



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Δ.Π.Μ.Σ.
«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ»
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ



ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΠΡΑΝΩΝ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία
Βασίλειος Γ. Παπαδόπουλος
Πολιτικός Μηχανικός Πα. Πα.

Επιβλέπουσα
Βασιλική Ν. Γεωργιάννου
Καθηγήτρια Σχ. Πολ. Μηχ. Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2021



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Δ.Π.Μ.Σ.
«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ»
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΠΡΑΝΩΝ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία
Βασίλειος Γ. Παπαδόπουλος
Πολιτικός Μηχανικός Πανεπιστήμιο Πατρών

Επιβλέπουσα
Βασιλική Ν. Γεωργιάννου
Καθηγήτρια Σχ. Πολ. Μηχ. Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις ___/___/_____

Βασιλική Γεωργιάννου, Καθηγήτρια

Νικόλαος Γερόλυμος, Αναπλ. Καθηγητής

Πάυλος Νομικός, Αναπλ. Καθηγητής

Αθήνα, Φεβρουάριος 2021



Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του διατμηματικού προγράμματος σπουδών «Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπόγειων Έργων». Το εν λόγω πρόγραμμα συντονίζεται από τις σχολές Μηχανικών Μεταλλείων και Μεταλλουργών, Πολιτικών Μηχανικών, Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Το αντικείμενο που πραγματεύεται είναι η ευστάθεια πρηνών, με ιδιαίτερη έμφαση στο ζήτημα της επίδρασης επί αυτής των υπόγειων υδάτων.

Μετά την ανάληψη του συγκεκριμένου θέματος διπλωματικής, παγιώθηκε πλήρως η πρότερη επιθυμία μου να συνεχίσω τις σπουδές μου στο αμέσως επόμενο επίπεδο της διδακτορικής διατριβής. Για το λόγο αυτό, θεωρώ πως η διπλωματική αυτή αποτελεί το έναυσμα για τη συνέχιση της ακαδημαϊκής μου πορείας. Επομένως, θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια, της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. και διδάσκουσα του παραπάνω Δ.Π.Μ.Σ., κα Βασιλική Γεωργιάννου, η οποία και με ώθησε στην επιλογή αυτού του θέματος. Ταυτόχρονα, θα ήθελα να την ευχαριστήσω και για την ιδιαίτερα σημαντική βοήθεια που μου παρείχε, κατά τη διάρκεια των αναλύσεων και της συγγραφής της διπλωματικής.

Επιπρόσθετα, τις ευχαριστίες μου αποδίδω και στον επίκουρο καθηγητή, της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π., κ. Βασίλη Μαρίνο, που μου στάθηκε αρωγός σε διάφορα θέματα που αφορούν στη μελέτη των γεωλογικών συνθηκών και των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών των υπό μελέτη περιοχών. Ακόμη, ο αναπληρωτής καθηγητής, της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π., κ. Νίκος Γερόλυμος και ο υποψήφιος διδάκτωρ, της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π., κ. Δημήτρης Γεωργίου ήταν καθοριστικοί παράγοντες στη διαδικασία της μοντελοποίησης του φυσικού προβλήματος της ευστάθειας των πρηνών και της εξαγωγής αποτελεσμάτων.

Αξίζει να αναφερθώ ιδιαίτερα και στο πρόγραμμα στο οποίο είχα την τιμή να φοιτήσω, καθώς και στο σύνολο των διδασκόντων αυτού για τις υψηλού επιπέδου γνώσεις και εμπειρίες που μου προσέφεραν. Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω και στο ίδιο το ίδρυμα, που φοίτησα, και θα συνεχίσω την πορεία μου, το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, το οποίο προσφέρει ευκαιρίες και γνώσεις στη χώρα μας για περισσότερο από έναν αιώνα. Αλλά και στο ίδρυμα, από το οποίο προέρχομαι, το Πανεπιστήμιο Πατρών, το οποίο αποτέλεσε την απαρχή της σκέψης μου, ως προς την επιστήμη του μηχανικού.

Το τελευταίο, αλλά μεγαλύτερο ευχαριστώ όμως, το οφείλω στην οικογένεια μου, η οποία ήταν αυτή που βρισκόταν διαρκώς δίπλα μου στην πορεία των σπουδών μου.

Εκτεταμένη Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του διατμηματικού προγράμματος σπουδών «Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπόγειων Έργων». Το εν λόγω πρόγραμμα συντονίζεται από τις σχολές Μηχανικών Μεταλλείων και Μεταλλουργών, Πολιτικών Μηχανικών και Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Το αντικείμενο που πραγματεύεται είναι η ευστάθεια πρανών. Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη αφορά σε 28 πρανή, σε διάφορες χιλιομετρικές θέσεις (Χ.Θ.), της «Εγνατίας Οδού». Τα στοιχεία τους αντλήθηκαν από τη βιβλιογραφία π.χ. τεχνική έκθεση ανάλυσης επικινδυνότητας που εκπονήθηκε πρόσφατα, και η οποία καταγράφει γεωμετρικά χαρακτηριστικά των πρανών αυτών και περιλαμβάνει φωτογραφικό υλικό στις αντίστοιχες θέσεις στο έργο.

Τα πρανή αυτά είναι κυρίως βραχώδη, ωστόσο, υπάρχουν και ορισμένα εδαφικά. Τα δεδομένα που αντλήθηκαν από την προαναφερθείσα έκθεση αφορούν σε κάποια ποιοτικά χαρακτηριστικά, όπως στην τιμή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη, καθώς και στη γεωμετρία τους. Καθοριστικά για την πλήρη διαμόρφωση της γεωμετρίας, αλλά και για την εξαγωγή συμπερασμάτων ήταν οι φωτογραφίες και τα σκαριφήματα που υπήρχαν για κάθε Χ.Θ.







Αρχικά έγινε η εκτίμηση των γεωτεχνικών στοιχείων του γεωυλικού των πρανών. Σε ότι αφορά στα βραχώδη γεωυλικά ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία. Αρχικά, έγινε η απόδοση σε κάθε βραχομάζα του δείκτη GSI (Πίνακες 1-3 και Σχήματα 1-5). Έπειτα εκτιμήθηκε μια προσεγγιστική τιμή των σταθερών m_i και M_R , βάσει του πετρώματος της βραχομάζας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπου ενυπήρχαν περισσότερα είδη πετρωμάτων, ή και εδαφικά υλικά, έγινε η αντίστοιχη τροποποίηση αυτών των τιμών, ούτως ώστε να ληφθούν τιμές για ένα ομοιογενές υλικό. Ταυτόχρονα εάν είχε γίνει χρήση εκρηκτικών, κατά τη διαμόρφωση των πρανών ο δείκτης D έλαβε την τιμή 0.5, εναλλακτικά μηδέν. Κατ' αυτόν τον τρόπο, με τη χρήση του κριτηρίου Hoek & Brown, μέσω του προγράμματος RocData, εξήχθησαν οι αντίστοιχες τιμές για το κριτήριο Mohr – Coulomb.

Εφ' όσον όμως δεν υπήρχαν διαθέσιμες τιμές από γεωτεχνική έρευνα, οι τιμές των αποτελεσμάτων του προγράμματος RocData (Σχήμα 6) συνεκτιμήθηκαν με σχετικά διαγράμματα και εξισώσεις από τη διεθνή βιβλιογραφία.

Πίνακας 1: Αναλογίες των σ_{ci} , m_i και E_i των λιθολογικών μελών για την εκτίμηση της «ζυγισμένης» τιμής των αντίστοιχων παραμέτρων του «άρρηκτου» φλύσχη ανάλογα με τον τύπο της βραχομάζας (V. Marinou, 2011)

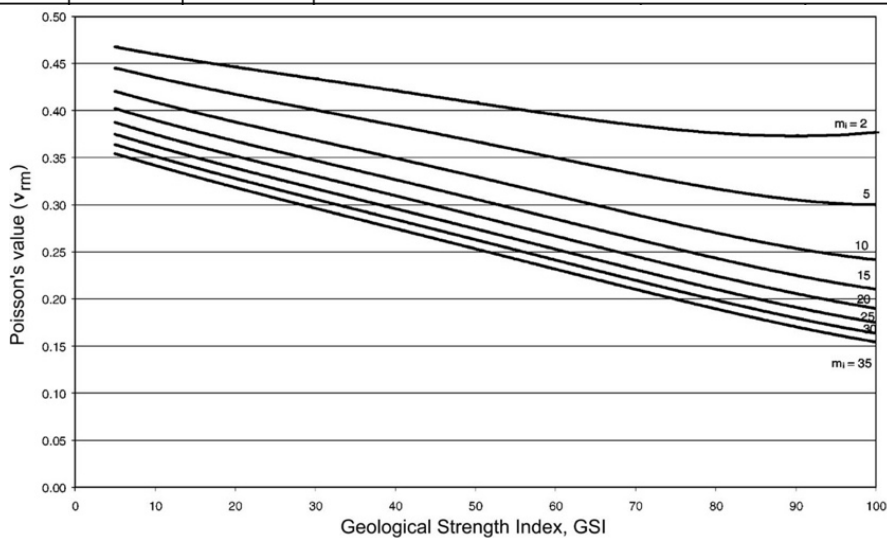
Flysch rock mass type	Proportions of values for each member of rock type to be considered for the weighted "intact rock" property determination
I, III	Use values for sandstone beds
II, VI, XI	Use values for siltstone or shale
IV	Thin beds: Reduce sandstone values by 10% and use full values for siltstone Thick beds: Use equivalent values for siltstone and sandstone beds
V, VII, VIII	Reduce sandstone values by 20% and use full values for siltstone
IX	Use equivalent values for siltstone and sandstone beds according to their participation
X	Reduce sandstone values by 40% and use full values for siltstone
Note: if adjusted values are found lower than the value of the weak layer, use that latter value.	

Πίνακας 2: Γεωλογικός δείκτης αντοχής για ρωγματομένους βράχους - GSI (Hoek & Marinos, 2000)

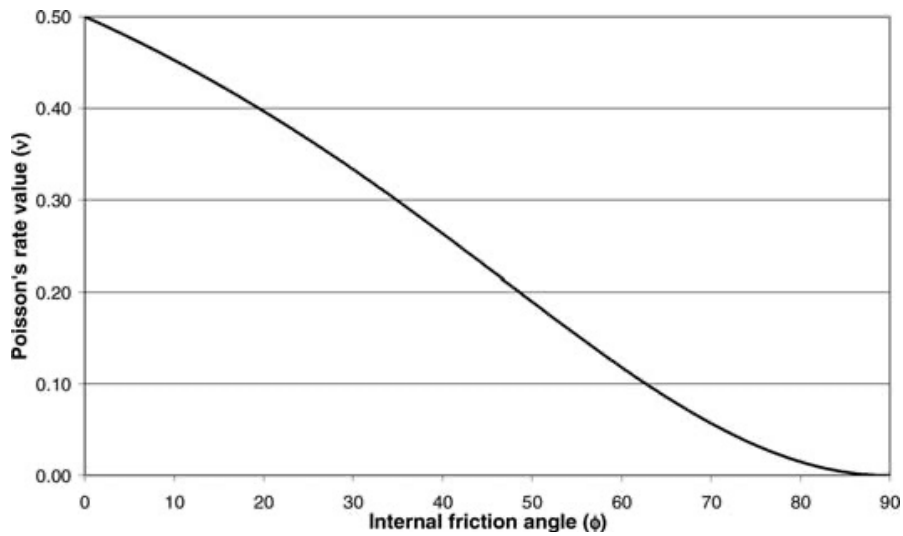
<p>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)</p> <p>From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</p>		<p>SURFACE CONDITIONS</p> <p>VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces</p> <p>GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces</p> <p>FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces</p> <p>POOR Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments</p> <p>VERY POOR Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings</p> <p>STRUCTURE DECREASING SURFACE QUALITY →</p>				
 <p>INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities</p>	<p>90</p> <p>80</p>			N/A	N/A	
 <p>BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets</p>	<p>70</p> <p>60</p>					
 <p>VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets</p>	<p>50</p>					
 <p>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity</p>	<p>40</p> <p>30</p>					
 <p>DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces</p>	<p>20</p>					
 <p>LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes</p>	<p>10</p> <p>N/A</p> <p>N/A</p>					

Πίνακας 3: Πίνακας τιμών μ ι αρρήκτου πετρώματος (Hoek, 2007)

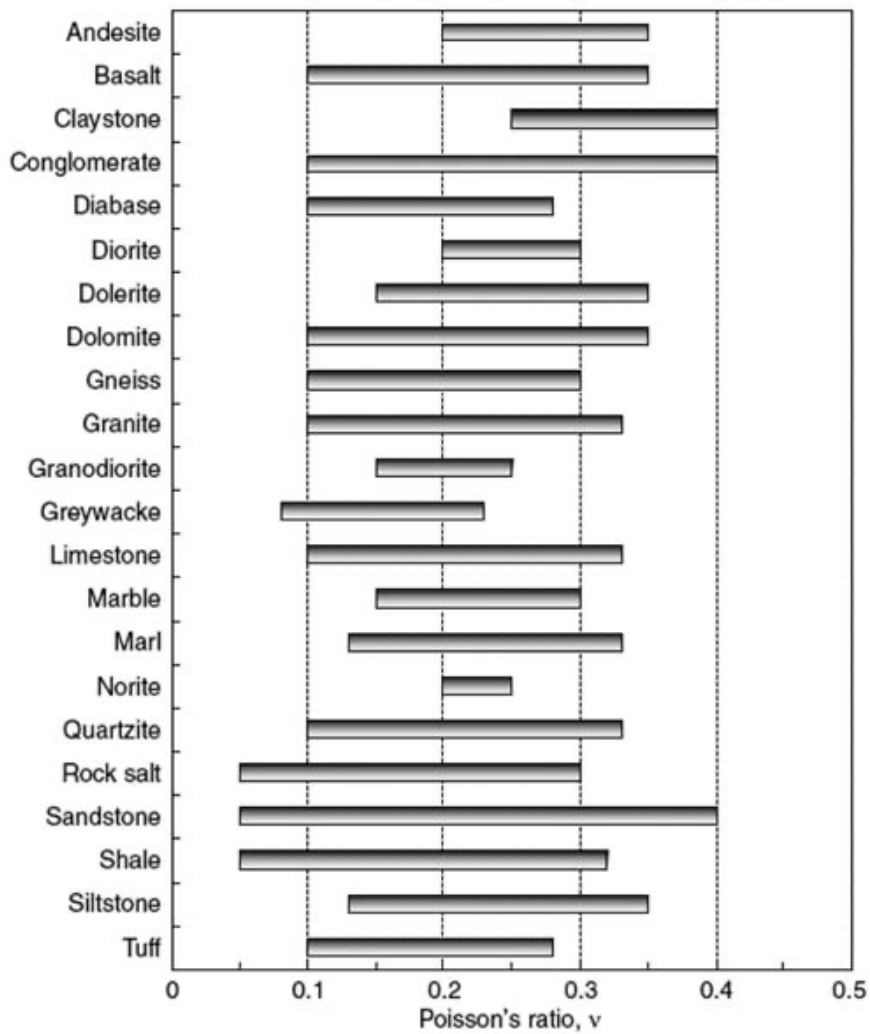
Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerates *	Sandstones 17 ± 4	Siltstones 7 ± 2	Claystones 4 ± 2
			Breccias *		Greywackes (18 ± 3)	Shales (6 ± 2) Marls (7 ± 2)
	Non-Clastic	Carbonates	Crystalline Limestone (12 ± 3)	Sparitic Limestones (10 ± 2)	Micritic Limestones (9 ± 2)	Dolomites (9 ± 3)
		Evaporites		Gypsum 8 ± 2	Anhydrite 12 ± 2	
Organic					Chalk 7 ± 2	
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9 ± 3	Hornfels (19 ± 4) Metasandstone (19 ± 3)	Quartzites 20 ± 3	
	Slightly foliated		Migmatite (29 ± 3)	Amphibolites 26 ± 6	Gneiss 28 ± 5	
	Foliated**			Schists 12 ± 3	Phyllites (7 ± 3)	Slates 7 ± 4
IGNEOUS	Plutonic	Light	Granite 32 ± 3	Diorite 25 ± 5 Granodiorite (29 ± 3)		
		Dark	Gabbro 27 ± 3 Norite 20 ± 5	Dolerite (16 ± 5)		
	Hypabyssal			Porphyries (20 ± 5)	Diabase (15 ± 5)	Peridotite (25 ± 5)
	Volcanic	Lava		Rhyolite (25 ± 5) Andesite 25 ± 5	Dacite (25 ± 3) Basalt (25 ± 5)	
		Pyroclastic		Agglomerate (19 ± 3)	Breccia (19 ± 5)	Tuff (13 ± 5)



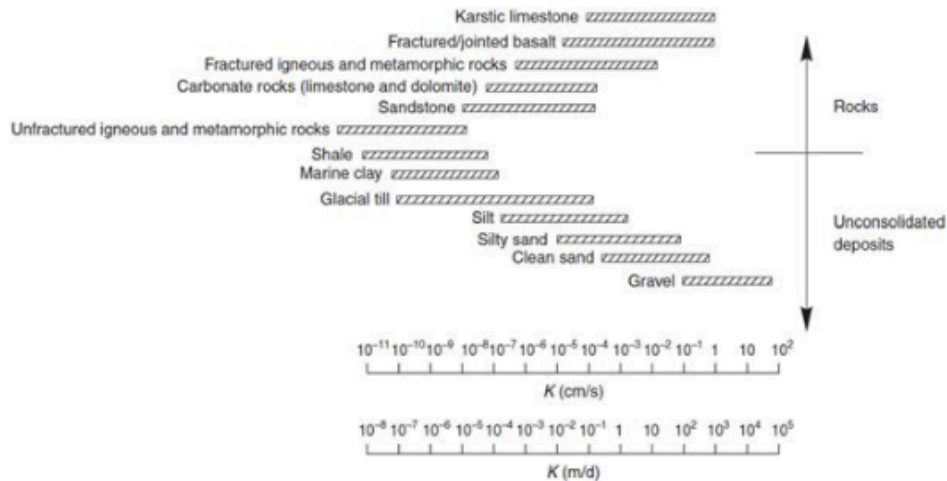
Σχήμα 1: GSI - λόγος Poisson, βάσει της σταθεράς m_1 (Vasarhelyi, 2009)



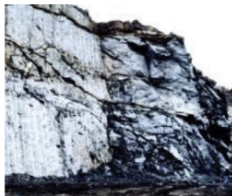
Σχήμα 2: Εσωτερική γωνία τριβής - λόγος Poisson (Greschik, 2007)



Σχήμα 3: Τυπικό εύρος των τιμών του λόγου Poisson για διάφορα πετρώματα (Gercek, 2007)



Σχήμα 4: Ενδεικτικές τιμές διαπερατότητας (Atkinson, 2000)



Small-scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage when controlled blasting is used, as shown on the left-hand side of the photograph. Uncontrolled production blasting can result in significant damage to the rock face.

$D = 0.5$ for controlled presplit or smooth wall blasting with
 $D = 1.0$ for production blasting



In some weak rock masses, excavation can be carried out by ripping and dozing. Damage to the slopes is due primarily to stress relief. Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and stress relief from overburden removal.

$D = 0.7$ for mechanical excavation effects of stress reduction damage
 $D = 1.0$ for production blasting
 A transitional D relationship incorporating the effects of stress relaxation can be derived from the disturbance rating*

Note: *A disturbance rating for open pit slopes has been published by Rose et al. (2018).

Σχήμα 5: Βαθμός διαταραχής βραχομάζας, από τη χρήση εκρηκτικών (Hoek & Brown)

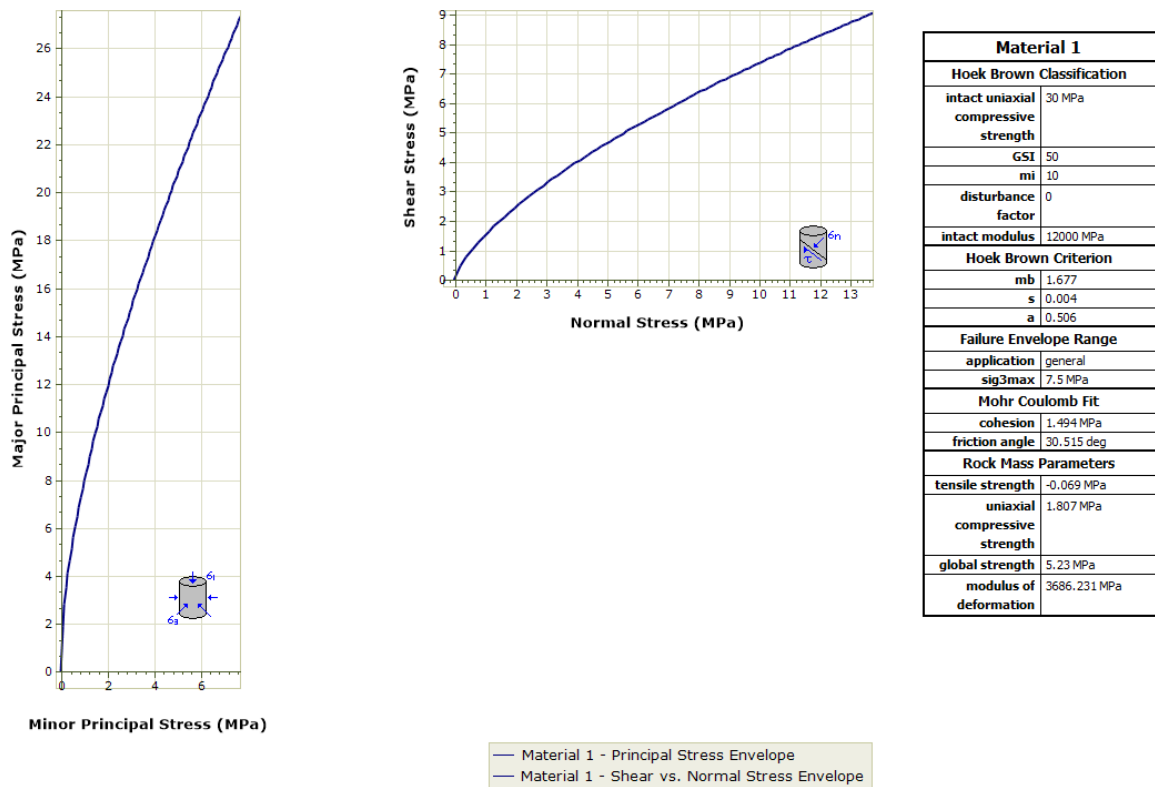
Χρησιμοποιήθηκαν δύο εξισώσεις για τον προσδιορισμό του μέτρου ελαστικότητας της βραχομάζας.

$$Em = \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} * 10^{\frac{GSI-10}{40}}, \text{ για τιμές } \sigma_{ci} < 100 \text{ MPa}$$

$$Er_m = 100 * \left(\frac{1 - \frac{D}{2}}{1 + e^{\left(\frac{75+25D-GSI}{11}\right)}} \right)$$

Η προσομοίωση των πρανών έγινε, κατά κύριο λόγο, στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων Plaxis 2D v8.2, ενώ σε ορισμένα από αυτά έγιναν αναλύσεις και στο πρόγραμμα RS2. Ωστόσο, προηγήθηκε ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων του βράχου ή του εδάφους που χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα στα ανωτέρω

προγράμματα. Για το πρόγραμμα RS2, στο οποίο υπήρχε και αυτή η δυνατότητα έγινε η χρήση του κριτηρίου αστοχίας «Generalized Hoek & Brown» (για τα βραχώδη πρανή). Στο πρόγραμμα Plaxis έγινε χρήση του κριτηρίου αστοχίας Mohr – Coulomb. Σε ότι αφορά στα εδαφικά πρανή έγινε αρχικά μια εκτίμηση των παραμέτρων διατμητικής αντοχής (c , ϕ') και των υπολοίπων παραμέτρων που απαιτούν τα καταστατικά προσομοιώματα π.χ. Mohr – Coulomb, Soil Hardening model.



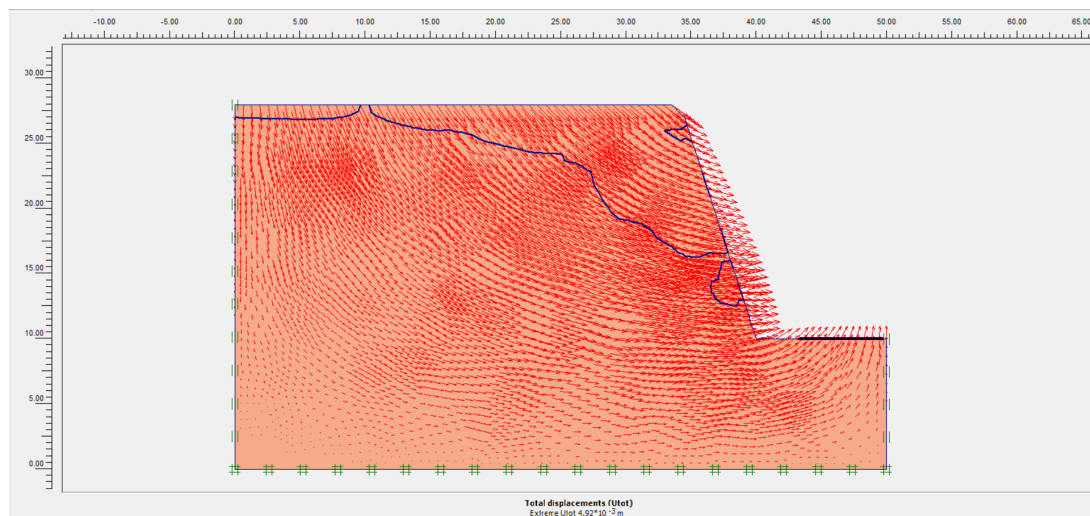
Σχήμα 6: Αποτελέσματα υπολογισμών RocData (outputs)

Αφού, λοιπόν, ολοκληρώθηκε η διαδικασία επιλογής των παραμέτρων και έγιναν οι αναλύσεις, αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα των υπολογισμών, στα οποία περιλαμβάνονται οι μετατοπίσεις, οι τάσεις, οι πιέσεις του νερού των πόρων κ.λπ. Αρχικά, συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα των αναλύσεων π.χ. οι μετακινήσεις με την καταγεγραμμένη/αποτυπωμένη συμπεριφορά των αντιστοιχών πρανών και παρατηρήθηκε ότι στα πρανή που είναι ευσταθή οι αναλύσεις προβλέπουν μετακινήσεις της τάξης των πέντε εκατοστών και κάτω. Ενώ στα πρανή όπου υπήρξαν προβλήματα ευστάθειας η ανάλυση προέβλεψε μετακινήσεις έως και σχεδόν τριάντα εκατοστά. Ταυτόχρονα, σχολιάστηκαν τα λοιπά αποτελέσματα, ως προς τις αστοχίες που έχουν καταγραφεί.

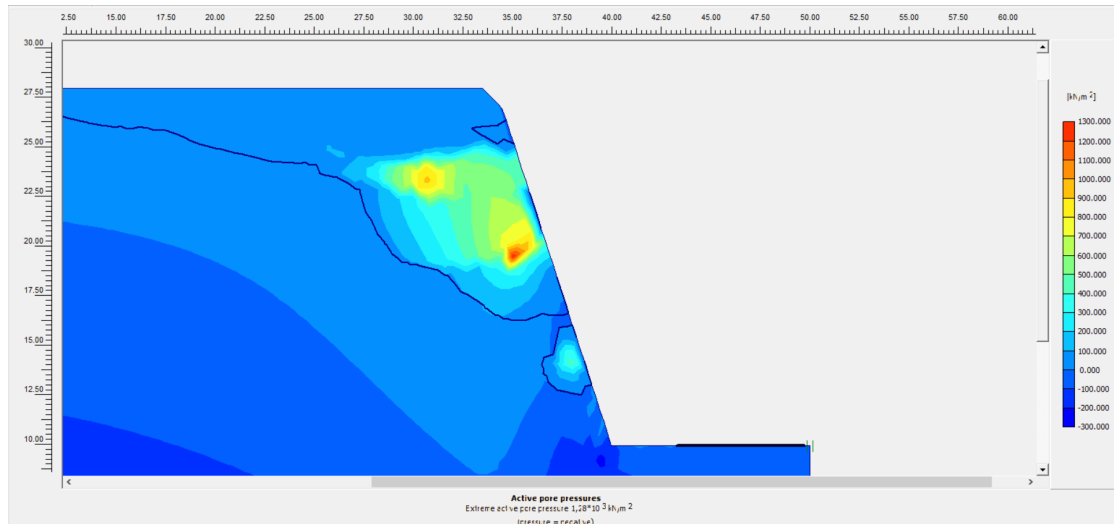
Η πλειονότητα των αποτελεσμάτων απεικονίζει την κατάσταση των προβλημάτων όπως αυτά εμφανίζονται στα αντίστοιχα πρανή. Προβλήματα από τμηματικές καταπτώσεις βράχων, τοπικές μικρές ολισθήσεις εδαφικών αποθέσεων κ.λπ. δεν μπορούσαν να προσομοιωθούν, χωρίς πλήρη και αξιόπιστη χαρτογράφηση της επιφάνειας του πρανούς, λόγω έλλειψης αντίστοιχων δεδομένων. Συμπερασματικά λοιπόν, πρέπει να τονιστεί η εξαιρετική ακρίβεια των αναλύσεων και των αποτελεσμάτων των δύο αυτών προγραμμάτων, καθώς ακόμα και στα πρανή όπου δεν υπάρχει ταύτιση, είτε η διαφοροποίηση είναι μικρή είτε οφείλεται σε συγκεκριμένους λόγους όπως προαναφέρθηκε.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων από τα προγράμματα πεπερασμένων στοιχείων Plaxis και RS2, για τα ίδια πρανή, έδειξε ότι υπάρχει μια σχετικά καλή σύγκλιση των αποτελεσμάτων τους, ως προς τις μετακινήσεις, τις πιέσεις του νερού των πόρων, τις τάσεις κ.λπ. με το RS2 να δίνει πιο συντηρητικά αποτελέσματα στο βράχο και το Plaxis στο έδαφος. Αντίθετα υπήρξε απόκλιση των αποτελεσμάτων, ως προς τους συντελεστές ασφάλειας των πρανών, με το Plaxis να προβλέπει πολύ υψηλότερες τιμές.

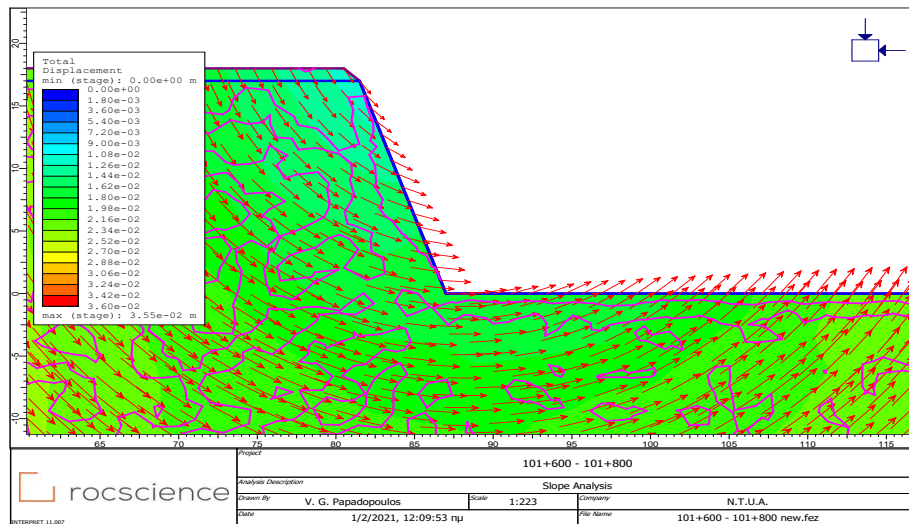
Τυπικά αποτελέσματα των αναλύσεων δίνονται στα Σχήματα που ακολουθούν, όπου ενδεικτικά παρουσιάζονται τα διανύσματα των ολικών μετατοπίσεων για το πρανές Χ.Θ. 101+600 – 101+800 (Σχήμα 7) και της κατανομής των πιέσεων πόρων θεωρώντας συνθήκες υδατικής ροής (Σχήμα 8) από τις αναλύσεις στο πρόγραμμα PLAXIS. Στο Σχήμα 9 φαίνονται αντίστοιχα οι ολικές μετατοπίσεις από το πρόγραμμα RS2 για το ίδιο πρανές.



Σχήμα 7: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων σε βραχώδες πρανές Χ.Θ. 101+600 – 101+800 (Plaxis)



Σχήμα 8: Απεικόνιση των πιέσεων των πόρων σε βραχώδες πρανές Χ.Θ. 101+600 – 101+800 (Plaxis)



Σχήμα 9: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων σε βραχώδες πρανές Χ.Θ. 101+600 – 101+800 (RS2)

Για το πρανές τα αποτελέσματα των υπολογισμών δείχνουν ολικές μετακινήσεις της τάξης των πέντε χιλιοστών, με τα αποτελέσματα του RS2 να είναι λίγο μεγαλύτερα (δύο εκατοστά) (Σχήματα 7 και 9). Στο Σχήμα 8 φαίνεται η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα μετά τη ανάλυση ροής στο Plaxis, καθώς και η δημιουργηθείσα μύζηση, πάνω από τη στάθμη αυτού, κοντά στην επιφάνεια του πρανούς.

Extended Abstract

This thesis forms part of the requirements of the Master of Science study program "Design and Construction of Underground Works". This program is coordinated by the schools of Mining Engineering and Metallurgy, Civil Engineering and Rural and Surveying Engineering of the National Technical University of Athens. The subject of the thesis is slope stability. The objective of this MSc thesis is to investigate analytically the stability of existing slopes and to compare the results of the analyses with their behavior in situ. To this end a number of slopes along the 'Egnatia' motorway has been studied. More specifically 28 slopes, in various kilometric positions (kps), of the "Egnatia Odos" have been recently recorded in great detail within the scope of a risk analysis report that involves determining and documenting a list of specific slope features, such as the geometric characteristics, description of materials, movements, water regime of these slopes together with the corresponding photographic material documenting these observations.

The majority of the slopes are formed in rock mass albeit some earth slopes made up of soils. Apart from the slope geometry the data obtained from the abovementioned report include some qualitative characteristics, such as the value of uniaxial compression strength. Photographs and sketches were used to define the former; they were also used to interpret and/or confirm the results of the analyses.

First, the geotechnical characteristics of the slopes are defined. Regarding the slopes that are formed in rock mass, the definition procedure involved initially the estimation of the GSI index for each rock mass. Subsequently approximate values for m_i and M_R are estimated, according to the rock mass category (Tables 1-3, Figures 1-5). In some cases, where more types of rocks, or even soil materials are interchanged, these values are modified accordingly, in order to obtain the equivalent values for an isotropic material. In case explosives had been used, during the formation of the slopes, the index D received the value 0.5, and/or zero. Moreover, by applying the Hoek & Brown criterion, through the RocData program, corresponding equivalent parameter values for the Mohr - Coulomb criterion are extracted.

In the cases where parameter values are not available from the geotechnical investigation, the RocData program is employed (Figure 6) to define the parameters; also checked against diagrams and equations available in the literature.

Table 1: Suggested proportions of parameters ρ_{ci} and m_i for estimating rock mass properties for Flysch (V. Marinos, 2011)

Flysch rock mass type	Proportions of values for each member of rock type to be considered for the weighted "intact rock" property determination
I, III	Use values for sandstone beds
II, VI, XI	Use values for siltstone or shale
IV	Thin beds: Reduce sandstone values by 10% and use full values for siltstone Thick beds: Use equivalent values for siltstone and sandstone beds
V, VII, VIII	Reduce sandstone values by 20% and use full values for siltstone
IX	Use equivalent values for siltstone and sandstone beds according to their participation
X	Reduce sandstone values by 40% and use full values for siltstone
Note: if adjusted values are found lower than the value of the weak layer, use that latter value.	

Table 2: Characterization of geological strength index for jointed rocks – GSI (Hoek & Marinos, 2000)













<p>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)</p> <p>From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</p>		<p>SURFACE CONDITIONS</p> <p>VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces</p> <p>GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces</p> <p>FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces</p> <p>POOR Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments</p> <p>VERY POOR Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings</p> <p>STRUCTURE DECREASING SURFACE QUALITY →</p>				
<p>STRUCTURE</p> <p> INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities</p> <p> BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets</p> <p> VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets</p> <p> BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity</p> <p> DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces</p> <p> LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes</p> <p>← DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES</p>		<p>DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES</p> <p>90</p> <p>80</p> <p>70</p> <p>60</p> <p>50</p> <p>40</p> <p>30</p> <p>20</p> <p>10</p> <p>N/A N/A</p>				
<p> INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities</p>		90	80	70	60	N/A
<p> BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets</p>		80	70	60	50	40
<p> VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets</p>		70	60	50	40	30
<p> BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity</p>		60	50	40	30	20
<p> DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces</p>		50	40	30	20	10
<p> LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes</p>		N/A	N/A	10	20	30

Table 3: Values of the constant m_i for intact rock by rock group (Hoek, 2007)

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerates *	Sandstones 17 ± 4	Siltstones 7 ± 2	Claystones 4 ± 2
			Breccias *		Greywackes (18 ± 3)	Shales (6 ± 2) Marls (7 ± 2)
	Non-Clastic	Carbonates	Crystalline Limestone (12 ± 3)	Sparitic Limestones (10 ± 2)	Micritic Limestones (9 ± 2)	Dolomites (9 ± 3)
		Evaporites		Gypsum 8 ± 2	Anhydrite 12 ± 2	
Organic					Chalk 7 ± 2	
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9 ± 3	Hornfels (19 ± 4) Metasandstone (19 ± 3)	Quartzites 20 ± 3	
	Slightly foliated		Migmatite (29 ± 3)	Amphibolites 26 ± 6	Gneiss 28 ± 5	
	Foliated**			Schists 12 ± 3	Phyllites (7 ± 3)	Slates 7 ± 4
IGNEOUS	Plutonic	Light	Granite 32 ± 3	Diorite 25 ± 5 Granodiorite (29 ± 3)		
		Dark	Gabbro 27 ± 3 Norite 20 ± 5	Dolerite (16 ± 5)		
	Hypabyssal			Porphyries (20 ± 5)	Diabase (15 ± 5)	Peridotite (25 ± 5)
	Volcanic	Lava		Rhyolite (25 ± 5) Andesite 25 ± 5	Dacite (25 ± 3) Basalt (25 ± 5)	
		Pyroclastic		Agglomerate (19 ± 3)	Breccia (19 ± 5)	Tuff (13 ± 5)

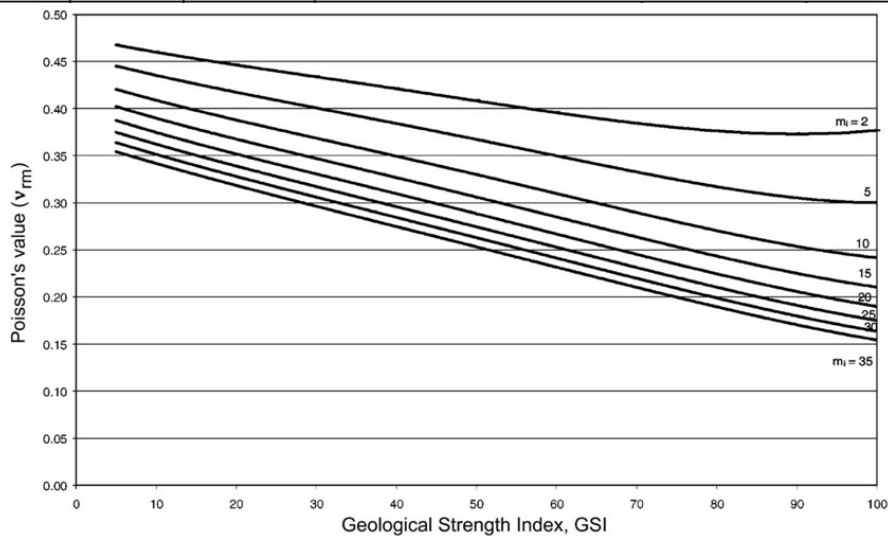


Figure 1: GSI – Poisson's value, in case of different m_i constants (Vasarhelyi, 2009)

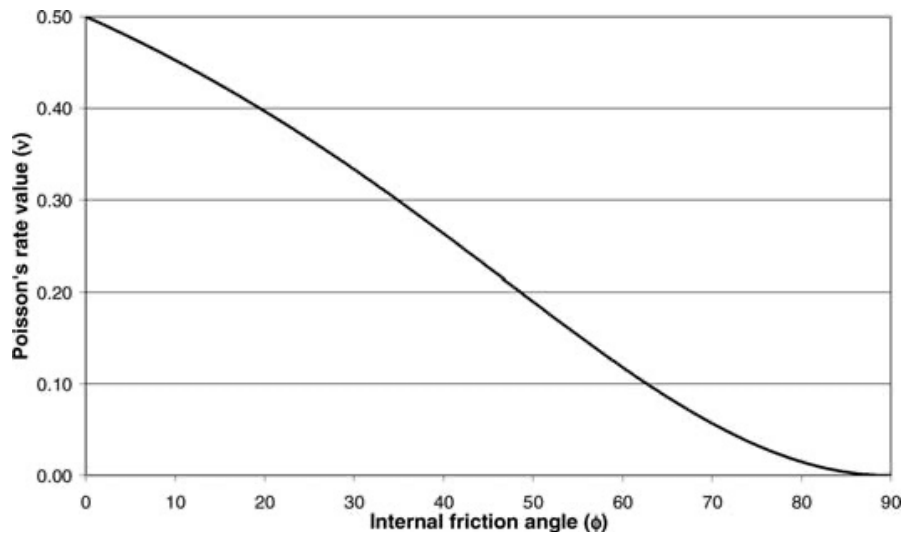


Figure 2: Relationship between the internal friction angle (ϕ) and the Poisson's value (ν) Greschik (2007),

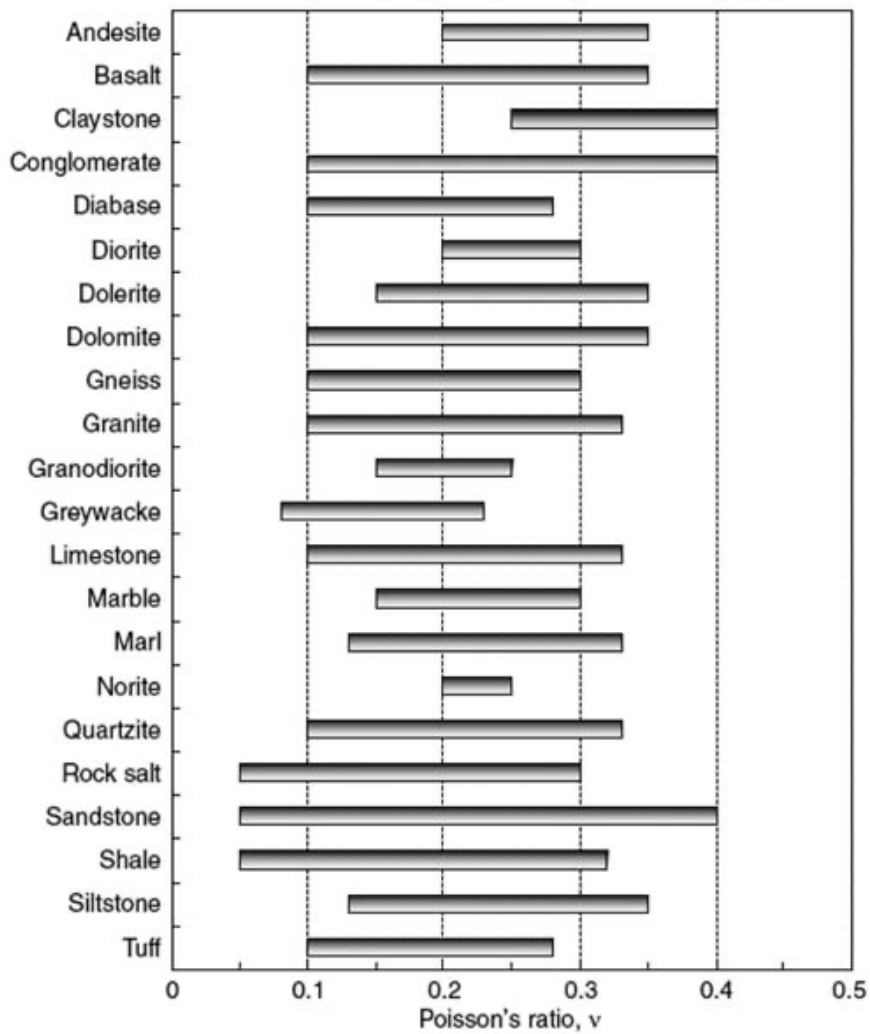


Figure 3: Typical ranges of values for Poisson's ratio of some rock types (Gercek, 2007)

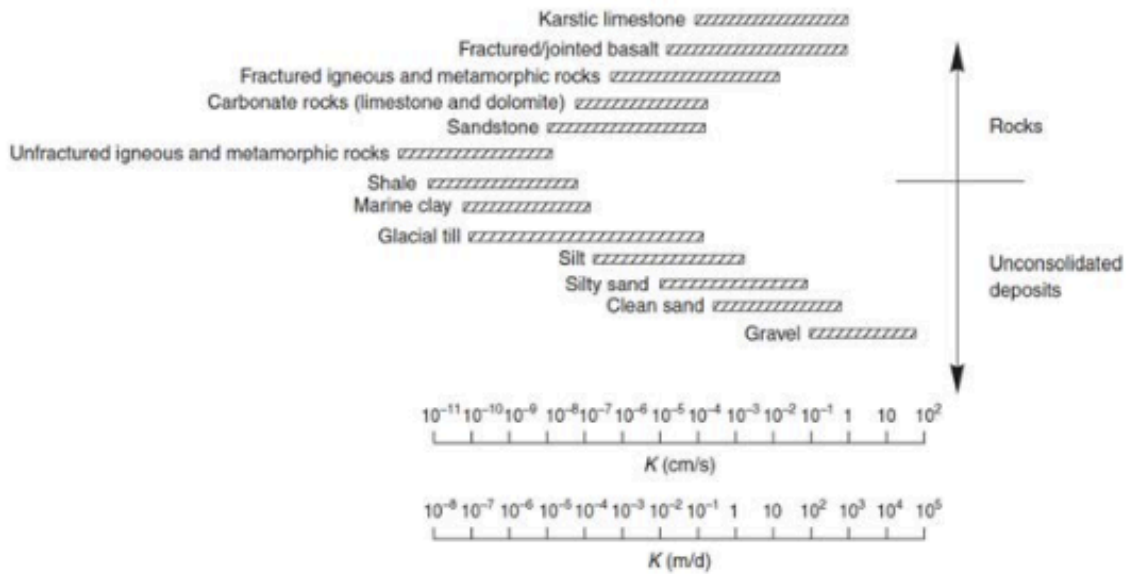
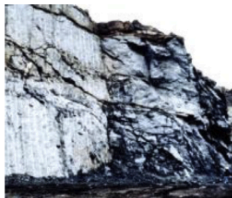


Figure 4: Hydraulic conductivity of various geological units (Atkinson, 2000)



Small-scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage when controlled blasting is used, as shown on the left-hand side of the photograph. Uncontrolled production blasting can result in significant damage to the rock face.

$D = 0.5$ for controlled presplit or smooth wall blasting with
 $D = 1.0$ for production blasting



In some weak rock masses, excavation can be carried out by ripping and dozing. Damage to the slopes is due primarily to stress relief. Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and stress relief from overburden removal.

$D = 0.7$ for mechanical excavation effects of stress reduction damage
 $D = 1.0$ for production blasting
 A transitional D relationship incorporating the effects of stress relaxation can be derived from the disturbance rating*

Note: *A disturbance rating for open pit slopes has been published by Rose et al. (2018).

Figure 5: Guidelines for estimating disturbance factor D due to stress relaxation and blasting damage (Hoek & Brown)

The following equations were used to determine the rock mass modulus.

$$Em = \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} * 10^{\frac{GSI-10}{40}}, \text{ για τιμές } \sigma_{ci} < 100 \text{ MPa}$$

$$Erm = 100 * \left(\frac{1 - \frac{D}{2}}{1 + e^{\left(\frac{75+25D-GSI}{11} \right)}} \right)$$

Slope simulations were performed mainly in the Plaxis 2D v8.2 finite element program. However, a small number of slopes were also analyzed using the program RS2. Initially, the parameters required for the analyses had to be derived based on the information on rock and/or soil characteristics. This process involved more often than

not the estimation of the GSI, the application of the Generalized Hoek & Brown failure criterion in RS2, followed by feeding the data into the RocData program (Figure 6) in order to extract data suitable for the application of the Mohr - Coulomb failure criterion, which available in Plaxis. The derived parameters were compared with similar data provided after a critical review of the literature. Regarding the earth slopes, the shear strength parameters (c , ϕ') and the other parameters required, e.g. Mohr - Coulomb, Soil Hardening model, were estimated.

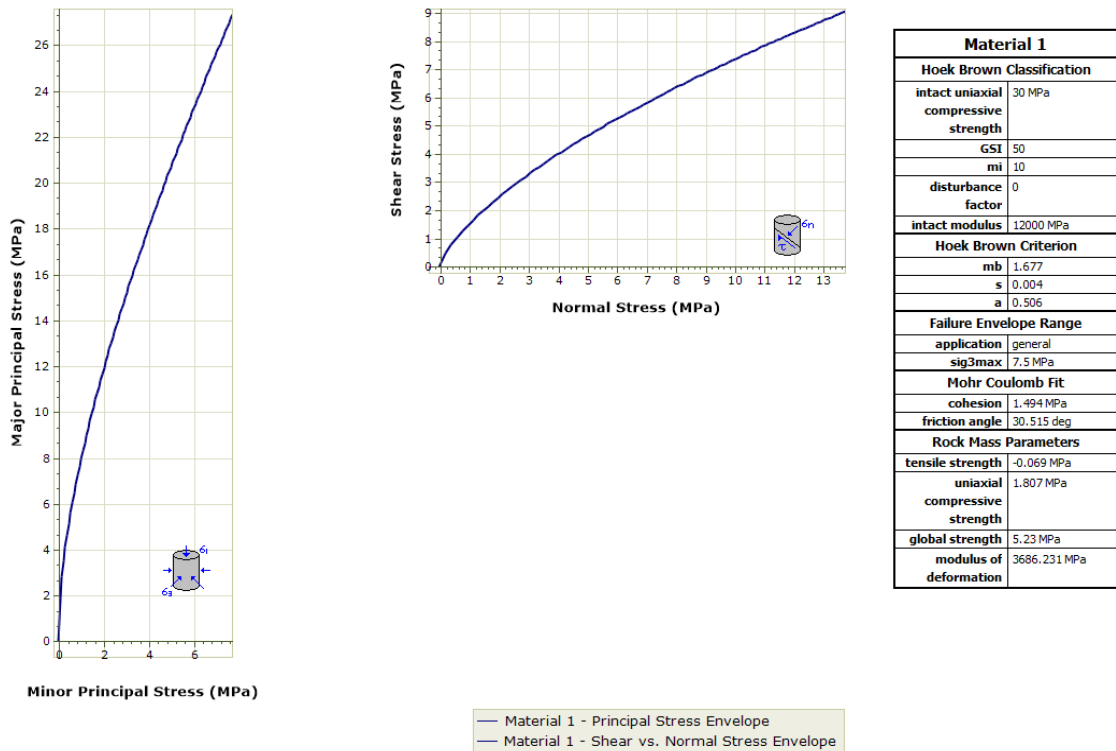


Figure 6: RocData outputs

With the analysis process complete, the results of the calculations were exported as outputs, including total displacements, stresses, pore water pressure, etc. and evaluated. Initially, the results of the analyses were compared, with the recorded behavior of the respective slopes. In terms of displacements, it was observed that for the slopes that are stable the analyses predict movements of the order of five centimeters or lower. On the other hand, for the slopes associated with instability problems, the analyses predicted movements of about thirty centimeters. A commentary on the results for each slope is made in the text.

It is shown that the majority of the results reflects the state of the problems as they appear on the respective slopes. Problems from partial rock falls, local small landslides, etc. could not be simulated, without complete and reliable mapping of the slope surface, due to lack of corresponding data. In conclusion, the A class predictions of the analyses with respect to slope performance, and the convergence of the results of these two programs must be emphasized. The latter is indicated by the comparison of the results of the analyses from the finite element programs Plaxis and RS2, for the same slopes, which shows that the results are in agreement in terms of movements, pore water pressures, stability trends, etc., with RS2 giving generally more conservative results on rock and Plaxis on soil. On the contrary, a consistent divergence of results in terms of slope safety factors is observed, with Plaxis yielding significantly higher values.

Indicative results are presented in the following Figures, where a typical slope (kilometer location 101 + 600 - 101 + 800) is presented in terms of the vectors of the total displacements (Figure 7) and the distribution of pore water pressures under flow conditions (Figure 8) based on the analysis using the PLAXIS program. Figure 9 shows the vectors of total displacements from the analysis using the RS2 program for the same slope.

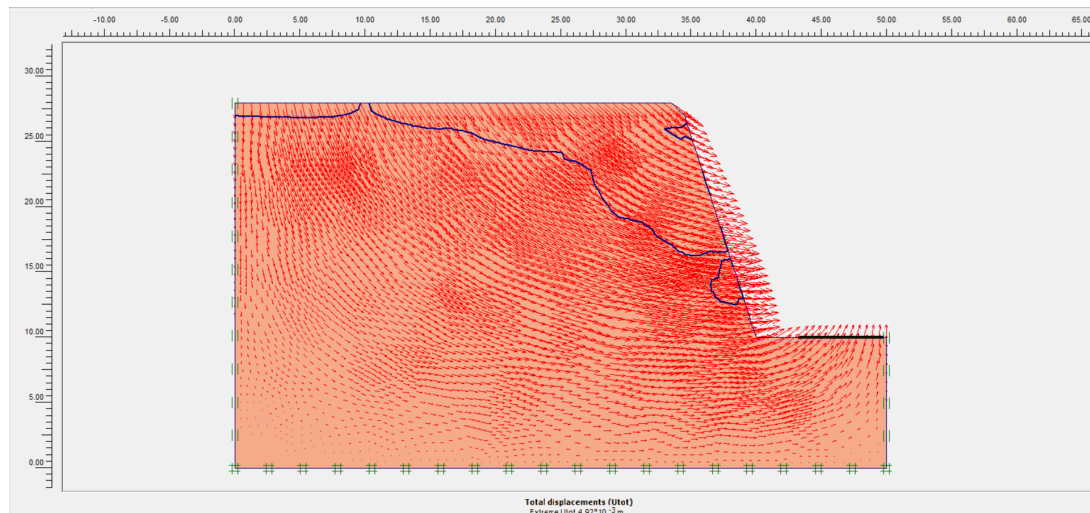


Figure 7: Total displacement vectors, slope K.P. 101+600 – 101+800 (Plaxis)

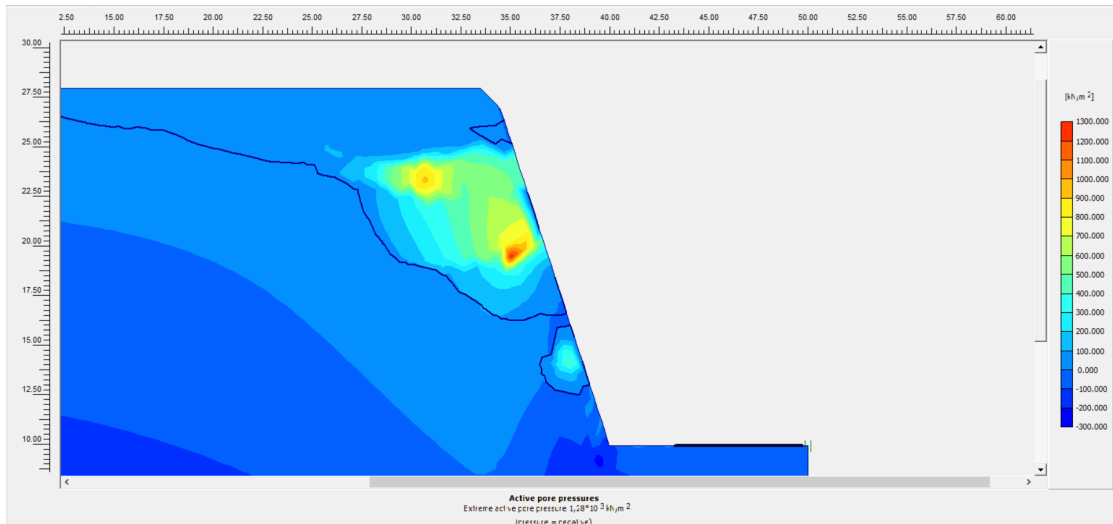


Figure 8: Pore water pressure distribution within the slope K.P. 101+600 – 101+800 (Plaxis)

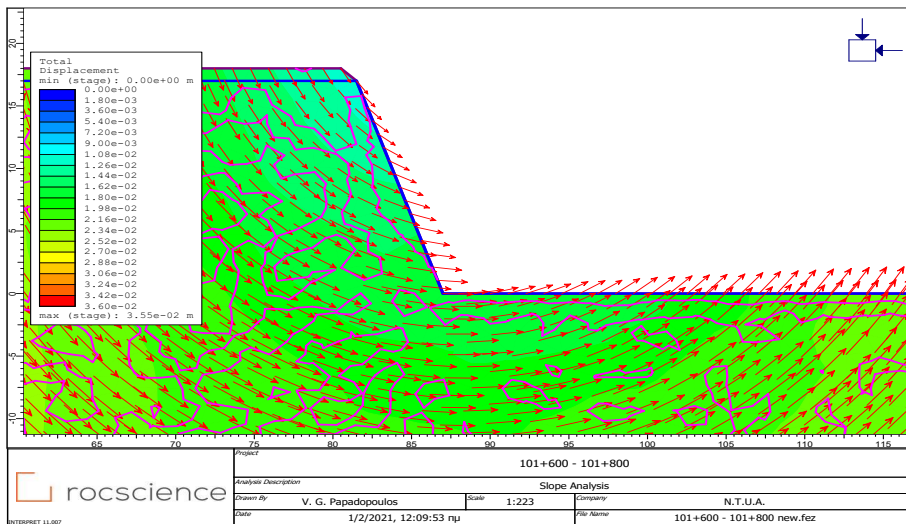


Figure 9: Total displacement vectors, slope K.P. 101+600 – 101+800 (RS2)

For this particular slope total displacements of 5 mm are predicted, with the values being higher for the analysis with RS2 (2 cm) (Figures 7 & 9). In Figure 8 the water table under flow conditions, as predicted by the analysis in Plaxis, is shown for the slope.

Πίνακας περιεχομένων

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	23
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	28
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	29
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	33
ΣΚΟΠΟΣ	33
ΣΧΗΜΑ – ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ.....	33
ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ.....	34
ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	35
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ - ΑΣΤΟΧΙΕΣ.....	36
Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	40
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ	42
PLAXIS 2D.....	42
RS2	55
RocDATA	61
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	63
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΘΕΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ	63
ΓΕΝΙΚΕΣ ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ.....	63
ΤΕΛΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΚΑΙ INPUT ΣΤΟ PLAXIS.....	63
ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΙΜΩΝ	65
ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ	75
ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ.....	76
1 ^Α . Χ.Θ. 4+700 – 5+000	78
<i>Σχόλια δεδομένων.....</i>	<i>80</i>
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων.....</i>	<i>83</i>
1 ^Β . Χ.Θ. 6+400 – 6+600	84
<i>Σχόλια δεδομένων.....</i>	<i>86</i>
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων.....</i>	<i>89</i>
2. Χ.Θ. 33+000 – 34+000	90
<i>Σχόλια δεδομένων.....</i>	<i>92</i>
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων.....</i>	<i>96</i>
3. Χ.Θ. 42+000 – 42+500	97
<i>Σχόλια δεδομένων.....</i>	<i>99</i>
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων.....</i>	<i>102</i>
4. Χ.Θ. 42+400 – 43+200	103
<i>Σχόλια δεδομένων.....</i>	<i>105</i>
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων.....</i>	<i>109</i>
5. Χ.Θ. 101+600 – 101+800	110
<i>Σχόλια δεδομένων.....</i>	<i>112</i>
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων.....</i>	<i>116</i>
6. Χ.Θ. 156+700 – 157+200	117
<i>Σχόλια δεδομένων.....</i>	<i>119</i>
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων.....</i>	<i>122</i>
7. Χ.Θ. 170+600 – 171+000	123
<i>Σχόλια δεδομένων.....</i>	<i>125</i>
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων.....</i>	<i>129</i>
8. Χ.Θ. 173+900 – 174+300	130
<i>Σχόλια δεδομένων.....</i>	<i>131</i>
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων.....</i>	<i>135</i>
9. Χ.Θ. 179+000 – 180+000	136
<i>Σχόλια δεδομένων.....</i>	<i>138</i>
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων.....</i>	<i>142</i>

10. X.Θ. 230+250	143
<i>Σχόλια δεδομένων</i>	146
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων</i>	149
11. X.Θ. 358+500 – 358+519	150
<i>Σχόλια δεδομένων</i>	152
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων</i>	156
12. X.Θ. 361+700 – 361+750	157
<i>Σχόλια δεδομένων</i>	159
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων</i>	162
13. X.Θ. 362+ 200 – 362+210.....	163
<i>Σχόλια δεδομένων</i>	165
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων</i>	168
14. X.Θ. 374+600 – 374+650	169
<i>Σχόλια δεδομένων</i>	171
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων</i>	175
15. X.Θ. 384+700 – 384+800	176
<i>Σχόλια δεδομένων</i>	178
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων</i>	181
16. X.Θ. 388+600 – 388+680	182
<i>Σχόλια δεδομένων</i>	184
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων</i>	187
17. X.Θ. 389+500 – 389+800	188
<i>Σχόλια δεδομένων</i>	190
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων</i>	194
18. X.Θ. 390+500 – 390+550	195
<i>Σχόλια δεδομένων</i>	197
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων</i>	200
19. X.Θ. 393+300 – 393+320	201
<i>Σχόλια δεδομένων</i>	203
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων</i>	206
20. X.Θ. 394+700 – 394+850	207
<i>Σχόλια δεδομένων</i>	209
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων</i>	212
21. X.Θ. 407+000 – 407+030	213
<i>Σχόλια δεδομένων</i>	215
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων</i>	219
22. X.Θ. 421+100 – 421+150	220
<i>Σχόλια δεδομένων</i>	222
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων</i>	225
23. X.Θ. 425+600 – 425+610	226
<i>Σχόλια δεδομένων</i>	228
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων</i>	231
24. X.Θ. 425+900 – 425+920	232
<i>Σχόλια δεδομένων</i>	234
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων</i>	237
25. X.Θ. 426+300 – 426+310	238
<i>Σχόλια δεδομένων</i>	240
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων</i>	244
26. X.Θ. 464+937	245
<i>Σχόλια δεδομένων</i>	247
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων</i>	251
27. X.Θ. 586+000	252
<i>Σχόλια αναλύσεων</i>	253
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων</i>	257
28. 597+300.....	258
<i>Σχόλια δεδομένων</i>	259
<i>Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων</i>	262
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΧΟΛΙΑ	263



Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Είδη μετακινήσεων πρανών.....	37
Πίνακας 2: Γεωλογικός δείκτης αντοχής για ρωγματομένους βράχους - GSI (Hoek & Marinos, 2000)	65
Πίνακας 3: Γεωλογικός δείκτης αντοχής για γνευσιακές βραχομάζες - GSI (V. Marinos, 2007)	66
Πίνακας 4: Γεωλογικός δείκτης αντοχής για ασβεστολιθικές βραχομάζες - GSI (V. Marinos, 2007)	67
Πίνακας 5: Γεωλογικός δείκτης αντοχής για ετερογενείς βραχομάζες (όπως ο φλύσχη) - GSI (V. Marinos, 2007)	67
Πίνακας 6: Αναλογίες των σ _{ci} , m _i και E _i των λιθολογικών μελών για την εκτίμηση της «ζυγισμένης» τιμής των αντίστοιχων παραμέτρων του «άρρηκτου» φλύσχη ανάλογα με τον τύπο της βραχομάζας (V. Marinos, 2011).....	68
Πίνακας 7: Πίνακας τιμών m _i άρρηκτου πετρώματος (Hoek, 2007).....	68
Πίνακας 8: Βαθμός διαταραχής βραχομάζας, από τη χρήση εκρηκτικών	69
Πίνακας 9: Εκτίμηση τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη άρρηκτων πετρωμάτων.....	69
Πίνακας 10: Παρατηρήσεις ως προς τις αστοχίες των υπό εξέταση πρανών (1).....	77
Πίνακας 11: Παρατηρήσεις ως προς τις αστοχίες των υπό εξέταση πρανών (2).....	77
Πίνακας 12: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 4+700 – 5+000.....	78
Πίνακας 13: Τιμές input στο RocData.....	78
Πίνακας 14: Τιμές output από το RocData.....	78
Πίνακας 15: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	79
Πίνακας 16: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	79
Πίνακας 17: Δεδομένα Plaxis.....	80
Πίνακας 18: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	82
Πίνακας 19: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 6+400 – 6+600.....	84
Πίνακας 20: Τιμές input στο RocData.....	84
Πίνακας 21: Τιμές output από το RocData.....	84
Πίνακας 22: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	85
Πίνακας 23: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	85
Πίνακας 24: Δεδομένα Plaxis.....	86
Πίνακας 25: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	88
Πίνακας 26: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 33+000 – 34+000.....	90
Πίνακας 27: Τιμές input στο RocData.....	90
Πίνακας 28: Τιμές output από το RocData.....	90
Πίνακας 29: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	91
Πίνακας 30: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	91
Πίνακας 31: Δεδομένα Plaxis.....	92
Πίνακας 32: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	95
Πίνακας 33: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 42+000 – 42+500.....	97
Πίνακας 34: Τιμές input στο RocData.....	97
Πίνακας 35: Τιμές output από το RocData.....	97
Πίνακας 36: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	98
Πίνακας 37: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	98
Πίνακας 38: Δεδομένα Plaxis.....	99
Πίνακας 39: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	101
Πίνακας 40: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 42+400 – 43+200.....	103
Πίνακας 41: Τιμές input στο RocData.....	103
Πίνακας 42: Τιμές output από το RocData.....	103

Πίνακας 43: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	104
Πίνακας 44: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	104
Πίνακας 45: Δεδομένα Plaxis	105
Πίνακας 46: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	108
Πίνακας 47: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 101+600 – 101+800.....	110
Πίνακας 48: Τιμές input στο RocData.....	110
Πίνακας 49: Τιμές output από το RocData.....	110
Πίνακας 50: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	111
Πίνακας 51: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	111
Πίνακας 52: Δεδομένα Plaxis	112
Πίνακας 53: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	114
Πίνακας 54: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 156+700 – 157+200.....	117
Πίνακας 55: Τιμές input στο RocData.....	117
Πίνακας 56: Τιμές output από το RocData.....	117
Πίνακας 57: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	118
Πίνακας 58: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	118
Πίνακας 59: Δεδομένα Plaxis	119
Πίνακας 60: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	121
Πίνακας 61: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 170+600 – 171+000.....	123
Πίνακας 62: Τιμές input στο RocData.....	123
Πίνακας 63: Τιμές output από το RocData.....	123
Πίνακας 64: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	124
Πίνακας 65: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	124
Πίνακας 66: Δεδομένα Plaxis	125
Πίνακας 67: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	127
Πίνακας 68: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 173+900 – 174+300.....	130
Πίνακας 69: Δεδομένα Plaxis	131
Πίνακας 70: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	133
Πίνακας 71: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 179+000 – 180+000.....	136
Πίνακας 72: Τιμές input στο RocData.....	136
Πίνακας 73: Τιμές output από το RocData.....	136
Πίνακας 74: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	137
Πίνακας 75: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	137
Πίνακας 76: Δεδομένα Plaxis	138
Πίνακας 77: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	141
Πίνακας 78: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 230+250.....	143
Πίνακας 79: Τιμές input στο RocData.....	143
Πίνακας 80: Τιμές output από το RocData.....	143
Πίνακας 81: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	144
Πίνακας 82: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	144
Πίνακας 83: Δεδομένα Plaxis	145
Πίνακας 84: Δεδομένα Plaxis για τη σήραγγα και το κατανεμημένο φορτίο	145
Πίνακας 85: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	148
Πίνακας 86: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 358+500 – 358+519.....	150
Πίνακας 87: Τιμές input στο RocData.....	150
Πίνακας 88: Τιμές output από το RocData.....	150
Πίνακας 89: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	151
Πίνακας 90: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	151
Πίνακας 91: Δεδομένα Plaxis	152
Πίνακας 92: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	154

Πίνακας 93: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 361+700 – 361+750.....	157
Πίνακας 94: Τιμές input στο RocData.....	157
Πίνακας 95: Τιμές output από το RocData.....	157
Πίνακας 96: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	158
Πίνακας 97: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	158
Πίνακας 98: Δεδομένα Plaxis.....	159
Πίνακας 99: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	161
Πίνακας 100: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 362+200 – 362+210.....	163
Πίνακας 101: Τιμές input στο RocData.....	163
Πίνακας 102: Τιμές output από το RocData.....	163
Πίνακας 103: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	164
Πίνακας 104: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	164
Πίνακας 105: Δεδομένα Plaxis.....	165
Πίνακας 106: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	167
Πίνακας 107: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 374+600 – 374+650.....	169
Πίνακας 108: Τιμές input στο RocData.....	169
Πίνακας 109: Τιμές output από το RocData.....	169
Πίνακας 110: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	170
Πίνακας 111: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	170
Πίνακας 112: Δεδομένα Plaxis.....	171
Πίνακας 113: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	174
Πίνακας 114: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 384+700 – 384+800.....	176
Πίνακας 115: Τιμές input στο RocData.....	176
Πίνακας 116: Τιμές output από το RocData.....	176
Πίνακας 117: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	177
Πίνακας 118: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	177
Πίνακας 119: Δεδομένα Plaxis.....	178
Πίνακας 120: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	180
Πίνακας 121: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 388+600 – 388+680.....	182
Πίνακας 122: Τιμές input στο RocData.....	182
Πίνακας 123: Τιμές output από το RocData.....	182
Πίνακας 124: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	183
Πίνακας 125: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	183
Πίνακας 126: Δεδομένα Plaxis.....	184
Πίνακας 127: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	186
Πίνακας 128: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 389+500 – 389+800.....	188
Πίνακας 129: Τιμές input στο RocData.....	188
Πίνακας 130: Τιμές output από το RocData.....	188
Πίνακας 131: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	189
Πίνακας 132: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	189
Πίνακας 133: Δεδομένα Plaxis.....	190
Πίνακας 134: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	193
Πίνακας 135: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 390+500 – 390+550.....	195
Πίνακας 136: Τιμές input στο RocData.....	195
Πίνακας 137: Τιμές output από το RocData.....	195
Πίνακας 138: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	196
Πίνακας 139: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	196
Πίνακας 140: Δεδομένα Plaxis.....	197
Πίνακας 141: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	199
Πίνακας 142: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 393+300 – 393+320.....	201

Πίνακας 143: Τιμές input στο RocData.....	201
Πίνακας 144: Τιμές ouput από το RocData.....	201
Πίνακας 145: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	202
Πίνακας 146: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	202
Πίνακας 147: Δεδομένα Plaxis.....	203
Πίνακας 148: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	205
Πίνακας 149: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 394+700 – 394+850.....	207
Πίνακας 150: Τιμές input στο RocData.....	207
Πίνακας 151: Τιμές ouput από το RocData.....	207
Πίνακας 152: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	208
Πίνακας 153: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	208
Πίνακας 154: Δεδομένα Plaxis.....	209
Πίνακας 155: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	211
Πίνακας 156: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 407+000 – 407+030.....	213
Πίνακας 157: Τιμές input στο RocData.....	213
Πίνακας 158: Τιμές ouput από το RocData.....	213
Πίνακας 159: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	214
Πίνακας 160: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	214
Πίνακας 161: Δεδομένα Plaxis.....	215
Πίνακας 162: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	218
Πίνακας 163: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 421+100 – 421+150.....	220
Πίνακας 164: Τιμές input στο RocData.....	220
Πίνακας 165: Τιμές ouput από το RocData.....	220
Πίνακας 166: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	221
Πίνακας 167: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	221
Πίνακας 168: Δεδομένα Plaxis.....	222
Πίνακας 169: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	224
Πίνακας 170: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 425+600 – 425+610.....	226
Πίνακας 171: Τιμές input στο RocData.....	226
Πίνακας 172: Τιμές ouput από το RocData.....	226
Πίνακας 173: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	227
Πίνακας 174: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	227
Πίνακας 175: Δεδομένα Plaxis.....	228
Πίνακας 176: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	230
Πίνακας 177: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 425+900 – 425+920.....	232
Πίνακας 178: Τιμές input στο RocData.....	232
Πίνακας 179: Τιμές ouput από το RocData.....	232
Πίνακας 180: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	233
Πίνακας 181: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	233
Πίνακας 182: Δεδομένα Plaxis.....	234
Πίνακας 183: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	236
Πίνακας 184: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 426+300 – 426+310.....	238
Πίνακας 185: Τιμές input στο RocData.....	238
Πίνακας 186: Τιμές ouput από το RocData.....	238
Πίνακας 187: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	239
Πίνακας 188: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	239
Πίνακας 189: Δεδομένα Plaxis.....	240
Πίνακας 190: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	242
Πίνακας 191: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 464+937.....	245
Πίνακας 192: Τιμές input στο RocData.....	245

Πίνακας 193: Τιμές output από το RocData.....	245
Πίνακας 194: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας	246
Πίνακας 195: Επιλεγόμενες τελικές τιμές	246
Πίνακας 196: Δεδομένα Plaxis.....	247
Πίνακας 197: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	249
Πίνακας 198: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 586+000.....	252
Πίνακας 199: Δεδομένα Plaxis.....	253
Πίνακας 200: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	256
Πίνακας 201: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 597+300.....	258
Πίνακας 202: Δεδομένα Plaxis.....	259
Πίνακας 203: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος	262

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Επιλογή μεθόδου εξόρυξης για βραχομάζες	36
Διάγραμμα 2: GSI - Εσωτερική γωνία τριβής, βάσει της σταθεράς m_i (Hoek et al. 1995).....	70
Διάγραμμα 3: Συνοχή - Συνοχή/Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη	70
Διάγραμμα 4: GSI - E_m , δεδομένα από Κίνα και Ταϊβάν (Hoek και Diederichs)	71
Διάγραμμα 5: GSI - E_m , δεδομένων in situ μετρήσεων, έναντι της απλοποιημένης εξίσωσης των Hoek και Diederichs.....	71
Διάγραμμα 6: GSI - E , βάσει της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη του αρρήκτου, για $\sigma_{ci} < 100 \text{MPa}$	72
Διάγραμμα 7: GSI - λόγος Poisson, βάσει της σταθεράς m_i (Vasarhelyi, 2009).....	72
Διάγραμμα 8: Εσωτερική γωνία τριβής - λόγος Poisson (Greschik, 2007)	73
Διάγραμμα 9: Τυπικό εύρος των τιμών του λόγου Poisson για διάφορα πετρώματα (Gercek, 2007).....	73
Διάγραμμα 10: Ενδεικτικές τιμές διαπερατότητας (Atkinson)	74

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Μέτρα προστασίας βραχωδών πρανών.....	35
Εικόνα 2: Μέτρα προστασίας εδαφικών πρανών	35
Εικόνα 3: Είδη μετακινήσεων πρανών κατά Varnes (1978)	37
Εικόνα 4: Καταπτώσεις βράχων Τέμπη (2009).....	38
Εικόνα 5: Σύνθετη αστοχία όγκου 333.000m ³ (2008).....	38
Εικόνα 6: Χρονική εξέλιξη αστοχίας πρανούς.....	39
Εικόνα 7: Διαδικασία μοντελοποίησης προβλήματος με τη Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων.....	41
Εικόνα 8: Ορισμός τίτλου και είδους επίλυσης του μοντέλου	42
Εικόνα 9: Ορισμός μονάδων μέτρησης και διαστάσεων κανάβου εργασίας	43
Εικόνα 10: Απεικόνιση γεωμετρίας μοντέλου	43
Εικόνα 11: Συνθήκες στήριξης μοντέλου.....	44
Εικόνα 12: Καρτέλα εισαγωγής δεδομένων των υλικών	44
Εικόνα 13: 1η Καρτέλα εισαγωγής δεδομένων για γεωυλικό.....	45
Εικόνα 14: 2η Καρτέλα εισαγωγής δεδομένων για γεωυλικό.....	45
Εικόνα 15: 3η Καρτέλα εισαγωγής δεδομένων για γεωυλικό.....	46
Εικόνα 16: Εφαρμογή των υλικών στο μοντέλο	46
Εικόνα 17: Δημιουργία των elements.....	47
Εικόνα 18: Επιλογή πύκνωσης των elements.....	47
Εικόνα 19: Πύκνωση των elements.....	48
Εικόνα 20: Επιλογή ειδικού βάρους νερού	48
Εικόνα 21: Απεικόνιση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα	49
Εικόνα 22: Απεικόνιση κλειστών συνθηκών ροής.....	49
Εικόνα 23: Διαδικασία υπολογισμού της ροής των υδάτων	50
Εικόνα 24: Απεικόνιση της ροής των υδάτων.....	50
Εικόνα 25: "Κουμπί" μετάβασης στους υπολογισμούς των γεωστατικών τάσεων.....	51
Εικόνα 26: Υπολογισμός σταθεράς K ₀	51
Εικόνα 27: Απεικόνιση γεωστατικών τάσεων.....	52
Εικόνα 28: Καρτέλα επίλυσης.....	52
Εικόνα 29: Επιλεγμένες θέσεις για την εκτέλεση των υπολογισμών.....	53
Εικόνα 30: Εκτέλεση υπολογισμών - Επίλυση	53
Εικόνα 31: Απεικόνιση παραμορφωμένου σώματος, από τα outputs του προγράμματος.....	54
Εικόνα 32: Ορισμός χαρακτηριστικών μοντέλου επίλυσης	55
Εικόνα 33: Ορισμός στοιχείων ανάλυσης	56
Εικόνα 34: Μόρφωση γεωμετρίας σχήματος	56
Εικόνα 35: Ορισμός στοιχείων γεωυλικού	57
Εικόνα 36: Εισαγωγή δεδομένων για βραχομάζες από το πρόγραμμα RocData	57
Εικόνα 37: Ορισμός συνθηκών συμπεριφοράς ύδατος, ανά γεωυλικό	58
Εικόνα 38: Παράθυρο επιλογής στοιχείων διακριτοποίησης.....	58
Εικόνα 39: Απεικόνιση μοντέλου μετά τη διακριτοποίηση και τον ορισμό του υδροφόρου ορίζοντα.....	59
Εικόνα 40: Ορισμός συνθηκών στήριξης.....	59
Εικόνα 41: Πρόγραμμα "Interpret", στο οποίο εμφανίζονται τα outputs της επίλυσης του προγράμματος RS2	60
Εικόνα 42: Απεικόνιση προγράμματος RocData	61
Εικόνα 43: Αποτελέσματα υπολογισμών RocData (outputs).....	62
Εικόνα 44: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων.....	81

Εικόνα 45: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς.....	81
Εικόνα 46: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων.....	81
Εικόνα 47: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων.....	82
Εικόνα 48: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων.....	87
Εικόνα 49: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς.....	87
Εικόνα 50: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων.....	87
Εικόνα 51: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων.....	88
Εικόνα 52: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων.....	93
Εικόνα 53: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς.....	93
Εικόνα 54: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων.....	93
Εικόνα 55: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων.....	94
Εικόνα 56: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων.....	100
Εικόνα 57: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς.....	100
Εικόνα 58: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων.....	100
Εικόνα 59: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων.....	101
Εικόνα 60: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων.....	106
Εικόνα 61: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς.....	106
Εικόνα 62: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων.....	106
Εικόνα 63: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων.....	107
Εικόνα 64: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων.....	113
Εικόνα 65: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς.....	113
Εικόνα 66: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων.....	113
Εικόνα 67: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων.....	114
Εικόνα 68: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων.....	115
Εικόνα 69: Απεικόνιση των πιέσεων των πόρων.....	115
Εικόνα 70: Φωτογραφία από αυτοψία των μηχανικών που καταδεικνύει τις τμηματικές ολισθήσεις του πρανούς.....	116
Εικόνα 71: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων.....	120
Εικόνα 72: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς.....	120
Εικόνα 73: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων.....	120
Εικόνα 74: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων.....	121
Εικόνα 75: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων.....	126
Εικόνα 76: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς.....	126
Εικόνα 77: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων.....	126
Εικόνα 78: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων.....	127
Εικόνα 79: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων.....	128
Εικόνα 80: Απεικόνιση των πιέσεων των πόρων.....	128
Εικόνα 81: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων.....	132
Εικόνα 82: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς.....	132
Εικόνα 83: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων.....	132
Εικόνα 84: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων.....	133
Εικόνα 85: Σημεία πλαστικοποίησης εδαφικού πρανούς.....	133
Εικόνα 86: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων.....	139
Εικόνα 87: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς.....	139
Εικόνα 88: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων.....	139
Εικόνα 89: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων.....	140
Εικόνα 90: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων.....	146
Εικόνα 91: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς.....	146
Εικόνα 92: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων.....	147
Εικόνα 93: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων.....	147

Εικόνα 144: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων	229
Εικόνα 145: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς.....	229
Εικόνα 146: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων	229
Εικόνα 147: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων	230
Εικόνα 148: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων	235
Εικόνα 149: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς.....	235
Εικόνα 150: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων	235
Εικόνα 151: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων	236
Εικόνα 152: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων	241
Εικόνα 153: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς.....	241
Εικόνα 154: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων	241
Εικόνα 155: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων	242
Εικόνα 156: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων	243
Εικόνα 157: Απεικόνιση των πιέσεων των πόρων	243
Εικόνα 158: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων	248
Εικόνα 159: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς.....	248
Εικόνα 160: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων	248
Εικόνα 161: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων	249
Εικόνα 162: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων	250
Εικόνα 163: Απεικόνιση των πιέσεων των πόρων	250
Εικόνα 164: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων	254
Εικόνα 165: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς.....	254
Εικόνα 166: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων	254
Εικόνα 167: Σημεία πλαστικοποίησης εδαφικού πρανούς.....	255
Εικόνα 168: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων	255
Εικόνα 169: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων	256
Εικόνα 170: Απεικόνιση των πιέσεων των πόρων	257
Εικόνα 171: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων	260
Εικόνα 172: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς.....	260
Εικόνα 173: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων	260
Εικόνα 174: Σημεία πλαστικοποίησης εδαφικού πρανούς.....	261
Εικόνα 175: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων	261

Εισαγωγή

Τα πρανή αποτελούν ένα βασικό και σημαντικό τμήμα κάθε είδους έργου υποδομών μεσαίας και μεγάλης κλίμακας. Για το λόγο αυτό, πριν από οποιαδήποτε παράθεση προσομοιώσεων και αναλύσεων τους, από την παρούσα διπλωματική εργασία, είναι αδήριτη η ανάγκη να καταγραφούν και να παρουσιαστούν τα κύρια χαρακτηριστικά των πρανών. Η συνοπτική αυτή παρουσίαση περιλαμβάνει στοιχεία, τόσο για τη φύση των πρανών, όσο και για ζητήματα που αφορούν στη διαμόρφωση, αλλά και στην επάρκεια της ευστάθειάς τους σε βάθος χρόνου.

Σκοπός

Ο σκοπός τον οποίο εξυπηρετεί, αλλά και η εφαρμογή που έχει, το εν λόγω είδος γεωτεχνικού έργου, ποικίλλει. Τα πρανή σχηματίζονται, έπειτα από την εκσκαφή κατά τις χωματουργικές εργασίες, για την κατασκευή των θεμελίων, ακόμα και του πιο απλού έργου ανωδομής (π. χ. μία ισόγεια κατοικία). Ωστόσο, υπάρχουν και πολύ πιο σύνθετες εκφάνσεις τους. Η κατασκευή ενός έργου οδοποιίας (ειδικά εκτός πόλεως) απαιτεί, σε πολλές περιπτώσεις, τη διαμόρφωση πρανών παράλληλα (συνήθως) προς τον άξονα της οδού. Αυτό διότι, κατά τη διάνοιξη – εκσκαφή ενός ορύγματος, από το οποίο θα διέρχεται η χάραξη του οδικού/σιδηροδρομικού άξονα, απαιτείται ευστάθεια των πρανών του σκάμματος που δημιουργείται. Αντίστοιχα, στην κατασκευή ενός επιχώματος οδοποιίας ή σιδηροδρομικής γραμμής, επί του οποίου θα κατασκευαστεί το οδόστρωμα, ή θα διέλθει το τρένο, απαιτείται η ευστάθεια των επιφανειών εκατέρωθεν αυτού.

Υπάρχουν, ωστόσο, και πιο σύνθετες εφαρμογές με πρανή. Η διαμόρφωση των πρανών στα στόμια εισόδου και εξόδου των σηράγγων είναι συχνά ένα έργο υψηλών απαιτήσεων και προσεκτικού σχεδιασμού. Πρανή υπάρχουν όμως σε μεγάλη κλίμακα, έστω και προσωρινά, ακόμα και μέσα στις πόλεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι σταθμοί του μετρό. Κατά τη φάση κατασκευής των σταθμών αυτών ακολουθείται (συνήθως) η μέθοδος «cut & cover». Στη μέθοδος αυτή, ουσιαστικά, γίνεται μια βαθιά εκσκαφή της επιφάνειας με διαμόρφωση κατακόρυφων πρανών. Οι μέθοδοι αντιστήριξης αυτών αποτελούν μείζον ζήτημα για τους υπολογισμούς και τους σχεδιασμούς των μελετητών του έργου.

Σχήμα – Γεωμετρία

Η διαμόρφωση της γεωμετρίας του πρανούς ακολουθεί μια μεθοδολογία που βασίζεται σε αρκετούς παράγοντες, ενώ στα έργα υπάρχουν αρκετές διαφορετικές διαμορφώσεις πρανών. Οι μελετητές, αξιοποιώντας όλα τα γεωτεχνικά δεδομένα, καθώς και τους σκοπούς που θα εξυπηρετεί η κατασκευή ενός πρανούς, καταλήγουν στο βέλτιστο σχεδιασμό του.

Το πρώτο στοιχείο της γεωμετρίας ενός πρανούς είναι η κλίση του. Αυτή μπορεί να είναι από μια πολύ μικρή γωνία, μέχρι και 90° , δηλαδή κατακόρυφο. Έπειτα, το ύψος του. Υπάρχουν πρανή με ύψος λίγα μέτρα, αλλά και πρανή με μεγάλο ύψος δεκάδων μέτρων. Ακολούθως, ένα πρανές μπορεί να είναι μία ενιαία κατασκευή, ή να αναπτύσσεται βαθμιδωτά. Το «πατάρι» (ή μπαγγίνα), όπως ονομάζεται κοινώς, είναι ένας αναβαθμός, κατά το ύψος του πρανούς. Ένα πρανές δύναται να περιλαμβάνει στη γεωμετρία του ένα πατάρι, ή και παραπάνω. Το πλάτος που έχει ένα πατάρι, επίσης ποικίλλει. Μπορεί να είναι ένα μέτρο, ή και παραπάνω. Το πατάρι μπορεί να

διαμορφωθεί για λόγους μεγαλύτερης ασφάλειας του πρανούς, υπό την έννοια της απομείωσης των τάσεων του πρανούς στην περιοχή που προσεγγίζεται από έναν οδικό άξονα, ή ως οικονομικότερης λύσης (απ' ότι επιπρόσθετα μέτρα υποστήριξης), για την υποβάθμιση της ευστάθειας του και της εξυπηρέτησής των έργων συντήρησης (μακροπρόθεσμα).

Οι παράγοντες που επιδρούν στο σχεδιασμό ενός τέτοιου έργου είναι πρωτίστως τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά.

Πρώτος και κύριος παράγοντας, όπως σε κάθε γεωτεχνικό έργο, είναι η γεωλογία της περιοχής. Εξαρτάται, δηλαδή από το είδος του γεωυλικού, αν είναι βραχώδες, ή εδαφικό και τι μηχανικές ιδιότητες έχει.

Έπειτα, η παρουσία του νερού, δηλαδή η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, καθώς και η διαπερατότητα του γεωυλικού είναι ένας δύσκολος στην εκτίμηση, αλλά πολύ σημαντικός παράγοντας σχεδιασμού. Υπάρχουν παραδείγματα πρανών που αστόχησαν, εξαιτίας λανθασμένης εκτίμησης αυτού του βασικού παράγοντα. Το πιο χαρακτηριστικό, ίσως, παράδειγμα στον Ελλαδικό χώρο, αστοχίας πρανούς οφειλόμενης σε αυτό τον παράγοντα, είναι η περίπτωση της Μαλακάσας. Η κατολίσθηση του εν λόγω πρανούς, και μάλιστα όχι μόνο μία φορά, οφείλεται στην υδατοστεγανή υπερκείμενη βραχομάζα, που οδήγησε στη συγκέντρωση μεγάλων όγκων νερού, και επομένως στην ανάπτυξη πολύ υψηλών πιέσεων, με αποτέλεσμα την αστοχία του. Η αντιμετώπιση αυτού προβλήματος ήρθε με δημιουργία κατακόρυφων φρεάτων – αποστραγγιστικών οπών που συλλέγουν το νερό σε μία υδραυλική σήραγγα. Το νερό, από εκεί, οδηγείται στην επιφάνεια (σε χαμηλότερο υψόμετρο) μακριά από τον άξονα της οδού.

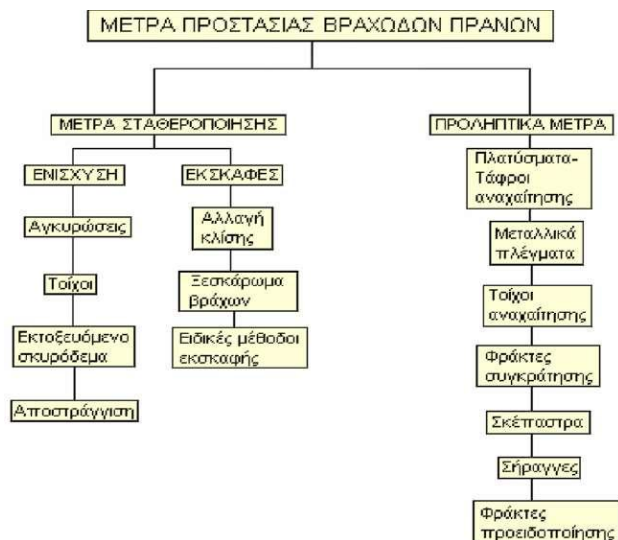
Ένας άλλος παράγοντας που επιδρά στο σχεδιασμό είναι η ύπαρξη, ή μη ρηγμάτων στην περιοχή, καθότι, ειδικά τα εδαφικά πρανή, είναι ευαίσθητα στις δυναμικές φορτίσεις. Ακόμη, η γεωμορφολογία της περιοχής είναι καθοριστικός παράγοντας σχεδιασμού των πρανών. Επιπροσθέτως, σημαντικός είναι και ο ρόλος τον οποίο θα έχει ένα πρανές, αν θα προέρχεται από όρυγμα, αν θα είναι επίχωμα, αλλά και ο τρόπος σχεδιασμού της αντιστήριξης του. Τέλος, όπως πάντα άλλωστε σε μία κατασκευή, καθοριστικός παράγοντας είναι ο οικονομικός, αλλά και ασφαλής σχεδιασμός του.

Μέθοδοι αντιστήριξης

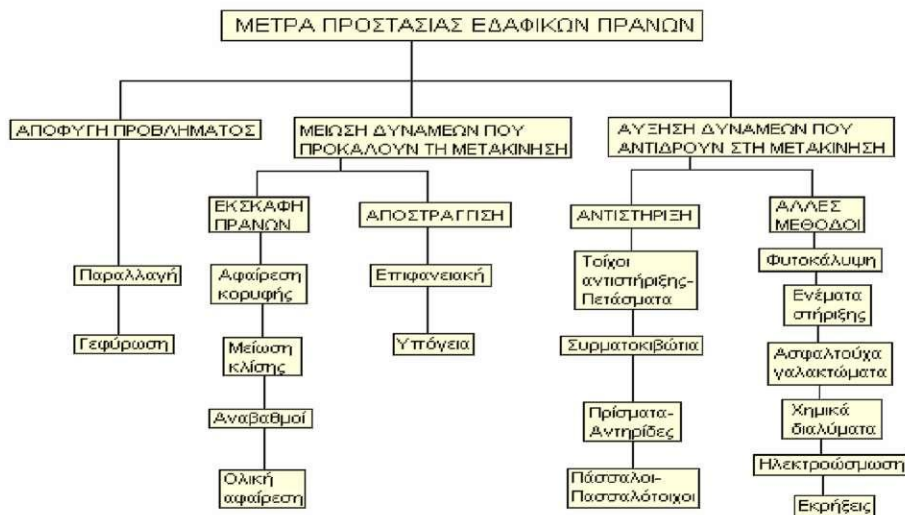
Ο σκοπός των μελετητών, κάθε είδους έργου, είναι ο βέλτιστος και οικονομικότερος τρόπος με τον οποίο θα γίνει η κατασκευή. Ως προς τα πρανή υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που εξασφαλίζουν την ευστάθειά τους. Το σκεπτικό της διαστασιολόγησης των μέτρων υποστήριξης ενός πρανούς σαφώς εξαρτάται και από όλους αυτούς τους παράγοντες, που αναλύθηκαν στην υποενότητα για τη γεωμετρία του.

Ένας επιπλέον παράγοντας επιλογής μέτρων υποστήριξης είναι αν θα είναι προσωρινά, ή μόνιμα τα μέτρα αυτά.

Η τεχνολογία σήμερα έχει εξοπλίσει το μηχανικό με διάφορα εργαλεία. Έτσι, η ευστάθεια ενός πρανούς μπορεί να εξασφαλιστεί με διάφορες μεθόδους. Τέτοια παραδείγματα υπάρχουν με μέτρα υποστήριξης που περιλαμβάνουν φρεατοπασσάλους, αγκυρώσεις, αυτοφερόμενα πετάσματα - πλάκες, διαφραγματικούς τοίχους, αντηρίδες (προσωρινό, συνήθως μέτρο υποστήριξης) κ.α. Τα πρανή βέβαια μπορεί και να μην απαιτούν μέτρα υποστήριξης. Τότε, καθοριστικό ρόλο παίζει η γεωμετρία την οποία θα έχουν. Τα παρακάτω σχήματα, με διαχωρισμό μεταξύ εδαφικών και βραχωδών πρανών καταδεικνύουν τα πιθανά μέτρα υποστήριξης.



Εικόνα 1: Μέτρα προστασίας βραχωδών πρανών



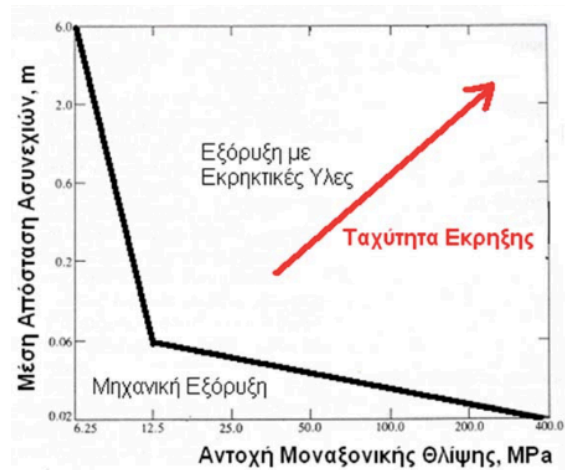
Εικόνα 2: Μέτρα προστασίας εδαφικών πρανών

Μέθοδοι κατασκευής

Τα πρανή μπορεί να είναι φυσικά, ή προφανώς τεχνητά. Η διαμόρφωση των τεχνητών πρανών, ή η επέμβαση σε φυσικά πρανή μπορεί να γίνει με διαφορετικές μεθόδους. Αρχικά, θα πρέπει να αναφερθούν οι δύο βασικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωση πρανών ορυγμάτων.

Η πρώτη είναι η χρήση εκρηκτικών. Σε βραχώδεις σχηματισμούς χρησιμοποιείται, συνήθως, αυτή η μέθοδος. Η επιλογή της όμως, εξαρτάται από δύο παράγοντες. Αυτοί είναι οι αποστάσεις μεταξύ των ασυνεχειών της βραχομάζας και η αντοχής της σε μονοαξονική θλίψη. Ανάλογα λοιπόν, επιλέγεται όχι μόνο αν θα ακολουθηθεί η μέθοδος αυτή, αλλά καθορίζεται και ο σχεδιασμός της ανατίναξης.

Σε εδαφικά υλικά επιλέγεται η εκσκαφή με μηχανικά μέσα. Συνεπώς, η επιλογή της μεθόδου που θα ακολουθηθεί σχετίζεται άμεσα με το υλικό πρέπει να αφαιρεθεί.



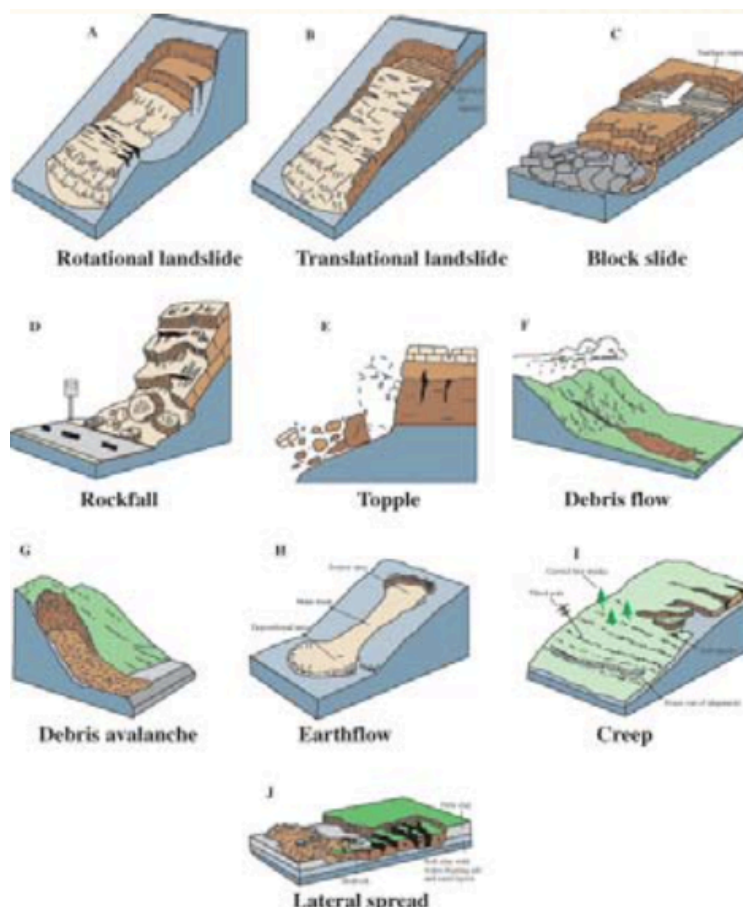
Διάγραμμα 5: Επιλογή μεθόδου εξόρυξης για βραχομάζες

Προβλήματα - Αστοχίες

Ένα βασικό σημείο που χρίζει αναφοράς είναι τα προβλήματα και οι αστοχίες που μπορεί να εκδηλωθούν σε ένα πρανός. Το κύριο ζητούμενο, φυσικά, είναι η διερεύνηση των αιτιών που οδηγούν στη μερική, ή ολική κατολίπηση αυτών. Ωστόσο, βάσει του «UNESCO Working Party on World Landslide Inventory WP/WLI 1990», η ορολογία «αιτίες κατολίπησης» δεν είναι δόκιμη. Η πιο σωστή έκφραση είναι «συνθήκες και διεργασίες οι οποίες οδηγούν στην αλλαγή του καθεστώτος ισορροπίας του πρανούς». Σύμφωνα με τον Popescu M. (1996), οι παράγοντες, που επιδρούν στην εκδήλωση αστοχίας, είναι οι συνθήκες του εδάφους, οι γεωμορφολογικές συνθήκες, οι φυσικές διεργασίες και οι ανθρωπογενείς παράγοντες. Τα είδη αυτών των αστοχιών κατατάσσονται βάσει του είδους μετακίνησης του πρανούς, καθώς και του είδους του γεωυλικού. Στον επόμενο πίνακα καταγράφονται τα διάφορα είδη αστοχίας ενός πρανούς, ενώ στην επόμενη εικόνα αναπαρίπτανται κάποια από αυτά τα είδη, από την ταξινόμηση κατά Varnes (1978).

Πίνακας 4: Είδη μετακινήσεων πρανών

		Τύπος υλικού	
Τύπος κίνησης	Υπόβαθρο	Εδάφη	
		Κορήματα	Γαίες
Πτώσεις	Πτώσεις βράχων	Πτώσεις κορημάτων	Πτώσεις γαιών
Ανατροπές	Ανατροπές βράχων	Ανατροπές κορημάτων	Ανατροπές γαιών
Ολισθήσεις - κυκλικές μεταθετικές	καθίζηση βράχων Ολίσθηση βράχων	Καθίζηση κορημάτων Ολισθήσεις κορημάτων	Καθίζηση γαιών Ολισθήσεις γαιών
Πλευρικές Εκτάσεις	Έκταση βράχων	Έκταση κορημάτων	Έκταση γαιών
Ροές	Ροή βράχων	Ροή κορημάτων	Ροή γαιών (ή ροή ιλύος)
Σύνθετες	Συνδυασμός δύο ή περισσότερων κύριων τύπων μετακινήσεων		



Εικόνα 3: Είδη μετακινήσεων πρανών κατά Varnes (1978)



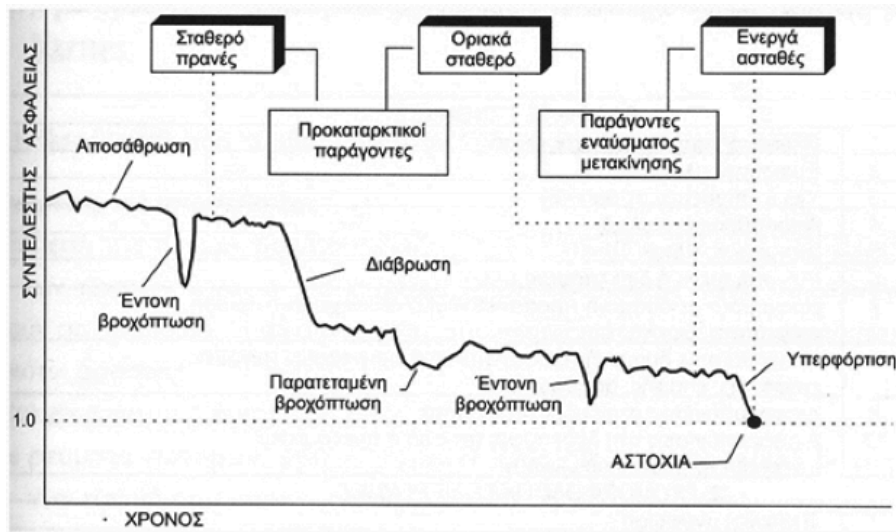
Εικόνα 4: Καταπτώσεις βράχων Τέμπη (2009)



Εικόνα 5: Σύνθετη αστοχία όγκου 333.000m³ (2008)

Προφανώς, πρέπει να σημειωθεί το χρονικό της εξέλιξης μιας αστοχίας. Η δυνητική εκδήλωση αστοχίας σε ένα πρανές δεν είναι μια διεργασία που ξαφνικά εμφανίζεται. Κατά το πέρασμα των ετών διάφοροι παράγοντες επιδρούν σε ένα πρανές, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. Το αποτέλεσμα είναι η εκδήλωση αστοχίας σε ανύποπτο, πολλές φορές, χρόνο με απρόβλεπτες συνέπειες. Το παρακάτω σχήμα, ως

παράδειγμα καθιστά εμφανή τη χρονική σειρά που ακολουθείται μέχρι την εκδήλωση μιας αστοχίας.



Εικόνα 6: Χρονική εξέλιξη αστοχίας πρηνούς

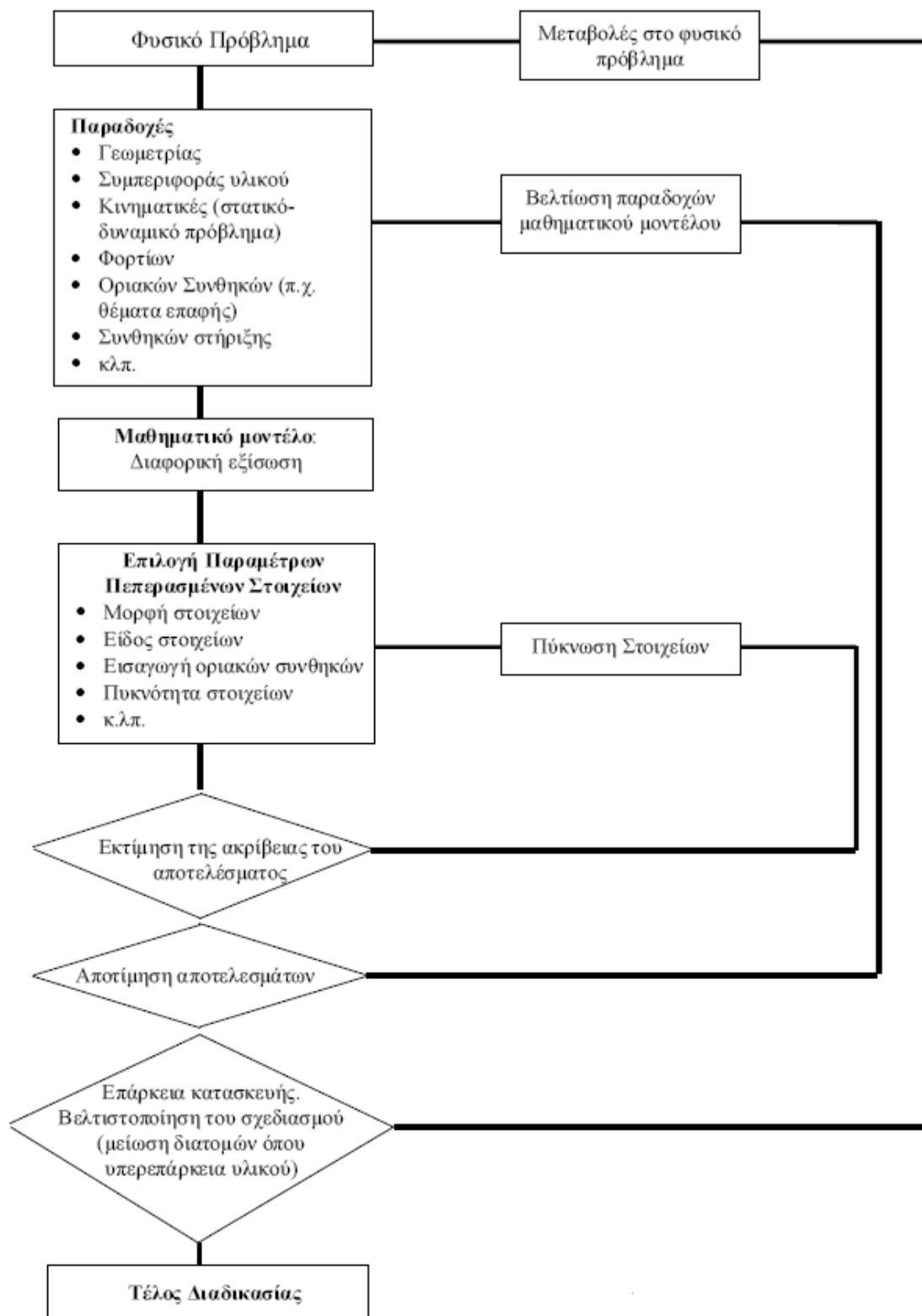
Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων

Στην παρούσα διπλωματική, μέσω των προγραμμάτων προσομοίωσης και ανάλυσης, χρησιμοποιείται η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων (ΜΠΣ), οποία υπάγεται στη μέθοδο της αριθμητικής ανάλυσης. Η φιλοσοφία, επί της ουσίας, αυτής της μεθόδου είναι η υποδιαίρεση ενός ενιαίου τμήματος του έργου σε πολλά μικρότερα στοιχεία (elements), τα οποία συνδέονται μεταξύ τους σε κόμβους (nodes). Στην εν λόγω περίπτωση, τα στοιχεία που μορφώνονται, κατά την ανάλυση, είναι τριγωνικά με 15 κόμβους το καθένα, και ακολουθείται για την ανάλυση το μοντέλο της επίπεδης παραμόρφωσης (plane strain). Κατ' αυτόν τον τρόπο, λαμβάνεται μία επίλυση ανά στοιχείο, αλλά, μέσω των εξισώσεων στους κόμβους των στοιχείων, προκύπτει μετά από πολλαπλές επαναλήψεις μία τελική συνολική λύση. Η λύση αυτή είναι το αποτέλεσμα της επίλυσης ενός μαθηματικού μοντέλου. Προφανώς, δεν αποτελεί λύση στο αρχικό φυσικό πρόβλημα, αλλά σε μία, θεωρητικά, αξιόπιστη μαθηματική προσομοίωσή του.

Η διαδικασία περιλαμβάνει εξαιρετικά πολύπλοκους υπολογισμούς, οι οποίοι, στη σύγχρονη εποχή, εκτελούνται ταχύτατα από τα υπολογιστικά προγράμματα. Ωστόσο, οι παραδοχές κατά την προσομοίωση, αλλά και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων έγκειται στην κρίση του μηχανικού.

Η αρχή γίνεται με την, κατά προσέγγιση, απόδοση της γεωμετρίας του σχήματος του προβλήματος. Ακολούθως, γίνεται η επιλογή των χαρακτηριστικών των υλικών, από τα οποία αποτελείται το πρόβλημα. Έπειτα, ορίζονται οι συνδυασμοί φορτίσεων, τα φορτία, οι οριακές συνθήκες και ότι άλλο κρίνεται απαραίτητο ανά περίπτωση (π.χ. ο υδροφόρος ορίζοντας). Με βάση αυτά, μπορεί να γίνει η μόρφωση του μαθηματικού μοντέλου, αφού προηγηθεί και ο ορισμός του είδους, της μορφής και της πυκνότητας των στοιχείων (elements) του μοντέλου. Ακολουθεί η επίλυση του προβλήματος, και τέλος, η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων αυτής. Αν, κατά την κρίση του μηχανικού, είναι επαρκής, αλλά και η βέλτιστη από πλευράς οικονομίας υλικών, η διαδικασία έχει ολοκληρωθεί. Αν όχι, τότε η διαδικασία επαναλαμβάνεται με αλλαγές σε διάφορα στάδια αυτής, και πάλι βάσει της κρίσης του μηχανικού. Το σχήμα που ακολουθεί, στην επόμενη σελίδα, καθιστά απόλυτα σαφή τη διαδικασία που ακολουθείται, έως ότου επιτευχθεί η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού.

Εν κατακλείδι, στη μέθοδο αυτή είναι καταφανής και αδιαμφισβήτητη η συμβολή της ικανότητας και της εμπειρίας του μηχανικού – μελετητή στην απόδοση - με τον καλύτερο δυνατό τρόπο- του πραγματικού προβλήματος, ως ένα μαθηματικό μοντέλο που να μπορεί να επιλυθεί γρήγορα, στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, και κυρίως στη δυνατότητα παρέμβασης, με στόχο τη βελτιστοποίηση της προτεινόμενης λύσης σταθεροποίησης/ευστάθειας του προς ανάλυση πρανούς.



Εικόνα 7: Διαδικασία μοντελοποίησης προβλήματος με τη Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων

Λογισμικό

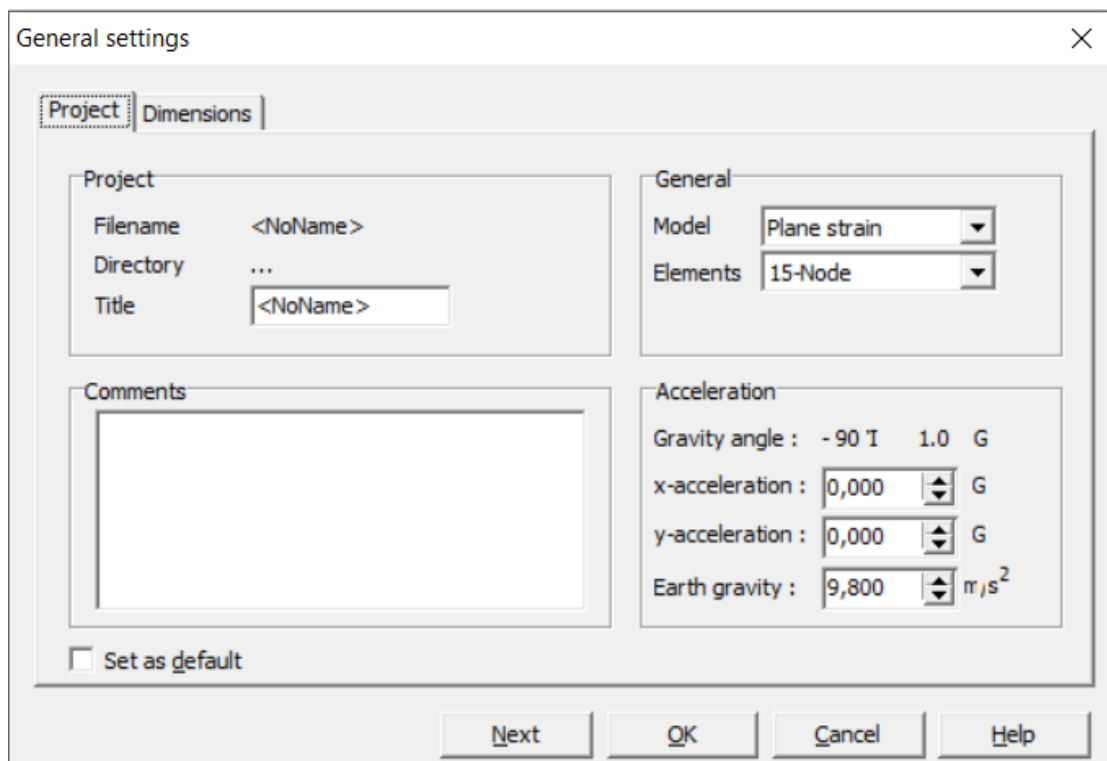
Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής είναι βασισμένη σε αναλύσεις ευστάθειας πρανών με τη βοήθεια προγραμμάτων που ακολουθούν τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι δύο, το Plaxis 2D και το RS2.

Ωστόσο, απαραίτητη κρίθηκε και η χρήση του προγράμματος RocData. Στην πορεία περιγράφεται ο λόγος, αλλά και ο τρόπος, με τον οποίο αυτά τα προγράμματα αποτέλεσαν τα βασικά αναλυτικά εργαλεία.

Plaxis 2D

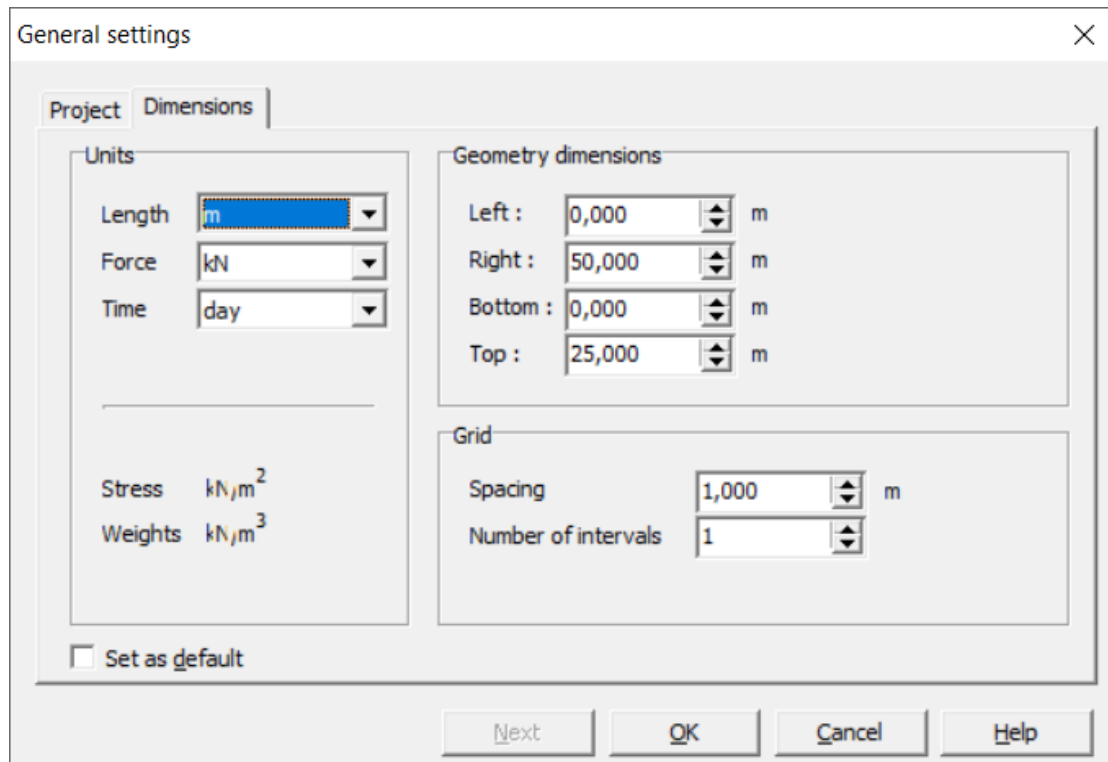
Το Plaxis 2D v8.2, της εταιρίας «Bentley», αποτελεί το βασικό πρόγραμμα στο οποίο έγιναν οι αναλύσεις για το σύνολο των πρανών, ανά Χ.Θ. Ακολούθως περιγράφεται αναλυτικά, βήμα προς βήμα, η πορεία που ακολουθήθηκε για την προσομοίωση των πρανών.

Με την εκκίνηση του προγράμματος και, κατόπιν της επιλογής νέας εργασίας, αναδύεται το παράθυρο της επόμενης εικόνας. Εκεί δηλώνεται ο τίτλος της μελέτης, καθώς και το μοντέλο προσομοίωσης που θα ακολουθηθεί, μαζί με τον αριθμό των κόμβων (nodes) ανά στοιχείο (element).



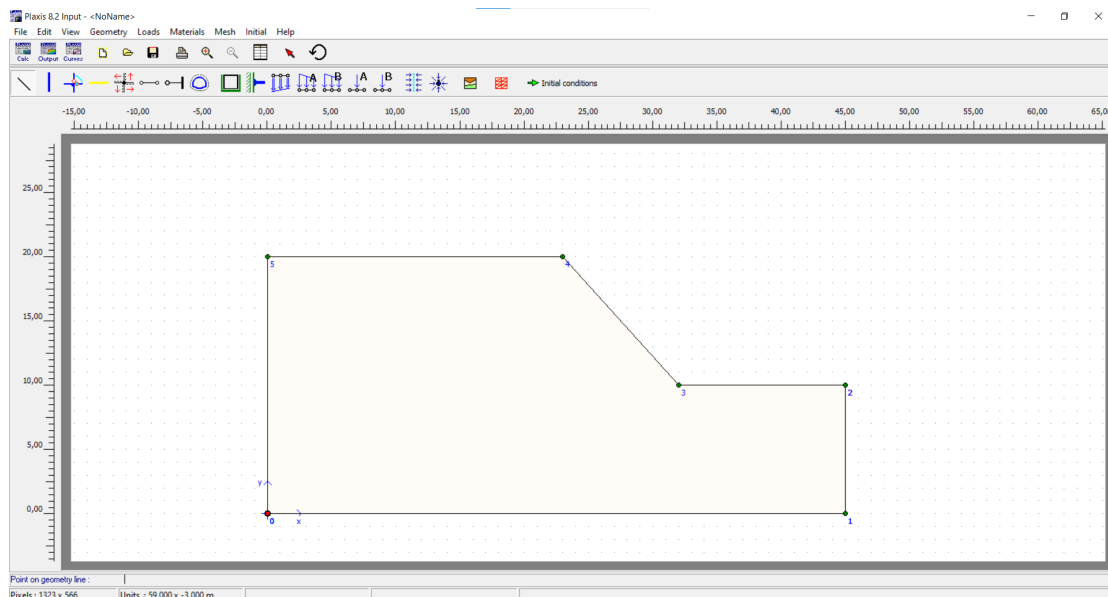
Εικόνα 8: Ορισμός τίτλου και είδους επίλυσης του μοντέλου

Στην επόμενη καρτέλα δηλώνονται οι μονάδες μέτρησης για τις μεταβλητές του μήκους, της δύναμης και της ώρας. Ενώ ταυτόχρονα, δηλώνονται τα όρια και οι διαστάσεις του κανάβου, στον οποίο θα γίνει η μοντελοποίηση.



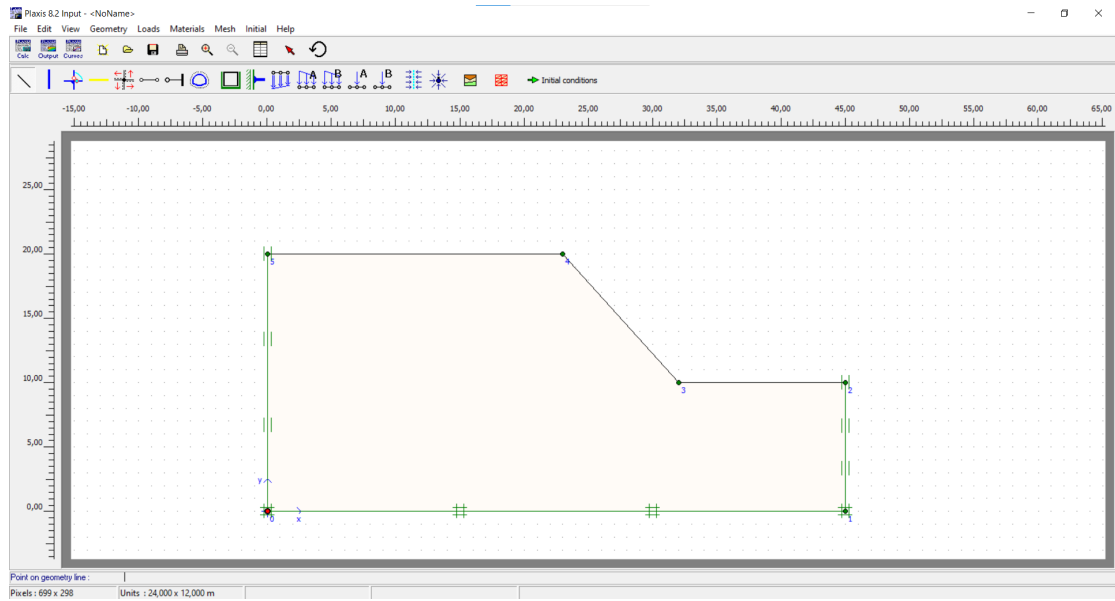
Εικόνα 9: Ορισμός μονάδων μέτρησης και διαστάσεων κανάβου εργασίας

Αφού οριστούν τα παραπάνω, επιλέγοντας την εντολή «Geometry line», από τη γραμμή εργαλείων, σχεδιάζεται το σχήμα του προβλήματος που θα αναλυθεί.



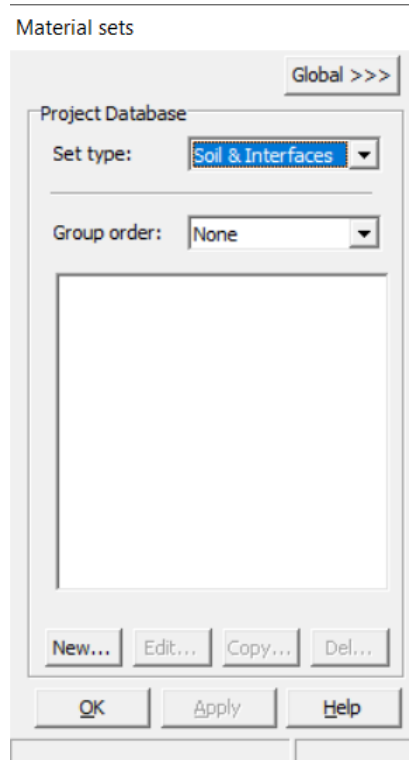
Εικόνα 10: Απεικόνιση γεωμετρίας μοντέλου

Κατόπιν, επιλέγοντας την εντολή «Standard fixities», από τη γραμμή εργαλείων, εισάγονται οι συνθήκες στήριξης του μοντέλου.



Εικόνα 11: Συνθήκες στήριξης μοντέλου

Ακολουθεί ο ορισμός του γεωυλικού. Από την εντολή «Material Sets», της γραμμής εργαλείων, αναδύεται το ακόλουθο παράθυρο. Επιλέγεται στο «Set type» η κατηγορία «Soil & Interfaces» και επιλέγεται το κουμπί «New...».



Εικόνα 12: Καρτέλα εισαγωγής δεδομένων των υλικών

Εμφανίζεται, λοιπόν, ένα νέο παράθυρο στο οποίο θα οριστούν οι μηχανικές ιδιότητες του υλικού. Πιο συγκεκριμένα, δίνεται η ονομασία του υλικού, το κριτήριο αστοχίας και ο τύπος του υλικού, αναφορικά με το αν είναι υγρές οι συνθήκες, ή όχι. Επιπλέον δηλώνεται το ειδικό βάρος, καθώς και η διαπερατότητα του υλικού.

Mohr-Coulomb - <NoName>

General | Parameters | Interfaces

Material Set

Identification: <NoName>

Material model: Mohr-Coulomb

Material type: Drained

General properties

γ_{unsat} : 0,000 kN/m³

γ_{sat} : 0,000 kN/m³

Comments

Permeability

k_x : 0,000 m/day

k_y : 0,000 m/day

Advanced...

Next Ok Cancel Help

Εικόνα 13: 1η Καρτέλα εισαγωγής δεδομένων για γεωλικό

Η επόμενη καρτέλα αυτού του παραθύρου είναι εξαιρετικά σημαντική. Εδώ δηλώνεται το μέτρο ελαστικότητας, ο λόγος Poisson, η εσωτερική γωνία τριβής, κ.α.

Mohr-Coulomb - <NoName>

General | Parameters | Interfaces

Stiffness

E_{ref} : 0,000 kN/m²

ν (nu): 0,000

Strength

c_{ref} : 0,000 kN/m²

ϕ (phi): 0,000 °

ψ (psi): 0,000 °

Alternatives

G_{ref} : 0,000 kN/m²

E_{oed} : 0,000 kN/m²

Velocities

V_s : N/A m/s

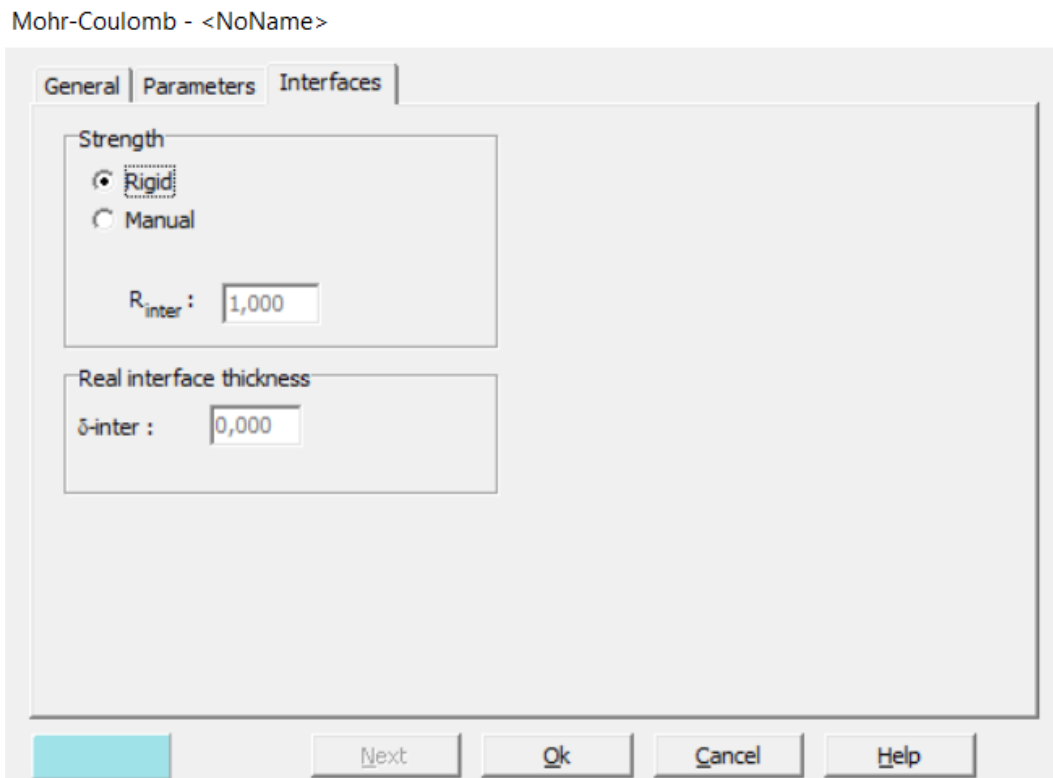
V_p : N/A m/s

Advanced...

Next Ok Cancel Help

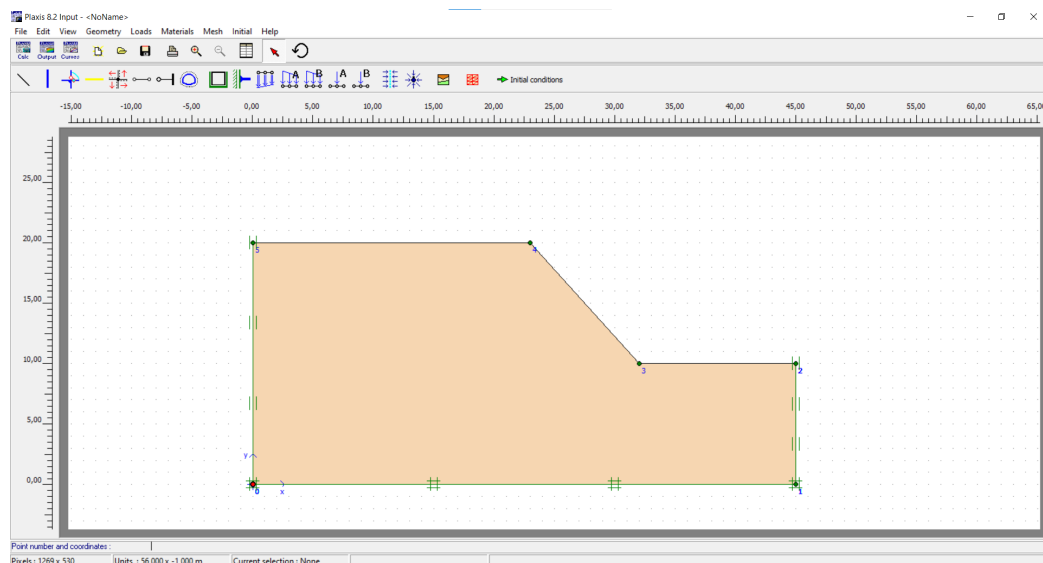
Εικόνα 14: 2η Καρτέλα εισαγωγής δεδομένων για γεωλικό

Στην τελευταία καρτέλα γίνεται ο προσδιορισμός της αλληλεπίδρασης του ενός υλικού με το άλλο στη διεπιφάνεια τους. Πατώντας μετά το κουμπί «OK», κλείνει το παράθυρο αυτό, και η διαδικασία του ορισμού των χαρακτηριστικών του υλικού έχει ολοκληρωθεί. Αν υπάρχουν περισσότερα από ένα υλικά, τότε η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται, για όλα.



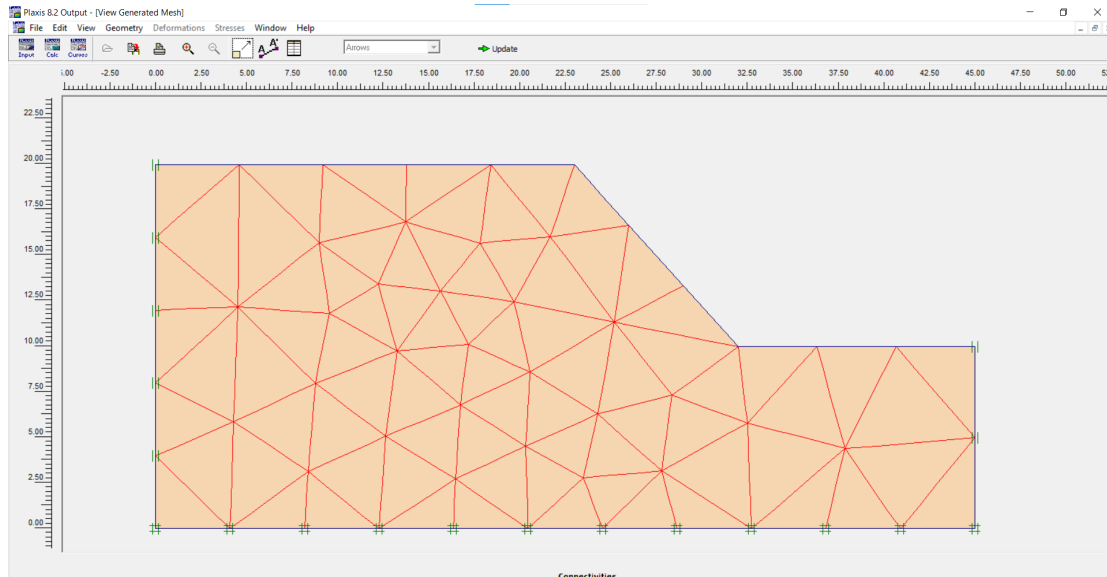
Εικόνα 15: 3η Καρτέλα εισαγωγής δεδομένων για γεωυλικό

Ακολούθως, από το παράθυρο «Material Sets» που είναι ακόμα ανοιχτό, επιλέγεται το υλικό / τα υλικά εντός των ορίων του μοντέλου. Αυτό γίνεται για να εφαρμοστούν οι ιδιότητες του/τους, στη/στις συγκεκριμένη/ες περιοχή/ες.



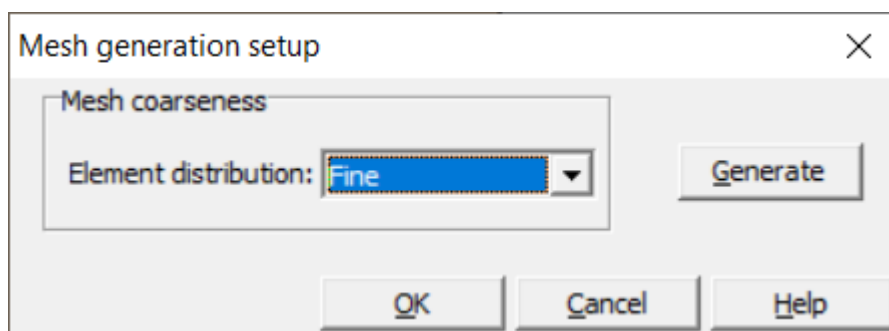
Εικόνα 16: Εφαρμογή των υλικών στο μοντέλο

Επόμενο βήμα είναι η δημιουργία των στοιχείων (meshing). Αυτό γίνεται από την εντολή «Generate mesh», της γραμμής εργαλείων. Κατ' αυτόν τον τρόπο, αναδύεται το παράθυρο της επόμενης εικόνας. Επόμενο βήμα είναι η εντολή «Update», η οποία ουσιαστικά «ενημερώνει» το πρόγραμμα γι' αυτήν την αλλαγή.



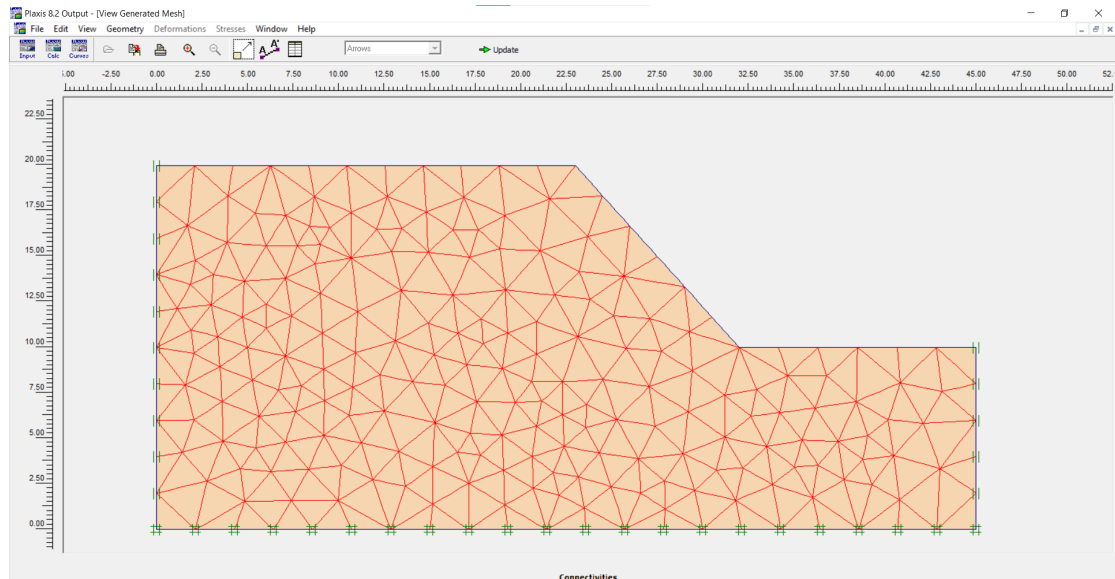
Εικόνα 17: Δημιουργία των elements

Ωστόσο, το αρχικό meshing που έχει γίνει μερικές φορές δε θεωρείται επαρκές. Γι' αυτόν το λόγο γίνεται συχνά ένα πύκνωμα του meshing. Η διαδικασία είναι απλή. Πατώντας διαδοχικά, από τη γραμμή εντολών, «Mesh» και «Global coarseness...» εμφανίζεται το επόμενο παράθυρο. Στο σημείο του «Element distribution» μπορεί να επιλεγεί η κατάλληλη πύκνωση των στοιχείων, κατά την κρίση του μελετητή.



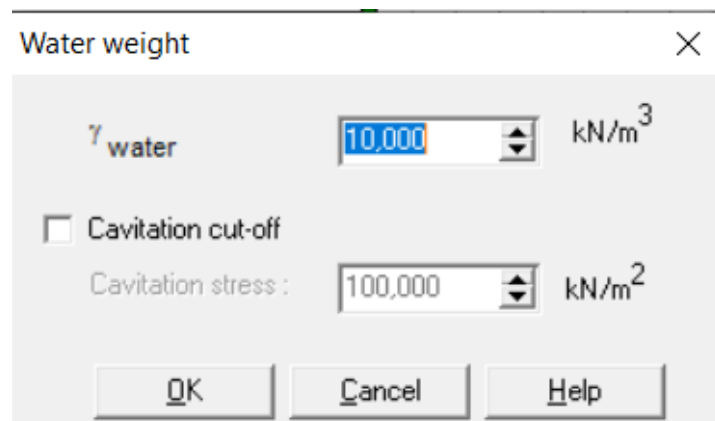
Εικόνα 18: Επιλογή πύκνωσης των elements

Στην επόμενη εικόνα διακρίνεται μια πιο πυκνή εκδοχή του μοντέλου, με την επιλογή «Fine», σε σχέση με τη «Medium», που ήταν η αρχική πύκνωση (by default). Ακολούθως, και πάλι επιλέγεται η εντολή «Update».



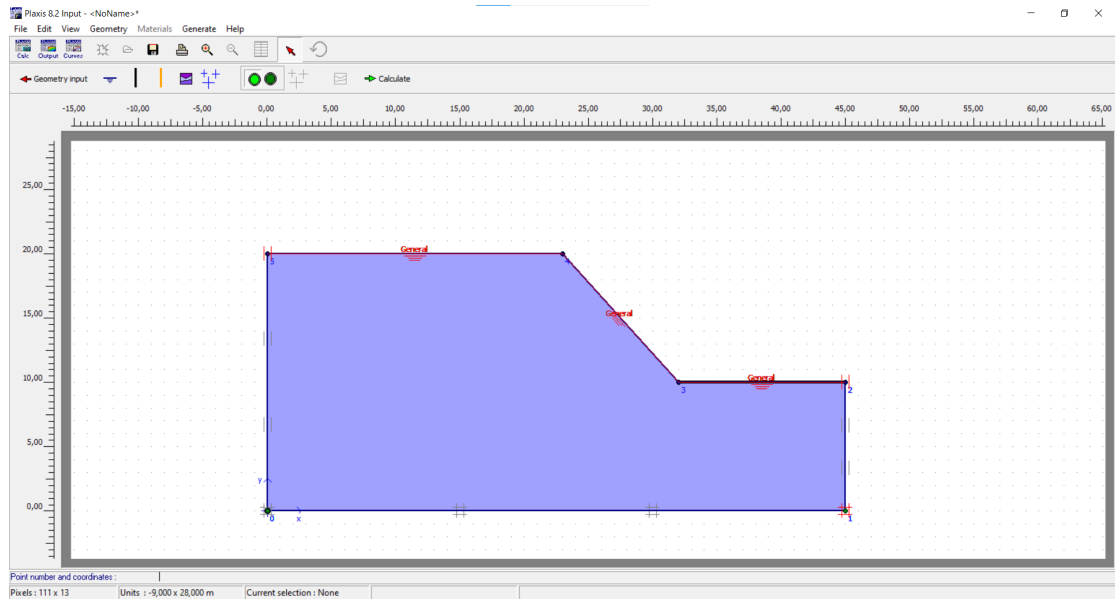
Εικόνα 19: Πύκνωση των elements

Σε αυτό το σημείο έχει ολοκληρωθεί η μοντελοποίηση, έως ένα βαθμό. Ακολουθεί η μοντελοποίηση της παρουσίας του υδροφόρου ορίζοντα. Επιλέγεται, λοιπόν, η εντολή «Initial conditions», από τη γραμμή εργαλείων. Αυτομάτως, και αφού γίνει ο ορισμός του ειδικού βάρους νερού,



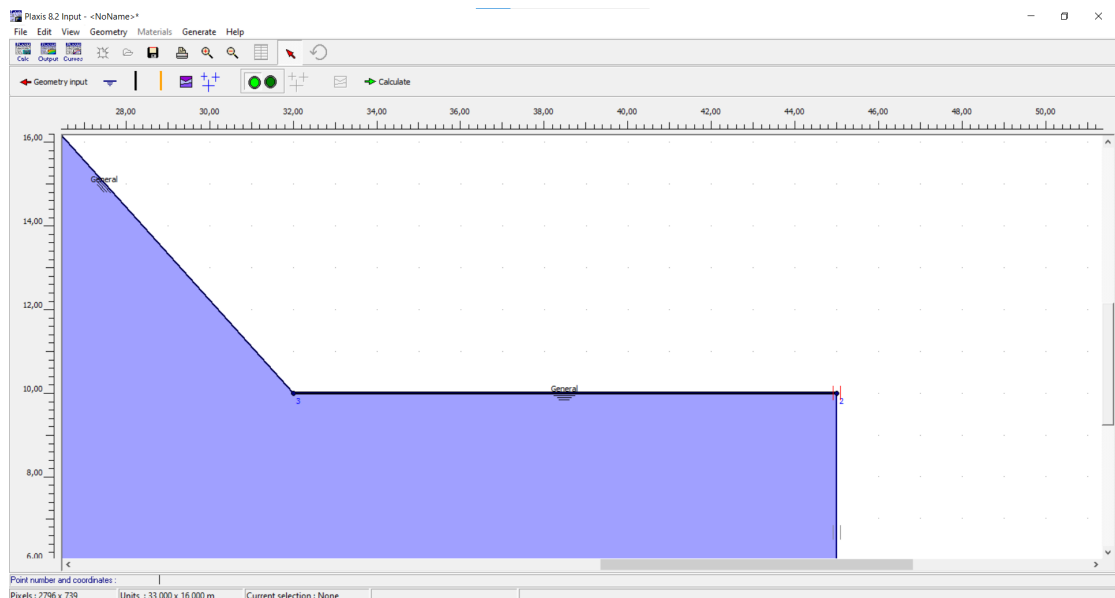
Εικόνα 20: Επιλογή ειδικού βάρους νερού

το πρόγραμμα μεταβαίνει στο πεδίο όπου θα γίνει ο ορισμός της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα. Αυτό γίνεται με την εντολή «Phreatic level», από τη γραμμή εργαλείων. Ο ορισμός αυτής γίνεται χειροκίνητα.



Εικόνα 21: Απεικόνιση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα

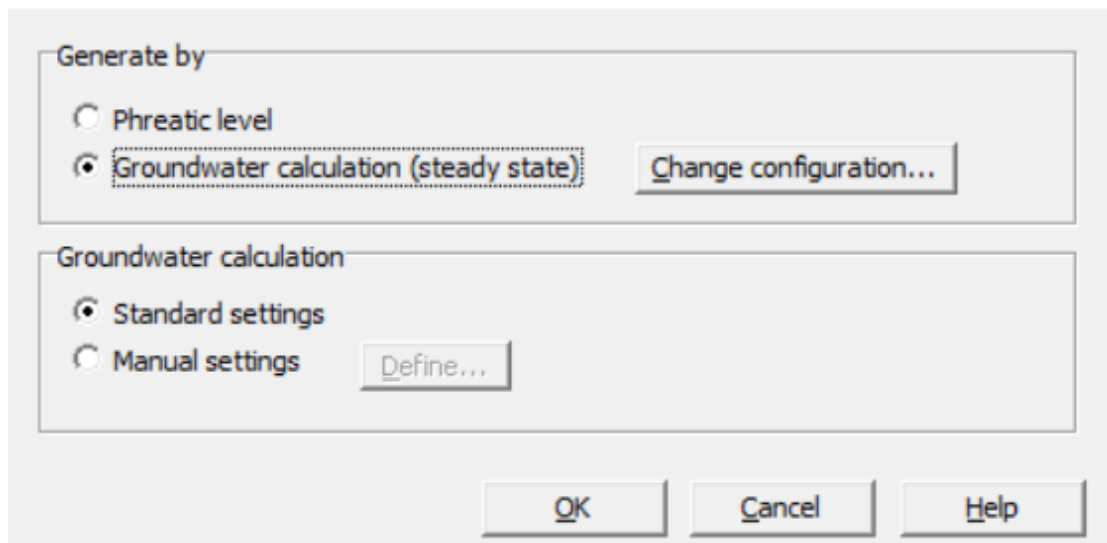
Επιπροσθέτως, μπορούν να οριστούν περιοχές στις οποίες δεν επιτρέπεται η ροή του νερού (κλειστές συνθήκες ροής). Στην επόμενη εικόνα διακρίνεται μία πιο παχιά γραμμή, η οποία αντιπροσωπεύει το «εμπόδιο» στη ροή των υδάτων. Η εντολή που χρησιμοποιείται, γι' αυτό το σκοπό, είναι η «Closed flow boundary». Στις προσομοιώσεις της συγκεκριμένης διπλωματικής αυτό έγινε στα σημεία που υπάρχει οδόστρωμα, ή κάποιας μορφής σκυροδέτηση.



Εικόνα 22: Απεικόνιση κλειστών συνθηκών ροής

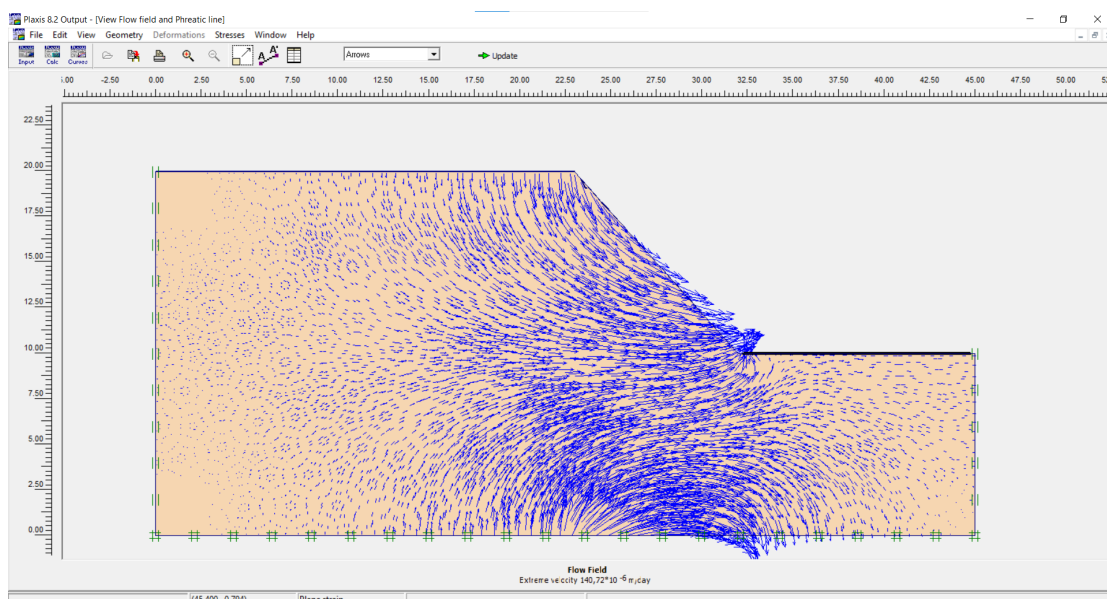
Στην πορεία γίνεται η προσομοίωση από το πρόγραμμα της ροής των υδάτων. Πατώντας την εντολή «Generate water pressures», από τη γραμμή εργαλείων, αναδύεται το παράθυρο της εικόνας που ακολουθεί. Επιλέγονται τα «Groundwater calculation» και «Standard settings».

Water pressure generation



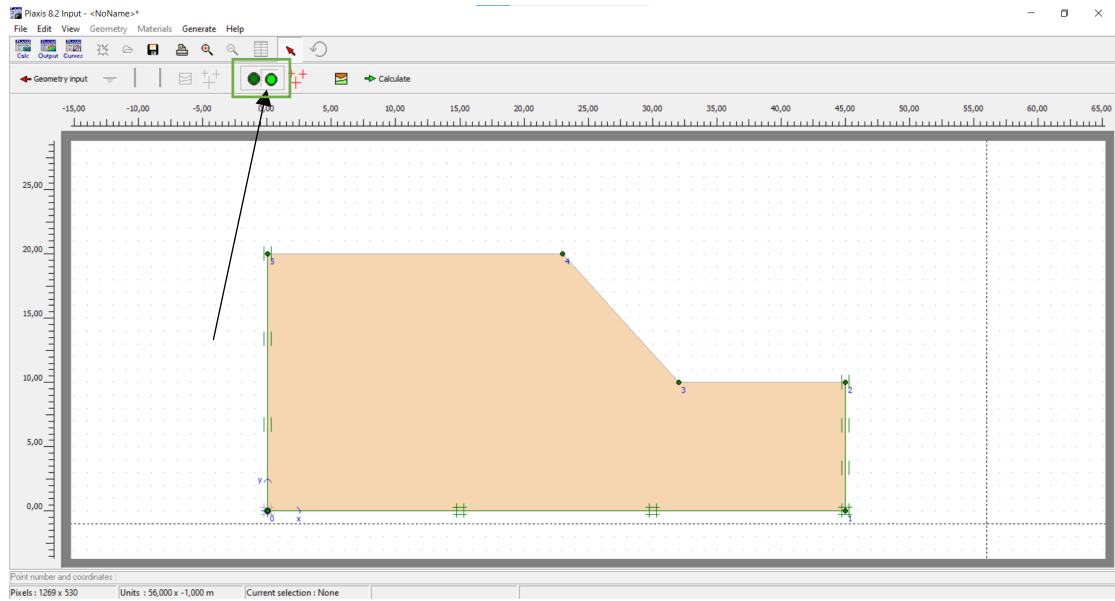
Εικόνα 23: Διαδικασία υπολογισμού της ροής των υδάτων

Αμέσως μετά, εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο, το οποίο δείχνει διανυσματικά τη ροή που ακολουθεί το νερό.



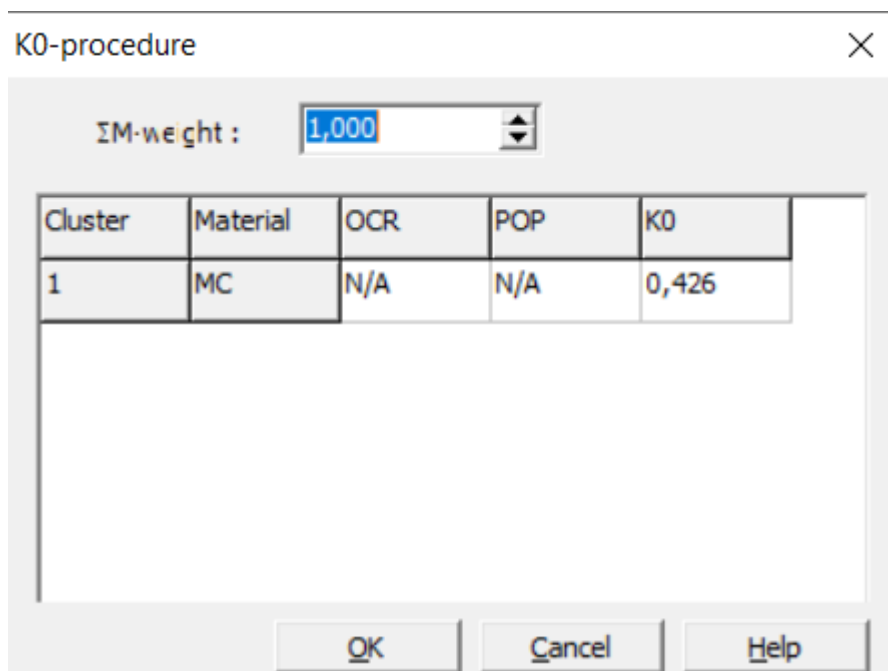
Εικόνα 24: Απεικόνιση της ροής των υδάτων

Έπειτα, με ένα κλικ στο κόκκινο κουμπί, που βρίσκεται στη γραμμή εργαλείων, αυτό γίνεται αμέσως πράσινο. Με αυτήν την κίνηση γίνεται η απελευθέρωση της παρακείμενης εντολής «Generate initial stresses», όπως διακρίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



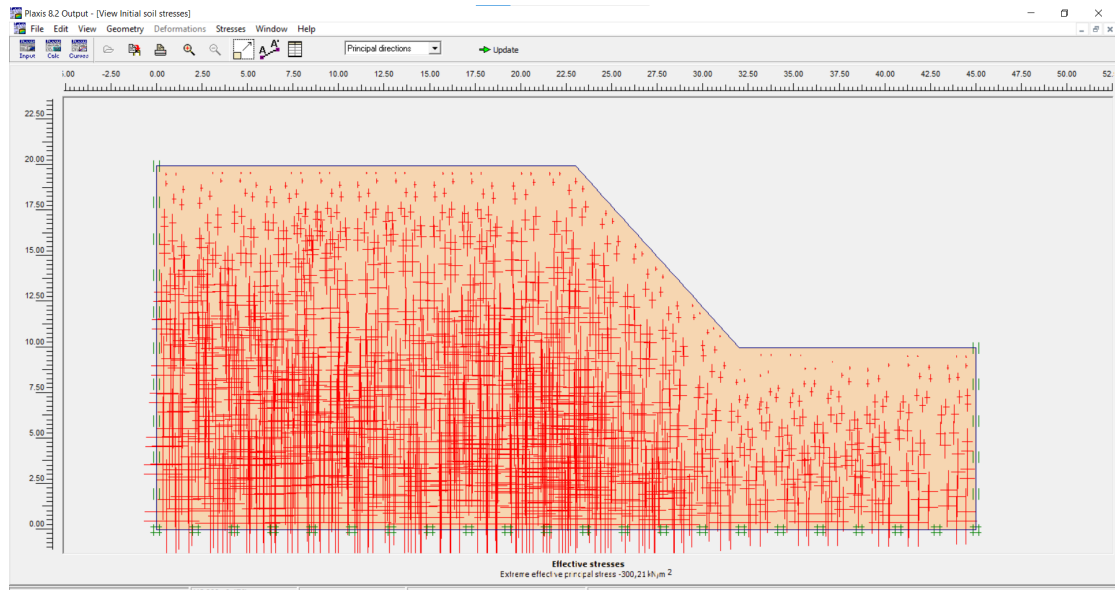
Εικόνα 25: "Κουμπιά" μετάβασης στους υπολογισμούς των γεωστατικών τάσεων

Έχοντας επιλέξει την προαναφερθείσα εντολή ανοίγει το παράθυρο που δείχνει το συντελεστή ωθήσεων που έχει εξάγει το πρόγραμμα (by default), ενώ ταυτόχρονα επιλέγεται η τιμή του «ΣΜ- weight». Σε όλες τις αναλύσεις εδώ έχει επιλεγεί η τιμή «1».



Εικόνα 26: Υπολογισμός σταθεράς K0

Έτσι, εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο, το οποίο καταδεικνύει τις υπάρχουσες γεωστατικές τάσεις.



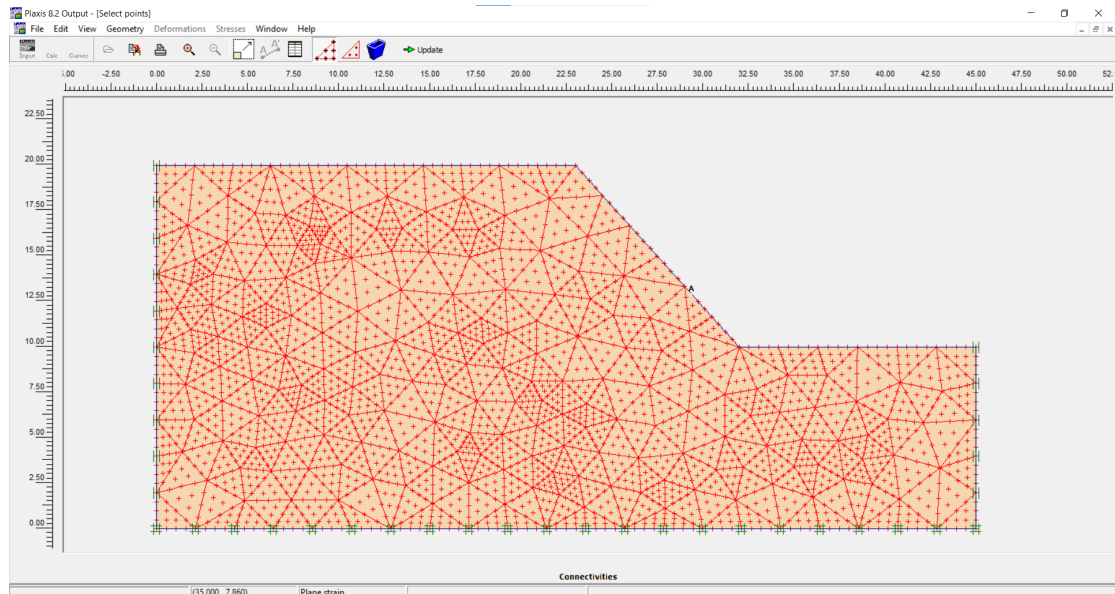
Εικόνα 27: Απεικόνιση γεωστατικών τάσεων

Η διαδικασία της μοντελοποίησης, σε αυτό το σημείο, ολοκληρώθηκε. Πατώντας την επιλογή «Calculate», από τη γραμμή εργαλείων, ολοκληρώνεται η ενότητα «Input» του Plaxis. Ταυτόχρονα, ανοίγει η ενότητα του προγράμματος στην οποία θα γίνουν οι υπολογισμοί («Calculations»).

Identification	Phase no.	Start from	Calculation	Loading input	Time	Water	F
Initial phase	0	0	N/A	N/A	0,00 ...	0	C
→ <Phase 1>	1	0	Plastic	Staged construction	0,00 ...	0	

Εικόνα 28: Καρτέλα επίλυσης

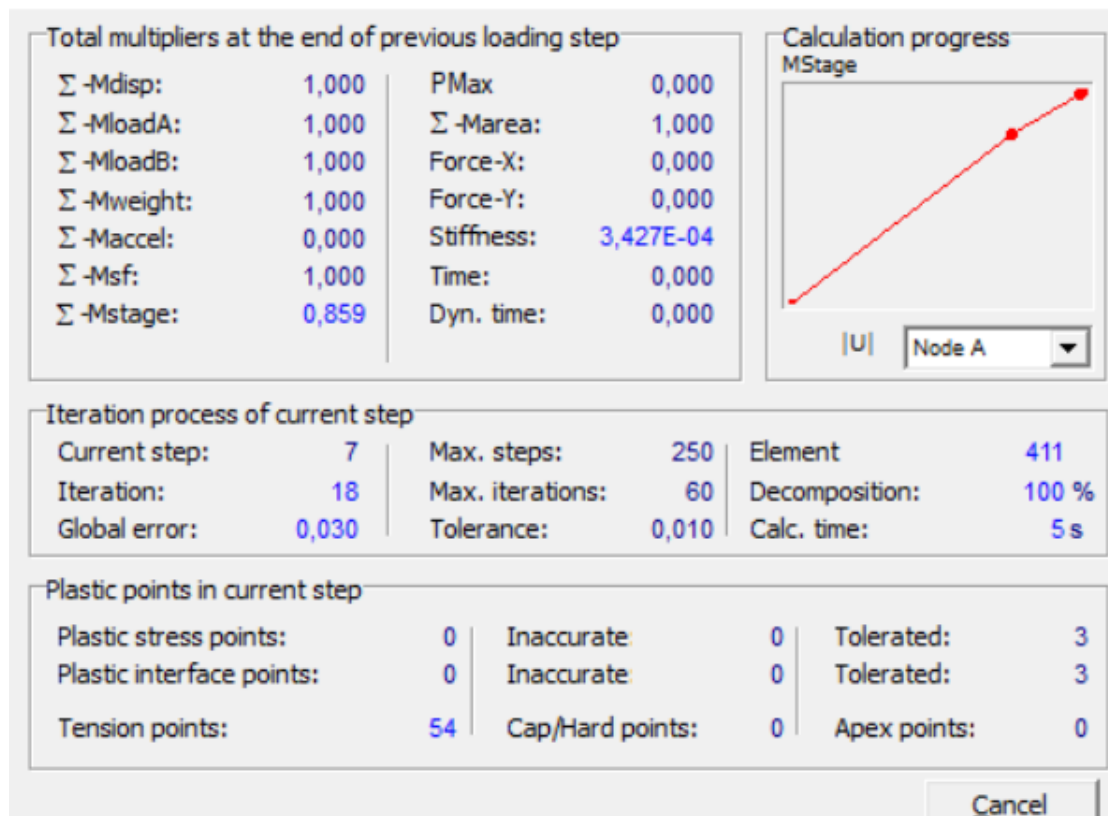
Από το εικονίδιο «Select points for curves», και μέσω του παραθύρου το οποίο εμφανίζεται, μπορεί να γίνει επιλογή για την εμφάνιση αποτελεσμάτων σε συγκεκριμένα nodes.



Εικόνα 29: Επιλεγμένες θέσεις για την εκτέλεση των υπολογισμών

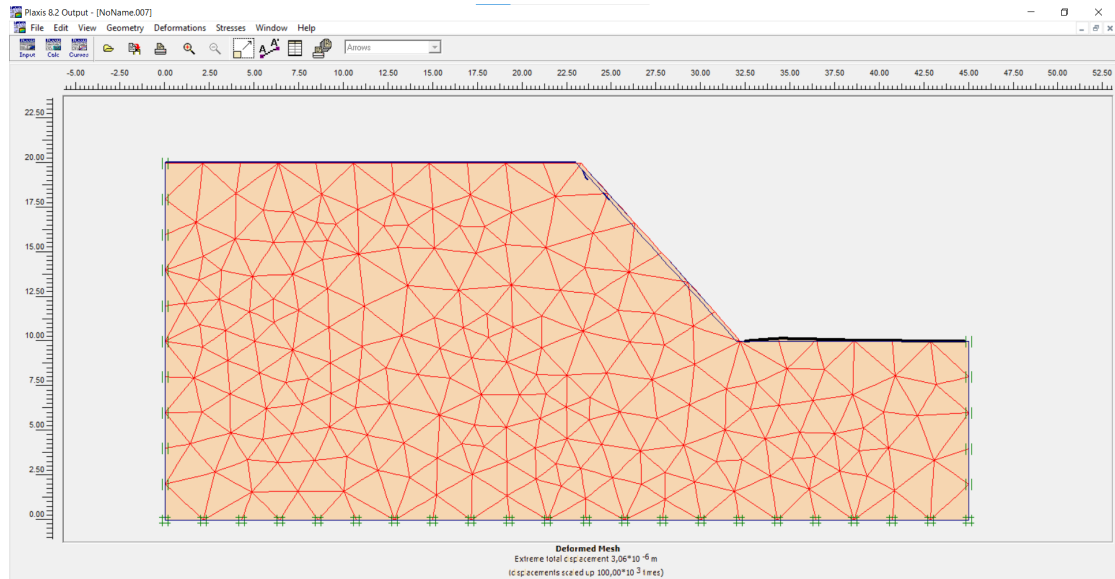
Η εκτέλεση της επίλυσης γίνεται με την επιλογή «Calculate». Το πρόγραμμα εκτελεί τους υπολογισμούς.

Plaxis 8.2 Plastic Calculation - NoName - Plane Strain



Εικόνα 30: Εκτέλεση υπολογισμών - Επίλυση

Τέλος ανοίγει το πρόγραμμα «Output», από το οποίο λαμβάνονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών.

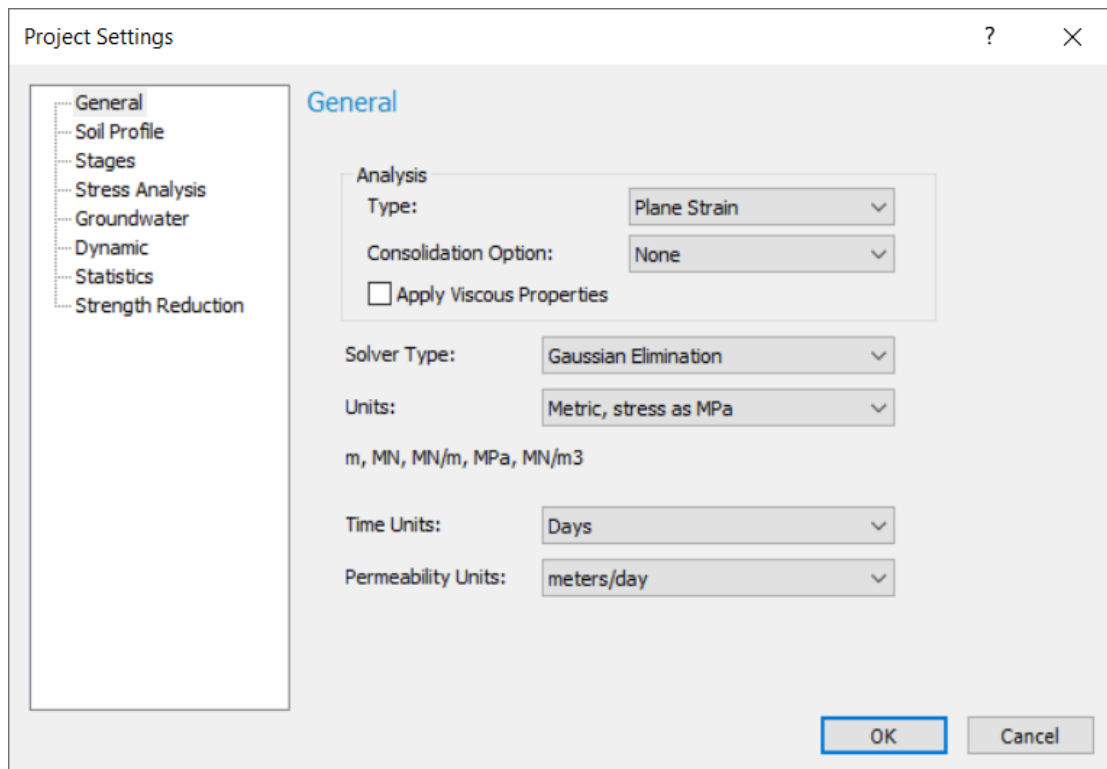


Εικόνα 31: Απεικόνιση παραμορφωμένου σώματος, από τα outputs του προγράμματος

RS2

Το πρόγραμμα RS2 (έκδοση Δεκεμβρίου του 2020), της εταιρίας «Rocscience», είναι ένα επιπρόσθετο αναλυτικό εργαλείο που αξιοποιήθηκε για τη σύγκριση ουσιαστικά των αποτελεσμάτων των αναλύσεων με τη χρήση των δύο προγραμμάτων, αλλά και των μεθόδων επίλυσης που επιλέχθηκαν. Ακολούθως, παρουσιάζονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν στο πρόγραμμα RS2, για την προσομοίωση των πρανών. Πρέπει να σημειωθεί επίσης, πως, κατά τη μοντελοποίηση της γεωμετρίας των πρανών με το RS2, έγινε επέκταση των ορίων του μοντέλου, σε σχέση με αυτά του Plaxis. Η επέκταση αυτή είναι της τάξης των 5*H περίπου, όπου H είναι το συνολικό ύψος του πρανούς. Αυτό έγινε για την - κατά το δυνατόν - πιο αξιόπιστη εκτέλεση των υπολογισμών, από το εν λόγω πρόγραμμα.

Αφού εκκινήσει το πρόγραμμα, επιλέγοντας «Analysis» και κατόπιν «Project Settings», από τη γραμμή εντολών, ανοίγει το παρακάτω παράθυρο. Στην καρτέλα «General» επιλέγονται τα χαρακτηριστικά του μοντέλου επίλυσης, καθώς και οι μονάδες μέτρησης. Ενώ στην καρτέλα «Groundwater» δηλώνεται το ειδικό βάρος του νερού (0.01 MN/m^3).



Εικόνα 32: Ορισμός χαρακτηριστικών μοντέλου επίλυσης

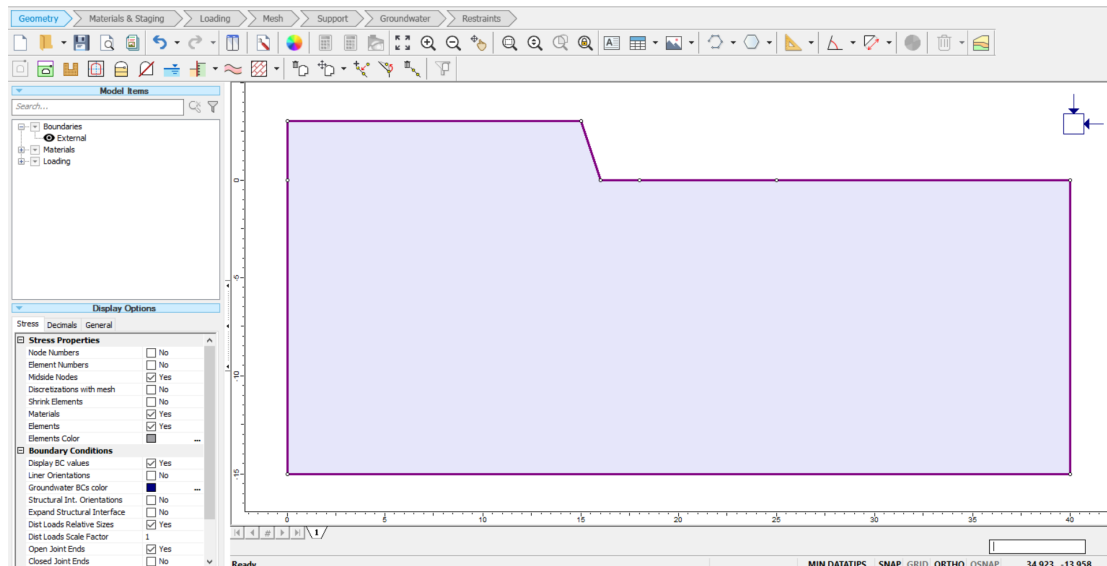
Στη συνέχεια, επιλέγεται «Analysis» και «Project Summary», όπου εκεί δηλώνονται τα στοιχεία της ανάλυσης που θα πραγματοποιηθεί.

Type	Description
Project Title	Project1
Analysis	Slope Analysis
Author	V. G. Papadopoulos
Company	N.T.U.A.
Date Created	4/2/2021, 8:49:13 μμ
Comment 1	
Comment 2	
Comment 3	
Comment 4	
Comment 5	

OK Cancel

Εικόνα 33: Ορισμός στοιχείων ανάλυσης

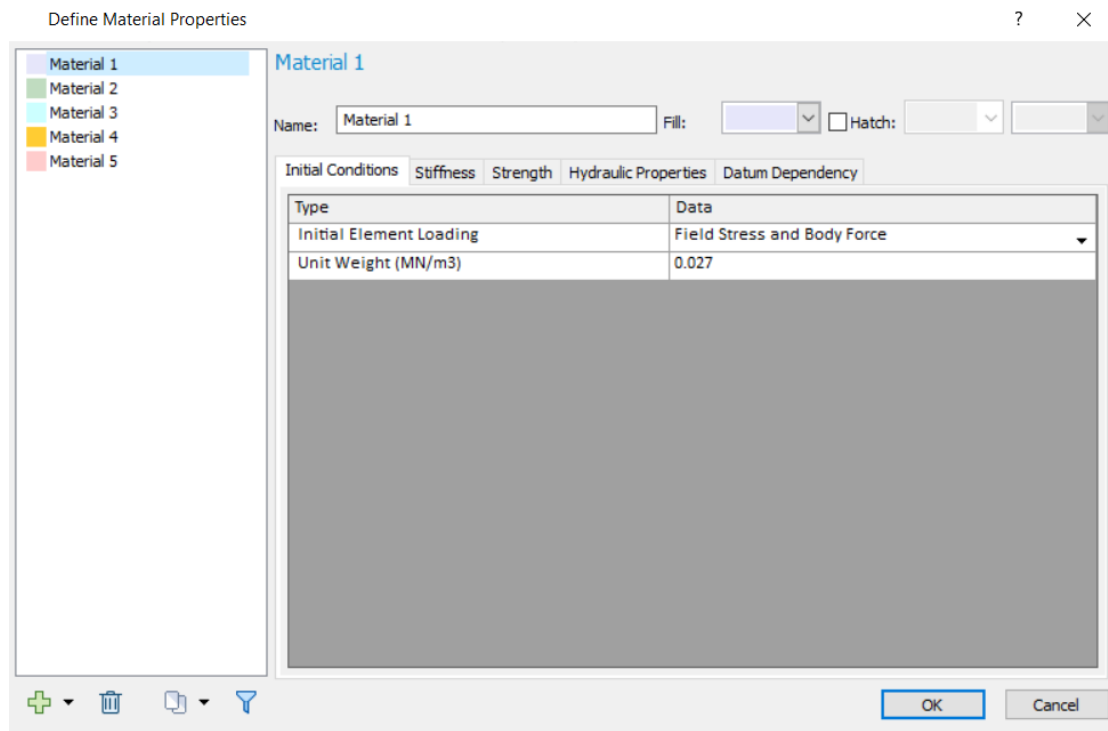
Ακολούθως, αρχίζει η μόρφωση της γεωμετρίας. Επιλέγοντας «Boundaries» και κατόπιν «Add External» δύναται να σχεδιαστεί το σχήμα του μοντέλου.



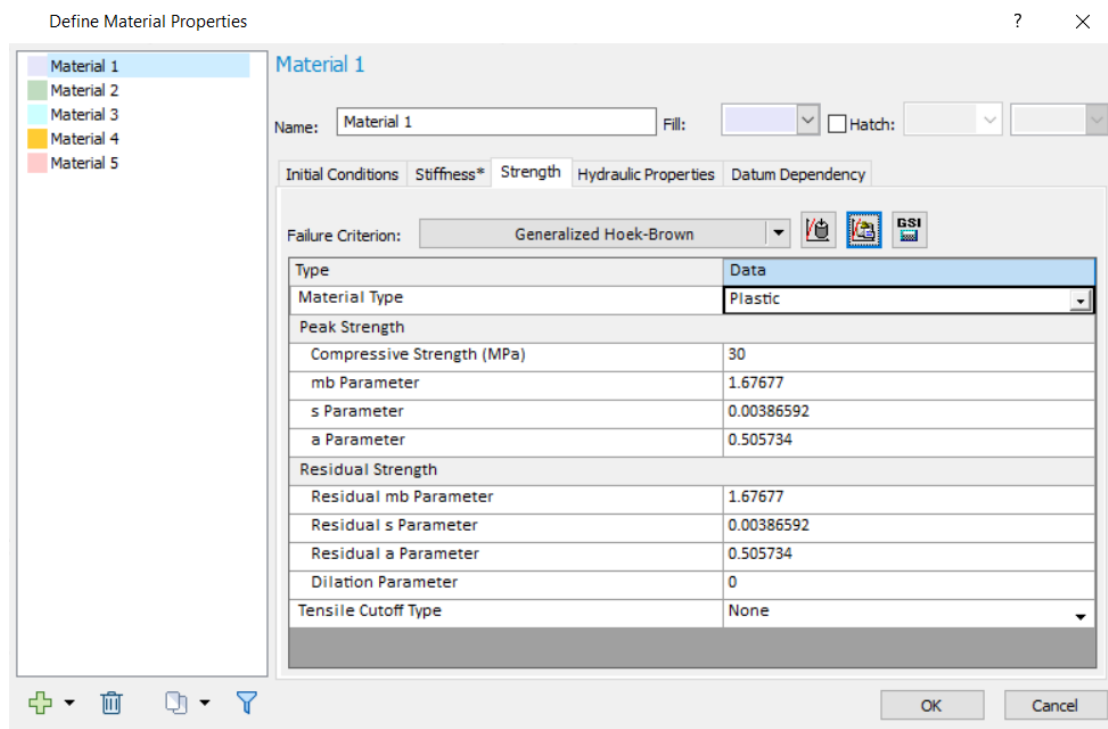
Εικόνα 34: Μόρφωση γεωμετρίας σχήματος

Έπειτα, γίνεται ο ορισμός των ιδιοτήτων των υλικών. Το παράθυρο «Define Material Properties» αναδύεται μετά από την ομώνυμη ακολουθία εντολών, της γραμμής εργαλείων. Εκεί δηλώνονται αναλυτικά τα επιμέρους στοιχεία των

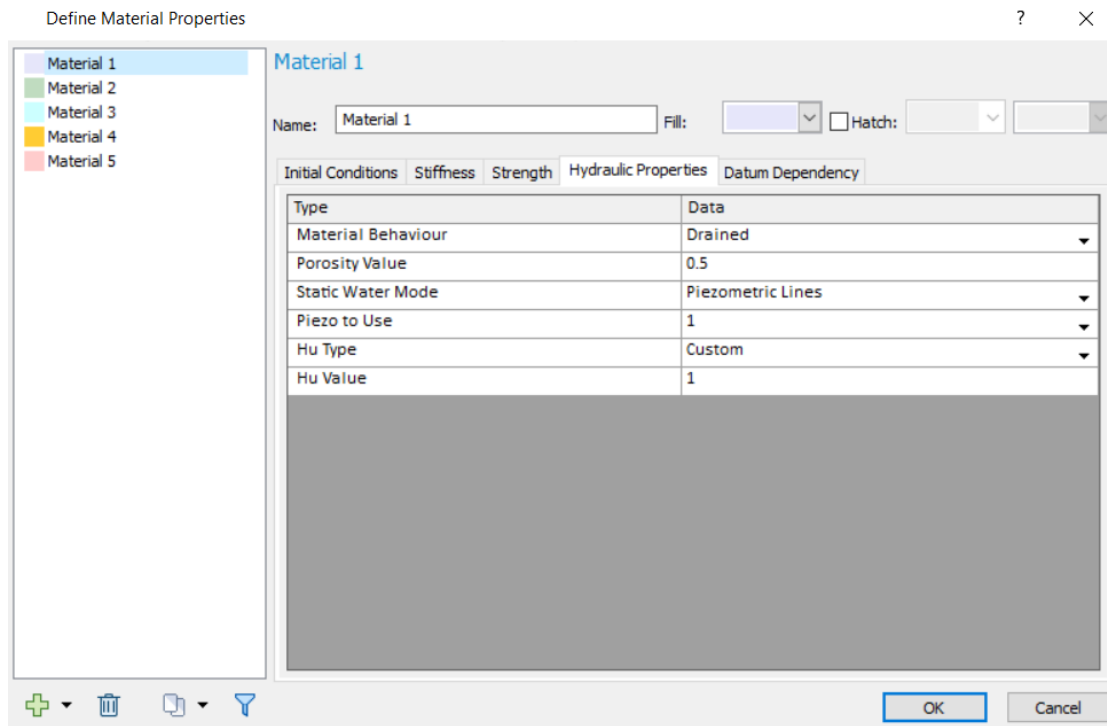
γεωυλικών, καθώς και των συνθηκών επιρροής των υδάτων. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων από το πρόγραμμα RocData, με κλικ στο δεύτερο εικονίδιο στην καρτέλα «Strength».



Εικόνα 35: Ορισμός στοιχείων γεωυλικού

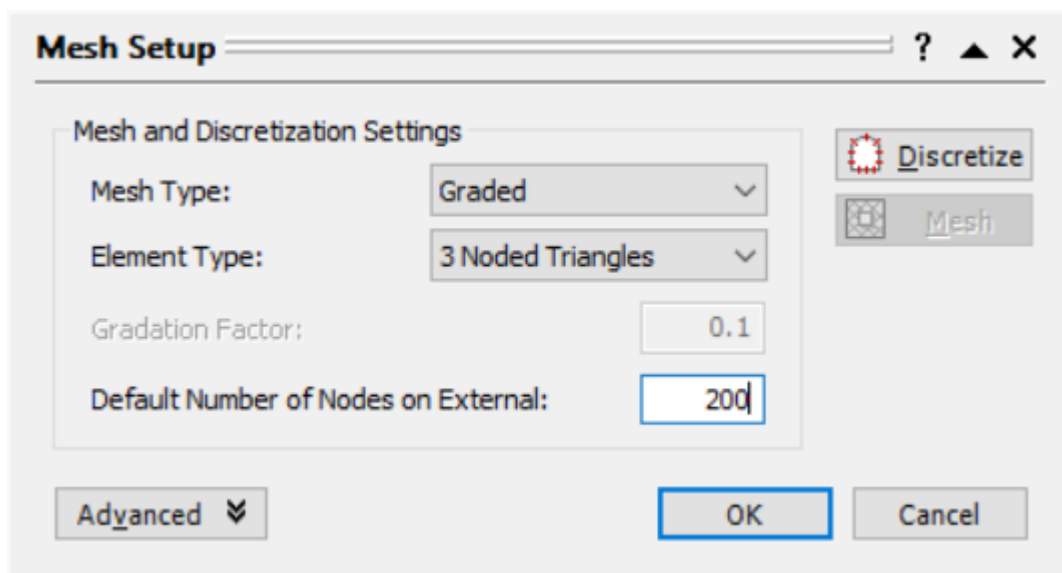


Εικόνα 36: Εισαγωγή δεδομένων για βραχομάζες από το πρόγραμμα RocData



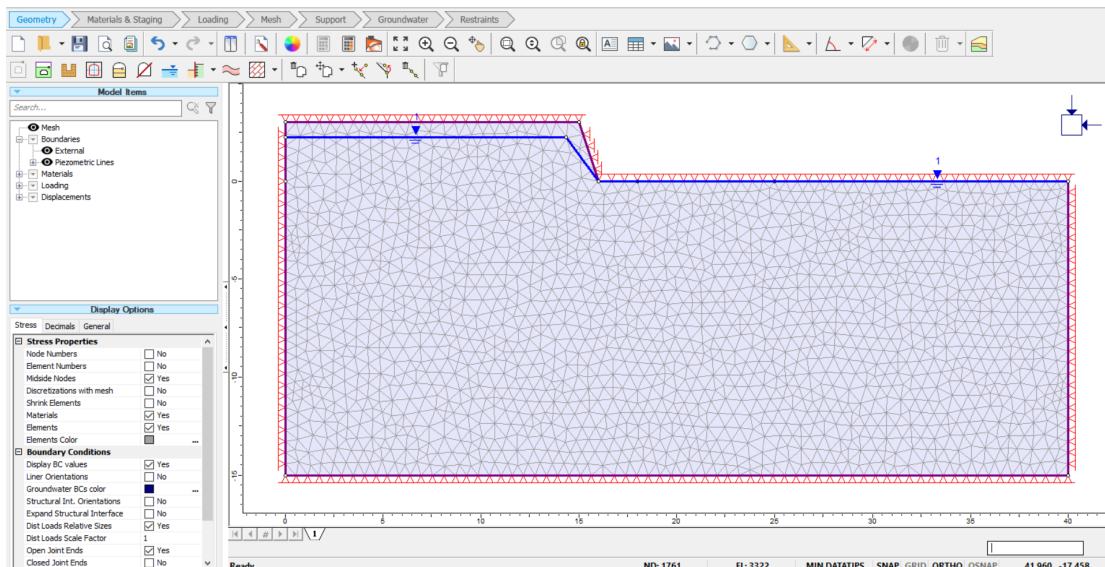
Εικόνα 37: Ορισμός συνθηκών συμπεριφοράς ύδατος, ανά γεωολικό

Αυτό που ακολουθεί είναι το «meshing» (διακριτοποίηση). Επιλέγεται «Mesh» και «Mesh Setup...», από τη γραμμή εντολών. Αμέσως, εμφανίζεται το ακόλουθο παράθυρο. Εδώ επιλέγεται το είδος με το οποίο θα μορφωθούν τα στοιχεία και οι κόμβοι, αλλά και η πυκνωση τους. Κατόπιν, επιλέγονται οι εντολές «Discretize» και «Mesh». Η μόρφωση έχει ολοκληρωθεί.



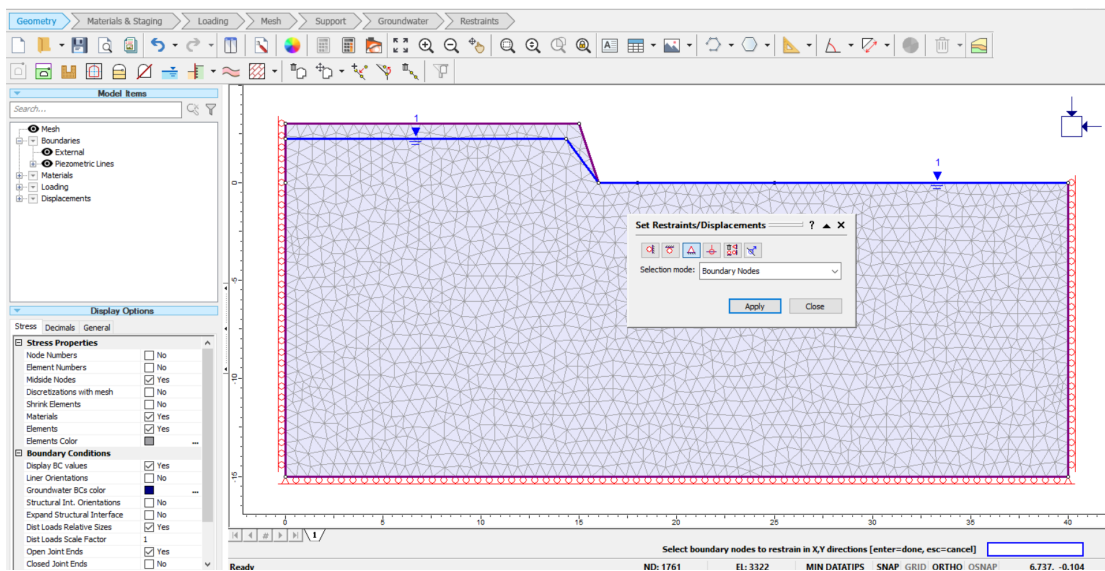
Εικόνα 38: Παράθυρο επιλογής στοιχείων διακριτοποίησης

Στην πορεία, επιλέγοντας «Add Piezo Line», από τη γραμμή εργαλείων, σχεδιάζεται η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα.



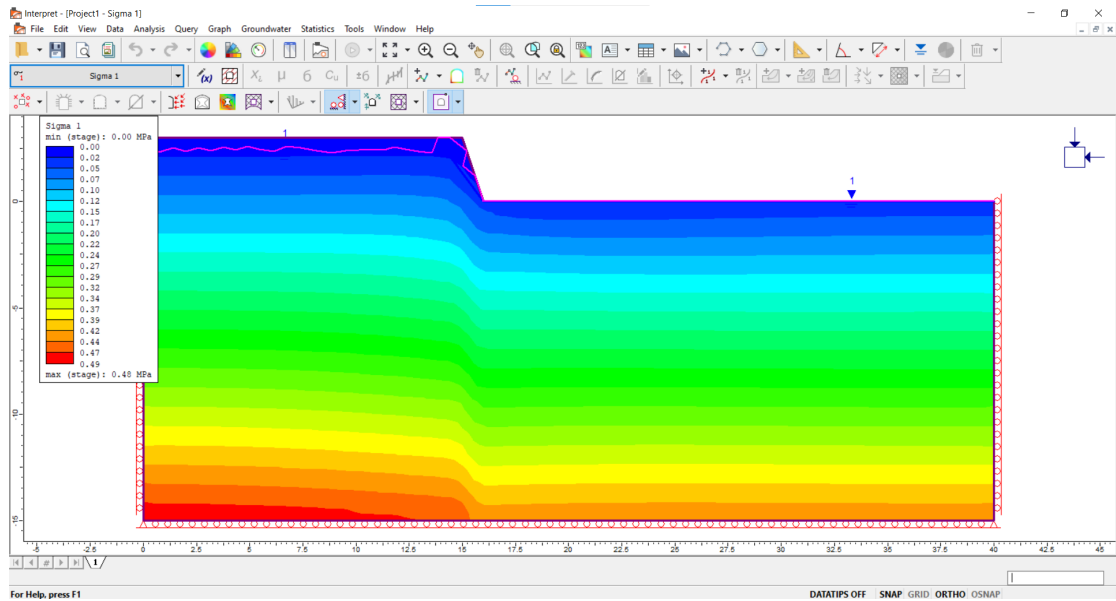
Εικόνα 39: Απεικόνιση μοντέλου μετά τη διακριτοποίηση και τον ορισμό του υδροφόρου ορίζοντα

Τέλος, ορίζονται οι οριακές συνθήκες του μοντέλου. Ο ορισμός αυτός γίνεται από την εντολή «Displacements». Αρχικά, ακυρώνονται οι στηρίξεις που υπήρχαν, μέσω της εντολής «Free». Κατόπιν, εφαρμόζονται οι κυλήσεις στους δύο άξονες των ορίων του μοντέλου από τις εντολές «Restrain X» και «Restrain Y» αντίστοιχα. Ωστόσο, στις δύο κάτω γωνίες του μοντέλου τοποθετείται στήριξη, από την εντολή «Restrain X,Y». Αυτές οι εντολές επιλέγονται από το παράθυρο που αρχικώς άνοιξε, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 40: Ορισμός συνθηκών στήριξης

Σε αυτό το σημείο η μοντελοποίηση ολοκληρώθηκε. Οπότε, ακολουθεί η επίλυση του προβλήματος, μέσω της εντολής «Compute», από τη γραμμή εργαλείων. Ενώ τα αποτελέσματα αυτής προβάλλονται μέσω της διπλανής εντολής «Interpret». Κατ' αυτόν τον τρόπο, ανοίγει το ομώνυμο πρόγραμμα, στο οποίο γίνονται εμφανή τα αποτελέσματα της επίλυσης.



Εικόνα 41: Πρόγραμμα "Interpret", στο οποίο εμφανίζονται τα outputs της επίλυσης του προγράμματος RS2

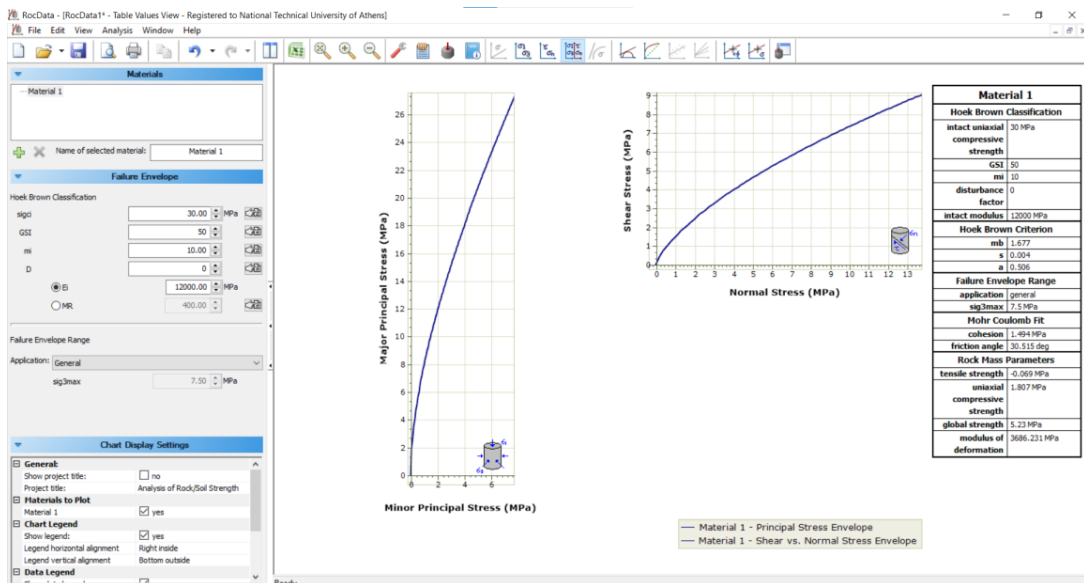
RocData

Ο υπολογισμός και η συνεκτίμηση των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών του γεωλικού, για την περίπτωση των βραχωδών πρανών, κατέστη εφικτός με τη βοήθεια του προγράμματος RocData 5.0, της εταιρίας «Rocscience». Η διαδικασία, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, είναι σχετικά απλή. Εισάγονται τα αρχικά δεδομένα (inputs), βάσει του κριτηρίου αστοχίας Hoek & Brown, ήτοι:

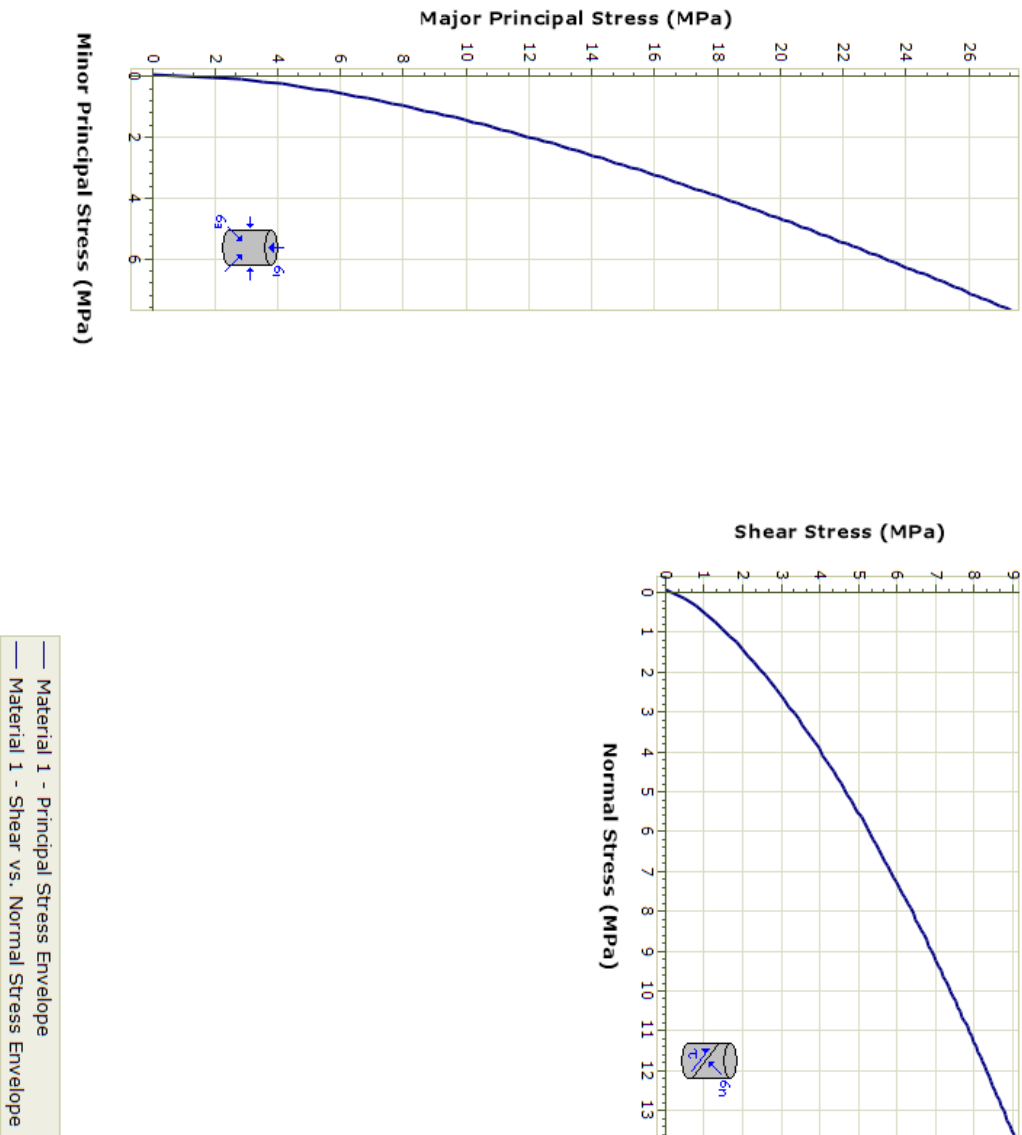
- Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (σ_{ci})
- Δείκτης ποιότητας βραχομάζας (GSI)
- Σταθερά m_i
- Βαθμός διαταραχής βραχομάζας (D)
- Σταθερά MR (για το μέτρο ελαστικότητας του άρρηκτου πετρώματος)

Σημειωτέον, έγινε επίλυση και με τη γενική χρήση του προγράμματος (Application: General), αλλά και με την εξειδίκευση για πρανή (Application: Slopes). Στην περίπτωση υπολογισμών με «Slopes», εισάγονται ως επιπλέον δεδομένα το ύψος του πρανούς, καθώς και το ειδικό βάρος του πετρώματος (γ).

Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν (outputs) από το πρόγραμμα είναι οι σταθερές του κριτηρίου Mohr – Coulomb. Δηλαδή η συνοχή (c) και η εσωτερική γωνία τριβής (φ). Επιπλέον, λήφθηκε και η τιμή του μέτρου ελαστικότητας της βραχομάζας (E).



Εικόνα 42: Απεικόνιση προγράμματος RocData



Material 1	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	30 MPa
GSI	50
mi	10
disturbance factor	0
intact modulus	12000 MPa
Hoek Brown Criterion	
m	1.677
s	0.004
a	0.506
Failure Envelope Range	
application	general
sig3max	7.5 MPa
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	1.494 MPa
friction angle	30.515 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.069 MPa
uniaxial compressive strength	1.807 MPa
global strength modulus of deformation	5.23 MPa 3686.231 MPa

Εικόνα 43: Αποτελέσματα υπολογισμών RocData (outputs)

Γεωτεχνικά Χαρακτηριστικά

Η προσομοίωση των πρανών έγινε με βάση ορισμένα στοιχεία, τα οποία ελήφθησαν, είτε ως δεδομένα (που αντλήθηκαν από την έκθεση ανάλυσης κινδύνων), είτε ως θεωρήσεις, αιτιολογημένες ανά περίπτωση. Η ανάλυση αυτών των στοιχείων, καθώς και το κριτήριο επιλογής τους περιγράφεται, ως γενική αρχή παρακάτω, και αναλυτικότερα στην πορεία, ανά επιμέρους Χ.Θ., σε πίνακες τιμών και χαρακτηριστικών.

Δεδομένα και θεωρήσεις από την έκθεση των παρατηρήσεων

Η συγκεκριμένη έκθεση αποτέλεσε πηγή για την άντληση ορισμένων βασικών στοιχείων, από τα οποία κάποια ελήφθησαν αυτούσια, ενώ άλλα αποτέλεσαν αφορμή για εκτιμήσεις και θεωρήσεις. Πιο συγκεκριμένα, ως αυτούσια δεδομένα, τα οποία αξιοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις, είναι η γεωμετρία, των υπό μελέτη πρανών, το είδος του γεωυλικού και η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη του αρρήκτου πετρώματος (σ_{ci}). Πρέπει να σημειωθεί, ωστόσο, πως η σ_{ci} δίνεται ως ένα εύρος τιμών, ή ως ελάχιστο όριο, η τιμή που χρησιμοποιήθηκε, εν τέλει, προέκυψε βάσει μίας σχετικά συντηρητικής εκτίμησης.

Τα στοιχεία, τα οποία οδήγησαν σε θεωρήσεις καταγράφονται αναλυτικά, ξεχωριστά για κάθε επίλυση. Αρχικά, ελήφθη υπ' όψιν η επιφανειακή κατάσταση του πρανούς (ανωμαλίες, χαλαρότητα), οι βραχοπτώσεις και τα μεγέθη τεμαχίων των καταπτώσεων. Αυτά, σε συνδυασμό με το φωτογραφικό υλικό, οδήγησαν στην εκτίμηση του GSI, για τις περιπτώσεις του βραχώδους γεωυλικού. Ως βαθμός διαταραχής (D) της βραχομάζας λήφθηκε το μηδέν, όπου δεν έχει γίνει χρήση εκρηκτικών, κατά τη διαμόρφωση των ορυγμάτων, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις που είναι εμφανής η χρήση τους, λήφθηκε τιμή ίση με 0.5. Τέλος, η επιλογή της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα έγινε, κατ' εκτίμηση, βάσει του ύψους του πρανούς, του είδους του γεωυλικού, καθώς και της διαπερατότητας αυτού.

Γενικές θεωρήσεις

Οι πληροφορίες που απαιτούνται για την προσομοίωση του πρανούς δεν περιλαμβάνονται όλες στην έκθεση ανάλυσης κινδύνων, για τον λόγο αυτό έγιναν κάποιες επιπρόσθετες θεωρήσεις. Οι θεωρήσεις αυτές βασίζονται, κυρίως στο είδος του πετρώματος, αλλά και στη γενικότερη γεωμορφολογία της βόρειας Ελλάδας. Οι τιμές που προέκυψαν από αυτήν την προσέγγιση είναι το ειδικό βάρος του πετρώματος, ή του εδάφους αντίστοιχα, το μέτρο ελαστικότητας του αρρήκτου πετρώματος (μέσω του MR), η σταθερά m_i του κριτηρίου αστοχίας Hoek & Brown και η διαπερατότητα (k_x, k_y).

Τελικές τιμές και input στο plaxis

Οι τελικές τιμές, οι οποίες δόθηκαν και ως δεδομένα εισαγωγής (inputs) στο πρόγραμμα plaxis, προέκυψαν έπειτα από επεξεργασία και εκτενή αξιολόγηση. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε, για κάθε μια περίπτωση ξεχωριστά, περιλαμβάνει επεξεργασία δεδομένων στο πρόγραμμα RocData 5.0, άντληση δεδομένων από

διάφορα διαγράμματα και πίνακες της διεθνούς βιβλιογραφίας και, εν τέλει, συνεκτίμηση αυτών των παραμέτρων με την «κρίση του μηχανικού».


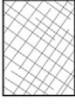




Το πρώτο βήμα ήταν η χρήση του προγράμματος RocData 5.0 της εταιρίας Rocscience για πρηνή σε βραχώδες γεωολικό. Η επίλυση στο plaxis έγινε με το κριτήριο Mohr – Coulomb. Ωστόσο για να καταλήξουμε στις απαιτούμενες γι' αυτό το κριτήριο τιμές χρησιμοποιήθηκαν τιμές του κριτηρίου αστοχίας Hoek & Brown. Κατ' αυτό τον τρόπο, δίνοντας στο RocData 5.0 ως input τιμές για σ_i , GSI, m_i , D, MR, γ και λαμβάνοντας υπ' όψιν τη γενική του εφαρμογή (General Application), καταλήγαμε σε τιμές για τη συνοχή (c), την εσωτερική γωνία τριβής (ϕ) και το μέτρο ελαστικότητας (E) της βραχομάζας.

Ωστόσο, τα δεδομένα που δίνει, το εν λόγω πρόγραμμα, δεν είναι επαρκή για τις απαιτήσεις των δεδομένων input για το plaxis. Επομένως, έγινε αναζήτηση αυτών των δεδομένων σε δημοσιεύσεις της διεθνούς βιβλιογραφίας. Το αποτέλεσμα ήταν διπλό, καθότι αντλήθηκαν τα υπόλοιπα δεδομένα που απαιτούνταν, αλλά ταυτόχρονα έγινε και μία σύγκριση τιμών με τα δεδομένα output του RocData. Οι επιπλέον παράμετροι που αναζητήθηκαν είναι ο λόγος Poisson (ν), η διαπερατότητα (k_x, k_y).

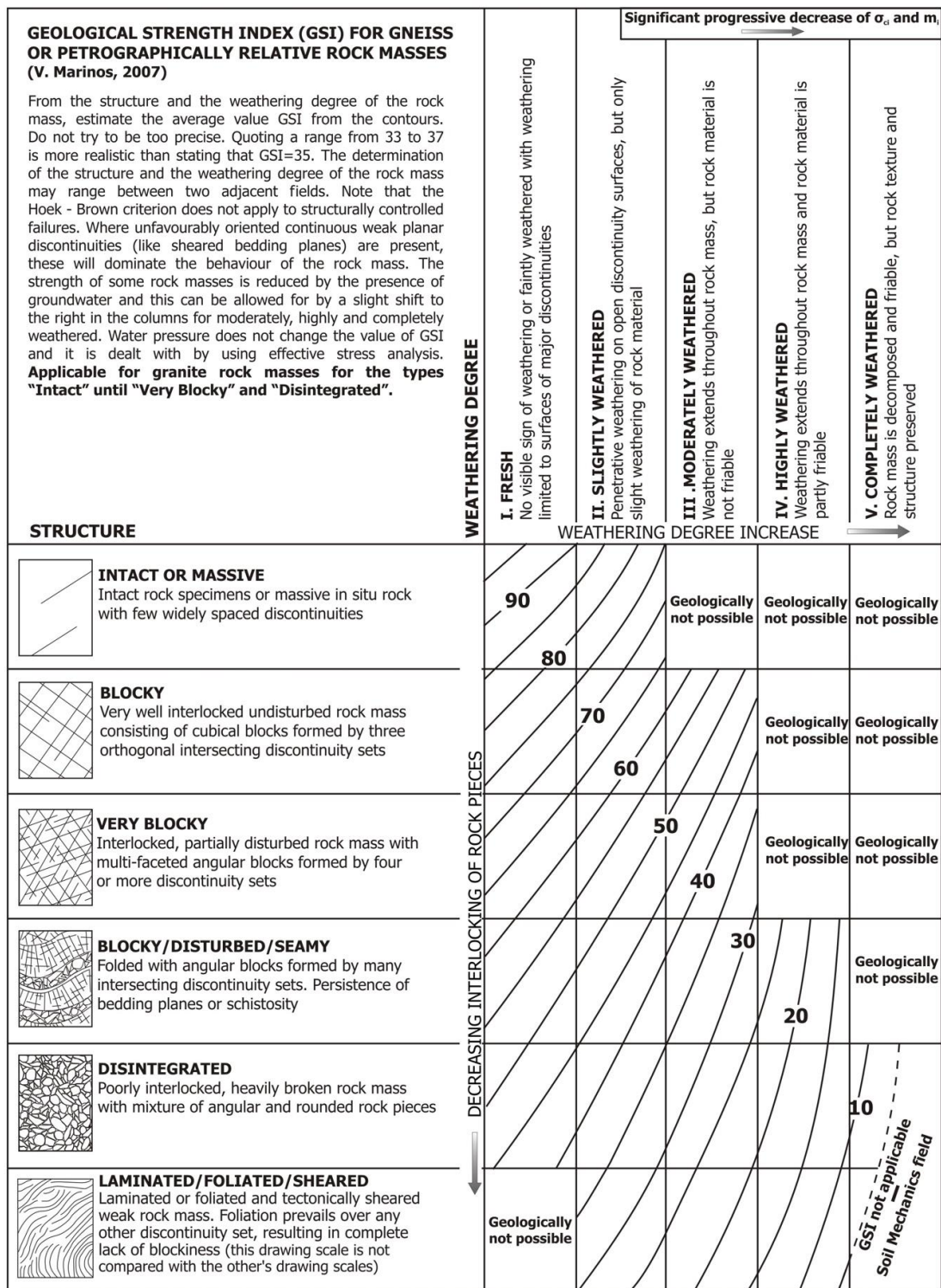
Στην επόμενη υποενότητα παρουσιάζεται το σύνολο των πινάκων, διαγραμμάτων και εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν, για να καταλήξουμε στις τιμές που αναφέρθηκαν ανωτέρω.

Πίνακες και διαγράμματα τιμών

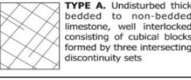
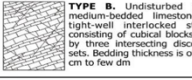
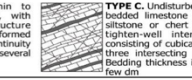
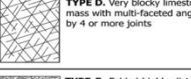


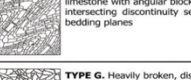
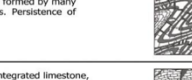
Πίνακας 5: Γεωλογικός δείκτης αντοχής για ρωγματομένους βράχους - GSI (Hoek & Marinos, 2000)

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)		SURFACE CONDITIONS				
<p>From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</p>		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
		Very rough, fresh unweathered surfaces	Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	Smooth, moderately weathered and altered surfaces	Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60	50		
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			40	30	
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				20	
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A			10
	DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓					

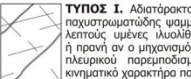
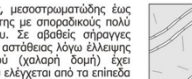

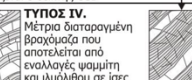
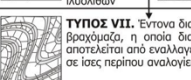
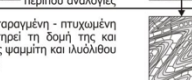

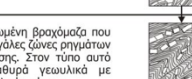

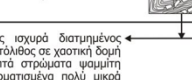
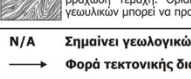
Πίνακας 6: Γεωλογικός δείκτης αντοχής για γνευσιακές βραχομάζες - GSI (V. Marinou, 2007)



Πίνακας 7: Γεωλογικός δείκτης αντοχής για ασβεστολιτικές βραχομάζες - GSI (V. Marinou, 2007)

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) FOR LIMESTONE ROCK MASSES			SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES (Predominantly bedding planes)	DECREASING SURFACE QUALITY
<p>Based on the description of the lithology, structure and surface conditions of discontinuities (particularly of the bedding planes), choose a box in the chart. The location in the box that corresponds to the conditions and estimate the average value GSI from the contours. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI=35. The determination of the structure and the condition of discontinuities may range between two adjacent fields. Note that the Hoek - Brown criterion does not apply to structurally controlled failures. Where unfavourably oriented continuous weak planar discontinuities (like bedding planes) are present, these will dominate the behaviour of the rock mass (attention therefore at types B and C). The strength of some rock masses is reduced by the presence of groundwater and this can be allowed for by a slight shift to the right in the columns for fair, poor and very poor conditions. Water pressure does not change the value of GSI and it is dealt with by using effective stress analysis.</p>				
STRUCTURE AND COMPOSITION			DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES	GSI
<p>TYPE A. Undisturbed thick bedded to non-bedded limestone, well interlocked consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets</p> 	<p>TYPE B. Undisturbed thin to medium-bedded limestone, with tight-well interlocked structure consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets. Bedding thickness is of several cm to few dm</p> 	<p>TYPE C. Undisturbed thin to medium-bedded limestone with claystone or siltstone or chert alternations, with tight-well interlocked structure consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets. Bedding thickness is of several cm to few dm</p> 		
<p>TYPE D. Very blocky limestone, well interlocked mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joints</p> 	<p>TYPE E. Folded-highly disturbed thin bedded limestone with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes</p> 	<p>TYPE F. Folded-highly disturbed thin bedded limestone with claystone or siltstone or chert alternations, with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Loose and open structure due to the poor contact of the blocks with different deformational characteristics. Bedding planes are difficult maintaining their parallelism</p> 		
<p>TYPE G. Heavily broken, disintegrated limestone, poorly interlocked with mixture of angular and rounded pieces</p> 	<p>TYPE H. Heavily broken, disintegrated limestone, with high clay presence along the joints. Limestone blocks are not in contact and have very poor interlocking (the scale of this figure is not comparable with the others)</p> 			

Πίνακας 8: Γεωλογικός δείκτης αντοχής για ετερογενείς βραχομάζες (όπως ο φλύσχης) - GSI (V. Marinou, 2007)

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) ΣΕ ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΕΣ ΟΠΩΣ Ο ΦΛΥΣΧΗΣ (B. Μαρινός, 2007)			ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΣΤΩΝ (σερίες επίπεδα στρώσεις)	ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΣΤΩΝ								
<p>Ετερογενείς βραχομάζες εννοούνται εδώ αυτές που εναλλάσσονται στρώματα σαφώς διαφορετικών λιθολογικών τύπων με σημαντικές διαφορές στα χαρακτηριστικά αντοχής τους. Για τον φλύσχη αυτές οι εναλλαγές αναφέρονται κυρίως σε ψαμίτες και ιαλύθους. Σε ορισμένες περιπτώσεις εμφανίζονται και οργιλικοί σχιστόλιθοι. Βασίζονται στην περιγραφή της λιθολογικής σύστασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχών (κυρίως της στρώσης) της βραχομάζας επιλέξτε το κατάλληλο πεδίο του πίνακα. Η επιλογή της δομής πρέπει να καθορίζεται με βάση την τεκτονική διαταραχή (αδιατάρακτη, μέτρια διαταραγμένη, πολύ πτυχωμένη - διαταραγμένη, αποδιοργανωμένη, διατημένη), την αναλογία ψαμμιτών και ιαλύθων και την εκπεφρασμένη εσωτερική στρωματοτύπου τους. Στους τύπους IV και V όταν το πάχος των τραπεζών του ψαμμιτί είναι μεγάλο (~50 cm) προτιμάται η αύξηση της τιμής GSI κατά 5 μονάδες. Από τον τύπο IV και στους επόμενους τύπους τα επίπεδα στρώσεις διακρίνονται μόνο στη μέση του ιαλύθου. Επιλέξτε τη θέση στο πεδίο που περιγράφει τις συνθήκες και εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI από τις καμπύλες. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών π.χ. από 33 έως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι το GSI =35. Ο καθορισμός της δομής καθώς και της ποιότητας των ασυνεχών μπορεί να κριθείται μεταξύ δύο γειτονικών πεδίων προς κάθε κατεύθυνση. Τονίζεται ιδιαίτερα ότι το κριτήριο Hoek - Brown δεν εφαρμόζεται σε αστάθεις που ελέγχονται από ασυνεχισμένες ασυνέχεις όταν οι ασταθείς επιπέδες επιφάνειες (όπως διατημένη επίπεδα στρώση) έχουν άμεση προσανατολισμό σε σχέση με την ασταθεί. Τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχομάζας. Η αντοχή ορισμένων βραχομαζών μειώνεται από τη παρουσία του υπέργειου νερού και αυτό μπορεί να ληφθεί υπόψη με μικρή μετακίνηση προς τα δεξιά στην στήλη της μέτριας, πτωχής και πολύ πτωχής κατάστασης ασυνεχών. Η θέση του νερού δεν μεταβάλλει την τιμή του GSI και λαμβάνεται υπόψη με την ανάλογη ενεργόν τάσεων στους υπολογισμούς.</p>					<p>ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχιές, υγιείς, μη αποσπασθρομέντες επιφάνειες</p> <p>ΚΑΛΗ Τραχιές, ελαφρά αποσπασθρομέντες και εδωδωμένες επιφάνειες</p> <p>ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσπασθρομέντες και εδωδωμένες επιφάνειες</p> <p>ΠΤΩΧΗ Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με σημαντική επιφύλαξη ή υλικό πλήρωσης με νωπό ή θραυστά υλικό</p> <p>ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσπασθρομέντες με μαλακό οργιλικό υλικό πλήρωσης ή επιφύλαξης</p>							
ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΞΗ			ΟΤΑΝ ΤΟ ΠΑΧΟΣ ΤΩΝ ΤΡΑΠΕΖΩΝ ΤΩΝ ΨΑΜΜΙΤΩΝ ΕΙΝΑΙ ΜΕΓΑΛΟ (~50 CM) ΠΡΟΤΙΜΑΙΤΑΙ Η ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΤΙΜΗΣ GSI ΚΑΤΑ 5 ΜΟΝΑΔΕΣ	GSI								
<p>ΤΥΠΟΣ I. Αδιατάρακτος, μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμιτί με σποραδικούς πολύ λεπτούς υαλίθους. Σε ορισμένες σήραγγες ή προνή αν ο μηχανισμός αστάθειας λόγω έλλειψης πλευρικού παρεμποδισμού (χαλαρή δομή) έχει κινηματικό χαρακτήρα που ελέγχεται από τα επίπεδα στρώσεις τότε δεν εφαρμόζεται ο δείκτης GSI</p> 	<p>ΤΥΠΟΣ II. Αδιατάρακτος συμπαγής ιαλύθος (δεν διακρίνονται τα επίπεδα στρώσεων) με σποραδικές λεπτές εντρώσεις ψαμμιτών</p> 	<p>ΤΥΠΟΣ III. Μέτρια διαταραγμένος ψαμμιτί με λεπτές εντρώσεις ιαλύθων</p> 			<p>ΤΥΠΟΣ IV. Μέτρια διαταραγμένη βραχομάζα που αποτελείται από εναλλαγές ψαμμιτί και ιαλύθου σε ίσες περίπου αναλογίες</p> 	<p>ΤΥΠΟΣ V. Μέτρια διαταραγμένος ιαλύθος με εντρώσεις ψαμμιτών</p> 	<p>ΤΥΠΟΣ VI. Μέτρια διαταραγμένος ιαλύθος με αραιές εντρώσεις ψαμμιτών</p> 	<p>ΤΥΠΟΣ VII. Έντονα διαταραγμένη - πτυχωμένη βραχομάζα, η οποία διατρεί τη δομή της και αποτελείται από εναλλαγές ψαμμιτί και ιαλύθου σε ίσες περίπου αναλογίες</p> 	<p>ΤΥΠΟΣ VIII. Έντονα διαταραγμένη-πτυχωμένη βραχομάζα, η οποία διατρεί τη δομή της και δεν έχει παραμορφωθεί-διατρεί σε μεγάλο βαθμό και αποτελείται από ιαλύθους ή και οργιλικό σχιστόλιθο με εντρώσεις ψαμμιτί</p> 	<p>ΤΥΠΟΣ IX. Αποδιοργανωμένη βραχομάζα που απαντάται συνήθως σε μεγάλες ζώνες ρηγματίων ή/και έντονης αποσπάρωσης. Στον τύπο αυτό απαντώνται κυρίως φελλούρα γεωλικά με διαταραγμένο ιαλύθικο υλικό ανάμεσα</p> 	<p>ΤΥΠΟΣ X. Τεκτονικά παραμορφωμένος, έντονα πτυχωμένος, διατημένος ιαλύθος ή οργιλικός σχιστόλιθος με κρυσταμμοί και παραμορφωμένα ψαμμιτικά τεμάχια που διαμορφώνουν σχεδόν χαστική δομή. Οι στρώσεις του ψαμμιτί παραμένουν παράλληλες με αυτές του ιαλύθου</p> 	<p>ΤΥΠΟΣ XI. Τεκτονικός ισχυρά διατημένος ιαλύθος ή οργιλικός σχιστόλιθος σε χαστική δομή με θύλακες οργιλίου. Λεπτά στρώματα ψαμμιτί είναι μετατραπεί σε κρυσταμμοί με μικρά βραχώδη τεμάχια. Οργικά ή συμπεριφορά των γεωλικών μπορεί να προσμοιωθεί με εδαφικά</p> 
<p>N/A Σημαίνει γεωλογικός αδύνατος συνδυασμός. Αλλιώς, εκτός των οκτασμένων περιοχών, περιπτώσεις όχι αδύνατες αλλά πολύ απίθανο να υπάρχουν</p> <p>→ Φορά τεκτονικής διαταραχής αντίστοιχης λιθολογίας</p>												

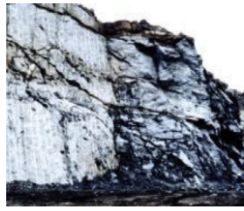
Πίνακας 9: Αναλογίες των *σι*, *μι* και *Ει* των λιθολογικών μελών για την εκτίμηση της «ζυγισμένης» τιμής των αντίστοιχων παραμέτρων του «άρρηκτου» φλύσχη ανάλογα με τον τύπο της βραχώμαζας (V. Marinou, 2011)

Flysch rock mass type	Proportions of values for each member of rock type to be considered for the weighted "intact rock" property determination
I, III	Use values for sandstone beds
II, VI, XI	Use values for siltstone or shale
IV	Thin beds: Reduce sandstone values by 10% and use full values for siltstone Thick beds: Use equivalent values for siltstone and sandstone beds
V, VII, VIII	Reduce sandstone values by 20% and use full values for siltstone
IX	Use equivalent values for siltstone and sandstone beds according to their participation
X	Reduce sandstone values by 40% and use full values for siltstone
Note: if adjusted values are found lower than the value of the weak layer, use that latter value.	

Πίνακας 10: Πίνακας τιμών *μι* αρρήκτου πετρώματος (Hoek, 2007)

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerates *	Sandstones 17 ± 4	Siltstones 7 ± 2	Claystones 4 ± 2
			Breccias *		Greywackes (18 ± 3)	Shales (6 ± 2) Marls (7 ± 2)
	Non-Clastic	Carbonates	Crystalline Limestone (12 ± 3)	Sparitic Limestones (10 ± 2)	Micritic Limestones (9 ± 2)	Dolomites (9 ± 3)
		Evaporites		Gypsum 8 ± 2	Anhydrite 12 ± 2	
	Organic				Chalk 7 ± 2	
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9 ± 3	Hornfels (19 ± 4) Metasandstone (19 ± 3)	Quartzites 20 ± 3	
	Slightly foliated		Migmatite (29 ± 3)	Amphibolites 26 ± 6	Gneiss 28 ± 5	
	Foliated**			Schists 12 ± 3	Phyllites (7 ± 3)	Slates 7 ± 4
IGNEOUS	Plutonic	Light	Granite 32 ± 3	Diorite 25 ± 5	Granodiorite (29 ± 3)	
		Dark	Gabbro 27 ± 3 Norite 20 ± 5	Dolerite (16 ± 5)		
	Hypabyssal		Porphyries (20 ± 5)		Diabase (15 ± 5)	Peridotite (25 ± 5)
	Volcanic	Lava	Rhyolite (25 ± 5) Andesite 25 ± 5		Dacite (25 ± 3) Basalt (25 ± 5)	
		Pyroclastic	Agglomerate (19 ± 3)	Breccia (19 ± 5)	Tuff (13 ± 5)	

Πίνακας 11: Βαθμός διαταραχής βραχομάζας, από τη χρήση εκρηκτικών



Small-scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage when controlled blasting is used, as shown on the left-hand side of the photograph. Uncontrolled production blasting can result in significant damage to the rock face.

$D = 0.5$ for controlled presplit or smooth wall blasting with
 $D = 1.0$ for production blasting



In some weak rock masses, excavation can be carried out by ripping and dozing. Damage to the slopes is due primarily to stress relief. Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and stress relief from overburden removal.

$D = 0.7$ for mechanical excavation effects of stress reduction damage
 $D = 1.0$ for production blasting
A transitional D relationship incorporating the effects of stress relaxation can be derived from the disturbance rating*

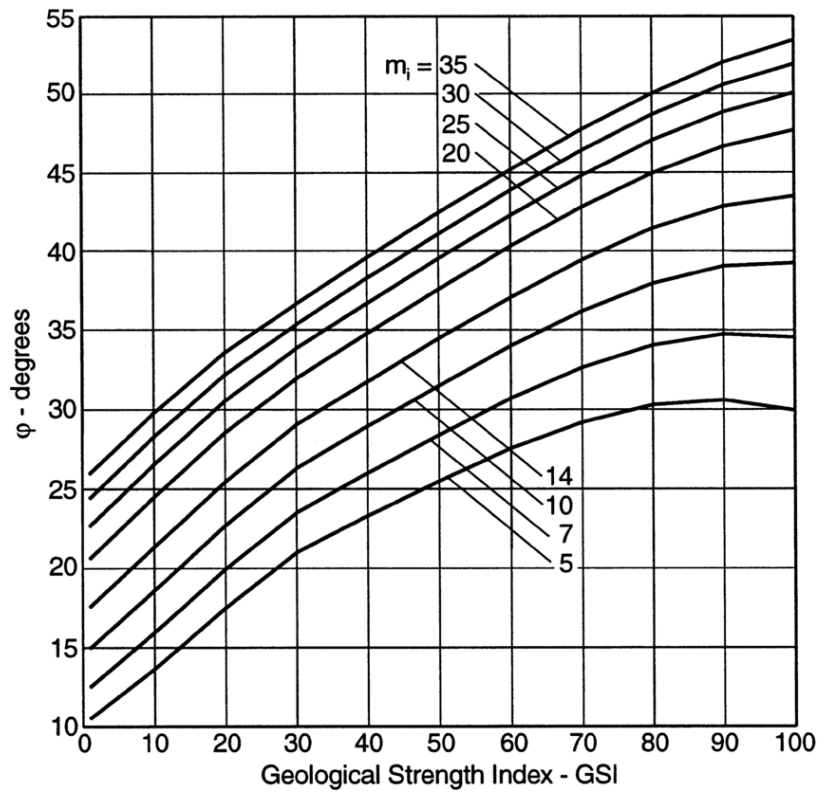
Note: *A disturbance rating for open pit slopes has been published by Rose et al. (2018).

Πίνακας 12: Εκτίμηση τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη άρρηκτων πετρωμάτων

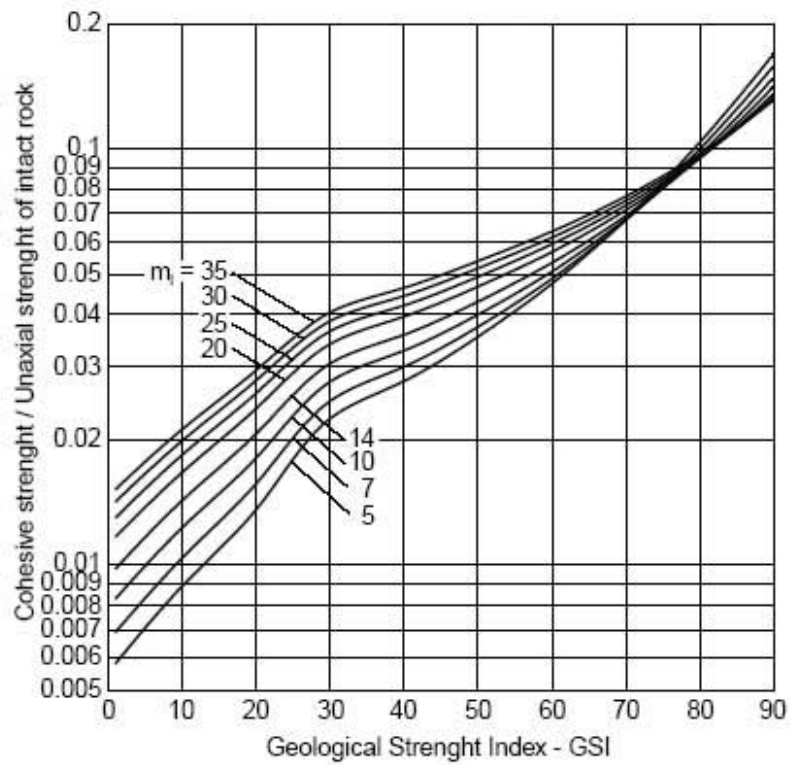
Grade ^a	Term	Uniaxial compressive strength (MPa)	Point load index (MPa)	Field estimate of strength	Examples
R6	Extremely strong	> 250	> 10	Specimen can only be chipped with a geological hammer	Fresh basalt, chert, diabase, gneiss, granite, quartzite
R5	Very strong	100–250	4–10	Specimen requires many blows of a geological hammer to fracture it	Amphibolite, sandstone, basalt, gabbro, gneiss, granodiorite, limestone, marble, rhyolite, tuff
R4	Strong	50–100	2–4	Specimen requires more than one blow of a geological hammer to fracture it	Limestone, marble, phyllite, sandstone, schist, shale
R3	Medium strong	25–50	1–2	Cannot be scraped or peeled with a pocket knife, specimen can be fractured with a single blow from a geological hammer	Claystone, coal, concrete, schist, shale, siltstone
R2	Weak	5–25	^b	Can be peeled with a pocket knife with difficulty, shallow indentation made by firm blow with point of a geological hammer	Chalk, rocksalt, potash
R1	Very weak	1–5	^b	Crumbles under firm blows with point of a geological hammer, can be peeled by a pocket knife	Highly weathered or altered rock
R0	Extremely weak	0.25–1	^b	Indented by thumbnail	Stiff fault gouge

^a Grade according to Brown (1981)

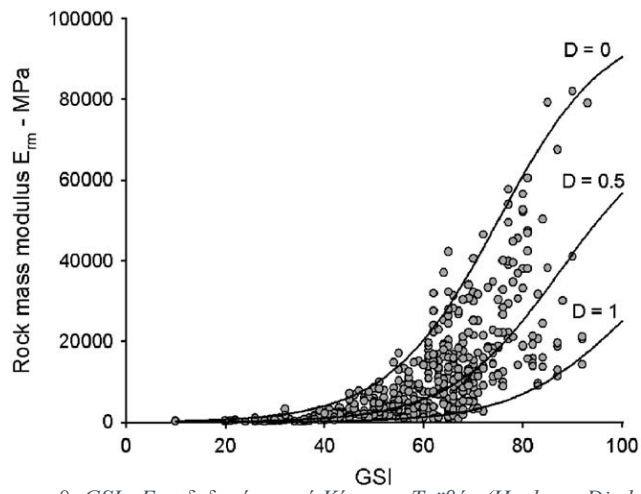
^b Point load tests on rocks with a uniaxial compressive strength below 25 MPa are likely to yield ambiguous results



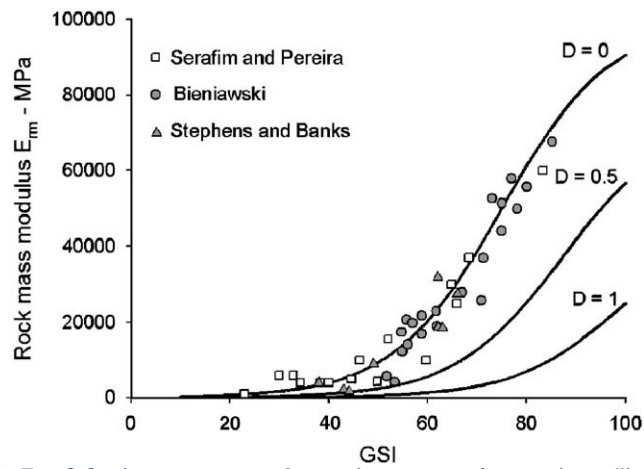
Διάγραμμα 6: GSI - Εσωτερική γωνία τριβής, βάσει της σταθεράς m_i (Hoek et al. 1995)



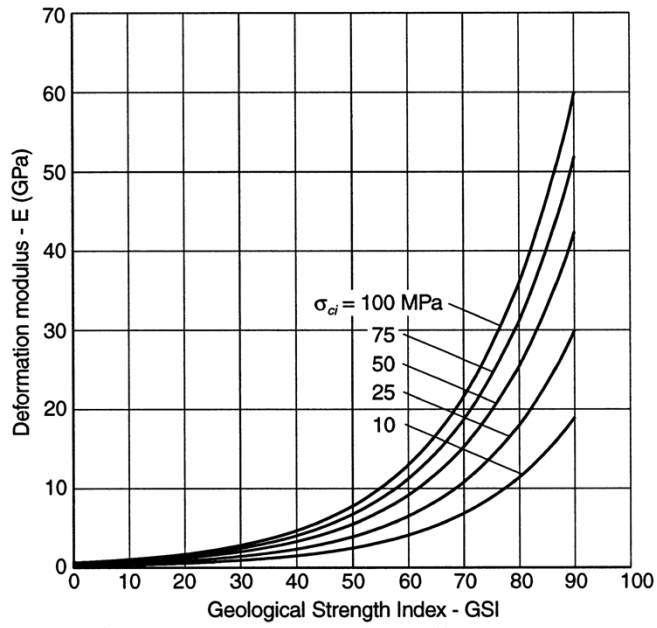
Διάγραμμα 7: Συνοχή - Συνοχή/Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη



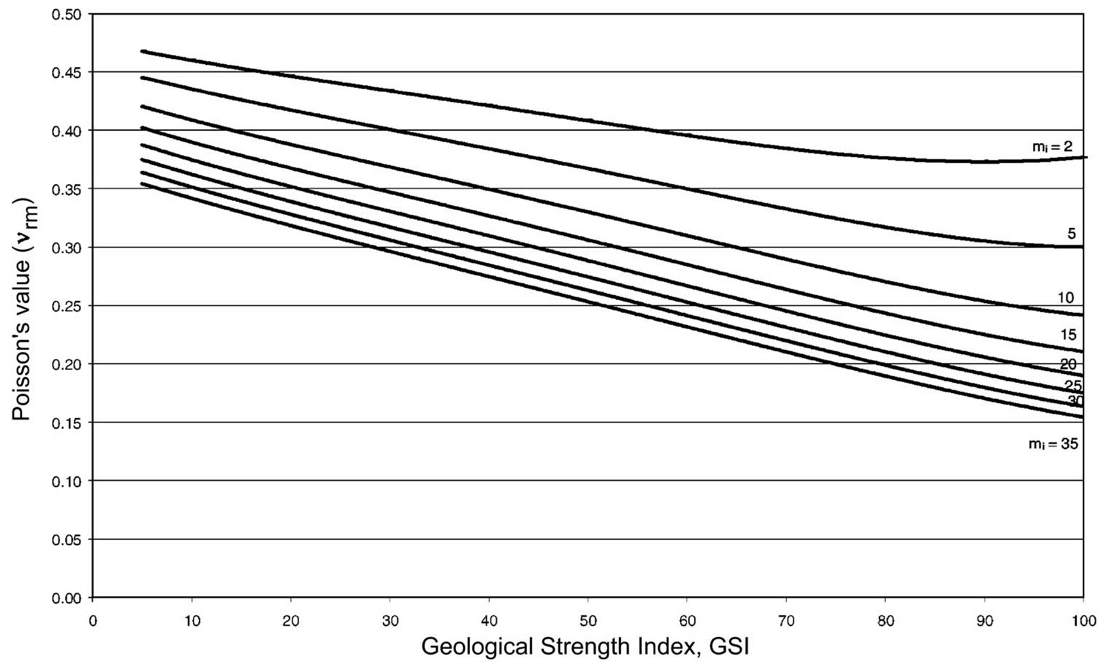
Διάγραμμα 8: GSI - E_m , δεδομένα από Κίνα και Ταϊβάν (Hoek και Diederichs)



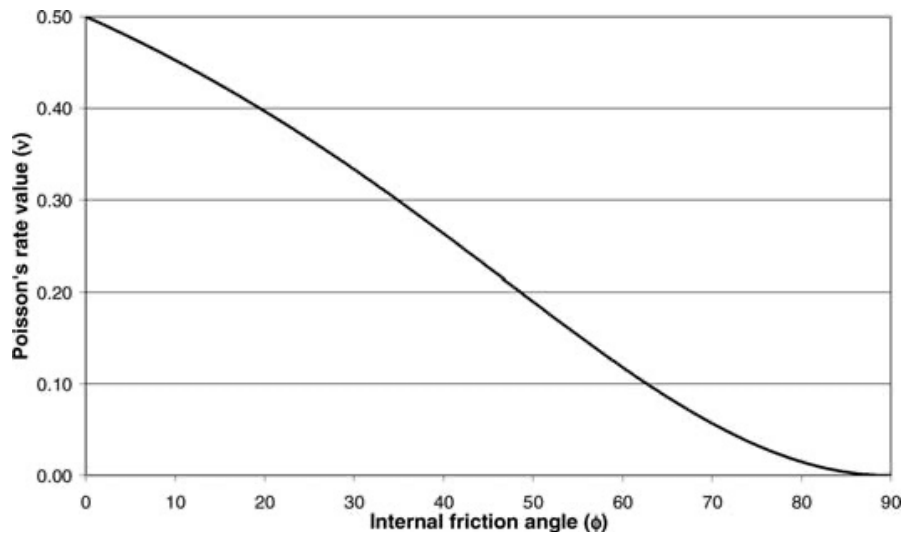
Διάγραμμα 9: GSI - E_m , δεδομένων *in situ* μετρήσεων, έναντι της απλοποιημένης εξίσωσης των Hoek και Diederichs



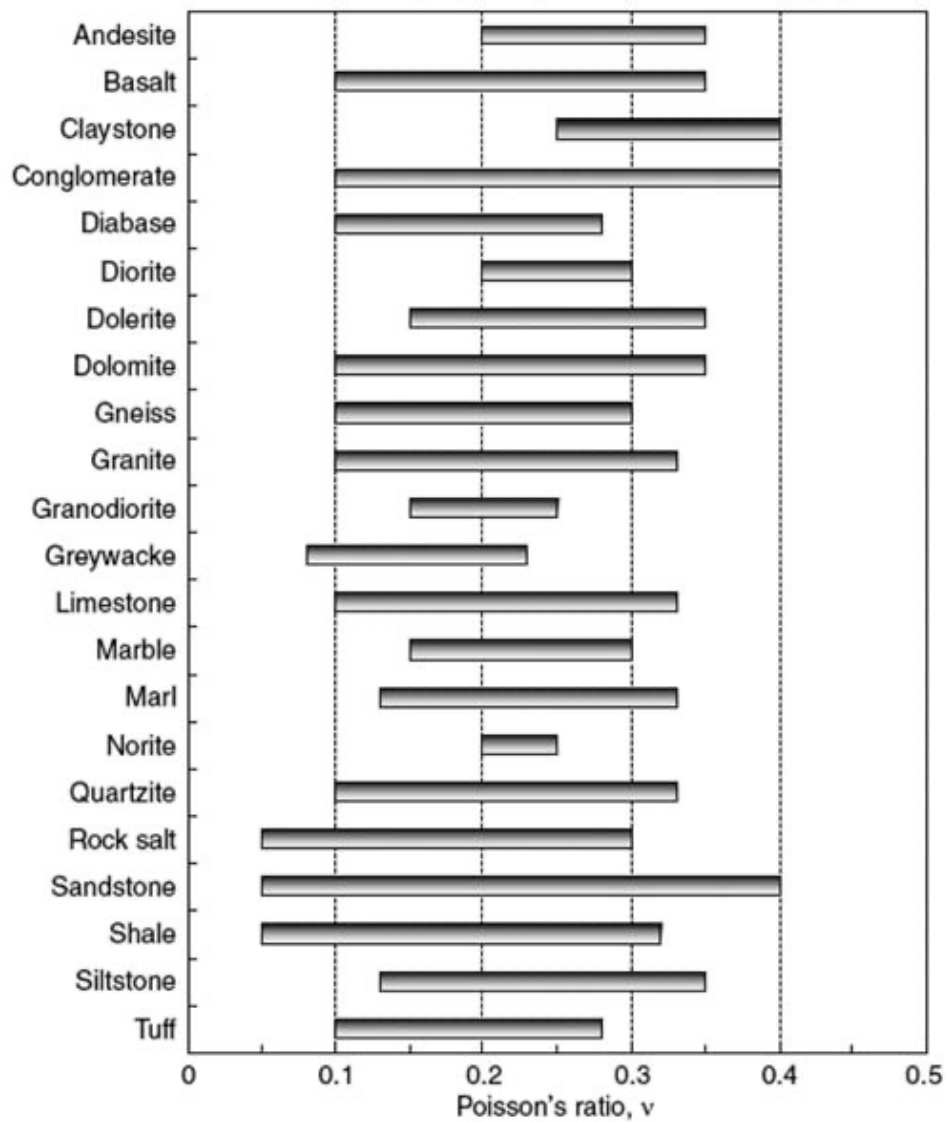
Διάγραμμα 10: GSI - E, βάσει της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη του αρρήκτου, για $\sigma_{ci} < 100 \text{ MPa}$



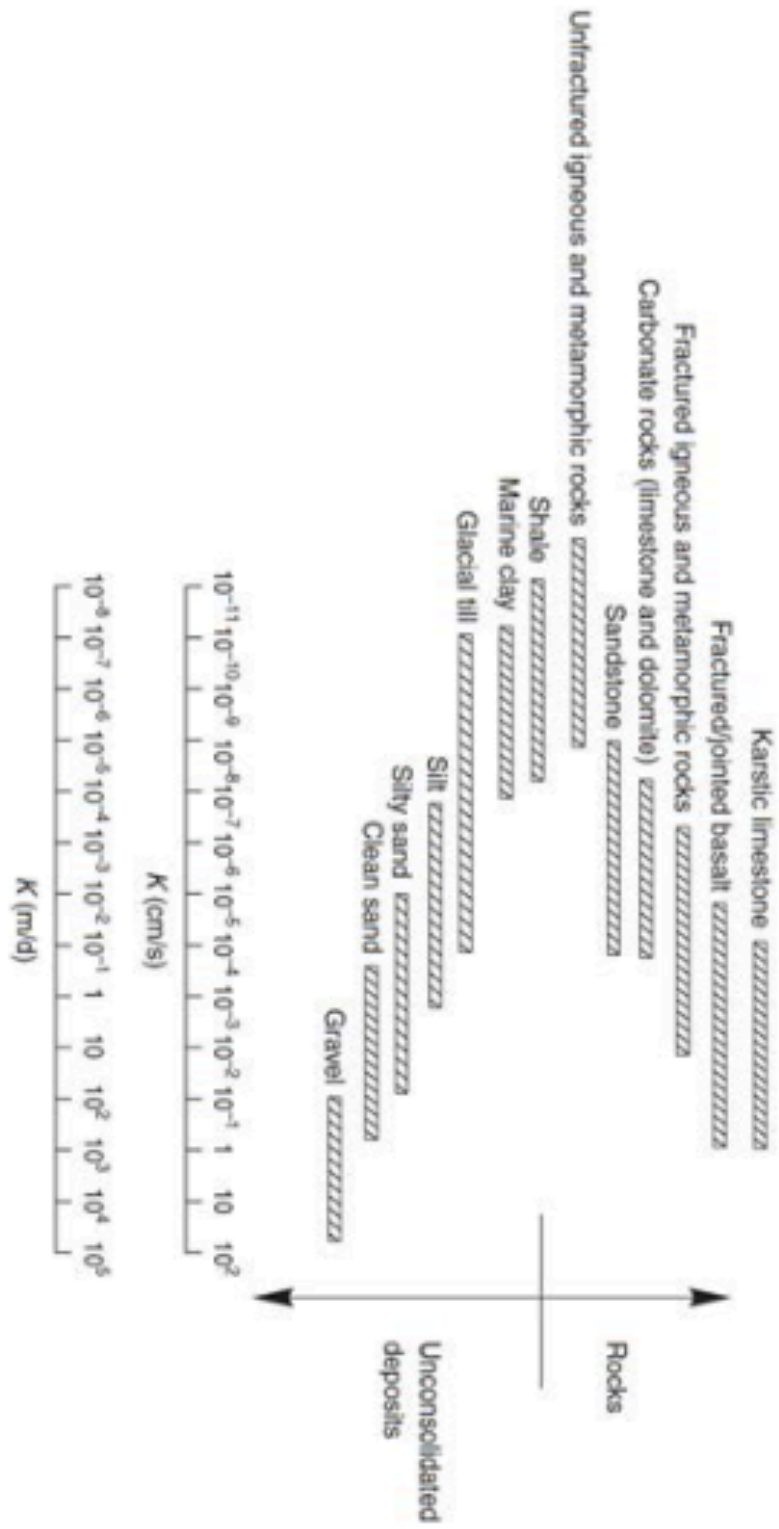
Διάγραμμα 11: GSI - λόγος Poisson, βάσει της σταθεράς m_i (Vasarhelyi, 2009)



Διάγραμμα 12: Εσωτερική γωνία τριβής - λόγος Poisson (Greschik, 2007)



Διάγραμμα 13: Τυπικό εύρος των τιμών του λόγου Poisson για διάφορα πετρώματα (Gercek, 2007)



Διάγραμμα 14: Ενδεικτικές τιμές διαπερατότητας (Atkinson, 2000)

Εξισώσεις

Σε αυτό το σημείο καταγράφονται οι εξισώσεις οι οποίες ελήφθησαν από τη διεθνή βιβλιογραφία για το συμβατικό, αναλυτικό υπολογισμό, και κατόπιν τη συνεκτίμηση, των τιμών των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν δύο εξισώσεις, για το μέτρο ελαστικότητας της βραχομάζας.

$$Em = \sqrt{\frac{\sigma ci}{100}} * 10^{\frac{GSI-10}{40}}, \text{ για τιμές } \sigma ci < 100 \text{ MPa}$$

Η εξίσωση αυτή προέκυψε από αντίστοιχο διάγραμμα της ανωτέρω υποενότητας, και λαμβάνει υπ' όψιν την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη και το GSI.

Ακολουθως, η εξίσωση που δίνει αποτελέσματα βάσει του GSI και του βαθμού διαταραχής.

$$Erm = 100 * \left(\frac{1 - \frac{D}{2}}{1 + e^{\left(\frac{75+25D-GSI}{11}\right)}} \right)$$

Αναλύσεις

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται οι αναλύσεις που έγιναν για κάθε πρανές, ανά χιλιομετρική θέση. Η παρουσίαση περιλαμβάνει πίνακες τιμών, στους οποίους έχουν καταγραφεί όλα τα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν. Ο πρώτος πίνακας αφορά στα δεδομένα τα οποία αντλήθηκαν από την τεχνική έκθεση των αποτελεσμάτων. Αμέσως μετά, ακολουθούν οι πίνακες με τα δεδομένα input και output του προγράμματος RocData. Ο πίνακας που έπεται αναγράφει τις τιμές των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών, όπως αυτές προέκυψαν από τη διεθνή βιβλιογραφία. Έπειτα, ακολουθεί ο πίνακας με τις τελικές τιμές, που συνεκτιμήθηκαν και επιλέχθηκαν από τους προηγούμενους πίνακες. Μετά, παρατίθεται ο πίνακας με το σύνολο των δεδομένων του πρόγραμμα Plaxis. Για τις αναλύσεις, οι οποίες έγιναν και στο πρόγραμμα RS2, χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια δεδομένα ως inputs. Ενώ ταυτόχρονα, για τη διαδικασία της διακριτοποίησης (με το RS2) έγινε επιλογή τύπου «Graded» με τρικομβικά στοιχεία, και ο αριθμός των κόμβων ήταν τα 500. Τέλος, παρουσιάζονται απεικονίσεις από τις αναλύσεις και πίνακες με τα αποτελέσματα των αναλύσεων σε συγκεκριμένα σημεία (nodes), τα οποία έχουν επιλεγεί με κριτήριο να βρίσκονται σε σημεία υψηλού ενδιαφέροντος, ή μέγιστης καταπόνησης του πρανούς.

Σημειωτέον, σε κάθε Χ.Θ. υπάρχει ο αντίστοιχος σχολιασμός για τον τρόπο με τον οποίο ελήφθησαν κάποιες τιμές. Οι τιμές, για τις οποίες δεν υπάρχει αντίστοιχος σχολιασμός ελήφθησαν κατά την κρίση του μηχανικού, ή με κάποιο κοινό γενικό τρόπο που αναφέρεται στην παραπάνω ενότητα για τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά. Ωστόσο, υπήρξαν κάποιες βασικές αρχές κατά τους υπολογισμούς, οι οποίες καταγράφονται ακολούθως.

Πρωτίστως, σε ότι αφορά στην επιλογή της τιμής της σ_{ci} , στα πρωτογενή δεδομένα δίνεται ένα εύρος τιμών, ή μια τιμή ως ελάχιστη. Για τον προσδιορισμό λοιπόν της τελικής της τιμής έγινε μία συντηρητική συνεκτίμηση της παρούσας κατάστασης του πρανούς (μέσω φωτογραφιών), της τιμής GSI (για τα βραχώδη) που του αποδόθηκε, του είδους του πετρώματος, του παραπάνω γενικού πίνακα των ενδεικτικών τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη. Ακολούθως, η αξιολόγηση της βραχομάζας έγινε, όπως έχει ήδη αναφερθεί, με την ταξινόμηση του GSI. Η τιμή του εδράζεται στις γενικότερες πρωτογενείς πληροφορίες, στο είδος της βραχομάζας και στο φωτογραφικό υλικό. Η σταθερά m_i λήφθηκε, βάσει του είδους του πετρώματος, ομοίως η σταθερά MR και το ειδικό βάρος. Η τιμή της διαπερατότητας αποδίδεται κυρίως στο είδος του γεωυλικού, την κατάσταση και την εμμόνη των ασυνεχειών, την ύπαρξη, ή μη, καρστικών και στη χρήση, ή μη, εκρηκτικών (όπως και ο βαθμός διαταραχής). Σαφώς, όταν χρησιμοποιούνται εκρηκτικά στις ασυνέχειες της βραχομάζας, επιφανειακά τουλάχιστον, το υλικό πλήρωσης τους χάνει μεγάλο βαθμό από τη συνεκτικότητα του. Τέλος, οι καθοριστικοί παράγοντες για τον προσδιορισμό της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα είναι ο ύψος του πρανούς, το είδος του γεωυλικού και η διαπερατότητα του.

Την επίλυση των προβλημάτων ακολούθησε μια νέα επίλυση, με «calculation type» την επιλογή «Phi/c reduction». Κατ' αυτόν τον τρόπο υπολογίστηκε ο συντελεστής ασφαλείας, για κάθε πρανές ανά χιλιομετρική θέση, με ακρίβεια τριών δεκαδικών. Οι τιμές αυτές παρατίθενται στην τελευταία γραμμή του πίνακα των τιμών Plaxis. Κατ' αντιστοιχία, οι συντελεστές ασφαλείας στο RS2 έγιναν με εκ νέου επίλυση επιλέγοντας προηγουμένως την επιλογή «Determine Strength Reduction Factor» της καρτέλας «Strength Reduction» των «Project Settings». Η ακρίβεια εδώ, κατ' επιλογή για

οικονομία χρόνου, είναι το ένα δεκαδικό. Οι τιμές αυτές καταγράφονται κάτω από τις αντίστοιχες εικόνες των outputs του προγράμματος αυτού.

Στο τέλος κάθε υποενότητας, για τις 28 αυτές χιλιομετρικές θέσεις, παρατίθεται ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων των αναλύσεων, καθώς και η σύγκριση αυτών με τις παρατηρήσεις επί των αστοχιών, όπως έχουν καταγραφεί, από μηχανικούς. Στους επόμενους δυο (αυτούσια ειλημμένους, από τη βιβλιογραφία) πίνακες καταγράφονται οι εν λόγω παρατηρήσεις συγκεντρωτικά.

Πίνακας 13: Παρατηρήσεις ως προς τις αστοχίες των υπό εξέταση πρανών (1)

ΟΡΥΓΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ 72139

A/A	ΤΜΗΜΑ	ΚΛΑΔΟΣ	Χ.Θ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ
1	A2-0001	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ	6+600- 4+600	Αποκόλληση βράχων από το όρυγμα
2	A2-0203	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ	33+000 - 34+000	Ολίσθηση ορύγματος
3	A2-0302	ΔΕΞΙΟΣ	42+000-42+500	Αποσαθρωμένο πρανές ορύγματος και συσσώρευση μεγάλου όγκου υλικών εντός του πλέγματος συγκράτησης
4	A2-05A06	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ	79+000	Εκτεταμένη διάβρωση οπλισμένου επιχώματος
5	A2-0706A	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ	101+800	Κατολίσηση ορίγματος Περιστερίου Κατάντι
6	A2-1413	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ	230+250	Είναι το όρυγμα πάνω από το C&C 14 ,που έπεσε ο βράχος
7	A2-09B10	ΔΕΞΙΟΣ	179+000 - 179+500	Είναι το όρυγμα πριν την Σιάτιστα όπου υπάρχουν χαλαροί βράχοι σε όλο το μήκος του
8	A2-09A09	ΔΕΞΙΟΣ - ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ	170+600 - 171+000	Είναι το όρυγμα πριν την Σήραγγα Ταξιάρχη όπου έχει γεμίσει η βραχοπαγίδα με φερτά υλικά
9	A2-09A09B	ΔΕΞΙΟΣ - ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ	173+900 -174+300	Έχει γεμίσει η βραχοπαγίδα με φερτά υλικά
10	A2-0908B	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ	156+700 - 157+200	Έχει γεμίσει η βραχοπαγίδα με φερτά υλικά
11	A29-0405	ΔΕΞΙΟΣ	42+400 - 43+200	Έχει γεμίσει η βραχοπαγίδα με φερτά υλικά

Πίνακας 14: Παρατηρήσεις ως προς τις αστοχίες των υπό εξέταση πρανών (2)

ΟΡΥΓΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ 72139

A/A	ΤΜΗΜΑ	ΚΛΑΔΟΣ	Χ.Θ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ
ΤΜΗΜΑ Α				
1	A1	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ	538+200 - 538+400	Καταπτώσεις από νεροφαγώματα
2	A1	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ	537+800 - 537+850	Αποσάρθρωση
3	A2	ΔΕΞΙΟΣ	358+500 - 358+519	Αποσάρθρωση πρανών
4	A2	ΔΕΞΙΟΣ	389+500 -389+800	Μπαζωμένο κανάλι από χώματα πρανούς
5	A2	ΔΕΞΙΟΣ	421+100 - 421+150	Ρευστοποίηση χωμάτινου πρανούς
6	A2	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ	426+300 - 426+310	Ολίσθηση χωμάτινου πρανούς
7	A2	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ	425+900 - 425+920	Νεροφαγώματα
8	A2	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ	425+600 - 425+610	Νεροφαγώματα, χώματα στο δρόμο
9	A2	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ	407+000 - 407+030	Καταπτώσεις από νεροφαγώματα
10	A2	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ	394+900 - 394+950	Καταπτώσεις χωμάτων
11	A2	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ	393+300 - 393+320	Καταπτώσεις χωμάτων
12	A2	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ	390+500 - 393+550	Νεροφαγώματα, καταπτώσεις χωμάτων
13	A2	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ	388+600 - 388+680	Νεροφαγώματα, καταπτώσεις χωμάτων
14	A2	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ	384+700 - 384+800	Νεροφαγώματα, καταπτώσεις χωμάτων
15	A2	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ	374+600 - 374+650	Νεροφαγώματα, καταπτώσεις χωμάτων
16	A2	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ	362+200 - 362+210	Νεροφαγώμα και καταπτώση πρανούς
17	A2	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ	361+700 361+750	Ρευστοποίηση χωμάτινου πρανούς
ΤΜΗΜΑ Β				
1	A2-3130	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ	464+937	Κατάπτωση βραχώδους ορύγματος σε βραχοπαγίδα
2	A2-38A39	ΔΕΞΙΟΣ	586+000	Ολίσθηση ορύγματος
3	A2-3940	ΔΕΞΙΟΣ	597+300	Ολίσθηση ορύγματος
4	EB		5+876	Αποκόλληση τμήματος πρανούς ορύγματος
5	EB		7+000	Ολίσθηση στο φρύδι χωμάτινου ορύγματος
6	EB		7+005	Ολίσθηση στο φρύδι χωμάτινου ορύγματος

1^α. Χ.Θ. 4+700 – 5+000

Πίνακας 15: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 4+700 – 5+000

Βραχομάζα	Ασβεστολιθική Σειρά	
Ύψος Πρανούς	18	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	>50	m
Κλίση Πρανούς	70	°
Εύρος σ _{ci}	>100	MPa
Επιλεγόμενο σ _{ci}	100	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Πολλές ανώμαλες περιοχές στην επιφάνεια, μικρό μέρος της καλυμμένο με χαλαρά τεμάχια	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχίων Καταπτώσεων	750	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	1,5	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	1,4	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	1	m ³ /m
Πλάτος Ερείσματος	0,9	m
Κλίση Ασυνεχειών	20-45	°
Ύπαρξη Καρστικών	Πιθανή Ύπαρξη	

Πίνακας 16: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σ _{ci}	100	MPa
GSI	55	Κατηγορία C
m _i	10	
D	0,5	
MR	325	
γ	25	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 17: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	4,43	MPa
φ	27,5	°
E	6,572848	GPa

Πίνακας 18: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	55		Εκτίμηση
E	13,96521834	GPa	Εξίσωση από GSI
E	13,33521432	GPa	Εξίσωση από GSI και σ_{ci} για <100 MPa
k_x	1	m/d	Εκτίμηση
k_y	1	m/d	Εκτίμηση
c/ σ_{ci}	0,045		Διάγραμμα
c	4,5	MPa	Διάγραμμα
ϕ	32	°	Διάγραμμα
ν	0,32		Εξίσωση
γ	25	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 19: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

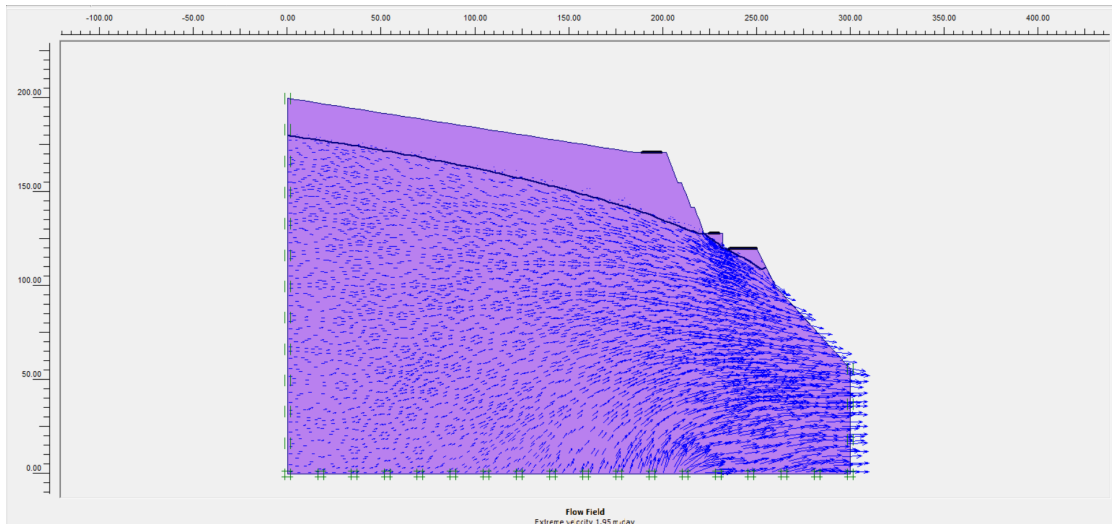
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	55	
E	8	GPa
ν	0,33	
ϕ	29	°
c	4,5	MPa
k_x	1	m/d
k_y	1	m/d
γ	25	kN/m ³

Πίνακας 20: Δεδομένα Plaxis

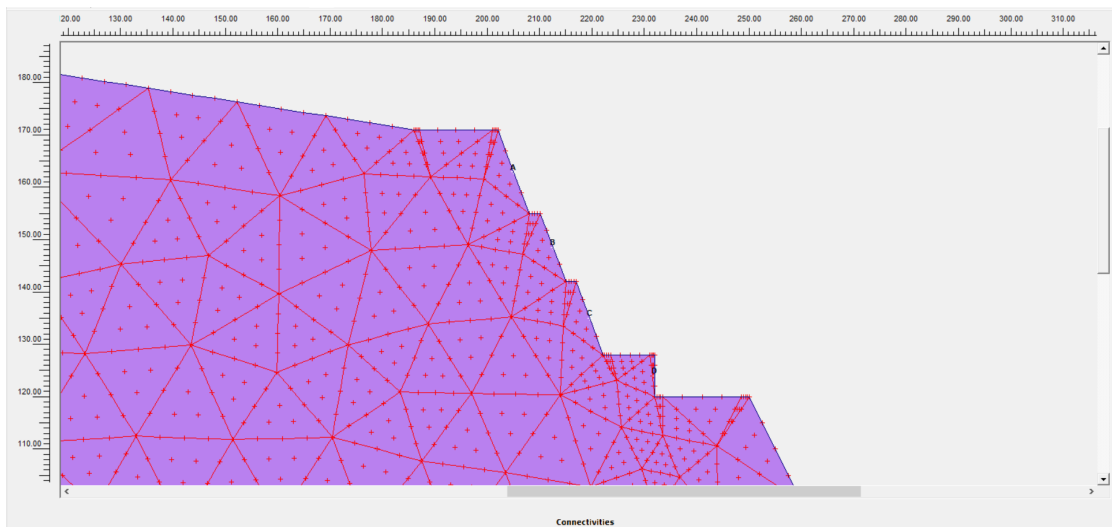
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimentions	Left	0,00	m
	Right	100,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	120,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	flysch - siltstone		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	Drained	
	γ_{unsat}	25	kN/m ³
	γ_{sat}	27	kN/m ³
	k_x	1	m/d
	k_y	1	m/d
Parameters	Eref	8000000	kN/m ²
	ν	0,33	
	c ref	4500	kN/m ²
	ϕ	29	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
K0 - procedure	ΣM - weight	1	
	K0	0,512	
Στάθμη Υ.Ο.	20m κάτω από την επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	8,202		

Σχόλια δεδομένων

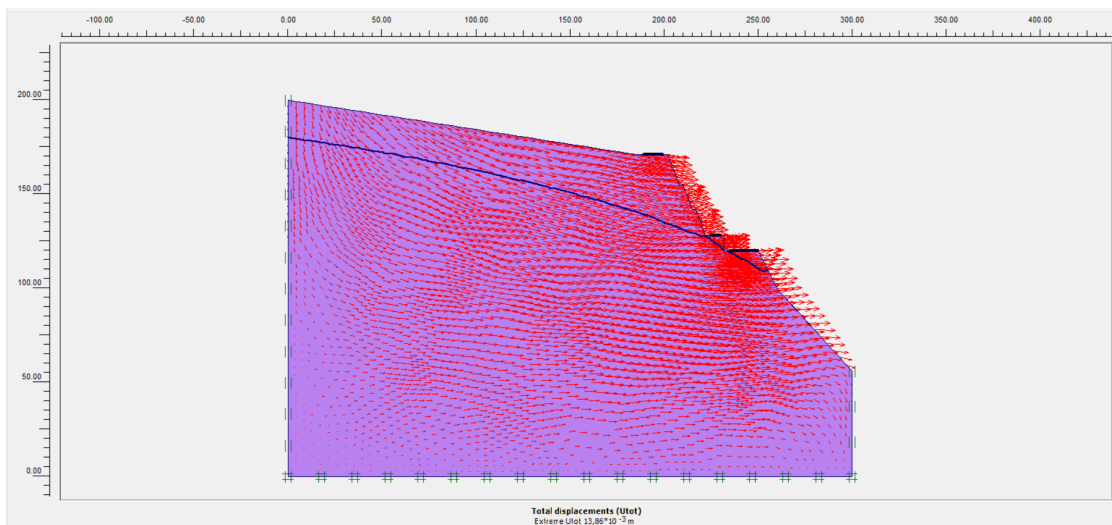
Η συγκεκριμένη τιμή της διαπερατότητας είναι σχετικά υψηλή, λόγω της χρήσης εκρηκτικών, αλλά και λόγω της πιθανής ύπαρξης καρστικών.



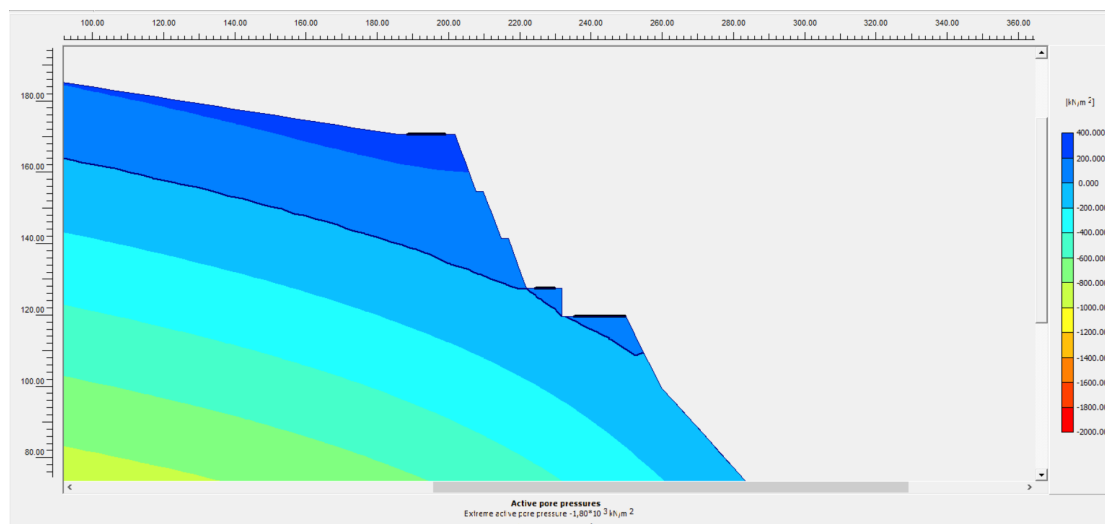
Εικόνα 44: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 45: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



Εικόνα 46: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 47: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 21: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)			Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point
Μετατοπίσεις	(205.000 , 163.000)	Ux	$11,821 \cdot 10^{-3}$	m	22	2416	
		Uy	$-1,450 \cdot 10^{-3}$	m			
		ΔUx	$1,368 \cdot 10^{-3}$	m			
		ΔUy	$-196,257 \cdot 10^{-3}$	m			
Ενεργές Τάσεις	(204.978 , 157.899)	σ_{xx}	-8,398	kN/m ²	10	2642	264
		σ_{yy}	-148,153	kN/m ²			
		σ_{xy}	13,974	kN/m ²			
		σ_{zz}	-53,619	kN/m ²			
Πίεση των Πόρων	(204.978 , 157.899)	p (excess)	0,000	kN/m ²			
		P (active)	0,001	kN/m ²			
		Βαθμός Κορεσμού	0,000	%			
Μετατοπίσεις	(212.500 , 148.500)	Ux	$12,586 \cdot 10^{-3}$	m	12	2924	
		Uy	$-0,963 \cdot 10^{-3}$	m			
		ΔUx	$1,376 \cdot 10^{-3}$	m			
		ΔUy	$-179,860 \cdot 10^{-3}$	m			
Ενεργές Τάσεις	(209.507 , 146.031)	σ_{xx}	-12,408	kN/m ²			
		σ_{yy}	-237,309	kN/m ²			
		σ_{xy}	14,196	kN/m ²			
		σ_{zz}	-85,810	kN/m ²			
Πίεση των Πόρων	(209.507 , 146.031)	p (excess)	0,000	kN/m ²			
		P (active)	0,001	kN/m ²			
		Βαθμός Κορεσμού	12,871	%			
Μετατοπίσεις	(219.500 , 135.000)	Ux	$13,273 \cdot 10^{-3}$	m			
		Uy	$-0,525 \cdot 10^{-3}$	m			

		ΔU_x	$1,361 \cdot 10^{-3}$	m			
		ΔU_y	$-147,367 \cdot 10^{-3}$	m			
Ενεργές Τάσεις	(216.966 , 132.261)	σ_{xx}	-25,347	kN/m ²	1	3115	139
		σ_{yy}	-274,006	kN/m ²			
		σ_{xy}	35,101	kN/m ²			
		σ_{zz}	-102,685	kN/m ²			
Πίεση των Πόρων		p (excess)	0,000	kN/m ²			
		P (active)	0,001	kN/m ²			
		Βαθμός Κορεσμού	81,403	%			
Μετατοπίσεις		(232.000 , 124.000)	U_x	$13,675 \cdot 10^{-3}$			
	U_y		$-0,038 \cdot 10^{-3}$	m			
	ΔU_x		$1,322 \cdot 10^{-3}$	m			
	ΔU_y		$-83,920 \cdot 10^{-3}$	m			
Ενεργές Τάσεις	(231.937 , 121.009)	σ_{xx}	-0,113	kN/m ²	1	3115	1
		σ_{yy}	-225,970	kN/m ²			
		σ_{xy}	5,050	kN/m ²			
		σ_{zz}	-77,287	kN/m ²			
Πίεση των Πόρων		p (excess)	0,000	kN/m ²			
		P (active)	0,001	kN/m ²			
		Βαθμός Κορεσμού	95,957	%			

Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι ευσταθές. Στα σημεία, όπως έχουν υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι οι οριζόντιες, οι οποίες κυμαίνονται στο ένα με ενάμισι χιλιοστό η μέγιστη. Οι κατακόρυφες διαφορικές μετατοπίσεις λαμβάνουν αρκετά μεγαλύτερες τιμές, γεγονός που επιφέρει μια ανησυχία. Οι τιμές των τάσεων, και κυρίως των πιέσεων των πόρων, λαμβάνουν υψηλές τιμές, αλλά μικρές, συγκριτικά με την πολύ υψηλή τιμή της σ_{ci} . Υπάρχει μία ομαλή, αλλά έντονη υποτίμηση του υδροφόρου. Τα αποτελέσματα απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως υπάρχει μια ομαλότητα γενικά, με αποκόλληση, ωστόσο, κάποιων χαλαρών βράχων. Αυτό μπορεί να μη φαίνεται στις αναλύσεις, αλλά είναι κάτι λογικό, από τη στιγμή που εξαρτάται από τοπικές ανισοτροπίες, αλλά και από τη φύση των βραχωδών πρανών με έντονες ασυνέχειες και ταυτόχρονα με υψηλή συνοχή και αντοχή του υλικού. Συμπερασματικά, υπάρχει λόγος ανησυχίας, καθότι πρόκειται για ένα πρανές με πολύ ισχυρή βραχομάζα μεν, αλλά μικρή τάφρο ανάσχεσης και αρκετά μεγάλο ύψος δε. Απαραίτητα κρίνονται η τοποθέτηση ισχυρού πλέγματος με τη λειτουργία της βραχοπαγίδας, τακτικό ξεσκάρωμα βραχοσφηνών που θεωρούνται επικίνδυνες, ειδικά μετά από έντονα καιρικά φαινόμενα. Ωστόσο, η πιο σοβαρή λύση είναι η τοποθέτηση μεμονωμένων αγκυριών σε ισχυρά τμήματα, όπου υπάρχουν κάποιες μεγάλες κι επικίνδυνες βραχοσφήνες. Σε θέσεις όπου η χαλάρωση είναι πιο έντονη απαιτείται κάναβος αγκυρώσεων με μεταλλικό πλέγμα, που θα λειτουργεί ως τοίχο αντιστήριξης. Ακόμα, μία λύση είναι η δημιουργία περισσότερων και πλατύτερων παταριών με μεταλλικούς φράχτες ανάσχεσης σε έκαστο.

1^β. Χ.Θ. 6+400 – 6+600

Πίνακας 22: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 6+400 – 6+600

Βραχομάζα	Ασβεστολιθική Σειρά	
Ύψος Πρανούς	18	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	>50	m
Κλίση Πρανούς	70	°
Εύρος σ _{ci}	>100	MPa
Επιλεγόμενο σ _{ci}	100	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Πολλές ανώμαλες περιοχές στην επιφάνεια, μικρό μέρος της καλυμμένο με χαλαρά τεμάχια	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχίων Καταπτώσεων	750	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	1,5	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	1,4	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	1	m ³ /m
Πλάτος Ερείσματος	0,9	m
Κλίση Ασυνχειών	20-45	°
Ύπαρξη Καρστικών	Πιθανή Ύπαρξη	

Πίνακας 23: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σ _{ci}	100	MPa
GSI	55	
m _i	10	
D	0,5	
MR	325	
γ	25	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 24: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	4,43	MPa
φ	27,5	°
E	6,572848	GPa

Πίνακας 25: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	55		Εκτίμηση
E	13,96521834	GPa	Εξίσωση από GSI
E	13,33521432	GPa	Εξίσωση από GSI και σ _{ci} για <100 MPa
k _x	1	m/d	Εκτίμηση
k _y	1	m/d	Εκτίμηση
c/σ _{ci}	0,045		Διάγραμμα
c	4,5	MPa	Διάγραμμα
φ	32	°	Διάγραμμα
ν	0,32		Εξίσωση
γ	25	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 26: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

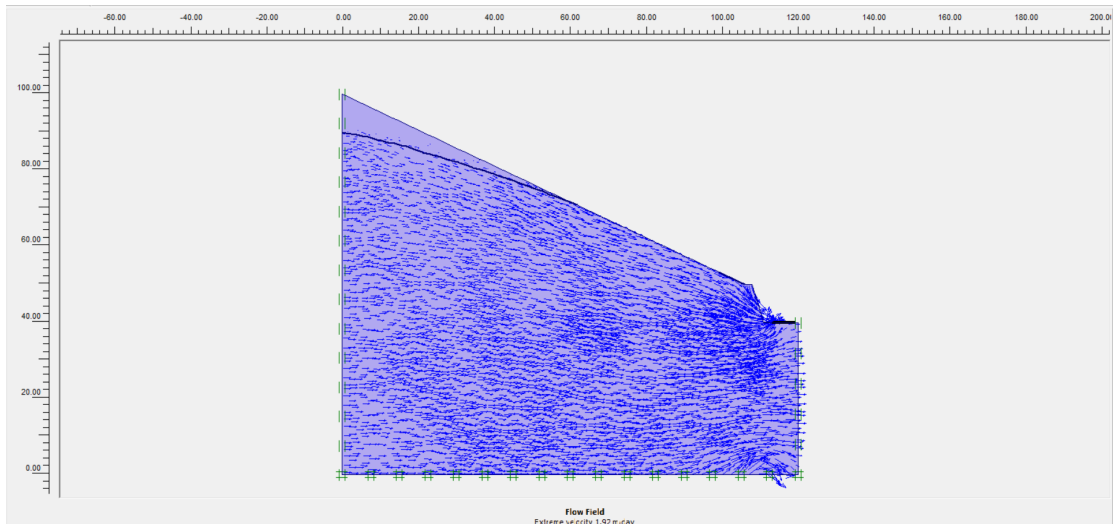
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	55	
E	8	GPa
ν	0,33	
Φ	29	°
c	4,5	MPa
k _x	1	m/d
k _y	1	m/d
γ	25	kN/m ³

Πίνακας 27: Δεδομένα Plaxis

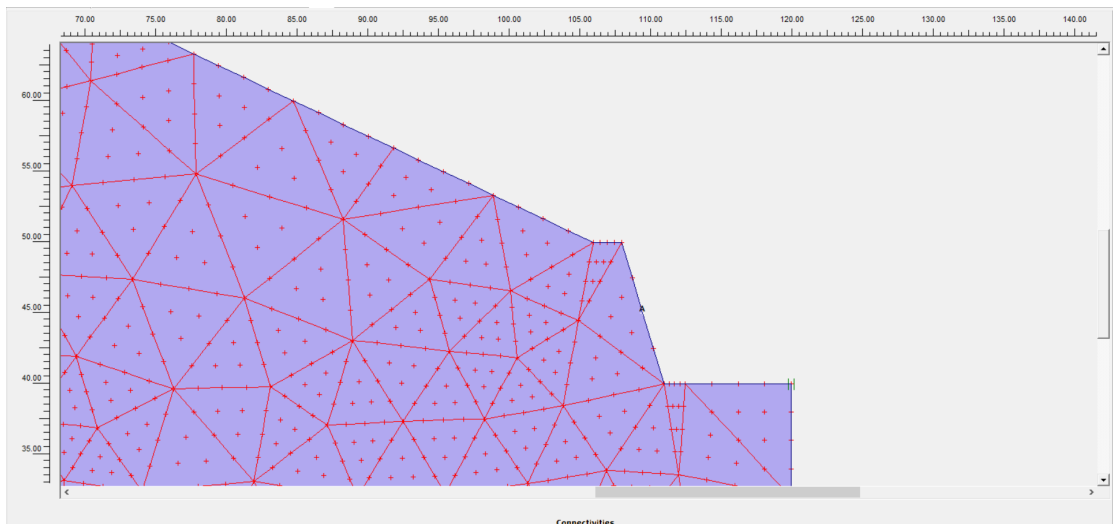
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimensions	Left	0,00	m
	Right	200,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	200,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	flysch - siltstone		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	Drained	
	γ_{unsat}	25	kN/m ³
	γ_{sat}	27	kN/m ³
	k_x	1	m/d
	k_y	1	m/d
Parameters	Eref	8000000	kN/m ²
	ν	0,33	
	c ref	4500	kN/m ²
	ϕ	29	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
K0 - procedure	ΣM - weight	1	
	K0	0,515	
Στάθμη Υ.Ο.	10m κάτω από την επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	19,796		

Σχόλια δεδομένων

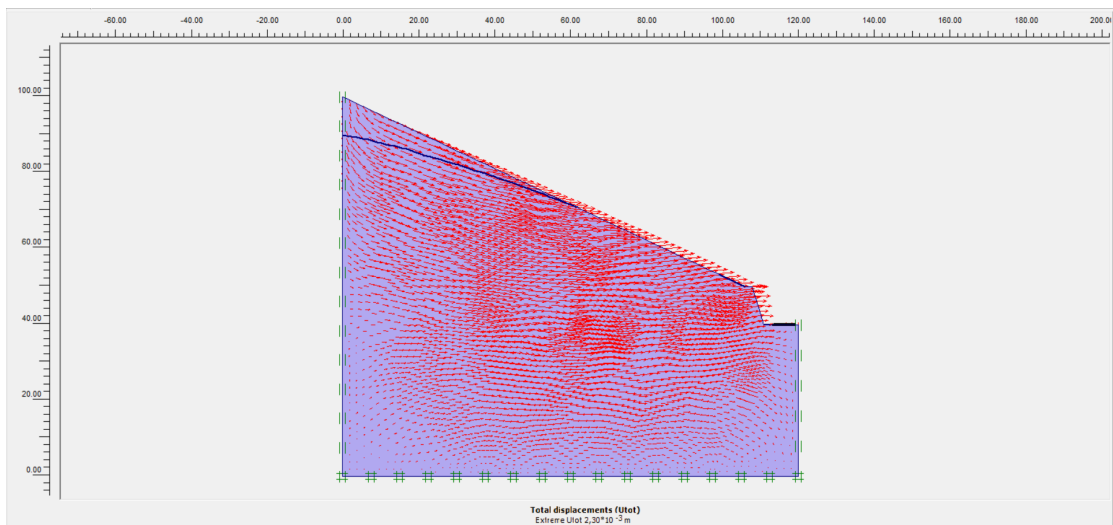
Η συγκεκριμένη τιμή της διαπερατότητας είναι σχετικά υψηλή λόγω της χρήσης εκρηκτικών, αλλά και λόγω της πιθανής ύπαρξης καρστικών.



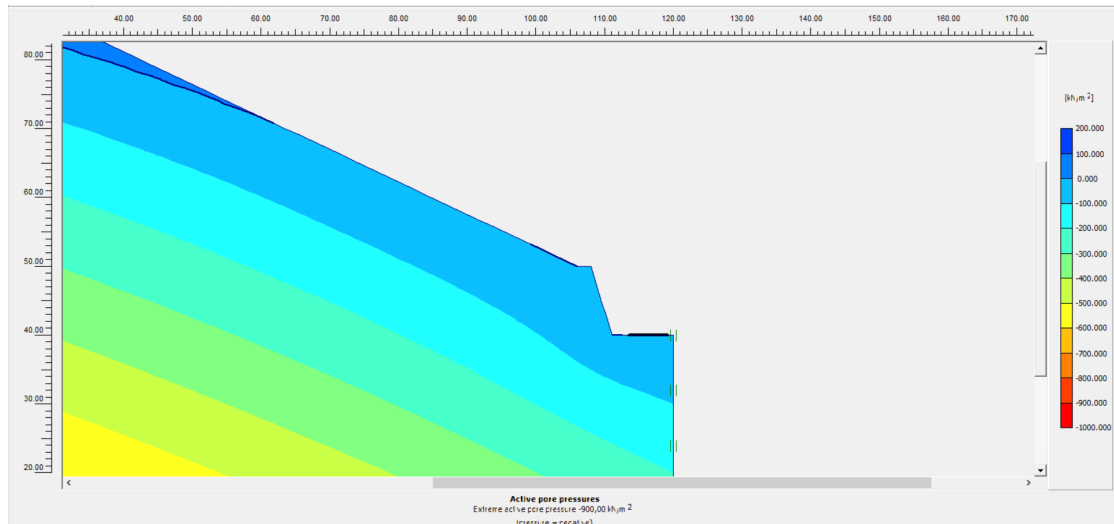
Εικόνα 48: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 49: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



Εικόνα 50: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 51: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 28: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)		Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point
Μετατοπίσεις	(109.500 , 45.000)	Ux	$1,811 \cdot 10^{-3}$	m	26	3121
		Uy	$-54,337 \cdot 10^{-6}$	m		
		ΔUx	$22,389 \cdot 10^{-6}$	m		
		ΔUy	$-2,032 \cdot 10^{-6}$	m		
Ενεργές Τάσεις	(110.428 , 40.913)	σ_{xx}	-281,025	kN/m ²	26	301
		σ_{yy}	-665,953	kN/m ²		
		σ_{xy}	415,553	kN/m ²		
		σ_{zz}	-312,814	kN/m ²		
Πίεση των Πόρων	(110.428 , 40.913)	p (excess)	0,000	kN/m ²		
		P (active)	-4,302	kN/m ²		
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%		

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι ευσταθές. Στο σημείο, «Α» όπως έχει υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι οι οριζόντιες, οι οποίες κυμαίνονται στα δύο χιλιοστά η μέγιστη. Οι κατακόρυφες και οι διαφορικές μετατοπίσεις λαμβάνουν αρκετά μικρότερες τιμές. Οι τιμές των τάσεων, και κυρίως των πιέσεων των πόρων, λαμβάνουν σχετικά υψηλές τιμές, αλλά μικρές, συγκριτικά με την πολύ υψηλή τιμή της σ_{ci} . Υπάρχει μία ομαλή, ελαφρά υποτίμηση του υδροφόρου. Τα αποτελέσματα απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως υπάρχει μια ομαλότητα γενικά, με αποκόλληση ωστόσο κάποιων χαλαρών βράχων και ολίσθηση χωμάτινων τμημάτων από το φρύδι του πρανούς. Αυτό μπορεί να μη φαίνεται στις αναλύσεις, αλλά είναι κάτι λογικό, από τη στιγμή που εξαρτάται από τοπικές ανισοτροπίες, αλλά και από τη φύση των βραχωδών πρανών με έντονες ασυνέχειες και ταυτόχρονα υψηλή συνοχή και αντοχή του υλικού. Όσο για τις χωμάτινες ολισθήσεις αφορούν στο πολύ λεπτό εδαφικό τμήμα που υπέρκειται του ασβεστόλιθου. Συμπερασματικά, υπάρχει λόγος ανησυχίας, καθότι πρόκειται για ένα πρανές με πολύ ισχυρή βραχομάζα μεν, αλλά με μικρή τάφρο ανάσχεσης και αρκετά μεγάλο ύψος δε. Απαραίτητα κρίνονται η τοποθέτηση ισχυρού πλέγματος με τη λειτουργία της βραχοπαγίδας, τακτικό ξεσκάρωμα βραχοσφηνών που θεωρούνται επικίνδυνες, ειδικά μετά από έντονα καιρικά φαινόμενα. Ωστόσο, η πιο σοβαρή λύση είναι η τοποθέτηση μεμονωμένων αγκυριών σε ισχυρά τμήματα, όπου υπάρχουν κάποιες μεγάλες κι επικίνδυνες βραχοσφήνες. Σε θέσεις όπου η χαλάρωση είναι πιο έντονη απαιτείται κánaβος αγκυρώσεων με μεταλλικό πλέγμα, που θα λειτουργεί ως τοίχο αντιστήριξης. Ακόμα, μία λύση είναι η δημιουργία περισσότερων και πλατύτερων παταριών, με μεταλλικούς φράχτες ανάσχεσης σε έκαστο. Σε ότι αφορά στις ολισθήσεις των χωμάτων ένα μικρό πλέγμα στο πατάρι του πρανούς είναι αρκετό για να τις συγκρατήσει.

2. Χ.Θ. 33+000 – 34+000

Πίνακας 29: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 33+000 – 34+000

Βραχομάζα	Ασβεστολιθική Σειρά	
Ύψος Πρανούς	12	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	30	m
Κλίση Πρανούς	70	°
Εύρος σ _{ci}	>100	MPa
Επιλεγόμενο σ _{ci}	100	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Πολλές ανώμαλες περιοχές στην επιφάνεια, μικρό μέρος της καλυμμένο με χαλαρά τεμάχια	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχών Καταπτώσεων	300	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	3	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	1,9	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	1	m ³ /m
Πλάτος Ερείσματος	0,9	m
Κλίση Ασυνεχειών	20-45	°
Ύπαρξη Καρστικών	Πιθανή Ύπαρξη	

Πίνακας 30: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σ _{ci}	100	MPa
GSI	40	Κατηγορία G
m _i	10	
D	0	
MR	325	
γ	25	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 31: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	4,232	MPa
φ	27	°
E	5,1887	GPa

Πίνακας 32: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	40		Εκτίμηση
E	3,985569895	GPa	Εξίσωση από GSI
E	5,623413252	GPa	Εξίσωση από GSI και σ _{ci} για <100 MPa
k _x	0,5	m/d	Εκτίμηση
k _y	0,5	m/d	Εκτίμηση
c/σ _{ci}	0,033		Διάγραμμα
c	3,3	MPa	Διάγραμμα
φ	29	°	Διάγραμμα
ν	0,35		Εξίσωση
γ	25	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 33: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

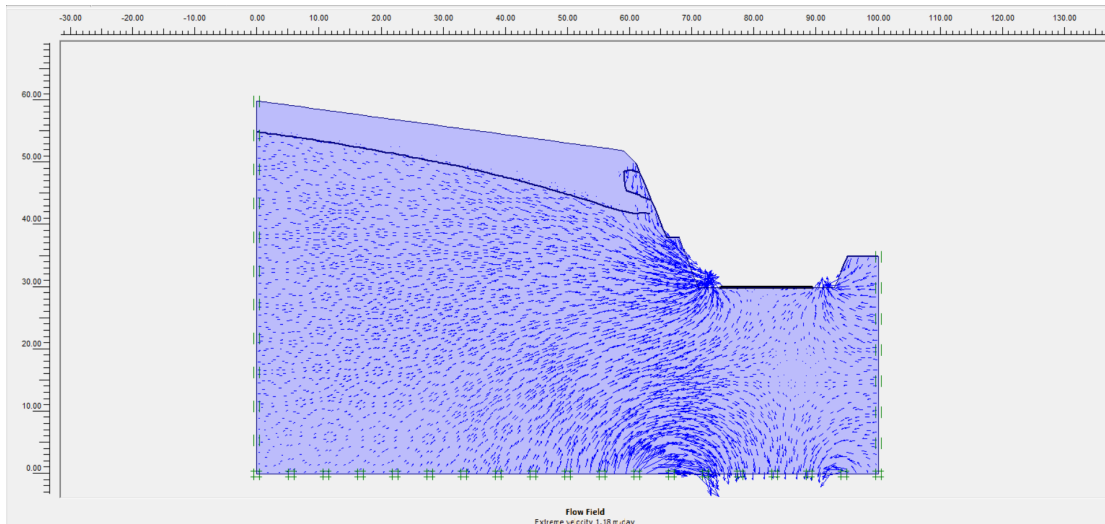
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	40	
E	4,93	GPa
ν	0,33	
φ	29	°
c	4	MPa
k _x	0,5	m/d
k _y	0,5	m/d
γ	25	kN/m ³

Πίνακας 34: Δεδομένα Plaxis

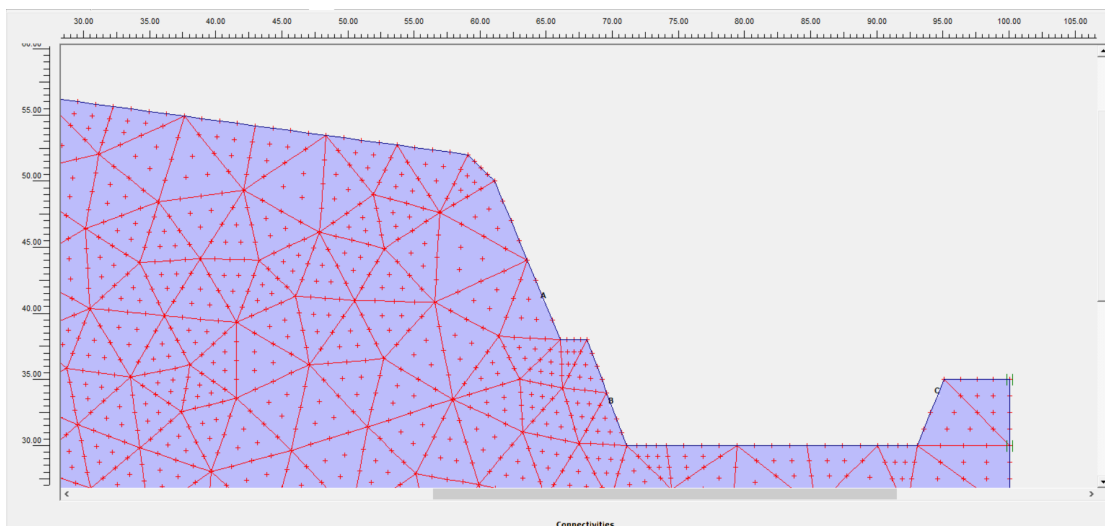
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimensions	Left	0,00	m
	Right	100,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	60,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	Limestone		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	Drained	
	γ_{unsat}	25	kN/m ³
	γ_{sat}	27	kN/m ³
	k_x	0,5	m/d
	k_y	0,5	m/d
Parameters	Eref	4930000	kN/m ²
	ν	0,33	
	c ref	4000	kN/m ²
	ϕ	29	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
K0 - procedure	ΣM - weight	1	
	K0	0,515	
Στάθμη Υ.Ο.	5m κάτω από την επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	7,260		

Σχόλια δεδομένων

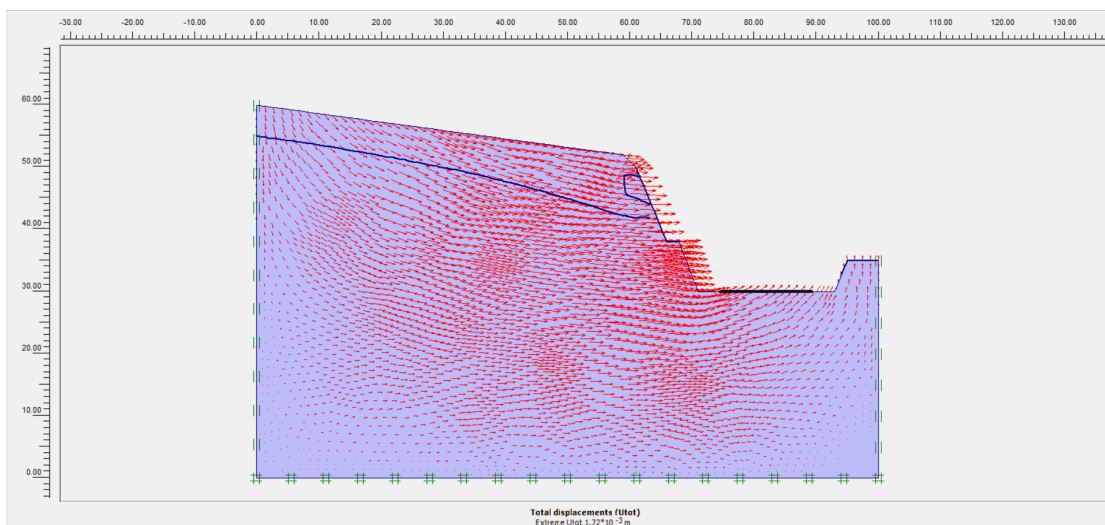
Η τρεις τιμές που υπολογίστηκαν για το μέτρο ελαστικότητας της βραχομάζας είναι παραπλήσιες. Συνεπώς, η τελική τιμή που επιλέχθηκε προέκυψε από τον υπολογισμό του μέσου όρου αυτών. Επιπλέον, έγινε μία υποτίμηση της τιμής του λόγου Poisson, στην ανώτερη τιμή από τις ενδεικτικές τιμές του διαγράμματος του προηγούμενου κεφαλαίου.



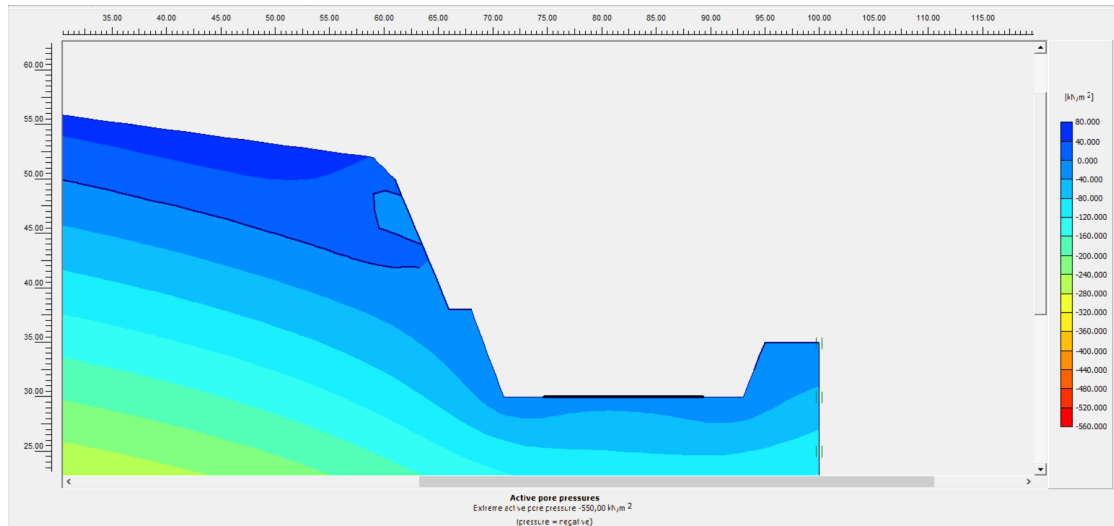
Εικόνα 52: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 53: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



Εικόνα 54: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 55: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 35: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)			Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point	
Μετατοπίσεις	(64.750 , 41.000)	Ux	1,682*10 ⁻³	m	79	1748		
		Uy	50,037*10 ⁻⁶	m				
		ΔUx	1,011*10 ⁻³	m				
		ΔUy	-3,791*10 ⁻⁶	m				
Ενεργές Τάσεις	(61.776 , 38.621)	σxx	-22,374	kN/m ²			938	
		σyy	-235,400	kN/m ²				
		σxy	31,902	kN/m ²				
		σzz	-88,729	kN/m ²				
Πίεση των Πόρων		p (excess)	0,000	kN/m ²				
		P (active)	-20,921	kN/m ²				
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%				
Μετατοπίσεις	(69.875 , 33.000)	Ux	1,650*10 ⁻³	m		5	2207	
		Uy	98,055*10 ⁻⁶	m				
		ΔUx	0,968*10 ⁻³	m				
		ΔUy	30,555*10 ⁻⁶	m				
Ενεργές Τάσεις	(70.679 , 30.264)	σxx	-381,018	kN/m ²			50	
		σyy	-426,545	kN/m ²				
		σxy	333,024	kN/m ²				
		σzz	-267,709	kN/m ²				
Πίεση των Πόρων		p (excess)	0,000	kN/m ²				
		P (active)	-4,677	kN/m ²				
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%				
Μετατοπίσεις	(94.500 , 33.750)	Ux	-0,006*10 ⁻³	m	17		2684	
		Uy	381,223*10 ⁻⁶	m				
		ΔUx	-0,005*10 ⁻³	m				
		ΔUy	217,470*10 ⁻⁶	m				
Ενεργές Τάσεις	(93.568 , 30.315)	σxx	-191,035	kN/m ²			195	
		σyy	-131,502	kN/m ²				
		σxy	-124,418	kN/m ²				
		σzz	-107,392	kN/m ²				
Πίεση των Πόρων		p (excess)	0,000	kN/m ²				
		P (active)	-5,560	kN/m ²				
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%				

Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι ευσταθές. Στα σημεία, όπως έχουν υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι οι οριζόντιες και οι οριζόντιες διαφορικές, οι οποίες κυμαίνονται στο ένα με ενάμισι εκατοστό η μέγιστη. Οι λοιπές μετατοπίσεις λαμβάνουν αρκετά μικρότερες τιμές. Οι τιμές των τάσεων, και κυρίως των πιέσεων των πόρων, λαμβάνουν μέτριες τιμές, αλλά μικρές συγκριτικά με τη σχετικά υψηλή τιμή της σ_{ci} . Υπάρχει μία ομαλή, αλλά έντονη υποτίμηση του υδροφόρου, με ένα ιδιαίτερο τσάκισμα ωστόσο κατάντη από το φρύδι του πρανούς. Ωστόσο, τα αποτελέσματα δεν απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως υπάρχει ολίσθηση του ορύγματος. Αυτό δε φαίνεται στις αναλύσεις, λόγω των γεωτεχνικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, τα οποία δεν επιτρέπουν τέτοιου είδους αστοχία στο εν λόγω πρανές. Οπότε, απαιτείται αυτοψία για την εξαγωγή και επεξεργασία νέων δεδομένων. Ωστόσο, γενικά για την ολίσθηση πρανών η συνήθης λύση είναι τοποθέτηση αντίβαρων στο πόδα της κατολίσθησης, αφού αυτή πρώτα προσδιορισθεί γεωμετρικά.

3. Χ.Θ. 42+000 – 42+500

Πίνακας 36: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 42+000 – 42+500

Βραχομάζα	Φλύσσης	
Ύψος Πρανούς	18	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	30	m
Κλίση Πρανούς	70	°
Εύρος σci	25-50	MPa
Επιλεγόμενο σci	25	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Πολλές ανώμαλες περιοχές στην επιφάνεια, μικρό μέρος της καλυμμένο με χαλαρά τεμάχια	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχίων Καταπτώσεων	300	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	3	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	1,9	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	1	m ³ /m
Πλάτος Ερείσματος	0,9	m
Κλίση Ασυνεχειών	20-45	°
Ύπαρξη Καρστικών	Όχι	

Πίνακας 37: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σci	25	MPa
GSI	45	Κατηγορία IV
mi	12	
D	0	
MR	300	
γ	24	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 38: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	1,218	MPa
φ	31	°
E	1,67737	GPa

Πίνακας 39: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	45		Εκτίμηση
E	6,13831074	GPa	Εξίσωση από GSI
E	3,749471047	GPa	Εξίσωση από GSI και σ _{ci} για <100 MPa
k _x	0,1		Εκτίμηση
k _y	0,1		Εκτίμηση
c/σ _{ci}	0,036		Διάγραμμα
c	0,9	MPa	Διάγραμμα
φ	32	°	Διάγραμμα
ν	0,32		Εξίσωση
γ	24	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 40: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

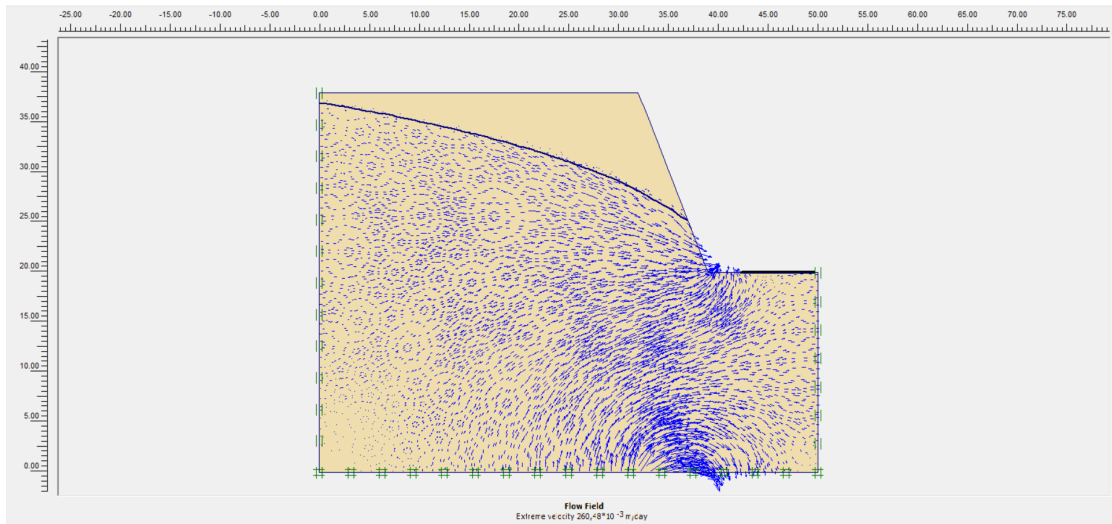
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	45	
E	2	GPa
ν	0,32	
φ	32	°
c	1,059	MPa
k _x	0,1	
k _y	0,1	
γ	24	kN/m ³

Πίνακας 41: Δεδομένα Plaxis

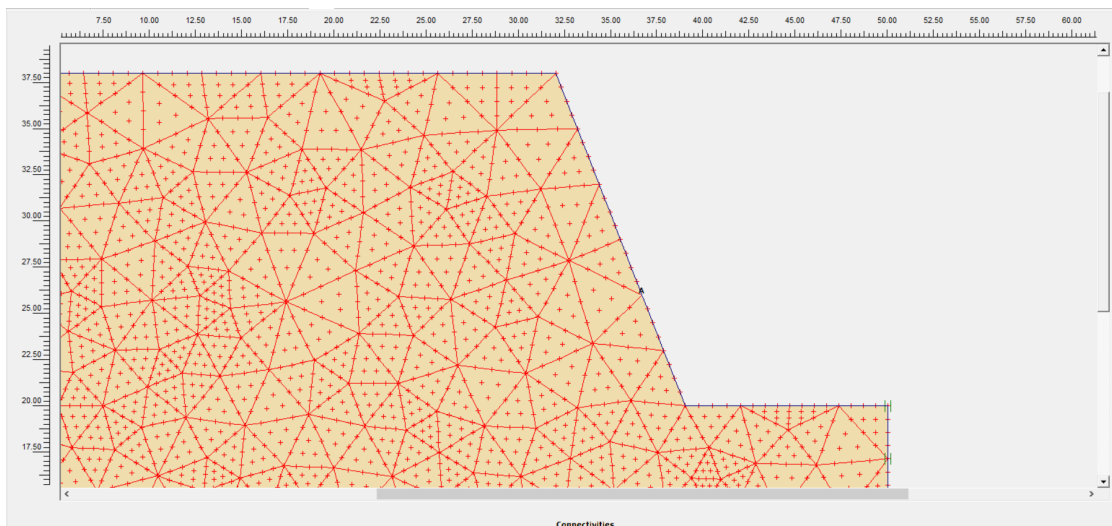
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimentions	Left	0,00	m
	Right	50,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	40,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	Flysch		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	Drained	
	γ_{unsat}	24	kN/m ³
	γ_{sat}	26	kN/m ³
	k_x	0,1	m/d
	k_y	0,1	m/d
Parameters	E_{ref}	2000000	kN/m ²
	ν	0,32	
	c_{ref}	1059	kN/m ²
	ϕ	32	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	R_{inter}	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
K0 - procedure	ΣM - weight	1	
	K0	0,47	
Στάθμη Υ.Ο.	1m κάτω από την επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	10,433		

Σχόλια δεδομένων

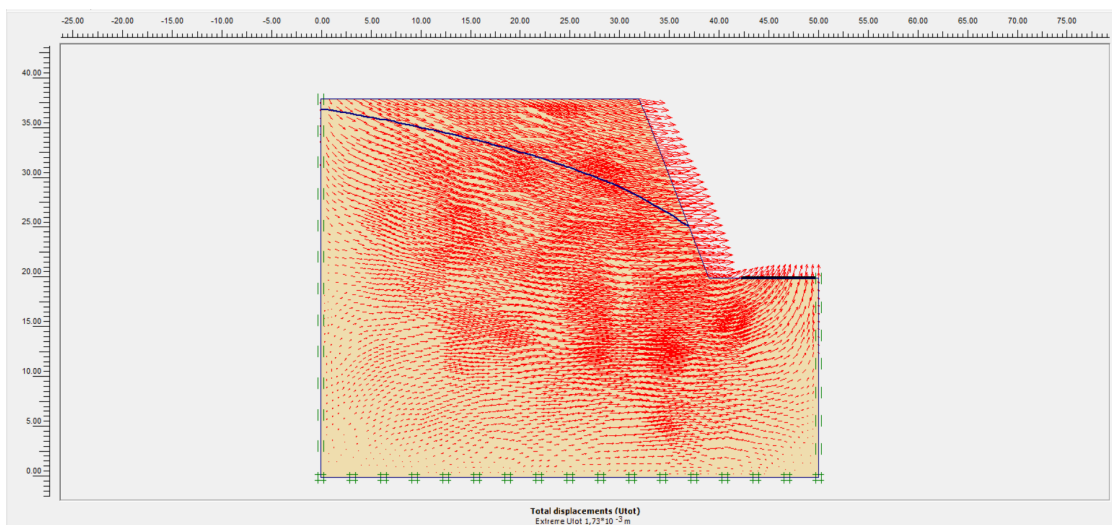
Λόγω της κατηγορίας του εν λόγω φλύσχη (IV), οι τιμές που έχουν επιλεγεί, πλην των εξαιρέσεων που αναφέρονται εδώ, ακολουθούν το μέσο όρο τιμών ιλυόλιθου και ψαμμίτη. Η τιμή του MR υποτιμήθηκε ελαφρώς (κατά 25), λόγω της ύπαρξης άμμου και κροκαλοπαγών εντός του φλύσχη. Η επιλογή της τιμής της διαπερατότητας έγινε με το σκεπτικό της ανώτερης τιμής του ψαμμίτη και λαμβάνοντας υπ' όψιν άμμο και κροκαλοπαγή. Τέλος, οι δύο προκύπτουσες τιμές της συνοχής είναι παραπλήσιες. Οπότε, ως τελική τιμή λήφθηκε ο μέσος όρος τους.



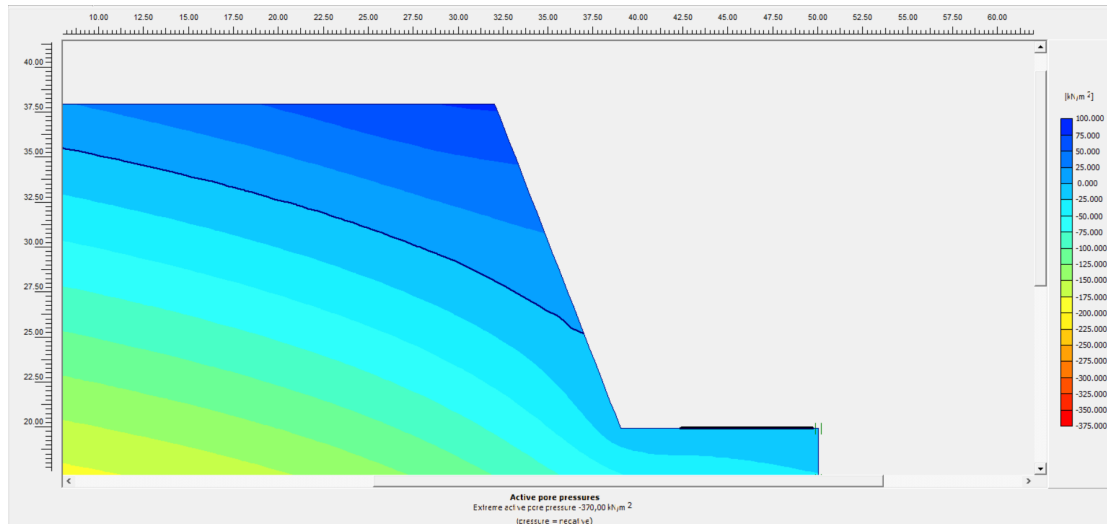
Εικόνα 56: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 57: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



Εικόνα 58: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 59: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 42: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)			Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point
Μετατοπίσεις	(36.083 , 27.500)	Ux	$1,705 \cdot 10^{-3}$	m	57	3092	
		Uy	$-16,337 \cdot 10^{-6}$	m			
		ΔUx	$21,689 \cdot 10^{-6}$	m			
		ΔUy	$-6,469 \cdot 10^{-6}$	m			
Ενεργές Τάσεις	(33.141 , 27.833)	σ_{xx}	-12,274	kN/m ²	57		673
		σ_{yy}	-177,769	kN/m ²			
		σ_{xy}	10,972	kN/m ²			
		σ_{zz}	-60,754	kN/m ²			
Πίεση των Πόρων	(33.141 , 27.833)	p (excess)	0,000	kN/m ²	57		673
		P (active)	0,001	kN/m ²			
		Βαθμός Κορεσμού	96,468	%			

Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι ευσταθές. Στο σημείο «Α», όπως έχει υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι οι οριζόντιες, οι οποίες είναι της τάξης των δύο χιλιοστών η μέγιστη. Οι διαφορικές και οι κατακόρυφες μετατοπίσεις λαμβάνουν πολύ μικρότερες τιμές. Οι τιμές των τάσεων και των πιέσεων των υδάτων δε λαμβάνουν και τόσο υψηλές τιμές, συγκριτικά με τη σ_{ci} . Υπάρχει μία ομαλή, αλλά έντονη υποτίμηση του υδροφόρου, και η επιφανειακή εκτόνωση των υδάτων εμφανίζεται ελαφρώς ανάντη από τον πόδα του πρανούς. Ωστόσο, τα αποτελέσματα δεν απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως υπάρχει αποσάθρωση στο πρανές, με την πλήρωση επιπλέον του πλέγματος συγκράτησης από φερτά υλικά. Αυτό οφείλεται σε τμηματικά εντονότερα εδαφοποιημένη κατάσταση του πρανούς, το οποίο δεν ελήφθη υπ' όψιν στις αναλύσεις αφού η επιλογή των τιμών των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών έγινε με γνώμονα τις τιμές του φλύσχη και λαμβάνοντας υπ' όψιν άμμο και κροκαλοπαγή, για την υποτίμηση ή υπερτίμηση απλά κάποιων τιμών. Συμπερασματικά, δεν υπάρχει σοβαρός λόγος ανησυχίας, καθότι πρόκειται για ένα πρανές με σχετικά μικρό ύψος, μεγάλη τάφρο ανάσχεσης και με βλάστηση, η οποία λειτουργεί, έμμεσα, επικουρικά στην ανάσχεση ολισθήσεων χαλαρών – εδαφοποιημένων τμημάτων. Ως μέτρο προστασίας μπορεί να τοποθετηθεί ψηλός κατακόρυφος φράχτης στο άκρο της τάφρου, και να γίνεται αρκετά τακτικός καθαρισμός αυτής. Επιπλέον, η περαιτέρω πύκνωση της βλάστησης μπορεί να συνδράμει στην προστασία του οδικού δικτύου.

4. Χ.Θ. 42+400 – 43+200

Πίνακας 43: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 42+400 – 43+200

Βραχομάζα	Φλύσχης	
Ύψος Πρανούς	12	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	45	m
Κλίση Πρανούς	80	°
Εύρος σci	25-50	MPa
Επιλογή σci	40	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Πολλές ανώμαλες περιοχές στην επιφάνεια, μικρό μέρος της καλυμμένο με χαλαρά τεμάχια	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχίων Καταπτώσεων	300	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	3	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	1,9	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	1	m ³ /m
Πλάτος Ερείσματος	0,9	m
Κλίση Ασυνεχειών	20-45	°
Ύπαρξη Καρστικών	Όχι	

Πίνακας 44: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σci	40	MPa
GSI	50	Κατηγορία III
mi	17	
D	0	
MR	275	
γ	25	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 45: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	2,339	MPa
φ	35	°
E	3,37904	GPa

Πίνακας 46: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	50		Εκτίμηση
E	9,340700472	GPa	Εξίσωση από GSI
E	6,32455532	GPa	Εξίσωση από GSI και σ _{ci} για <100 MPa
k _x	0,001		Εκτίμηση
k _y	0,001		Εκτίμηση
c/σ _{ci}	0,045		Διάγραμμα
c	1,8	MPa	Διάγραμμα
φ	36	°	Διάγραμμα
ν	0,3		Εξίσωση
γ	25	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 47: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

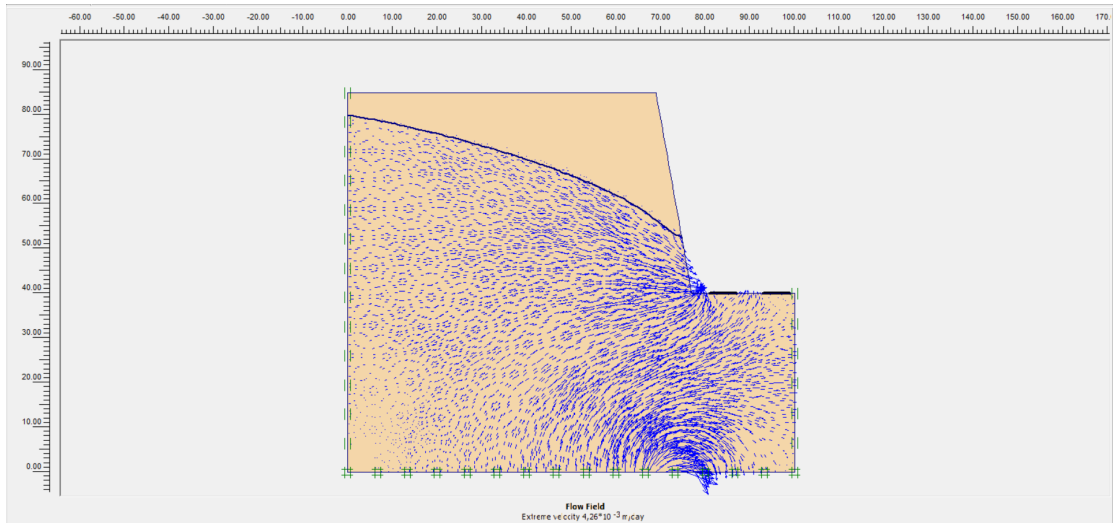
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	50	
E	6,35	GPa
ν	0,3	
φ	36	°
c	2,070	MPa
k _x	0,001	
k _y	0,001	
γ	25	kN/m ³

Πίνακας 48: Δεδομένα Plaxis

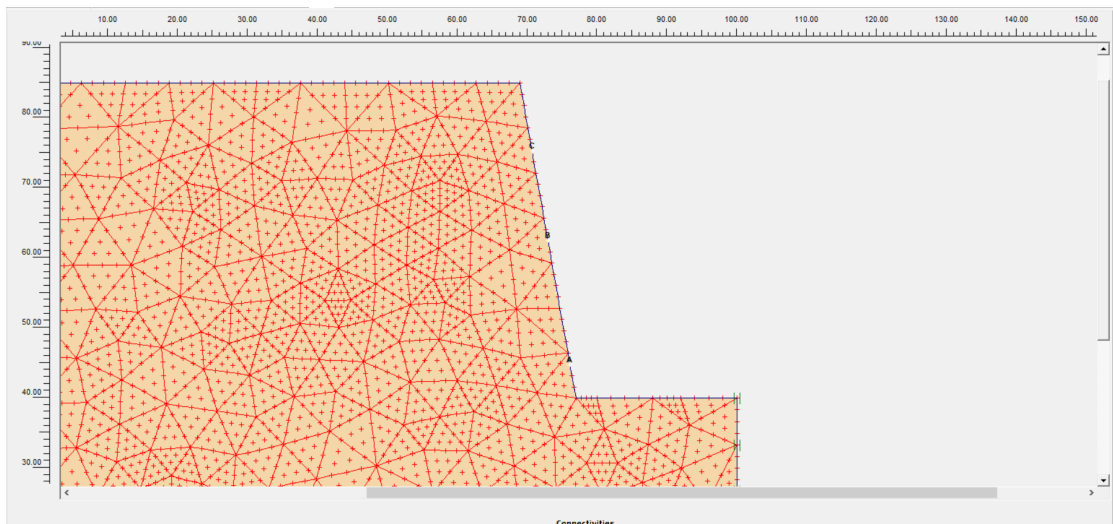
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimentionions	Left	0,00	m
	Right	50,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	80,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	flysch		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	Drained	
	γ_{unsat}	25	kN/m ³
	γ_{sat}	27	kN/m ³
	k_x	0,001	m/d
	k_y	0,001	m/d
Parameters	E_{ref}	6350000	kN/m ²
	ν	0,3	
	c_{ref}	2070	kN/m ²
	ϕ	36	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	R_{inter}	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
K0 - procedure	ΣM - weight	1	
	K0	0,412	
Στάθμη Υ.Ο.	5m κάτω από την επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	5,722		

Σχόλια δεδομένων

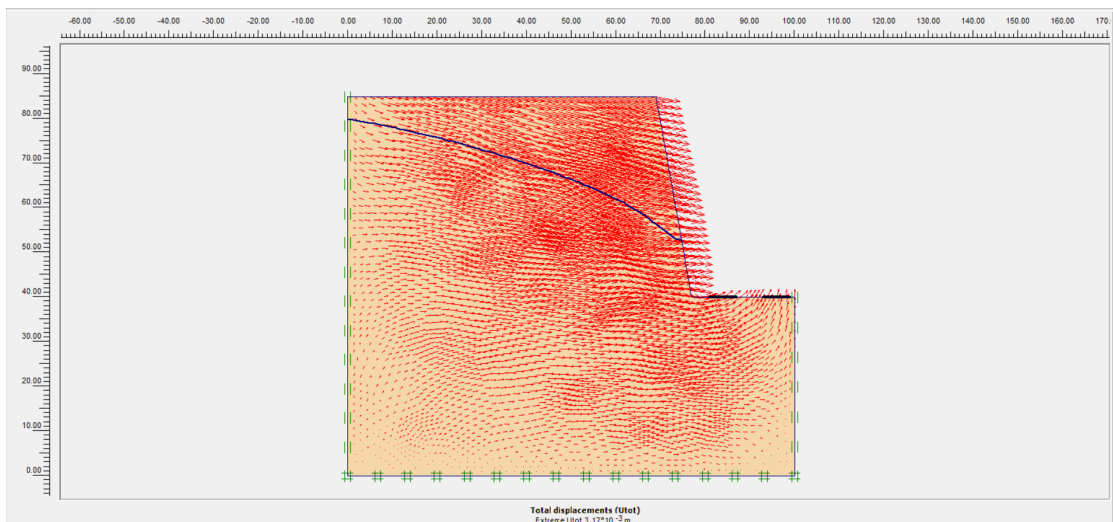
Λόγω της κατηγορίας του εν λόγω φλύσχη (III), οι τιμές που έχουν επιλεγεί, πλην των εξαιρέσεων που αναφέρονται εδώ ακολουθούν, τιμές του ψαμμίτη. Η επιλογή της τιμής της διαπερατότητας έγινε με το σκεπτικό μιας μέτριας τιμής για ψαμμίτη, λόγω της αρκετά εντονότερης εμφάνισης του, σε σχέση με τον ιλύόλιθο. Τέλος, οι προκύπτουσες τιμές της συνοχής και του μέτρου ελαστικότητας, αντίστοιχα, είναι παραπλήσιες. Οπότε, ως τελική τιμή λήφθηκε ο μέσος όρος τους, αντίστοιχα.



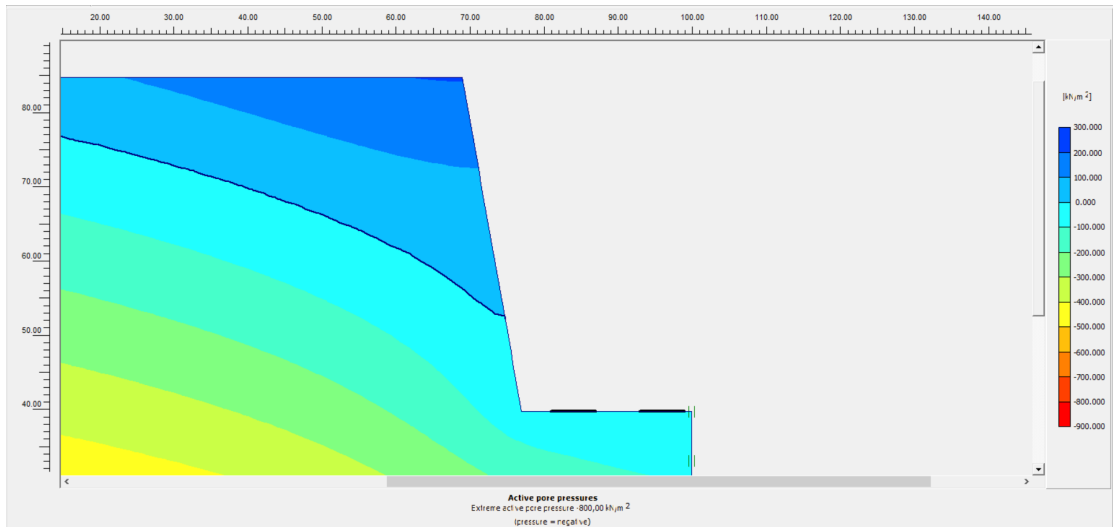
Εικόνα 60: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 61: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



Εικόνα 62: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 63: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 49: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)			Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point	
Μετατοπίσεις	(76.143 , 44.821)	Ux	2,863*10 ⁻³	m	16	2931		
		Uy	-300,823*10 ⁻⁶	m				
		ΔUx	71,605*10 ⁻⁶	m				
		ΔUy	-17,239*10 ⁻⁶	m				
Ενεργές Τάσεις	(76.577 , 40.455)	σxx	-624,372	kN/m ²			182	
		σyy	-1050,243	kN/m ²				
		σxy	650,511	kN/m ²				
		σzz	-500,741	kN/m ²				
Πίεση των Πόρων		p (excess)	0,000	kN/m ²				
		P (active)	-8,636	kN/m ²				
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%				
Μετατοπίσεις	(73.000 , 62.500)	Ux	3,091*10 ⁻³	m		14	3338	
		Uy	-416,295*10 ⁻⁶	m				
		ΔUx	83,764*10 ⁻⁶	m				
		ΔUy	-25,567*10 ⁻⁶	m				
Ενεργές Τάσεις	(68.210 , 61,318)	σxx	-5,525	kN/m ²				157
		σyy	-587,102	kN/m ²				
		σxy	3,885	kN/m ²				
		σzz	171,010	kN/m ²				
Πίεση των Πόρων		p (excess)	0,000	kN/m ²				
		P (active)	0,001	kN/m ²				
		Βαθμός Κορεσμού	73,009	%				
Μετατοπίσεις	(70.714 , 75.357)	Ux	2,856*10 ⁻³	m	20		3536	
		Uy	-531,264*10 ⁻⁶	m				
		ΔUx	95,150*10 ⁻⁶	m				
		ΔUy	-23,814*10 ⁻⁶	m				
Ενεργές Τάσεις	(68.191 , 74.555)	σxx	-0,009	kN/m ²				232
		σyy	-257,892	kN/m ²				
		σxy	1,549	kN/m ²				
		σzz	-74,381	kN/m ²				
Πίεση των Πόρων		p (excess)	0,000	kN/m ²				
		P (active)	0,001	kN/m ²				
		Βαθμός Κορεσμού	0,000	%				

Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι σχετικά ευσταθές. Στα σημεία, όπως έχουν υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι οι οριζόντιες, οι οποίες είναι της τάξης των τριών χιλιοστών η μέγιστη. Οι διαφορικές και οι κατακόρυφες μετατοπίσεις λαμβάνουν πολύ μικρότερες τιμές. Οι τιμές των τάσεων και των πιέσεων των υδάτων λαμβάνουν αξιολογικότερες τιμές, αλλά όχι τόσο μεγάλες συγκριτικά με τη σ_{ci}. Υπάρχει μία ομαλή, αλλά έντονη υποτίμηση του υδροφόρου, και η επιφανειακή εκτόνωση των υδάτων εμφανίζεται ελαφρώς ανάντη από τον πόδα του πρανούς. Τα αποτελέσματα απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως υπάρχει μια ομαλότητα γενικά, με την πλήρωση ωστόσο της βραχοπαγίδας από φερτά υλικά. Αυτό μπορεί να μη φαίνεται στις αναλύσεις, αλλά είναι κάτι λογικό, από τη στιγμή που εξαρτάται από την τμηματική χαλαρότητα στην επιφάνεια της βραχομάζας και εξωγενείς παράγοντες. Συμπερασματικά, υπάρχει ένα μικρός λόγος ανησυχίας, καθότι πρόκειται για ένα πρανές, με σχετικά καλή ποιότητα βραχομάζας, με μεγάλη τάφρο ανάσχεσης και αρκετή βλάστηση, η οποία λειτουργεί, έμμεσα, επικουρικά στην ανάσχεση καταπτώσεων χαλαρών – εδαφοποιημένων τμημάτων. Ο μόνος λόγος ανησυχίας είναι το σχετικά μεγάλο ύψος του πρανούς. Ως μέτρο προστασίας μπορεί να τοποθετηθεί ψηλός κατακόρυφος φράχτης στο άκρο της τάφρου, και να γίνεται αρκετά τακτικός καθαρισμός αυτής. Επιπλέον η περαιτέρω πύκνωση της βλάστησης μπορεί να συνδράμει στην προστασίας του οδικού δικτύου

5. Χ.Θ. 101+600 – 101+800

Πίνακας 50: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 101+600 – 101+800

Βραχομάζα	Φλύσσης	
Ύψος Πρανούς	18	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	32	m
Κλίση Πρανούς	70	°
Εύρος σci	25-50	MPa
Επιλογή σci	30	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Ελαφρώς ανώμαλη επιφάνεια, μέρος της καλυμμένο με χαλαρά τεμάχια	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχών Καταπτώσεων	300	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	3	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	1,9	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	2	m ³ /m
Πλάτος Ερείσματος	1,9	m
Κλίση Ασυνεχειών	<20	°
Ύπαρξη Καρστικών	Όχι	

Πίνακας 51: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σci	30	MPa
GSI	17	Κατηγορία XI
mi	7	
D	0	
MR	375	
γ	24	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 52: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	0,653	MPa
φ	18	°
E	0,44622	GPa

Πίνακας 53: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	17		Εκτίμηση
E	0,510342313	GPa	Εξίσωση από GSI
E	0,81952202	GPa	Εξίσωση από GSI και σ _{ci} για <100 MPa
k _x	0,00001	m/d	Εκτίμηση
k _y	0,00001	m/d	Εκτίμηση
c/σ _{ci}	0,014		Διάγραμμα
c	0,42	MPa	Διάγραμμα
φ	18	°	Διάγραμμα
ν	0,41		Εξίσωση
γ	24	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 54: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

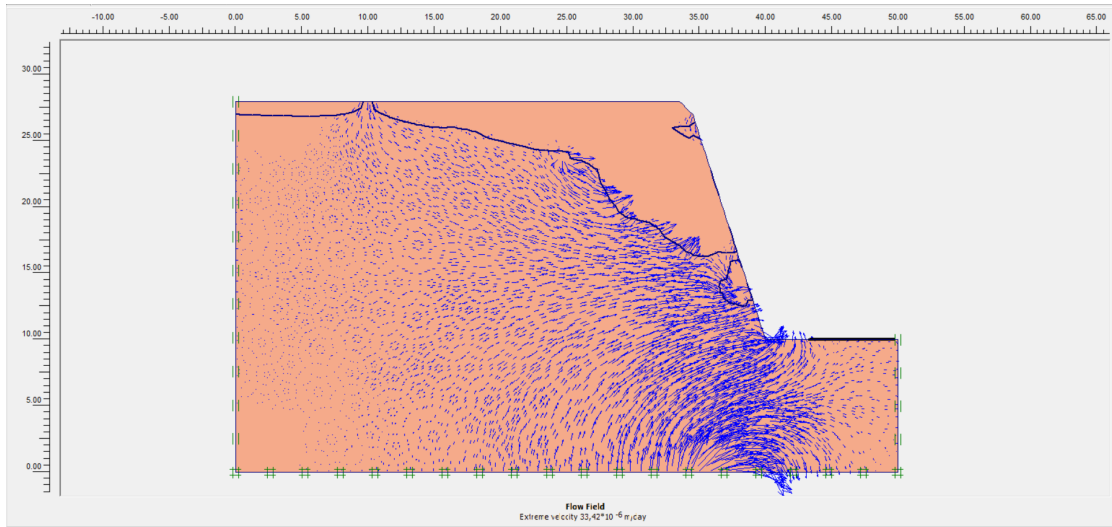
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	17	
E	0,592028111	GPa
ν	0,35	
φ	18	°
c	0,5365	MPa
k _x	0,00001	m/d
k _y	0,00001	m/d
γ	24	kN/m ³

Πίνακας 55: Δεδομένα Plaxis

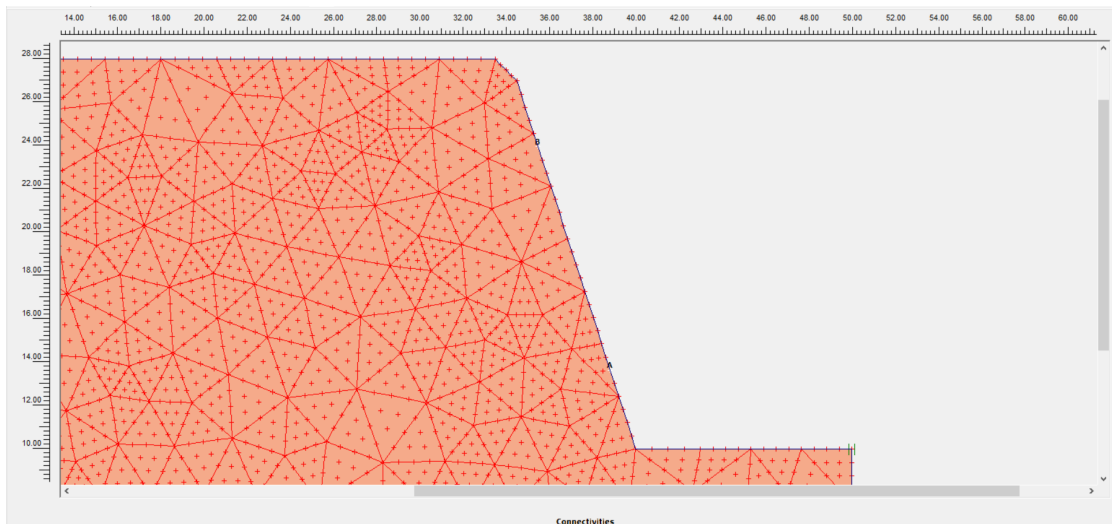
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimentions	Left	0,00	m
	Right	50,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	30,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	flysch - siltstone		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	UnDrained	
	γ_{unsat}	24	kN/m ³
	γ_{sat}	26	kN/m ³
	k_x	0,00001	m/d
	k_y	0,00001	m/d
Parameters	Eref	592028	kN/m ²
	ν	0,35	
	c ref	536,5	kN/m ²
	ϕ	18	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
K0 - procedure	ΣM - weight	1	
	K0	0,691	
Στάθμη Υ.Ο.	1m κάτω από την επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	6,173		

Σχόλια δεδομένων

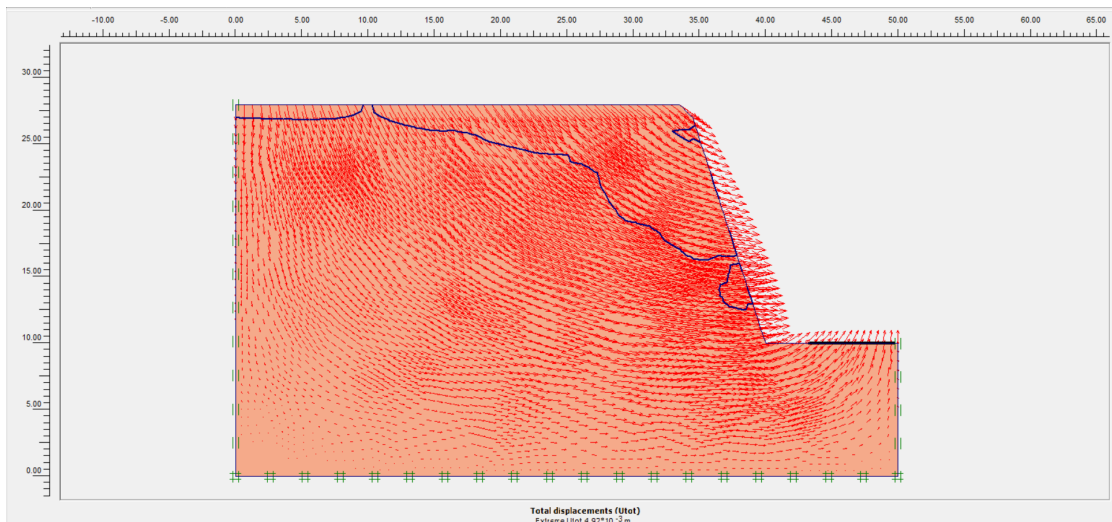
Λόγω της κατηγορίας του εν λόγω φλύσχη (XI), οι τιμές που έχουν επιλεγεί, πλην των εξαιρέσεων που αναφέρονται εδώ, ακολουθούν τιμές του ιλυόλιθου. Η επιλογή της τιμής της διαπερατότητας έγινε με το σκεπτικό της κατώτερης τιμής του ψαμμίτη, λόγω εντονότερης ύπαρξης ιλυόλιθου. Οι προκύπτουσες τιμές της συνοχής και του μέτρου ελαστικότητας, αντίστοιχα, είναι παραπλήσιες. Οπότε, ως τελική τιμή λήφθηκε ο μέσος όρος τους, αντίστοιχα. Τέλος, έγινε μία υποτίμηση της τιμής του λόγου Poisson, στην ανώτερη τιμή από τις ενδεικτικές τιμές του διαγράμματος του προηγούμενου κεφαλαίου.



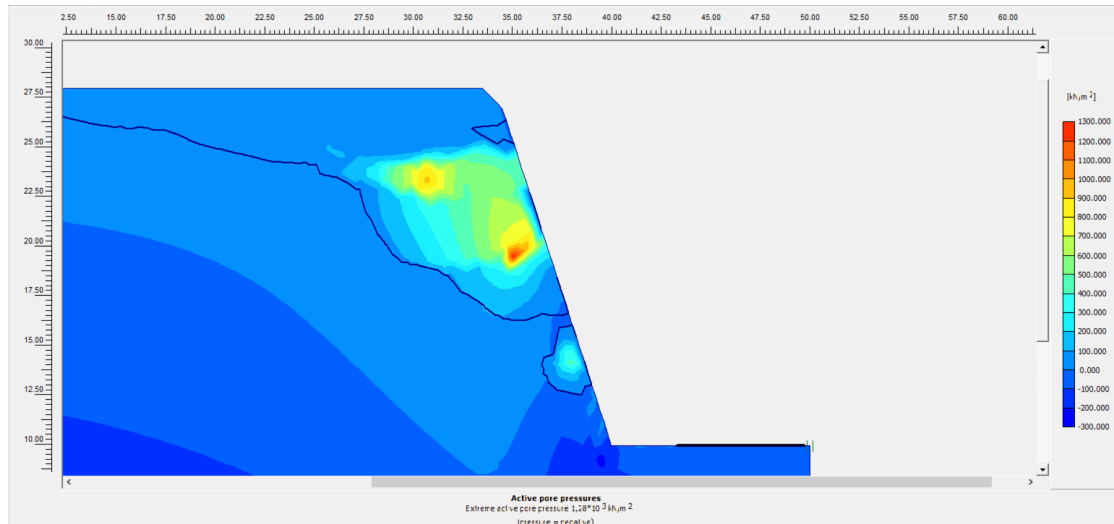
Εικόνα 64: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 65: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



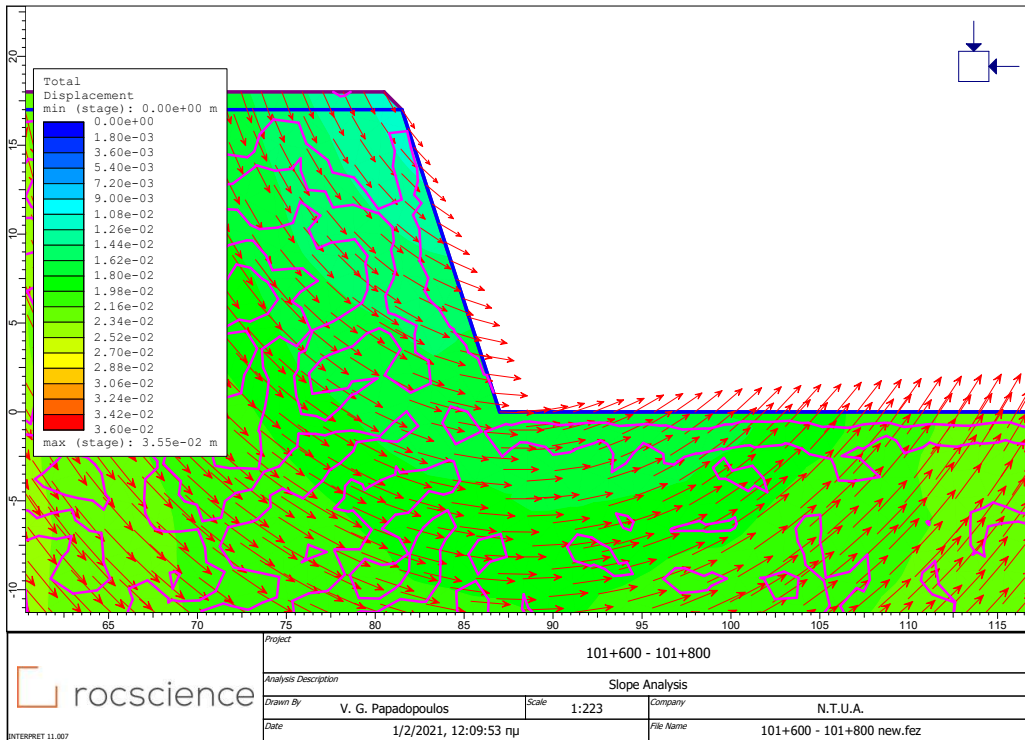
Εικόνα 66: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



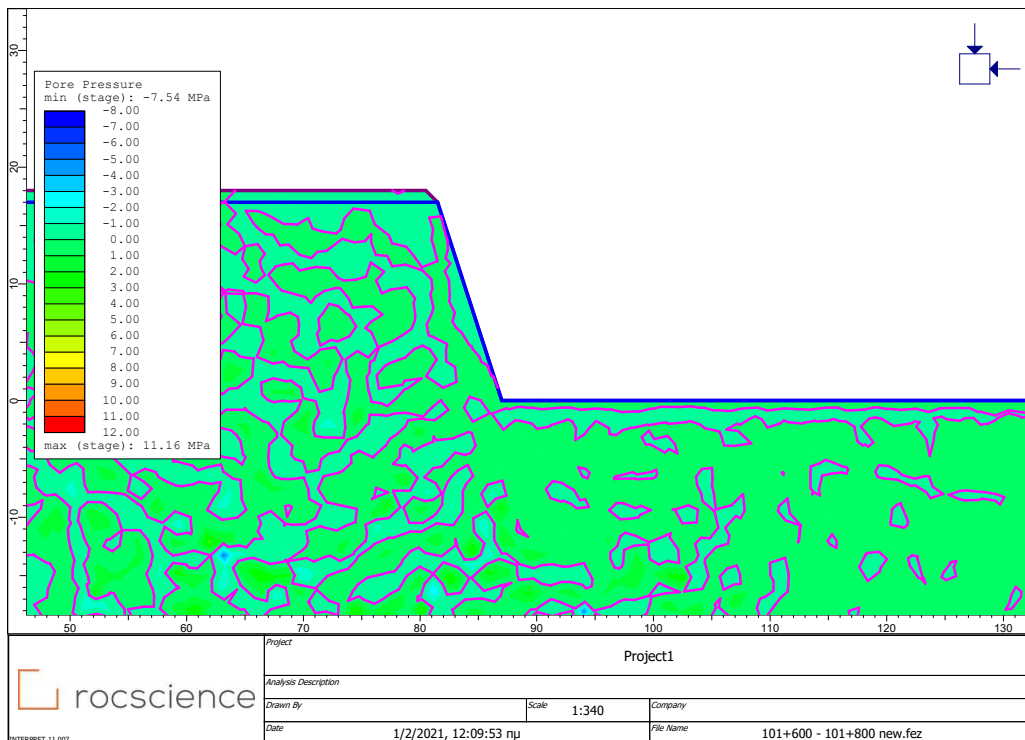
Εικόνα 67: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 56: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)		Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point
Μετατοπίσεις	(38.821 , 13.643)	Ux	$4,863 \cdot 10^{-3}$	m	27	3227
		Uy	$0,075 \cdot 10^{-3}$	m		
		ΔUx	$946,805 \cdot 10^{-6}$	m		
		ΔUy	$-24,259 \cdot 10^{-6}$	m		
Ενεργές Τάσεις	(37.279 , 14.495)	σ_{xx}	-18,118	kN/m ²	10	109
		σ_{yy}	-151,149	kN/m ²		
		σ_{xy}	36,695	kN/m ²		
		σ_{zz}	-69,142	kN/m ²		
Πίεση των Πόρων	(33.505 , 23.409)	p (excess)	47,59	kN/m ²	2711	313
		P (active)	47,591	kN/m ²		
		Βαθμός Κορεσμού	0,000	%		
Μετατοπίσεις	(35.482 , 23.964)	Ux	$3,385 \cdot 10^{-3}$	m	27	2711
		Uy	$-1,298 \cdot 10^{-3}$	m		
		ΔUx	$683,947 \cdot 10^{-6}$	m		
		ΔUy	$-265,412 \cdot 10^{-6}$	m		
Ενεργές Τάσεις	(33.505 , 23.409)	σ_{xx}	-49,363	kN/m ²	10	109
		σ_{yy}	-139,659	kN/m ²		
		σ_{xy}	-3,155	kN/m ²		
		σ_{zz}	-77,433	kN/m ²		
Πίεση των Πόρων	(33.505 , 23.409)	p (excess)	-6,446	kN/m ²	2711	313
		P (active)	-6,445	kN/m ²		
		Βαθμός Κορεσμού	26,639	%		



Εικόνα 68: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 69: Απεικόνιση των πιέσεων των πόρων

Συντ. Ασφαλείας: 2.1

Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι σχετικά ευσταθές. Στα σημεία, όπως έχουν υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι οι οριζόντιες, οι οποίες είναι της τάξης του μισού εκατοστού μέγιστη. Οι διαφορικές μετατοπίσεις λαμβάνουν πολύ μικρότερες τιμές. Υπάρχει μία έντονη υποτίμηση και διαταραχή του υδροφόρου. Οι τάσεις λαμβάνουν αρκετά υψηλές τιμές συγκριτικά με τη σ_{ci} . Ωστόσο υπάρχει μια πολύ έντονη ανομοιομορφία στις τιμές των πιέσεων των πόρων, ειδικά πάνω από το μέσον του πρανούς, αλλά και ελαφρώς ανάντη από τον πόδα. Σημεία στα οποία εντοπίζεται το φαινόμενο της μύζησης. Τα αποτελέσματα του RS2 δείχνουν σχετικά διαφοροποιημένες τιμές, ως προς τις πιέσεις των υδάτων, αλλά ταυτόχρονα είναι αρκετά υψηλότερες. Ως προς τις μετακινήσεις, αυτές προσεγγίζουν μέχρι και τα τρία εκατοστά. Τα αποτελέσματα δεν απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως υπάρχει κατολίσθηση του πρανούς. Η εικόνα, από το φωτογραφικό υλικό της έκθεσης, δείχνει την αποσάθρωση ακριβώς στα σημεία όπου εκδηλώνεται η μύζηση. Επομένως, ενδεχομένως σε κάποια βροχόπτωση, όπου ο υδροφόρος θα ανέβει, τότε στα εν λόγω σημεία με τη δημιουργία των θετικών πλέον πιέσεων, να υπάρξει πρόβλημα. Συμπερασματικά, υπάρχει σοβαρός λόγος ανησυχίας, καθότι πρόκειται για ένα πρανές κακής ποιότητας βραχομάζας, η οποία μάλιστα έχει ήδη αστοχήσει. Προτείνεται, λοιπόν, η δημιουργία (επιπλέον από τις υπάρχουσες) κεκλιμένων, ή οριζόντιων αποστραγγιστικών οπών, για να υπάρξει εκτόνωση του φαινομένου της συσσώρευσης ύδατος στο πρανές (το οποίο και έγκειται στην υψηλή υδατοστεγανότητα του ιλύολίθου). Ταυτόχρονα προτείνεται η επίστρωση εκ νέου του πρανούς με gunite, για να ενισχυθεί η επιφάνεια του, και να αποφεύγονται τμηματικές ολισθήσεις.



Εικόνα 70: Φωτογραφία από αυτοψία των μηχανικών που καταδεικνύει τις τμηματικές ολισθήσεις του πρανούς

6. Χ.Θ. 156+700 – 157+200

Πίνακας 57: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 156+700 – 157+200

Βραχομάζα	Κροκαλοπαγή	
Ύψος Πρανούς	9	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	12	m
Κλίση Πρανούς	70	°
Εύρος σci	25-50	MPa
Επιλογή σci	35	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Ελαφρώς ανώμαλη επιφάνεια, μικρό μέρος της καλυμμένο με χαλαρά τεμάχια	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχών Καταπτώσεων	150	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	3	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	1,9	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	1	m ³ /m
Πλάτος Ερείσματος	1,9	m
Κλίση Ασυνεχειών	<20	°
Ύπαρξη Καρστικών	Όχι	

Πίνακας 58: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σci	35	MPa
GSI	35	
mi	21	
D	0	
MR	350	
γ	26	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 59: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	1,745	MPa
φ	32,5	°
E	1,38924	GPa

Πίνακας 60: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	35		Εκτίμηση
E	2,567158635	GPa	Εξίσωση από GSI
E	2,494790159	GPa	Εξίσωση από GSI και σ _{ci} για <100 MPa
k _x	0,1	m/d	Εκτίμηση
k _y	0,1	m/d	Εκτίμηση
c/σ _{ci}	0,039		Διάγραμμα
c	1,365	MPa	Διάγραμμα
φ	34	°	Διάγραμμα
ν	0,31		Εξίσωση
γ	26	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 61: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

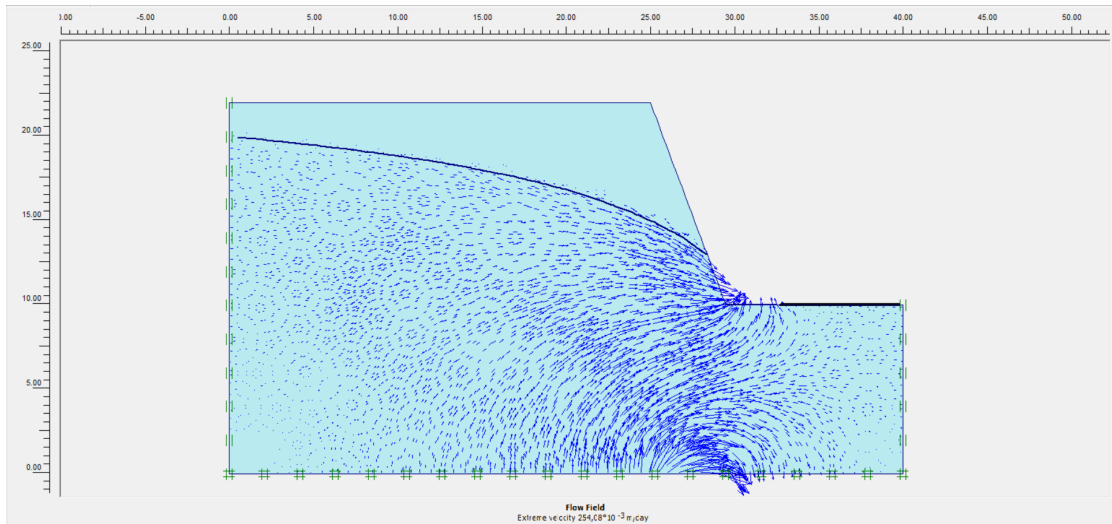
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	35	
E	2,150396265	GPa
ν	0,32	
φ	33	°
c	1,555	MPa
k _x	0,1	m/d
k _y	0,1	m/d
γ	26	kN/m ³

Πίνακας 62: Δεδομένα Plaxis

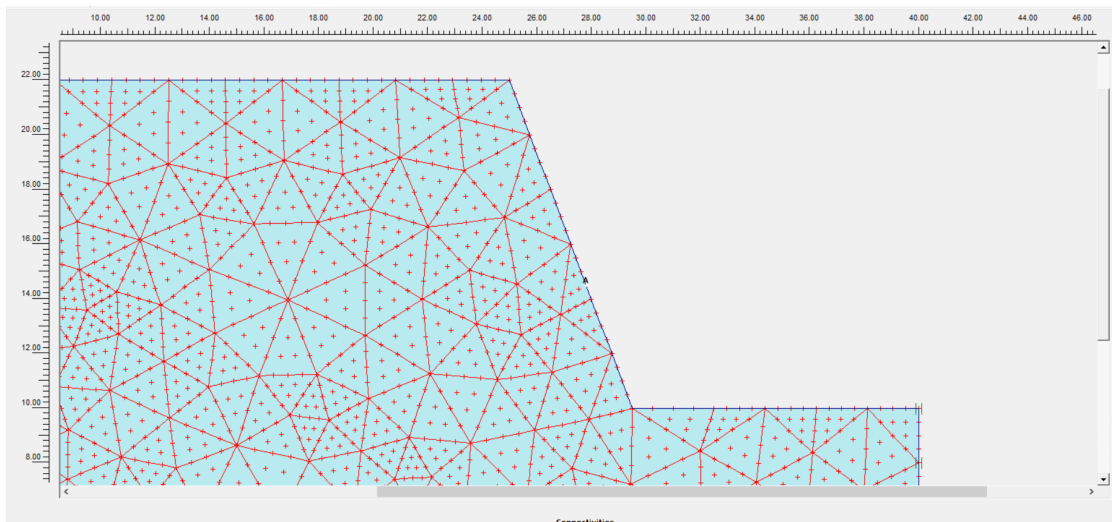
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimensions	Left	0,00	m
	Right	40,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	25,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	Conglomerate		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	Drained	
	γ_{sat}	26	kN/m ³
	γ_{sat}	28	kN/m ³
	k_x	0,1	m/d
	k_y	0,1	m/d
Parameters	Eref	2100000	kN/m ²
	ν	0,32	
	c ref	1555	kN/m ²
	ϕ	33	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
KO - procedure	ΣM - weight	1	
	KO	0,455	
Στάθμη Υ.Ο.	2m κάτω από την επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	19,014		

Σχόλια δεδομένων

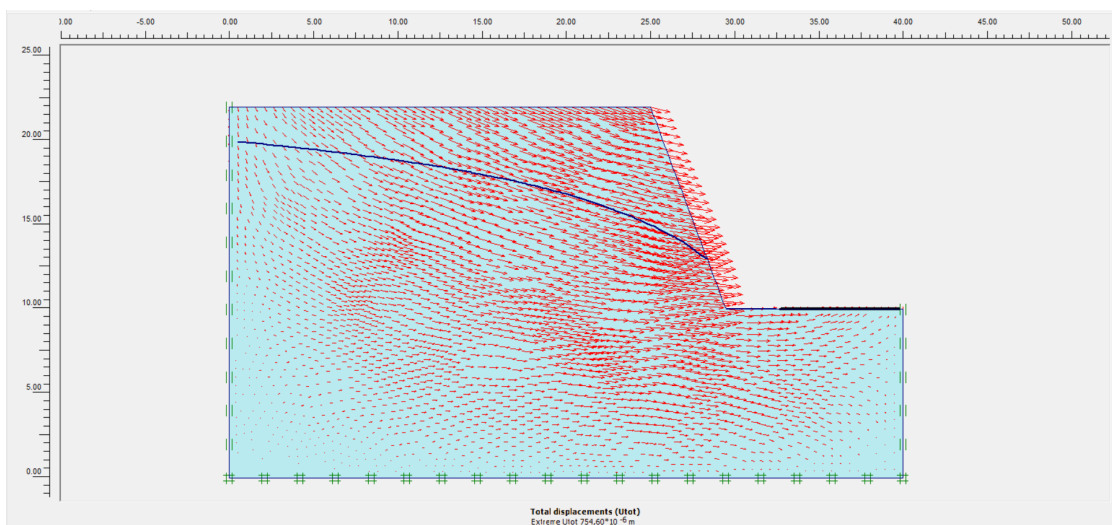
Οι προκύπτουσες τιμές της συνοχής και του μέτρου ελαστικότητας, αντίστοιχα, είναι παραπλήσιες. Οπότε, ως τελική τιμή, για το καθένα, λήφθηκε ο μέσος όρος τους.



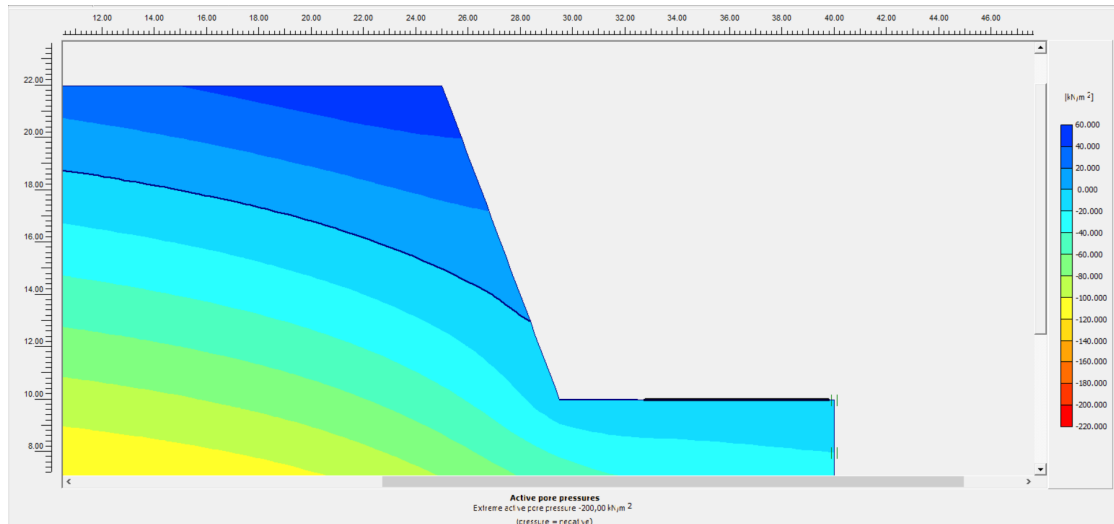
Εικόνα 71: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 72: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



Εικόνα 73: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 74: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 63: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)			Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point
Μετατοπίσεις	(27.813 , 14.500)	Ux	$744,968 \cdot 10^{-6}$	m	58	2163	685
		Uy	$-75,632 \cdot 10^{-6}$	m			
		ΔUx	$12,245 \cdot 10^{-6}$	m			
		ΔUy	$-3,377 \cdot 10^{-6}$	m			
Ενεργές Τάσεις	(26.972 , 13.624)	σ_{xx}	-5,745	kN/m ²	58	2163	685
		σ_{yy}	-87,387	kN/m ²			
		σ_{xy}	8,719	kN/m ²			
		σ_{zz}	-28,989	kN/m ²			
Πίεση των Πόρων	(26.972 , 13.624)	p (excess)	0,000	kN/m ²	58	2163	685
		P (active)	-2,490	kN/m ²			
		Βαθμός Κορεσμού	99,661	%			

Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι εξαιρετικά ευσταθές. Στο σημείο «Α», όπως έχει υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι οι οριζόντιες. Ακόμα και αυτές όμως είναι πολύ μικρές, της τάξης του ενός χιλιοστού και κάτω η μέγιστη. Οι διαφορικές μετατοπίσεις λαμβάνουν πολύ μικρότερες τιμές. Υπάρχει μία ομαλή, αλλά έντονη υποτίμηση του υδροφόρου, και η επιφανειακή εκτόνωση των υδάτων εμφανίζεται ελαφρώς ανάντη από τον πόδα του πρανούς. Τα αποτελέσματα απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως υπάρχει μια ομαλότητα γενικά, με την πλήρωση ωστόσο της βραχοπαγίδας από φερτά υλικά. Αυτό μπορεί να μη φαίνεται στις αναλύσεις, αλλά είναι κάτι λογικό, από τη στιγμή που εξαρτάται από τη χαλαρότητα στην επιφάνεια (τμηματικά) της βραχομάζας και σε εξωγενείς παράγοντες. Συμπερασματικά, δεν υπάρχει κάποιος λόγος ανησυχίας, καθότι πρόκειται για ένα πρανές σχετικά μικρού ύψους και μεγάλης τάφρου ανάσχεσης με βραχοπαγίδα. Ωστόσο, θα μπορούσε να τοποθετηθεί μια επίστρωση από gunite, ή από κάποιο ασφαλούχο γαλάκτωμα που θα συγκρατεί την πτώση χαλαρών - εδαφοποιημένων τμημάτων του πρανούς. Ταυτόχρονα, απαιτείται συχνή παρακολούθηση και καθαρισμός της βραχοπαγίδας, ειδικά μετά από έντονες βροχοπτώσεις.

7. Χ.Θ. 170+600 – 171+000

Πίνακας 64: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 170+600 – 171+000

Βραχομάζα	Κροκαλοπαγή	
Ύψος Πρανούς	18	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	23	m
Κλίση Πρανούς	80	°
	25-50	MPa
σ _{ci}	35	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Πολλές ανώμαλες περιοχές στην επιφάνεια, μικρό μέρος της καλυμμένο με χαλαρά τεμάχια	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχίων Καταπτώσεων	300	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	1,5	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	1,4	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	1	m ³ /m
Πλάτος Ερείσματος	0,9	m
Κλίση Ασυνχειών	20-45	°
Ύπαρξη Καρστικών	Όχι	

Πίνακας 65: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σ _{ci}	35	MPa
GSI	40	
m _i	21	
D	0	
MR	350	
γ	26	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 66: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	1,478	MPa
φ	28	°
E	0,941947	GPa

Πίνακας 67: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	40		Εκτίμηση
E	3,985569895	GPa	Εξίσωση από GSI
E	3,326856145	GPa	Εξίσωση από GSI και σ _{ci} για <100 MPa
k _x	0,1	m/d	Εκτίμηση
k _y	0,1	m/d	Εκτίμηση
c/σ _{ci}	0,0405		Διάγραμμα
c	1,4175	MPa	Διάγραμμα
φ	36	°	Διάγραμμα
ν	0,3		Εξίσωση
γ	26	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 68: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

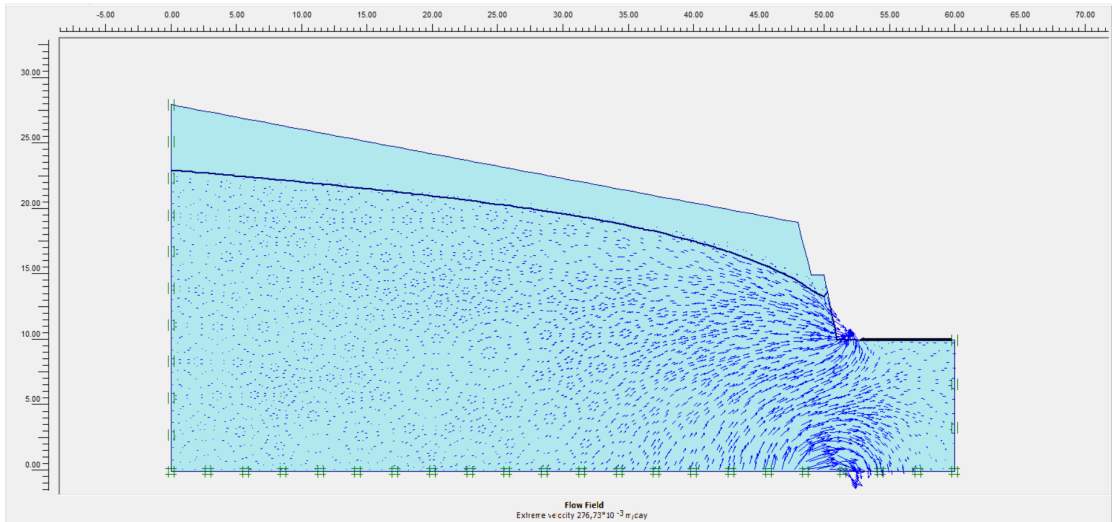
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	40	
E	1	GPa
ν	0,35	
φ	28	°
c	1,448	MPa
k _x	0,1	m/d
k _y	0,1	m/d
γ	26	kN/m ³

Πίνακας 69: Δεδομένα Plaxis

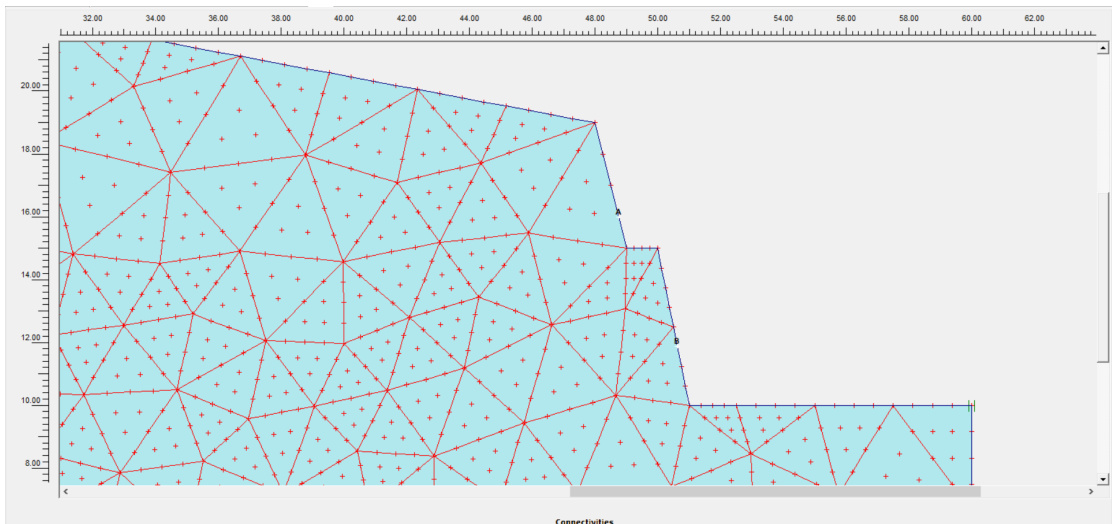
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimensions	Left	0,00	m
	Right	60,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	35,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	Conglomerate		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	Drained	
	γ_{sat}	26	kN/m ³
	γ_{sat}	28	kN/m ³
	k_x	0,1	m/d
	k_y	0,1	m/d
Parameters	E_{ref}	100000	kN/m ²
	ν	0,35	
	c_{ref}	1448	kN/m ²
	ϕ	28	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	R_{inter}	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
KO - procedure	ΣM - weight	1	
	KO	0,531	
Στάθμη Υ.Ο.	5m κάτω από την επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	10,779		

Σχόλια δεδομένων

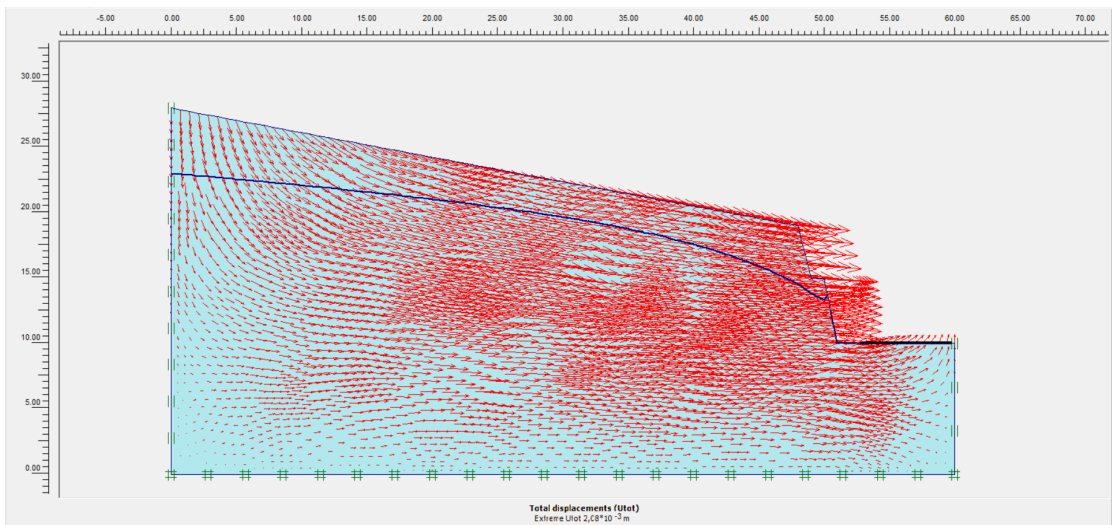
Οι προκύπτουσες τιμές της συνοχής είναι παραπλήσιες. Οπότε, ως τελική τιμή λήφθηκε ο μέσος όρος τους.



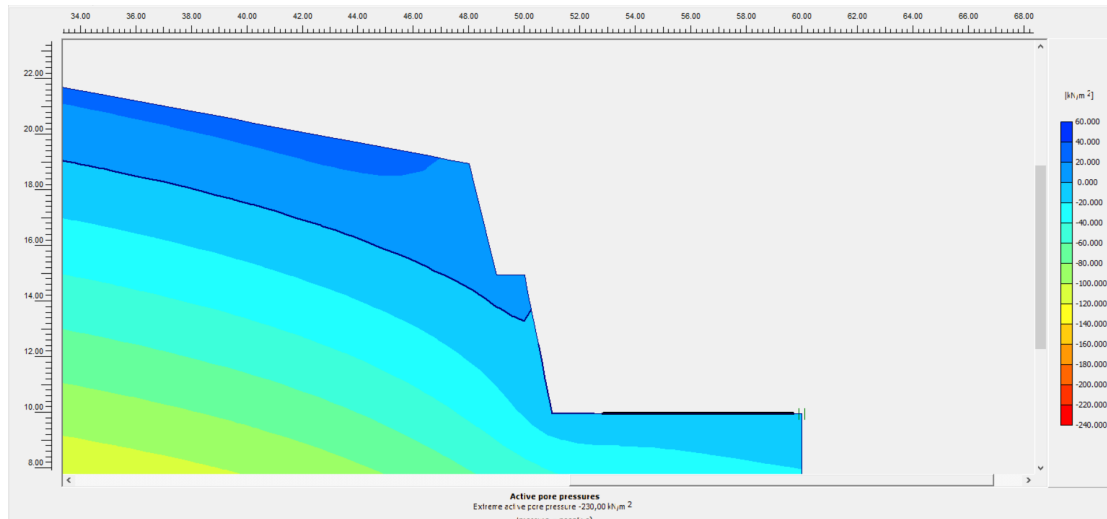
Εικόνα 75: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 76: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρσανούς



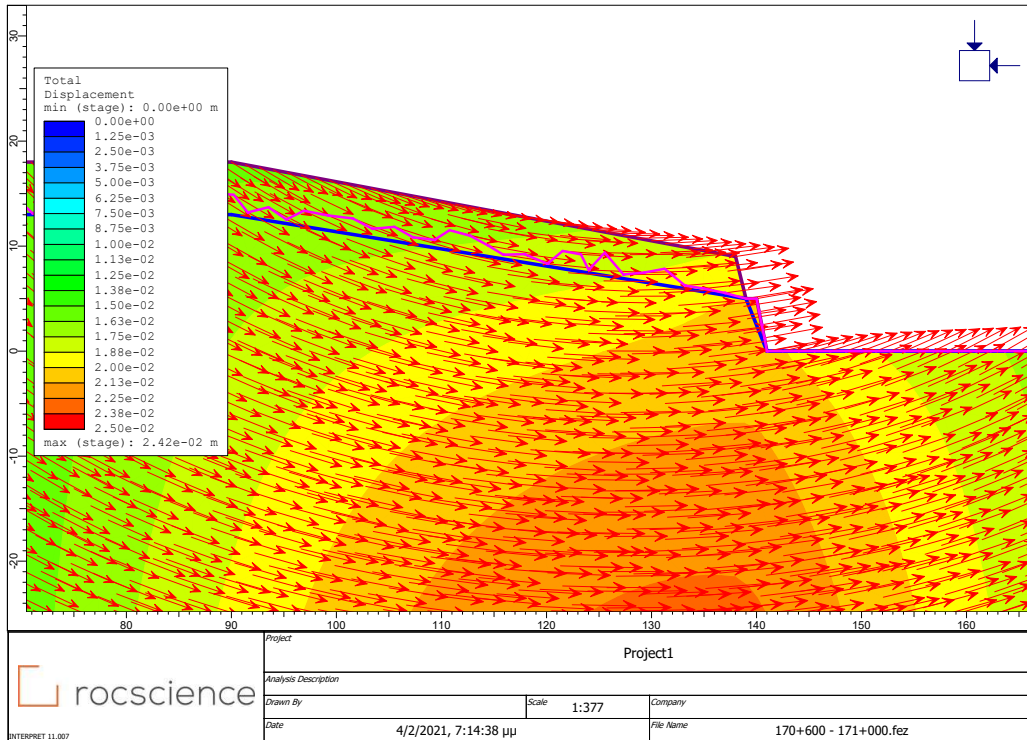
Εικόνα 77: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



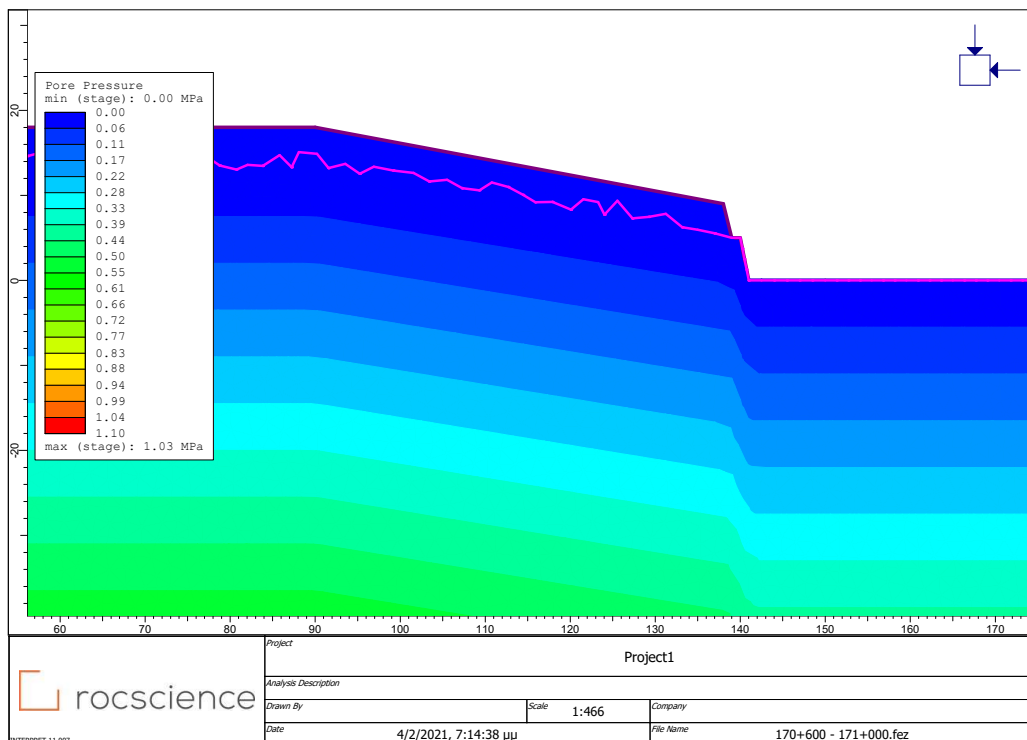
Εικόνα 78: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 70: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)		Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point
Μετατοπίσεις	(48.750 , 16.000)	Ux	$2,055 \cdot 10^{-3}$	m	70	2355
		Uy	$-147,559 \cdot 10^{-6}$	m		
		ΔUx	$125,575 \cdot 10^{-6}$	m		
		ΔUy	$-12,978 \cdot 10^{-6}$	m		
Ενεργές Τάσεις	(46.219 , 15.680)	σ_{xx}	-10,792	kN/m ²	6	830
		σ_{yy}	-97,866	kN/m ²		
		σ_{xy}	3,418	kN/m ²		
Πίεση των Πόρων	(46.219 , 15.680)	σ_{zz}	-37,541	kN/m ²		
		p (excess)	0,000	kN/m ²		
		P (active)	0,001	kN/m ²		
		Βαθμός Κορεσμού	96,177	%		
Μετατοπίσεις	(50.625 , 11.875)	Ux	$1,932 \cdot 10^{-3}$	m	6	2613
		Uy	$-172,746 \cdot 10^{-6}$	m		
		ΔUx	$114,640 \cdot 10^{-6}$	m		
		ΔUy	$-12,141 \cdot 10^{-6}$	m		
Ενεργές Τάσεις	(50.822 , 10.178)	σ_{xx}	-176,201	kN/m ²	6	62
		σ_{yy}	-243,843	kN/m ²		
		σ_{xy}	161,355	kN/m ²		
Πίεση των Πόρων	(50.822 , 10.178)	σ_{zz}	-146,889	kN/m ²		
		p (excess)	0,000	kN/m ²		
		P (active)	-2,853	kN/m ²		
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%		



Εικόνα 79: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 80: Απεικόνιση των πιέσεων των πόρων

Συντ. Ασφαλείας: 5.5

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι εξαιρετικά ευσταθές. Στα σημεία, όπως έχουν υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι οι οριζόντιες. Ακόμα και αυτές όμως είναι πολύ μικρές, της τάξης των δύο χιλιοστών και κάτω η μέγιστη. Οι διαφορικές μετατοπίσεις λαμβάνουν πολύ μικρότερες τιμές. Υπάρχει μία ομαλή, αλλά έντονη υποτίμηση του υδροφόρου, και η επιφανειακή εκτόνωση των υδάτων εμφανίζεται ελαφρώς ανάντη από τον πόδα του πρανούς. Τα αποτελέσματα του RS2 δείχνουν αντίστοιχη κατάσταση, ως προς τις πιέσεις των υδάτων. Από την άλλη οι μετατοπίσεις λαμβάνουν πολύ μεγαλύτερες τιμές περί τα δύο εκατοστά, ωστόσο και πάλι είναι ανεκτές. Τα αποτελέσματα απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως υπάρχει μια σχετική ομαλότητα γενικά, με την πλήρωση, ωστόσο, της βραχοπαγίδας από φερτά υλικά. Αυτό μπορεί να μη φαίνεται στις αναλύσεις, αλλά είναι κάτι λογικό, από τη στιγμή που εξαρτάται από τη χαλαρότητα στην επιφάνεια της βραχομάζας (ανάντη του πρανούς) και από εξωγενείς παράγοντες. Συμπερασματικά, δεν υπάρχει κάποιος σοβαρός λόγος ανησυχίας, καθότι πρόκειται για ένα πρανές σχετικά μικρού ύψους και όχι κακής ποιότητας βραχομάζας, η οποία μάλιστα έχει ήδη επιστρωθεί με μια λεπτή στρώση gunite, η οποία δεν ελήφθη υπ' όψιν στις αναλύσεις. Ωστόσο, απαιτείται μια εκ νέου επίστρωση από gunite που θα συγκρατεί την πτώση χαλαρών - εδαφοποιημένων σημείων του πρανούς και τοποθέτηση πλέγματος. Ταυτόχρονα, συχνή παρακολούθηση και καθαρισμός της βραχοπαγίδας, ειδικά μετά από έντονες βροχοπτώσεις. Επιπλέον, μπορεί να γίνει μείωση της κλίσης του πρανούς, ή ακόμα και τοποθέτηση μεταλλικού πλέγματος με αγκυρώσεις, με λειτουργία ως τοίχος αντιστήριξης. Επι του παρόντος, βέβαια οι τελευταίες λύσεις δεν κρίνονται απαραίτητες.

8. Χ.Θ. 173+900 – 174+300

Πίνακας 71: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 173+900 – 174+300

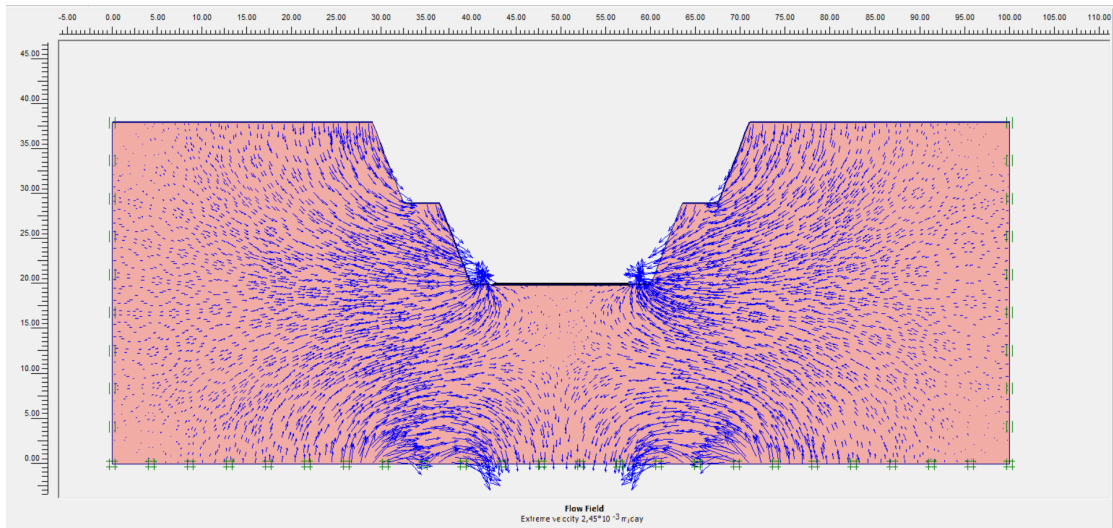
Βραχομάζα	Εδαφικά	
Ύψος Πρανούς	18	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	18	m
Κλίση Πρανούς	70	°
σ _{ci}	25-50	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Ελαφρώς ανώμαλη επιφάνεια, μέρος της καλυμμένο με χαλαρά τεμάχη	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχών Καταπτώσεων	300	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	1,9	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	0	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	1,9	m ³ /m
Κλίση Ασυνεχειών	<20	°
Ύπαρξη Καρστικών	Πιθανή Ύπαρξη	

Πίνακας 72: Δεδομένα Plaxis

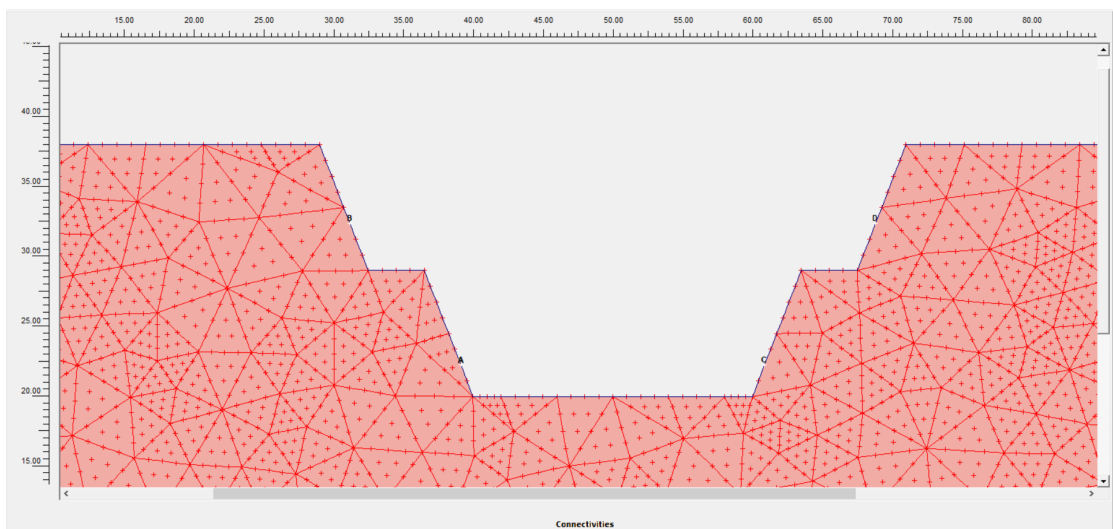
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimentions	Left	0,00	m
	Right	100,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	50,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	Clay		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	UnDrained	
	γ_{unsat}	17	kN/m ³
	γ_{sat}	20	kN/m ³
	k_x	0,001	m/d
	k_y	0,001	m/d
Parameters	Eref	30000	kN/m ²
	ν	0,35	
	c ref	40	kN/m ²
	ϕ	30	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
KO - procedure	ΣM - weight	1	
	KO	0,5	
Στάθμη Υ.Ο.	Στην επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	1,230		

Σχόλια δεδομένων

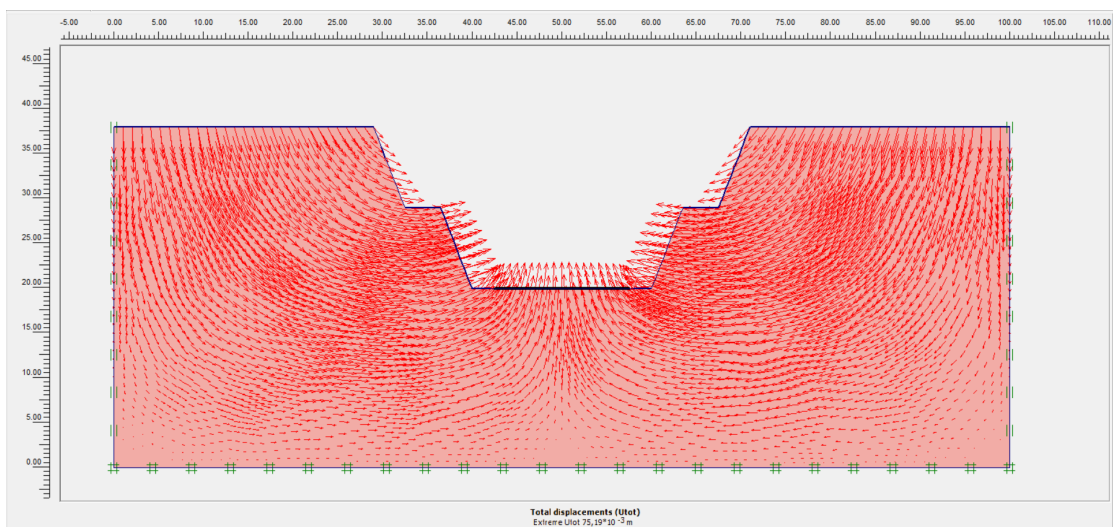
Το εδαφικό υλικό θεωρήθηκε άργιλος. Επομένως, τα γεωτεχνικά στοιχεία εκτιμήθηκαν για άργιλο και με βάση το φωτογραφικό υλικό. Η υψηλή τιμή της συνοχής αποδίδεται στο μεγάλο ύψος του πρανούς, γεγονός που υποδηλώνει καλά μηχανικά χαρακτηριστικά και στην υψηλή τιμή της σ_{ci} .



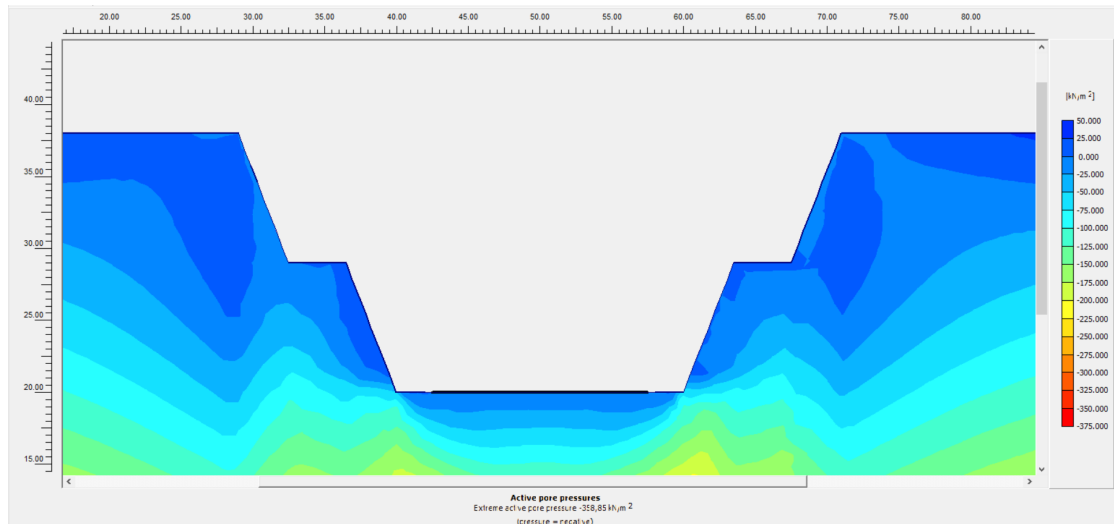
Εικόνα 81: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



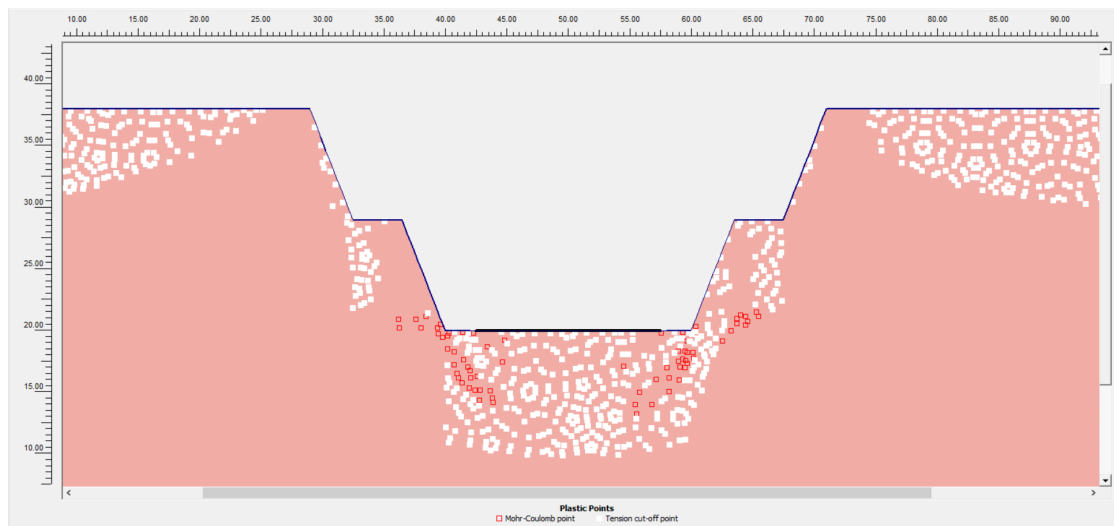
Εικόνα 82: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



Εικόνα 83: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 84: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων



Εικόνα 85: Σημεία πλαστικοποίησης εδαφικού πρανούς

Πίνακας 73: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)			Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point
Μετατοπίσεις	(39.125 , 22.250)	Ux	68,991*10 ⁻³	m	345	1512	
		Uy	21,883*10 ⁻³	m			
		ΔUx	3,546*10 ⁻³	m			
		ΔUy	0,255*10 ⁻³	m			
Ενεργές Τάσεις	(39.633 , 20.523)	σxx	-31,370	kN/m ²	345	4130	
		σyy	-111,430	kN/m ²			
		σxy	57,840	kN/m ²			
		σzz	-47,613	kN/m ²			
Πίεση των Πόρων		p (excess)	-11,138	kN/m ²			
		P (active)	-13,868	kN/m ²			

		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%			
Μετατοπίσεις	(31.188 , 32.375)	U _x	43,507*10 ⁻³	m	346	1047	
		U _y	-11,973*10 ⁻³	m			
		ΔU _x	2,057*10 ⁻³	m			
		ΔU _y	-1,002*10 ⁻³	m			
Ενεργές Τάσεις	(28.271 , 29.271)	σ _{xx}	-37,826	kN/m ²	346	4141	
		σ _{yy}	-173,012	kN/m ²			
		σ _{xy}	8,609	kN/m ²			
		σ _{zz}	-70,225	kN/m ²			
Πίεση των Πόρων		ρ (excess)	47,460	kN/m ²			
		P (active)	15,619	kN/m ²			
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%			
Μετατοπίσεις	(60.875 , 22.250)	U _x	-71,930*10 ⁻³	m	132	2222	
		U _y	17,536*10 ⁻³	m			
		ΔU _x	-3,824*10 ⁻³	m			
		ΔU _y	0,116*10 ⁻³	m			
Ενεργές Τάσεις	(63.737 , 20.994)	σ _{xx}	-34,836	kN/m ²	132	1575	
		σ _{yy}	-126,543	kN/m ²			
		σ _{xy}	-59,332	kN/m ²			
		σ _{zz}	-53,792	kN/m ²			
Πίεση των Πόρων		ρ (excess)	0,388	kN/m ²			
		P (active)	-42,801	kN/m ²			
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%			
Μετατοπίσεις	(68.813 , 32.375)	U _x	-46,015*10 ⁻³	m	70	2683	
		U _y	-13,440*10 ⁻³	m			
		ΔU _x	-2,230*10 ⁻³	m			
		ΔU _y	-1,132*10 ⁻³	m			
Ενεργές Τάσεις	(71.633 , 30.345)	σ _{xx}	-25,118	kN/m ²	70	830	
		σ _{yy}	-147,477	kN/m ²			
		σ _{xy}	-6,333	kN/m ²			
		σ _{zz}	-57,488	kN/m ²			
Πίεση των Πόρων		ρ (excess)	37,948	kN/m ²			
		P (active)	12,925	kN/m ²			
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%			

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές δεν είναι αρκετά ευσταθές. Στα σημεία, όπως έχουν υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι οι τόσο οι οριζόντιες, όσο και οι κατακόρυφες, οι οποίες λαμβάνουν τιμές της τάξης των επτά εκατοστών η μέγιστη. Οι διαφορικές μετατοπίσεις λαμβάνουν μικρότερες, αλλά όχι ασήμαντες τιμές. Οι τιμές των τάσεων και των πιέσεων των πόρων, λαμβάνουν μέτριες τιμές, αλλά σχετικά μικρές συγκριτικά με την τιμή της σ_{ci} . Υπάρχει μία ομαλή, αλλά έντονη υποτίμηση του υδροφόρου. Επιπλέον, η ροή των υδάτων είναι σχετικά παράλληλη με την επιφάνεια του πρανούς, γεγονός που υποδεικνύει πως η πίεση είναι σχεδόν υδροστατική. Ακόμη, παρατηρούνται σημεία πλαστικοποίησης στους πόδες του ορύγματος. Τα αποτελέσματα δεν απεικονίζουν απόλυτα την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως έχει γεμίσει η βραχοπαγίδα με φερτά. Αυτό σχετίζεται με τη λήψη συντηρητικότερων γεωτεχνικών δεδομένων, απ' ότι ισχύει πραγματικά. Ωστόσο, τα φερτά υλικά έχουν προκύψει από μικρές τμηματικές αστοχίες – ολισθήσεις, που οφείλονται στις υψηλές τιμές των μετατοπίσεων, αλλά και σε εξωγενείς παράγοντες. Συμπερασματικά, υπάρχει ένας μικρός λόγος ανησυχίας, παρότι πρόκειται για ένα πρανές με σχετικά μικρό ύψος. Αυτό διότι είναι εδαφικό και δεν έχει μεγάλη τάφρο ανάσχεσης. Απαραίτητη, λοιπόν, κρίνεται η τοποθέτηση πλέγματος για τη συγκράτηση των τμηματικών ολισθήσεων και τακτικό καθάρισμα της τάφρου ανάσχεσης. Επιπλέον, μπορεί να γίνει διαπλάτυνση της τάφρου, ή και απομείωση της κλίση του πρανούς.

9. Χ.Θ. 179+000 – 180+000

Πίνακας 74: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 179+000 – 180+000

Βραχομάζα	Ασβεστολιθική Σειρά	
Ύψος Πρανούς	18	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	32	m
Κλίση Πρανούς	80	°
Εύρος σci	>100	MPa
Επιλογή σci	100	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Πολλές ανώμαλες περιοχές στην επιφάνεια, μικρό μέρος της καλυμμένο με χαλαρά τεμάχια	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχίων Καταπτώσεων	300	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	1,5	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	1,4	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	1	m ³ /m
Πλάτος Ερείσματος	0,9	m
Κλίση Ασυνχειών	20-45	°
Ύπαρξη Καρστικών	Πιθανή Ύπαρξη	

Πίνακας 75: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σci	100	MPa
GSI	50	Κατηγορία C
mi	10	
D	0,5	
MR	325	
γ	25	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 76: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	4	MPa
φ	26	°
E	4,775616	GPa

Πίνακας 77: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	50		Εκτίμηση
E	9,340700472	GPa	Εξίσωση από GSI
E	10	GPa	Εξίσωση από GSI και σ _{ci} για <100 MPa
k _x	1	m/d	Εκτίμηση
k _y	1	m/d	Εκτίμηση
c/σ _{ci}	0,04		Διάγραμμα
c	4	MPa	Διάγραμμα
φ	31,5	°	Διάγραμμα
ν	0,33		Εξίσωση
γ	25	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 78: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

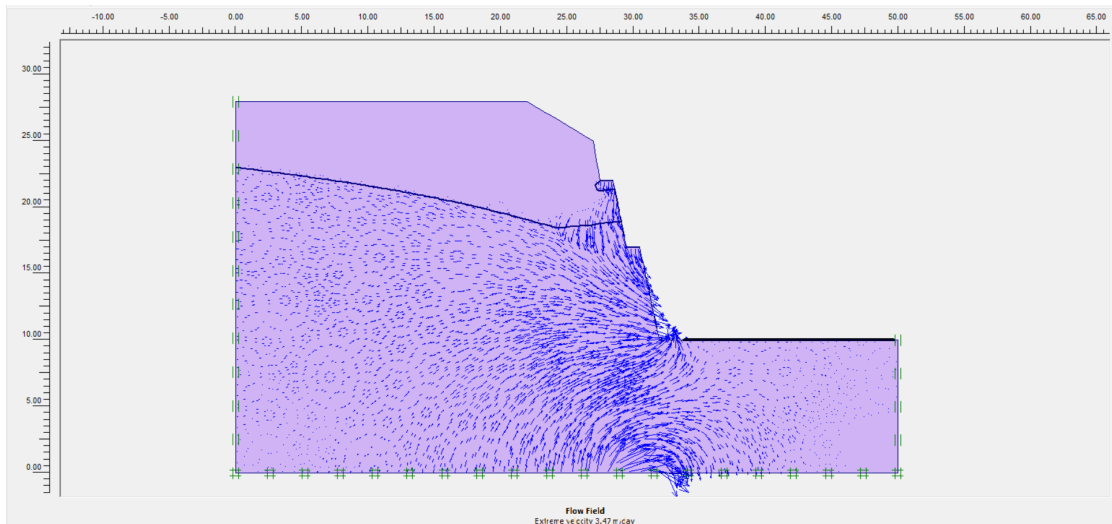
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	50	
E	6	GPa
ν	0,33	
φ	28	°
c	4	MPa
k _x	1	m/d
k _y	1	m/d
γ	25	kN/m ³

Πίνακας 79: Δεδομένα Plaxis

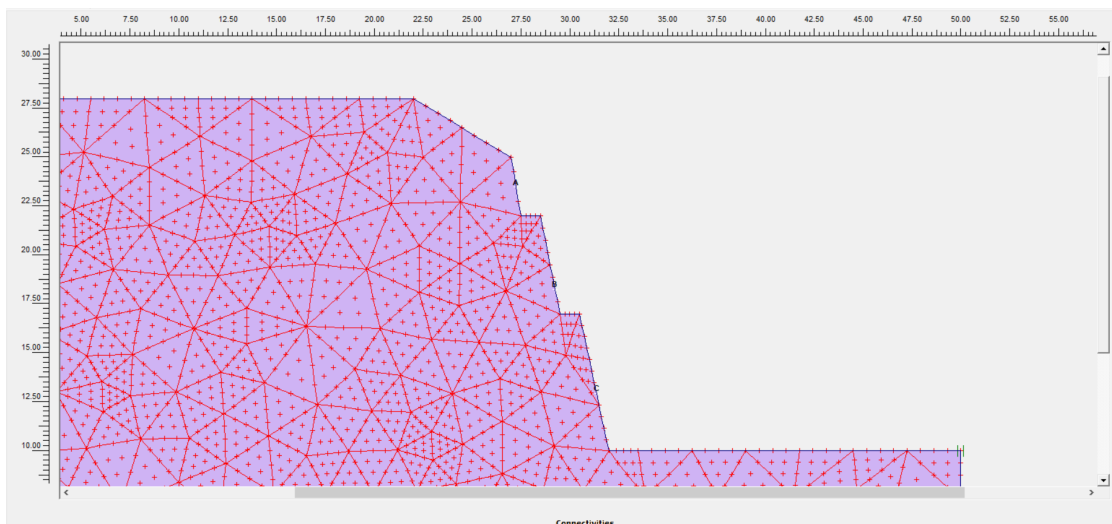
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimentions	Left	0,00	m
	Right	50,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	30,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	Limestone		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	Drained	
	γ_{sat}	25	kN/m ³
	γ_{sat}	27	kN/m ³
	k_x	1	m/d
	k_y	1	m/d
Parameters	Eref	6000000	kN/m ²
	ν	0,33	
	c ref	4000	kN/m ²
	ϕ	28	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
KO - procedure	ΣM - weight	1	
	KO	0,485	
Στάθμη Υ.Ο.	5m από την επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	27,773		

Σχόλια δεδομένων

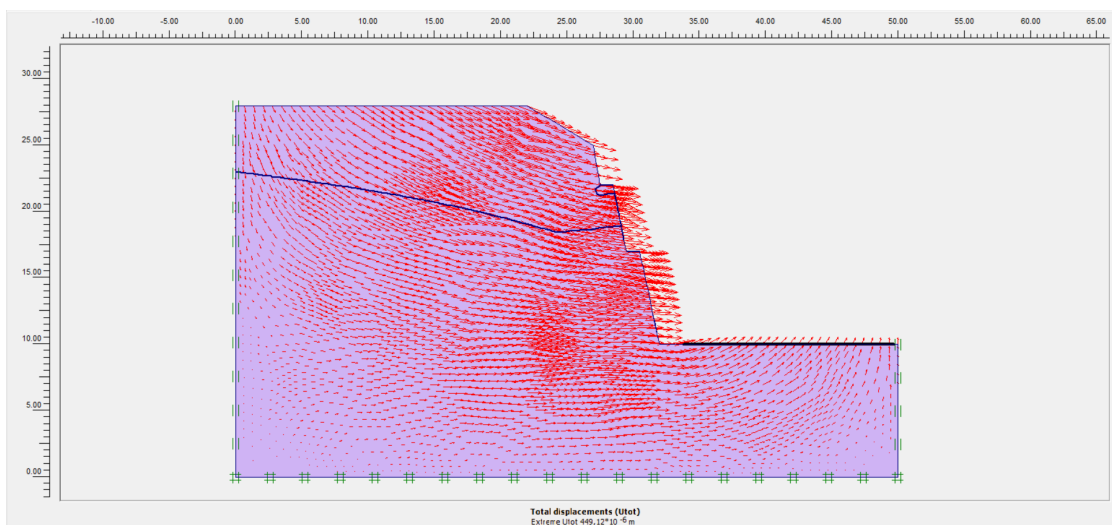
Οι προκύπτουσες τιμές της συνοχής είναι παραπλήσιες. Οπότε, ως τελική τιμή λήφθηκε ο μέσος όρος τους.



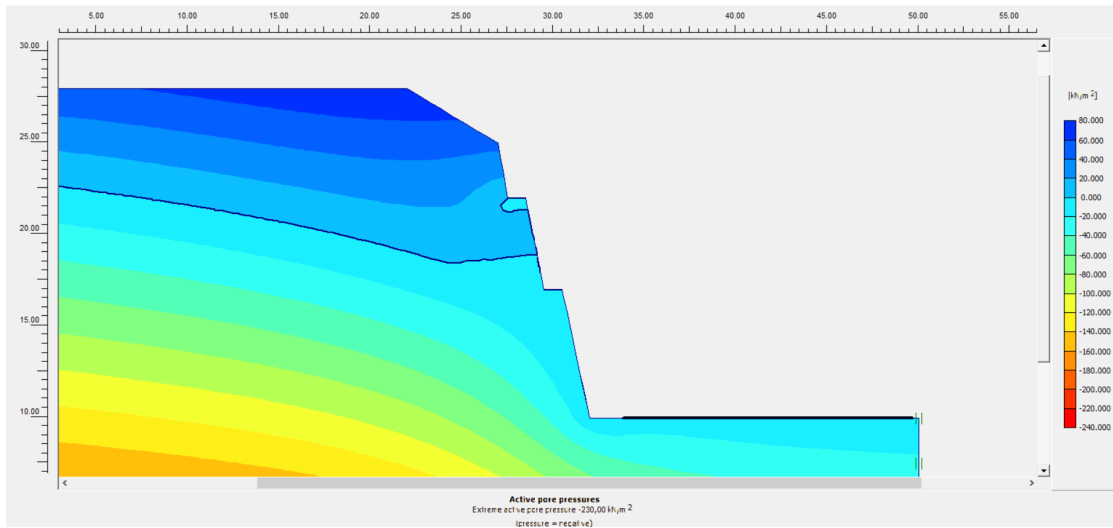
Εικόνα 86: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 87: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



Εικόνα 88: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 89: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 80: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)			Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point		
Μετατοπίσεις	(31.375 , 12.917)	Ux	437,385*10 ⁻⁶	m	5	2182			
		Uy	-22,997*10 ⁻⁶	m					
		ΔUx	268,450*10 ⁻⁶	m					
		ΔUy	-22,713*10 ⁻⁶	m					
Ενεργές Τάσεις	(31.361 , 12.642)	σxx	-3,267	kN/m ²			50		
		σyy	-64,933	kN/m ²					
		σxy	14,565	kN/m ²					
		σzz	-22,267	kN/m ²					
Πίεση των Πόρων		p (excess)	0,000	kN/m ²					
		P (active)	-2,109	kN/m ²					
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%					
Μετατοπίσεις	(29.250 , 18.250)	Ux	424,225*10 ⁻⁶	m		11		1890	
		Uy	-36,175*10 ⁻⁶	m					
		ΔUx	269,665*10 ⁻⁶	m					
		ΔUy	-34,393*10 ⁻⁶	m					
Ενεργές Τάσεις	(27.064 , 18.195)	σxx	-0,380	kN/m ²			121		
		σyy	-146,592	kN/m ²					
		σxy	2,879	kN/m ²					
		σzz	-47,701	kN/m ²					
Πίεση των Πόρων		p (excess)	0,000	kN/m ²					
		P (active)	-2,220	kN/m ²					
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%					
Μετατοπίσεις	(27.250 , 23.500)	Ux	357,763*10 ⁻⁶	m	74			1356	
		Uy	-69,450*10 ⁻⁶	m					
		ΔUx	244,230*10 ⁻⁶	m					
		ΔUy	-55,118*10 ⁻⁶	m					
Ενεργές Τάσεις	(24.756 , 22.824)	σxx	-0,002	kN/m ²			878		
		σyy	-87,760	kN/m ²					
		σxy	-0,464	kN/m ²					
		σzz	-28,517	kN/m ²					
Πίεση των Πόρων		p (excess)	0,000	kN/m ²					
		P (active)	0,001	kN/m ²					
		Βαθμός Κορεσμού	67,971	%					

Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι εξαιρετικά ευσταθές. Στα σημεία, όπως έχουν υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι οι οριζόντιες. Ακόμα και αυτές όμως είναι πολύ μικρές, της τάξης του μισού χιλιοστού η μέγιστη. Οι διαφορικές μετατοπίσεις λαμβάνουν αντίστοιχες περίπου τιμές, ανά διεύθυνση. Υπάρχει μία ομαλή υποτίμηση του υδροφόρου με μία έντονη διαταραχή αυτού στο δεύτερο πατάρι του πρανούς, στο οποίο ξεκινά και η επιφανειακή εκτόνωση των υδάτων. Τα αποτελέσματα απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως υπάρχει μια ομαλότητα γενικά, με ύπαρξη ωστόσο κάποιων χαλαρών βράχων. Αυτό μπορεί να μη φαίνεται στις αναλύσεις, αλλά είναι κάτι λογικό, από τη στιγμή που εξαρτάται από τοπικές ανισοτροπίες, αλλά και από τη φύση των βραχωδών πρανών με έντονες ασυνέχειες και, ταυτόχρονα, υψηλή συνοχή και αντοχή του υλικού. Συμπερασματικά, δεν υπάρχει κάποιος λόγος ανησυχίας, καθότι πρόκειται για ένα πρανές με πολύ ισχυρή βραχομάζα. Ωστόσο, θα μπορούσε να τοποθετηθεί ένα πλέγμα που θα λειτουργεί ως βραχοπαγίδα, καθότι η τάφρος ανάσχεσης δεν είναι αρκετά μεγάλη. Πιο απλή λύση και πολύ πιο οικονομική είναι η τακτική παρακολούθηση του εν λόγω πρανούς και το ξεσκάρωμα βραχοσφηνών που θεωρούνται επικίνδυνες, ειδικά μετά από έντονα καιρικά φαινόμενα.

10. Χ.Θ. 230+250

Πίνακας 81: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 230+250

Βραχομάζα	Ασβεστολιθική Σειρά	
Ύψος Πρανούς	18	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	>60	m
Κλίση Πρανούς	80	°
Εύρος σ _{ci}	25-50	MPa
Επιλογή σ _{ci}	35	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Πολλές ανώμαλες περιοχές στην επιφάνεια, μικρό μέρος της καλυμμένο με χαλαρά τεμάχια	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχίων Καταπτώσεων	300	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	1,5	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	1,4	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	1	m ³ /m
Πλάτος Ερείσματος	0,9	m
Κλίση Ασυνχειών	20-45	°
Ύπαρξη Καρστικών	Όχι	

Πίνακας 82: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σ _{ci}	35	MPa
GSI	35	
m _i	10	
D	0	
MR	325	
γ	25	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 83: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	1,357	MPa
φ	26,09	°
E	1,29	GPa

Πίνακας 84: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	35		Εκτίμηση
E	2,567158635	GPa	Εξίσωση από GSI
E	2,494790159	GPa	Εξίσωση από GSI και σ _{ci} για <100 MPa
k _x	0,5	m/d	Εκτίμηση
k _y	0,5	m/d	Εκτίμηση
c/σ _{ci}	0,03		Διάγραμμα
c	1,05	MPa	Διάγραμμα
φ	28	°	Διάγραμμα
ν	0,35		Εξίσωση
γ	25	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 85: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	35	
E	2,5	GPa
ν	0,35	
φ	28	°
c	1,2035	MPa
k _x	0,5	m/d
k _y	0,5	m/d
γ	25	kN/m ³

Πίνακας 86: Δεδομένα Plaxis

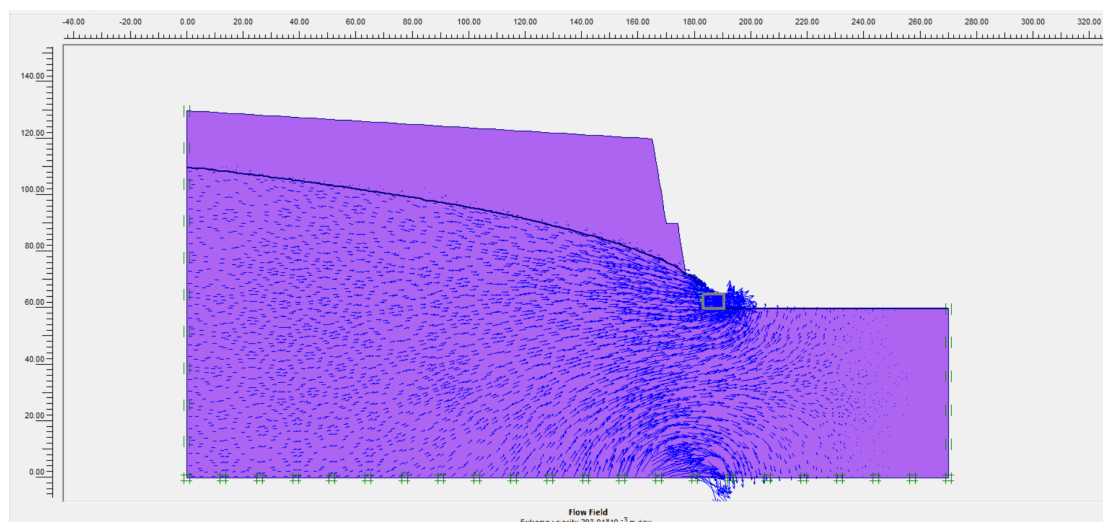
Plaxis				
General settings				
Model	Plane strain			
Elements	15-Node			
Geometry dimensions	Left	0,00	m	
	Right	100,00	m	
	Bottom	0,00	m	
	Top	120,00	m	
Material sets				
Set type	Soil & Interfaces			
Name	Limestone		Fill	
General	Material model	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb	
	Material type	Drained	Drained	
	γ_{unsat}	25	16	kN/m ³
	γ_{sat}	27	20	kN/m ³
	k_x	0,5	1	m/d
	k_y	0,5	1	m/d
Parameters	Eref	2500000	8000	kN/m ²
	ν	0,35	0,3	
	c ref	1204	1	kN/m ²
	ϕ	28	30	°
	ψ	0	0	°
Interfaces	Rigid		Manual	
	Rinter	1	0,65	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	Fine	
K0 - procedure	ΣM - weight	1	1	
	K0	0,531	0,5	
Στάθμη Υ.Ο.	20m από την επιφάνεια			
Συντ. Ασφαλείας				

Πίνακας 87: Δεδομένα Plaxis για τη σήραγγα και το καταναεμημένο φορτίο

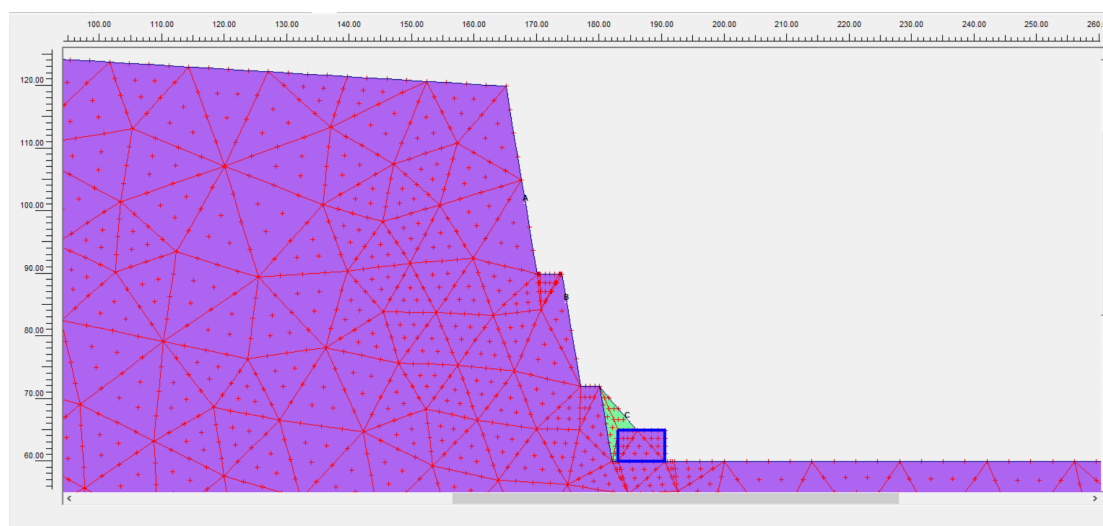
Plates		
Name	Cut & Cover tunnel	
Material type	Elastic	
EA	30000000	kN/m
EI	20000000	kNm ² /m
w	8,4	kN/m/m
ν	0,15	
Καταναεμημένο Φορτίο 3x3		
Φορτίο	-170	kN/m ²

Σχόλια δεδομένων

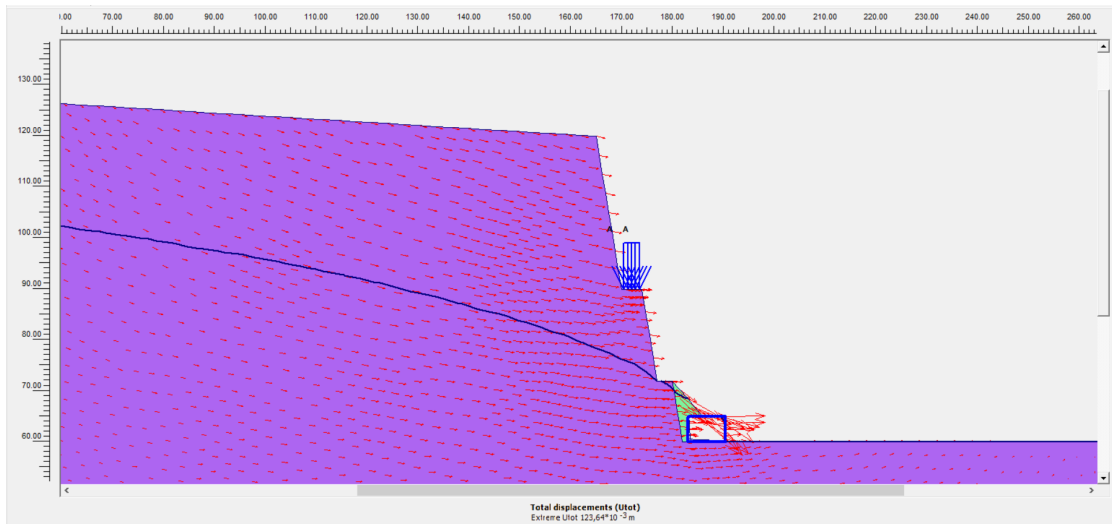
Οι προκύπτουσες τιμές της συνοχής είναι παραπλήσιες. Οπότε, ως τελική τιμή λήφθηκε ο μέσος όρος τους. Επιπλέον, οι τιμές που δόθηκαν για τα χαρακτηριστικά της σήραγγας είναι ενδεικτικά, καθότι δεν υπήρχαν τα αντίστοιχα δεδομένα, για το λόγο αυτό στα αποτελέσματα των αναλύσεων δε γίνεται αναφορά στις μετακινήσεις και στις τάσεις επί της σήραγγας. Επίσης, η ανάλυση έγινε με ένα σενάριο πολύ δυσμενές που δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Αυτό είναι η εξίσωση της θέσης της σήραγγας με τον υπερκείμενο πυλώνα υπερυψηλής. Στην πραγματικότητα, ο πυλώνας βρίσκεται ακριβώς μπροστά από το στόμιο της σήραγγας. Τέλος, η τιμή του φορτίου που ασκεί ο πυλώνας είναι και πάλι ενδεικτική, ειλημμένη με βάση μια συνήθη τιμή των 150 τόνων (μαζί το βάρος των καλωδιώσεων που του αναλογεί).



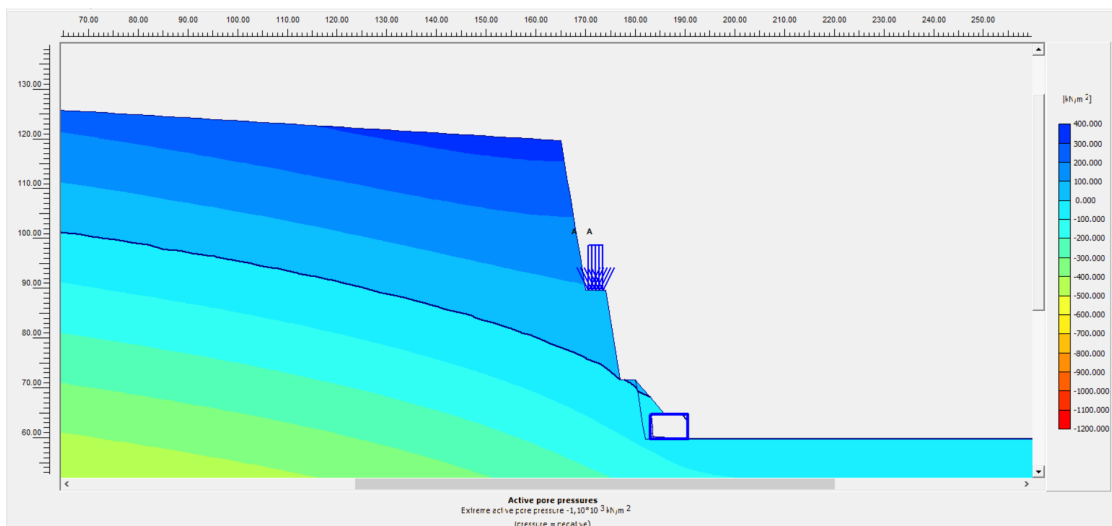
Εικόνα 90:: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 91: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρσανούς



Εικόνα 92: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 93: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 88: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)			Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point	
Μετατοπίσεις	(168.125 , 101.250)	Ux	19,242*10 ⁻³	m	63	1273		
		Uy	-3,038*10 ⁻³	m				
		ΔUx	7,021*10 ⁻³	m				
		ΔUy	-0,001325	m				
Ενεργές Τάσεις	(166.187 , 98.140)	σxx	-0,039	kN/m2			748	
		σyy	-358,455	kN/m2				
		σxy	3,716	kN/m2				
		σzz	-123,686	kN/m2				
Πίεση των Πόρων		p (excess)	0	kN/m2				
		P (active)	0,001	kN/m2				
		Βαθμός Κορεσμού	0	%				
Μετατοπίσεις	(174.750 , 85.500)	Ux	20,622*10 ⁻³	m		21	1053	
		Uy	-2,234*10 ⁻³	m				
		ΔUx	7,211*10 ⁻³	m				
		ΔUy	-1,014*10 ⁻³	m				
Ενεργές Τάσεις	(173.905 , 84.086)	σxx	-2,08	kN/m2			245	
		σyy	-233,919	kN/m2				
		σxy	18,096	kN/m2				
		σzz	-81,883	kN/m2				
Πίεση των Πόρων		p (excess)	0	kN/m2				
		P (active)	0,001	kN/m2				
		Βαθμός Κορεσμού	32,176	%				
Μετατοπίσεις	(184.500 , 66.750)	Ux	115,163*10 ⁻³	m	398		769	
		Uy	-44,983*10 ⁻³	m				
		ΔUx	63,096*10 ⁻³	m				
		ΔUy	-21,177*10 ⁻³	m				
Ενεργές Τάσεις	(183.000 , 65.442)	σxx	-36,3	kN/m2			4766	
		σyy	-110,767	kN/m2				
		σxy	-11,391	kN/m2				
		σzz	-46,488	kN/m2				
Πίεση των Πόρων		p (excess)	0	kN/m2				
		P (active)	-22,375	kN/m2				
		Βαθμός Κορεσμού	100	%				

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι σχετικά ευσταθές. Στα σημεία «Α» και «Β», όπως έχουν υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι κυρίως οι οριζόντιες, οι οποίες λαμβάνουν τιμές της τάξης των δύο εκατοστών η μέγιστη. Οι κατακόρυφες και οι διαφορικές μετατοπίσεις λαμβάνουν μικρότερες τιμές. Ταυτόχρονα, οι τάσεις, αλλά και η πίεση του νερού των πόρων λαμβάνουν μικρές τιμές, ειδικά αφού η τιμή της σεί είναι συγκριτικά σχετικά μεγάλη. Αυτά αναφέρονται στην ασβεστολιθική βραχομάζα. Στο εδαφικό υλικό πλήρωσης, πάνω από τη σήραγγα cut & cover, οι μετατοπίσεις λαμβάνουν υψηλές τιμές, μέχρι και πάνω από δέκα εκατοστά. Υπάρχει ομαλή, αλλά έντονη υποτίμηση του υδροφόρου ορίζοντα με την εκτόνωση των υδάτων να αρχίζει από το πρώτο πατάρι του πρανούς. Τα αποτελέσματα απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως στο συγκεκριμένο πρανές υπήρξε κατάπτωση βράχου. Αυτό μπορεί να μη φαίνεται στις αναλύσεις, αλλά είναι κάτι λογικό, από τη στιγμή που εξαρτάται από τοπικές ανισοτροπίες, αλλά και από τη φύση των βραχωδών πρανών. Συμπερασματικά, υπάρχει λόγος ανησυχίας, ως προς τις καταπτώσεις βράχων. Οπότε προτείνεται η τοποθέτηση ενός πλέγματος, που θα λειτουργεί ως βραχοπαγίδα, με ταυτόχρονη τοποθέτηση μεταλλικού φράχτη στο άκρο της τάφρου, ή ακόμα καλύτερα επέκταση, καθ' ύψος και κατά μήκος του υπάρχοντος μικρού τοίχου αντιστήριξης. Επιπλέον, απαιτείται τακτικό καθάρισμα της μικρής τάφρου ανάσχεσης. Ως προς τις μετακινήσεις στο εδαφικό υλικό υπάρχει ήδη ένας μικρός φράχτης στο άνω άκρο της σήραγγας περιμετρικά των ελεύθερων τμημάτων, οπότε απλά συστήνεται το τακτικό καθάρισμά της περιοχής συγκέντρωσης των χωμάτων.

11. X.Θ. 358+500 – 358+519

Πίνακας 89: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 358+500 – 358+519

Βραχομάζα	Σειρά Γνευσίων	
Ύψος Πρανούς	5	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	6	m
Κλίση Πρανούς	70	°
Εύρος σσι	25-50	MPa
Επιλογή σσι	40	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Ελαφρώς ανώμαλη επιφάνεια, μικρό μέρος της καλυμμένο με χαλαρά τεμάχια	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχίων Καταπτώσεων	150	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	4,5	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	2,8	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	0	m ³ / m
Πλάτος Ερείσματος	1,9	m
Κλίση Ασυνεχειών	<20	°
Ύπαρξη Καρστικών	Όχι	

Πίνακας 90: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σσι	40	MPa
GSI	35	
mi	28	
D	0	
MR	525	
γ	27	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 91: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	2,191	MPa
φ	35	°
E	2,38155	GPa

Πίνακας 92: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	35		Εκτίμηση
E	2,567158635	GPa	Εξίσωση από GSI
E	2,667042864	GPa	Εξίσωση από GSI και σ _{ci} για <100 MPa
k _x	0,001		Εκτίμηση
k _y	0,001		Εκτίμηση
c/σ _{ci}	0,041		Διάγραμμα
c	1,64	MPa	Διάγραμμα
φ	36	°	Διάγραμμα
ν	0,3		Εξίσωση
γ	27	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 93: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

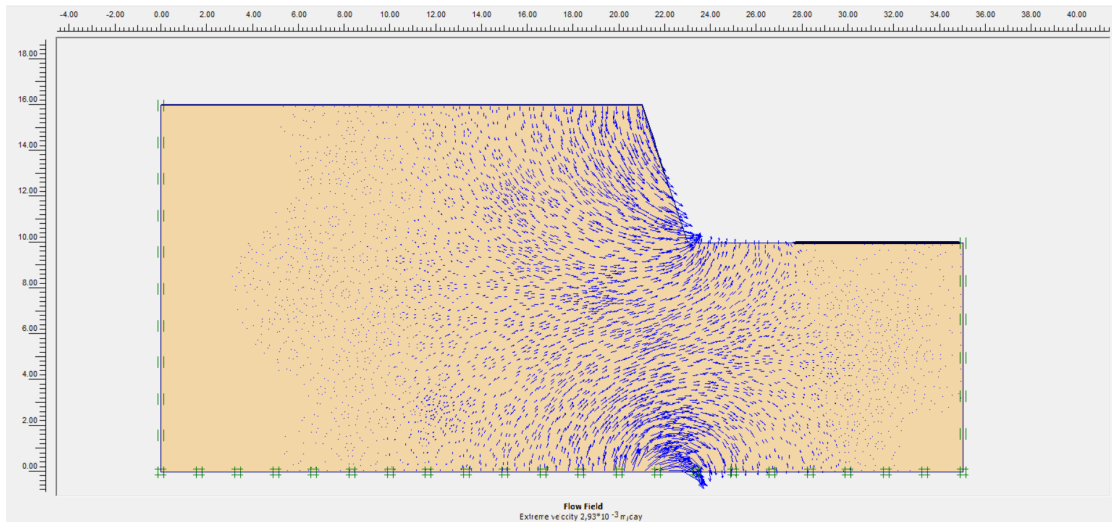
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	35	
E	2,5	GPa
ν	0,3	
φ	36	°
c	1,916	MPa
k _x	0,001	
k _y	0,001	
γ	27	kN/m ³

Πίνακας 94: Δεδομένα Plaxis

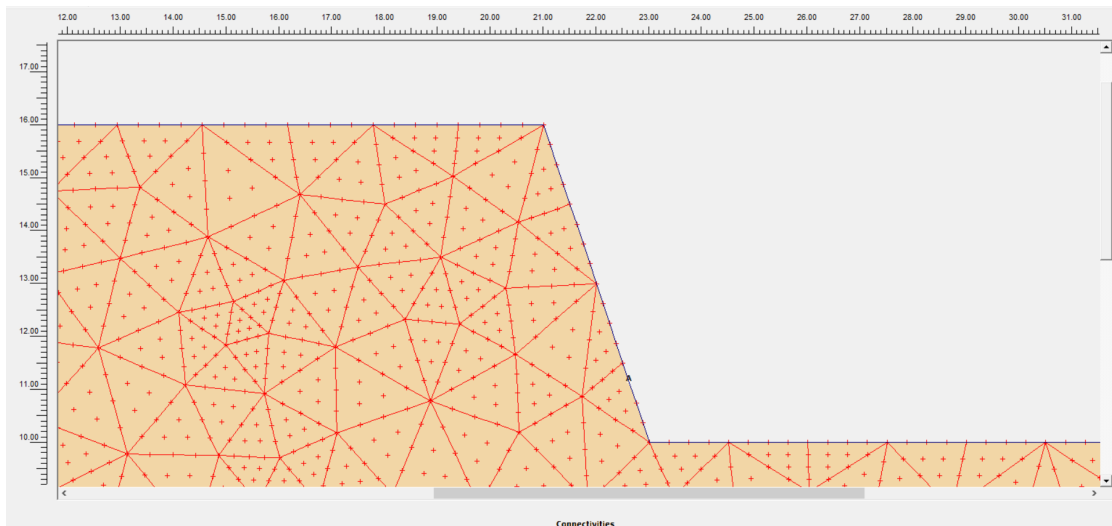
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimensions	Left	0,00	m
	Right	30,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	20,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	Gneiss		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	UnDrained	
	γ_{unsat}	27	kN/m ³
	γ_{sat}	29	kN/m ³
	k_x	0,001	m/d
	k_y	0,001	m/d
Parameters	Eref	2500000	kN/m ²
	ν	0,3	
	c ref	1916	kN/m ²
	ϕ	36	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
K0 - procedure	ΣM - weight	1	
	K0	0,412	
Στάθμη Υ.Ο.	Στην επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	53,445		

Σχόλια δεδομένων

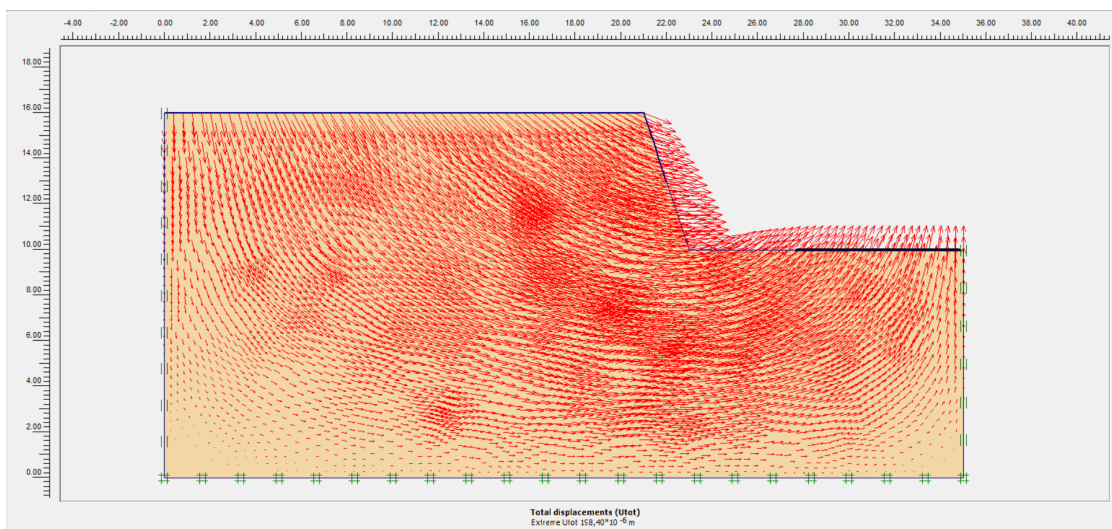
Οι προκύπτουσες τιμές της συνοχής είναι παραπλήσιες. Οπότε, ως τελική τιμή λήφθηκε ο μέσος όρος τους.



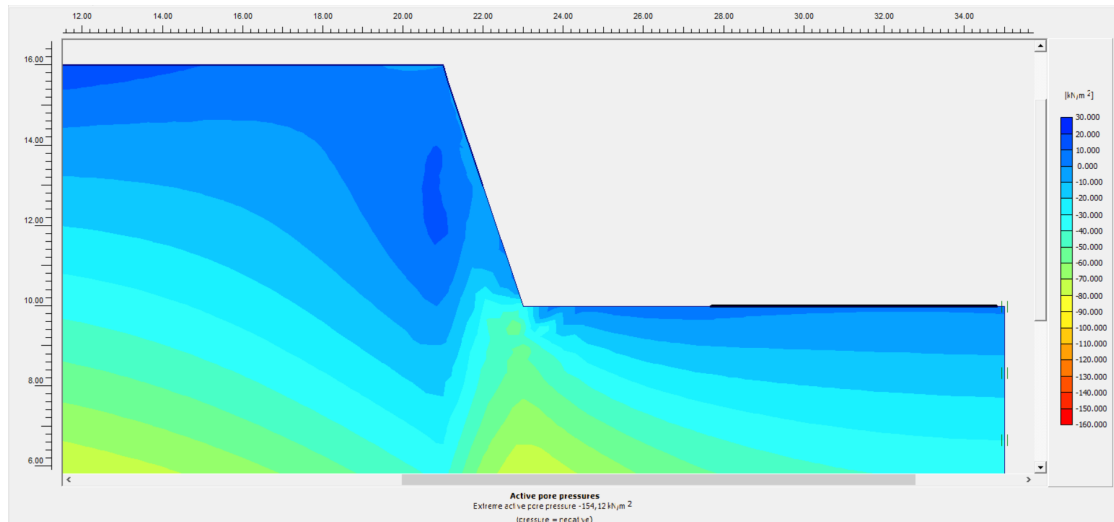
Εικόνα 94: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 95: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



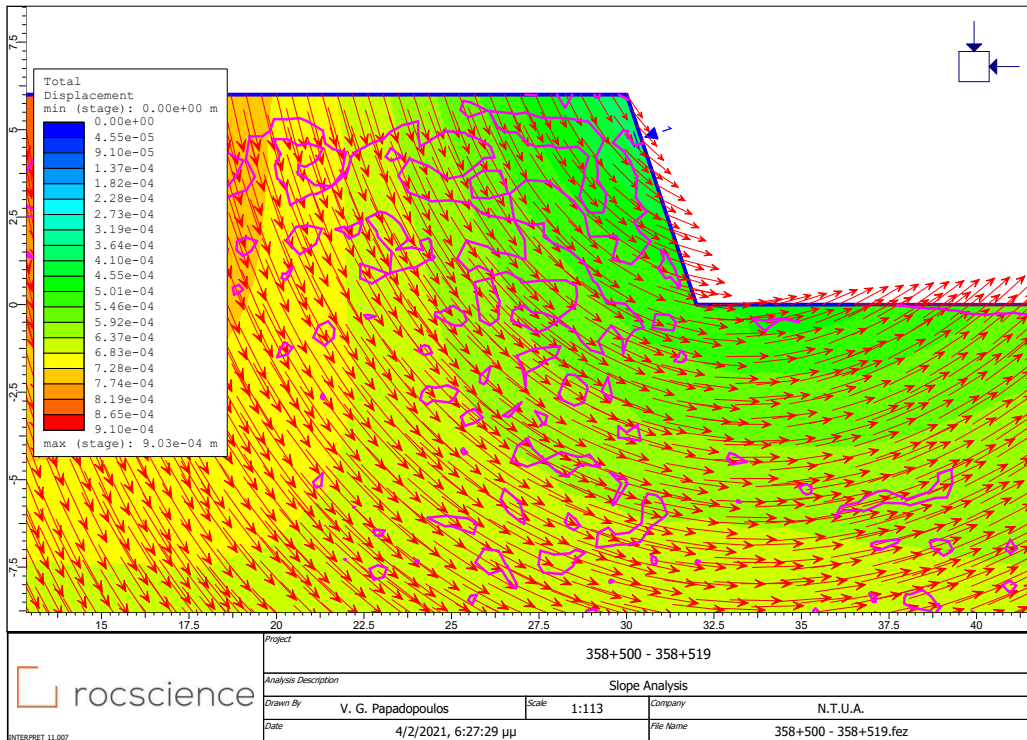
Εικόνα 96: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



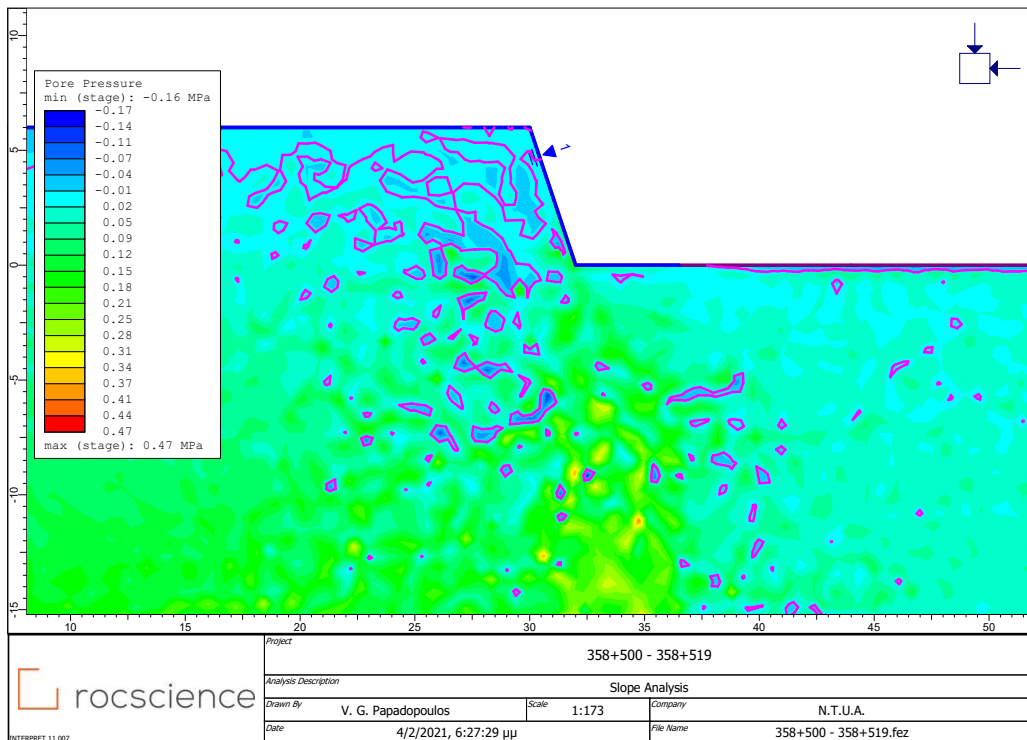
Εικόνα 97: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 95: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)			Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point
Μετατοπίσεις	(22.625 , 11.125)	Ux	$198,217 \cdot 10^{-6}$	m	9	3025	98
		Uy	$8,609 \cdot 10^{-6}$	m			
		ΔUx	$23,360 \cdot 10^{-6}$	m			
		ΔUy	$0,640 \cdot 10^{-6}$	m			
Ενεργές Τάσεις	(22.888 , 10.150)	σ_{xx}	-29,58	kN/m ²	9		98
		σ_{yy}	-105,095	kN/m ²			
		σ_{xy}	55,756	kN/m ²			
		σ_{zz}	-40,048	kN/m ²			
Πίεση των Πόρων	(22.888 , 10.150)	p (excess)	-8,313	kN/m ²	9		98
		P (active)	-9,400	kN/m ²			
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%			



Εικόνα 98: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 99: Απεικόνιση των πιέσεων των πόρων

Συντ. Ασφαλείας: 1.6

Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι πολύ ευσταθές. Στο σημείο «Α», όπως έχει υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι οι οριζόντιες. Ακόμα και αυτές όμως είναι πολύ μικρές, της τάξης των δύο δέκατων του χιλιοστού η μέγιστη. Οι διαφορικές μετατοπίσεις λαμβάνουν ακόμα μικρότερες τιμές. Ταυτόχρονα οι τάσεις, αλλά και η πίεση του νερού των πόρων λαμβάνουν μικρές τιμές, ειδικά αφού η τιμή της σ_{ci} είναι μεγάλη. Επιπλέον, η ροή των υδάτων είναι σχετικά παράλληλη με την επιφάνεια του πρανούς, γεγονός που υποδεικνύει πως η πίεση είναι σχεδόν υδροστατική. Οι τιμές των αναλύσεων του RS2 είναι αντιστοίχων μεγεθών, ελαφρώς επαυξημένα, ωστόσο εμφανίζουν μια διακριτή διαταραχή της ομοιομορφίας των υπόγειων υδάτων, γεγονός που έγκειται στην τιμή της διαπερατότητας και στη φύση της βραχομάζας. Ωστόσο, τα αποτελέσματα δεν απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως το συγκεκριμένο υφίσταται αποσάθρωση. Αυτό όμως δεν μπορούσε να καταστεί εύκολα διακριτό, καθότι οφείλεται κυρίως σε διάβρωση από εξωγενείς παράγοντες, εκτός και αν είναι στο πόδα του πρανούς, όπου και η ροή των υδάτων είναι αρκετά εντονότερη. Συμπερασματικά, βέβαια, δεν υπάρχει σημαντικός λόγος ανησυχίας καθότι πρόκειται για ένα πρανές μικρού ύψους και μεγάλης τάφρου ανάσχεσης. Μελλοντικά, αν το φαινόμενο ενταθεί μια απλή λύση είναι η επίστρωση της επιφάνειας του πρανούς με gunite, ή κάποιο ασφαλτούχο γαλάκτωμα.

12. X.Θ. 361+700 – 361+750

Πίνακας 96: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 361+700 – 361+750

Βραχομάζα	Σειρά Γνευσίων	
Ύψος Πρανούς	5	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	9	m
Κλίση Πρανούς	60	°
Εύρος σci	25-50	MPa
Επιλογή σci	40	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Ελαφρώς ανώμαλη επιφάνεια, χωρίς χαλαρά τεμάχη	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχών Καταπτώσεων	150	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	4,5	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	2,9	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	0	m ³ /m
Πλάτος Ερείσματος	1,9	m
Κλίση Ασυνεχειών	<20	°
Ύπαρξη Καρστικών	Όχι	

Πίνακας 97: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σci	40	MPa
GSI	30	
mi	28	
D	0	
MR	525	
γ	27	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 98: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	2,013	MPa
φ	33,5	°
E	1,70905	GPa

Πίνακας 99: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	30		Εκτίμηση
E	1,644893069	GPa	Εξίσωση από GSI
E	2	GPa	Εξίσωση από GSI και σ _{ci} για <100 MPa
k _x	0,001	m/d	Εκτίμηση
k _y	0,001	m/d	Εκτίμηση
c/σ _{ci}	0,038		Διάγραμμα
c	1,52	MPa	Διάγραμμα
φ	34	°	Διάγραμμα
ν	0,31		Εξίσωση
γ	26	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 100: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

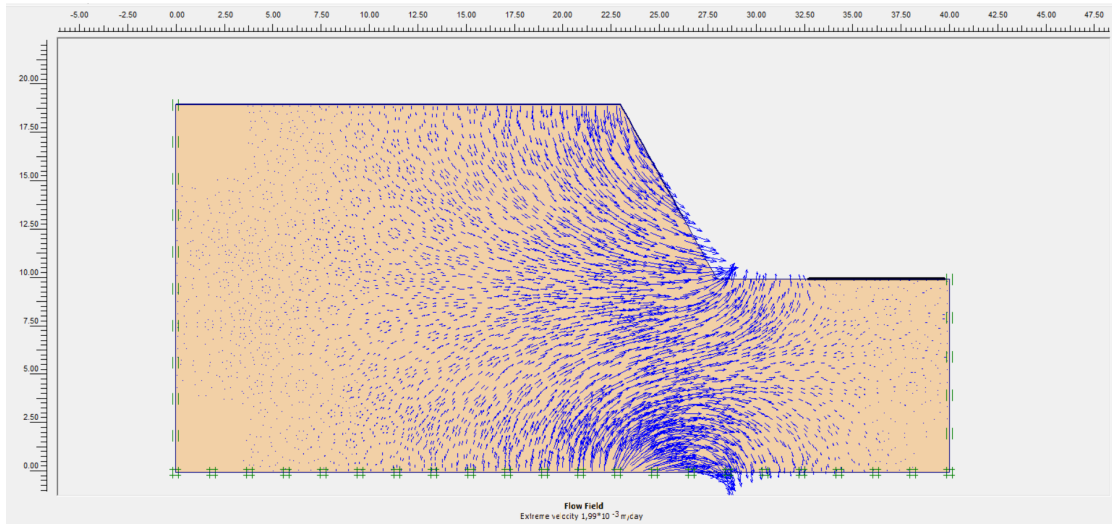
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	30	
E	2	GPa
ν	0,3	
φ	34	°
c	1,52	MPa
k _x	0,001	m/d
k _y	0,001	m/d
γ	26	kN/m ³

Πίνακας 101: Δεδομένα Plaxis

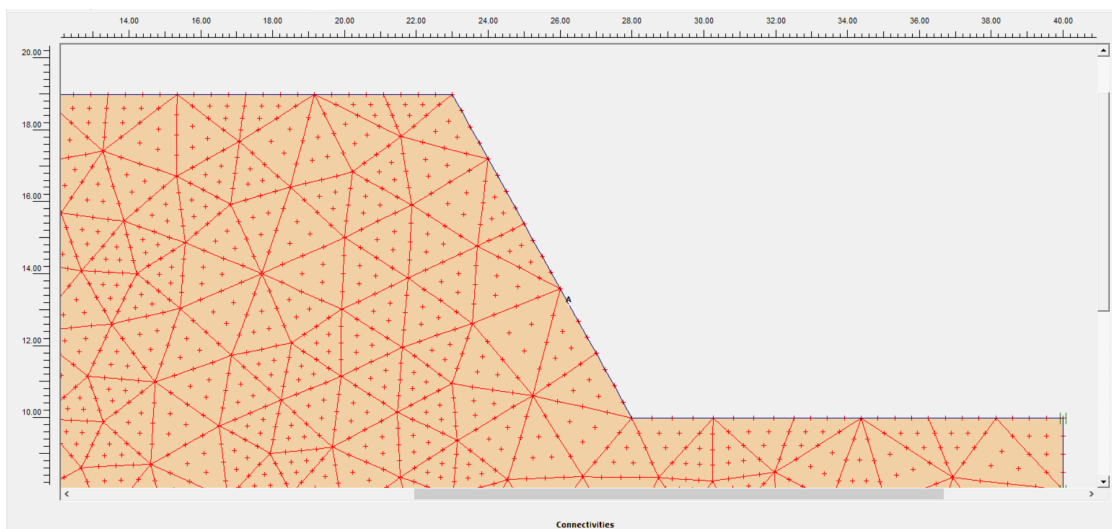
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimensions	Left	0,00	m
	Right		m
	Bottom	0,00	m
	Top		m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	Gneiss		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	UnDrained	
	γ_{sat}	26	kN/m ³
	γ_{sat}	28	kN/m ³
	k_x	0,001	m/d
	k_y	0,001	m/d
Parameters	Eref	2000000	kN/m ²
	ν	0,3	
	c ref	1520	kN/m ²
	ϕ	34	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
KO - procedure	ΣM - weight	1	
	KO	0,441	
Στάθμη Υ.Ο.	Στην επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	11,740		

Σχόλια δεδομένων

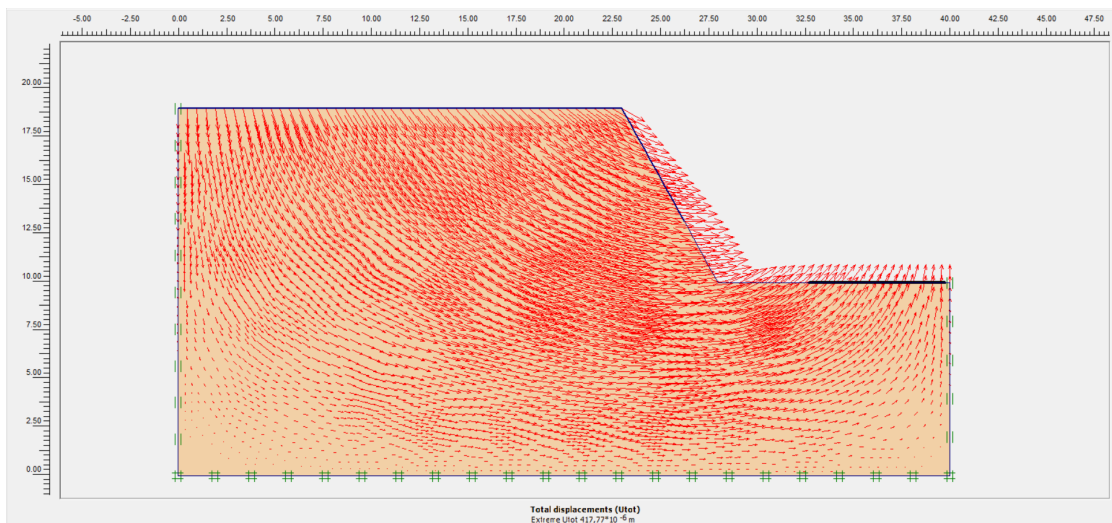
Η τιμή του ειδικού βάρους είναι λίγο απομειωμένη, καθότι η βραχομάζα είναι ελαφρώς εδαφοποιημένη. Επιπλέον, έγινε μία υποτίμηση της τιμής του λόγου Poisson, στην ανώτερη τιμή από τις ενδεικτικές τιμές του διαγράμματος του προηγούμενου κεφαλαίου.



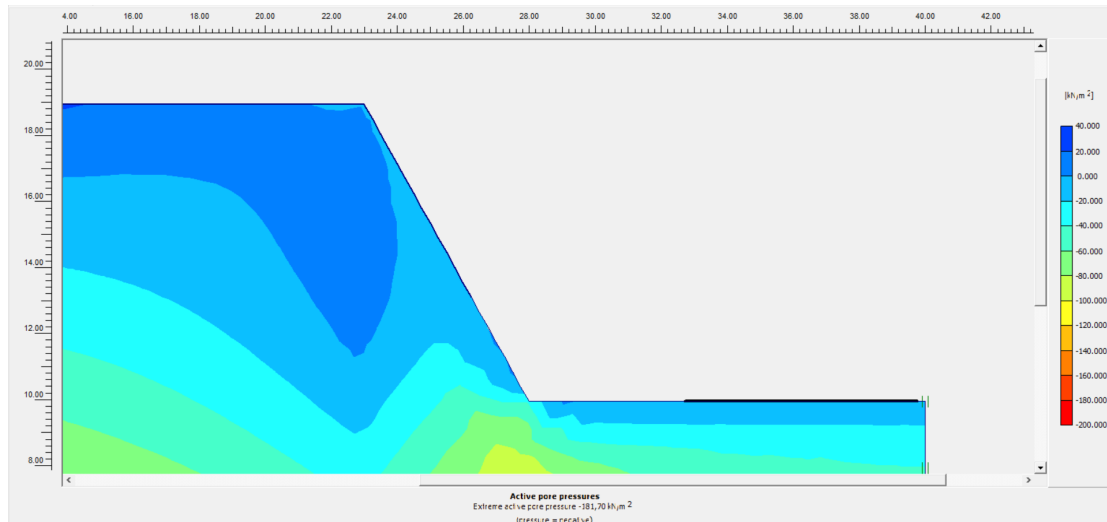
Εικόνα 100: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 101: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



Εικόνα 102: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 103: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 102: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)			Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point
Μετατοπίσεις	(26.250 , 13.150)	Ux	$404,667 \cdot 10^{-6}$	m	52	2641	613
		Uy	$-0,853 \cdot 10^{-6}$	m			
		ΔUx	$177,850 \cdot 10^{-6}$	m			
		ΔUy	$-2,686 \cdot 10^{-6}$	m			
Ενεργές Τάσεις	(25.392 , 10.890)	σ_{xx}	-22,788	kN/m ²	52	2641	613
		σ_{yy}	-92,639	kN/m ²			
		σ_{xy}	34,380	kN/m ²			
		σ_{zz}	-35,312	kN/m ²			
Πίεση των Πόρων	(25.392 , 10.890)	p (excess)	-6,804	kN/m ²	52	2641	613
		P (active)	-30,162	kN/m ²			
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%			

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι εξαιρετικά ευσταθές. Στο σημείο «Α», όπως έχει υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι οι οριζόντιες. Ακόμα και αυτές όμως είναι πολύ μικρές, της τάξης του μισού χιλιοστού. Οι διαφορικές μετατοπίσεις είναι ακόμα μικρότερες, με τις οριζόντιες βέβαια να είναι οι μεγαλύτερες. Ταυτόχρονα οι τάσεις, αλλά και η πίεση του νερού των πόρων λαμβάνουν πολύ μικρές τιμές, ειδικά αφού η τιμή της σσί είναι τόσο μεγάλη. Επιπλέον, η ροή των υδάτων είναι σχετικά παράλληλη με την επιφάνεια του πρανούς, γεγονός που υποδεικνύει πως η πίεση είναι σχεδόν υδροστατική. Ωστόσο, τα αποτελέσματα δεν απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως στο συγκεκριμένο πρανές υπάρχουν φαινόμενα ρευστοποίησης των εδαφικών τμημάτων αυτού. Από την άλλη βέβαια η ανάλυση βασίστηκε, όπως έχει ήδη αναφερθεί, σε γεωτεχνικά χαρακτηριστικά γνεύσιου, με υποτιμημένες τιμές λόγω της ελαφρώς εδαφοποιημένης κατάστασης. Επιπροσθέτως, έχει γίνει στατική ανάλυση και όχι δυναμική. Αυτό αναφέρεται, καθότι το φαινόμενο της ρευστοποίησης «ενεργοποιείται» κατά το σεισμό. Συμπερασματικά, λοιπόν, δεν υπάρχει κάποιος λόγος ανησυχίας καθότι πρόκειται για ένα πρανές σχετικά μικρής κλίσης, μικρού ύψους και μεγάλης τάφρου ανάσχεσης. Κατ' αυτόν τον τρόπο ακόμα και να προκληθεί κάποια αστοχία στο μέλλον αυτή θα είναι πολύ μικρή. Ως μέτρο υποστήριξης βέβαια θα μπορούσε να τοποθετηθεί ένα πλέγμα, ούτως ώστε να συγκρατεί τα μικρά χαλαρά τεμάχια που καταπίπτουν, καθώς και κάποιο ασφαλτικό γαλάκτωμα επί της επιφάνειας του πρανούς, ή τσιμεντενέσεις για την προστασία από το φαινόμενο της ρευστοποίησης. Μια άλλη επιλογή είναι η τοποθέτηση συρματοκιβωτίων, αλλά το κόστος τους δε συνάδει με το βαθμό επικινδυνότητας του πρανούς.

13. X.Θ. 362+ 200 – 362+210

Πίνακας 103: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 362+200 – 362+210

Βραχομάζα	Σειρά Γνευσίων	
Ύψος Πρανούς	3	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	4	m
Κλίση Πρανούς	30	°
Εύρος σ _{ci}	5 έως 25	MPa
Επιλογή σ _{ci}	20	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Ελαφρώς ανώμαλη επιφάνεια, μέρος της καλυμμένο με χαλαρά τεμάχια	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχών Καταπτώσεων	150	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	0	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	0	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	0	m ³ /m
Πλάτος Ερείσματος	1,9	m
Κλίση Ασυνεχειών	<20	°
Ύπαρξη Καρστικών	Όχι	

Πίνακας 104: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σ _{ci}	20	MPa
GSI	35	
m _i	28	
D	0	
MR	525	
γ	27	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 105: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	1,095	MPa
φ	35	°
E	1,19077	GPa

Πίνακας 106: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	35		Εκτίμηση
E	2,567158635	GPa	Εξίσωση από GSI
E	1,885884095	GPa	Εξίσωση από GSI και σ_{ci} για <100 MPa
k_x	0,001		Εκτίμηση
k_y	0,001		Εκτίμηση
c/σ_{ci}	0,041		Διάγραμμα
c	0,82	MPa	Διάγραμμα
ϕ	36	°	Διάγραμμα
ν	0,3		Εξίσωση
γ	25	kN/m ³	Εκτίμηση
σ_{cm}	2,312114791	MPa	Εξίσωση

Πίνακας 107: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

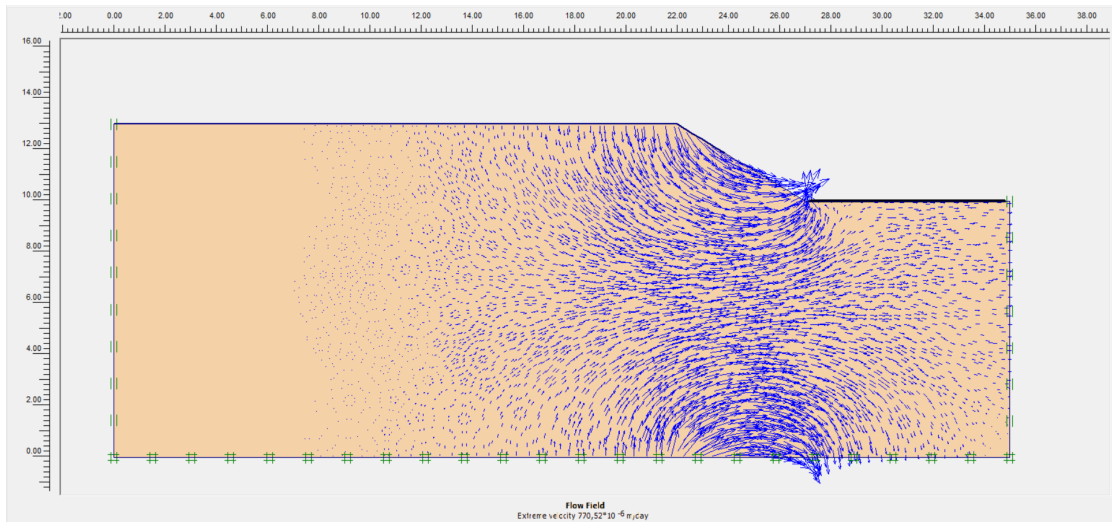
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	35	
E	1,5	GPa
ν	0,3	
ϕ	36	°
c	1,000	MPa
k_x	0,001	
k_y	0,001	
γ	25	kN/m ³

Πίνακας 108: Δεδομένα Plaxis

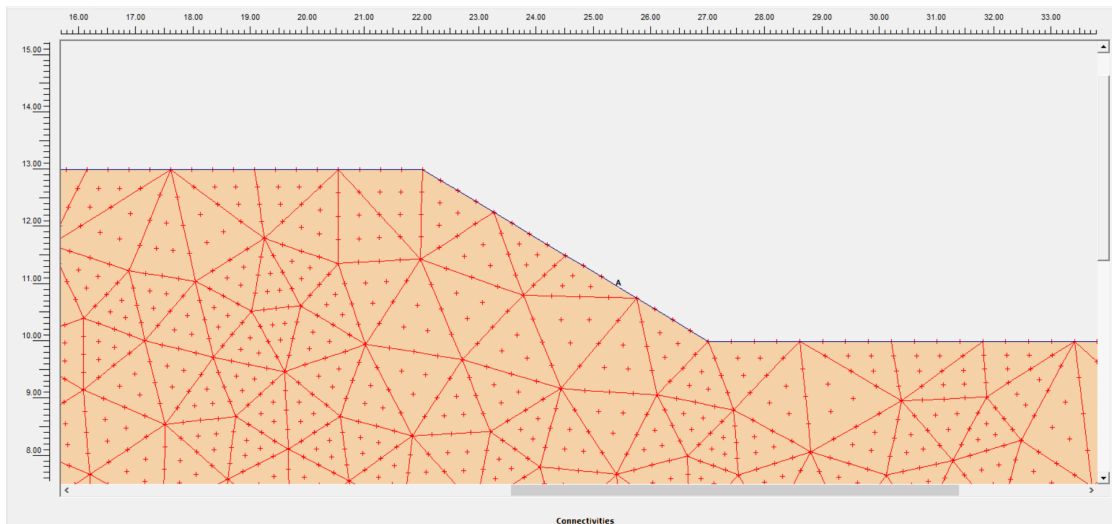
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimentions	Left	0,00	m
	Right	30,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	20,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	Gneiss		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	UnDrained	
	γ_{sat}	25	kN/m ³
	γ_{sat}	27	kN/m ³
	k_x	0,001	m/d
	k_y	0,001	m/d
Parameters	Eref	1500000	kN/m ²
	ν	0,3	
	c ref	1000	kN/m ²
	ϕ	36	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
KO - procedure	ΣM - weight	1	
	KO	0,412	
Στάθμη Υ.Ο.	Στην επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	11,296		

Σχόλια δεδομένων

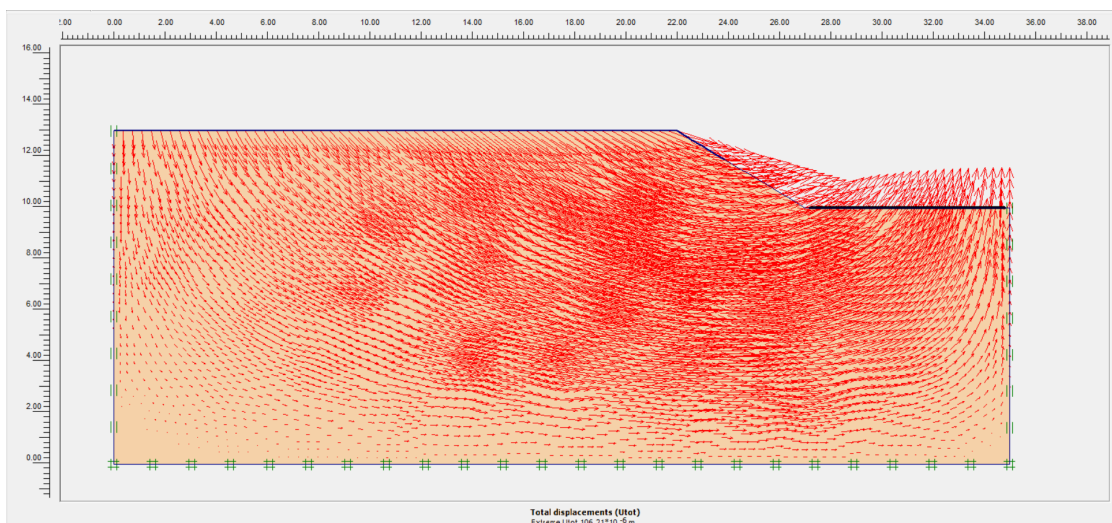
Η τιμή του ειδικού βάρους είναι λίγο απομειωμένη, καθότι η βραχομάζα είναι ελαφρώς εδαφοποιημένη.



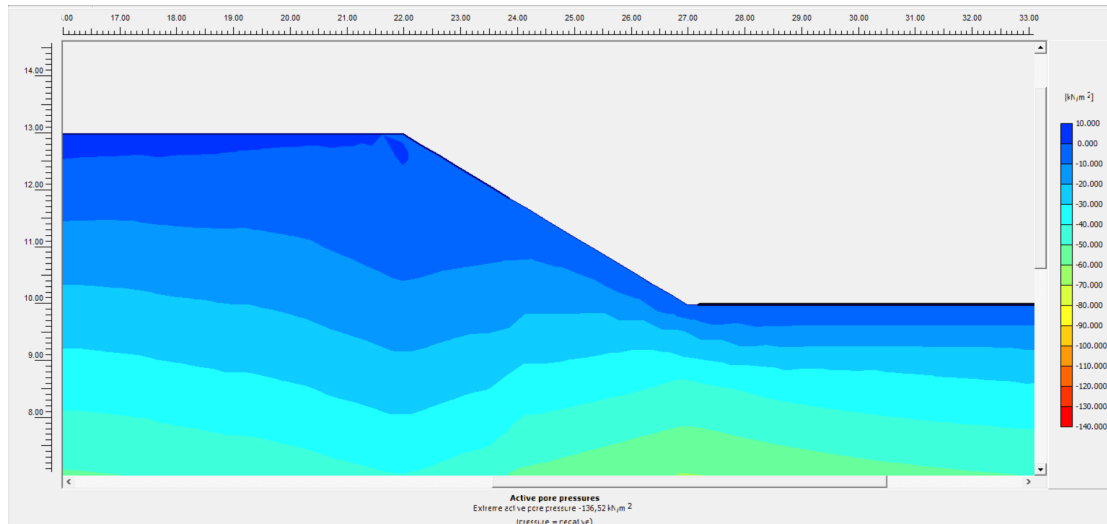
Εικόνα 104: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 105: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



Εικόνα 106: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 107: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 109: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)			Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point
Μετατοπίσεις	(25.438 , 10.938)	Ux	$100,668 \cdot 10^{-6}$	m	9	3091	
		Uy	$25,830 \cdot 10^{-6}$	m			
		ΔUx	$55,481 \cdot 10^{-6}$	m			
		ΔUy	$13,862 \cdot 10^{-6}$	m			
Ενεργές Τάσεις	(23.936 , 10.838)	σ_{xx}	-6,277	kN/m ²	9	97	
σ_{yy}		-17,662	kN/m ²				
σ_{xy}		5,075	kN/m ²				
σ_{zz}		-6,988	kN/m ²				
Πίεση των Πόρων		p (excess)	-1,879	kN/m ²			
P (active)		-10,010	kN/m ²				
Βαθμός Κορεσμού		100,000	%				

Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι πολύ ευσταθές. Στο σημείο «Α», όπως έχει υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι τόσο οι οριζόντιες, όσο και οι κατακόρυφες. Ακόμα και αυτές όμως είναι πολύ μικρές, της τάξης του ενός δέκατου του χιλιοστού η μέγιστη. Οι διαφορικές μετατοπίσεις είναι αντίστοιχων περίπου τιμών. Ταυτόχρονα οι τάσεις, αλλά και η πίεση του νερού των πόρων λαμβάνουν πολύ μικρές τιμές, ειδικά αφού η τιμή της σεί είναι, συγκριτικά, τόσο μεγάλη. Επιπλέον, η ροή των υδάτων είναι σχετικά παράλληλη με την επιφάνεια του πρανούς, γεγονός που υποδεικνύει πως η πίεση είναι σχεδόν υδροστατική. Τα αποτελέσματα απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως στο συγκεκριμένο πρανές υπάρχουν νεροφαγώματα και καταπτώσεις τμημάτων του πρανούς. Αυτό αιτιολογείται από την επιφανειακή εκτόνωση των υδάτων. Συμπερασματικά, βέβαια, δεν υπάρχει σημαντικός λόγος ανησυχίας καθότι πρόκειται για ένα πρανές πολύ μικρής κλίσης και πολύ μικρού ύψους. Ωστόσο, από τη στιγμή που δεν υπάρχει τάφρος ανάσχεσης πρέπει να υπάρξει κάποια επέμβαση. Οι λύσεις γι' αυτό το πρόβλημα ποικίλουν, αλλά η πλέον εύκολη είναι η αφαίρεση τμήματος του πρανούς, για τη δημιουργία τάφρου ανάσχεσης και ίσως κάποιο πλέγμα για τη συγκράτηση των τεμαχίων των καταπτώσεων.

14. Χ.Θ. 374+600 – 374+650

Πίνακας 110: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 374+600 – 374+650

Βραχομάζα	Σειρά Γνευσίων	
Ύψος Πρανούς	18	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	30	m
Κλίση Πρανούς	70	°
Εύρος σσι	>100	MPa
Επιλογή σσι	100	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Ελαφρώς ανώμαλη επιφάνεια, μικρό μέρος της καλυμμένο με χαλαρά τεμάχη	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχών Καταπτώσεων	150	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	3	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	2,3	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	0	m ³ / m
Πλάτος Ερείσματος	1,9	m
Κλίση Ασυνχειών	<20	°
Ύπαρξη Καρστικών	Όχι	

Πίνακας 111: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σσι	100	MPa
GSI	35	
mi	28	
D	0	
MR	525	
γ	27	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 112: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	5,477	MPa
φ	35	°
E	5,95387	GPa

Πίνακας 113: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	35		Εκτίμηση
E	2,567158635	GPa	Εξίσωση από GSI
E	4,216965034	GPa	Εξίσωση από GSI και σ _{ci} για <100 MPa
k _x	0,001		Εκτίμηση
k _y	0,001		Εκτίμηση
c/σ _{ci}	0,041		Διάγραμμα
c	4,1	MPa	Διάγραμμα
φ	36	°	Διάγραμμα
ν	0,3		Εξίσωση
γ	27	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 114: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

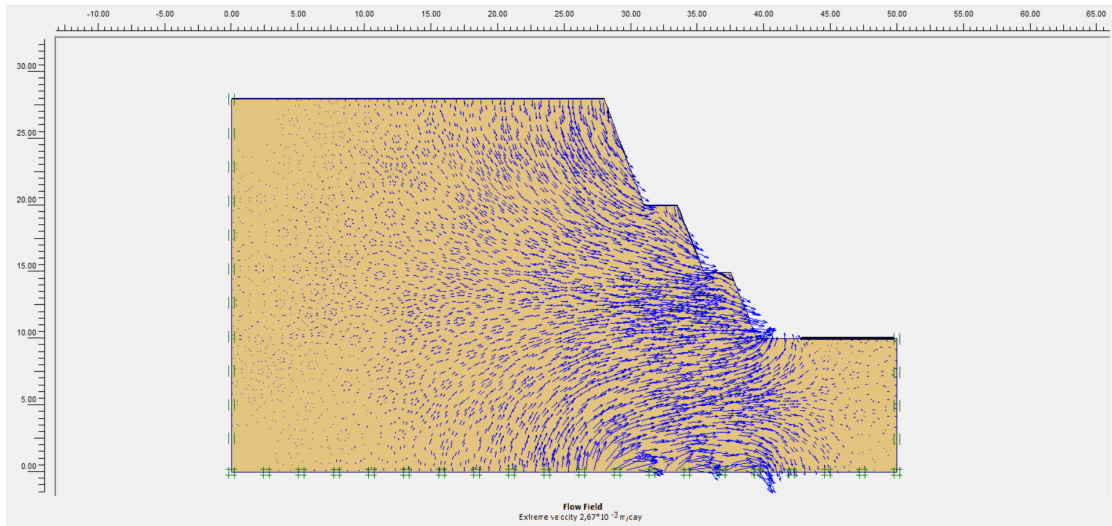
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	35	
E	4,25	GPa
ν	0,3	
φ	36	°
c	4,789	MPa
k _x	0,001	
k _y	0,001	
γ	27	kN/m ³

Πίνακας 115: Δεδομένα Plaxis

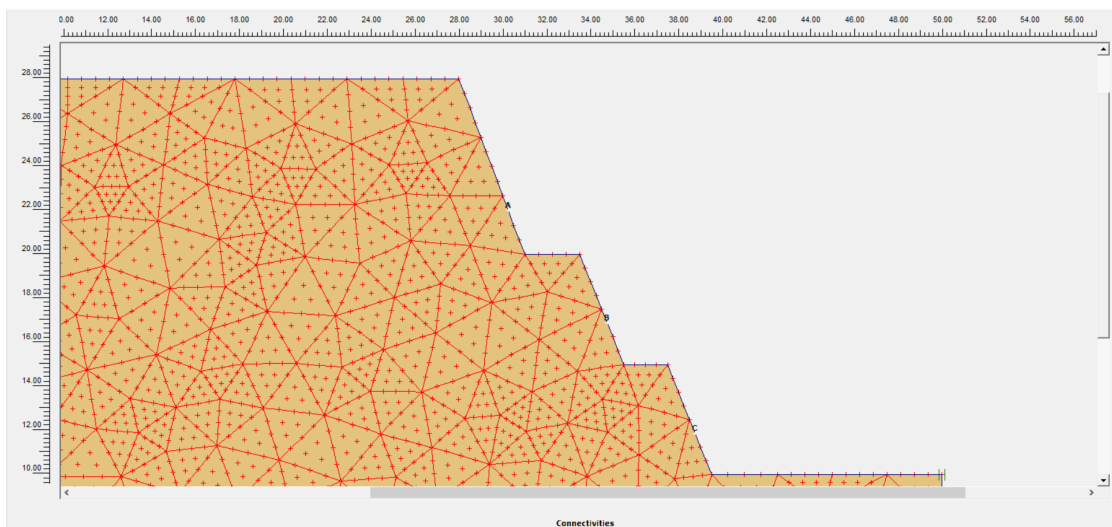
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimensions	Left	0,00	m
	Right	50,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	30,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	Gneiss		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	UnDrained	
	γ_{unsat}	27	kN/m ³
	γ_{sat}	29	kN/m ³
	k_x	0,001	m/d
	k_y	0,001	m/d
Parameters	Eref	4250000	kN/m ²
	ν	0,3	
	c ref	4789	kN/m ²
	ϕ	36	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
KO - procedure	ΣM - weight	1	
	KO	0,562	
Στάθμη Υ.Ο.	Στην επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	36,899		

Σχόλια δεδομένων

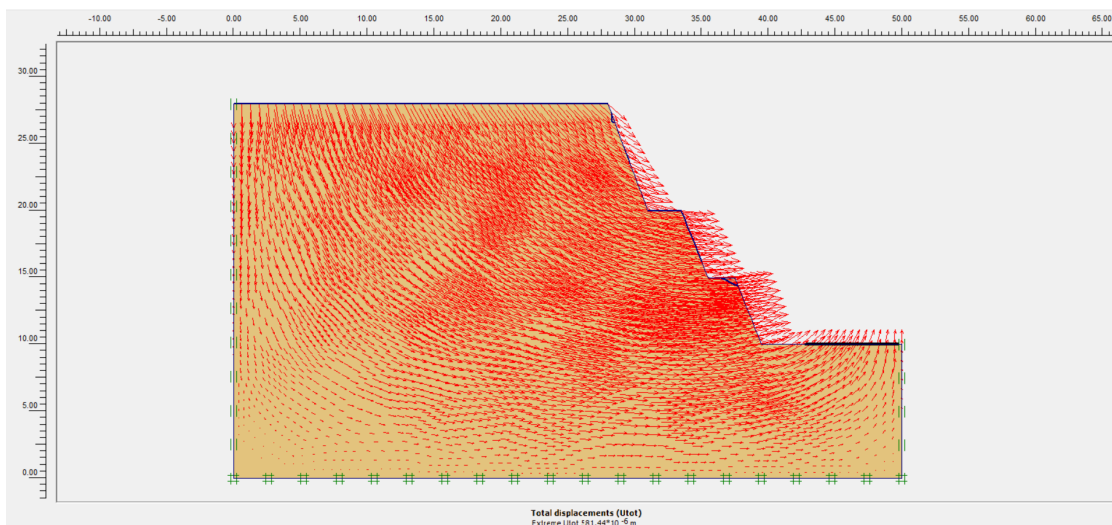
Οι προκύπτουσες τιμές της συνοχής και του μέτρου ελαστικότητας, αντίστοιχα, είναι παραπλήσιες. Οπότε, ως τελική τιμή, για το καθένα, λήφθηκε ο μέσος όρος τους.



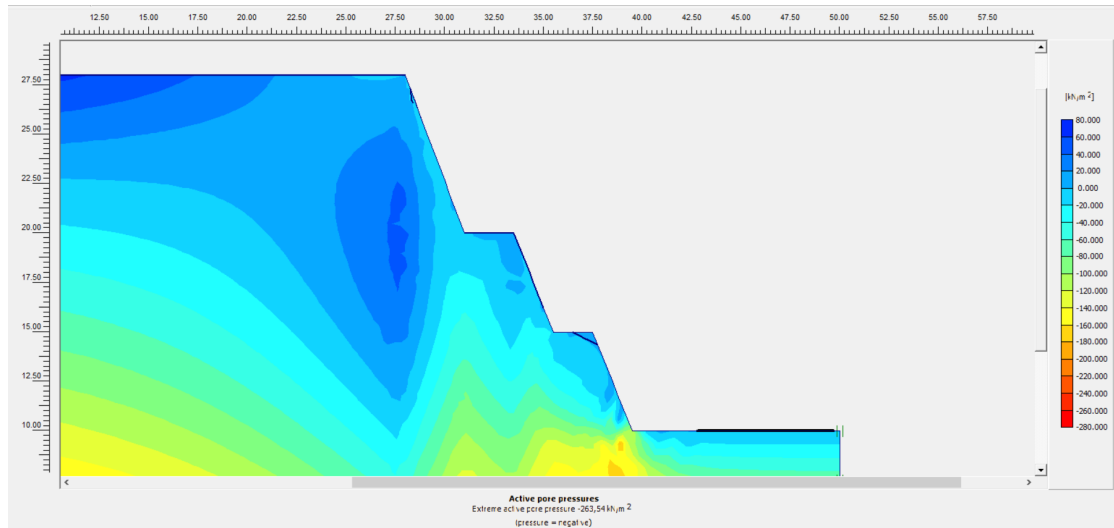
Εικόνα 108: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 109: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



Εικόνα 110: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 111: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 116: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)			Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point	
Μετατοπίσεις	(30.250 , 22.000)	Ux	451,207*10 ⁻⁶	m	65	2063		
		Uy	-153,921*10 ⁻⁶	m				
		ΔUx	255,475*10 ⁻⁶	m				
		ΔUy	-89,583*10 ⁻⁶	m				
Ενεργές Τάσεις	(28.760 , 20.520)	σxx	-34,325	kN/m ²			769	
		σyy	-164,495	kN/m ²				
		σxy	9,529	kN/m ²				
		σzz	-71,628	kN/m ²				
Πίεση των Πόρων		p (excess)	40,307	kN/m ²				
		P (active)	21,715	kN/m ²				
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%				
Μετατοπίσεις	(34.750 , 16.875)	Ux	568,769*10 ⁻⁶	m		55	2495	
		Uy	-6,328*10 ⁻⁶	m				
		ΔUx	320,683*10 ⁻⁶	m				
		ΔUy	-8,003*10 ⁻⁶	m				
Ενεργές Τάσεις	(33.618 , 14.884)	σxx	-36,296	kN/m ²			649	
		σyy	-131,804	kN/m ²				
		σxy	38,522	kN/m ²				
		σzz	-60,483	kN/m ²				
Πίεση των Πόρων		p (excess)	8,766	kN/m ²				
		P (active)	-15,550	kN/m ²				
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%				
Μετατοπίσεις	(38.750 , 11.875)	Ux	552,138*10 ⁻⁶	m	56		2883	
		Uy	75,294*10 ⁻⁶	m				
		ΔUx	314,122*10 ⁻⁶	m				
		ΔUy	41,315*10 ⁻⁶	m				
Ενεργές Τάσεις	(39.331 , 10.145)	σxx	-235,885	kN/m ²			662	
		σyy	-198,737	kN/m ²				
		σxy	216,516	kN/m ²				
		σzz	-134,569	kN/m ²				
Πίεση των Πόρων		p (excess)	-159,538	kN/m ²				
		P (active)	-162,187	kN/m ²				
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%				

Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι πολύ ευσταθές. Στα σημεία, όπως έχουν υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι οι οριζόντιες. Ακόμα και αυτές όμως είναι πολύ μικρές, της τάξης του μισού χιλιοστού η μέγιστη. Οι διαφορικές μετατοπίσεις είναι αντίστοιχων περίπου τιμών, ανά διεύθυνση. Ταυτόχρονα οι τάσεις, αλλά και η πίεση του νερού των πόρων λαμβάνουν μικρές τιμές, ειδικά αφού η τιμή της σεί είναι τόσο μεγάλη. Επιπλέον, η ροή των υδάτων είναι σχετικά παράλληλη με την επιφάνεια του πρανούς, γεγονός που υποδεικνύει πως η πίεση είναι σχεδόν υδροστατική. Τα αποτελέσματα απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως στο συγκεκριμένο πρανές υπάρχουν νεροφαγώματα και καταπτώσεις χωμάτων. Αυτό αιτιολογείται από την επιφανειακή εκτόνωση των υδάτων, ειδικά αν αυτά τα νεροφαγώματα βρίσκονται στον πόδα του πρανούς, όπου η εκτόνωση των υδάτων είναι πιο ισχυρή σε σχέση με άλλα σημεία, και προέρχεται και από υπόγεια (κατώτερα της επιφάνειας του πόδα) ύδατα. Συμπερασματικά, βέβαια, δεν υπάρχει σημαντικός λόγος ανησυχίας καθότι πρόκειται για ένα πρανές σχετικά μικρού ύψους και μεγάλης τάφρου ανάσχεσης. Ένα πλέγμα για συγκράτησης των τεμαχών καταπτώσεων είναι μια καλή λύση, αν και δεν απαιτείται κάποια επέμβαση.

15. Χ.Θ. 384+700 – 384+800

Πίνακας 117: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 384+700 – 384+800

Βραχομάζα	Σειρά Γνευσίων	
Ύψος Πρανούς	6	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	7,5	m
Κλίση Πρανούς	60	°
Εύρος σσι	>100	MPa
Επιλογή σσι	100	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Ελαφρώς ανώμαλη επιφάνεια, μικρό μέρος της καλυμμένο με χαλαρά τεμάχη	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχών Καταπτώσεων	150	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	4,5	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	0	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	0	m ³ /m
Πλάτος Ερείσματος	1,9	m
Κλίση Ασυνχειών	<20°	°
Ύπαρξη Καρστικών	Όχι	

Πίνακας 118: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σσι	100	MPa
GSI	30	
mi	28	
D	0	
MR	525	
γ	27	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 119: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	5,033	MPa
φ	33,5	°
E	4,27261	GPa

Πίνακας 120: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	30		Εκτίμηση
E	1,644893069	GPa	Εξίσωση από GSI
E	3,16227766	GPa	Εξίσωση από GSI και σ _{ci} για <100 MPa
k _x	0,001		Εκτίμηση
k _y	0,001		Εκτίμηση
c/σ _{ci}	0,038		Διάγραμμα
c	3,8	MPa	Διάγραμμα
φ	34	°	Διάγραμμα
ν	0,31		Εξίσωση
γ	27	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 121: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

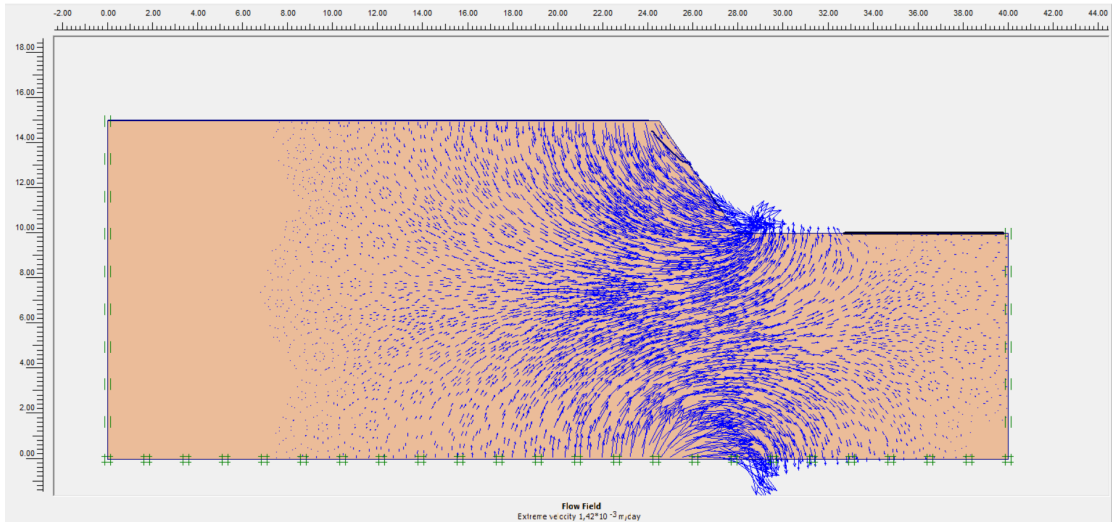
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	30	
E	3,03	GPa
ν	0,3	
φ	34	°
c	4,417	MPa
k _x	0,001	
k _y	0,001	
γ	27	kN/m ³

Πίνακας 122: Δεδομένα Plaxis

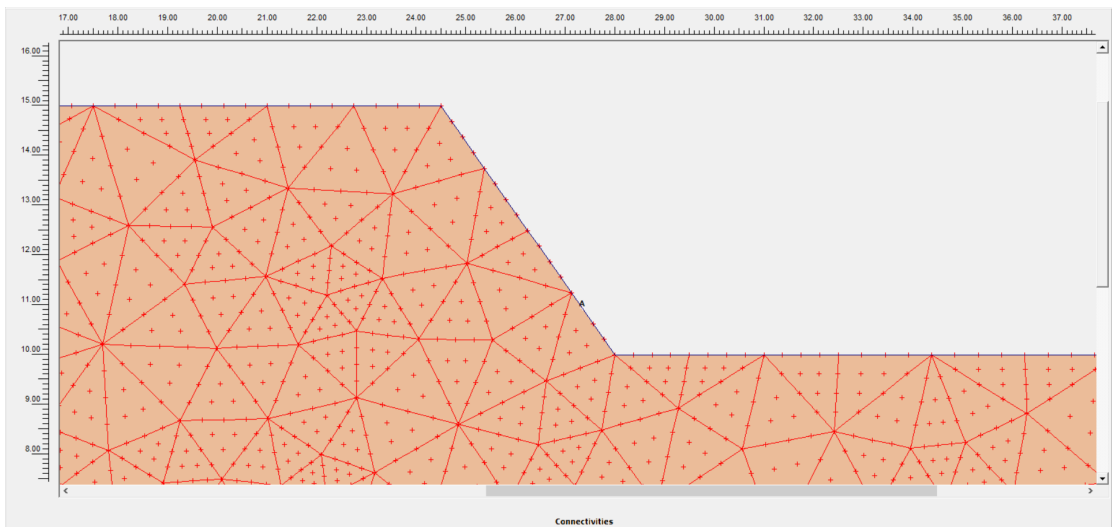
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimensions	Left	0,00	m
	Right	35,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	20,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	Gneiss		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	UnDrained	
	γ_{unsat}	27	kN/m ³
	γ_{sat}	29	kN/m ³
	k_x	0,001	m/d
	k_y	0,001	m/d
Parameters	Eref	3030000	kN/m ²
	ν	0,3	
	c ref	4417	kN/m ²
	ϕ	34	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
KO - procedure	ΣM - weight	1	
	KO	0,441	
Στάθμη Υ.Ο.	Στην επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	161,313		

Σχόλια δεδομένων

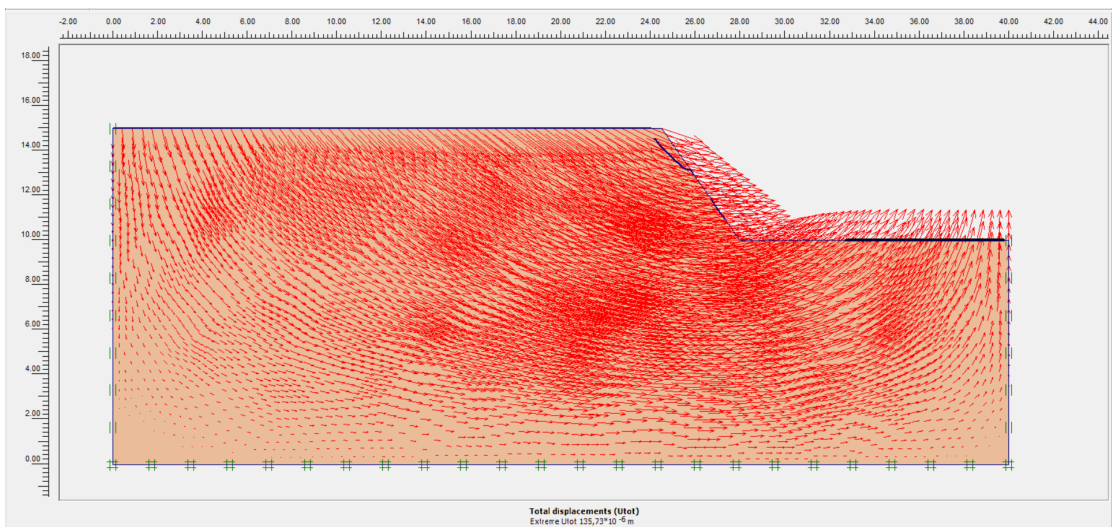
Έγινε μία υποτίμηση της τιμής του λόγου Poisson, στην ανώτερη τιμή από τις ενδεικτικές τιμές του διαγράμματος του προηγούμενου κεφαλαίου. Επιπλέον, οι προκύπτουσες τιμές της συνοχής και του μέτρου ελαστικότητας, αντίστοιχα, είναι παραπλήσιες. Οπότε, ως τελική τιμή, για το καθένα, λήφθηκε ο μέσος όρος τους.



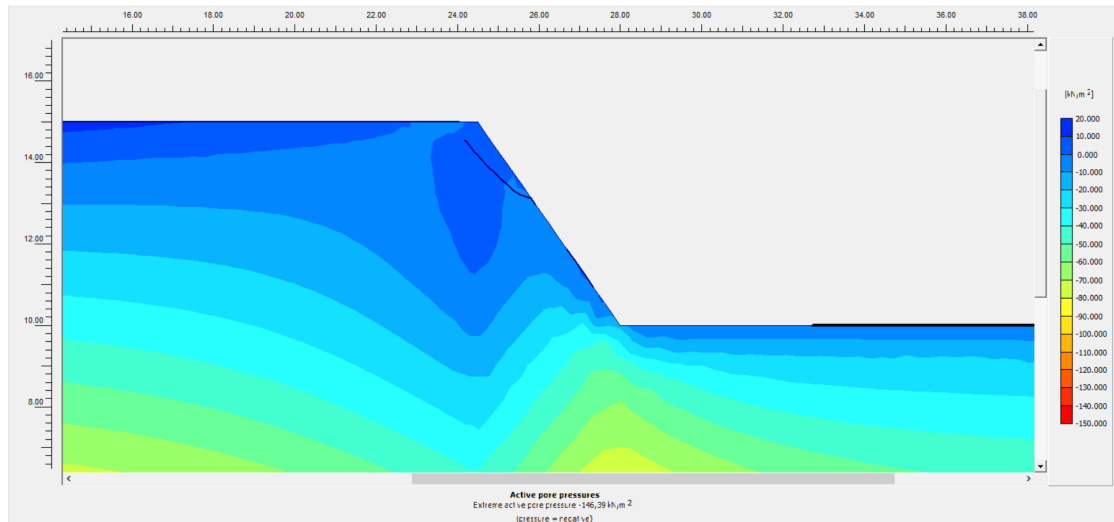
Εικόνα 112: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 113: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



Εικόνα 114: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 115: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 123: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)			Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point
Μετατοπίσεις	(27.344 , 10.938)	Ux	134,371*10 ⁻⁶	m	4	2849	
		Uy	19,154*10 ⁻⁶	m			
		ΔUx	26,938*10 ⁻⁶	m			
		ΔUy	3,609*10 ⁻⁶	m			
Ενεργές Τάσεις	(27.858 , 10.045)	σxx	-56,643	kN/m ²	4		38
		σyy	-28,546	kN/m ²			
		σxy	40,211	kN/m ²			
		σzz	-25,644	kN/m ²			
Πίεση των Πόρων	(27.858 , 10.045)	p (excess)	-24,625	kN/m ²			
		P (active)	-26,384	kN/m ²			
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%			

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι πολύ ευσταθές. Στο σημείο «Α», όπως έχει υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι οι οριζόντιες. Ακόμα και αυτές όμως είναι πολύ μικρές, της τάξης του ενός με δύο δέκατα του χιλιοστού η μέγιστη. Οι διαφορικές μετατοπίσεις λαμβάνουν ακόμα μικρότερες τιμές. Ταυτόχρονα οι τάσεις, αλλά και η πίεση του νερού των πόρων λαμβάνουν πολύ μικρές τιμές, ειδικά αφού η τιμή της σσί είναι πολύ μεγάλη. Επιπλέον, η ροή των υδάτων είναι σχετικά παράλληλη με την επιφάνεια του πρανούς, γεγονός που υποδεικνύει πως η πίεση είναι σχεδόν υδροστατική. Βέβαια, υπάρχει ένα «τσάκισμα» του υδροφόρου κατάντη του φρυδιού του πρανούς. Τα αποτελέσματα απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως στο συγκεκριμένο πρανές υπάρχουν νεροφαγώματα και καταπτώσεις χωμάτων του πρανούς. Αυτό αιτιολογείται από την επιφανειακή εκτόνωση των υδάτων, ειδικά αν αυτά τα νεροφαγώματα βρίσκονται στον πόδα του πρανούς, όπου η εκτόνωση των υδάτων είναι πιο ισχυρή σε σχέση με άλλα σημεία, και προέρχεται και από υπόγεια (κατώτερα της επιφάνειας του πόδα) ύδατα. Συμπερασματικά, υπάρχει κάποιος λόγος ανησυχίας, παρότι πρόκειται για ένα πρανές σχετικά μικρής κλίσης, πολύ μικρού ύψους και μεγάλης τάφρου ανάσχεσης. Αυτό διότι ακριβώς πάνω από το πρανές υπάρχει ένα επαρχιακό οδικό δίκτυο κυκλοφορίας, το οποίο βέβαια δεν ελήφθη υπ' όψιν στην ανάλυση του μοντέλου. Ως λύση μπορούν να τοποθετηθούν συρματοκιβώτια κατά μήκος του πρανούς στο οποίο υπάρχει αυτό το επαρχιακό δίκτυο. Η άντληση υδάτων, παρότι γενικά αποτελεί εξαιρετική λύση, στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν εξυπηρετεί, καθότι μπορεί να δημιουργήσει μικρές καθιζήσεις στο υπερκείμενο οδικό δίκτυο.

16. X.Θ. 388+600 – 388+680

Πίνακας 124: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 388+600 – 388+680

Βραχομάζα	Σειρά Γνευσίων/Αμφιβολιτών	
Ύψος Πρανούς	8	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	12	m
Κλίση Πρανούς	70	°
Εύρος σ _{ci}	>100	MPa
Επιλογή σ _{ci}	100	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Πολλές ανώμαλες περιοχές στην επιφάνεια, μικρό μέρος της καλυμμένο με χαλαρά τεμάχια	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχίων Καταπτώσεων	300	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	3	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	1,9	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	0	m ³ / m
Πλάτος Ερείσματος	1,9	m
Κλίση Ασυνεχειών	20-45	°
Ύπαρξη Καρστικών	Όχι	

Πίνακας 125: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σ _{ci}	100	MPa
GSI	30	
m _i	27	
D	0	
MR	485	
γ	27	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 126: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	4,972	MPa
φ	33	°
E	3,94708	GPa

Πίνακας 127: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	30		Εκτίμηση
E	1,644893069	GPa	Εξίσωση από GSI
E	3,16227766	GPa	Εξίσωση από GSI και σ _{ci} για <100 MPa
k _x	0,01	m/d	Εκτίμηση
k _y	0,01	m/d	Εκτίμηση
c/σ _{ci}	0,038		Διάγραμμα
c	3,8	MPa	Διάγραμμα
φ	34	°	Διάγραμμα
ν	0,31		Εξίσωση
γ	27	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 128: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

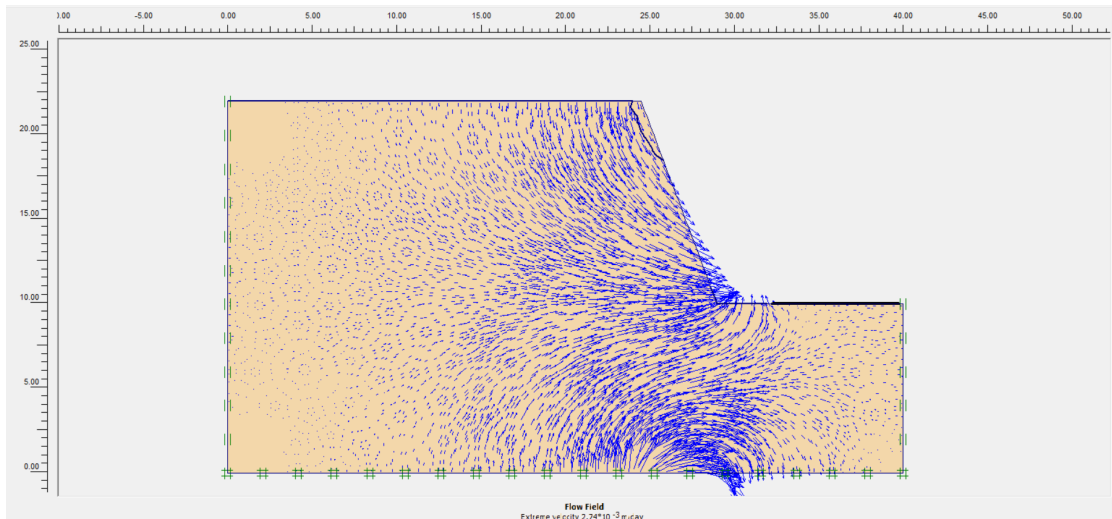
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	30	
E	3	GPa
ν	0,3	
φ	34	°
c	4,386	MPa
k _x	0,01	m/d
k _y	0,01	m/d
γ	27	kN/m ³

Πίνακας 129: Δεδομένα Plaxis

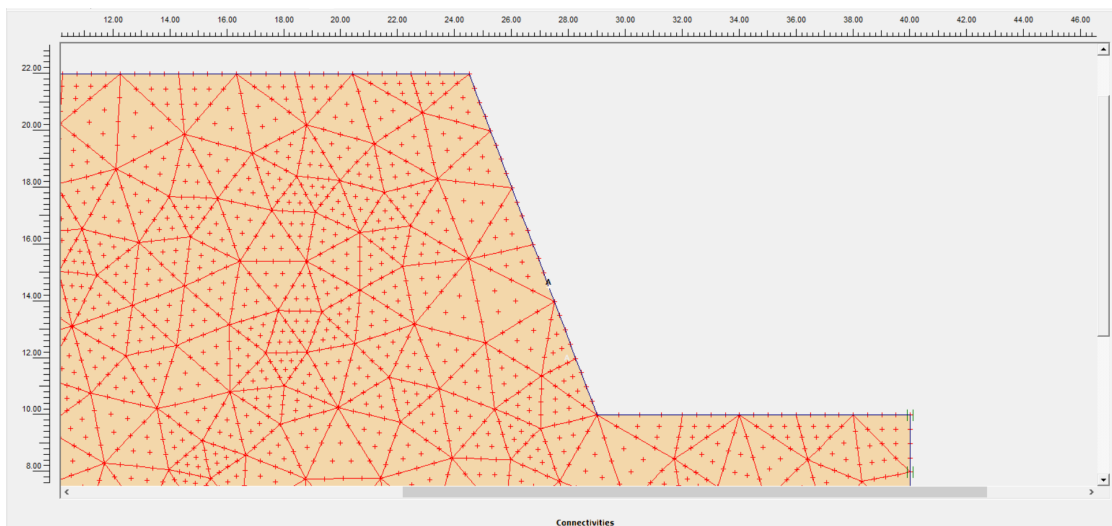
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimensions	Left	0,00	m
	Right		m
	Bottom	0,00	m
	Top		m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	Gneiss - Amphibolites		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	UnDrained	
	γ_{unsat}	27	kN/m ³
	γ_{sat}	29	kN/m ³
	k_x	0,001	m/d
	k_y	0,001	m/d
Parameters	Eref	3000000	kN/m ²
	ν	0,3	
	c ref	4386	kN/m ²
	ϕ	34	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
KO - procedure	ΣM - weight	1	
	KO	0,441	
Στάθμη Υ.Ο.	Στην επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	33,363		

Σχόλια δεδομένων

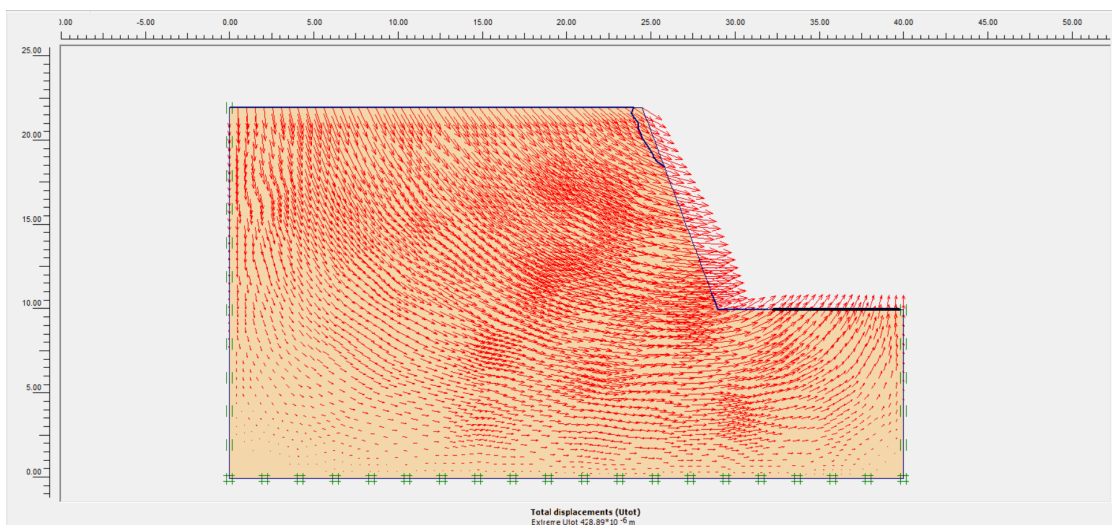
Οι τιμές των σταθερών m_i και MR ελήφθησαν ως μέσος όρος των αντίστοιχων τιμών του γενέσιου και του αμφιβολίτη. Επιπλέον, έγινε μία υποτίμηση της τιμής του λόγου Poisson, στην ανώτερη τιμή από τις ενδεικτικές τιμές του διαγράμματος του προηγούμενου κεφαλαίου. Ακόμα, οι προκύπτουσες τιμές της συνοχής είναι παραπλήσιες. Οπότε, ως τελική τιμή λήφθηκε ο μέσος όρος τους. Τέλος, η συγκεκριμένη τιμή της διαπερατότητας είναι ελαφρώς αυξημένη, λόγω του αμφιβολίτη.



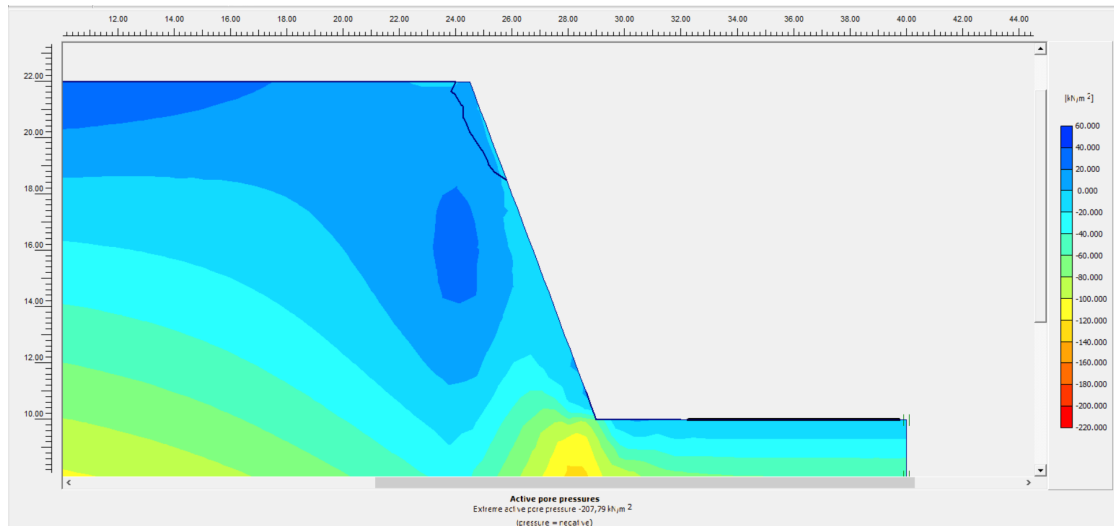
Εικόνα 116: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 117: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



Εικόνα 118: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 119: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 130: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)		Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point
Μετατοπίσεις	(27.313 , 14.500)	Ux	$413,012 \cdot 10^{-6}$	m	55	649
		Uy	$-33,555 \cdot 10^{-6}$	m		
		ΔUx	$7,105 \cdot 10^{-6}$	m		
		ΔUy	$-0,977 \cdot 10^{-6}$	m		
Ενεργές Τάσεις	(24.822 , 15.432)	σ_{xx}	-29,961	kN/m ²	55	649
		σ_{yy}	-167,918	kN/m ²		
		σ_{xy}	7,749	kN/m ²		
		σ_{zz}	-60,551	kN/m ²		
Πίεση των Πόρων	(24.822 , 15.432)	p (excess)	35,504	kN/m ²	55	649
		P (active)	19,981	kN/m ²		
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%		

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι πολύ ευσταθές. Στο σημείο «Α», όπως έχει υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι οι οριζόντιες. Ακόμα και αυτές όμως είναι πολύ μικρές, της τάξης του μισού χιλιοστού ή μέγιστη. Οι διαφορικές μετατοπίσεις λαμβάνουν ακόμα μικρότερες τιμές. Ταυτόχρονα οι τάσεις, αλλά και η πίεση του νερού των πόρων λαμβάνουν πολύ μικρές τιμές, ειδικά αφού η τιμή της σσι είναι πολύ μεγάλη. Επιπλέον, η ροή των υδάτων είναι σχετικά παράλληλη με την επιφάνεια του πρανούς, γεγονός που υποδεικνύει πως η πίεση είναι σχεδόν υδροστατική. Βέβαια, υπάρχει ένα σημαντικό «τσάκισμα» του υδροφόρου κατάντη του φρυδιού του πρανούς. Τα αποτελέσματα απεικονίζουν εξαιρετικά την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως στο συγκεκριμένο πρανές υπάρχουν νεροφαγώματα και καταπτώσεις χωμάτων του πρανούς. Τα νεροφαγώματα εντοπίζονται κάτω από το μέσον του ύψους του πρανούς έως τον πόδα αυτού, ακριβώς στο τμήμα δηλαδή που δείχνει η ανάλυση την εκτόνωση των υδάτων. Συμπερασματικά, υπάρχει κάποιος λόγος ανησυχίας, παρότι πρόκειται για ένα πρανές σχετικά μικρού ύψους και μεγάλης τάφρου ανάσχεσης. Αυτό διότι τα νεροφαγώματα είναι πολύ έντονα. Ως λύση, μπορεί να ενισχυθεί το πρανές με τσιμεντενέσεις κοντά στην επιφάνεια του και να δημιουργηθούν ταυτόχρονα αποστραγγιστικές οπές πιο πίσω. Ωστόσο, μια ακόμα λύση είναι (λόγω του χαμηλού ύψους) η μείωση της κλίσης του πρανούς, ούτως ώστε τα μελλοντικά νεροφαγώματα που δυνητικά θα δημιουργηθούν να μην αποτελούν κίνδυνο για κατάρρευση.

17. X.Θ. 389+500 – 389+800

Πίνακας 131: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 389+500 – 389+800

Βραχομάζα	Σειρά Γνευσίων/Αμφιβολιτών	
Ύψος Πρανούς	18	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	30	m
Κλίση Πρανούς	70	°
Εύρος σ _{ci}	>100	MPa
Επιλογή σ _{ci}	100	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Πολλές ανώμαλες περιοχές στην επιφάνεια, μικρό μέρος της καλυμμένο με χαλαρά τεμάχια	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχίων Καταπτώσεων	300	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	4,5	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	2,8	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	0	m ³ /m
Πλάτος Ερείσματος	1,9	m
Κλίση Ασυνεχειών	<25	°
Ύπαρξη Καρστικών	Όχι	

Πίνακας 132: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σ _{ci}	100	MPa
GSI	50	
m _i	27	
D	0,5	
MR	485	
γ	27	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 133: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	5,53	MPa
φ	34	°
E	7,126688	GPa

Πίνακας 134: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	50		Εκτίμηση
E	9,340700472	GPa	Εξίσωση από GSI
E	10	GPa	Εξίσωση από GSI και σ _{ci} για <100 MPa
k _x	0,01	m/d	Εκτίμηση
k _y	0,01	m/d	Εκτίμηση
c/σ _{ci}	0,05		Διάγραμμα
c	5	MPa	Διάγραμμα
φ	40	°	Διάγραμμα
ν	0,27		Εξίσωση
γ	27	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 135: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

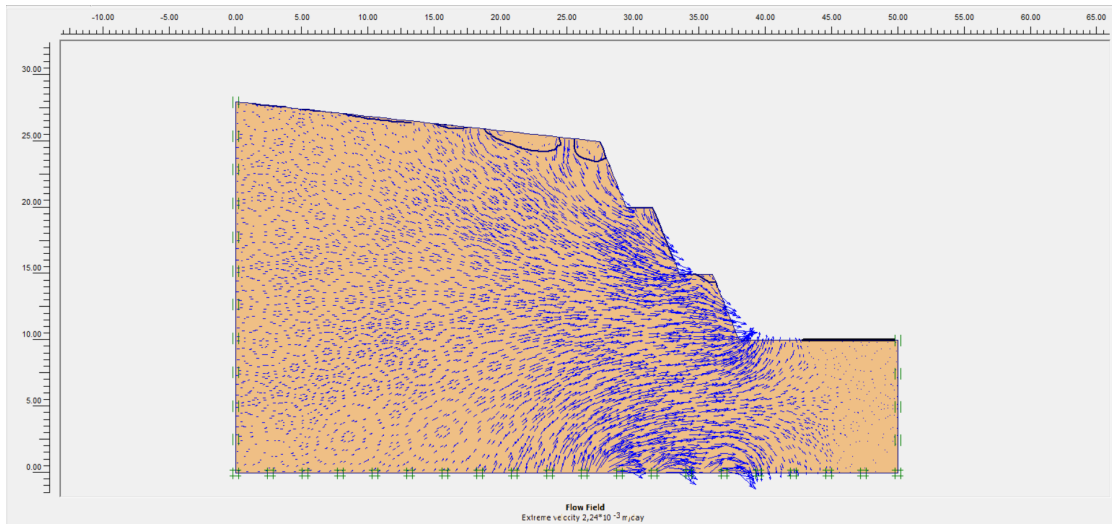
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	50	
E	8	GPa
ν	0,3	
φ	36	°
c	5	MPa
k _x	0,01	m/d
k _y	0,01	m/d
γ	27	kN/m ³

Πίνακας 136: Δεδομένα Plaxis

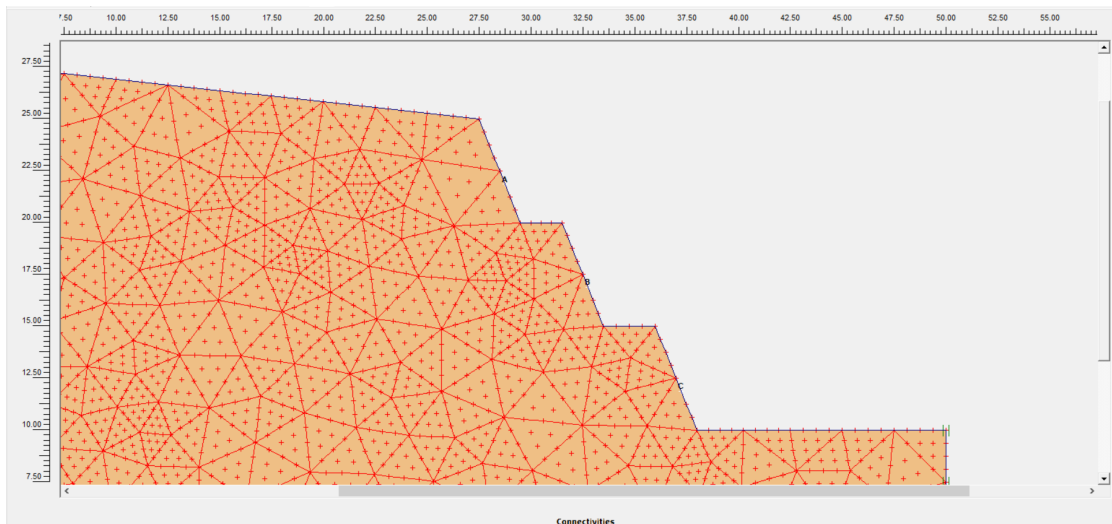
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimensions	Left	0,00	m
	Right	50,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	30,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	Gneiss - Amphibolites		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	UnDrained	
	γ_{unsat}	27	kN/m ³
	γ_{sat}	29	kN/m ³
	k_x	0,001	m/d
	k_y	0,001	m/d
Parameters	Eref	8000000	kN/m ²
	ν	0,3	
	c ref	5000	kN/m ²
	ϕ	36	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
KO - procedure	ΣM - weight	1	
	KO	0,412	
Στάθμη Υ.Ο.	Στην επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	55,392		

Σχόλια δεδομένων

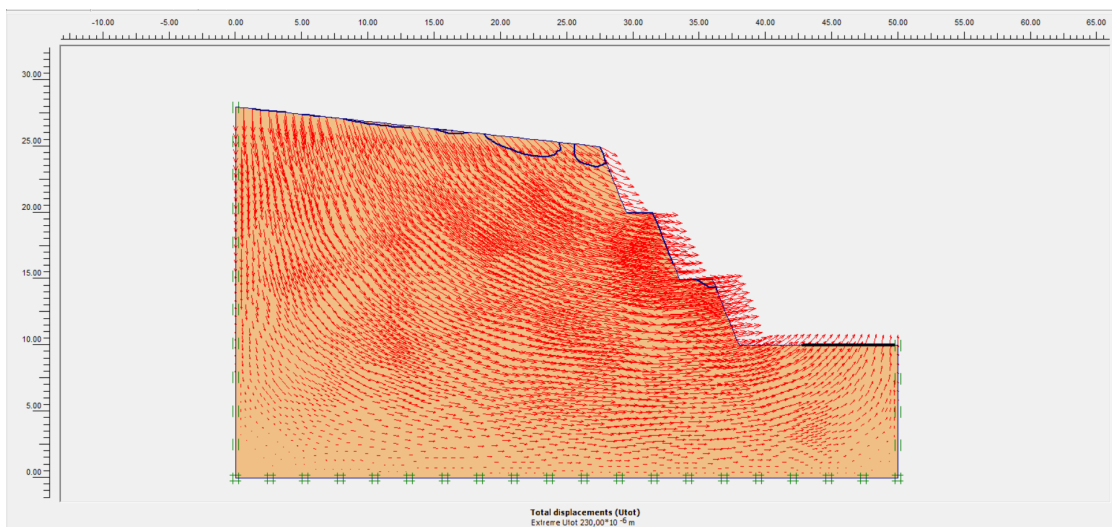
Οι τιμές των σταθερών m_i και MR ελήφθησαν ως μέσος όρος των αντίστοιχων τιμών του γνεύσιου και του αμφιβολίτη. Επιπλέον, η συγκεκριμένη τιμή της διαπερατότητας είναι ελαφρώς αυξημένη, λόγω του αμφιβολίτη.



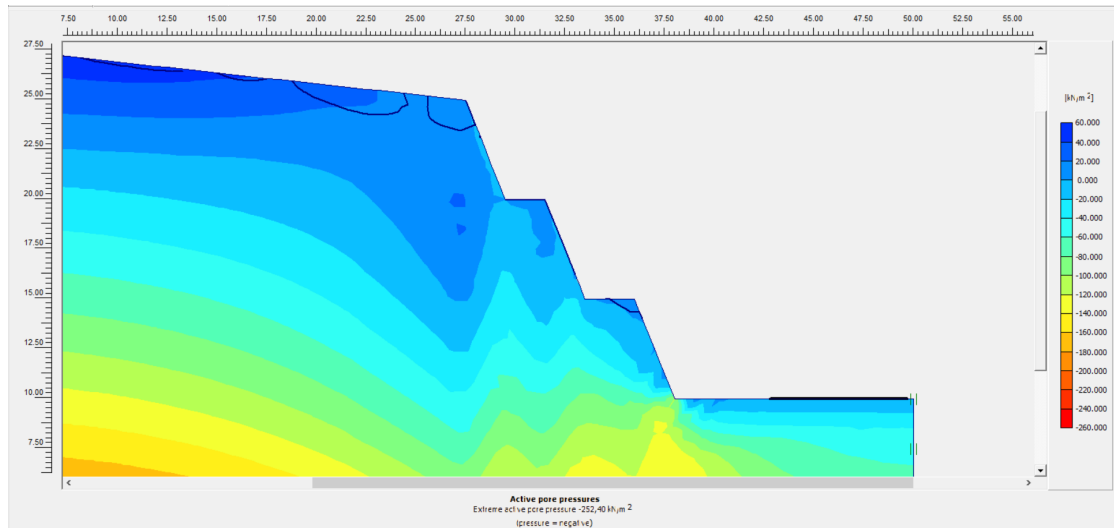
Εικόνα 120: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 121: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



Εικόνα 122: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 123: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 137: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)			Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point		
Μετατοπίσεις	(37.250 , 11.875)	Ux	221,671*10 ⁻⁶	m	78	2787			
		Uy	30,394*10 ⁻⁶	m					
		ΔUx	86,445*10 ⁻⁶	m					
		ΔUy	11,120*10 ⁻⁶	m					
Ενεργές Τάσεις	(37.785 , 10.170)	σxx	-141,951	kN/m ²		75	926		
		σyy	-155,059	kN/m ²					
		σxy	148,360	kN/m ²					
		σzz	-88,618	kN/m ²					
Πίεση των Πόρων	(37.785 , 10.170)	p (excess)	-63,315	kN/m ²					
		P (active)	-66,379	kN/m ²					
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%					
Μετατοπίσεις	(32.750 , 16.875)	Ux	221,314*10 ⁻⁶	m				73	2341
		Uy	-2,429*10 ⁻⁶	m					
		ΔUx	85,752*10 ⁻⁶	m					
		ΔUy	-2,310*10 ⁻⁶	m					
Ενεργές Τάσεις	(31.750 , 15.057)	σxx	-25,790	kN/m ²	73		889		
		σyy	-117,636	kN/m ²					
		σxy	25,085	kN/m ²					
		σzz	-41,860	kN/m ²					
Πίεση των Πόρων	(31.750 , 15.057)	p (excess)	13,034	kN/m ²					
		P (active)	-7,917	kN/m ²					
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%					
Μετατοπίσεις	(28.750 , 21.875)	Ux	166,781*10 ⁻⁶	m		73			1803
		Uy	-52,087*10 ⁻⁶	m					
		ΔUx	65,386*10 ⁻⁶	m					
		ΔUy	-21,044*10 ⁻⁶	m					
Ενεργές Τάσεις	(26.635 , 20.024)	σxx	-26,704	kN/m ²			73	865	
		σyy	-151,613	kN/m ²					
		σxy	-1,177	kN/m ²					
		σzz	-52,033	kN/m ²					
Πίεση των Πόρων	(26.635 , 20.024)	p (excess)	38,988	kN/m ²					
		P (active)	19,629	kN/m ²					
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%					

Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι πολύ ευσταθές. Στα επιλεγμένα σημεία, όπως έχουν υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι τόσο οι οριζόντιες, όσο και οι κατακόρυφες. Ακόμα και αυτές όμως είναι πολύ μικρές, της τάξης των δύο δέκατων του χιλιοστού η μέγιστη. Οι διαφορικές μετατοπίσεις είναι αντίστοιχων περίπου τιμών. Ταυτόχρονα οι τάσεις, αλλά και η πίεση του νερού των πόρων λαμβάνουν πολύ μικρές τιμές, ειδικά αφού η τιμή της σ_{ci} είναι τόσο μεγάλη. Επιπλέον, η ροή των υδάτων είναι σχετικά παράλληλη με την επιφάνεια του πρανούς, γεγονός που υποδεικνύει πως η πίεση είναι σχεδόν υδροστατική. Βέβαια, υπάρχει ορισμένα «τσακίσματα» του υδροφόρου ανάντη του φρυδιού του πρανούς, καθώς και στο πρώτο πατάρι. Τα αποτελέσματα δεν απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως στο συγκεκριμένο πρανές υπάρχουν καταπτώσεις χωμάτων του πρανούς, το οποίο οδήγησε στην πλήρωση του καναλιού στην τάφρο ανάσχεσης. Κάτι τέτοιο βέβαια δεν μπορεί να φανεί σε μία ανάλυση προφανώς. Συμπερασματικά, δεν υπάρχει κανένας λόγος ανησυχίας, καθότι πρόκειται για ένα πρανές εξαιρετικής ποιότητας βραχομάζας και μεγάλης τάφρου ανάσχεσης. Ωστόσο, ως λύση για την προστασία του οδικού δικτύου από την κατάπτωση των χωμάτων από μεγάλα ύψη προτείνεται η τοποθέτηση ενός κατακόρυφου πλέγματος στο εξωτερικό άκρο της τάφρου ανάσχεσης, καθώς και ο τακτικός καθαρισμός της τάφρου.

18. X.Θ. 390+500 – 390+550

Πίνακας 138: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 390+500 – 390+550

Βραχομάζα	Σειρά Γνευσίων/Αμφιβολιτών	
Ύψος Πρανούς	15	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	18	m
Κλίση Πρανούς	70	°
Εύρος σ _{ci}	>100	MPa
Επιλογή σ _{ci}	100	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Πολλές ανώμαλες περιοχές στην επιφάνεια, μικρό μέρος της καλυμμένο με χαλαρά τεμάχια	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχίων Καταπτώσεων	300	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	3	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	1,9	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	0	m ³ / m
Πλάτος Ερείσματος	1,9	m
Κλίση Ασυνχειών	<20	°
Ύπαρξη Καρστικών	Όχι	

Πίνακας 139: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σ _{ci}	100	MPa
GSI	35	
m _i	27	
D	0	
MR	485	
γ	27	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 140: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	5,413	MPa
φ	34,5	°
E	5,50024	GPa

Πίνακας 141: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	35		Εκτίμηση
E	2,567158635	GPa	Εξίσωση από GSI
E	4,216965034	GPa	Εξίσωση από GSI και σ _{ci} για <100 MPa
k _x	0,01	m/d	Εκτίμηση
k _y	0,01	m/d	Εκτίμηση
c/σ _{ci}	0,041		Διάγραμμα
c	4,1	MPa	Διάγραμμα
φ	36	°	Διάγραμμα
ν	0,3		Εξίσωση
γ	27	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 142: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

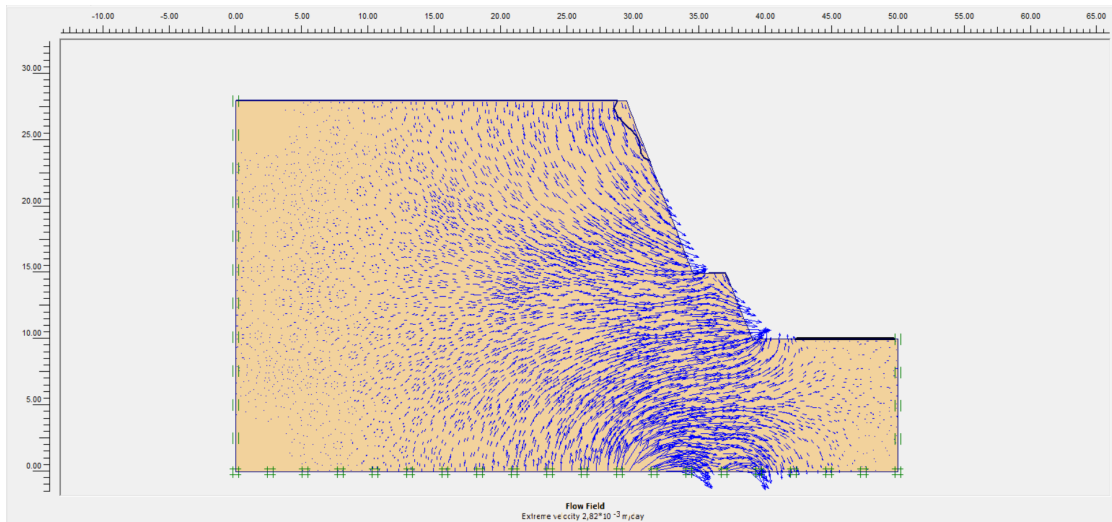
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	35	
E	4,09	GPa
ν	0,3	
φ	35	°
c	4,754	MPa
k _x	0,01	m/d
k _y	0,01	m/d
γ	27	kN/m ³

Πίνακας 143: Δεδομένα Plaxis

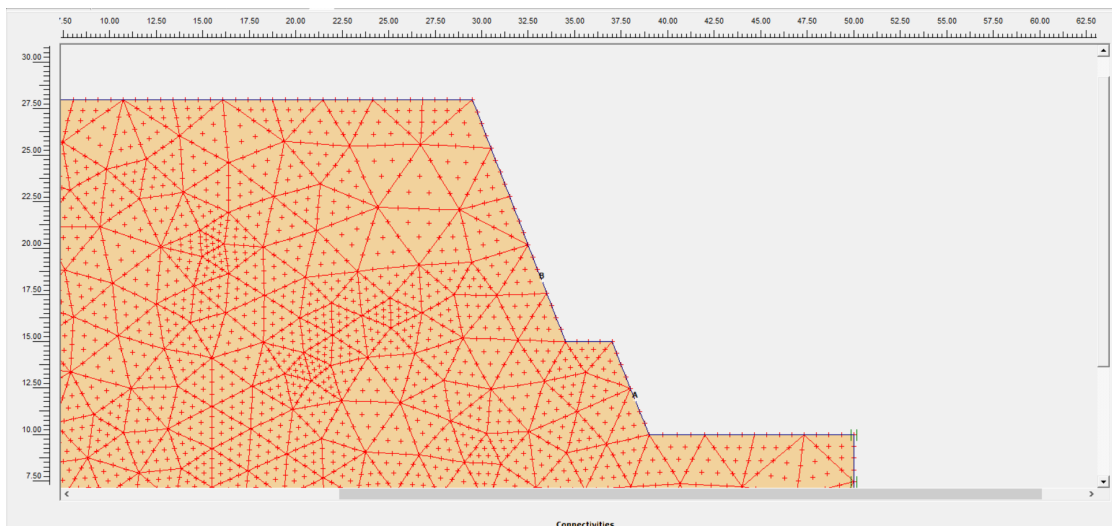
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimensions	Left	0,00	m
	Right	50,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	30,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	Gneiss - Amphibolites		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	UnDrained	
	γ_{unsat}	27	kN/m ³
	γ_{sat}	29	kN/m ³
	k_x	0,001	m/d
	k_y	0,001	m/d
Parameters	Eref	4090000	kN/m ²
	ν	0,3	
	c ref	4754	kN/m ²
	ϕ	35	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
KO - procedure	ΣM - weight	1	
	KO	0,426	
Στάθμη Υ.Ο.	Στην επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	26,989		

Σχόλια δεδομένων

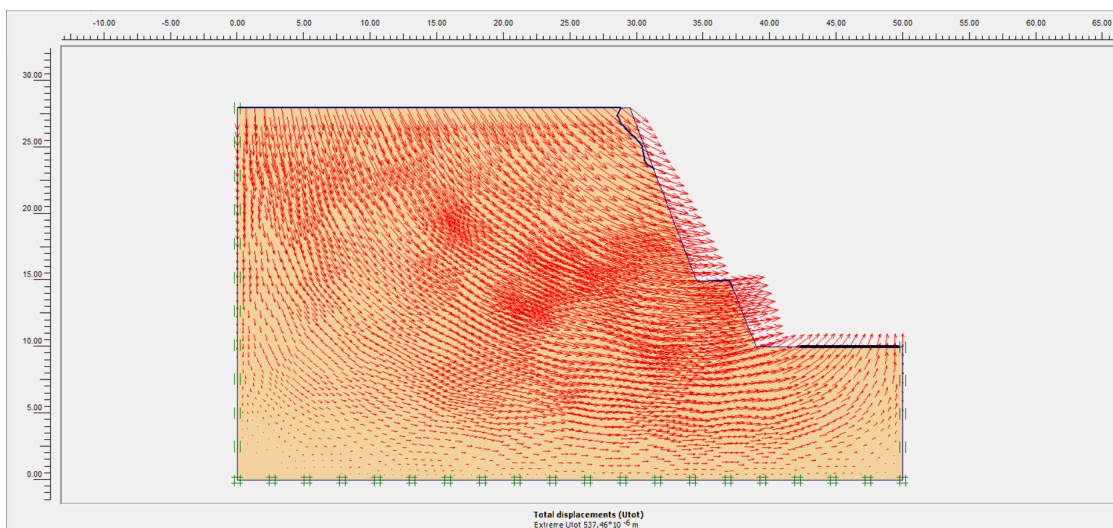
Οι τιμές των σταθερών m_i και MR ελήφθησαν ως μέσος όρος των αντίστοιχων τιμών του γενέσιου και του αμφιβολίτη. Επιπλέον, έγινε μία υποτίμηση της τιμής του λόγου Poisson, στην ανώτερη τιμή από τις ενδεικτικές τιμές του διαγράμματος του προηγούμενου κεφαλαίου. Ακόμα, οι προκύπτουσες τιμές της συνοχής και του μέτρου ελαστικότητας, αντίστοιχα, είναι παραπλήσιες. Οπότε, ως τελική τιμή, για το καθένα, λήφθηκε ο μέσος όρος τους. Τέλος, η συγκεκριμένη τιμή της διαπερατότητας είναι ελαφρώς αυξημένη, λόγω του αμφιβολίτη.



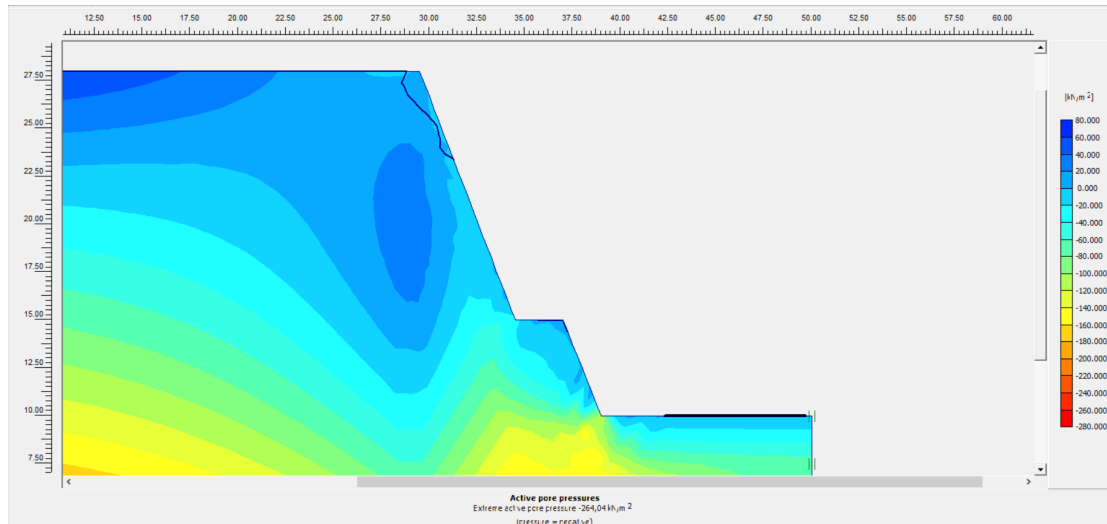
Εικόνα 124: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 125: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



Εικόνα 126: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 127: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 144: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)			Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point
Μετατοπίσεις	(33.250 , 18.250)	Ux	$513,231 \cdot 10^{-6}$	m	54	2467	637
		Uy	$-66,382 \cdot 10^{-6}$	m			
		ΔUx	$275,576 \cdot 10^{-6}$	m			
		ΔUy	$-39,783 \cdot 10^{-6}$	m			
Ενεργές Τάσεις	(31.097 , 17.661)	σ_{xx}	-22,178	kN/m ²	52	2947	614
		σ_{yy}	-182,739	kN/m ²			
σ_{xy}		20,357	kN/m ²				
σ_{zz}		-61,258	kN/m ²				
Πίεση των Πόρων		p (excess)	23,001	kN/m ²			
		P (active)	0,411	kN/m ²			
	Βαθμός Κορεσμού	100,000	%				
Μετατοπίσεις	(38.250 , 11.875)	Ux	$509,613 \cdot 10^{-6}$	m	54	2467	637
		Uy	$67,277 \cdot 10^{-6}$	m			
		ΔUx	$275,681 \cdot 10^{-6}$	m			
		ΔUy	$34,942 \cdot 10^{-6}$	m			
Ενεργές Τάσεις	(38.793 , 10.126)	σ_{xx}	-198,398	kN/m ²	52	2947	614
		σ_{yy}	-151,096	kN/m ²			
σ_{xy}		173,139	kN/m ²				
σ_{zz}		-104,778	kN/m ²				
Πίεση των Πόρων		p (excess)	-126,212	kN/m ²			
		P (active)	-129,916	kN/m ²			
	Βαθμός Κορεσμού	100,000	%				

Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι πολύ ευσταθές. Στα επιλεγμένα σημεία, όπως έχουν υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι οι οριζόντιες. Ακόμα και αυτές όμως είναι πολύ μικρές, της τάξης του μισού χιλιοστού ή μέγιστη. Οι διαφορικές μετατοπίσεις λαμβάνουν παρόμοιες τιμές. Ταυτόχρονα οι τάσεις, αλλά και η πίεση του νερού των πόρων λαμβάνουν πολύ μικρές τιμές, ειδικά αφού η τιμή της σσί είναι πολύ μεγάλη. Επιπλέον, η ροή των υδάτων είναι σχετικά παράλληλη με την επιφάνεια του πρανούς, γεγονός που υποδεικνύει πως η πίεση είναι σχεδόν υδροστατική. Βέβαια, υπάρχει ένα «τσάκισμα» του υδροφόρου κατάντη του φρυδιού του πρανούς. Τα αποτελέσματα απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως στο συγκεκριμένο πρανές υπάρχουν νεροφαγώματα και καταπτώσεις χωμάτων του πρανούς. Αυτό αιτιολογείται από την επιφανειακή εκτόνωση των υδάτων, ειδικά αν αυτά τα νεροφαγώματα βρίσκονται στον πόδα του πρανούς, όπου η εκτόνωση των υδάτων είναι πιο ισχυρή σε σχέση με άλλα σημεία, και προέρχεται και από υπόγεια (κατώτερα της επιφάνειας του πόδα) ύδατα. Συμπερασματικά, δεν υπάρχει κάποιος λόγος ανησυχίας, καθότι πρόκειται για ένα πρανές σχετικά μικρού ύψους και μεγάλης τάφρου ανάσχεσης. . Ωστόσο, ως λύση για την προστασία του οδικού δικτύου από την κατάπτωση των χωμάτων από μεγάλα ύψη προτείνεται η τοποθέτηση ενός κατακόρυφου πλέγματος στο εξωτερικό άκρο της τάφρου ανάσχεσης, ύψους έως δύο μέτρα.

19. X.Θ. 393+300 – 393+320

Πίνακας 145: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 393+300 – 393+320

Βραχομάζα	Σειρά Γνευσίων/Αμφιβολιτών	
Ύψος Πρανούς	3	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	12	m
Κλίση Πρανούς	70	°
Εύρος σ _{ci}	25-50	MPa
Επιλογή σ _{ci}	40	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Πολλές ανώμαλες περιοχές στην επιφάνεια, μικρό μέρος της καλυμμένο με χαλαρά τεμάχια	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχίων Καταπτώσεων	150	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	4,5	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	2,8	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	0	m ³ /m
Πλάτος Ερείσματος	1,9	m
Κλίση Ασυνχειών	<20	°
Ύπαρξη Καρστικών	Όχι	

Πίνακας 146: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σ _{ci}	40	MPa
GSI	20	
m _i	27	
D	0	
MR	460	
γ	24	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 147: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	1,609	MPa
φ	30	°
E	0,84036	GPa

Πίνακας 148: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	20		Εκτίμηση
E	0,669285092	GPa	Εξίσωση από GSI
E	1,12468265	GPa	Εξίσωση από GSI και σ _{ci} για <100 MPa
k _x	0,05	m/d	Εκτίμηση
k _y	0,05	m/d	Εκτίμηση
c/σ _{ci}	0,028		Διάγραμμα
c	1,12	MPa	Διάγραμμα
φ	32	°	Διάγραμμα
ν	0,32		Εξίσωση
γ	24	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 149: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

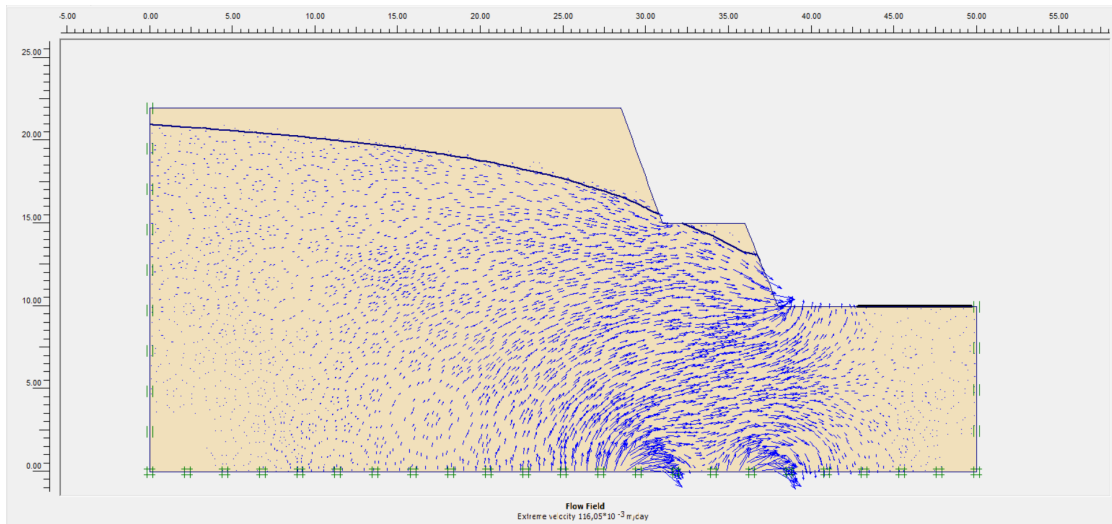
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	20	
E	0,9	GPa
ν	0,32	
φ	32	°
c	1,2	MPa
k _x	0,05	m/d
k _y	0,05	m/d
γ	24	kN/m ³

Πίνακας 150: Δεδομένα Plaxis

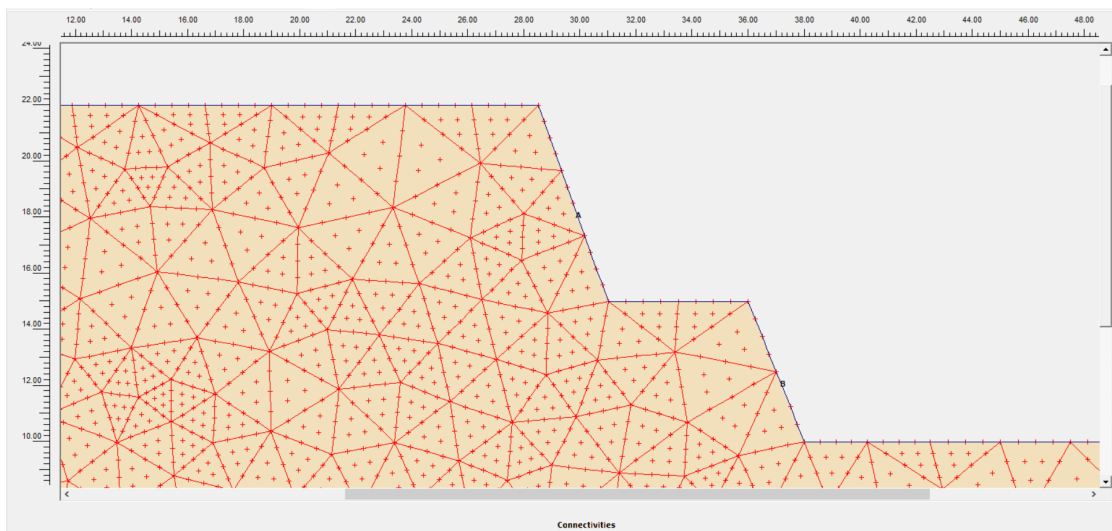
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimentionions	Left	0,00	m
	Right	50,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	30,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	Gneiss - Amphibolites		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	UnDrained	
	γ_{unsat}	24	kN/m ³
	γ_{sat}	26	kN/m ³
	k_x	0,05	m/d
	k_y	0,05	m/d
Parameters	Eref	900000	kN/m ²
	ν	0,32	
	c ref	1200	kN/m ²
	ϕ	32	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
KO - procedure	ΣM - weight	1	
	KO	0,642	
Στάθμη Υ.Ο.	1m κάτω από την επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	22,285		

Σχόλια δεδομένων

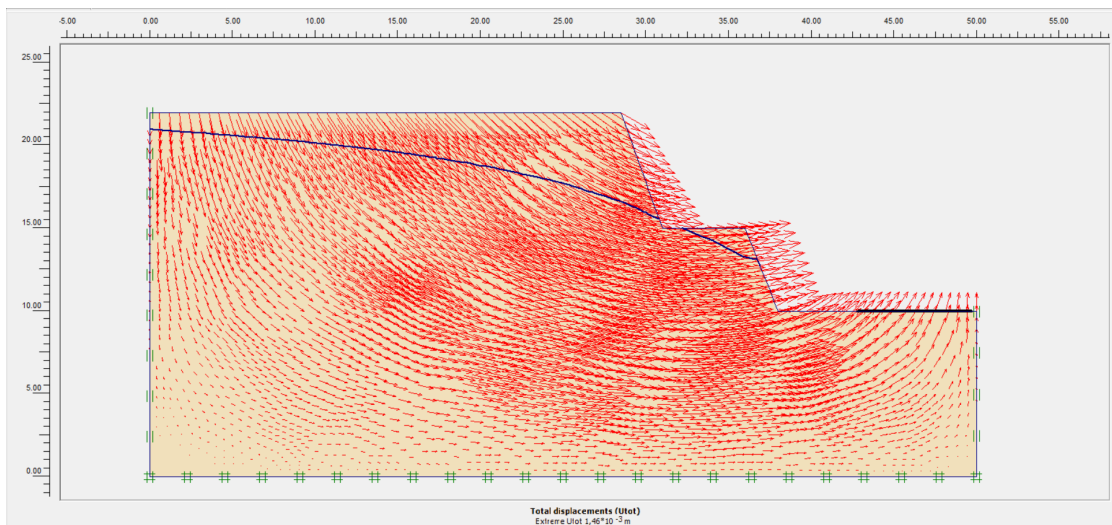
Οι τιμές των σταθερών m_i και MR ελήφθησαν ως μέσος όρος των αντίστοιχων τιμών του γνεύσιου και του αμφιβολίτη. Ωστόσο, επειδή η βραχομάζα είναι λίγο εδαφοποιημένη, η τιμή της σταθεράς MR είναι ελαφρώς απομειωμένη (κατά 25). Επιπλέον, η τιμή του ειδικού βάρους ελαττώνεται ελαφρώς, ως αποτέλεσμα της άμμου και των κροκαλοπαγών. Ταυτόχρονα, για τον ίδιο λόγο η τιμή της διαπερατότητας αυξάνεται. Τέλος, η επιλογή της τιμής της ψ έγινε κατόπιν συνεκτίμησης αυτών των παραγόντων και του είδους των δύο βασικών πετρωμάτων της βραχομάζας.



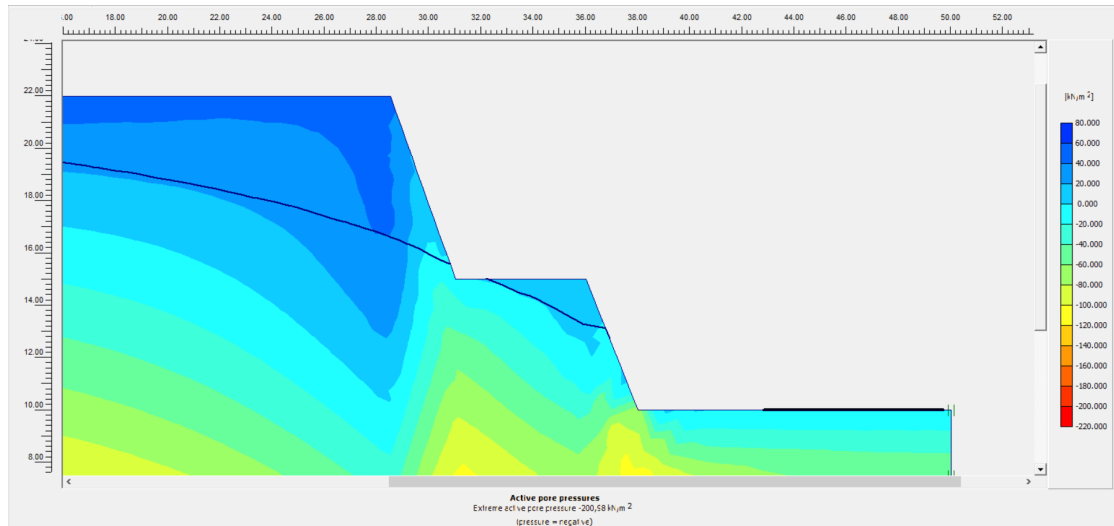
Εικόνα 128: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 129: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



Εικόνα 130: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 131: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 151: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)		Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point
Μετατοπίσεις	(37.250 , 11.875)	Ux	$1,442 \cdot 10^{-3}$	m	63	2453
		Uy	$226,850 \cdot 10^{-6}$	m		
		ΔUx	$603,893 \cdot 10^{-6}$	m		
		ΔUy	$89,453 \cdot 10^{-6}$	m		
Ενεργές Τάσεις	(37.789 , 10.127)	σ_{xx}	-120,542	kN/m ²	52	746
		σ_{yy}	-87,802	kN/m ²		
σ_{xy}		102,878	kN/m ²			
σ_{zz}		-70,123	kN/m ²			
Πίεση των Πόρων		p (excess)	-71,610	kN/m ²		
		P (active)	-74,540	kN/m ²		
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%		
Μετατοπίσεις	(29.958 , 17.917)	Ux	$1,209 \cdot 10^{-3}$	m	63	1879
		Uy	$-312,545 \cdot 10^{-6}$	m		
		ΔUx	$505,098 \cdot 10^{-6}$	m		
		ΔUy	$-134,122 \cdot 10^{-6}$	m		
Ενεργές Τάσεις	(28.209 , 18.179)	σ_{xx}	-37,364	kN/m ²	52	613
		σ_{yy}	-111,382	kN/m ²		
σ_{xy}		2,950	kN/m ²			
σ_{zz}		-58,265	kN/m ²			
Πίεση των Πόρων		p (excess)	31,553	kN/m ²		
		P (active)	31,554	kN/m ²		
		Βαθμός Κορεσμού	85,576	%		

Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι πολύ ευσταθές. Στα επιλεγμένα σημεία, όπως έχουν υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι οι οριζόντιες. Ακόμα και αυτές όμως είναι πολύ μικρές, της τάξης του ενός με δυο χιλιοστά η μέγιστη. Οι διαφορικές μετατοπίσεις είναι λαμβάνουν ακόμα μικρότερες τιμές. Ταυτόχρονα οι τάσεις, αλλά και η πίεση του νερού των πόρων λαμβάνουν πολύ μικρές τιμές, ειδικά αφού η τιμή της σσί είναι συγκριτικά μεγάλη. Υπάρχει ομαλή, αλλά έντονη υποτίμηση του υδροφόρου ορίζοντα με μικρή εκτόνωση των υδάτων στο πατάρι και εντονότερη στον πόδα και ελαφρώς ανάντη του πρανούς. Τα αποτελέσματα δεν απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως στο συγκεκριμένο πρανές υπάρχουν καταπτώσεις χωμάτων του πρανούς. Κάτι τέτοιο βέβαια δεν μπορεί να φανεί σε μία ανάλυση προφανώς. Συμπερασματικά, δεν υπάρχει κανένας λόγος ανησυχίας, καθότι πρόκειται για ένα πρανές σχετικά μικρού ύψους και μεγάλης τάφρου ανάσχεσης. Η βλάστηση στον πόδα του πρανούς βοηθά σε κάποιο βαθμό τη συγκράτηση. Αυτό σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα στοιχεία του πρανούς οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, προσωρινά τουλάχιστον, δεν απαιτείται κάποια επέμβαση.

20. Χ.Θ. 394+700 – 394+850

Πίνακας 152: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 394+700 – 394+850

Βραχομάζα	Σειρά Γνευσίων/Αμφιβολιτών	
Ύψος Πρανούς	11	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	15	m
Κλίση Πρανούς	60	°
Εύρος σσι	1 έως 5	MPa
Επιλογή σσι	3,5	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	-	
Ύπαρξη Νερού	-	
Μέγεθος Τεμαχίων Καταπτώσεων	-	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	-	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	-	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	1	m ³ /m
Πλάτος Ερείσματος	1,9	m
Κλίση Ασυνεχειών	<20	°
Ύπαρξη Καρστικών	Όχι	

Πίνακας 153: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σσι	3,5	MPa
GSI	25	
mi	27	
D	0	
MR	460	
γ	24	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 154: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	0,158	MPa
φ	31	°
E	0,09637	GPa

Πίνακας 155: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	25		Εκτίμηση
E	1,050384451	GPa	Εξίσωση από GSI
E	0,443643397	GPa	Εξίσωση από GSI και σ _{ci} για <100 MPa
k _x	0,05		Εκτίμηση
k _y	0,05		Εκτίμηση
c/σ _{ci}	0,033		Διάγραμμα
c	0,1155	MPa	Διάγραμμα
φ	32	°	Διάγραμμα
ν	0,32		Εξίσωση
γ	24	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 156: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

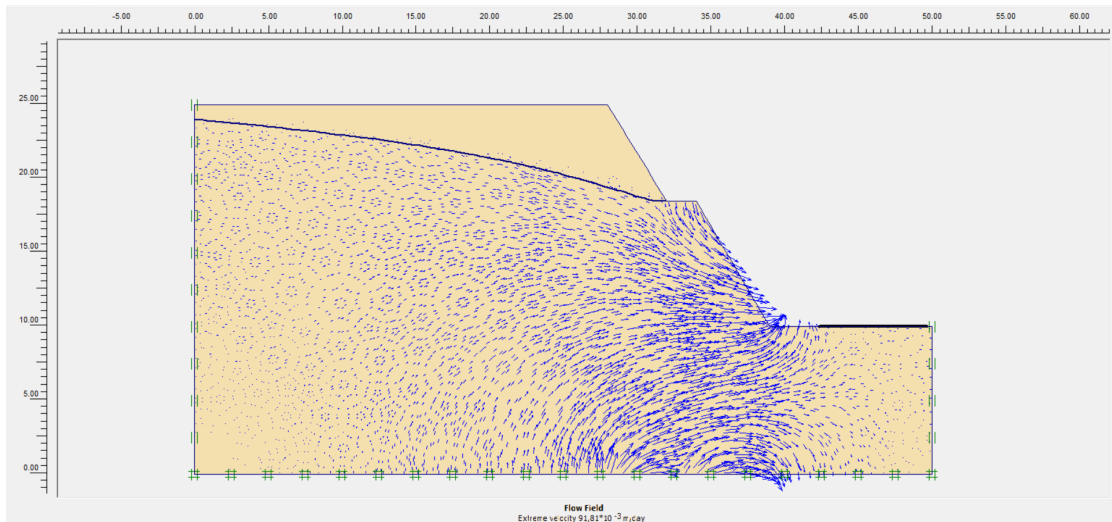
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	25	
E	0,2	GPa
ν	0,32	
φ	32	°
c	0,137	MPa
k _x	0,05	m/d
k _y	0,05	m/d
γ	24	kN/m ³

Πίνακας 157: Δεδομένα Plaxis

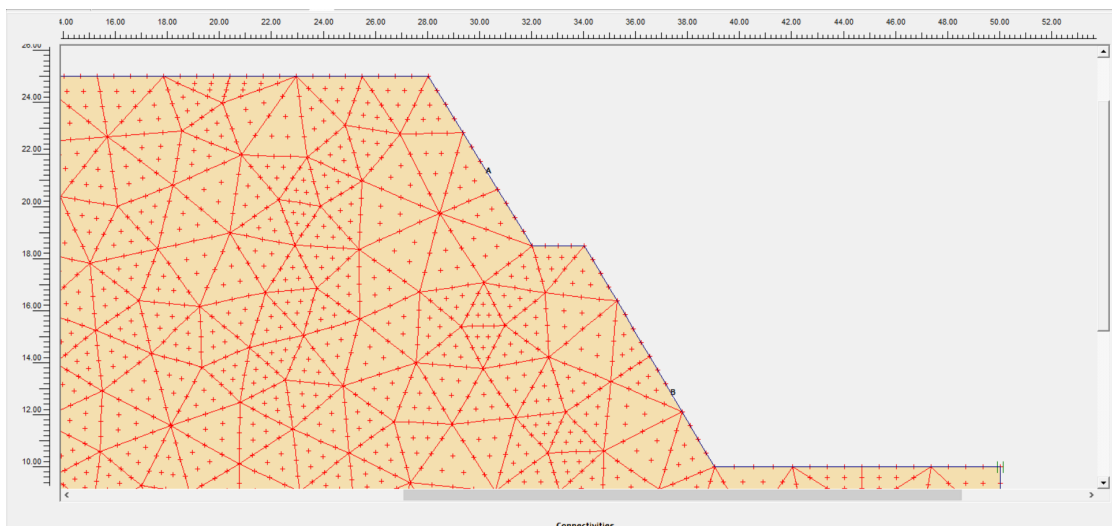
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimensions	Left	0,00	m
	Right	50,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	40,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	Gneiss - Amphibolites		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	UnDrained	
	γ_{unsat}	27	kN/m ³
	γ_{sat}	29	kN/m ³
	k_x	0,05	m/d
	k_y	0,05	m/d
Parameters	Eref	200000	kN/m ²
	ν	0,32	
	c ref	137	kN/m ²
	ϕ	32	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
KO - procedure	ΣM - weight	1	
	KO	0,47	
Στάθμη Υ.Ο.	1m κάτω από την επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	2,913		

Σχόλια δεδομένων

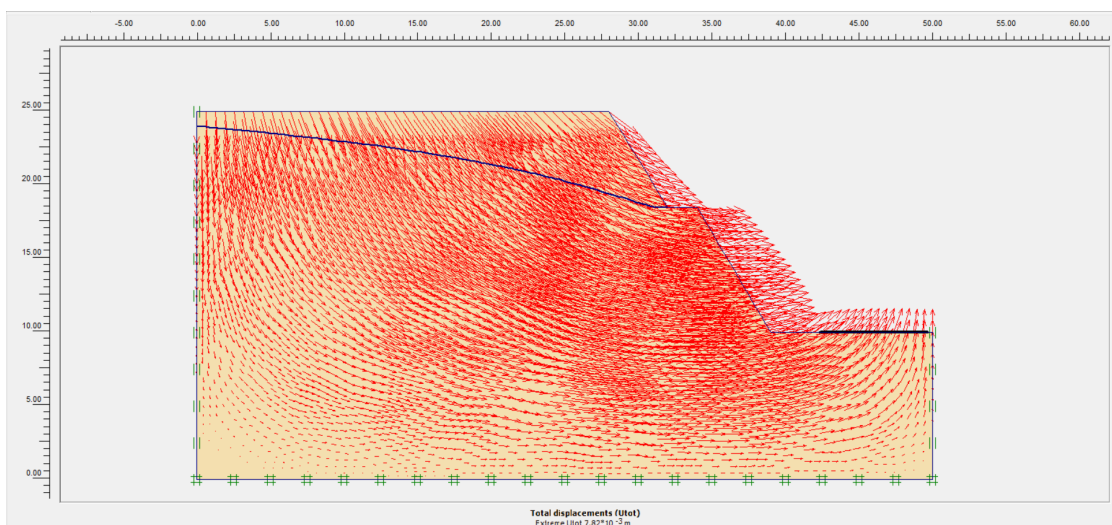
Οι τιμές των σταθερών m_i και MR ελήφθησαν ως μέσος όρος των αντίστοιχων τιμών του γνεύσιου και του αμφιβολίτη. Ωστόσο, επειδή η βραχομάζα είναι λίγο εδαφοποιημένη, η τιμή της σταθεράς MR είναι ελαφρώς απομειωμένη (κατά 25). Επιπλέον, η τιμή του ειδικού βάρους ελαττώνεται ελαφρώς, ως αποτέλεσμα της άμμου και των κροκαλοπαγών. Ταυτόχρονα, για τον ίδιο λόγο η τιμή της διαπερατότητας αυξάνεται. Ακόμα, η επιλογή της τιμής της ψ έγινε κατόπιν συνεκτίμησης αυτών των παραγόντων και του είδους των δύο βασικών πετρωμάτων της βραχομάζας. Τέλος, οι προκύπτουσες τιμές της συνοχής είναι παραπλήσιες. Οπότε, ως τελική τιμή λήφθηκε ο μέσος όρος τους.



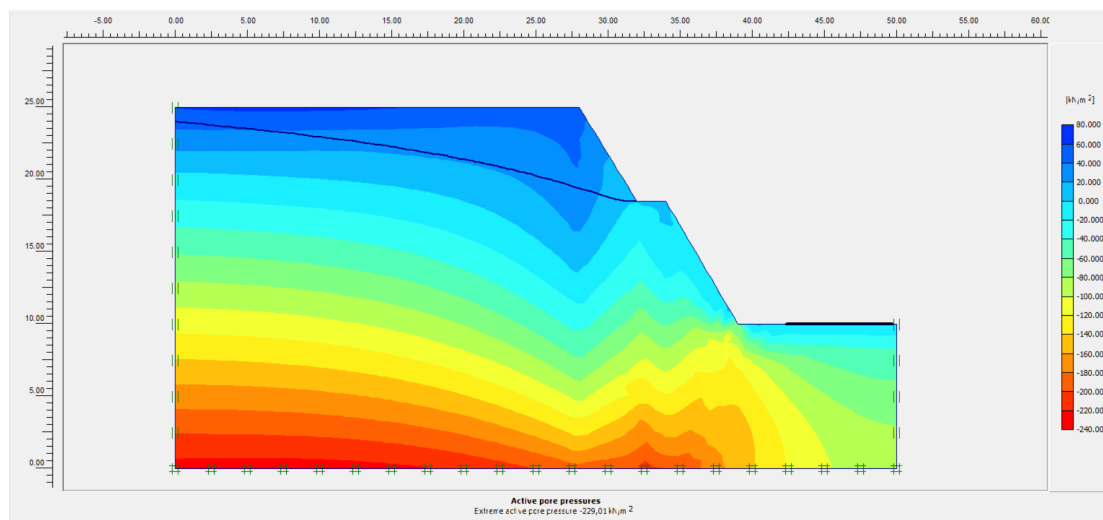
Εικόνα 132: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 133: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



Εικόνα 134: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 135: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 158: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)			Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point	
Μετατοπίσεις	(37.438 , 12,656)	Ux	$7,732 \cdot 10^{-3}$	m	3	2533		
		Uy	$0,963 \cdot 10^{-3}$	m				
		ΔUx	$1,614 \cdot 10^{-3}$	m				
		ΔUy	$184,310 \cdot 10^{-6}$	m				
Ενεργές Τάσεις	(35.289 , 13.268)	σ_{xx}	-12,053	kN/m ²	3	25		
		σ_{yy}	-73,212	kN/m ²				
		σ_{xy}	29,705	kN/m ²				
Πίεση των Πόρων	(35.289 , 13.268)	σ_{zz}	-27,265	kN/m ²				
		p (excess)	-6,771	kN/m ²				
		P (active)	-23,183	kN/m ²				
	(35.289 , 13.268)	Βαθμός Κορεσμού	100,000	%				
Μετατοπίσεις	(30.333 , 21.208)	Ux	$5,445 \cdot 10^{-3}$	m	41	1901		
		Uy	$-1,989 \cdot 10^{-3}$	m				
		ΔUx	$1,137 \cdot 10^{-3}$	m				
		ΔUy	$-425,944 \cdot 10^{-6}$	m				
Ενεργές Τάσεις	(28.635 , 19.994)	σ_{xx}	-26,524	kN/m ²	41	481		
		σ_{yy}	-112,347	kN/m ²				
		σ_{xy}	-0,208	kN/m ²				
Πίεση των Πόρων	(28.635 , 19.994)	σ_{zz}	-44,406	kN/m ²				
		p (excess)	24,196	kN/m ²				
		P (active)	24,197	kN/m ²				
	(28.635 , 19.994)	Βαθμός Κορεσμού	91,883	%				

Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι αρκετά ευσταθές. Στα επιλεγμένα σημεία, όπως έχουν υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι οι οριζόντιες. Ακόμα και αυτές όμως είναι πολύ μικρές, της τάξης οκτώ χιλιοστών η μέγιστη. Οι διαφορικές μετατοπίσεις είναι λαμβάνουν ακόμα μικρότερες τιμές. Ταυτόχρονα οι τάσεις, αλλά και η πίεση του νερού των πόρων λαμβάνουν σημαντικές τιμές, ειδικά αφού η τιμή της σεί είναι μόνο μερικές φορές πολλαπλάσια αυτών. Υπάρχει ομαλή, υποτίμηση του υδροφόρου ορίζοντα με εκτόνωση των υδάτων στο πατάρι και κατάντη αυτού έως τον πόδα του πρανούς. Τα αποτελέσματα θεωρητικά απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως στο συγκεκριμένο πρανές υπάρχουν καταπτώσεις χωμάτων του πρανούς. Αυτό μπορεί να ερμηνευθεί ως αποτέλεσμα των υψηλών πιέσεων του νερού και της συγκέντρωσης (κατακόρυφων κυρίως) τάσεων στην επιφάνεια του κάτω τμήματος του πρανούς. Συμπερασματικά, υπάρχει έντονος λόγος ανησυχίας, καθότι πρόκειται για ένα πρανές με πολύ πτωχή βραχομάζα και απουσία τάφρου ανάσχεσης. Επομένως, απαιτείται είτε η δημιουργία τάφρου ανάσχεσης, είτε η μείωση, τουλάχιστον κατά 15° της κλίσης του πρανούς. Ταυτόχρονα, προτείνεται η τοποθέτηση πλέγματος για συγκράτηση των καταπτώσεων.

21. X.Θ. 407+000 – 407+030

Πίνακας 159: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 407+000 – 407+030

Βραχομάζα	Σειρά Γνευσίων	
Ύψος Πρανούς	15	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	18	m
Κλίση Πρανούς	70	°
Εύρος σci	>100	MPa
Επιλογή σci	100	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Πολλές ανώμαλες περιοχές στην επιφάνεια, μέρος της καλυμμένο με χαλαρά τεμάχια	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχίων Καταπτώσεων	150	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	3	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	1,9	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	1	m ³ /m
Πλάτος Ερείσματος	1,9	m
Κλίση Ασυνεχειών	<20	°
Ύπαρξη Καρστικών	Όχι	

Πίνακας 160: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σci	100	MPa
GSI	30	
mi	28	
D	0	
MR	525	
γ	27	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 161: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	5,033	MPa
φ	33,5	°
E	4,27261	GPa

Πίνακας 162: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	30		Εκτίμηση
E	1,644893069	GPa	Εξίσωση από GSI
E	3,16227766	GPa	Εξίσωση από GSI και σ _{ci} για <100 MPa
k _x	0,001	m/d	Εκτίμηση
k _y	0,001	m/d	Εκτίμηση
c/σ _{ci}	0,038		Διάγραμμα
c	3,8	MPa	Διάγραμμα
φ	34	°	Διάγραμμα
ν	0,31		Εξίσωση
γ	27	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 163: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

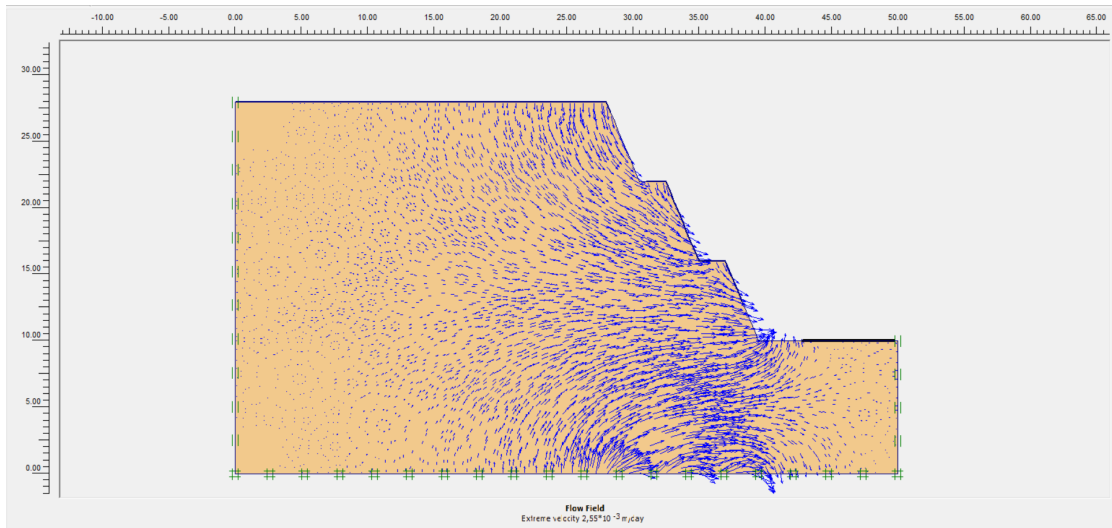
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	30	
E	3,03	GPa
ν	0,3	
φ	34	°
c	4,417	MPa
k _x	0,001	m/d
k _y	0,001	m/d
γ	27	kN/m ³

Πίνακας 164: Δεδομένα Plaxis

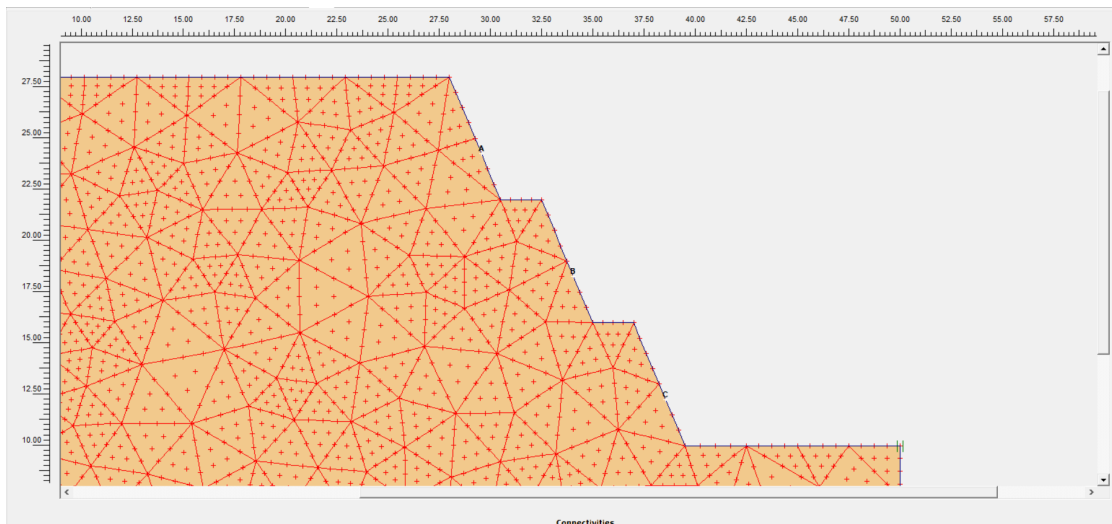
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimentions	Left	0,00	m
	Right	50,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	30,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	Gneiss		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	UnDrained	
	γ_{sat}	27	kN/m ³
	γ_{sat}	29	kN/m ³
	k_x	0,001	m/d
	k_y	0,001	m/d
Parameters	Eref	3030000	kN/m ²
	ν	0,3	
	c ref	4417	kN/m ²
	ϕ	34	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
KO - procedure	ΣM - weight	1	
	KO	0,441	
Στάθμη Υ.Ο.	Στην επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	25,582		

Σχόλια δεδομένων

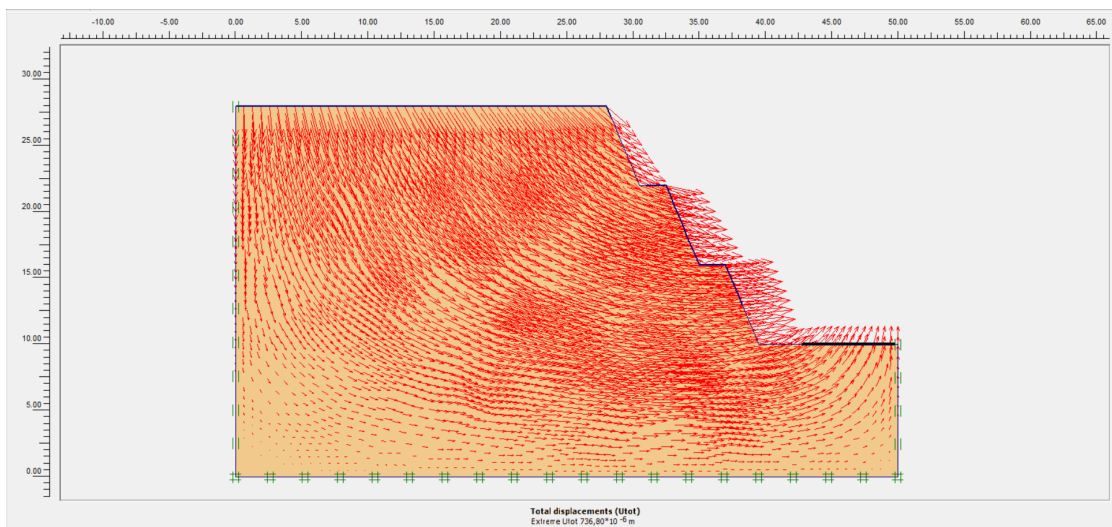
Οι προκύπτουσες τιμές της συνοχής και του μέτρου ελαστικότητας, αντίστοιχα, είναι παραπλήσιες. Οπότε, ως τελική τιμή, για το καθένα, λήφθηκε ο μέσος όρος τους. Επιπλέον, έγινε μία υποτίμηση της τιμής του λόγου Poisson, στην ανώτερη τιμή από τις ενδεικτικές τιμές του διαγράμματος του προηγούμενου κεφαλαίου.



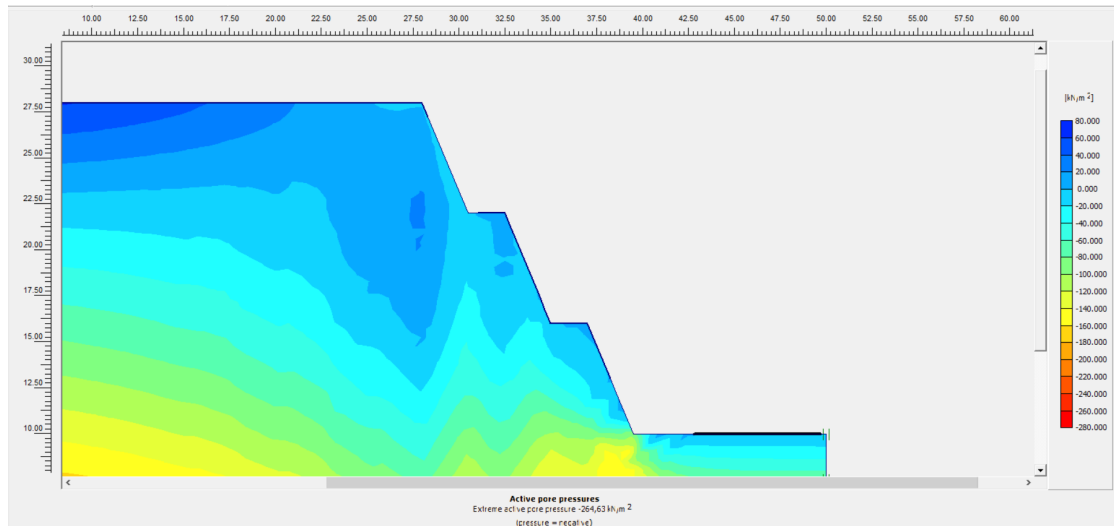
Εικόνα 136: Διανοσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 137: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



Εικόνα 138: Διανοσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 139: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 165: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)			Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point	
Μετατοπίσεις	(38.563 , 12.250)	Ux	709,747*10 ⁻⁶	m	270	2425		
		Uy	76,202*10 ⁻⁶	m				
		ΔUx	404,051*10 ⁻⁶	m				
		ΔUy	40,795*10 ⁻⁶	m				
Ενεργές Τάσεις	(27.755 , 24.299)	σxx	-19,135	kN/m ²			3205	
		σyy	-111,297	kN/m ²				
		σxy	-0,349	kN/m ²				
		σzz	-39,913	kN/m ²				
Πίεση των Πόρων		p (excess)	24,770	kN/m ²				
		P (active)	16,252	kN/m ²				
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%				
Μετατοπίσεις	(34.063 , 18.250)	Ux	688,571*10 ⁻⁶	m		269	2057	
		Uy	-51,827*10 ⁻⁶	m				
		ΔUx	389,814*10 ⁻⁶	m				
		ΔUy	-34,720*10 ⁻⁶	m				
Ενεργές Τάσεις	(32.912 , 16.240)	σxx	-20,323	kN/m ²			3217	
		σyy	-134,511	kN/m ²				
		σxy	26,168	kN/m ²				
		σzz	-47,375	kN/m ²				
Πίεση των Πόρων		p (excess)	13,240	kN/m ²				
		P (active)	-9,275	kN/m ²				
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%				
Μετατοπίσεις	(29.563 , 24.250)	Ux	486,247*10 ⁻⁶	m	268		1515	
		Uy	-246,025*10 ⁻⁶	m				
		ΔUx	278,311*10 ⁻⁶	m				
		ΔUy	-142,268*10 ⁻⁶	m				
Ενεργές Τάσεις	(39.216 , 10.239)	σxx	-156,161	kN/m ²			3230	
		σyy	-200,860	kN/m ²				
		σxy	177,106	kN/m ²				
		σzz	-107,383	kN/m ²				
Πίεση των Πόρων		p (excess)	-50,166	kN/m ²				
		P (active)	-53,878	kN/m ²				
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%				

Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι πολύ ευσταθές. Στα σημεία, όπως έχουν υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι οι οριζόντιες. Ακόμα και αυτές όμως είναι πολύ μικρές, κάτω του χιλιοστού η μέγιστη. Οι διαφορικές μετατοπίσεις είναι αντίστοιχων περίπου τιμών, ανά διεύθυνση. Ταυτόχρονα οι τάσεις, αλλά και η πίεση του νερού των πόρων λαμβάνουν μικρές τιμές, ειδικά αφού η τιμή της σσι είναι τόσο μεγάλη. Επιπλέον, η ροή των υδάτων είναι σχετικά παράλληλη με την επιφάνεια του πρανούς, γεγονός που υποδεικνύει πως η πίεση είναι σχεδόν υδροστατική. Τα αποτελέσματα απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως στο συγκεκριμένο πρανές υπάρχουν νεροφαγώματα και καταπτώσεις εξ' αιτίας αυτών. Αυτό αιτιολογείται από την επιφανειακή εκτόνωση των υδάτων, ειδικά αν αυτά τα νεροφαγώματα βρίσκονται στον πόδα του πρανούς, όπου η εκτόνωση των υδάτων είναι πιο ισχυρή σε σχέση με άλλα σημεία, και προέρχεται και από υπόγεια (κατώτερα της επιφάνειας του πόδα) ύδατα. Συμπερασματικά, βέβαια, δεν υπάρχει σημαντικός λόγος ανησυχίας καθότι πρόκειται για ένα πρανές σχετικά μικρού ύψους και μεγάλης τάφρου ανάσχεσης. Ένα πλέγμα για συγκράτηση των τεμαχών καταπτώσεων είναι μια καλή λύση, αν και δεν απαιτείται κάποια επέμβαση.

22. X.Θ. 421+100 – 421+150

Πίνακας 166: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 421+100 – 421+150

Βραχομάζα	Μάργες	
Ύψος Πρανούς	6	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	10	m
Κλίση Πρανούς	70	°
Εύρος σ _{ci}	25-50	MPa
Επιλογή σ _{ci}	25	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Ελαφρώς ανώμαλη επιφάνεια, μικρό μέρος της καλυμμένο με χαλαρά τεμάχια	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχών Καταπτώσεων	150	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	3	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	1,9	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	0	m ³ / m
Πλάτος Ερείσματος	1,9	m
Κλίση Ασυνεχειών	<20	°
Ύπαρξη Καρστικών	Όχι	

Πίνακας 167: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σ _{ci}	25	MPa
GSI	20	
m _i	7	
D	0	
MR	175	
γ	24	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 168: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	0,599	MPa
φ	19	°
E	0,19981	GPa

Πίνακας 169: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	20		Εκτίμηση
E	0,669285092	GPa	Εξίσωση από GSI
E	0,889139705	GPa	Εξίσωση από GSI και σ_{ci} για <100 MPa
k_x	0,1		Εκτίμηση
k_y	0,1		Εκτίμηση
c/ σ_{ci}	0,02		Διάγραμμα
c	0,5	MPa	Διάγραμμα
ϕ	20	°	Διάγραμμα
ν	0,4		Εξίσωση
γ	24	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 170: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

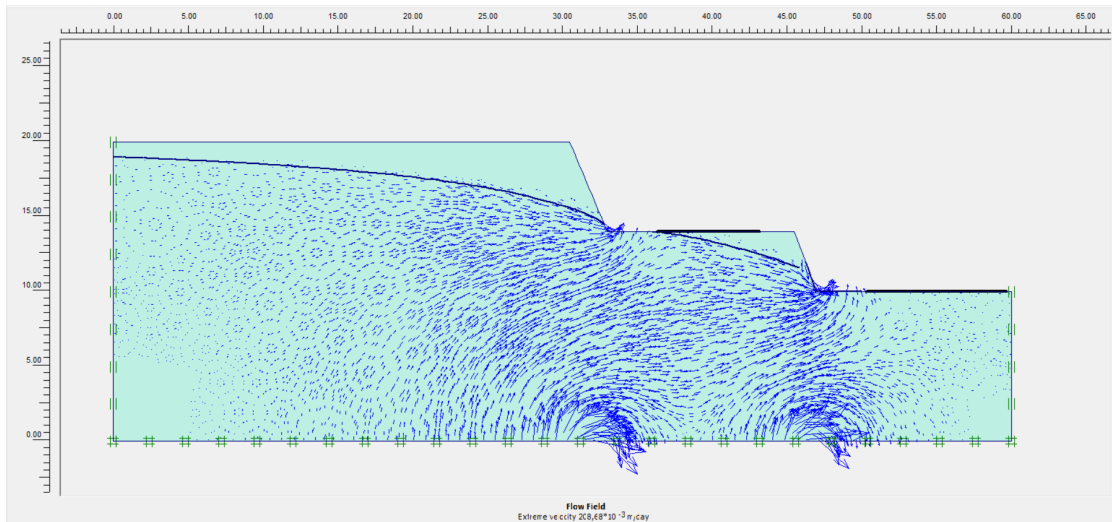
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	20	
E	0,5	GPa
ν	0,4	
ϕ	20	°
c	0,6	MPa
k_x	0,1	
k_y	0,1	
γ	24	kN/m ³

Πίνακας 171: Δεδομένα Plaxis

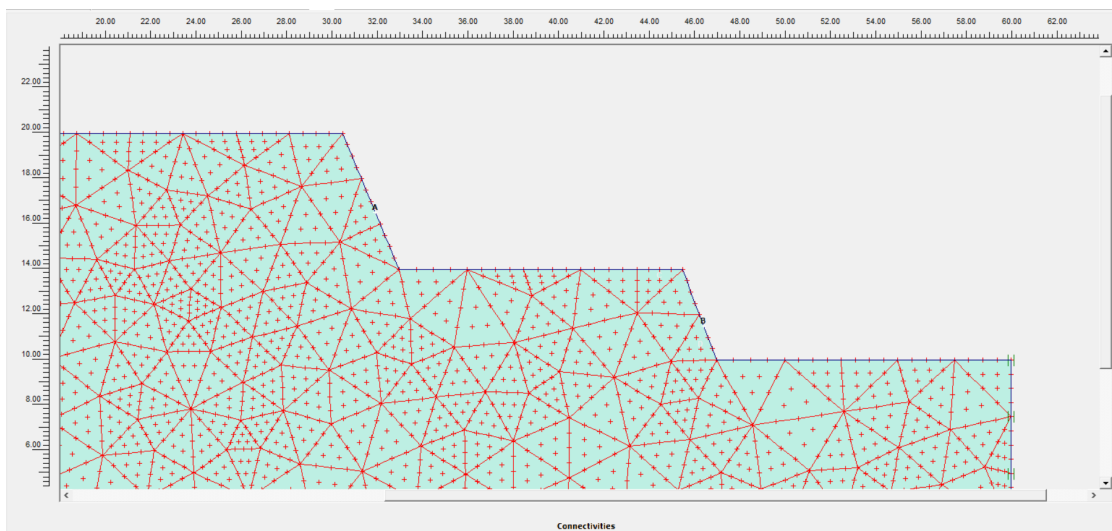
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimensions	Left	0,00	m
	Right	60,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	30,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	Marl - sand		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	Drained	
	γ_{unsat}	24	kN/m ³
	γ_{sat}	26	kN/m ³
	k_x	0,1	m/d
	k_y	0,1	m/d
Parameters	Eref	500000	kN/m ²
	ν	0,4	
	c ref	600	kN/m ²
	ϕ	20	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
KO - procedure	ΣM - weight	1	
	KO	0,642	
Στάθμη Υ.Ο.	1m κάτω από την επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	15,059		

Σχόλια δεδομένων

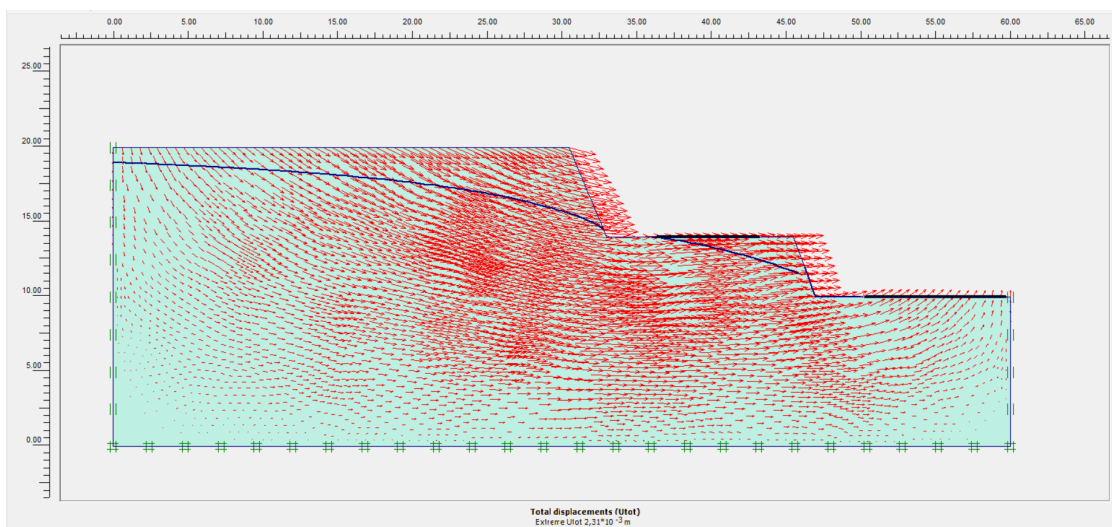
Το ειδικό βάρος είναι ελαφρώς υποτιμημένο, λόγω της ύπαρξης άμμου, αλλά και της γενικότερης χαλαρότητας της κατάστασης της βραχομάζας.



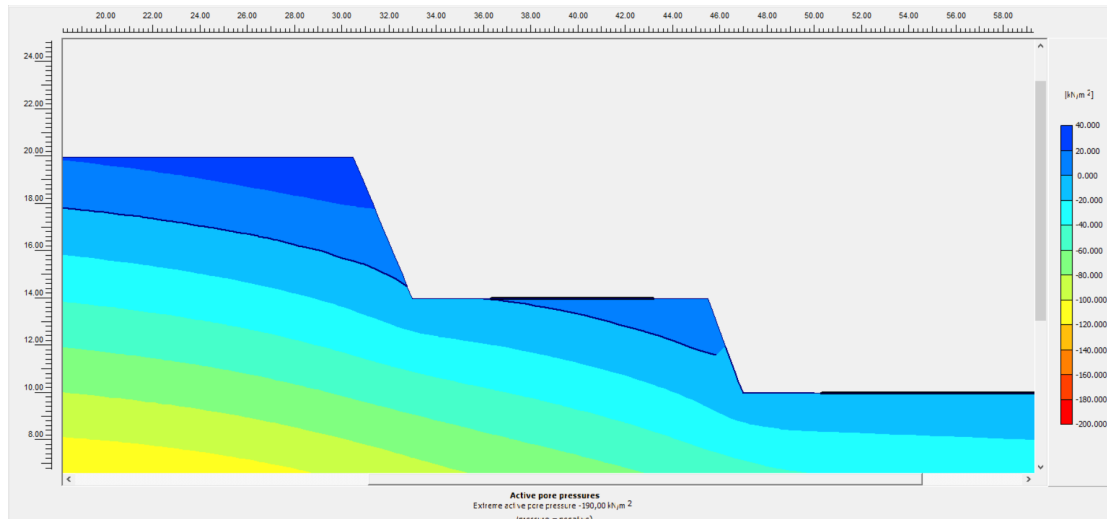
Εικόνα 140: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 141: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



Εικόνα 142: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 143: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 172: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)			Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point	
Μετατοπίσεις	(46.438 , 11.500)	Ux	$1,995 \cdot 10^{-3}$	m	2	2821		
		Uy	$98,090 \cdot 10^{-6}$	m				
		ΔUx	$1,248 \cdot 10^{-3}$	m				
		ΔUy	$61,377 \cdot 10^{-6}$	m				
Ενεργές Τάσεις	(46.826 , 10.123)	sxx	-115,346	kN/m ²			14	
		syy	-103,118	kN/m ²				
		sxy	82,308	kN/m ²				
		szz	-87,279	kN/m ²				
Πίεση των Πόρων	(46.826 , 10.123)	p (excess)	0,000	kN/m ²				
		P (active)	-1,773	kN/m ²				
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%				
Μετατοπίσεις	(31.958 , 16.500)	Ux	$2,183 \cdot 10^{-3}$	m		4	2083	
		Uy	$-276,616 \cdot 10^{-6}$	m				
		ΔUx	$1,393 \cdot 10^{-3}$	m				
		ΔUy	$-185,849 \cdot 10^{-6}$	m				
Ενεργές Τάσεις	(30.562 , 15.434)	sxx	-13,173	kN/m ²			37	
		syy	-96,651	kN/m ²				
		sxy	8,384	kN/m ²				
		szz	-42,352	kN/m ²				
Πίεση των Πόρων	(30.562 , 15.434)	p (excess)	0,000	kN/m ²				
		P (active)	-1,314	kN/m ²				
		Βαθμός Κορεσμού	98,642	%				

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι ευσταθές. Στα επιλεγμένα σημεία, όπως έχουν υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι οι οριζόντιες. Ακόμα και αυτές όμως είναι αρκετά μικρές, της τάξης των δύο χιλιοστών η μέγιστη. Οι διαφορικές μετατοπίσεις λαμβάνουν πολύ μικρές τιμές, με τις οριζόντιες ωστόσο να είναι οι μεγαλύτερες. Ταυτόχρονα οι τάσεις, αλλά και η πίεση του νερού των πόρων λαμβάνουν αρκετά μικρές τιμές, ειδικά αφού η τιμή της σσί είναι συγκριτικά μεγάλη. Υπάρχει μία ομαλή, αλλά έντονη υποτίμηση του υδροφόρου με την επιφανειακή εκτόνωση των υδάτων στους πόδες των δύο επιμέρους τμημάτων του πρανούς. Ωστόσο, τα αποτελέσματα δεν απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως στο συγκεκριμένο πρανές υπάρχουν φαινόμενα ρευστοποίησης των εδαφικών τμημάτων αυτού. Από την άλλη βέβαια η ανάλυση βασίστηκε, όπως έχει ήδη αναφερθεί, σε γεωτεχνικά χαρακτηριστικά μάργας, με υποτιμημένες τιμές λόγω της ύπαρξης και άμμου. Επιπροσθέτως, έχει γίνει στατική ανάλυση και όχι δυναμική. Αυτό αναφέρεται, καθότι το φαινόμενο της ρευστοποίησης «ενεργοποιείται» κατά το σεισμό. Συμπερασματικά, υπάρχει κάποιος λόγος ανησυχίας, παρότι πρόκειται για ένα πρανές σχετικά μικρού ύψους και μεγάλης τάφρου ανάσχεσης. Αυτό διότι ακριβώς πάνω από το πρανές υπάρχει ένα επαρχιακό οδικό δίκτυο κυκλοφορίας, το οποίο βέβαια δεν ελήφθη υπ' όψιν στην ανάλυση του μοντέλου. Ως λύση μπορούν να τοποθετηθούν συρματοκιβώτια κατά μήκος του πρανούς στο οποίο υπάρχει αυτό το επαρχιακό δίκτυο, όπως ήδη έχει γίνει μερικώς, καθώς και τσιμεντέσιες, οι οποίες θα ενισχύσουν τη χαλαρή βραχομάζα, χωρίς να επηρεάσουν σημαντικά τη διαπερατότητα της. Η άντληση υδάτων, παρότι γενικά αποτελεί εξαιρετική λύση, στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν εξυπηρετεί, καθότι η βραχομάζα είναι ήδη αρκετά διαπερατή. Μια ακόμα λύση είναι κατασκευή τοίχου αντιστήριξης τμηματικά, όπου δεν υπάρχουν ήδη συρματοκιβώτια, αν και η επιλογή των συρματοκιβωτίων είναι η βέλτιστη από πλευράς ευκολίας και κόστους.

23. X.Θ. 425+600 – 425+610

Πίνακας 173: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 425+600 – 425+610

Βραχομάζα	Μάργες	
Ύψος Πρανούς	9	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	18	m
Κλίση Πρανούς	70	°
Εύρος σσι	25-50	MPa
Επιλογή σσι	25	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Ελαφρώς ανώμαλη επιφάνεια, μικρό μέρος της καλυμμένο με χαλαρά τεμάχη	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχών Καταπτώσεων	150	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	3	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	1,9	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	0	m ³ / m
Πλάτος Ερείσματος	1,9	m
Κλίση Ασυνεχειών	<20	°
Ύπαρξη Καρστικών	Όχι	

Πίνακας 174: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σσι	25	MPa
GSI	30	
mi	7	
D	0	
MR	175	
γ	24	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 175: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	0,772	MPa
φ	22	°
E	0,35605	GPa

Πίνακας 176: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	30		Εκτίμηση
E	1,644893069	GPa	Εξίσωση από GSI
E	1,58113883	GPa	Εξίσωση από GSI και σ_{ci} για <100 MPa
k_x	0,1	m/d	Εκτίμηση
k_y	0,1	m/d	Εκτίμηση
c/ σ_{ci}	0,025		Διάγραμμα
c	0,625	MPa	Διάγραμμα
ϕ	23	°	Διάγραμμα
ν	0,38		Εξίσωση
γ	24	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 177: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

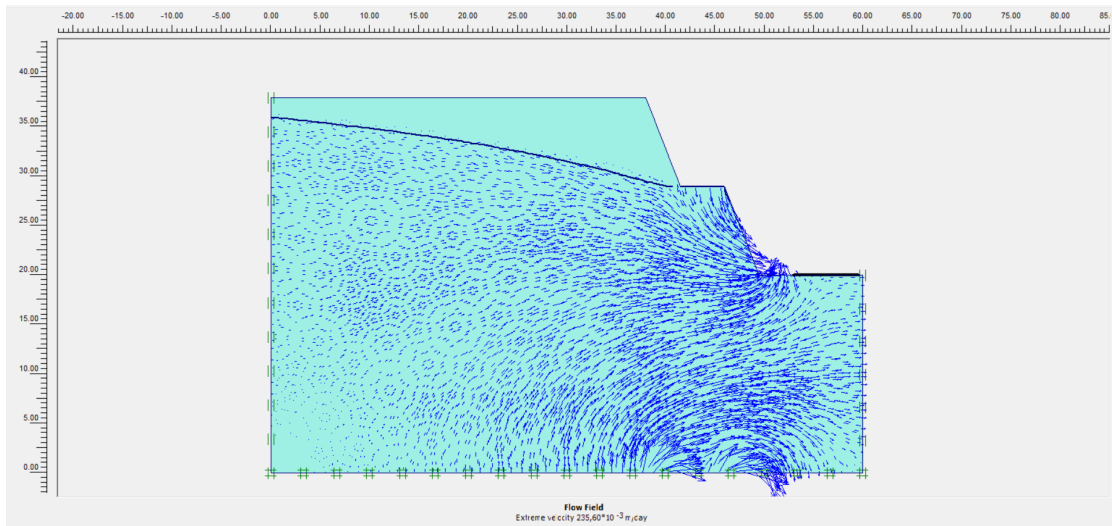
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	30	
E	0,7	GPa
ν	0,38	
ϕ	23	°
c	1,397	MPa
k_x	0,1	m/d
k_y	0,1	m/d
γ	24	kN/m ³

Πίνακας 178: Δεδομένα Plaxis

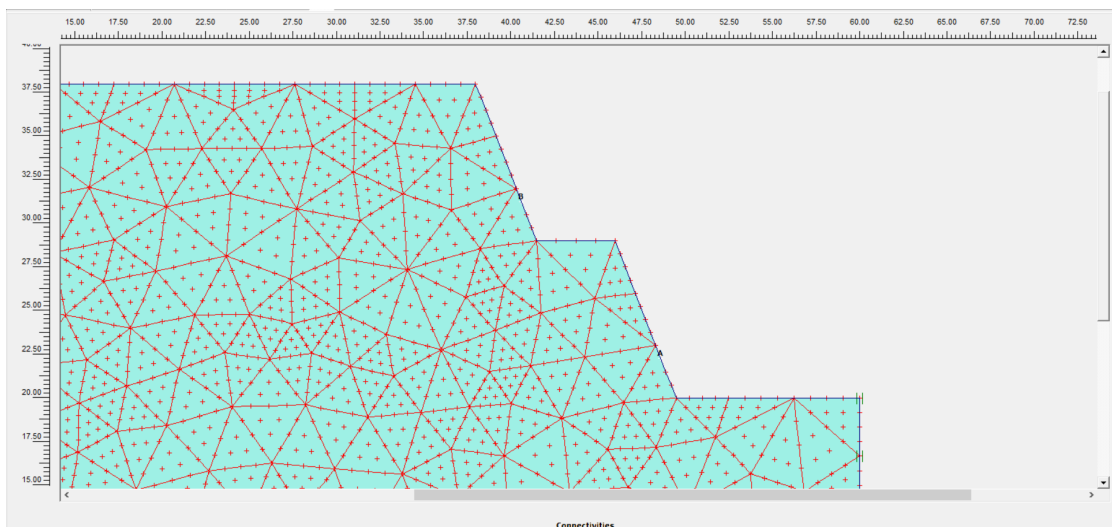
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimensions	Left	0,00	m
	Right	50,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	40,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	Marl - sand		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	Drained	
	γ_{unsat}	24	kN/m ³
	γ_{sat}	26	kN/m ³
	k_x	0,1	m/d
	k_y	0,1	m/d
Parameters	Eref	700000	kN/m ²
	ν	0,38	
	c ref	1397	kN/m ²
	ϕ	23	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
KO - procedure	ΣM - weight	1	
	KO	0,609	
Στάθμη Υ.Ο.	2m κάτω από την επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	15,658		

Σχόλια δεδομένων

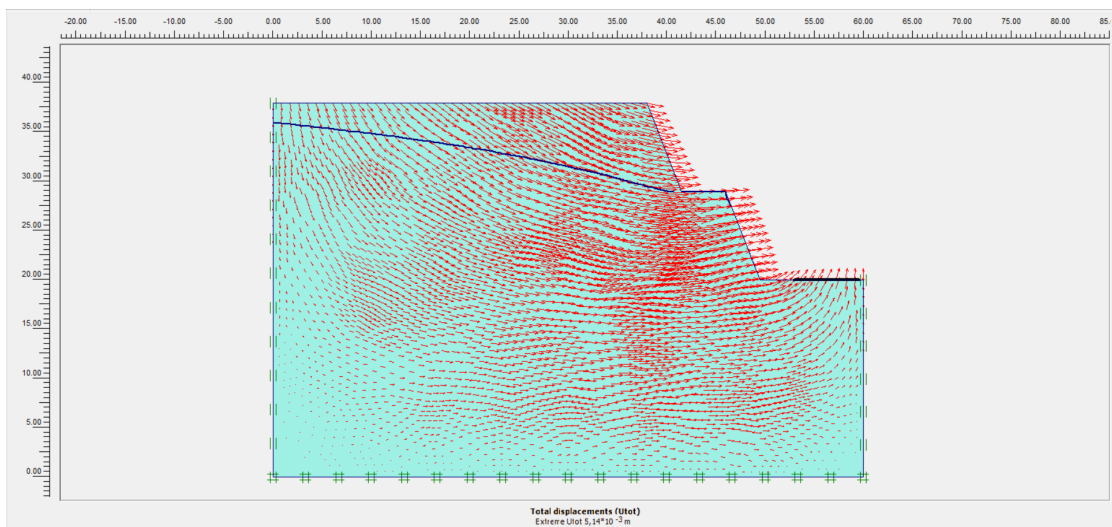
Το ειδικό βάρος είναι ελαφρώς υποτιμημένο, λόγω της ύπαρξης άμμου, αλλά και της γενικότερης χαλαρότητας της κατάστασης της βραχομάζας. Επιπλέον, οι προκύπτουσες τιμές της συνοχής είναι παραπλήσιες. Οπότε, ως τελική τιμή λήφθηκε ο μέσος όρος τους.



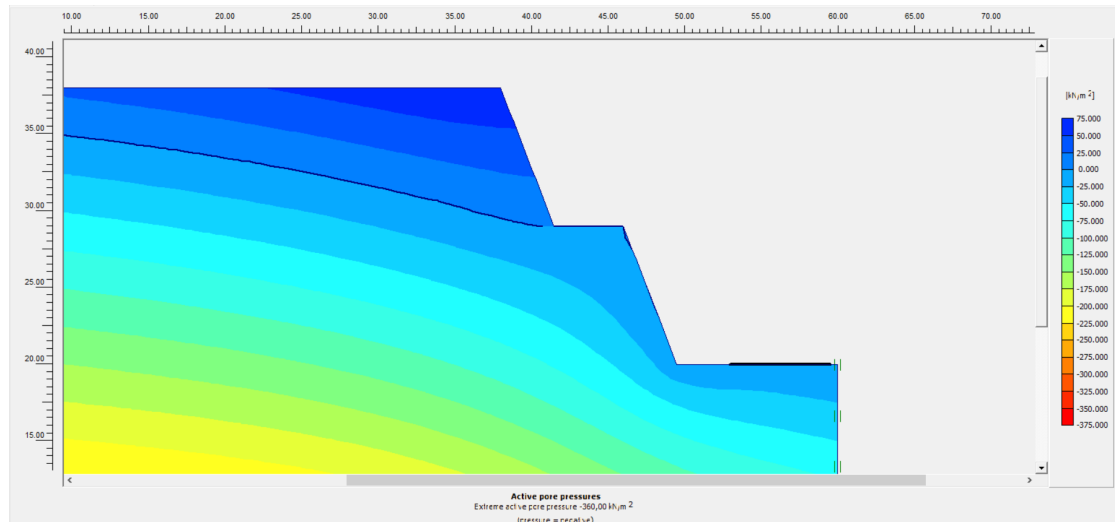
Εικόνα 144: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 145: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



Εικόνα 146: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 147: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 179: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)		Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point
Μετατοπίσεις	(48.625 , 22.250)	Ux	$4,860 \cdot 10^{-3}$	m	2	2753
		Uy	$0,662 \cdot 10^{-3}$	m		
		ΔUx	$42,391 \cdot 10^{-6}$	m		
		ΔUy	$-1,435 \cdot 10^{-6}$	m		
Ενεργές Τάσεις	(49.237 , 20.172)	σ_{xx}	-357,085	kN/m ²	2	14
σ_{yy}		-326,357	kN/m ²			
σ_{xy}		257,832	kN/m ²			
σ_{zz}		-259,601	kN/m ²			
Πίεση των Πόρων		p (excess)	0,000	kN/m ²		
P (active)		-4,050	kN/m ²			
	Βαθμός Κορεσμού	100,000	%			
Μετατοπίσεις	(40.625 , 31.250)	Ux	$4,407 \cdot 10^{-3}$	m	4	2163
		Uy	$-0,240 \cdot 10^{-3}$	m		
		ΔUx	$53,083 \cdot 10^{-6}$	m		
		ΔUy	$-10,889 \cdot 10^{-6}$	m		
Ενεργές Τάσεις	(38.601 , 28,804)	σ_{xx}	-20,002	kN/m ²	4	37
σ_{yy}		-171,658	kN/m ²			
σ_{xy}		13,049	kN/m ²			
σ_{zz}		-72,425	kN/m ²			
Πίεση των Πόρων		p (excess)	0,000	kN/m ²		
P (active)		-5,414	kN/m ²			
	Βαθμός Κορεσμού	99,499	%			

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι αρκετά ευσταθές. Στα επιλεγμένα σημεία, όπως έχουν υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι οι οριζόντιες. Ακόμα και αυτές όμως είναι πολύ μικρές, της τάξης των πέντε χιλιοστών η μέγιστη. Οι διαφορικές μετατοπίσεις είναι λαμβάνουν πολύ μικρότερες τιμές. Ταυτόχρονα οι τάσεις, αλλά και η πίεση του νερού των πόρων λαμβάνουν μικρές τιμές, ειδικά αφού η τιμή της σ_{ci} είναι συγκριτικά μεγάλη. Επιπλέον, η ροή των υδάτων, στο κάτω τμήμα (δηλαδή κατάντη του παταριού) είναι σχετικά παράλληλη με την επιφάνεια του πρανούς, γεγονός που υποδεικνύει πως η πίεση είναι σχεδόν υδροστατική. Βέβαια, υπάρχει ομαλή αλλά έντονη υποτίμηση του υδροφόρου και εκτόνωση των υδάτων κυρίως στον πόδα του πρανούς. Τα αποτελέσματα απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως στο συγκεκριμένο πρανές υπάρχουν κάποια νεροφαγώματα, καθώς και καταπτώσεις χωμάτων. Αυτό αιτιολογείται από την επιφανειακή εκτόνωση των υδάτων, ειδικά αν αυτά τα νεροφαγώματα βρίσκονται στον πόδα του πρανούς, όπου η εκτόνωση των υδάτων είναι πιο ισχυρή σε σχέση με άλλα σημεία, και προέρχεται και από υπόγεια (κατώτερα της επιφάνειας του πόδα) ύδατα. Συμπερασματικά, δεν υπάρχει κάποιος λόγος ανησυχίας, καθότι πρόκειται για ένα πρανές σχετικά μικρού ύψους και μεγάλης τάφρου ανάσχεσης. Ως λύση μπορεί να τοποθετηθεί ένα πλέγμα για να συγκρατεί καταπτώσεις χωμάτων, αλλά και ένα σχετικά τακτικό καθάρισμα της τάφρου ανάσχεσης.

24. Χ.Θ. 425+900 – 425+920

Πίνακας 180: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 425+900 – 425+920

Βραχομάζα	Μάργες	
Ύψος Πρανούς	7	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	9	m
Κλίση Πρανούς	70	°
Εύρος σ _{ci}	25-50	MPa
Επιλογή σ _{ci}	25	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Ελαφρώς ανώμαλη επιφάνεια, χωρίς χαλαρά τεμάχια	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχίων Καταπτώσεων	150	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	3	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	1,9	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	0	m ³ /m
Πλάτος Ερείσματος	1,9	m
Κλίση Ασυνεχειών	<20	°
Ύπαρξη Καρστικών	Όχι	

Πίνακας 181: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σ _{ci}	25	MPa
GSI	30	
m _i	7	
D	0	
MR	175	
γ	24	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 182: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	0,772	MPa
φ	22	°
E	0,35605	GPa

Πίνακας 183: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	30		Εκτίμηση
E	1,644893069	GPa	Εξίσωση από GSI
E	1,58113883	GPa	Εξίσωση από GSI και σ _{ci} για <100 MPa
k _x	0,1	m/d	Εκτίμηση
k _y	0,1	m/d	Εκτίμηση
c/σ _{ci}	0,025		Διάγραμμα
c	0,625	MPa	Διάγραμμα
φ	23	°	Διάγραμμα
ν	0,38		Εξίσωση
γ	24	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 184: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

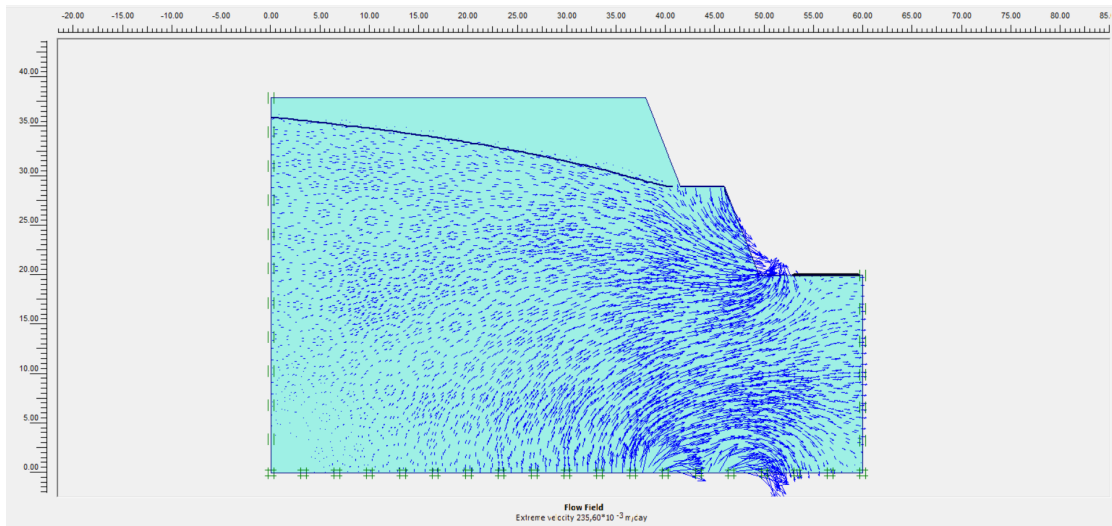
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	30	
E	0,7	GPa
ν	0,38	
φ	23	°
c	1,397	MPa
k _x	0,1	m/d
k _y	0,1	m/d
γ	24	kN/m ³

Πίνακας 185: Δεδομένα Plaxis

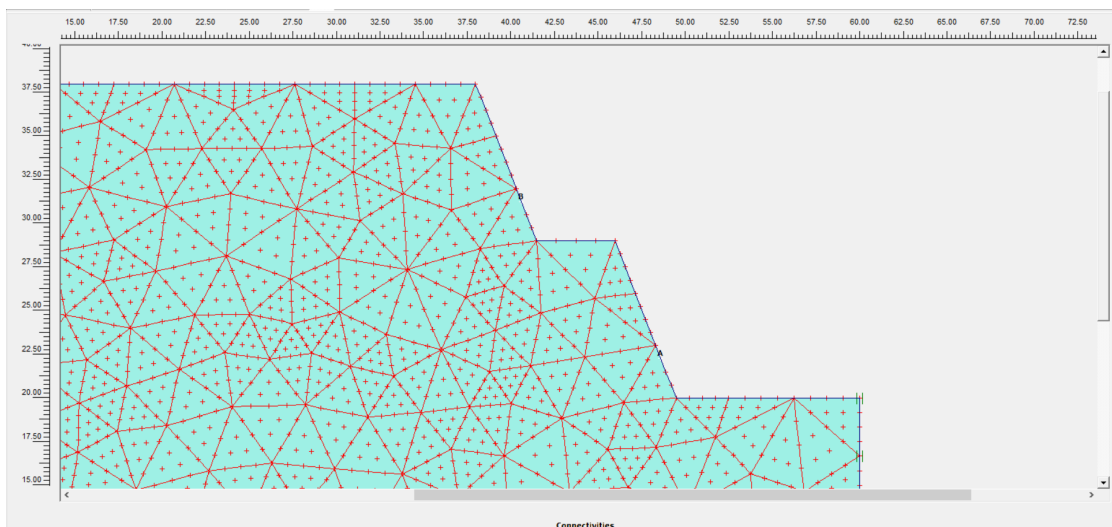
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimentions	Left	0,00	m
	Right	40,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	25,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	Marl - sand		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	Drained	
	γ_{unsat}	24	kN/m ³
	γ_{sat}	26	kN/m ³
	k_x	0,1	m/d
	k_y	0,1	m/d
Parameters	Eref	700000	kN/m ²
	ν	0,38	
	c ref	1397	kN/m ²
	ϕ	23	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
KO - procedure	ΣM - weight	1	
	KO	0,609	
Στάθμη Υ.Ο.	1m κάτω από την επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	15,658		

Σχόλια δεδομένων

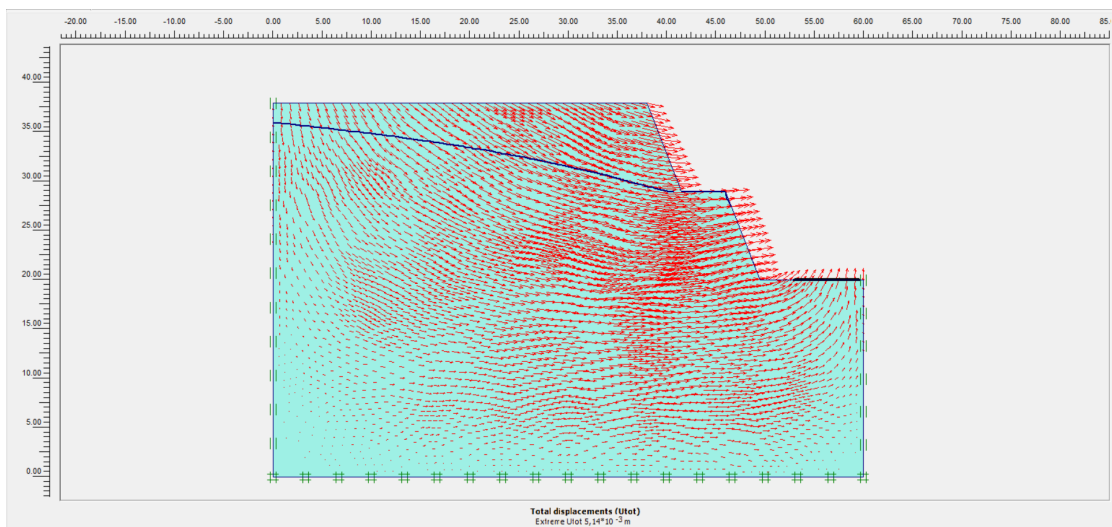
Το ειδικό βάρος είναι ελαφρώς υποτιμημένο, λόγω της ύπαρξης άμμου, αλλά και της γενικότερης χαλαρότητας της κατάστασης της βραχομάζας. Επιπλέον, οι προκύπτουσες τιμές της συνοχής είναι παραπλήσιες. Οπότε, ως τελική τιμή λήφθηκε ο μέσος όρος τους.



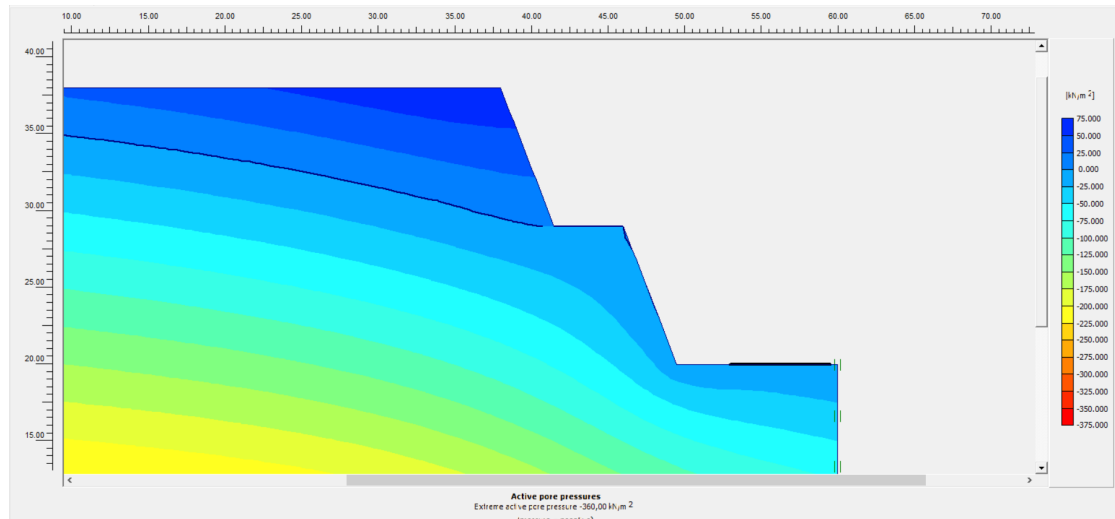
Εικόνα 148: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 149: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



Εικόνα 150: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 151: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 186: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)		Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point
Μετατοπίσεις	(48.625 , 22.250)	Ux	$4,860 \cdot 10^{-3}$	m	2	2753
		Uy	$0,662 \cdot 10^{-3}$	m		
		ΔUx	$42,391 \cdot 10^{-6}$	m		
		ΔUy	$-1,435 \cdot 10^{-6}$	m		
Ενεργές Τάσεις	(49.237 , 20.172)	σ_{xx}	-357,085	kN/m ²	2	14
σ_{yy}		-326,357	kN/m ²			
σ_{xy}		257,832	kN/m ²			
σ_{zz}		-259,601	kN/m ²			
Πίεση των Πόρων		p (excess)	0,000	kN/m ²		
P (active)		-4,050	kN/m ²			
	Βαθμός Κορεσμού	100,000	%			
Μετατοπίσεις	(40.625 , 31.250)	Ux	$4,407 \cdot 10^{-3}$	m	4	2163
		Uy	$-0,240 \cdot 10^{-3}$	m		
		ΔUx	$53,083 \cdot 10^{-6}$	m		
		ΔUy	$-10,889 \cdot 10^{-6}$	m		
Ενεργές Τάσεις	(38.601 , 28,804)	σ_{xx}	-20,002	kN/m ²	4	37
σ_{yy}		-171,658	kN/m ²			
σ_{xy}		13,049	kN/m ²			
σ_{zz}		-72,425	kN/m ²			
Πίεση των Πόρων		p (excess)	0,000	kN/m ²		
P (active)		-5,414	kN/m ²			
	Βαθμός Κορεσμού	99,499	%			

Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι πολύ ευσταθές. Στα σημεία, όπως έχουν υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι οι οριζόντιες. Ακόμα και αυτές όμως είναι πολύ μικρές, της τάξης των πέντε χιλιοστών η μέγιστη. Οι διαφορικές μετατοπίσεις λαμβάνουν ακόμα μικρότερες τιμές. Ταυτόχρονα οι τάσεις, αλλά και η πίεση του νερού των πόρων λαμβάνουν σχετικά μικρές τιμές, ειδικά αφού η τιμή της σεί είναι συγκριτικά σχετικά μεγάλη. Επιπλέον, η ροή των υδάτων, στο κάτω τμήμα (δηλαδή κατάντη του παταριού) είναι σχετικά παράλληλη με την επιφάνεια του πρανούς, γεγονός που υποδεικνύει πως η πίεση είναι σχεδόν υδροστατική. Βέβαια, υπάρχει ομαλή αλλά έντονη υποτίμηση του υδροφόρου και εκτόνωση των υδάτων κυρίως στον πόδα του πρανούς. Τα αποτελέσματα απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως στο συγκεκριμένο πρανές υπάρχουν κάποια νεροφαγώματα. Αυτό αιτιολογείται από την επιφανειακή εκτόνωση των υδάτων, ειδικά αν αυτά τα νεροφαγώματα βρίσκονται στον πόδα του πρανούς, όπου η εκτόνωση των υδάτων είναι πιο ισχυρή σε σχέση με άλλα σημεία, και προέρχεται και από υπόγεια (κατώτερα της επιφάνειας του πόδα) ύδατα. Συμπερασματικά, δεν υπάρχει κάποιος λόγος ανησυχίας, καθότι πρόκειται για ένα πρανές μικρού ύψους και μεγάλης τάφρου ανάσχεσης. Ως λύση μπορεί να τοποθετηθεί ένα πλέγμα για να συγκρατεί καταπτώσεις που δυνητικά θα προκληθούν, από τη διάβρωση των νεροφαγωμάτων.

25. X.Θ. 426+300 – 426+310

Πίνακας 187: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 426+300 – 426+310

Βραχομάζα	Μάργες	
Ύψος Πρανούς	5	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	9	m
Κλίση Πρανούς	70	°
Εύρος σci	25-50	MPa
Επιλογή σci	25	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Ελαφρώς ανώμαλη επιφάνεια, χωρίς χαλαρά τεμάχια	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχίων Καταπτώσεων	150	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	3	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	1,9	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	0	m ³ /m
Πλάτος Ερείσματος	1,9	m
Κλίση Ασυνεχειών	<20	°
Ύπαρξη Καρστικών	Όχι	

Πίνακας 188: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σci	25	MPa
GSI	30	
mi	7	
D	0	
MR	175	
γ	24	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 189: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	0,772	MPa
φ	22	°
E	0,35605	GPa

Πίνακας 190: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	30		Εκτίμηση
E	1,644893069	GPa	Εξίσωση από GSI
E	1,58113883	GPa	Εξίσωση από GSI και σ _{ci} για <100 MPa
k _x	0,1	m/d	Εκτίμηση
k _y	0,1	m/d	Εκτίμηση
c/σ _{ci}	0,025		Διάγραμμα
c	0,625	MPa	Διάγραμμα
φ	23	°	Διάγραμμα
ν	0,38		Εξίσωση
γ	24	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 191: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

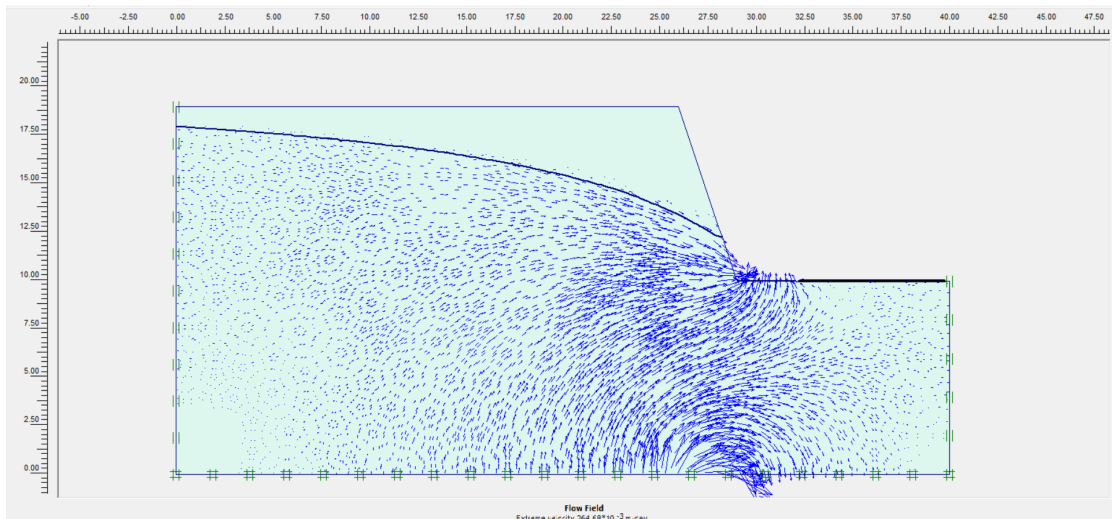
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	30	
E	0,7	GPa
ν	0,38	
φ	23	°
c	1,397	MPa
k _x	0,1	m/d
k _y	0,1	m/d
γ	24	kN/m ³

Πίνακας 192: Δεδομένα Plaxis

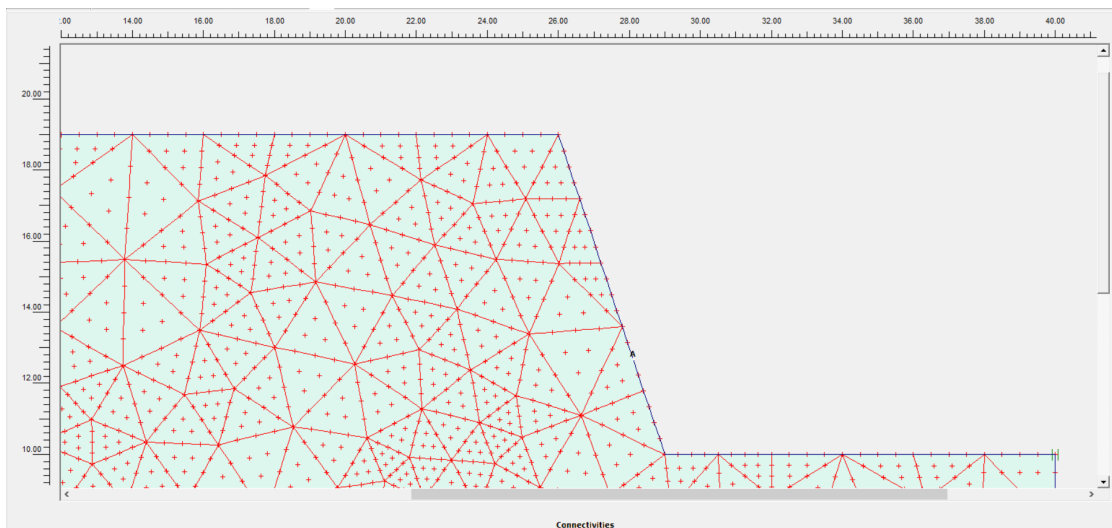
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimensions	Left	0,00	m
	Right	40,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	25,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	Marl - sand		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	Drained	
	γ_{unsat}	24	kN/m ³
	γ_{sat}	26	kN/m ³
	k_x	0,1	m/d
	k_y	0,1	m/d
Parameters	Eref	700000	kN/m ²
	ν	0,38	
	c ref	1397	kN/m ²
	ϕ	23	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
KO - procedure	ΣM - weight	1	
	KO	0,609	
Στάθμη Υ.Ο.	1m κάτω από την επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	20,728		

Σχόλια δεδομένων

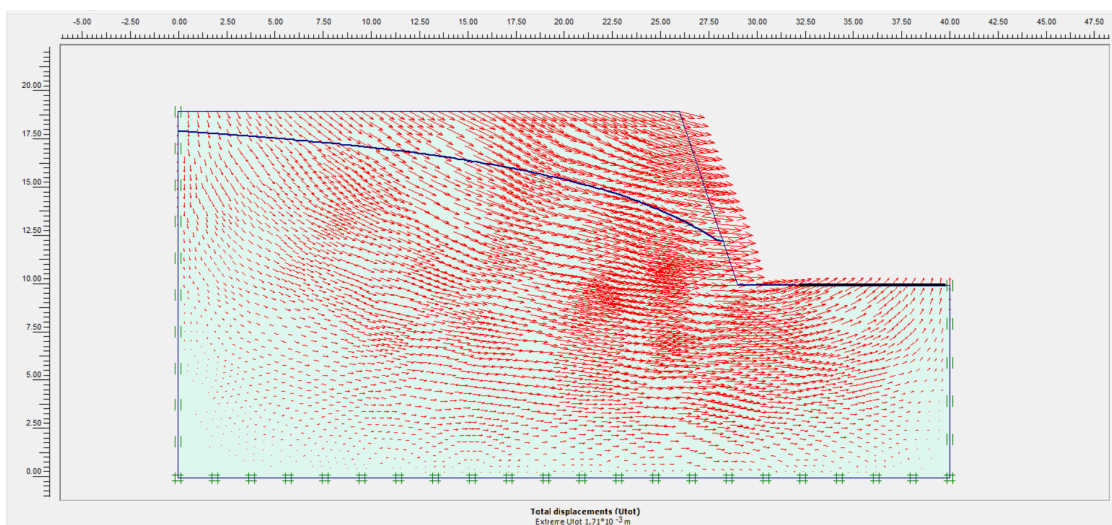
Το ειδικό βάρος είναι ελαφρώς υποτιμημένο, λόγω της ύπαρξης άμμου, αλλά και της γενικότερης χαλαρότητας της κατάστασης της βραχομάζας. Επιπλέον, οι προκύπτουσες τιμές της συνοχής είναι παραπλήσιες. Οπότε, ως τελική τιμή λήφθηκε ο μέσος όρος τους.



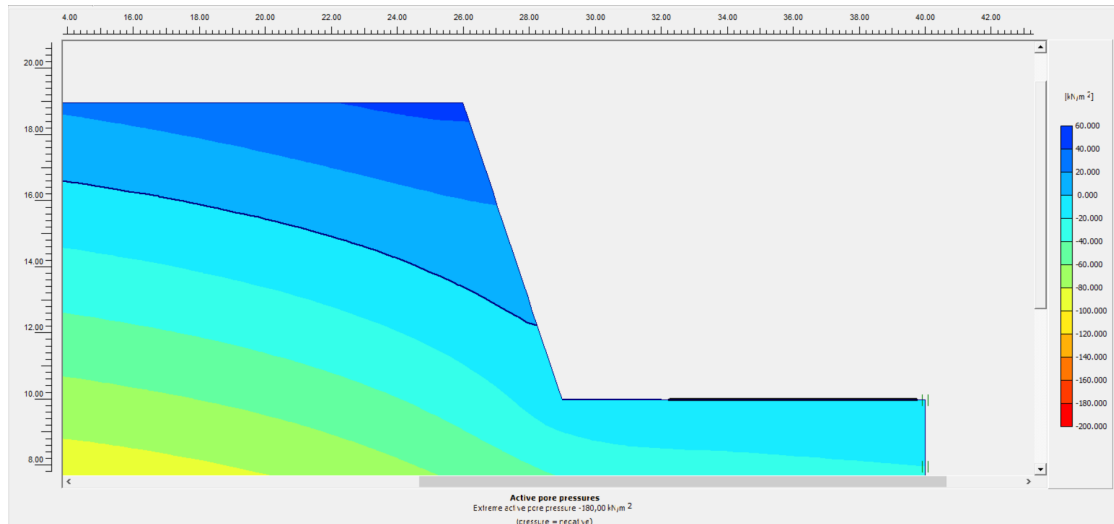
Εικόνα 152: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 153: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



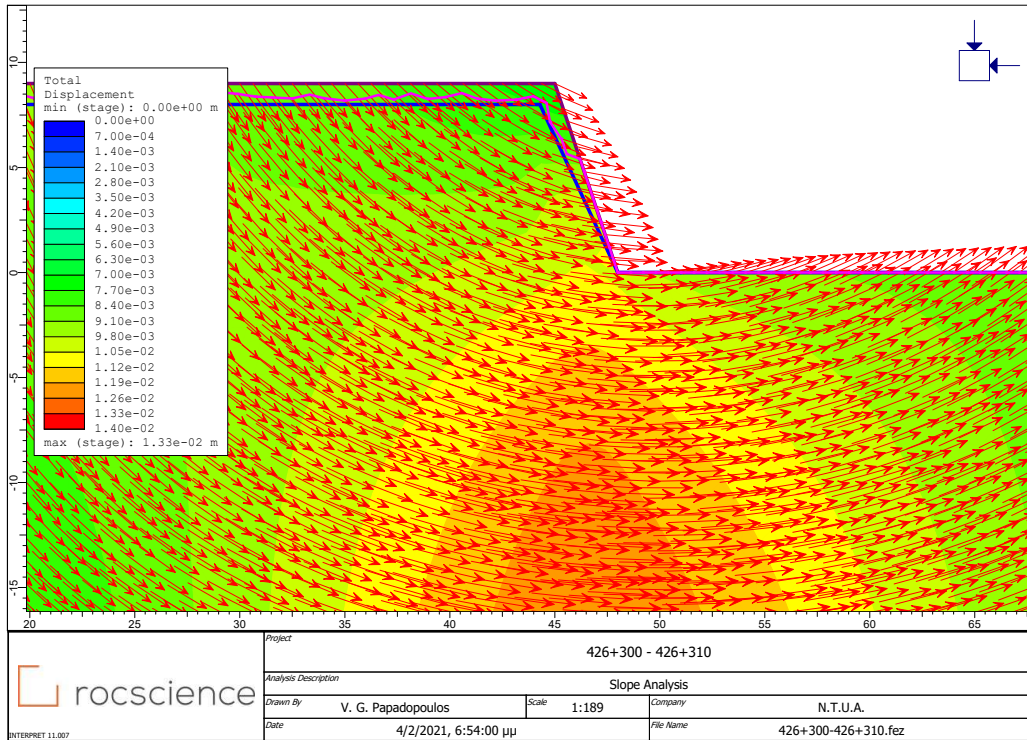
Εικόνα 154: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



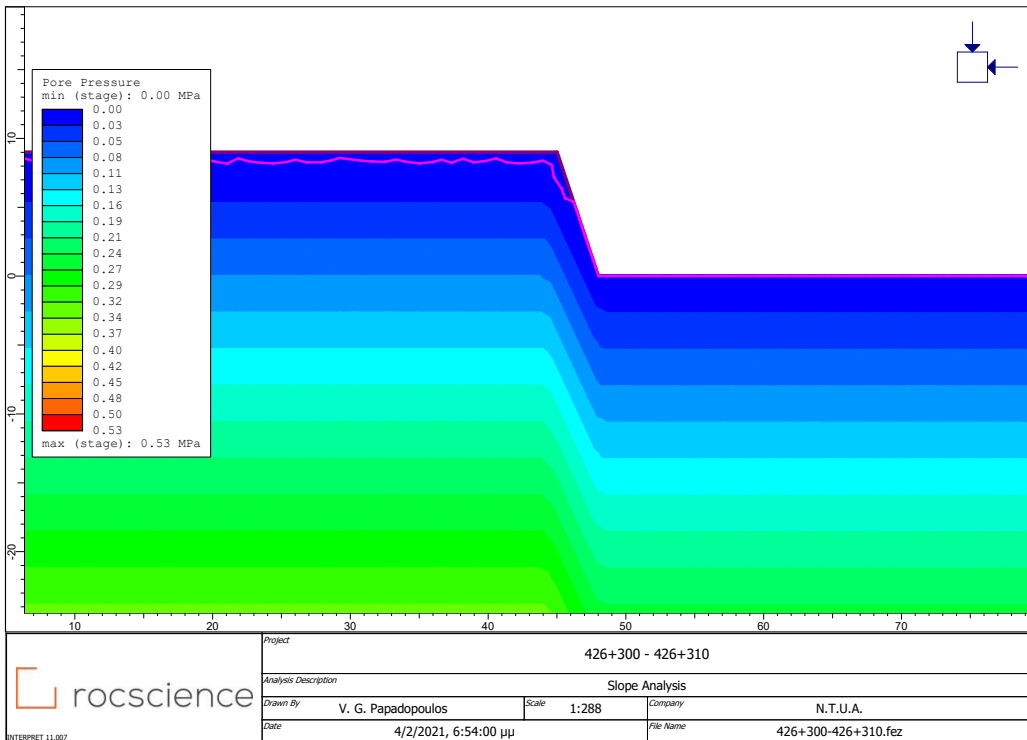
Εικόνα 155: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 193: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)			Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point
Μετατοπίσεις	(28.100 , 12.700)	Ux	$1,704 \cdot 10^{-3}$	m	3	3018	
		Uy	$-114,744 \cdot 10^{-6}$	m			
		ΔUx	$415,895 \cdot 10^{-6}$	m			
		ΔUy	$-41,149 \cdot 10^{-6}$	m			
Ενεργές Τάσεις	(26.824 , 11.313)	σ_{xx}	-29,045	kN/m ²	3	25	
		σ_{yy}	-123,594	kN/m ²			
		σ_{xy}	31,321	kN/m ²			
		σ_{zz}	-57,750	kN/m ²			
Πίεση των Πόρων	(26.824 , 11.313)	p (excess)	0,000	kN/m ²	3	25	
		P (active)	-13,192	kN/m ²			
		Βαθμός Κορεσμού	100,000	%			



Εικόνα 156: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 157: Απεικόνιση των πιέσεων των πόρων

Συντ. Ασφαλείας: 1.6

Οι αναλύσεις και των δύο προγραμμάτων έδειξαν πως το πρανές είναι αρκετά ευσταθές. Στο σημείο «Α», όπως έχει υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι οι οριζόντιες. Ακόμα και αυτές όμως είναι πολύ μικρές, της τάξης του ενός με δύο χιλιοστά η μέγιστη. Οι διαφορικές μετατοπίσεις λαμβάνουν ακόμα μικρότερες τιμές. Ενώ από τις αναλύσεις του RS2 οι μετατοπίσεις αυτές δεν ξεπερνούν το ενάμισο εκατοστό σε οριζόντια μετακίνηση. Ταυτόχρονα οι τάσεις, αλλά και η πίεση του νερού των πόρων λαμβάνουν σχετικά μικρές τιμές, ειδικά αφού η τιμή της σσί είναι, συγκριτικά, σχετικά μεγάλη. Υπάρχει μία ομαλή, αλλά έντονη υποτίμηση του υδροφόρου με την επιφανειακή εκτόνωση των υδάτων λίγο πάνω από τον πόδα του πρανούς. Από το RS2 ο υδροφόρος δε λαμβάνει έντονη υποτίμηση, αλλά περισσότερο «τσακίσματα» με εκτόνωση από τη μέση του ύψους του πρανούς και κάτω. Η ροή πάντως στον πόδα προέρχεται όχι μόνο από ανάντη του πρανούς αλλά και από υπόγεια (κάτω από το ύψος του πόδα) ύδατα. Αυτό, με ελαφρώς διαφορετικές τιμές βέβαια, καταδεικνύεται από τις αναλύσεις και των δύο προγραμμάτων. Τα αποτελέσματα του RS2 απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως το συγκεκριμένο πρανές ολισθαίνει. Ουσιαστικά είναι εμφανής ο κύκλος ολίσθησης του πρανούς με τις μεγαλύτερες μετατοπίσεις να είναι στο κέντρο αυτής της ολίσθησης, όπως είναι λογικό. Στο Plaxis δεν είναι αρκετά εμφανές κάτι τέτοιο, αλλά αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ανάλυση βασίστηκε, όπως έχει ήδη αναφερθεί, σε γεωτεχνικά χαρακτηριστικά γνεύσιου, με υποτιμημένες τιμές λόγω της ελαφρώς εδαφοποιημένης κατάστασης. Σε μια βραχομάζα, όπως είναι φυσικό, δεν μπορεί εύκολα να εκδηλωθεί περιστροφική ολίσθηση. Συμπερασματικά, δεν υπάρχει κάποιος ιδιαίτερος λόγος ανησυχίας, καθότι πρόκειται για ένα πρανές μικρού ύψους και πολύ μικρών μετατοπίσεων λόγω της ολίσθησης. Ο πόδας της κατολίσθησης βρίσκεται κάτω από τα έργα οδοποιίας, τα οποία εύκολα αντιτίθενται σε τόσο μικρές τιμές μετακινήσεων.

26. X.Θ. 464+937

Πίνακας 194: Πρωτογενή δεδομένα X.Θ. 464+937

Βραχομάζα	Σειρά Γρανιτών	
Ύψος Πρανούς	18	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	20	m
Κλίση Πρανούς	80	°
Εύρος σcι	>100	MPa
Επιλογή σcι	100	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Πολλές ανώμαλες περιοχές στην επιφάνεια, μικρό μέρος της καλυμμένο με χαλαρά τεμάχια	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχίων Καταπτώσεων	750	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	1,5	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	1,4	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	1	m ³ /m
Πλάτος Ερείσματος	1,9	m
Κλίση Ασυνεχειών	-	°
Ύπαρξη Καρστικών	Όχι	

Πίνακας 195: Τιμές input στο RocData

Input στο RocData (Δεδομένα - Θεωρήσεις)		
σcι	150	MPa
GSI	55	
mi	32	
D	0,5	
MR	425	
γ	26	kN/m ³
Application	General	

Πίνακας 196: Τιμές output από το RocData

Output από το RocData		
c	9,529	MPa
φ	37,5	°
E	12,892894	GPa

Πίνακας 197: Τιμές βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας

Μεταβλητή	Τιμή	Μον. Μέτρησης	Πηγή Τιμής
GSI	55		Εκτίμηση
E	13,96521834	GPa	Εξίσωση από GSI
E	-	GPa	Εξίσωση από GSI και σ _{ci} για <100 MPa
k _x	0,00001	m/d	Εκτίμηση
k _y	0,00001	m/d	Εκτίμηση
c/σ _{ci}	0,058		Διάγραμμα
c	4,64	MPa	Διάγραμμα
φ	43	°	Διάγραμμα
ν	0,25		Εξίσωση
γ	26	kN/m ³	Εκτίμηση

Πίνακας 198: Επιλεγόμενες τελικές τιμές

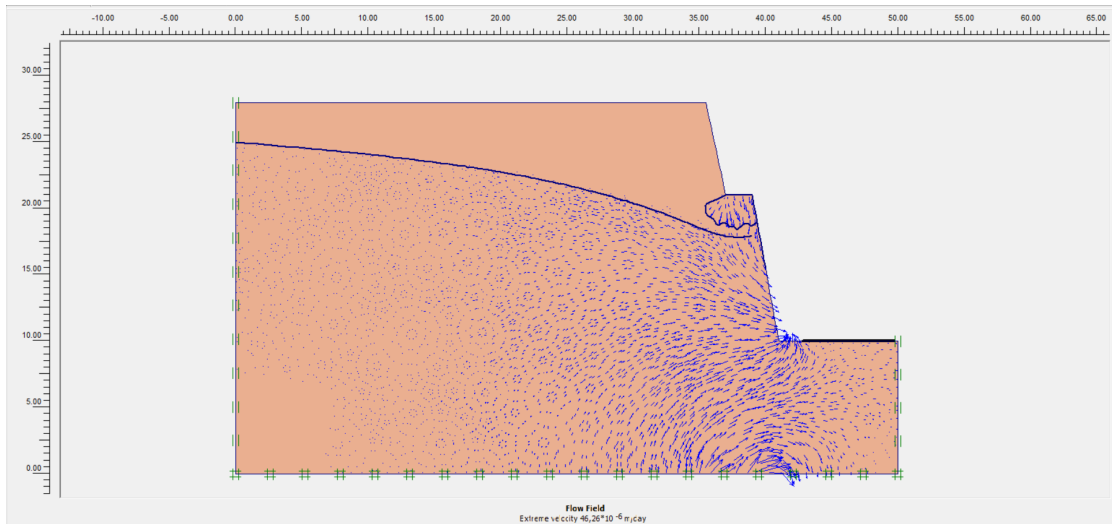
Επιλεγόμενες τιμές		
GSI	55	
E	13	GPa
ν	0,28	
φ	39	°
c	5	MPa
k _x	0,00001	m/d
k _y	0,00001	m/d
γ	26	kN/m ³

Πίνακας 199: Δεδομένα Plaxis

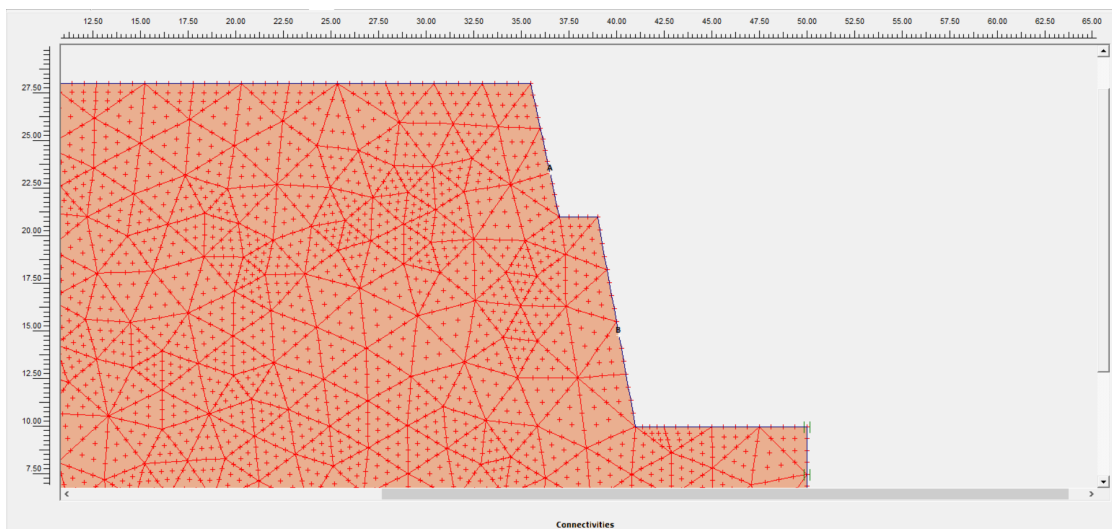
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimensions	Left	0,00	m
	Right	50,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	30,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	Granite		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	UnDrained	
	γ_{sat}	26	kN/m ³
	γ_{sat}	28	kN/m ³
	k_x	0,00001	m/d
	k_y	0,00001	m/d
Parameters	Eref	13000000	kN/m ²
	ν	0,28	
	c ref	5000	kN/m ²
	ϕ	39	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
KO - procedure	ΣM - weight	1	
	KO	0,371	
Στάθμη Υ.Ο.	3m κάτω από την επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	38,260		

Σχόλια δεδομένων

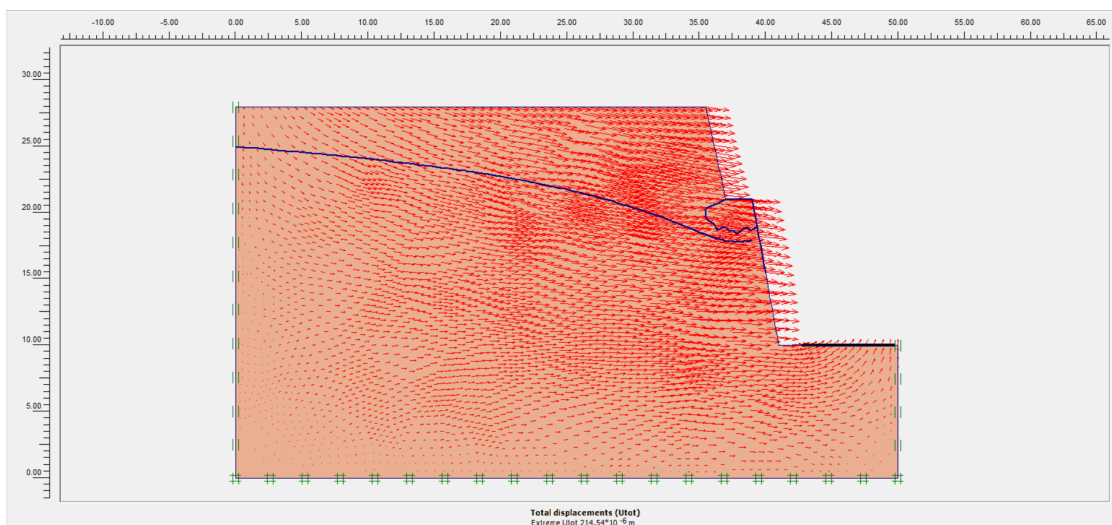
Παρότι έχει γίνει χρήση εκρηκτικών και υπάρχουν πολλές ασυνέχειες (αρκετά «κλειστές» βέβαια), η τιμή της διαπερατότητας είναι αρκετά χαμηλή, λόγω της φύσης του γρανίτη.



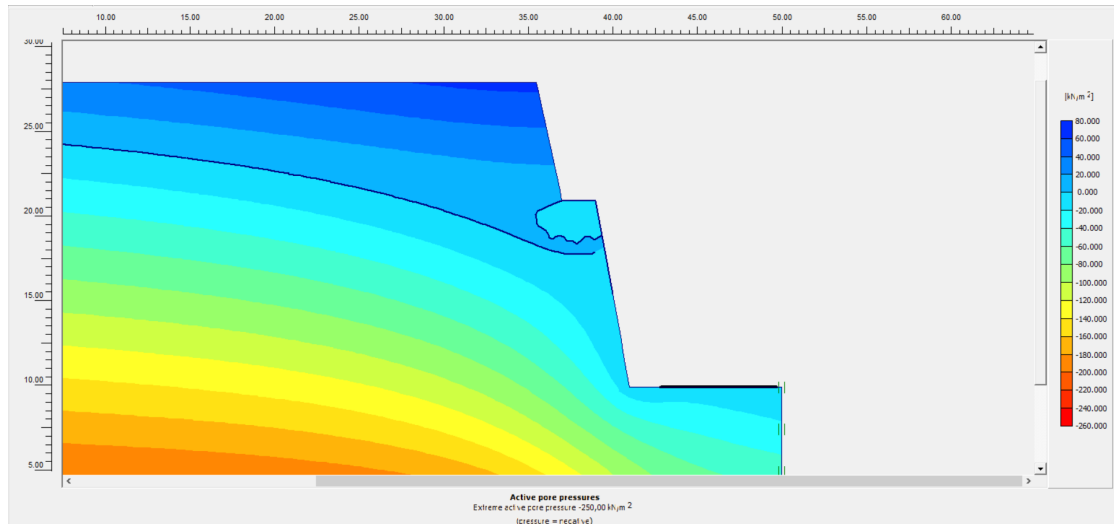
Εικόνα 158: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



Εικόνα 159: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



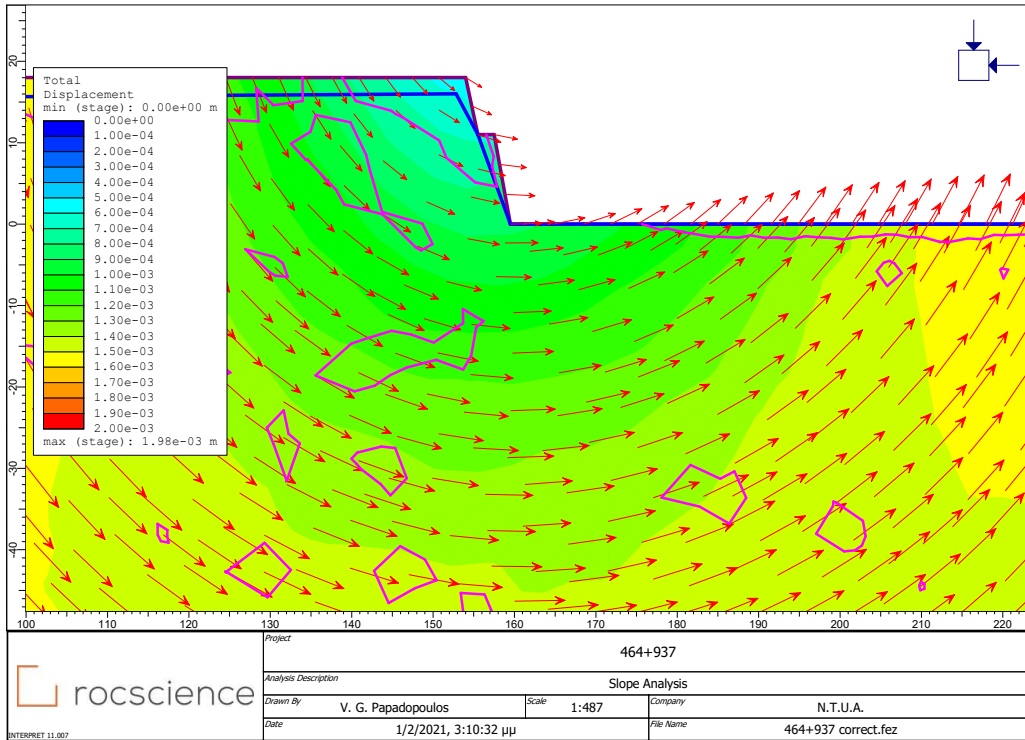
Εικόνα 160: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



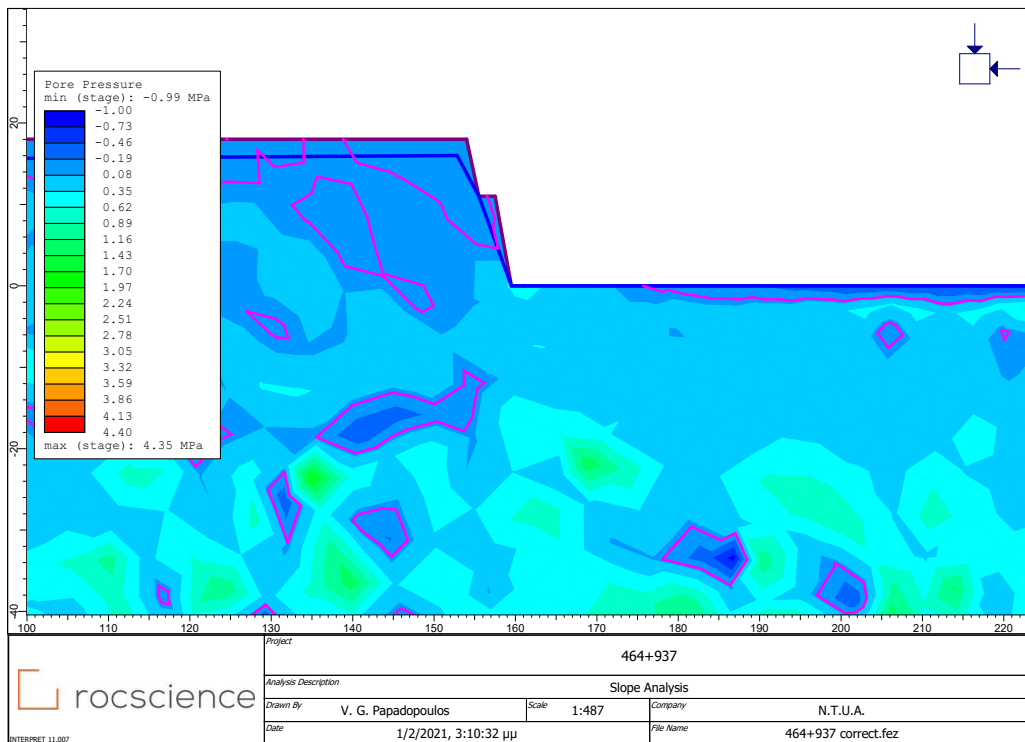
Εικόνα 161: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 200: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)		Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point
Μετατοπίσεις	(40.125 , 14.813)	Ux	$210,949 \cdot 10^{-6}$	m	74	3265
		Uy	$-20,337 \cdot 10^{-6}$	m		
		ΔUx	$124,716 \cdot 10^{-6}$	m		
		ΔUy	$-17,151 \cdot 10^{-6}$	m		
Ενεργές Τάσεις	(38.254 , 12.758)	σ_{xx}	-19,255	kN/m ²	4	877
σ_{yy}		-277,403	kN/m ²			
σ_{xy}		43,959	kN/m ²			
σ_{zz}		-66,358	kN/m ²			
Πίεση των Πόρων		p (excess)	0	kN/m ²		
P (active)		-24,313	kN/m ²			
	Βαθμός Κορεσμού	100,000	%			
Μετατοπίσεις	(36.500 , 23.333)	Ux	$189,958 \cdot 10^{-6}$	m	74	2761
		Uy	$-23,414 \cdot 10^{-6}$	m		
		ΔUx	$121,359 \cdot 10^{-6}$	m		
		ΔUy	$-18,751 \cdot 10^{-6}$	m		
Ενεργές Τάσεις	(36.338 , 23.442)	σ_{xx}	-0,041	kN/m ²	4	38
σ_{yy}		-20,545	kN/m ²			
σ_{xy}		0,918	kN/m ²			
σ_{zz}		-5,542	kN/m ²			
Πίεση των Πόρων		p (excess)	0,000	kN/m ²		
P (active)		0,001	kN/m ²			
	Βαθμός Κορεσμού	73,820	%			



Εικόνα 162: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 163: Απεικόνιση των πιέσεων των πόρων

Οι αναλύσεις και των δύο προγραμμάτων έδειξαν πως το πρανές είναι εξαιρετικά ευσταθές. Στα σημεία, όπως έχει υποδειχθεί, οι μετατοπίσεις που χρίζουν αναφοράς είναι οι οριζόντιες. Ακόμα και αυτές όμως είναι πολύ μικρές, της τάξης των δύο δέκατων του χιλιοστού η μέγιστη. Οι διαφορικές μετατοπίσεις λαμβάνουν αντίστοιχες τιμές, ανά διεύθυνση. Ενώ από τις αναλύσεις του RS2 οι μετατοπίσεις αυτές δεν ξεπερνούν το ενάμιση χιλιοστό σε οριζόντια μετακίνηση. Ταυτόχρονα οι τάσεις, αλλά και η πίεση του νερού των πόρων λαμβάνουν πολύ μικρές τιμές, ειδικά αφού η τιμή της σσι είναι πολύ μεγάλη. Υπάρχει μία ομαλή, αλλά έντονη υποτίμηση του υδροφόρου, με μία έντονη διαταραχή αυτού στο πατάρι του πρανούς, στο οποίο γίνεται και η επιφανειακή εκτόνωση των. Από το RS2 ο υδροφόρος δε λαμβάνει έντονη υποτίμηση, αλλά περισσότερο κάποια μικρά «τσακίσματα» στην επιφάνεια με εκτόνωση στους πόδες των δύο επιμέρους τμημάτων του πρανούς. Ενώ παράλληλα δείχνει μια πολύ έντονη διαταραχή των υπογείων υδάτων. Κάτι που είναι φυσιολογικό αφού πρόκειται για μια βραχομάζα με πολύ χαμηλή διαπερατότητα. Επιπροσθέτως, η ροή στον πόδα προέρχεται όχι μόνο από ανάντη του πρανούς αλλά και από υπόγεια (κάτω από το ύψος του πόδα) ύδατα. Αυτό καταδεικνύεται από τις αναλύσεις του Plaxis. Τα αποτελέσματα απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως υπάρχει μια ομαλότητα γενικά, με κάποιες καταπτώσεις βράχων. Αυτό μπορεί να μη φαίνεται στις αναλύσεις, αλλά είναι κάτι λογικό, από τη στιγμή που εξαρτάται από τοπικές ανισοτροπίες, αλλά και από τη φύση των βραχωδών πρανών με έντονες ασυνέχειες και ταυτόχρονα υψηλή συνοχή και αντοχή του υλικού. Συμπερασματικά, δεν υπάρχει κάποιος λόγος ανησυχίας, καθότι ήδη υπάρχει ένα πλέγμα, που λειτουργεί ως βραχοπαγίδα. Θα μπορούσε να τοποθετηθεί ενισχυμένο πλέγμα με αγκυρώσεις με τη λειτουργία του τοίχου αντιστήριξης, ωστόσο δεν κρίνεται απαραίτητο. Πιο απλή λύση και πολύ πιο οικονομική είναι η τακτική παρακολούθηση του εν λόγω πρανούς και το ξεσκάρωμα βραχοσφηνών που θεωρούνται επικίνδυνες.

27. Χ.Θ. 586+000

Πίνακας 201: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 586+000

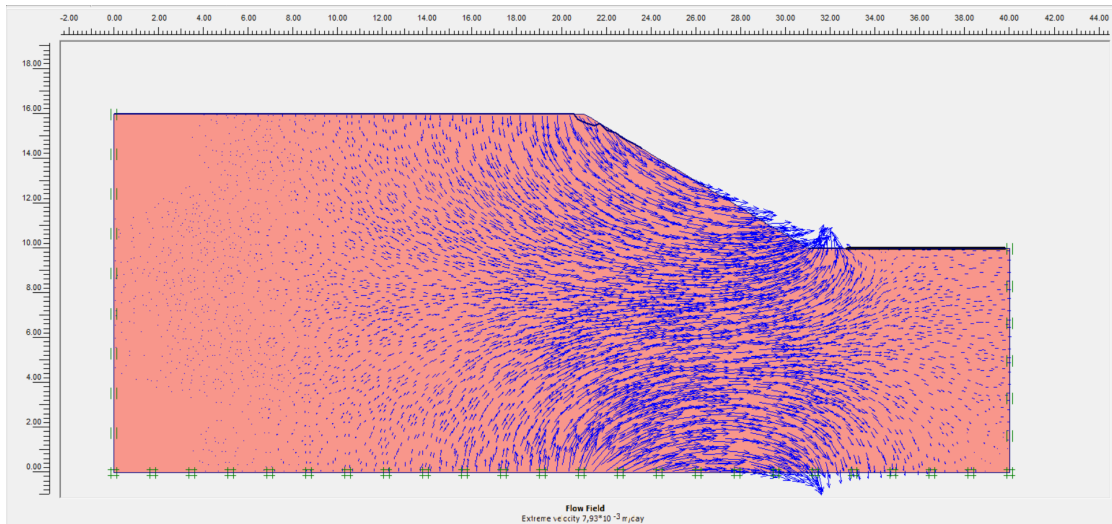
Βραχομάζα	Εδαφικά	
Ύψος Πρανούς	4	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	6	m
Κλίση Πρανούς	30	°
σσί	1 έως 5	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	πολύ λεία επιφάνεια, μικρό μέρος της καλυμμένο με χαμηλά τεμάχια	
Ύπαρξη Νερού	παρουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχίων Καταπτώσεων	300	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	0	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	0	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	1	m ³ /m
Πλάτος Ερείσματος	1,9	m
Κλίση Ασυνεχειών	<20	°
Ύπαρξη Καρστικών	Όχι	

Πίνακας 202: Δεδομένα Plaxis

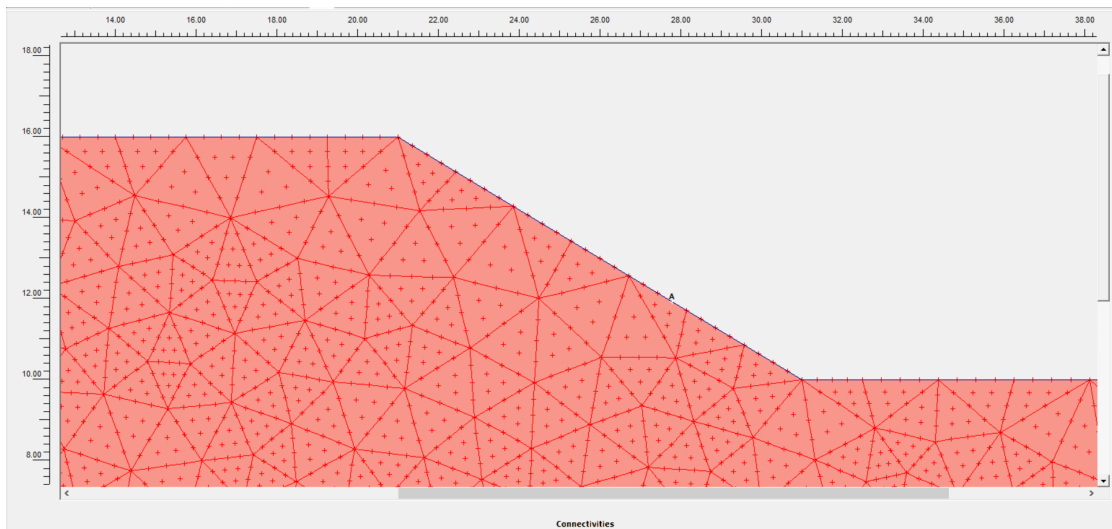
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimensions	Left	0,00	m
	Right	50,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	20,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	Clay		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	UnDrained	
	γ_{unsat}	17	kN/m ³
	γ_{sat}	20	kN/m ³
	k_x	0,01	m/d
	k_y	0,01	m/d
Parameters	Eref	10000	kN/m ²
	ν	0,35	
	c ref	5	kN/m ²
	ϕ	30	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
KO - procedure	ΣM - weight	1	
	KO	0,5	
Στάθμη Υ.Ο.	Στην επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	1,074		

Σχόλια αναλύσεων

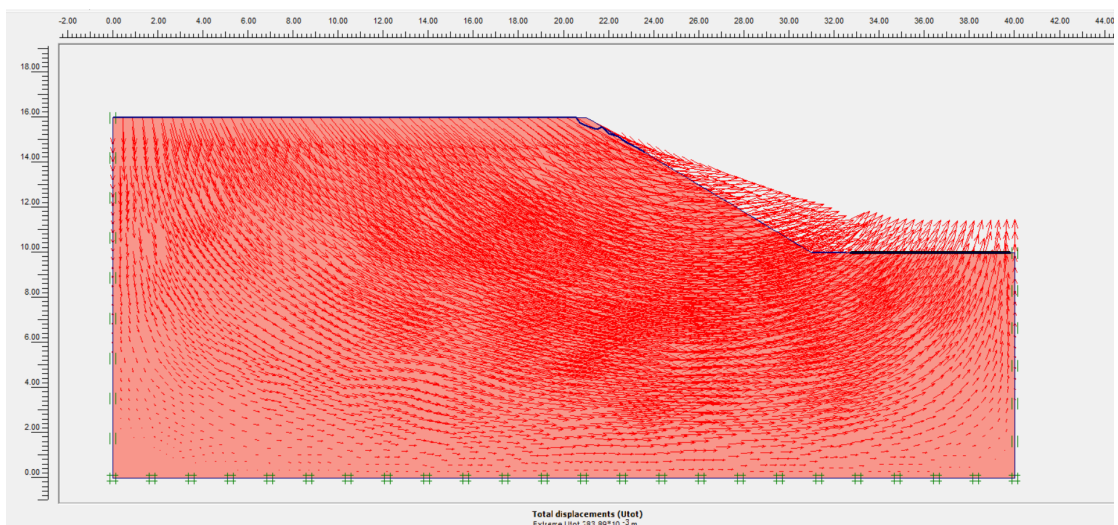
Το εδαφικό υλικό θεωρήθηκε αμμώδης άργιλος με χαλίκια. Επομένως, τα γεωτεχνικά στοιχεία εκτιμήθηκαν γι' αυτόν τον εδαφικό σχηματισμό και με βάση το φωτογραφικό υλικό. Τέλος, η τιμή της διαπερατότητας υπερτιμήθηκε ελαφρώς, εξ' αιτίας των χαλικιών.



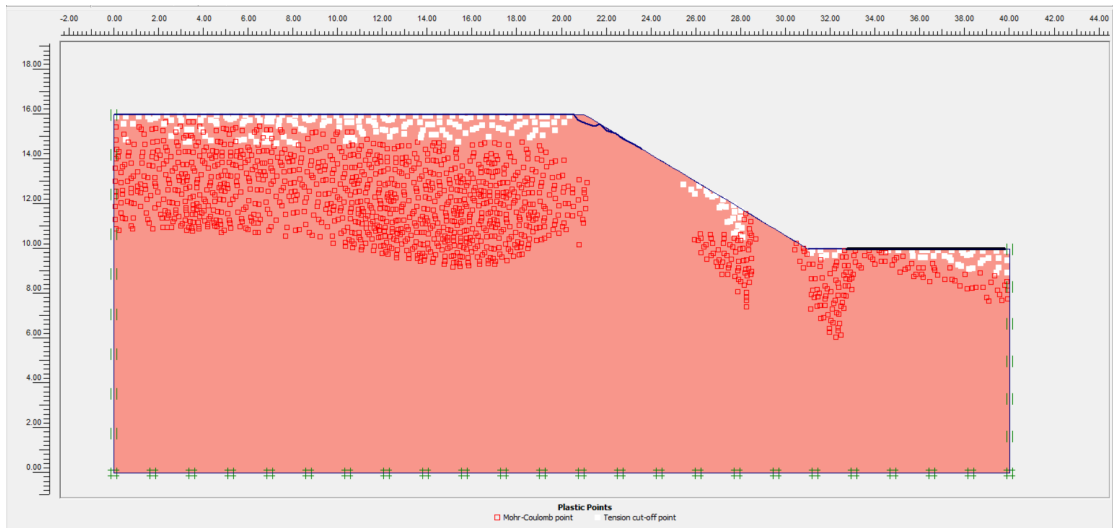
Εικόνα 164: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



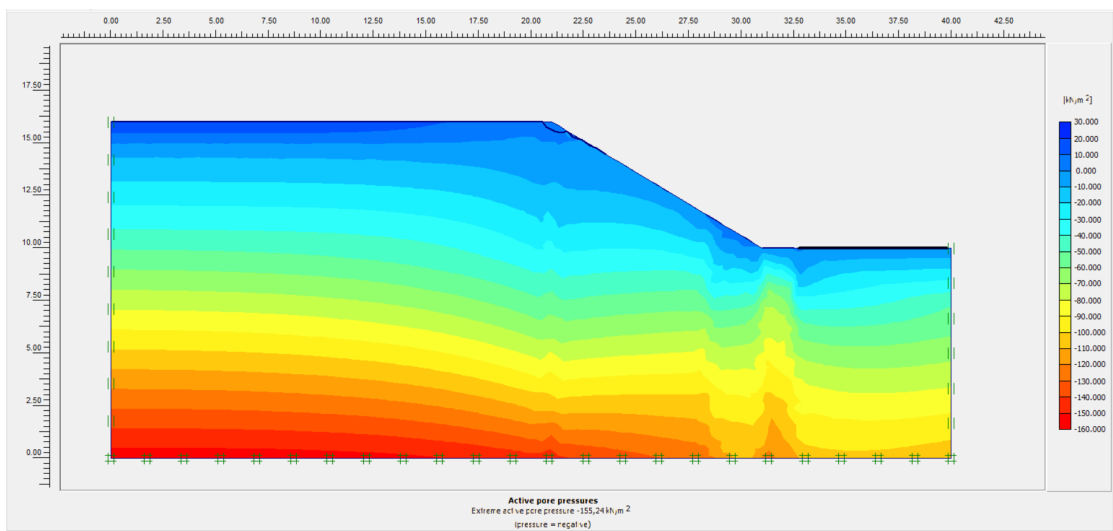
Εικόνα 165: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



Εικόνα 166: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



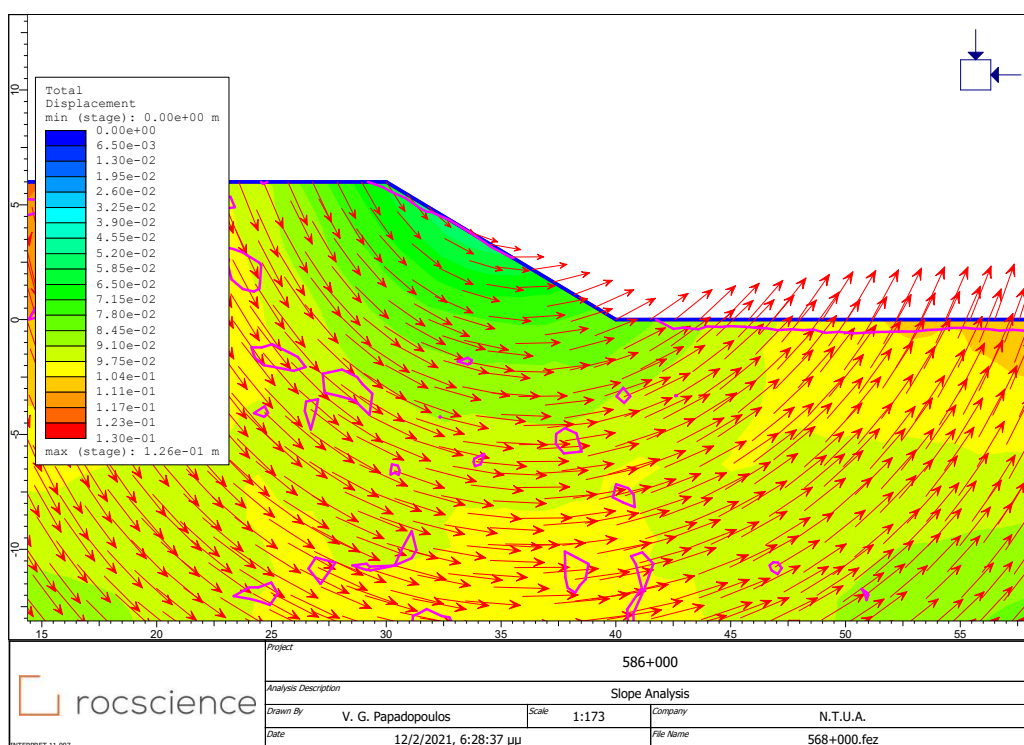
Εικόνα 167: Σημεία πλαστικοποίησης εδαφικού πρανός



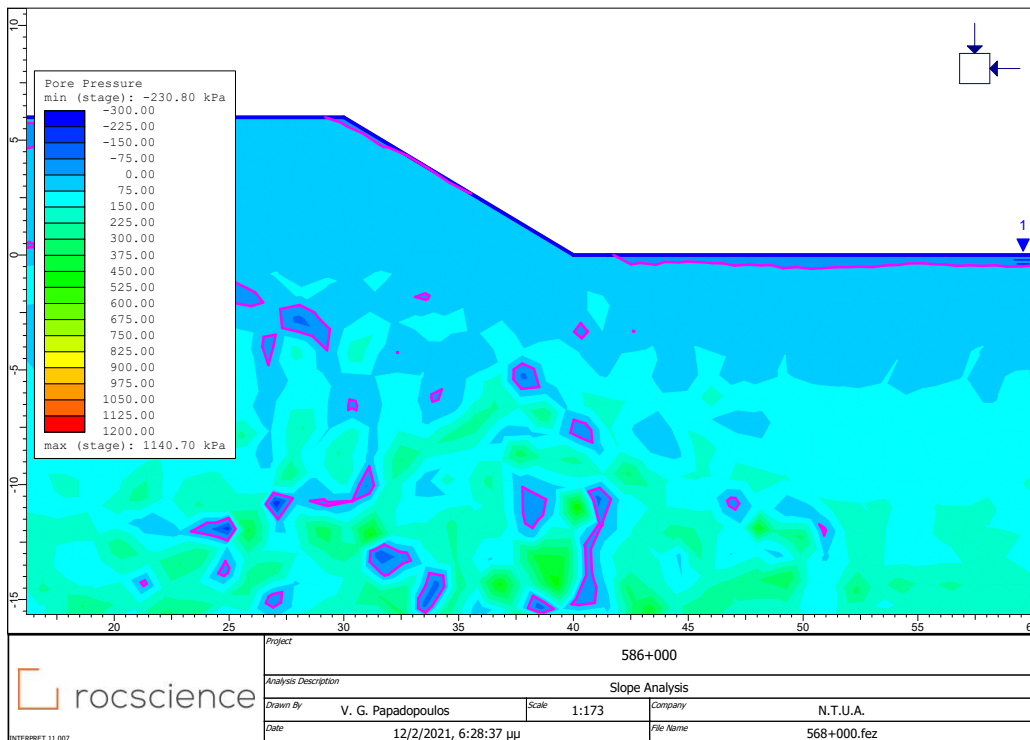
Εικόνα 168: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 203: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)			Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point	
Μετατοπίσεις	(27.786 , 11.929)	Ux	263,305*10 ⁻³	m	4	2992		
		Uy	49,268*10 ⁻³	m				
		ΔUx	25,916*10 ⁻³	m				
		ΔUy	0,246*10 ⁻³	m				
Ενεργές Τάσεις	(28.036 , 11.694)	σxx	-15,780	kN/m ²			38	
		σyy	-5,005	kN/m ²				
		σxy	8,887	kN/m ²				
		σzz	-7,258	kN/m ²				
Πίεση των Πόρων		p (excess)	0,697	kN/m ²				
		P (active)	-0,318	kN/m ²				
	Βαθμός Κορεσμού	100,000	%					



Εικόνα 169: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 170: Απεικόνιση των πιέσεων των πόρων

Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές αστοχεί. Στο σημείο «Α», όπως έχει υποδειχθεί, οι οριζόντιες μετατοπίσεις πλησιάζουν τα τριάντα εκατοστά και οι κατακόρυφες τα πέντε. Οι διαφορικές μετατοπίσεις λαμβάνουν μικρότερες, αλλά σημαντικές τιμές. Οι τιμές των τάσεων και των πιέσεων των πόρων, λαμβάνουν μικρές, αλλά πολύ σημαντικές τιμές, συγκριτικά με τη χαμηλή τιμή της σ_{ci} . Η ροή των υδάτων είναι σχετικά παράλληλη με την επιφάνεια του πρανούς, γεγονός που υποδεικνύει πως η πίεση είναι σχεδόν υδροστατική. Ακόμη, παρατηρούνται πολλαπλά σημεία πλαστικοποίησης σε διάφορα σημεία του πρανούς. Οι αναλύσεις του RS2 παρουσιάζουν την κατάσταση καλύτερα, απ' ό,τι το Plaxis, συγκεκριμένα οι μετατοπίσεις δεν ξεπερνούν τα δέκα εκατοστά, αλλά και πάλι είναι μεγάλες. Ωστόσο, οι πιέσεις των υδάτων κυμαίνονται σε παραπλήσιες τιμές. Επιπροσθέτως είναι εμφανής ο κύκλος ολίσθησης του πρανούς, ο πόδας του οποίου εντοπίζεται κάτω από το δίκτυο κυκλοφορίας, και στα δύο προγράμματα. Πρέπει να αναφερθεί ότι η επίλυση στο RS2 στην παρούσα Χ.Θ. έγινε με το κριτήριο Mohr – Coulomb, καθότι έχουμε εδαφικό υλικό. Τα αποτελέσματα απεικονίζουν απόλυτα την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως υπάρχει ολίσθηση του πρανούς. Συμπερασματικά, υπάρχει ένας μικρός λόγος ανησυχίας, παρότι οι μετατοπίσεις είναι τόσο μεγάλες. Αυτό διότι το πρανές έχει πολύ μικρή κλίση και μικρό ύψος. Συνεπώς προτείνεται η αφαίρεση ενός τμήματος του πρανούς, ή η δημιουργία πασσαλότοιχου στο άκρο του πρανούς (πριν το οδόστρωμα) με βάθος πάκτωσης περί τα οκτώ μέτρα. Αν και η δεύτερη λύση είναι πολύ πιο δαπανηρή.

28. 597+300

Πίνακας 204: Πρωτογενή δεδομένα Χ.Θ. 597+300

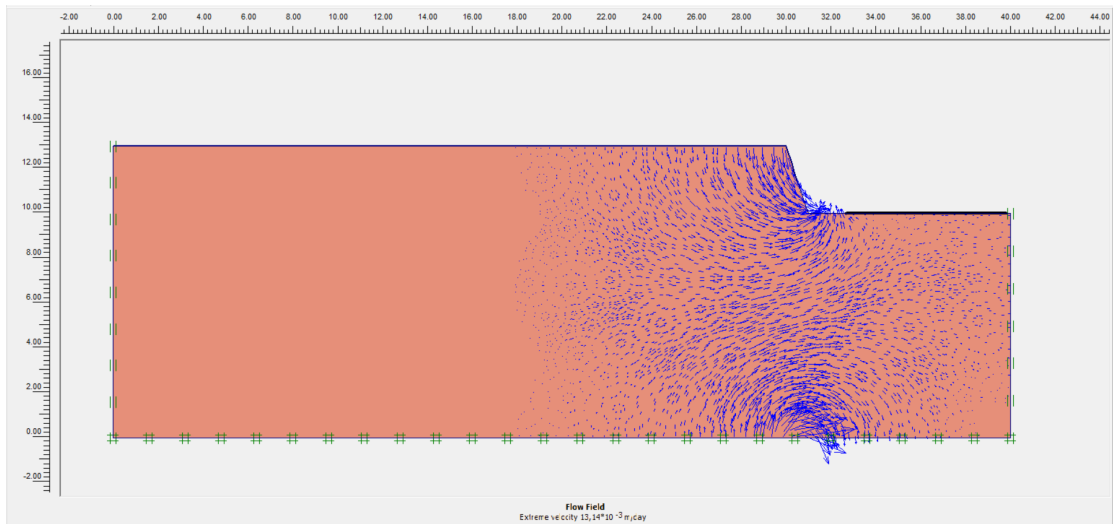
Βραχομάζα	Εδαφικά	
Ύψος Πρανούς	3	m
Μέγιστο Ύψος Πρανούς	4	m
Κλίση Πρανούς	70	°
σ _{ci}	1 έως 5	MPa
Επιφάνεια Πρανούς	Ελαφρώς ανώμαλη επιφάνεια, χωρίς χαλαρά τεμάχια	
Ύπαρξη Νερού	Απουσία νερού στην επιφάνεια	
Μέγεθος Τεμαχίων Καταπτώσεων	150	mm
Πλάτος Τάφρου Ανάσχεσης	1,5	m
Όγκος Τάφρου Ανάσχεσης	-	m ³
Αναμενόμενη Ποσότητα καταπτώσεων	0	m ³ /m
Πλάτος Ερείσματος	0,9	m
Κλίση Ασυνεχειών	<20	°
Ύπαρξη Καρστικών	Όχι	

Πίνακας 205: Δεδομένα Plaxis

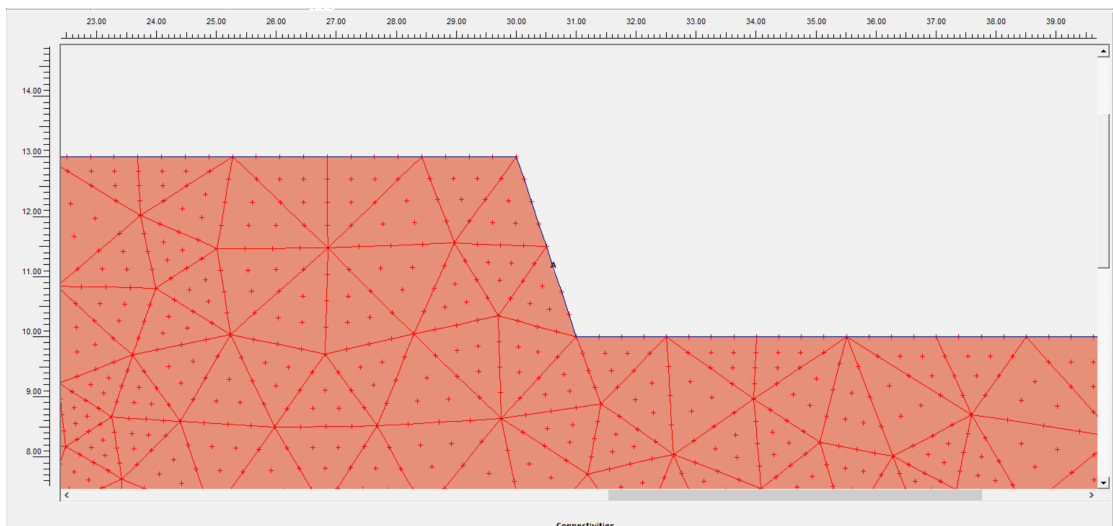
Plaxis			
General settings			
Model	Plane strain		
Elements	15-Node		
Geometry dimensions	Left	0,00	m
	Right	40,00	m
	Bottom	0,00	m
	Top	20,00	m
Material sets			
Set type	Soil & Interfaces		
Name	Clay		
General	Material model	Mohr - Coulomb	
	Material type	UnDrained	
	γ_{unsat}	17	kN/m ³
	γ_{sat}	20	kN/m ³
	k_x	0,005	m/d
	k_y	0,005	m/d
Parameters	Eref	20000	kN/m ²
	ν	0,35	
	c ref	6	kN/m ²
	ϕ	33	°
	ψ	0	°
Interfaces	Rigid		
	Rinter	1	
Mesh coarseness	Element distribution	Fine	
KO - procedure	ΣM - weight	1	
	KO	0,455	
Στάθμη Υ.Ο.	Στην επιφάνεια		
Συντ. Ασφαλείας	1,239		

Σχόλια δεδομένων

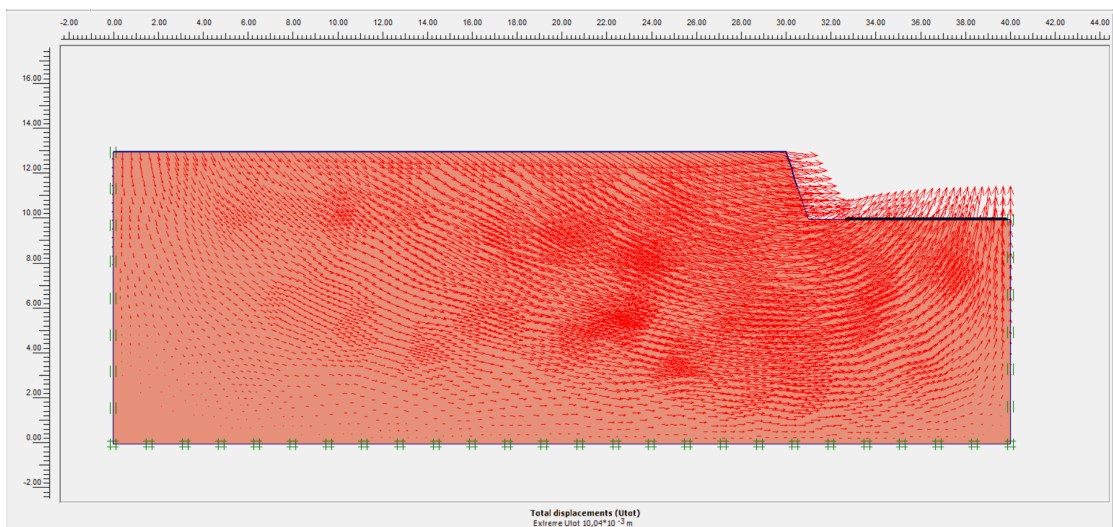
Το εδαφικό υλικό θεωρήθηκε αμμώδης άργιλος με χαλίκια. Επομένως, τα γεωτεχνικά στοιχεία εκτιμήθηκαν γι' αυτό τον εδαφικό σχηματισμό και με βάση το φωτογραφικό υλικό. Τέλος, η τιμή της διαπερατότητας υπερτιμήθηκε ελαφρώς, εξ' αιτίας των χαλικιών. Ωστόσο η υπερτίμηση αυτή είναι λιγότερη σε σχέση με το πρανές της προηγούμενης Χ.Θ., διότι το κοκκινωπό χρώμα που υπάρχει υποδεικνύει την οξείδωση που υφίσταται το έδαφος, λόγω της συγκράτησης του νερού σε μεγαλύτερες ποσότητες.



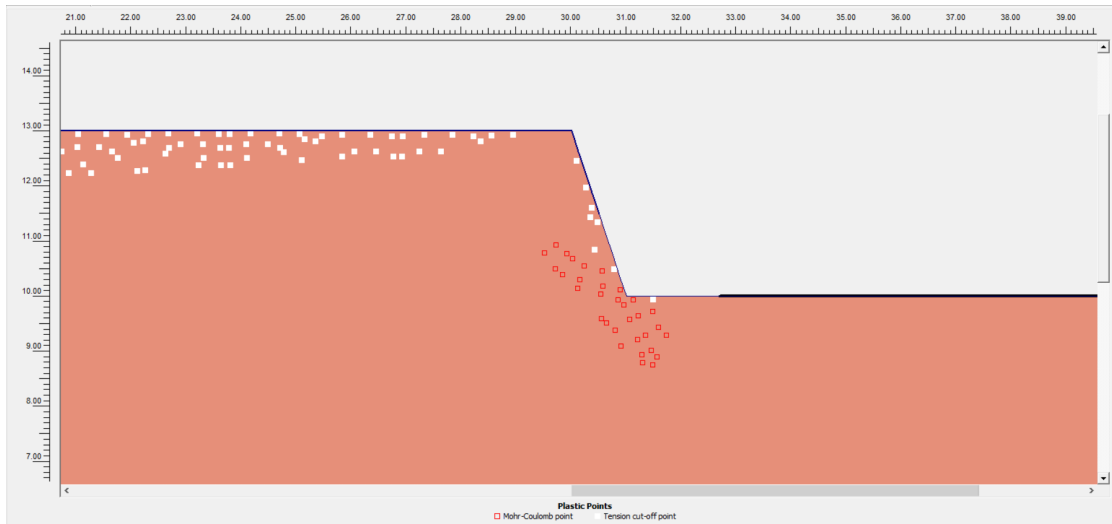
Εικόνα 171: Διανυσματική απεικόνιση της ροής των υπογείων υδάτων



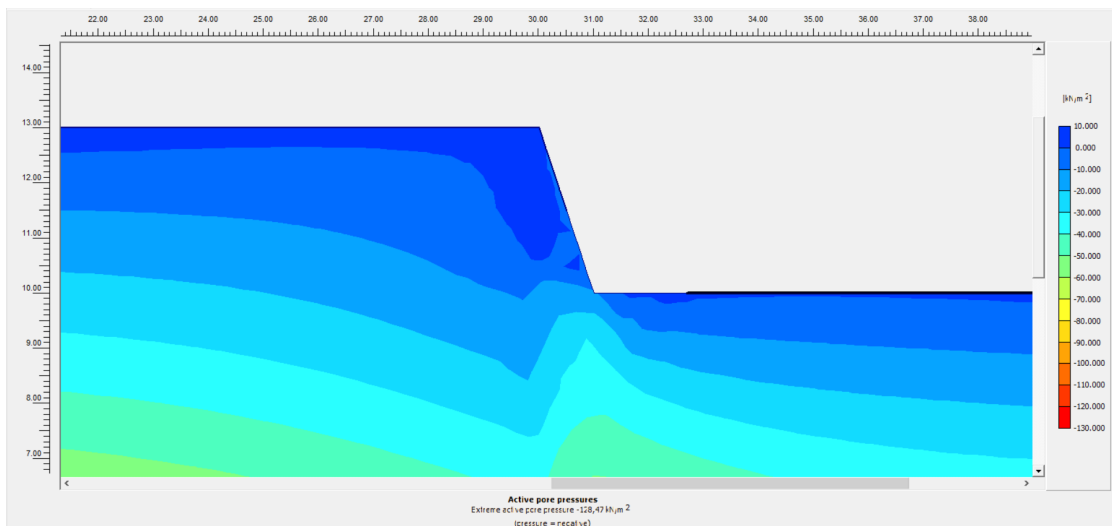
Εικόνα 172: Επιλεγμένες θέσεις (nodes) επί του πρανούς



Εικόνα 173: Διανυσματική απεικόνιση των ολικών μετατοπίσεων



Εικόνα 174: Σημεία πλαστικοποίησης εδαφικού πρανούς



Εικόνα 175: Απεικόνιση των ενεργών πιέσεων των πόρων

Πίνακας 206: Τιμές σημείων ενδιαφέροντος

	Συντεταγμένες (x,y)			Μον. Μέτρησης	Element	Node	Stress Point	
Μετατοπίσεις	(30.625 , 11.125)	Ux	9,027*10 ⁻³	m	26	3342		
		Uy	0,277*10 ⁻³	m				
		ΔUx	0,842*10 ⁻³	m				
		ΔUy	-145,221*10 ⁻⁶	m				
Ενεργές Τάσεις	(29.831 , 10.399)	σxx	-11,881	kN/m ²			301	
		σyy	-49,914	kN/m ²				
		σxy	10,782	kN/m ²				
		σzz	-19,323	kN/m ²				
p (excess)		4,671	kN/m ²					
P (active)		-4,658	kN/m ²					
Βαθμός Κορεσμού		100,000	%					
Πίεση των Πόρων								

Σχόλια αποτελεσμάτων αναλύσεων

Οι αναλύσεις έδειξαν πως το πρανές είναι σχετικά ευσταθές. Στο σημείο «Α», όπως έχει υποδειχθεί, οι οριζόντιες μετατοπίσεις πλησιάζουν το ένα. Οι κατακόρυφες και οι διαφορικές μετατοπίσεις λαμβάνουν αρκετά μικρότερες τιμές. Οι τιμές των τάσεων και των πιέσεων των πόρων, λαμβάνουν μικρές, αλλά σχετικά σημαντικές τιμές, συγκριτικά με τη χαμηλή τιμή της σ_{ci} . Η ροή των υδάτων είναι σχετικά παράλληλη με την επιφάνεια του πρανούς, γεγονός που υποδεικνύει πως η πίεση είναι σχεδόν υδροστατική. Ακόμη, παρατηρούνται κάποια σημεία πλαστικοποίησης στον πόδα του πρανούς. Επιπροσθέτως είναι εμφανής ο κύκλος ολίσθησης του πρανούς, ο πόδας του οποίου εντοπίζεται κάτω από το δίκτυο κυκλοφορίας. Τα αποτελέσματα απεικονίζουν την κατάσταση έτσι όπως έχει αποδοθεί στην τεχνική έκθεση των παρατηρήσεων, η οποία καταδεικνύει πως υπάρχει ολίσθηση του πρανούς, αλλά σε ελαφρώς μικρότερο βαθμό. Εμφανής είναι και ο κύκλος ολίσθησης. Συμπερασματικά, υπάρχει ένας μικρός λόγος ανησυχίας, παρά τα πτωχά γεωτεχνικά χαρακτηριστικά. Αυτό διότι το πρανές έχει πολύ μικρό ύψος. Συνεπώς προτείνεται η αφαίρεση ενός τμήματος του πρανούς και η μείωση της κλίσης του.

Συμπεράσματα - Σχόλια

Στη διπλωματική εργασία αναλύθηκαν οι διαδικασίες της εξαγωγής των τιμών των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών παραμέτρων, οι οποίες απαιτούνται για την προσομοίωση και την επίλυση των πρανών με αριθμητικές αναλύσεις πεπερασμένων στοιχείων. Στο παρόν κεφάλαιο διατυπώνονται συμπεράσματα και κάποια σχόλια που προέκυψαν, κατά την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας, ως εξής:

Ως προς τα γεωτεχνικά δεδομένα:

- ◇ Πρέπει να γίνει αναφορά στο βαθμό διαταραχής (D). Σε ορισμένες επιλεγμένες Χ.Θ. η τιμή του D ελήφθη ίση με 0.5, λόγω της χρήσης εκρηκτικών κατά τη διαμόρφωση των πρανών. Παρατηρήθηκε ότι τα αποτελέσματα των αναλύσεων επηρεάζονται από την εφαρμογή αυτής της τιμής. Διότι επηρεάζονται άμεσα οι παράμετροι όπως είναι αυτές του μέτρου ελαστικότητας, της συνοχής, της εσωτερικής γωνίας τριβής κλπ.
- ◇ Αναφορικά με την επιλογή «General Application», για την εξαγωγή δεδομένων από το RocData. Όταν εφαρμόζεται η επιλογή «Slope», οι τιμές της εσωτερικής γωνίας τριβής ήταν κατά πολύ μεγαλύτερες, ενώ οι τιμές της συνοχής κατά πολύ μικρότερες. Τα αποτελέσματα από αναλύσεις στο Plaxis και με τις δυο μεθόδους επιλογής τιμών ήταν παρόμοια. Ως εκ τούτου έγινε η επιλογή του «General Application», για τον προσδιορισμό των c και ϕ , γιατί κρίθηκαν ως πιο ρεαλιστικές για το σύνολο της βραχομάζας του πρανούς.
- ◇ Επιπλέον, έγινε μια τροποποίηση των τιμών ανάλογα με τη διεθνή βιβλιογραφία. Ο λόγος που δε χρησιμοποιήθηκαν αυτούσιες οι τιμές του RocData είναι επειδή, στη συγκεκριμένη έκδοση του Plaxis, δεν υπήρχε η δυνατότητα επίλυσης με το κριτήριο αστοχίας Hoek & Brown, και γι' αυτό επιλέχθηκε η επίλυση με Mohr - Coulomb. Όμως, στο RS2 που έγινε χρήση του κριτηρίου «Generalized Hoek & Brown», ως δεδομένα δόθηκαν οι ακριβείς τιμές του RocData.

Σε ότι αφορά στα προγράμματα πεπερασμένων που χρησιμοποιήθηκαν:

- ◇ Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων χαρακτηρίζονται εξαιρετικά, καθώς η πλειονότητα των αποτελεσμάτων απεικονίζει την κατάσταση των προβλημάτων όπως αυτά εμφανίζονται στα αντίστοιχα πρανά. Προφανώς, σε μερικές περιπτώσεις δεν υπάρχει απόλυτη ταύτιση, αλλά αυτό αποδόθηκε στα όχι απόλυτα ακριβή γεωτεχνικά δεδομένα, στη μη πλήρη και αξιόπιστη χαρτογράφηση της επιφάνειας του πρανούς με αποτέλεσμα την μη προσομοίωση τμηματικών καταπτώσεων ή τοπικών μικρών ολισθήσεων εδαφοποιημένων περιοχών. Συμπερασματικά λοιπόν, πρέπει να τονιστεί η εξαιρετική ακρίβεια των αναλύσεων και των αποτελεσμάτων των δύο αυτών προγραμμάτων, καθότι ακόμα και στα πρανά όπου δεν υπάρχει ταύτιση, αυτή είτε είναι ελαφρώς διαφοροποιημένη, είτε οφείλεται σε συγκεκριμένους λόγους.
- ◇ Ωστόσο, αναλυτικά θα πρέπει να αναφερθούν αυτά τα πρανά που δεν ταυτίζονται απόλυτα με τις παρατηρήσεις. Αυτά είναι τα υπ' αριθμόν (βάσει Χ.Θ.) 2, 3, 5, 8, 10, 11, 12, 17, 19, 22. Από αυτά, τα δύο (12 και 22) αφορούν σε ρευστοποίηση εδάφους, γεγονός που δε γίνεται διακριτό σε στατική

ανάλυση, αφού αποτελεί απόρροια δυναμικών φορτίσεων, και μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο μελλοντικής έρευνας. Στο δεύτερο πρανές δεν αποδίδεται πλήρως το φαινόμενο της ολίσθησης, καθότι πιθανόν τα γεωτεχνικά δεδομένα ελήφθησαν πιο συντηρητικά. Για τα πρανή 3, 11, 17 και 19 η αποσάθρωση και οι καταπτώσεις χωμάτων που υφίστανται οφείλεται σε τοπικές – τμηματικές εδαφοποιημένες, ή πιο χαλαρές καταστάσεις της βραχομάζας. Επιπρόσθετα, για το 8^ο πρανές τα φερτά υλικά μπορούσαν να αιτιολογηθούν, βάσει υψηλών τιμών μετακινήσεων, αφού έχουμε εδαφικό πρανές. Ωστόσο, από τις αναλύσεις οι τιμές αυτές ήταν χαμηλές. Επομένως, ίσως ελήφθησαν συντηρητικά γεωτεχνικά δεδομένα για την εν λόγω ανάλυση. Τέλος για το πέμπτο πρανές, αυτό που μπορεί να σχολιαστεί είναι ότι σε περίπτωση κάποια βροχόπτωσης θα ανέβει η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Σε αυτή την περίπτωση στα σημεία που είχε εκδηλωθεί η μύζηση θα δημιουργηθούν πλέον θετικές πιέσεις, όποτε και θα είναι πιθανό να αιτιολογηθεί έτσι η αστοχία που εκδηλώθηκε στα σημεία αυτά.

- ◇ Παρόλο που η σύγκριση των δύο προγραμμάτων δεν αποτελεί το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής, μια πρώτη σύγκριση των αποτελεσμάτων τους δείχνει ότι το RS2 είναι γενικά πιο συντηρητικό στα αποτελέσματα του. Κάτι που είναι λογικό βάσει των κριτηρίων αστοχίας που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε πρόγραμμα. Δηλαδή Mohr – Coulomb στο Plaxis και Generalized Hoek & Brown στο RS2. Ωστόσο, στην 27^η Χ.Θ., όπου πρόκειται για εδαφικό πρανές, τα αποτελέσματα του Plaxis είναι τα πιο συντηρητικά.
- ◇ Παράλληλα, υπήρξε απόκλιση των αποτελεσμάτων, ως προς τους συντελεστές ασφάλειας των πρανών, με το Plaxis να προβλέπει πολύ υψηλότερες τιμές, απ' ότι το RS2.
- ◇ Στα πρανή που είναι ευσταθή οι αναλύσεις προβλέπουν μετακινήσεις της τάξης των πέντε εκατοστών και κάτω. Ενώ στα πρανή όπου υπήρξαν προβλήματα ευστάθειας η ανάλυση προέβλεψε μετακινήσεις έως και σχεδόν τριάντα εκατοστά.
- ◇ Σε όλες τις υποενότητες, για τις αντίστοιχες Χ.Θ., γίνεται ένας σχολιασμός – προτάσεις για τον τρόπο με τον θα αντιμετωπιστούν αυτά τα προβλήματα. Οι περισσότερες από αυτές δεν είναι δυνατό να ενταχθούν σε κάποια επίλυση. Ωστόσο ορισμένες, όπως οι αγκυρώσεις, δεν προσομοιώθηκαν με νέες αναλύσεις, καθότι αποτελούν ενδεικτική λύση στο πρόβλημα, αφού δεν υπάρχει πλήρης εικόνα (κατά την τρίτη διάσταση) του πρανούς.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Hoek, E., Marinos, P., & Benissi, M. (1998). Applicability of the geological strength index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens Schist Formation. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 57(2), 151–160. <https://doi.org/10.1007/s100640050031>
- Hoek, E., & Diederichs, M. S. (2006). Empirical estimation of rock mass modulus. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43(2), 203–215. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2005.06.005>
- Hoek, E., & Brown, E. T. (2019). The Hoek–Brown failure criterion and GSI – 2018 edition. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 11(3), 445–463. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.08.001>
- Konstadinou, M., & Georgiannou, V. N. (2014). Prediction of pore water pressure generation leading to liquefaction under torsional cyclic loading. *Soils and Foundations*, 54(5), 993–1005. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2014.09.010>
- Marinos, P., Marinos, V., & Hoek, E. (2007). Geological Strength Index (GSI). A characterization tool for assessing engineering properties for rock masses. *Underground Works under Special Conditions - Proceedings of the Workshop (W1) on Underground Works under Special Conditions, July*, 13–21. <https://doi.org/10.1201/noe0415450287.ch2>
- Öge, I. F. (2017). Assessing Rock Mass Permeability Using Discontinuity Properties. *Procedia Engineering*, 191, 638–645. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.373>
- Papadopoulos, D. (2014). *Analysis of Circular Ventilation Shaft With 2D And 3D Finite Element Models (FEM)*. M. Sc. theses, National Technical University of Athens. National and Technical University of Athens.
- Vásárhelyi, B. (2009). A possible method for estimating the Poisson's rate values of the rock masses. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 44(3), 313–322. <https://doi.org/10.1556/AGeod.44.2009.3.4>
- Λουπασάκης, Κ. (2014). Κατολισθητικά Φαινόμενα και Υπόγεια Έργα. Αθήνα.
- Μαυρογένης, Ε., Αναγνωστόπουλος, Γ., Αλεπουδάκης, Μ., Ευαγγελινάρα, Π., & Ξουραφάς, Δ. (2019). *Δευτεροβάθμια Προσέγγιση Πιθανότητας Ενδεχομένων Αστοχιών Επιλεγμένων Θέσεων*. Αθήνα.
- Μπαντής, Σ. (2008). Τεχνική Γεωλογία. *Οργανισμός Εκδόσεων Διδακτικών Βιβλίων*, Αθήνα.

Σεραφής, Γ. Α. (2016). *2D & 3D Προσομοίωση Εκσκαφής Φρεάτων με Χρήση Πεπερασμένων Στοιχείων*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Τσώκου, Α. Θ. (2010). *Μελέτη Κατολισθητικών Φαινομένων με Εκτίμηση των Γεωλογικών - Γεωμορφολογικών Συνθηκών στην Περιοχή Βελβιτσίου Πατρών*. Πανεπιστήμιο Πατρών.