



Πανεπιστήμιο Κύπρου

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών  
και Μηχανικών Περιβάλλοντος

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΣΤΟΝ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟ  
ΠΥΡΗΝΑ ΠΙΣΣΟΥΡΙΟΥ (ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ SLIDE)**

Μεταπτυχιακή εργασία

**ΑΝΔΡΕΑΣ ΖΟΡΛΗΣ**

Επιβλέπων καθηγητής:

Δημήτριος Λουκίδης, Αναπληρωτής Καθηγητής

Λευκωσία, Μάρτιος 2023

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία μελετά και αναλύει το κατολισθητικό φαινόμενο που εκδηλώθηκε το 2001 στον παραδοσιακό πυρήνα της κοινότητας Πισσουρίου και το οποίο εξελίσσεται μέχρι σήμερα προκαλώντας συνεχώς εκτεταμένες ζημιές σε κατοικίες αλλά και στον παρακείμενο δρόμο.

Αρχικά εξετάστηκε η γεωλογία και η στρωματογραφία της περιοχής μέσα από τη μελέτη βιβλιογραφίας και δεδομένων του Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης. Σχεδιάστηκε η τομή η οποία χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση της κατολίσθησης στο λογισμικό Slide. Από την βιβλιογραφία και πάλι προέκυψαν ορισμένες τιμές παραμέτρων αντοχής των στρωμάτων ενώ για το επιφανειακό στρώμα που δεν υπάρχουν αναφορές, δοκιμάστηκαν διάφορες τιμές συνοχής και γωνίας τριβής. Όσον αφορά τη στάθμη του υπόγειου νερού αυτή εντοπίζεται στα 3μ σύμφωνα με δεδομένα του Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης.

Στη συνέχεια έγινε μοντελοποίηση της κατολίσθησης στο λογισμικό, στο οποίο επεξεργαστήκαμε διάφορα σενάρια σχετικά με τις παραμέτρους αντοχής αλλά και το ενδεχόμενο στο οποίο το υπόγειο νερό να βρισκόταν σε διαφορετικό βάθος από το πραγματικό. Τα δεδομένα έδειξαν πως η αρχική μετακίνηση του 2001 οφειλόταν σε επανεργοποίηση μιας παλαιοκατολίσθησης. Οι αναλύσεις που πραγματοποιήσαμε δείχνουν η παρουσία του υπόγειου νερού σε τόσο μικρό βάθος και η πιθανή αυξομείωση της, διαδραματίζουν τον πιο καθοριστικό ρόλο στη συνέχιση των μετακινήσεων.

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ.....</b>                                | <b>4</b>  |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....</b>                  | <b>10</b> |
| <b>2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....</b>                          | <b>10</b> |
| <b>2.2 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....</b>                                   | <b>13</b> |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....</b>                                      | <b>15</b> |
| <b>3.1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....</b>                           | <b>15</b> |
| <b>3.2. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΝΤΟΧΗΣ ΓΕΩΥΛΙΚΩΝ.....</b>                            | <b>16</b> |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ<br/>SLIDE.....</b> | <b>18</b> |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>                                     | <b>32</b> |
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>   | <b>34</b> |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>  | <b>35</b> |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Τον χειμώνα του 2001 - 2002, όπως αναφέρουν οι Alexandris et al. (2017) ενεργοποιήθηκε στο βορειοανατολικό τμήμα του παραδοσιακού πυρήνα της κοινότητας Πισσουρίου μια κατολίσθηση η οποία κατέστρεψε τρεις κατοικίες και τμήμα του δρόμου. Η κατολίσθηση αυτή είναι ένα παράδειγμα κατολίσθησης σε αποσαθρωμένες μάργες. Ο παραδοσιακός πυρήνας του Πισσουρίου είναι ανεπτυγμένος σε επιπεδωμένη κορυφή ενός λόφου και η μεγάλη ανάπτυξη που προέκυψε με την πάροδο του χρόνου, οδήγησε σε μαζική οικοδόμηση κλιτύων και γειτονικών λόφων. Η κατολίσθηση κινητοποίησε περίπου  $80.000\text{m}^3$  και φυσικά η μάζα συνέχισε να ολισθαίνει τα επόμενα χρόνια, με μειωμένο ρυθμό τις θερινές περιόδους και μεγαλύτερο τις υγρές.



**Σχήμα 1:** Όριο κατολίσθησης. Πηγή: (Alexandris et al.2017)

Κατόπιν διαφόρων μελετών που έγιναν με πρωτοβουλία της Κυπριακής Δημοκρατίας, προτάθηκαν τρεις λύσεις:

- 1) Να φορτιστεί ο πόδας της κατολίσθησης με την κατασκευή ενός ψηλού αντίβαρου
- 2) Η πλήρης αποφόρτιση του ανώτερου τμήματος της κατολίσθησης με εκσκαφές και αντικατάσταση των αφαιρούμενων υλικών με ελαφρά υλικά. Παράλληλα να κατασκευαζόταν αντίβαρο στον πόδα με μέσο ύψος.

- 3) Να αποφορτιστεί μερικώς η περιοχή με περιορισμένες εκσκαφές και να εξομαλυνθούν οι κλίσεις στο άνω τμήμα της κατολίσθησης και να κατασκευαστεί χαμηλό αντίβαρο στον πόδα.

Στην οποιαδήποτε τελική επιλογή θα έπρεπε ταυτόχρονα να γίνει έλεγχος των υπόγειων υδάτων. Τελικά αποφασίστηκε να κατασκευαστεί αντίβαρο στον πόδα, ακολούθως να απομακρυνθεί μέρος των κατολισθημένων υλικών και να κατασκευαστεί τοίχος αντιστήριξης στο άνω μέρος της κατολίσθησης για να συγκρατήσει την περιοχή.



**Σχήμα 2:** Η πλαγιά της κατολίσθησης και οι 3 επηρεαζόμενες κατοικίες.  
Πηγή: Τμ. Γεωλογικής Επισκόπησης



**Σχήμα 3:** Κατολισθημένο Πρανές. Πηγή: Τμ. Γεωλογικής Επισκόπησης





**Σχήμα 4:** Επηρεαζόμενη κατοικία που έχει πάρει μεγάλη κλίση 10 χρόνια μετά την ενεργοποίηση της κατολίσθησης (2011). Πηγή: Τμ. Γεωλογικής Επισκόπησης

Στο άνω τμήμα της κατολίσθησης ανορύχθηκε μια γεώτρηση (EG2004/05) μέχρι το βάθος των 79μ όπως φαίνεται στο Σχήμα 5, από το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης στην οποία τοποθετήθηκαν σωλήνες κλισιομέτρου μέχρι τα 30μ βάθος και από το 2012 το Τμήμα ξεκίνησε να λαμβάνει μετρήσεις. Τον Νοέμβριο του 2019 η γεώτρηση έσπασε στα 16μ. βάθος, αποτέλεσμα μετακινήσεων. Να σημειωθεί πως παρόλο που είχε σπάσει σε αυτό το βάθος, δεν είναι δυνατόν να γνωρίζουμε το βάθος της ολίσθησης. Ταυτόχρονα ξεκίνησαν να εμφανίζονται ρωγμές σε παρακείμενα σπίτια, καθώς και στον παρακείμενο δρόμο νοτιοανατολικά της γεώτρησης. Φάνηκε δηλαδή πως παρόλο που η κατολίσθηση συγκρατήθηκε με τα έργα, εντούτοις παρέμεινε ενεργή και ξεκίνησε να εκτονώνετε νότια -νοτιοανατολικά του τοίχου αντιστήριξης που είχε κατασκευαστεί, προς το παρακείμενο αργάκι. Προς ενίσχυση αυτής της άποψης, αξίζει να αναφερθεί πως στο πέρασμα του χρόνου εμφανίζονταν ρωγμές σε παρακείμενες κατοικίες, τις οποίες το ΤΓΕ παρακολουθούσε.



**Σχήμα 5:** Γεωτρήσεις του ΤΓΕ στην περιοχή της κατολίσθηση. Με κόκκινο βέλος οι 2 στις οποίες υπάρχει αστοχία

Στις 11/01/2022 καταγράφηκε σεισμός βορειοδυτικά της Πάφου, μεγέθους 6,5 στην κλίμακα Ρίχτερ. Μετά τον σεισμό αυτό προκλήθηκαν μεγαλύτερες μετακινήσεις σε κατοικίες οι οποίες βρίσκονται νότια του τοίχου αντιστήριξης και αποτέλεσμα αυτού ήταν να προκληθούν τέτοιες ζημιές που ορισμένες κατοικίες έχουν εκκενωθεί με διάταγμα του Υπουργείου Εσωτερικών.. Από τότε μέχρι σήμερα οι μετακινήσεις αυτές συνεχίζονται προοδευτικά, προκαλώντας συνεχώς νέες ζημιές στις κατοικίες.

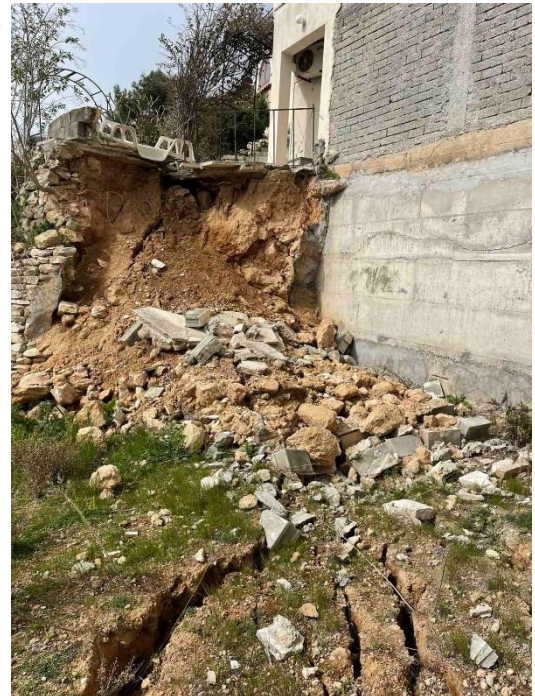




**Σχήμα 6&7:** Ρωγμές σε κατοικίες μετά την μετακίνηση τον Ιανουάριο 2022. Πηγή: Τμ. Γεωλογικής Επισκόπησης



**Σχήμα 8&9:** Ζημιές σε κατοικίες τον Φεβρουάριο 2022. Πηγή: Τμ. Γεωλογικής Επισκόπησης





Να σημειωθεί πως λόγω αυτών των εξελίξεων που έχουμε περιγράψει πιο πάνω, με απόφαση του κράτους, στο πλαίσιο μια μελέτης που θα καταδείξει τί ακριβώς πρέπει να γίνει για να λυθεί το πρόβλημα, το 2022 ανορύχθηκαν νέες γεωτρήσεις στην περιοχή για να παρακολουθηθεί η μετακίνηση μέσω κλισιομέτρου. Η γεώτρηση PR2022/010 η οποία φαίνεται στο Σχήμα 5 ανορύχθηκε τον Αύγουστο του 2022 και τον Δεκέμβριο έσπασε στα 6μ. απόρροια της μετακίνησης, μη γνωρίζοντας και πάλι το βάθος στο οποίο βρίσκεται η επιφάνεια ολίσθησης.



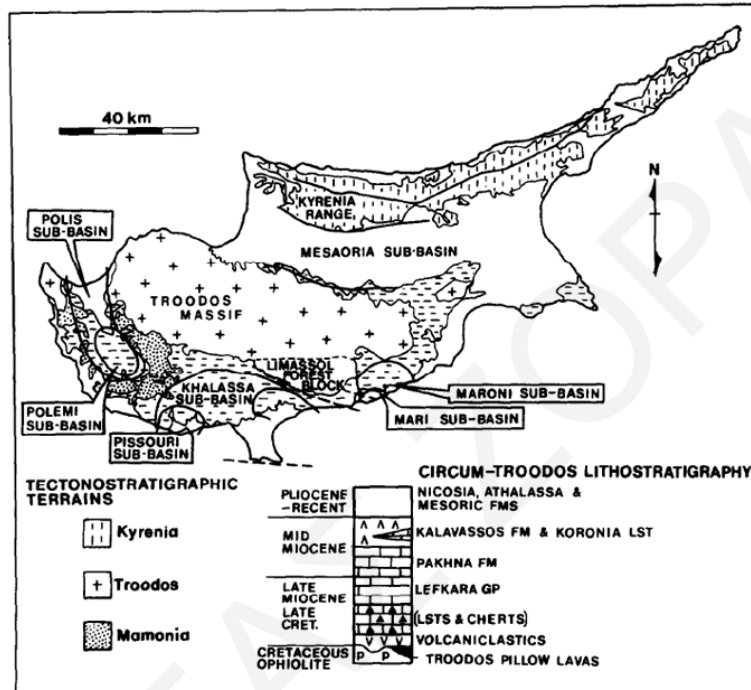
**Σχήμα 10&11:** Η μετακίνηση συνεχίζεται προκαλώντας μεγαλύτερες ζημιές, Ιανουάριος 2023. Πηγή: Τμ. Γεωλογικής Επισκόπησης

Όπως θα δούμε και στη συνέχεια, η γεωλογία της περιοχής μαρτυρά πως ο παραδοσιακός πυρήνας της κοινότητας είναι κτισμένος πάνω σε μια παλαιοκατολίσθηση. Σύμφωνα με την γεωλογική μελέτη του 2006 (Π. Μιχαηλίδης 2006) που έγινε με την εμπλοκή διαφόρων τμημάτων του Κυπριακού Δημοσίου, η ενεργοποίηση της κατολίσθησης αυτής δεν οφείλεται σε ένα και μόνο παράγοντα αλλά σε συνέργεια πολλών παραγόντων που επηρεάζουν τον ευρύτερο χώρο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

### 2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η υπολεκάνη του Πισσουρίου θεωρείται ιζηματογενής υπολεκάνη της Νεογενούς περιόδου (Hearn et al., 2018) και βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης της Άλασσας (Σχήμα 12). Τα όρια της λεκάνης του Πισσουρίου, με κέντρο το χωριό, εκτείνονται στα 23km από το ανατολικότερο τμήμα προς το δυτικότερο και στα 12km από το βορειότερο στο νοτιότερο τμήμα της (Stow et al., 1995).



Σχήμα 12: Χάρτης της Κύπρου που παρουσιάζει τις ιζηματογενείς λεκάνες του νησιού. Πηγή: (Stow et al., 1995).

Σύμφωνα με τους Stow et al. (1995) η λεκάνη του Πισσουρίου συνίσταται από: α) μάργες και μικρίτες του Μέσου Μειοκαίνου του σχηματισμού Πάχνας, β) εβαπορίτες του Ύστερου Μειοκαίνου του σχηματισμού Καλαβασού, γ) Πλειοκαινικές μάργες του σχηματισμού Λευκωσίας και δ) ασβετιτικούς ψαμμίτες του Ύστερου Πλειοκαίνου – Πρώιμου Πλειστόκαινου. Στο Σχήμα 13 αποτυπώνεται η λιθοστρωματογραφική στήλη που προέκυψε από την γεωλογική αποτύπωση των Stow et al. (1995).

Οι υψομετρικά ψηλότερες περιοχές του Πισσουρίου καλύπτονται από ασβεστιτικούς ψαμμίτες του Πλειστοκαίνου (Alexandris et al. 2017). Εντός των στρωμάτων αυτών συχνά απαντώνται κροκαλοπαγή και αργιλικά υλικά. Κάτω από τους ασβεστιτικούς ψαμμίτες απαντώνται οι βιοκλαστικοί ασβεσταρενίτες και οι μάργες του σχηματισμού της Λευκωσίας. Χαρακτηριστικό της περιοχής είναι πως εντός των μαργών

εντοπίζονται ενδιάμεσα αμμώδη στρώματα. Η ανώτερη ζώνη των μαργών αυτών είναι καστανή έως καστανέρυθροι, αποσαθρωμένη και έντονα διαταραγμένη.

Οι Stow et al. (1995) θεωρούν πως η ενότητα της μάργας έχει συνολικό πάχος 120μ και την διαχωρίζουν σε τρία μέρη. Το χαμηλότερο τμήμα πάχους περίπου 20μ με γκριζωπή - λευκή μάργα και μικριτικούς ασβεστόλιθους, το μεσαίο τμήμα πάχους 25μ -30μ και το ανώτερο πάχους 50μ – 80μ.

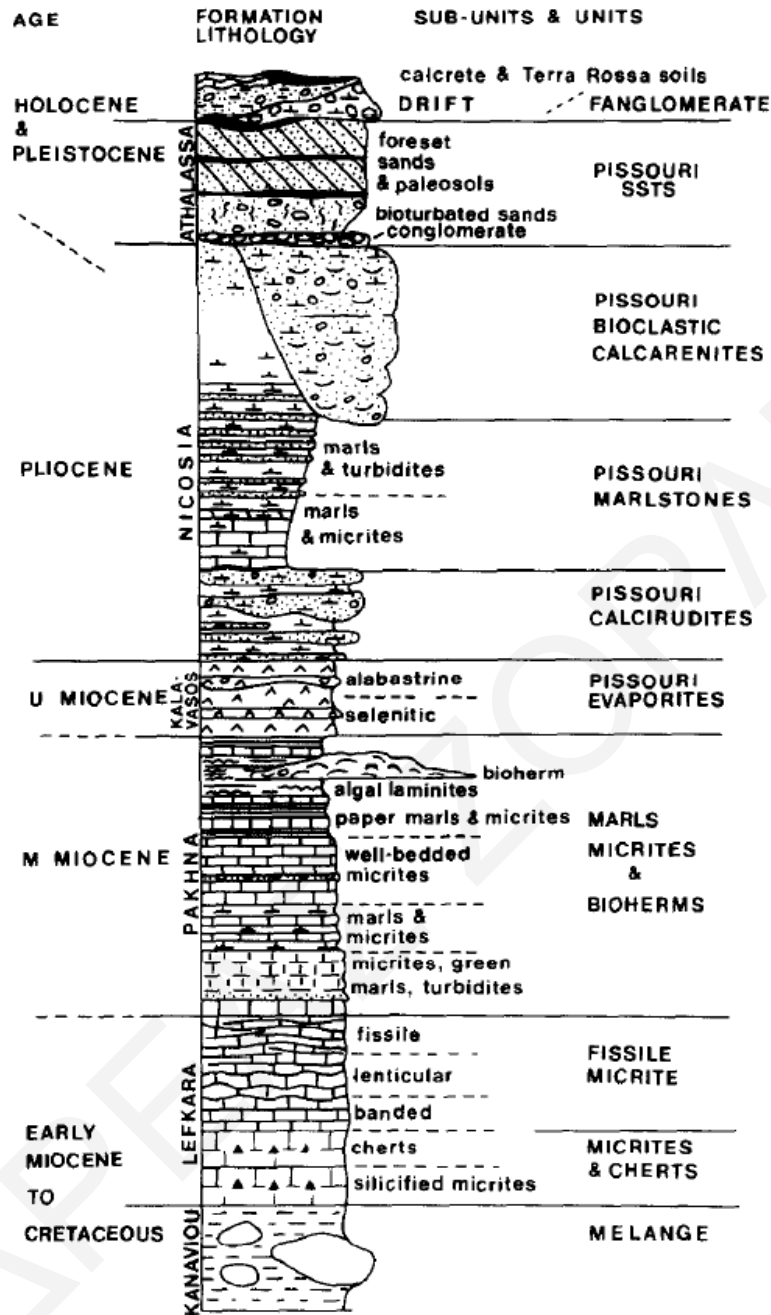
Του στρώματος της μάργας υπόκειται το στρώμα ασβεστορροδίτη με ακανόνιστο πάχος που φθάνει τα 25μ και κάτω από αυτό απαντώνται οι γύψοι του σχηματισμού Καλαβασού. Οι Stow et al. (1995) αναφέρουν πως οι γύψοι φθάνουν το πάχος των 40μ στο κεντρικό και νότιο τμήμα της λεκάνης Πισσουρίου.

Στην περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 14, στο υψομετρικά ψηλότερο σημείο του πυρήνα της κοινότητας Πισσουρίου εντοπίζονται οι ασβετικοί ψαμμίτες ενώ χαμηλότερα εντοπίζονται οι πλειστοκαινικές μάργες. Οι Μιχαηλίδης & Χ'Χαραλάμπους (2006) αναφέρουν πως από τις γεωτρήσεις που έχουν ανορυχθεί εντοπίστηκε ένας ορίζοντας κορημάτων και επιχωματώσεων κάτω από τον οποίο απαντώνται οι πλειστοκαινικές μάργες. Τα κορήματα αποτελούνται από αποσαθρωμένη μάργα και ψαμμίτη ενώ οι επιχωματώσεις από ανομοιογενή υλικά. Οι Μάργες του σχηματισμού Λευκωσίας διαχωρίζονται σε 2 ενότητες: α) τις Μάργες καστανοκίτρινου χρώματος, ελαφράς περιεκτικότητας σε άμμο, λεπτοστρωματώδεις και αποσαθρωμένες και β) τις Μάργες γκριζου χρώματος που είναι λεπτοστρωματώδεις, σκληρές, αμμώδεις ή και με συχνές εναλλαγές πολύ λεπτών στρώσεων σχετικά πυκνής άμμου.

Οι Alexandris et al. (2017) αναφέρουν πως επιφανειακά συναντάται εδαφικό κάλυμμα πάχους 5μ – 10μ το οποίο αποτελείται από χαλαρές, πιθανώς ανθρωπογενείς, αποθέσεις κορημάτων και φυτικής γης αλλά και μεγαλύτερα τεμάχια ψαμμιτών.

Όπως έχω αναφέρει και πιο πάνω, ολόκληρος ο παραδοσιακός πυρήνας είναι χτισμένος πάνω σε μια παλαιοκατολίσθηση. Την άποψη αυτή ενισχύουν όσα έχουν αναφερθεί στις προηγούμενες παραγράφους αλλά και οι μεγάλοι ογκόλιθοι ασβεστιτικού ψαμμίτη που έχουν εντοπιστεί δίπλα από τον δρόμο (οδός Ανεξαρτησίας).





Σχήμα 13: Λιθοστρωματογραφική στήλη της λεκάνης του Πισσουρίου.  
 Πηγή: (Stow et al.,1995)



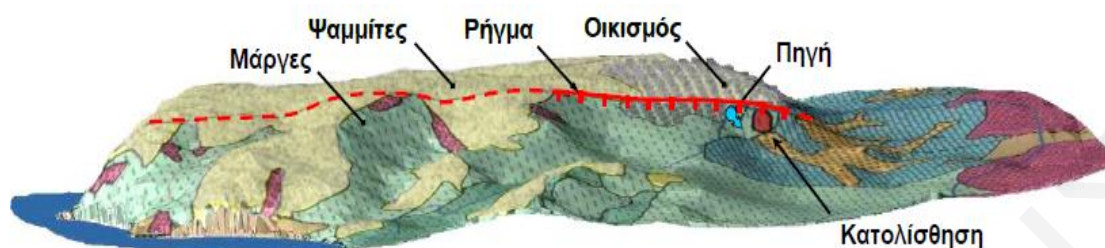
**Σχήμα 14:** Απεικόνιση των ορίων της παλαιοκατολίσθησης. Το πράσινο βέλος δείχνει το πρηνές στο οποίο υπάρχουν στρώσεις ψαμμίτη και το κίτρινο το σημείο που υπάρχουν κατολισθημένα τεμάχια ψαμμίτη.

## 2.2 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στο Πισσούρι υπάρχει ένας ρηχός υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας ο οποίος κυρίως τροφοδοτείται από τα όμβρια ύδατα, λύματα και τις διαρροές δικτύου ύδρευσης. Μέχρι σήμερα και παρόλες τις επαναλαμβανόμενες συστάσεις, δεν έχει κατασκευαστεί αποχετευτικό σύστημα με αποτέλεσμα τα λύματα να διοχετεύονται σε απορροφητικούς λάκκους.

Στον παραδοσιακό πυρήνα του Πισσουρίου, ο υδροφόρος αναπτύσσεται εντός της ψαμμιτικής στρώσης, ο οποίος είναι χαμηλής δυναμικότητας. Λόγω της διαπερατότητας του ψαμμίτη, τα υπόγεια ύδατα κινούνται από την κορυφή του λόφου, προς τα χαμηλότερα σημεία και αναβλύζουν από σημεία φυσικών πρηνών και στην επαφή ψαμμιτών – μαργών. Στο Σχήμα 15 των Alexandris et al. (2017) απεικονίζεται η γεωλογική και υδρογεωλογική δομή της περιοχής στην οποία φαίνεται και η πηγή που υπάρχει πλησίον της κατολίσθησης την οποία μελετάμε. Φαίνεται επίσης η παρουσία ενός κανονικού ρήγματος BBA – NNΔ διεύθυνσης, το οποίο διατρέχει την ανατολική παρεία του οικισμού και αποτελεί την επαφή ψαμμίτη και μάργας. Στο

ρήγμα αυτό οφείλεται και η απότομη τοπογραφία που παρουσιάζεται στην ανατολική κλιτύ και η εμφάνιση πηγών στα χαμηλότερα της σημεία.



**Σχήμα 15:** Γεωλογική και υδρογεωλογική δομή της περιοχής. Πηγή (Alexandris et al., 2017).

Αξίζει να σημειωθεί πως παλαιότερα υπήρχε εκμετάλλευση του υδροφορέα μέσω πηγαδιών. Από την κατασκευή του δικτύου ύδρευσης όμως, η εκμετάλλευση του υδροφόρου ορίζοντα περιορίστηκε, αυξήθηκε όμως η ποσότητα των υδάτων που καταλήγει στον υδροφόρο λόγω της αστικής χρήσης (Alexandris et al. 2017). Συνέπεια αυτών των γεγονότων ήταν να αυξηθεί η τροφοδοσία του υδροφορέα και της ποσότητας των υδάτων που υπερχειλίζουν στα πρανή της κατολίσθησης. Ο συνδυασμός αυτού με την αυξημένη βροχόπτωση τον Δεκέμβριο του 2001, ενεργοποίησαν την κατολίσθηση. Μέχρι σήμερα υπάρχουν πηγές επί της οδού Ανεξαρτησίας οι οποίες αναβλύζουν νερό.

Στο πλαίσιο της μελέτης που διενεργήθηκε από το κράτος (Μιχαηλίδης & Χ'Χαραλάμπους 2006), ανορύχθηκαν γεωτρήσεις στις οποίες εντοπίστηκε υπόγειο νερό σε δύο διαφορετικά βάθη. Συγκεκριμένα σε 2 γεωτρήσεις εντοπίστηκε στα 9.10μ και στην άλλη στα 10.15μ. Το καλοκαίρι του 2022 ανορύχθηκαν νέες γεωτρήσεις στον παραδοσιακό οικισμό του Πισσουρίου στο πλαίσιο νέας μελέτης που ξεκίνησε μετά τις μεγάλες μετακινήσεις που έγιναν τον Ιανουάριο του 2022. Στη γεώτρηση PR2022/013 που φαίνεται στο Σχήμα 5 εντοπίστηκε υπόγειο νερό στα 3μ.



### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

Στο παρόν κεφάλαιο θα επεξηγηθεί αναλυτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για να αναλυθεί τελικά η κατολίσθηση στο συγκεκριμένο πρόγραμμα.

Αρχικά να διευκρινίσουμε πως από τον Ιανουάριο του 2022, υπάρχει μια έντονη μετακίνηση στην κατολίσθηση που ενεργοποιήθηκε το 2001 όπως περιεγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Οπότε σε συνεννόηση με τον κο. Λουκίδη συναποφασίστηκε όπως μελετήσουμε και αναλύσουμε αυτή τη νέα μετακίνηση. Για τον σκοπό αυτό, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 16 χαρακτηρίστηκε η συγκεκριμένη τομή. Οι λόγοι που μας ώθησαν σε αυτό είναι αρχικά διότι οι μετακινήσεις φαίνονται τον τελευταίο χρόνο να ξεκινούν από το σημείο περίπου που ξεκινά η τομή και η κατεύθυνση της μετακίνησης είναι νοτιοανατολικά προς το παρακείμενο αργάκι επί της οδού Ανεξαρτησίας. Τα σπίτια τα οποία βρίσκονται στην επί της οδού Ανεξαρτησίας αλλά και αυτά σε λίγο ψηλότερο υψόμετρο παρουσιάζουν εκτεταμένες ζημιές οι οποίες με την πάροδο του χρόνου μεγαλώνουν, γεγονός που αποδεικνύει πως η μετακίνηση δεν έχει σταματήσει.

Στη συνέχεια έγινε κατάστρωση της γεωλογικής τομής μέσα από γεωλογικούς χάρτες του Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης, από δεδομένα ανορυγμένων γεωτρήσεων αλλά και μέσα από τη βιβλιογραφία όπως περιεγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Από δεδομένα του ΤΓΕ επίσης έγινε εκτίμηση για το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα. Τέλος, μέσα από τη βιβλιογραφία, έγινε εκτίμηση των παραμέτρων αντοχής και πιο συγκεκριμένα στις τιμές συνοχής και γωνίας τριβής των υλικών του υπεδάφους της περιοχής μελέτης.

#### **3.1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ**

Αναφορικά με τη γεωλογία της περιοχής μελέτης της παρούσας εργασίας, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 14, στο υψομετρικά ψηλότερο σημείο του πυρήνα της κοινότητας Πισσουρίου εντοπίζονται οι ασβετικοί ψαμμίτες ενώ χαμηλότερα εντοπίζονται οι πλειστοκαινικές μάργες. Οι Μιχαηλίδης & Χ'Χαραλάμπους (2006) αναφέρουν πως από τις γεωτρήσεις που έχουν ανορυχθεί εντοπίστηκε ένας ορίζοντας κορημάτων και επιχωματώσεων κάτω από τον οποίο απαντώνται οι πλειστοκαινικές μάργες. Τα κορήματα αποτελούνται από αποσαθρωμένη μάργα και ψαμμίτη ενώ οι επιχωματώσεις από ανομοιογενή υλικά. Οι Μάργες του σχηματισμού Λευκωσίας διαχωρίζονται σε 2 ενότητες: α) τις Μάργες καστανοκίτρινου χρώματος, ελαφράς περιεκτικότητας σε άμμο, λεπτοστρωματώδεις και αποσαθρωμένες και β) τις Μάργες

γκρίζου χρώματος που είναι λεπτοστρωματώδεις, σκληρές, αμμώδεις ή και με συχνές εναλλαγές πολύ λεπτών στρώσεων σχετικά πυκνής άμμου.

Αυτά λέγοντας, όσον αφορά την τομή που έχουμε δημιουργήσει, θεωρούμε πως το πρώτο στρώμα (Στρώμα 1) αποτελείται από κορήματα αλλά και αποσαθρωμένη αμμώδη μάργα το πάχος του οποίου σε ορισμένα σημεία φθάνει τα 10μ. Κάτω από το στρώμα αυτό απαντάται ένα στρώμα (Στρώμα 2) πάχους 20-25μ μαργών ελαφράς περιεκτικότητας σε άμμο και αποσαθρωμένες ενώ το τρίτο στρώμα (Στρώμα 3) αποτελείται από σκληρή αμμώδη μάργα.

Ο υδροφόρος ορίζοντας όπως έχει ήδη αναφερθεί, στις γεωτρήσεις που ανορύχθηκαν από το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης, είχε εντοπιστεί στα 9 – 10 μέτρα. Σε νέα γεώτρηση όμως που ανορύχθηκε το 2022, εντοπίστηκε νερό στα 3μ. Στην ανάλυση της κατολίσθησης έχουμε τρέξει 3 σενάρια, ένα χωρίς υδροφόρο, ένα με τον υδροφόρο στα 3μ και ένα στα 5μ για να δούμε πως επηρεάζεται η μετακίνηση από την παρουσία νερού.

### **3.2. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΝΤΟΧΗΣ ΓΕΩΥΛΙΚΩΝ**

Για τον σκοπό της ανάλυσης μας, θέσαμε το ειδικό βάρος όλων των στρωμάτων  $\gamma=19(\text{kN/m}^3)$ . Πέραν από αυτό, για το στρώμα της σκληρής μάργας που εντοπίζεται σε βάθος μεγαλύτερο των 20μ (Στρώμα 3), όπως αναφέρει και ο Κάρλας (2021), ορίσαμε συνοχή  $c=40(\text{kPa})$  και γωνία τριβής  $\varphi=27^\circ$ . Οι Alexandris et. al (2017) αναφέρουν για το στρωματογραφικά 2<sup>ο</sup> στρώμα, πως δείγματα από αυτό χαρακτηρίζονται ως άργιλοι – ιλύες υψηλής πλαστικότητας CH – MH και πως οι παράμετροι αντοχής τους είναι ίσες με  $c=35 (\text{kPa})$  και  $\varphi=21^\circ$ .

Οπότε ένα από τα σενάρια που τρέξαμε είχε τις πιο πάνω παραμέτρους σταθερές και αυτές του επιφανειακού στρώματος (Στρώμα 1) ήταν κυμαινόμενες. Στα υπόλοιπα σενάρια, κρατήσαμε σταθερές μόνο τις παραμέτρους του βαθύτερα στρωματογραφικά στρώματος. Στα σενάρια αυτά η συνοχή για το πρώτο στρώμα κορημάτων – μάργας κυμαίνεται από 10-30(kPa) και γωνία τριβής 3-30<sup>ο</sup> ενώ για το δεύτερο στρώμα 10-30(kPa) και 15-21<sup>ο</sup> αντίστοιχα.



**Σχήμα 16:** Τομή η οποία αναλύθηκε στο πρόγραμμα Slide

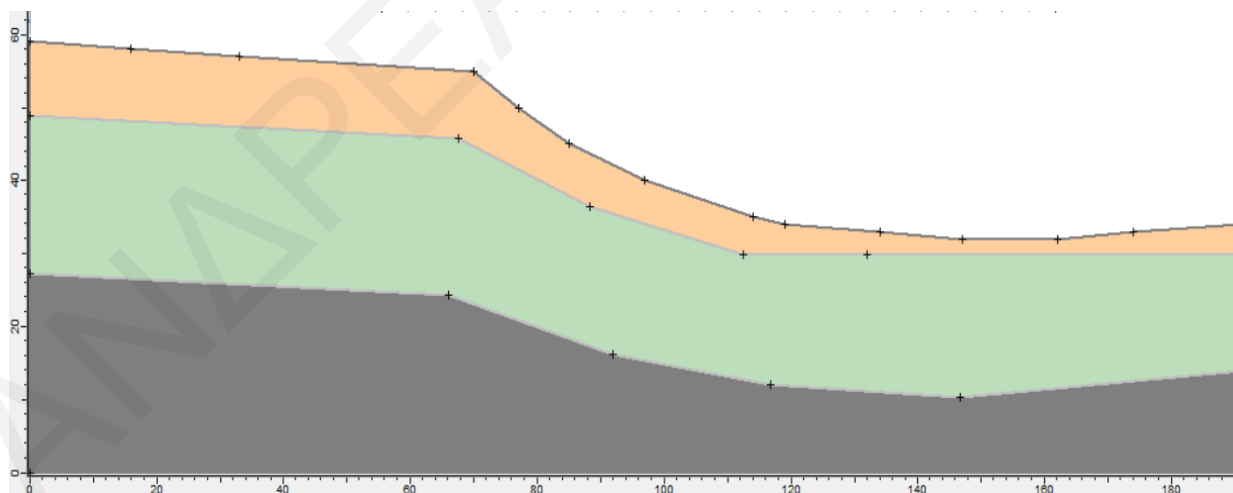


| Υλικό                               | Ειδικό βάρος $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | Συνοχή c (kPa) | Γωνία τριβής $\phi$ (°) |
|-------------------------------------|--|----------------|-------------------------|
| Κορήματα – Αμμώδης Μάργα (Στρώμα 1) | 19   | 10-30          | 3-30                    |
| Μάργα – Αποσαθρωμένη (Στρώμα 2)     | 19   | 10-30          | 15-21                   |
| Σκληρή Μάργα (Στρώμα 3)             | 19   | 40             | 27                      |

Πίνακας 1: Παράμετροι αντοχής

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ SLIDE

Το λογισμικό Slide όταν αναλύει μία κατολίσθηση, στη βάση των δεδομένων που έχουμε εισάγει, ουσιαστικά υπολογίζει τον δείκτη ασφαλείας (FOS) και εντοπίζει την περιοχή και το βάθος της αστοχίας. Να σημειώσουμε πως όταν ο  $FOS < 1$  τότε υπάρχει αστοχία. Για τον σκοπό της ανάλυσης της κατολίσθησης στο λογισμικό Slide, αρχικά δημιουργήθηκε η τομή μέσα στο πρόγραμμα. Αφού καθορίστηκαν τα γεωμετρικά της στοιχεία, έγινε εισαγωγή στο πρόγραμμα διαφόρων σημείων (x,y) και τελικά εξήχθη η τομή όπως φαίνεται στο Σχήμα 17

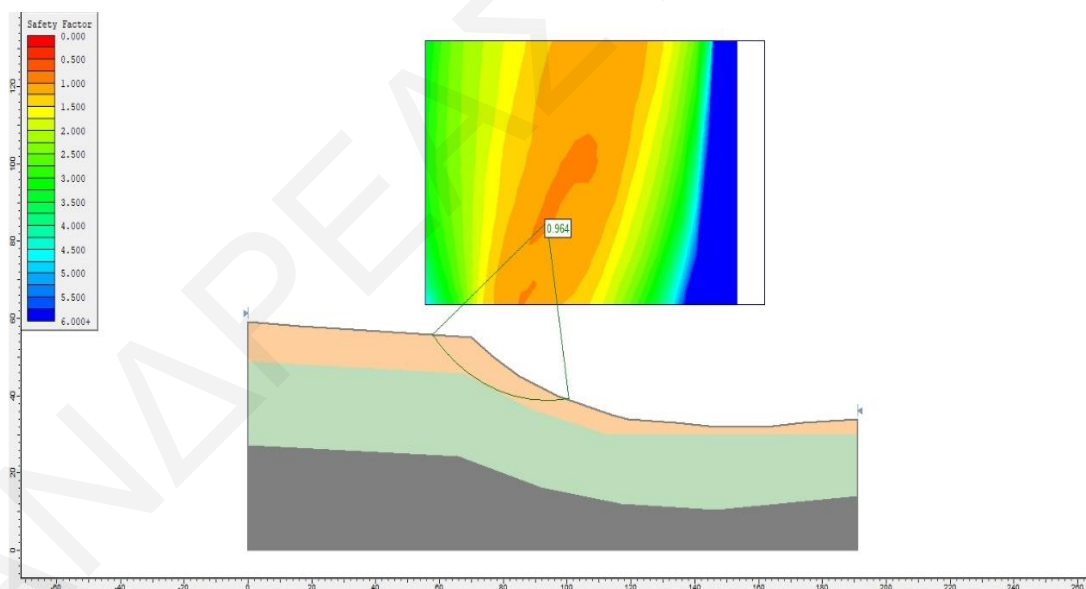


Σχήμα 17: Η τομή στο πρόγραμμα Slide

Όπως φαίνεται και στο πιο πάνω σχήμα, έχουμε οριοθετήσει το στρώμα των Κορημάτων – Αμμώδους μάργας στα 10μ βάθος. Κάτω από αυτό υπάρχει το στρώμα της αποσαθρωμένης μάργας με λίγη άμμο το οποίο έχει πάχος 20μ και πιο βαθιά το στρώμα σκληρής μάργας.

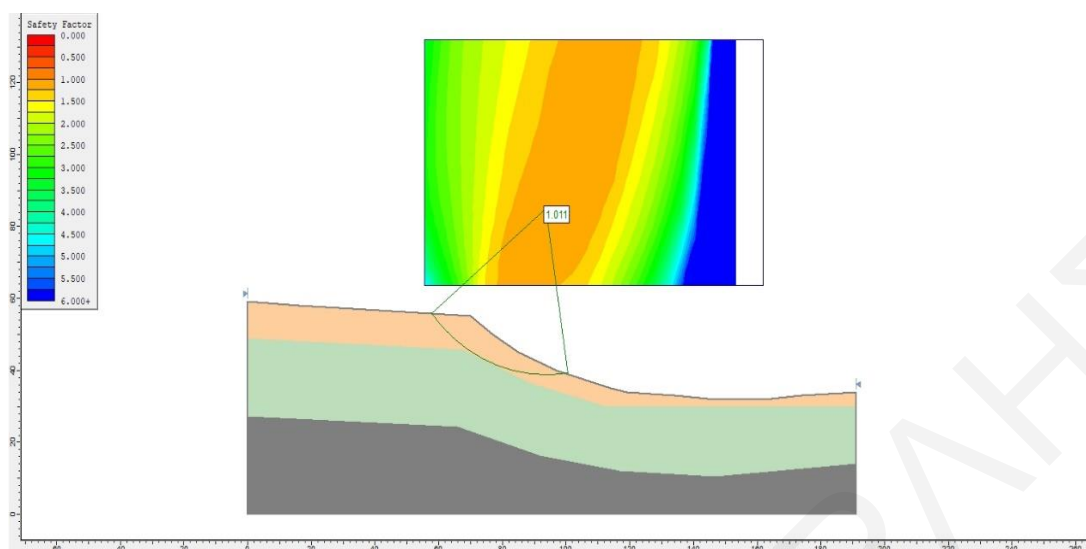
Στη συνέχεια για να ξεκινήσουμε τις αναλύσεις στο πρόγραμμα έπρεπε να ορίσουμε τις παραμέτρους αντοχής του κάθε στρώματος. Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι μόνες σταθεροί παράμετροι είναι αυτές του στρώματος της σκληρής μάργας που απεικονίζεται με γκριζο χρώμα. Για το στρώμα αυτό ορίσαμε συνοχή  $c=40(\text{kPa})$  και γωνία τριβής  $\varphi=27^\circ$ . Για τα άλλα 2 στρώματα έχουμε τρέξει διάφορα σενάρια τα οποία φαίνονται αναλυτικά στο παράρτημα.

Στο πρώτο σενάριο που επιλέξαμε, θεωρήσαμε πως απουσιάζει εντελώς ο υδροφόρος ορίζοντας και οι παράμετροι είναι όπως φαίνονται στον πίνακα 4 του παραρτήματος. Σε ένα τέτοιο σενάριο, για να υπάρξει αστοχία και συνεπώς μετακίνηση της μάζας, θα πρέπει οι παράμετροι των στρωμάτων να έχουν πάρα πολύ χαμηλές τιμές. Δηλαδή αν η συνοχή του Στρώματος 1 να είναι  $10(\text{kPa})$  τότε η γωνία τριβής πρέπει να είναι  $<16^\circ$ . Κάτι τέτοιο θα πρέπει να αποκλειστεί αφού πρωτίστως γνωρίζουμε πως υπάρχει υπόγειο νερό και κατά δεύτερο αν τα υλικά είχαν τόσο χαμηλές παραμέτρους αντοχής θα είχαν αστοχήσει πολλά χρόνια πριν και όχι το 2001. Στην περίπτωση δε που η συνοχή του Στρώματος 1 είναι  $20(\text{kPa})$  τότε η γωνία τριβής πρέπει να είναι  $<10^\circ$  κ.ο.κ.



**Σχήμα 17:** Αποτέλεσμα Ανάλυσης 1

Στο Σχήμα 17 βλέπουμε πως ο δείκτης ασφαλείας (FOS) είναι κάτω από 1 και συγκεκριμένα 0,964 συνεπώς υπάρχει αστοχία. Για να προκύψει αυτό, ορίσαμε τη συνοχή του υπερκείμενου στρώματος  $10(\text{kPa})$  και τη γωνία τριβής  $15^\circ$ .



**Σχήμα 18:** Αποτέλεσμα Ανάλυσης 2

Στο Σχήμα 18 μπορούμε να δούμε πως αφού έχουμε ορίσει τη γωνία τριβής μόλις  $1^\circ$  μεγαλύτερη από το προηγούμενο σενάριο, δηλαδή  $\phi=16^\circ$ , ο FOS είναι μεγαλύτερος του 1, συγκεκριμένα 1,011 και συνεπώς δεν προκύπτει οποιαδήποτε αστοχία.

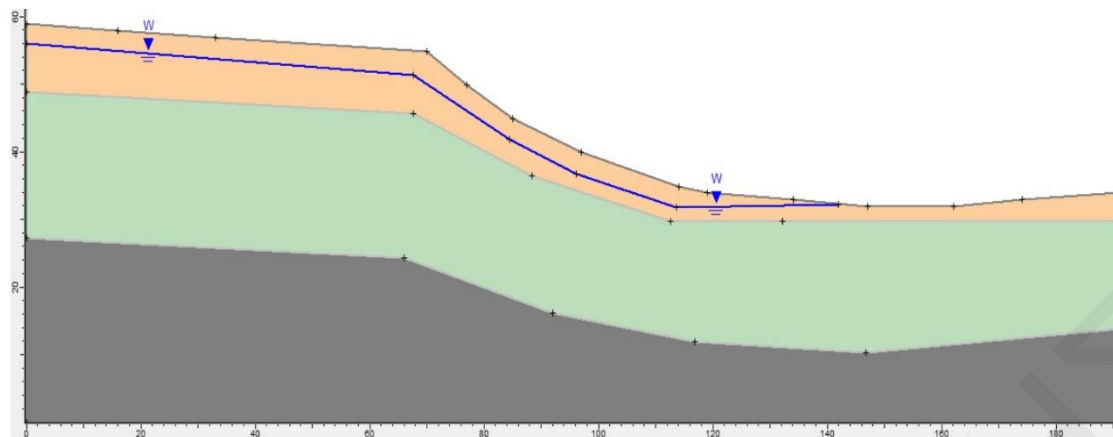
Στην περίπτωση που τα Στρώματα 2 και 3 έχουν παραμέτρους αντοχής αυτές που αναφέρονται στην βιβλιογραφία, τότε και πάλι για να υπάρξει αστοχία πρέπει οι παράμετροι αντοχής του Στρώματος 1 όπως αυτές του πιο κάτω πίνακα.

| Στρώμα 1 |              | Στρώμα 2 |              | Στρώμα 3 |              | Water table(m) | FOS   |
|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------------|-------|
| c(kPa)   | $\phi^\circ$ | c(kPa)   | $\phi^\circ$ | c(kPa)   | $\phi^\circ$ |                |       |
| 10       | 15           | 35       | 21           | 40       | 27           | 0              | 0.963 |
| 20       | 9            | 35       | 21           | 40       | 27           | 0              | 0,966 |
| 30       | 3            | 35       | 21           | 40       | 27           | 0              | 0.977 |

**Πίνακας 2:** Παράμετροι αντοχής και αποτελέσματα

Στο  $2^\circ$  σενάριο έγινε εισαγωγή του υδροφόρου ορίζοντα στα 3μ περίπου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 19 και ακολούθως ξεκίνησαν οι αναλύσεις με διάφορες τιμές για τις παραμέτρους αντοχής.



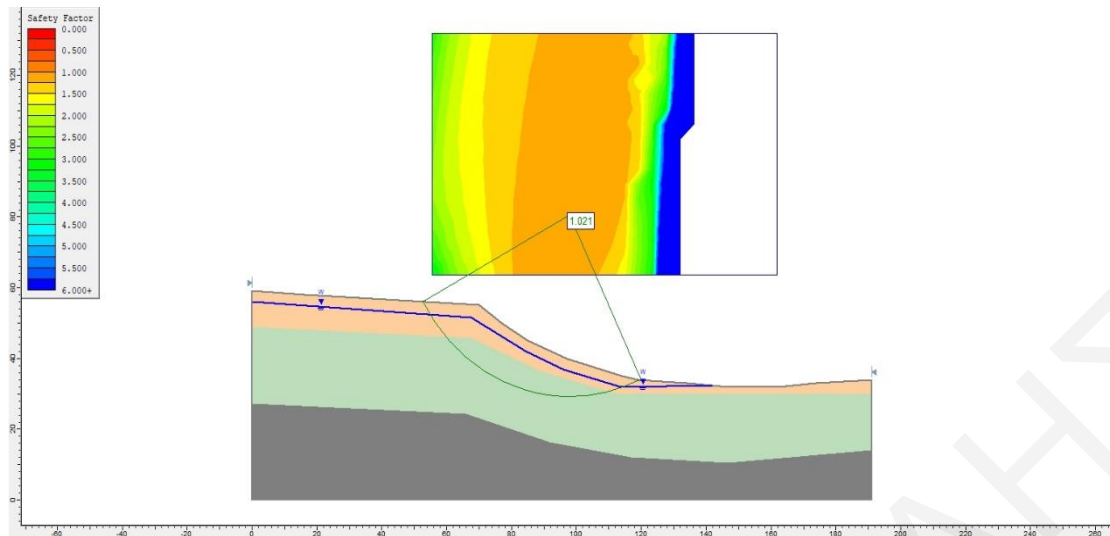


**Σχήμα 19:** Τομή με υδροφόρο ορίζοντα στα 3μ

Η συνοχή του Στρώματος 3 ορίστηκε ως  $c=40(\text{kPa})$  και η γωνία τριβής  $\varphi=27^\circ$ . Για το στρώμα της αποσαθρωμένης μάργας (Στρώμα 2), ορίσαμε  $c=35(\text{kPa})$  και  $\varphi=21^\circ$ . Για να υπάρξει αστοχία θα πρέπει οι παράμετροι αντοχής του Στρώματος 1 να είναι  $c=10(\text{kPa})$  και  $\varphi=20^\circ$  ή  $c=20(\text{kPa})$  και  $\varphi=12^\circ$  ή  $c=30(\text{kPa})$  και  $\varphi=4^\circ$ . Αντίστοιχα οι τιμές του FOS θα είναι 0.977, 0.968 και 0.976.

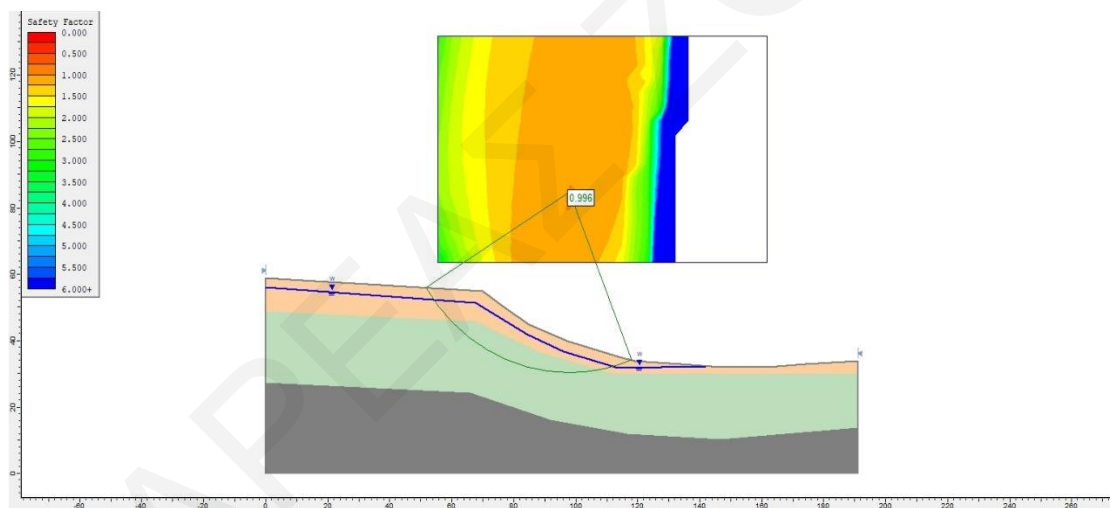
Συγκριτικά με το σενάριο στο οποίο δεν υπάρχει υδροφόρος παρατηρούμε πως για να είναι ο δείκτης ασφάλειας  $<1$  πρέπει η γωνία τριβής του Στρώματος 1 να είναι μεγαλύτερη από όση είναι στο σενάριο που δεν υπάρχει υπόγειο νερό.

Στη συνέχεια η συνοχή του Στρώματος 3 ορίστηκε ως  $c=40(\text{kPa})$  και η γωνία τριβής  $\varphi=27^\circ$ . Για το στρώμα της αποσαθρωμένης μάργας (Στρώμα 2), ορίσαμε  $c=10(\text{kPa})$  και  $\varphi=21^\circ$ . Στις 4 αναλύσεις που έγιναν αυτά τα δεδομένα κρατήθηκαν σταθερά. Σταθερή επίσης ήταν και η τιμή της συνοχής για το επιφανειακό στρώμα  $c=10(\text{kPa})$  και μεταβάλαμε της τιμή της γωνίας τριβής από  $26-30^\circ$  όπως φαίνεται και στον Πίνακα 1 του παραρτήματος. Στο Σχήμα 20 φαίνεται πως για τιμή  $\varphi=30^\circ$  του επιφανειακού στρώματος τότε ο  $\text{FOS}=1,021$ .



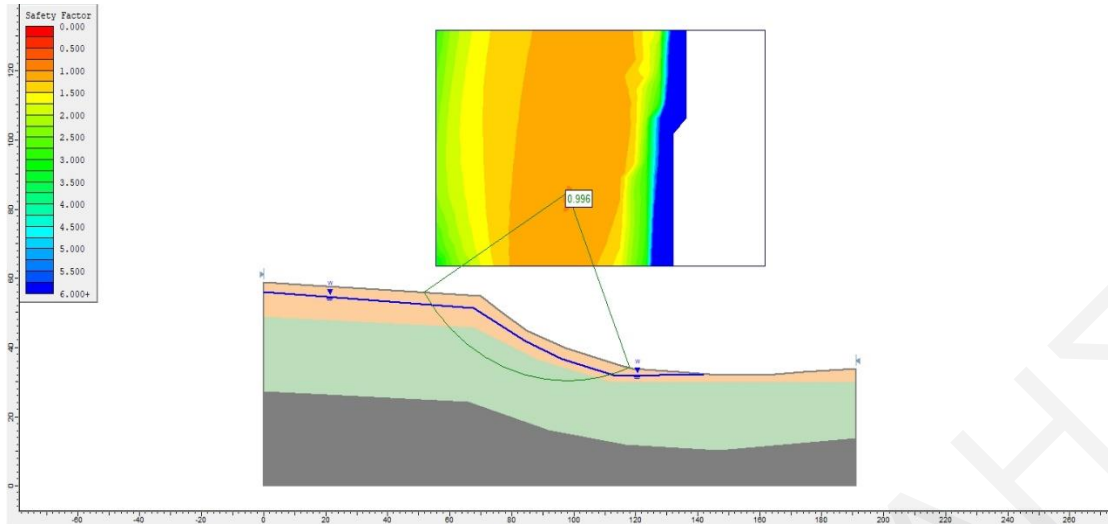
**Σχήμα 20:** Αποτέλεσμα Ανάλυσης 3

Όσο μειώνουμε την γωνία τριβής, μειώνεται και ο συντελεστής ασφαλείας, μέχρι που όταν  $\varphi=26^\circ$  τότε ο δείκτης ασφαλείας είναι μικρότερος από το 1, συγκεκριμένα 0,996, οπότε και θα προκύψει αστοχία (Σχήμα 21).



**Σχήμα 21:** Αποτέλεσμα Ανάλυσης 4

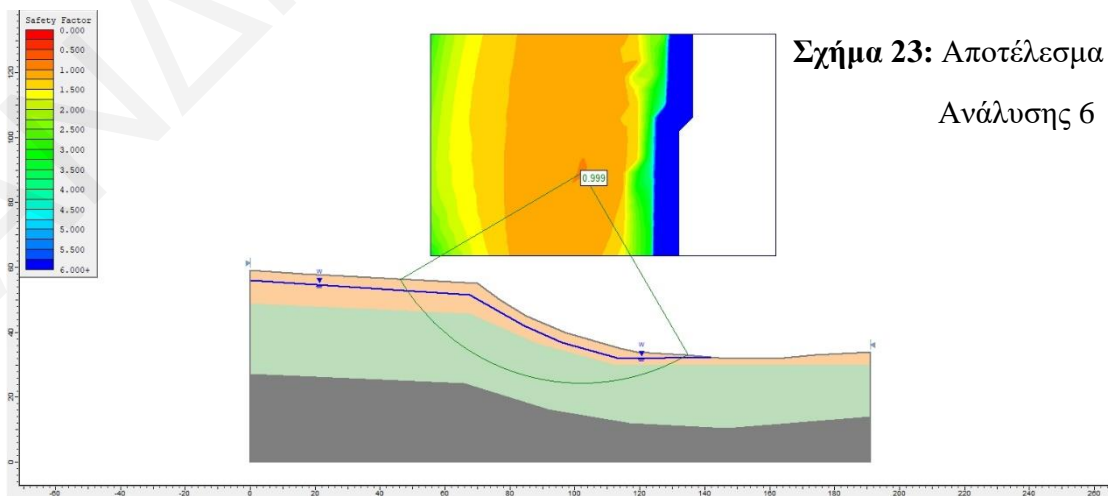
Στις επόμενες αναλύσεις, οι παράμετροι του Στρώματος 2 και 3 παρέμειναν οι ίδιες ενώ για το Στρώμα 1 ορίσαμε  $c=20(\text{kPa})$  και μεταβάλαμε της τιμή της γωνίας τριβής από  $11-25^\circ$  (Πίνακας 2 του Παραρτήματος). Για γωνία τριβής  $25^\circ$  ο  $\text{FOS}=1.109$  και μειώνεται όσο μειώνεται η γωνία τριβής. Τελικά για  $\varphi=16^\circ$  υπάρχει αστοχία ( $\text{FOS}=0.995$ ).



**Σχήμα 22:** Αποτέλεσμα Ανάλυσης 5

Ακολουθώντας επεξεργαστήκαμε 3 υποσενάρια. Οι παράμετροι του Στρώματος 3 παρέμειναν οι ίδιες όπως προηγουμένως, για το Στρώμα 1 πρώτα ορίσαμε  $c=10(\text{kPa})$  και  $\varphi=30^\circ$ ,  $c=20(\text{kPa})$  και  $\varphi=30^\circ$  και  $c=30(\text{kPa})$  και  $\varphi=30^\circ$ . Για το Στρώμα 2 ορίσαμε σταθερή τιμή  $c=10(\text{kPa})$  και μεταβαλλόμενη τιμή για τη γωνία τριβής  $15-21^\circ$ . Τα αποτελέσματα έδειξαν πως για να υπάρξει αστοχία όταν το Στρώμα 1 έχει  $c=10(\text{kPa})$  και  $\varphi=30^\circ$ , το Στρώμα 2 πρέπει να έχει  $c=10(\text{kPa})$  και  $\varphi=20^\circ$ , όταν το Στρώμα 1 έχει  $c=20(\text{kPa})$  και  $\varphi=30^\circ$  το Στρώμα 2 πρέπει να έχει  $\varphi=19^\circ$  και όταν το Στρώμα 1 έχει  $c=30(\text{kPa})$  και  $\varphi=30^\circ$  το Στρώμα 2 πρέπει να έχει  $\varphi=18^\circ$ . Οι δείκτες ασφαλείας έχουν τιμές 0.986, 0.998 και 0.986 αντίστοιχα.

Έχουμε πραγματοποιήσει σημαντικό αριθμό αναλύσεων για διάφορες τιμές παραμέτρων αντοχής οι οποίες φαίνονται στο παράρτημα και έχουμε εντοπίσει για ποιες τιμές ο δείκτης ασφαλείας είναι μικρότερος του 1.



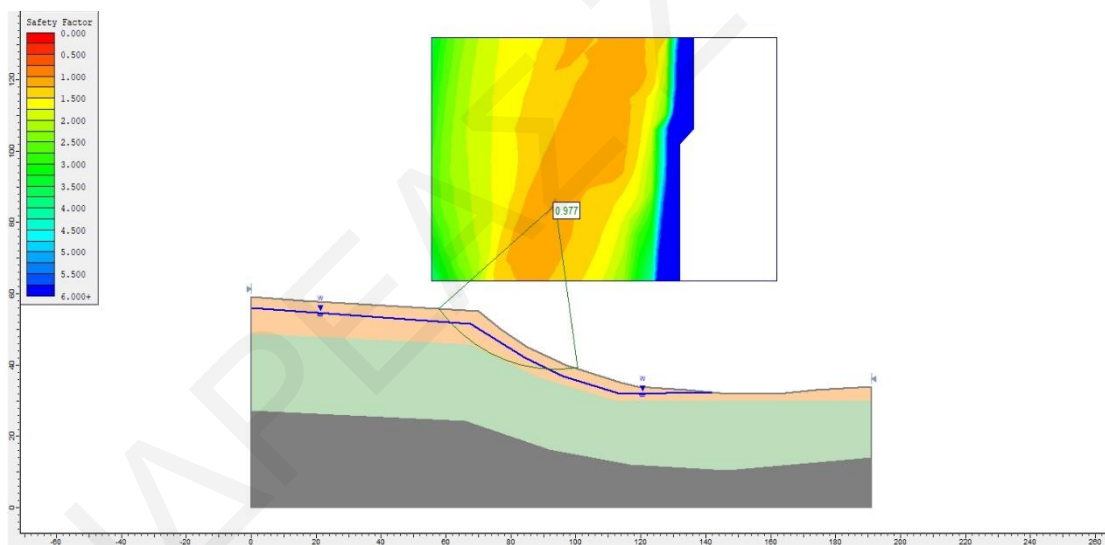
**Σχήμα 23:** Αποτέλεσμα Ανάλυσης 6



| Στρώμα 1 |              | Στρώμα 2 |              | Στρώμα 3 |              | Water table(m) | FOS   |
|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------------|-------|
| c(kPa)   | $\phi^\circ$ | c(kPa)   | $\phi^\circ$ | c(kPa)   | $\phi^\circ$ |                |       |
| 10       | 20           | 35       | 21           | 40       | 27           | 3              | 0.977 |
| 20       | 12           | 35       | 21           | 40       | 27           | 3              | 0.968 |
| 30       | 4            | 35       | 21           | 40       | 27           | 3              | 0.976 |

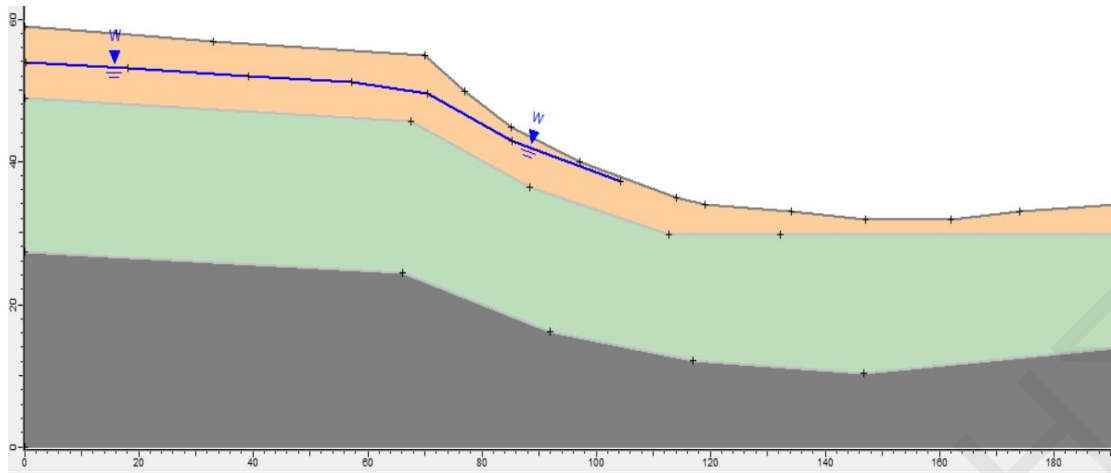
**Πίνακας 3:** Παράμετροι αντοχής και αποτελέσματα

Με τον υδροφόρο ορίζοντα στα 3μ και εφαρμόζοντας τις βιβλιογραφικές παραμέτρους αντοχής για τα Στρώματα 2 και 3 οι αναλύσεις μας έδειξαν 3 περιπτώσεις αστοχίας στις οποίες ο δείκτης ασφαλείας έχει τιμές 0.968, 0.973 και 0.991. Όπως φαίνεται και στον πίνακα 3 για να προκύψει η αστοχία υπάρχει διαφοροποίηση στις τιμές τις γωνίας τριβής εν συγκρίσει με το σενάριο που δεν υπάρχει υπόγειο νερό.



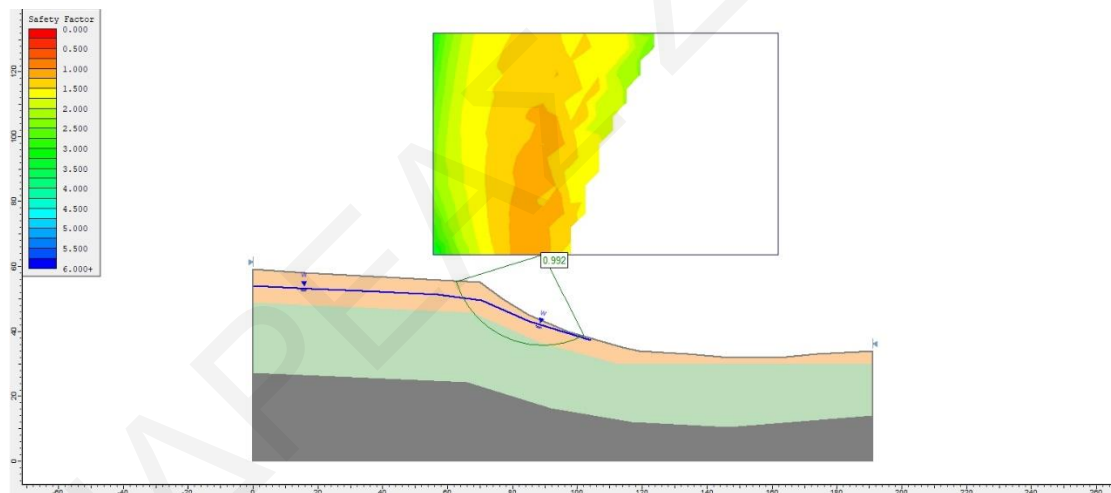
**Σχήμα 24:** Αποτέλεσμα Ανάλυσης 7

Στο 3<sup>ο</sup> σενάριο, υποθέσαμε πως υπάρχει ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα περίπου στα 5μ, δηλαδή 2 μέτρα βαθύτερα. Ο λόγος που επιλέχθηκε το βάθος αυτό είναι διότι μια ταπείνωση του υδροφόρου κατά 2μ θα ήταν εφικτή. Η νέα τομή φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



**Σχήμα 25:** Τομή με υδροφόρο ορίζοντα στα 5μ

Σε όλες τις αναλύσεις που έγιναν με τον υδροφόρο στα 5μ, οι παράμετροι του Στρώματος 3 παρέμειναν σταθερές, συνοχή  $c=40(\text{kPa})$  και γωνία τριβής  $\phi=27^\circ$ . Αρχικά για το Στρώμα 2 θέσαμε συνοχή  $c=10(\text{kPa})$  και γωνία τριβής  $\phi=21^\circ$ . Για να υπάρξει αστοχία θα έπρεπε το Στρώμα 1 να έχει συνοχή  $c=10(\text{kPa})$  και γωνία τριβής  $\phi=29^\circ$  με αποτέλεσμα ο  $\text{FOS}=0.992$ . Η περίπτωση αυτή αποτυπώνεται στο Σχήμα 26.



**Σχήμα 26:** Αποτέλεσμα Ανάλυσης 8

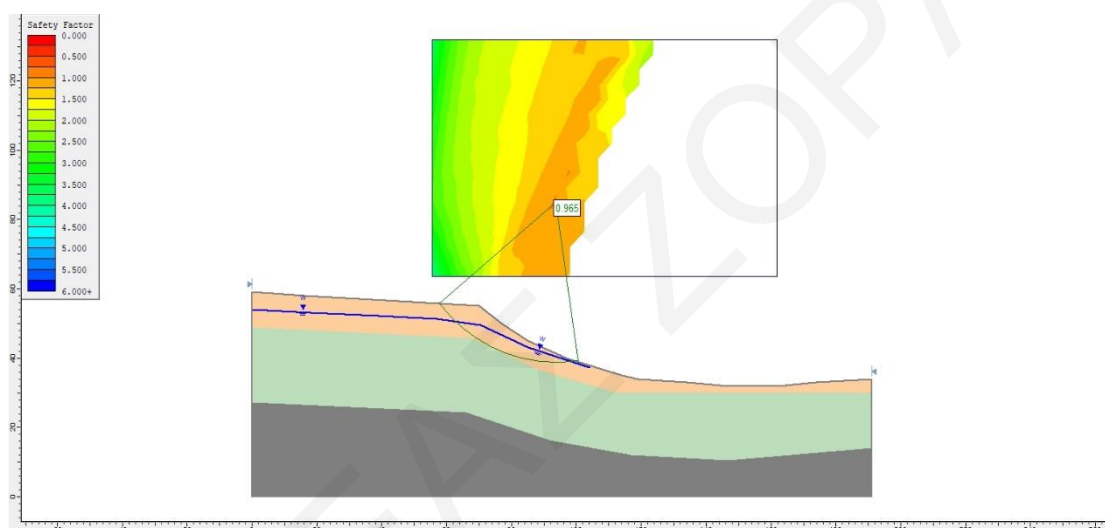
Διατηρώντας τις ίδιες παραμέτρους για τα Στρώματα 2 και 3 αλλά αυξάνοντας τη συνοχή του Στρώματος 1 σε  $20(\text{kPa})$  παρατηρούμε πως για να υπάρξει αστοχία θα πρέπει η γωνία τριβής να μειωθεί σε  $18^\circ$ . Στον πίνακα 5 του παραρτήματος υπάρχουν οι αναλύσεις που έγιναν για διάφορες παραμέτρους αντοχής και παρατηρούμε πως ο δείκτης ασφαλείας είναι μικρότερος από το 1 σε διάφορες περιπτώσεις.

Στην περίπτωση που οι παράμετροι αντοχής των Στρωμάτων 2 και 3 είναι όπως έχουν παρουσιαστεί μέσα από την βιβλιογραφία, δηλαδή για το Στρώμα 3 συνοχή  $c=40(\text{kPa})$  και γωνία τριβής  $\phi=27^\circ$  και για το Στρώμα 2  $c=35(\text{kPa})$  και γωνία τριβής  $\phi=21^\circ$ ,

υπάρχει αστοχία όπως αυτή παρουσιάζεται στον πιο κάτω πίνακα.

| Στρώμα 1 |              | Στρώμα 2 |              | Στρώμα 3 |              | Water table(m) | FOS   |
|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------------|-------|
| c(kPa)   | $\phi^\circ$ | c(kPa)   | $\phi^\circ$ | c(kPa)   | $\phi^\circ$ |                |       |
| 10       | 21           | 35       | 21           | 40       | 27           | 5              | 0.965 |
| 20       | 13           | 35       | 21           | 40       | 27           | 5              | 0.966 |
| 30       | 3            | 35       | 21           | 40       | 27           | 5              | 0.977 |

**Πίνακας 3:** Παράμετροι αντοχής και αποτελέσματα



**Σχήμα 27:** Αποτέλεσμα Ανάλυσης 9

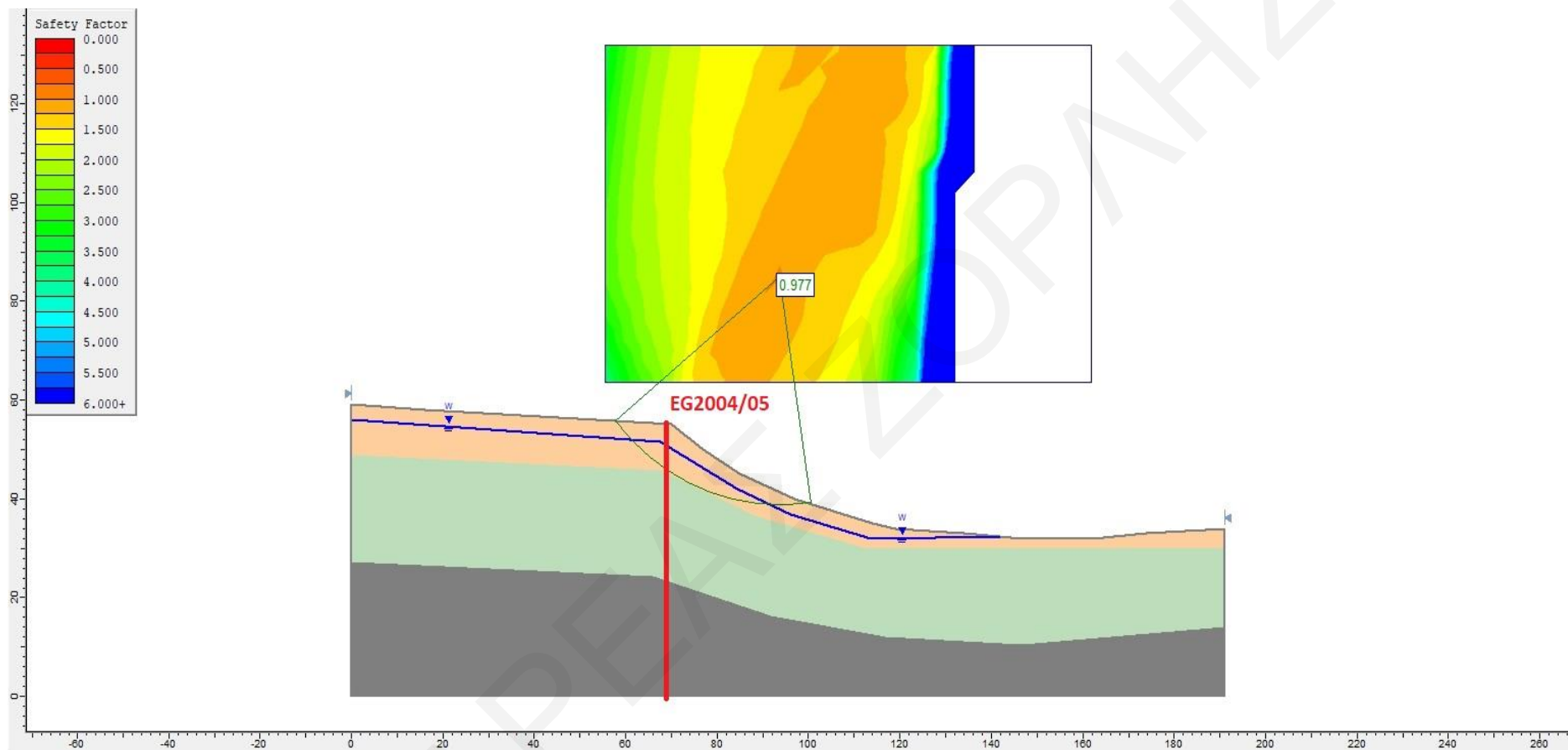
Ουσιαστικά και συγκριτικά με το σενάριο στο οποίο ο υδροφόρος βρίσκεται στα 3 μέτρα βάθος, παρατηρούμε μια πολύ μικρή διαφοροποίηση.

Φαίνεται πως η μερική ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα κατά 2 μέτρα, δεν θα βελτιώσει κατά πολύ την κατάσταση. Γι' αυτό το λόγο επεξεργαστήκαμε και το σενάριο ο υδροφόρος ορίζοντας να ταπεινωθεί στα 10μ βάθος, στο όριο ουσιαστικά των Στρωμάτων 1 και 2. Όπως μπορείτε να δείτε στον πίνακα 8 του παραρτήματος οι τιμές για τις οποίες υπάρχει αστοχία είναι ακριβώς οι ίδιες με αυτές του σεναρίου στο οποίο δεν υπάρχει υπόγειο νερό.

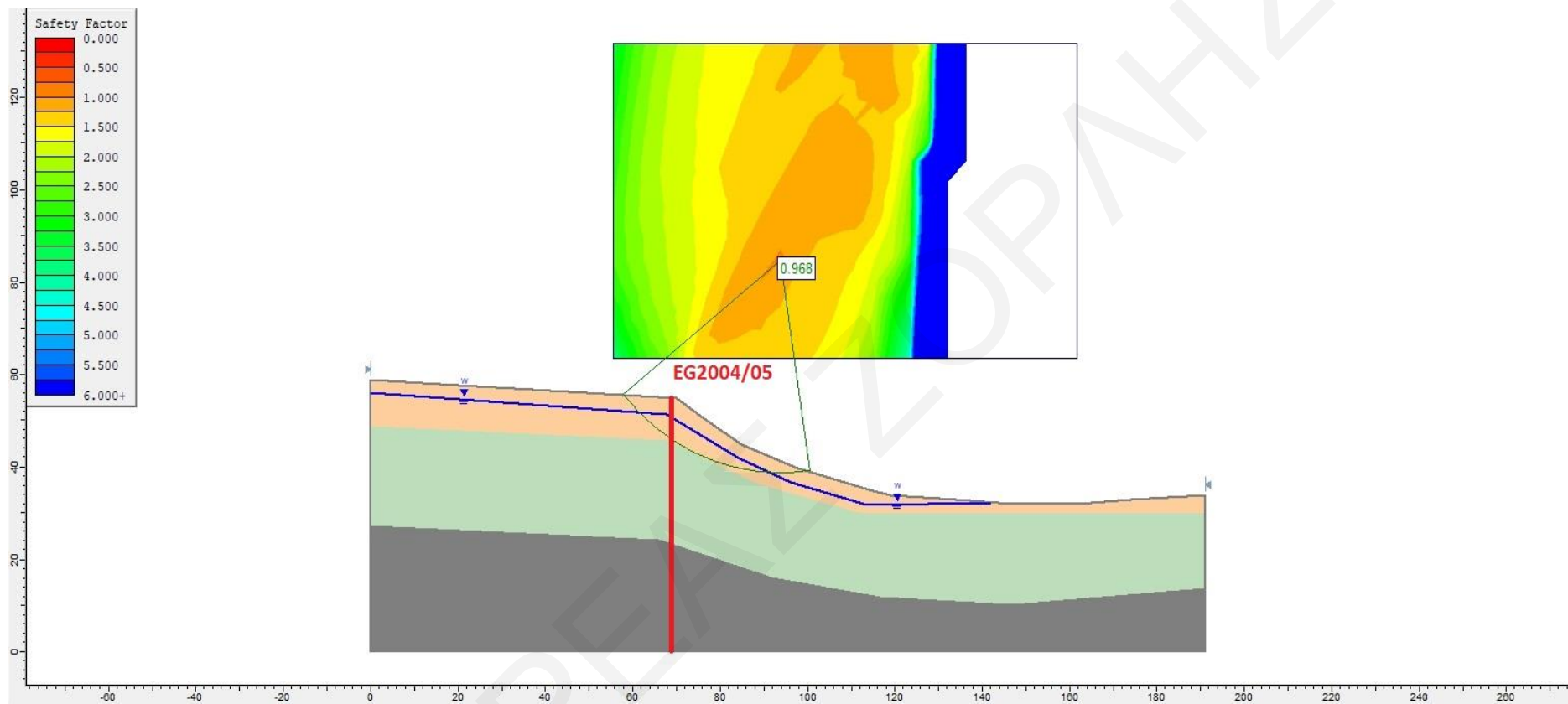
Αφού πλέον έχουμε εντοπίσει διάφορες περιπτώσεις για τις οποίες υπάρχει αστοχία και συνεπώς κατολίσθηση, έχουμε χρησιμοποιήσει μια πληροφορία την οποία έχουμε αναφέρει και πιο πάνω και θα επιβεβαιώσει τις υπόθεσης μας.. Από δεδομένα του Τμήματος Γεωλογικής Επισκόπησης γνωρίζουμε πως υπάρχει μια γεώτρηση,



EG2004/05, η οποία τον Νοέμβριο του 2016 έσπασε στα 16μ. Παρόλο που συνέβη αυτό το γεγονός, δεν μπορεί να διαπιστωθεί σε πιο βάθος έγινε η μετακίνηση, σίγουρα όμως μέχρι τα 16μ υπήρχε σημαντική μετακίνηση. Εάν τοποθετήσουμε τη γεώτρηση πάνω στην τομή που αναλύουμε, παρατηρούμε πως η αστοχία που προκύπτει περνά και από την συγκεκριμένη γεώτρηση στο βάθος περίπου που έσπασε. Στις αναλύσεις που έχουμε επεξεργαστεί, υπάρχουν περιπτώσεις που η επιφάνεια ολίσθησης βρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος. Για να συμβεί αυτό, οι παραμέτροι αντοχής του Στρώματος 2 θα πρέπει να είναι διαφορετικές από αυτές που ορίζουν οι Alexandris et al. (2017). Στα πιο κάτω σχήματα απεικονίζεται η αστοχία σε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις όπως αυτές αναγράφονται στον πίνακα 2 και στα οποία έχει τοποθετηθεί και η γεώτρηση EG2004/05.

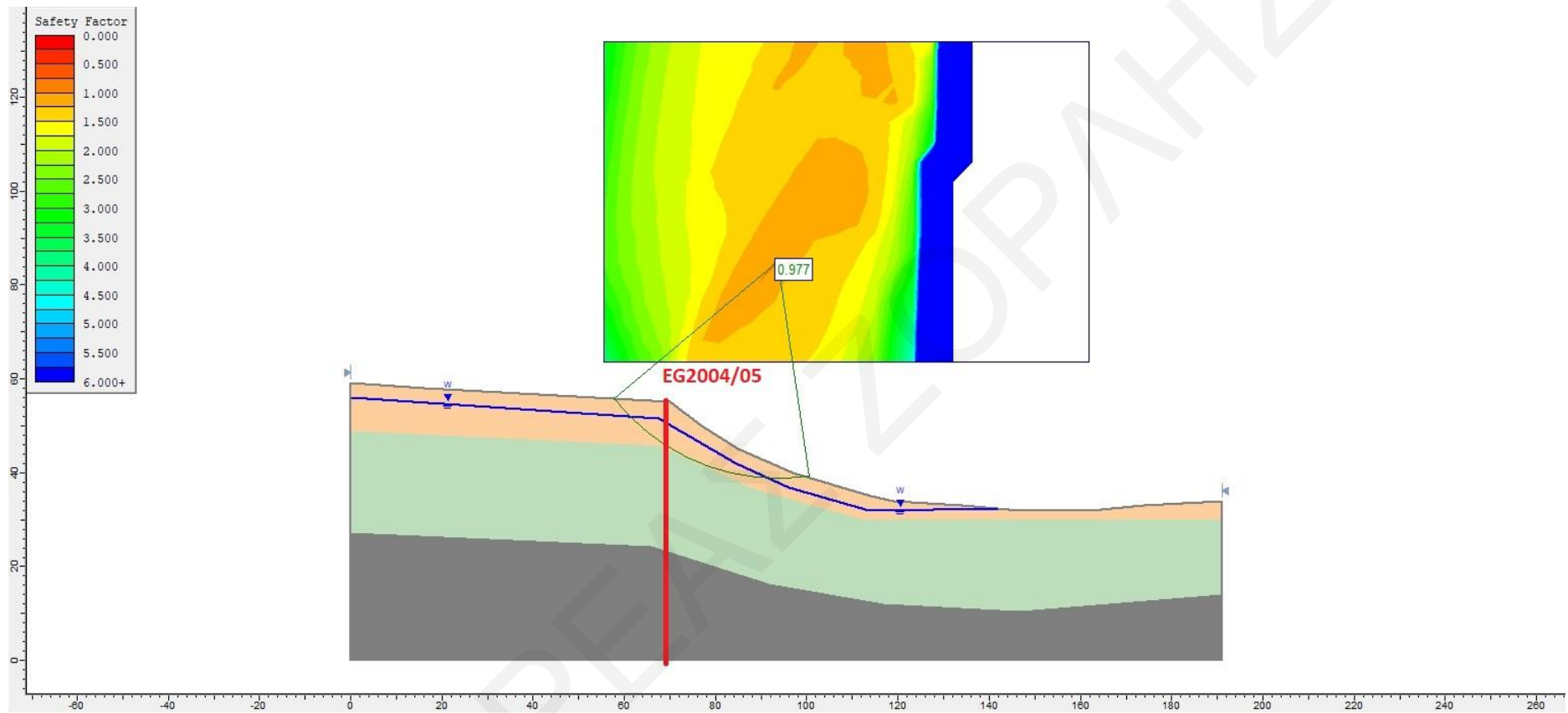


**Σχήμα 28:** Ανάλυση κατολίσθησης για  $c=10\text{kPa}$  και  $\varphi=20^\circ$  του Στρώματος 1. Άλλες παράμετροι βιβλιογραφικές.

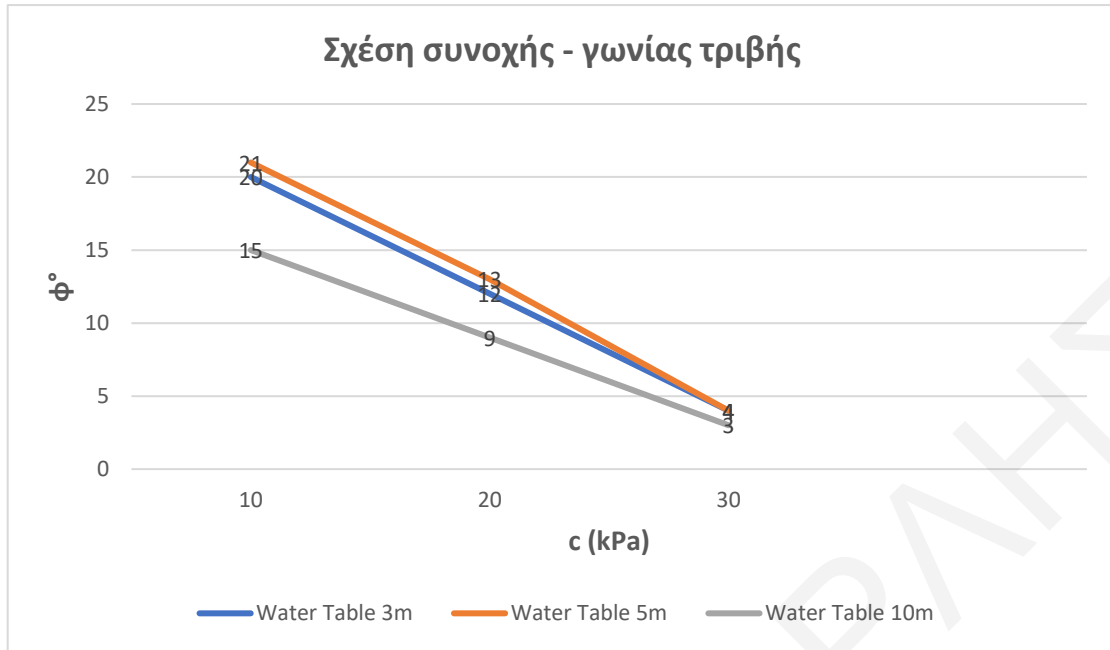


Σχήμα 29: Ανάλυση κατολίσθησης για  $c=20\text{kPa}$  και  $\varphi=12^\circ$  του Στρώματος 1. Άλλες παράμετροι βιβλιογραφικές.





Σχήμα 30: Ανάλυση κατολίσθησης για  $c=30\text{kPa}$  και  $\varphi=4^\circ$  του Στρώματος 1. Άλλες παράμετροι βιβλιογραφικές



**Διάγραμμα 1:** Σχέση συνοχής – γωνίας τριβής

Τέλος, στο πιο πάνω διάγραμμα έχουμε τοποθετήσει τις τιμές συνοχής και γωνίας τριβής για βάθος του υδροφόρου ορίζοντα στα 3μ, 5μ και 10μ και παρατηρούμε πως η γωνία τριβής μειώνεται αντιστρόφως ανάλογα με τη συνοχή των στρωμάτων. Όσο αυξάνεται η τιμή της συνοχής του στρώματος τόσο μειώνεται η συνοχή του. Παρατηρούμε επίσης πως για  $c=30\text{kPa}$  η γωνία τριβής είναι περίπου η ίδια για τις 3 περιπτώσεις. Στο διάγραμμα είναι επίσης εμφανές πως οι τιμές παρουσιάζουν πολύ μικρή διαφοροποίηση όταν ο υδροφόρος ταπεινώνεται από τα 3μ στα 5μ,

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η περιοχή μελέτης της συγκεκριμένης εργασίας αφορά τον παραδοσιακό πυρήνα της Κοινότητας Πισσουρίου της Επαρχίας Λεμεσού. Γεωλογικά η περιοχή αυτή δομείται στα υψηλότερα της σημεία από ασβεστιτικούς ψαμμίτες του Σχηματισμού Λευκωσίας και στα χαμηλότερα σημεία από πλειστοκαινικές μάργες του ίδιου σχηματισμού. Συνέπεια μιας παλαιοκατολίσθησης που υπάρχει στην συγκεκριμένη περιοχή, επιφανειακά και μέχρι το βάθος των 10μ απαντάται ένα στρώμα κορημάτων και αμμώδους μάργας κάτω από το οποίο απαντώνται αποσαθρωμένες μάργες ενώ βαθύτερα απαντώνται σκληρές άρρηκτες πλειστοκαινικές μάργες. Σύμφωνα με τη γεώτρηση PR2022/010 η οποία ανορύχθηκε των Αύγουστο του 2022, ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται στα 3μ. Ενδεχομένως το υπόγειο αυτό νερό να αφορά και λύματα της περιοχής.

Στην εν λόγω περιοχή το 2001 ενεργοποιήθηκε η κατολίσθηση η οποία κινητοποίησε περίπου 80.000m<sup>3</sup> με αποτέλεσμα να καταστραφούν 3 κατοικίες. Στη συνέχεια πάρθηκαν από το κράτος κάποια μέτρα σταθεροποίησης της περιοχής όμως τα στοιχεία αποδεικνύουν πως από τότε μέχρι σήμερα δεν έπαψαν να υπάρχουν μικρομετακινήσεις. Από τον Ιανουάριο του 2022 οι μετακινήσεις αυτές μεγάλωσαν και προκάλεσαν και συνεχίζουν να προκαλούν συνεχώς ζημιές στις κατοικίες, κάποιες εκ των οποίων εκκενώθηκαν με διάταγμα του Υπουργείου Εσωτερικών.

Λαμβάνοντας υπόψη αυτά τα δεδομένα, αναλύσαμε στο λογισμικό Slide την κατολίσθηση αυτή. Πρώτα χηράκτηκε η τομή η οποία στη συνέχεια αποτυπώθηκε στο λογισμικό. Ακολούθως επεξεργαστήκαμε διάφορα σενάρια τα οποία αφορούσαν το βάθος του υπόγειου νερού σε συνδυασμό με ποικιλία τιμών των παραμέτρων αντοχής των στρωμάτων.

Για τους τελικούς υπολογισμούς θέσαμε για τα Στρώματα 2 & 3 βιβλιογραφικές τιμές για τις παραμέτρους αντοχής. Για το Στρώμα 2 θέσαμε  $c=35\text{kPa}$  και  $\phi=21^\circ$  και για το Στρώμα 3  $c=40\text{kPa}$  και  $\phi=27^\circ$ .

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων δείχνουν πως για να υπάρξει αστοχία όταν το υπόγειο νερό βρίσκεται είτε στα 3μ είτε στα 5μ, οι παράμετροι αντοχής είναι σχεδόν ίδιες, παρουσιάζουν πολύ μικρές διαφοροποιήσεις. Το Στρώμα 1 για να ολισθαίνει πρέπει να έχει τιμές συνοχής μικρότερες από 30kPa και γωνίας τριβής μικρότερες από 21° και οι τιμές του δείκτη ασφαλείας κυμαίνονται από 0,965 – 0,977.

Συνεπώς η ταπείνωση του υδροφόρου κατά 2μ δεν φαίνεται να βελτιώνει σημαντικά την κατάσταση. Όταν όμως ο υδροφόρος ταπεινωθεί στα 10μ βάθος, στο όριο των Στρωμάτων 1 και 2 τότε τα αποτελέσματα είναι πανομοιότυπα με αυτά που προέκυψαν από τις αναλύσεις στο υποθετικό σενάριο που δεν υπάρχει υπόγειο νερό.

Καταληκτικά, φαίνεται πως δεδομένου ότι τις παραμέτρους αντοχής των στρωμάτων δεν μπορούμε να τις αλλάξουμε, τον πιο καταλυτικό – δυσμενή ρόλο τον έχει το υπόγειο νερό το οποίο όπως έχει ήδη αναφερθεί εντοπίζεται σε βάθος 3μ. Η επανενεργοποίηση της παλαιοκατολίστησης οφείλεται στη σταδιακή αύξηση με τα χρόνια της στάθμης του φρεάτιου ορίζοντα λόγω της τροφοδοσίας του με νερά της βροχής και από τους απορροφητικούς λάκκους των οικιστικών αναπτύξεων. Το υπόγειο νερό δεν έχει σταθερή στάθμη αλλά παρουσιάζει αυξομείωση αναλόγως της εποχής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι μάργες, να αυξομειώνουν τον όγκο τους και να συμβάλουν στις μετακινήσεις που προκύπτουν. Συνεπώς και παρόλο που η παρούσα εργασία δεν μελετά μέτρα που θα απάμβλυναν το πρόβλημα, θα τολμούσαμε να πούμε πως πέραν από τα οποιαδήποτε σταθεροποιητικά μέτρα ληφθούν, θα πρέπει άμεσα είτε να κατασκευαστεί αποχετευτικό σύστημα για ολιστική λύση του θέματος των όμβριων υδάτων ή εναλλακτικά να γίνουν αντλήσεις ώστε να ταπεινωθεί ο υδροφόρος ορίζοντας κάτω από τα 5μ αν αυτό είναι εφικτό.



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Alexandris, A., Katsipi Griva, I. and Abarioti, M. (2017). Remediation of The Pissouri Landslide in Cyprus, International Journal of Geoengineering Case Histories, 4, pp. 14-28. [online] Διαθέσιμο από : [https://www.geocasehistoriesjournal.org/pub/article/view/IJGCH\\_4\\_1\\_2](https://www.geocasehistoriesjournal.org/pub/article/view/IJGCH_4_1_2) [3 Φεβρουαρίου 2020]
- Barnes, G. (2016). Soil mechanics: principles and practice. Macmillan International Higher Education.
- Charalambous M., Hobbs P.R.N., Northmore K.J. (1986). Supplementary geotechnical and mineralogical data for cohesive soil samples from selected sites across Cyprus. Engineering geology of cohesive soils associated with ophiolites, with particular reference to Cyprus, British Geological Survey, Report EGARP-KW/86/5.
- Hearn, G.,J., Larkin, H., Hadjicharalambous, K., Papageorgiou, A., Elina Zoi, G. (2018). Proving a landslide: ground behaviour problems at Pissouri, Cyprus. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 51(4), 461-482.
- Lambe, T. W. and Whitman, R. V. (1969). Soil Mechanics, John Wiley & Sons, New York.
- Northmore, K.J, Charalambous, M., Hobbs P.R.N., Petridis G. (1986). Engineering geology of the Kannaviou, 'Mélange' and Mamonia Complex formations-Phiti/Statos area, SW Cyprus. Engineering geology of cohesive soils associated with ophiolites, with particular reference to Cyprus, British Geological Survey, Report EGARP-KW/86/4.
- Stow, D., Braakenburg, N., Xenophontos, C. (1995). The Pissouri Basin fan-delta complex, southwestern Cyprus. Sedimentary Geology, 98, 245-262.
- Ευθυμίου, Μ., Χατζηχαραλάμπους, Κ., (2013). Κατολισθήσεις στην Κύπρο και οι συνέπειες στο δομημένο περιβάλλον, Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης. [online] Διαθέσιμο από : [http://www.moa.gov.cy/moa/gsd/gsd.nsf/All/D9A0E192008CAED8C22583910041810A/\\$file/landslidesCyprus%20GR.pdf?OpenElement](http://www.moa.gov.cy/moa/gsd/gsd.nsf/All/D9A0E192008CAED8C22583910041810A/$file/landslidesCyprus%20GR.pdf?OpenElement)
- Κούκης, Γ., Σαμπατακάκης, Ν. (2002). Τεχνική Γεωλογία, Αθήνα: Παπασωτηρίου.
- Μιχαηλίδης, Π., Χ' Χαραλάμπους, Κ., Αντωνίου, Δ., Αλεξάνδρου, Μ., Βραχίμης, Σ., (2006). Γεωλογική Μελέτη, Αστοχία Πρανούς στην Οδό Ανεξαρτησίας στο Νότιο Τμήμα της Κοινότητας Πισσουρίου
- Κάρλας, Ε., (2021). Ανάλυση της κατολίθησης στην περιοχή Λίμνες Πισσουρίου και απαιτούμενα μέτρα σταθεροποίησης
- Μεγάλη Κυπριακή Εγκυκλοπαίδεια (2021). Πισσούρι. [online] Διαθέσιμο από : <http://www.polignosi.com/cgi-bin/hweb?-A=8874&-V=limmat>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ SLIDE

| Talus – Sandy Marl |    | Weak Marl |    | Marl |    | W/T | FOS          |
|--------------------|----|-----------|----|------|----|-----|--------------|
| c                  | φ  | c         | φ  | c    | φ  |     |              |
| 10                 | 30 | 10        | 21 | 40   | 27 | 3   | <b>1.021</b> |
| 10                 | 29 | 10        | 21 | 40   | 27 | 3   | <b>1.083</b> |
| 10                 | 27 | 10        | 21 | 40   | 27 | 3   | <b>1.008</b> |
| 10                 | 26 | 10        | 21 | 40   | 27 | 3   | <b>0.996</b> |

Πίνακας 1

| Talus – Sandy Marl |    | Weak Marl |    | Marl |    | W/T | FOS          |
|--------------------|----|-----------|----|------|----|-----|--------------|
| c                  | φ  | c         | φ  | c    | φ  |     |              |
| 20                 | 25 | 10        | 21 | 40   | 27 | 3   | <b>1.109</b> |
| 20                 | 20 | 10        | 21 | 40   | 27 | 3   | <b>1.081</b> |
| 20                 | 16 | 10        | 21 | 40   | 27 | 3   | <b>0.995</b> |

Πίνακας 2

| Talus – Sandy Marl |    | Weak Marl |    | Marl |    | W/T | FOS          |
|--------------------|----|-----------|----|------|----|-----|--------------|
| c                  | φ  | c         | φ  | c    | φ  |     |              |
| 10                 | 30 | 10        | 21 | 40   | 27 | 3   | <b>1.090</b> |
| 10                 | 30 | 10        | 20 | 40   | 27 | 3   | <b>0.986</b> |
| 20                 | 30 | 10        | 19 | 40   | 27 | 3   | <b>0.999</b> |
| 30                 | 30 | 10        | 18 | 40   | 27 | 3   | <b>0.986</b> |

Πίνακας 3

| Talus – Sandy Marl |    | Weak Marl |    | Marl |    | W/T | FOS   |
|--------------------|----|-----------|----|------|----|-----|-------|
| c                  | φ  | c         | φ  | c    | φ  |     |       |
| 10                 | 16 | 10        | 18 | 40   | 27 | -   | 1,011 |
| 10                 | 15 | 10        | 18 | 40   | 27 | -   | 0,964 |
| 10                 | 15 | 35        | 21 | 40   | 27 | -   | 0.963 |
| 20                 | 9  | 35        | 21 | 40   | 27 | -   | 0.966 |
| 30                 | 3  | 35        | 21 | 40   | 27 | -   | 0.977 |

Πίνακας 4

| Talus – Sandy Marl |    | Weak Marl |    | Marl |    | W/T | FOS          |
|--------------------|----|-----------|----|------|----|-----|--------------|
| c                  | φ  | c         | φ  | c    | φ  |     |              |
| 10                 | 26 | 20        | 21 | 40   | 27 | 3   | <b>1.306</b> |
| 10                 | 18 | 20        | 21 | 40   | 27 | 3   | <b>0.967</b> |
| 10                 | 20 | 30        | 21 | 40   | 27 | 3   | <b>1.151</b> |
| 10                 | 16 | 30        | 21 | 40   | 27 | 3   | <b>0.967</b> |
| 20                 | 20 | 20        | 21 | 40   | 27 | 3   | <b>1.319</b> |
| 20                 | 16 | 20        | 21 | 40   | 27 | 3   | <b>1.248</b> |
| 20                 | 10 | 20        | 21 | 40   | 27 | 3   | <b>0.935</b> |

Πίνακας 5

| Talus – Sandy Marl |    | Weak Marl |    | Marl |    | W/T | FOS          |
|--------------------|----|-----------|----|------|----|-----|--------------|
| c                  | φ  | c         | φ  | c    | φ  |     |              |
| 10                 | 20 | 35        | 21 | 40   | 27 | 3   | <b>0.977</b> |
| 20                 | 12 | 35        | 21 | 40   | 27 | 3   | <b>0.968</b> |
| 30                 | 4  | 35        | 21 | 40   | 21 | 3   | <b>0.976</b> |

**Πίνακας 6**

| Talus – Sandy Marl |    | Weak Marl |    | Marl |    | W/T | FOS          |
|--------------------|----|-----------|----|------|----|-----|--------------|
| c                  | φ  | c         | φ  | c    | φ  |     |              |
| 20                 | 9  | 35        | 21 | 40   | 27 | 1   | <b>0.966</b> |
| 10                 | 15 | 35        | 21 | 40   | 27 | 5   | <b>0.963</b> |
| 30                 | 3  | 35        | 21 | 40   | 27 | 5   | <b>0.977</b> |
| 10                 | 16 | 10        | 21 | 40   | 27 | 5   | <b>1.207</b> |
| 10                 | 15 | 10        | 21 | 40   | 27 | 5   | <b>0.963</b> |
| 20                 | 10 | 10        | 21 | 40   | 27 | 5   | <b>1.011</b> |
| 20                 | 9  | 10        | 21 | 40   | 27 | 5   | <b>0.966</b> |
| 30                 | 30 | 10        | 15 | 40   | 27 | 5   | <b>0.981</b> |
| 10                 | 15 | 10        | 18 | 40   | 27 | 5   | <b>0.963</b> |
| 10                 | 15 | 20        | 21 | 40   | 27 | 5   | <b>0.963</b> |
| 20                 | 9  | 20        | 21 | 40   | 27 | 5   | <b>0.966</b> |
| 10                 | 15 | 30        | 21 | 40   | 27 | 5   | <b>0.963</b> |

**Πίνακας 7**

| Talus – Sandy Marl |    | Weak Marl |    | Marl |    | W/T | FOS          |
|--------------------|----|-----------|----|------|----|-----|--------------|
| c                  | φ  | c         | φ  | c    | φ  |     |              |
| 20                 | 13 | 35        | 21 | 40   | 27 | 10  | <b>0.966</b> |
| 10                 | 21 | 35        | 21 | 40   | 27 | 10  | <b>0.965</b> |
| 30                 | 4  | 35        | 21 | 40   | 27 | 10  | <b>0.977</b> |
| 10                 | 30 | 10        | 21 | 40   | 27 | 10  | <b>1.001</b> |
| 10                 | 29 | 10        | 21 | 40   | 27 | 10  | <b>0.992</b> |
| 20                 | 19 | 10        | 21 | 40   | 27 | 10  | <b>1.001</b> |
| 20                 | 18 | 10        | 21 | 40   | 27 | 10  | <b>0.993</b> |
| 30                 | 30 | 10        | 15 | 40   | 27 | 10  | <b>0.981</b> |
| 10                 | 15 | 10        | 18 | 40   | 27 | 10  | <b>0.963</b> |
| 10                 | 15 | 20        | 21 | 40   | 27 | 10  | <b>0.963</b> |
| 20                 | 9  | 20        | 21 | 40   | 27 | 10  | <b>0.966</b> |
| 10                 | 15 | 30        | 21 | 40   | 27 | 10  | <b>0.963</b> |

**Πίνακας 8**