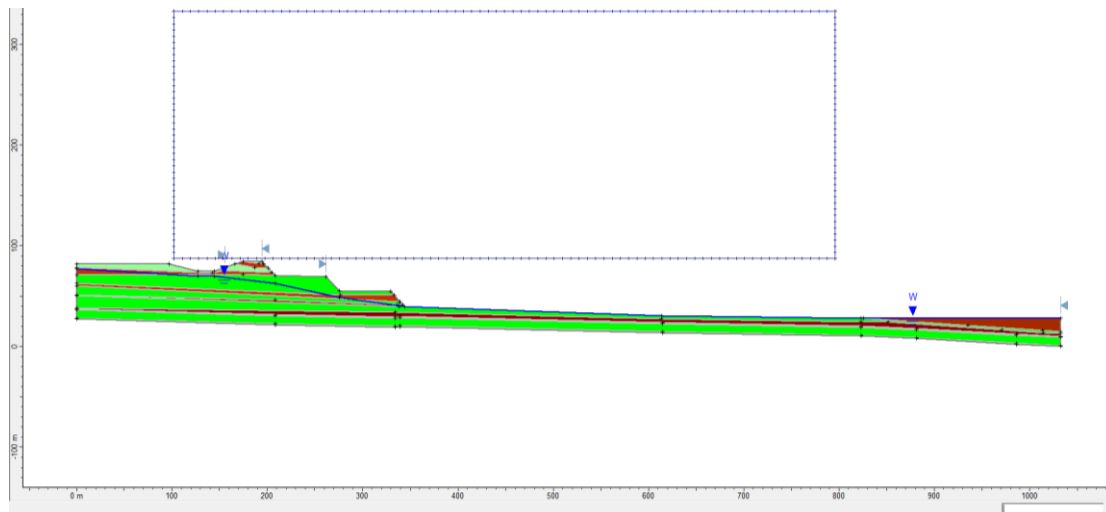


Εικόνα 37: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:4,5. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση μη – συνεκτικού εδάφους ($c=0$, $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

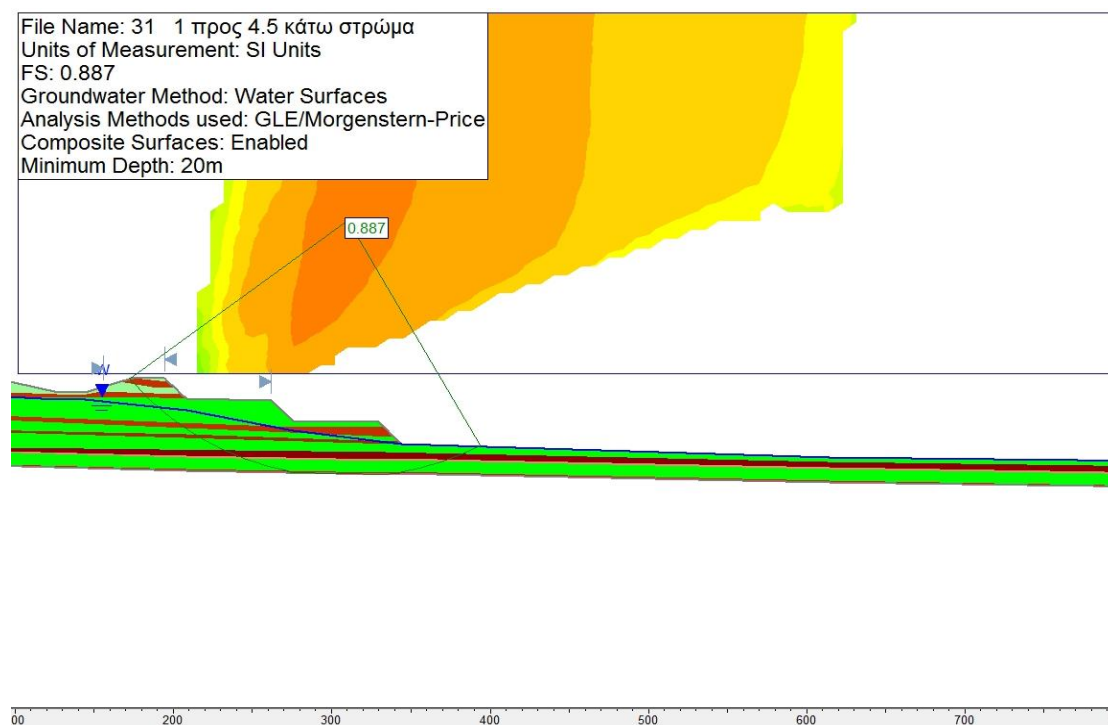


Εικόνα 38: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:4,5, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=0.931$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εσκαφής στην Τομή 31 με Κλίση 1:4,5

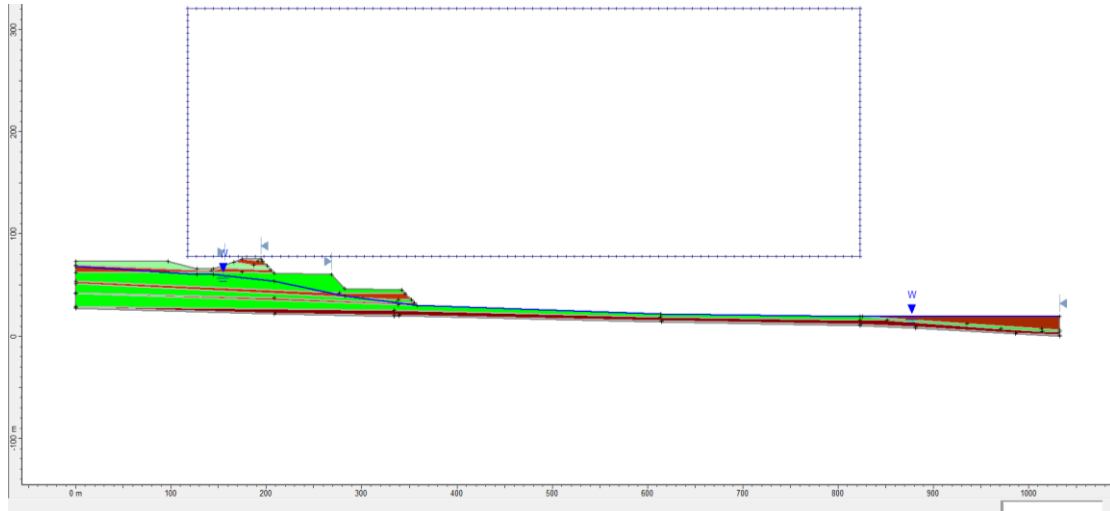


Εικόνα 39: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εσκαφής 1:4,5. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση μη – συνεκτικού εδάφους ($c=0$, $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρσανούς.

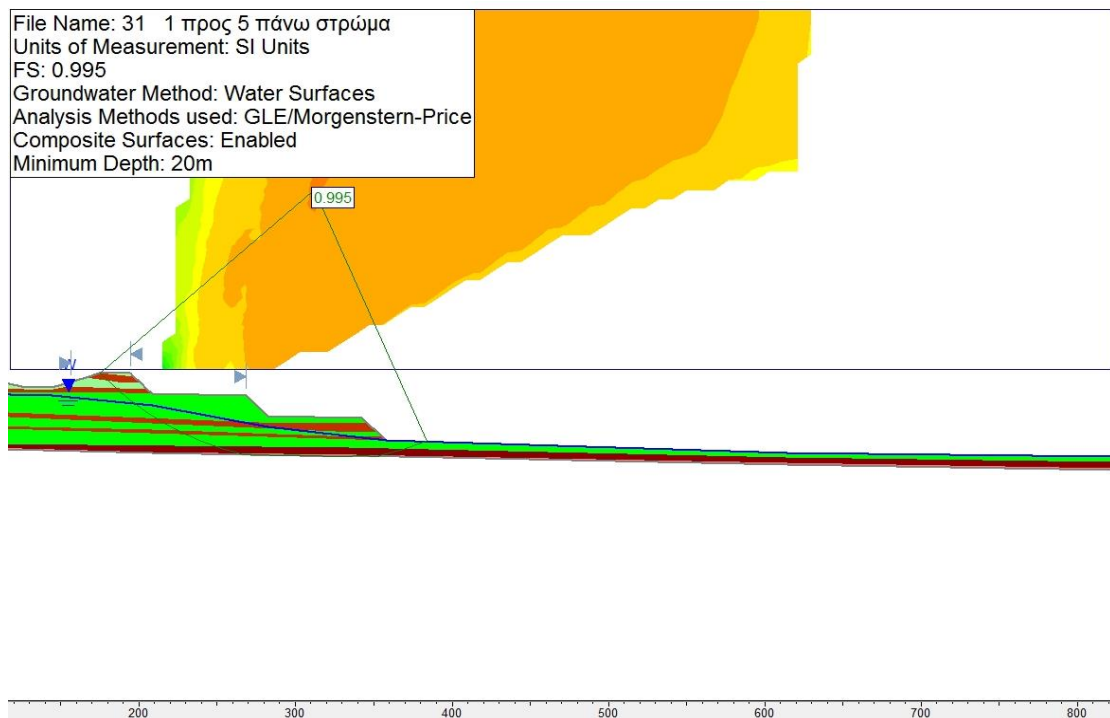


Εικόνα 40: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:4,5, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρσανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=0.887$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 31 με Κλίση 1:5

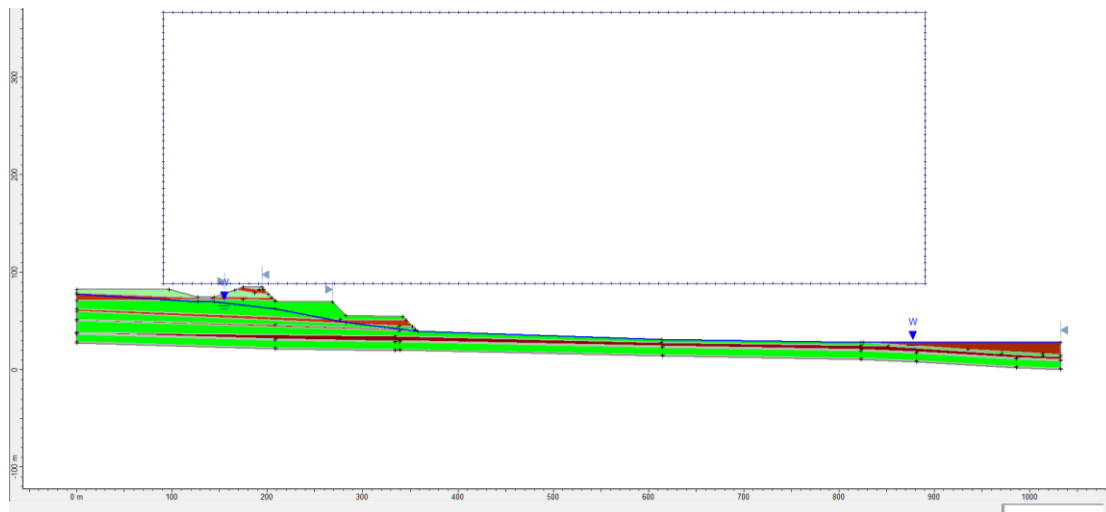


Εικόνα 41: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:5. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση μη – συνεκτικού εδάφους ($c=0$, $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

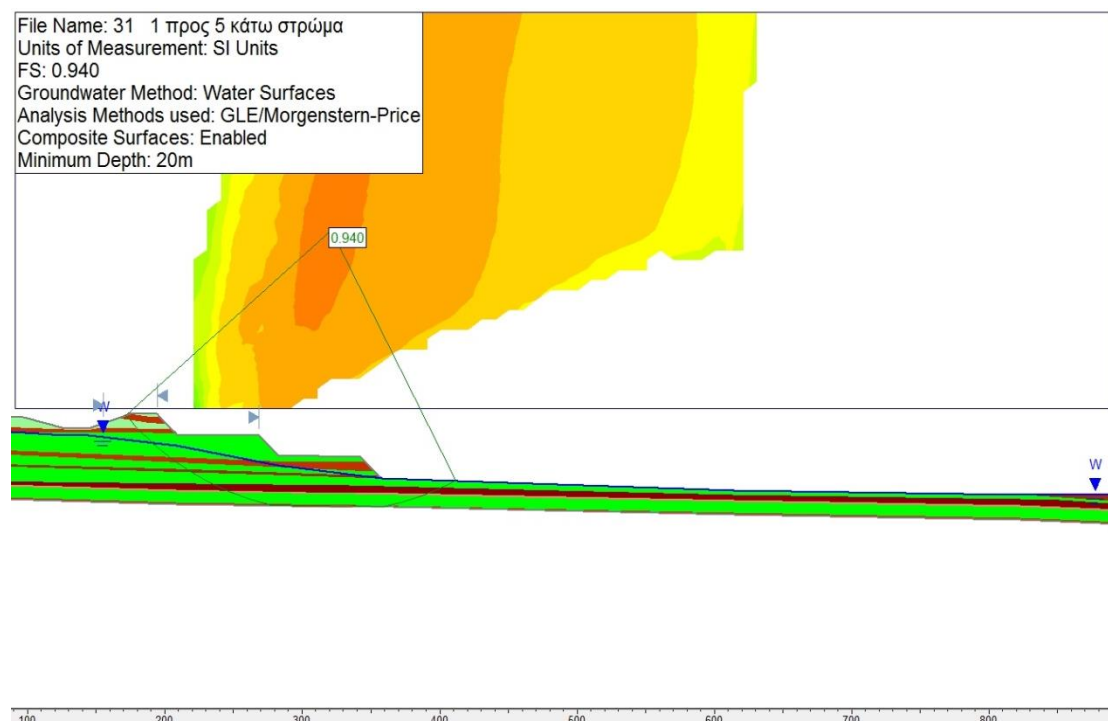


Εικόνα 42: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=0.995$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εσκαφής στην Τομή 31 με Κλίση 1:5

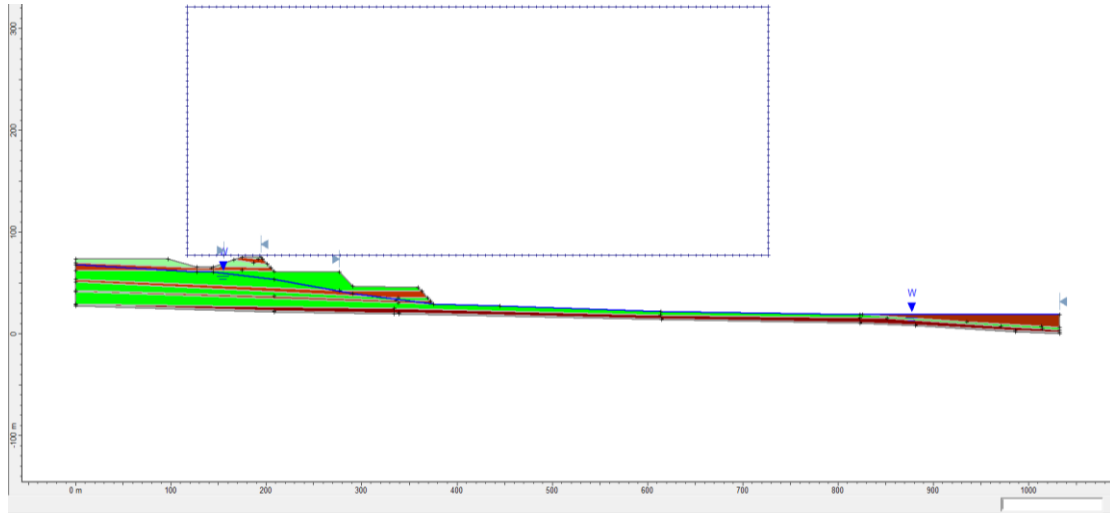


Εικόνα 43: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εσκαφής 1:5. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση μη – συνεκτικού εδάφους ($c=0$, $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρσανούς.

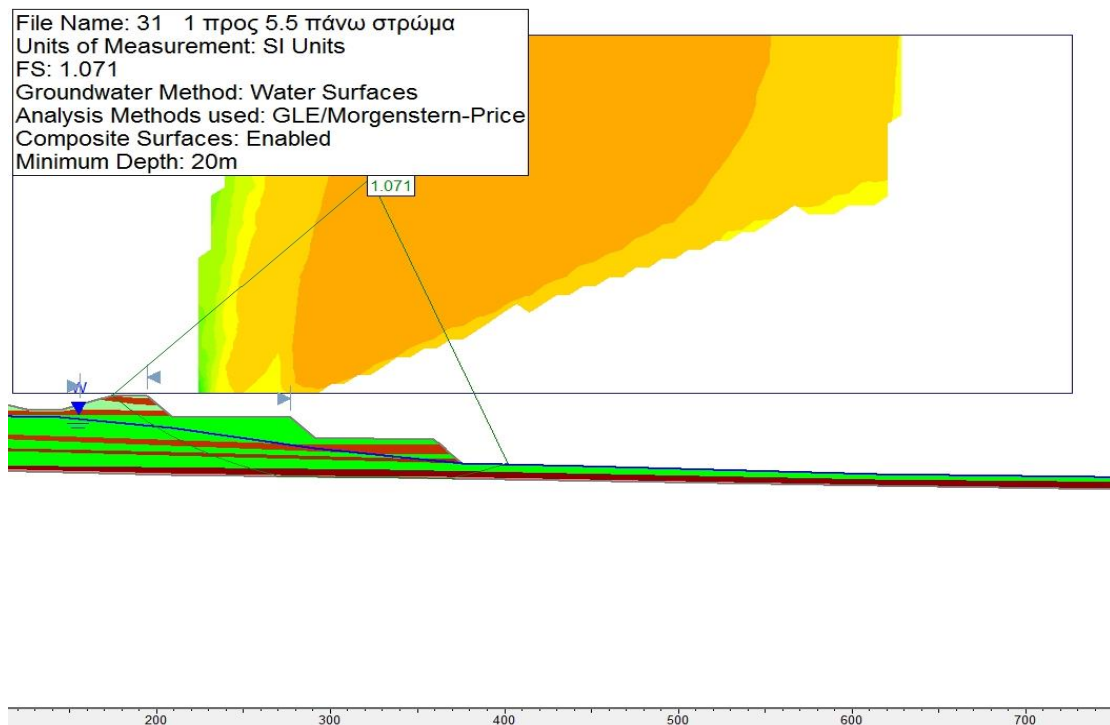


Εικόνα 44: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρσανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=0.940$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 31 με Κλίση 1:5,5

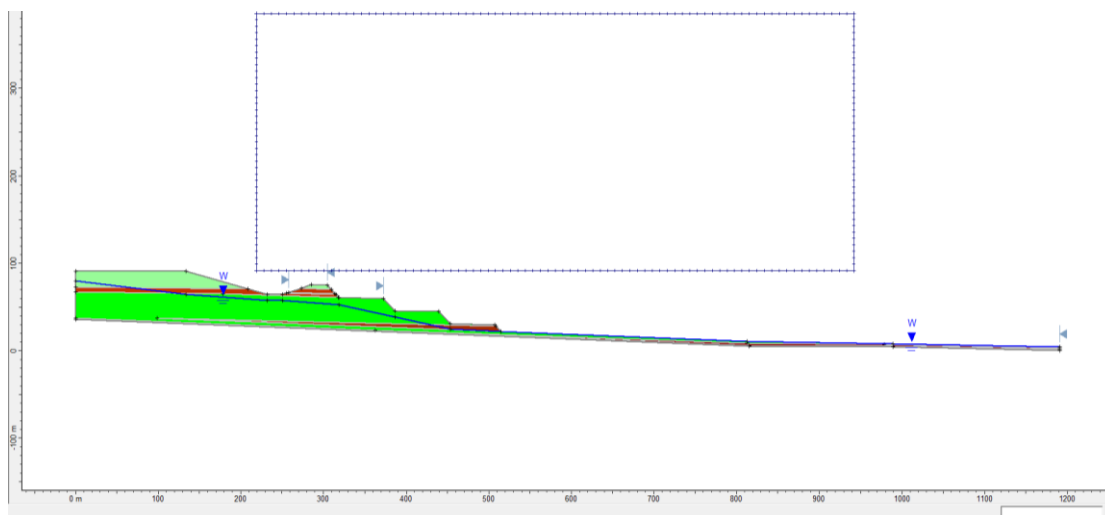


Εικόνα 45: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:5,5. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση μη – συνεκτικού εδάφους ($c=0$, $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

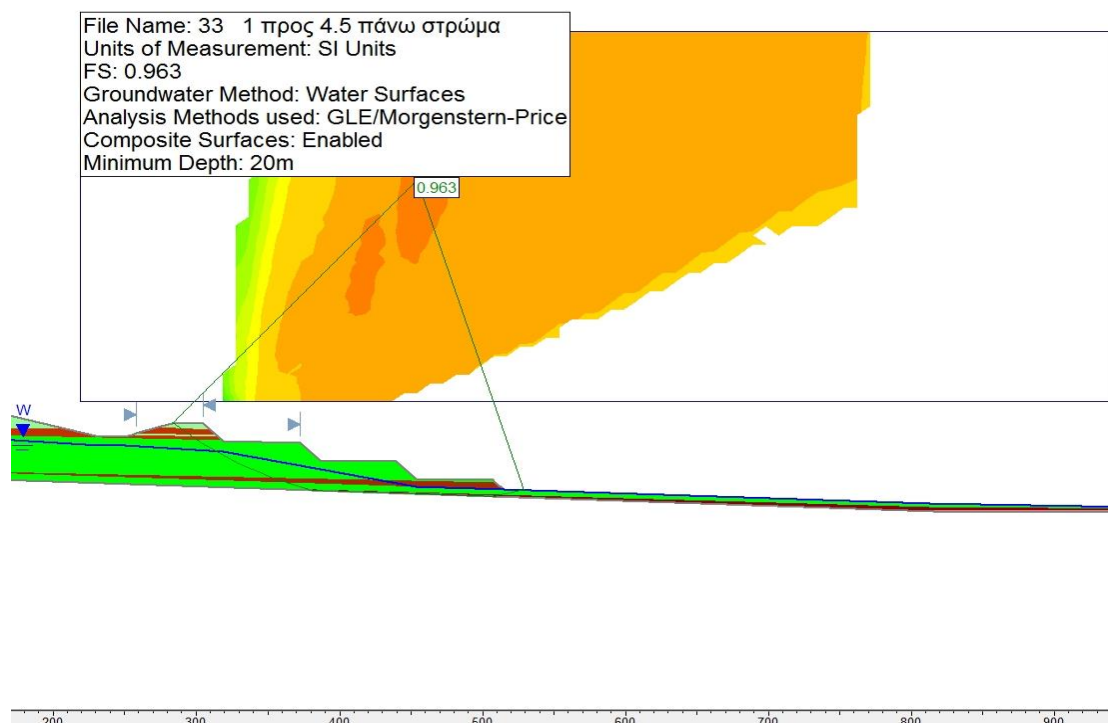


Εικόνα 46: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5,5, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.071$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εσκαφής στην Τομή 33 με Κλίση 1:4,5

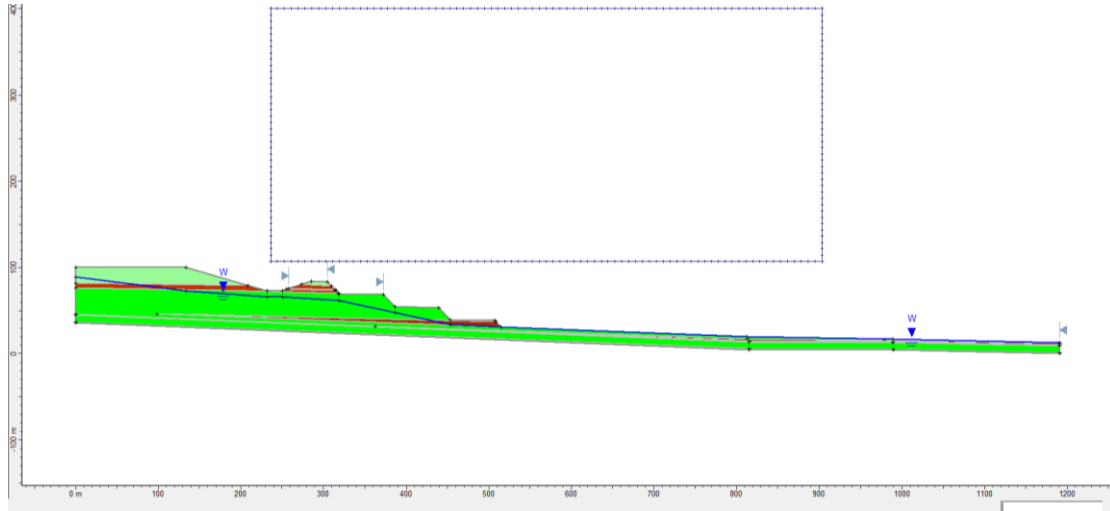


Εικόνα 47: Γεωμετρία της Τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εσκαφής 1:4,5. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση μη – συνεκτικού εδάφους ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανού.

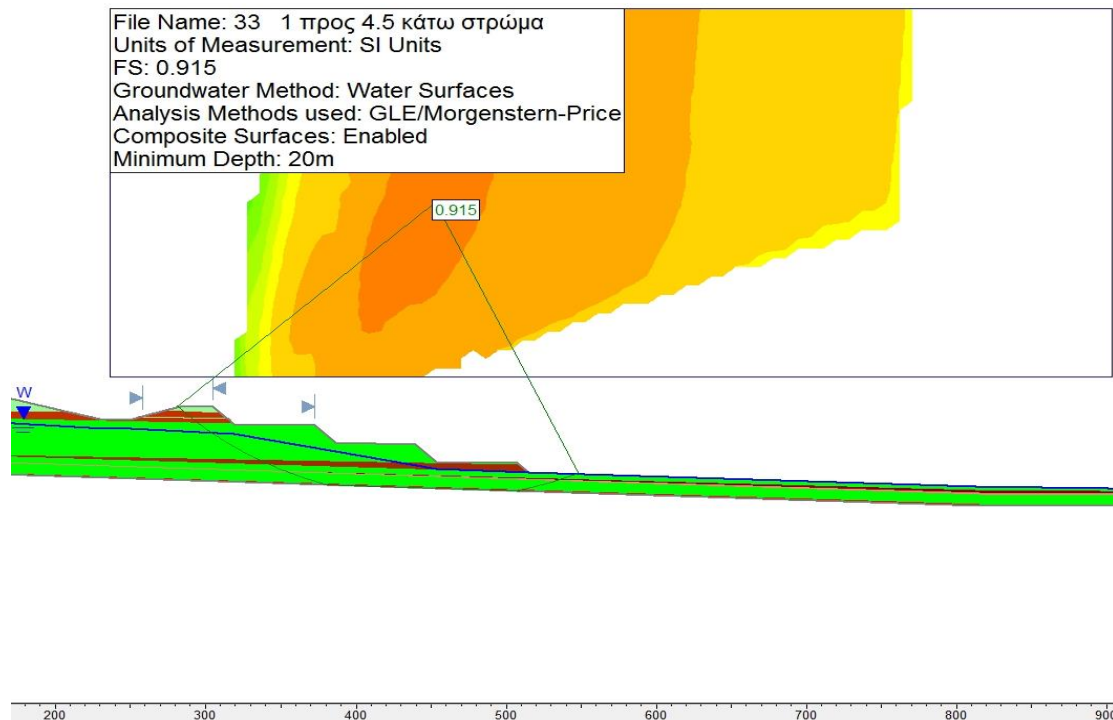


Εικόνα 48: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:4,5, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\varphi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανού, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=0.963$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 33 με Κλίση 1:4,5

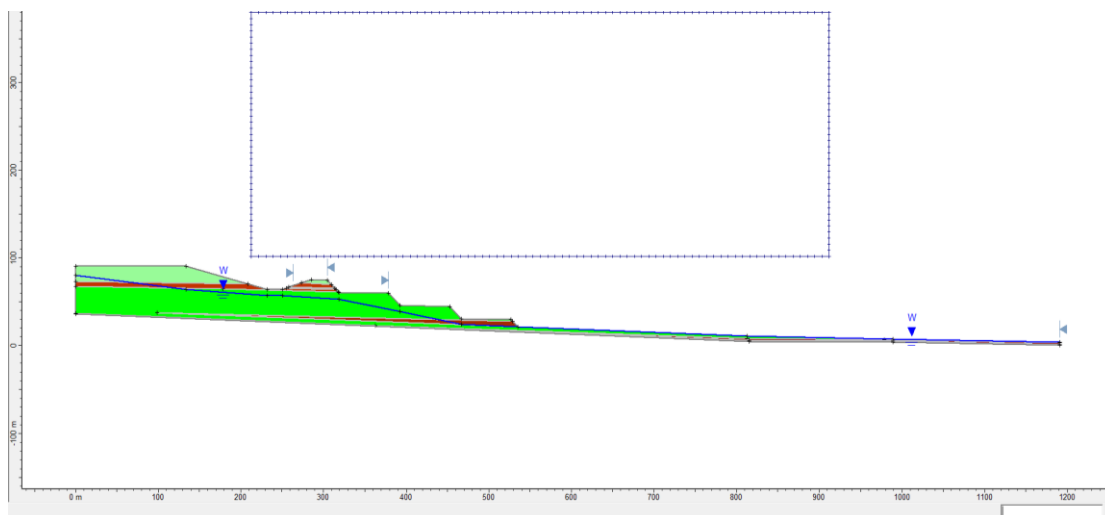


Εικόνα 49: Γεωμετρία της Τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:4,5. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση μη – συνεκτικού εδάφους ($c=0$, $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

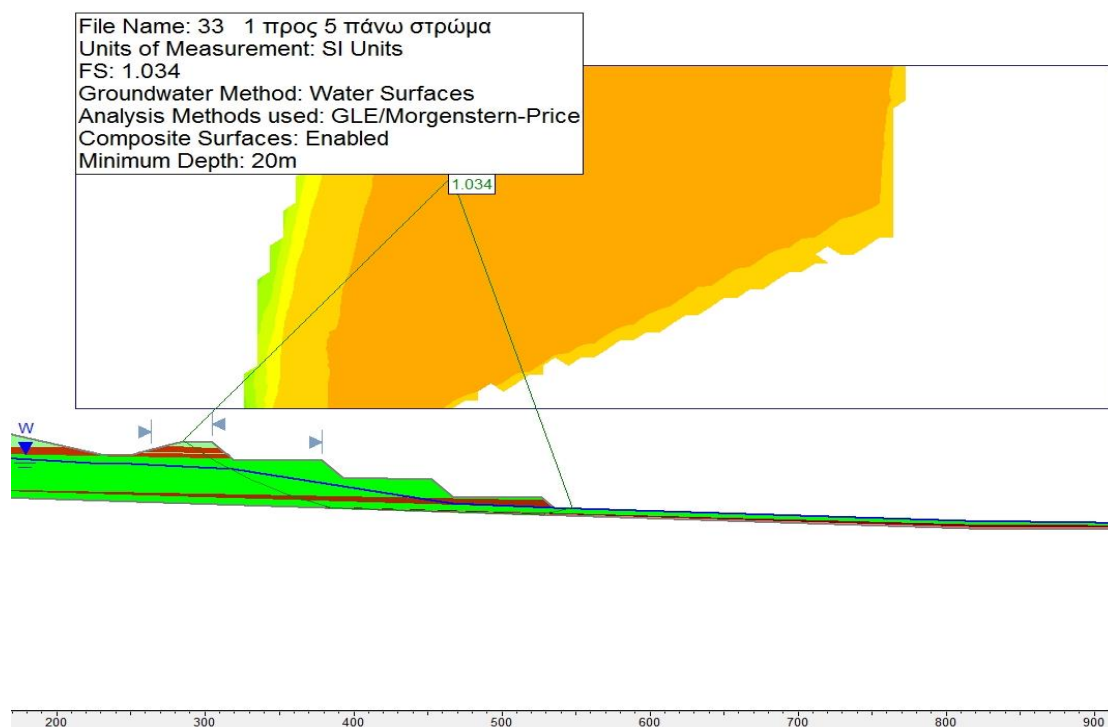


Εικόνα 50: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:4,5, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=0.915$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εσκαφής στην Τομή 33 με Κλίση 1:5

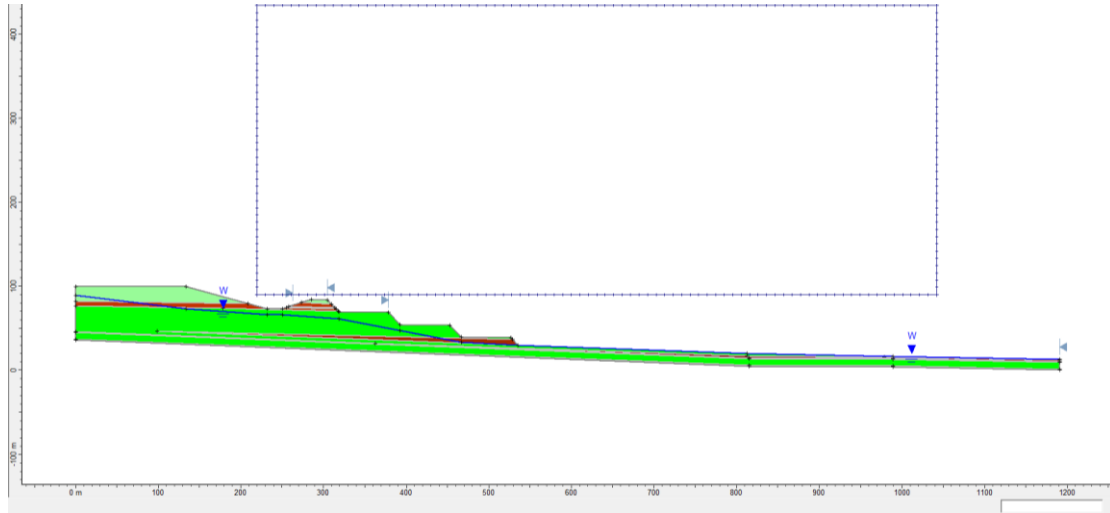


Εικόνα 51: Γεωμετρία της Τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εσκαφής 1:5. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση μη – συνεκτικού εδάφους ($c=0$, $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πριανούς.

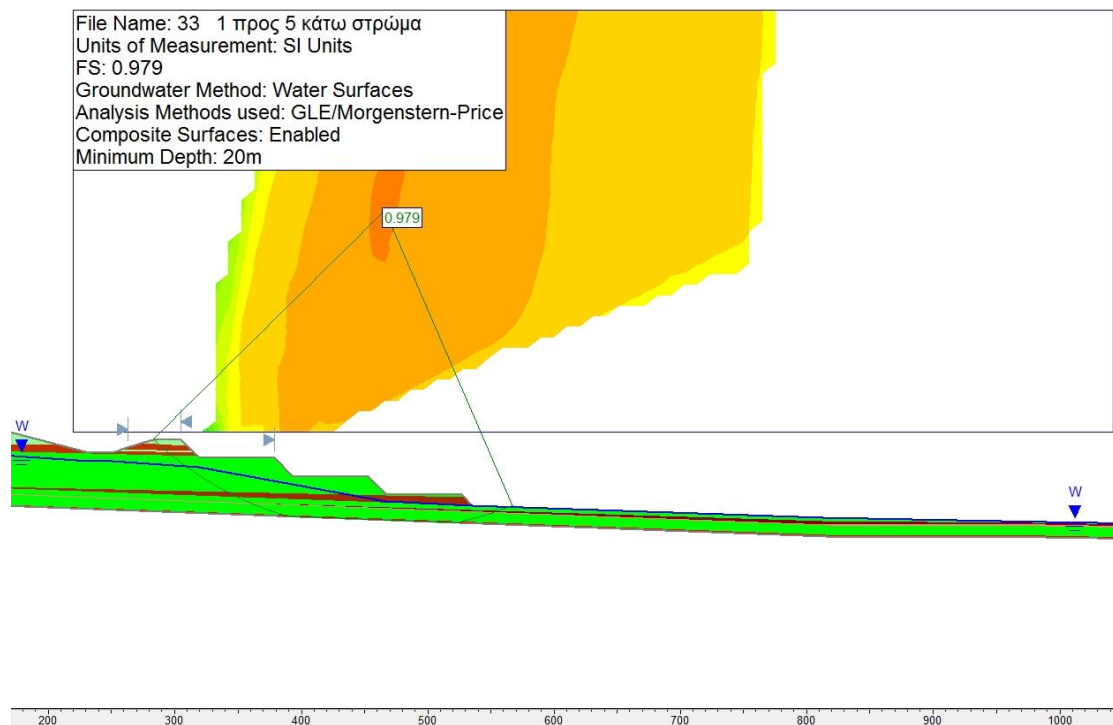


Εικόνα 52: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πριανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.034$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 33 με Κλίση 1:5

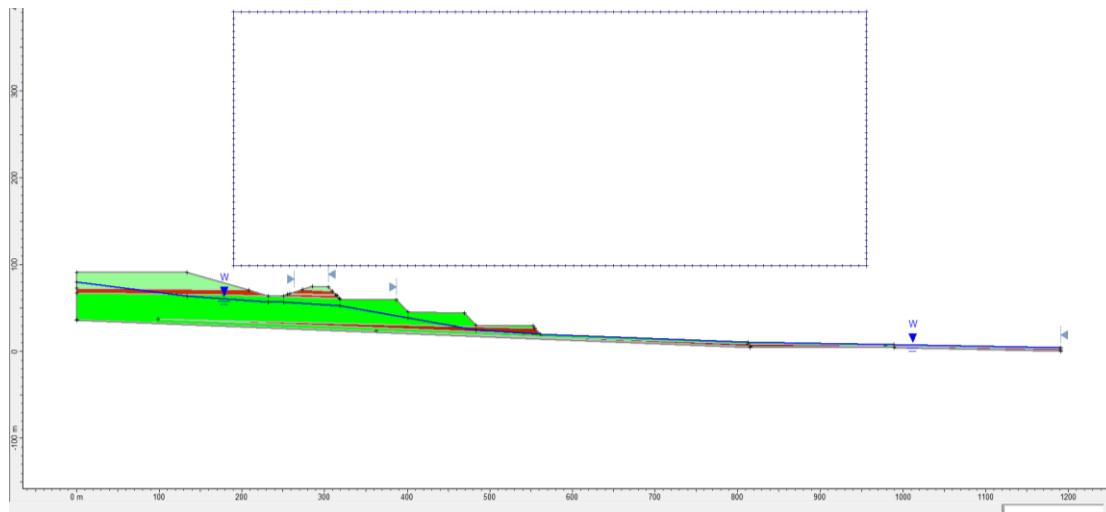


Εικόνα 53: Γεωμετρία της Τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:5. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση μη – συνεκτικού εδάφους ($c=0$, $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανού.

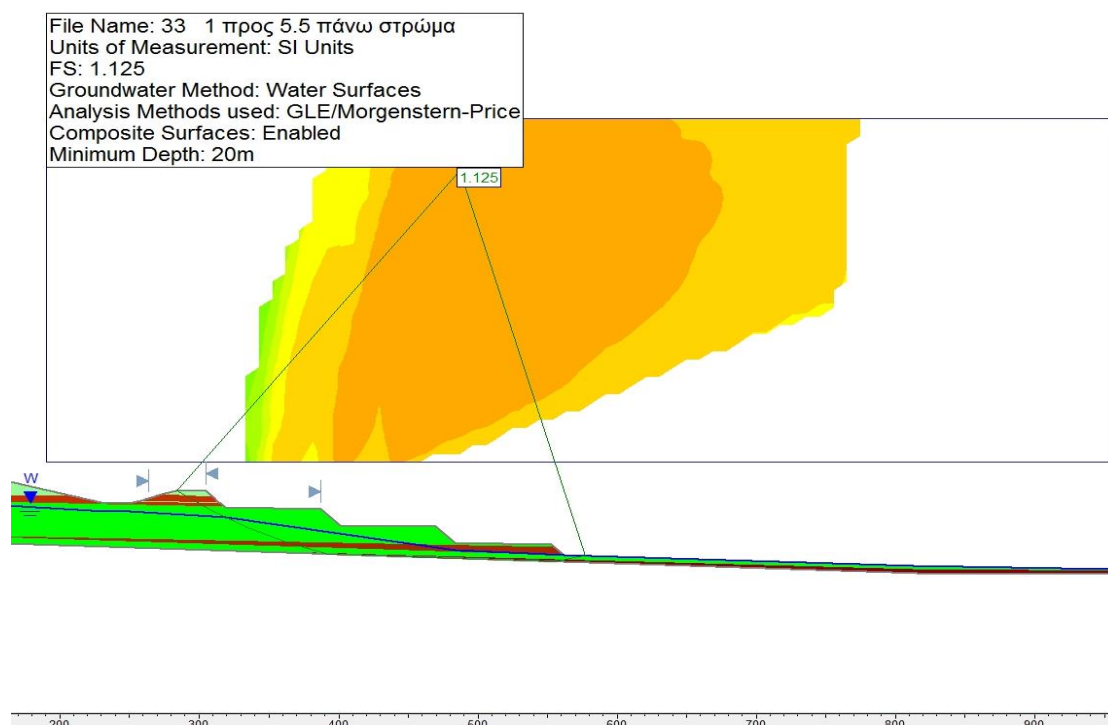


Εικόνα 54: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανού, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=0.979$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εσκαφής στην Τομή 33 με Κλίση 1:5,5



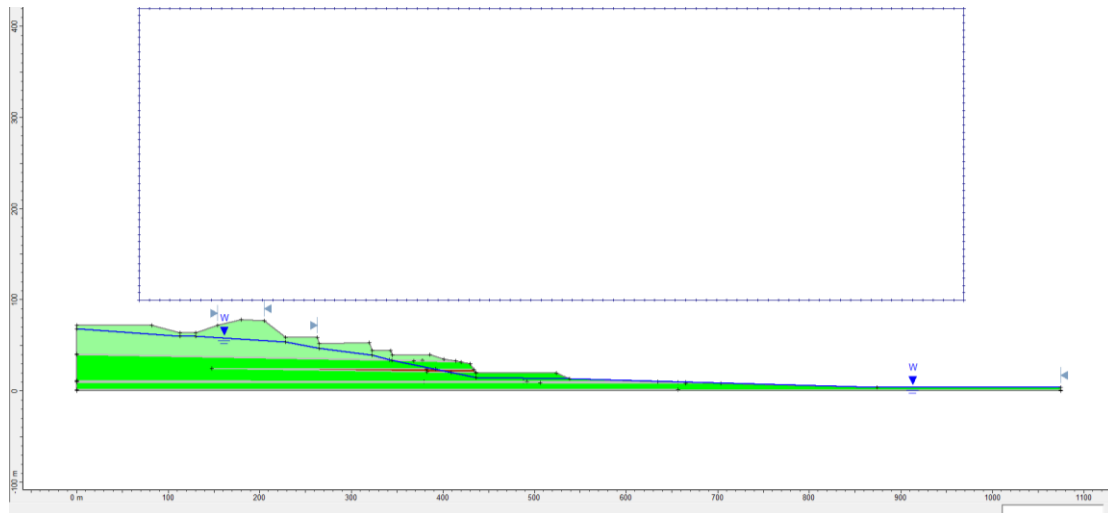
Εικόνα 55: Γεωμετρία της Τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εσκαφής 1:5,5. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση μη – συνεκτικού εδάφους ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρσανούς.



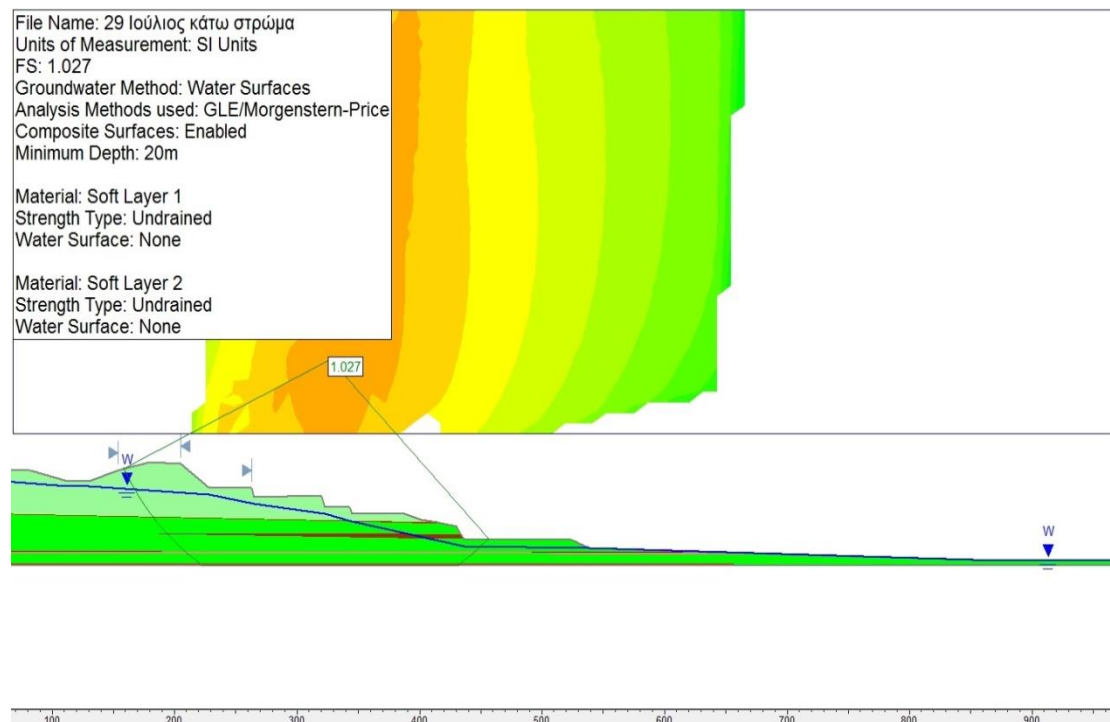
Εικόνα 56: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5,5, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\varphi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρσανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.125$.

Θεώρηση Ολικών Τάσεων σε Συνεκτικό Έδαφος ($c, \varphi \neq 0$), με την Στάθμη Υδροφόρου στα $-6m$, από την Κοίτη του Ποταμού

Ανάστροφη Αριθμητική Προσομοίωση της Τομής 29 (Ιούλιος 2015)

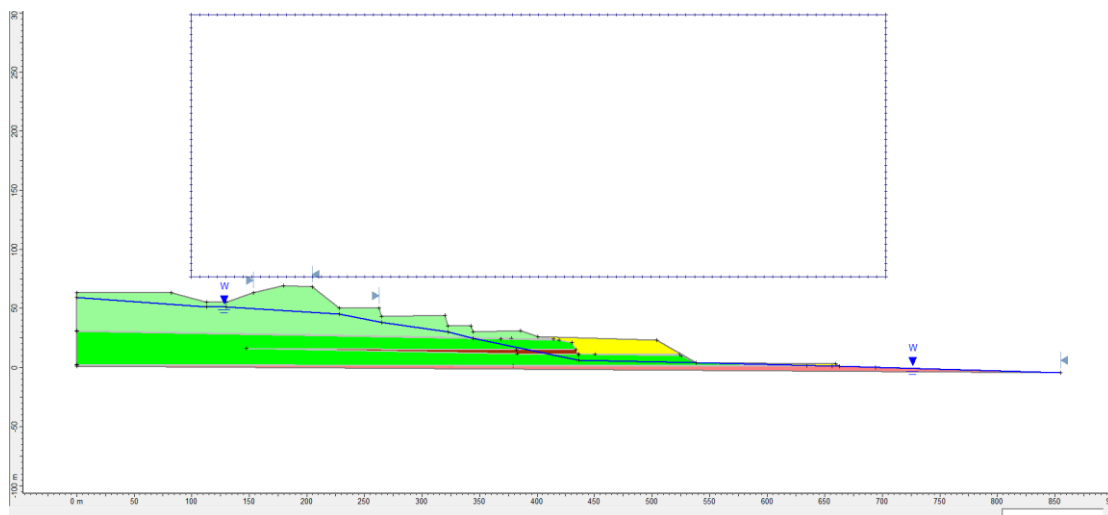


Εικόνα 57: Γεωμετρία της τομής 29 τον Ιούλιο 2015 που αναλύθηκε. Η ανάστροφη ανάλυση που εκπονήθηκε προβαίνει στη θεώρηση ολικών τάσεων σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) με τη στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

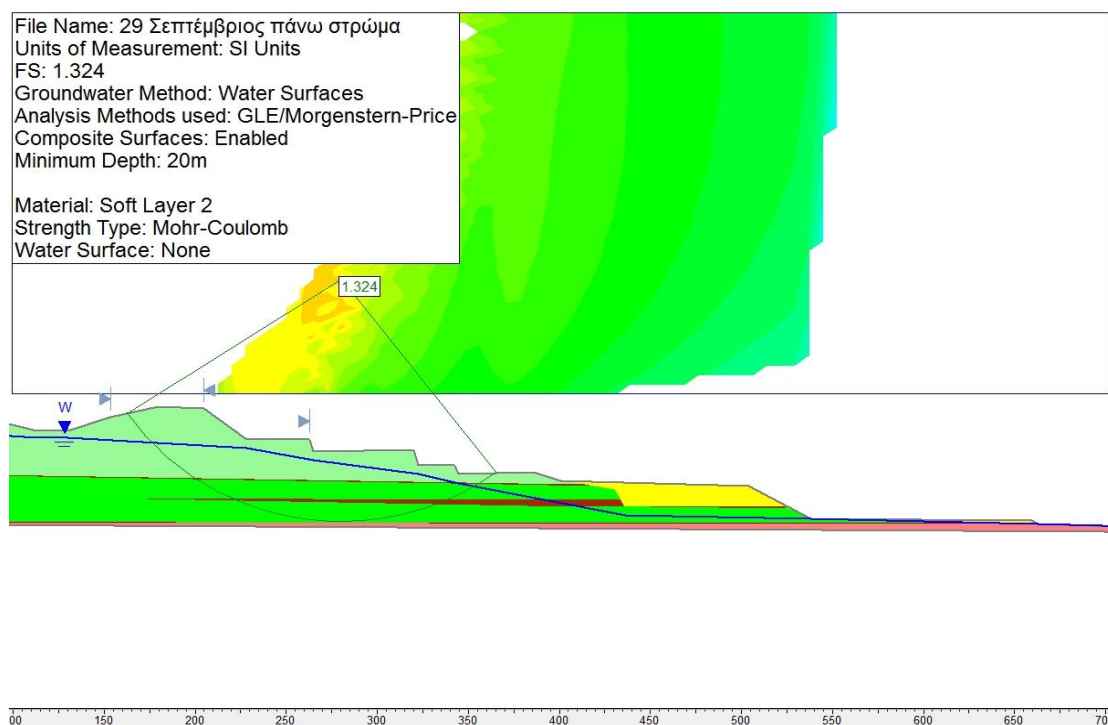


Εικόνα 58: Ισοκαμπύλες της ευμενέστερης ανάστροφης ανάλυσης της τομής 29, για συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας $FS=1.027$.

Εκτίμηση της Επάρκειας των Μέτρων Αντιστήριξης στην Τομή 29 (Σεπτέμβριος 2015)

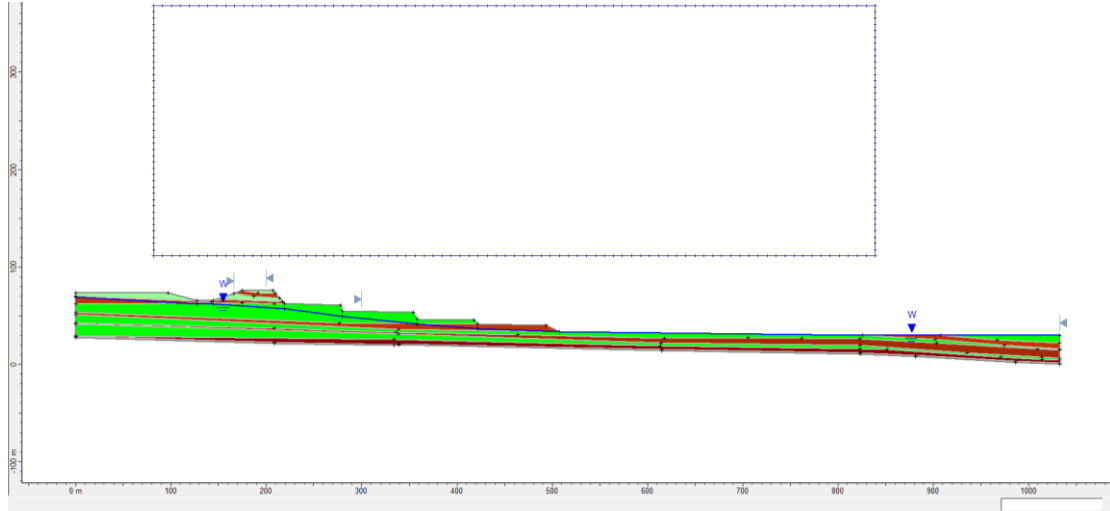


Εικόνα 59: Γεωμετρία της Τομής 29 τον Σεπτέμβριο 2015 που αναλύθηκε, για τον έλεγχο επάρκειας των μέτρων αντιστήριξης. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση συνεκτικού εδάφους ($c, \varphi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

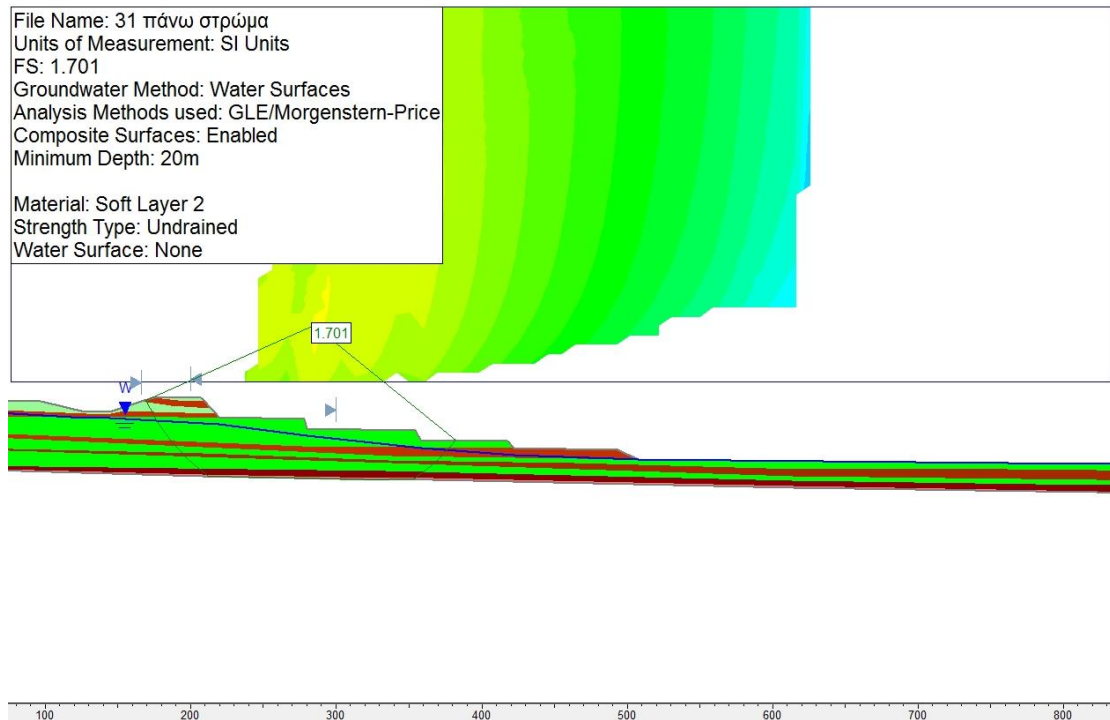


Εικόνα 60: Ισοκαμπύλες της ευμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 29 για τον έλεγχο επάρκειας των μέτρων αντιστήριξης, σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.324$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Επιβολής των Προτιμώμενων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 31

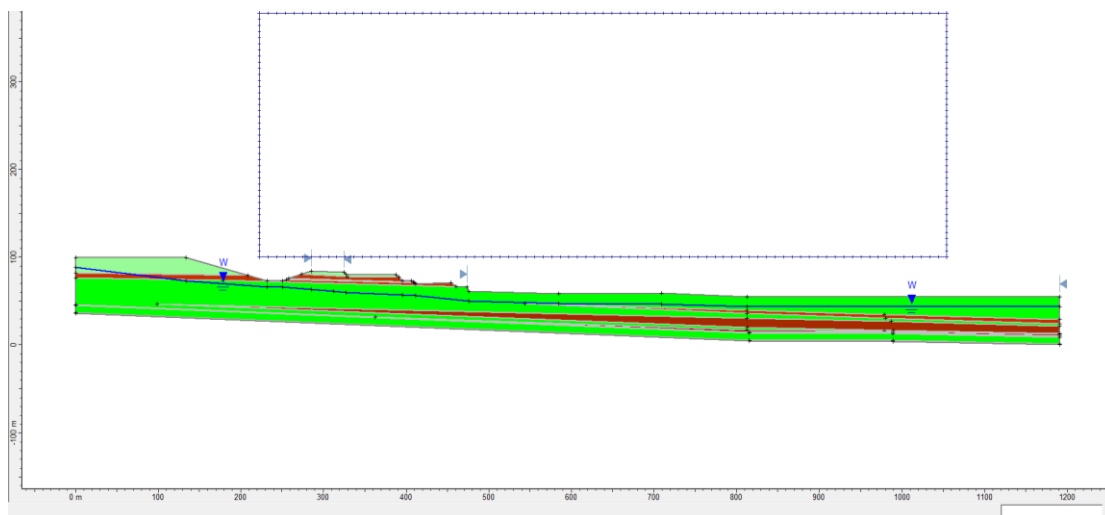


Εικόνα 61: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των προτιμώμενων κλίσεων εκσκαφής. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ολικών τάσεων σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

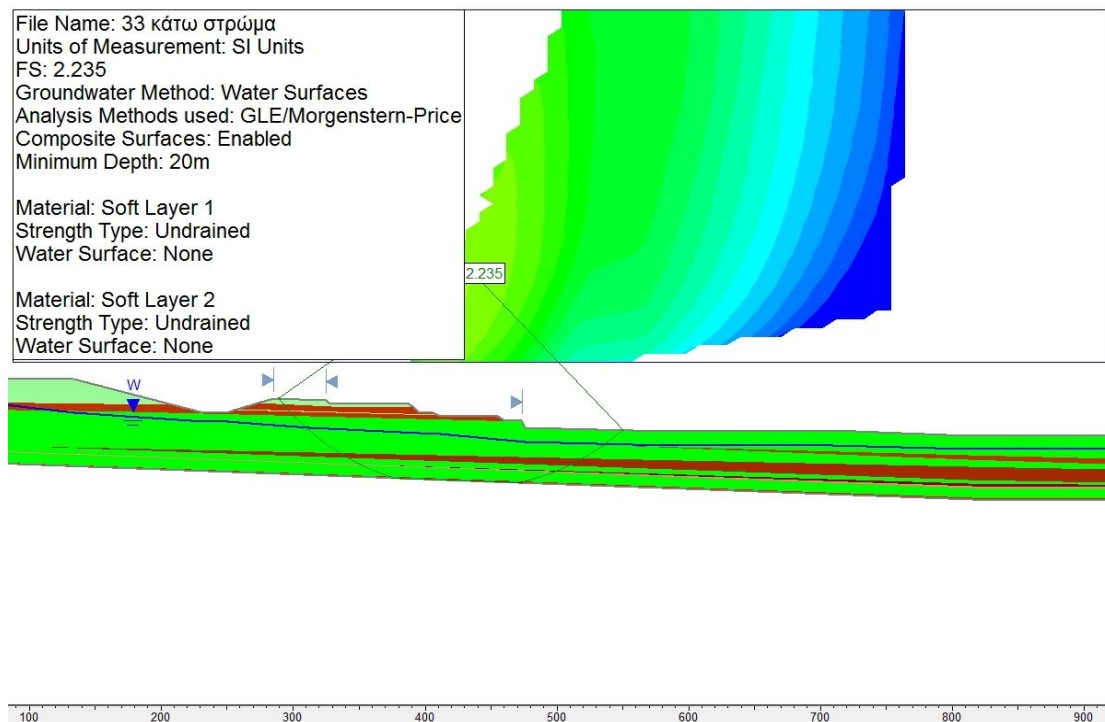


Εικόνα 62: Ισοκαμπύλες της ευμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των προτιμώμενων κλίσεων, σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.701$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Επιβολής των Προτιμώμενων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 33

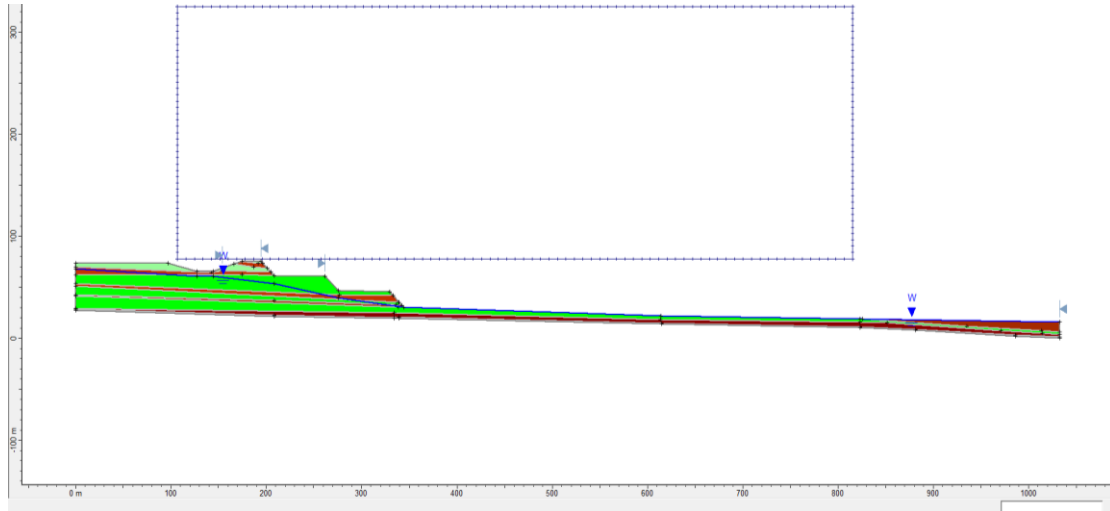


Εικόνα 63: Γεωμετρία της τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των προτιμώμενων κλίσεων εκσκαφής. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ολικών τάσεων σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρானούς.

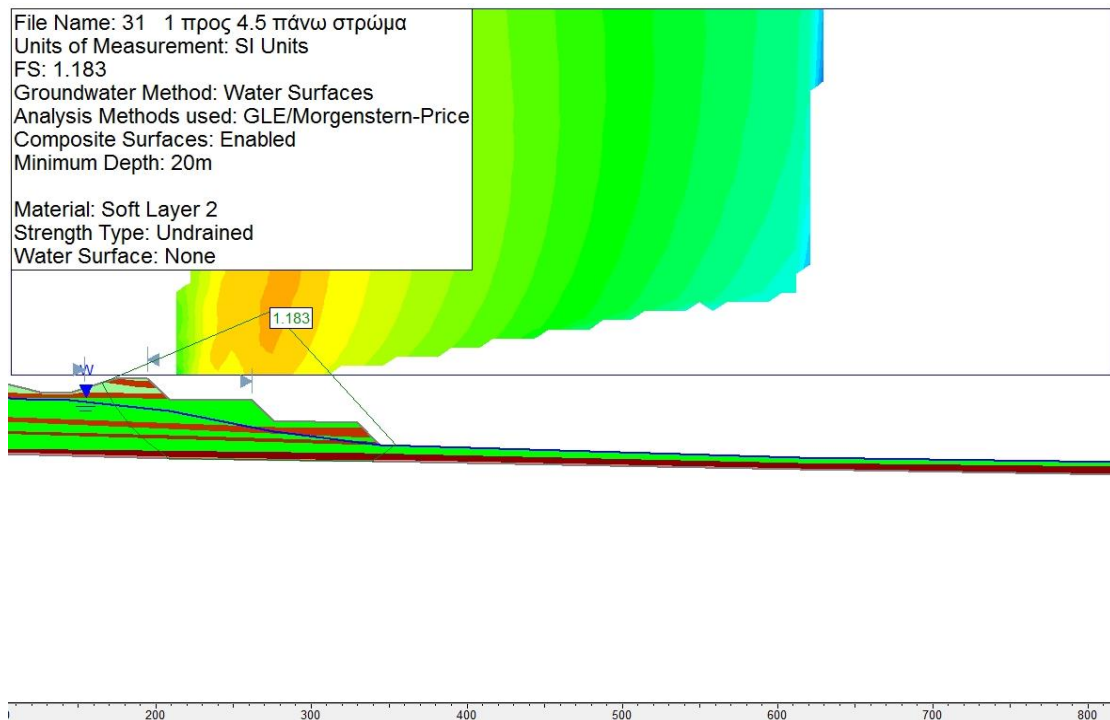


Εικόνα 64: Ισοκαμπύλες της ευμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των προτιμώμενων κλίσεων, σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρானούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=2.235$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 31 με Κλίση 1:4,5

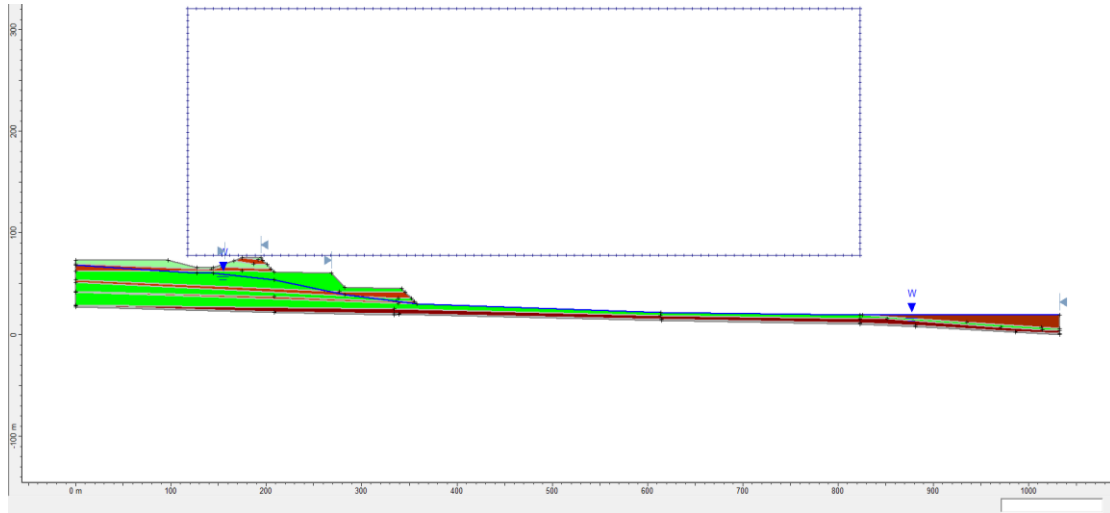


Εικόνα 65: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:4,5. Η ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ολικών τάσεων σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

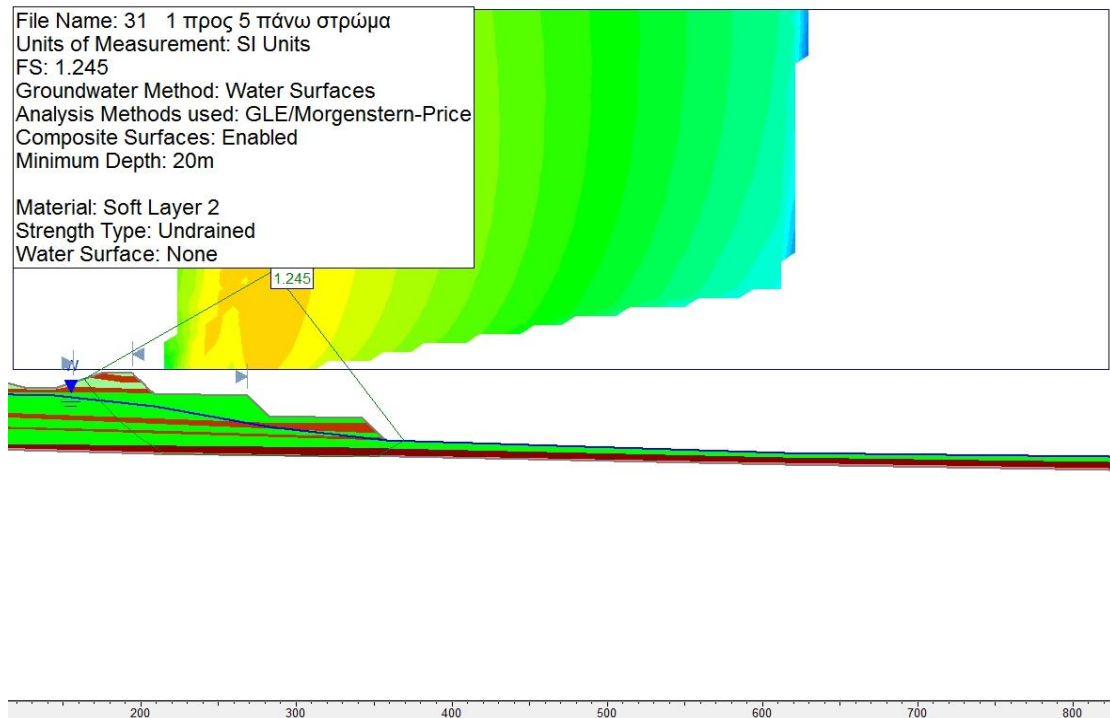


Εικόνα 66: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:4,5, σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.183$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εσκαφής στην Τομή 31 με Κλίση 1:5

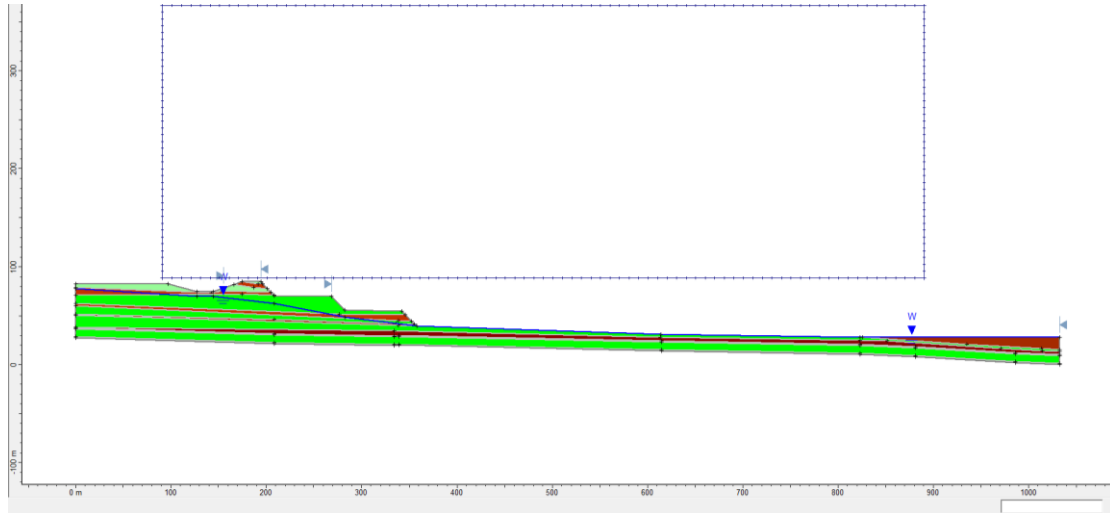


Εικόνα 67: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εσκαφής 1:5. Η ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ολικών τάσεων σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

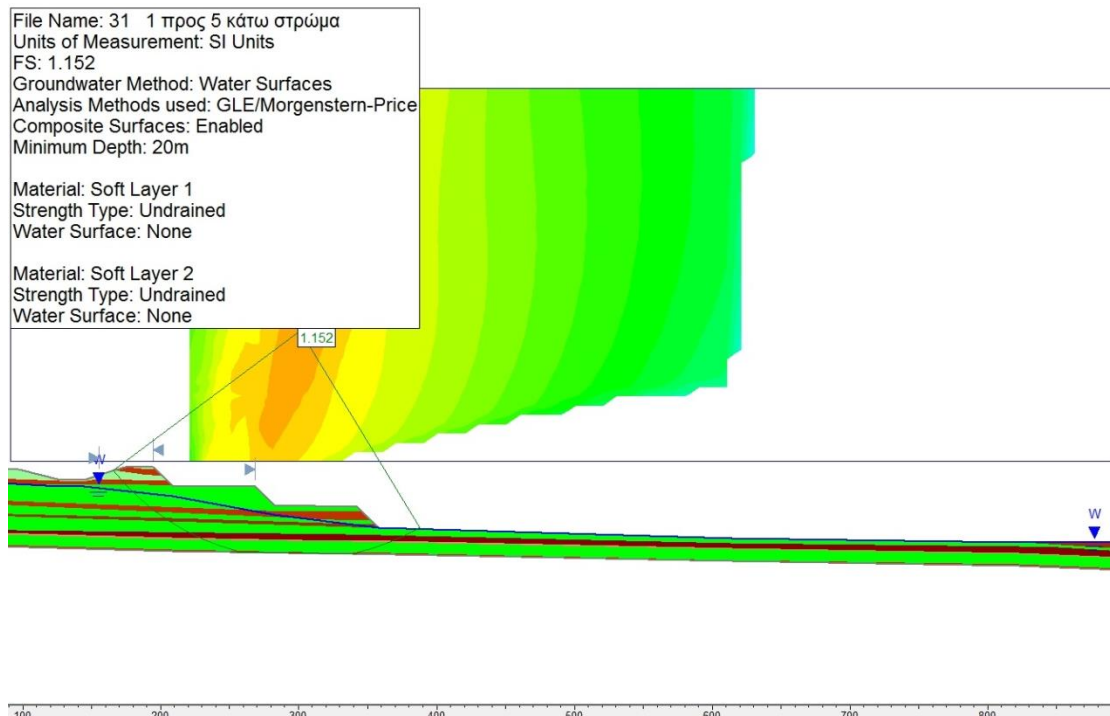


Εικόνα 68: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5, σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.245$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 31 με Κλίση 1:5

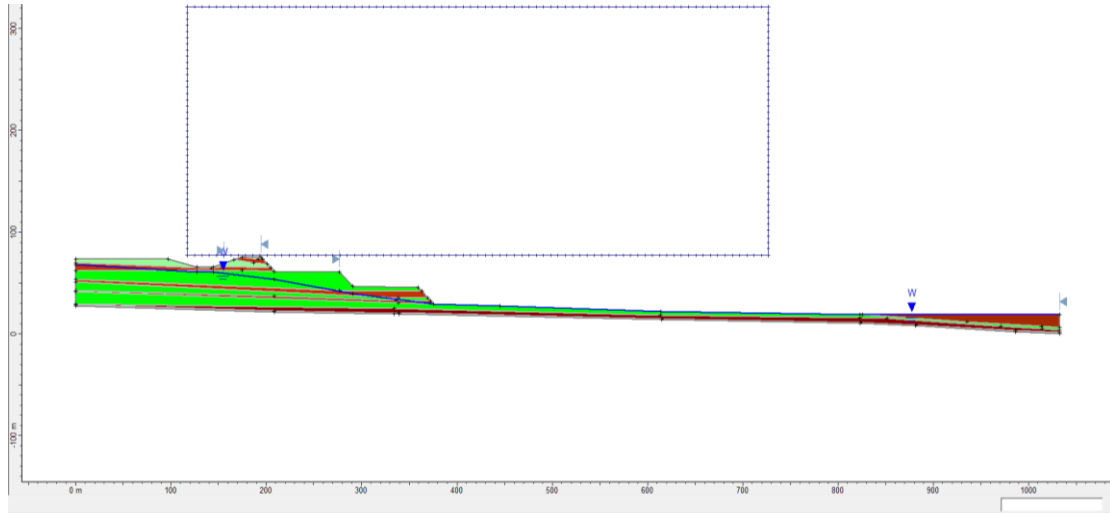


Εικόνα 69: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:5. Η ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ολικών τάσεων σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

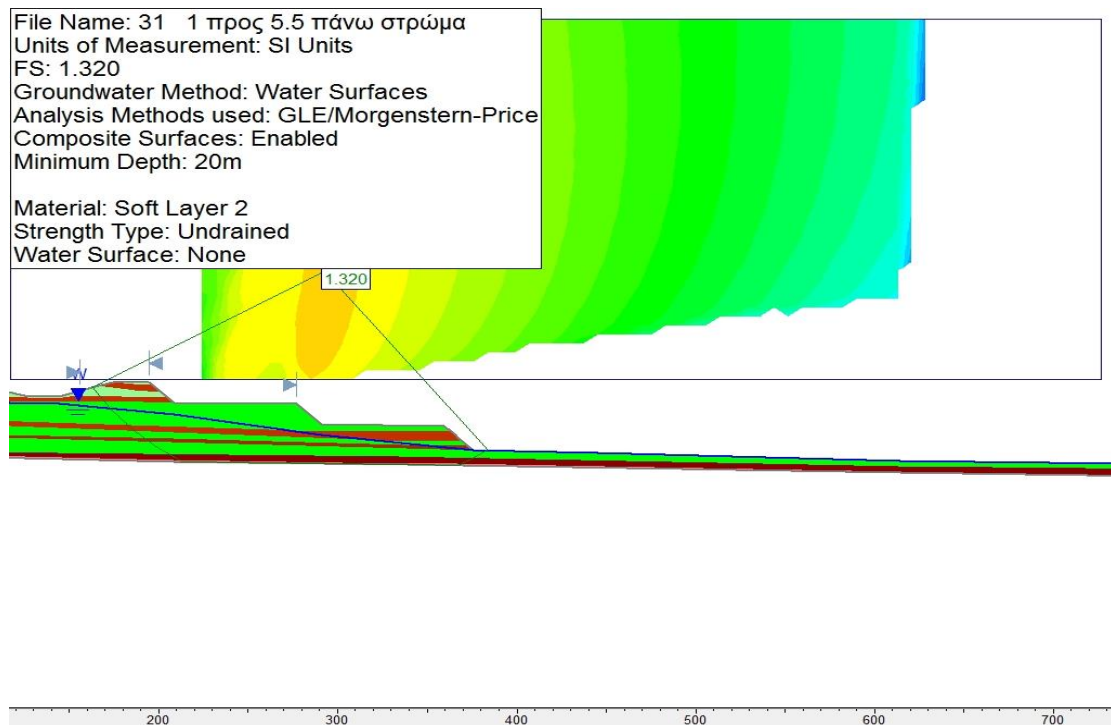


Εικόνα 70: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5, σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.152$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εσκαφής στην Τομή 31 με Κλίση 1:5,5

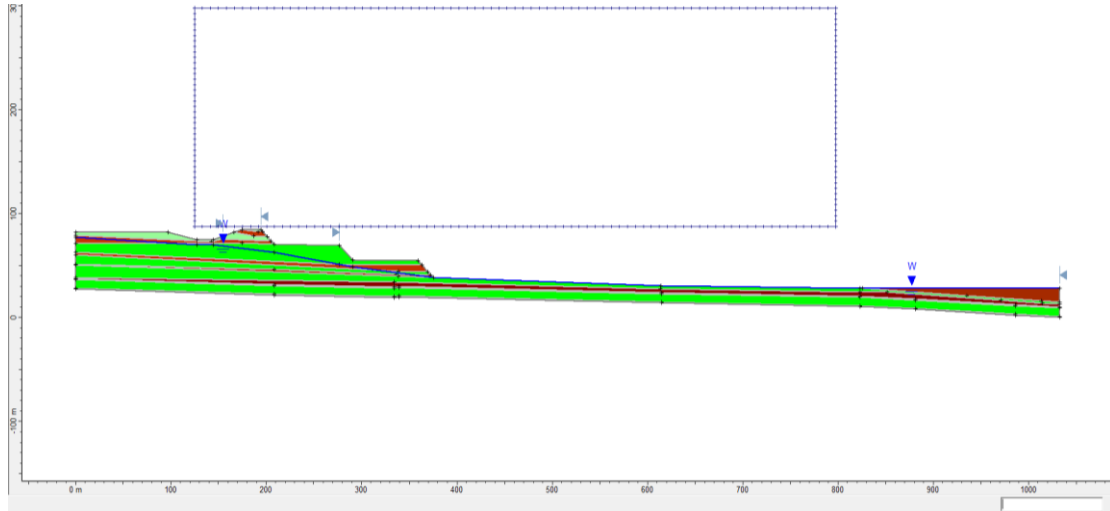


Εικόνα 71: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εσκαφής 1:5,5. Η ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ολικών τάσεων σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρηνούς.

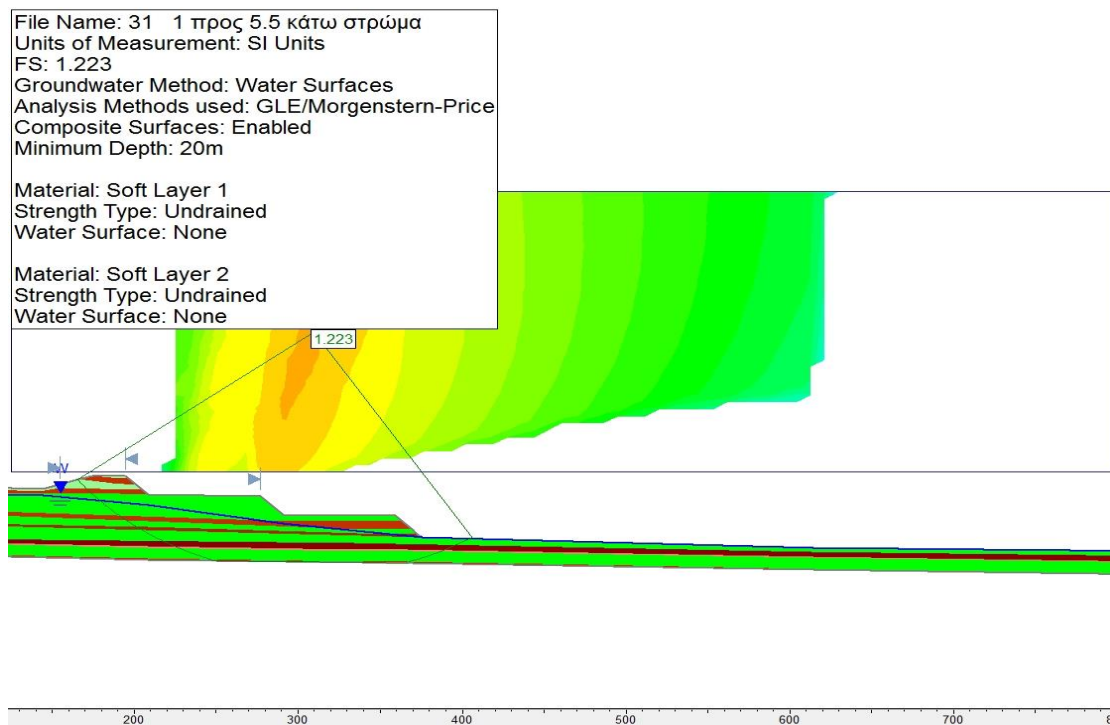


Εικόνα 72: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5,5, σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρηνούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.320$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 31 με Κλίση 1:5,5

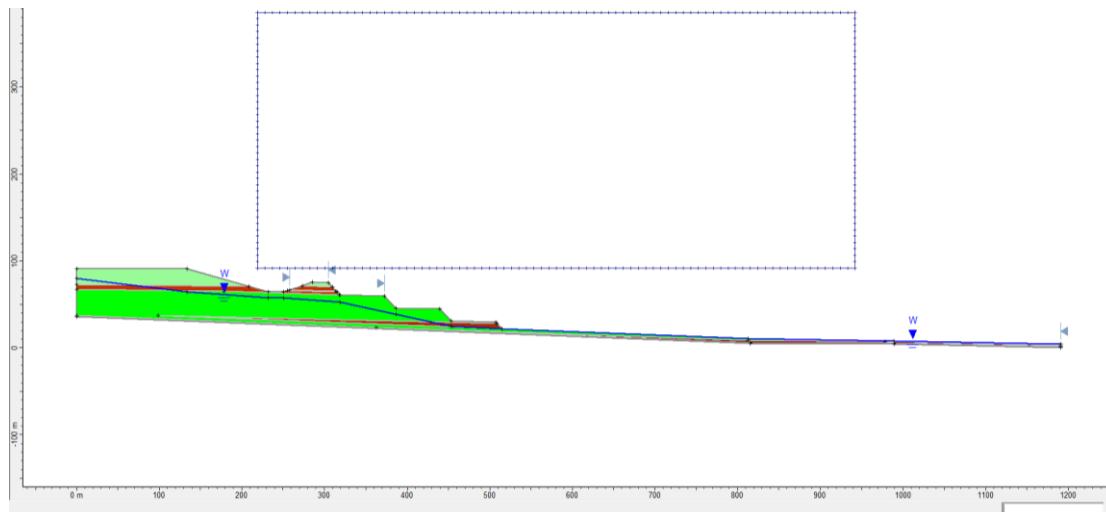


Εικόνα 73: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:5,5. Η ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ολικών τάσεων σε συνεκτικό έδαφος (c , $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

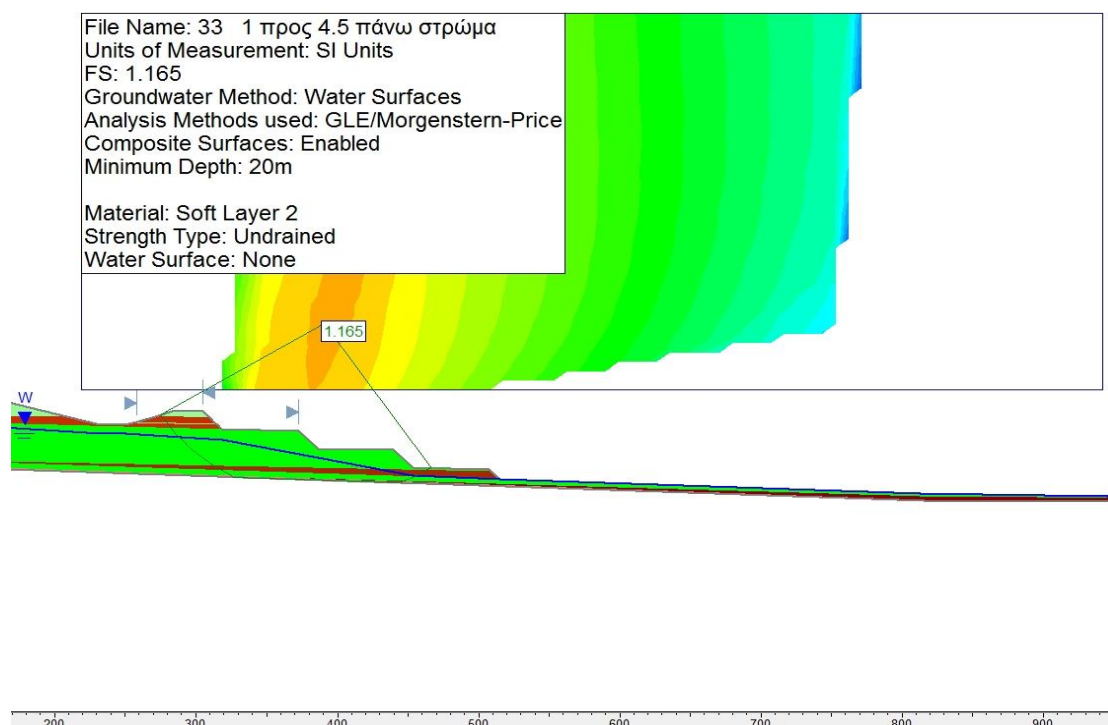


Εικόνα 74: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5,5, σε συνεκτικό έδαφος (c , $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.223$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εσκαφής στην Τομή 33 με Κλίση 1:4,5

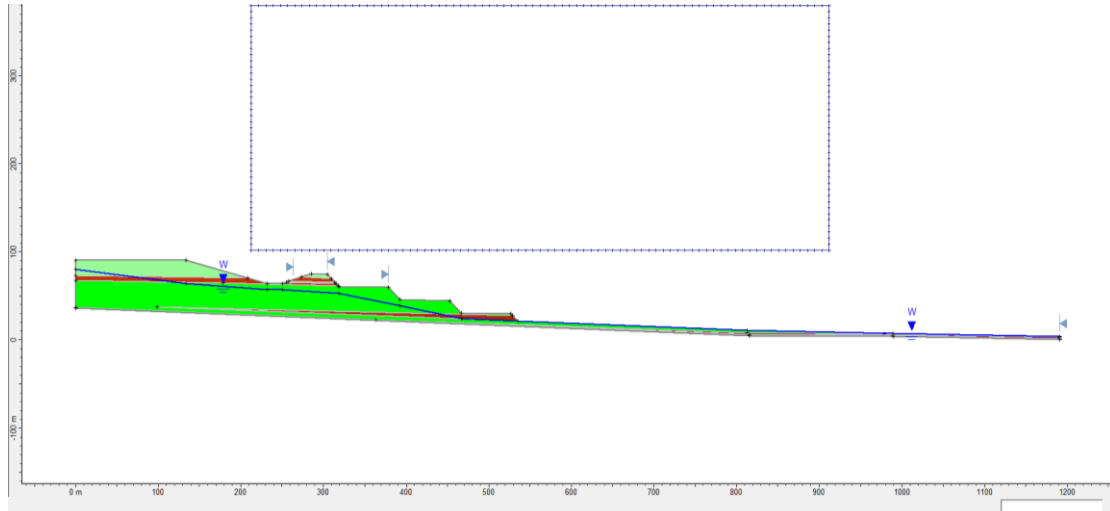


Εικόνα 75: Γεωμετρία της Τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εσκαφής 1:4,5. Η ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ολικών τάσεων σε συνεκτικό έδαφος (c , $\varphi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανού.

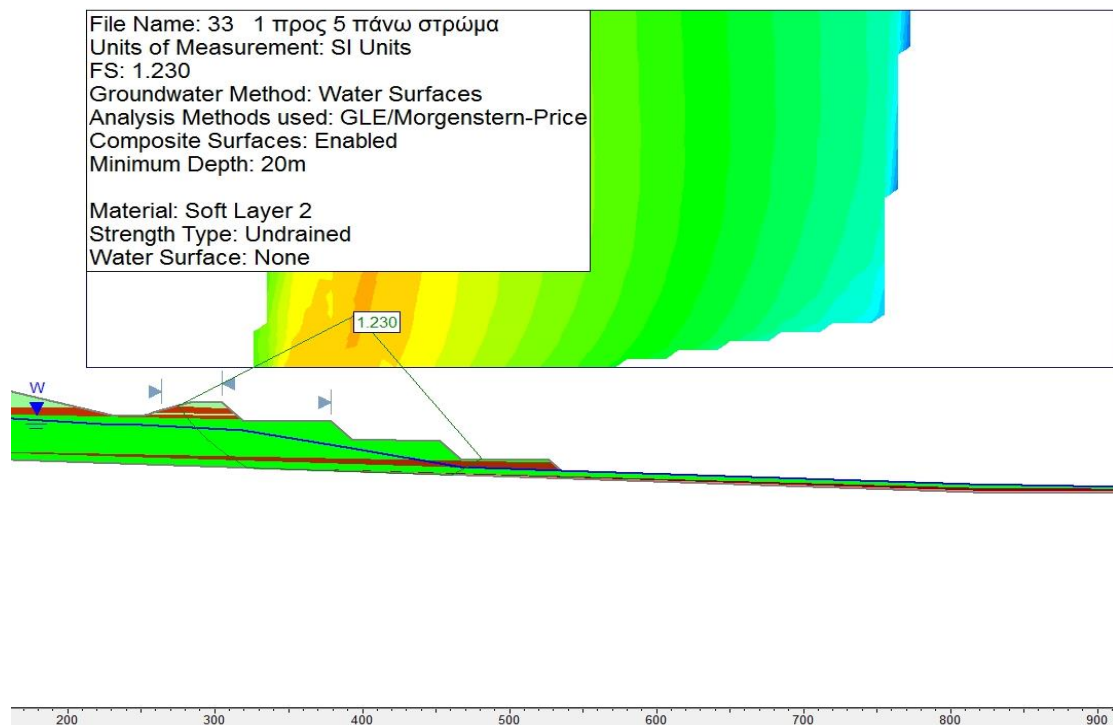


Εικόνα 76: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:4,5, σε συνεκτικό έδαφος (c , $\varphi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανού, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.165$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 33 με Κλίση 1:5

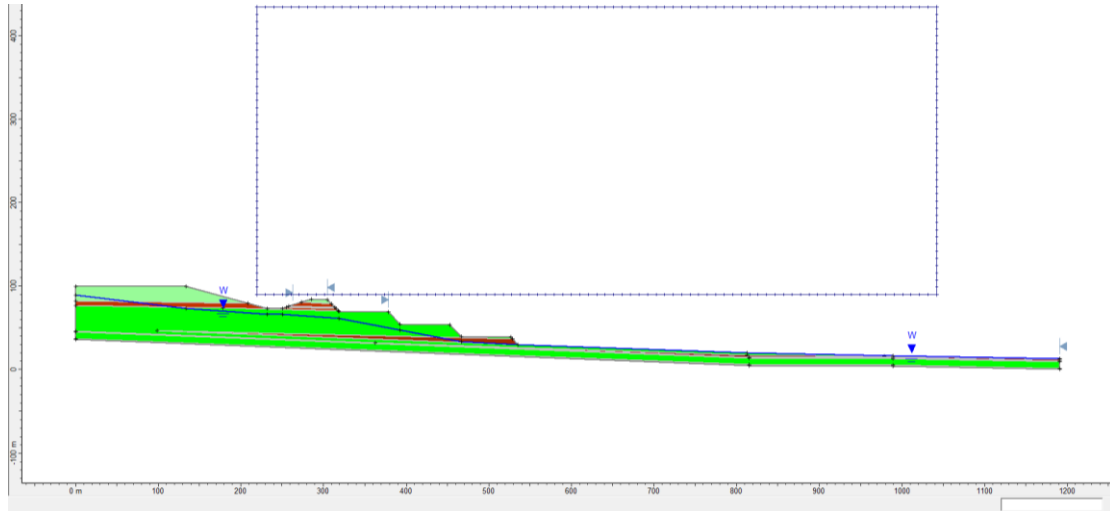


Εικόνα 77: Γεωμετρία της Τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:5. Η ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ολικών τάσεων σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

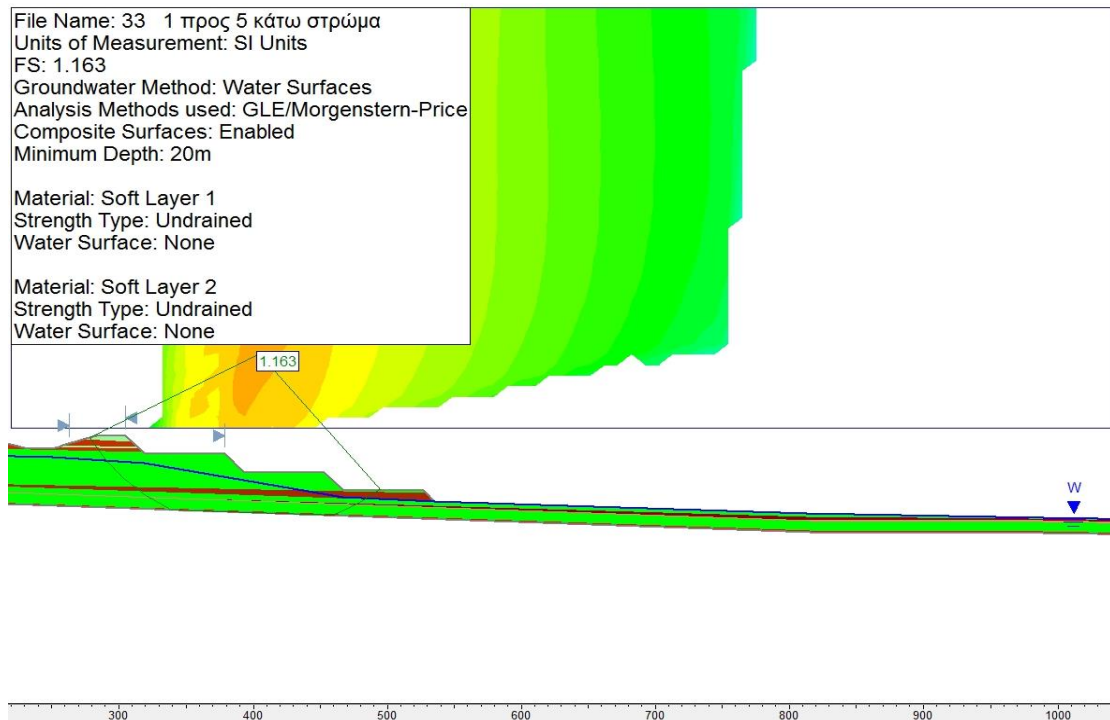


Εικόνα 78: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5, σε συνεκτικό έδαφος ($c, \varphi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.230$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 33 με Κλίση 1:5

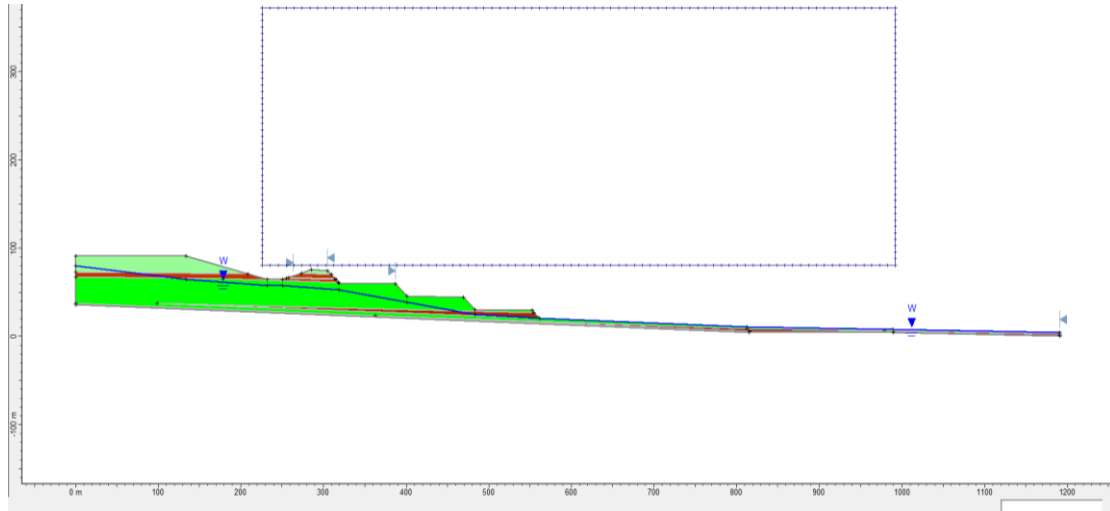


Εικόνα 79: Γεωμετρία της Τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:5. Η ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ολικών τάσεων σε συνεκτικό έδαφος ($c, \phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

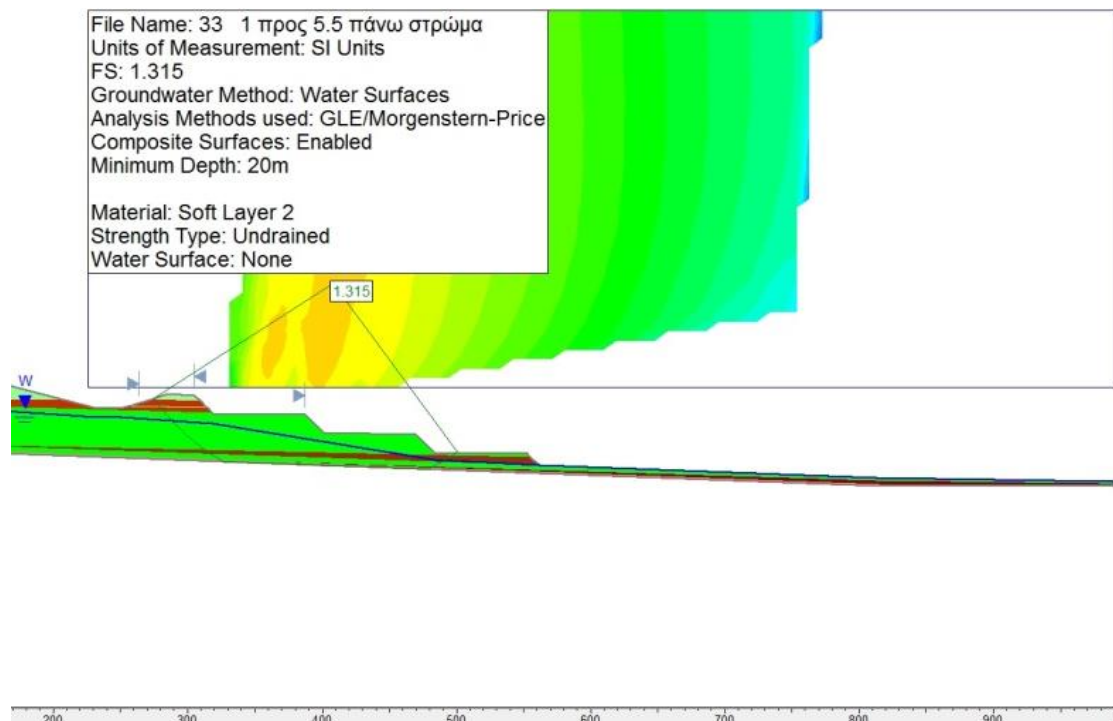


Εικόνα 80: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5, σε συνεκτικό έδαφος ($c, \phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.163$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 33 με Κλίση 1:5,5

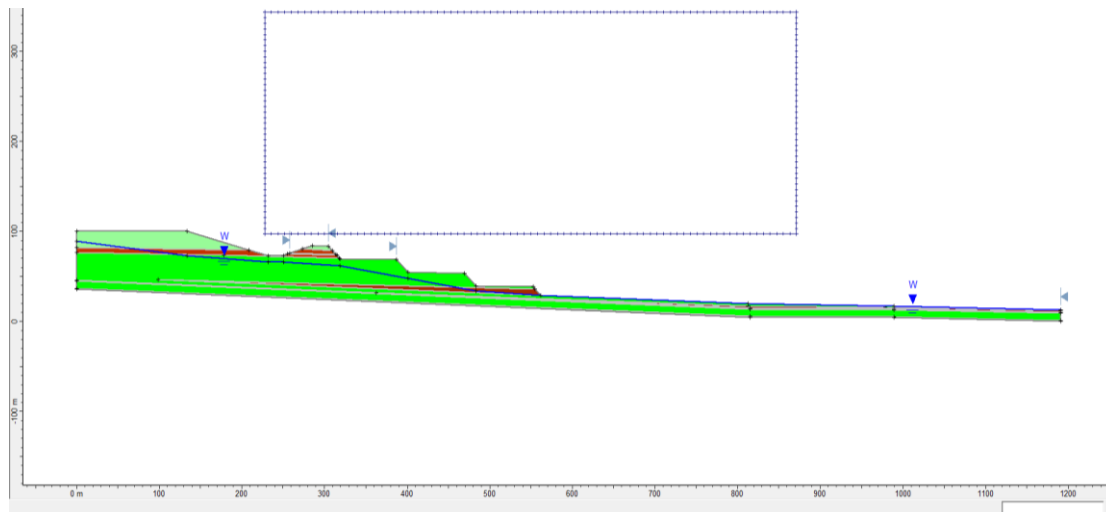


Εικόνα 81: Γεωμετρία της Τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εκσκαφής 1:5,5. Η ανάλυση που διενεργήθηκε προβλέπει στην θεώρηση ολικών τάσεων σε συνεκτικό έδαφος (c , $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς.

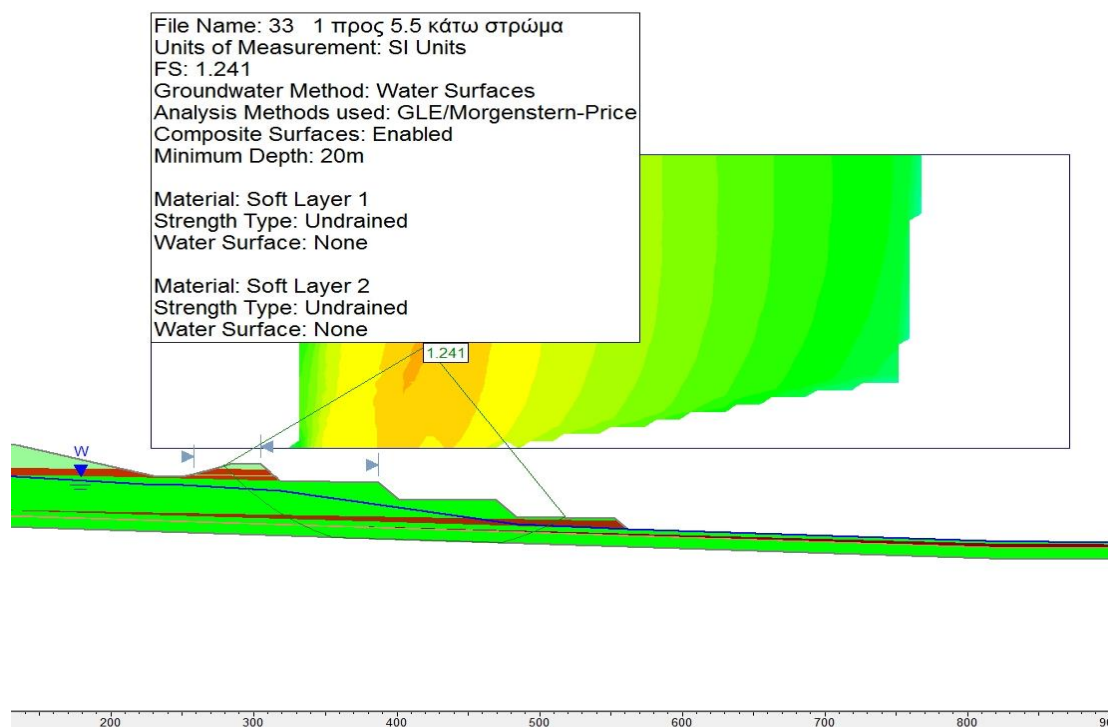


Εικόνα 82: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5,5, σε συνεκτικό έδαφος (c , $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρανούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.315$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εσκαφής στην Τομή 33 με Κλίση 1:5,5



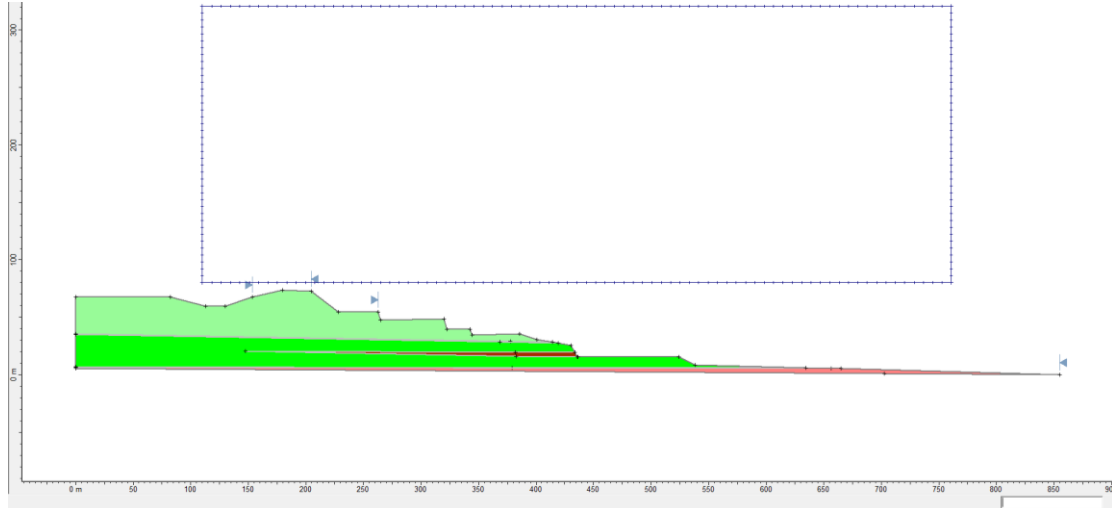
Εικόνα 83: Γεωμετρία της Τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εσκαφής 1:5,5. Η ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ολικών τάσεων σε συνεκτικό έδαφος (c , $\phi \neq 0$) με την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα να εντοπίζεται στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρηνούς.



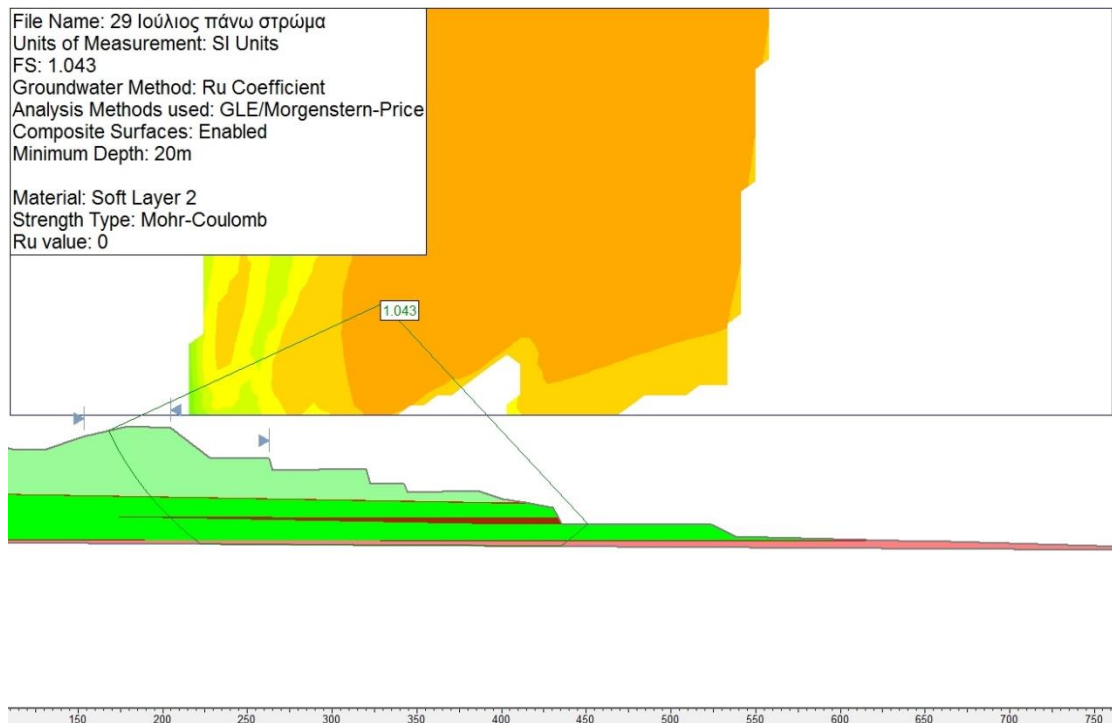
Εικόνα 84: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5,5, σε συνεκτικό έδαφος (c , $\phi \neq 0$) και την στάθμη του Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα στα $-6m$, από την κοίτη του ποταμού με καθοδική πορεία μέχρι τη βάση του πρηνούς, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.241$.

Θεώρηση Ενεργών Τάσεων σε Μη – Συνεκτικό Έδαφος ($c=0, \varphi \neq 0$), χωρίς την Στάθμη Υδροφόρου Ορίζοντα.

Ανάστροφη Αριθμητική Προσομοίωση της Τομής 29 (Ιούλιος 2015)

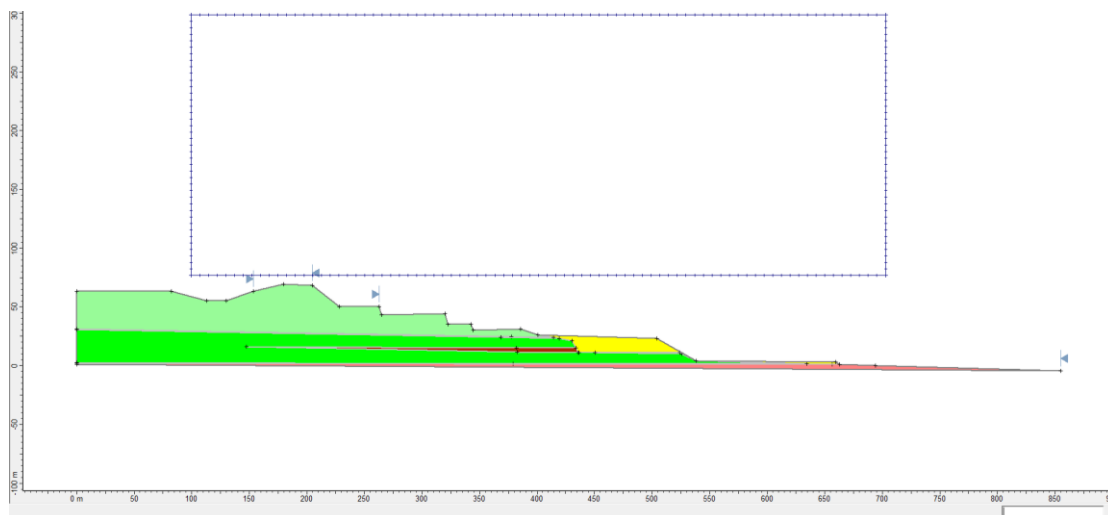


Εικόνα 85: Γεωμετρία της τομής 29 τον Ιούλιο 2015 που αναλύθηκε. Η ανάστροφη ανάλυση που εκπονήθηκε προβαίνει στη θεώρηση ενεργών τάσεων σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0, \varphi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα.

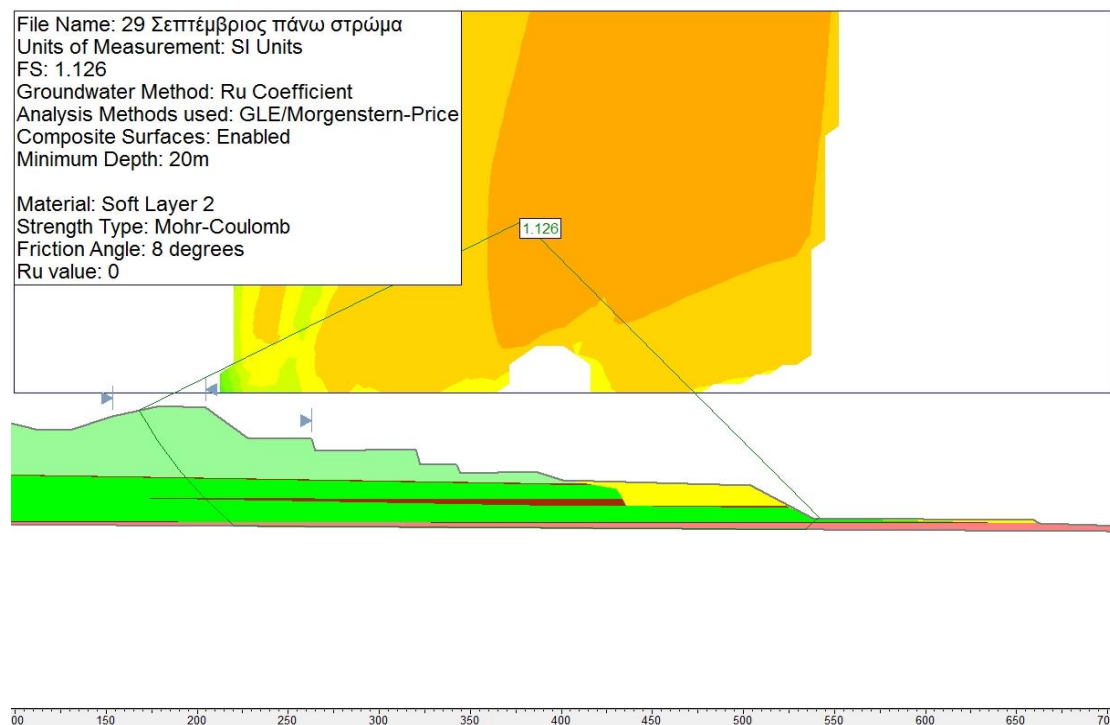


Εικόνα 86: Ισοκαμπύλες της ευμενέστερης ανάστροφης ανάλυσης της τομής 29, για μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0, \varphi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.043$.

Εκτίμηση της Επάρκειας των Μέτρων Αντιστήριξης στην Τομή 29 (Σεπτέμβριος 2015)

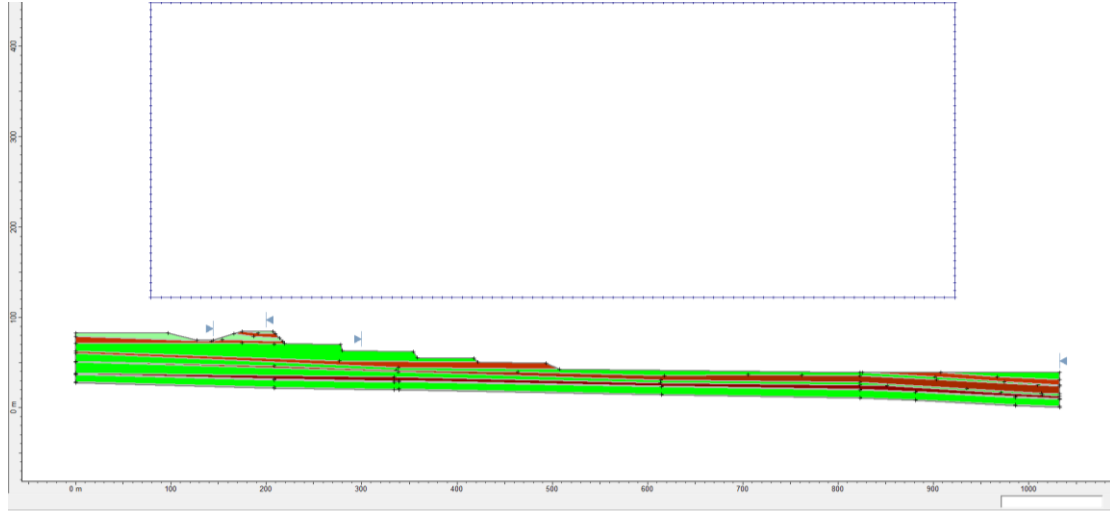


Εικόνα 87: Γεωμετρία της Τομής 29 τον Σεπτέμβριο 2015 που αναλύθηκε, για τον έλεγχο επάρκειας των μέτρων αντιστήριξης. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ενεργών τάσεων σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα.

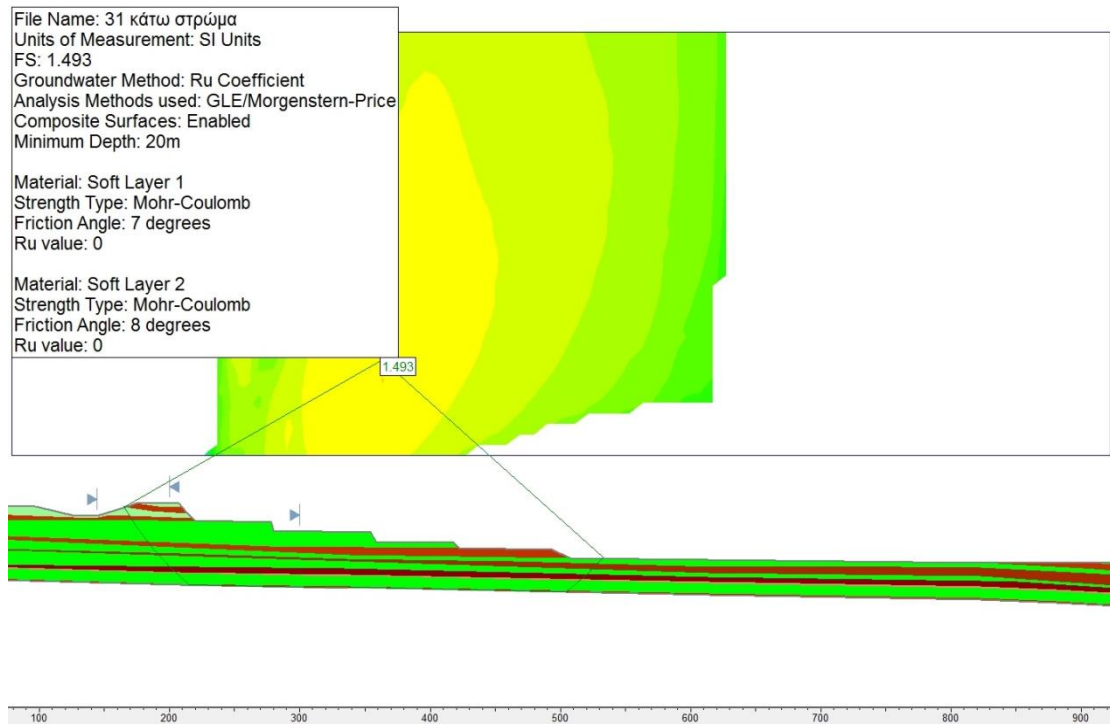


Εικόνα 88: Ισοκαμπύλες της ευμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 29 για τον έλεγχο επάρκειας των μέτρων αντιστήριξης, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.126$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Επιβολής των Προτιμώμενων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 31

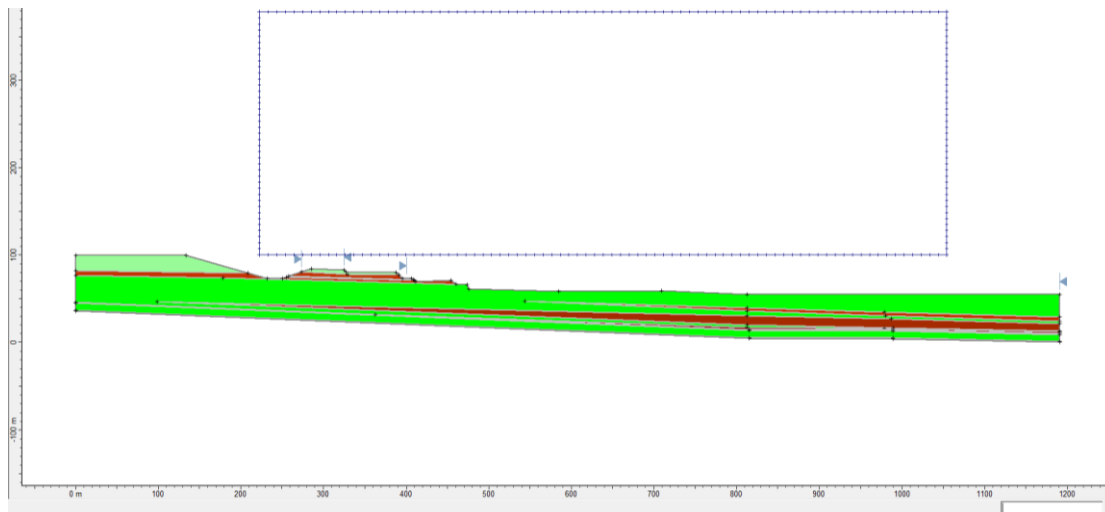


Εικόνα 89: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των προτιμώμενων κλίσεων εκσκαφής. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ενεργών τάσεων σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα.

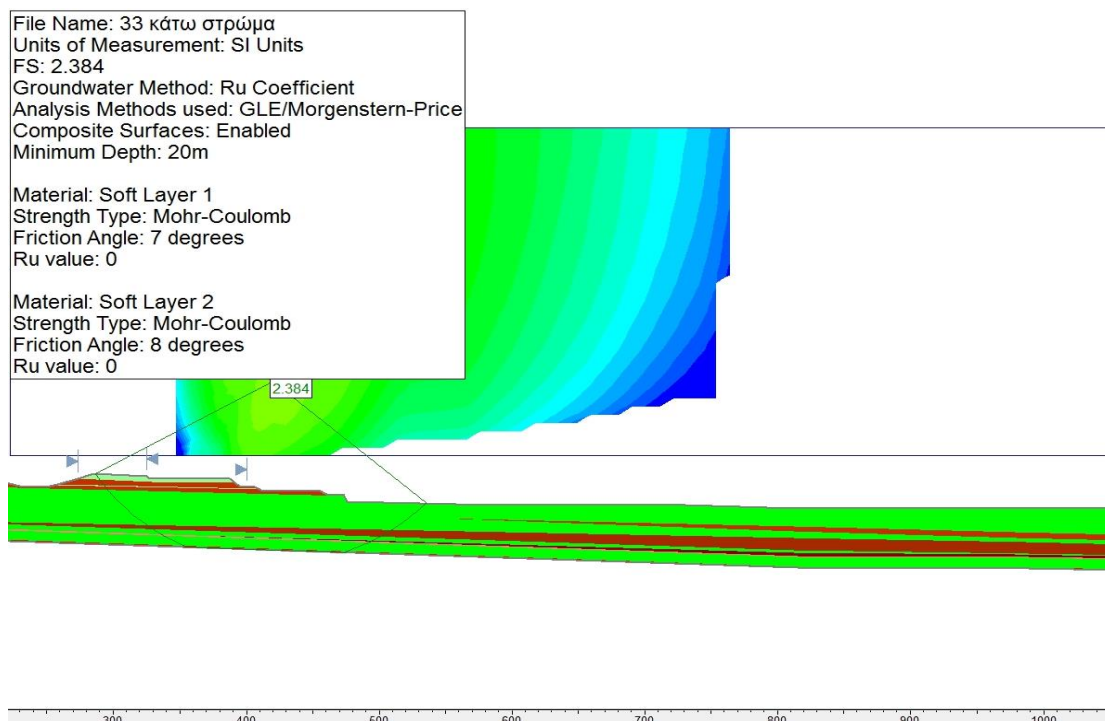


Εικόνα 90: Ισοκαμπύλες της ευμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των προτιμώμενων κλίσεων, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.493$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Επιβολής των Προτιμώμενων Κλίσεων Εκσκαφής στην Τομή 33

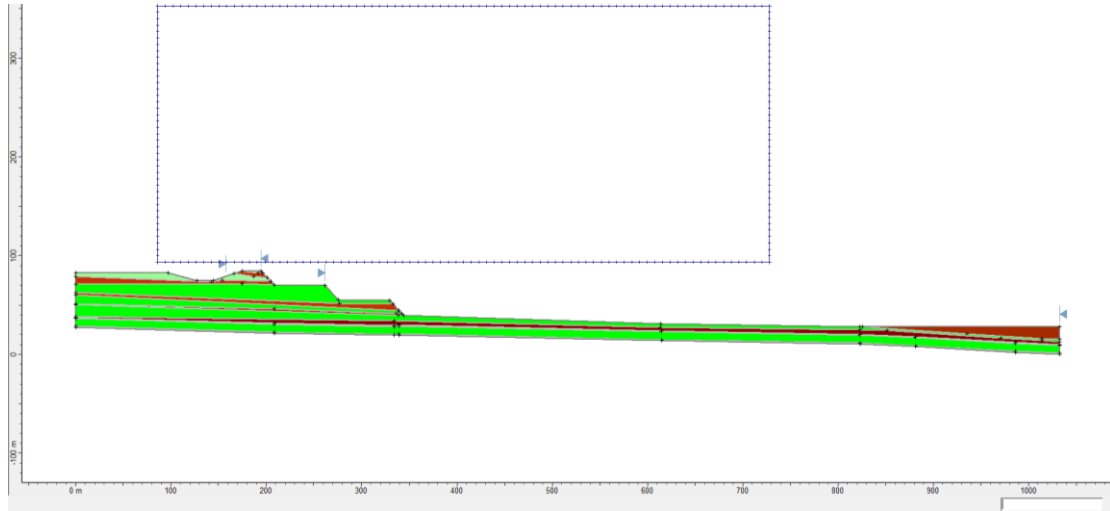


Εικόνα 91: Γεωμετρία της τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των προτιμώμενων κλίσεων εκσκαφής. Η αριθμητική ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ενεργών τάσεων σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα.

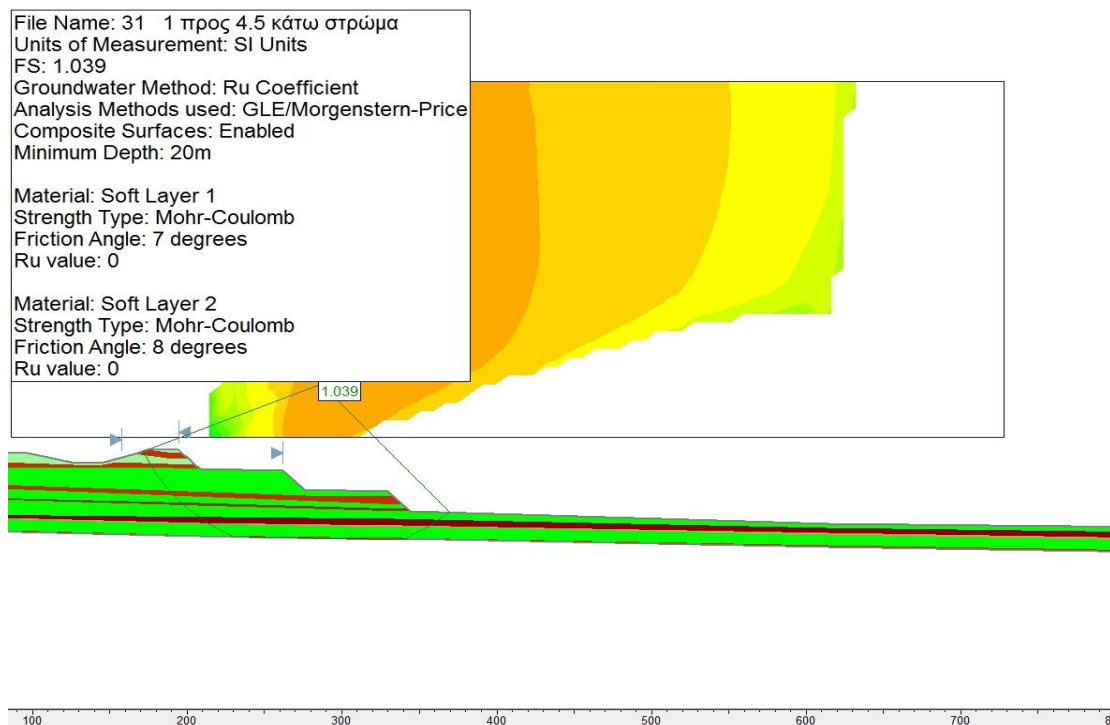


Εικόνα 92: Ισοκαμπύλες της ευμενέστερης έμπροσθεν αριθμητικής ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των προτιμώμενων κλίσεων, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=2.384$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εσκαφής στην Τομή 31 με Κλίση 1:4,5

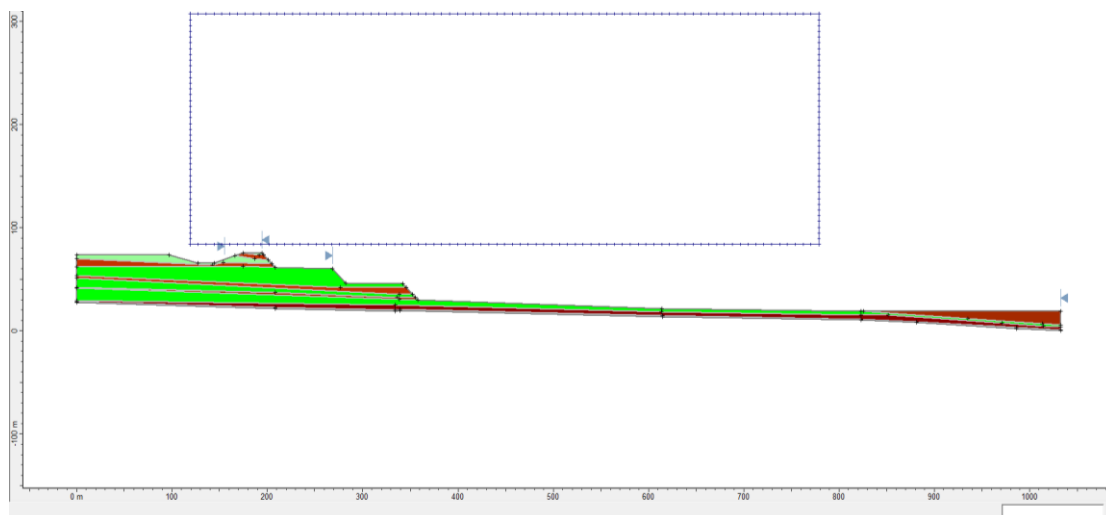


Εικόνα 93: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εσκαφής 1:4,5. Η ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ενεργών τάσεων σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα.

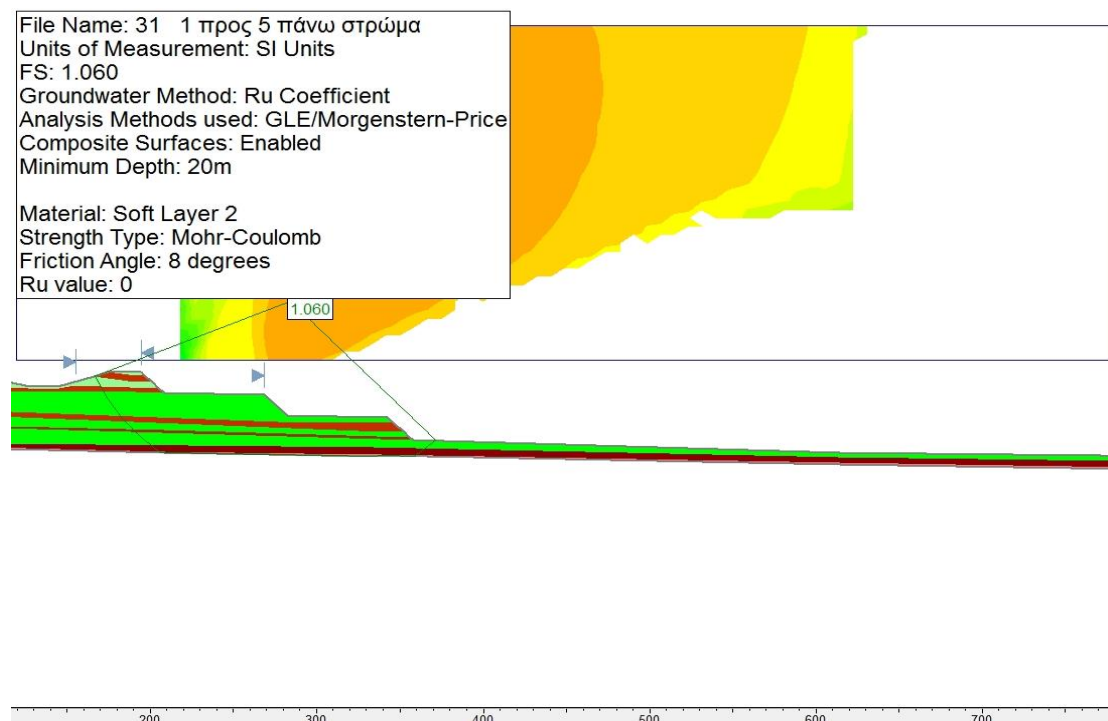


Εικόνα 94: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:4,5, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.039$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εσκαφής στην Τομή 31 με Κλίση 1:5

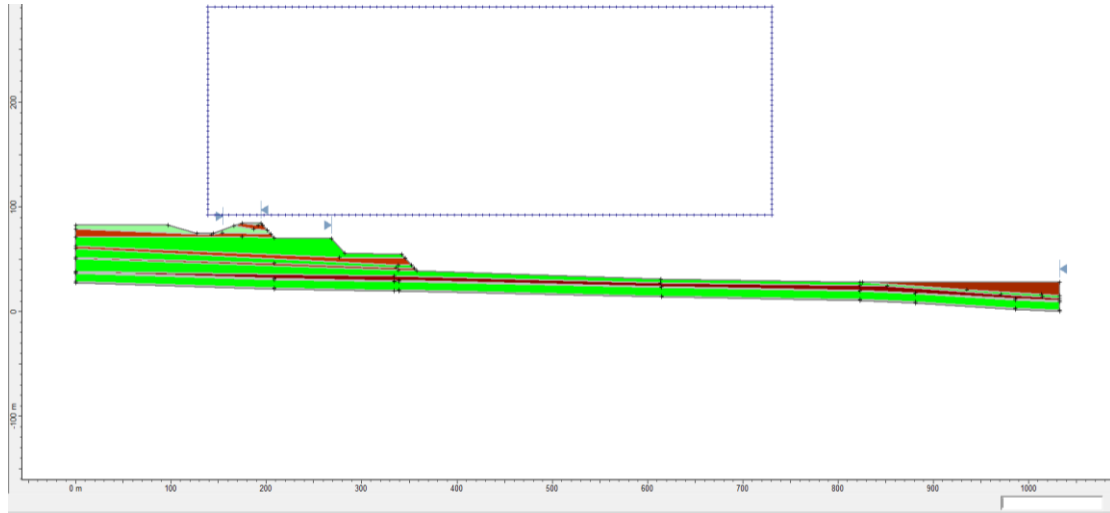


Εικόνα 95: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εσκαφής 1:5. Η ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ενεργών τάσεων σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα.

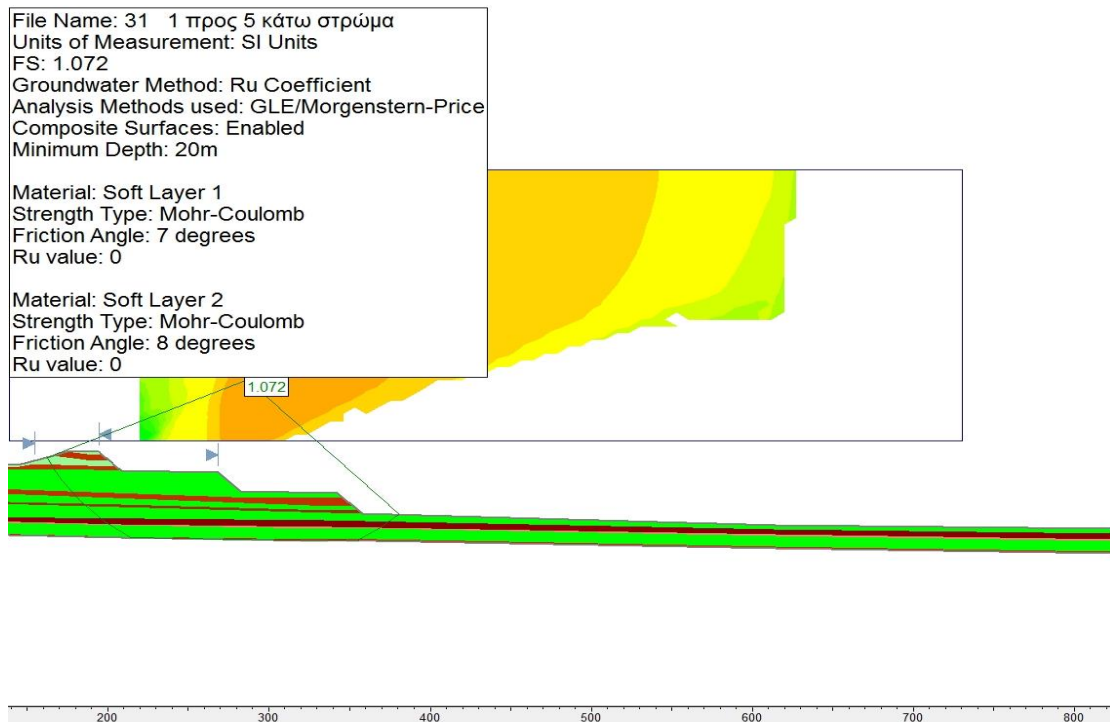


Εικόνα 96: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.060$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εσκαφής στην Τομή 31 με Κλίση 1:5

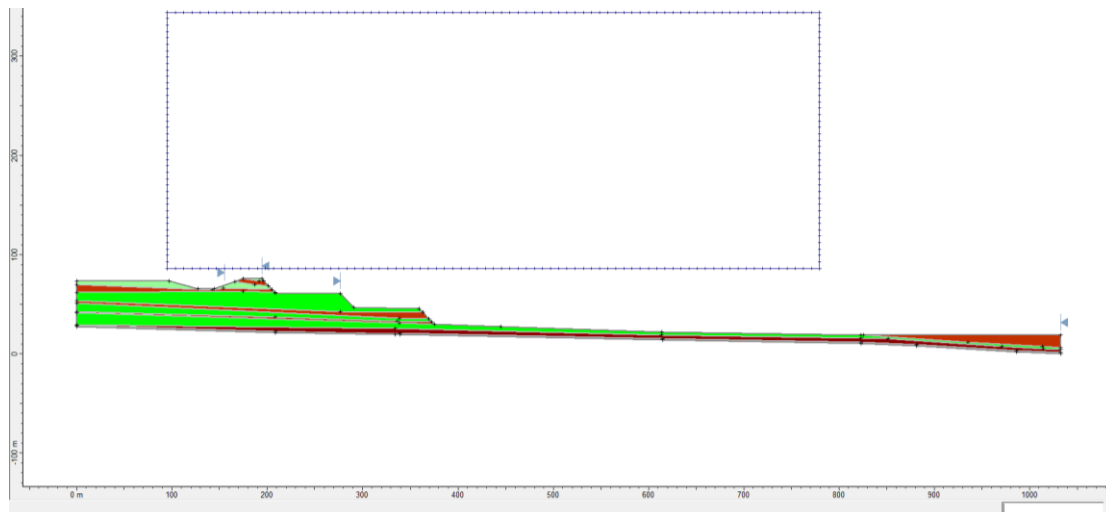


Εικόνα 97: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εσκαφής 1:5. Η ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ενεργών τάσεων σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα.

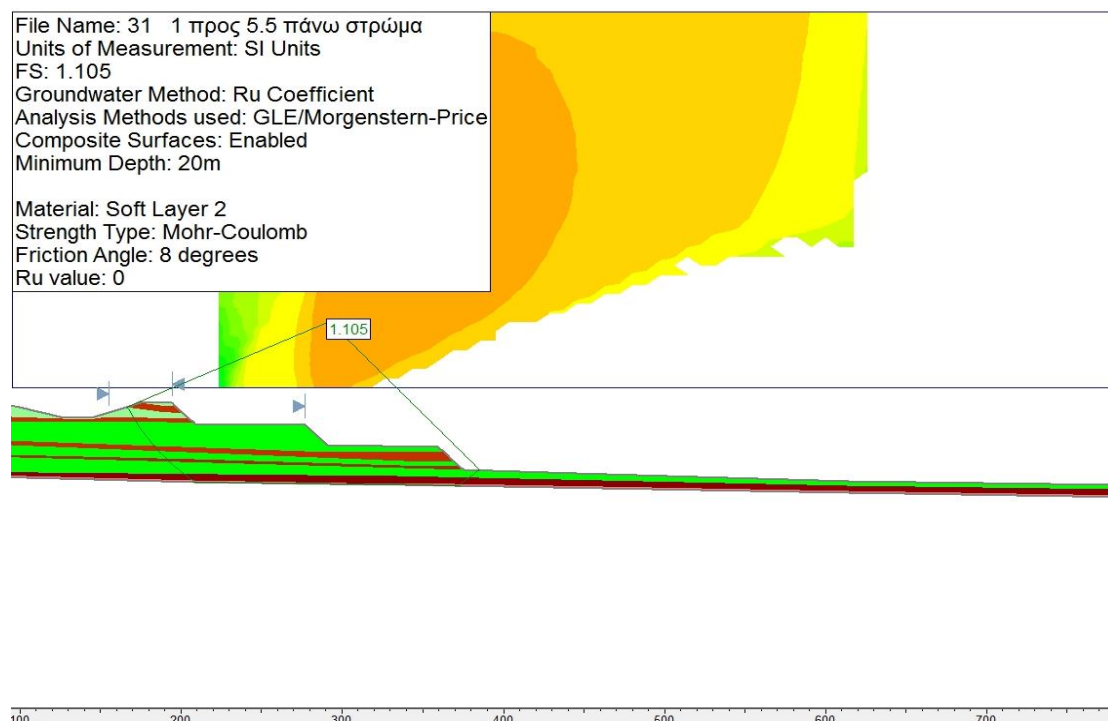


Εικόνα 98: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5,5, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.072$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εσκαφής στην Τομή 31 με Κλίση 1:5,5

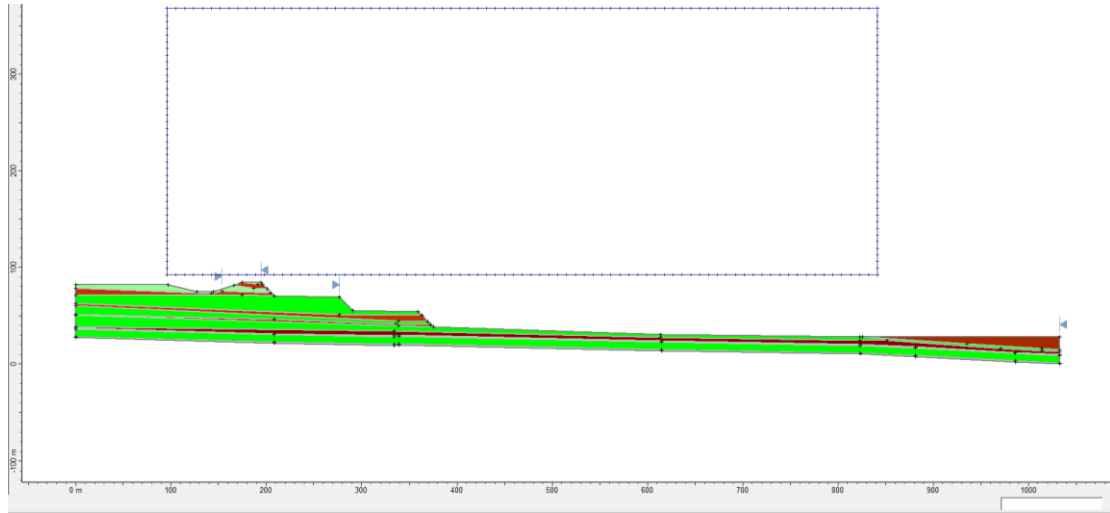


Εικόνα 99: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εσκαφής 1:5,5. Η ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ενεργών τάσεων σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα.

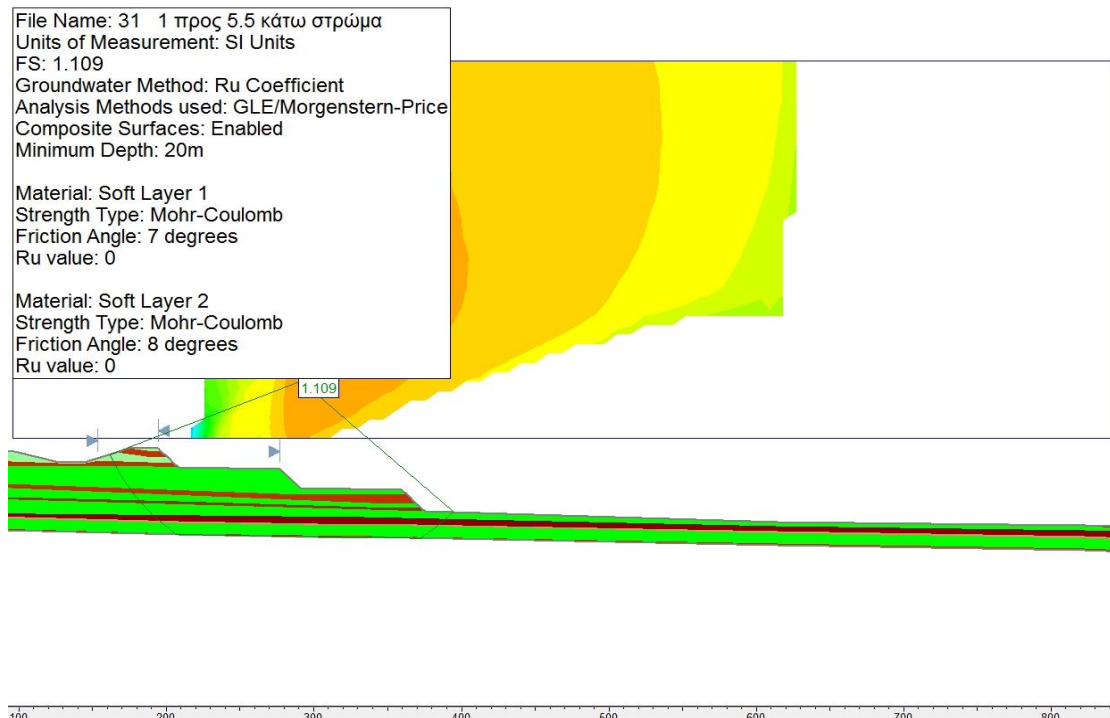


Εικόνα 100: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5,5, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.105$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εσκαφής στην Τομή 31 με Κλίση 1:5,5

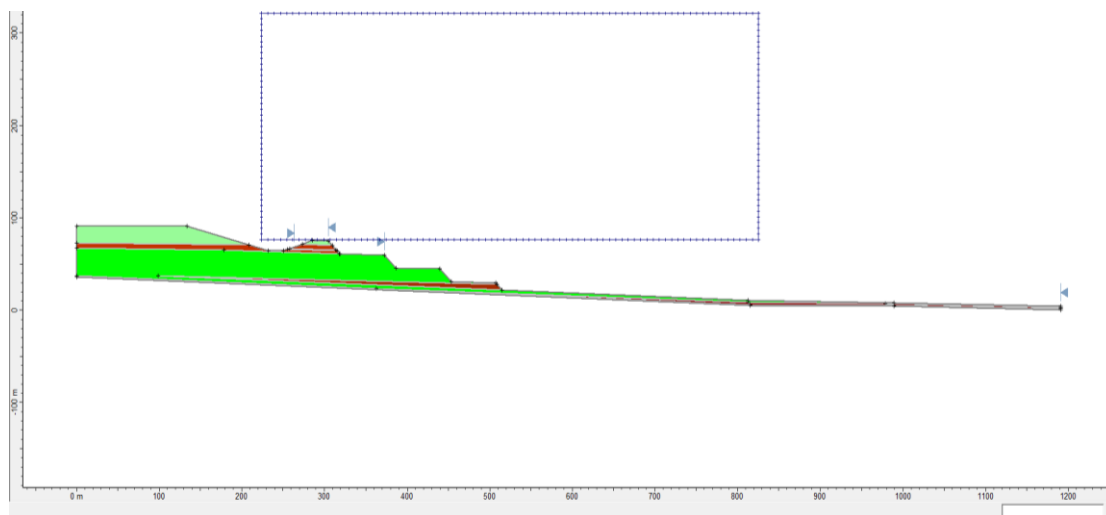


Εικόνα 101: Γεωμετρία της Τομής 31 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εσκαφής 1:5,5. Η ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ενεργών τάσεων σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα.

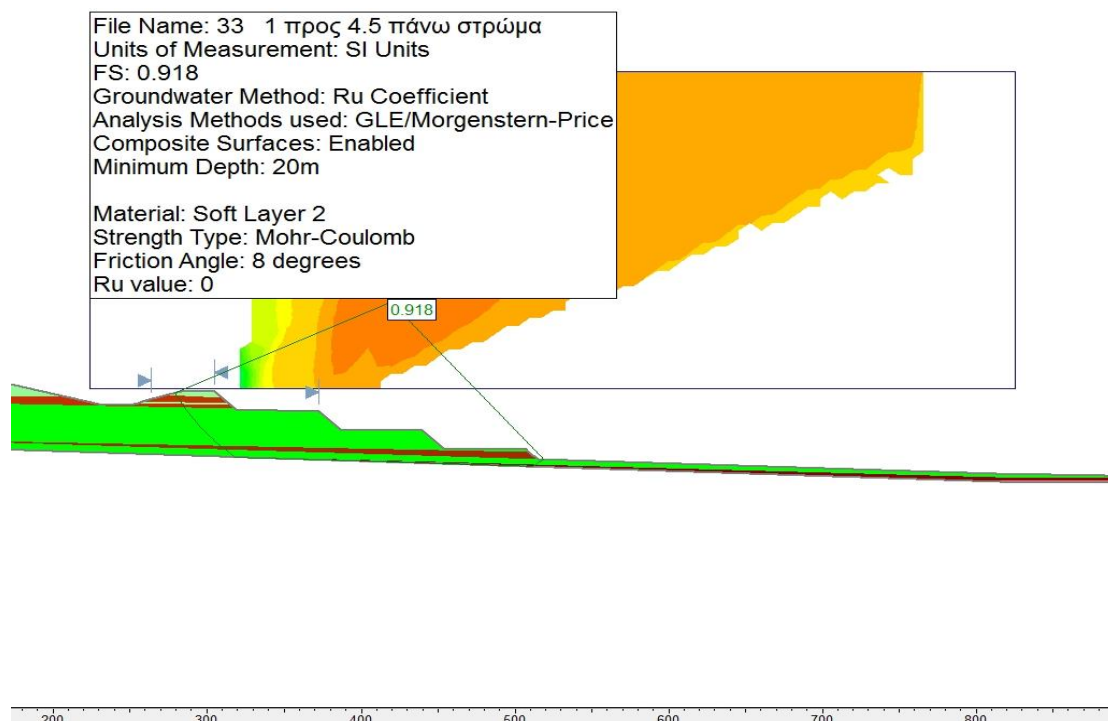


Εικόνα 102: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν ανάλυσης της τομής 31 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5,5, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.109$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εσκαφής στην Τομή 33 με Κλίση 1:4,5

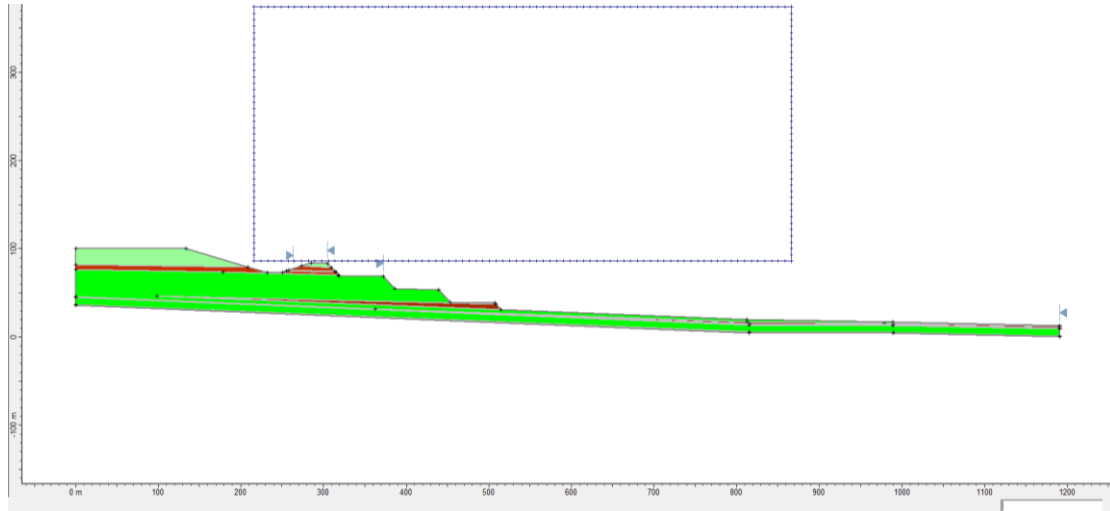


Εικόνα 103: Γεωμετρία της Τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εσκαφής 1:4,5. Η ανάλυση που διενεργήθηκε προβάνει στην θεώρηση ενεργών τάσεων σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα.

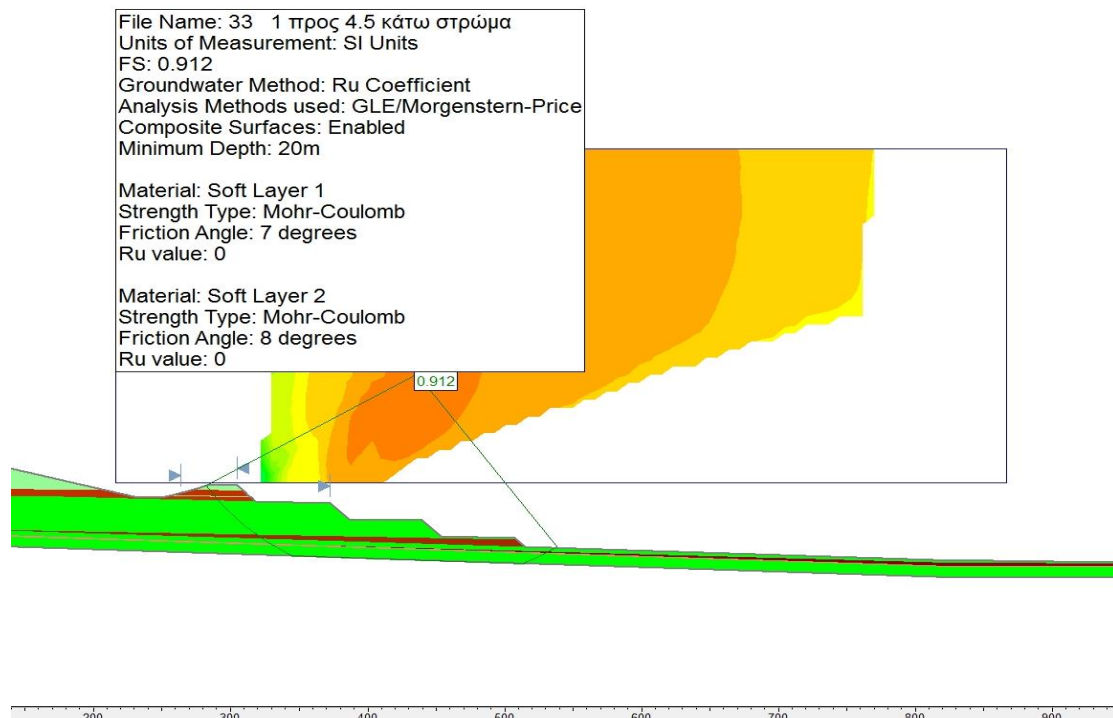


Εικόνα 104: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:4,5, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=0.918$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εσκαφής στην Τομή 33 με Κλίση 1:4,5

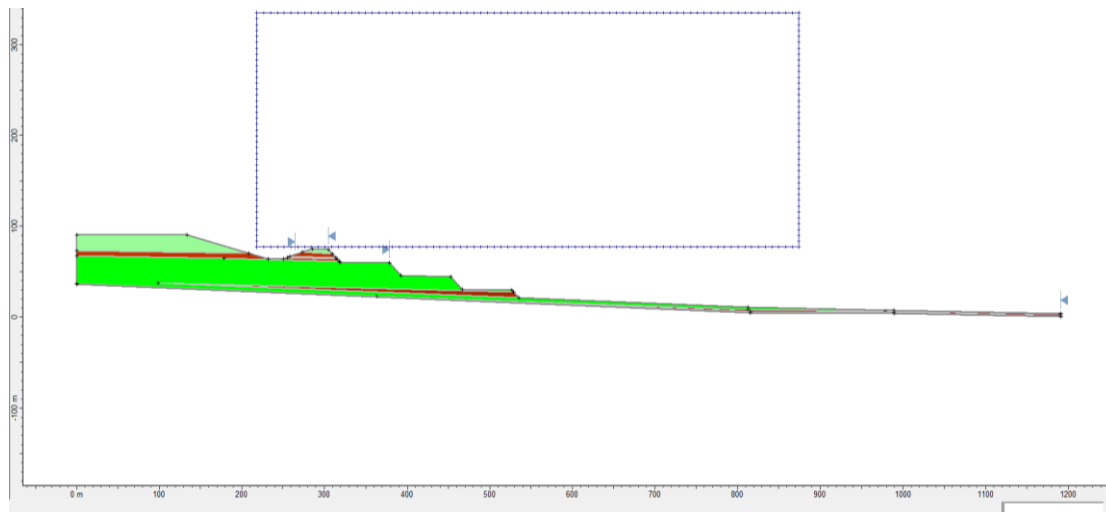


Εικόνα 105: Γεωμετρία της Τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εσκαφής 1:4,5. Η ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ενεργών τάσεων σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα.

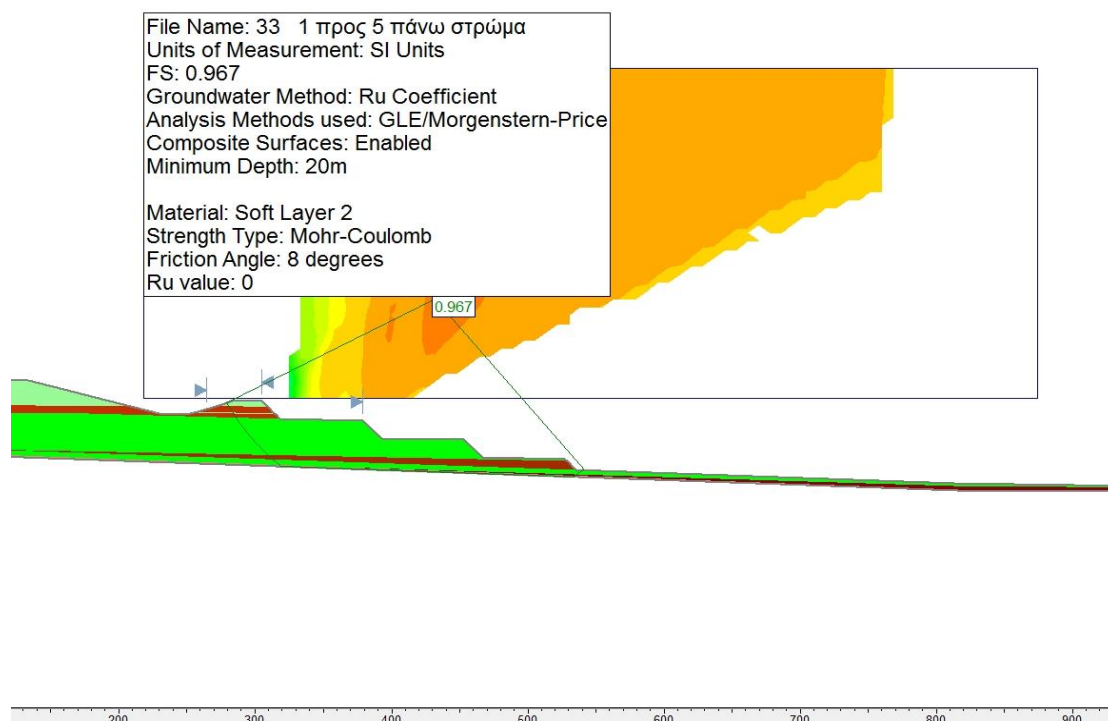


Εικόνα 106: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:4,5, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=0.912$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εσκαφής στην Τομή 33 με Κλίση 1:5

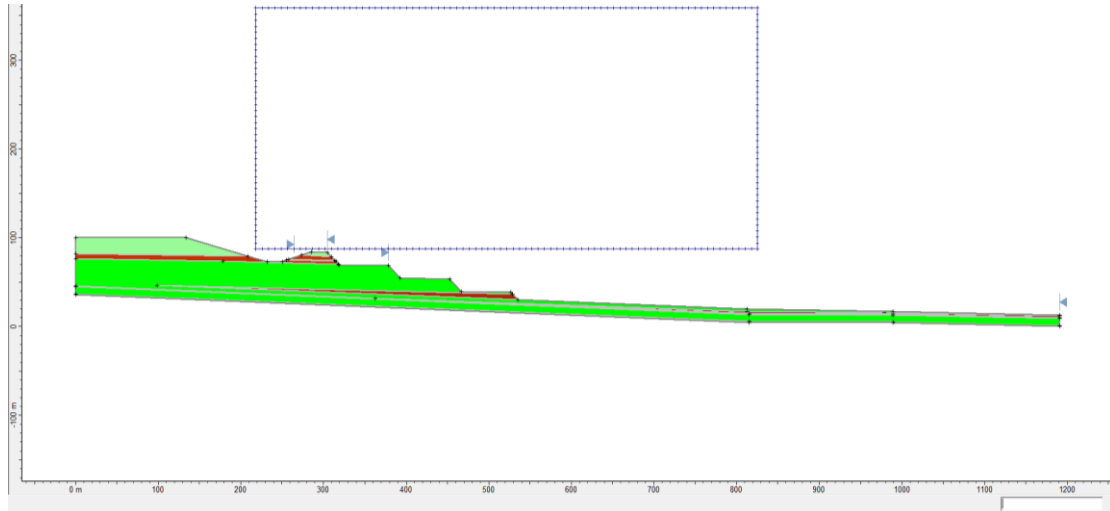


Εικόνα 107: Γεωμετρία της Τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εσκαφής 1:5. Η ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ενεργών τάσεων σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα.

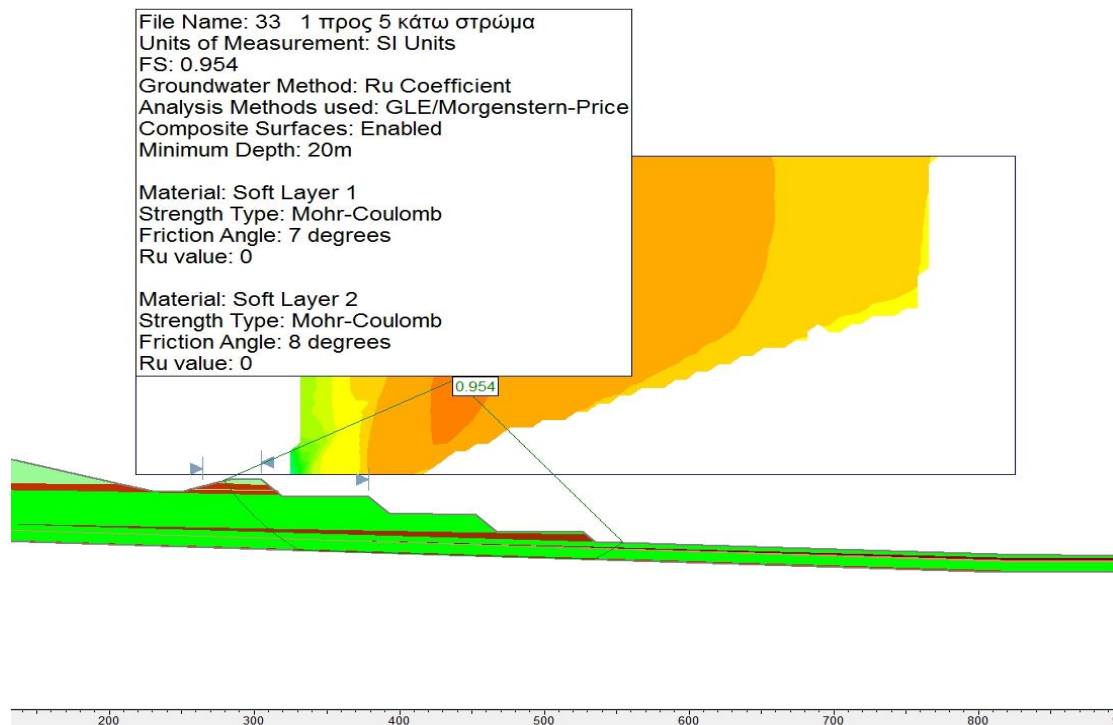


Εικόνα 108: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\phi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=0.967$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εσκαφής στην Τομή 33 με Κλίση 1:5

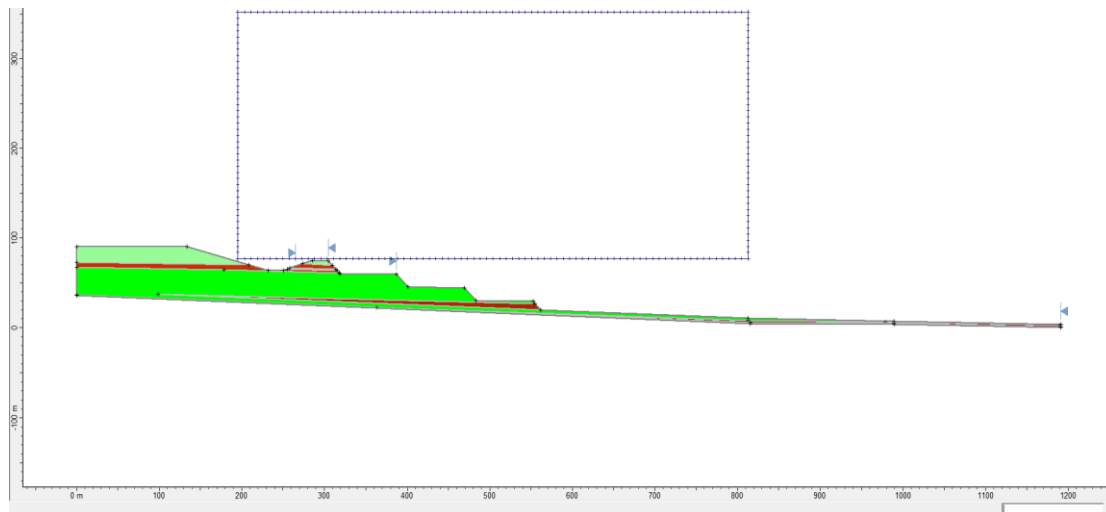


Εικόνα 109: Γεωμετρία της Τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εσκαφής 1:5. Η ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ενεργών τάσεων σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα.

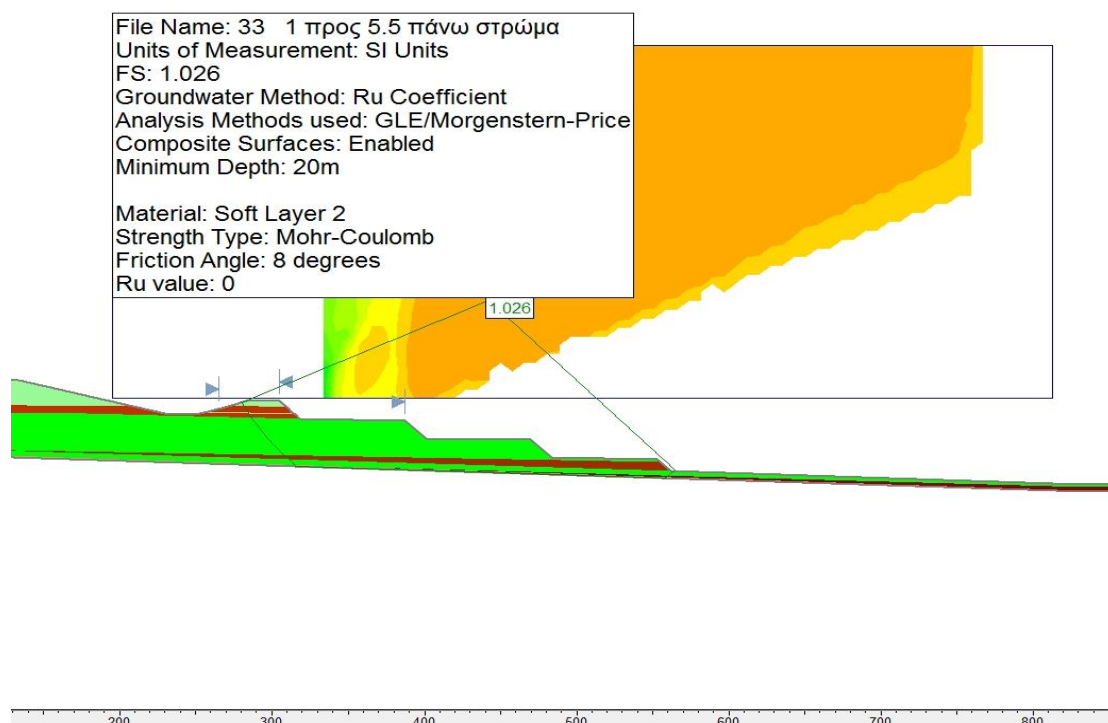


Εικόνα 110: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=0.954$.

Εκτίμηση της Δυνατότητας Εφαρμογής των Αναθεωρημένων Κλίσεων Εσκαφής στην Τομή 33 με Κλίση 1:5,5



Εικόνα 111: Γεωμετρία της Τομής 33 που αναλύθηκε, για την εκτίμηση της δυνατότητας επιβολής των αναθεωρημένων κλίσεων εσκαφής 1:5,5. Η ανάλυση που διενεργήθηκε προβαίνει στην θεώρηση ενεργών τάσεων σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα.



Εικόνα 112: Ισοκαμπύλες της έμπροσθεν ανάλυσης της τομής 33 για την εκτίμηση της δυνατότητας εφαρμογής των αναθεωρημένων κλίσεων 1:5,5, σε μη – συνεκτικό έδαφος ($c=0$, $\varphi \neq 0$) με μηδενικό συντελεστή πίεσης πόρων (R_u) και χωρίς την ύπαρξη Υπόγειου Υδροφόρου Οριζοντα, που αντιστοιχεί σε οριακό συντελεστή ασφαλείας: $FS=1.026$.

Βιβλιογραφία

- Μ. Καββαδάς, Μελέτη με τίτλο “Διερεύνηση της ευστάθειας του Δυτικού Πρανούς του Ορυχείου Χωρεμίου (περιοχή Υ = 15000 έως 15600), με σκοπό τον προσδιορισμό του βέλτιστου και ασφαλούς τρόπου προώθησης του μετώπου εκμετάλλευσης”, 2015
- Γ. Μαρίνου, Ι. Αναστόπουλου, Η ΛΙΓΝΗΤΟΦΟΡΟΣ ΛΕΚΑΝΗ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΕΩΣ Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους (Ι.Γ.Ε.Υ.), 1957 – 1959
- Ν. Καπερώνη, Α. Αθανασίου, Γ. Αγγελοπούλου, ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΔΙΟΥ “ΜΑΡΑΘΟΥΣΑ – ΒΟΡΕΙΟΝ ΧΩΡΕΜΙ” ΛΙΓΝΙΤΟΦΟΡΟΥ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕΓΑΛΟΥΠΟΛΕΩΣ, Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Διεύθυνση Ορυχείων, 1974
- Γ. Παγώνης, Χ. Ρούμπος, Λ. Πατμανίδου, ΑΙΚ. Λιάκουρα, ΑΝΑΘΕΩΡΗΜΕΝΗ ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΟΡΥΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ, Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Διεύθυνση Μελετών & Ανάπτυξης Ορυχείων Τομέας Σχεδιασμού – Μελετών Ορυχείων, 2008
- Κ. Κουρέτας, Διπλωματική Εργασία “ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ – ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟΥ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΟΡΥΧΕΙΟΥ ΧΩΡΕΜΙΟΥ ΣΤΗ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ”, 2013
- Α. Καστανίδης, Διπλωματική Εργασία “ΠΑΛΑΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕΣΑΙΑΣ ΛΙΓΝΙΤΟΦΟΡΑΣ ΣΤΟΙΒΑΔΑΣ ΣΤΟ ΟΡΥΧΕΙΟ ΤΗΣ ΜΑΡΑΘΟΥΣΑΣ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ”, 2012
- Ιστοσελίδα “www.dei.gr”
- Ιστοσελίδα “www.wikipedia.org”

