



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ, ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΠΜΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΓΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ-ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ

*Έλεγχος ευστάθειας των βραχωδών πρανών και αντιμετώπιση του κατολισθητικού κινδύνου στην περιοχή "Μονοπάτι Αρβανιτιάς" του Δήμου Ναυπλιέων*



Ζελίνη Μαλαματένια

Γεωλόγος

ΑΜ 22011

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Σταυροπούλου Μαρία

ΑΘΗΝΑ 2022



***Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής:***

*ΛΕΚΚΑΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ, Καθηγητής*

*ΒΑΣΙΛΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, Αναπλ. Καθηγητής*



## Ευχαριστίες

Έχοντας ολοκληρώσει την παρούσα διπλωματική εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου, όλους τους καθηγητές μου καθώς και εκείνους που συνέβαλαν με τη βοήθειά τους και τη στήριξή τους να πραγματοποιήσω τόσο τη διπλωματική μου εργασία όσο και την φοίτησή μου στο Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Πρώτα από όλους, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες και την ευγνωμοσύνη μου στην επιβλέπουσα καθηγήτρια κα. Σταυροπούλου Μαρία, η οποία με εμπιστεύτηκε και μου ανέθεσε αυτό το ιδιαίτερα ενδιαφέρον θέμα.

Ένα τεράστιο ευχαριστώ οφείλω στην οικογένεια μου και κυρίως στους γονείς μου που μου συμπαραστάθηκαν υλικά και ηθικά, με ενθάρρυναν και με συμβούλευαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

## Περίληψη

Το θέμα που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία είναι η μελέτη της ευστάθειας των ασβεστολιθικών βραχωδών πρανών, της χερσονήσου της Ακροναυπλίας, τα οποία κατά καιρούς παρουσιάζουν φαινόμενα καταπτώσεων. Στην περιοχή αυτή και συγκεκριμένα κατά μήκος του πρανούς μελέτης υπάρχει η περιπατητική διαδρομή της Αρβανιτιάς, την οποία επισκέπτεται μεγάλος αριθμός ανθρώπων. Επομένως, είναι σημαντικό να μελετηθούν οι μηχανισμοί αστοχίας του πρανούς έτσι ώστε να μπορέσουν να προταθούν μέτρα προστασίας για τον περιορισμό των καταπτώσεων. Για την επίτευξη των στόχων ακολουθήθηκε μία συγκεκριμένη μεθοδολογία. Στα πρώτα στάδια της μελέτης αναλύθηκε το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής καθώς και η μορφολογία της μέσω παρατηρήσεων αλλά και με τη βοήθεια βιβλιογραφικού υλικού όπως χάρτες και προηγούμενες σχετικές μελέτες. Το πρανές μελέτης διαχωρίστηκε σε επιμέρους τμήματα για την επίτευξη λεπτομερέστερων αποτελεσμάτων. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η κινηματική ανάλυση, με δεδομένα προσανατολισμού ασυνεχειών που ελήφθησαν κατά την εφαρμοσμένη έρευνα των Λέκκας κ.ά (2022) στην περιοχή, η οποία έδωσε μία πρώτη εκτίμηση για τις πιθανές μορφές αστοχίας που μπορούν να συμβούν στο πρανές. Έπειτα, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις ευστάθειας και εκτιμήθηκαν οι Συντελεστές Ασφαλείας για κάθε τμήμα του πρανούς. Στις περιπτώσεις όπου οι Συντελεστές Ασφαλείας δεν λάμβαναν αποδεκτές τιμές, πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις μέτρων προστασίας και επομένως μέτρων που βελτιώνουν τις τιμές αυτές. Από το σύνολο των αναλύσεων προέκυψε η ανάγκη αγκυρώσεων των δυνητικά επισφαλών βραχοτεμαχών σε σημεία του πρανούς. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις βραχοκαταπτώσεων με το λογισμικό RocFall σε έξι διατομές του πρανούς με δυσμενή τοπογραφία. Κατά τη διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε ένας αριθμός προσομοιώσεων για κάθε διατομή ξεχωριστά και προέκυψαν τιμές της αναμενόμενης κινητικής ενέργειας των βραχοτεμαχών καθώς και η τελική τους θέση μετά την ολοκλήρωση της πορείας του. Από τα στοιχεία αυτά εκτιμήθηκαν τα κατάλληλα σημεία τοποθέτησης μέτρων αντιμετώπισης αυτών των βραχοπτώσεων.

## Abstract

The topic of this thesis is the study of the stability of rock slopes, at the Acronauplia peninsula, where occasionally rockfalls occur. In this area and specifically along the area of study slope there is the Arvanitia path, which is visited by a large number of walkers. Therefore, it is important to determine the slope failure mechanisms to be able to suggest slope protection measures to mitigate the rockfall hazard. A specific methodology was followed to achieve the research objectives. In the early stage of the study, the geological background of the area and its morphology were analysed based on field observations and with the help of bibliographical material such as maps and previous studies. The slope was separated into smaller sections in order to obtain more detailed results. At first, a kinematic analysis was carried out, by using discontinuity orientation data that were taken during the applied research of Lekkas et al (2022) in the study area, providing a first evaluation of the possible failure mechanisms that can occur along the slope. Then, stability analyses were carried out and the Safety Factors were estimated for each section of the slope. In those cases where the Safety Factors did not take acceptable values, simulations of protection measures and therefore measures that improve these values were carried out. The analyses showed the necessity of anchoring the potentially unsafe rock masses in several parts of the slope. Then, rockfall analyses were carried out with the RocFall software at six sections of the slope with unfavourable topography. During this process, a number of simulations were carried out for each section and values of the expected kinetic energy of the rock masses and their final location after the completion of the path were obtained. From this data, the appropriate locations for the placement of measures to manage these rockfalls were estimated.

## Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1.1 Άποψη της περιοχής μελέτης και η θέση της στο χάρτη της Ελλάδας. Η περιπατητική διαδρομή της Αρβανιτιάς επισημαίνεται με τη λευκή διακεκομμένη γραμμή ("Google Maps", 2022).	1
Εικόνα 1.2 Καταπτώσεις βραχωδών μαζών στο μονοπάτι της Αρβανιτιάς έπειτα από το γεγονός του Αυγούστου 2019 (Λέκκας κ.ά., 2022).	3
Εικόνα 1.3 Καταπτώσεις βραχωδών μαζών στο μονοπάτι της Αρβανιτιάς έπειτα από το γεγονός του Ιανουαρίου 2010 (Κωνσταντοπούλου κ.ά., 2010).	3
Εικόνα 2.1 Παραδείγματα διαφορετικών τύπων μετακινήσεων. Α) Περιστροφική ολίσθηση, Β) Μεταθετική ολίσθηση εδαφικού σχηματισμού, C) Μεταθετική ολίσθηση βραχώδους σχηματισμού, D) Καταπτώσεις, E) Ανατροπές, F) Ροή κορημάτων, G) «Χιονοστιβάδα κορημάτων», H) Ροή γαιών, I) Ερπυσμός, J) Πλευρική εξάπλωση (Wieczorek, G.F., and Snyder, J.B., 2009).	10
Εικόνα 3.1 Νεοτεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης και ο ρυθμός υποβύθισης σε διάφορα σημεία του Αργολικού κόλπου (Van Andel et al 1993). Ο χάρτης αυτός έχει τροποποιηθεί με νέα τεκτονικά δεδομένα από την περιοχή του Ναυπλίου τα οποία συνδέονται με υποθαλάσσια δεδομένα (Georgiou & Galanakis D, 2010).	16
Εικόνα 3.2 Γεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής Ναυπλίου και απεικόνιση των κανονικών ρηγματίων που διατρέχουν την περιοχή (Georgiou & Galanakis, 2010).	17
Εικόνα 3.3 Γεωλογικός χάρτης κατά μήκος της περιοχής μελέτης (Λέκκας κ.ά., 2022).	20
Εικόνα 3.4 Χάρτης κατανομής των μακροσεισμικών εντάσεων για τον Ελλαδικό χώρο ρηχά γεγονότα (βάθος $\leq 60$ km). Σημειώνεται η περιοχή του Ναυπλίου (Chalkias, Papanastassiou, Karymbalis and Chalkias, 2013).	21
Εικόνα 3.5 Χάρτης σεισμικότητας ο οποίος περιλαμβάνει 671 σεισμούς ανάμεσα στις 6 Ιουνίου 1986 και 17 Ιουλίου 1986. Τα διαφορετικά βάθη και το μέγεθος των συμβόλων είναι ανάλογο του μεγέθους των σεισμών (Hatzfeld, Pedotti, Hatzidimitriou and Makropoulos, 1990).	22
Εικόνα 3.6 Χάρτης της εκλυόμενης ενέργειας από τους σεισμούς της Εικ 3.5 για τη δυτική Ελλάδα. Οι γραμμοσκιασμένες περιοχές αντιστοιχούν στο λογάριθμο της ενέργειας (Hatzfeld, Pedotti, Hatzidimitriou and Makropoulos, 1990).	23
Εικόνα 3.7 Χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας, έπειτα από τις τροποποιήσεις του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού ΕΑΚ 2000, το 2003. (ΕΑΚ, 2003).	24
Εικόνα 3.8 Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Πελοποννήσου (EL03) (αριστερά) και Λεκάνες Απορροής Ποταμών εντός αυτού (δεξιά) (ΦΕΚ 4674B/29-12-2017) (ΥΠΕΝ, 2017).	25
Εικόνα 3.9 Υπερετήσια βροχόπτωση στον ελλαδικό χώρο (Master Plan, 2007).	26
Εικόνα 3.10 Συνολική κατακρήμνιση (σε mm) σύμφωνα με τα στοιχεία της Εθνικής Τράπεζας Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας (ΕΤΥΜΠ).	26
Εικόνα 3.11 Συνολική πραγματική εξατμισοδιαπνοή (σε mm) σύμφωνα με τα στοιχεία της Εθνικής Τράπεζας Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας (ΕΤΥΜΠ) (αριστερά). Συνολική απορροή (σε mm) σύμφωνα με τα στοιχεία της Εθνικής Τράπεζας Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας (ΕΤΥΜΠ) (δεξιά).	27



Εικόνα 4.1 Διάγραμμα ανάλυσης ευαισθησίας: Μεταβολή του συντελεστή ασφαλείας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης συναρτήση της συνοχής των ασυνεχειών σε στατικές συνθήκες, για μέγιστη εμμόνη ασυνεχειών 10 m, στο τμήμα πρανούς N3.....	32
Εικόνα 4.2 Διάγραμμα ανάλυσης ευαισθησίας: Μεταβολή του συντελεστή ασφαλείας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης συναρτήση της συνοχής των ασυνεχειών σε στατικές συνθήκες, για μέγιστη εμμόνη ασυνεχειών 20m, στο τμήμα πρανούς N3.....	32
Εικόνα 5.1 Η διάκριση των επιμέρους τεσσάρων τμημάτων (B1,B2,B3 και Φ) του Βόρειου Προφίλ (Λέκκας κ.ά.,2022).....	34
Εικόνα 5.2 Η διάκριση των επιμέρους δεκατεσσάρων τμημάτων (N0-N13) του Νότιου Προφίλ (Λέκκας κ.ά.,2022).....	35
Εικόνα 6.1 Προσδιορισμός γεωμετρικών όρων προσανατολισμού ασυνεχειών (α) ισομετρική προβολή του επιπέδου (κλίση και διεύθυνση κλίσης), (β) στερεογραφική προβολή (Duncan C. W., 2017). .....	37
Εικόνα 6.2 Αστοχίες πρανών και τα στερεοδιαγράμματά τους (α) επίπεδη ολίσθηση, (b) σφηνοειδής ολίσθηση και (c) ανατροπή (Hoek & Bray, 1981). .....	38
Εικόνα 6.3 Στερεοδιάγραμμα για την κινηματική ανάλυση επίπεδης ολίσθησης – τμήμα πρανούς B1. ....	41
Εικόνα 6.4 Στερεοδιάγραμμα για την κινηματική ανάλυση σφηνοειδούς ολίσθησης– τμήμα πρανούς B1.....	42
Εικόνα 6.5 Στερεοδιάγραμμα για την κινηματική ανάλυση ανατροπής– τμήμα πρανούς B1. ....	43
Εικόνα 6.6 Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N0. Συνδυασμός ασυνεχειών set2-set5. Κανονικές συνθήκες φόρτισης, με εμμόνη ασυνεχειών 15m.....	45
Εικόνα 6.7 Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N0. Συνδυασμός ασυνεχειών set2-set5. Σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμόνη ασυνεχειών 15m.Τμήμα N0. ....	46
Εικόνα 6.8 Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N0 με αγκύρωση (4 αγκύρια μήκους 4-6m). Συνδυασμός ασυνεχειών set2-set5. Κανονικές συνθήκες φόρτισης ,με εμμόνη ασυνεχειών 15m.....	49
Εικόνα 6.9 Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N0 με αγκύρωση (4 αγκύρια μήκους 4-6m). Συνδυασμός ασυνεχειών set2-set5. Σεισμικές συνθήκες φόρτισης ,με εμμόνη ασυνεχειών 15m.....	50
Εικόνα 6.10 Προσομοίωση πιθανής επίπεδης ολίσθησης για τμήμα πρανούς N0 κατά μήκος της ασυνέχειας με προσανατολισμό 42/198, για κανονικές συνθήκες φόρτισης. ....	52
Εικόνα 6.11 Προσομοίωση πιθανής επίπεδης ολίσθησης για τμήμα πρανούς N0 κατά μήκος της ασυνέχειας με προσανατολισμό 42/198, για σεισμικές συνθήκες φόρτισης.....	52
Εικόνα 6.12 Προσομοίωση πιθανής επίπεδης ολίσθησης με αγκύρωση για τμήμα πρανούς N0 κατά μήκος της ασυνέχειας με προσανατολισμό 42/198, για κανονικές συνθήκες φόρτισης.....	54
Εικόνα 6.13 Προσομοίωση πιθανής επίπεδης ολίσθησης με αγκύρωση για τμήμα πρανούς N0 κατά μήκος της ασυνέχειας με προσανατολισμό 42/198, για κανονικές συνθήκες φόρτισης.....	54

Εικόνα 7.1 Τροχιές βραχοπτώσεων.. Επιρροή της κλίσης του πρανού στο είδος της τροχιάς: κύλιση (κλίση 1,25:1 έως 1:1), αναπήδηση (κλίση 0,5:1) ή ελεύθερη πτώση (κλίση 0,25:1), (Ritchie, 1963). ...	56
Εικόνα 7.2 Χιλιομέτρηση κατά μήκος του Μονοπατιού της Αρβανιτιάς, με σημείο έναρξης την Βόρεια πύλη εισόδου. Σημειώνονται τα επιμέρους τμήματα στα οποία διακρίθηκαν τα πρανή και οι θέσεις διατομών (Λέκκας κ.ά., 2022). .....	59
Εικόνα 7.3 Αναμενόμενες τροχιές βραχοτεμαχίων για τη διατομή Α. ....	61
Εικόνα 7.4 Αναμενόμενες τελικές θέσεις των βραχοτεμαχίων για τη διατομή Α. Εκτίμηση μέγιστης απόστασης των βραχοτεμαχίων από την αρχική τους θέση. ....	61
Εικόνα 7.5 Αναμενόμενη συνολική κινητική ενέργεια για τη διατομή Α, των βραχοτεμαχίων. ....	62
Εικόνα 7.6 Αναμενόμενη τελική κινητική ενέργεια για κάθε θέση. Επισημάνετε μία αρχική προτεινόμενη θέση τοποθέτησης, του φράχτη ανάσχεσης, στη θέση χαμηλής κινητικής ενέργειας ...	63
Εικόνα 7.7 Διάγραμμα ύψους αναπήδησης για τη διατομή Α των δύο τύπων βραχοτεμαχίων. ....	64
Εικόνα 7.8 Ανάλυση ευαισθησίας για την κλίση του φράχτη ανάσχεσης. ....	64
Εικόνα 7.9 Διάγραμμα μέγιστης ενέργειας και αριθμού των βραχοτεμαχίων που πέρασαν σε συνάρτηση με την θέση του φράχτη ανάσχεσης. ....	64
Εικόνα 7.10 Τελική θέση τοποθέτησης του φράχτη ανάσχεσης, για τη διατομή Α. ....	65
Εικόνα 7.11 Τελική κινητική ενέργεια των βραχοτεμαχίων, για τον φράχτη ανάσχεσης που τοποθετήθηκε. ....	65
Εικόνα 7.12 Αναμενόμενες τροχιές βραχοτεμαχίων για τη διατομή Β. ....	66
Εικόνα 7.13 Αναμενόμενες τελικές θέσεις των βραχοτεμαχίων για τη διατομή Β. εκτίμηση μέγιστης απόστασης των βραχοτεμαχίων από την αρχική τους θέση. ....	66
Εικόνα 7.14 Αναμενόμενη συνολική ενέργεια για τη διατομή Β των βραχοτεμαχίων. ....	67
Εικόνα 7.15 Τελική θέση τοποθέτησης του φράχτη ανάσχεσης, για τη διατομή Β. ....	67
Εικόνα 7.16 Αναμενόμενες τροχιές βραχοτεμαχίων για τη διατομή C. ....	68
Εικόνα 7.17 Αναμενόμενες τελικές θέσεις των βραχοτεμαχίων για τη διατομή C. εκτίμηση μέγιστης απόστασης των βραχοτεμαχίων από την αρχική τους θέση. ....	68
Εικόνα 7.18 Αναμενόμενη συνολική ενέργεια για τη διατομή C των βραχοτεμαχίων. ....	69
Εικόνα 7.19 Τελική θέση τοποθέτησης του φράχτη ανάσχεσης, για τη διατομή C . ....	69
Εικόνα 7.20 Αναμενόμενες τροχιές βραχοτεμαχίων για τη διατομή D. ....	70
Εικόνα 7.21 Αναμενόμενες τελικές θέσεις των βραχοτεμαχίων για τη διατομή D. Εκτίμηση μέγιστης απόστασης των βραχοτεμαχίων από την αρχική τους θέση. ....	70
Εικόνα 7.22 Αναμενόμενη συνολική ενέργεια για τη διατομή D των βραχοτεμαχίων. ....	71
Εικόνα 7.23 Τελική θέση τοποθέτησης του φράχτη ανάσχεσης, για τη διατομή D. ....	71
Εικόνα 7.24 Αναμενόμενες τροχιές βραχοτεμαχίων για τη διατομή E. ....	72
Εικόνα 7.25 Αναμενόμενες τελικές θέσεις των βραχοτεμαχίων για τη διατομή E. Εκτίμηση μέγιστης απόστασης των βραχοτεμαχίων από την αρχική τους θέση. ....	72
Εικόνα 7.26 Τελική θέση τοποθέτησης του φράχτη ανάσχεσης, για τη διατομή E. ....	73
Εικόνα 7.27 Αναμενόμενες τροχιές βραχοτεμαχίων για τη διατομή F. ....	74

Εικόνα 7.28 Αναμενόμενες τελικές θέσεις των βραχοτεμαχίων για τη διατομή F. Εκτίμηση μέγιστης απόστασης των βραχοτεμαχίων από την αρχική τους θέση.....	74
Εικόνα 7.29 Αναμενόμενη συνολική ενέργεια για τη διατομή F των βραχοτεμαχίων.....	75
Εικόνα 7.30 Τελική θέση τοποθέτησης του φράχτη ανάσχεσης, για τη διατομή F.....	75
Εικόνα 8.1 Πιθανός μηχανισμός θραύσης σε βραχώδεις πρανές. Τοποθέτηση αγκυρίων σε μία συνεχή επιφάνεια θραύσης, αυξάνοντας έτσι τις κάθετες δυνάμεις που επενεργούν στην επιφάνεια θραύσης και επιφέρουν σημαντική αντίσταση στην ολίσθηση (Pit Slope Manual, 1976).....	77
Εικόνα 8.2 Τυπικό σύστημα κουρτίνας και φράχτης προειδοποίησης κατά μήκος του πρανού δίπλα σε σιδηροδρομικές γραμμές (Bunce et al. 2006) .....	79

## Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 2.1 Ενδεικτικές τιμές συντελεστών ασφαλείας (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).....	6
Πίνακας 2.2 Ταξινόμηση μετακίνησης πρανών κατά VARNES, 1978. ....	9
Πίνακας 2.3 Οι πλέον σημαντικοί παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων WP/WLI 1994 (Κούκης και Σαμπατακάκης 2007).....	11
Πίνακας 3.1 Βασικές ομάδες χαρακτηριστικών για την αξιολόγηση περιοχών ως προς τη δυνατότητα εκδήλωσης κατολισθήσεων (Rib & Liang, 1978).....	14
Πίνακας 4.1 Εκτίμηση του Γεωλογικού Δείκτη Αντοχής (GSI) βάση γεωλογικών παρατηρήσεων (Hoek & Marinos 2000). ....	30
Πίνακας 5.1 Χιλιομετρικές θέσεις τμημάτων του πρανού κατά μήκος του Μονοπατιού της Αρβανιτιάς.....	34
Πίνακας 6.1 Αποτελέσματα στατιστικής κινηματικής ανάλυσης για τα τμήματα του πρανού μελέτης, με το λογισμικό Dips.....	40
Πίνακας 6.2 Ελάχιστοι συντελεστές ασφαλείας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για κάθε επισφαλές τμήμα του πρανού μελέτης, σε αυτού του τύπου την μετακίνηση. Οι συντελεστές ασφαλείας εκτιμώνται για στατικές και σεισμικές συνθήκες. Στις περιπτώσεις ύπαρξης μη αποδεκτών τιμών του συντελεστή ασφαλείας, υπολογίζεται εκ νέου μετά την τοποθέτηση αγκυρίων. ....	46
Πίνακας 6.3 Ελάχιστοι συντελεστές ασφαλείας σε στατικές και σεισμικές συνθήκες μετά την τοποθέτηση παθητικών αγκυρίων στις δυνητικά επισφαλείς σφήνες.....	48
Πίνακας 6.4 Ελάχιστοι συντελεστές ασφαλείας έναντι επίπεδης ολίσθησης για κάθε επισφαλές τμήμα του πρανού μελέτης, σε αυτού του τύπου την μετακίνηση. Οι συντελεστές ασφαλείας εκτιμώνται για στατικές και σεισμικές συνθήκες. Στις περιπτώσεις ύπαρξης μη αποδεκτών τιμών του συντελεστή ασφαλείας, υπολογίζεται εκ νέου μετά την τοποθέτηση αγκυρίων. ....	51
Πίνακας 6.5 Ελάχιστοι συντελεστές ασφαλείας έναντι επίπεδης ολίσθησης με αγκύρωση για κάθε επισφαλές τμήμα του πρανού μελέτης, σε αυτού του τύπου την μετακίνηση. Οι συντελεστές ασφαλείας εκτιμώνται για στατικές και σεισμικές συνθήκες.....	53
Πίνακας 7.1 Συντεταγμένες διατομών πρανού μελέτης.....	60

<i>Πίνακας 8.1 Κατηγορίες μέτρων προστασίας βραχιδών πρανών ((Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007).</i>	<i>76</i>
<i>Πίνακας Β9.1.1: Κύρια συστήματα ασυνεχειών , με τον προσανατολισμό τους και τις γεωτεχνικές παραμέτρους αντοχής – τμήμα πρανούς Β1.</i>	<i>113</i>
<i>Πίνακας Β3.9.2: Κύρια συστήματα ασυνεχειών , με τον προσανατολισμό τους και τις γεωτεχνικές παραμέτρους αντοχής – τμήμα πρανούς Β3.</i>	<i>118</i>

# Πίνακας περιεχομένων

---

Ευχαριστίες.....	i
Περίληψη.....	ii
Abstract .....	iii
Κατάλογος εικόνων .....	iv
Κατάλογος πινάκων.....	vii
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1.1 Αντικείμενο μελέτης.....	1
1.2 Ιστορικό αστοχιών.....	2
1.3 Μεθοδολογία εκπόνησης έρευνας- Διαθέσιμα στοιχεία .....	3
2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ .....	5
2.1 Εισαγωγή.....	5
2.2 Βασικές αρχές ανάλυσης ευστάθειας βραχυδών πρηνών.....	5
2.3 Ονοματολογία και ταξινόμηση των κατολισθήσεων .....	6
2.3.1 Σύστημα ταξινόμησης Varnes .....	7
2.4 Αίτια πρόκλησης κατολισθήσεων .....	10
2.5 Ενεργότητα κατολισθήσεων.....	12
3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	14
3.1 Τεκτονική εξέλιξη ευρύτερης περιοχής .....	14
3.2 Γεωλογία ευρύτερης περιοχής.....	19
3.3 Γεωλογικές συνθήκες στενής περιοχής μελέτης.....	19
3.4 Σεισμικότητα ευρύτερης περιοχής μελέτης.....	21
3.5 Υδρολογία.....	24
3.5.1 Κλιματολογικά-Μετεωρολογικά δεδομένα .....	25
3.5.2 Εξατμισοδιαπνοή & Απορροή .....	27
3.5.3 Υδρολογικό ισοζύγιο .....	27
3.6 Υδρογεωλογία-Υδρογεωλογικές ενότητες .....	28
4 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ .....	29

4.1	Αντοχή βραχόμαζας-Σύστημα GSI.....	29
4.1.1	Επί τόπου Μέτρο παραμορφωσιμότητας.....	30
4.2	Μηχανική συμπεριφορά ασυνεχειών.....	31
5	ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ.....	33
5.1	Διαχωρισμός υπό μελέτη πρανούς.....	33
6	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ.....	36
6.1	Ερμηνεία δεδομένων - Ασυνέχειες.....	36
6.1.1	Προσανατολισμός ασυνεχειών.....	36
6.2	Στατιστική επεξεργασία ασυνεχειών - Κινηματική ανάλυση ευστάθειας.....	38
6.2.1	Γενικά.....	38
6.2.2	Περίπτωση περιοχής μελέτης.....	39
6.3	Ανάλυση ευστάθειας πρανούς έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης.....	44
6.4	Ανάλυση ευστάθειας πρανούς έναντι επίπεδης ολίσθησης.....	50
7	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΒΡΑΧΟΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ.....	55
7.1	Γενικά.....	55
7.2	Μελέτες τροχιάς.....	55
7.2.1	Διατομή Α.....	61
7.2.2	Διατομή Β.....	65
7.2.3	Διατομή C.....	68
7.2.4	Διατομή D.....	70
7.2.5	Διατομή E.....	72
7.2.6	Διατομή F.....	74
8	ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ.....	76
8.1	Μέτρα σταθεροποίησης.....	77
8.2	Προληπτικά μέτρα.....	78
9	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	80
	Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	83
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Κινηματική ανάλυση.....	88

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : Αναλύσεις ευστάθειας έναντι σφηνοειδών και επίπεδων ολισθήσεων	111
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Αναλύσεις βραχοκαταπτώσεων .....	218

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Αντικείμενο μελέτης

Το κύριο αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη ευστάθειας των βραχωδών πρανών, η εκτίμηση του διατιθέμενου επιπέδου ασφαλείας καθώς και ο σχεδιασμός τυχόν απαιτούμενων μέτρων αντιστήριξης κατά μήκος της περιπατητικής διαδρομής της Αρβανιτιάς, στο Ναύπλιο (Εικ. 1.1). Ειδικότερα, πραγματοποιήθηκαν γεωτεχνικές αναλύσεις για τον καθορισμό των δυνητικά επισφαλών βραχωδών τεμαχών, οι οποίες δημιουργούνται από τα συστήματα ασυνεχειών του βράχου, και τον έλεγχο της ευστάθειάς τους. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη προέκυψαν από αεροφωτογράφιση με Συστήματα μη επανδρωμένων Εναέριων Πλατφορμών – Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) κατά την εργασία των Λέκκας, Σταυροπούλου, Βασιλάκης, Κονσολάκη, Κώτση, Πετράκης, Ερκέκη, Γιαννόπουλος & Κοκκορομύτη, (2022).



Εικόνα 1.1 Άποψη της περιοχής μελέτης και η θέση της στο χάρτη της Ελλάδας. Η περιπατητική διαδρομή της Αρβανιτιάς επισημαίνεται με τη λευκή διακεκομμένη γραμμή ("Google Maps", 2022).



Η περπατητική διαδρομή της Αρβανιτιάς είναι μια μοναδική παραθαλάσσια διαδρομή που ενώνει την πλαζ της Αρβανιτιάς με την παραλία της πόλης του Ναυπλίου. Αποτελεί μια συνήθη διαδρομή τόσο για τους μόνιμους κατοίκους της περιοχής, όσο και για τους τουρίστες.

Στο υπό μελέτη πρυνές έχουν συμβεί κατά καιρούς καταπτώσεις. Η μεγάλη επιδεκτικότητα της βραχομάζας σε πτώσεις βράχων σε συνδυασμό με το ύψος και την απότομη κλίση του πρυνού, καθιστούν το μονοπάτι εξαιρετικά επικίνδυνο. Ο κίνδυνος διαφέρει κατά μήκος της διαδρομής και εξαρτάται από τον τύπο της μετακίνησης αλλά και από την απόσταση του μονοπατιού από τα δυνητικά επισφαλή βραχοτεμάχια. Σε περιοχές στις οποίες το διατιθέμενο επίπεδο ασφάλειας δεν είναι αποδεκτό θα πρέπει να τοποθετηθούν κατάλληλα μέτρα αντιστήριξης λαμβάνοντας υπόψη ότι αυτά δεν θα αλλοιώσουν τον αρχαιολογικό και αισθητικό χαρακτήρα του τοπίου της Ακροναυπλίας.

## 1.2 Ιστορικό αστοχιών

Στην περπατητική διαδρομή της Αρβανιτιάς, έχουν σημειωθεί δύο σημαντικές αστοχίες μέσα σε χρονικό διάστημα ενός έτους. Η πρώτη σημειώθηκε τον Ιούνιο του 2018 και η δεύτερη τον Αύγουστο του 2019 (**Εικ.1.2**). Αξίζει να σημειωθεί, ένα κατολισθητικό γεγονός που σημειώθηκε στον περίπατο τον Ιανουάριο του 2010 (**Εικ.1.3**), συνέβη αργά το βράδυ, ευτυχώς χωρίς θύματα. Ο παράγοντας που αποτέλεσε το έναυσμα της εκδήλωσης της κατολίσθησης ήταν η έντονη βροχόπτωση. Για την αντιμετώπιση του κινδύνου από τις πτώσεις βράχων, ο Δήμος Ναυπλιέων αποφάσισε τότε να διερευνήσει τις επιτόπιες συνθήκες προκειμένου να προβεί στις απαραίτητες εργασίες αποκατάστασης. Στο πλαίσιο αυτού του έργου πραγματοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Γεωλογίας και Μεταλλευτικών Ερευνών της Ελλάδας (ΙΓΜΕ) μελέτη της ευστάθειας του πρυνού και εκτίμηση του κατολισθητικού κινδύνου, η οποία μελέτη ελήφθη υπόψη στη συγκεκριμένη εργασία (Κωνσταντοπούλου, Σπανού & Κοντογιάννη, 2010).



Εικόνα 1.2 Καταπτώσεις βραχωδών μαζών στο μονοπάτι της Αρβανιτιάς έπειτα από το γεγονός του Αυγούστου 2019 (Λέκκας κ.ά., 2022).



Εικόνα 1.3 Καταπτώσεις βραχωδών μαζών στο μονοπάτι της Αρβανιτιάς έπειτα από το γεγονός του Ιανουαρίου 2010 (Κωνσταντοπούλου κ.ά., 2010).

### 1.3 Μεθοδολογία εκπόνησης έρευνας- Διαθέσιμα στοιχεία

Για την επίτευξη των στόχων της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε μία σειρά από εργασίες:

- Αρχικά, έγινε η βιβλιογραφική αναζήτηση μελετών και εργασιών που αφορούν την περιοχή μελέτης καθώς και άλλων παρόμοιων περιπτώσεων σε άλλες περιοχές, έτσι ώστε να υπάρχει μία πρώτη εικόνα για τις μεθόδους ανάλυσης αντίστοιχων περιπτώσεων. Η μελέτη των γεωλογικών, τεκτονικών, υδρολογικών,

υδρογεωλογικών και σεισμικών συνθηκών που διέπουν την περιοχή μελέτης είναι εξαιρετικής σημασίας για τη διάκριση των επιμέρους παραγόντων καθώς και η μεταξύ τους σχέση, που οδηγεί στην πιθανή εμφάνιση του φαινομένου των κατολισθήσεων.

- Προσδιορίστηκαν τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχώμαζας και των ασυνεχειών.
- Αξιολογήθηκαν τα δεδομένα που έχουν προκύψει από τη χρήση των αυτόματων/ημιαυτόματων Συστημάτων μη επανδρωμένων Εναέριων Αεροσκαφών από την εφαρμοσμένη έρευνα των Λέκκας κ.ά.,2022.
- Πραγματοποιήθηκε η κινηματική ανάλυση για την διερεύνηση των μηχανισμών αστοχίας της ευστάθειας του πρανούς.
- Αναλύθηκαν οι περιπτώσεις αστοχίας των τμημάτων του πρανούς έναντι σφηνοειδούς και επίπεδης ολίσθησης με τη χρήση εξιδεικευμένων λογισμικών. Τα λογισμικά αυτά παρέχουν τη δυνατότητα προσθήκης μέτρων σταθεροποίησης του πρανούς, επομένως για κάθε τμήμα του πρανούς που κρίθηκε απαραίτητο έγιναν τέτοιου είδους προσομοιώσεις.
- Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις βραχοκαταπτώσεων σε ορισμένα τμήματα του πρανούς και προτάθηκαν προληπτικά μέτρα για τις αναμενόμενες καταπτώσεις.
- Τέλος δίνονται συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητα της διερεύνησης των μηχανισμών αστοχίας με βάση τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και προτείνονται τρόποι αντιμετώπισης των αστοχιών.

## 2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

---

### 2.1 Εισαγωγή

Οι κατολισθήσεις με την ευρύτερη έννοια της μετακίνησης που εκδηλώνεται σε φυσικά και τεχνητά πρηνή, συνιστούν μαζί με τους σεισμούς, τις εκρήξεις των ηφαιστείων, τις ανεξέλεγκτες πυρκαγιές και τις πλημμύρες, τις σπουδαιότερες Φυσικές Καταστροφές (Natural Disasters) και αποτελούν βασική αιτία απώλειας ανθρώπινων ζώων καθώς και περιουσιών με σημαντικές κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007).

### 2.2 Βασικές αρχές ανάλυσης ευστάθειας βραχωδών πρηνών

Οι αστάθειες των πρηνών είναι ένας από τους συχνούς γεωπεριβαλλοντικούς κινδύνους που εμφανίζονται κυρίως σε περιοχές με λοφοειδή τοπογραφία και απότομα πρηνή. Έτσι, έχει δοθεί μεγαλύτερη προσοχή εδώ για πολλά χρόνια στην εξέταση και επίλυση των προβλημάτων ευστάθειας πρηνών (Hudson and Harrison, 1997).

Οι εκτιμήσεις της ευστάθειας των βραχωδών πρηνών πραγματοποιούνται κυρίως με τη χρήση κινηματικών, αναλυτικών και αριθμητικών μεθόδων. Στην παρούσα έρευνα θα εξεταστούν μόνο οι κινηματικές και οι αναλυτικές μέθοδοι. Μπορεί γενικά να θεωρηθεί ότι ένα πρόβλημα ευστάθειας βραχώδους πρηνούς είναι ουσιαστικά μία διαδικασία ανάλυσης που χωρίζεται σε δύο σκέλη. Στο πρώτο, αναλύονται τα δομικά χαρακτηριστικά της βραχώμαζας με στόχο να προσδιοριστούν οι γεωμετρικά πιθανές μετακινήσεις των βραχοτεμαχών (π.χ. επίπεδη, σφηνοειδής ή ανατροπή) (Zevgoliz et.al 2018). Το δεύτερο βήμα αφορά τη σύγκριση των δυνάμεων αντίστασης και κίνησης κατά μήκος των επιφανειών των ασυνεχειών τη στιγμή της αστοχίας. Στη συνέχεια, υπολογίζεται ένας λόγος μεταξύ αυτών των δύο δυνάμεων (δηλαδή ο FS) με τη βοήθεια μίας ανάλυσης οριακής ισορροπίας. Πιο αναλυτικά, προς την κατεύθυνση αυτή έχουν αναπτυχθεί αρκετές τεχνικές και μέθοδοι υπολογισμών, οι οποίες γενικά παρουσιάζουν τα εξής κοινά χαρακτηριστικά:

1. Η διερεύνηση του πρηνούς έναντι αστοχίας εκτιμάται με τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας (*factor of safety*). Γενικά, ο συντελεστής ασφαλείας FS ορίζεται ως ο λόγος των δυνάμεων που αντιστέκονται στην ολίσθηση (ευστάθειας-παθητικές ή αντίστασης –  $P_{\text{ΠΑΘ}}$ ) προς τις δυνάμεις που τείνουν να την προκαλέσουν (ανατροπής ή ενεργητικές-  $P_{\text{ΕΝ}}$ ):

$$FS = \frac{P_{\text{ΠΑΘ}}}{P_{\text{ΕΝ}}}$$

Ο συντελεστής ασφαλείας πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσος με μία συμβατικά οριζόμενη ελάχιστη τιμή (Αποδεκτός Συντελεστής Ασφαλείας). Οι τιμές του Αποδεκτού Συντελεστή Ασφαλείας για την ευστάθεια πρανών είναι της τάξεως του 1.4-1.5 (FS=1.4 κατά DIN4084, FS=1.5 κατά USBR). Σύμφωνα με το ΦΕΚ 1221/30-11-98 περί «Ανάλυσης τιμών και λοιπών θεμάτων Γεωτεχνικών Ερευνών, Μελετών Γεωτεχνικών Έργων και Γεωτεχνικών Μελετών», οι τιμές των απαιτούμενων συντελεστών ασφαλείας που ορίζονται για εδαφικά πρανή εκσκαφών και επιχωμάτων δίνονται στον Πίνακα 2.1:

Πίνακας 2.1 Ενδεικτικές τιμές συντελεστών ασφαλείας (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).

<b>FS=1.4</b>	Για συνθήκες ομαλής φόρτισης και ομαλής λειτουργίας
<b>FS=1.3</b>	Για συνθήκες στατικής φόρτισης και πιθανή εκτιμώμενη ακραία περίπτωση ανύψωσης στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα για ζωή έργου 50 χρόνια
<b>FS=1.0</b>	Για την περίπτωση σεισμικής φόρτισης

2. Όλες οι επιμέρους μέθοδοι ανάλυσης δέχονται ένα συγκεκριμένο μηχανισμό αστοχίας ο οποίος συνήθως καθορίζεται από το σχήμα της επιφάνειας ολίσθησης.

3. Οι αναλύσεις δέχονται τη γενικότερη θεώρηση της πλαστικής ισορροπίας του εδαφικού υλικού και μελετάται η ισορροπία εδαφικής μάζας τη στιγμή που η εντατική κατάσταση αντιστοιχεί σε διατμητική αστοχία. Ισχύει έτσι το κριτήριο θραύσης Mohr-Coulomb και η διατμητική αντοχή του περιγράφεται από την αντίστοιχη γνωστή σχέση και τις αντίστοιχες παραμέτρους διατμητικής αντοχής ( $c$  και  $\phi$ ) (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).

### 2.3 Ονοματολογία και ταξινόμηση των κατολισθήσεων

Ο όρος κατολίσθηση (*landslide*) περιλαμβάνει την έννοια της ολίσθησης (*slide*), της πτώσης, της ανατροπής καθώς και της ροής. Πρόκειται για κίνηση μίας μάζας βράχου, εδάφους ή κορημάτων προς τα κατόντη ενός πρανού. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να λαμβάνει τόπο στην ξηρά (*land*) αλλά και μέσα σε λίμνες, ταμειυτήρες και θάλασσες. Κατά την κίνηση τους οι κατολισθαίνουσες μάζες είτε μετατοπίζονται σαν σύνολο είτε καταθρυμματίζονται (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007). Οι αποσπώμενες μάζες προέρχονται από τους ανώτερους ορίζοντες και έχουν δημιουργηθεί από προϊόντα αποσάθρωσης καθώς και υγιή πετρώματα του υποβάθρου. Συνήθως οι αποσπώμενες μάζες ολισθαίνουν πάνω σε μία επιφάνεια, η οποία ονομάζεται επιφάνεια ολίσθησης. Η ταχύτητα με την οποία μπορεί να κινείται μία κατολίσθηση μπορεί να κυμαίνεται από λίγα εκατοστά το έτος, έως και δεκάδες μέτρα το

δευτερόλεπτο. Η ποσότητα των μετακινούμενων υλικών επίσης μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ μερικών κυβικών μέτρων έως πολλών χιλιάδων κυβικών μέτρων.

Κατά διαστήματα έχουν προταθεί αρκετοί ορισμοί που περιγράφουν τον όρο “κατολίσθηση” αλλά και των διεργασιών που τον διέπουν. Ο πρώτος ορισμός δόθηκε από τον Terzaghi το 1950 και ορίζει την κατολίσθηση ως μια γρήγορη κίνηση πετρώματος, υπολειμματικού εδάφους (*residual*) ή ιζήματος ενός πρανούς, της οποίας το κέντρο βάρους μετακινείται προς τα κάτω και προς τα έξω.

Το 1969, οι Zaguba και Mencl ορίζουν την κατολίσθηση ως μια γρήγορη κίνηση πετρωμάτων που οφείλεται στην ολίσθηση ενός τμήματος πρανούς, το οποίο διαχωρίζεται από το υπόλοιπο σταθερό τμήμα με μια καλά καθορισμένη επιφάνεια. Έτσι, οι κατολισθήσεις κατηγοριοποιήθηκαν ανάλογα με το χαρακτήρα των πετρωμάτων και κυρίως τον τύπο της μετακίνησης. Διακρίνουν τέσσερις κύριες κατηγορίες μετακίνησης πρανών ανάλογα με τη σύσταση των μετακινούμενων υλικών. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι μετακινήσεις επιφανειακών αποθέσεων, μετακινήσεις στα αργιλικά εδάφη και πετρώματα, μετακινήσεις συμπαγών πετρωμάτων και ειδικοί τύποι μετακίνησης.

Το 1978 ο Varnes εισάγει τον όρο «μετακίνηση μαζών» αντί του όρου «κατολίσθηση», ο οποίος περιλαμβάνει κάθε μετακίνηση τμήματος πρανούς που οφείλεται σε ολίσθηση, κατάπτωση, ανατροπή, ροή και ερπυσμό. Σύμφωνα με αυτόν τον ορισμό στις κατολισθήσεις δεν περιλαμβάνονται τα φαινόμενα των καθιζήσεων, οι χιονοστιβάδες καθώς και οι μετακινήσεις πάγου.

### 2.3.1 Σύστημα ταξινόμησης Varnes

Ο Varnes πρότεινε ένα σύστημα ταξινόμησης όλων των μετακινήσεων που μπορούν να παρατηρηθούν σε πρανή, το οποίο βασίζεται σε δύο κύρια κριτήρια, τον τύπο μετακίνησης και το είδος του υλικού που μετακινείται. Η συγκεκριμένη ταξινόμηση είναι η πλέον αποδεκτή και χρησιμοποιείται διεθνώς για την περιγραφή των εδαφικών μετακινήσεων (Πίνακας 2.2, Εικ 2.1). Ανάλογα με τον τύπο της κίνησης διακρίνονται σε :

- **Καταπτώσεις (*falls*):** στις καταπτώσεις μία μάζα (κυρίως πετρώματος αλλά και συνεκτικού εδάφους) οποιουδήποτε μεγέθους, αποσπάται από ένα απότομο εδαφικό ή βραχώδες πρανές, κατά μήκος μίας επιφάνειας, χωρίς ή ελάχιστη διατμητική μετατόπιση και η πτώση γίνεται κυρίως ελεύθερα, με αναπήδηση ή κύλιση στην επιφάνεια του πρανούς. Η μετακίνηση είναι πολύ μέχρι εξαιρετικά γρήγορη και είναι δυνατό να έχουν προηγηθεί αυτής μικρότερες μετακινήσεις που οδήγησαν στον προοδευτικό αποχωρισμό της μετακινούμενης μάζας από το μητρικό πέτρωμα.

- **Ανατροπές (topplings)** : στις ανατροπές η κίνηση είναι μία προς τα έξω περιστροφή της αποσπώμενης μάζας από ένα βραχύδες κυρίως πρηνές, γύρω από σημείο ή άξονα περιστροφής που βρίσκεται χαμηλότερα από το κέντρο βάρους της μετακινούμενης μάζας. Προκαλείται κυρίως από τη βαρύτητα και από τις δυνάμεις που ασκούνται από τα γειτονικά τεμάχια ή από την επίδραση του νερού (υδροστατικές πιέσεις, παγετός) που γεμίζει τις ασυνέχειες και ρωγμές. Η ανατροπή της μάζας τις περισσότερες φορές εξελίσσεται σε πτώση ή ολίσθηση, ανάλογα με τη γεωμετρία του πρηνούς και της μετακινούμενης μάζας, καθώς και της επιφάνειας αποκόλλησης. Η ταχύτητα μπορεί να είναι εξαιρετικά αργή στα αρχικά στάδια και να μετατραπεί σε εξαιρετικά γρήγορη στα τελευταία στάδια.
- **Ολισθήσεις (slides)** : στις ολισθήσεις, η μετακίνηση προϋποθέτει κυρίως διατμητική παραμόρφωση και μετατόπιση-θραύση του υλικού κατά μήκος μίας ή περισσότερων επιφανειών, που μπορεί να είναι ορατές ή όχι και να εκδηλώνονται μέσα σε μία σχετικά στενή ζώνη. Η μετακίνηση μπορεί να είναι προοδευτική, δηλαδή η διατμητική θραύση να μη συμβαίνει ταυτόχρονα σε όλη την επιφάνεια που θα αποτελέσει τελικά την επιφάνεια θραύσης, αλλά να επεκτείνεται διαδοχικά πέρα από την αρχική περιοχή τοπικής θραύσης. Οι ολισθήσεις ανάλογα με τη μορφή της επιφάνειας ολίσθησης καθώς και το μηχανισμό μετακίνησης διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες :
  - α) Περιστροφικές ολισθήσεις: οι οποίες πραγματοποιούνται συνήθως κατά μήκος κοίλων προς τα πάνω επιφανειών με μικρή παραμόρφωση στο εσωτερικό της μετακινούμενης μάζας, το ανώτερο τμήμα της μετακινούμενης μάζας κινείται σχεδόν κατακόρυφα προς τα κάτω με μία μικρή κάμψη προς τα πίσω, λόγω της περιστροφικής κίνησης, ενώ στη βάση της μετακινούμενης μάζας παρατηρείται ανύψωση.
  - β) Μεταθετικές ολισθήσεις: κατά τις οποίες η μάζα που αποσπάται από το πρηνές μετακινείται προς τα έξω ή προς τα κάτω και έξω, κατά μήκος μίας κατά προσέγγιση επίπεδης ή ομαλής-κυματοειδούς επιφάνειας, με πολύ μικρή ή καθόλου περιστροφική κίνηση ή κάμψη.
- **Πλευρικές εξαπλώσεις (lateral spreads)** : στις πλευρικές εξαπλώσεις η κίνηση που επικρατεί είναι η πλευρική διάσταση του υλικού που διευκολύνεται από διατμητικές ή εφελκυστικές ρωγμές.
- **Ροές (flows)** : οι ροές, υγρές ή ξηρές, γρήγορες ή αργές εκδηλώνονται κυρίως σε χαλαρά υλικά. Αντίθετα, στο βραχύδες υπόβαθρο, οι αντίστοιχες μετακινήσεις περιλαμβάνουν τις πολύ αργές παραμορφώσεις που κατανέμονται ανάμεσα σε πολλές, κοντινές ρωγμές-

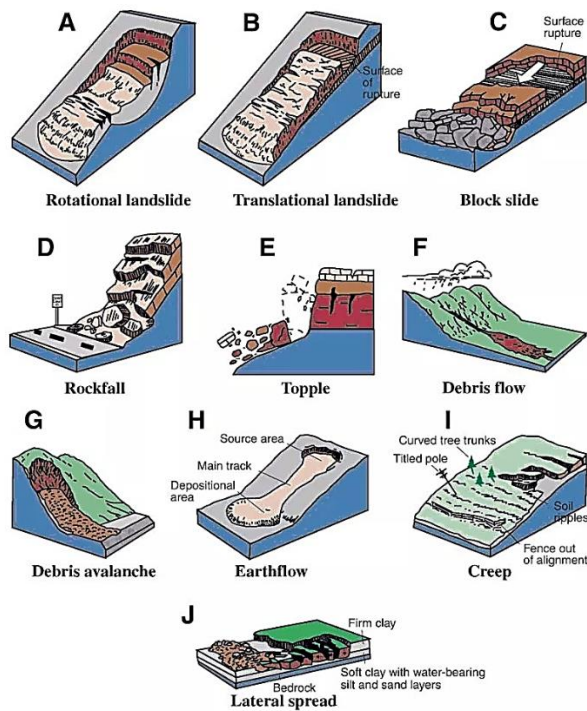
διακλάσεις, καθώς και εκείνες που παρατηρούνται μέσα στη μάζα του πετρώματος και προέρχονται από κάμψη, πτύχωση ή διόγκωση.

- **Σύνθετες μετακινήσεις πρανών** (*composite slides*): σαν σύνθετες ολισθήσεις ταξινομούνται αυτές στις οποίες διαφορετικού τύπου μετακινήσεις γίνονται σε διαφορετικές περιοχές της ολισθαίνουσας μάζας, μερικές φορές ταυτόχρονα (Gruden and Varnes ,1996).

Πίνακας 2.2 Ταξινόμηση μετακίνησης πρανών κατά VARNES, 1978.

Τύπος κίνησης	Τύπος μετακινούμενου υλικού			
	Βραχώδες υποβάθρο		Μηχανικά εδάφη	
			Χονδρόκοκκα	Λεπτόκοκκα
<b>Κατάπτωση</b>	Κατάπτωση βράχων		Κατάπτωση κορημάτων	Κατάπτωση γαιών
<b>Ανατροπή</b>	Ανατροπή βράχων		Ανατροπή κορημάτων	Ανατροπή γαιών
<b>Ολίσθηση</b>	Περιστροφική	Περιστροφική ολίσθηση βραχώδους υποβάθρου	Περιστροφική ολίσθηση κορημάτων	Περιστροφική ολίσθηση γαιών
	Μεταθετική	Μεταθετική ολίσθηση βραχώδους υποβάθρου	Μεταθετική ολίσθηση κορημάτων	Μεταθετική ολίσθηση γαιών
<b>Πλευρικής εξάπλωση</b>	Πλευρική εξάπλωση βραχώδους υποβάθρου		Πλευρική εξάπλωση κορημάτων	Πλευρική εξάπλωση γαιών
<b>Ροή</b>	Ροή βραχώδους υποβάθρου (ερπυσμός)		Ροή κορημάτων	Ροή γαιών
			Ερπυσμός εδάφους	
<b>Σύνθετη</b>	Συνδυασμός δύο ή περισσότερων τύπων			





Εικόνα 2.1 Παραδείγματα διαφορετικών τύπων μετακινήσεων. Α) Περιστροφική ολίσθηση, Β) Μεταθετική ολίσθηση εδαφικού σχηματισμού, Γ) Μεταθετική ολίσθηση βραχώδους σχηματισμού, Δ) Καταπτώσεις, Ε) Ανατροπές, ΣΤ) Ροή κορημάτων, Ζ) «Χιονοστιβάδα κορημάτων», Η) Ροή γαιών, Θ) Ερπυσμός, Ι) Πλευρική εξάπλωση (Wieczorek, G.F., and Snyder, J.B., 2009).

## 2.4 Αίτια πρόκλησης κατολισθήσεων

Τα αίτια αυτά διαταράσσουν τις συνθήκες ισορροπίας του πρανούς και συνήθως είναι περισσότερα του ενός. Καθώς το πρανές μεταβαίνει από τη σταθερή κατάσταση στην οριακά σταθερή και εν συνεχεία στην ασταθή, τα αίτια διακρίνονται στα προπαρασκευαστικά (*preparatory causal factors*) και στα αίτια που αποτελούν το έναυσμα της κίνησης (*triggering factors*). Τα προπαρασκευαστικά αίτια είναι αυτά που δρουν πριν την εκδήλωση της κατολίσθησης και μπορούν δυνητικά να προκαλέσουν αστοχία. Τα αίτια εναύσματος δρουν αμέσως πριν ή κατά τη διάρκεια της κατολίσθησης και προκαλούν την αστοχία ακαριαία ή σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα μετά τη δράση τους. Αστοχία συμβαίνει όταν η διατμητική τάση κατά μήκος της ολισθαίνουσας επιφάνειας γίνεται ίση με τη διατμητική αντοχή του εδάφους (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007).

Η ομάδα εργασίας της UNESCO που ασχολήθηκε με την καταγραφή των παραγόντων που προκαλούν κατολισθήσεις (Reporting Landslide Causes, WP/WLI, 1994) πρότεινε μία γενικότερη ταξινόμηση των αιτίων εκδήλωσης του (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007). Η προτεινόμενη ταξινόμηση φαίνεται στον Πίνακα 2.3.

**Πίνακας 2.3 Οι πλέον σημαντικοί παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων WP/WLI 1994 (Κούκης και Σαμπατακάκης 2007).**

Α. ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	
1	Πλαστικό χαμηλής αντοχής υλικό
2	Ευαίσθητο υλικό
3	Υλικό επιρρεπές σε θραύση
4	Αποσαθρωμένο υλικό
5	Διατμημένο υλικό
6	Ρωγματωμένο ή διακλασμένο υλικό
7	Βραχόμαζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών (στρώση, σχιστότητα, διακλάσεις)
8	Βραχόμαζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών (ρήγματα, επιφάνειες επαφής, ασυμφωνίες)
9	Διαφοροποιήσεις στην υδροπερατότητα
10	Διαφοροποιήσεις στη δυσκαμψία (στιφρό ή πυκνό υλικό υπερκείμενο πλαστικού υλικού)
Β. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	
1	Τεκτονική ανύψωση
2	Ανύψωση λόγω ηφαιστείων
3	Επίδραση παγετώνων
4	Ποτάμια διάβρωση της βάσης του πρανούς
5	Θαλάσσια διάβρωση της βάσης του πρανούς
6	Διάβρωση της βάσης του πρανούς από παγετώνα
7	Διάβρωση των πλευρών του πρανούς
8	Εσωτερική διάβρωση
9	Φόρτιση από φυσική απόθεση υλικών στη στέψη του πρανούς
10	Απομάκρυνση φυτοκάλυψης (από πυρκαγιά, διάβρωση κ.λπ.)
Γ. ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	
1	Έντονη μικρής διάρκειας βροχόπτωση
2	Γρήγορο λιώσιμο χιονιού
3	Παρατεταμένη υψηλή βροχόπτωση
4	Γρήγορη πτώση στάθμης νερού από πλημμύρες, παλίρροιες ή διάρρηξη φυσικών φραγμάτων
5	Σεισμοί
6	Εκρήξεις ηφαιστείων
7	Διάρρηξη λιμνών σε κρατήρες ηφαιστείων
8	Λιώσιμο παγωμένου εδάφους
9	Αποσάθρωση λόγω παγετού
10	Αποσάθρωση από διόγκωση και συρρίκνωση εδαφών
Δ. ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	
1	Εκσκαφές στη βάση (πόδι) του πρανούς
2	Φόρτιση στο μέτωπο ή πάνω από τη στέψη του πρανούς
3	Υποβιβασμός της στάθμης σε ταμειυτήρες
4	Άρδευση
5	Κακή συντήρηση αποστραγγιστικών έργων
6	Διαρροή νερών από τεχνικά έργα
7	Αποψίλωση
8	Λατομεία και μεταλλεία
9	Δημιουργία χωματερών
10	Τεχνητές δονήσεις (κυκλοφορία οχημάτων, λειτουργία μηχανών, τοποθέτηση πασσάλων κ.λπ.)

## 2.5 Ενεργότητα κατολισθήσεων

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες στην έρευνα και μελέτη των κατολισθήσεων είναι ο προσδιορισμός της ενεργότητάς τους. Σύμφωνα με την Ομάδα Εργασίας της UNESCO (WP/WLI,1993) προτείνονται οι παρακάτω παράμετροι για τον προσδιορισμό της ενεργότητας των κατολισθήσεων:

*A. Το καθεστώς ενεργότητας, που αναφέρεται στο χρονικό των μετακινήσεων.*

- **Ενεργές** χαρακτηρίζονται οι κατολισθήσεις που παρουσιάζουν πρόσφατες μετακινήσεις, δηλαδή οι μορφολογικοί τους χαρακτήρες αναγνωρίζονται εύκολα και δεν έχουν αλλοιωθεί σημαντικά από τις διεργασίες της επιφανειακής αποσάθρωσης και διάβρωσης. Από τις κατολισθήσεις αυτές, άλλες εκδηλώνονται για πρώτη φορά και άλλες επανενεργοποιούνται μετά από ένα χρονικό διάστημα κατά το οποίο είχαν σταθεροποιηθεί (επανεργοποιημένες). Οι τελευταίες μετακινούνται πάνω σε προυπάρχουσες επιφάνειες ολίσθησης των οποίων η διατμητική αντοχή πλησιάζει την παραμένουσα. Τέλος, παροδικά ενεργές ή υπό αναστολή ονομάζονται κατολισθήσεις που μετακινήθηκαν τον τελευταίο εποχικό κύκλο και οι οποίες κατά την παρούσα περίοδο δεν μετακινούνται.
- **Ανενεργές** ονομάζονται οι κατολισθήσεις που παραμένουν σταθερές για περισσότερο του ενός έτους. Επίσης, οι κατολισθήσεις μπορούν να βρίσκονται σε λανθάνουσα κατάσταση όταν τα αίτια που συντελούν στην εκδήλωσή τους παραμένουν, και όταν τα αίτια έχουν εκλείψει τότε οι κατολισθήσεις ονομάζονται μη ενεργοποιήσιμη. Ανενεργή κατολισθήση στην οποία έχουν ληφθεί μέτρα προστασίας και σταθεροποίησης. θεωρείται σταθεροποιημένη.
- **Απολιθωμένες** κατολισθήσεις ονομάζονται αυτές που έχουν αφήσει τα ίχνη τους στα πρανή αλλά δεν έχουν επαναενεργοποιηθεί για πολλά χρόνια.

*B. Την κατανομή της ενεργότητας, με την οποία περιγράφεται ποια τμήματα της κατολίσθησης μετακινούνται.*

- **Πρωθημένη** κατολίσθηση υπάρχει στην περίπτωση που παρατηρείται περαιτέρω επέκταση μίας κατολίσθησης προς τα κατόντη.
- **Ανάδρομη** κατολίσθηση υπάρχει στην περίπτωση που η ολίσθηση επεκτείνεται προς τα ανάντη.
- **Διευρυνόμενη** είναι η κατολίσθηση στην οποία η επέκταση γίνεται σε μία ή και στις δύο πλευρές της κατολίσθησης.

*Γ. Τον τύπο της ενεργότητας, με τον οποίο καθορίζεται ο τρόπος που εκδηλώνονται οι διαφορετικές μετακινήσεις μέσα στην ίδια τη μάζα της κατολίσθησης.*

- **Σύνθετες** κατολισθήσεις (Varnes,1978) είναι αυτές που εκδηλώνονται με τουλάχιστον δύο διαφορετικούς τύπους μετακίνησης.
- **Πολλαπλή** είναι η κατολίσθηση που εμφανίζει επαναλαμβανόμενες κινήσεις του ίδιου τύπου με επέκταση της επιφάνειας θραύσης
- **Απλή** είναι η κατολίσθηση που εκδηλώνεται πάντα με έναν τύπο μετακίνησης, χωρίς η μάζα που ολισθαίνει να διαχωρίζεται σε διάφορα μέρη κινούμενα μερικώς ή ανεξάρτητα μεταξύ τους.

### 3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η μετακίνηση ενός πρανούς σπάνια οφείλεται σε ένα μοναδικό αίτιο. Έτσι η περιοχή μίας πιθανής εκδήλωσης κατολισθήσης πρέπει να αναλύεται, ώστε να είναι δυνατή η αναγνώριση και η διάκριση των επιμέρους παραγόντων (Πίνακας 3.1) καθώς και η μεταξύ τους σχέση, που οδηγεί στην πιθανή ή δυνατή εμφάνιση του φαινομένου (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007). Συνέπεια των παραπάνω λόγων είναι η ταξινόμηση των παραγόντων σε κατηγορίες χαρακτηριστικών που μπορούν να χαρτογραφηθούν ή να μετρηθούν ή να ποσοτικοποιηθούν.

Πίνακας 3.1 Βασικές ομάδες χαρακτηριστικών για την αξιολόγηση περιοχών ως προς τη δυνατότητα εκδήλωσης κατολισθήσεων (Rib & Liang, 1978).

<b>ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ</b>	<b>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</b>	<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ</b>
<i>Γεωμορφολογικοί</i>	Τοπίο	Γεωμορφολογική εξέλιξη
<i>Γεωλογικοί</i>	Σύσταση	Λιθολογία, στρωματογραφία, προϊόντα αποσάθρωσης
	Δομή	Ρήγματα, χαρακτηριστικά ασυνεχειών
<i>Περιβαλλοντικοί</i>	Κλίμα και υδρογεωλογία	Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, απορροή, υδρορεύματα, διάβρωση από υδρορεύματα ή κύματα, ροή υπογείου νερού, δράση παγετού.
	Καταστροφές	Σεισμοί, ηφαιστειακές εκρήξεις, πλημμύρες
<i>Ανθρώπινοι</i>	Ανθρώπινη δράση	Οικιστική ανάπτυξη, τεχνικά έργα, υπερφόρτιση, κραδασμοί, αποψίλωση
<i>Χρονικοί</i>	Αναφέρονται στο χρονικό πλαίσιο επίδρασης όλων των παραπάνω	

#### 3.1 Τεκτονική εξέλιξη ευρύτερης περιοχής

Γενικά, οι βραχοπτώσεις εκδηλώνονται έπειτα από βροχοπτώσεις, σεισμούς και τη νεοτεκτονική δραστηριότητα (Marzorati et al. 2002; Dorren 2003; Keskin 2013). Η ευρύτερη περιοχή του Ναυπλίου δεν παρουσιάζει έντονη σεισμική δραστηριότητα, χαρακτηρίζεται όμως από την ύπαρξη ενεργών και δυνητικά ενεργών ρηγμάτων (Georgiou & Galanakis, 2010). Τα ρήγματα αυτά εντοπίζονται κυρίως στα όρια των λεκανών. Ορισμένα ρήγματα είναι δυνητικά ενεργά και έχουν ενεργοποιηθεί στο Πλειόκαινο-Πλειστόκαινο κάτω από ένα πεδίο τάσεων με κατεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, ενώ κάποια άλλα ρήγματα έχουν ενεργοποιηθεί κατά το Τεταρτογενές κάτω από ένα πεδίο τάσεων με κατεύθυνση ΒΔ-ΝΑ (Georgiou & Galanakis, 2010).

Οι Ελληνικές οροσειρές (ή απλά Ελληνίδες) αποτελούνται από ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης, παράλληλες γεωτεκτονικές ζώνες ή "ισοπικές ζώνες" (Aubouin 1959). Η Πελαγονική ζώνη

αποτελεί το όριο μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών Ελληνίδων. Η ζώνη αυτή, στην οποία ανήκει και η χερσόνησος της Αργολίδας, συγκροτείται, από το μεταμορφωμένο Παλαιοζωικό υπόβαθρο, πάνω στο οποίο βρίσκεται ένα κάλυμμα από Περμοτριάδικές μετακλαστικές ακολουθίες και τα ανθρακικά, καλύμματα Τριαδικού - Ιουρασικού (Fotiadis, 2008, Gaitanakis P. & Photiades, 1992, Photiades & Skourtsis – Coroneou, 1994a). Επάνω στα Τριαδικοϊουρασικά ανθρακικά καλύμματα βρίσκονται επωθημένοι οφιόλιθοι καθώς επίσης και έχουν σχηματίσει χαρακτηριστικά τεκτονικά οφιολιθικά μίγματα (*melanges*) (Aubouin et al. 1970, Jacobshagen 1986). Τέλος τοποθετούνται τα επικλυσιογενή ιζήματα Μέσου - Άνω Κρητιδικού είτε με ασυμφωνία πάνω στα προϋπάρχοντα ανθρακικά πετρώματα των Τριαδικοϊουρασικών καλυμμάτων είτε με επικλυσιογενή ασυμφωνία πάνω στους οφιόλιθους.

Η κύρια ορογενετική φάση του ελλαδικού χώρου εκτυλίχθηκε στα τέλη του Μεσοζωικού-Ηωκαίνου (Jacobshagen 1986, Bortolotti et al 2003), όταν πραγματοποιήθηκε η σύγκρουση των μικροπλακών με την κίνηση προς το Βορρά. Η τελική ορογενετική φάση ολοκληρώθηκε στο Ολιγόκαινο και ακολουθήθηκε από γεωδυναμικές μετατοπίσεις κάτω από ένα επεκτατικό πεδίο τάσεων στο Νεογενές, με αποτέλεσμα τη δημιουργία πολλών νεοτεκτονικών λεκανών.

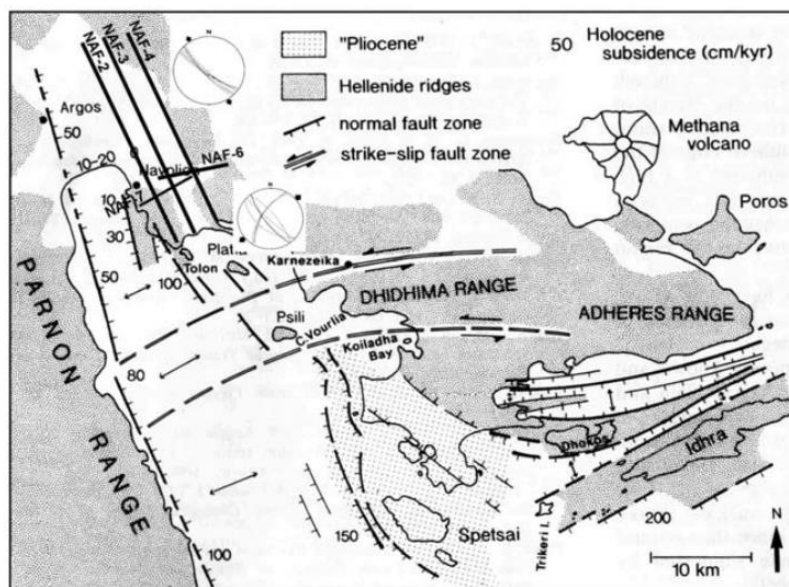
Τρεις κύριες Αλπικές τεκτονικές φάσεις έχουν επηρεάσει την περιοχή της Αργολίδας και παρουσιάζουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- **1<sup>η</sup> φάση Συμπίεσης:** το ανώτερο Τιθώνιο χαρακτηρίζεται από πολυπτυχωμένους άξονες διεύθυνσης Β-Ν και επωθήσεις της ίδιας διεύθυνσης.
- **2<sup>η</sup> φάση Επέκτασης:** Η διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ είχε επηρεάσει, τις Β-Ν τεκτονικές δομές. Προκάλεσε διακοπή της ιζηματογένεσης από τα ΒΔ και οδήγησε στην απόθεση αυτόχθονων ασβεστόλιθων ηλικίας Άλβιου, τους οποίους ακολούθησε ο σχηματισμός φλύσχης, ηλικίας Υπρέσιου.
- **3<sup>η</sup> φάση Συμπίεσης:** Αυτή η συμπίεστική φάση επαναδραστηριοποίησε παλιές τεκτονικές δομές διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ, προκάλεσε ζώνες διάτμησης και τη συμπίεστική κίνηση προς τα ΒΔ.

Δύο νεότερες φάσεις επέκτασης που ακολούθησαν, από το Μειόκαινο-Πλειόκαινο μέχρι το ανώτερο Τεταρτογενές, επηρέασαν τις προγενέστερες γεωλογικές δομές και διαμόρφωσαν τη χερσόνησο της Αργολίδας.

Ο Αργολικός Κόλπος είναι μία από τις νεοτεκτονικές τάφρους της ανατολικής Πελοποννήσου, η οποία εκτείνεται νότια της περιοχής του Ναυπλίου (**Εικ.3.1**), με μέγιστο βάθος 700 m και

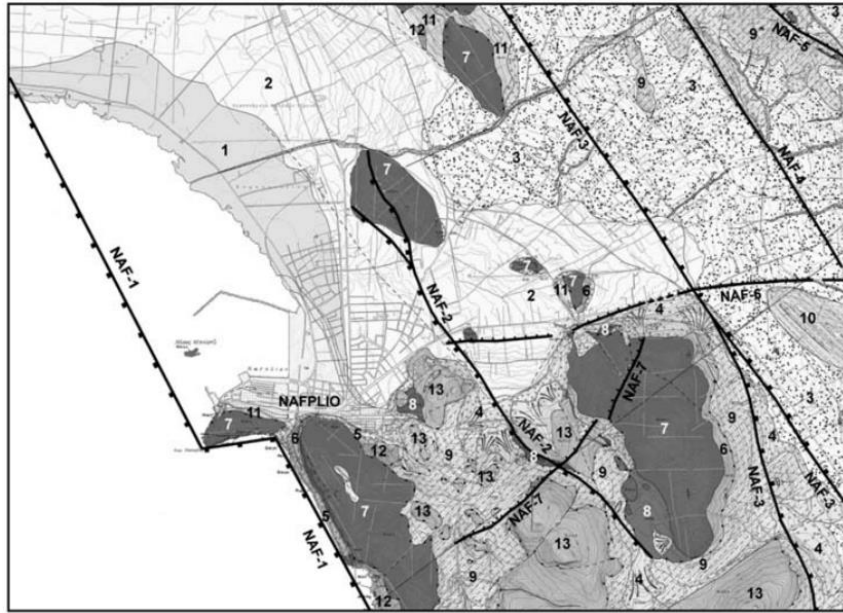
συνδέεται επίσης με το Αιγαίο Πέλαγος. Η δυτική ακτή του Αργολικού κόλπου οροθετείται από μια οροσειρά, η οποία διακόπτεται τοπικά από αλλουβιακά ριπίδια, στις θέσεις των οποίων τα μέγιστα βάθη της θάλασσας μειώνονται απότομα.



Εικόνα 3.1 Νεοτεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης και ο ρυθμός υποβύθισης σε διάφορα σημεία του Αργολικού κόλπου (Van Andel et al 1993). Ο χάρτης αυτός έχει τροποποιηθεί με νέα τεκτονικά δεδομένα από την περιοχή του Ναυπλίου τα οποία συνδέονται με υποθαλάσσια δεδομένα (Georgiou & Galanakis D,2010).

Στο βόρειο Αργολικό Κόλπο ένα τεκτονικό κέρας μήκους 8-10 χιλιομέτρων χαρακτηρίζει τη δημιουργία μιας σφήνας ιζημάτων πλειο-πλειστοκαινικής ηλικίας, που οφείλεται σε ποτάμιες αποθέσεις και το κέρας αυτό οροθετείται από την παρουσία νεοτεκτονικών ρηγμάτων (Van Andel et al 1993).

Σύμφωνα με τους Γεωργίου και Γαλανάκη (2010) , αναγνωρίστηκαν, χαρτογραφήθηκαν και μετρήθηκαν επτά νεοτεκτονικά ρήγματα κοντά στην πόλη του Ναυπλίου. Τα ρήγματα που περιγράφονται παρακάτω, είναι κανονικά και έχουν ενεργοποιηθεί κάτω από ένα εφελκυστικό πεδίο τάσεων (*extensional stress field*) , που επικράτησε κατά τη διάρκεια της δημιουργίας του Αργολικού κόλπου, ή σε μεταγενέστερο στάδιο κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς-Ολόκαινου και χαρακτηρίζονται ως ενεργά ή δυνητικά ενεργά.



Εικόνα 3.2 Γεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής Ναυπλίου και απεικόνιση των κανονικών ρηγμάτων που διατρέχουν την περιοχή (Georgiou & Galanakis, 2010).

Υπόμνημα: Μεταλλικές αποθέσεις: 1)ελώδεις αποθέσεις, 2)αλλουβιακές αποθέσεις, 3)ποταμοχειμάρια αποθέσεις 4) πλευρικά κορρήματα και κώνιοι κορρημάτων, Πλειστόκαινο: 5)συνεκτικά πλευρικά κορρήματα, Αλπικές αποθέσεις (Πελαγονική Ζώνη) 6) ασβεστόλιθοι (Αν. Κρητιδικό), 7) Ασβεστόλιθοι (Κατ.-Αν. Κρητιδικό), 8)τεκτονικό μελάνζ (Ιουρασικό), 9)τεκτονικό κάλυμμα φλυσχοειδή μελάνζ (Αν. Κρητιδικό - Ηώκαινο), 10)φλύσσης, 11)ασβεστόλιθος με πυριτόλιθο (Αν. Κρητιδικό- Παλαιόκαινο), 12) Κροκαλοπαγή και λατυποπαγή (Κρητιδικό), 13) Ασβεστόλιθοι και Δολομίτες (Τριαδικό- Κατ. Ιουρασικό).

**NAF-1:** το ρήγμα NAF-1 είναι ένα κανονικό ρήγμα με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ και κλίση  $75^{\circ} - 80^{\circ}$  Δ. Η κύρια επιφανειακή εμφάνιση αυτού του ρήγματος εντοπίζεται στην υποθαλάσσια περιοχή δυτικά του Ναυπλίου. Το ρήγμα αυτό έχει επηρεάσει επίσης τα πρώιμα τυρρηνικά ιζήματα, τα οποία βρίσκονται έως και 10 μέτρα πάνω από το σημερινό επίπεδο της θάλασσας. Μέσα σε αυτά τα ιζήματα, υπάρχει χαρακτηριστική θαλάσσια πανίδα με *Strombus Bobonius* (Zötl et al 1999) η οποία χαρακτηρίζει την Τυρρηνική ηλικία. Η ανύψωση αυτή εμφανίζεται με σαφήνεια κατά μήκος του περιπάτου της Αρβανιτιάς.

Τα τεκτονικά και στρωματογραφικά δεδομένα αποδεικνύουν ότι το ρήγμα NAF-1 είναι ένα ενεργό ρήγμα με μήκος που υπερβαίνει τα 15 χιλιόμετρα. Η αναμενόμενη ανύψωση, σε περίπτωση μελλοντικής σεισμικής δραστηριότητας αυτού του ρήγματος, μπορεί να φθάσει τα 40 cm (Bonilla et al 1984, Wells & Coppersmith 1994, Ambraseys & Jackson 1990).

**NAF-2:** το ρήγμα NAF-2 είναι ένα κανονικό ρήγμα με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ και κλίση  $80^{\circ}$  προς τα δυτικά. Το ρήγμα αυτό έχει επηρεάσει το αλπικό υπόβαθρο και τις τεταρτογενείς αποθέσεις. Με βάση τη νεοτεκτονική μελέτη της ευρύτερης περιοχής μπορεί να ειπωθεί ότι



το ρήγμα NAF-2 είναι ενεργό ρήγμα με μήκος που υπερβαίνει τα 4,5 χιλιόμετρα. Η αναμενόμενη ανύψωση σε περίπτωση σεισμικής δραστηριότητας του ρήγματος αυτού, μπορεί να υπερβεί τα 15 cm. (Wells & Coppersmith 1994, Ambraseys & Jackson 1990, Pavlides et al 2000).

**NAF-3:** το ρήγμα NAF-3 είναι ένα κανονικό ρήγμα με διεύθυνση BBD-NNA και κλίση προς την Ανατολή. Το ρήγμα αυτό έχει επηρεάσει τις νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις της περιοχής. Η τεκτονική μελέτη της ευρύτερης περιοχής δείχνει ότι το ρήγμα NAF-3, είναι ενεργό με μήκος που υπερβαίνει τα 21 χιλιόμετρα. Η αναμενόμενη επιφανειακή μετατόπιση σε μια μελλοντική σεισμική δραστηριότητα του ρήγματος αυτού μπορεί να ξεπεράσει τα 48 cm (Wells & Coppersmith 1994, Ambraseys & Jackson 1998, Pavlides et al 2000).

**NAF-4:** το ρήγμα NAF-4 είναι επίσης ένα κανονικό ρήγμα με διεύθυνση BBD-NNA και κλίση προς τη Δύση. Το ρήγμα αυτό επηρέασε τις νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις της περιοχής. Η τεκτονική μελέτη της ευρύτερης περιοχής δείχνει, ότι το ρήγμα NAF-4 είναι δυνητικά ενεργό, με μήκος που υπερβαίνει τα 21 χιλιόμετρα. Η αναμενόμενη μετατόπιση σε περίπτωση σεισμικής δραστηριότητας του ρήγματος αυτού, μπορεί να υπερβεί τα 48 cm (Georgiou & Galanakis ,2010).

**NAF-5:** το ρήγμα αυτό είναι κανονικό με διεύθυνση BBD-NNA και κλίση προς την Ανατολή. Το ρήγμα αυτό επηρέασε τις νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις της περιοχής. Η νεοτεκτονική μελέτη της ευρύτερης περιοχής δείχνει ότι πρόκειται για ένα δυνητικά ενεργό ρήγμα με μήκος που υπερβαίνει τα 15 χιλιόμετρα. Η αναμενόμενη μετατόπιση κατά τη διάρκεια της σεισμικής δραστηριότητας μπορεί να υπερβεί τα 41 cm (Georgiou & Galanakis ,2010).

**NAF-6:** το ρήγμα αυτό είναι κανονικό με διεύθυνση A-Δ και κλίση προς το Βορρά. Το ρήγμα αυτό επηρέασε το αλπικό υπόβαθρο και τα νεογενή ιζήματα της περιοχής. Η τεκτονική μελέτη της ευρύτερης περιοχής δείχνει ότι το ρήγμα NAF-6 είναι δυνητικά ενεργό με μήκος που υπερβαίνει τα 5,6 χιλιόμετρα. Η αναμενόμενη μετατόπιση σε περίπτωση σεισμικής δραστηριότητας , μπορεί να ξεπεράσει τα 16 cm (Wells & Coppersmith 1994, Ambraseys & Jackson 1990).

**NAF-7:** το ρήγμα αυτό είναι ένα κανονικό ρήγμα με διεύθυνση ABA-ΔΒΔ και κλίση προς το Βορρά. Το ρήγμα αυτό έχει επηρεάσει το αλπικό υπόβαθρο και τα νεογενή ιζήματα. Με βάση την τεκτονική μελέτη της ευρύτερης περιοχής μελέτης, προκύπτει ότι το ρήγμα NAF-7 είναι δυνητικά ενεργό με μήκος που ξεπερνά τα 2,6 χιλιόμετρα. Η αναμενόμενη μετατόπιση, σε

περίπτωση σεισμικής δραστηριότητας, μπορεί να ξεπεράσει τα 10 cm (Georgiou & Galanakis ,2010).

### 3.2 Γεωλογία ευρύτερης περιοχής

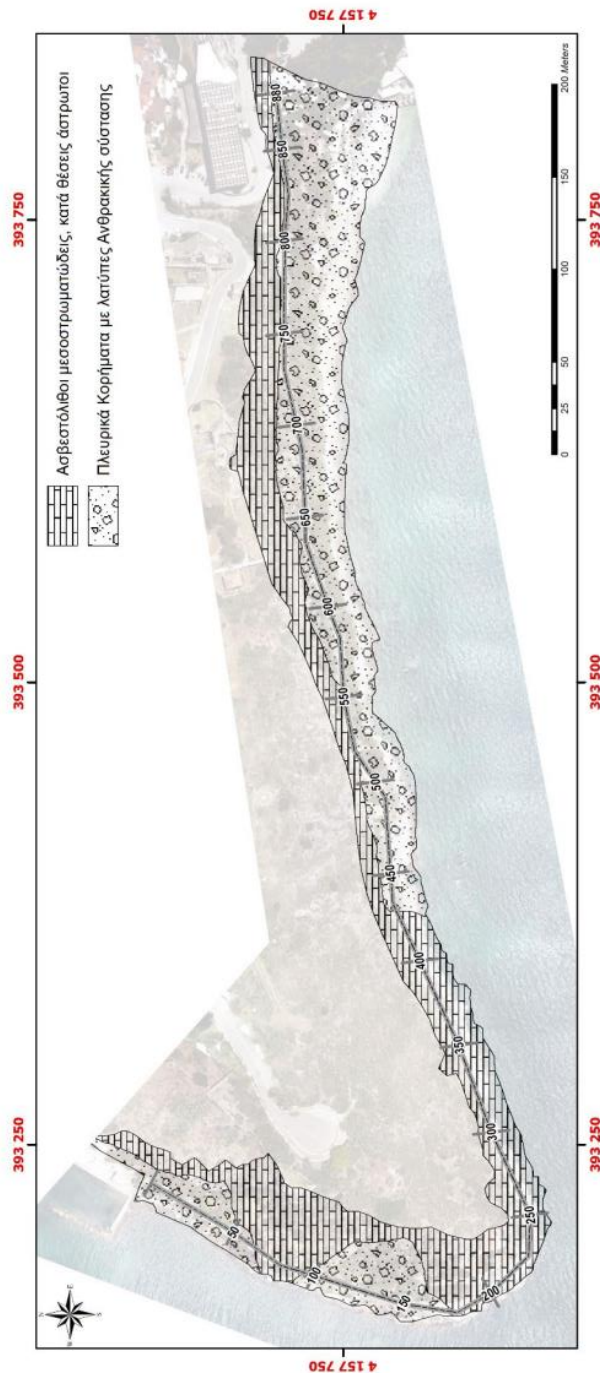
Η γεωλογική δομή σύμφωνα με τον Γεωλογικό χάρτη της Ελλάδας του ΙΓΜΕ σε κλίμακα 1:50.000 (φύλλο ΝΑΥΠΛΙΟΝ, των Τάταρης κ.ά.) στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, από τους παλαιότερους προς τους νεότερους σχηματισμούς είναι:

- **Ασβεστόλιθοι Μέσω Τριαδικού:** Εμφανίζονται νότια του Παλαμηδίου και ανατολικά της πόλης του Ναυπλίου. Πρόκειται για μια ομάδα ανθρακικών πετρωμάτων στην οποία τα κατώτερα στρώματα αποτελούνται συνήθως από κοκκινωπούς, σκληρούς ασβεστόλιθους με κερατόλιθους και λεπτές ενστρώσεις μαργών, ακολουθούνται από λευκοκίτρινους πλακώδεις ασβεστόλιθους με κερατόλιθους.
- **Ασβεστόλιθοι Κατώτερου Κρητιδικού:** Είναι καλά στρωμένοι, συμπαγείς, συνήθως γκρίζοι, και κατά τόπους με ενστρώσεις μαργών. Εμφανίζονται στις περιοχές Παλαμήδι, Ακροναυπλία, Εξοχή και Προφήτης Ηλίας.
- **Ασβεστόλιθοι Ανώτερου Κρητιδικού:** Αποτελούνται από λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους λευκού-ροζ χρώματος, κατά τόπους με ενστρώσεις και κονδύλους κερατόλιθων.
- **Τυπικός φλύσχης Μαιστρίχτιου:** Επικρατεί στα ανατολικά και νοτιοανατολικά της πόλης του Ναυπλίου και αποτελείται από ασβεστιτικούς σχιστόλιθους, αμμώδεις μάργες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή με ενστρώσεις κροκαλοπαγών ασβεστόλιθων. Στα κατώτερα στρώματα και προς τα μεταβατικά ιζήματα προς τους υποκείμενους ασβεστόλιθους εμφανίζονται σερπεντινίτες.
- **Τεταρτογενείς αποθέσεις:** Εμφανίζονται κυρίως στην πεδινή περιοχή, η οποία εκτείνεται βόρεια της πόλης του Ναυπλίου. Αποτελούνται από λεπτόκοκκα έως χονδρόκοκκα χαλαρά υλικά παραθαλάσσιας και χερσαίας προέλευσης.

### 3.3 Γεωλογικές συνθήκες στενής περιοχής μελέτης

Οι Λέκκας κ.ά. (2022) κατασκεύασαν λεπτομερή γεωλογικό χάρτη (Εικ.3.3) για τη στενή περιοχή μελέτης με τη βοήθεια ορθο-φωτο-μωσαϊκού. Από την έρευνα τους προέκυψε ότι ο κύριος όγκος της χερσονήσου της Ακροναυπλίας αποτελείται από τεφρούς- λευκότεφρους, παχυστρωματώδεις έως άστρωτους ασβεστόλιθους του Ανώτερου Ιουρασικού- Κατώτερου Κρητιδικού. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί παρουσιάζουν υποτυπώδεις επιφάνειες στρώσης που εμφανίζονται μόνο στο Νότιο πρηνές. Η βραχώμαζα χαρακτηρίστηκε κερματισμένη από συστήματα ασυνεχειών διαφόρων προσανατολισμών και μεταβαλλόμενης πυκνότητας ανά

θήση. Η παράκτια ζώνη της Ακροναυπλίας αποτελείται από συνεκτικοποιημένα πλευρικά κορρήματα. Συγκεκριμένα, πρόκειται για ασβεστολιθικές κροκαλολατύπες με ποικίλα μεγέθη και αργιλικό ή ασβεστιτικό συνδετικό υλικό ερυθρωπού χρώματος. Ο σχηματισμός αυτός συμπεριφέρεται ως ημβράχος, παρουσιάζει καλή γεωμηχανική συμπεριφορά και δεν θεωρείται επικίνδυνος για καταπτώσεις (Λέκκας κ.ά., 2022).

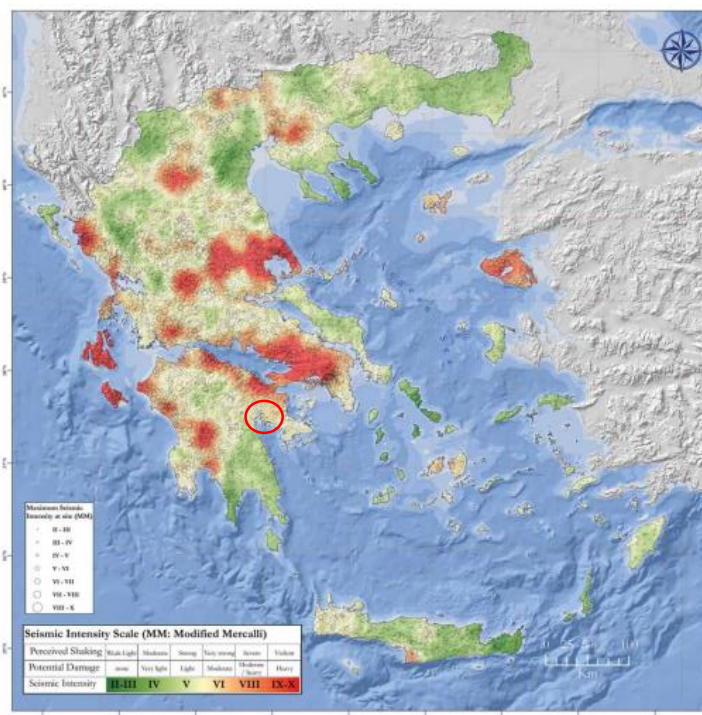


Εικόνα 3.3 Γεωλογικός χάρτης κατά μήκος της περιοχής μελέτης (Λέκκας κ.ά., 2022).

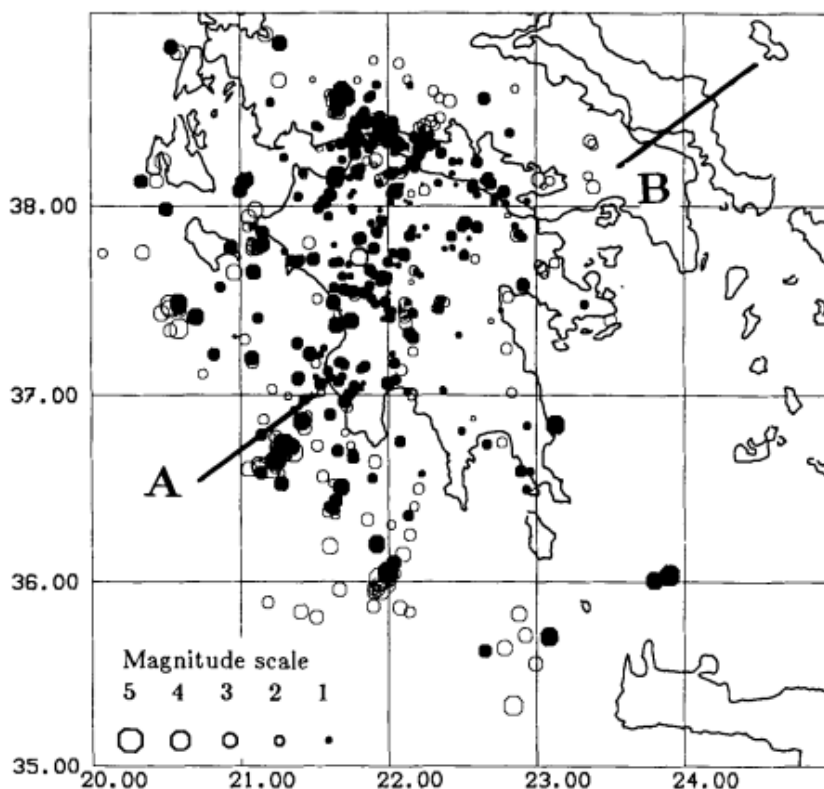
### 3.4 Σεισμικότητα ευρύτερης περιοχής μελέτης

Συχνά οι δονήσεις μίας περιοχής, κυρίως οι φυσικές (σεισμοί) ή ακόμα και οι τεχνητές είναι υπεύθυνες είτε για τη χαλάρωση της συνοχής των πετρωμάτων και τη μείωση έτσι της αντοχής τους, είτε της διέγερσης τοπικών μετακινήσεων. Για τους λόγους αυτούς είναι απαραίτητη η μελέτη της σεισμικότητας της περιοχής, με βάση το σεισμικό ιστορικό και των πιο πιθανών μακροσεισμικών εντάσεων καθώς επίσης και των παραμέτρων της σεισμικής κίνησης (κυρίως σεισμική επιτάχυνση) σύμφωνα με τον ισχύοντα αντισεισμικό κανονισμό (ΕΑΚ) (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).

Η εκτίμηση των αναμενόμενων εδαφικών κινήσεων στην περιοχή μελέτης, βασίζεται στην υπόθεση ότι μελλοντικές εδαφικές κινήσεις θα είναι παρόμοιες με αυτές που παρατηρήθηκαν στο παρελθόν. Για την πιο ακριβή εκτίμηση των εδαφικών κινήσεων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλα τα υπάρχοντα σεισμολογικά δεδομένα. Τις περισσότερες φορές όμως τα δεδομένα των ενόργανων καταγραφών δεν επαρκούν και η αξιοποίηση μακροσεισμικών παρατηρήσεων, είναι πρώτης προτεραιότητας και χρήσιμη πρακτικά (Τσελέντης, 1997). Στην εικόνα 3.4 παρουσιάζεται ο χάρτης κατανομής των μακροσεισμικών εντάσεων για τον Ελλαδικό χώρο. Σύμφωνα με το χάρτη η περιοχή μελέτης ανήκει στην κατηγορία VI της τροποποιημένης κλίμακας σεισμικής έντασης Mercalli.



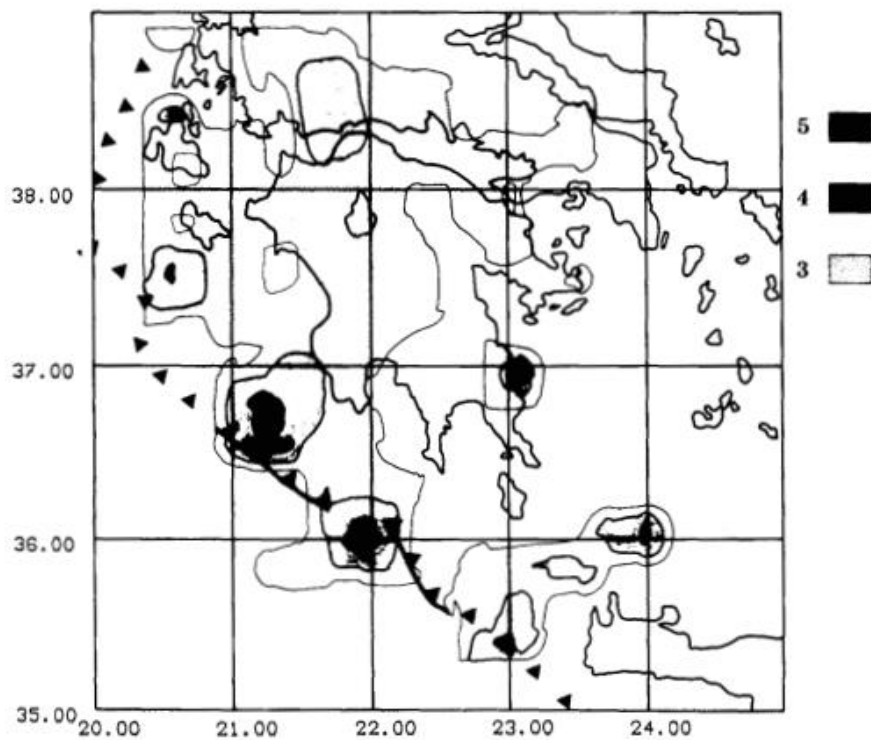
Εικόνα 3.4 Χάρτης κατανομής των μακροσεισμικών εντάσεων για τον Ελλαδικό χώρο ρηχά γεγονότα (βάθος  $\leq 60$  km). Σημειώνεται η περιοχή του Ναυπλίου (Chalkias, Papanastassiou, Karymbalis and Chalkias, 2013).



Εικόνα 3.5 Χάρτης σεισμικότητας ο οποίος περιλαμβάνει 671 σεισμούς ανάμεσα στις 6 Ιουνίου 1986 και 17 Ιουλίου 1986. Τα διαφορετικά βάθη και το μέγεθος των συμβόλων είναι ανάλογο του μεγέθους των σεισμών (Hatzfeld, Pedotti, Hatzidimitriou and Makropoulos, 1990).

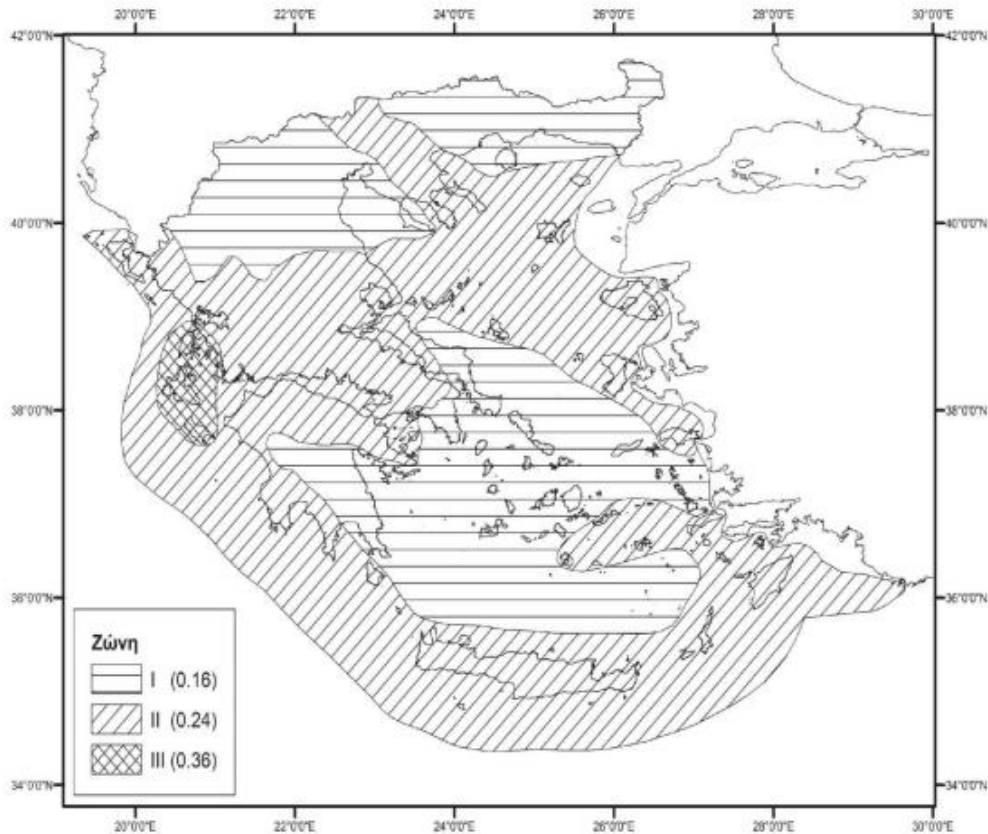
Όσον αφορά τη σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής μελέτης, η δυτική Ελλάδα είναι μία περιοχή που διακρίνεται από την ιδιαίτερα μεγάλη σεισμικότητά της. Το πρώτο μακροσεισμικό πείραμα που κάλυψε την περιοχή της δυτικής Ελλάδας και την Πελοπόννησο έγινε το καλοκαίρι του 1986. Τα αποτελέσματα του πειράματος ήταν σημαντικά για τη διερεύνηση του σεισμοτεκτονικού καθεστώτος στην περιοχή και έδειξαν τα παρακάτω. Το ποσό της σεισμικότητας είναι μεγαλύτερο προς τα δυτικά και οροθετείται από την Ελληνική τάφρο (Εικ. 3.4). Η εμφάνιση σεισμών ενδιάμεσου βάθους αρχίζει στην περιοχή της κεντρικής Πελοποννήσου και επεκτείνεται πέραν του Αργολικού Κόλπου. Χαρακτηριστική συσώρευση σεισμών εντοπίζεται κατά μήκος της Ελληνικής διαύλου, στην περιοχή που συναντώνται ο Πατραϊκός με το σύστημα τάφρων Κορινθιακού-Τριχωνίδας και ανάμεσα στην Πελοπόννησο και την Κρήτη (Τσελέντης, 1997).

Σύμφωνα με τη γεωγραφική κατανομή της εκλυόμενης ενέργειας (Εικ. 3.5) παρατηρείται ότι οι πιο ενεργές ζώνες βρίσκονται στο Ιόνιο Πέλαγος και τη δυτική Πελοπόννησο σε αντίθεση με την ανατολική Πελοπόννησο που βρίσκεται η περιοχή μελέτης, η οποία είναι λιγότερο ενεργή.



Εικόνα 3.6 Χάρτης της εκλυόμενης ενέργειας από τους σεισμούς της Εικ 3.5 για τη δυτική Ελλάδα. Οι γραμμοσκιασμένες περιοχές αντιστοιχούν στο λογάριθμο της ενέργειας (Hatzfeld, Pedotti, Hatzidimitriou and Makropoulos, 1990).

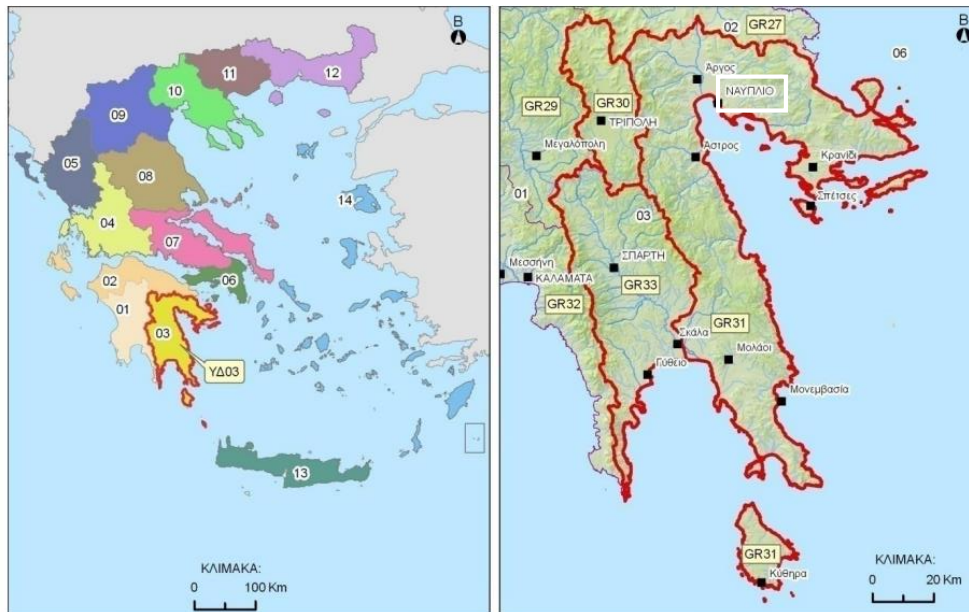
Σύμφωνα με τον ισχύοντα Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (2003), η περιοχή μελέτης ανήκει στην **κατηγορία Ι** σεισμικής επικινδυνότητας, με σεισμική τη επιτάχυνση της περιοχής  $A=a \cdot g$ , όπου  $a=0.16$  και  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $=981\text{cm/sec}^2$ ).



Εικόνα 3.7 Χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας, έπειτα από τις τροποποιήσεις του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού ΕΑΚ 2000, το 2003. (ΕΑΚ, 2003).

### 3.5 Υδρολογία

Η περιοχή μελέτης ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Πελοποννήσου (ΕΛ03) και συγκεκριμένα στη Λεκάνη Απορροής Ρεμάτων Αργολικού Κόλπου (ΕΛ0331), όπως προέκυψε από την οικ. 899/2017 Απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων «1η Αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Πελοποννήσου (ΕΛ03)» (ΦΕΚ 4674Β/29-12-2017) (ΥΠΕΝ, 2017) (Εικ.3.7).



Εικόνα 3.8 Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Πελοποννήσου (EL03) (αριστερά) και Λεκάνες Απορροής Ποταμών εντός αυτού (δεξιά) (ΦΕΚ 4674B/29-12-2017) (ΥΠΕΝ, 2017).

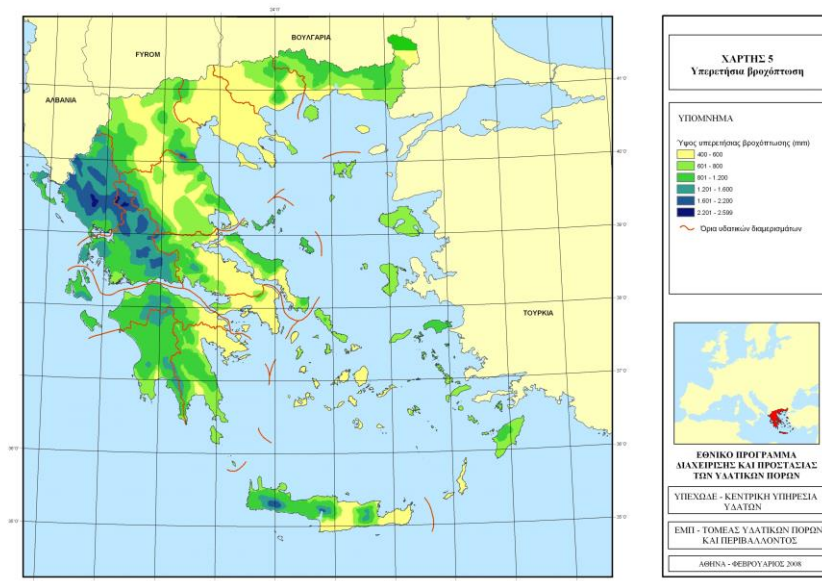
Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο Υπόγειο Υδατικό Σύστημα Αργολικού Πεδίου με κωδικό GR0300040, το οποίο κατατάσσεται σε αυτά με «Κακή» κατάσταση τόσο ποσοτικά όσο και χημικά (ΦΕΚ 4674B/29-12-2017) (ΥΠΕΝ, 2017).

Η μέση ετήσια τροφοδοσία του ΥΥΣ Αργολικού Πεδίου ανέρχεται σε  $55 \times 10^6 \text{ m}^3/\gamma$ , ενώ οι μέσες ετήσιες απολήψεις μέσω γεωτρήσεων και πηγών είναι της τάξης των  $51.16 \times 10^6 \text{ m}^3/\gamma$  σύμφωνα με το αναλυτικό κείμενο τεκμηρίωσης «Χαρακτηρισμός και αξιολόγηση/ταξινόμηση της κατάστασης των υπόγειων υδατικών συστημάτων» (Τεύχος 07) (ΥΠΕΝ, 2017).

### 3.5.1 Κλιματολογικά-Μετεωρολογικά δεδομένα

Με βάση τα κλιματολογικά δεδομένα περισσότερων από 100 επιλεγμένων (με διάφορα κριτήρια) σταθμών της ΕΜΥ των τελευταίων (25-45) χρόνων, καθώς και με παλαιότερες ισοϋέτιες καμπύλες της ΔΕΗ, κατασκευάστηκε ο χάρτης γεωγραφικής κατανομής της βροχόπτωσης του ελλαδικού χώρου (Εικ.3.8) στο πλαίσιο του Εθνικού Προγράμματος Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων της Ελλάδας (Master Plan, 2007) του πρώην Υπουργείου Ανάπτυξης.

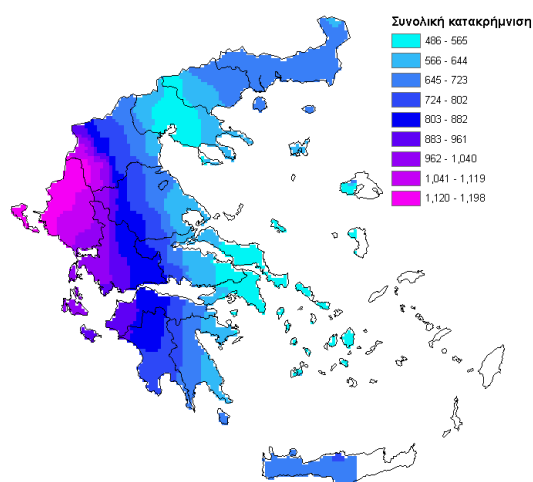




Εικόνα 3.9 Υπερετήσια βροχόπτωση στον ελλαδικό χώρο (Master Plan, 2007).

Σύμφωνα με το Master Plan (2007) στην περιοχή μελέτης πέφτουν (400-600)mm βροχής (Εικ.3.8). Θα πρέπει να σημειωθεί, πως στη μελέτη αυτή η υπερετήσια βροχόπτωση έχει χωριστεί σε έξι (6) κλάσεις.

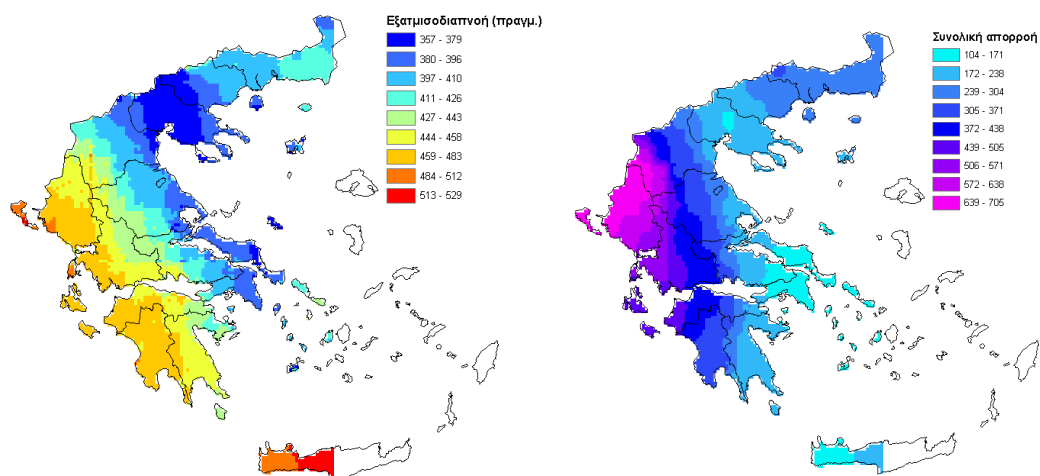
Το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο έχει δημιουργήσει για λογαριασμό του ΥΠΕ.ΧΩ.ΔΕ την Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας (ΕΤΥΜΠ), σύμφωνα με την οποία η συνολική ετήσια κατακρήμνιση για την περιοχή μελέτης είναι της τάξης των (645-723)mm (Εικ.3.9). Θα πρέπει να σημειωθεί, πως στη μελέτη αυτή η συνολική κατακρήμνιση έχει χωριστεί σε εννέα (9) κλάσεις.



Εικόνα 3.10 Συνολική κατακρήμνιση (σε mm) σύμφωνα με τα στοιχεία της Εθνικής Τράπεζας Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας (ΕΤΥΜΠ).

### 3.5.2 Εξατμισοδιαπνοή & Απορροή

Σύμφωνα με την Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας (ΕΤΥΜΠ), η συνολική ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή για την περιοχή μελέτης είναι της τάξης των (427-443)mm (**Εικ.3.10, αριστερά**), ενώ η συνολική ετήσια απορροή για την περιοχή μελέτης είναι της τάξης των (172-238)mm (**Εικ.3.10, δεξιά**).



**Εικόνα 3.11** Συνολική πραγματική εξατμισοδιαπνοή (σε mm) σύμφωνα με τα στοιχεία της Εθνικής Τράπεζας Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας (ΕΤΥΜΠ) (αριστερά). Συνολική απορροή (σε mm) σύμφωνα με τα στοιχεία της Εθνικής Τράπεζας Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας (ΕΤΥΜΠ) (δεξιά).

### 3.5.3 Υδρολογικό ισοζύγιο

Σύμφωνα με το Master Plan (2007) το υδρολογικό ισοζύγιο του ηπειρωτικού τμήματος του Υδατικού Διαμερίσματος της Ανατολικής Πελοποννήσου (03) έχει ως εξής:

- οι καρστικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν συντελεστή κατεΐσδυσης 45%, συντελεστή εξατμισοδιαπνοής 50% και συντελεστή επιφανειακής απορροής 5%.
- οι προσχωματικοί σχηματισμοί έχουν συντελεστή κατεΐσδυσης 7,5%, συντελεστή εξατμισοδιαπνοής 50% και συντελεστή επιφανειακής απορροής 42,5%.
- οι ημιπερατοί σχηματισμοί έχουν συντελεστή κατεΐσδυσης 5%, συντελεστή εξατμισοδιαπνοής 50% και συντελεστή επιφανειακής απορροής 45% και
- οι αδιαπέρατοι σχηματισμοί έχουν συντελεστή κατεΐσδυσης 1,5%, συντελεστή εξατμισοδιαπνοής 50% και συντελεστή επιφανειακής απορροής 48,5%.

### 3.6 Υδρογεωλογία-Υδρογεωλογικές ενότητες

Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης κυριαρχούν τέσσερις κύριες υδρογεωλογικές ενότητες, με μεγάλες διαφοροποιήσεις ως προς την υδρογεωλογική τους συμπεριφορά. Οι ενότητες αυτές διαχωρίζονται με βάση τον κυρίως τύπο του υδροφόρου συστήματος. Διακρίνονται:

- το καρστικό σύστημα της Δυτικής Αργολίδας,
- οι κοκκώδεις υδροφορείς που αναπτύσσονται στο βύθισμα του Αργολικού Πεδίου και στην Ασίνη,
- το καρστικό σύστημα του Αραχναίου Όρους και
- το ρωγμώδες – καρστικό σύστημα στις περιοχές Τραχειά – Ερμιονίδα.

Με εξαίρεση την πρώτη υδρογεωλογική ενότητα, που σε γενικές γραμμές παρουσιάζει μεγάλα αποθέματα και καλή ποιότητα νερού, οι υπόλοιπες τρεις ενότητες παρουσιάζουν προβλήματα επάρκειας και ποιότητας (κυρίως μεγάλες συγκεντρώσεις νιτρικών ή/και χλωριόντων).

Σύμφωνα με τους Λέκκας κ.ά. (2022), στην κεντροανατολική Πελοπόννησο η υπόγεια κίνηση του νερού αποτελεί μία σύνθετη διαδικασία καθώς πραγματοποιείται σε διάφορους λιθολογικούς σχηματισμούς, διαφορών ενότητων.

Στα ανθρακικά πετρώματα της χερσονήσου της Ακροναυπλίας, δεν παρατηρήθηκε η παρουσία νερού κατά την περίοδο χαρτογράφησης των Λέκκας κ.ά. (2022) πράγμα που αποδόθηκε στη μεγάλη διαπερατότητα που εμφανίζουν οι ασυνέχειες. Επίσης, διαπιστώθηκε η ύπαρξη ασβεστιτικών επιχρισμάτων καθώς και σπηλαιοθέματα, τα οποία αποδόθηκαν σε καρστικά έγκοιλα και δίκτυο καρστικών αγωγών. Επομένως, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα νερά των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, αφού διηθηθούν, κατεισδύουν με μεγάλες ταχύτητες μέσω των ασυνεχειών και εκφορτίζονται στο επίπεδο της θάλασσας, κατά μήκος της βραχώδους ακτογραμμής, χωρίς να δημιουργούν ιδιαίτερα προβλήματα υποβάθμισης της αντοχής της βραχομάζας.

## 4 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

---

Η βραχώμαζα είναι ένα ασυνεχές στερεό μέσο το οποίο αποτελείται από βραχώδες υλικό που διατέμνεται από γεωλογικές ασυνέχειες και αποτελεί τη φυσική κατάσταση ενός πετρώματος, όπως αυτό συναντάται επιτόπου και σε μεγάλη έκταση. Οι μηχανικές παράμετροι της βραχώμαζας εκτιμώνται συνήθως με έμμεσο τρόπο και μεθόδους που βασίζονται στην εμπειρία από πραγματικές περιπτώσεις κατασκευής τεχνικών έργων σε διαφορετικές γεωλογικές συνθήκες (Κούκης και Σαμπατακάκης,2007).

### 4.1 Αντοχή βραχώμαζας-Σύστημα GSI

Ο Hoek (1994) προκειμένου να κάνει πρακτικά εφαρμόσιμο το κριτήριο θραύσης Hoek-Brown για τη βραχώμαζα, πρότεινε το Γεωλογικό Δείκτη Αντοχής (GSI-Geological Strength Index). Ο δείκτης αυτός αποτελεί ένα σύστημα ταξινόμησης για την εκτίμηση του παραπάνω κριτηρίου, της απομείωσης της αντοχής της βραχώμαζας για διαφορετικές γεωλογικές συνθήκες και βασίζεται σε παρατηρήσεις υπαίθρου.

Ο δείκτης GSI λαμβάνει τιμές από περίπου 5 για τις εξαιρετικά πτωχής ποιότητας βραχομάζες έως 100 για το βραχώδες υλικό. Για την εκτίμηση του δείκτη GSI λαμβάνονται υπόψη οι μακροσκοπικές παρατηρήσεις της βραχώμαζας που αφορούν την υφή του πετρώματος (αλληλοκλείδωμα βραχωδών τεμαχών) και την επιφάνεια των ασυνεχειών (τραχύτητα και αποσάθρωση τοιχωμάτων). Με βάση τους παραπάνω παράγοντες εκτιμήθηκε από τους Λέκκας κ.ά (2022), ότι ο δείκτης GSI είναι ίσος με  $GSI=60-70$  και σε κάποιες περιοχές με μεγαλύτερο επιφανειακό κερματισμό ο  $GSI=50-55$ . Η εκτίμηση αυτή του «τύπου» της βραχώμαζας και του υπολογισμού της τιμής του GSI πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του πίνακα 4.1 (Hoek and Marinos 2000) , ο οποίος αναφέρεται σε ομοιογενή πετρώματα.

Πίνακας 4.1 Εκτίμηση του Γεωλογικού Δείκτη Αντοχής (GSI) βάση γεωλογικών παρατηρήσεων (Hoek & Marinos 2000).

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΡΗΓΜΑΤΩΜΕΝΟΥΣ ΒΡΑΧΟΥΣ (Hoek and Marinos, 2000) Βασίζομενοι στην εμφάνιση της βραχόμαζας (περιγραφή δομής και κατάσταση επιφανείας ασυνεχειών) εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI, χωρίς υποχρεωτικά μεγάλη ακρίβεια. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 ως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι GSI=35. Σημειώνεται ότι ο Πίνακας δεν εφαρμόζεται σε κινηματικά ελεγχόμενες αστάθειες. Στην περίπτωση που οι ασθενείς επίπεδες επιφάνειες έχουν μη ευνοϊκό προσανατολισμό σε σχέση με το πριανές εκσκαφής, τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχόμαζας. Η διατηρητική αντοχή επιφανειών σε βράχους που υπόκεινται σε εξασθένηση λόγω διακύμανσης της περιεκτικότητας σε υγρασία, είναι περαιτέρω μειωμένη όταν υπάρχει νερό. Όταν, οι βραχόμαζες ανήκουν στις μέτριες έως πτωχές κατηγορίες και υπάρχει νερό τότε μετακινούμαστε προς τα δεξιά. Η υδροστατική πίεση λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων.		ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ								
ΔΟΜΗ		ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ	ΠΤΩΧΗ	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ				
		Πολύ τραχιές, μη αποσπασθείσες επιφάνειες	Τραχιές, ελαφρά αποσπασθείσες και οξυδωμένες επιφάνειες	Λείες, μετριώς αποσπασθείσες και εφελκωμένες επιφάνειες	Επιφάνειες ολίσθησης, πολύ αποσπασθείσες με συμπαγή επιφυλάγματα ή υλικό πλήρωσης με γυαλιά βράχια	Επιφάνειες ολίσθησης, πολύ αποσπασθείσες με μαλακό οργανικό υλικό πλήρωσης				
		ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →								
		90	80	70	60	50	40	30	20	10
	INTACT OR MASSIVE - Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση							N/A		N/A
	BLOCKY - Αδιατάρακτη βραχόμαζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών									
	VERY BLOCKY- Μερικώς διαταραγμένη βραχόμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών									
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας									
	DISINTEGRATED - Ισχυρά κερματισμένη βραχόμαζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιωδών και αποστρωγυλωμένων τεμαχίων									
	LAMINATED/SHEARED - Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατηρημένη ασθενής βραχόμαζα. Η σχιστότητα επικρατεί έναντι οποιασδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιωδών τεμαχίων									
		N/A	N/A							10

#### 4.1.1 Επί τόπου Μέτρο παραμορφωσιμότητας

Για τη βραχόμαζα θεωρήθηκε συντηρητικά αντοχή σε μοναξονική θλίψη για το άρρηκτο πέτρωμα  $\sigma_{ci}=50\text{MPa}$ . Για την εκτίμηση του επί τόπου μέτρου παραμορφωσιμότητας ( $E_m$ ) χρησιμοποιείται η σχέση των Hoek and Brown (1997), η οποία ισχύει για  $\sigma_{ci}\leq 100\text{MPa}$  και δίνεται από τον εξής τύπο:

$$E_m(\text{GPa}) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}[\text{MPa}]}{100}} \cdot 10^{\left(\frac{GSI-10}{40}\right)}$$

Επομένως προκύπτει ότι  $E_m=18\text{GPa}$ .

## 4.2 Μηχανική συμπεριφορά ασυνεχειών

Μία φυσική επιφάνεια ασυνέχειας δεν είναι σχεδόν ποτέ ομαλή αλλά περιέχει προεξοχές, οι οποίες επιδρούν σημαντικά στη διατμητική της αντοχή. Οι προεξοχές αυτές (τραχύτητα) των επιφανειών αυξάνει τη διατμητική αντοχή των ασυνεχειών και αύξηση αυτή αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην ευστάθεια των πρανών.

Οι Barton et al. (1973,1976,1977 και 1990) αφού μελέτησαν λεπτομερώς τη συμπεριφορά των φυσικών ασυνεχειών, πρότειναν την παρακάτω σχέση για την εκτίμηση της μέγιστης διατμητικής αντοχής τους:

$$\tau_p = \sigma_n \tan[\varphi_b + JRC \log_{10}\left(\frac{JRC}{\sigma_n}\right)] \quad (1)$$

Όπου,

**JRC:** ο συντελεστής τραχύτητας των ασυνεχειών (*Joint Roughness Coefficient*)

**JCS:** η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη των τοιχωμάτων της ασυνέχειας (*Joint wall Compression Strength*),

**$\varphi_b$ :** η βασική γωνία τριβής

**$\sigma_n$ :** η επιβαλλόμενη ορθή τάση

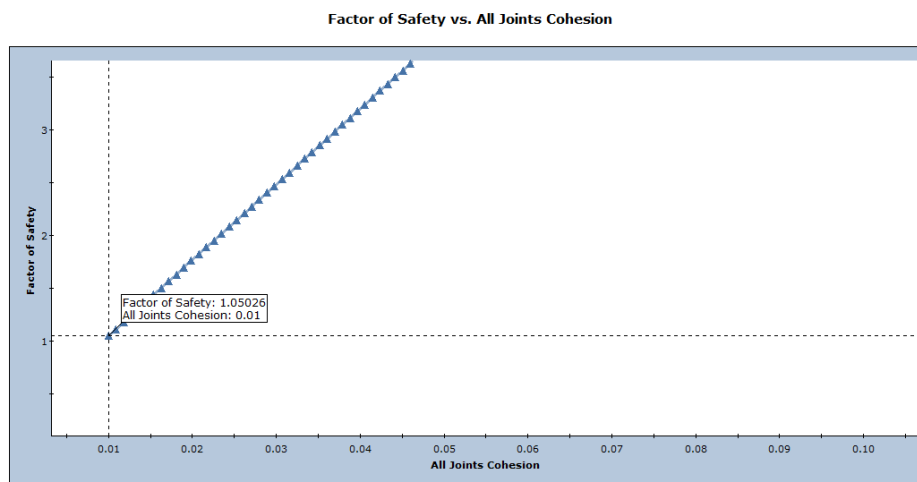
Από τις επιτόπου παρατηρήσεις κατά την έρευνα των Λέκκας κ.ά. (2022) προέκυψαν μέσες τιμές του δείκτη JRC=8-11. Η επιβαλλόμενη ορθή τάση θεωρήθηκε ως  $\sigma_n=0.8$  έως 0.05 MPa. Η θλιπτική αντοχή των τοιχωμάτων της ασυνέχειας JRC ελήφθη ίση με 45 MPa (απομειώνοντας την θλιπτική αντοχή του άρρηκτου βράχου κατά 10% ) και η βασική γωνία τριβής  $\varphi_b$  ίση με 25° .

Λαμβάνοντας υπόψη την εξίσωση Mohr-Coulomb (2) για τη μέγιστη διατμητική αντοχή, λαμβάνοντας συντηρητικά γωνία τριβής ίση με 30° προκύπτει ότι  $c = 28 - 320$  kPa. Αν  $\sigma_n$  είναι η ορθή τάση που εφαρμόζεται στην επιφάνεια μίας ασυνέχειας,  $c$  είναι η φαινόμενη συνοχή και  $\varphi$  η γωνία τριβής , τότε το κριτήριο Mohr-Coulomb δίνει την αντοχή σε διάτμηση μίας ασυνέχειας και είναι:

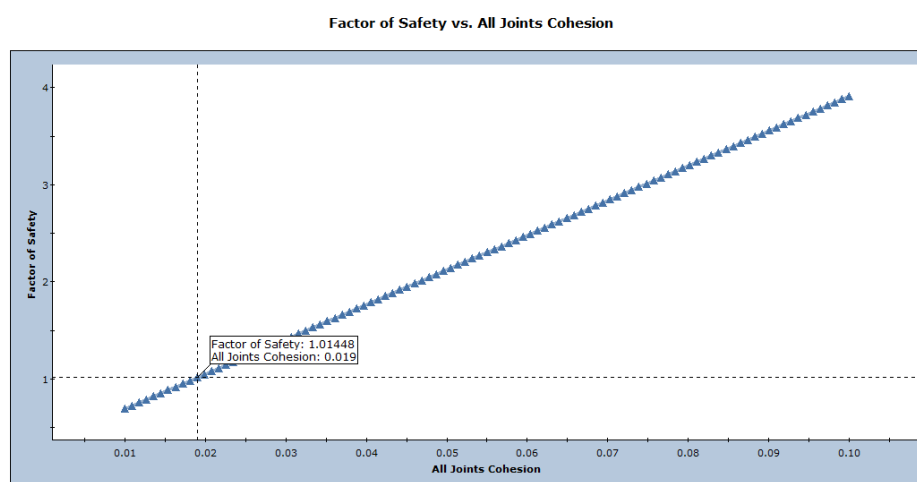
$$\tau_p = c + \sigma_n \tan\varphi \quad (2)$$

Έπειτα, για το τμήμα N3 του πρανού, στο οποίο είχαν εκδηλωθεί κατά το παρελθόν πτώσεις βράχων, πραγματοποιήθηκαν ανάδρομες αναλύσεις ευστάθειας. Σκοπός των αναλύσεων αυτών είναι η εκτίμηση των τιμών των παραμέτρων της διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών, οι οποίες θα προκαλούσαν οριακή ισορροπία του πρανού υπό κανονικές συνθήκες (Λέκκας κ.ά. 2022). Για τις αναλύσεις αυτές με τη χρήση του λογισμικού Swedge πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις ευαισθησίας, όπως φαίνεται στις εικόνες 4.1 και 4.2. Τα

διαγράμματα αυτά δείχνουν τον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλεται ο συντελεστής ασφαλείας του πρανούς έναντι ολίσθησης μορφής σφήνας σε συνάρτηση με τη συνοχή των ασυνεχειών. Η γωνία τριβής που χρησιμοποιήθηκε ήταν ίση με  $30^\circ$  και η εμμονή των ασυνεχειών 10-20m. Οι αναλύσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν για στατικές συνθήκες. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προκύπτει, για μέγιστη εμμονή ασυνεχειών 10m, η συνοχή να λαμβάνει μία κρίσιμη τιμή ίση με 10kPa ενώ για μέγιστη εμμονή ασυνεχειών 20m, η κρίσιμη τιμή της συνοχής είναι 20kPa. Επομένως, οι τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων που επιλέχθηκαν είναι η συνοχή  $c=10-20kPa$  και η γωνία τριβής  $\phi=30^\circ$ .



Εικόνα 4.1 Διάγραμμα ανάλυσης ευαισθησίας: Μεταβολή του συντελεστή ασφαλείας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης συναρτήση της συνοχής των ασυνεχειών σε στατικές συνθήκες, για μέγιστη εμμονή ασυνεχειών 10 m, στο τμήμα πρανούς N3.



Εικόνα 4.2 Διάγραμμα ανάλυσης ευαισθησίας: Μεταβολή του συντελεστή ασφαλείας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης συναρτήση της συνοχής των ασυνεχειών σε στατικές συνθήκες, για μέγιστη εμμονή ασυνεχειών 20m, στο τμήμα πρανούς N3.

## 5 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ

---

Στην παρούσα μελέτη, η ευστάθεια του πρανούς στην περιοχή του περιπάτου της Αρβανιτιάς αναλύεται με δεδομένα που έχουν προκύψει από τη χρήση των αυτόματων/ημιαυτόματων Συστημάτων μη επανδρωμένων Εναέριων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) ή αλλιώς UAV (Unmanned Aerial Vehicle)(Λέκκας κ.ά.,2022). Πρόκειται για συστήματα αεροφωτογράφισης τα οποία έχουν προσεγγίσει το ερευνητικό ενδιαφέρον διαφορετικών μεθοδολογιών, όπως της Φωτογραμμετρίας. Αυτό αποδίδεται στο ότι δίνουν μεγάλη ευελιξία, ταχύτητα και οικονομία στη συλλογή των δεδομένων αλλά και στο ότι παράγουν προϊόντα υψηλής ανάλυσης.

Για την επεξεργασία των δεδομένων που προκύπτουν από τα ΣμηΕΑ ακολουθείται μία σειρά από διαδικασίες. Μετά το τέλος κάθε πτήσης τα δεδομένα επεξεργάζονται με διάφορα πακέτα λογισμικών όπου και γίνεται η γεωαναφορά των εικόνων που ελήφθησαν με βάση τις συντεταγμένες τους όπως αυτές προκύπτουν από τα εγκατεστημένα GPS στα ΣμηΕΑ. Τα τελικά προϊόντα αυτής της επεξεργασίας είναι τα ορθο-φωτομωσαϊκά υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας καθώς και τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους.

### 5.1 Διαχωρισμός υπό μελέτη πρανούς

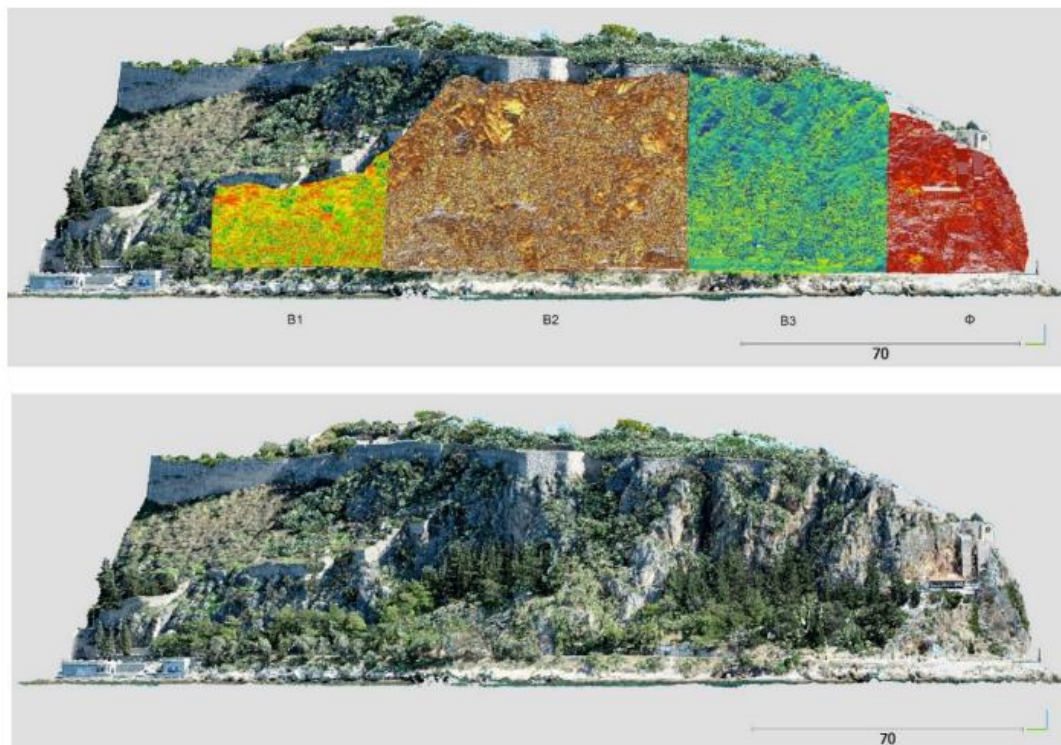
Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα από πτήσεις με ΣμηΕΑ που πραγματοποιήθηκαν κατά την εργασία των Λέκκας κ.ά. (2022). Το πρανές της περιοχής μελέτης διαχωρίστηκε σε δεκαεπτά τμήματα για την καλύτερη διαχείριση των δεδομένων αλλά και για την καλύτερη ανάλυση τους. Η διάκριση αυτή έγινε βάσει της μεταβολής της μικροτοπογραφίας του πρανούς καθώς αναδεικνύονται διαφορετικές ομάδες ασυνεχειών σε κάθε ένα από αυτά, με διαφορετική βαρύτητα κάθε φορά.

Το πρανές διαχωρίστηκε αρχικά σε Βόρειο και Νότιο προφίλ. Αναλυτικότερα, το Βόρειο προφίλ διαχωρίστηκε σε τέσσερα τμήματα μαζί με το προφίλ στη θέση Φάρος (Φ) (Εικ.5.1). Το Νότιο προφίλ διαχωρίστηκε σε δεκατρία τμήματα (Εικ.5.2). Τέλος, υπολογίστηκε η χιλιομετρική θέση του κάθε τμήματος (Πίνακας 5.1), με την αρχή του μονοπατιού (πύλη εισόδου από το Ναυτικό Όμιλο) να ορίζεται ως ΧΘ 0 (Λέκκας κ.ά.,2022).

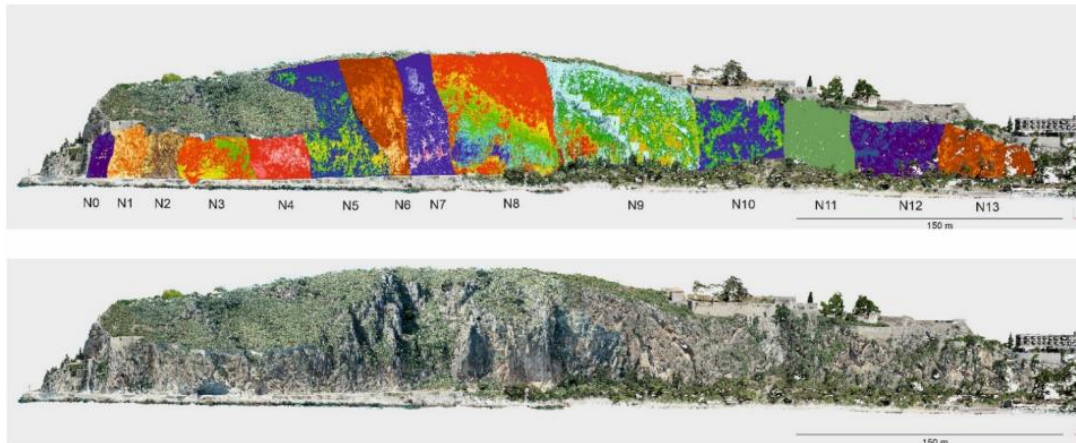


Πίνακας 5.1 Χιλιομετρικές θέσεις τμημάτων του πρανούς κατά μήκος του Μονοπατιού της Αρβανιτιάς.

Τμήμα πρανούς	Από Χ.Θ.	Έως Χ.Θ.
B1	0	50
B2	50	130
B3	130	180
Φ	180	240
N0	240	245
N1	245	270
N2	270	290
N3	290	340
N4	340	380
N5	380	430
N6	430	440
N7	440	470
N8	470	540
N9	540	640
N10	640	700
N11	700	735
N12	735	785
N13	785	875



Εικόνα 5.1 Η διάκριση των επιμέρους τεσσάρων τμημάτων (B1,B2,B3 και Φ) του Βόρειου Προφίλ (Λέκκας κ.ά.,2022).



**Εικόνα 5.2 Η διάκριση των επιμέρους δεκατεσσάρων τμημάτων (N0-N13) του Νότιου Προφίλ (Λέκκας κ.ά.,2022).**

Από την επεξεργασία των δεδομένων που ελήφθησαν με τα ΣμηΕΑ, πραγματοποιήθηκε η εκτίμηση του προσανατολισμού των επιφανειών των ασυνχειών του πρανούς, έτσι ώστε αργότερα να προσδιοριστούν οι δυνητικές αστοχίες. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του ειδικού λογισμικού και προσδιορίστηκαν έτσι τα στοιχεία προσανατολισμού (Κλίση/Διεύθυνση κλίσης) των επιπέδων των ασυνχειών. Τα στοιχεία προσανατολισμού είναι αυτά που θα χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση ευστάθειας του πρανούς.

## 6 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ

### 6.1 Ερμηνεία δεδομένων - Ασυνέχειες

Η ευστάθεια των πρανών επηρεάζεται σημαντικά και καθορίζεται κυρίως από τον προσανατολισμό των γεωλογικών ασυνεχειών (στρώση, σχιστότητα, διακλάσεις, ρήγματα). Οι ιδιότητες των ασυνεχειών που σχετίζονται με την ευστάθεια περιλαμβάνουν τον προσανατολισμό (*orientation*), την εμμονή (*persistence*), την απόσταση (*spacing*), την τραχύτητα (*roughness*) και το υλικό πλήρωσης (*infilling*) (Duncan C. W., 2017).

Σαν ασυνέχεια (*discontinuity*) θεωρείται κάθε επίπεδο αδυναμίας της βραχομάζας που διαχωρίζει τα τεμάχια του ακέραιου πετρώματος και η οποία έχει πολύ μικρή ή μηδενική αντοχή σε εφελκυσμό (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007). Οι ασυνέχειες σχηματίζουν δύο κύριες ομάδες:

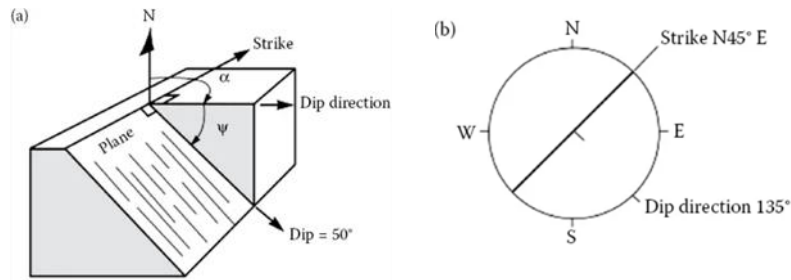
- α) Ασυνέχειες που συναντώνται συστηματικά και αποτελούν τα ονομαζόμενα συστήματα ασυνεχειών (*discontinuity sets*). Οι ασυνέχειες σε κάθε σύστημα παρουσιάζουν παρόμοιο προσανατολισμό, ο οποίος οφείλεται κυρίως στις γεωλογικές διεργασίες που προκάλεσαν το σχηματισμό του. Οι ασυνέχειες που εντοπίζονται στο πρανές της περιοχής μελέτης, εμφανίζονται με τη μορφή τέτοιων συστημάτων.
- β) Μοναδιαίες ασυνέχειες (π.χ. ρήγματα)

Σχεδόν όλες οι μελέτες ευστάθειας βραχωδών πρανών πρέπει να εξετάζουν τη δομική γεωλογία της περιοχής. Οι μελέτες αυτές περιλαμβάνουν τα εξής δύο στάδια. Πρώτον, είναι η μηχανική περιγραφή των ασυνεχειών και δεύτερον ο προσδιορισμός της επίδρασης των ασυνεχειών στην ευστάθεια. Το δεύτερο στάδιο, περιλαμβάνει τη μελέτη της σχέσης μεταξύ του προσανατολισμού των ασυνεχειών και της επιφάνειας του πρανούς (Duncan C. W., 2017). Στην παρούσα μελέτη ο προσδιορισμός των πιθανών τρόπων αστοχίας του πρανούς γίνεται αρχικά με την κινηματική ανάλυση.

#### 6.1.1 Προσανατολισμός ασυνεχειών

Το πρώτο βήμα για τη μελέτη των ασυνεχειών σε ένα πρανές είναι η ανάλυση του προσανατολισμού τους και ο εντοπισμός συνόλων ασυνεχειών ή μεμονωμένων ασυνεχειών που θα μπορούσαν να σχηματίσουν δυνητικά ασταθή βραχώδη τεμάχια. Η συνήθης ορολογία για τον προσανατολισμό είναι η κλίση (*dip*) και η διεύθυνση κλίσης (*dip direction*) και ορίζονται ως εξής: (Εικ.6.1)

- **Μέγιστη κλίση (dip):** είναι η γωνία του επιπέδου της ασυνέχειας με το οριζόντιο επίπεδο. Οι τιμές της κλίσης κυμαίνονται από 0°-90°.
- **Φορά ή διεύθυνση μέγιστης κλίσης (dip direction):** είναι η γωνία που σχηματίζει η προβολή της μέγιστης κλίσης στο οριζόντιο επίπεδο με το γεωγραφικό βορά. Παίρνει τιμές από 0°-360°.



Εικόνα 6.1 Προσδιορισμός γεωμετρικών όρων προσανατολισμού ασυνεχειών (α) ισομετρική προβολή του επιπέδου (κλίση και διεύθυνση κλίσης), (β) στερεογραφική προβολή (Duncan C. W., 2017).

Μολονότι ο προσανατολισμός των ασυνεχειών είναι ο πρωταρχικός γεωλογικός παράγοντας που επηρεάζει την ευστάθεια, άλλες ιδιότητες όπως η εμμονή και η απόσταση είναι εξίσου σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη.

Η παρουσίαση και η στατιστική επεξεργασία του προσανατολισμού των επιπέδων των ασυνεχειών μπορεί να γίνει με τη χρήση τη χρήση σφαιρικών προβολών. Αυτές οι προβολές αποτελούν ένα μέσο για την εκτίμηση της κατάστασης της ευστάθειας της βραχομάζας καθώς επιτρέπουν την εύκολη επύλυση γεωμετρικών προβλημάτων σε τρεις διαστάσεις.

Υπάρχουν αρκετά είδη σφαιρικών προβολών που χρησιμοποιούνται (Phillips, 1971; Turner and Weiss, 1973; Friedman, 1964) αλλά στην Τεχνική Γεωλογία και Βραχομηχανική χρησιμοποιείται η ισοεμβαδική προβολή (*equal area projection*), η οποία ονομάζεται και προβολή Lambert ή δίκτυο Schmidt.

Σκοπός της στατιστικής επεξεργασίας των ασυνεχειών είναι ο προσδιορισμός του αριθμού των κύριων συστημάτων ασυνεχειών που διατέμνουν τη βραχώμαζα καθώς και ο αντίστοιχος μέσος προσανατολισμός τους. Σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές γεωλογικών εργασιών του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. Ε104-85, η δειγματοληψία μετρήσεων πρέπει να υπερβαίνει τις 100 ανά θέση.

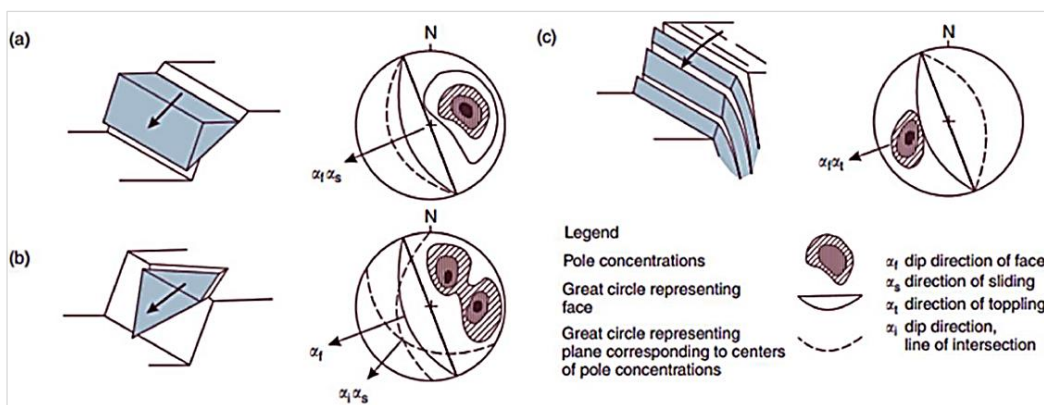
Η αποτύπωση των πόλων των επιπέδων ασυνεχειών και η στατιστική επεξεργασία στην παρούσα μελέτη πραγματοποιείται με τη χρήση ειδικού λογισμικού στο επόμενο κεφάλαιο.

## 6.2 Στατιστική επεξεργασία ασυνεχειών - Κινηματική ανάλυση ευστάθειας

### 6.2.1 Γενικά

Η κινηματική ανάλυση είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για την ανάλυση των διαφόρων τύπων πιθανών αστοχιών βραχωδών πρανών, όπως η επίπεδη ολίσθηση (*planar sliding*), η σφηνοειδής ολίσθηση (*wedge sliding*) και η ανατροπή (*flexural toppling*), οι οποίες οφείλονται στην παρουσία ασυνεχειών με δυσμενή προσανατολισμό.

Διαφορετικοί τύποι αστοχίας πρανών είναι συνδεδεμένοι με διαφορετικές γεωλογικές δομές και τα δομικά αυτά μοντέλα θα πρέπει να αναγνωρίζονται κατά την εξέταση των διαγραμμάτων πόλων στο στερεοδιαγράμμα, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 6.2. Η κινηματική ανάλυση βασίζεται στη δοκιμή του Markland, όπως περιγράφεται από τους Hoek & Bray (1981).



Εικόνα 6.2 Αστοχίες πρανών και τα στερεοδιαγράμματά τους (a) επίπεδη ολίσθηση, (b) σφηνοειδής ολίσθηση και (c) ανατροπή (Hoek & Bray, 1981).

Σύμφωνα με τη δοκιμή του Markland, μία επίπεδη ολίσθηση (*planar sliding*) μπορεί να εκδηλωθεί όταν υπάρχει σύστημα ασυνεχειών (συγκέντρωση πόλων) με ίδιο προσανατολισμό με το πρανές. Σε αυτή την περίπτωση η ολίσθηση θα γίνει κατά μήκος του συγκεκριμένου επιπέδου ασυνεχειών. Βασικές προϋποθέσεις για τη δυνατότητα εκδήλωσης είναι:

- α) Η διαφορά διεύθυνσης ασυνεχειών-πρανούς  $\pm 20^\circ$
- β) Ύπαρξη υψηλής συνέχειας των ασυνεχειών
- γ) Η κλίση του συστήματος ασυνεχειών να είναι μικρότερης από αυτή του πρανούς

Η σφηνοειδής ολίσθηση μπορεί να εκδηλωθεί όταν υπάρχουν δύο συστήματα ασυνεχειών που το σημείο τομής τους εμπίπτει στη ζώνη μεταξύ πρανούς και του κύκλου τριβής των

ασυνεχειών. Σε αυτή την περίπτωση η ολίσθηση θα πραγματοποιηθεί κατά μήκος της τομής των δύο επιπέδων.

Η ανατροπή μπορεί να εκδηλωθεί όταν υπάρχει σύστημα ασυνεχειών με διεύθυνση περίπου ίδια με αυτή του πρανούς αλλά με αντίθετη φορά κλίσης. Βασικές προϋποθέσεις για την εκδήλωση ανατροπής είναι :

- α) Η διαφορά διεύθυνσης ασυνεχειών-πρανούς  $\pm 20^\circ$
- β) Ύπαρξη μεγάλης κλίσης ασυνεχειών

### 6.2.2 Περίπτωση περιοχής μελέτης

Η κινηματική ανάλυση του βραχώδους πρανούς που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα εργασία μπόρεσε να καθορίσει τον τύπο των πιθανών αστοχιών χωρίς να ληφθεί υπόψη η διατμητική αντοχή (*shear strength*) και η διατμητική δύναμη (*resistance*) που δρουν στο πρανές. Σε αυτό το στάδιο, η κινηματική ανάλυση του βραχώδους πρανούς δεν είναι σε θέση να παράγει την ανάλυση οριακής ισορροπίας (*limit equilibrium analysis*) για τον καθορισμό των συντελεστών ασφαλείας.

Η ανάλυση πραγματοποιείται με βάση τη μέθοδο της στερεογραφικής προβολής εισάγοντας τα στοιχεία της κλίσης και της διεύθυνσης κλίσης των ασυνεχειών, έτσι όπως ελήφθησαν από την εργασία πεδίου. Για αυτή την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Dips της Rocscience. Στο λογισμικό αυτό αποτυπώνονται οι πόλοι των επιπέδων των ασυνεχειών του πρανούς. Συγκεκριμένα τα δεδομένα που εισάγονται στο λογισμικό είναι αφορούν την κλίση και τη διεύθυνση κλίσης των ασυνεχειών που μετρήθηκαν.

Η κινηματική ανάλυση πραγματοποιήθηκε επιλέγοντας τον τρόπο αστοχίας: επίπεδη ολίσθηση, σφηνοειδής ολίσθηση και ανατροπή και εισάγοντας τις κινηματικές ιδιότητες. Τα στατιστικά αποτελέσματα παρουσιάζονται για κάθε τρόπο αστοχίας στον Πίνακα 6.1. Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα διαγράμματα επίλυσης για το τμήμα πρανούς B1. Τα υπόλοιπα διαγράμματα (B1 έως και N13) καθώς και τα τεκτονικά στοιχεία που συγκεντρώθηκαν κατά την υπαίθρια έρευνα παραθέτοντας ως παράρτημα στο τέλος της παρούσης διατριβής.

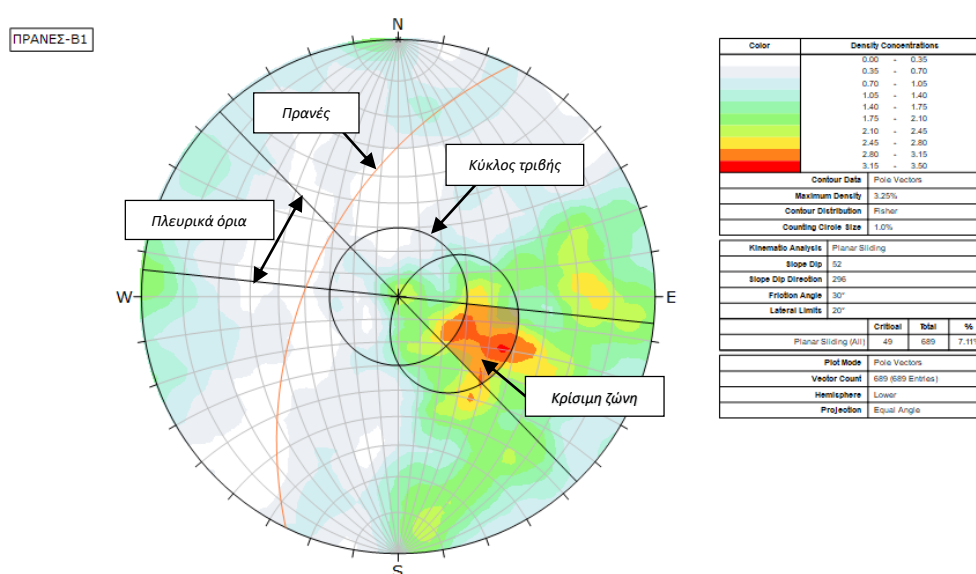
Πίνακας 6.1 Αποτελέσματα στατιστικής κινηματικής ανάλυσης για τα τμήματα του πρανούς μελέτης, με το λογισμικό Dips.

Τμήμα πρανούς	Τύπος Αστοχίας		
	Επίπεδη ολίσθηση - <i>Planar Sliding (%)</i>	Σφηνοειδής ολίσθηση - <i>Wedge Sliding (%)</i>	Ανατροπή- <i>Flexural Toppling (%)</i>
B1	7.11	15.55	3.77
B2	4.48	13.07	3.36
B3	11.72	30.32	9.54
Φ	9.14	24.09	9.05
N0	11.72	28.73	7.03
N1	14.11	32.08	6.27
N2	13.74	34.93	6.71
N3	16.05	34.05	12.13
N4	14.43	33.58	6.70
N5	4.22	9.21	2.45
N5β	13.10	35.86	4.41
N6	7.29	20.22	3.81
N6β	0.37	0.7	0.55
N7	4.15	9.42	3.67
N7β	9.82	24.48	5.67
N8	3.19	7.65	3.16
N8β	14.76	39.79	6.40
N9	12.28	32.13	6.69
N10	8.49	22.20	4.87
N11	7.93	20.70	4.49
N12	10.29	25.71	5.57
N13	13.83	31.35	5.68

#### 6.2.2.1 Κινηματική ανάλυση επίπεδης ολίσθησης

Το στερεοδιάγραμμα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.3 αντιστοιχεί στην κινηματική ανάλυση που αφορά τον κίνδυνο επίπεδης ολίσθησης (*planar sliding*), με βάση τους πόλους (*pole vector mode*). Παρακάτω θα αναλυθεί η περίπτωση του τμήματος πρανούς B1. Ανάλογα, αναλύονται και οι επιλύσεις για τα υπόλοιπα τμήματα του πρανούς, τα αποτελέσματα των οποίων δίνονται αναλυτικά ως Παράρτημα.

Τα στοιχεία προσανατολισμού του τμήματος πρανούς B1 είναι  $52^{\circ}/296^{\circ}$  και η μέση γωνία εσωτερικής τριβής είναι  $30^{\circ}$ . Όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.3, η περιοχή που έχει επισημανθεί με κόκκινο χρώμα, αποτελεί την κρίσιμη περιοχή για την εκδήλωση επίπεδης ολίσθησης και βρίσκεται εσωτερικά της περιοχής *daylight envelope* και εξωτερικά του κύκλου τριβής. Έτσι, όλοι οι πόλοι που βρίσκονται στην περιοχή με το κόκκινο χρώμα αντιπροσωπεύουν κίνδυνο για επίπεδη ολίσθηση. Η πιθανότητα αστοχίας για το τμήμα πρανούς B1 υπολογίζεται στο 7.11%, όπου οι 49 πόλοι από τους 689 βρίσκονται στην κρίσιμη περιοχή.



Εικόνα 6.3 Στερεοδιάγραμμα για την κινηματική ανάλυση επίπεδης ολίσθησης – τμήμα πρανούς B1.

### 6.2.2.2 Κινηματική ανάλυση σφηνοειδούς ολίσθησης

Στην Εικόνα 6.4 παρουσιάζεται το στερεοδιάγραμμα που αντιστοιχεί στην κινηματική ανάλυση για τον κίνδυνο αστοχίας μορφής σφήνας. Τα στοιχεία προσανατολισμού του τμήματος πρανούς B1 είναι  $52^{\circ}/296^{\circ}$  και η μέση γωνία εσωτερικής τριβής είναι  $30^{\circ}$ .

Τα κύρια στοιχεία της κινηματικής ανάλυσης σφηνοειδούς ολίσθησης είναι το επίπεδο του πρανούς, ο κύκλος τριβής του πρανούς και το σημείο τομής των δύο συστημάτων ασυνεχειών. Η κύρια κρίσιμη ζώνη για την εκδήλωση σφηνοειδούς ολίσθησης βρίσκεται εσωτερικά του κύκλου τριβής του πρανούς και εξωτερικά του επιπέδου του πρανούς και αντιστοιχεί στην περιοχή με το κόκκινο χρώμα. Οποιοδήποτε σημείο τομής δύο συστημάτων ασυνεχειών βρίσκεται εντός της περιοχής αυτής, αντιπροσωπεύει δυνητικά επισφαλείς

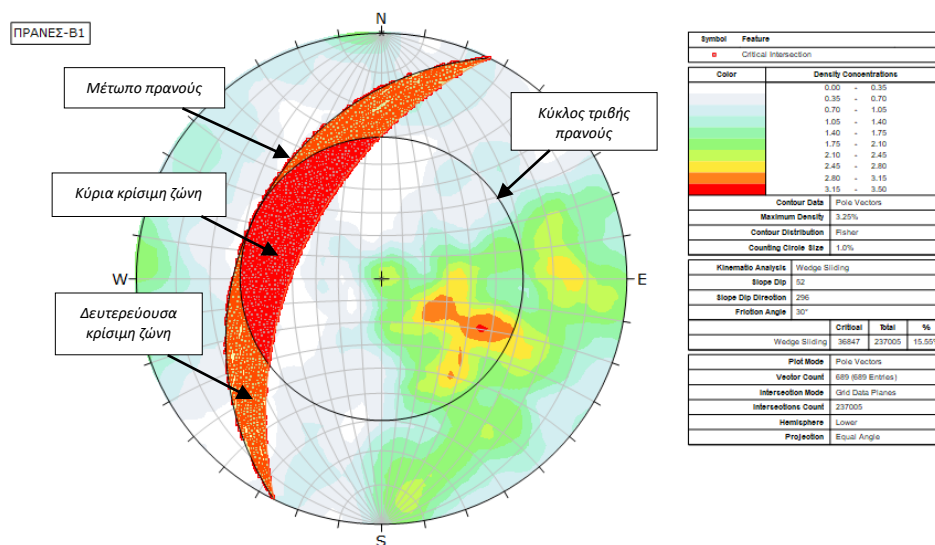


σφήνες. Μία δευτερεύουσα κρίσιμη ζώνη επισημαίνεται με πορτοκαλί χρώμα και ορίζεται από το επίπεδο του πρανούς και ένα επίπεδο με κλίση υπό τη γωνία τριβής.

Οι σφήνες δεν είναι απαραίτητο να ολισθαίνουν κατά μήκος της τομής των δύο επιπέδων των συστημάτων ασυνεχειών αλλά μπορούν ολισθαίνουν κατά μήκος ενός μεμονωμένου επιπέδου, εάν αυτό έχει ευνοϊκότερη διεύθυνση για ολίσθηση από το σημείο τομής. Αυτό μπορεί να συμβεί είτε στην κύρια είτε στη δευτερεύουσα κρίσιμη ζώνη. Οι κρίσιμες τομές των επιπέδων των ασυνεχειών που βρίσκονται στη δευτερεύουσα κρίσιμη ζώνη αντιπροσωπεύουν πάντα σφήνες που ολισθαίνουν σε ένα επίπεδο ασυνεχειών. Στην περιοχή αυτή, οι τομές έχουν στην πραγματικότητα κλίση μικρότερη από τη γωνία τριβής. Ωστόσο, η ολίσθηση μπορεί να συμβεί σε ένα μόνο επίπεδο που έχει διάνυσμα κλίσης μεγαλύτερο από τη γωνία τριβής.

Οι δυνατές διευθύνσεις της ολίσθησης εξαρτώνται από τη διάταξη στο χώρο των επιπέδων της σφήνας. Αναλυτικότερα, η πρώτη περίπτωση δημιουργείται όταν είναι κινηματικά δυνατή η ολίσθηση της σφήνας κατά τη διεύθυνση της μέγιστης κλίσης μιας από τις επιφάνειες ασυνέχειας. Η δεύτερη περίπτωση εξετάζεται όταν η θέση των ασυνεχειών είναι τέτοια ώστε σε περίπτωση ολίσθησης η σφήνα έρχεται σε επαφή και με τις δύο ασυνέχειες, οπότε η διεύθυνση ολίσθησης συμπίπτει με τη διεύθυνση της τομής τους.

Στο τμήμα του βραχώδους πρανούς B1, από τα 237.005 σημεία τομής υπάρχουν 36.847 που βρίσκονται στην κρίσιμη ζώνη. Τα στοιχεία αυτά δείχνουν ότι υπάρχει πιθανότητα εκδήλωσης αστοχίας μορφής σφήνας 15.55%.



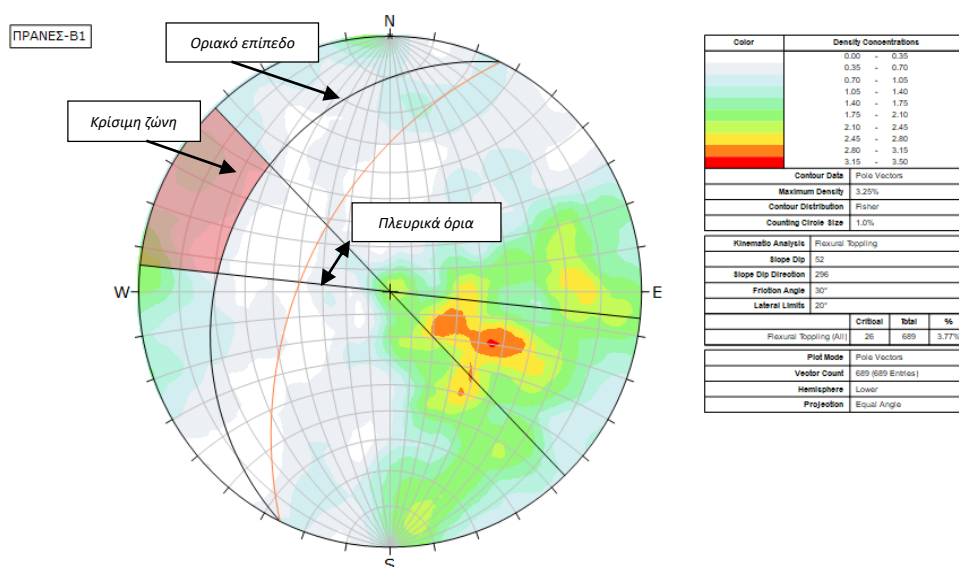
Εικόνα 6.4 Στερεοδιάγραμμα για την κινηματική ανάλυση σφηνοειδούς ολίσθησης- τμήμα πρανούς B1.

### 6.2.2.3 Κινηματική ανάλυση ανατροπής

Το στερεοδιάγραμμα της κινηματικής ανάλυσης ανατροπής, για το τμήμα πρανούς Β1, παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.5. Τα κύρια στοιχεία για τη διερεύνηση της ανατροπής είναι το επίπεδο του πρανούς, το οριακό επίπεδο και τα πλευρικά όρια. Τα στοιχεία προσανατολισμού του τμήματος πρανούς Β1 είναι  $52^{\circ}/296^{\circ}$  και η μέση γωνία εσωτερικής τριβής είναι  $30^{\circ}$ . Το οριακό επίπεδο ορίζει την κρίσιμη ζώνη για να συμβεί η ανατροπή. Το επίπεδο του ορίου ολίσθησης εξαρτάται από τη γωνία κλίσης του πρανούς και τη γωνία τριβής. Η γωνία κλίση του οριακού επιπέδου ολίσθησης προκύπτει από την αφαίρεση της γωνίας κλίσης του πρανούς και της γωνίας τριβής, η οποία για την περίπτωση του πρανούς Β1 είναι  $52-30=22$ . Η διεύθυνση κλίσης του οριακού επιπέδου είναι ίσα με αυτή της διεύθυνσης κλίσης του πρανούς ( $296^{\circ}$ ). Τα πλευρικά όρια καθορίζουν την πλευρική έκταση της κρίσιμης ζώνης σε σχέση με τη διεύθυνση κλίσης του πρανούς. Το όριο ορίζεται στις 30 μοίρες, όπως προτείνει ο Goodman.

Η κρίσιμη ζώνη για να συμβεί η ανατροπή αποτελεί την κόκκινη περιοχή της εικόνας 6.5. Κάθε πόλος που βρίσκεται σε αυτή την περιοχή αντιπροσωπεύει κίνδυνο για ανατροπή λόγω κάμψης.

Από το υπόμνημα που παρουσιάζεται στην εικόνα, 26 από τους 689 πόλους εμπίπτουν στην κρίσιμη ζώνη, η οποία έχει πιθανότητα 3,77% για την εμφάνιση ανατροπής. Αυτά τα στατιστικά στοιχεία δείχνουν ότι η ανατροπή στην περίπτωση αυτή δεν αποτελεί ανησυχία.



Εικόνα 6.5 Στερεοδιάγραμμα για την κινηματική ανάλυση ανατροπής– τμήμα πρανούς Β1.

### 6.3 Ανάλυση ευστάθειας πρανούς έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης

Επειδή στην περίπτωση του πρανούς μελέτης οι πόλοι των ασυνεχειών έχουν μεγάλη διασπορά, πραγματοποιήθηκε η ομαδοποίησή τους σε συστήματα ασυνεχειών (περιοχές με μεγάλη συγκέντρωση πόλων) με τη βοήθεια του λογισμικού Dips. Τα συστήματα ασυνεχειών παρουσιάζονται ως Παράρτημα.

Συνοπτικά, τα βήματα που ακολουθούνται για την αντιμετώπιση του προβλήματος της αστοχίας μορφής σφήνας είναι τα εξής:

- Καθορισμός της μέσης κλίσης και της διεύθυνσης κλίσης των σημαντικότερων οικογενειών ασυνεχειών.
- Προσδιορισμός των ενδεχόμενων σφηνών που μπορούν να ολισθήσουν.
- Υπολογισμός του συντελεστή ασφάλειας αυτών των σφηνών, ανάλογα με τον τρόπο αστοχίας τους.
- Υπολογισμός της ποσότητας του σπλισμού που απαιτείται για την βελτίωση του συντελεστή ασφάλειας των μεμονωμένων σφηνών έως ένα αποδεκτό επίπεδο.

Αφού λοιπόν εντοπιστεί ο προσανατολισμός των συστημάτων των ασυνεχειών, το επόμενο βήμα στην ανάλυση είναι να προσδιοριστεί εάν τα συστήματα αυτά δύναται να εκδηλώσουν κάποιο τύπο ολίσθησης. Η ανάλυση αυτή διεξάγεται από το λογισμικό με τη χάραξη μεγάλων κύκλων για κάθε ένα σύστημα ασυνεχειών, καθώς και για τον προσανατολισμό του επιπέδου του πρανούς. Με τον τρόπο αυτό, ο προσανατολισμός όλων των επιπέδων που έχουν επίδραση στην ευστάθεια αναπαρίσταται σε ένα ενιαίο διάγραμμα.

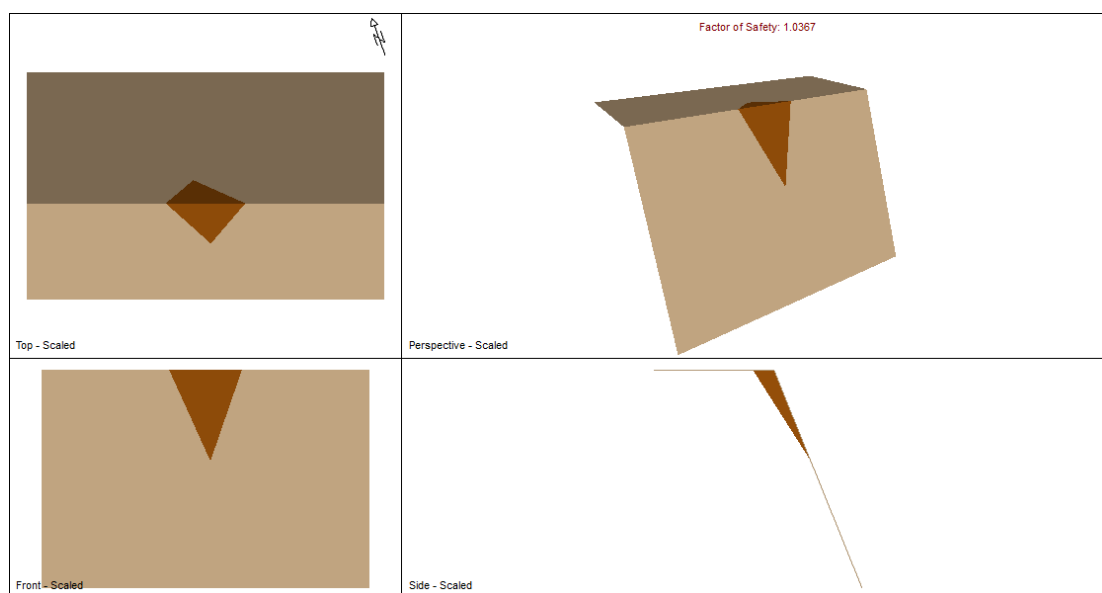
Στο σημείο αυτό θα πραγματοποιηθεί ο έλεγχος της ευστάθειας των επιμέρους τμημάτων του πρανούς για την εκδήλωση ολίσθησης μορφής σφήνας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται το λογισμικό Swedge της εταιρείας Rocscience. Πρόκειται για ένα λογισμικό εκτιμά τις τιμές του συντελεστή ασφαλείας για κάθε τμήμα του πρανούς που ορίζουμε, χρησιμοποιώντας την μέθοδο των Hoek-Bray (1981). Οι γεωμετρικές συνθήκες οι οποίες πρέπει να ικανοποιούνται για να την ύπαρξη σφηνοειδούς ολίσθησης έχουν ήδη περιγράψει στο υποκεφάλαιο 6.2.

Τα δεδομένα εισόδου που είναι απαραίτητα για την ανάλυση έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης με το λογισμικό Swedge είναι το ύψος του πρανούς, τα στοιχεία προσανατολισμού του πρανούς καθώς και τα στοιχεία των κύριων συστημάτων ασυνεχειών. Επιπλέον, εισάγονται και οι παράμετροι διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών σύμφωνα με το κριτήριο διατμητικής αντοχής Mohr-Coulomb ( $c=10-20\text{kPa}$  και  $\phi=30^\circ$ ). Το λογισμικό παρέχει την δυνατότητα ελέγχου κανονικών (στατικών) και σεισμικών συνθηκών φόρτισης. Για την περίπτωση της

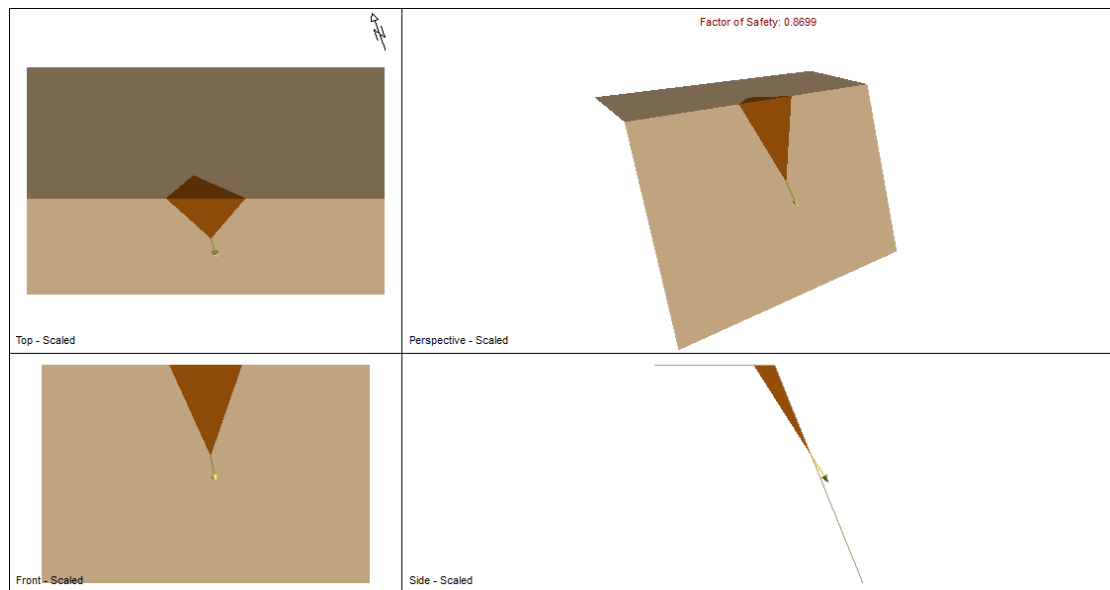
συνθήκης σεισμού η σεισμική επιτάχυνση του εδάφους λαμβάνεται 0.16g, τιμή αντιπροσωπευτική για την περιοχή μελέτης. Τέλος, το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα προσομοίωσης μέτρων αντιστήριξης και συγκεκριμένα αγκυρίων δίνοντας ταυτόχρονα τις βελτιωμένες τιμές του συντελεστή ασφαλείας.

Το λογισμικό μπορεί να αξιολογήσει την ευστάθεια του πρανούς χρησιμοποιώντας είτε την ντετερμινιστική (deterministic) είτε την πιθανολογική (probabilistic) είτε τη συνδυαστική (combination) μέθοδο ανάλυσης. Για μια ντετερμινιστική ανάλυση, όπως αυτή που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, το λογισμικό υπολογίζει τον συντελεστή ασφαλείας για μια σφήνα με γνωστό προσανατολισμό. Για την πιθανολογική ανάλυση, στατιστικά δεδομένα εισόδου μπορούν να εισαχθούν στο πρόγραμμα σχετικά με τα συστήματα ασυνεχειών και τις δυνάμεις που ασκούνται πράγμα που οδηγεί στην κατανομή του συντελεστή ασφαλείας, από το οποίο υπολογίζεται η πιθανότητα αστοχίας. Για την συνδυαστική ανάλυση προσδιορίζεται ο ελάχιστος απαιτούμενος συντελεστής ασφαλείας μίας σφήνας, με την εισαγωγή όλων των δεδομένων προσανατολισμού των επιπέδων των ασυνεχειών που έχουν μετρηθεί, και την ανάλυση όλων των πιθανών συνδυασμών που μπορούν να δώσουν σφηνοειδή ολίσθηση.

Τα αποτελέσματα των γεωτεχνικών υπολογισμών για την ανάλυση ευστάθειας των δυνητικά επισφαλών σφηνών παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.2. Αναλυτικότερα, οι υπολογισμοί δίνονται ως Παράρτημα. Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν για το κάθε τμήμα του πρανούς όπως αυτά έχουν ήδη οριστεί. Στην Εικόνα 6.6 δίνεται ένα παράδειγμα της προσομοίωσης για το τμήμα του πρανούς N0.



**Εικόνα 6.6 Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N0. Συνδυασμός ασυνεχειών set2-set5. Κανονικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 15m.**



**Εικόνα 6.7** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N0. Συνδυασμός ασυνεχειών set2-set5. Σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 15m. Τμήμα N0.

**Πίνακας 6.2** Ελάχιστοι συντελεστές ασφαλείας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για κάθε επισφαλές τμήμα του πρανούς μελέτης, σε αυτού του τύπου την μετακίνηση. Οι συντελεστές ασφαλείας

εκτιμώνται για στατικές και σεισμικές συνθήκες. Στις περιπτώσεις ύπαρξης μη αποδεκτών τιμών του συντελεστή ασφαλείας, υπολογίζεται εκ νέου μετά την τοποθέτηση αγκυριών.

Τμήμα πρανούς	Εμμονή ασυνεχειών (m)	Σ.Α. για στατικές / σεισμικές συνθήκες	Σ.Α. με αγκύρωση για στατικές / σεισμικές συνθήκες	Όγκος σφήνας (m <sup>3</sup> )
B1	12	>2	>2	-
B2	12	>2	>2	-
B3	12	1.63/1.39	-	6.8
Φ	10	1.26/1.07	2.49/2.04	7.1
N0	15	1.03/0.86	1.52/1.28	60.2
	9	1.44/1.29	-	13
N1	20	1.53/1.26	-	27
N2	15	1.12/0.91	1.68/1.37	75
	10	1.09/0.9	1.66/1.35	15
N3	10	1.05/0.88	1.72/2	21.5
	8	1.59/1.34	-	5.8
N4	20	1.01/0.87 (κλίση πρανούς 76°)	1.82/1.61	11.7
	12	1.5/1.29 (κλίση πρανούς 76°)	-	2.5
N5	15	1.46/1.23 (c=17KPa)	-	50.3
	10	1.33/1.12	1.79/1.51	14.9
N6	15	1.78/1.47	-	22.2
N7	20	1.93/1.63	-	17.7
N8	12	1.59/1.35	-	21.3
N9	15	>2	>2	-
N10	15	1.01/0.81	1.73/1.37	12.8
N11	12	1.76/1.45	-	22.4
N12	15	1.19/0.99	1.75/1.45	24.8
	10	1.21/0.96	1.6/1.2	27.8
N13	10	1.65/1.41 (κλίση πρανούς 80°)	-	10

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το λογισμικό Swedge παρέχει τη δυνατότητα προσθήκης αγκυριών στις σφήνες που σχηματίζονται στο πρανές. Τα αγκύρια αποτελούν μέτρα

σταθεροποίησης του πρανούς και συμβάλλουν γενικά στην αύξηση της διατμητικής αντοχής της βραχόμαζας κυρίως με την αύξηση των κάθετων δυνάμεων που επενεργούν στις ασυνέχειες.

Η προσομοίωση μπορεί να γίνει με τη χρήση είτε προεντεταμένων είτε παθητικών αγκυρίων. Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης, χρησιμοποιήθηκε η επιλογή των παθητικών αγκυρίων. Τα παθητικά αγκύρια δεν παραλαμβάνουν καμία δύναμη με την εγκατάσταση τους (όπως τα προεντεταμένα) αλλά ενεργοποιούνται όταν αρχίζει να συμβαίνει η παραμόρφωση.

Τα αγκύρια που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Φορτίο θραύσης ράβδου:  $F=187 \text{ kN}$
- Ολικό μήκος αγκυρίου:  $L=4-6\text{m}$

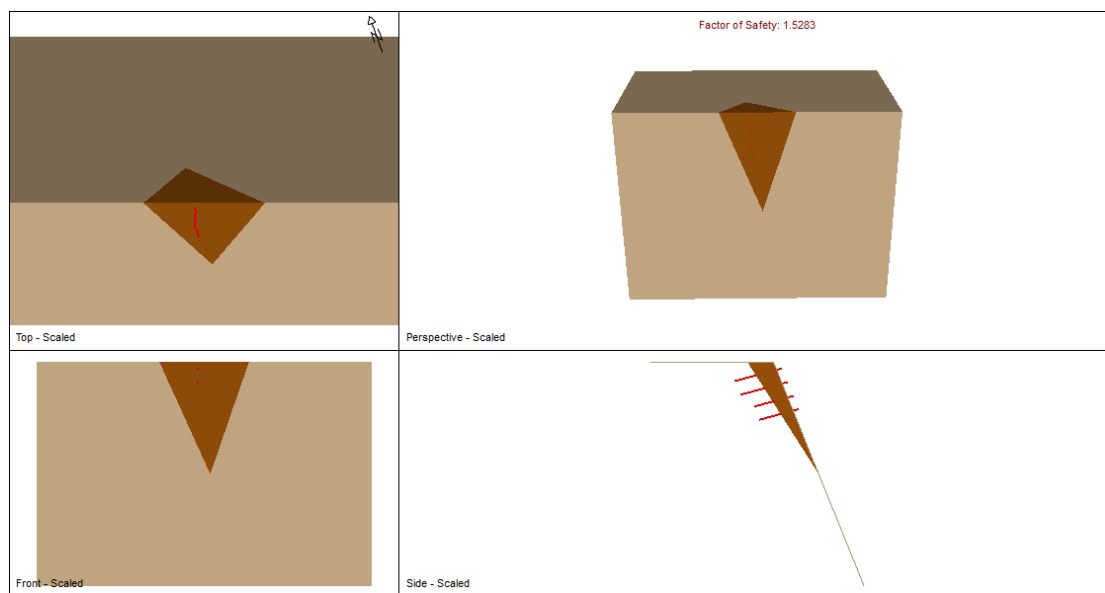
Ένα παράδειγμα τοποθέτησης αγκυρίων σε μία δυνητική σφήνα παρουσιάζεται στις Εικόνες 6.8, 6.9 και αφορά το τμήμα πρανούς N0. Για όλες τις περιπτώσεις που ο απαιτούμενος συντελεστής ασφαλείας δεν ήταν αποδεκτός πραγματοποιήθηκε προσομοίωση τοποθέτησης αγκυρίων, με τα χαρακτηριστικά που προαναφέρθηκαν, έτσι ώστε ο συντελεστής ασφαλείας να λάβει αποδεκτές τιμές. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων αυτών παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 6.3.

Συμπερασματικά, τα τμήματα που κρίνεται απαραίτητη η τοποθέτηση αγκυρίων στα επισφαλή για ολίσθηση τεμάχια είναι τα εξής: Φ, N0, N2, N3, N4, N5 και N12.

**Πίνακας 6.3** Ελάχιστοι συντελεστές ασφαλείας σε στατικές και σεισμικές συνθήκες μετά την τοποθέτηση παθητικών αγκυρίων στις δυνητικά επισφαλείς σφήνες.

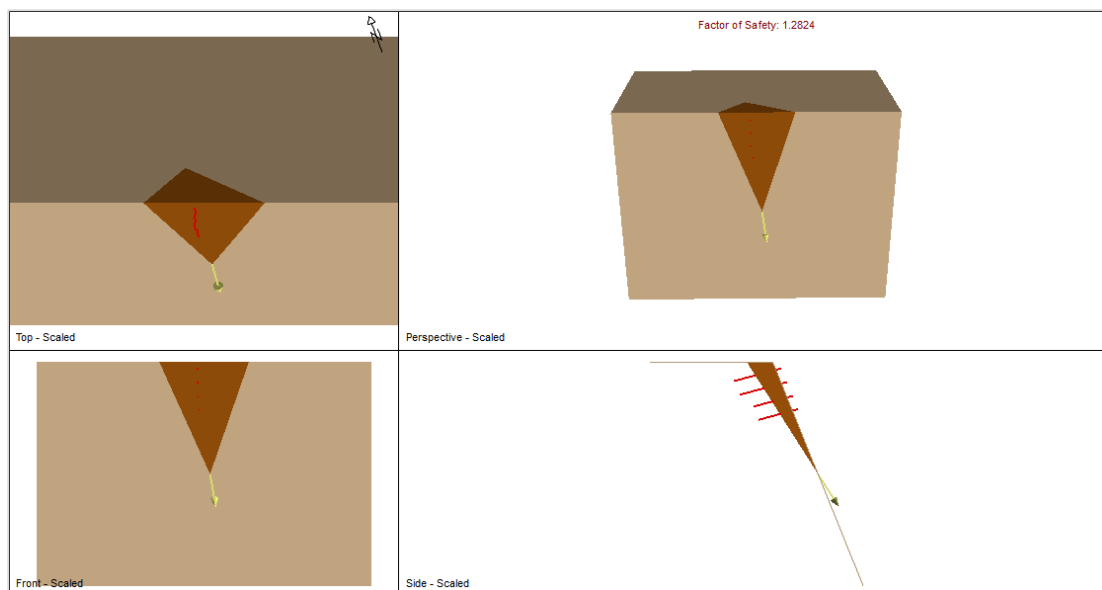
Τμήμα πρανούς	Αριθμός αγκυρίων	Ολικός μήκος αγκυρίων (m)	Σ.Α σε στατικές συνθήκες	Σ.Α σε σεισμικές συνθήκες	Όγκος σφήνας ( $m^3$ )
---------------	------------------	---------------------------	--------------------------	---------------------------	------------------------

$\Phi$	1	4	2.49	2.04	7.1
N0	4	4-6	1.52	1.28	60
	3	4-6	1.7	1.4	54.6
N2	1	4	1.58	1.35	15.7
	1	4	1.65	1.4	16.4
	4	4-6	1.68	1.37	75
	1	4	1.66	1.35	15
N3	2	4	1.72	1.44	21.5
N4	2	4	1.82	1.61	11.7
N5	1	4	1.79	1.51	14.9
N12	2	4	1.75	1.45	24.8
	1	4	1.6	1.2	27.8



Εικόνα 6.8 Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N0 με αγκύρωση (4 αγκύρια μήκους 4-6m). Συνδυασμός ασυνεχειών set2-set5. Κανονικές συνθήκες φόρτισης ,με εμμονή ασυνεχειών 15m.





Εικόνα 6.9 Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα NO με αγκύρωση (4 αγκύρια μήκους 4-6m). Συνδυασμός ασυνεχειών set2-set5. Σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 15m.

#### 6.4 Ανάλυση ευστάθειας πρανούς έναντι επίπεδης ολίσθησης

Από τα δεδομένα που ελήφθησαν από την φωτογραμμετρική ανάλυση (Λέκκας, κ.ά.) αλλά και την ανάλυση των δεδομένων με το λογισμικό Dips, εντοπίστηκαν οι δυνητικά επισφαλείς όγκοι για επίπεδη ολίσθηση. Οι αναλύσεις ευστάθειας έναντι επίπεδης ολίσθησης πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό RocPlane της εταιρείας Rocscience.

Το λογισμικό RocPlane παρέχει δύο τύπους ανάλυσης. Την ντετερμινιστική ανάλυση, η οποία χρησιμοποιείται και στην παρούσα εργασία, και θεωρεί όλες τις παραμέτρους εισόδου γνωστές υπολογίζοντας τελικά τον συντελεστή ασφαλείας για ένα συγκεκριμένο τέμαχος πιθανής ολίσθησης. Την πιθανολογική ανάλυση, κατά την οποία εισάγονται στατιστικά δεδομένα και τελικά το αποτέλεσμα της είναι μία κατανομή των συντελεστών ασφαλείας μέσω της οποίας εκτιμάται η πιθανότητα αστοχίας.

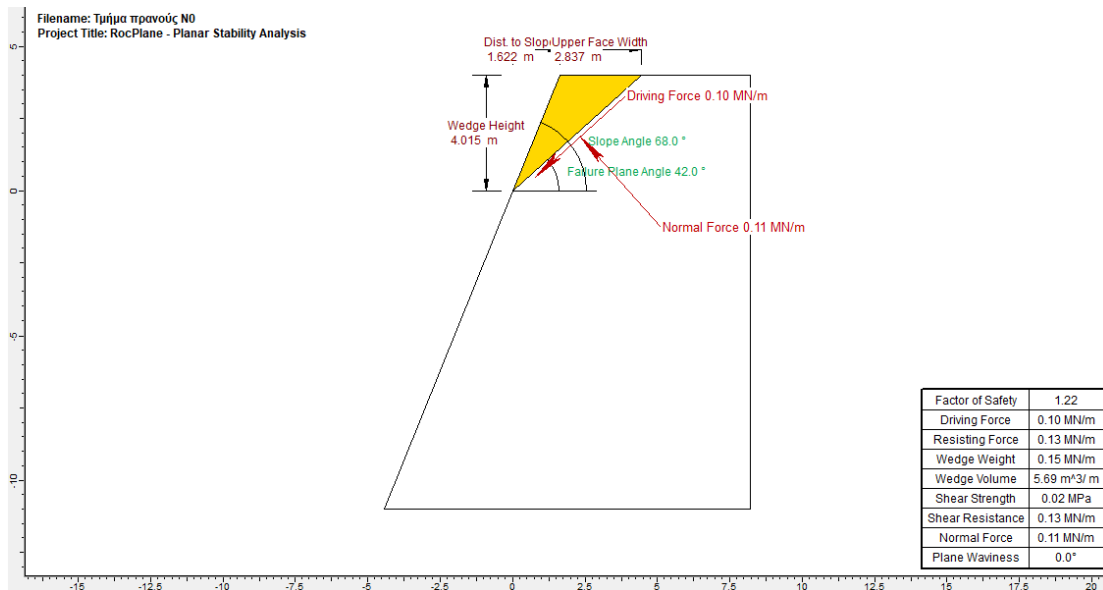
Όπως έχει ήδη αναφερθεί για να λάβει χώρα η επίπεδη ολίσθηση, προϋποτίθεται η ύπαρξη συστήματος ασυνεχειών με προσανατολισμό ίδιο με αυτόν του πρανούς. Σε αυτή την περίπτωση η ολίσθηση θα πραγματοποιηθεί κατά μήκος του συγκεκριμένου επιπέδου ασυνεχειών. Συνεπώς τα δεδομένα εισόδου στο λογισμικό αφορούν τη γεωμετρία του πρανούς (ύψος και κλίση πρανούς), τον προσανατολισμό του συστήματος ασυνεχειών και τις παραμέτρους διατμητικής αντοχής τους.

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που αφορούν την επίπεδη ολίσθηση παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 6.4. Δίνεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της ανάλυσης για το τμήμα πρανούς Ν0.

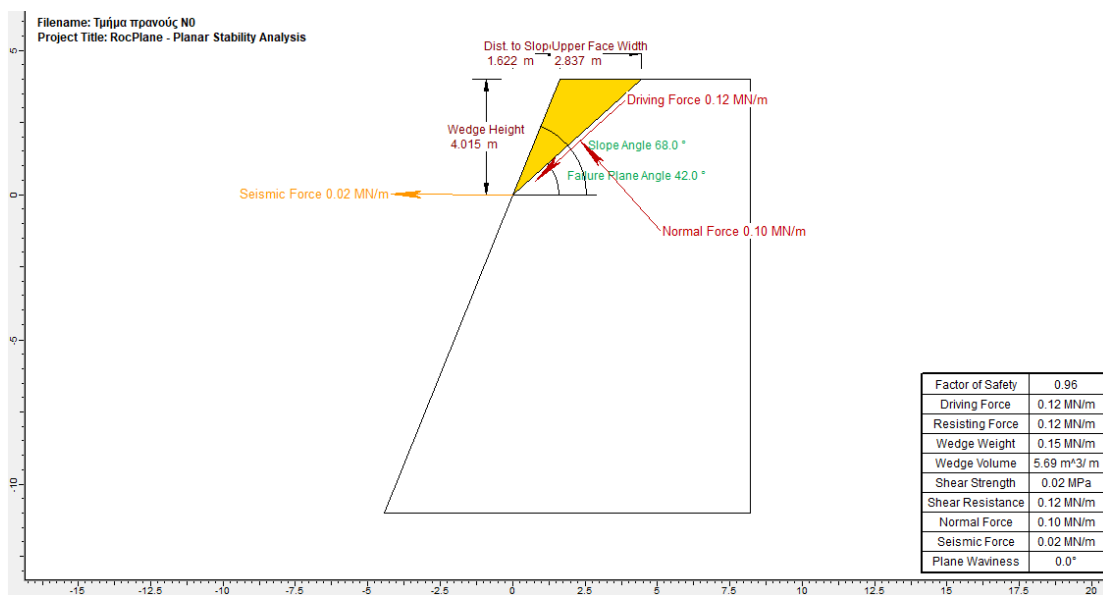
Από την ανάλυση προέκυψαν οι ελάχιστοι απαιτούμενοι συντελεστές ασφαλείας για τα επισφαλή σε επίπεδη ολίσθηση τμήματα του πρανούς. Επομένως, τα τμήματα που κρίνεται απαραίτητη η λήψη μέτρων σταθεροποίησης, συγκεκριμένα αγκύρωσης των επισφαλών τεμαχίων, είναι τα εξής: Φ, Ν0, Ν1, Ν1, Ν2, Ν3, Ν5, Ν9, Ν10, Ν12 και Ν13. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων με τη χρήση αγκυρίων παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 6.5 και αναλυτικά δίνονται ως Παράρτημα.

**Πίνακας 6.4 Ελάχιστοι συντελεστές ασφαλείας έναντι επίπεδης ολίσθησης για κάθε επισφαλές τμήμα του πρανούς μελέτης, σε αυτού του τύπου την μετακίνηση. Οι συντελεστές ασφαλείας εκτιμώνται για στατικές και σεισμικές συνθήκες. Στις περιπτώσεις ύπαρξης μη αποδεκτών τιμών του συντελεστή ασφαλείας, υπολογίζεται εκ νέου μετά την τοποθέτηση αγκυρίων.**

Τμήμα πρανούς	Ύψος τεμάχους(m)	Σ.Α. για στατικές / σεισμικές συνθήκες	Σ.Α. με αγκύρωση για στατικές / σεισμικές συνθήκες
B1	4	1.89/1.53	-
Φ	4.8	1.08/0.95	1.56/1.40
N0	4	1.22/0.96	1.77/1.42
N1	3.9	1.16/0.90	1.64/1.31
N2	3.9	1.15/0.98	1.52/1.31
	3.1	1.20/0.95	1.91/1.57
N3	3.7	1.01/0.81	2.03/1.70
N4	4.6	1.46/1.28	-
N5	8.8	1.13/1.38	1.98/1.66
N6	4.7	1.59/1.32	-
N9	3.1	1.14/0.93	1.83/1.54
N10	3.9	1.11/0.91	1.52/1.27
N11	4.4	1.63/1.37	-
N12	5.4	1.12/0.97	1.73/1.54
	4	1.14/0.92	1.86/1.55
N13	3.5	1.13/0.90	1.88/1.55



Εικόνα 6.10 Προσομοίωση πιθανής επίπεδης ολίσθησης για τμήμα πρανούς NO κατά μήκος της ασυνέχειας με προσανατολισμό 42/198, για κανονικές συνθήκες φόρτισης.



Εικόνα 6.11 Προσομοίωση πιθανής επίπεδης ολίσθησης για τμήμα πρανούς NO κατά μήκος της ασυνέχειας με προσανατολισμό 42/198, για σεισμικές συνθήκες φόρτισης.

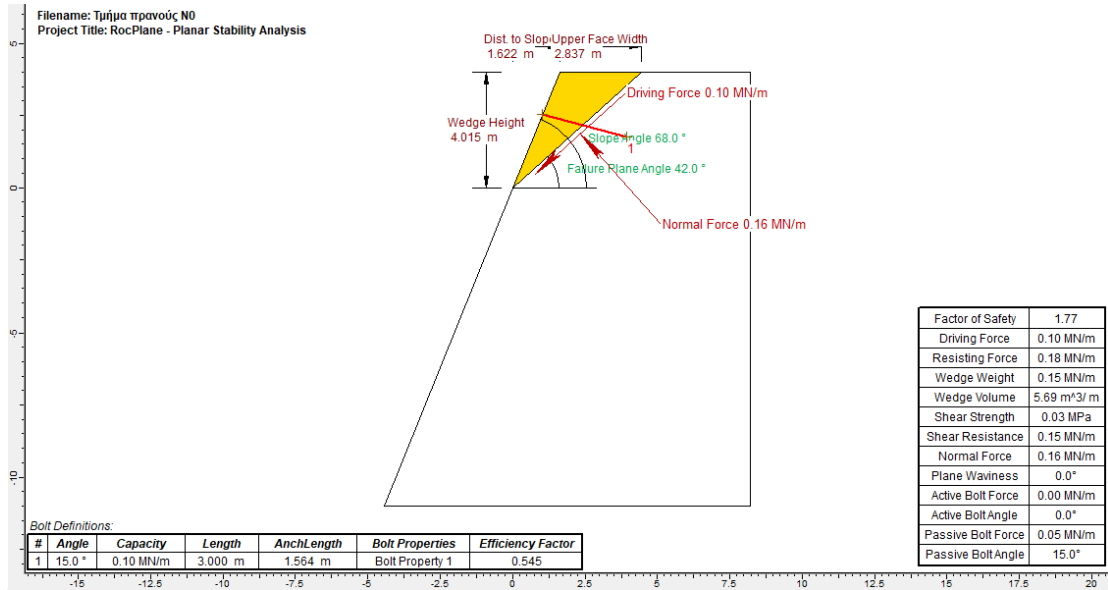
Συγκεκριμένα, η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε με αγκύρια σημειακής πάκτωσης με μηχανισμό διαστελλόμενου άκρου (*Mechanically Anchorade Bolts*). Πρόκειται για ράβδο κυκλικής διατομής από χάλυβα που στο άκρο του έχει μηχανισμό ο οποίος με περιστροφή της ράβδου μπορεί να διαστέλλεται σφηνούμενος στο περιβάλλον έδαφος. Η σφήνωση

πραγματοποιείται με βάθος διατρήματος, με διάμετρο ελαφρώς μεγαλύτερη εκείνης του μηχανισμού σε συνεσταλμένη κατάσταση. Η λειτουργία των αγκυριών αυτών έγκειται στη δυνατότητα ανάληψης εφελκυστικών δυνάμεων στο ελεύθερο άκρο που μεταφέρεται σε απομακρυσμένη μάζα του περιβάλλοντος (σταθερού) πετρώματος (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ, 2006). Τα χαρακτηριστικά των αγκυριών είναι τα εξής:

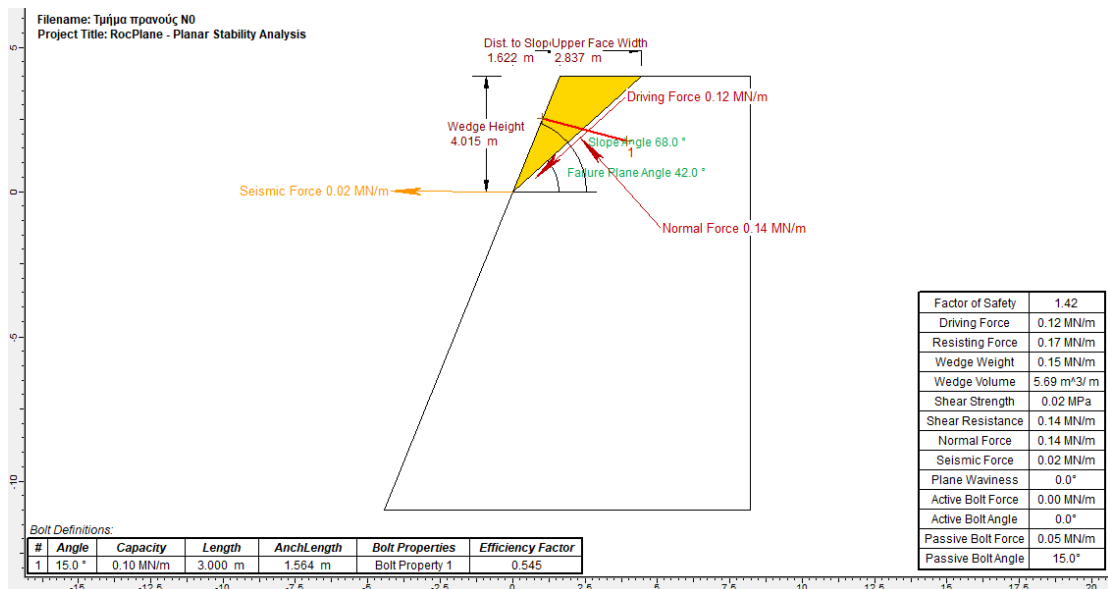
- Διατομή ράβδου:  $\varnothing=27\text{mm}$
- Φορτίο θραύσης ράβδου:  $F=320\text{ kN}$
- Ολικό μήκος αγκυρίου:  $L=3-5\text{m}$
- Ελεύθερο μήκος αγκυρίου:  $l=1.5-3.2\text{m}$

**Πίνακας 6.5 Ελάχιστοι συντελεστές ασφαλείας έναντι επίπεδης ολίσθησης με αγκύρωση για κάθε επισφαλές τμήμα του πρανούς μελέτης, σε αυτού του τύπου την μετακίνηση. Οι συντελεστές ασφαλείας εκτιμώνται για στατικές και σεισμικές συνθήκες.**

Τμήμα πρανούς	Αριθμός αγκυριών	Ολικό μήκος αγκυριών (m)	Σ.Α σε στατικές συνθήκες	Σ.Α σε σεισμικές συνθήκες	Ύψος τεμάχους (m)
Φ	2	3	1.56	1.40	4.8
N0	1	3	1.77	1.42	4
N1	1	5	1.64	1.31	3.9
N2	1	3	1.52	1.31	3.9
	1	4	1.91	1.57	3.1
N3	2	4	2.03	1.70	3.7
N5	2	4	1.98	1.66	8.8
N9	1	3	1.88	1.54	3.1
N10	1	4	1.52	1.27	3.9
N12	2	4	1.73	1.54	5.4
N13	1	4	1.86	1.55	4
	1	4	1.88	1.55	3.5



Εικόνα 6.12 Προσομοίωση πιθανής επίπεδης ολίσθησης με αγκύρωση για τμήμα πρανούς ΝΟ κατά μήκος της ασυνέχειας με προσανατολισμό 42/198, για κανονικές συνθήκες φόρτισης.



Εικόνα 6.13 Προσομοίωση πιθανής επίπεδης ολίσθησης με αγκύρωση για τμήμα πρανούς ΝΟ κατά μήκος της ασυνέχειας με προσανατολισμό 42/198, για κανονικές συνθήκες φόρτισης.

## 7 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΒΡΑΧΟΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ

---

### 7.1 Γενικά

Οι βραχοπτώσεις αποτελούν έναν συχνό και ταχύ τύπο μετακίνησης βραχωδών τεμαχών, κοινό σε ορεινές περιοχές και κυρίως σε περιοχές με απότομα βραχώδη πρανή. Κατά αυτό το φαινόμενο, ένα βραχώδες τέμαχος ή μία ομάδα ανεξάρτητα μετακινούμενων βραχωδών τεμαχών, αποκολλάται με ολίσθηση, ανατροπή ή πτώση, μετατοπίζεται κινούμενο προς τα κατάντη κατακόρυφων ή σχεδόν κατακόρυφων πρανών και συνεχίζει με αναπήδηση ακολουθώντας συγκεκριμένη τροχιά (Kliche ,2003).

Μια τυπική πτώση βράχου εμφανίζεται σε ένα τεμαχισμένο (*jointed*), απότομο βραχώδες πρανές όπου τα επίπεδα των ασυνεχειών παρουσιάζουν χαμηλή διατμητική αντοχή λόγω της αποσάθρωσής τους (Collins and Stock, 2016). Άλλοι παράγοντες που ευνοούν τη δημιουργία καταπτώσεων, είναι η σεισμική δραστηριότητα, η μεγάλη ένταση και διάρκεια βραχοπτώσεις, οι απότομες εναλλαγές θερμοκρασίας καθώς και οι ανθρώπινες δραστηριότητες (Ansari et.al, 2012; Asteriou et.al, 2012; Dorren ,2003).

Οι πιο σημαντικοί παράγοντες ελέγχου της τροχιάς ενός βραχοτεμάχου είναι η γεωμετρία του πρανού και ο τύπος της επιφάνειας του πρανού. Άλλοι παράγοντες όπως το μέγεθος και το σχήμα του βραχοτεμάχου, τα χαρακτηριστικά τριβής της επιφάνειας των ολίσθησης και το αν το βραχοτέμαχος θραύεται ή όχι κατά τη κρούση θεωρούνται μικρότερης σημαντικότητας (Hoek, 1998).

### 7.2 Μελέτες τροχιάς

Σκοπός της μελέτης των βραχοκαταπτώσεων είναι ο ορισμός μέτρων προστασίας του πρανού έναντι αυτών. Σε μία πρώτη φάση μπορούν να ορισθούν κάποια πιθανά μέτρα προστασίας. Όμως, για την λεπτομερέστερη μελέτη των μέτρων προστασίας θα πρέπει να μελετηθεί η αποτελεσματικότητά τους σε σχέση με τις πιθανές τροχιές των βραχοτεμαχών. Με τον τρόπο αυτό θα προκύψει ο τελικός σχεδιασμός των μέτρων προστασίας.

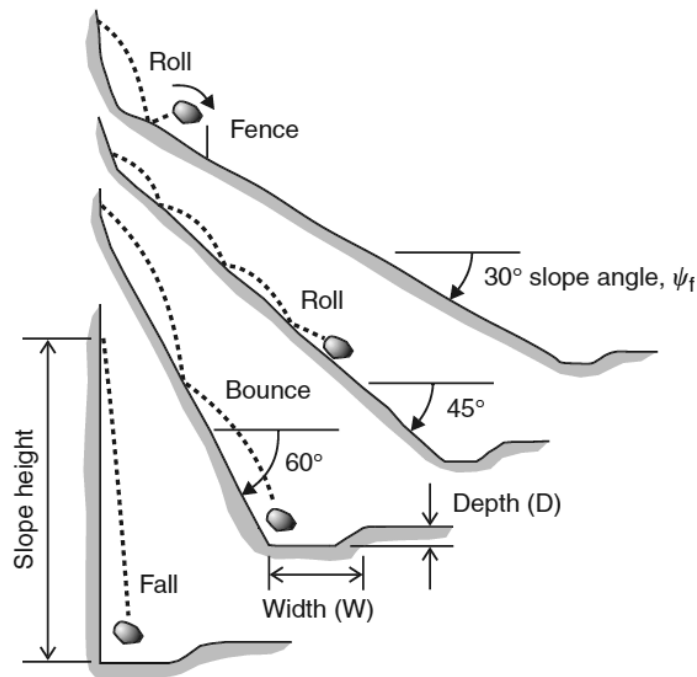
Για τη μελέτη αυτή χρησιμοποιούνται ειδικά λογισμικά τα οποία προσομοιώνουν τις πιθανές τροχιές των βράχων. Πιο συγκεκριμένα, τα λογισμικά αυτά αναλύουν την τροχιά του τεμάχου που πέφτει ως ένα συνδυασμό των εξής τύπων κίνησης (Descoeudres and Zimmermann 1987):

- ελεύθερη πτώση (*free flight*),
- αναπήδηση (*bouncing*),
- κύλιση (*rolling*) και

- ολίσθηση (*sliding*)

Κατά την ανάλυση της τροχιάς του τεμάχου που αποκολλάται, αγνοείται η αντίσταση του αέρα, ενώ ως σημείο αναφοράς θεωρείται το κέντρο μάζας του. Με αυτές τις παραδοχές, η τροχιά του τεμάχου μπορεί να θεωρηθεί παραβολική. Το είδος της κίνησης καθορίζεται βάσει της γωνίας κλίσης του πρανούς (Ritchie 1963). Ως γωνία κλίσης λαμβάνεται η γωνία μεταξύ οριζώντιου επιπέδου και επιπέδου πρανούς. Η κατηγοριοποίηση αυτή έχει ως εξής:

- Για γωνίες κλίσης μέχρι 45 μοίρες ο επικρατέστερος τύπος κίνησης θεωρείται η κύλιση
- Για γωνίες κλίσης μεταξύ 46 και 60 μοιρών επικρατεί η αναπήδηση
- Για γωνίες μεγαλύτερες των 60 μοιρών ως κύρια κίνηση θεωρείται η ελεύθερη πτώση (Ritche, 1963).



Εικόνα 7.1 Τροχιές βραχοπτώσεων.. Επιρροή της κλίσης του πρανούς στο είδος της τροχιάς: κύλιση (κλίση 1,25:1 έως 1:1), αναπήδηση (κλίση 0,5:1) ή ελεύθερη πτώση (κλίση 0,25:1), (Ritchie, 1963).

Το λογισμικό που χρησιμοποιείται συνήθως στη μελέτη της πτώσης βράχων είναι το RocFall της εταιρείας Rocscience (Ansari et al, 2018; Mineo et al 2018; Volkwein et al 2018). Το λογισμικό αυτό θα χρησιμοποιηθεί και στην παρούσα εργασία. Το λογισμικό RocFall είναι ένα από τα πιο αναλυτικά λογισμικά για τη δισδιάστατη μελέτη της κατάπτωσης βραχοτεμαχίων από ένα πρανές. Πρόκειται για ένα λογισμικό στατιστικής ανάλυσης, το οποίο υπολογίζει την κινητική ενέργεια, την ταχύτητα, το ύψος αναπήδησης καθώς και την τελική θέση των δυνητικά επισφαλών βραχοτεμαχίων.

Η δισδιάστατη προσέγγιση του φαινομένου των βραχοπτώσεων είναι προτιμότερη από λειτουργικής και υπολογιστική άποψη, όμως η ερμηνεία των αποτελεσμάτων είναι υποκειμενική αφού η προσομοίωση σε ένα δισδιάστατο μοντέλο γίνεται κατά μήκος μιας καθορισμένης τομής χωρίς να λαμβάνει υπόψιν την τρισδιάστατη φύση της γεωμετρίας των πρηνών (Crosta & Locatelli, 2004).

Οι προσομοιώσεις που πραγματοποιεί το λογισμικό αυτό βασίζονται στη θεωρία των πιθανοτήτων (στοχαστική ανάλυση). Το λογισμικό επίσης παρέχει τη δυνατότητα του καθορισμού διορθωτικών μέτρων και μέτρων προστασίας για το πρηνές. Οι τιμές των παραμέτρων για κάθε τμήμα του πρηνούς μπορούν να αλλάζουν για κάθε ανάλυση, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων και την επιλογή των πιο αντιπροσωπευτικών (Βαγενάς Ν., 2009).

Ο τύπος των αρχείων που παράγει το λογισμικό είναι της μορφής “.fal”. Η εισαγωγή δεδομένων που αφορούν στη γεωμετρία του πρηνούς, μπορεί να γίνει γραφικά, με εισαγωγή συντεταγμένων της μορφής (x,y), ή και από σχεδιαστικά προγράμματα πχ. AutoCAD εισάγοντας το (.dxf) αρχείο (Βαγενάς Ν., 2009).

Μία τυπική ανάλυση μέσω του λογισμικού RocFall ακολουθεί τα εξής βήματα

- Ορισμός πρηνούς
- Ορισμός των υλικών του πρηνούς
- Συσχέτιση των υλικών για κάθε τμήμα του πρηνούς
- Καθορισμός των θέσεων εκκίνησης των βραχοτεμαχών (*seeders*)
- Υπολογισμοί
- Γραφικές αναπαραστάσεις των αποτελεσμάτων

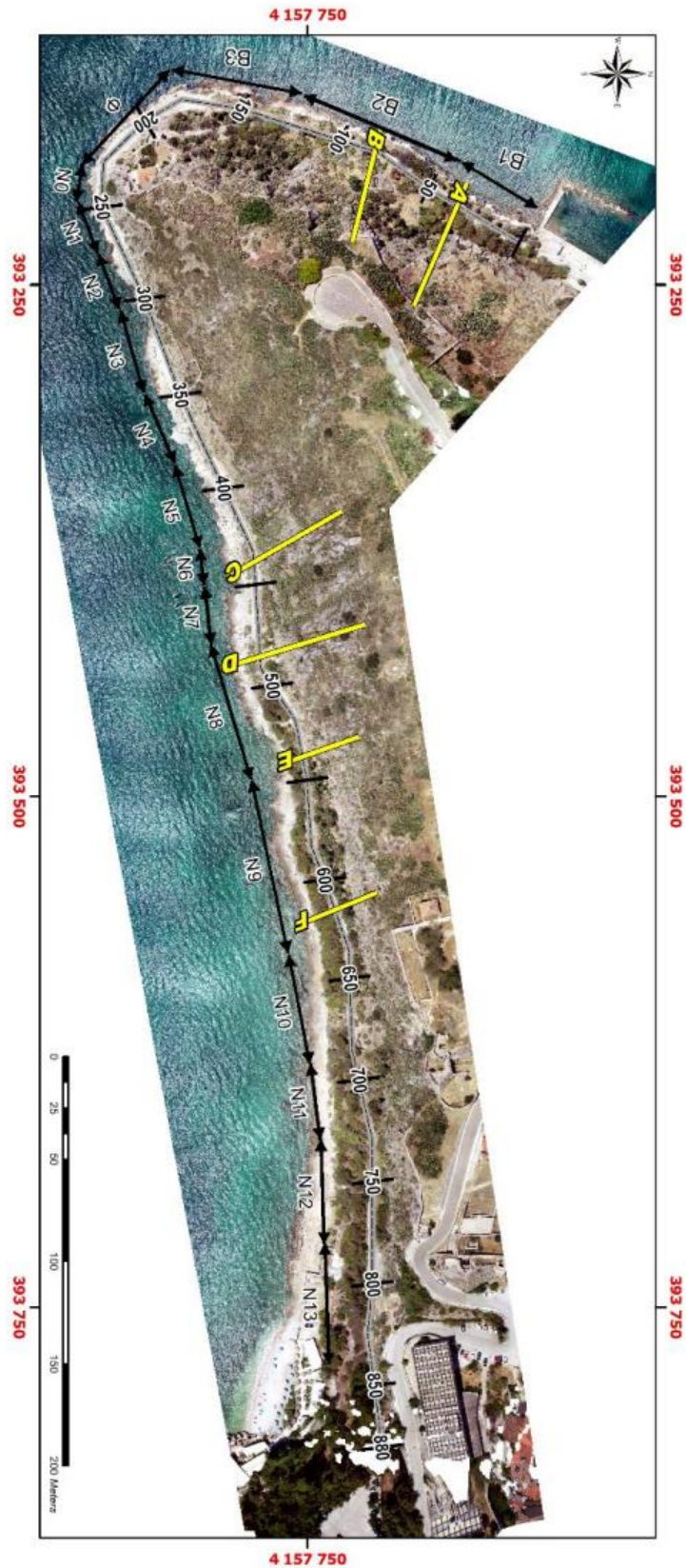
Μερικά σημαντικά χαρακτηριστικά του λογισμικού είναι τα εξής:

- Φράχτες (*barriers*): Αποτελούν γραμμικά ίχνη των οποίων το ένα άκρο τοποθετείται στην επιφάνεια του πρηνούς από τον χρήστη και λειτουργούν ως προληπτικά μέτρα.
- Σημεία εκκίνησης (*seeders*): Πρόκειται για τα σημεία που καθορίζουν τις αρχικές συνθήκες εκκίνησης των βραχοτεμαχών.
- Γεωμετρία πρηνούς (*slope geometry*): Το πρηνές μπορεί να αποτελείται από οποιοδήποτε αριθμό τμημάτων με ελάχιστο μήκος 0,001m. Τα τμήματα είναι δυνατόν να προεξέχουν σε σχέση με το επόμενο τους εκτός από το πρώτο και το τελευταίο τμήμα του πρηνούς. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής του υλικού για κάθε τμήμα του πρηνούς.



- Υπολογισμοί (*calculations*): Αφορούν τα αρχικά δεδομένα (την γωνιακή ταχύτητα, την γωνία τριβής, το συντελεστή κρούσης) τα οποία χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς.

Η μελέτη ευστάθειας των πρανών κατά μήκος του πρανούς της περιοχής μελέτης πραγματοποιήθηκε σε έξι διατομές του πρανούς (A, B, C, D, E και F, Εικ. 10), οι οποίες επιλέχθηκαν με βάση την φωτογραμμετρική ανάλυση (**Εικ.7.2**) και την επι-τόπου έρευνα ως οι δυσμενέστερες αναφορικά με τη κλίση τους, το ύψος τους και τον αναμενόμενο μηχανισμό εκδήλωσης της αστοχίας (Λέκκας κ.ά., 2022).



Εικόνα 7.2 Χιλιομέτρηση κατά μήκος του Μονοπατιού της Αρβανιτιάς, με σημείο έναρξης την Βόρεια πύλη εισόδου. Σημειώνονται τα επιμέρους τμήματα στα οποία διακρίθηκαν τα πρηνή και οι θέσεις διατομών (Λέκκας κ.ά., 2022).

Σε αυτές τις διατομές έγιναν προσομοιώσεις βραχοκαταπτώσεων με το λογισμικό Rocfall. Οι ακριβείς συντεταγμένες των έντεκα διατομών δίνονται στον Πίνακα 7.1

Πίνακας 7.1 Συντεταγμένες διατομών πρανούς μελέτης.

ΔΙΑΤΟΜΗ	Χ.Θ.	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ (X,Y)			
		ΕΛΑΧΙΣΤΟ		ΜΕΓΙΣΤΟ	
A	0+35	393148.78	-6.043	393291.157	64.886
B	0+82	393122.553	-5.463	393277.542	63.041
C	0+438	393271.14	-8.025	393480.037	84.306
D	0+485	393321.64	-6.469	393529.41	85.364
E	0+539	393380.594	-6.757	393573.058	78.311
F	0+615	393475.535	-3.447	393633.299	66.283

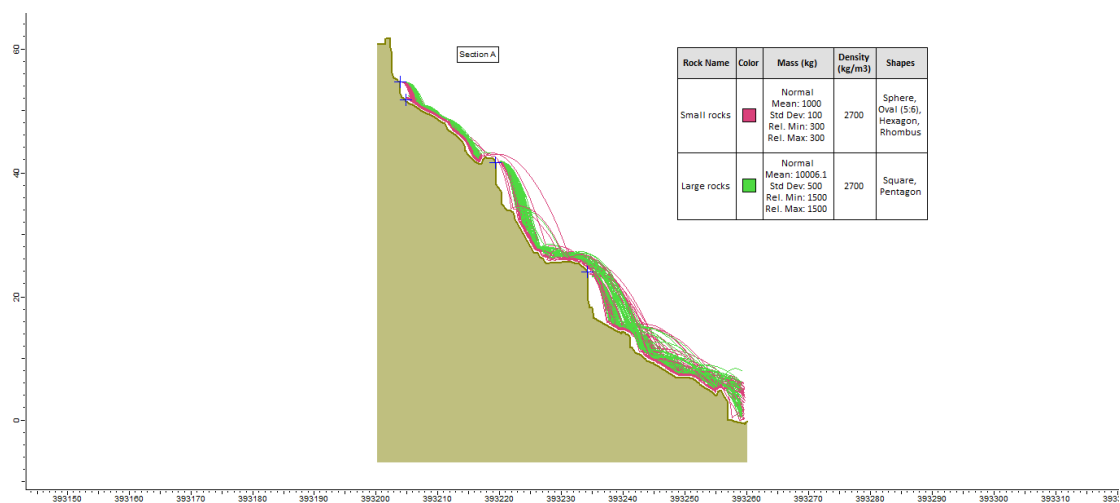
Αρχικά στο λογισμικό, ορίστηκε η γεωμετρία των πρανών για κάθε επιμέρους διατομή. Έπειτα ακολουθεί ο ορισμός των υλικών που αποτελούν το πρανές. Το Rocfall, παρέχει τη μερικά προκαθορισμένα υλικά αλλά και τη δυνατότητα ορισμού νέων υλικών. Για τις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε η προκαθορισμένη επιλογή “*Bedrock Outcrops*”.

Το επόμενο βήμα που πραγματοποιήθηκε ήταν ο καθορισμός των θέσεων εκκίνησης (*seeders*) και των αρχικών συνθηκών των καταπτώσεων. Ανάλογα με την κάθε διατομή τοποθετήθηκαν από 2 έως και 7 θέσεις εκκίνησης των βραχοτεμαχών. Στις αρχικές συνθήκες η οριζόντια ταχύτητα των βράχων έλαβε τιμές 3m/s ( $\pm 1.2$ ). Για τις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκαν δύο μεγέθη βραχοτεμαχών. Συγκεκριμένα, τα βραχοτεμάχια έλαβαν τιμές για τη μάζα τους 1.000kg ( $\pm 300$ ) και 10.000kg ( $\pm 1.500$ ) και θεωρήθηκαν πως έχουν διάφορα σχήματα. Η γωνιακή ταχύτητα κατά την κίνηση υπολογίστηκε από το λογισμικό. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι αναλύσεις για κάθε διατομή.

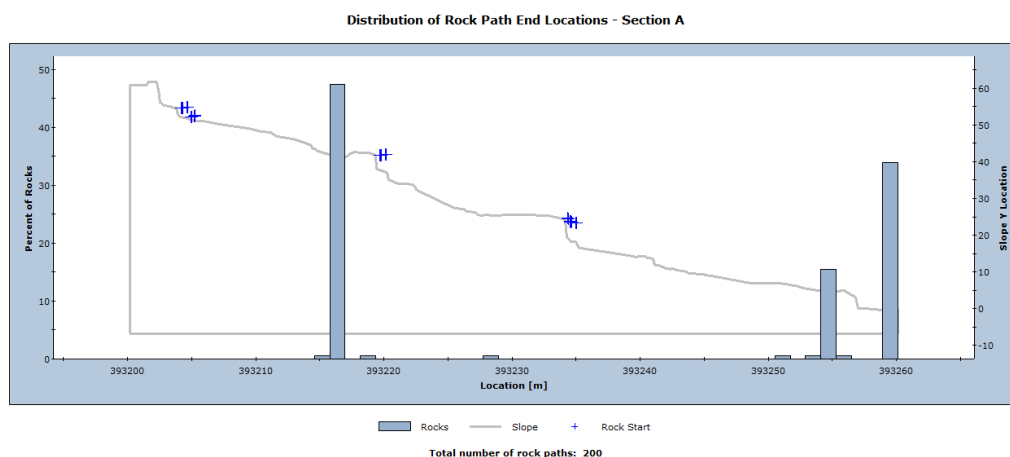
### 7.2.1 Διατομή Α

Η διατομή Α έχει συνολικό μήκος 74.4m, εμφανίζει μία σχετικά ανομοιόμορφη κλίση, με ορισμένες θέσεις να παρουσιάζουν αρκετά απότομες κλίσεις. Ακολουθώντας τη διαδικασία μίας τυπικής ανάλυσης στο λογισμικό Rocfall όπως αυτή έχει περιγραφεί, πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση καταπτώσεων βραχοτεμαχίων στη διατομή αυτή.

Για αυτήν τη διατομή οι πηγές τροφοδοσίας που επιλέχθηκαν είναι σημειακές, σε 4 διαφορετικά σημεία της τομής και συγκεκριμένα στο τμήμα με ύψος 54m, 51m, 41m, και 24m, όπου εμφανίζονται οι μεγαλύτερες κλίσεις του πρανούς. (Εικ.7.3).

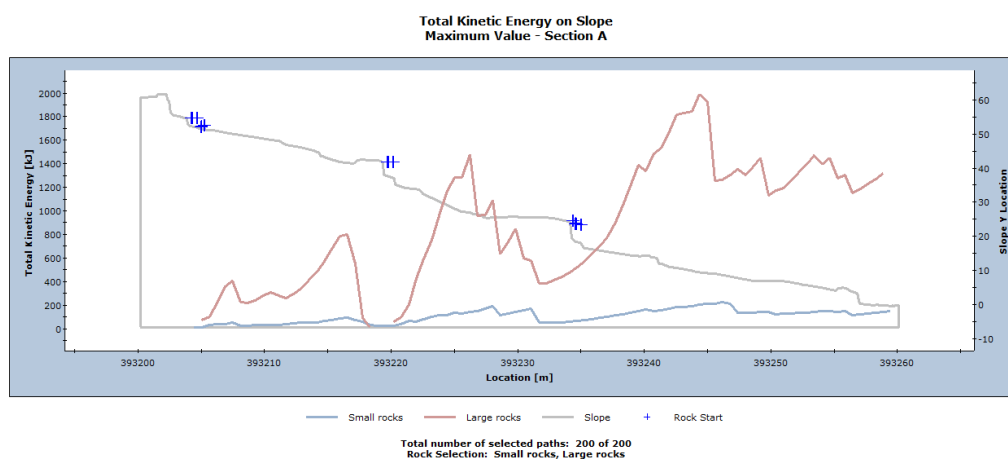


Εικόνα 7.3 Αναμενόμενες τροχιές βραχοτεμαχίων για τη διατομή Α.



Εικόνα 7.4 Αναμενόμενες τελικές θέσεις των βραχοτεμαχίων για τη διατομή Α. Εκτίμηση μέγιστης απόστασης των βραχοτεμαχίων από την αρχική τους θέση.

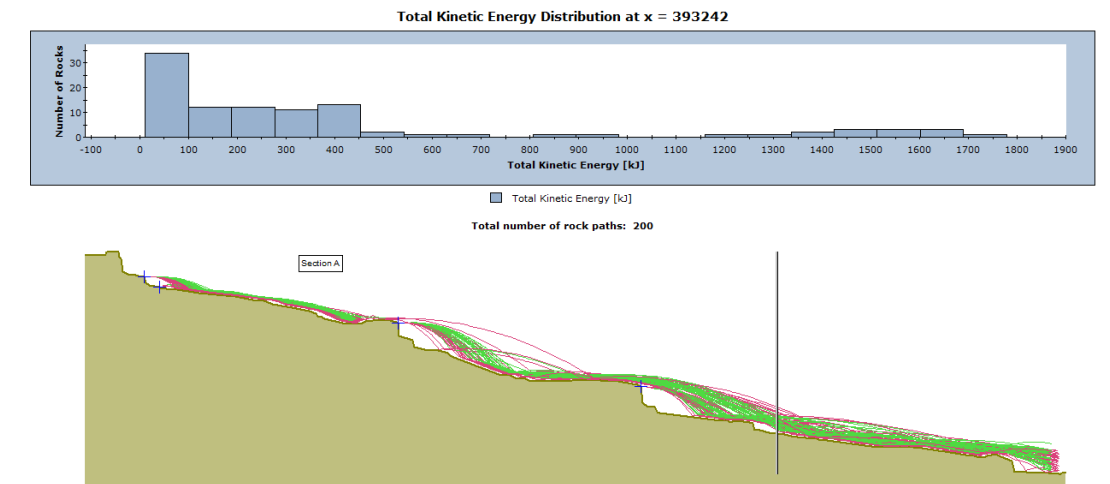
Από την παραπάνω ανάλυση, προέκυψε ότι οι τελικές θέσεις που αναμένεται ένα μεγάλο ποσοστό από τα βραχοτεμάχια (Εικ.7.4) είναι σε απόσταση μεγαλύτερη από το μήκος της διατομής και επομένως προβλέπεται να προσπελάσουν το τμήμα του περιπάτου. Η μέγιστη κινητική ενέργεια που υπολογίστηκε από το λογισμικό στο σημείο που φτάνουν τα βραχοτεμάχια στο δρόμο είναι, για τα μεγάλα τεμάχια 1.992 kJ και για τα μικρά 224 kJ. Συνεπώς κρίνεται απαραίτητη η τοποθέτηση φράχτη ανάσχεσης (Εικ.7.5).



Εικόνα 7.5 Αναμενόμενη συνολική κινητική ενέργεια για τη διατομή A, των βραχοτεμαχίων.

Ο φράχτης ανάσχεσης συνήθως τοποθετείται στην ευρύτερη ζώνη της βάσης ενός απότομου πρανούς με σκοπό τη συγκράτηση των αναμενόμενων καταπτώσεων μακράν της προστατευόμενης περιοχής. Ο σχεδιασμός των συγκεκριμένων φραχτών πραγματοποιείται με τρόπο ώστε να ικανοποιούνται συγκεκριμένες κατασκευαστικές απαιτήσεις, οι οποίες προδιαγράφονται με βάση τις αναμενόμενες καταπτώσεις (μέγιστη κινητική ενέργεια πρόσκρουσης, είδος κατάπτωσης δηλαδή πτώση-κύλιση-αναπήδηση) και για το σκοπό αυτό η κατασκευή τους απαιτεί ενισχυμένα τεχνικά υλικά.

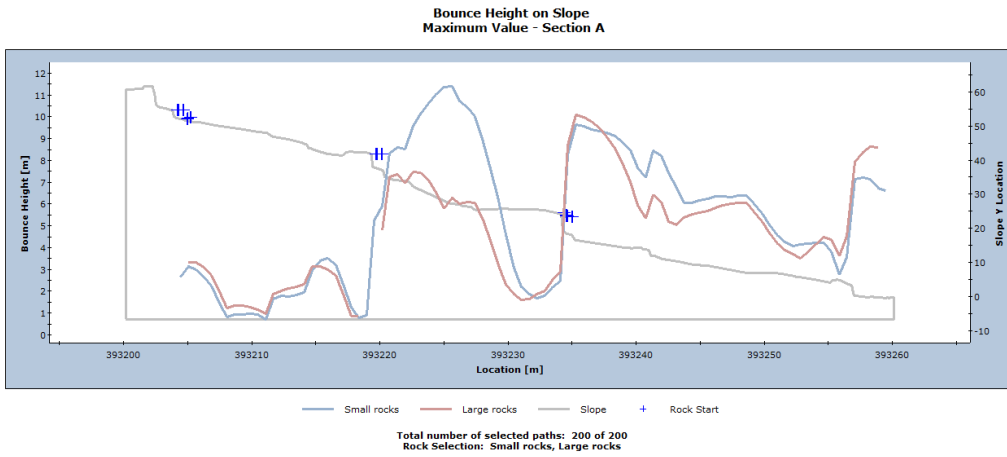
Ένα βασικό χαρακτηριστικό που καθιστά τους φράχτες ανάσχεσης ως μία ικανοποιητική λύση για την περίπτωση της περιοχής μελέτης, είναι ότι αποτελούν μία κατασκευή που «δένει» με το φυσικό περιβάλλον (φυσική γρήγορη ανάπτυξη και κάλυψη από βλάστηση) χωρίς να αλλοιώνει ιδιαίτερα το χαρακτήρα της τοποθεσίας. Επιπλέον, οι δυνατότητες αναχαίτησης είναι πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με μία τελείως άκαμπτη κατασκευή και μάλιστα όταν οι αναμενόμενες προσκρούσεις αναφέρονται σε υψηλό εύρος τιμών δυναμικής ενέργειας πρόσκρουσης (τουλάχιστον 2000kJ) (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007).



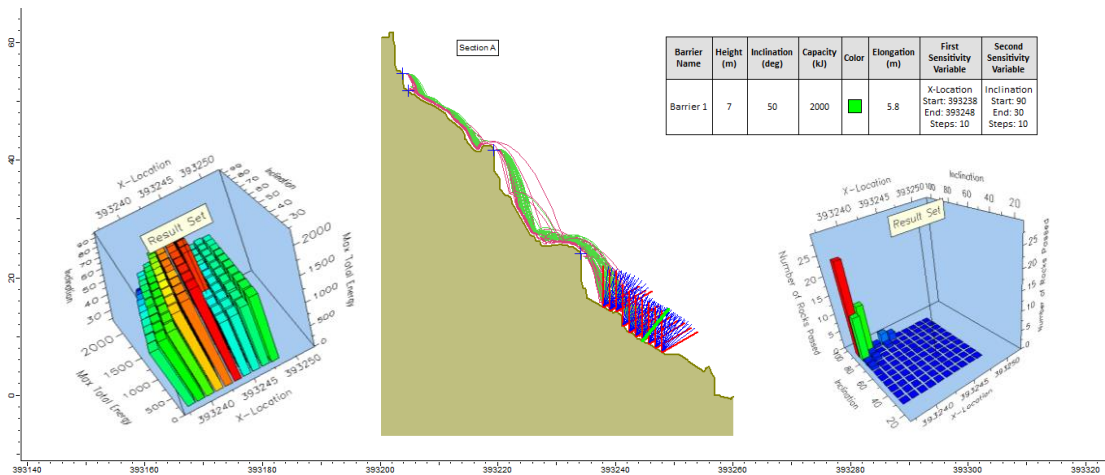
**Εικόνα 7.6 Αναμενόμενη τελική κινητική ενέργεια για κάθε θέση. Επισημαίνεται μία αρχική προτεινόμενη θέση τοποθέτησης, του φράχτη ανάσχεσης, στη θέση χαμηλής κινητικής ενέργειας**

Ο φράχτης θα πρέπει να τοποθετηθεί σε μία θέση όπου θα σταματά την πορεία όλων των πηγών τροφοδοσίας και ταυτόχρονα σε αυτή τη θέση η κινητική ενέργεια να είναι η ελάχιστη δυνατή. Επομένως, μία θέση αυτών το χαρακτηριστικών είναι αυτή που επισημαίνεται στην Εικόνα 7.6 και θα αναλυθεί περαιτέρω.

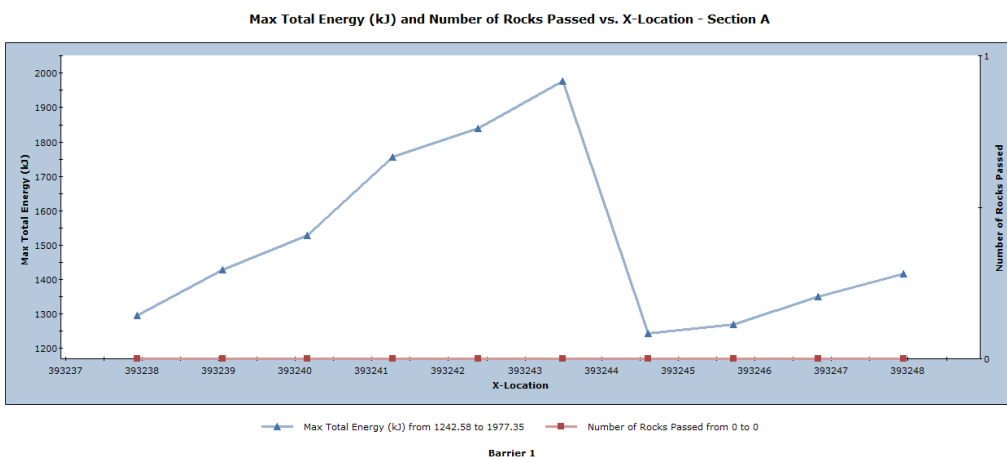
Με τη χρήση λοιπόν, του λογισμικού παρέχεται η δυνατότητα του εντοπισμού της βέλτιστης θέσης στην οποία θα τοποθετηθεί ο φράχτης ανάσχεσης. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις ευαισθησίας για διάφορες περιπτώσεις που αφορούν τη θέση του φράχτη ανάσχεσης, τα χαρακτηριστικά αυτού σε σχέση με την απαιτούμενη απορρόφηση κινητικής ενέργειας. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό που μελετάται είναι το ύψος του φράχτη, για το οποίο είναι σημαντική η μελέτη της κινητικής ενέργειας των βραχοτεμαχών και η απόσταση που αυτά μπορούν να φτάσουν κατά την πτώση. Ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλονται αυτά τα μεγέθη σε συνάρτηση με άλλες παραμέτρους (ύψος και κλίση πρανούς) μπορεί να μελετηθεί με το λογισμικό. Τα αποτελέσματα αυτά δίνονται για την διατομή A (**Εικ 7.7-7.11**) παρακάτω ενώ αναλυτικά για τις υπόλοιπες διατομές θα δίνονται ως Παράρτημα.



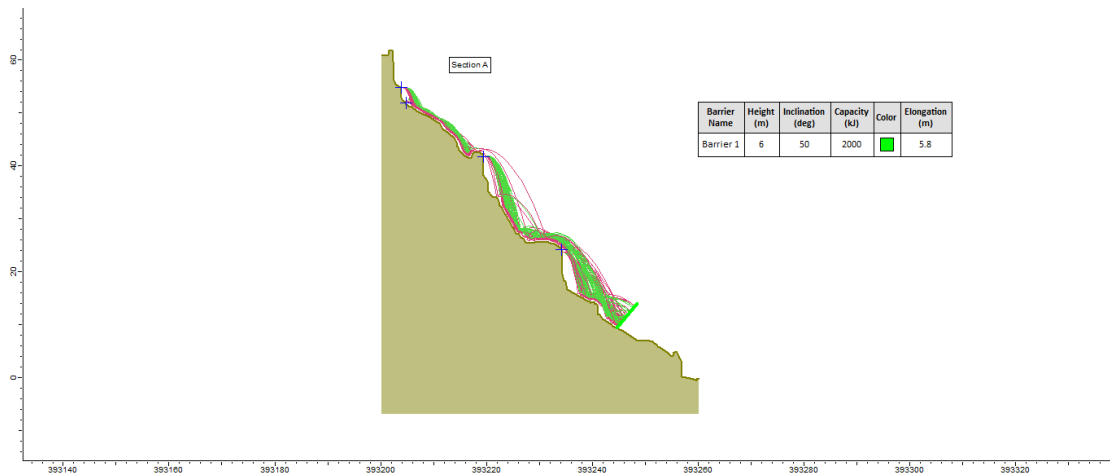
Εικόνα 7.7 Διάγραμμα ύψους αναπήδησης για τη διατομή Α των δύο τύπων βραχοτεμαχών.



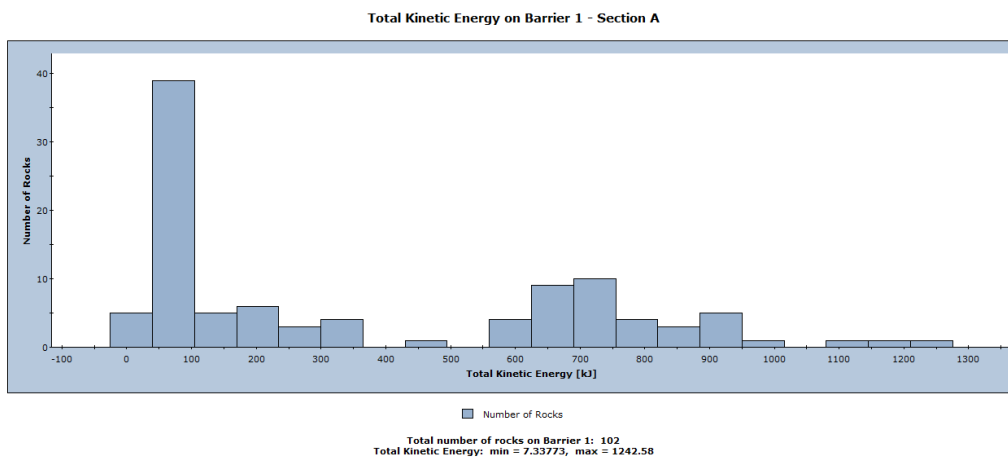
Εικόνα 7.8 Ανάλυση ευαισθησίας για την κλίση του φράχτη ανάσχεσης.



Εικόνα 7.9 Διάγραμμα μέγιστης ενέργειας και αριθμού των βραχοτεμαχών που πέρασαν σε συνάρτηση με την θέση του φράχτη ανάσχεσης.



Εικόνα 7.10 Τελική θέση τοποθέτησης του φράχτη ανάσχεσης, για τη διατομή Α.

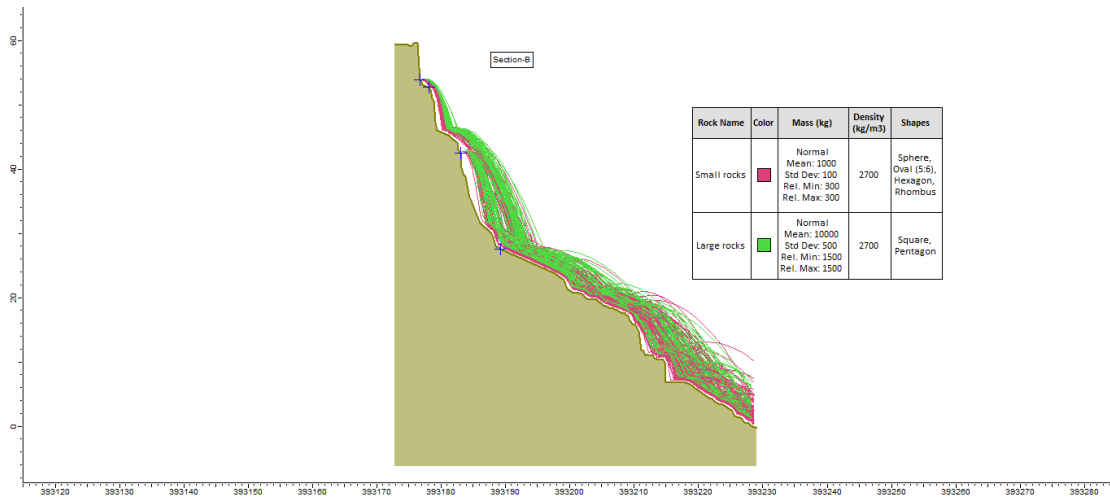


Εικόνα 7.11 Τελική κινητική ενέργεια των βραχοτεμαχών, για τον φράχτη ανάσχεσης που τοποθετήθηκε.

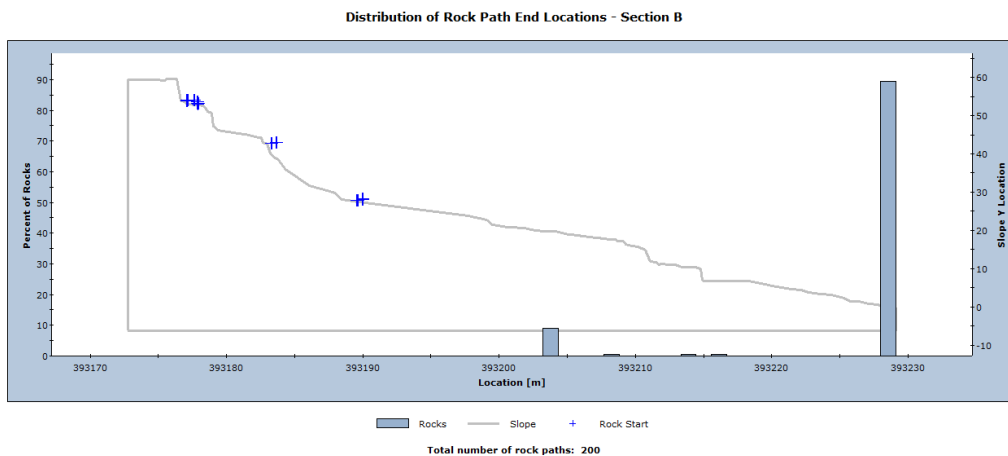
## 7.2.2 Διατομή Β

Η διατομή Α έχει συνολικό μήκος 81m, εμφανίζει μία ανομοιόμορφη κλίση, με πολλές θέσεις να παρουσιάζουν αρκετά απότομες κλίσεις. Στην περίπτωση αυτή οι πηγές επιλέχθηκαν να είναι σημειακές, σε 4 διαφορετικά σημεία της τομής και συγκεκριμένα στο τμήμα με ύψος 53m, 52m, 42m, και 27m, όπου παρατηρούνται οι μεγαλύτερες κλίσεις του πρανού και από την οπτική παρατήρηση διακρίνονται επισφαλή τεμάχια για κατάπτωση. (Εικ.7.12)



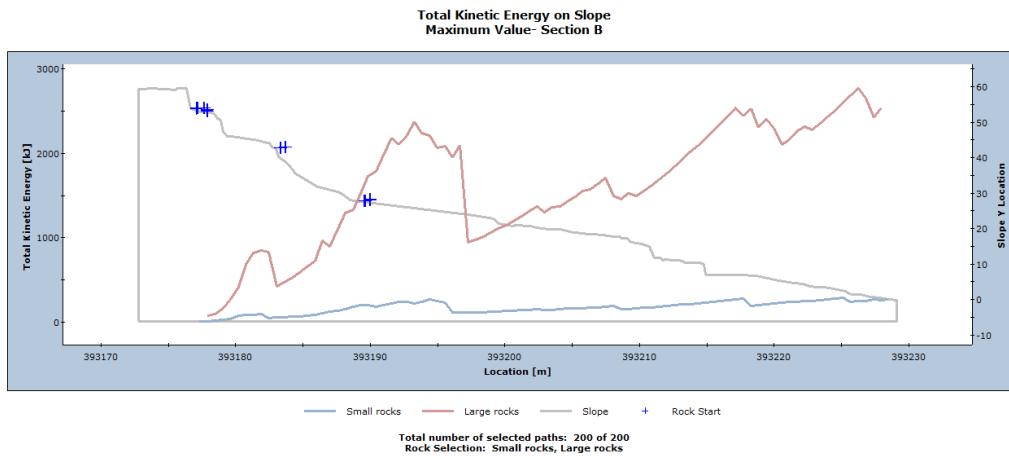


Εικόνα 7.12 Αναμενόμενες τροχιές βραχοτεμαχίων για τη διατομή Β.



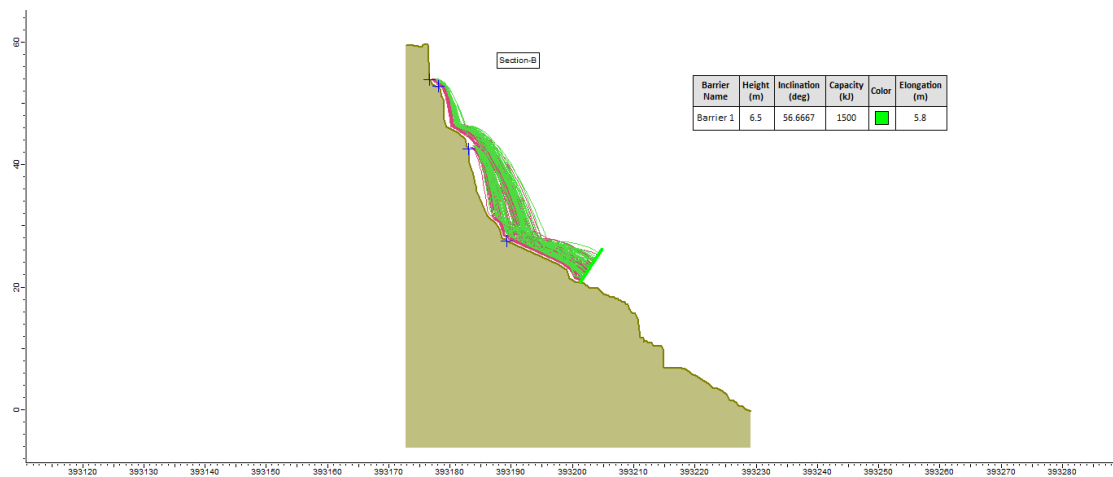
Εικόνα 7.13 Αναμενόμενες τελικές θέσεις των βραχοτεμαχίων για τη διατομή Β. εκτίμηση μέγιστης απόστασης των βραχοτεμαχίων από την αρχική τους θέση.

Από ανάλυση, προέκυψε ότι οι τελικές θέσεις του 89% των βραχοτεμαχίων αναμένεται να προσπελάσουν τον περίπατο (Εικ 7.13). Η μέγιστη κινητική ενέργεια που υπολογίστηκε από το λογισμικό στο σημείο που φτάνουν τα βραχοτεμάχια στο δρόμο είναι, για τα μεγάλα τεμάχια 2.772 kJ και για τα μικρά 292 kJ. Επομένως, κρίνεται απαραίτητη η τοποθέτηση φράχτη ανάσχεσης (Εικ 7.14).



Εικόνα 7.14 Αναμενόμενη συνολική ενέργεια για τη διατομή Β των βραχοτεμαχών.

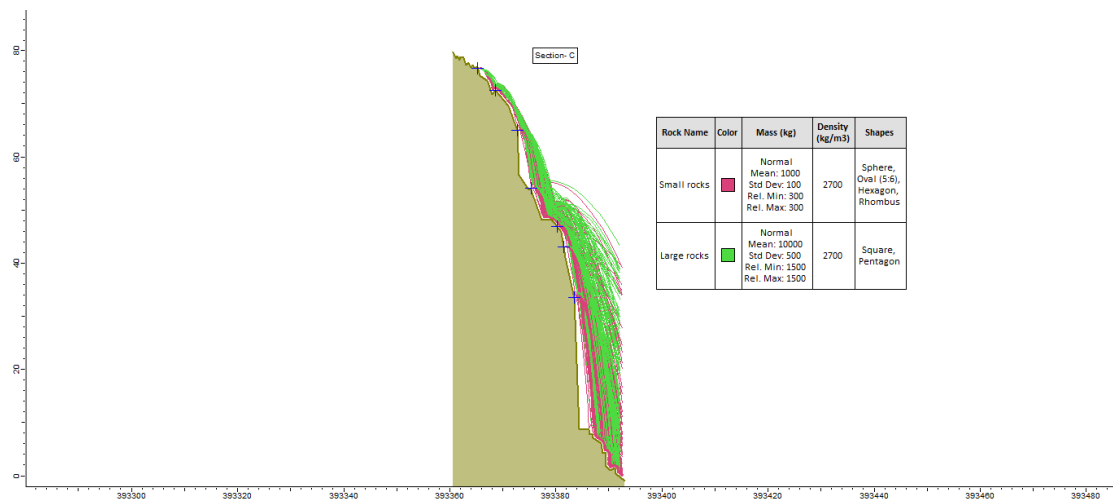
Η τελική θέση στην οποία προτείνεται η τοποθέτηση του φράχτη ανάσχεσης παρουσιάζεται στην εικόνα (Εικ.7.15). Τα αναλυτικά διαγράμματα που οδήγησαν σε αυτό το συμπέρασμα δίνονται ως Παράρτημα.



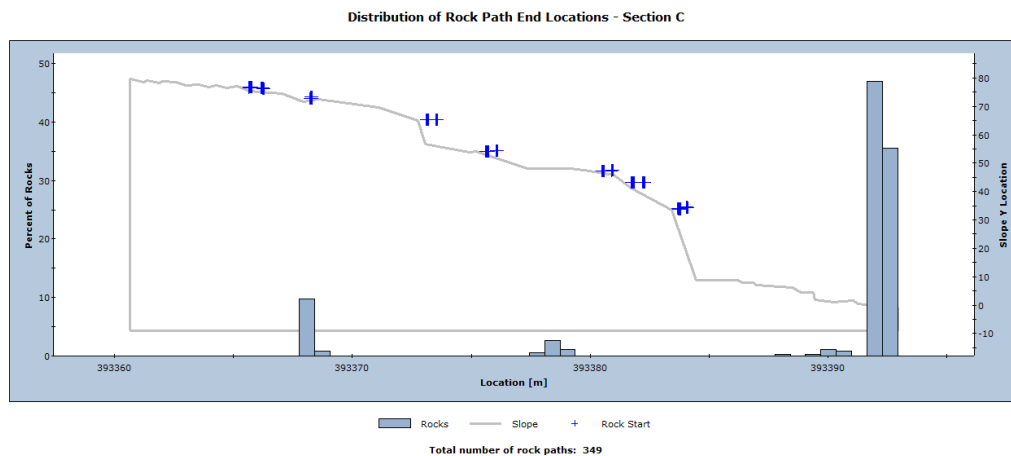
Εικόνα 7.15 Τελική θέση τοποθέτησης του φράχτη ανάσχεσης, για τη διατομή Β.

### 7.2.3 Διατομή C

Η διατομή A έχει συνολικό μήκος 81m, εμφανίζει μία εξαιρετικά απότομη κλίση. Στην περίπτωση αυτή οι πηγές επιλέχθηκαν να είναι σημειακές, σε 7 διαφορετικά σημεία της τομής και συγκεκριμένα στο τμήμα με ύψος 76m, 72m, 65m, 54m, 46m, 43m, και 33m, όπου παρατηρούνται οι μεγαλύτερες κλίσεις του πρανούς και από την οπτική παρατήρηση διακρίνονται επισφαλή τεμάχια για κατάπτωση (Εικ.7.16).



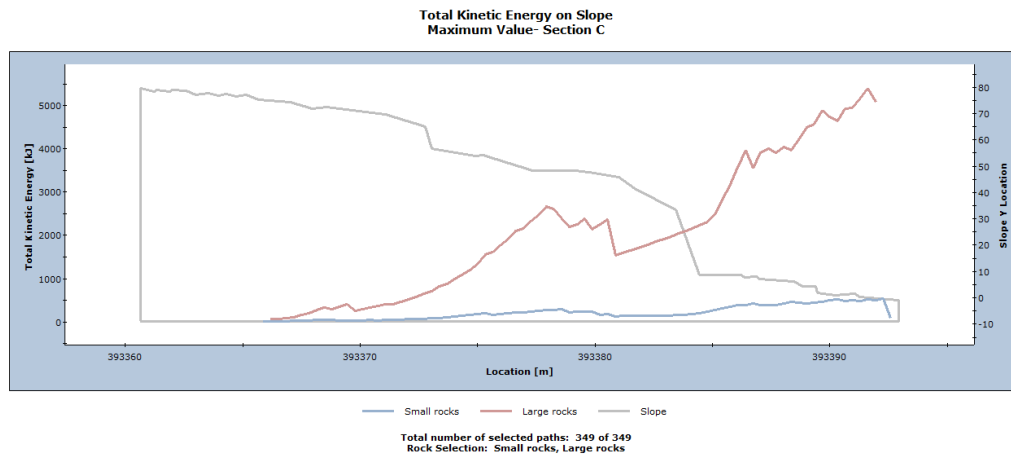
Εικόνα 7.16 Αναμενόμενες τροχιές βραχοτεμαχίων για τη διατομή C



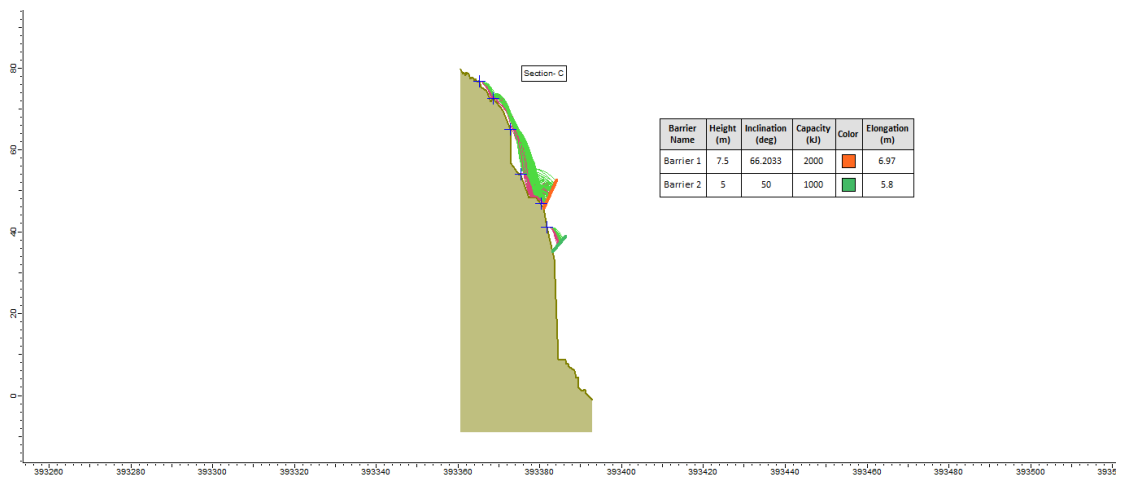
Εικόνα 7.17 Αναμενόμενες τελικές θέσεις των βραχοτεμαχίων για τη διατομή C. εκτίμηση μέγιστης απόστασης των βραχοτεμαχίων από την αρχική τους θέση.

Από την ανάλυση, προέκυψε το μεγαλύτερο ποσοστό των βραχοτεμαχίων (περίπου το 82%), εκτιμάται να προσπεράσουν το τμήμα του περιπάτου (Εικ.7.16) . Η μέγιστη κινητική ενέργεια που υπολογίστηκε από το λογισμικό στο σημείο που φτάνουν τα βραχοτεμάχια στο δρόμο

είναι, για τα μεγάλα τεμάχια 5.400 kJ και για τα μικρά 532 kJ. Συνεπώς κρίνεται απαραίτητη η τοποθέτηση φράχτη ανάσχεσης (Εικ. 7.19-7.20).



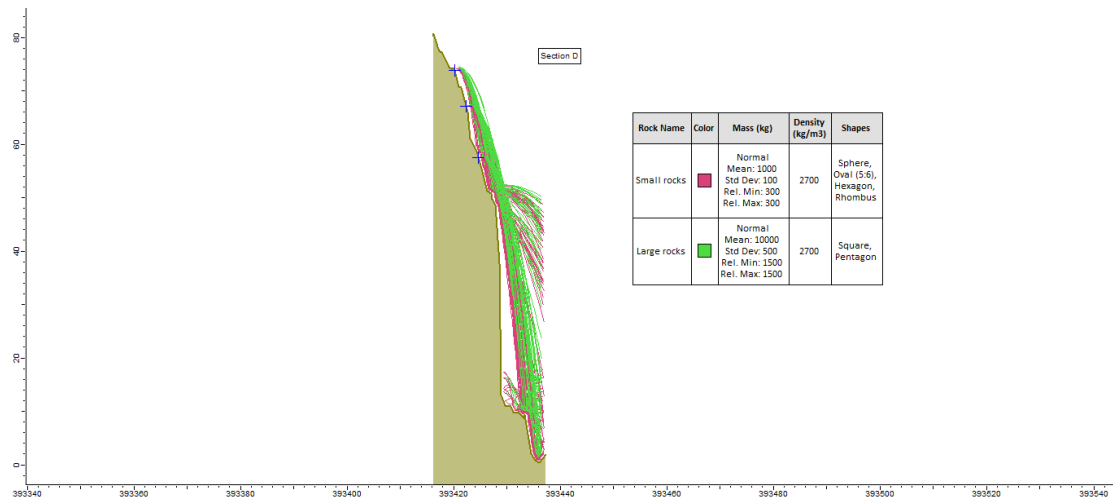
Εικόνα 7.18 Αναμενόμενη συνολική ενέργεια για τη διατομή C των βραχοτεμαχίων.



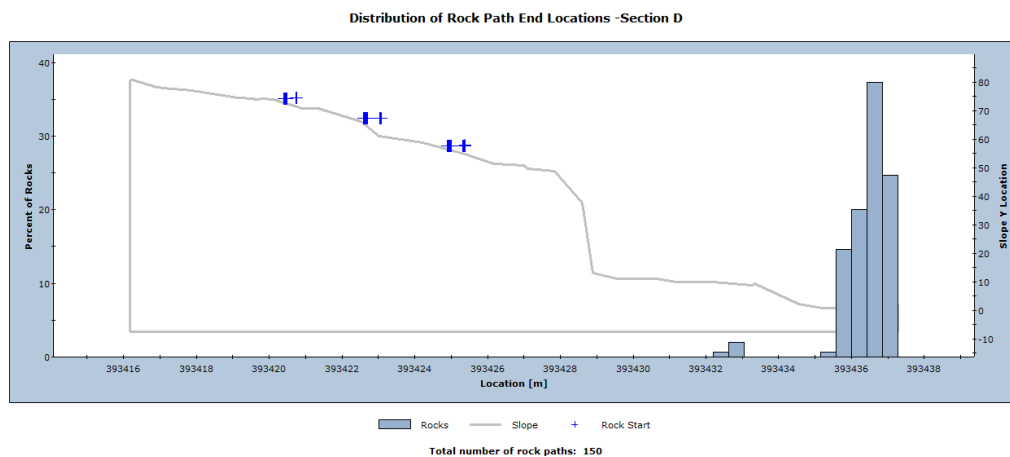
Εικόνα 7.19 Τελική θέση τοποθέτησης του φράχτη ανάσχεσης, για τη διατομή C .

## 7.2.4 Διατομή D

Η διατομή D έχει συνολικό μήκος 82m, εμφανίζει μία εξαιρετικά απότομη κλίση. Στην περίπτωση αυτή οι πηγές επιλέχθηκαν να είναι σημειακές, σε 3 διαφορετικά σημεία της τομής και συγκεκριμένα στο τμήμα με ύψος , 73m, 67m και 57m, όπου παρατηρούνται οι μεγαλύτερες κλίσεις του πρανούς και από την οπτική παρατήρηση διακρίνονται επισφαλή τεμάχια για κατάπτωση (Εικ.7.16).

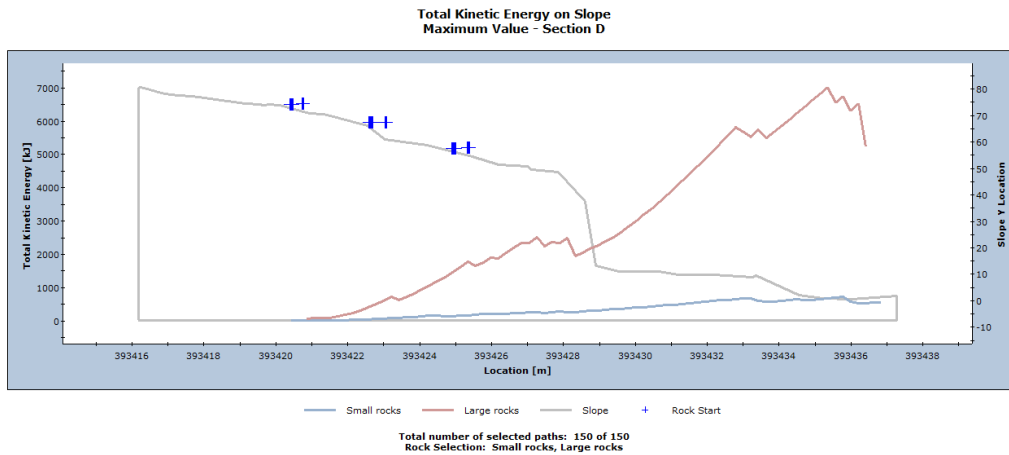


Εικόνα 7.20 Αναμενόμενες τροχιές βραχοτεμαχίων για τη διατομή D.

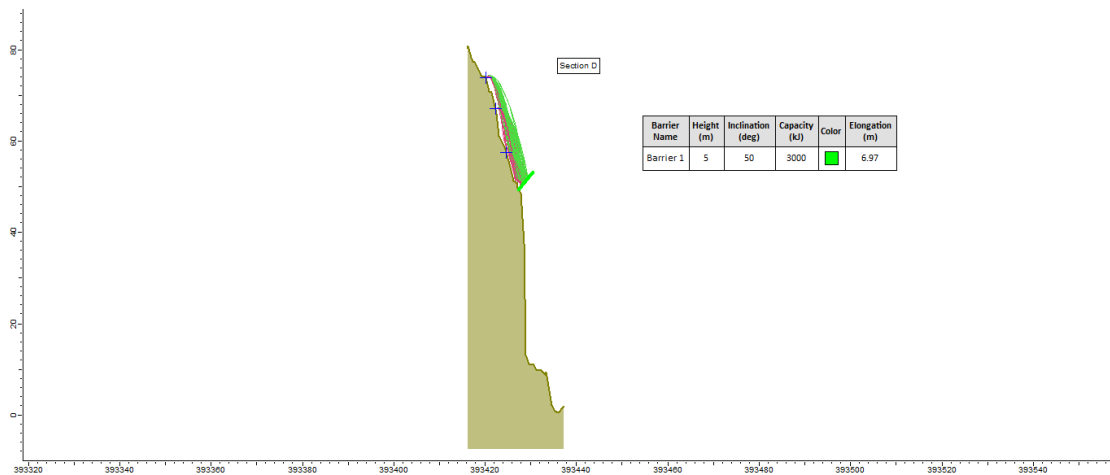


Εικόνα 7.21 Αναμενόμενες τελικές θέσεις των βραχοτεμαχίων για τη διατομή D. Εκτίμηση μέγιστης απόστασης των βραχοτεμαχίων από την αρχική τους θέση.

Από ανάλυση, προέκυψε ότι οι τελικές θέσεις σχεδόν του 100% των βραχοτεμαχίων αναμένεται να προσπελάσουν τον περίπατο (Εικ 7.21) . Η μέγιστη κινητική ενέργεια που υπολογίστηκε από το λογισμικό στο σημείο που φτάνουν τα βραχοτεμάχια ,για τα μεγάλα τεμάχια 7.028 kJ και για τα μικρά 728 kJ. Επομένως, κρίνεται απαραίτητη η τοποθέτηση φράχτη ανάσχεσης (Εικ.7.22-7.23).



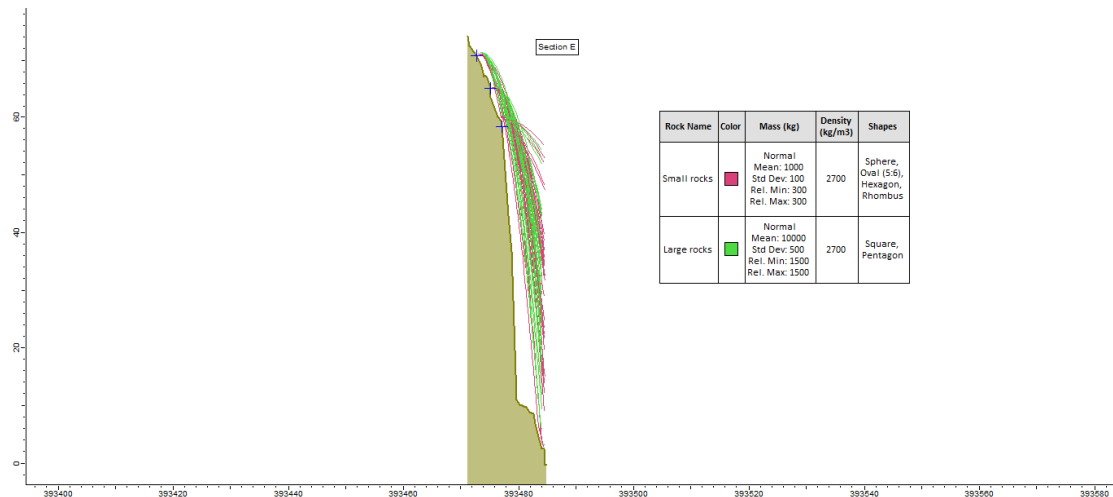
Εικόνα 7.22 Αναμενόμενη συνολική ενέργεια για τη διατομή D των βραχοτεμαχίων.



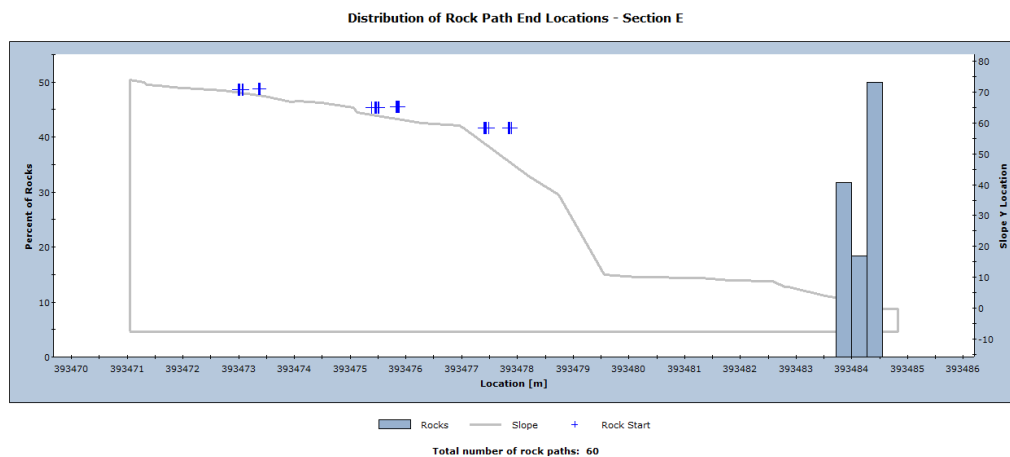
Εικόνα 7.23 Τελική θέση τοποθέτησης του φράχτη ανάσχεσης, για τη διατομή D.

## 7.2.5 Διατομή Ε

Η διατομή Ε έχει συνολικό μήκος 74m, εμφανίζει μία εξαιρετικά απότομη κλίση. Στην περίπτωση αυτή οι πηγές επιλέχθηκαν να είναι σημειακές, σε 3 διαφορετικά σημεία της τομής και συγκεκριμένα στο τμήμα με ύψος , 70m, 64m και 58m, όπου παρατηρούνται οι μεγαλύτερες κλίσεις του πρανούς και από την οπτική παρατήρηση διακρίνονται επισφαλής τεμάχια για κατάπτωση (Εικ.7.16).



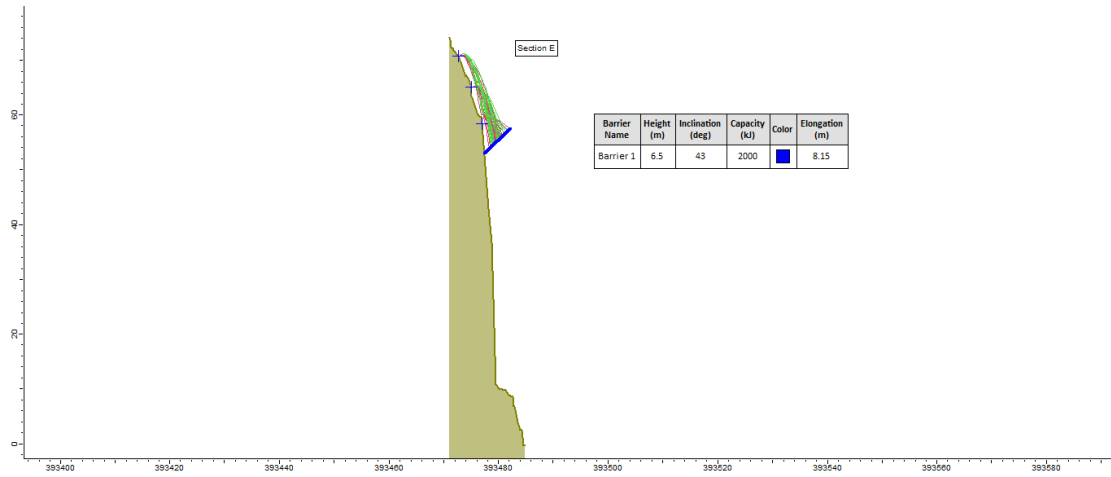
Εικόνα 7.24 Αναμενόμενες τροχιές βραχοτεμαχίων για τη διατομή Ε.



Εικόνα 7.25 Αναμενόμενες τελικές θέσεις των βραχοτεμαχίων για τη διατομή Ε. Εκτίμηση μέγιστης απόστασης των βραχοτεμαχίων από την αρχική τους θέση.

Από ανάλυση, προέκυψε ότι οι τελικές θέσεις του 100% των βραχοτεμαχίων αναμένεται να προσπελάσουν τον περίπατο (Εικ 7.25) . Η μέγιστη κινητική ενέργεια που υπολογίστηκε από το λογισμικό στο σημείο που φτάνουν τα βραχοτεμάχια , για τα μεγάλα τεμάχια 6.441 kJ και

για τα μικρά 669 kJ. Επομένως, κρίνεται απαραίτητη η τοποθέτηση φράχτη ανάσχεσης (Εικ. 7.26).

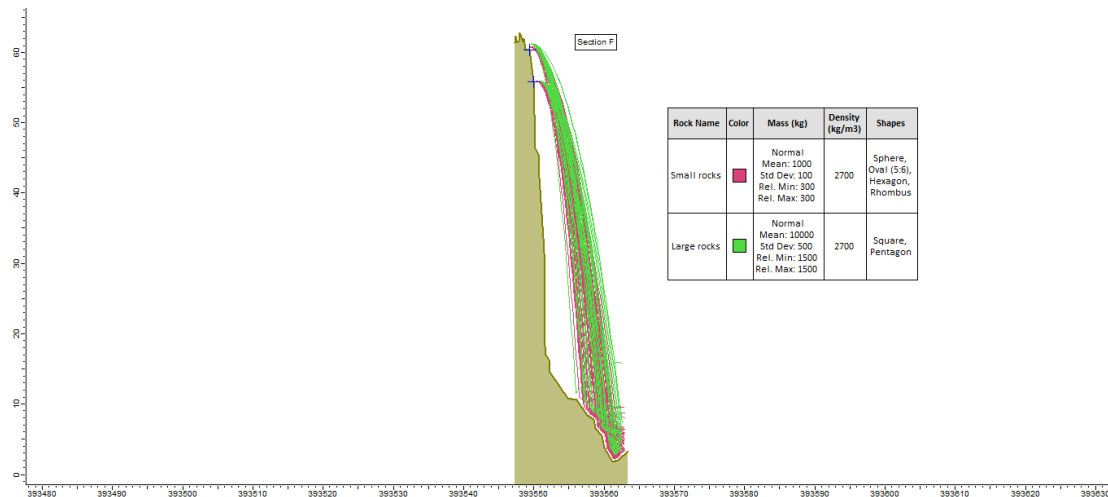


Εικόνα 7.26 Τελική θέση τοποθέτησης του φράχτη ανάσχεσης, για τη διατομή Ε.

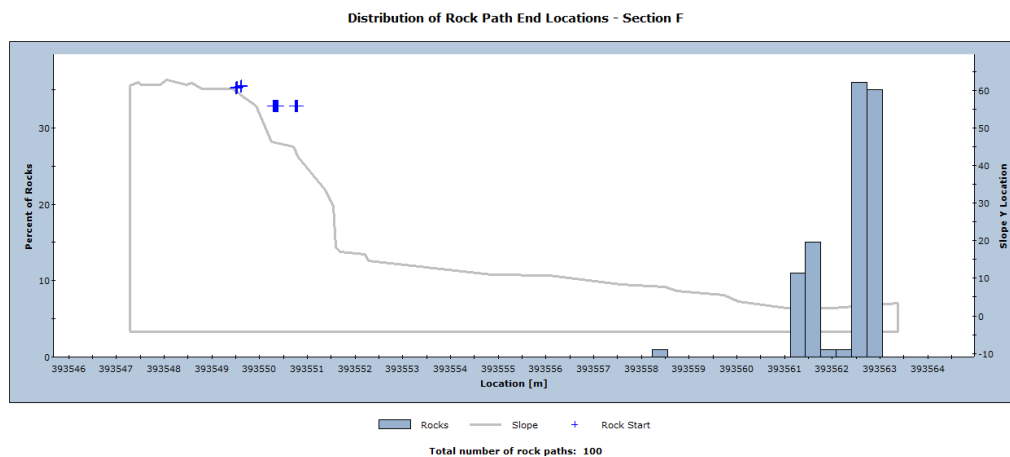


## 7.2.6 Διατομή F

Η διατομή E έχει συνολικό μήκος 62m, εμφανίζει μία εξαιρετικά απότομη κλίση. Στην περίπτωση αυτή οι πηγές επιλέχθηκαν να είναι σημειακές, σε 2 διαφορετικά σημεία της τομής και συγκεκριμένα στο τμήμα με ύψος , 60 και 55m, όπου παρατηρούνται οι μεγαλύτερες κλίσεις του πρανούς και από την οπτική παρατήρηση διακρίνονται επισφαλής τεμάχια για κατάπτωση (Εικ.7.16).



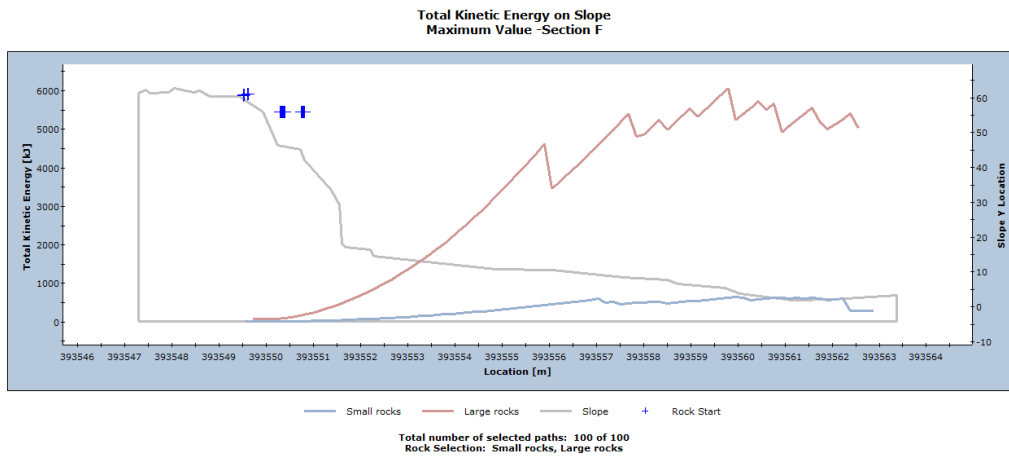
Εικόνα 7.27 Αναμενόμενες τροχιές βραχοτεμαχίων για τη διατομή F.



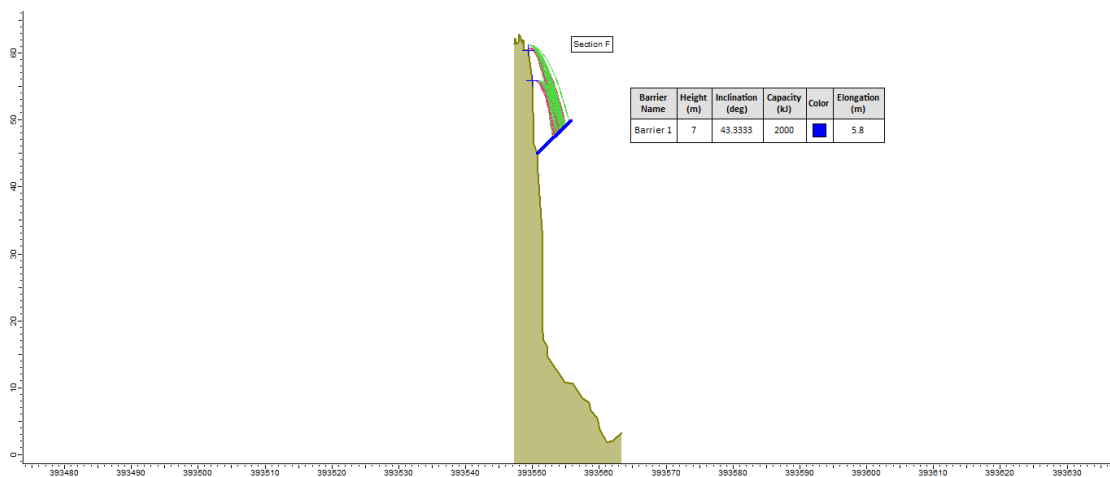
Εικόνα 7.28 Αναμενόμενες τελικές θέσεις των βραχοτεμαχίων για τη διατομή F. Εκτίμηση μέγιστης απόστασης των βραχοτεμαχίων από την αρχική τους θέση.

Από ανάλυση, προέκυψε ότι οι τελικές θέσεις του 100% των βραχοτεμαχίων αναμένεται να προσπελάσουν τον περίπατο (Εικ 7.28) . Η μέγιστη κινητική ενέργεια που υπολογίστηκε από το λογισμικό στο σημείο που φτάνουν τα βραχοτεμάχια , για τα μεγάλα τεμάχια 6.000 kJ και

για τα μικρά 619 kJ (Εικ.7.29). Επομένως, κρίνεται απαραίτητη η τοποθέτηση φράχτη ανάσχεσης (Εικ.7.30).



Εικόνα 7.29 Αναμενόμενη συνολική ενέργεια για τη διατομή F των βραχοτεμαχών.



Εικόνα 7.30 Τελική θέση τοποθέτησης του φράχτη ανάσχεσης, για τη διατομή F.

## 8 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ

Τα μέτρα προστασίας περιλαμβάνουν εργασίες και κατασκευές τεχνικών έργων που έχουν στόχο την πρόληψη των φαινομένων (προληπτικά μέτρα) ή την αποκατάσταση και σταθεροποίηση του πρανούς που μετακινήθηκε. Ο χρονικός παράγοντας υλοποίησής των μέτρων αυτών είναι που τα κατηγοριοποιεί στα προληπτικά μέτρα και στα μέτρα σταθεροποίησης.

Ο σχεδιασμός των κατάλληλων μέτρων προστασίας είναι και το ζητούμενο για κάθε έρευνα σε μία κατολισθαίνουσα ή επικίνδυνη προς κατολίθωση ζώνη και προϋποθέτει υπαίθριες έρευνες, επιτόπου και εργαστηριακές δοκιμές καθώς και αναλύσεις ευστάθειας όπως έχουν πραγματοποιηθεί και στην παρούσα εργασία.

Η συνεισφορά των προτεινόμενων μέτρων για τη σταθεροποίηση ενός πρανούς πρέπει πάντα να ελέγχεται με αναλύσεις ευστάθειας σε επίπεδο σχεδιασμού, ενώ κρίνεται απαραίτητος ο έλεγχος και η επαλήθευση της λειτουργικότητάς τους κατά τη διάρκεια και μετά το πέρας της κατασκευής τους για μακρύ χρονικό διάστημα (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007).

Κατά την επιλογή και το σχεδιασμό των μέτρων κατάλληλων μέτρων προστασίας για μια περιοχή, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη εκτός από τα γεωτεχνικά ζητήματα και τις αναλύσεις ευστάθειας (όπως έχουν αναλυθεί σε προηγούμενα κεφάλαια) και κατασκευαστικά και περιβαλλοντικά ζητήματα. Τα κατασκευαστικά και περιβαλλοντικά ζητήματα, τα οποία μπορούν να επηρεάσουν το κόστος και το χρονοδιάγραμμα των εργασιών, πρέπει να εξετάζονται κατά τη φάση του σχεδιασμού του έργου. Θέματα που είναι συνήθως σημαντικά είναι η πρόσβαση στον εξοπλισμό και ο διαθέσιμος χρόνος εργασιών (Duncan, 2017).

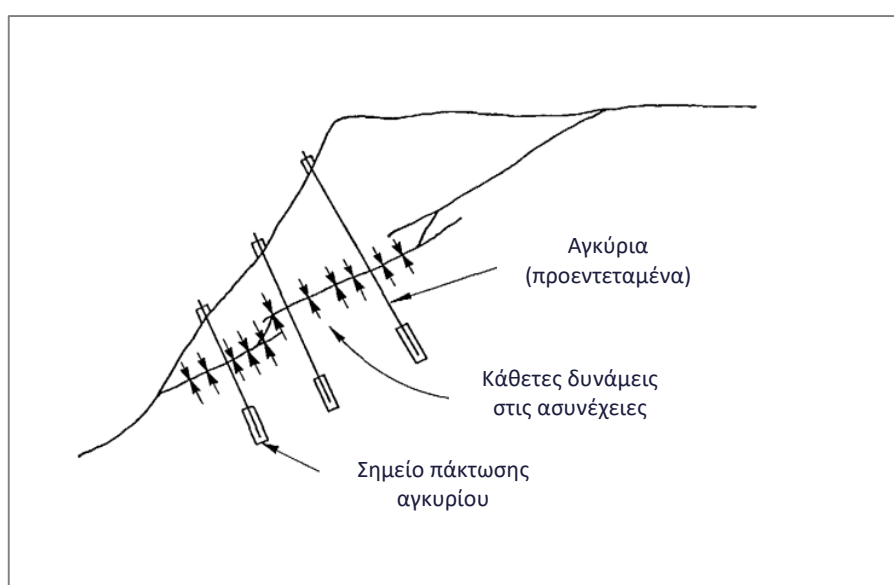
Πίνακας 8.1 Κατηγορίες μέτρων προστασίας βραχωδών πρανών (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007).

Μέτρα προστασίας βραχωδών πρανών		
Μέτρα σταθεροποίησης		Προληπτικά μέτρα
<i>Ενίσχυση</i>	<i>Εκσκαφές</i>	Πλατύσματα- τάφροι αναχαίτησης
Αγκοιρώσεις	Αλλαγή κλίσης	Τοίχοι αναχαίτησης
Τοίχοι	Ξεσκάρωμα βράχων	Φράχτες συγκράτησης
Εκτοξευόμενο	Ειδικές μέθοδοι	Μεταλλικά πλέγματα
σκυρόδεμα	εκσκαφής	Φράχτες προειδοποίησης
Αποστράγγιση		Σκέπαστρα
		Σήραγγες

Παρακάτω θα αναλυθούν τα μέτρα προστασίας τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στην περίπτωση της περιοχής μελέτης και δεν θα αλλοιώσουν σε μεγάλο βαθμό το φυσικό περιβάλλον και τον χαρακτήρα του τοπίου.

## 8.1 Μέτρα σταθεροποίησης

Αγκυρώσεις: πρόκειται για μέτρα που συμβάλλουν στην αύξηση της διατμητικής αντοχής της βραχώδους κυρίως με την αύξηση των κάθετων δυνάμεων που επενεργούν στις κρίσιμες επιφάνειες αδυναμίας (ασυνέχειες) (Εικ.8.1). Τα αγκύρια έχουν μήκος 4-50m μεταβιβάζουν δυνάμεις από 150-2500kN που σε εξαιρετικές περιπτώσεις μπορεί να φτάνουν και τα 10.000 kN.



Εικόνα 8.1 Πιθανός μηχανισμός θραύσης σε βραχώδες πρανές. Τοποθέτηση αγκυρίων σε μία συνεχή επιφάνεια θραύσης, αυξάνοντας έτσι τις κάθετες δυνάμεις που επενεργούν στην επιφάνεια θραύσης και επιφέρουν σημαντική αντίσταση στην ολίσθηση (Pit Slope Manual, 1976)

Από πλευράς στατικής λειτουργίας καθώς και του ρόλου τους στην εντατική κατάσταση της βραχώδους, διακρίνονται σε:

- α) Παθητικά τα οποία ενεργοποιούνται όταν αρχίσει η παραμόρφωση
- β) Ενεργά ή προεντεταμένα (Tensioned Anchors -Rock Bolts) τα οποία προεντείνονται στην τελική φάση κατασκευής τους και επιβάλλουν μία καινούργια δύναμη που συμβάλει στη σταθεροποίηση. Χρησιμοποιούνται σε βραχομάζες που παρουσιάζουν ήδη σημάδια αστάθειας ή σε πρόσφατα διαμορφωμένα βραχώδη πρανή για να αποτραπεί η μετακίνηση κατά μήκος των διαρρήξεων και μεταφέρουν την εφελκυστική δύναμη από την επιφάνεια μέσα στο βραχώδες σχηματισμό.

Συστήματα κουρτίνας (drapery systems): Τα συστήματα κουρτίνας αποτελούνται από μεταλλικό κάναβο από γαλβανισμένο συρματοπλέγμα το οποίο συγκρατείται από αγκύρια. Τοποθετείται σε πρηνής κλίσης 60-90° και ύψους συνήθως 15-45m. Τα βραχοτεμάχη που πέφτουν συγκρατούνται από το σύστημα και κατευθύνονται προς τον πόδα του πρηνούς. Ανάλογα με τα μέγεθος των βράχων επιλέγεται και η κατάλληλη αντοχή του πλέγματος (Muhunthan et al., 2005). Μπορούν να είναι αγκυρωμένα μόνο στην κορυφή (unsured drapery systems) δρώντας αποσβεστικά στην κίνηση της βραχόμαζας. Μπορούν επίσης να είναι αγκυρωμένα σε όλη την επιφάνεια του πρηνούς (sured drapery systems).

Αγκυρωμένα δίκτυα – (Anchored Mesh/Nets): Πρόκειται για παραλλαγή των συστημάτων κουρτίνας με τη διαφορά ότι τα δίκτυα αγκυρώνονται όχι μόνο στην κορυφή και στη βάση αλλά και στο εσωτερικό τους, σε διάταξη κανάβου ή ευθείας.

Ξεσκάρωμα βράχων: με αυτό τον τρόπο τα επικίνδυνα για κατάπτωση (συνήθως επικρεμάμενα) βραχοτεμάχη απομακρύνονται από το μέτωπο του πρηνούς. Το ξεσκάρωμα μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους:

- α) Με χειρωνακτικά-μηχανικά μέσα (scaling) από ειδικευμένο προσωπικό και περιλαμβάνει την απομάκρυνση φυτών και συνήθως μεμονωμένων χαλαρωμένων βράχων από το πρηνές.
- β) Με ελεγχόμενη χρήση εκρηκτικών (trimming) που περιλαμβάνει απομάκρυνση εκτεταμένων χαλαρωμένων και επικρεμάμενων ζωνών του πρηνούς.

## 8.2 Προληπτικά μέτρα

Φράχτες συγκράτησης (rockfall barriers-rockfall fences): αποτελούν μεταλλικές κατασκευές οι οποίες τοποθετούνται στην ευρύτερη ζώνη της βάσης ενός απότομου πρηνούς με σκοπό τη συγκράτηση των αναμενόμενων καταπτώσεων μακριά από το δρόμο. Ο σχεδιασμός τους πρέπει να ικανοποιεί συγκεκριμένες κατασκευαστικές απαιτήσεις που συνδέονται με την μέγιστη κινητική ενέργεια πρόσκρουσης αλλά και το είδος της κατάπτωσης δηλαδή πτώση-κύλιση-αναπήδηση). Επιπλέον, η κατασκευή τους απαιτεί ενισχυμένα τεχνικά υλικά.

Φράχτες προειδοποίησης (warning fences): πρόκειται για συστήματα προειδοποίησης που ενεργοποιούνται σε περίπτωση καταπτώσεων βράχων. Η θραύση των συρμάτων που αποτελούν τους φράχτες διεγείρει κάποιο σήμα προειδοποίησης και δίνει την κατάλληλη σηματοδότηση για τη διακοπή κυκλοφορίας (Εικ.8.2).

Σκέπαστρα (sheds): για την αντιμετώπιση του κινδύνου από βραχοπτώσεις υψηλής επικινδυνότητας όπου η εργασίες σταθεροποίησης θα ήταν πολύ δαπανηρές ή μη εφικτές.



Εικόνα 8.2 Τυπικό σύστημα κουρτίνας και φράχτης προειδοποίησης κατά μήκος του πρηνούς δίπλα σε σιδηροδρομικές γραμμές (Bunce et al. 2006)

## 9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

---

Την περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας αποτέλεσαν τα βραχώδη πρανή της περιπατητικής διαδρομής της Αρβανιτιάς στο Ναύπλιο, στα οποία κατά καιρούς εμφανίζονται φαινόμενα βραχοκαταπτώσεων. Η περιοχή του πρανούς που εξετάστηκε περιλαμβάνει όλο το μήκος της περιπατητικής διαδρομής της Αρβανιτιάς. Όσον αφορά τη γεωλογία, το πρανές όπου παρατηρούνται οι αστοχίες αποτελείται από ασβεστολιθικά πετρώματα τα οποία διατρέχουν συστήματα ασυνεχειών διαφόρων προσανατολισμών και μεταβαλλόμενης πυκνότητας.

Το πρανές της υπό μελέτη περιοχής διαχωρίστηκε σε επιμέρους τμήματα για τη λεπτομερέστερη ανάλυση και την κατάληξη σε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα (Λέκκας κ.ά, 2022). Συγκεκριμένα, το Βόρειο Πρανές διαχωρίστηκε σε τέσσερα επιμέρους τμήματα (B1,B2,B3 και Φ) και το Νότιο Πρανές διαχωρίστηκε σε δεκατέσσερα επιμέρους τμήματα (N0,N1,N2,N3,N4,N5,N6,N7,N8,N9,N10,N11,N12και N13).

Από τη γεωλογική έρευνα των Λέκκας κ.ά (2022), καταγράφηκαν τα στοιχεία προσανατολισμού (κλίση και διεύθυνση κλίσης) των ασυνεχειών της βραχώμαζας, τα οποία στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη. Με τη χρήση του λογισμικού Dips, οι πόλοι των επιπέδων των ασυνεχειών της βραχώμαζας, κάθε επιμέρους τμήματος του πρανούς, προβλήθηκαν σε διαγράμματα στερεογραφικής προβολής και με την κατάλληλη στατιστική επεξεργασία, εντοπίστηκαν και επισημάνθηκαν εκείνοι οι προσανατολισμοί, όπου συγκεντρώνονται οι περισσότερες ασυνέχειες. Με αυτόν τον τρόπο, διακρίθηκαν οι κύριες οικογένειες ασυνεχειών της βραχώμαζας, προβλήθηκαν οι μέγιστοι κύκλοι και οι πόλοι του κατά προσέγγιση κοινού προσανατολισμού κάθε οικογένειας με τη βοήθεια του λογισμικού Dips. Τα στοιχεία αυτά αξιοποιήθηκαν για την αναγνώριση των ασυνεχειών που δύναται να αποτελέσουν επίπεδα αστοχίας του πρανούς, καθώς και εκείνων που είναι λιγότερο ή καθόλου πιθανό να συμμετέχουν στην αστοχία του (Κινηματική Ανάλυση). Οι μορφές αστοχίας που μελετήθηκαν είναι η ανατροπή, η σφηνοειδής και η επίπεδη ολίσθηση.

Από την παραπάνω ανάλυση προέκυψε πως όλοι οι παραπάνω τύποι αστοχίας εκτιμάται πως μπορούν να συμβούν στο πρανές. Πιο συγκεκριμένα, ο κίνδυνος για σφηνοειδή ολίσθηση είναι υψηλός στα περισσότερα τμήματα του πρανούς, ο κίνδυνος για επίπεδη ολίσθηση είναι και αυτός υψηλός (με χαμηλότερα ποσοστά από τη σφηνοειδή ολίσθηση) και τέλος ο κίνδυνος ανατροπής είναι υπαρκτός σε μικρότερο βαθμό.

Η κινηματική ανάλυση έδωσε μία εκτίμηση για τη δυνατότητα εμφάνισης κάποιου τύπου αστοχίας χωρίς να παρέχει ένα μέτρο της ασφάλειας του πρανούς και συγκεκριμένα την εκτίμηση του Συντελεστή Ασφαλείας. Επομένως, σε πρώτο στάδιο καθορίστηκαν οι πιθανές επιφάνειες ολίσθησης και έπειτα για την εκτίμηση του Συντελεστή Ασφαλείας στα επιμέρους τμήματα του πρανούς, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις ευστάθειας. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης με το λογισμικό Swedge και αναλύσεις έναντι επίπεδης ολίσθησης με το λογισμικό RocPlane. Οι αναλύσεις ευστάθειας έδωσαν τα εξής αποτελέσματα:

➤ **Αναλύσεις ευστάθειας για το Βόρειο Προφίλ:**

Από τις αναλύσεις ευστάθειας των επιμέρους τμημάτων του Βόρειου Προφίλ εκτιμήθηκε πως μόνο το τμήμα Φ μπορεί να δώσει αστοχίες σφηνοειδούς και επίπεδης ολίσθησης. Στα τμήματα B1,B2,B3 η ανάλυση έδωσε αποδεκτές τιμές του συντελεστή ασφαλείας. Επομένως σε αυτά τα τμήματα δεν είναι απαραίτητη η λήψη μέτρων σταθεροποίησης του πρανούς. Στο τμήμα Φ λοιπόν προτείνεται η ενίσχυση του πρανούς με τη χρήση αγκυρίων.

➤ **Αναλύσεις ευστάθειας για το Νότιο Προφίλ:**

Για το νότιο προφίλ τα τμήματα που εκτιμήθηκαν πως χρειάζονται τη λήψη μέτρων σταθεροποίησης είναι τα εξής: N0, N1, N2, N3, N4, N5, N9, N10, N12 και N13. Στα τμήματα αυτά προτείνεται η ενίσχυση του πρανούς με τη χρήση αγκυρίων, όπως αυτή προσομοιώθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια. Ειδικότερα, για το τμήμα του πρανούς N3, το οποίο αποτελεί μία από τις πιο επικίνδυνες περιπτώσεις βραχοπτώσεων, προτείνεται η κατασκευή σκεπάστρου.

Για τη μελέτη των βραχοκαταπτώσεων πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με το λογισμικό RocFall σε 6 διατομές του πρανούς (A,B,C,D,E και F). Τα αποτελέσματα όλων των διατομών κατέδειξαν τον υψηλό κίνδυνο σε βραχοκαταπτώσεις και βραχοτεμάχη που δύναται να πέσουν έως το τμήμα της περιπατητικής διαδρομής. Επομένως, κατά μήκος όλων των διατομών κρίνεται απαραίτητη η τοποθέτηση φραχτών ανάσχεσης των βράχων. Οι θέσεις που προτείνονται να τοποθετηθούν οι φράχτες καθώς και τα χαρακτηριστικά αυτών, έχουν δοθεί αναλυτικά από τις προσομοιώσεις με το λογισμικό RocFall. Επίσης, στις θέσεις επικίνδυνων για κατάπτωση βραχοτεμαχών (επικρεμάμενων) προτείνεται ξεσκάρωμα των βράχων αυτών.

Αν και οι μέθοδοι και οι μεθοδολογίες ανάλυσης των δεδομένων ακολουθήθηκαν πιστά, η παρούσα μελέτη θα πρέπει να αντιμετωπιστεί μόνο ως μία εισήγηση. Δεδομένο ότι πρόκειται για μία περιοχή την οποία επισκέπτεται πλήθος κόσμου τα μέτρα προστασίας του



πρηνούς δεν θα πρέπει να αρκестούν μόνο στις προτάσεις της παρούσας εργαςίας αλλά θα πρέπει να ληφθούν αποτελεσματοκότερα μέτρα.

## Βιβλιογραφικές Αναφορές

1. Ambraseys, N.N., Jackson, J.A., (1990). Seismicity and associated strain of central Greece between 1890 and 1988. *Geophysical Journal International* 101, 663-708.
2. Ansari MK, Ahmad M, Singh R, Singh TN (2012) Rockfall assessment near Saptashrunji Gad temple, Nashik, Maharashtra, India. *Int J Disaster Risk Reduct* 2:77–83. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2012.09.002>.
3. Ansari MK, Ahmad M, Singh R, Singh TN (2018) 2D and 3D rockfall hazard analysis and protection measures for Saptashrunji Gad Temple, Vani, Nashik, Maharashtra—a case study. *J Geol Soc India*. <https://doi.org/10.1007/s12594-018-0819-8>.
4. Asteriou P, Saroglou H, Tsiambaos G (2012) Geotechnical and kinematic parameters affecting the coefficients of restitution for rock fall analysis. *Int J Rock Mech Min Sci* 54:103–113. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2012.05.029>
5. Barton, N.R. (1973). "Review of a new shear strength criterion for rock joints", *Engng. Geol.* 7, pp.287-332.
6. Barton, N.R. (1976). "The shear strength of rock and rock joints", *Int.Journ.Mech.Min.Sci and Geomech.*, Abstr.13 (10), 1-24.
7. Barton, N.R. and Bandis, S.C. (1990). "Review of predictive capabilities of JRC-JCS model in engineering practise", in *Rock Joints Proc. Int. Symp. On rock Joints*, Leon, Norway, pp.603-610. Rotterdam : Balkema.
8. Barton, N.R. and Choubey, V. (1977). "The shear strength of rock joints in theory and practice", *Rock Mech.* 10 (1-2), pp.1-54.
9. Bonilla, M.G., Mark, R.K., & Lienkaemper (1984): Statistical relations among earthquake magnitude, surface rupture length, and surface fault displacement. *Bull. Seism. Soc. Am.*, vol. 74m., No 6, p. 2379- 2411.
10. Bortolotti, V., Carras, N, Chiari, M., Fazzuoli, M., Marcucci, M., Photiades, A. & Principi, G. (2003). The Argolis Peninsula in the palaeogeographic and geodynamic frame of the Hellenides. *Ofioliti*, 28/2, 79- 94.
11. C. Chalkias, D. Papanastassiou, E. Karymbalis & G. Chalkias (2014) Maximum macroseismic intensity map of Greece for the time period 1953–2011, *Journal of Maps*, 10:2, 195-202, DOI: 10.1080/17445647.2013.824389.
12. CM Bunce, CD Martin, T Keegan, DJ Hutchinson, M Ruel, P Lemay ., 2006 An overview of the Canadian Railway Ground Hazard Research Program Proc. Seventh World Congress on Railway Research, Montreal pp1-14.
13. CM Bunce, CD Martin, T Keegan, DJ Hutchinson, M Ruel, P Lemay ., 2006 An overview of the Canadian Railway Ground Hazard Research Program Proc. Seventh World Congress on Railway Research, Montreal pp1-14.
14. Collins BD, Stock GM (2016) Rockfall triggering by cyclic thermal stressing of exfoliation fractures. *Nat Geosci* 9:395–400. <https://doi.org/10.1038/ngeo2686>.

15. Crosta G., and Locatelli C. (1999), "Approccio alla valutazione del rischio da frane per crollo". In: Studi geografici e geologici in onore di Severino Belloni. Genova: Glauco Brigatti, 259–86 [in Italian].
16. Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996, Landslide Types and Processes, Transportation Research Board, U.S. National Academy of Sciences, Special Report, 247: 36-75.
17. Descoedres, F.; Zimmermann, T. Three-dimensional dynamic calculation of rockfalls. In Proceedings of the 6th International Congress of Rock Mechanics, Montreal, QC, Canada, 30 August–3 September 1987; pp. 337–342.
18. Dorren LKA (2003) A review of rockfall mechanics and modelling approaches. *Prog Phys Geogr* 27(1):69–87.
19. Dorren LKA (2003) A review of rockfall mechanics and modelling approaches. *Prog Phys Geogr*. <https://doi.org/10.1191/0309133303pp359ra>
20. Duncan C. Wyllie. (2017). Rock strength properties and their measurement, Rock Slope Engineering, CRP Press.
21. Fotiadis Ad., (2008): Geological study of the urban and the wider Nafplio area, Argolida Prefecture. In Institute of Geology and Mineral Exploration, Athens.
22. Friedman, M. (1964). "Petrofabric techniques for the determination of principal stress direction in rock". Proc. Conference State of Stress in Earth's crust. Santa Monica, Elsevier, pp.451-550.
23. Gaitanakis P. & Photiades A.D. (1992): New data on the geology of Southern Argolis (Peloponnesus, Greece). 6th Congress of the Geol. Soc. Greece, Athens, May 1992, Greece, Abstract vol. p. 42-43.
24. Georgiou Ch., Galanakis D NEOTECTONIC STUDY OF URBAN AND SUBURBAN NAFPLIO AREA (ARGOLIDA-GREECE) Institute of Geology & Mineral Exploration (IGME), 2010
25. Goodman, R.E., 1989. Introduction to Rock Mechanics Second Edition. Engineering Geology (Vol. 19). [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(82\)90015-1](https://doi.org/10.1016/0013-7952(82)90015-1).
26. Google Earth. (2022). Retrieved 24 June 2022, from <https://earth.google.com/web/>.
27. Hatzfeld, D., Pedotti, G., Hatzidimitriou, P. and Makropoulos, K., 1990. The strain pattern in the western Hellenic arc deduced from a microearthquake survey. *Geophysical Journal International*, 101(1), pp.181-202.
28. Hoek E. (1987), "RockFall - A Program for the Analysis of Rockfalls from Slopes". Department of Civil Engineering, University of Toronto, Toronto, Ontario, Canada.
29. Hoek E. and Brown E.T. (1997). Practical estimates of rock mass strength. *Int. J. Rock Mech. and Min. Sci.*, Vol.34, No.8, pp.1165-1186.
30. Hoek, E. (1994). Strength of rock and rock masses, *ISRM News Journal*, 2(2), 4-16.
31. Hoek, E. (1998).: Practical Rock Engineering, Rocscience, Toronto.

32. Hoek, E. and Bray, J.W. (1981) Rock Slope Engineering. Revised 3rd Edition, The Institution of Mining and Metallurgy, London, 341-351.
33. Hudson JA, Harrison JP (1997) Engineering rock mechanics. Pergamon, London.
34. Jacobshagen, V. (1986): Geologie von Griechenland, 363 s., Berlin, Stuttgart (Gebrüder Borntraeger).
35. Keskin İ (2013) Evaluation of rock falls in an urban area: The case of Boğaziçi (Erzincan/Turkey). *Environ Earth Sci* 70:1619–1628. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2247-9>.
36. Kliche CA (2003) Rock slope stability, 2nd ed. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Colorado.
37. Marinos, P. and Hoek, E., (2000). Estimating the mechanical properties of heterogeneous rock masses such as flysh.
38. Marzorati S, Luzi L, Amicis MD (2002) Rock falls induced by earthquakes: a statistical approach. *Soil Dyn Earthq Eng* 22:565–57.
39. Mineo S, Pappalardo G, Mangiameli M et al (2018) Rockfall analysis for preliminary hazard assessment of the cliff of taormina Saracen Castle (Sicily). *Sustain*. <https://doi.org/10.3390/su10020417>.
40. Muhunthan, B., Shu, S., Sasiharani, N., Hattamleh, O.A., Badger, T.C., Lowell, S.M., and Duffy, J.D. 2005. Analysis and design of wire/mesh cable net slope protection. Final research report. Washington State Transportation Commission – Department of Transportation, U.S. Department of Transportation – Federal Highway Administration, Washington D.C.
41. Pavlides, S., Caputo, R., Chatzipetros, A., (2000). Empirical relationships among earthquake magnitude, surface ruptures and maximum displacement in the broader Aegean Region. *Proceedings of the Third*.
42. Phillips, F.C. (1971). "The use of stereographic projections in structural geology". Edward Arnold, London. Third editions (paperback), 90 p.
43. Photiades A.D. & Skourtsis - Coroneou V. (1994a). Stratigraphic and paleogeographic evolution of the Northern Argolis (Greece) during the Cretaceous-Paleogene. 7th Congress of the Geol. Soc. Greece, Thessaloniki, May 1994, Greece. Abstracts vol., p. 65-66.
44. Rib, H.T and T. Liang. 1978. "Recognition and Identification". In special Report 176: Landslides: Analysis and Control (R.L Schuster and R.J. Krizek, eds.), TRB, Board, Highway Research Record 17, pp.13-28.
45. Ritche, A.M. (1963). The Evaluation Rock Fall and its Control", HRB Vol. 17.
46. Tataris, A., Kalergis, A., Kounis, D., (1970): Geological map of Greece – Nafplio Sheet (Scale 1:50.000). Institute of Geology and Mineral Exploration I.G.M.E , Athens.
47. Terzaghi, K., 1950. Mechanism of Landslides. In Application Of Geology to Engineering Practice (S.Paige, ed.), Geological Society of America, New Yor, 566 pp.

48. Tselentis, G., & Danciu, L. (2010). Probabilistic seismic hazard assessment in Greece – Part 1: Engineering ground motion parameters. *Natural Hazards And Earth System Sciences*, 10(1), 25-39. doi: 10.5194/nhess-10-25-2010.
49. Turner, F.J. and Weiss, L.E. (1973). "Structural analysis of metamorphic tectonics". McGraw – Hill Book Co., New York, 545 p.
50. Van Andel t. H., Perissoratis C., Rondoyanni T., (1993): Quaternary tectonics of the Argolikos Gulf and adjacent basins, Greece. *Journal of the Geological Society*, London, Vol 150, pp. 529-539.
51. Varnes, D.J. 1978. "Slope Movement Types and Processes". In special Report 176:Landslides: Analysis and Control (R.L Schuster and R.J Krizek, eds.), TRB, National Research Council, Washington D.C., pp.12-33.
52. Volkwein A, Brügger L, Gees F et al (2018) Repetitive rockfall trajectory testing. *Geosciences*. 56:78. <https://doi.org/10.3390/geosciences8030088>.
53. Wells D. & Coppersmith, (1994): New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture area and surface displacement. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, vol. 84, No 4, pp.974-1002.
54. Wieczorek, G.F., and Snyder, J.B., 2009, Monitoring slope movements, in Young, R., and Norby, L., *Geological Monitoring: Boulder, Colorado*, Geological Society of America, p. 245–271, doi: 10.1130/2009.monitoring(11). For permission to copy, contact [editing@geosociety.org](mailto:editing@geosociety.org). ©2009 The Geological Society of America.
55. WP/WLI ,1993. " A Suggested Method for Describing the Activity of Landslide". *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, No 47, pp.53-57.
56. WP/WLI ,1994. International Geotechnical Societies UNESCO Working Party on World Landslides Inventory. Working group on Landslide causes (Chairman: Popescu ME) "A suggested Method for Reporting Landslide Causes". *Bull IAEG* 50:71-74.
57. Wyllie, D.C. (2017). *Rock Slope Engineering: Civil Applications* (5th ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.4324/9781315154039>.
58. Zaruba,Q., and V. Mencl., 1969. "Landslides and Their Control". Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 205 pp.
59. Zevgolis, I.E, Deliveris, A.V, Koukouzas, N.C. 2018 Probabilistic design optimization and simplified geotechnical risk analysis for large open pit excavations. *Comput Geotech* 2018;103:153–64.
60. Zötl, J. G., Geyh, M. A., Riepler, F., Mettos, A., & Ch. Georgiou (1999): Klimaepochen, eustatische Mee resspiegelschwankungen und Strandterrassen im östlichen Mittelmeer (Griechenland). *Beiträge zur Hydrogeologie/ 49/50*, seiten 5-66, Graz.
61. Βαγενάς, Ν. (2020). Προσομοίωση καταπτώσεων βράχων με υπολογιστικές μεθόδους. Συσχέτιση παραμέτρων μεταβολής ενέργειας κατάπτωσης και χαρακτηριστικών βραχώμαζας. Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Πατρών.

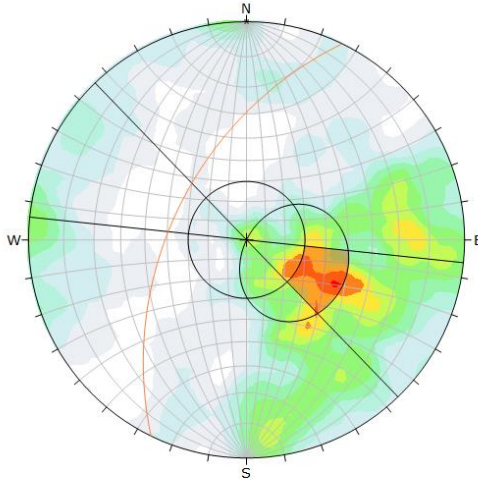
62. Ε 104-85. Τεχνικές προδιαγραφές γεωλογικών εργασιών μέσα στα πλαίσια μελετών τεχνικών έργων. Φ.Ε.Κ. 29/11-2-1986. ΥΠΕΧΩΔΕ/ ΓΓΔΕ.
63. Κούκης, Γ. και Σαμπατακάκης, Ν., 2007. *Γεωλογία Τεχνικών Έργων*. Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου, pp.109-157.
64. Κωνσταντοπούλου, Γ., Σπανού, Ν & Κοντογιάννη, Β., 2010. Τεχνικογεωλογική έρευνα ευστάθειας βραχωδών πρανών κατά μήκος της «Βόλτας» στην Αρβανιτιά του Δήμου Ναυπλίου. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ).
65. Λέκκας Ε., Σταυροπούλου Μ., Βασιλάκης Εμμ. , Κονσολάκη Α., Κώτση Ε., Πετράκης Σ., Ερκέκη Α., Γιαννόπουλος Ι. & Κοκκορομύτη Α., (2022). Ερευνα και αντιμετώπιση κατολισθητικού κινδύνου με καινοτόμες μεθόδους στην περιοχή “Μονοπάτι Αρβανιτιάς” του δήμου Ναυπλιέων. Ναύπλιο-Αθήνα.
66. ΥΠΑΝ, ΚΕΠΕ, ΕΜΠ. & ΙΓΜΕ 2007. Εθνικό πρόγραμμα διαχείρισης υδατινων πόρων της χώρας (Π.Δ.Υ.Π), Υπουργείο Ανάπτυξης.
67. ΥΠΕΝ 2017. 1η Αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Πελοποννήσου (ΕΛ03). Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΓΥ).
68. ΥΠΕΝ 2017. Αναλυτικό κείμενο τεκμηρίωσης «Πρόγραμμα Βασικών και Συμπληρωματικών Μέτρων συμπεριλαμβανομένης της ανάλυσης του κόστους τους σε σχέση με την αποδοτικότητα τους» (Τεύχος 12). 1η Αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Πελοποννήσου (ΕΛ03). Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΓΥ).
69. ΥΠΕΝ 2017. Αναλυτικό κείμενο τεκμηρίωσης «Χαρακτηρισμός και αξιολόγηση/ταξινόμηση της κατάστασης των υπόγειων υδατικών συστημάτων» (Τεύχος 07). 1η Αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Πελοποννήσου (ΕΛ03). Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΓΥ).
70. ΦΕΚ 1221/30-11-98. «Ανάλυση τιμών και λοιπών θεμάτων Γεωτεχνικών Ερευνών, Μελετών Γεωτεχνικών Έργων και Γεωτεχνικών Μελετών.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Κινηματική ανάλυση

Πίνακας Α: Στοιχεία προσανατολισμού των τμημάτων (Β1-Φ και Ν0-Ν13) του πρανούς.

<b>Τμήμα πρανούς</b>	<b>Ύψος πρανούς (m)</b>	<b>Μέση κλίσης πρανούς (°)</b>	<b>Μέση φορά μέγιστης κλίσης πρανούς (°)</b>
B1	19.2	51	296
B2	30	59	301
B3	35	68	281
Φ	54	52	228
N0	29.31	68	200
N1	35.32	75	138
N2	29.45	76	164
N3	26.17	79	155
N4	28.17	75	156
N5(άνω/κάτω)	62.2/31.24	44/77	181/157
N6(άνω/κάτω)	31.54/61.19	33/58	165/157
N7(άνω/κάτω)	53.75/40.86	47/66	175/169
N8(άνω/κάτω)	47.42/40.75	43/83	173/164
N9	65.44	77	168
N10	53.26	62	160
N11	54.5	61	177
N12	41.54	67	177
N13	29.46	73	184

ΠΡΑΝΕΣ-B1



Color	Density Concentrations
0.00 - 0.35	
0.35 - 0.70	
0.70 - 1.05	
1.05 - 1.40	
1.40 - 1.75	
1.75 - 2.10	
2.10 - 2.45	
2.45 - 2.80	
2.80 - 3.15	
3.15 - 3.50	

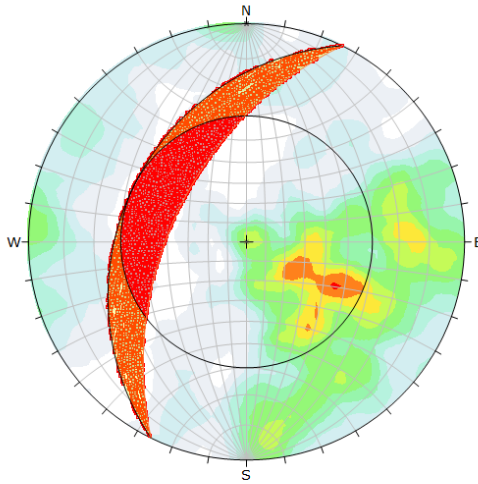
Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	3.20%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Planner Sliding
Slope Dip	52	
Slope Dip Direction	296	
Friction Angle	30°	
Latent Limits	20°	

	Critical	Total	%
Planner Sliding (All)	49	689	7.11%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	689 (689 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΡΑΝΕΣ-B1



Symbol	Feature
+	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
0.00 - 0.35	
0.35 - 0.70	
0.70 - 1.05	
1.05 - 1.40	
1.40 - 1.75	
1.75 - 2.10	
2.10 - 2.45	
2.45 - 2.80	
2.80 - 3.15	
3.15 - 3.50	

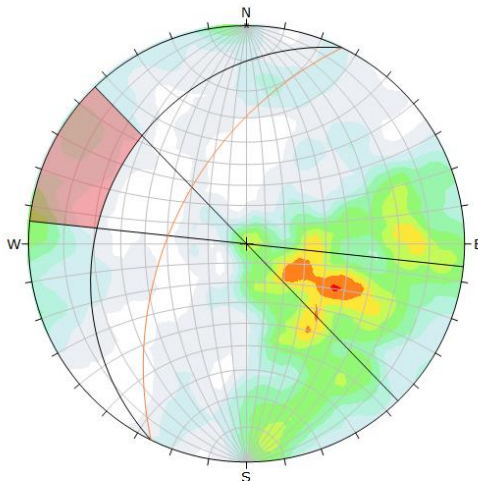
Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	3.20%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding
Slope Dip	52	
Slope Dip Direction	296	
Friction Angle	30°	
Latent Limits	20°	

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	36847	237005	15.52%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	689 (689 Entries)	
Intersection Mode	Grid Data Planes	
Intersection Count	237005	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΡΑΝΕΣ-B1



Color	Density Concentrations
0.00 - 0.35	
0.35 - 0.70	
0.70 - 1.05	
1.05 - 1.40	
1.40 - 1.75	
1.75 - 2.10	
2.10 - 2.45	
2.45 - 2.80	
2.80 - 3.15	
3.15 - 3.50	

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	3.20%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

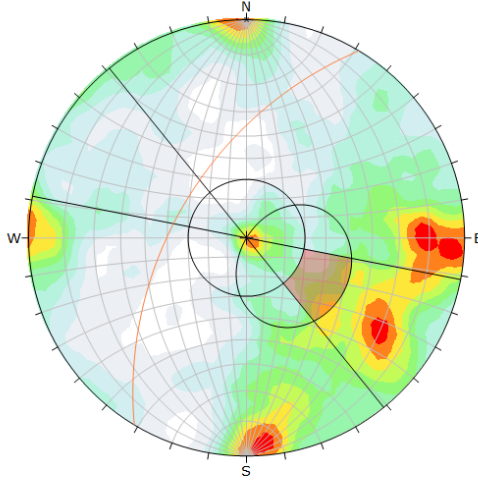
Kinematic Analysis		Flexure Toppling
Slope Dip	52	
Slope Dip Direction	296	
Friction Angle	30°	
Latent Limits	20°	

	Critical	Total	%
Flexure Toppling (All)	26	689	3.77%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	689 (689 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	



ΠΡΑΝΕΣ-B2



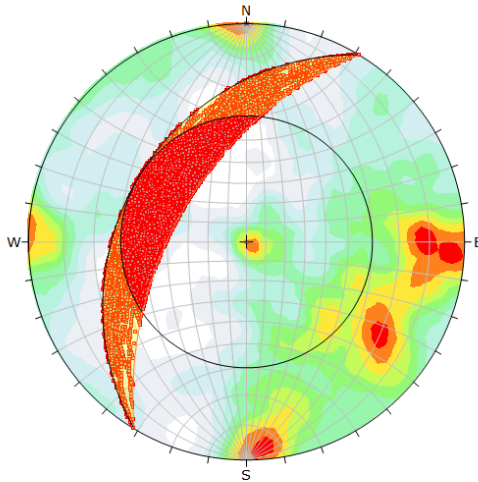
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.31
	0.31 - 0.62
	0.62 - 0.93
	0.93 - 1.24
	1.24 - 1.55
	1.55 - 1.86
	1.86 - 2.17
	2.17 - 2.48
	2.48 - 2.79
	2.79 - 3.10

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	3.03%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Planar Sliding		
Slope Dip	54		
Slope Dip Direction	301		
Friction Angle	30°		
Latitudinal Limits	20°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	44	983	4.48%

Pole Mode	Pole Vectors
Vector Count	983 (983 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

ΠΡΑΝΕΣ-B2



Symbol	Feature
•	Critical Intersection

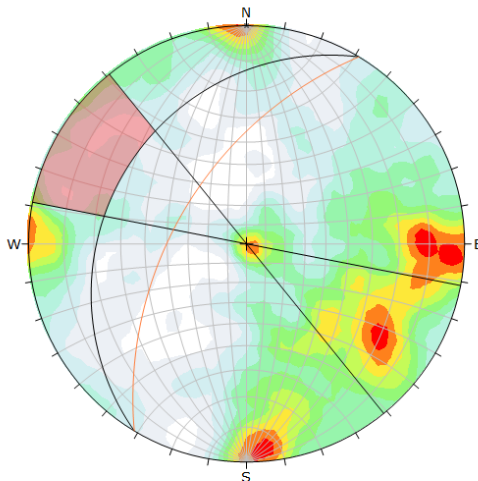
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.31
	0.31 - 0.62
	0.62 - 0.93
	0.93 - 1.24
	1.24 - 1.55
	1.55 - 1.86
	1.86 - 2.17
	2.17 - 2.48
	2.48 - 2.79
	2.79 - 3.10

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	3.03%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Wedge Sliding		
Slope Dip	54		
Slope Dip Direction	301		
Friction Angle	30°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding (All)	63060	482631	13.07%

Pole Mode	Pole Vectors
Vector Count	983 (983 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	482631
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

ΠΡΑΝΕΣ-B2



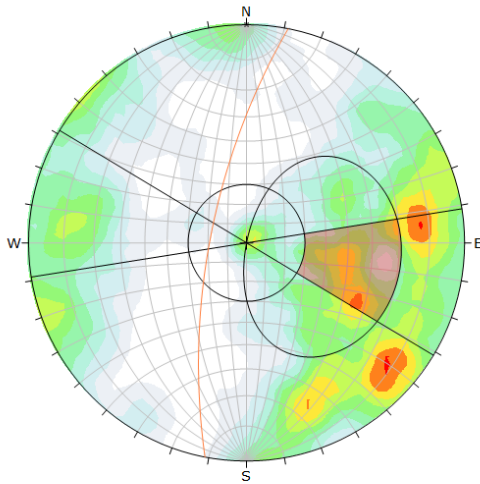
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.31
	0.31 - 0.62
	0.62 - 0.93
	0.93 - 1.24
	1.24 - 1.55
	1.55 - 1.86
	1.86 - 2.17
	2.17 - 2.48
	2.48 - 2.79
	2.79 - 3.10

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	3.03%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Flexure Toppling		
Slope Dip	54		
Slope Dip Direction	301		
Friction Angle	30°		
Latitudinal Limits	20°		
	Critical	Total	%
Flexure Toppling (All)	33	983	3.36%

Pole Mode	Pole Vectors
Vector Count	983 (983 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

ΠΑΝΕΞ-B3



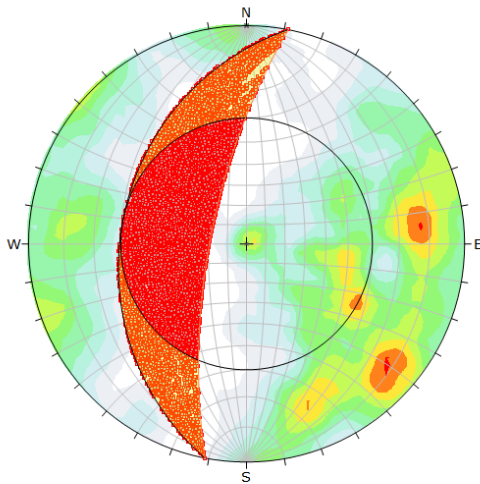
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.35
	0.35 - 0.70
	0.70 - 1.05
	1.05 - 1.40
	1.40 - 1.75
	1.75 - 2.10
	2.10 - 2.45
	2.45 - 2.80
	2.80 - 3.15
	3.15 - 3.50

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	3.20%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Planoar Sliding	
Slope Dip	71		
Slope Dip Direction	281		
Friction Angle	30°		
Latitud Limits	20°		
	Critical	Total	%
Planoar Sliding (All)	86	734	11.72%

Pole Mode	Pole Vectors
Vector Count	734 (734 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

ΠΑΝΕΞ-B3



Symbol	Feature
+	Critical Intersection

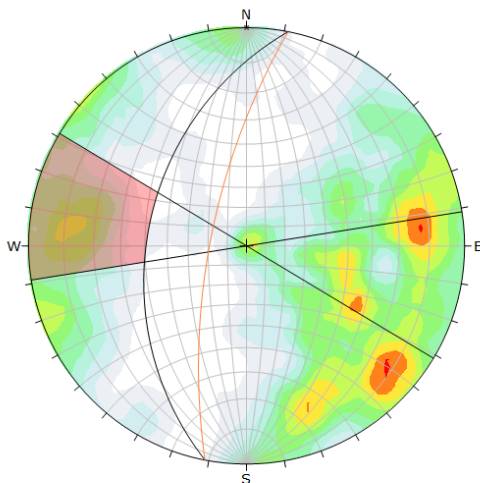
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.35
	0.35 - 0.70
	0.70 - 1.05
	1.05 - 1.40
	1.40 - 1.75
	1.75 - 2.10
	2.10 - 2.45
	2.45 - 2.80
	2.80 - 3.15
	3.15 - 3.50

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	3.20%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding	
Slope Dip	71		
Slope Dip Direction	281		
Friction Angle	30°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	81555	268998	30.32%

Pole Mode	Pole Vectors
Vector Count	734 (734 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	268998
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

ΠΑΝΕΞ-B3



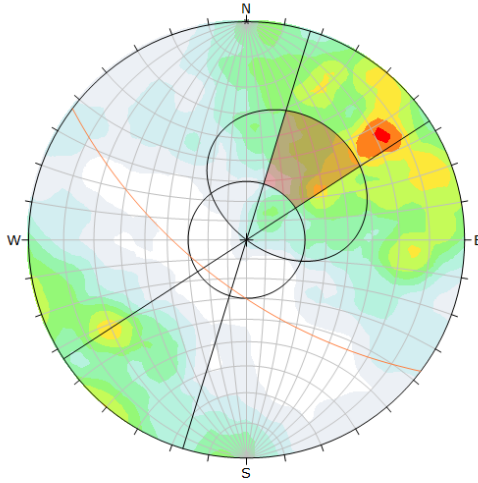
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.35
	0.35 - 0.70
	0.70 - 1.05
	1.05 - 1.40
	1.40 - 1.75
	1.75 - 2.10
	2.10 - 2.45
	2.45 - 2.80
	2.80 - 3.15
	3.15 - 3.50

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	3.20%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Flexural Toppling	
Slope Dip	71		
Slope Dip Direction	281		
Friction Angle	30°		
Latitud Limits	20°		
	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	70	734	9.54%

Pole Mode	Pole Vectors
Vector Count	734 (734 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

ΠΑΝΕΞ-Φ



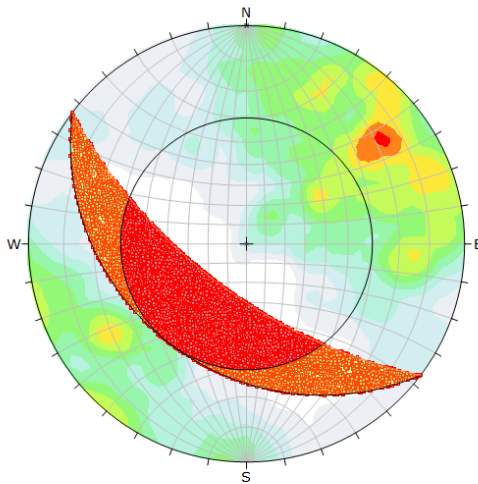
Color	Density Concentrations
	0.50 - 0.70
	0.70 - 1.00
	1.00 - 1.40
	1.40 - 1.75
	1.75 - 2.10
	2.10 - 2.45
	2.45 - 2.80
	2.80 - 3.15
	3.15 - 3.50

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	3.23%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Planar Sliding	
Slope Dip	65		
Slope Dip Direction	217		
Friction Angle	30°		
Latent Limits	20°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	101	1005	9.94%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	1105 (1105 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΑΝΕΞ-Φ



Symbol	Feature
*	Critical Intersection

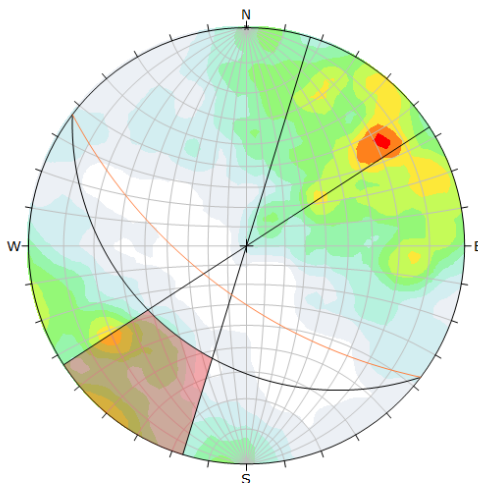
Color	Density Concentrations
	0.50 - 0.70
	0.70 - 1.00
	1.00 - 1.40
	1.40 - 1.75
	1.75 - 2.10
	2.10 - 2.45
	2.45 - 2.80
	2.80 - 3.15
	3.15 - 3.50

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	3.23%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding	
Slope Dip	65		
Slope Dip Direction	217		
Friction Angle	30°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	149506	609511	24.69%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	1105 (1105 Entries)	
Intersection Mode	Grid Data Planes	
Intersection Count	609511	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΑΝΕΞ-Φ



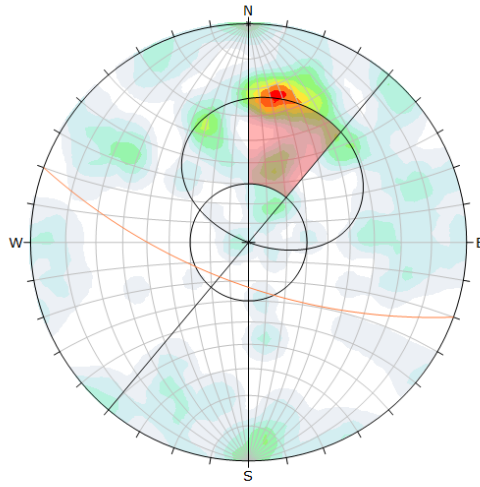
Color	Density Concentrations
	0.50 - 0.70
	0.70 - 1.00
	1.00 - 1.40
	1.40 - 1.75
	1.75 - 2.10
	2.10 - 2.45
	2.45 - 2.80
	2.80 - 3.15
	3.15 - 3.50

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	3.23%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Flexural Toppling	
Slope Dip	65		
Slope Dip Direction	217		
Friction Angle	30°		
Latent Limits	20°		
	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	100	1005	9.95%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	1105 (1105 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΑΝΕΞ- Ν0



Color		Density Concentrations
		0.00 - 1.00
		1.00 - 1.95
		1.95 - 2.60
		2.60 - 3.25
		3.25 - 3.90
		3.90 - 4.55
		4.55 - 5.20
		5.20 - 5.85
		5.85 - 6.50

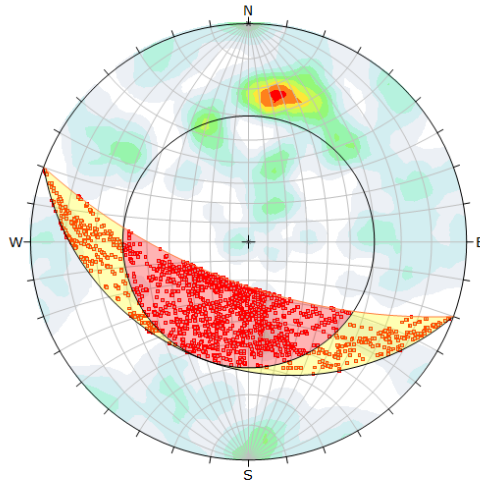
Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	6.13%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Planar Sliding
Slope Dip	68	
Slope Dip Direction	200	
Friction Angle	30°	
Lateral Limits	20°	

	Critical	Total	%
Planar Sliding (kt)	95	128	11.72%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	128 (128 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Area	

ΠΑΝΕΞ- Ν0



Symbol	Feature
■	Critical Intersection

Color		Density Concentrations
		0.00 - 0.65
		0.65 - 1.30
		1.30 - 1.95
		1.95 - 2.60
		2.60 - 3.25
		3.25 - 3.90
		3.90 - 4.55
		4.55 - 5.20
		5.20 - 5.85
		5.85 - 6.50

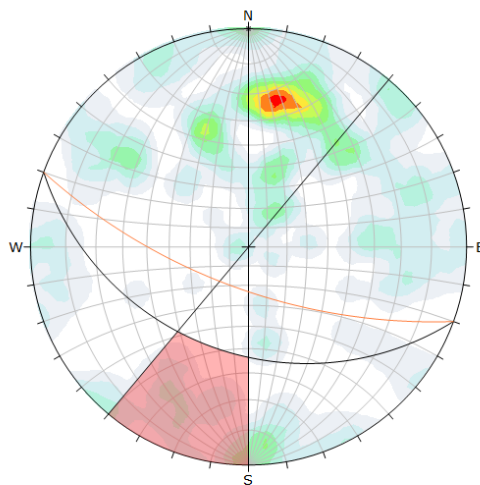
Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	6.13%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding
Slope Dip	68	
Slope Dip Direction	200	
Friction Angle	30°	

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	2335	8128	28.73%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	128 (128 Entries)	
Intersection Mode	Grid Data Planes	
Intersections Count	8128	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Area	

ΠΑΝΕΞ- Ν0



Color		Density Concentrations
		0.00 - 1.00
		1.00 - 1.95
		1.95 - 2.60
		2.60 - 3.25
		3.25 - 3.90
		3.90 - 4.55
		4.55 - 5.20
		5.20 - 5.85
		5.85 - 6.50

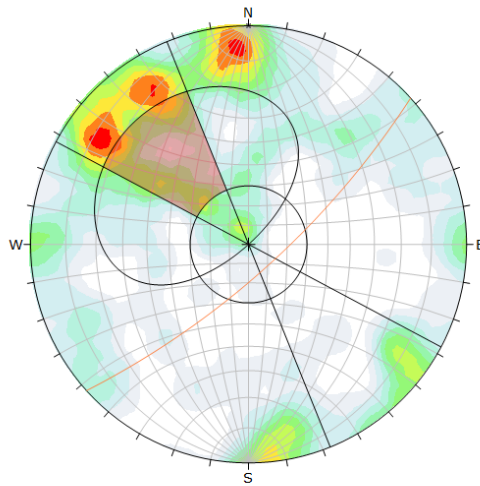
Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	6.13%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Flexural Toppling
Slope Dip	68	
Slope Dip Direction	200	
Friction Angle	30°	
Lateral Limits	20°	

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (kt)	9	128	7.05%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	128 (128 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Area	

ΠΡΑΝΕΣ-N1



Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.45
	0.45 - 0.90
	0.90 - 1.35
	1.35 - 1.80
	1.80 - 2.25
	2.25 - 2.70
	2.70 - 3.15
	3.15 - 3.60
	3.60 - 4.05
	4.05 - 4.50

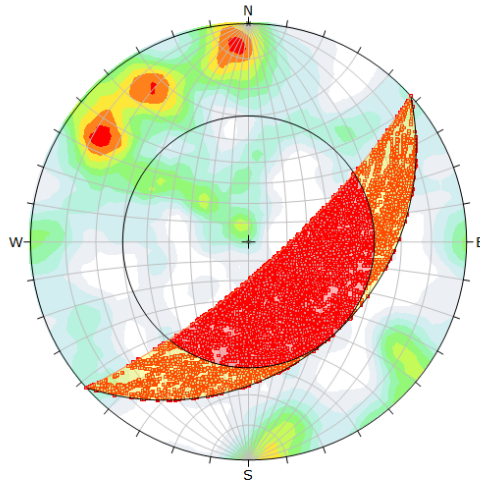
Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	4.29%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Planar Sliding
Slope Dip	75	
Slope Dip Direction	138	
Friction Angle	30°	
Lateral Limits	20°	

	Critical	Total	%
Planar Sliding (k)	45	319	14.11%

Plot Mode		Pole Vectors
Vector Count	319 (319 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΡΑΝΕΣ-N1



Symbol	Feature
●	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.45
	0.45 - 0.90
	0.90 - 1.35
	1.35 - 1.80
	1.80 - 2.25
	2.25 - 2.70
	2.70 - 3.15
	3.15 - 3.60
	3.60 - 4.05
	4.05 - 4.50

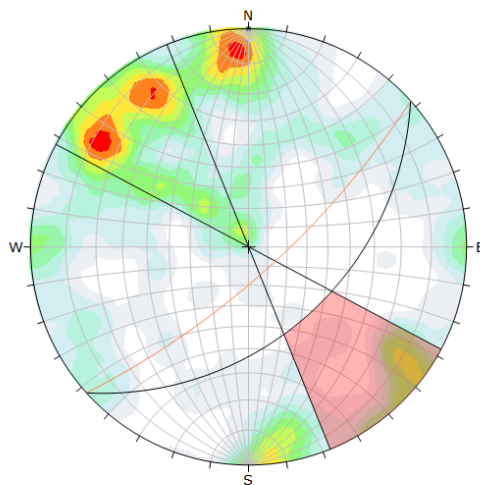
Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	4.29%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding
Slope Dip	75	
Slope Dip Direction	138	
Friction Angle	30°	

	Critical	Total	%
Wedge Sliding (k)	16272	50719	32.08%

Plot Mode		Pole Vectors
Vector Count	319 (319 Entries)	
Intersection Mode	Grid Data Planes	
Intersection Count	50719	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΡΑΝΕΣ-N1



Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.45
	0.45 - 0.90
	0.90 - 1.35
	1.35 - 1.80
	1.80 - 2.25
	2.25 - 2.70
	2.70 - 3.15
	3.15 - 3.60
	3.60 - 4.05
	4.05 - 4.50

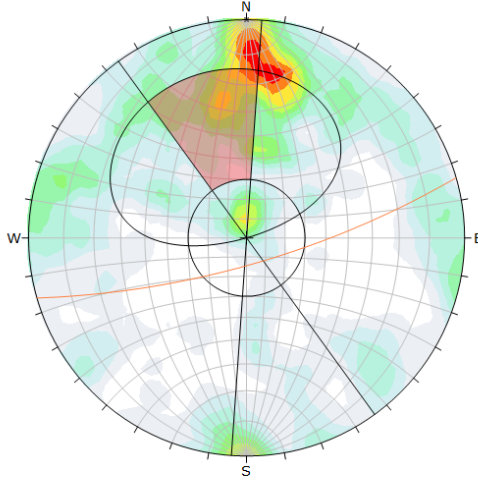
Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	4.29%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Flexural Toppling
Slope Dip	75	
Slope Dip Direction	138	
Friction Angle	30°	
Lateral Limits	20°	

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (k)	20	319	6.27%

Plot Mode		Pole Vectors
Vector Count	319 (319 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΡΑΝΕΣ-N2



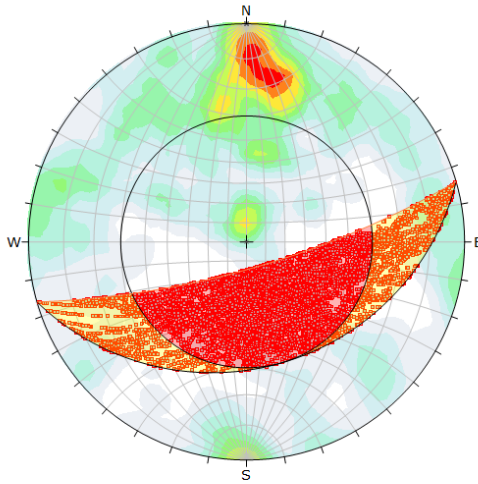
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.90
	0.90 - 1.35
	1.35 - 1.80
	1.80 - 2.25
	2.25 - 2.70
	2.70 - 3.15
	3.15 - 3.60
	3.60 - 4.05
	4.05 - 4.50

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	4.31%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Planar Sliding	
Slope Dip	75		
Slope Dip Direction	164		
Friction Angle	30°		
Latent Limits	20°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	43	313	13.74%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	313 (313 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΡΑΝΕΣ-N2



Symbol	Feature
*	Critical Intersection

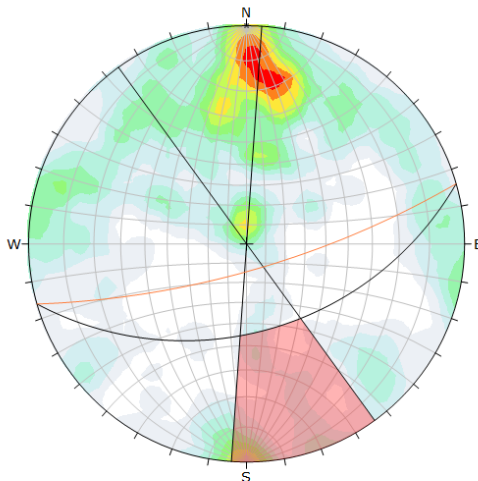
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.90
	0.90 - 1.35
	1.35 - 1.80
	1.80 - 2.25
	2.25 - 2.70
	2.70 - 3.15
	3.15 - 3.60
	3.60 - 4.05
	4.05 - 4.50

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	4.31%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding	
Slope Dip	75		
Slope Dip Direction	164		
Friction Angle	30°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	17056	48826	34.93%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	313 (313 Entries)	
Intersection Mode	Grid Data Planes	
Intersections Count	48826	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΡΑΝΕΣ-N2



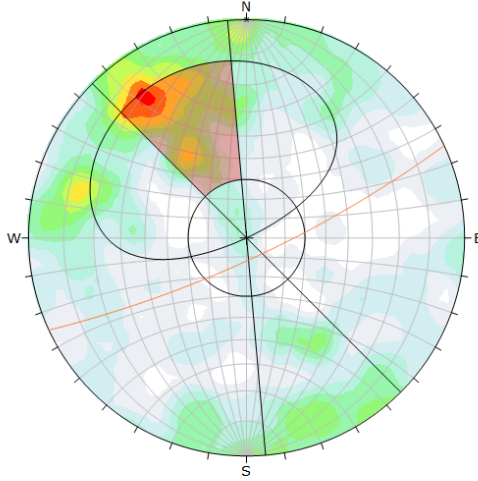
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.90
	0.90 - 1.35
	1.35 - 1.80
	1.80 - 2.25
	2.25 - 2.70
	2.70 - 3.15
	3.15 - 3.60
	3.60 - 4.05
	4.05 - 4.50

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	4.31%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Flexural Toppling	
Slope Dip	75		
Slope Dip Direction	164		
Friction Angle	30°		
Latent Limits	20°		
	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	21	313	6.71%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	313 (313 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΑΝΕΞ-N3



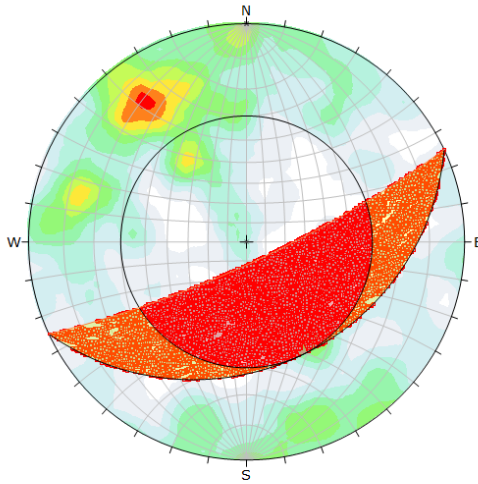
Color	Density Concentrations
0.00	0.00
0.40	0.80
0.80	1.20
1.20	1.60
1.60	2.00
2.00	2.40
2.40	2.80
2.80	3.20
3.20	3.60
3.60	4.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	3.82%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Planar Sliding	
Slope Dip	75		
Slope Dip Direction	155		
Friction Angle	30°		
Latent Limits	20°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	82	511	16.05%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	511 (511 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΑΝΕΞ-N3



Symbol	Feature
■	Critical Intersection

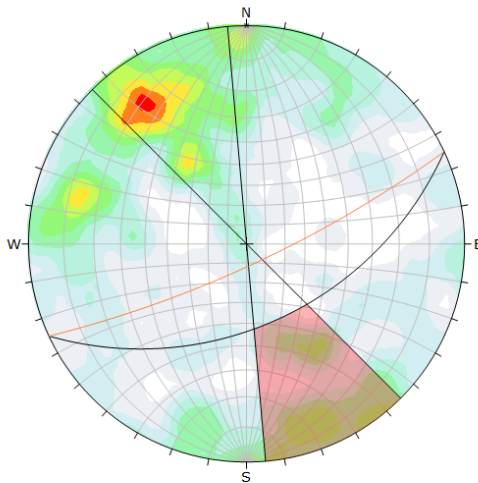
Color	Density Concentrations
0.00	0.40
0.40	0.80
0.80	1.20
1.20	1.60
1.60	2.00
2.00	2.40
2.40	2.80
2.80	3.20
3.20	3.60
3.60	4.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	3.82%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding	
Slope Dip	75		
Slope Dip Direction	155		
Friction Angle	30°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	44367	130296	34.05%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	511 (511 Entries)	
Intersection Mode	Grid Data Planes	
Intersections Count	130296	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΑΝΕΞ-N3



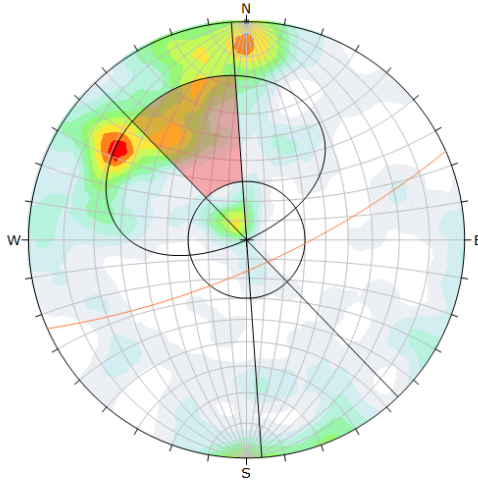
Color	Density Concentrations
0.00	0.40
0.40	0.80
0.80	1.20
1.20	1.60
1.60	2.00
2.00	2.40
2.40	2.80
2.80	3.20
3.20	3.60
3.60	4.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	3.82%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Flexure Topping	
Slope Dip	75		
Slope Dip Direction	155		
Friction Angle	30°		
	Critical	Total	%
Flexure Topping (All)	82	511	12.13%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	511 (511 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΑΡΑΞ-Ν4



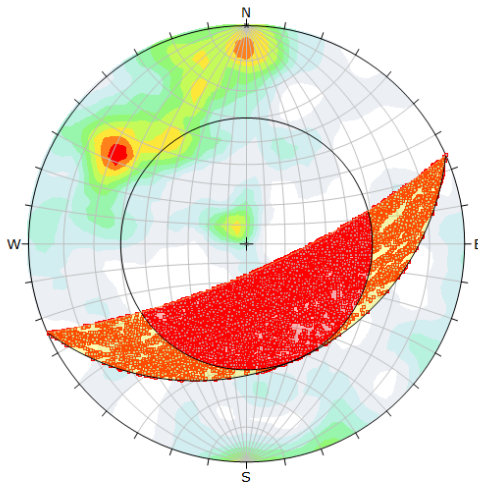
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.50
	0.50 - 1.00
	1.00 - 1.50
	1.50 - 2.00
	2.00 - 2.50
	2.50 - 3.00
	3.00 - 3.50
	3.50 - 4.00
	4.00 - 4.50
	4.50 - 5.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	4.80%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Planar Sliding	
Slope Dip	75		
Slope Dip Direction	156		
Friction Angle	30°		
Latitudinal Limits	20°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	96	388	14.43%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	388 (388 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΑΡΑΞ-Ν4



Symbol	Feature
*	Critical Intersection

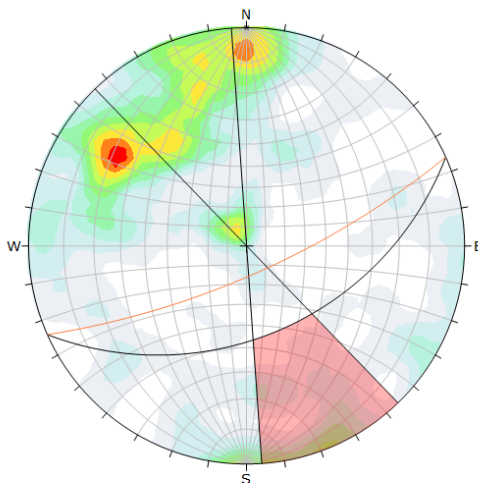
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.50
	0.50 - 1.00
	1.00 - 1.50
	1.50 - 2.00
	2.00 - 2.50
	2.50 - 3.00
	3.00 - 3.50
	3.50 - 4.00
	4.00 - 4.50
	4.50 - 5.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	4.80%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding	
Slope Dip	75		
Slope Dip Direction	156		
Friction Angle	30°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	23211	75074	33.58%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	388 (388 Entries)	
Intersection Mode	Grid Data Planes	
Intersections Count	23074	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΑΡΑΞ-Ν4



Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.50
	0.50 - 1.00
	1.00 - 1.50
	1.50 - 2.00
	2.00 - 2.50
	2.50 - 3.00
	3.00 - 3.50
	3.50 - 4.00
	4.00 - 4.50
	4.50 - 5.00

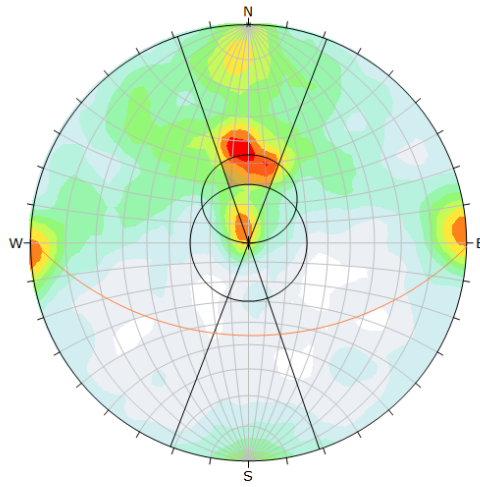
Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	4.80%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Flexure Toppling	
Slope Dip	75		
Slope Dip Direction	156		
Friction Angle	30°		
Latitudinal Limits	20°		
	Critical	Total	%
Flexure Toppling (All)	26	388	6.70%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	388 (388 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	



ΠΑΝΕΞ-Ν5



Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.31
	0.31 - 0.62
	0.62 - 0.93
	0.93 - 1.24
	1.24 - 1.55
	1.55 - 1.86
	1.86 - 2.17
	2.17 - 2.48
	2.48 - 2.79
	2.79 - 3.10

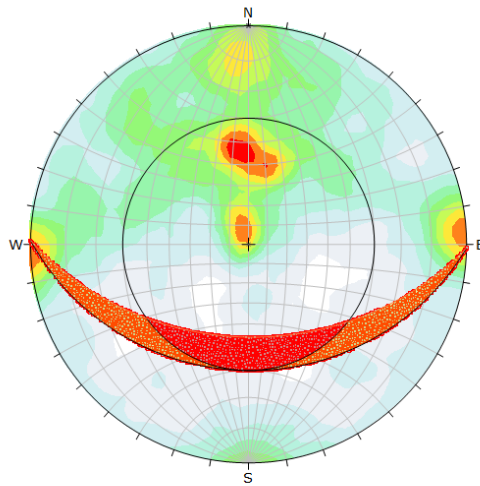
Contour Data	
Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	3.00%
Contour Distribution	Planar
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	
Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	44
Slope Dip Direction	181
Friction Angle	30°
Latitud Limits	20°

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	97	2245	4.32%

Pivot Mode	
Pivot Mode	Pole Vectors
Vector Count	2245 (2245 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

ΠΑΝΕΞ-Ν5



Symbol	Feature
●	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.31
	0.31 - 0.62
	0.62 - 0.93
	0.93 - 1.24
	1.24 - 1.55
	1.55 - 1.86
	1.86 - 2.17
	2.17 - 2.48
	2.48 - 2.79
	2.79 - 3.10

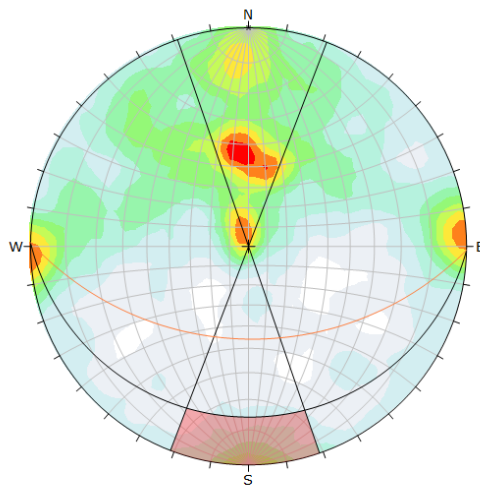
Contour Data	
Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	3.00%
Contour Distribution	Planar
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	
Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	44
Slope Dip Direction	181
Friction Angle	30°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding (All)	251928	2518753	9.21%

Pivot Mode	
Pivot Mode	Pole Vectors
Vector Count	2245 (2245 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	2518753
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

ΠΑΝΕΞ-Ν5



Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.31
	0.31 - 0.62
	0.62 - 0.93
	0.93 - 1.24
	1.24 - 1.55
	1.55 - 1.86
	1.86 - 2.17
	2.17 - 2.48
	2.48 - 2.79
	2.79 - 3.10

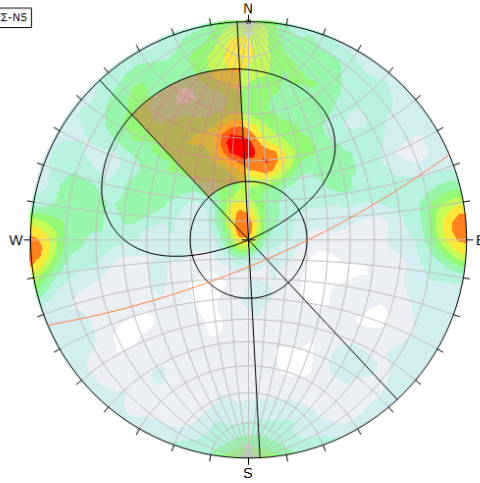
Contour Data	
Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	3.00%
Contour Distribution	Planar
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	
Kinematic Analysis	Flexural Topping
Slope Dip	44
Slope Dip Direction	181
Friction Angle	30°
Latitud Limits	20°

	Critical	Total	%
Flexural Topping (All)	55	2245	2.45%

Pivot Mode	
Pivot Mode	Pole Vectors
Vector Count	2245 (2245 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

ΠΑΝΕΣ-N5



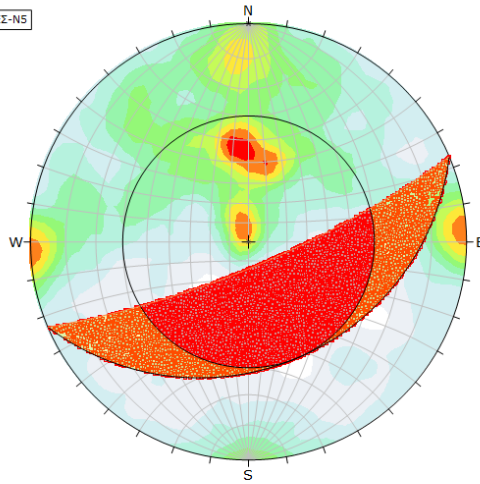
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.31
	0.31 - 0.62
	0.62 - 0.93
	0.93 - 1.24
	1.24 - 1.55
	1.55 - 1.86
	1.86 - 2.17
	2.17 - 2.48
	2.48 - 2.79
	2.79 - 3.10

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	3.00%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Planar Sliding	
Slope Dip	77		
Slope Dip Direction	157		
Friction Angle	30°		
Latent Limits	20°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	294	2245	13.10%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	2245 (2245 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΑΝΕΣ-N5



Symbol	Feature
+	Critical Intersection

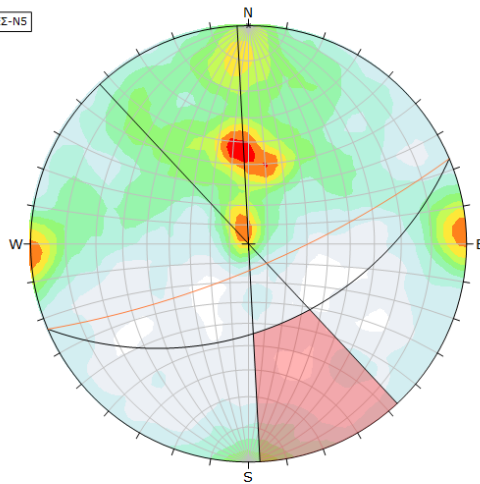
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.31
	0.31 - 0.62
	0.62 - 0.93
	0.93 - 1.24
	1.24 - 1.55
	1.55 - 1.86
	1.86 - 2.17
	2.17 - 2.48
	2.48 - 2.79
	2.79 - 3.10

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	3.00%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding	
Slope Dip	77		
Slope Dip Direction	157		
Friction Angle	30°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding (All)	303244	2518793	35.86%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	2245 (2245 Entries)	
Intersection Mode	Grid Data Planes	
Intersections Count	2518793	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΑΝΕΣ-N5



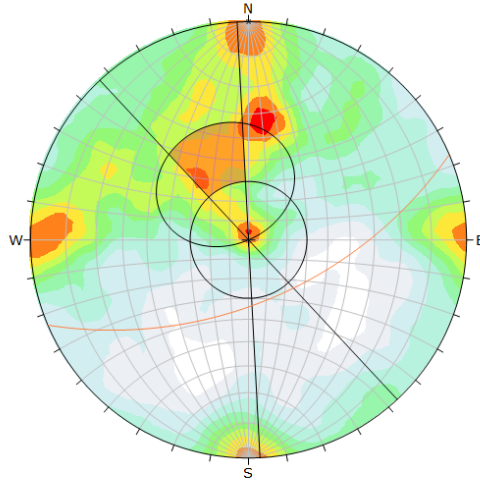
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.31
	0.31 - 0.62
	0.62 - 0.93
	0.93 - 1.24
	1.24 - 1.55
	1.55 - 1.86
	1.86 - 2.17
	2.17 - 2.48
	2.48 - 2.79
	2.79 - 3.10

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	3.00%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Flexure Toppling	
Slope Dip	77		
Slope Dip Direction	157		
Friction Angle	30°		
Latent Limits	20°		
	Critical	Total	%
Flexure Toppling (All)	99	2245	4.41%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	2245 (2245 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΡΑΝΕΖ-N6



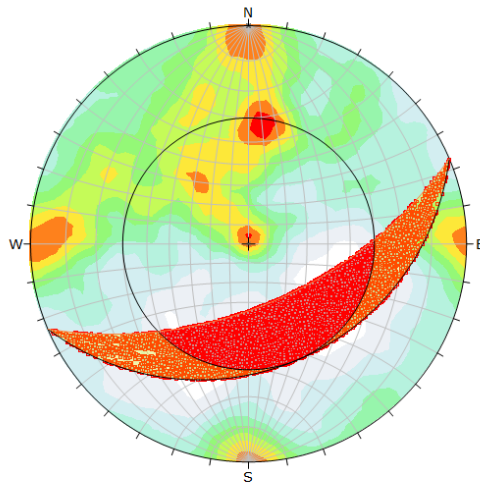
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.26
	0.26 - 0.52
	0.52 - 0.78
	0.78 - 1.04
	1.04 - 1.30
	1.30 - 1.56
	1.56 - 1.82
	1.82 - 2.08
	2.08 - 2.34
	2.34 - 2.60

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	2.56%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Planes Sliding	
Slope Dip	55		
Slope Dip Direction	157		
Friction Angle	30°		
Latitudinal Limits	20°		
	Critical	Total	%
Planes Sliding (All)	199	2181	7.29%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	2181 (2181 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΡΑΝΕΖ-N6



Symbol	Feature
•	Critical Intersection

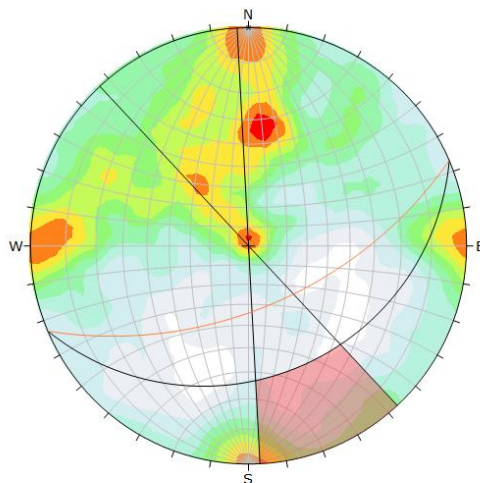
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.26
	0.26 - 0.52
	0.52 - 0.78
	0.78 - 1.04
	1.04 - 1.30
	1.30 - 1.56
	1.56 - 1.82
	1.82 - 2.08
	2.08 - 2.34
	2.34 - 2.60

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	2.56%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding	
Slope Dip	55		
Slope Dip Direction	157		
Friction Angle	30°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	48058	237716	20.22%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	2181 (2181 Entries)	
Intersection Mode	Grid Data Planes	
Intersection Count	237716	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΡΑΝΕΖ-N6



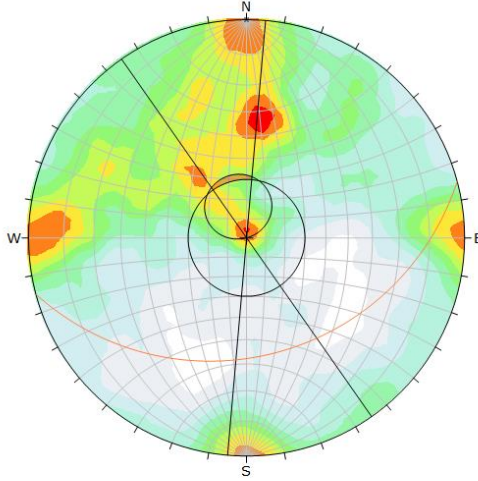
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.26
	0.26 - 0.52
	0.52 - 0.78
	0.78 - 1.04
	1.04 - 1.30
	1.30 - 1.56
	1.56 - 1.82
	1.82 - 2.08
	2.08 - 2.34
	2.34 - 2.60

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	2.56%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Flexure Toppling	
Slope Dip	55		
Slope Dip Direction	157		
Friction Angle	30°		
Latitudinal Limits	20°		
	Critical	Total	%
Flexure Toppling (All)	83	2181	3.81%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	2181 (2181 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΡΑΝΕΣ-N6



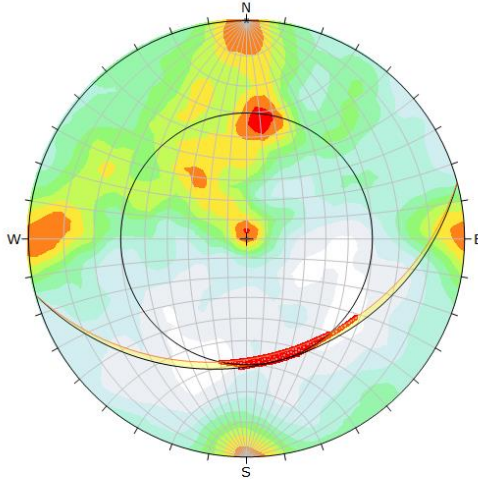
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.26
	0.26 - 0.52
	0.52 - 0.78
	0.78 - 1.04
	1.04 - 1.30
	1.30 - 1.56
	1.56 - 1.82
	1.82 - 2.08
	2.08 - 2.34
	2.34 - 2.60

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	2.56%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Planes Sliding	
Slope Dip	33		
Slope Dip Direction	165		
Friction Angle	30°		
Latent Limits	20°		
	Critical	Total	%
Planes Sliding (All)	8	2181	0.37%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	2181 (2181 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΡΑΝΕΣ-N6



Symbol	Feature
#	Critical Intersection

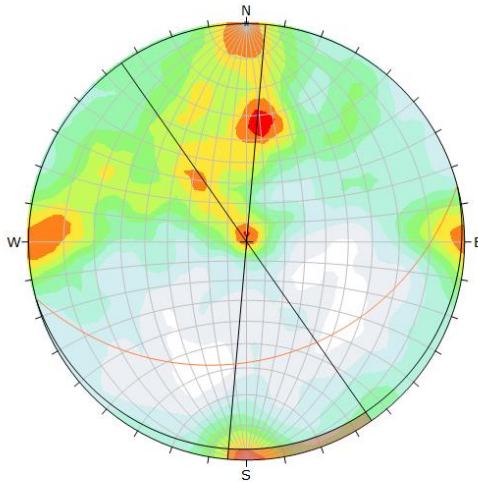
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.26
	0.26 - 0.52
	0.52 - 0.78
	0.78 - 1.04
	1.04 - 1.30
	1.30 - 1.56
	1.56 - 1.82
	1.82 - 2.08
	2.08 - 2.34
	2.34 - 2.60

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	2.56%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding	
Slope Dip	33		
Slope Dip Direction	165		
Friction Angle	30°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	1656	2377166	0.70%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	2181 (2181 Entries)	
Intersection Mode	Grid Data Planes	
Intersections Count	2377166	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΡΑΝΕΣ-N6



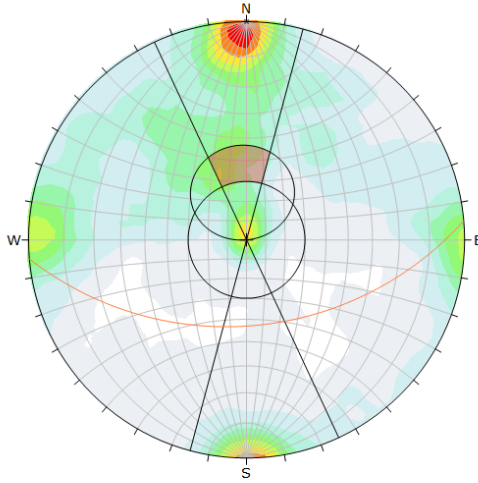
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.26
	0.26 - 0.52
	0.52 - 0.78
	0.78 - 1.04
	1.04 - 1.30
	1.30 - 1.56
	1.56 - 1.82
	1.82 - 2.08
	2.08 - 2.34
	2.34 - 2.60

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	2.56%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Flexure Toppling	
Slope Dip	33		
Slope Dip Direction	165		
Friction Angle	30°		
Latent Limits	20°		
	Critical	Total	%
Flexure Toppling (All)	12	2181	0.55%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	2181 (2181 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΑΝΕΞ-N7



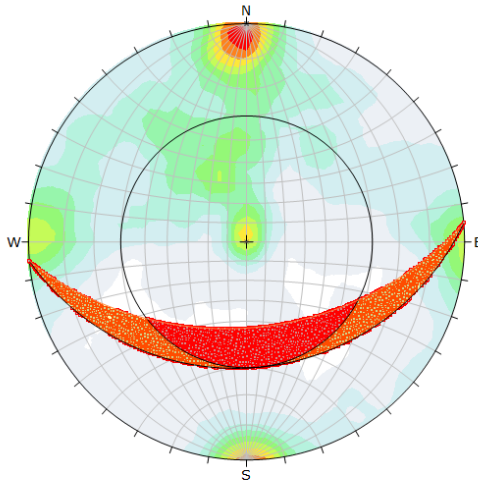
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.80
	0.80 - 1.20
	1.20 - 1.60
	1.60 - 2.00
	2.00 - 2.40
	2.40 - 2.80
	2.80 - 3.20
	3.20 - 3.60
	3.60 - 4.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	3.92%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Planoar Sliding	
Slope Dip	47°		
Slope Dip Direction	175°		
Friction Angle	30°		
Latent Limits	20°		
	Critical	Total	%
Planoar Sliding (All)	85	2048	4.15%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	2048 (2048 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΑΝΕΞ-N7



Symbol	Feature
+	Critical Intersection

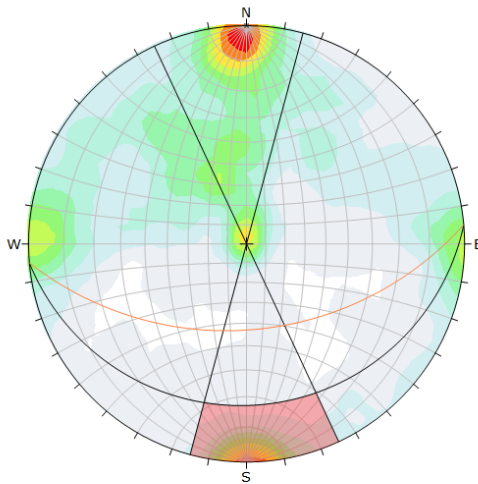
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.80
	0.80 - 1.20
	1.20 - 1.60
	1.60 - 2.00
	2.00 - 2.40
	2.40 - 2.80
	2.80 - 3.20
	3.20 - 3.60
	3.60 - 4.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	3.82%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding	
Slope Dip	47°		
Slope Dip Direction	175°		
Friction Angle	30°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	197100	2091896	9.42%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	2048 (2048 Entries)	
Intersection Mode	Grid Data Planes	
Intersection Count	2091896	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΑΝΕΞ-N7



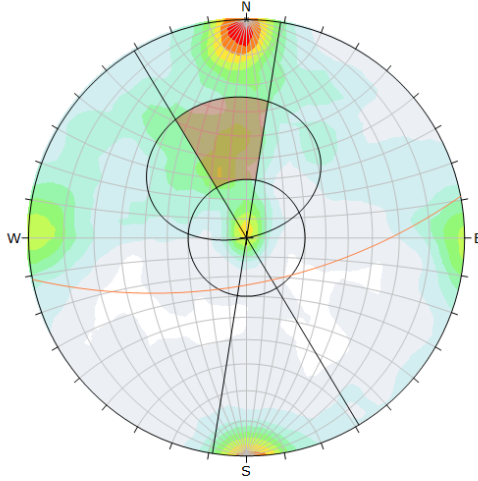
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.80
	0.80 - 1.20
	1.20 - 1.60
	1.60 - 2.00
	2.00 - 2.40
	2.40 - 2.80
	2.80 - 3.20
	3.20 - 3.60
	3.60 - 4.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	3.92%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Flexure Toppling	
Slope Dip	47°		
Slope Dip Direction	175°		
Friction Angle	30°		
Latent Limits	20°		
	Critical	Total	%
Flexure Toppling (All)	75	2048	3.67%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	2048 (2048 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΑΝΕΞ-N7



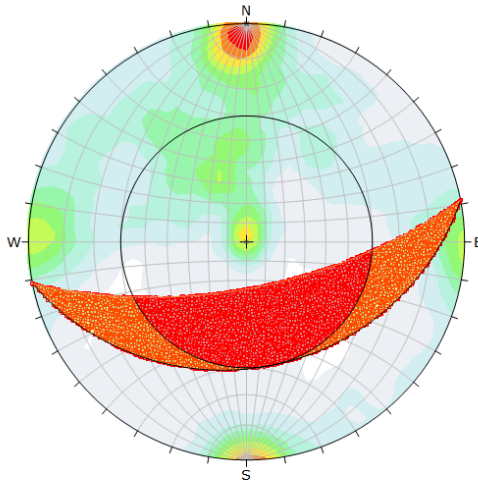
Color	Density Concentrations
0.00	0.00
0.40	0.80
0.80	1.20
1.20	1.60
1.60	2.00
2.00	2.40
2.40	2.80
2.80	3.20
3.20	3.60
3.60	4.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	3.82%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Planar Sliding
Slope Dip	65	
Slope Dip Direction	169	
Friction Angle	30°	
Latent Limits	20°	
	<b>Critical</b>	<b>Total</b>
Planar Sliding (All)	201	2048
		9.82%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	2048 (2048 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΑΝΕΞ-N7



Symbol	Feature
+	Critical Intersection

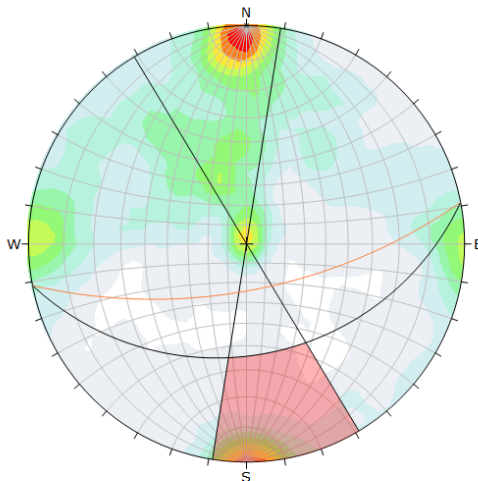
Color	Density Concentrations
0.00	0.00
0.40	0.80
0.80	1.20
1.20	1.60
1.60	2.00
2.00	2.40
2.40	2.80
2.80	3.20
3.20	3.60
3.60	4.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	3.82%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding
Slope Dip	65	
Slope Dip Direction	169	
Friction Angle	30°	
	<b>Critical</b>	<b>Total</b>
Wedge Sliding	212196	2091896
		24.48%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	2048 (2048 Entries)	
Intersection Mode	Grid Data Planes	
Intersections Count	2091896	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΑΝΕΞ-N7



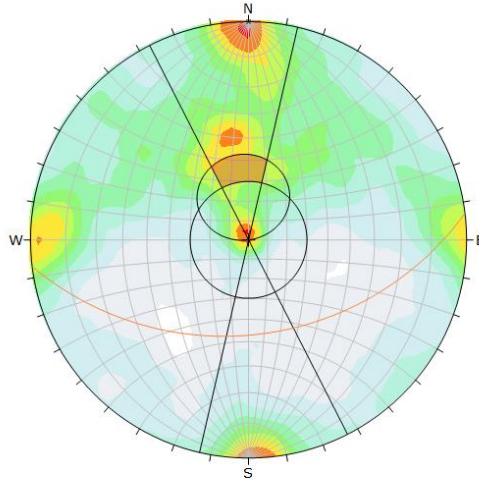
Color	Density Concentrations
0.00	0.00
0.40	0.80
0.80	1.20
1.20	1.60
1.60	2.00
2.00	2.40
2.40	2.80
2.80	3.20
3.20	3.60
3.60	4.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	3.82%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Flexure Toppling
Slope Dip	65	
Slope Dip Direction	169	
Friction Angle	30°	
Latent Limits	20°	
	<b>Critical</b>	<b>Total</b>
Flexure Toppling (All)	116	2048
		5.67%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	2048 (2048 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΑΝΕΞ-Ν8



Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.90
	0.90 - 0.90
	0.90 - 1.20
	1.20 - 1.50
	1.50 - 1.80
	1.80 - 2.10
	2.10 - 2.40
	2.40 - 2.70
	2.70 - 3.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	2.79%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

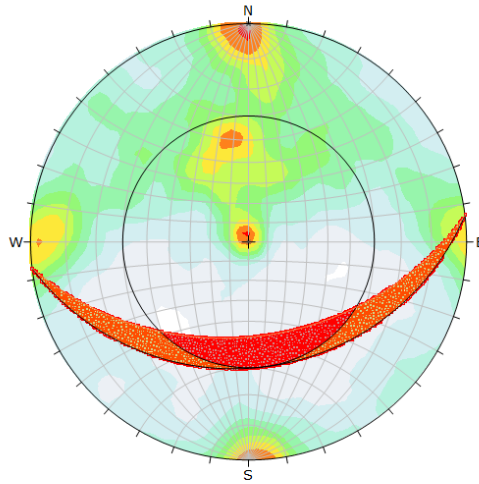
  

Kinematic Analysis		Planar Sliding	
Slope Dip	43		
Slope Dip Direction	173		
Friction Angle	30°		
Latent Limits	20°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	132	4140	3.19%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	4140 (4140 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΑΝΕΞ-Ν8



Symbol	Feature
*	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.90
	0.90 - 0.90
	0.90 - 1.20
	1.20 - 1.50
	1.50 - 1.80
	1.80 - 2.10
	2.10 - 2.40
	2.40 - 2.70
	2.70 - 3.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	2.79%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

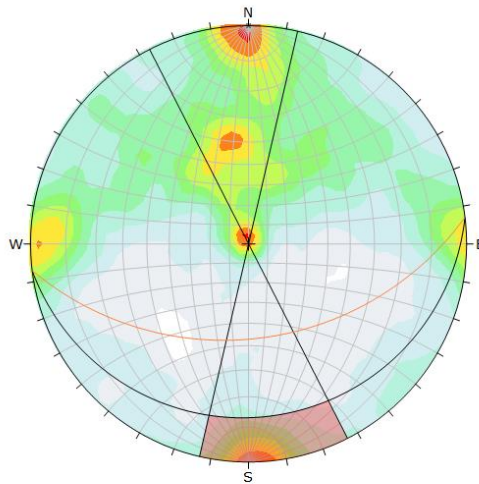
  

Kinematic Analysis		Wedge Sliding	
Slope Dip	43		
Slope Dip Direction	173		
Friction Angle	30°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding (All)	858720	8587336	7.65%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	4140 (4140 Entries)	
Intersection Mode	Grid Data Planes	
Intersection Count	8587336	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΑΝΕΞ-Ν8



Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.90
	0.90 - 0.90
	0.90 - 1.20
	1.20 - 1.50
	1.50 - 1.80
	1.80 - 2.10
	2.10 - 2.40
	2.40 - 2.70
	2.70 - 3.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	2.79%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

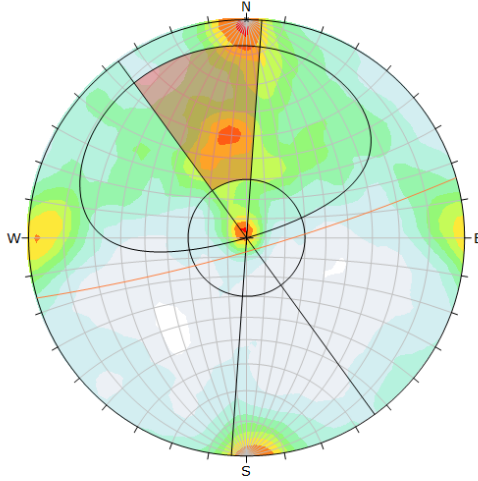
  

Kinematic Analysis		Flexure Toppling	
Slope Dip	43		
Slope Dip Direction	173		
Friction Angle	30°		
Latent Limits	20°		
	Critical	Total	%
Flexure Toppling (All)	131	4140	3.16%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	4140 (4140 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

TPANEZ-N8



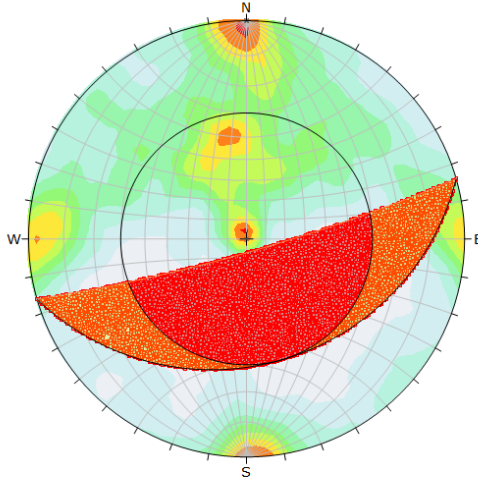
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.60
	0.60 - 0.90
	0.90 - 1.20
	1.20 - 1.50
	1.50 - 1.80
	1.80 - 2.10
	2.10 - 2.40
	2.40 - 2.70
	2.70 - 3.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	2.79%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Planoar Sliding	
Slope Dip	83		
Slope Dip Direction	164		
Friction Angle	30°		
Latitudinal Limits	20°		
	Critical	Total	%
Planoar Sliding (All)	611	4140	14.76%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	4140 (4140 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

TPANEZ-N8



Symbol	Feature
*	Critical Intersection

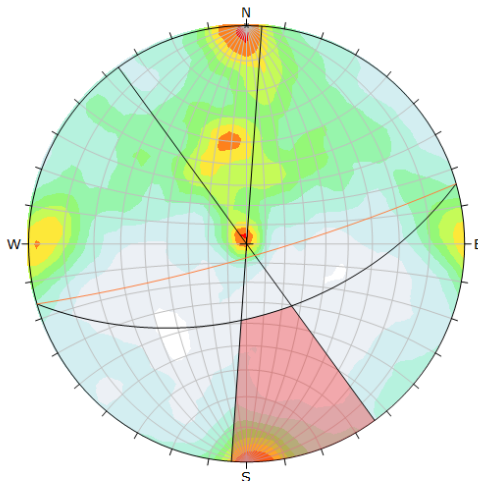
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.60
	0.60 - 0.90
	0.90 - 1.20
	1.20 - 1.50
	1.50 - 1.80
	1.80 - 2.10
	2.10 - 2.40
	2.40 - 2.70
	2.70 - 3.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	2.79%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding	
Slope Dip	83		
Slope Dip Direction	164		
Friction Angle	30°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	3408842	8587336	39.79%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	4140 (4140 Entries)	
Intersection Mode	Grid Data Planes	
Intersection Count	8587336	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

TPANEZ-N8



Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.60
	0.60 - 0.90
	0.90 - 1.20
	1.20 - 1.50
	1.50 - 1.80
	1.80 - 2.10
	2.10 - 2.40
	2.40 - 2.70
	2.70 - 3.00

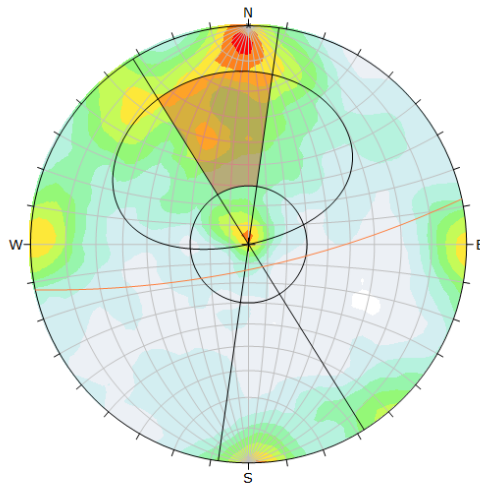
Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	2.79%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Flexure Toppling	
Slope Dip	83		
Slope Dip Direction	164		
Friction Angle	30°		
Latitudinal Limits	20°		
	Critical	Total	%
Flexure Toppling (All)	265	4140	6.40%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	4140 (4140 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	



ΠΑΝΕΞ-N9



Color	Density Concentrations
0.00 - 0.30	
0.30 - 0.60	
0.60 - 0.90	
0.90 - 1.20	
1.20 - 1.50	
1.50 - 1.80	
1.80 - 2.10	
2.10 - 2.40	
2.40 - 2.70	
2.70 - 3.00	

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	2.85%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	77
Slope Dip Direction	168
Friction Angle	30°
Lateral Limits	20°

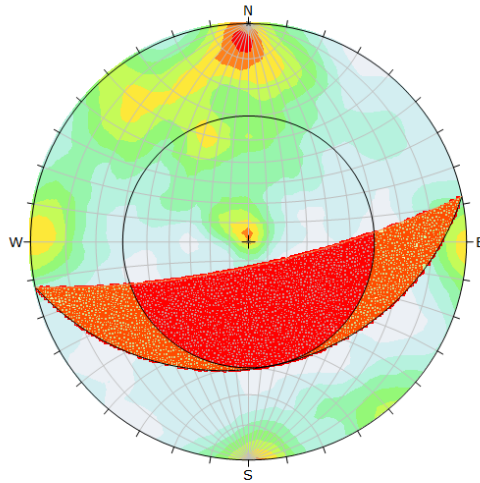
  

Planar Sliding (k)	Critical	Total	%
	367	2998	12.26%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	2998 (2998 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

ΠΑΝΕΞ-N9



Symbol	Feature
+	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
0.00 - 0.30	
0.30 - 0.60	
0.60 - 0.90	
0.90 - 1.20	
1.20 - 1.50	
1.50 - 1.80	
1.80 - 2.10	
2.10 - 2.40	
2.40 - 2.70	
2.70 - 3.00	

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	2.85%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	77
Slope Dip Direction	168
Friction Angle	30°

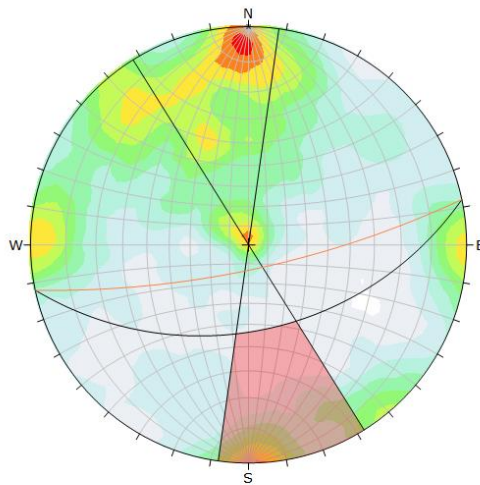
  

Wedge Sliding (k)	Critical	Total	%
	1433805	4462367	32.13%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	2998 (2998 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	4462367
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

ΠΑΝΕΞ-N9



Color	Density Concentrations
0.00 - 0.30	
0.30 - 0.60	
0.60 - 0.90	
0.90 - 1.20	
1.20 - 1.50	
1.50 - 1.80	
1.80 - 2.10	
2.10 - 2.40	
2.40 - 2.70	
2.70 - 3.00	

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	2.85%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Faulted Toppling
Slope Dip	77
Slope Dip Direction	168
Friction Angle	30°
Lateral Limits	20°

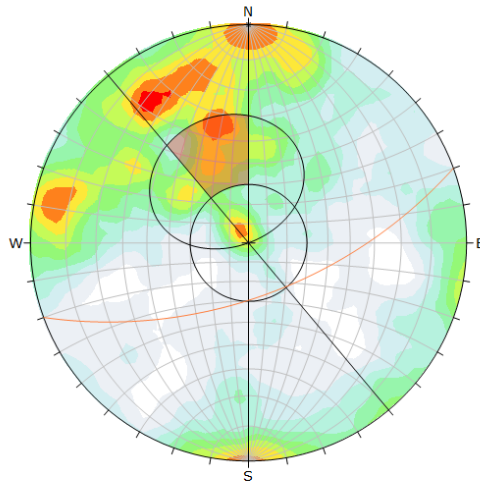
  

Faulted Toppling (k)	Critical	Total	%
	200	2998	6.69%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	2998 (2998 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

ΠΑΡΑΞ-N10



Color	Density Concentrations
0.00 - 0.30	
0.30 - 0.60	
0.60 - 0.90	
0.90 - 1.20	
1.20 - 1.50	
1.50 - 1.80	
1.80 - 2.10	
2.10 - 2.40	
2.40 - 2.70	
2.70 - 3.00	

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	2.84%	
Contour Distribution	Planar	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Planar Sliding
Slope Dip	62	
Slope Dip Direction	160	
Friction Angle	30°	
Latitud Limits	20°	

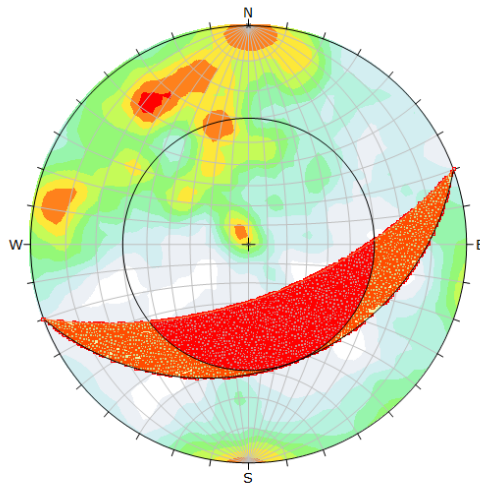
  

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	82	966	8.49%

Pfot Mode	Pole Vectors
Vector Count	966 (966 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

ΠΑΡΑΞ-N10



Symbol	Feature
●	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
0.00 - 0.30	
0.30 - 0.60	
0.60 - 0.90	
0.90 - 1.20	
1.20 - 1.50	
1.50 - 1.80	
1.80 - 2.10	
2.10 - 2.40	
2.40 - 2.70	
2.70 - 3.00	

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	2.84%	
Contour Distribution	Planar	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding
Slope Dip	62	
Slope Dip Direction	160	
Friction Angle	30°	

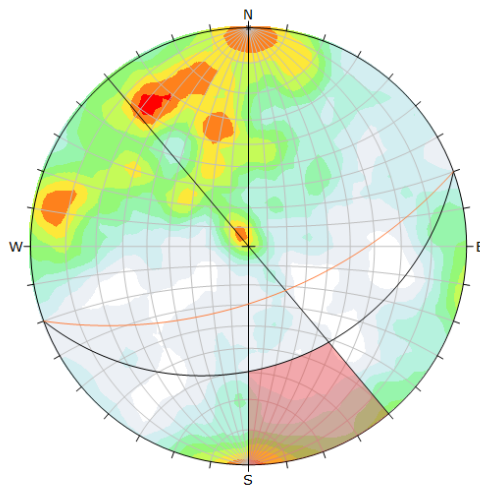
  

	Critical	Total	%
Wedge Sliding (All)	103482	466073	22.20%

Pfot Mode	Pole Vectors
Vector Count	966 (966 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Plane
Intersections Count	466073
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

ΠΑΡΑΞ-N10



Color	Density Concentrations
0.00 - 0.30	
0.30 - 0.60	
0.60 - 0.90	
0.90 - 1.20	
1.20 - 1.50	
1.50 - 1.80	
1.80 - 2.10	
2.10 - 2.40	
2.40 - 2.70	
2.70 - 3.00	

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	2.84%	
Contour Distribution	Planar	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Flexural Topping
Slope Dip	62	
Slope Dip Direction	160	
Friction Angle	30°	
Latitud Limits	20°	

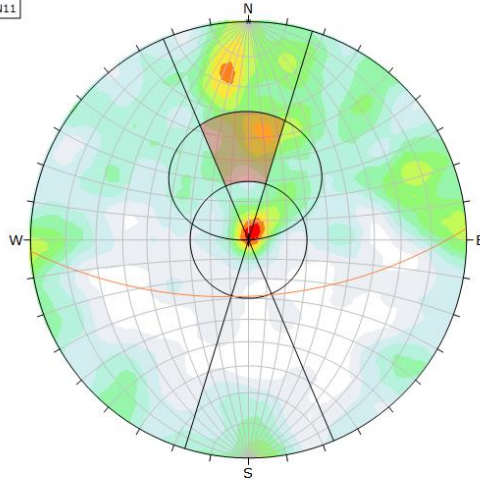
  

	Critical	Total	%
Flexural Topping (All)	47	966	4.87%

Pfot Mode	Pole Vectors
Vector Count	966 (966 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

ΠΑΝΕΞ-N11



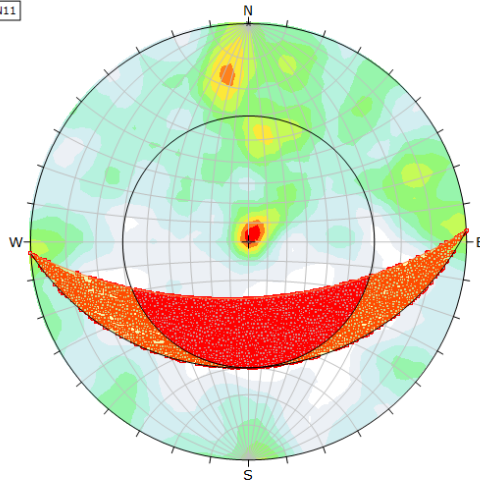
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.35
	0.35 - 0.70
	0.70 - 1.05
	1.05 - 1.40
	1.40 - 1.75
	1.75 - 2.10
	2.10 - 2.45
	2.45 - 2.80
	2.80 - 3.15
	3.15 - 3.50

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	3.42%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Planoar Sliding	
Slope Dip	61		
Slope Dip Direction	177		
Friction Angle	30°		
Latexial Limits	20°		
	Critical	Total	%
Planoar Sliding (All)	76	958	7.93%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	958 (958 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΑΝΕΞ-N11



Symbol	Feature
■	Critical Intersection

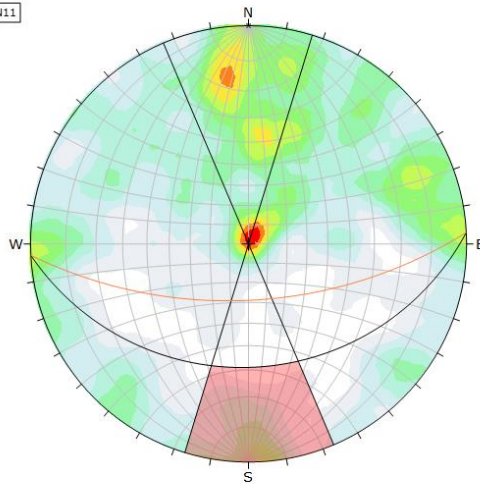
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.35
	0.35 - 0.70
	0.70 - 1.05
	1.05 - 1.40
	1.40 - 1.75
	1.75 - 2.10
	2.10 - 2.45
	2.45 - 2.80
	2.80 - 3.15
	3.15 - 3.50

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	3.42%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding	
Slope Dip	61		
Slope Dip Direction	177		
Friction Angle	30°		
Latexial Limits	20°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding (All)	94884	458379	20.70%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	958 (958 Entries)	
Intersection Mode	Grid Data Planes	
Intersections Count	458379	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΑΝΕΞ-N11



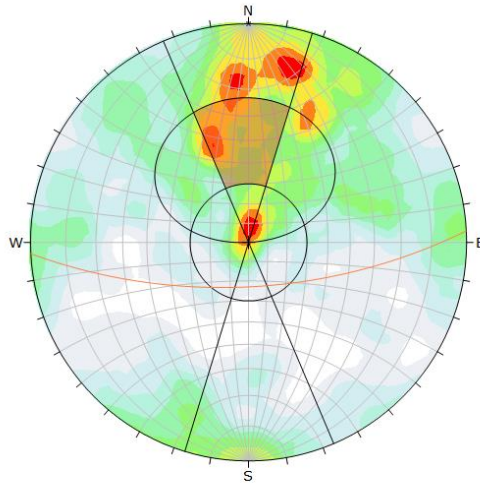
Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.35
	0.35 - 0.70
	0.70 - 1.05
	1.05 - 1.40
	1.40 - 1.75
	1.75 - 2.10
	2.10 - 2.45
	2.45 - 2.80
	2.80 - 3.15
	3.15 - 3.50

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	3.42%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Flexural Toppling	
Slope Dip	61		
Slope Dip Direction	177		
Friction Angle	30°		
Latexial Limits	20°		
	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	43	958	4.49%

Pole Mode		Pole Vectors
Vector Count	958 (958 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΑΝΕΞ-N12



Color	Density Concentrations
0.00 - 0.30	
0.30 - 0.60	
0.60 - 0.90	
0.90 - 1.20	
1.20 - 1.50	
1.50 - 1.80	
1.80 - 2.10	
2.10 - 2.40	
2.40 - 2.70	
2.70 - 3.00	

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	2.97%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	67
Slope Dip Direction	177
Friction Angle	30°
Lateral Limits	20°

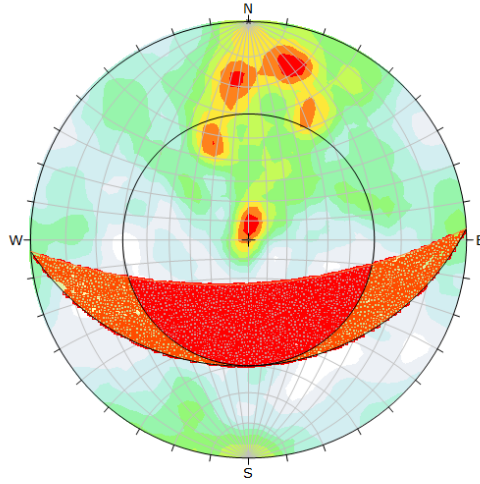
  

	Critical	Total	%
Planar Sliding (No)	85	826	10.29%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	826 (826 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

ΠΑΝΕΞ-N12



Symbol	Feature
●	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
0.00 - 0.30	
0.30 - 0.60	
0.60 - 0.90	
0.90 - 1.20	
1.20 - 1.50	
1.50 - 1.80	
1.80 - 2.10	
2.10 - 2.40	
2.40 - 2.70	
2.70 - 3.00	

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	2.97%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	67
Slope Dip Direction	177
Friction Angle	30°

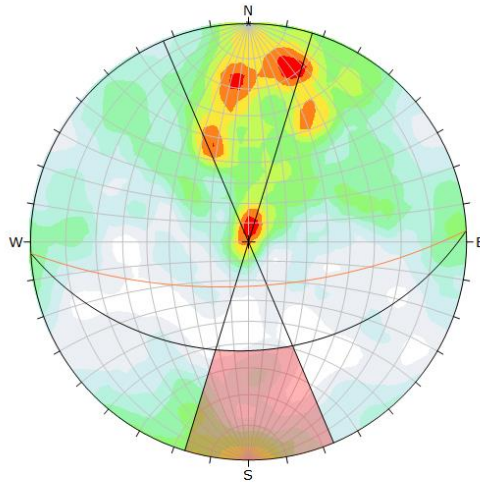
  

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	87590	340711	25.71%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	826 (826 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	340711
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

ΠΑΝΕΞ-N12



Color	Density Concentrations
0.00 - 0.30	
0.30 - 0.60	
0.60 - 0.90	
0.90 - 1.20	
1.20 - 1.50	
1.50 - 1.80	
1.80 - 2.10	
2.10 - 2.40	
2.40 - 2.70	
2.70 - 3.00	

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	2.97%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	67
Slope Dip Direction	177
Friction Angle	30°
Lateral Limits	20°

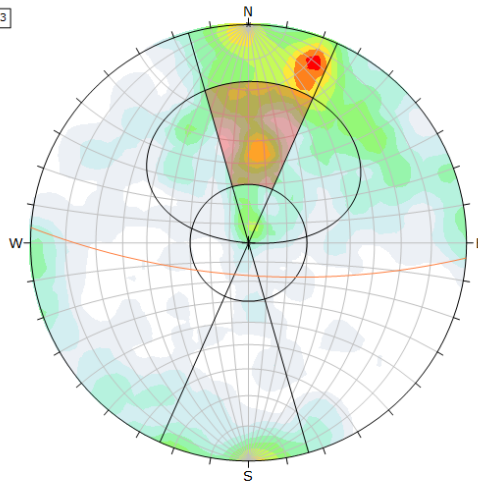
  

	Critical	Total	%
Flexural Toppling (No)	46	826	5.57%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	826 (826 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

ΠΙΡΑΝΕΖ-N13



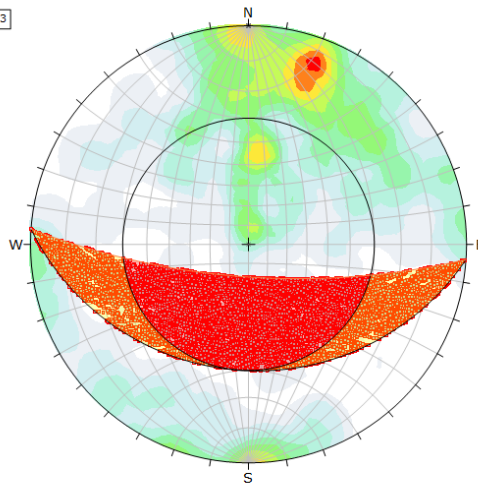
Color	Density Concentrations
0.00 - 0.45	
0.45 - 0.90	
0.90 - 1.35	
1.35 - 1.80	
1.80 - 2.25	
2.25 - 2.70	
2.70 - 3.15	
3.15 - 3.60	
3.60 - 4.05	
4.05 - 4.50	

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	4.24%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Planar Sliding
Slope Dip	73	
Slope Dip Direction	114	
Friction Angle	30°	
Lateral Limits	20°	
	Critical	Total %
Planar Sliding (ft)	56	405 13.83%

Pilot Mode		Pole Vectors
Vector Count	405 (405 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΙΡΑΝΕΖ-N13



Symbol	Feature
■	Critical Intersection

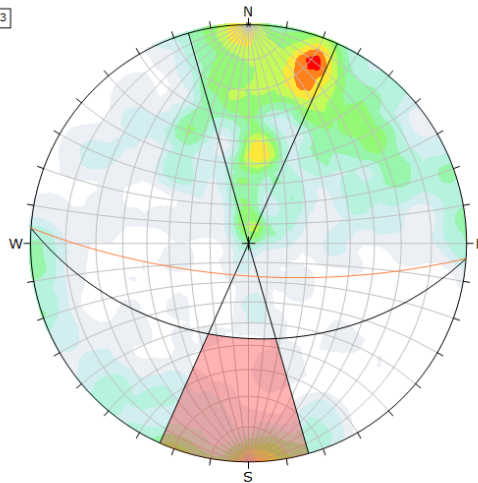
Color	Density Concentrations
0.00 - 0.45	
0.45 - 0.90	
0.90 - 1.35	
1.35 - 1.80	
1.80 - 2.25	
2.25 - 2.70	
2.70 - 3.15	
3.15 - 3.60	
3.60 - 4.05	
4.05 - 4.50	

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	4.24%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding
Slope Dip	73	
Slope Dip Direction	114	
Friction Angle	30°	
	Critical	Total %
Wedge Sliding	25643	81804 31.85%

Pilot Mode		Pole Vectors
Vector Count	405 (405 Entries)	
Intersection Mode	Grid Cells Planes	
Intersections Count	81804	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

ΠΙΡΑΝΕΖ-N13



Color	Density Concentrations
0.00 - 0.45	
0.45 - 0.90	
0.90 - 1.35	
1.35 - 1.80	
1.80 - 2.25	
2.25 - 2.70	
2.70 - 3.15	
3.15 - 3.60	
3.60 - 4.05	
4.05 - 4.50	

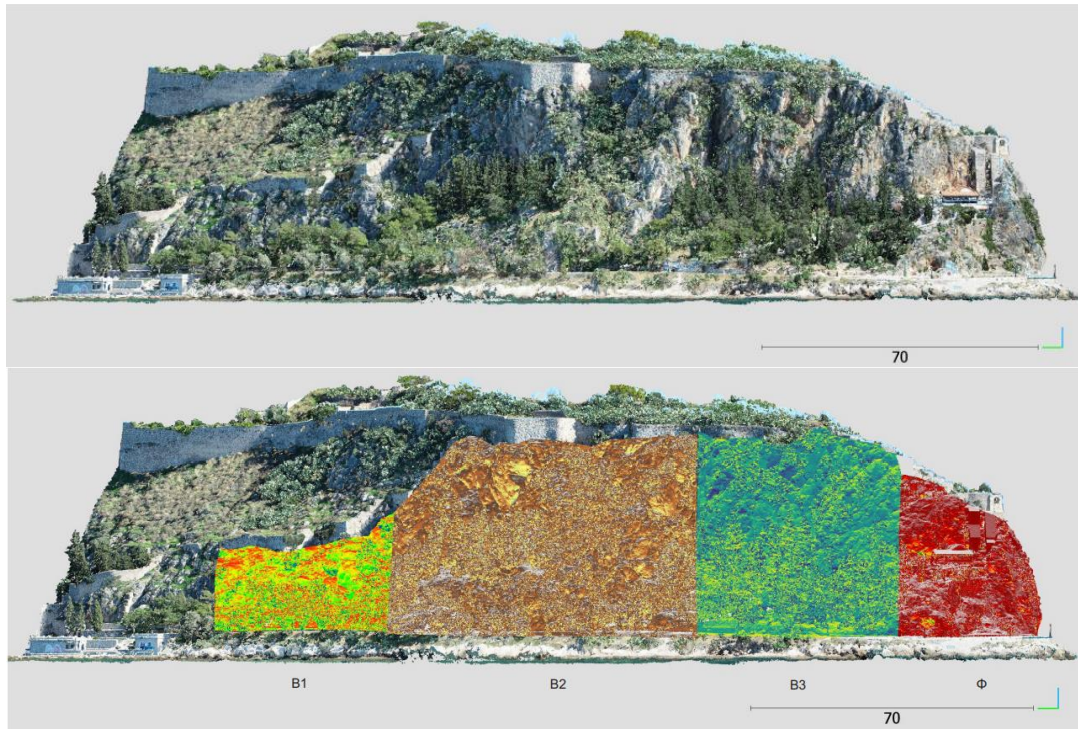
Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	4.24%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Flexural Toppling
Slope Dip	73	
Slope Dip Direction	114	
Friction Angle	30°	
Lateral Limits	20°	
	Critical	Total %
Flexural Toppling (ft)	23	405 5.68%

Pilot Mode		Pole Vectors
Vector Count	405 (405 Entries)	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

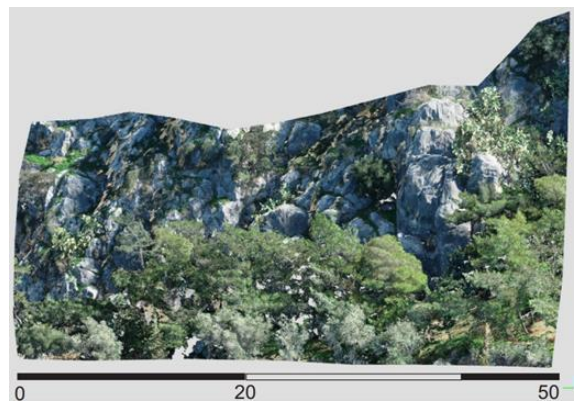
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : Αναλύσεις ευστάθειας έναντι σφηνοειδών και  
επίπεδων ολισθήσεων

α) Αναλύσεις των τμημάτων του Βόρειου Προφίλ

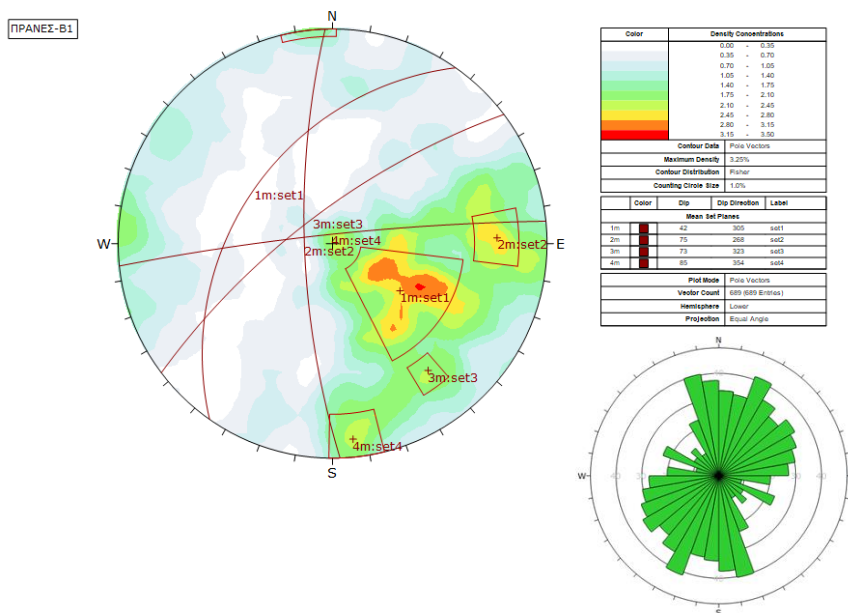


**Εικόνα Β.α:** Ορθοφωτομωσαϊκό του Βόρειου Προφίλ και διαχωρισμός των επιμέρους τμημάτων του  
προφίλ (B1-Φ).

Τμήμα πρανούς-B1



Εικόνα B1.1: Τμήμα πρανούς B1.



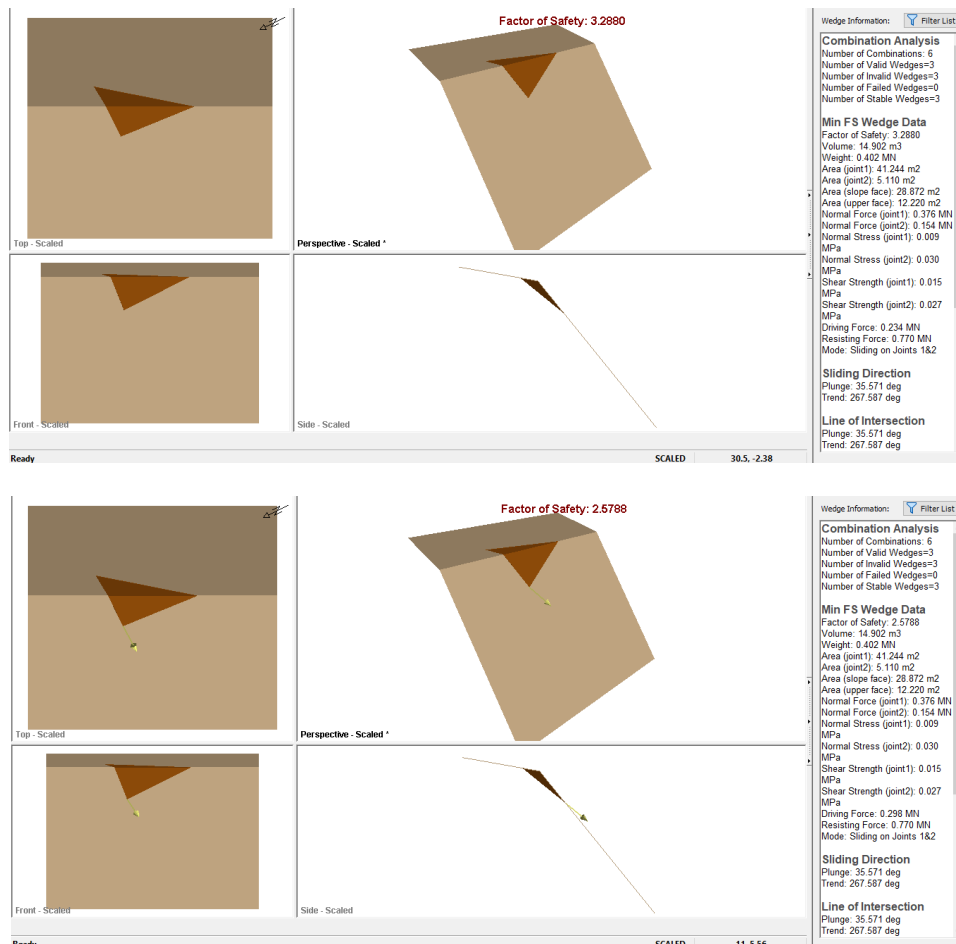
Εικόνα B1.2.: Τεκτονικό διάγραμμα συγκέντρωσης των πόλων, εντοπισμός των κύριων συστημάτων ασυνεχειών και ροδόγραμμα διασποράς προσανατολισμού ασυνεχειών βραχομάζας, για το τμήμα B1.

**Πίνακας Β9.1.1:** Κύρια συστήματα ασυνεχειών, με τον προσανατολισμό τους και τις γεωτεχνικές παραμέτρους αντοχής – τμήμα πρανούς Β1.

ID	Κλίση-dip (°)	Διεύθυνση κλίσης-dip direction (°)	Συνοχή-c (kPa)	Γωνία τριβής-φ (°)
Set 1	42	305	10	30
Set 2	75	268	10	30
Set 3	73	323	10	30
Set 4	85	354	10	30

**Πίνακας Β1.2:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν σφηνοειδείς ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας (Σ.Α.<2) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες- τμήμα πρανούς Β1.

Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών	Σ.Α. Κανονικές συνθήκες/ Σ.Α. Σεισμικές συνθήκες	Όγκος (m <sup>3</sup> )	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
-	-	-	-

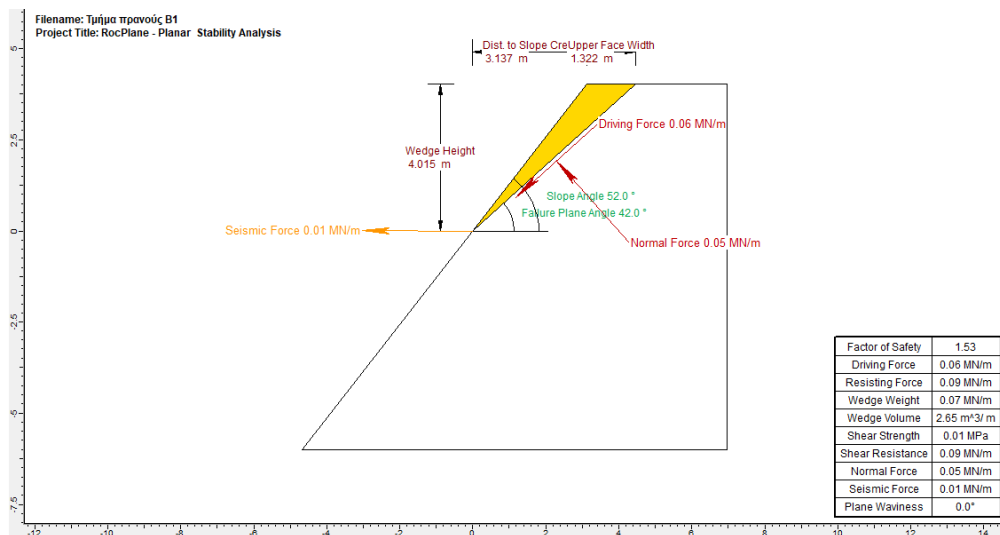
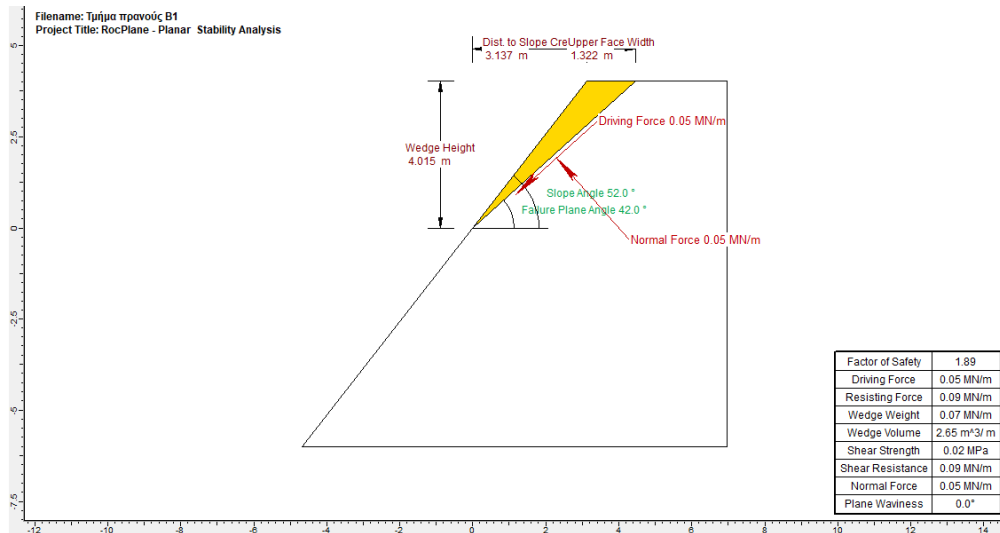


**Εικόνα Β1.3:** Συνδυαστική ανάλυση (combination analysis), για τον εντοπισμό σφηνοειδών ολισθήσεων στο τμήμα πρανούς Β1, σε στατικές και σεισμικές συνθήκες με μέγιστη εμμόνη 12m. Οι συντελεστές ασφαλείας σε όλους τους δυνατούς συνδυασμούς είναι αποδεκτοί και έτσι το πρανές δεν κρίνεται επισφαλές σε σφηνοειδείς ολισθήσεις.



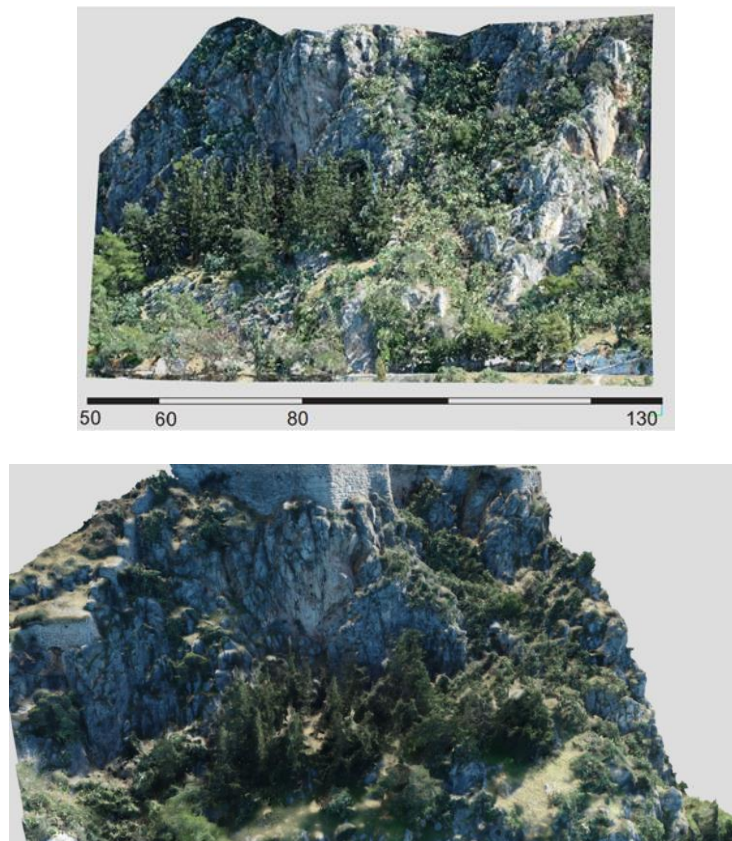
**Πίνακας Β1.2:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν επίπεδες ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A. < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες - Τμήμα πρανούς Β1.

Σύστημα ασυνεχειών	Σ.Α. κανονικές συνθήκες	Σ.Α. σεισμικές συνθήκες	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set1	1.89	1.53	-

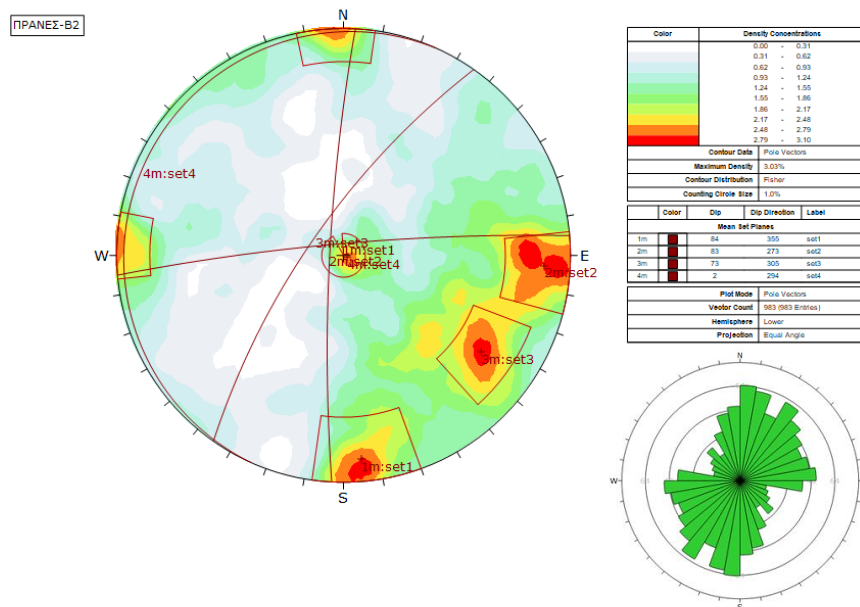


**Εικόνα Β1.4:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες, για κλίση ασυνέχειας 42° (set1) και ύψος τεμάχου ολίσθησης 4m.

Τμήμα πρανούς-B2



Εικόνα B2.1: Τμήμα πρανούς B2.



Εικόνα B2.2: Τεκτονικό διάγραμμα συγκέντρωσης των πόλων, εντοπισμός των κύριων συστημάτων ασυνεχειών και ροδόγραμμα διασποράς προσανατολισμού ασυνεχειών βραχομάζας, για το τμήμα B2.

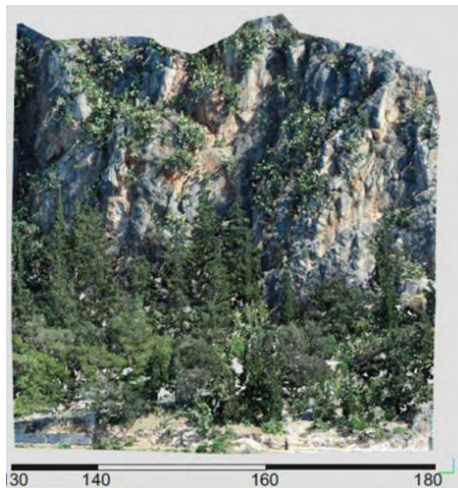
**Πίνακας B2.1:** Κύρια συστήματα ασυνεχειών, με τον προσανατολισμό τους και τις γεωτεχνικές παραμέτρους αντοχής – τμήμα πρανούς B2.

ID	Κλίση-dip (°)	Διεύθυνση κλίσης-dip direction (°)	Συνοχή-c (kPa)	Γωνία τριβής-φ (°)
Set 1	84	355	10	30
Set 2	83	273	10	30
Set 3	73	305	10	30
Set 4	2	294	10	30

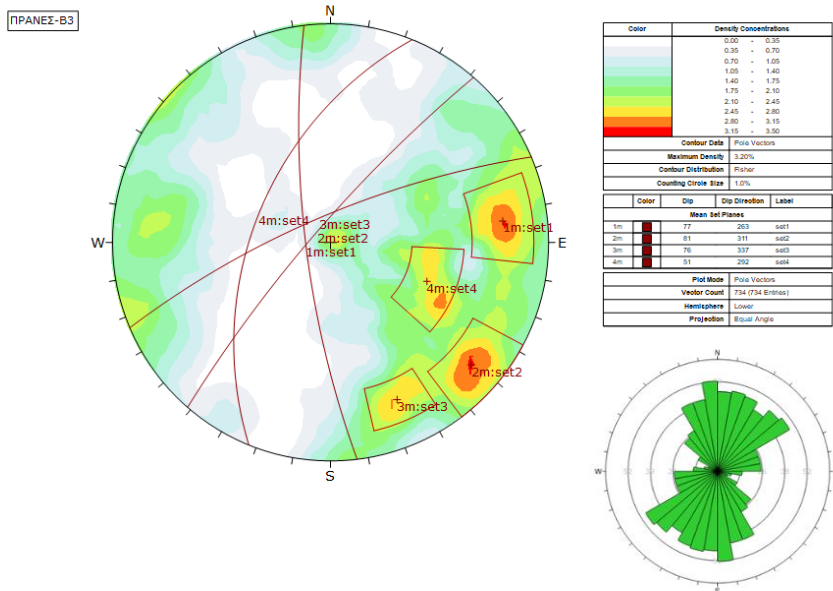
**Πίνακας B2.2:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν σφηνοειδείς ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες- τμήμα πρανούς B2.

Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών	Σ.Α. Κανονικές συνθήκες/ Σ.Α. Σεισμικές συνθήκες	Όγκος (m <sup>3</sup> )	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
-	-	-	-

Τμήμα πρανούς-B3



Εικόνα Β3.1: Τμήμα πρανούς Β3.



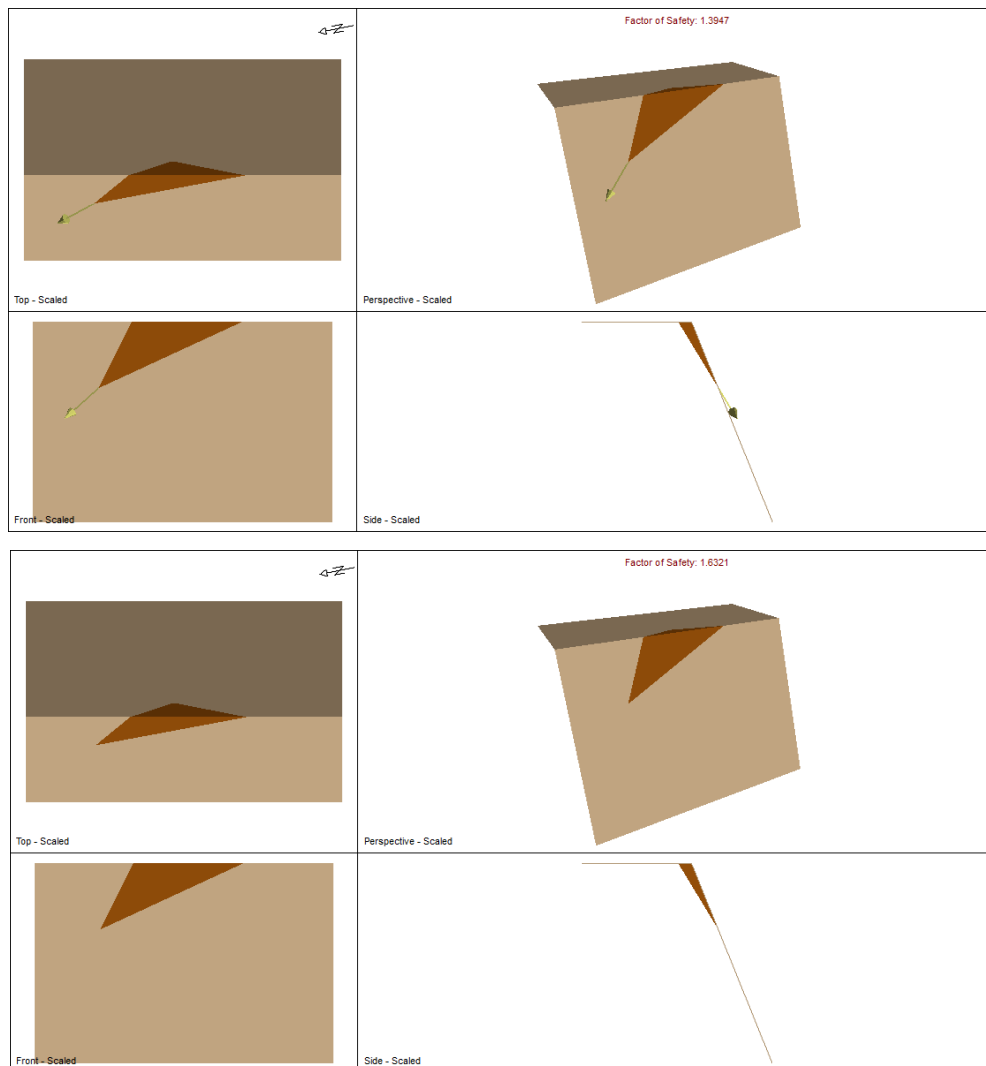
Εικόνα Β3.2: Τεκτονικό διάγραμμα συγκέντρωσης των πόλων, εντοπισμός των κύριων συστημάτων ασυνεχειών και ροδόγραμμα διασποράς προσανατολισμού ασυνεχειών βραχομάζας, για το τμήμα Β3.

**Πίνακας Β3.9.2:** Κύρια συστήματα ασυνεχειών, με τον προσανατολισμό τους και τις γεωτεχνικές παραμέτρους αντοχής – τμήμα πρανούς Β3.

ID	Κλίση-dip (°)	Διεύθυνση κλίσης-dip direction (°)	Συνοχή-c (kPa)	Γωνία τριβής-φ (°)
Set 1	77	263	10	30
Set 2	81	311	10	30
Set 3	76	337	10	30
Set 4	51	292	10	30

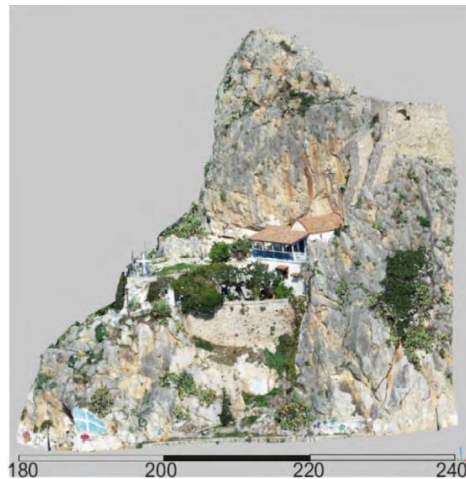
**Πίνακας Β3.2:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν σφηνοειδείς ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες- τμήμα πρανούς Β3.

Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών	Σ.Α. Κανονικές συνθήκες/ Σ.Α. Σεισμικές συνθήκες	Όγκος (m <sup>3</sup> )	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set1-set 4	1.63/1.39 (εμμονή 12m)	6.8	-

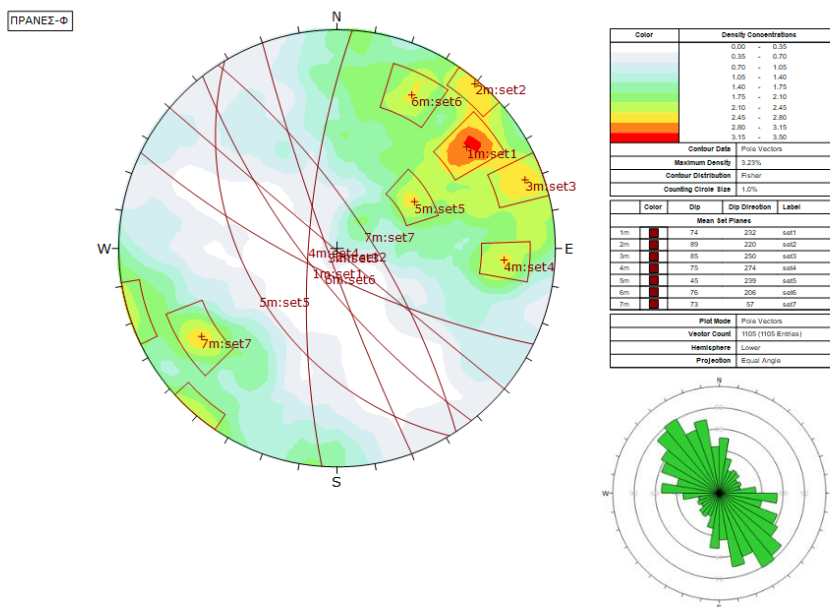


**Εικόνα Β3.3:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα Β3. Συνδυασμός ασυνεχειών set1-set4.. Κανονικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 12m.

Τμήμα πρανούς-Φ



Εικόνα Φ.1: Τμήμα πρανούς Φ.



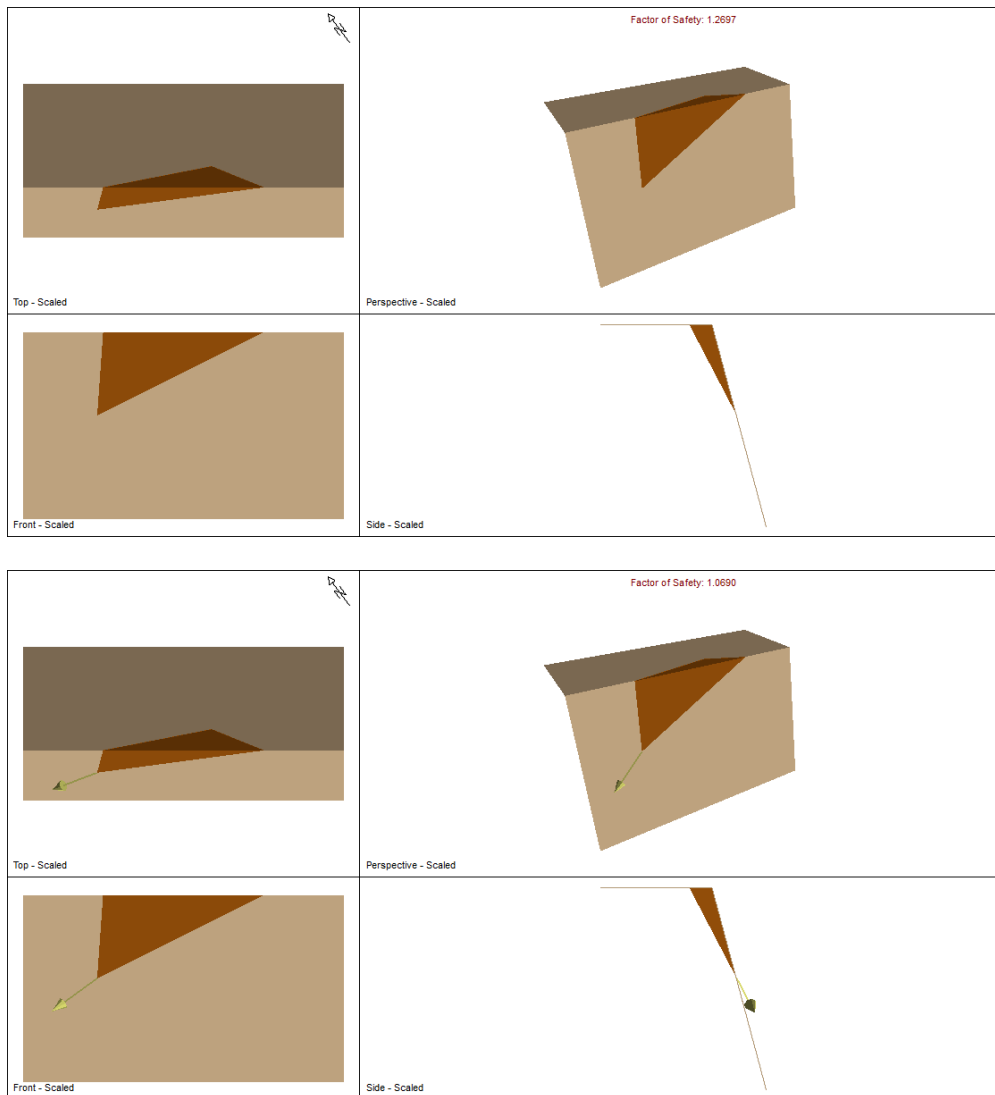
Εικόνα Φ.2: Τεκτονικό διάγραμμα συγκέντρωσης των πόλων, εντοπισμός των κύριων συστημάτων ασυνεχειών και ροδόγραμμα διασποράς προσανατολισμού ασυνεχειών βραχομάζας, για το τμήμα Φ.

**Πίνακας Φ.1:** Κύρια συστήματα ασυνεχειών, με τον προσανατολισμό τους και τις γεωτεχνικές παραμέτρους αντοχής – τμήμα πρανούς Φ.

ID	Κλίση-dip (°)	Διεύθυνση κλίσης-dip direction (°)	Συνοχή-c (kPa)	Γωνία τριβής-φ (°)
Set 1	74	232	10	30
Set 2	89	220	10	30
Set 3	85	250	10	30
Set 4	75	274	10	30
Set 5	45	239	10	30
Set 6	76	206	10	30
Set 7	73	57	10	30

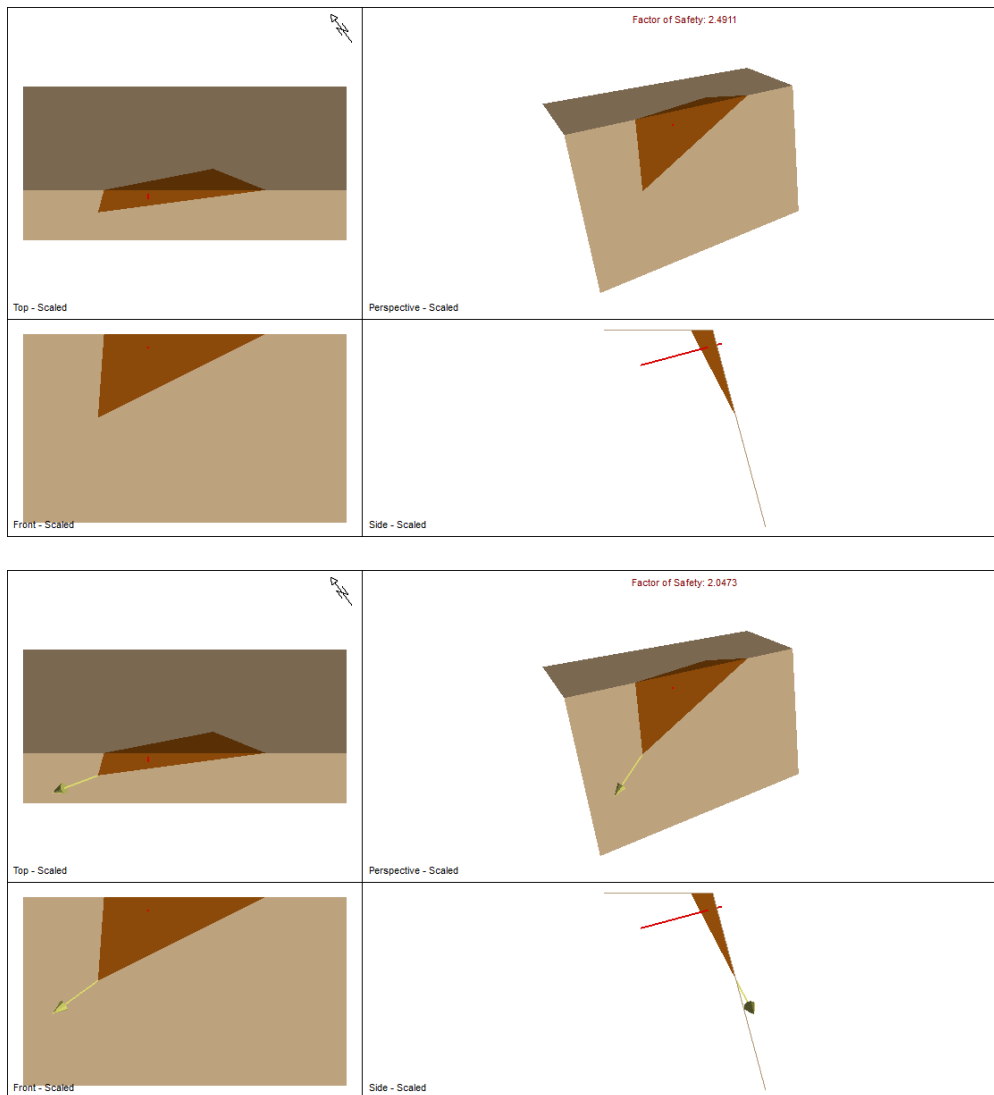
**Πίνακας Φ.2:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν σφηνοειδείς ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες- τμήμα πρανούς Φ.

Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών	Σ.Α. Κανονικές συνθήκες/ Σ.Α. Σεισμικές συνθήκες	Όγκος (m <sup>3</sup> )	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set5-set 6 (Φ κλίση 75°)	1.26/1.07 (εμμονή 10m)	7.1	2.49/2.04 (1 αγκύριο, L=4m, F=0.18MN)
	1.44/1.21(εμμονή 8m)	3.6	-



**Εικόνα Φ.3:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα Φ. Συνδυασμός ασυνεχειών set5-set6. Κανονικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 10m.

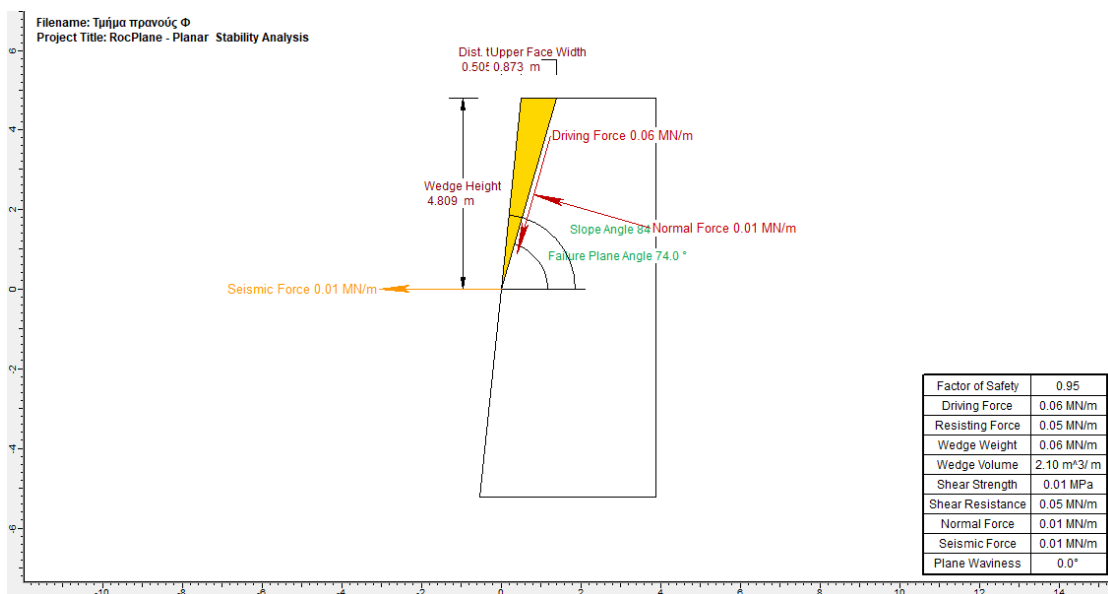
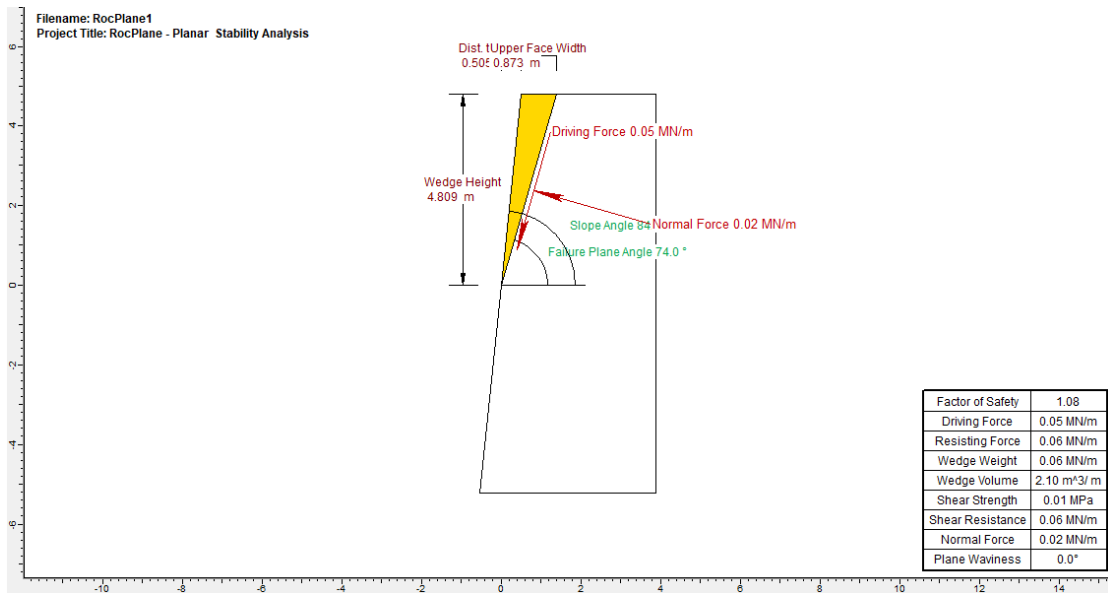




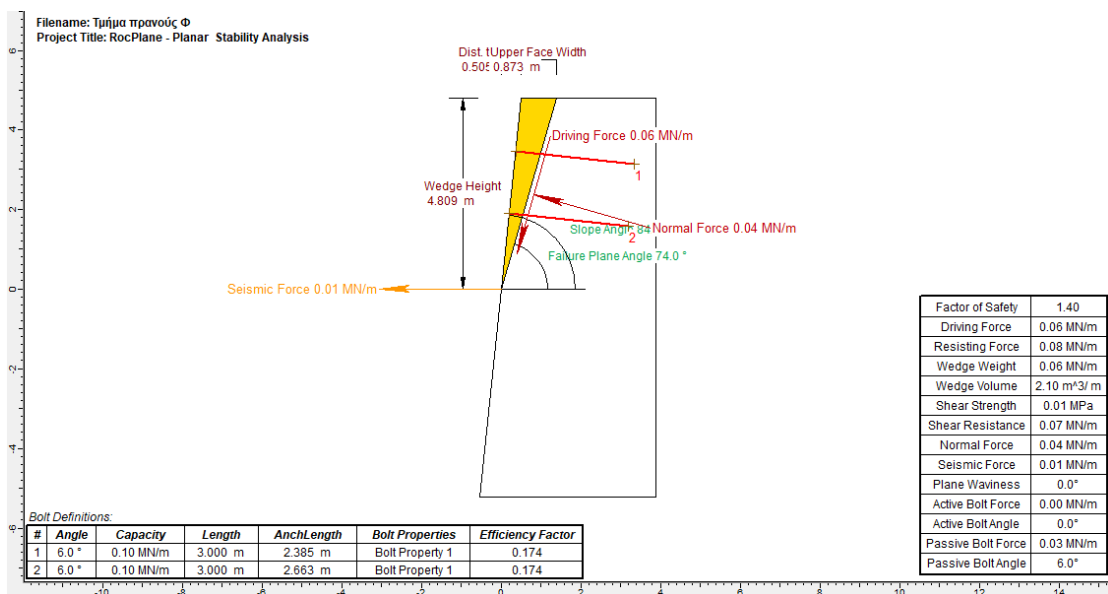
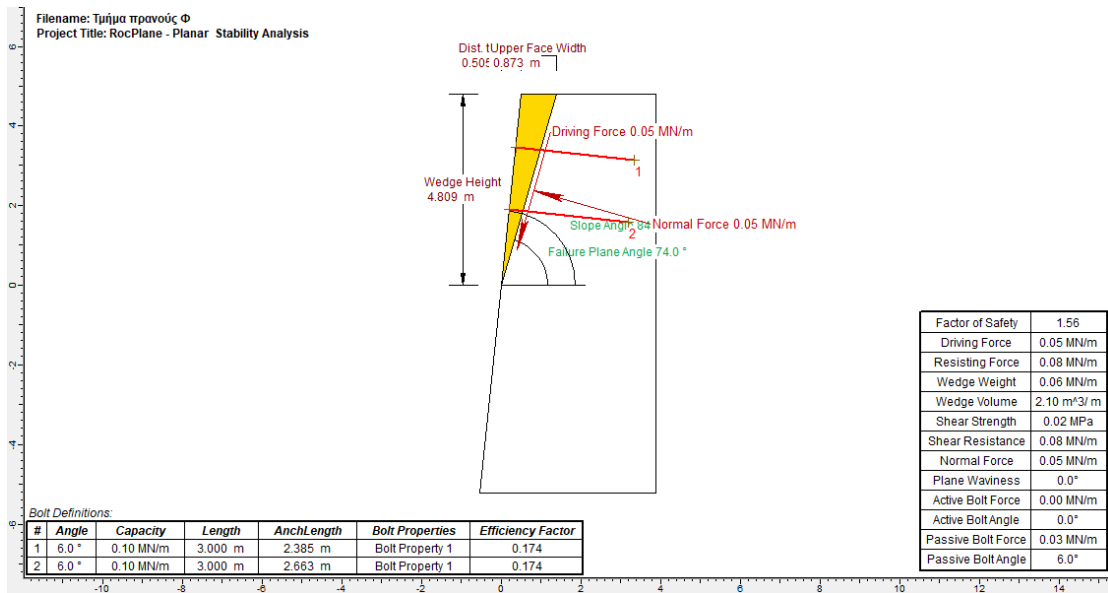
**Εικόνα Φ.4:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα Φ με αγκύρωση (1 αγκύριο μήκους 4m). Συνδυασμός ασυνεχιών set5-set6. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχιών 10m.

**Πίνακας Φ.3:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχιών που μπορούν να δώσουν επίπεδες ολισθήσεις στο πρηνές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A. < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες - Τμήμα πρηνούς Φ.

Σύστημα ασυνεχιών	Σ.Α. κανονικές συνθήκες	Σ.Α. σεισμικές συνθήκες	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set1	1.08	0.95	1.56/1.40

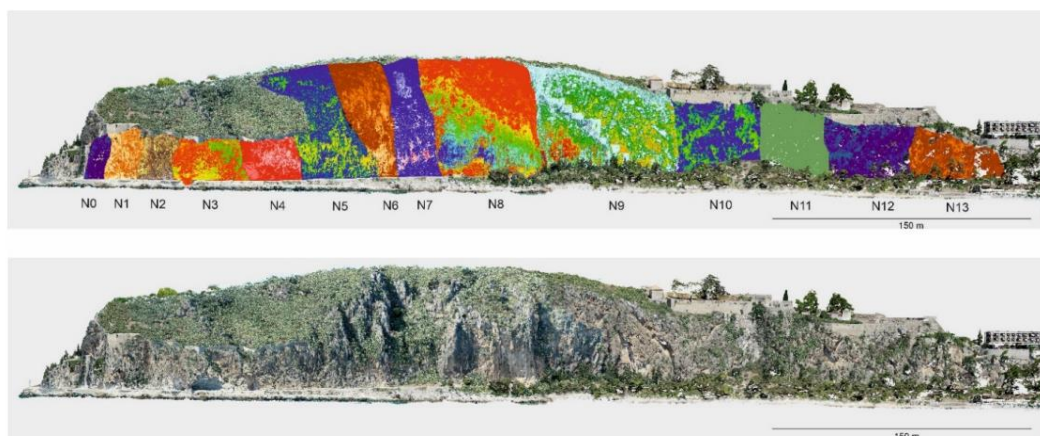


**Εικόνα Φ.5:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες, για κλίση ασυνέχειας 74° (set1) και ύψος τεμάχου ολίσθησης 4.8m.



**Εικόνα Φ.6:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες με αγκύρωση, για κλίση ασυνέχειας 74° (set1) και ύψος τεμάχου ολίσθησης 4.8m.

## β) Αναλύσεις των τμημάτων του Νότιου Προφίλ

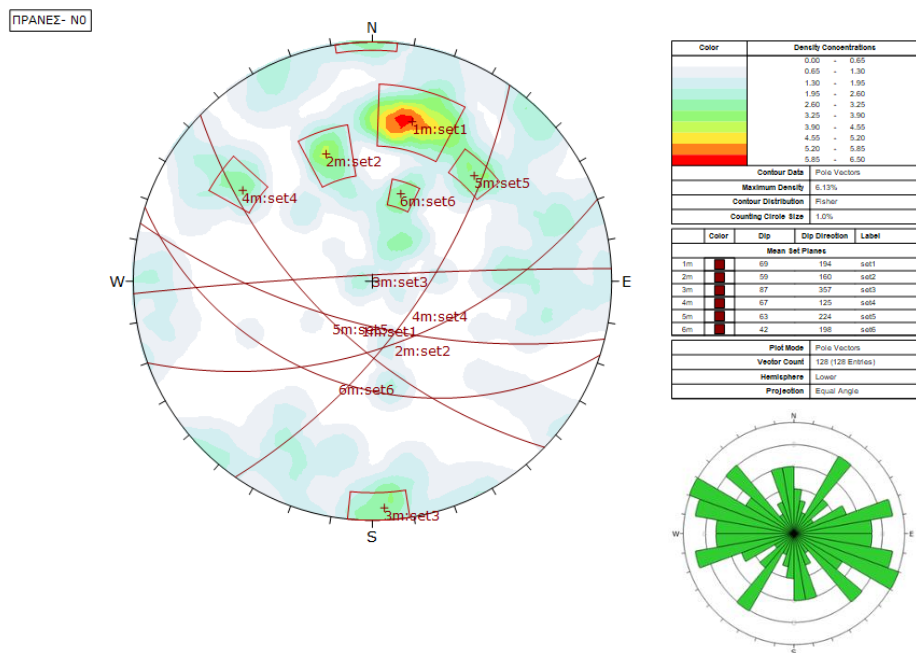


**Εικόνα Β.β:** Ορθοφωτομωσαϊκό του Νότιου Προφίλ και διαχωρισμός των επιμέρους τμημάτων του πρανούς (N0-N13).

Τμήμα πρανούς-N0



Εικόνα Ν0.1: Τμήμα πρανούς Ν0.



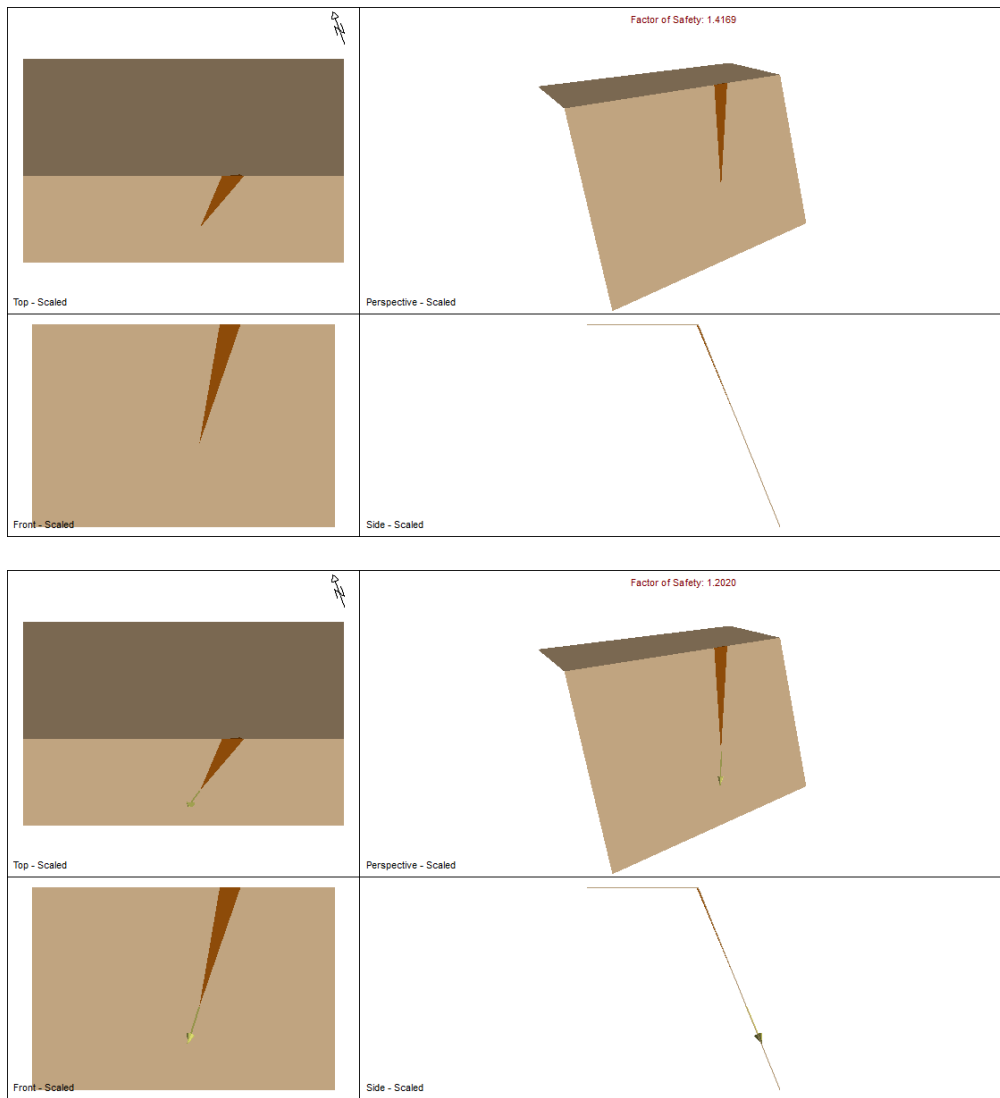
Εικόνα Ν0.2: Τεκτονικό διάγραμμα συγκέντρωσης των πόλων, εντοπισμός των κύριων συστημάτων ασυνεχειών και ροδόγραμμα διασποράς προσανατολισμού ασυνεχειών βραχομάζας, για το τμήμα Ν0.

**Πίνακας ΝΟ.1:** Κύρια συστήματα ασυνεχειών , με τον προσανατολισμό τους και τις γεωτεχνικές παραμέτρους αντοχής – τμήμα πρανούς ΝΟ.

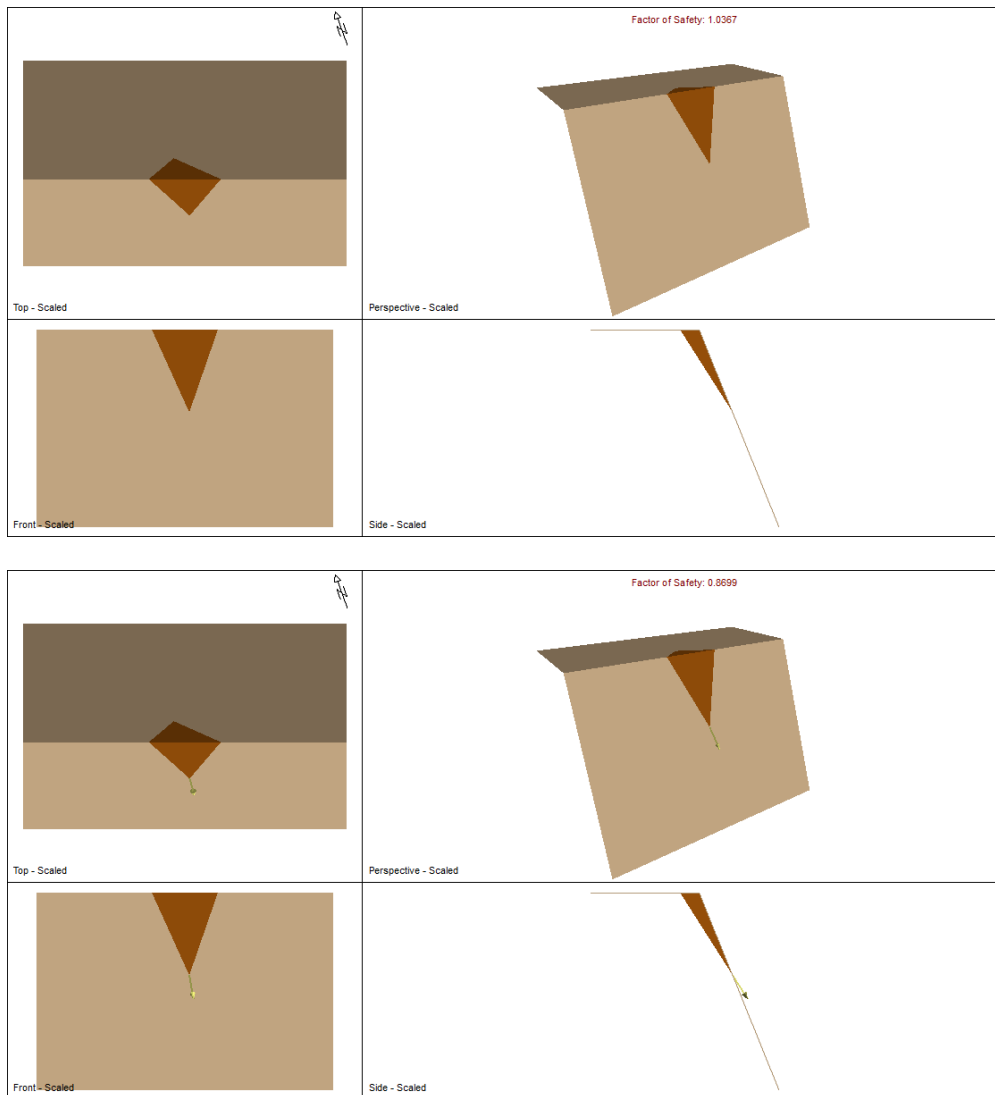
ID	Κλίση- dip (°)	Διεύθυνση κλίσης-dip direction (°)	Συνοχή- c (kPa)	Γωνία τριβής- φ (°)
Set 1	69	194	10	30
Set 2	59	160	10	30
Set 3	87	357	10	30
Set 4	67	125	10	30
Set 5	63	224	10	30
Set 6	42	198	10	30

**Πίνακας ΝΟ.2:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν σφηνοειδείς ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες- τμήμα πρανούς ΝΟ.

Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών	Σ.Α. Κανονικές συνθήκες/ Σ.Α. Σεισμικές συνθήκες	Όγκος (m <sup>3</sup> )	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set1-set5	1.41/1.20 (εμμονή 20)	2.3	-
Set2-set5	1.03/0.86 (εμμονή 15)	60.2	1.52/1.28 (4 αγκύρια L=4-6m)
	1.44/1.21 (εμμονή 9)	13	-
Set4-set5	1.21/1.01 (εμμονή 15)	54.6	1.7/1.4 (3 αγκύρια L=4- 6m)
	1.54/1.28 (εμμονή 10)	16	-

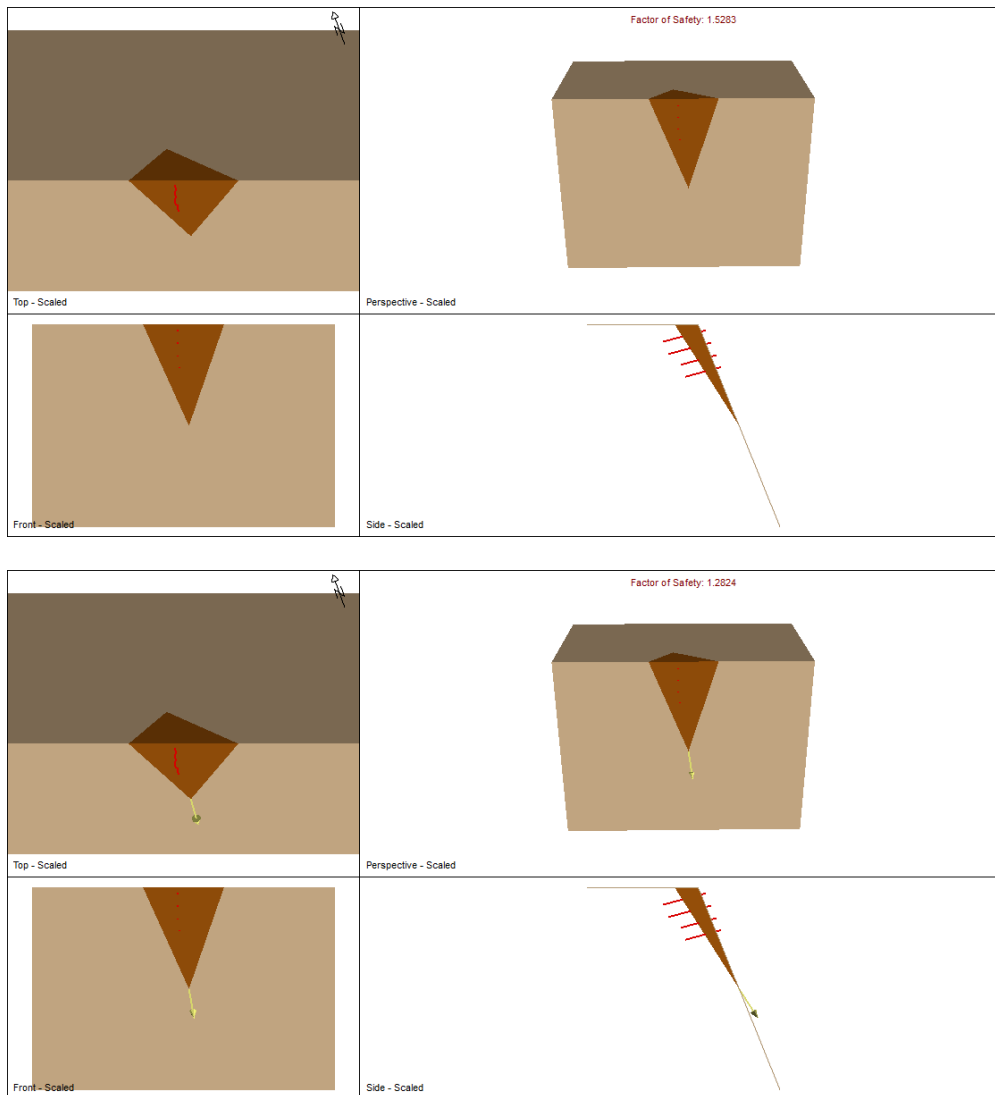


**Εικόνα Ν0.3:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα Ν0. Συνδυασμός ασυνεχειών set1-set5. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 20m.

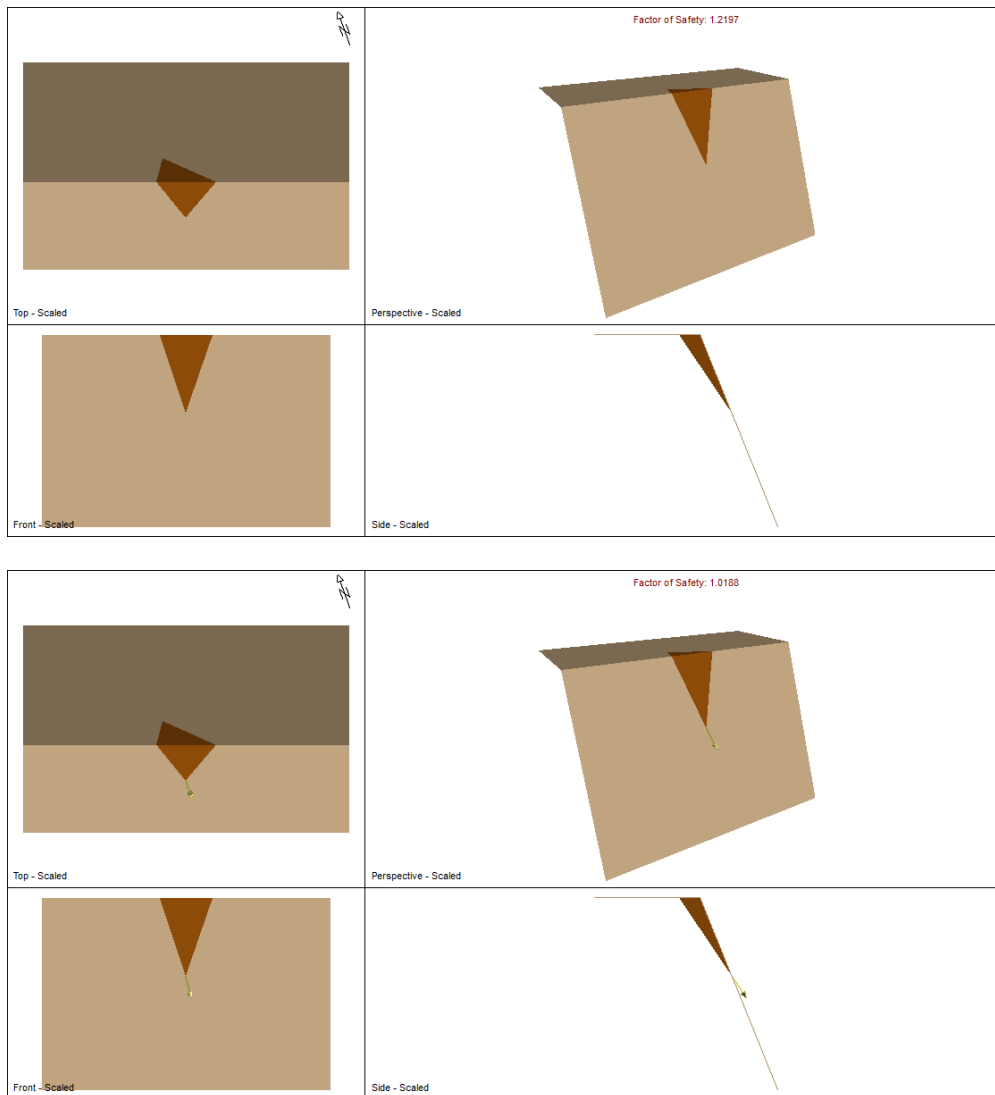


**Εικόνα Ν0.4:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα Ν0. Συνδυασμός ασυνεχειών set2-set5. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 15m.

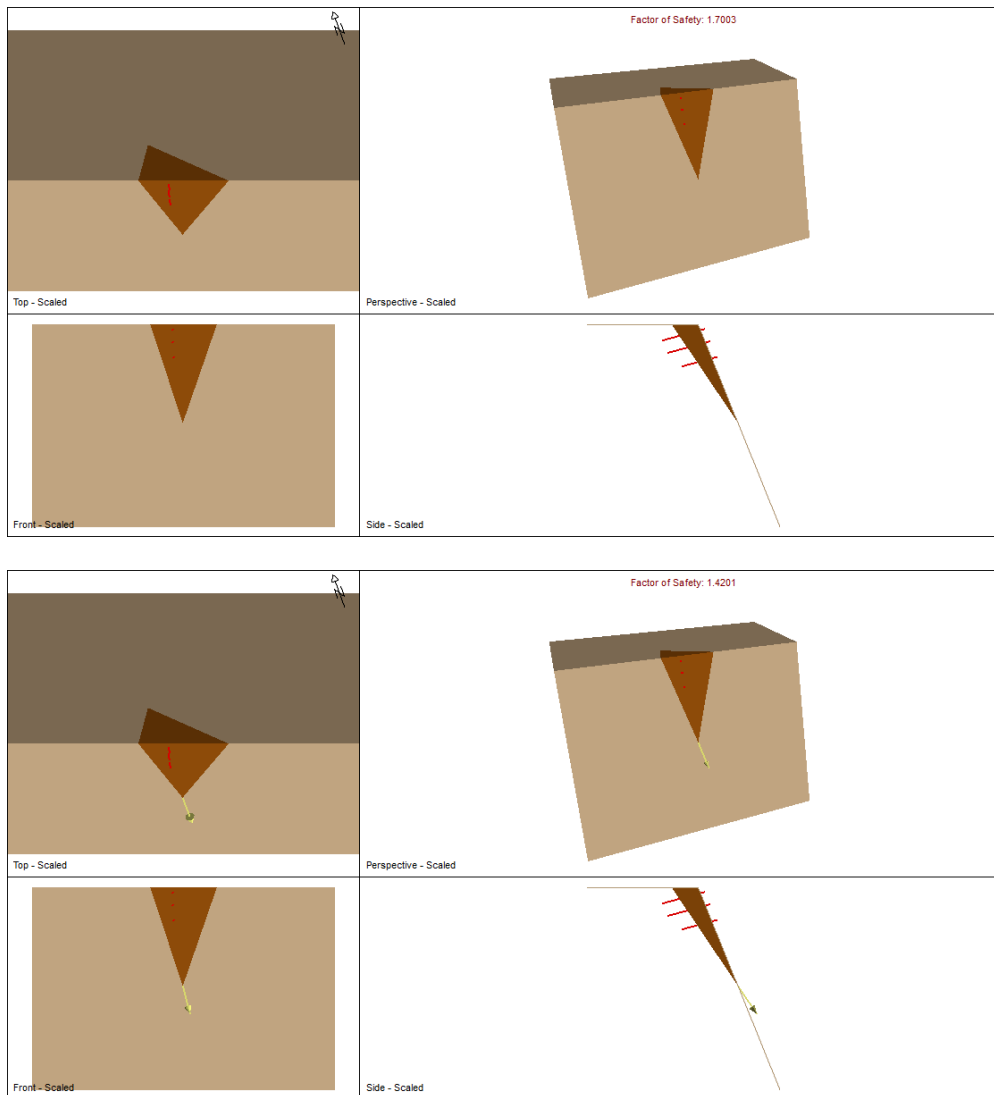




**Εικόνα Ν0.5:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα Ν0 με αγκύρωση (4 αγκύρια μήκους 4-6m). Συνδυασμός ασυνχειών set2-set5. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνχειών 15m.



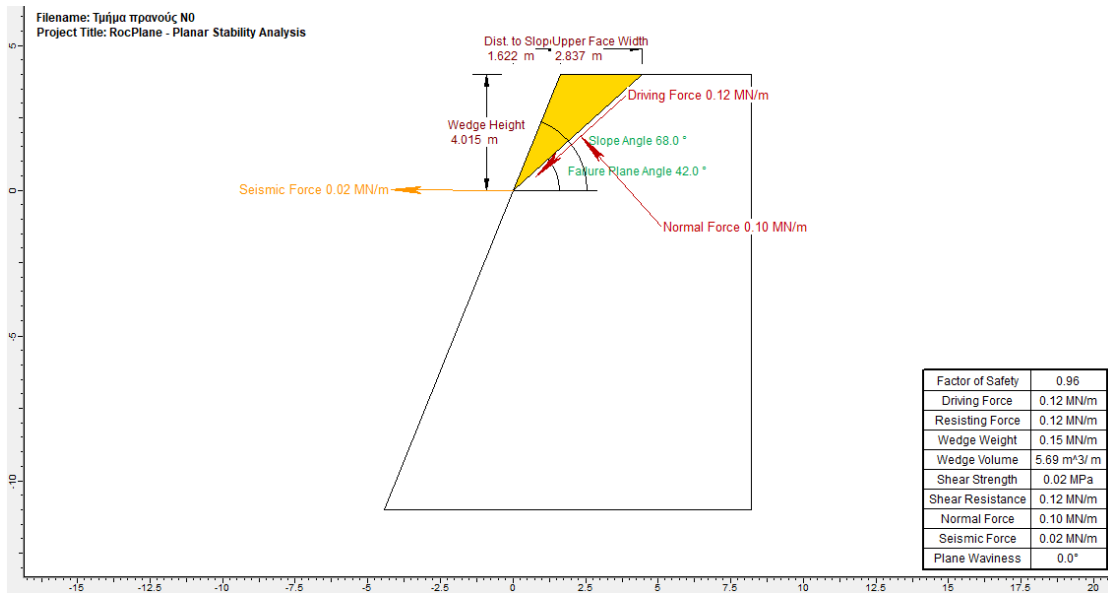
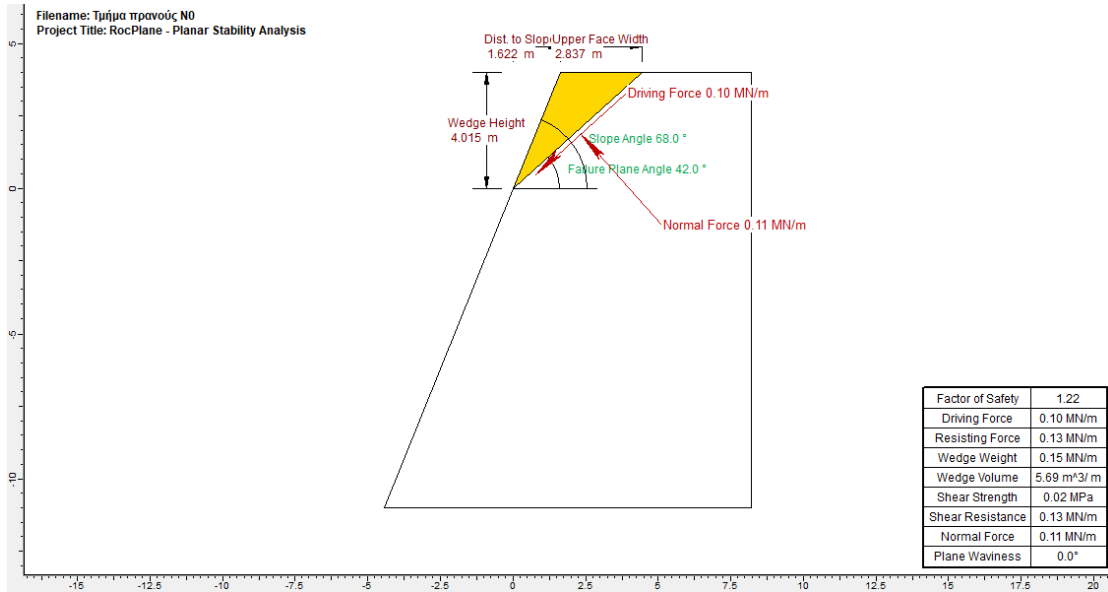
**Εικόνα Ν0.6:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα Ν0. Συνδυασμός ασυνεχειών set4-set5. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 15m.



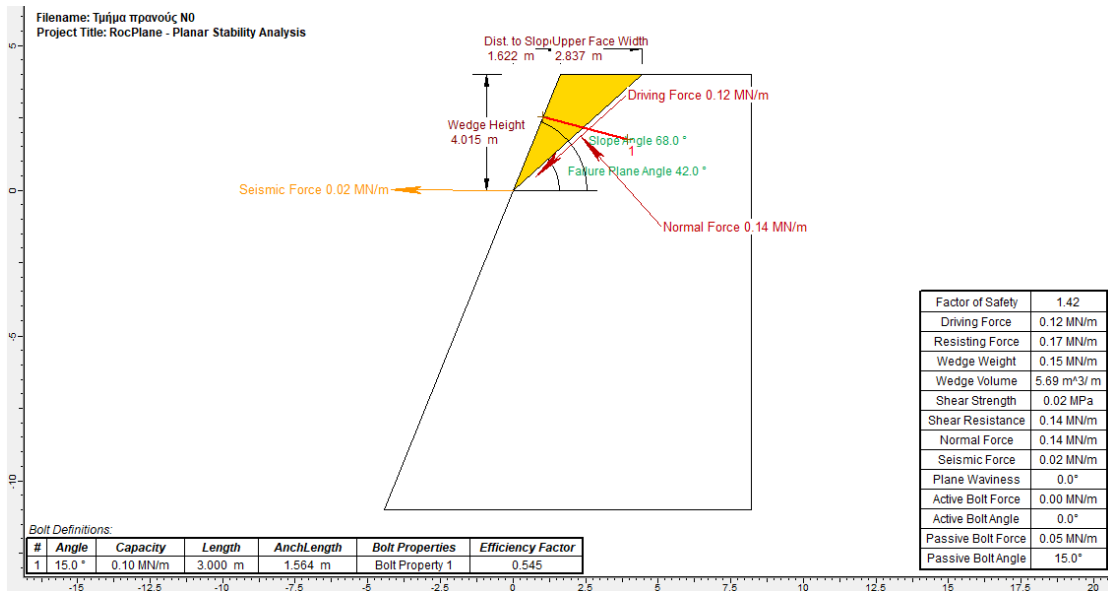
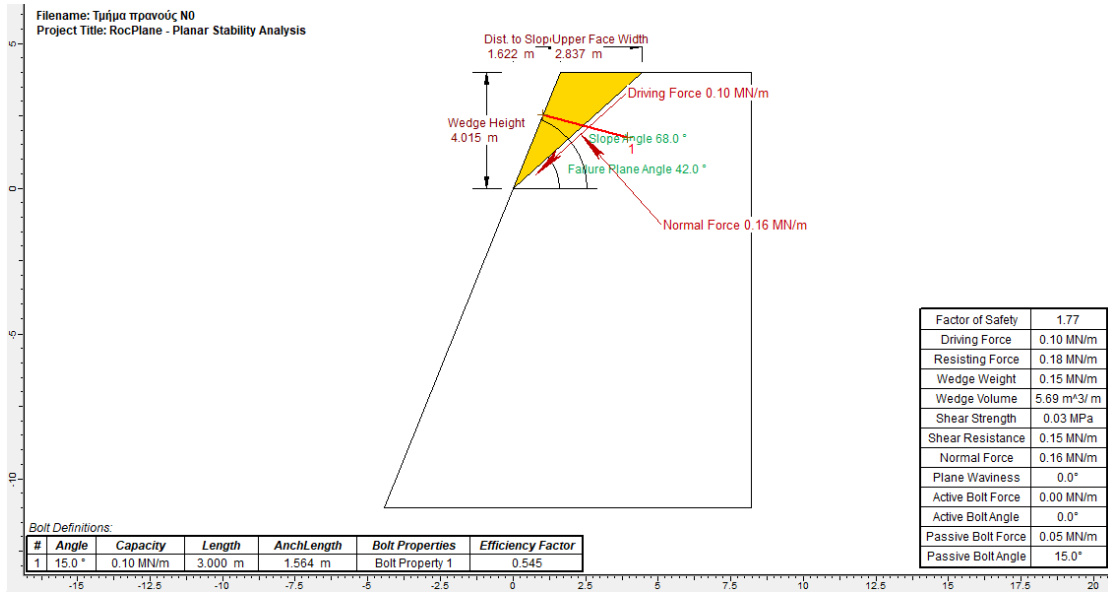
**Εικόνα ΝΟ.7:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα ΝΟ με αγκύρωση (3 αγκύρια μήκους 4-6m). Συνδυασμός ασυρχειών set4-set5. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυρχειών 15m.

**Πίνακας ΝΟ.3:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυρχειών που μπορούν να δώσουν επίπεδες ολίσθησεις  $\sigma$  το πρηνές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A. < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες - Τμήμα πρηνούς ΝΟ.

Σύστημα ασυρχειών	Σ.Α. κανονικές συνθήκες	Σ.Α. σεισμικές συνθήκες	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set6	1.22	0.96	1.77/1.44

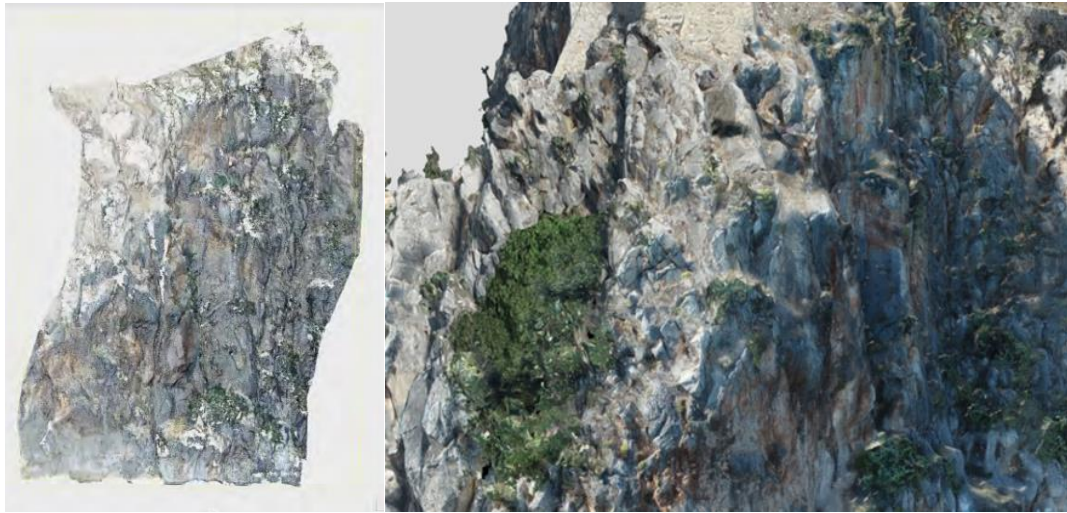


**Εικόνα Ν0.8:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες για κλίση ασυνέχειας 42° (set6) και ύψος τεμάχου ολίσθησης 4m.

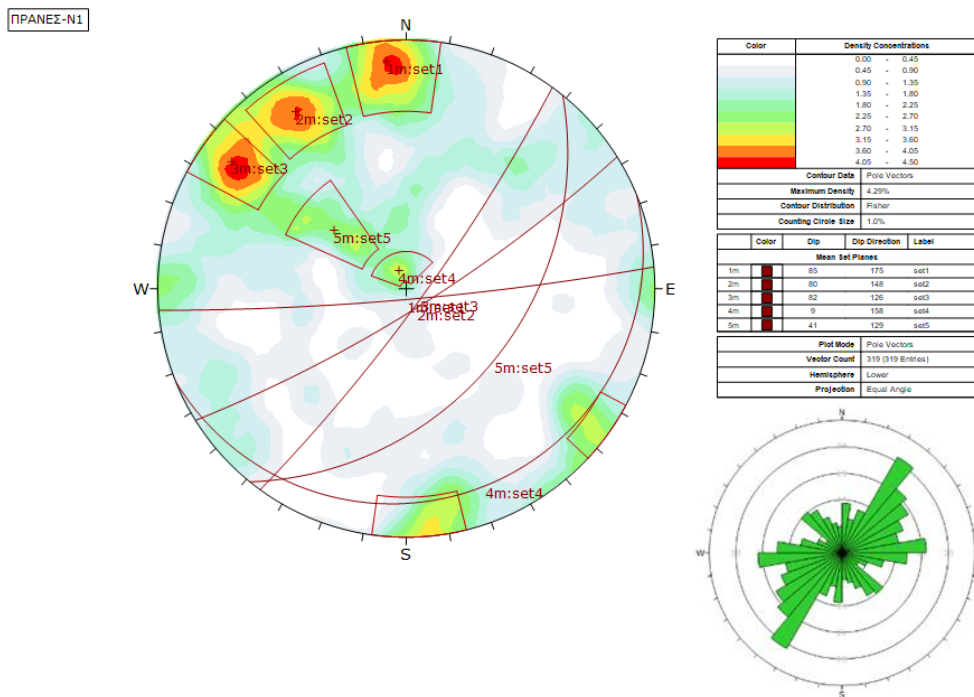


**Εικόνα N0.9:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες με αγκύρωση, για κλίση ασυνέχειας 42° (set6) και ύψος τεμάχου ολίσθησης 4m.

Τμήμα πρανούς-N1



Εικόνα N1.1: Τμήμα πρανούς N1.



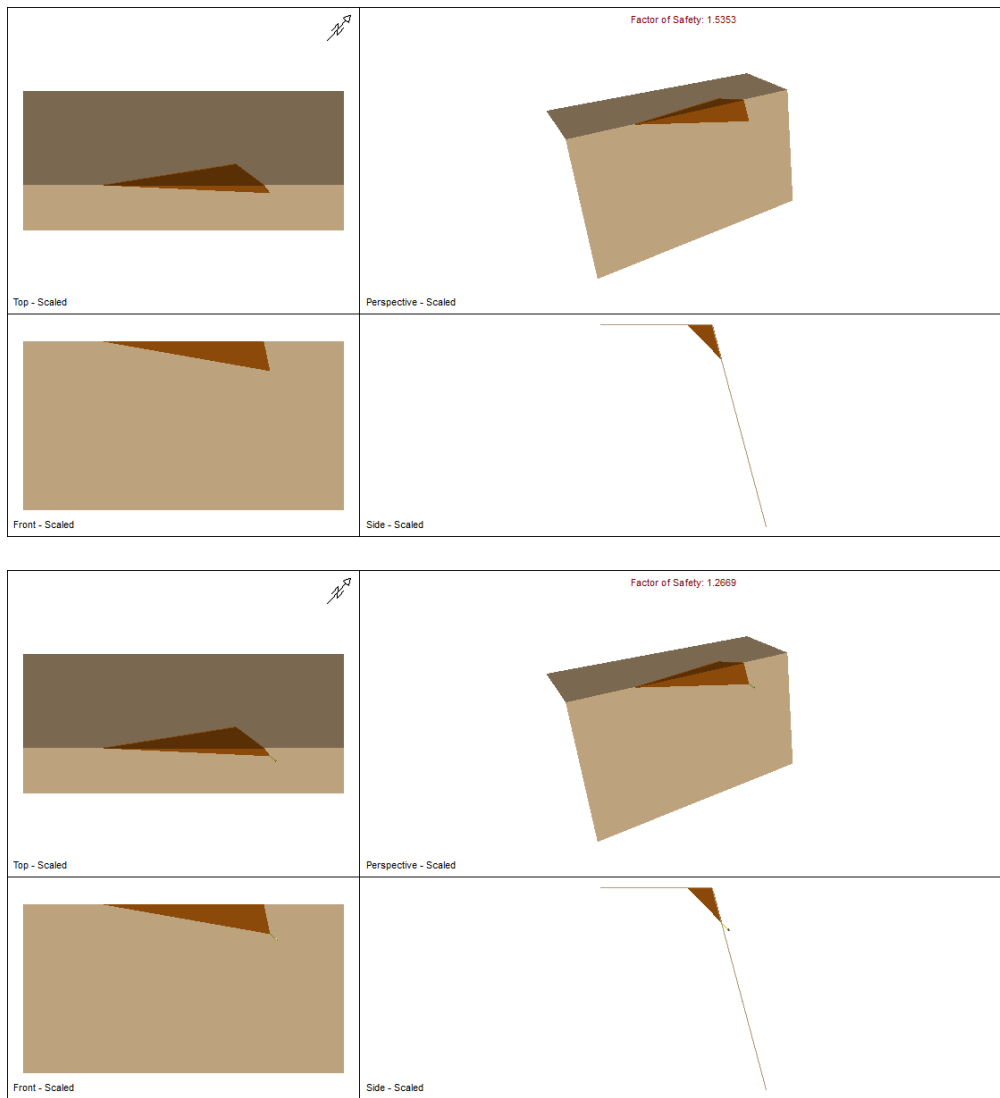
Εικόνα N1.2: Τεκτονικό διάγραμμα συγκέντρωσης των πόλων, εντοπισμός των κύριων συστημάτων ασυνεχειών και ροδόγραμμα διασποράς προσανατολισμού ασυνεχειών βραχομάζας, για το τμήμα N1.

**Πίνακας N1.1:** Κύρια συστήματα ασυνεχειών , με τον προσανατολισμό τους και τις γεωτεχνικές παραμέτρους αντοχής – τμήμα πρανούς N1

ID	Κλίση- dip (°)	Διεύθυνση κλίσης-dip direction (°)	Συνοχή- c (kPa)	Γωνία τριβής- φ (°)
Set 1	85	175	10	30
Set 2	80	148	10	30
Set 3	82	126	10	30
Set 4	9	158	10	30
Set 5	41	129	10	30

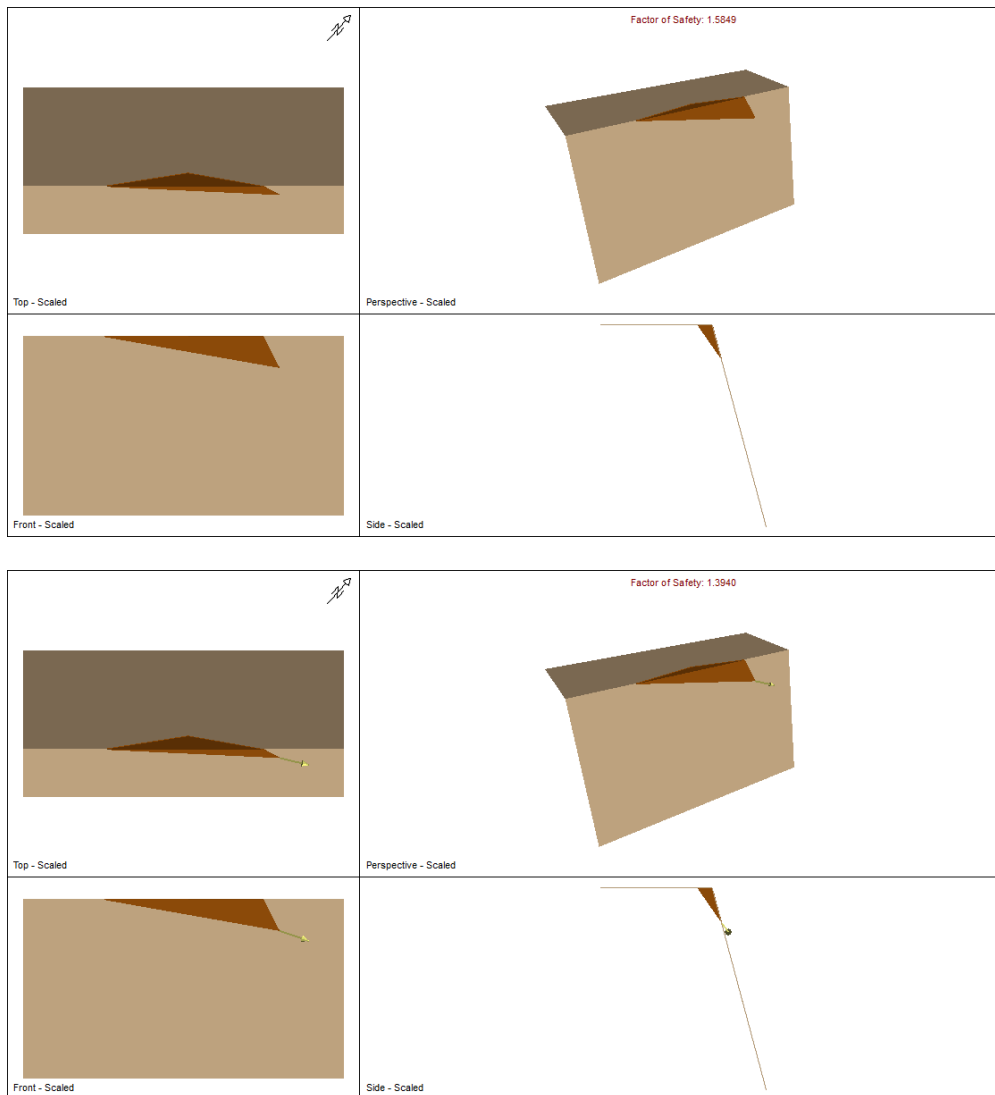
**Πίνακας N1.2:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν σφηνοειδείς ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες- τμήμα πρανούς N1..

Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών	Σ.Α. Κανονικές συνθήκες/ Σ.Α. Σεισμικές συνθήκες	Όγκος (m <sup>3</sup> )	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set1-set5	1.53/1.26(εμμονή 20m)	27	-
Set2-set5	1.58/1.39(εμμονή 20m)	15	-



**Εικόνα N1.3:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N1. Συνδυασμός ασυνεχειών set1-set5. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 20m.

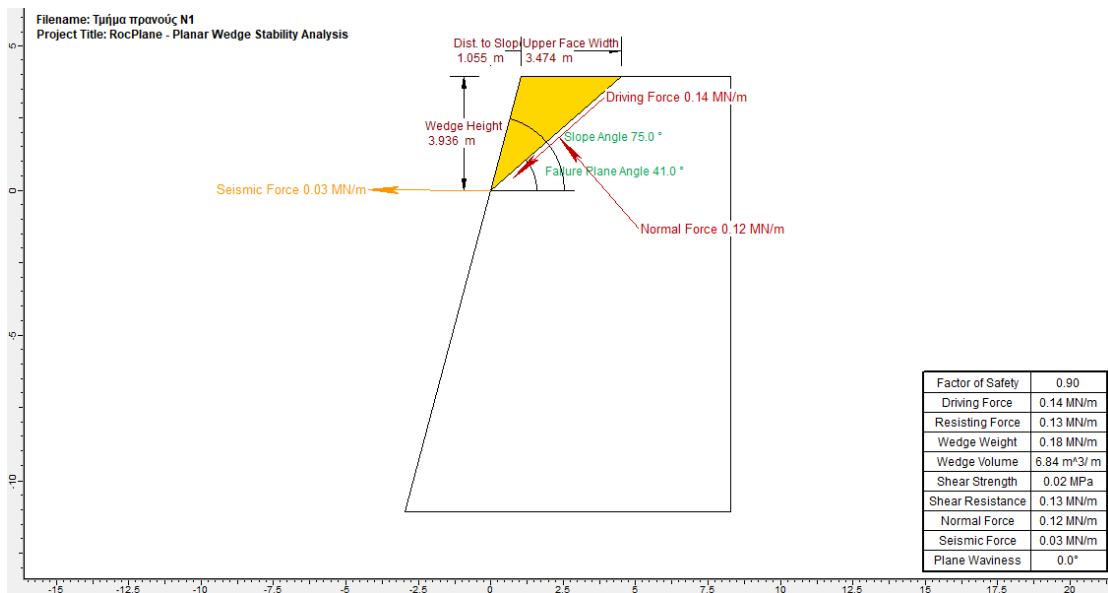
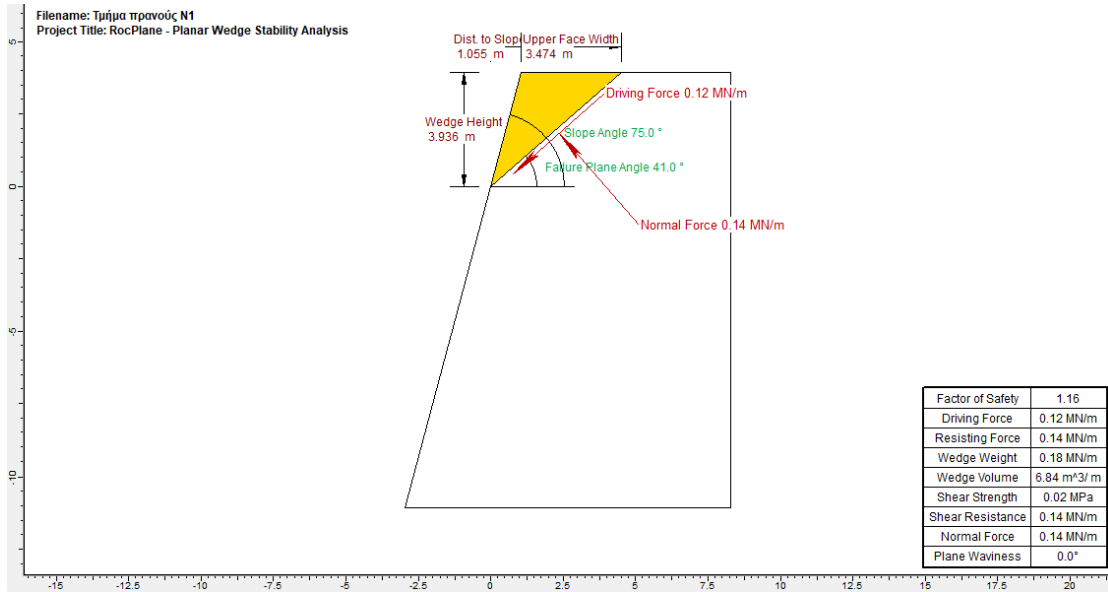




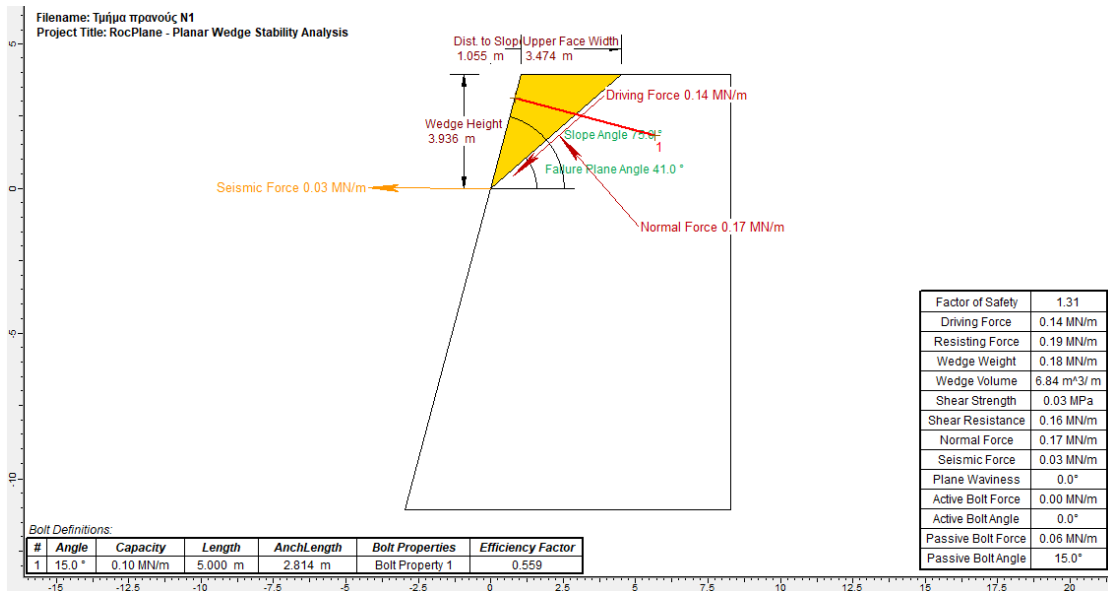
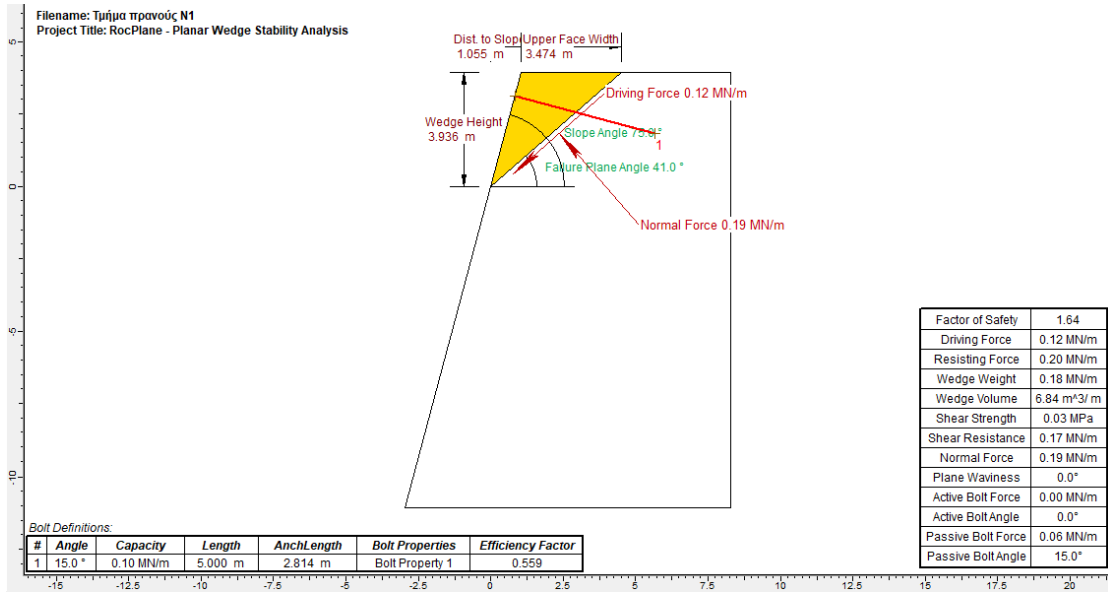
**Εικόνα N1.4:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N1. Συνδυασμός ασυνχειών set2-set5. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνχειών 20m.

**Πίνακας N.1:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνχειών που μπορούν να δώσουν επίπεδες ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A. < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες - Τμήμα πρανούς N1.

Σύστημα ασυνχειών	Σ.Α. κανονικές συνθήκες	Σ.Α. σεισμικές συνθήκες	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set5	1.16	0.90	1.64/1.31



**Εικόνα N1.5:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες, για κλίση ασυνέχειας 41° (set5) και ύψος τεμάχου ολίσθησης 3.9m.

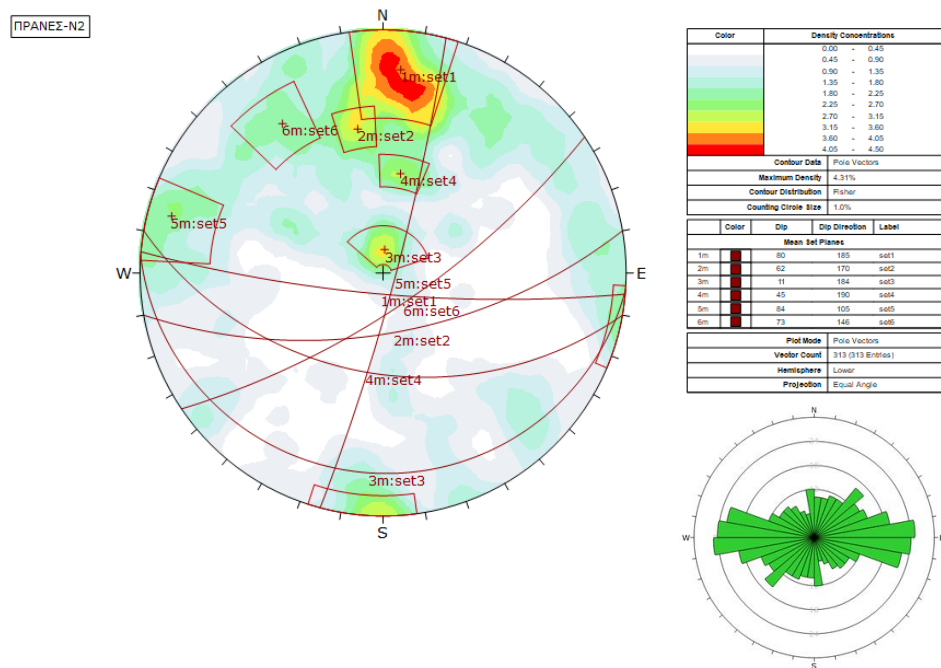


**Εικόνα N1.6:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες με αγκύρωση, για κλίση ασυνέχειας 41° (set5) και ύψος τεμάχου ολίσθησης 3.9m.

Τμήμα πρανούς-N2



Εικόνα N2.1: Τμήμα πρανούς N2.



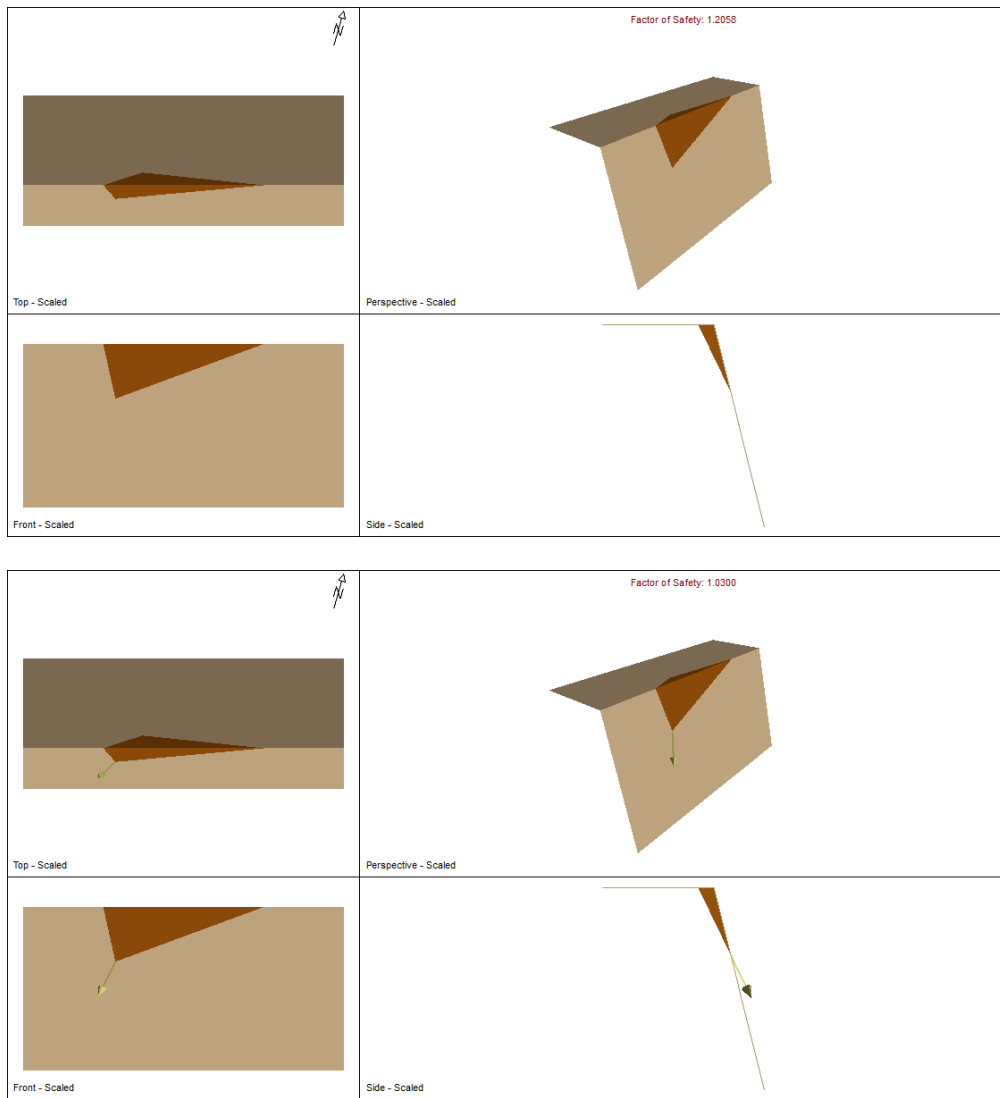
Εικόνα N2.2: Τεκτονικό διάγραμμα συγκέντρωσης των πόλων, εντοπισμός των κύριων συστημάτων ασυνεχειών και ροδόγραμμα διασποράς προσανατολισμού ασυνεχειών βραχομάζας, για το τμήμα N2.

**Πίνακας N2.1:** Κύρια συστήματα ασυνεχειών, με τον προσανατολισμό τους και τις γεωτεχνικές παραμέτρους αντοχής – τμήμα πρανούς N2.

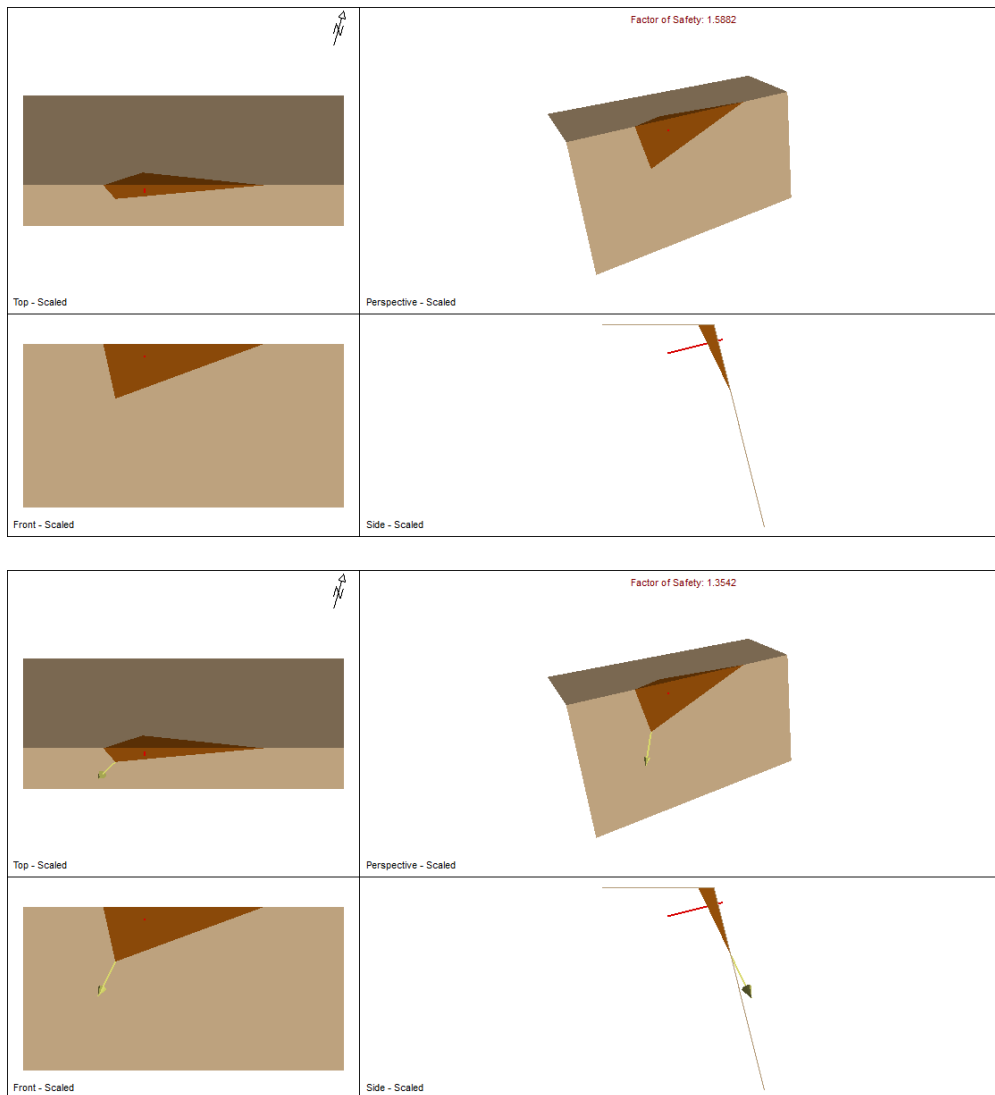
ID	Κλίση- <i>dip</i> (°)	Διεύθυνση κλίσης- <i>dip</i> <i>direction</i> (°)	Συνοχή- <i>c</i> (kPa)	Γωνία τριβής- $\phi$ (°)
Set 1	80	185	10	30
Set 2	62	170	10	30
Set 3	11	184	10	30
Set 4	45	190	10	30
Set 5	84	105	10	30
Set 6	73	146	10	30

**Πίνακας N2.2:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν σφηνοειδείς ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες- τμήμα πρανούς N2.

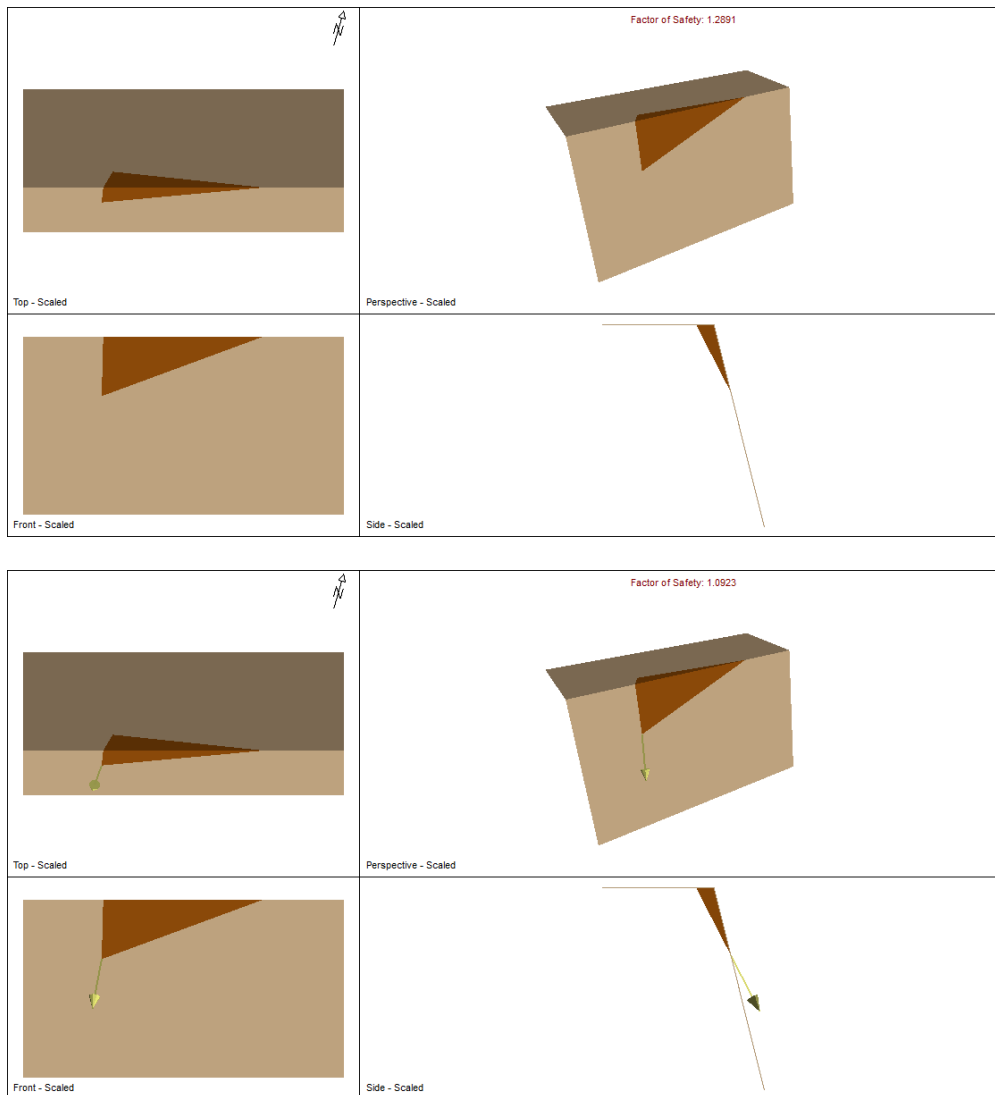
Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών	Σ.Α. Κανονικές συνθήκες/ Σ.Α. Σεισμικές συνθήκες	Όγκος (m <sup>3</sup> )	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set2 –Set6	1.2/1.03 (εμμονή 15m)	15.7	1.58/1.35 (1 αγκύριο, L=4m)
Set2 - Set 5	1.28/1.09(εμμονή 15m)	16.4	1.65/1.4 (1 αγκύριο, L=4m)
	1.53/1.3 (εμμονή 12m)	8.3	-
Set4 - Set 5	1.12/0.91 (εμμονή 15m)	75	1.68/1.37 (4 αγκύρια, L=4-6m)
	1.93/1.58(εμμονή 10m)	4.8	-
Set4 - Set 6	1.09/0.9(εμμονή 10m)	15	1.66/1.35 ((1 αγκύριο, L=4m)
Set5 - Set 6	1.98/1.69 (εμμονή 15m)	11.4	-



**Εικόνα N2.3:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N2. Συνδυασμός ασυνεχειών set2-set6. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 15m.

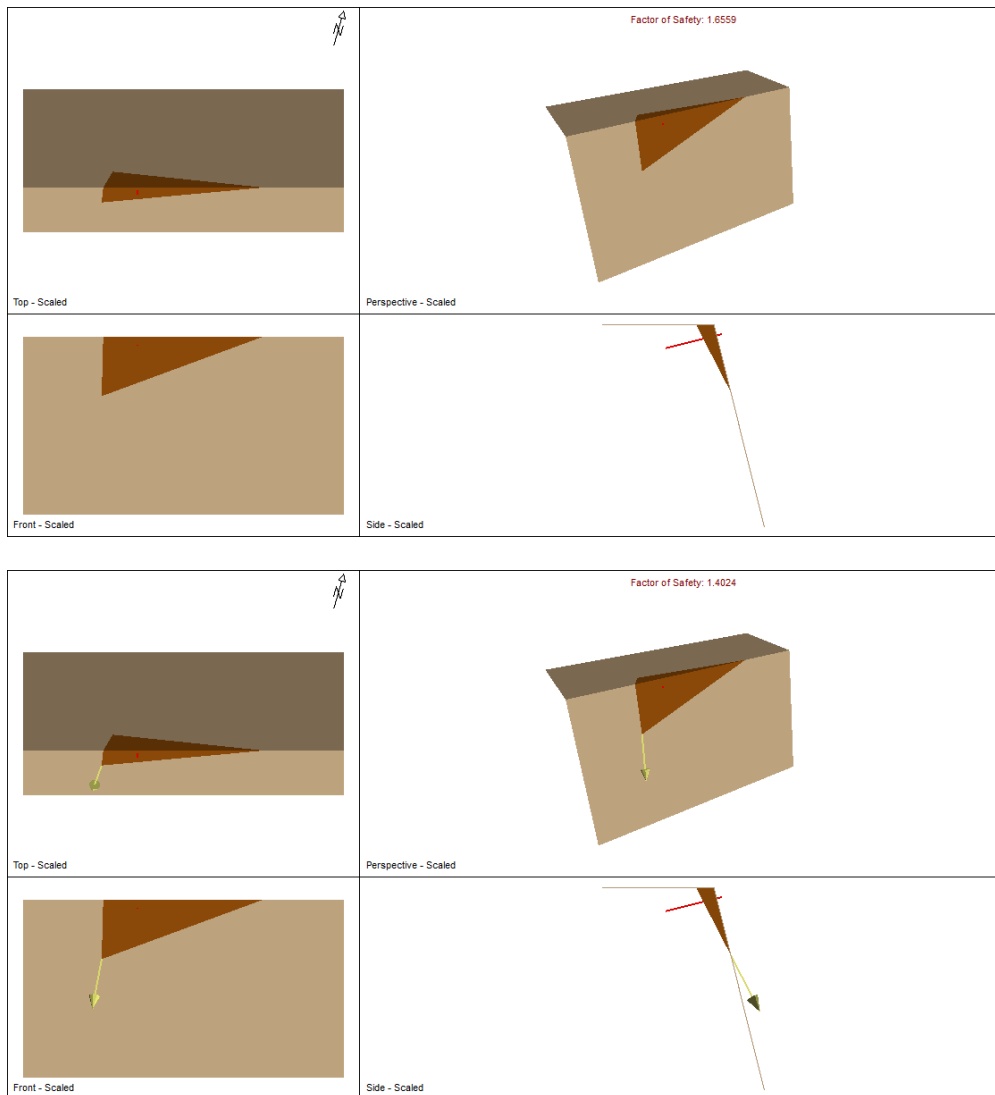


**Εικόνα N2.4:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N2, με αγκύρωση (1 αγκύριο  $L=4m$ ). Συνδυασμός ασυνεχειών set2-set6. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 15m.

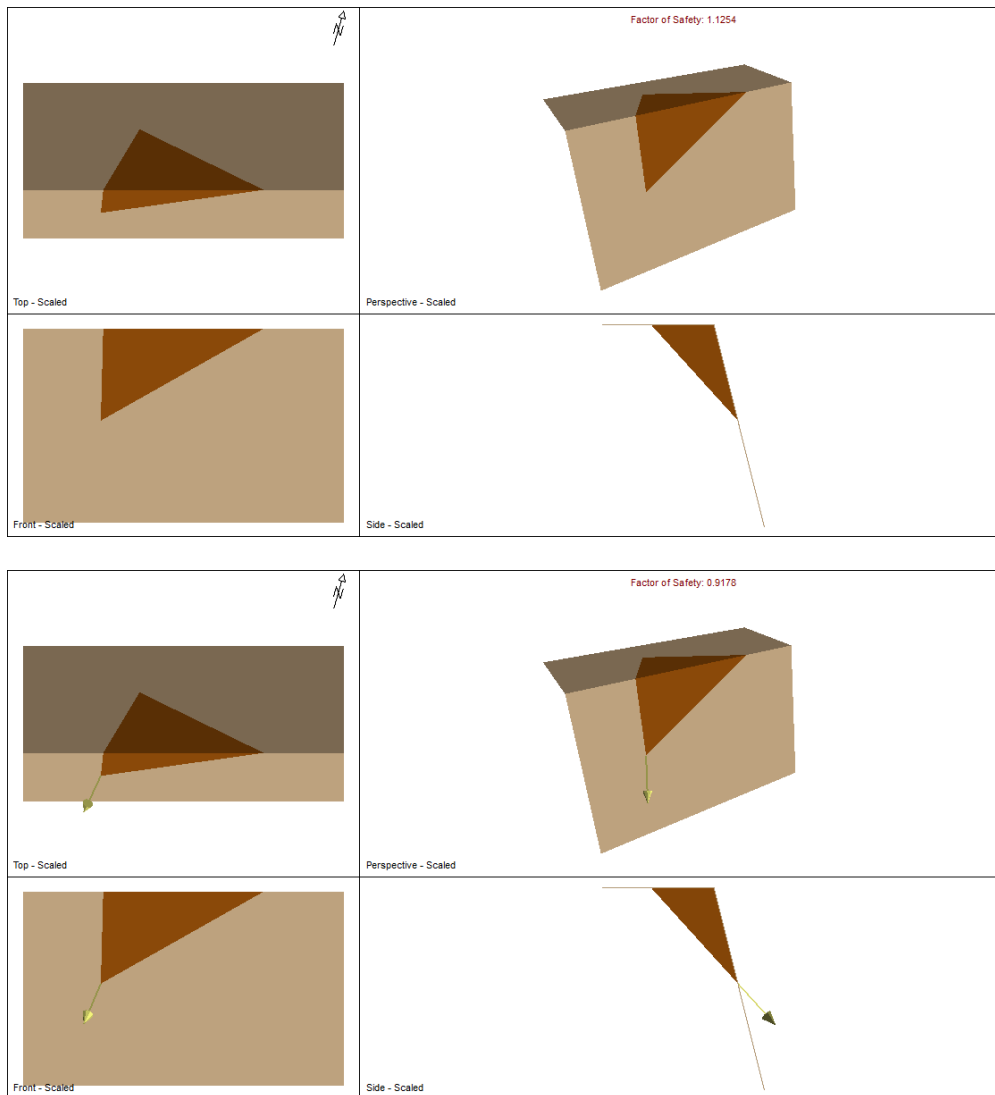


**Εικόνα N2.5:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N2. Συνδυασμός ασυνεχειών set2-set5. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 15m.

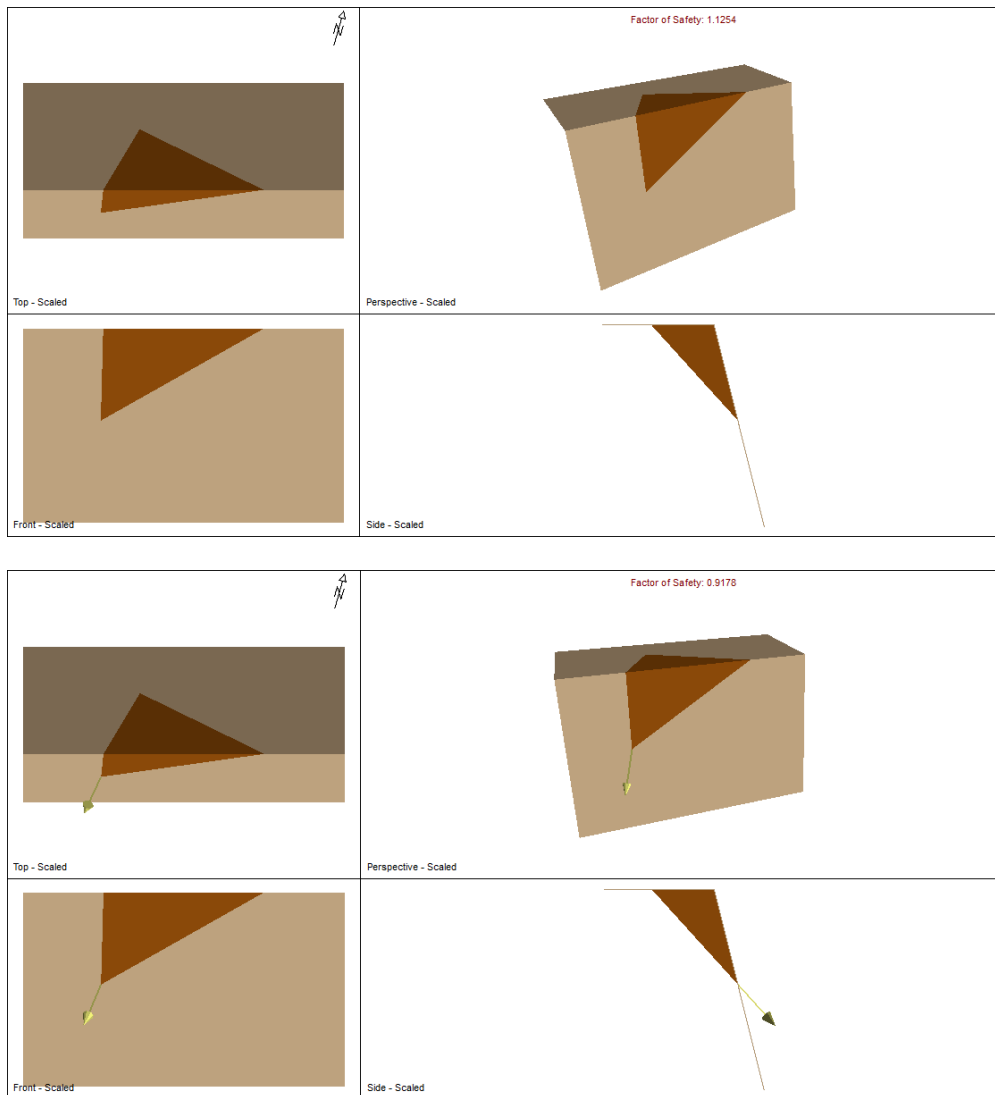




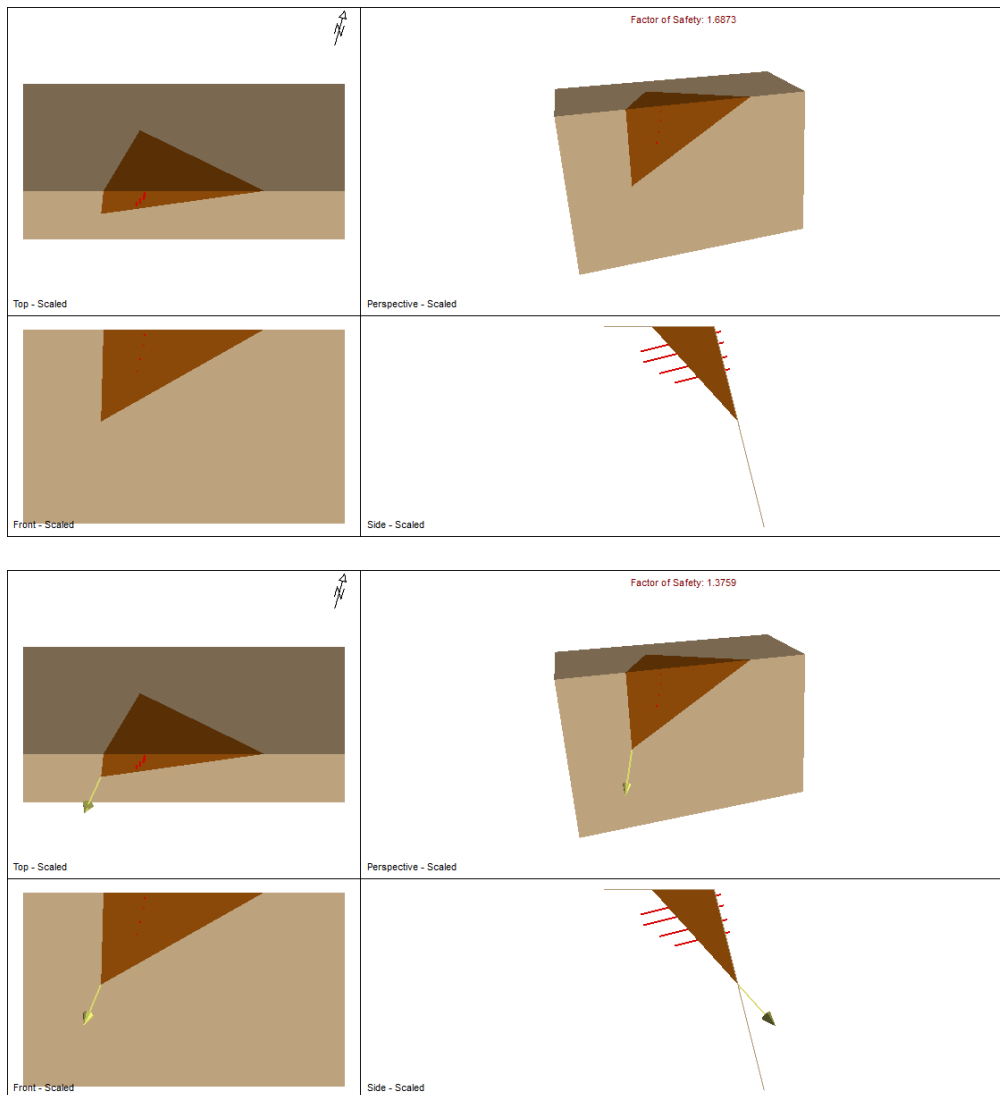
**Εικόνα N2.6:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N2, με αγκύρωση (1 αγκύριο  $L=4m$ ). Συνδυασμός ασυνεχειών set2-set5. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 15m.



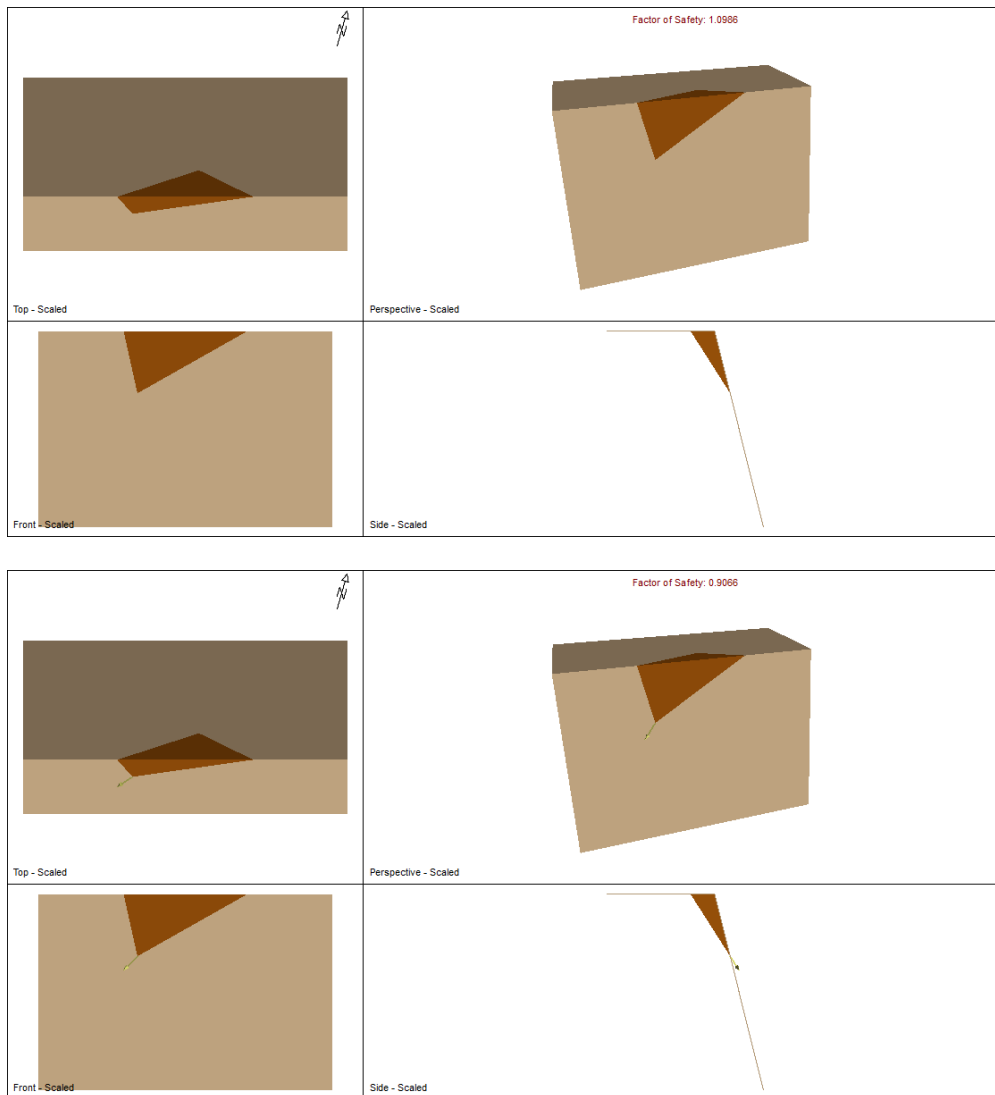
**Εικόνα N2.7:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N2. Συνδυασμός ασυνεχειών set4-set5. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 15m.



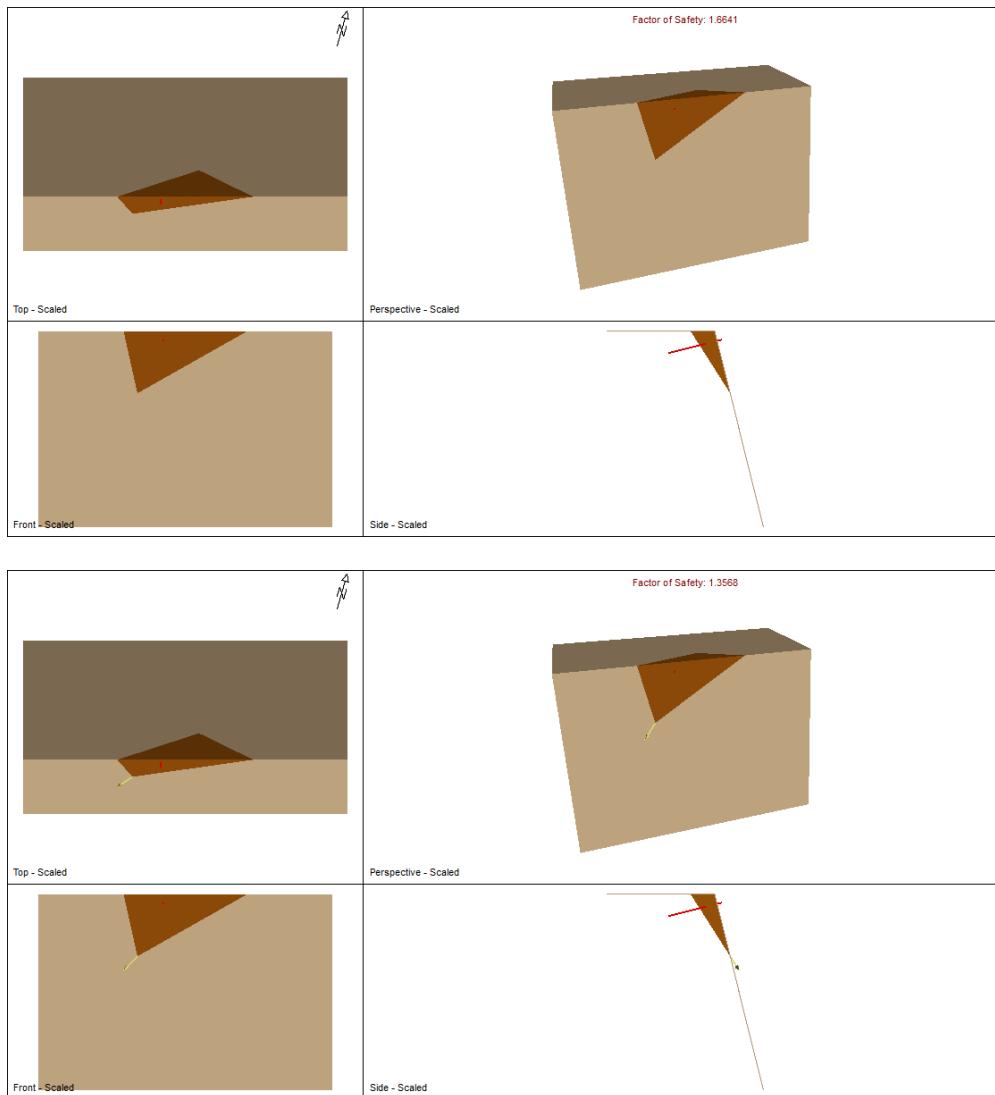
**Εικόνα N2.8:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N2. Συνδυασμός ασυνεχειών set4-set5. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 15m.



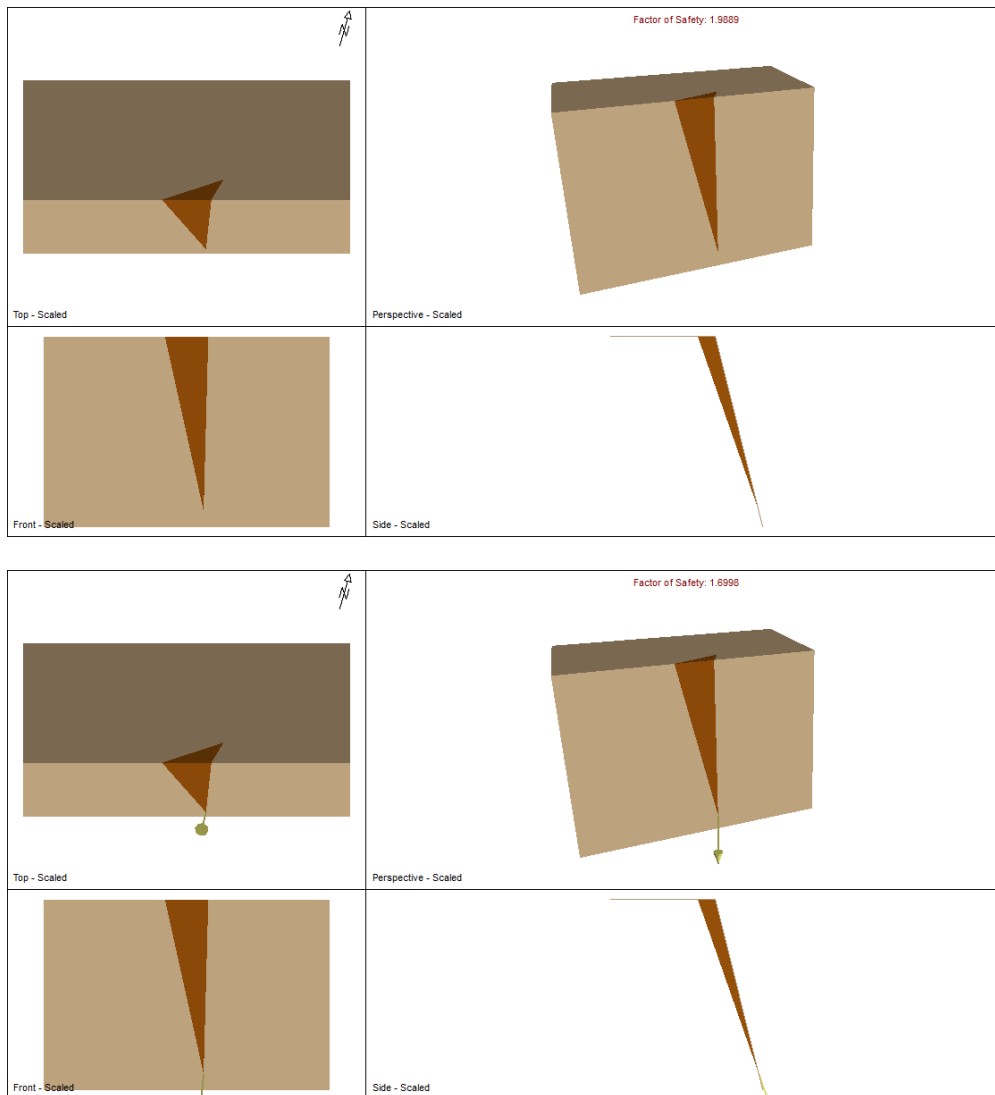
**Εικόνα N2.9:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N2, με αγκύρωση (4 αγκύρια  $L=4-6m$ ). Συνδυασμός ασυνεχειών set4-set5. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 15m.



**Εικόνα N2.10:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N2. Συνδυασμός ασυνεχειών set4-set6. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 10m.



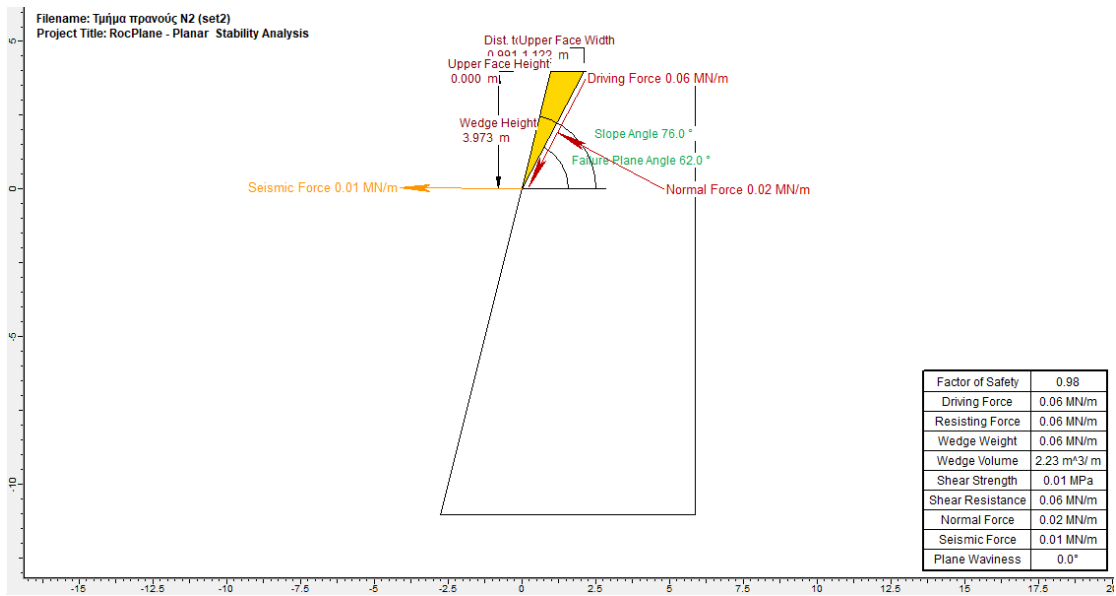
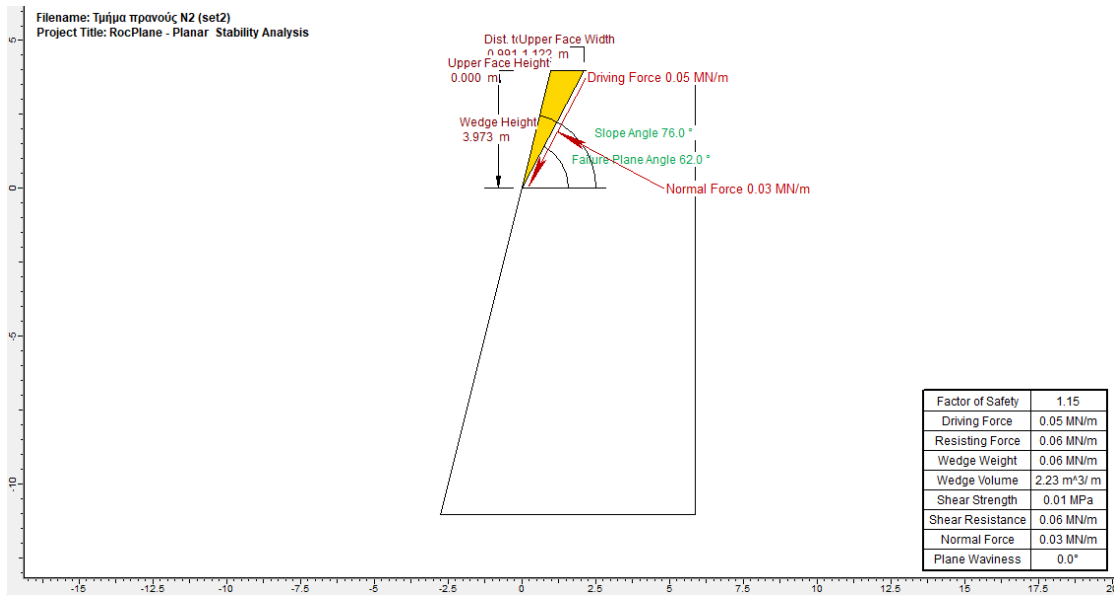
**Εικόνα N2.11:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N2, με αγκύρωση (1 αγκύριο  $L=4m$ ). Συνδυασμός ασυνεχειών set4-set6. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 10m.



**Εικόνα N2.12:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N2. Συνδυασμός ασυνεχειών set5-set6. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 15m.

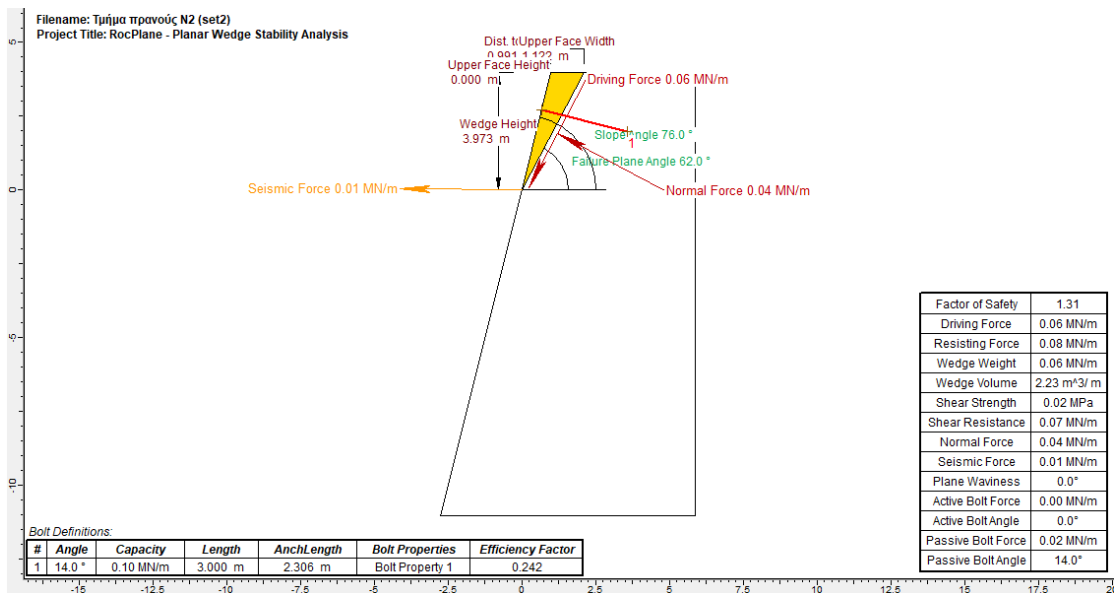
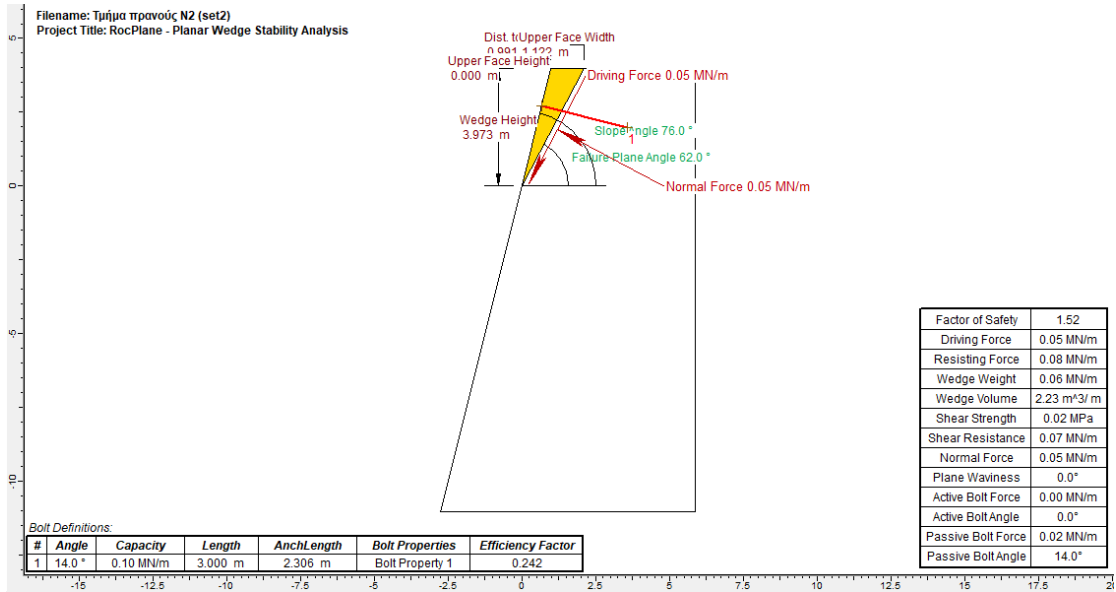
**Πίνακας N2.3:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν επίπεδες ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A. < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες - Τμήμα πρανούς N2.

Σύστημα ασυνεχειών	Σ.Α. κανονικές συνθήκες	Σ.Α. σεισμικές συνθήκες	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set2	1.15	0.98	1.52/1.31
Set4	1.20	0.95	1.91/1.57

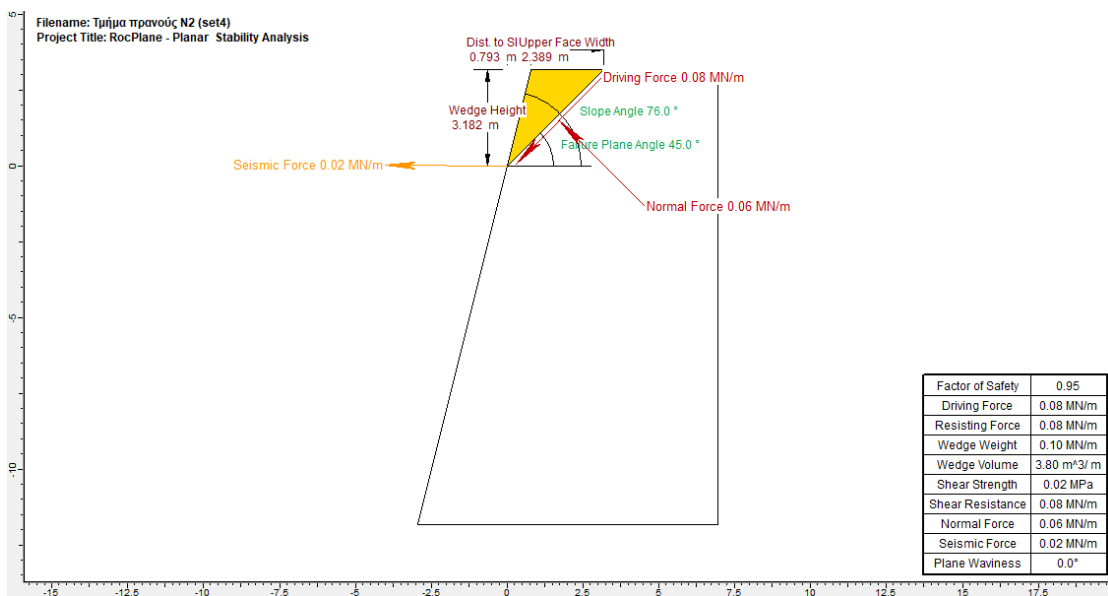
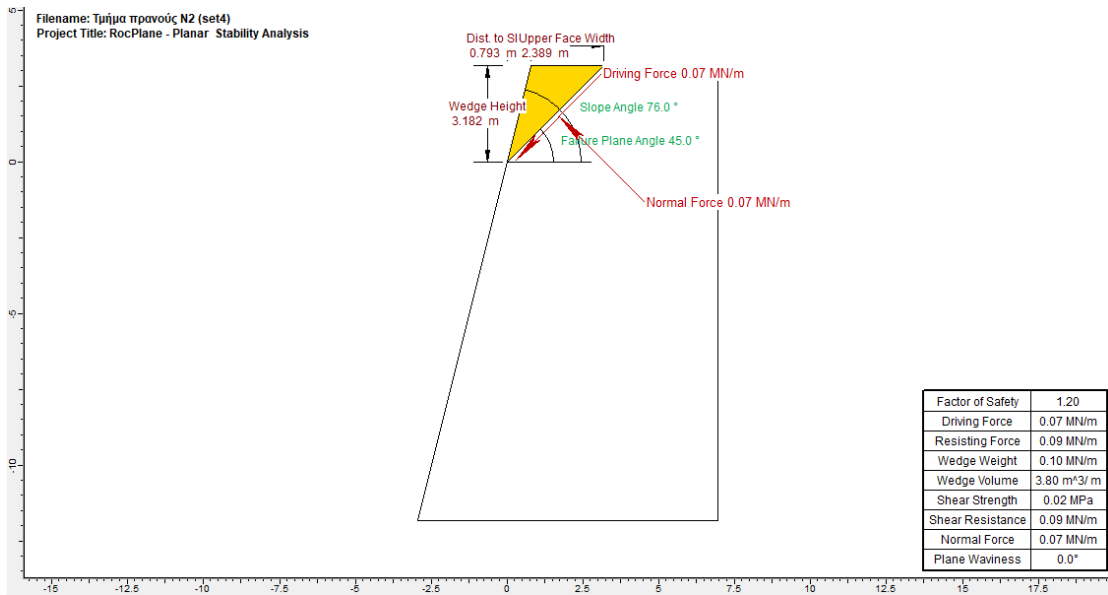


**Εικόνα N2.13:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες, για κλίση ασυνέχειας 62° (set2) και ύψος τεμάχου ολίσθησης 3.9m.

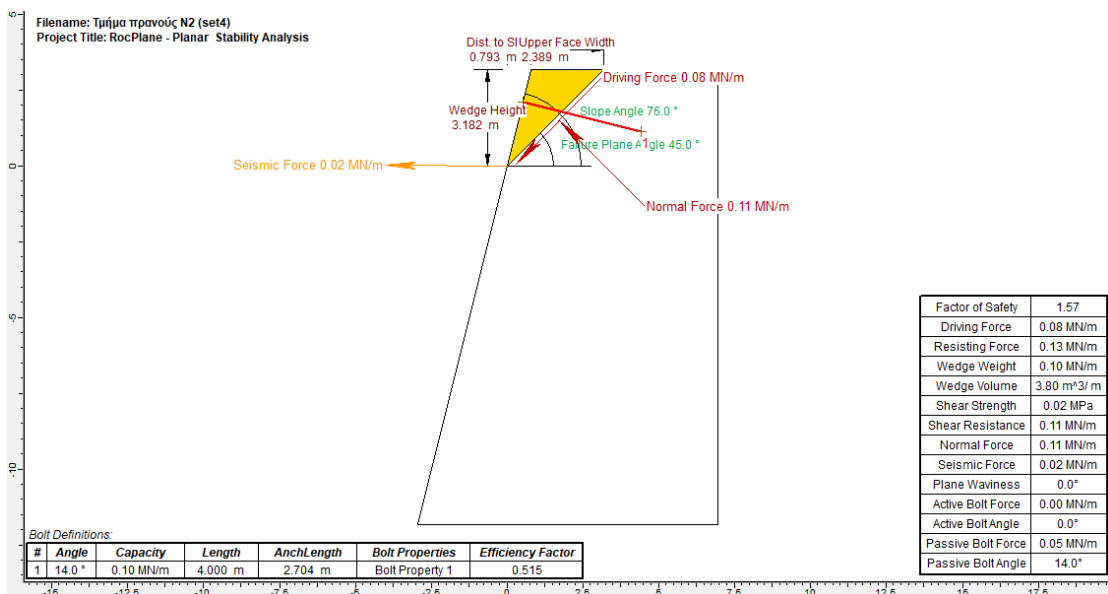
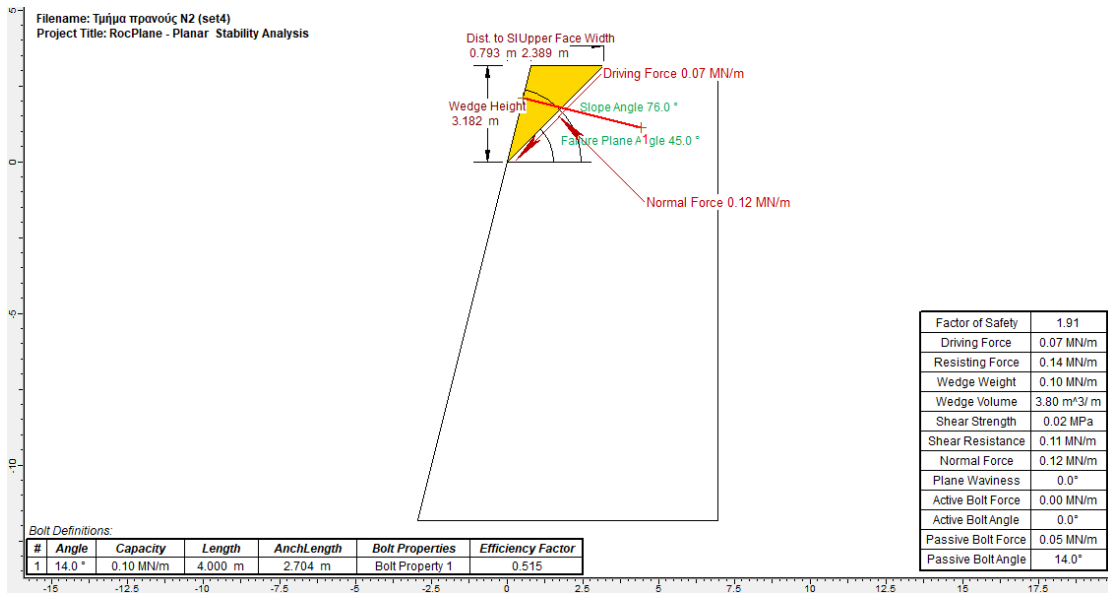




**Εικόνα N2.14:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες με αγκύρωση, για κλίση ασυνέχειας 62° (set2) και ύψος τεμάχου ολίσθησης 3.9m.

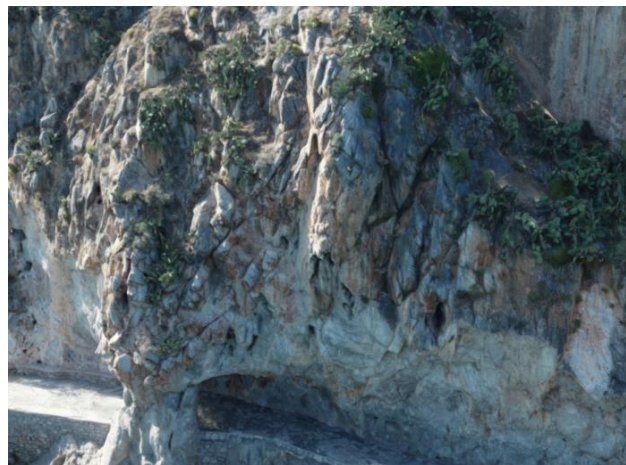


**Εικόνα N2.16:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες για κλίση ασυνέχειας 45° (set4) και ύψος τεμάχου ολίσθησης 3.1m.

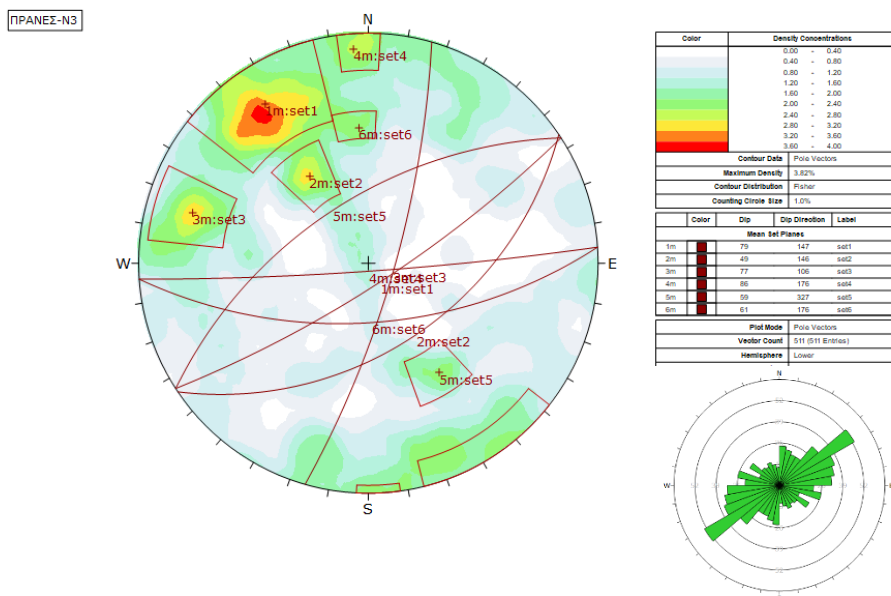


**Εικόνα N2.15:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες με αγκύρωση, για κλίση ασυνέχειας 45° (set4) και ύψος τεμάχους ολίσθησης 3.1m.

Τμήμα πρανούς-N3



Εικόνα N3.1: Τμήμα πρανούς N3.



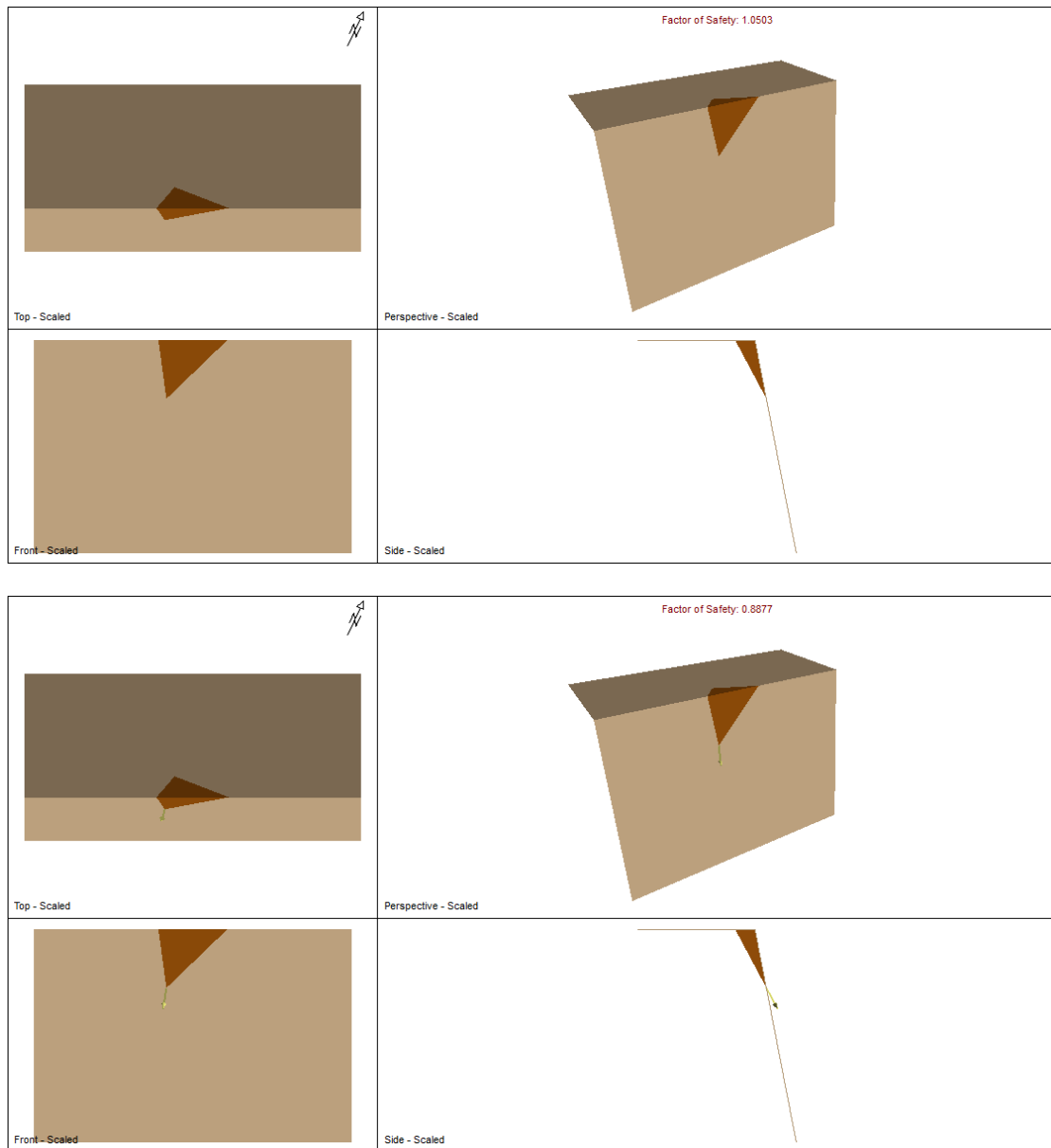
Εικόνα N3.2: Τεκτονικό διάγραμμα συγκέντρωσης των πόλων, εντοπισμός των κύριων συστημάτων ασυνεχειών και ροδόγραμμα διασποράς προσανατολισμού ασυνεχειών βραχομάζας, για το τμήμα N3.

**Πίνακας N3.1:** Κύρια συστήματα ασυνεχειών , με τον προσανατολισμό τους και τις γεωτεχνικές παραμέτρους αντοχής – τμήμα πρανούς N3.

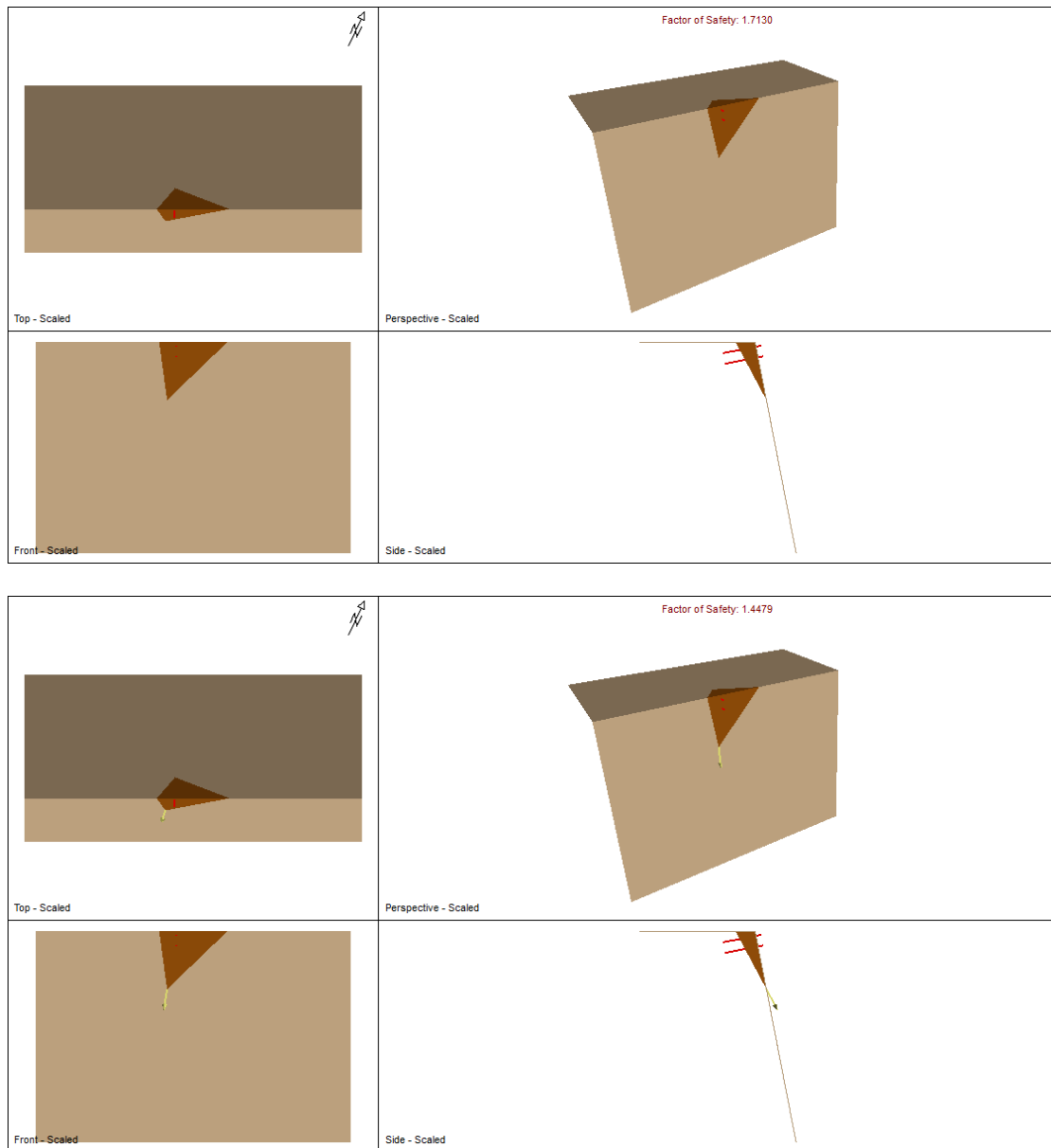
ID	Κλίση- <i>dip</i> (°)	Διεύθυνση κλίσης- <i>dip</i> <i>direction</i> (°)	Συνοχή- <i>c</i> (kPa)	Γωνία τριβής- $\phi$ (°)
Set 1	79	147	10	30
Set 2	49	146	10	30
Set 3	77	106	10	30
Set 4	86	176	10	30
Set 5	59	327	10	30
Set 6	61	176	10	30

**Πίνακας N3.2:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν σφηνοειδείς ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες- τμήμα πρανούς N3.

Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών	Σ.Α. Κανονικές συνθήκες/ Σ.Α. Σεισμικές συνθήκες	Όγκος (m <sup>3</sup> )	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set 3- Set 6	1.05/0.88 (εμμονή 10m)	21.5	1.72/1.44(2 αγκύρια, L=4m)
	1.59/1.34 (εμμονή 8m)	5.8	-



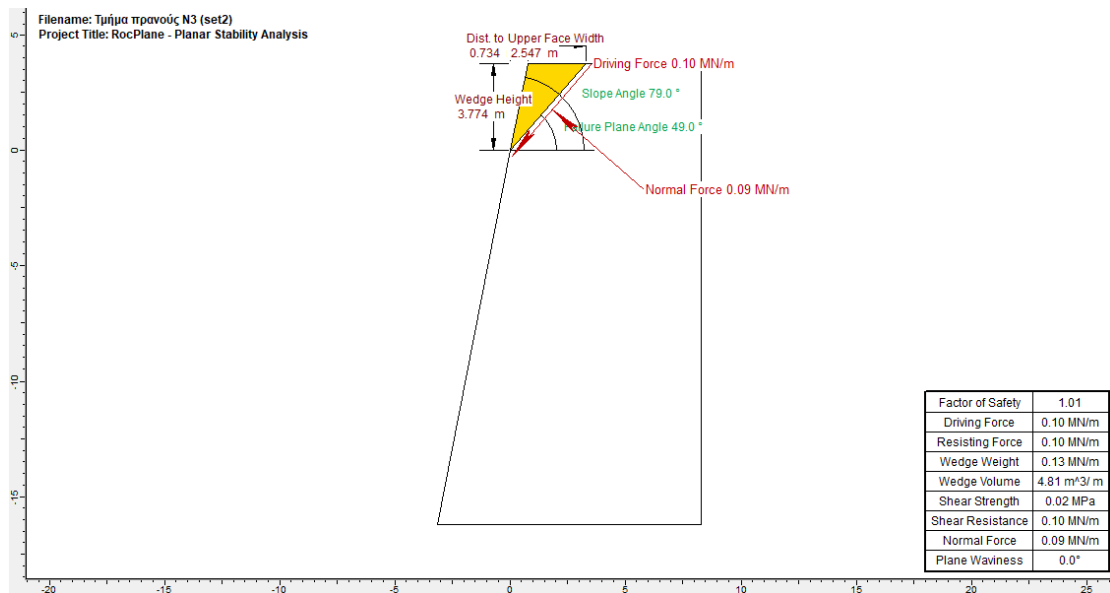
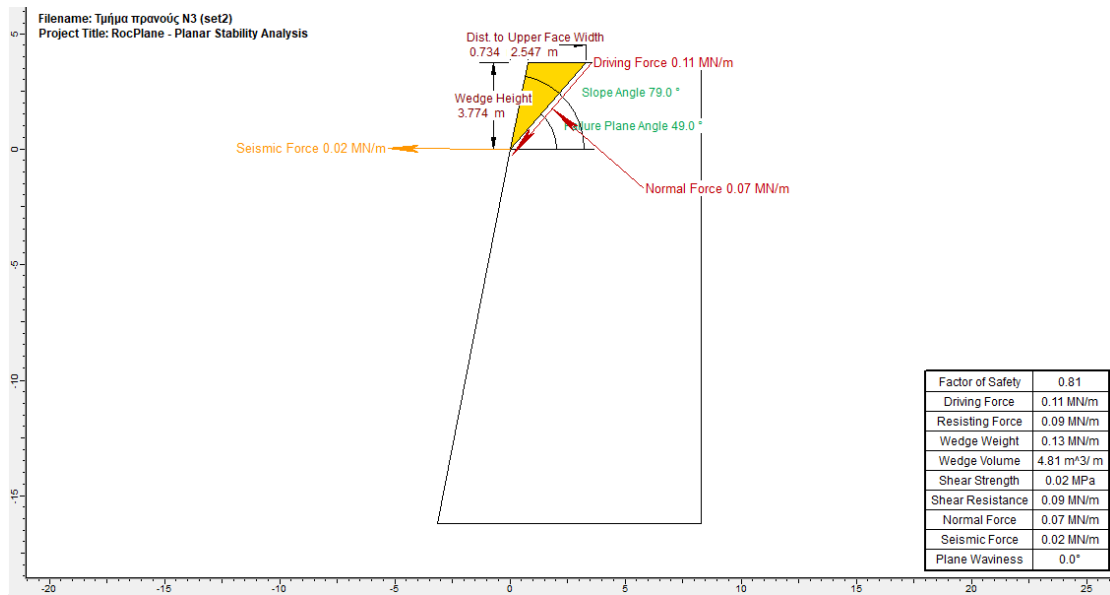
**Εικόνα N3.3:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N3. Συνδυασμός ασυνεχειών set3-set6. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 10m.



**Εικόνα N3.3:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N3, με αγκύρωση (2 αγκύρια μήκους 4m). Συνδυασμός ασυνχειών set3-set6. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνχειών 10m.

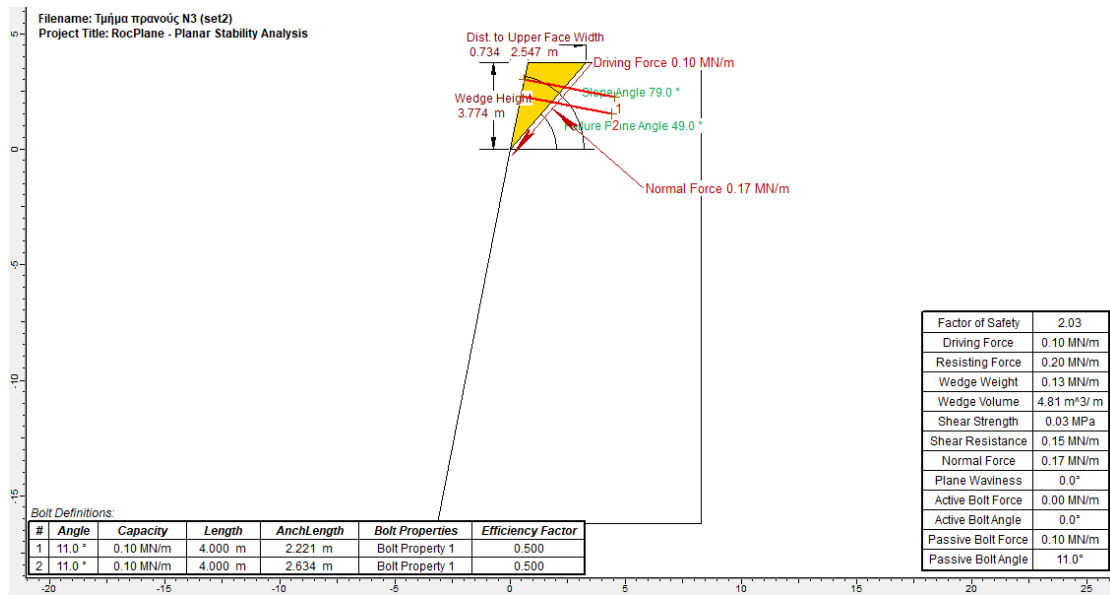
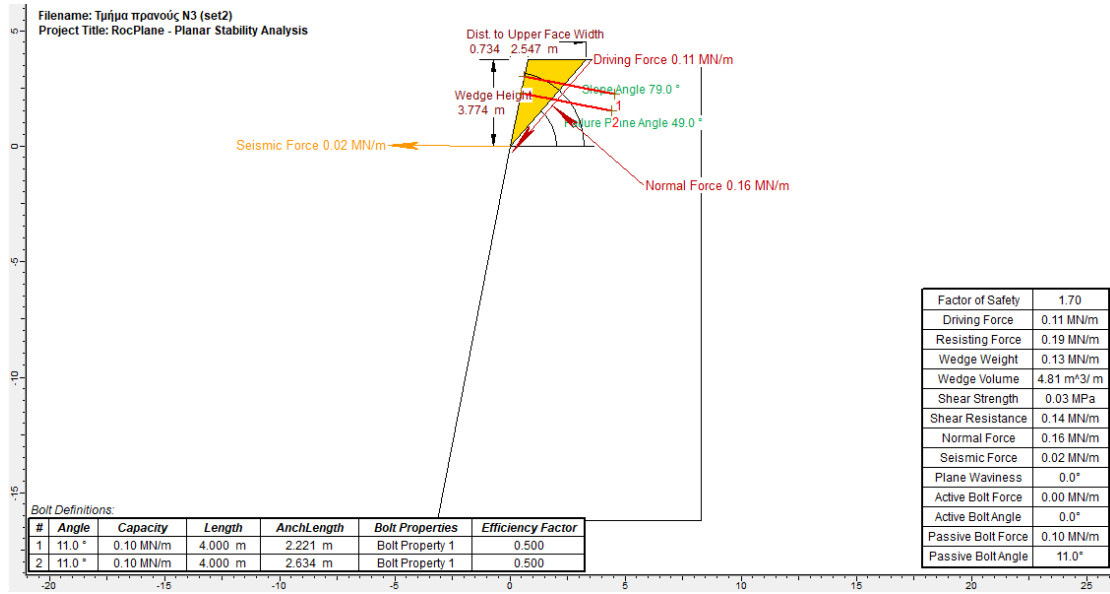
**Πίνακας N3.3:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνχειών που μπορούν να δώσουν επίπεδες ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A. < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες - Τμήμα πρανούς N3.

Σύστημα ασυνχειών	Σ.Α. κανονικές συνθήκες	Σ.Α. σεισμικές συνθήκες	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set2	1.01	0.81	2.03/1.71



**Εικόνα N3.4:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες, για κλίση ασυνέχειας 49° (set2) και ύψος τεμάχου ολίσθησης 3.7m.



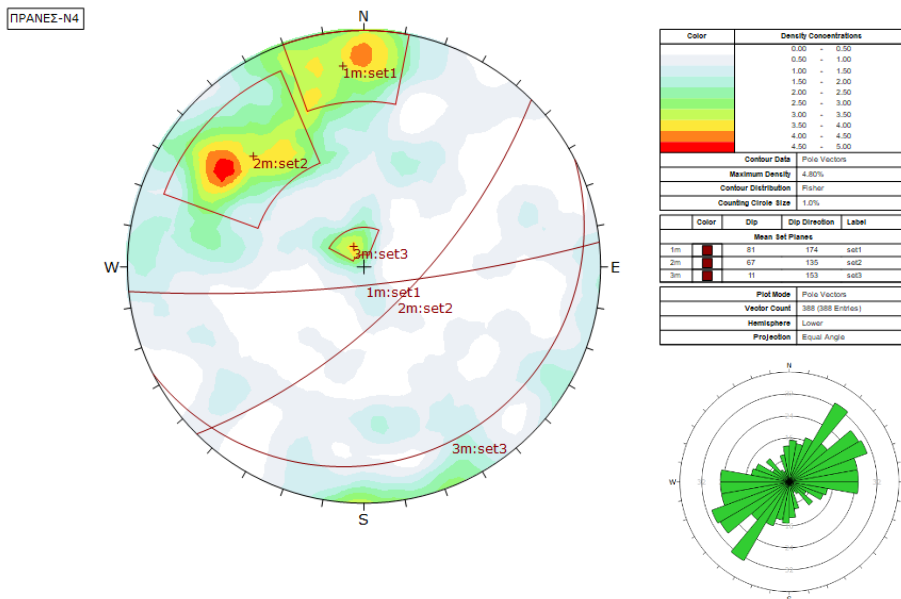


**Εικόνα N3.4:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες με αγκύρωση, για κλίση ασυνέχειας 49° (set2) και ύψος τεμάχους ολίσθησης 3.7m.

Τμήμα πρανούς-N4



Εικόνα N4.1: Τμήμα πρανούς N4.



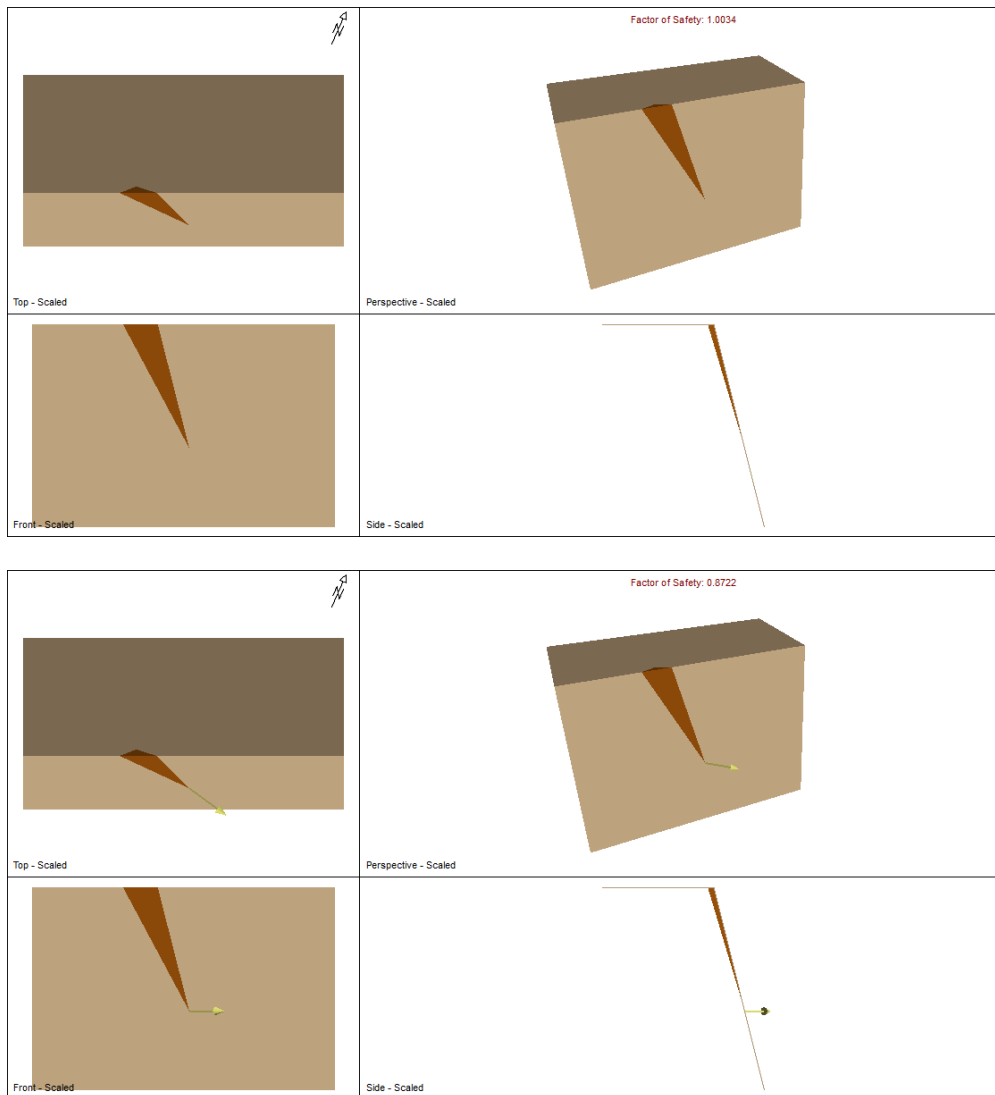
Εικόνα N4.2: Τεκτονικό διάγραμμα συγκέντρωσης των πόλων, εντοπισμός των κύριων συστημάτων ασυνεχειών και ροδόγραμμα διασποράς προσανατολισμού ασυνεχειών βραχομάζας, για το τμήμα N4.

**Πίνακας N4.1:** Κύρια συστήματα ασυνεχειών, με τον προσανατολισμό τους και τις γεωτεχνικές παραμέτρους αντοχής – τμήμα πρανούς N4.

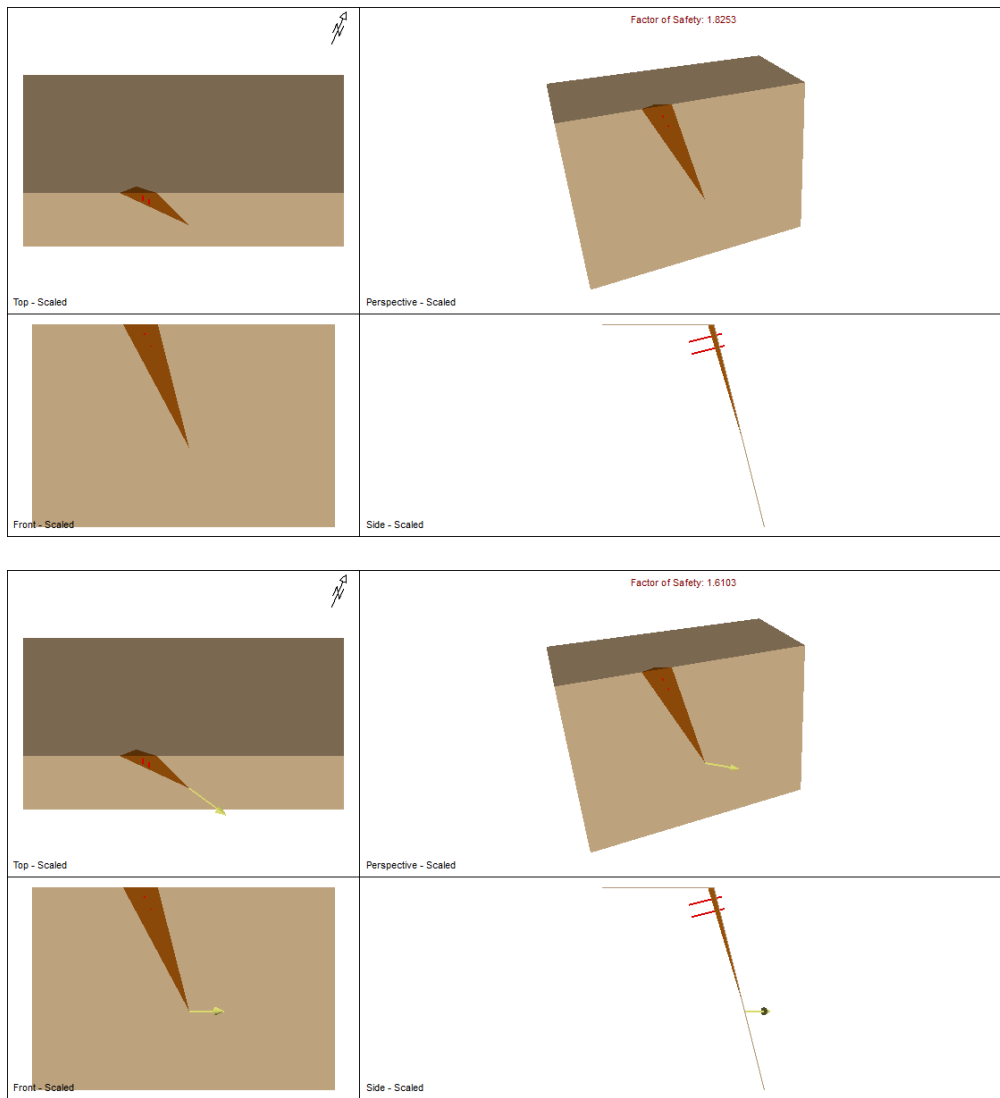
ID	Κλίση- <i>dip</i> (°)	Διεύθυνση κλίσης- <i>dip</i> <i>direction</i> (°)	Συνοχή- <i>c</i> (kPa)	Γωνία τριβής- $\phi$ (°)
Set 1	81	174	10	30
Set 2	67	135	10	30
Set 3	11	153	10	30

**Πίνακας N4.2:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν σφηνοειδείς ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες- τμήμα πρανούς N4.

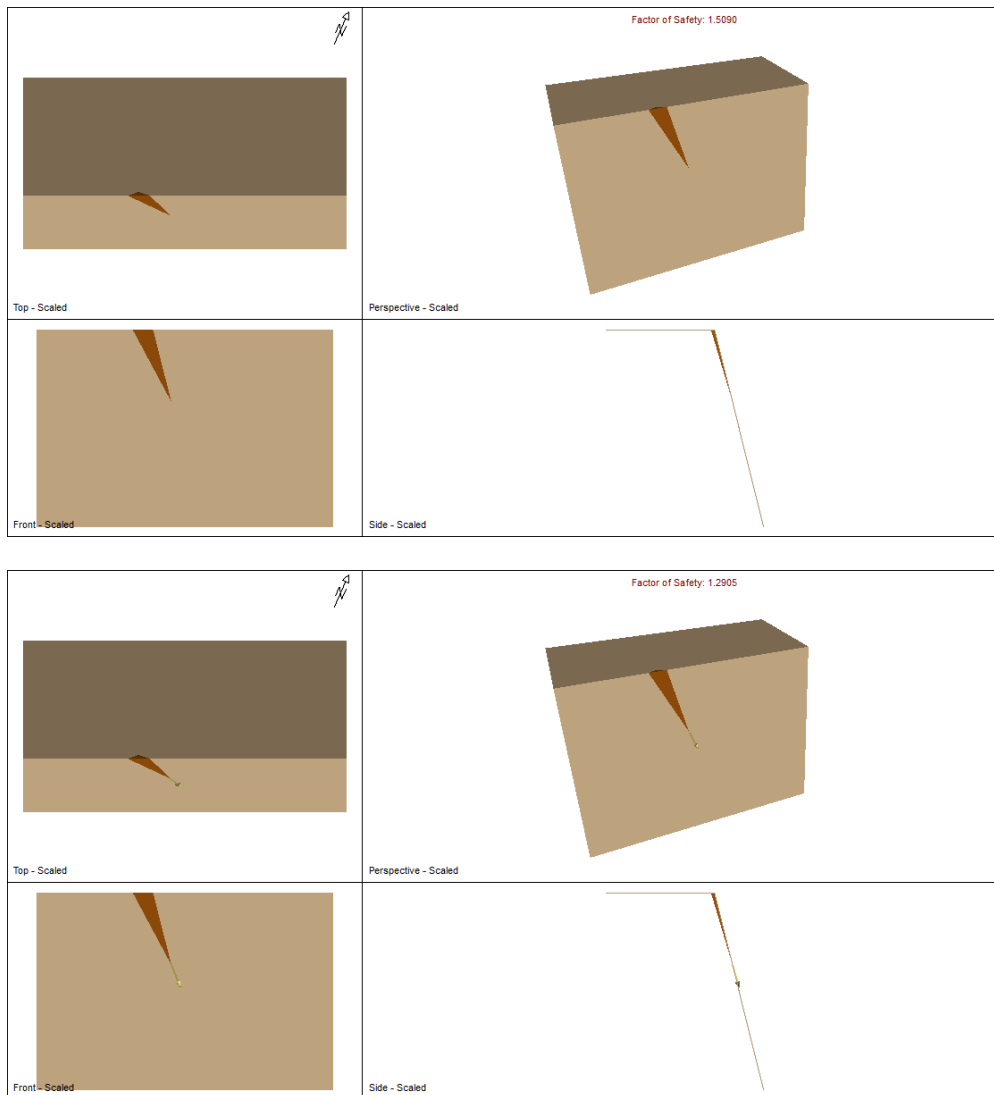
Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών	Σ.Α. Κανονικές συνθήκες/ Σ.Α. Σεισμικές συνθήκες	Όγκος (m <sup>3</sup> )	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set 1- Set 2	1.01/0.87 (Κλίση πρανούς 76°, εμμονή 20m)	11.7	1.82/1.61 (2 αγκύρια, L=4m)
	1.5/1.29 (Κλίση πρανούς 76°, εμμονή 12m)	2.5	-



**Εικόνα N4.3:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N4 . Συνδυασμός ασυνεχειών set1-set2. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 20m.



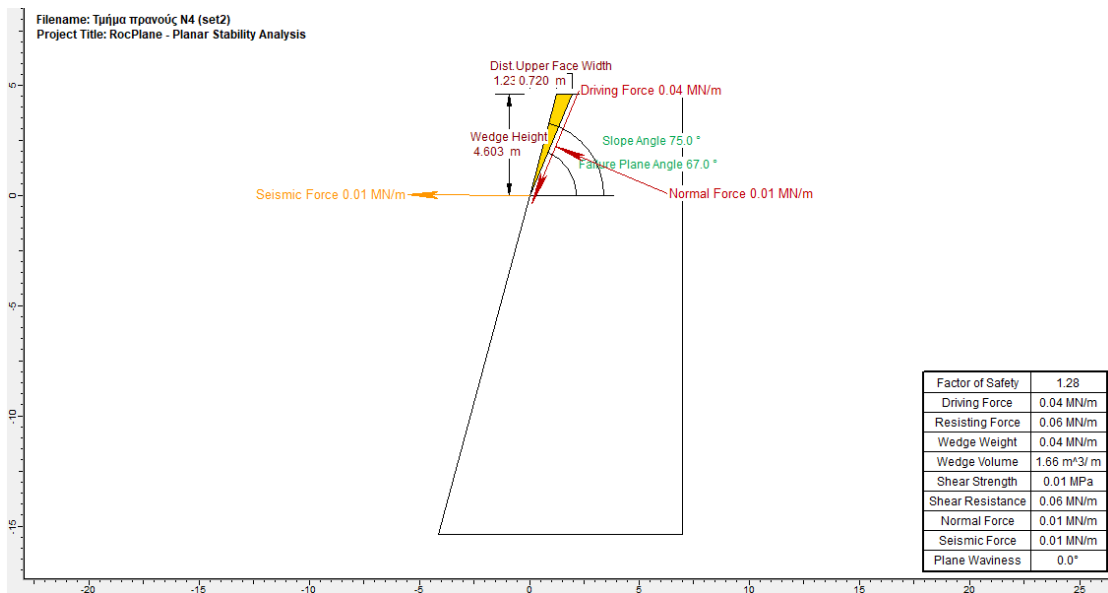
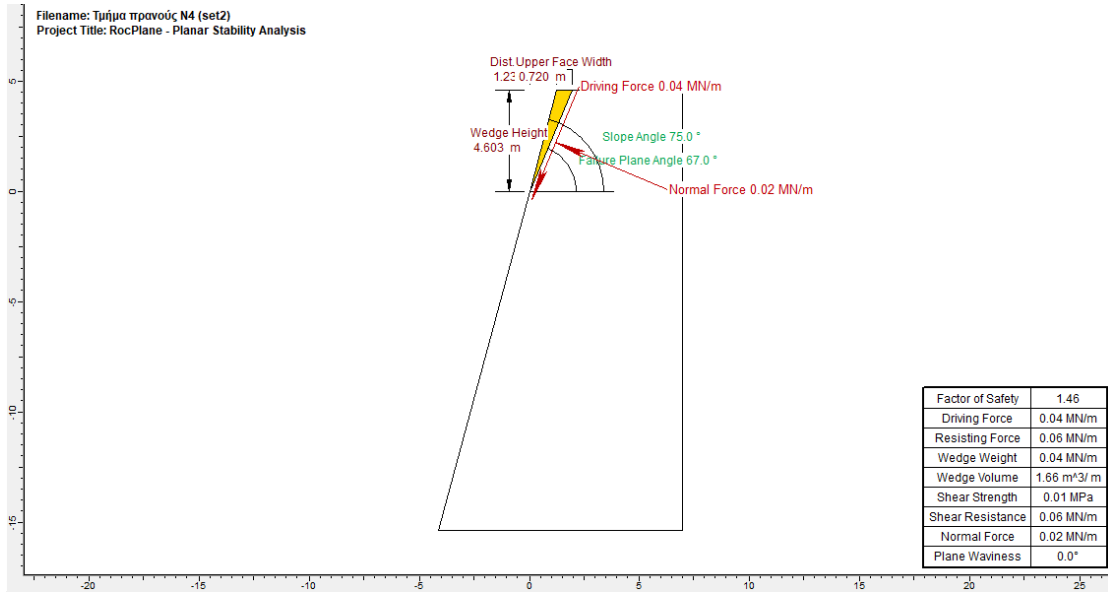
**Εικόνα N4.4:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N4 . Συνδυασμός ασυνεχειών set1-set2, με αγκύρωση (2 αγκύρια,  $L=4m$ ). Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 20m.



**Εικόνα N4.5:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφαιροειδούς ολίσθησης για το τμήμα N4 . Συνδυασμός ασυνεχειών set1-set2). Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 12m.

**Πίνακας N4.3:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν επίπεδες ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A. < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες - Τμήμα πρανούς N4.

Σύστημα ασυνεχειών	Σ.Α. κανονικές συνθήκες	Σ.Α. σεισμικές συνθήκες	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set2	1.46	1.28	-

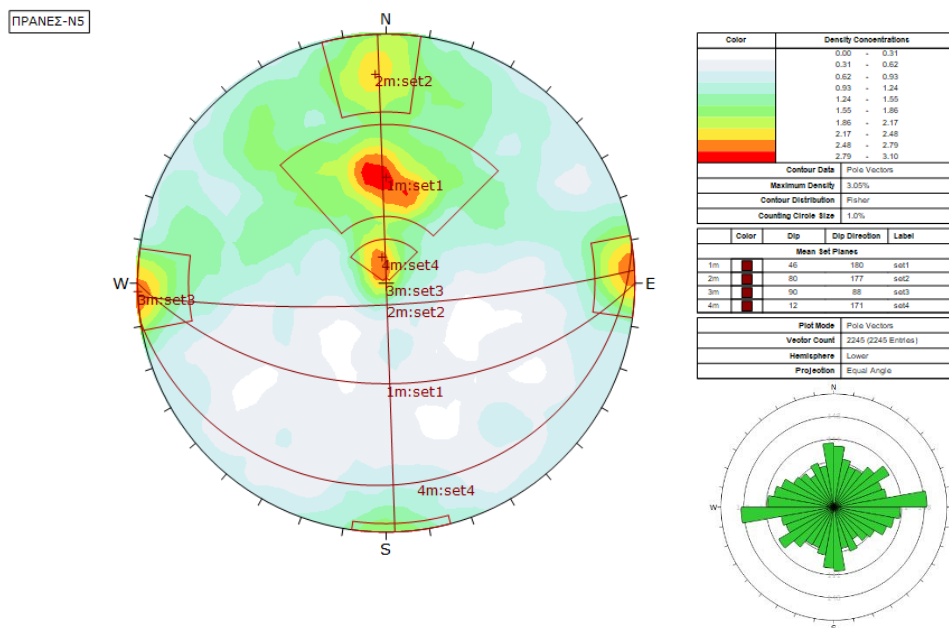


**Εικόνα N4.6:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες, για κλίση ασυνέχειας 67° (set2) και ύψος τεμάχου ολίσθησης 4.6m.

## Τμήμα πρανούς-N5



Εικόνα N5.1: Τμήμα πρανούς N5.



Εικόνα N5.2: Τεκτονικό διάγραμμα συγκέντρωσης των πόλων, εντοπισμός των κύριων συστημάτων ασυνεχειών και ροδόγραμμα διασποράς προσανατολισμού ασυνεχειών βραχομάζας, για το τμήμα N5.

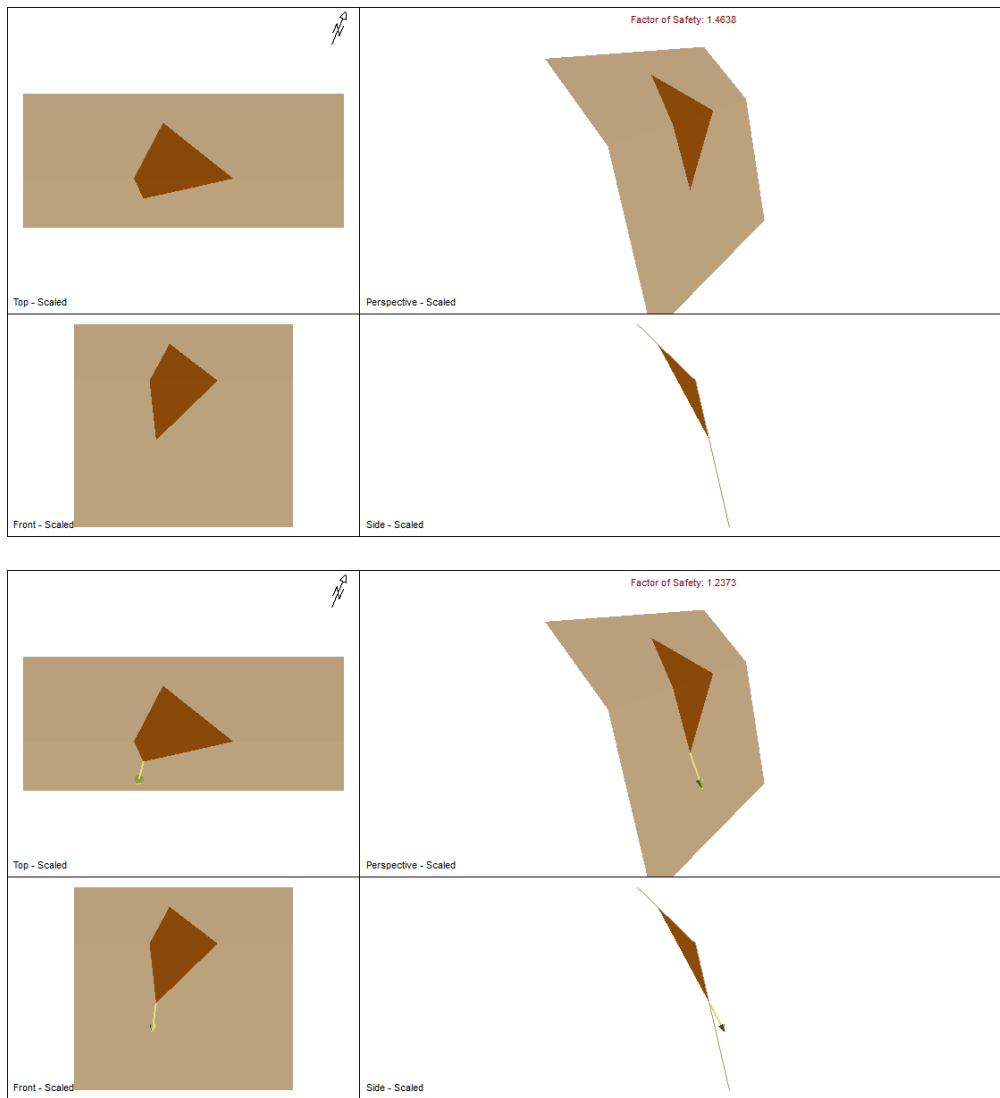


**Πίνακας N5.1:** Κύρια συστήματα ασυνεχειών , με τον προσανατολισμό τους και τις γεωτεχνικές παραμέτρους αντοχής – τμήμα πρανούς N5.

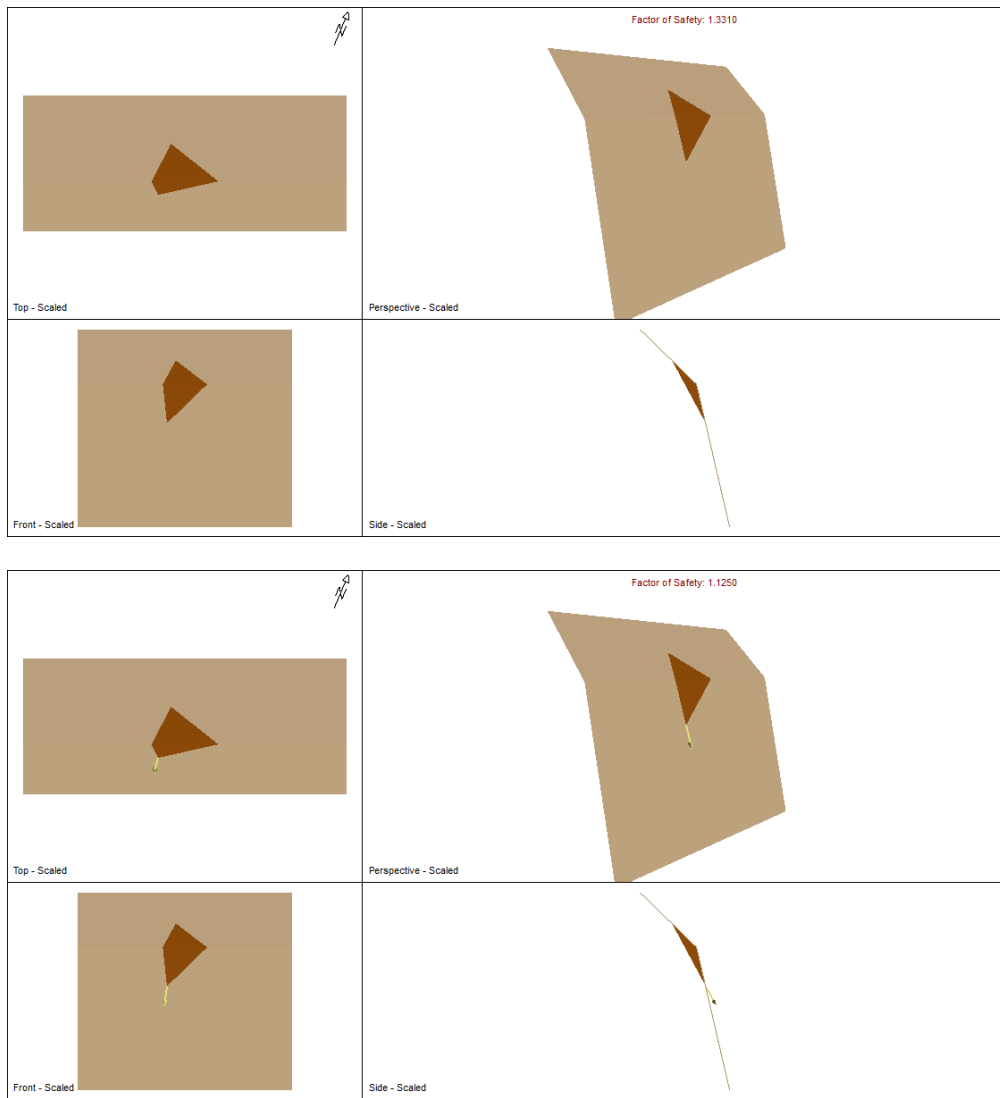
ID	Κλίση- <i>dip</i> (°)	Διεύθυνση κλίσης- <i>dip</i> <i>direction</i> (°)	Συνοχή- <i>c</i> (kPa)	Γωνία τριβής- $\phi$ (°)
Set 1	46	180	10	30
Set 2	80	177	10	30
Set 3	90	88	10	30
Set 4	12	171	10	30

**Πίνακας N5.2:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν σφηνοειδείς ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες- τμήμα πρανούς N5.

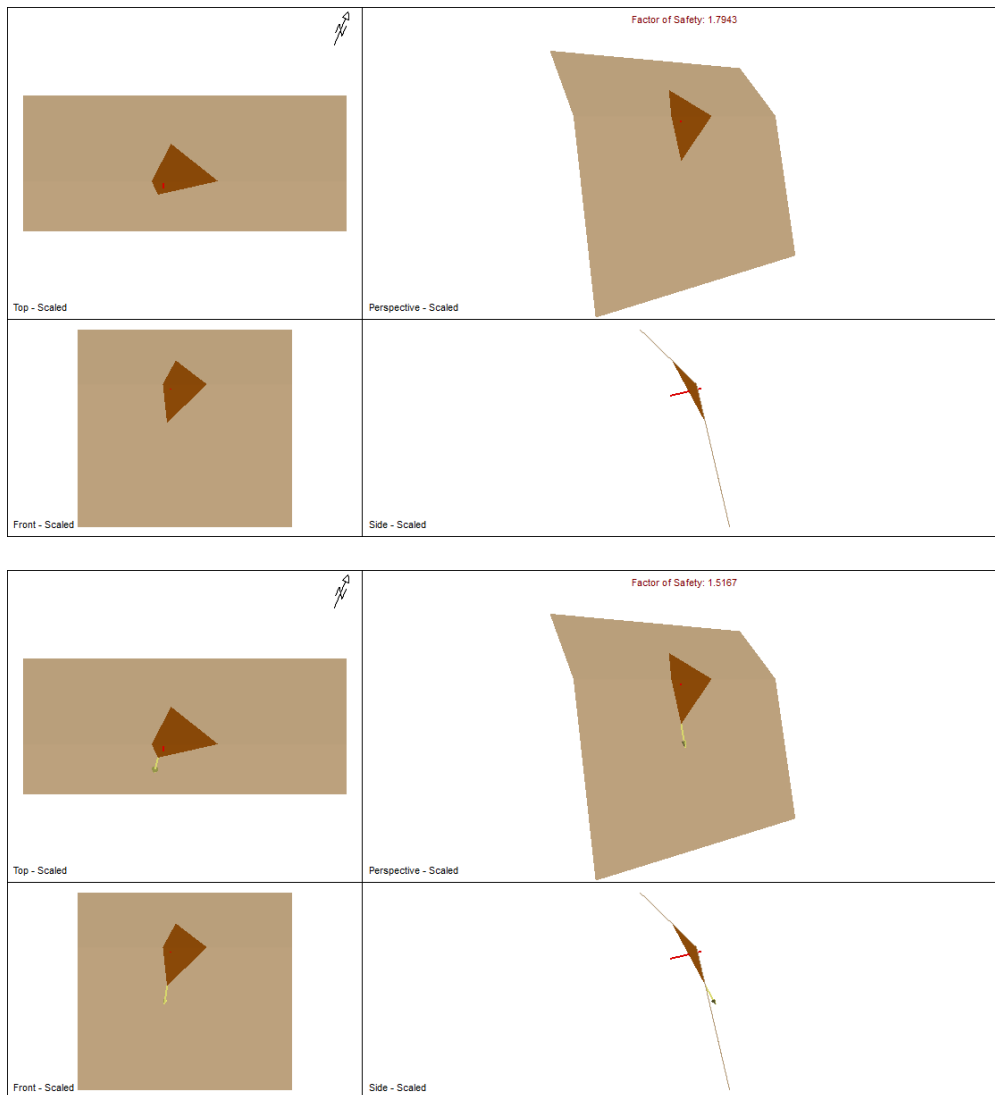
Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών	Σ.Α. Κανονικές συνθήκες/ Σ.Α. Σεισμικές συνθήκες	Όγκος (m <sup>3</sup> )	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set 1- Set 3	1.46/1.23 (εμμονή 15m, c=17KPa)	50.3	-
	1.33/1.12 (εμμονή 10m)	14.9	1.79/1.51 (1 αγκύριο, L=4m)



**Εικόνα N5.3:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N5 . Συνδυασμός ασυνεχειών set1-set3. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 15m.



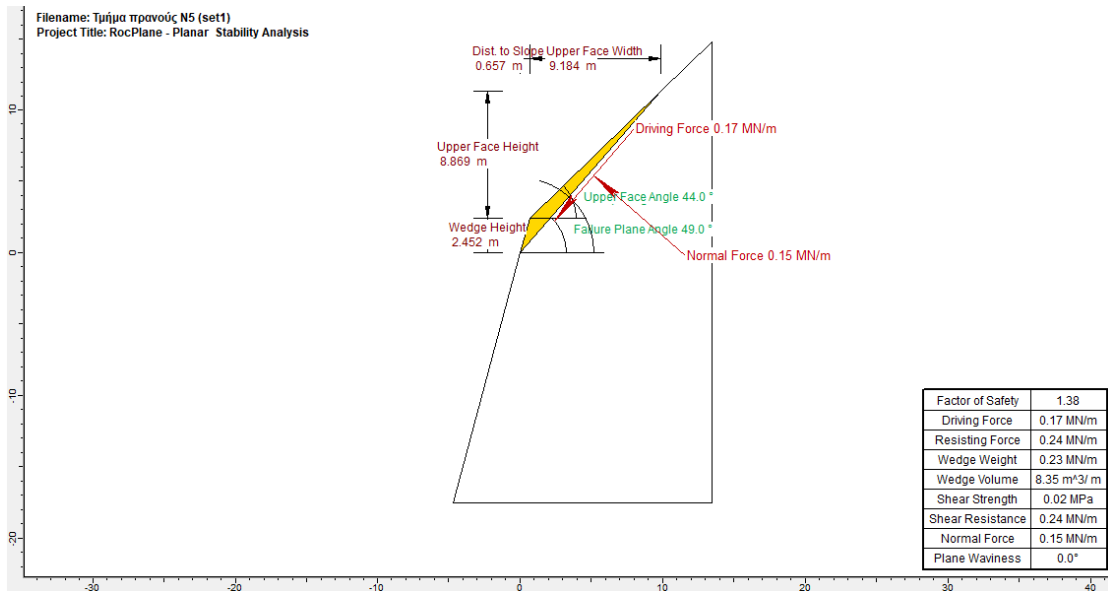
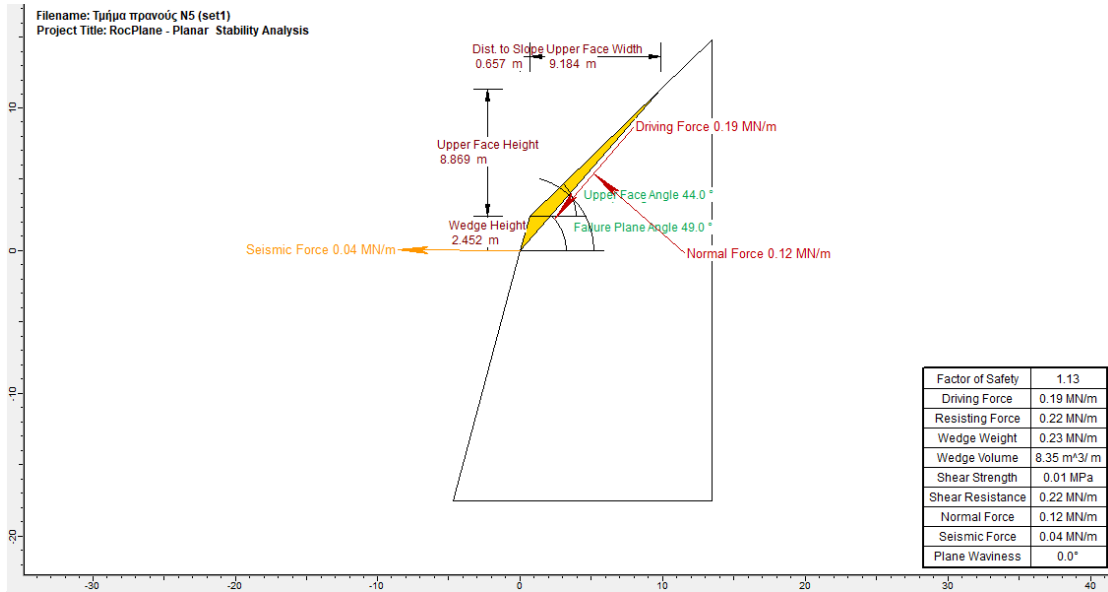
**Εικόνα N5.4:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N5 . Συνδυασμός ασυνεχειών set1-set3. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 10m.



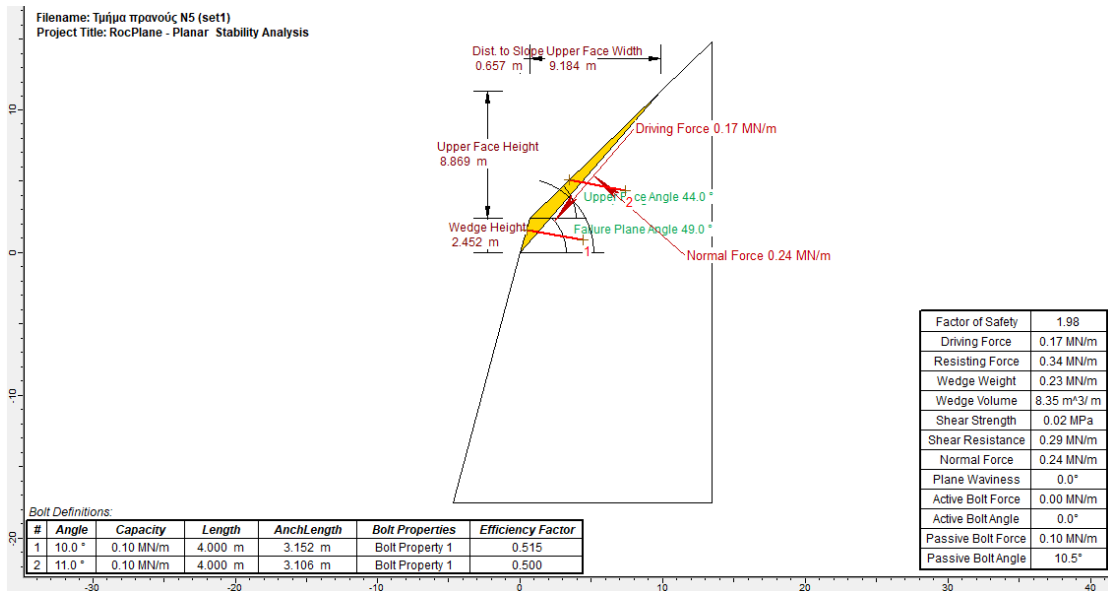
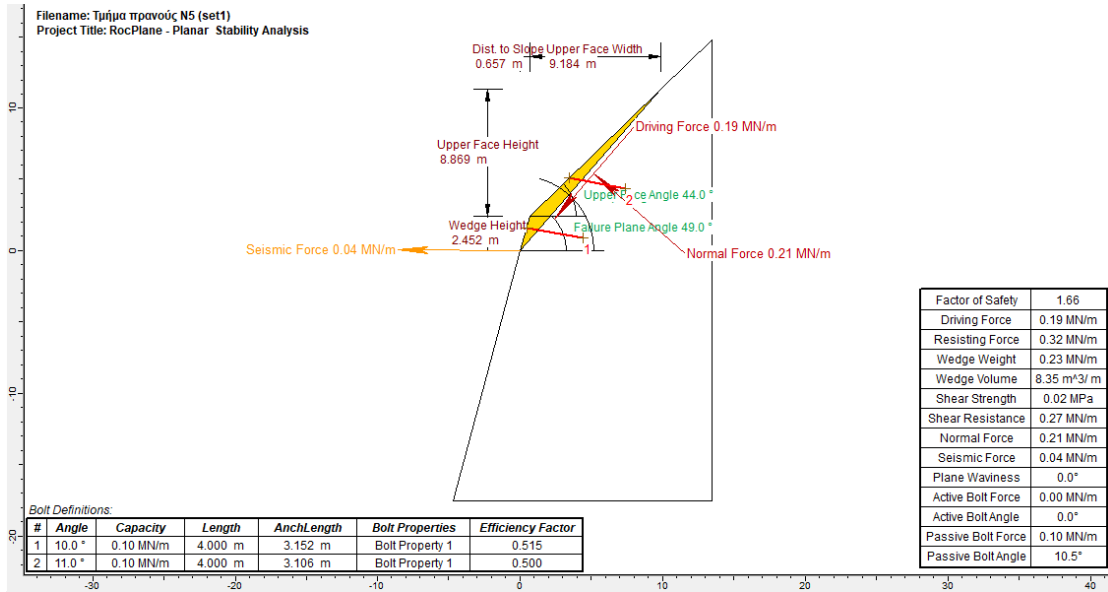
**Εικόνα N5.5:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N5 . Συνδυασμός ασυνεχειών set1-set3, με αγκύρωση (1 αγκύριο,  $L=4m$ ). Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 10m.

**Πίνακας N5.3:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν επίπεδες ολισθήσεις στο πρηνές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A.<2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες - Τμήμα πρηνούς N5.

Σύστημα ασυνεχειών	Σ.Α. κανονικές συνθήκες	Σ.Α. σεισμικές συνθήκες	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set2	1.38	1.13	1.98/1.66



**Εικόνα N5.6:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες, για κλίση ασυνέχειας 49° (set1) και ύψος τεμάχου ολίσθησης 8.8 m.

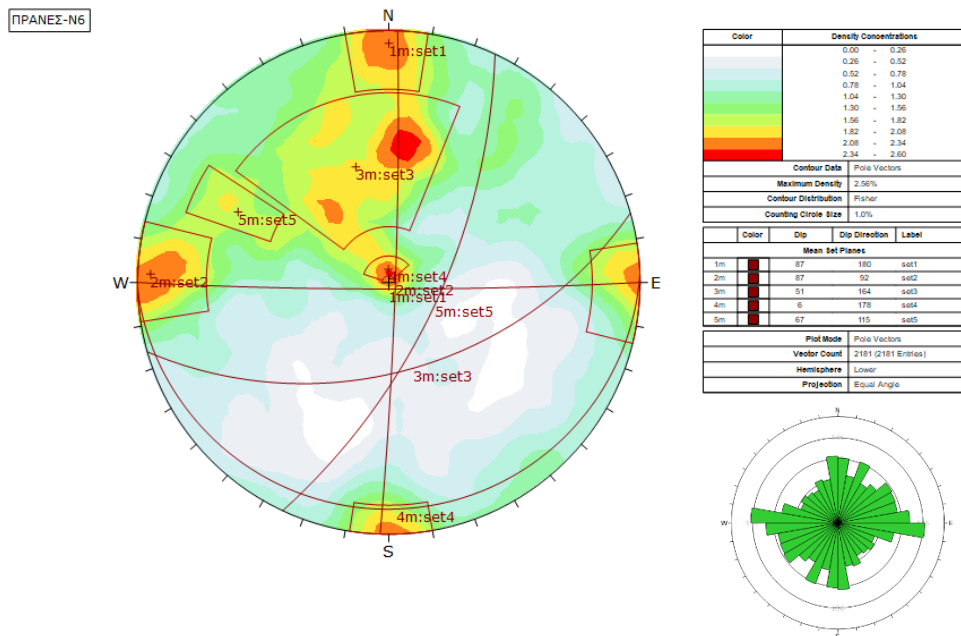


**Εικόνα N5.7:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες, για κλίση ασυνέχειας 49° (set1) με αγκύρωση και ύψος τεμάχου ολίσθησης 8.8 m.

Τμήμα πρανούς- N6



Εικόνα N6.1: Τμήμα πρανούς N6.



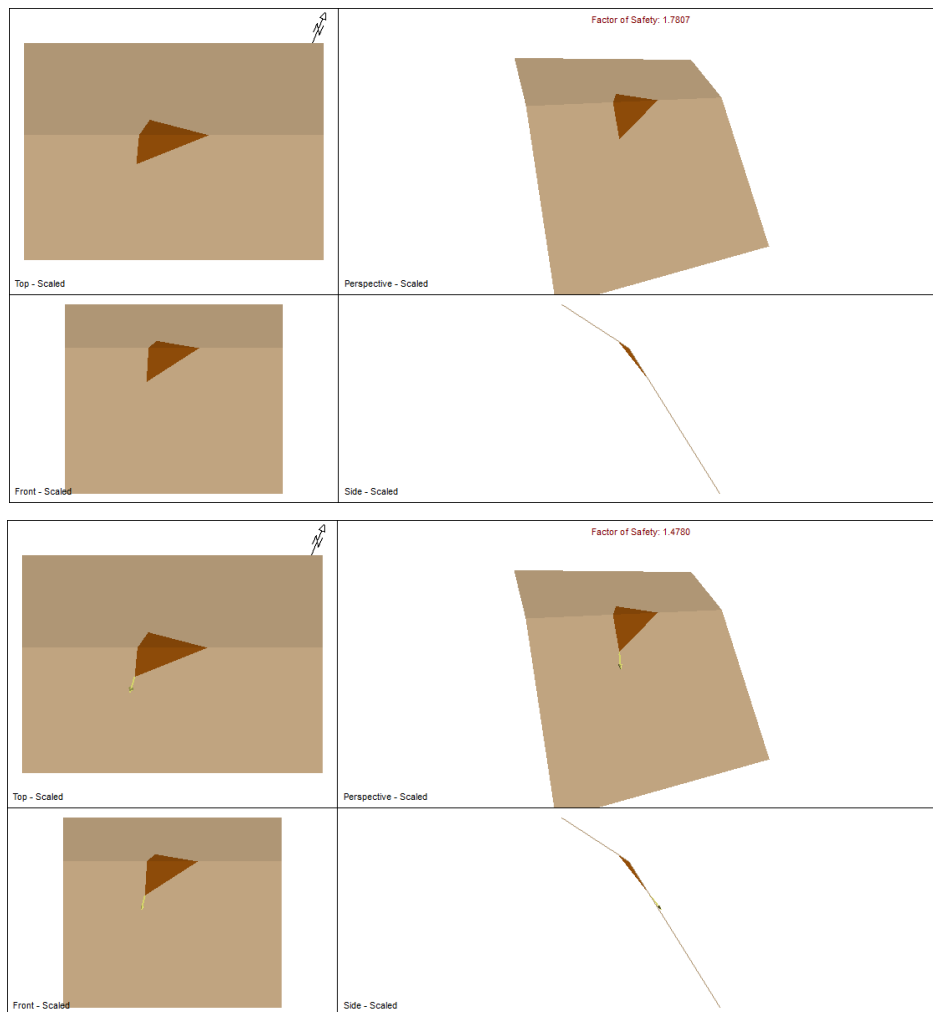
Εικόνα N6.1: Τεκτονικό διάγραμμα συγκέντρωσης των πόλων, εντοπισμός των κύριων συστημάτων ασυνεχειών και ροδόγραμμα διασποράς προσανατολισμού ασυνεχειών βραχομάζας, για το τμήμα N6.

**Πίνακας N6.1:** Κύρια συστήματα ασυνχειών , με τον προσανατολισμό τους και τις γεωτεχνικές παραμέτρους αντοχής – τμήμα πρανούς N6.

ID	Κλίση- dip (°)	Διεύθυνση κλίσης-dip direction (°)	Συνοχή- c (kPa)	Γωνία τριβής- φ (°)
Set 1	87	180	10	30
Set 2	87	92	10	30
Set 3	51	164	10	30
Set 4	6	178	10	30
Set 5	67	115	10	30

**Πίνακας N6.2:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνχειών που μπορούν να δώσουν σφηνοειδείς ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες- τμήμα πρανούς N6.

Συνδυασμοί συστημάτων ασυνχειών	Σ.Α. Κανονικές συνθήκες/ Σ.Α. Σεισμικές συνθήκες	Όγκος (m <sup>3</sup> )	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set3 –set 5	1.78/1.47 (εμμονή 15m)	22.2	-

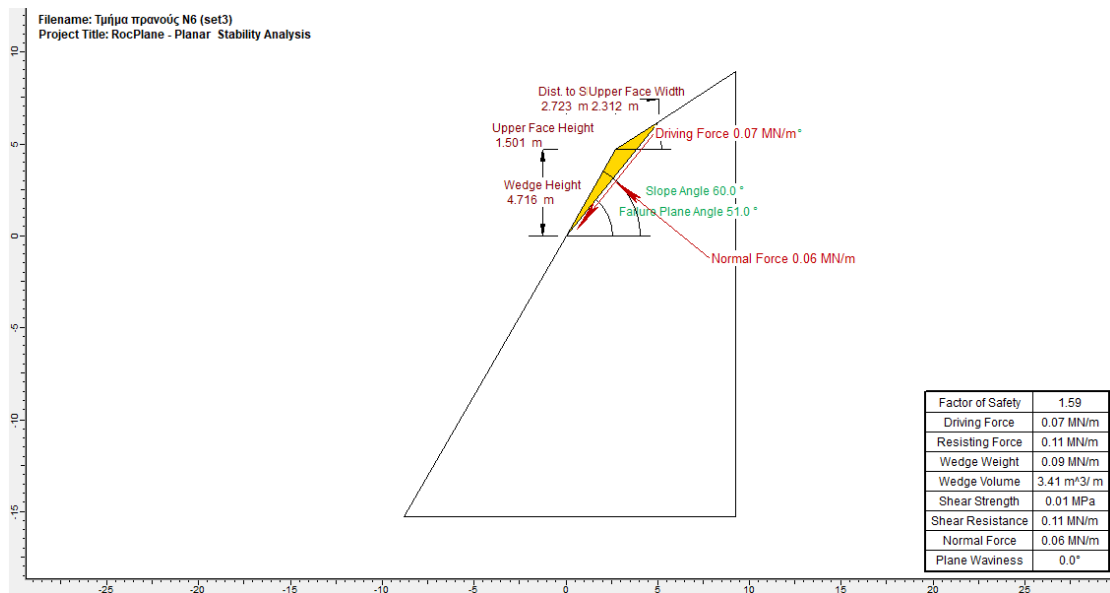
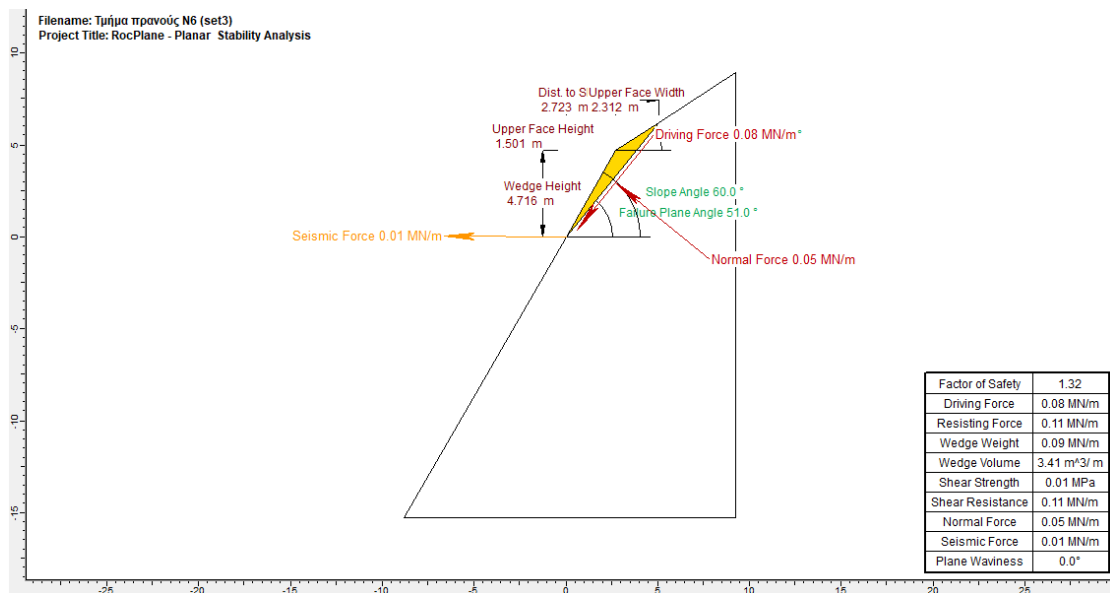


**Εικόνα N6.3:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N6 . Συνδυασμός ασυνχειών set2-set5. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνχειών 15m.



**Πίνακας Ν6.3:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν επίπεδες ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A. < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες - Τμήμα πρανούς Ν6.

Σύστημα ασυνεχειών	Σ.Α. κανονικές συνθήκες	Σ.Α. σεισμικές συνθήκες	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set3	1.59	1.32	-

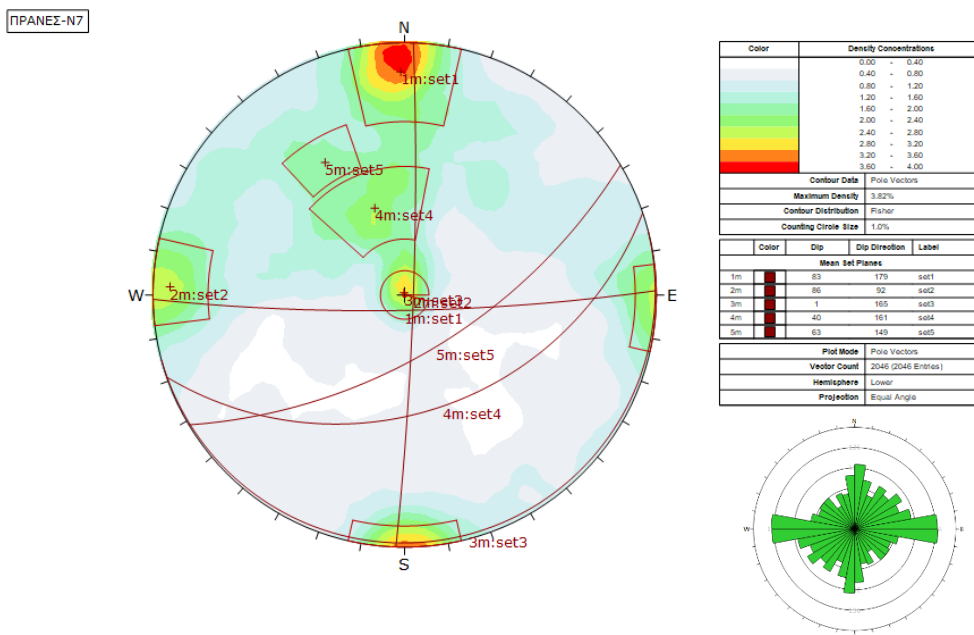


**Εικόνα Ν6.4:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες, για κλίση ασυνέχειας 51° (set3) με αγκύρωση και ύψος τεμάχου ολίσθησης 4.7 m.

Τμήμα πρανούς- N7



Εικόνα N7.1: Τμήμα πρανούς N7.



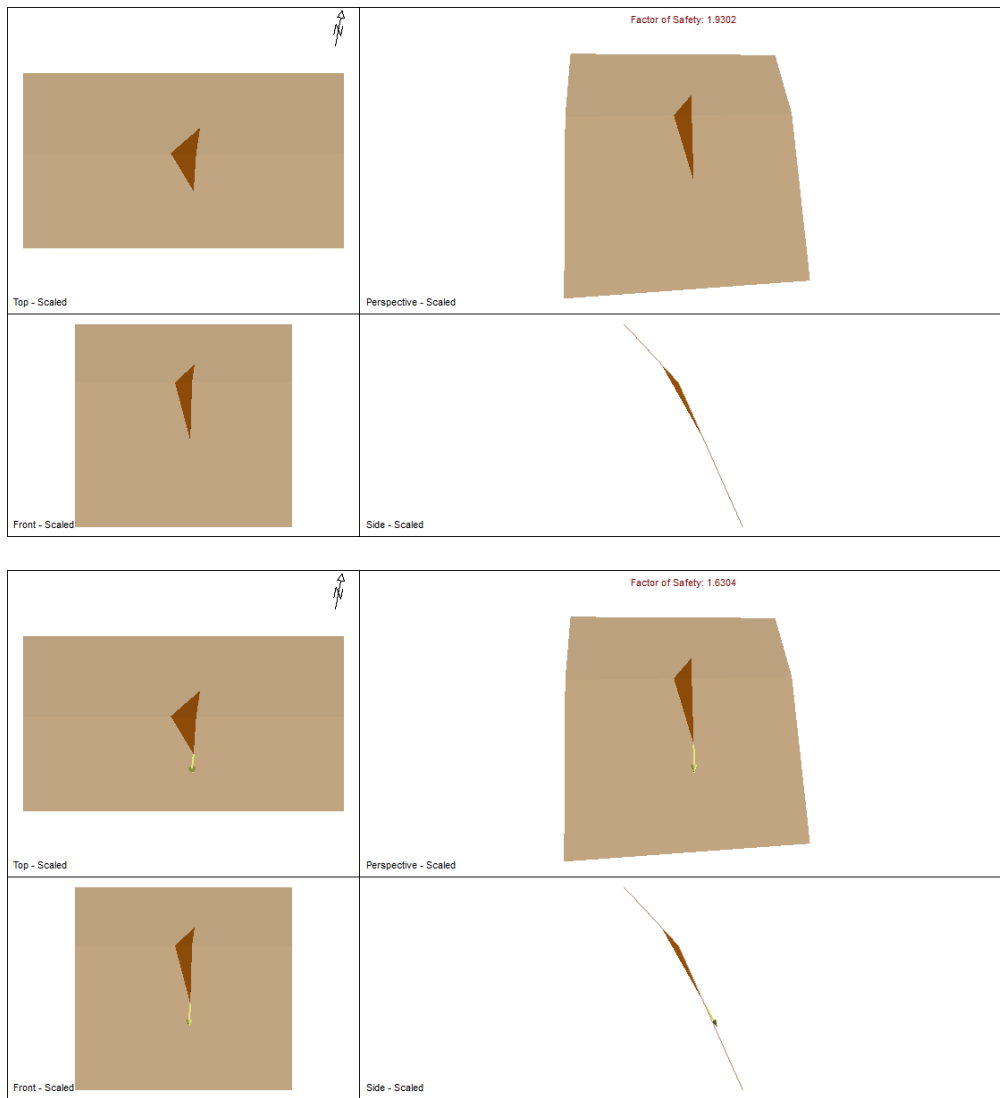
Εικόνα N7.2: Τεκτονικό διάγραμμα συγκέντρωσης των πόλων, εντοπισμός των κύριων συστημάτων ασυνεχειών και ροδόγραμμα διασποράς προσανατολισμού ασυνεχειών βραχομάζας, για το τμήμα N7.

**Πίνακας N7.1:** Κύρια συστήματα ασυνεχειών, με τον προσανατολισμό τους και τις γεωτεχνικές παραμέτρους αντοχής – τμήμα πρανούς N7.

ID	Κλίση-dip (°)	Διεύθυνση κλίσης-dip direction (°)	Συνοχή-c (kPa)	Γωνία τριβής-φ (°)
Set 1	83	179	10	30
Set 2	86	92	10	30
Set 3	1	165	10	30
Set 4	40	161	10	30
Set 5	63	149	10	30

**Πίνακας N7.2:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν σφηνοειδείς ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες- τμήμα πρανούς N7.

Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών	Σ.Α. Κανονικές συνθήκες/ Σ.Α. Σεισμικές συνθήκες	Όγκος (m <sup>3</sup> )	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set2 –set 5	1.93/1.63 (εμμονή 20m)	17.7	-

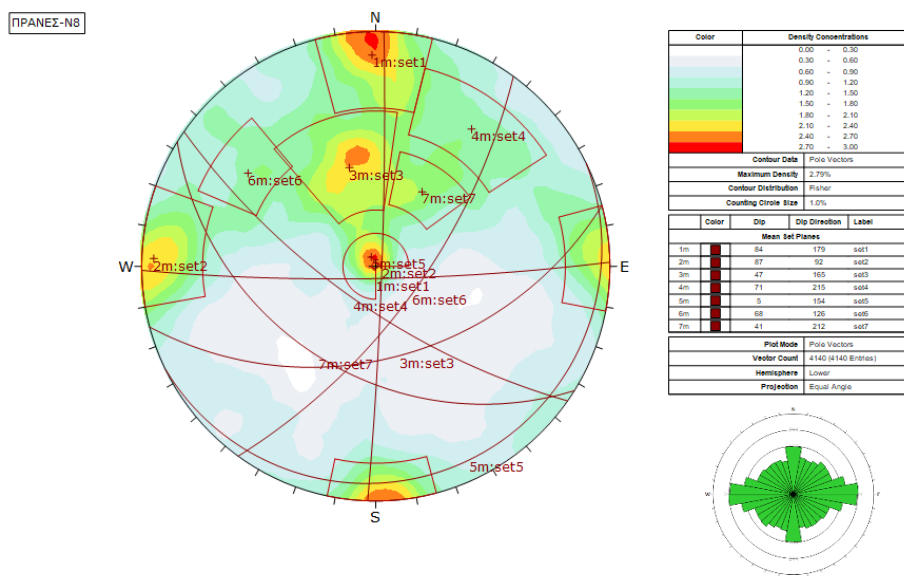


**Εικόνα N7.3:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N7. Συνδυασμός ασυνεχειών set2-set5. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 20m.

Τμήμα πρανούς - N8



Εικόνα N8.1: Τμήμα πρανούς N8.



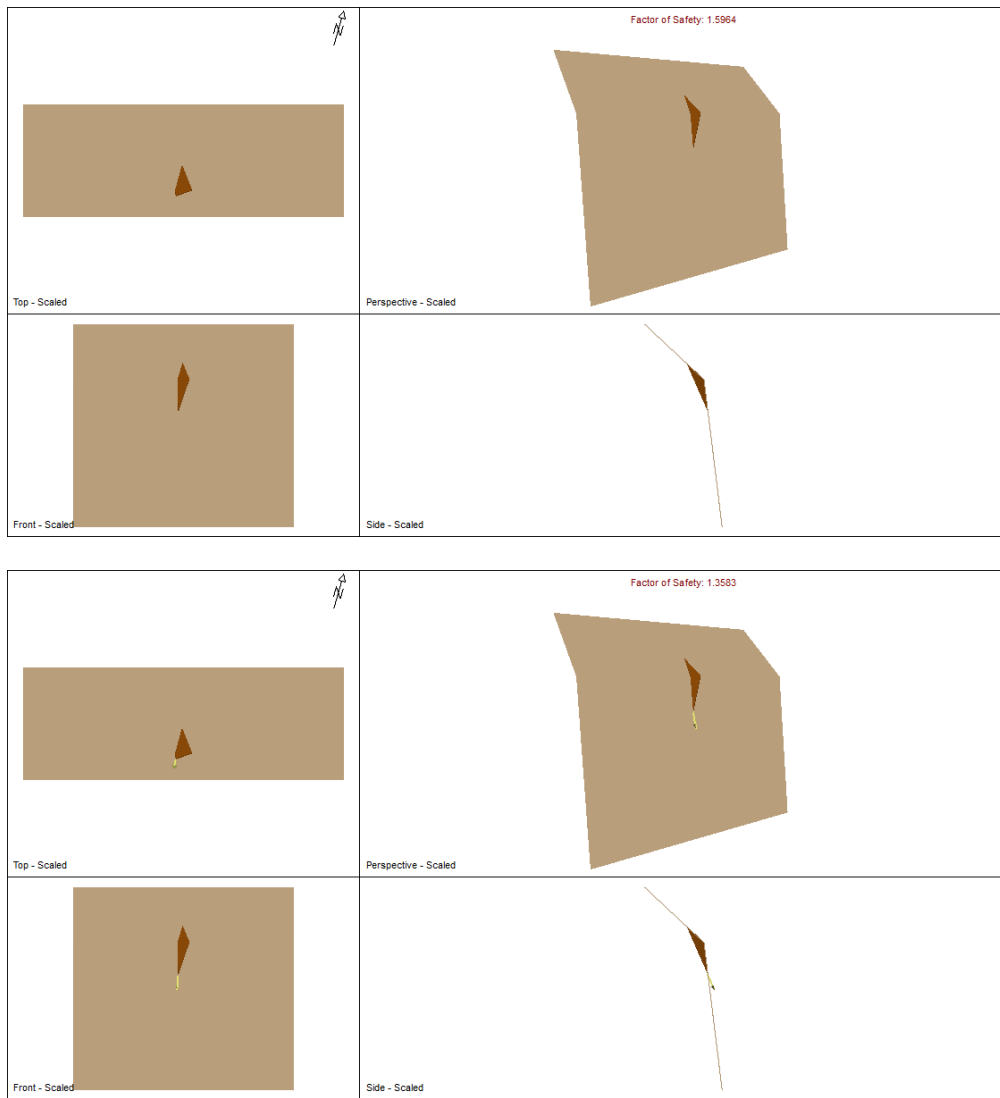
Εικόνα N8.1: Τεκτονικό διάγραμμα συγκέντρωσης των πόλων, εντοπισμός των κύριων συστημάτων ασυνεχειών και ροδόγραμμα διασποράς προσανατολισμού ασυνεχειών βραχομάζας, για το τμήμα N8.

**Πίνακας N8.1:** Κύρια συστήματα ασυνεχειών , με τον προσανατολισμό τους και τις γεωτεχνικές παραμέτρους αντοχής – τμήμα πρανούς N8.

ID	Κλίση- dip (°)	Διεύθυνση κλίσης-dip direction (°)	Συνοχή- c (kPa)	Γωνία τριβής- φ (°)
Set 1	84	179	10	30
Set 2	87	92	10	30
Set 3	47	165	10	30
Set 4	71	215	10	30
Set 5	5	154	10	30
Set 6	68	126	10	30
Set 7	41	212	10	30

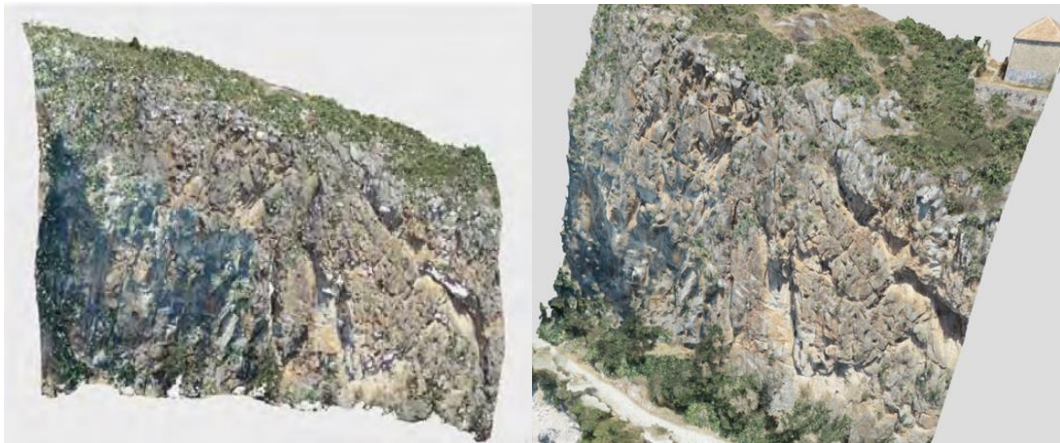
**Πίνακας N8.2:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν σφηνοειδείς ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας (Σ.Α<2) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες- τμήμα πρανούς N8.

Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών	Σ.Α. Κανονικές συνθήκες/ Σ.Α. Σεισμικές συνθήκες	Όγκος (m <sup>3</sup> )	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set 2 – set 4	1.59/1.35 (εμμονή 12m)	21.3	-

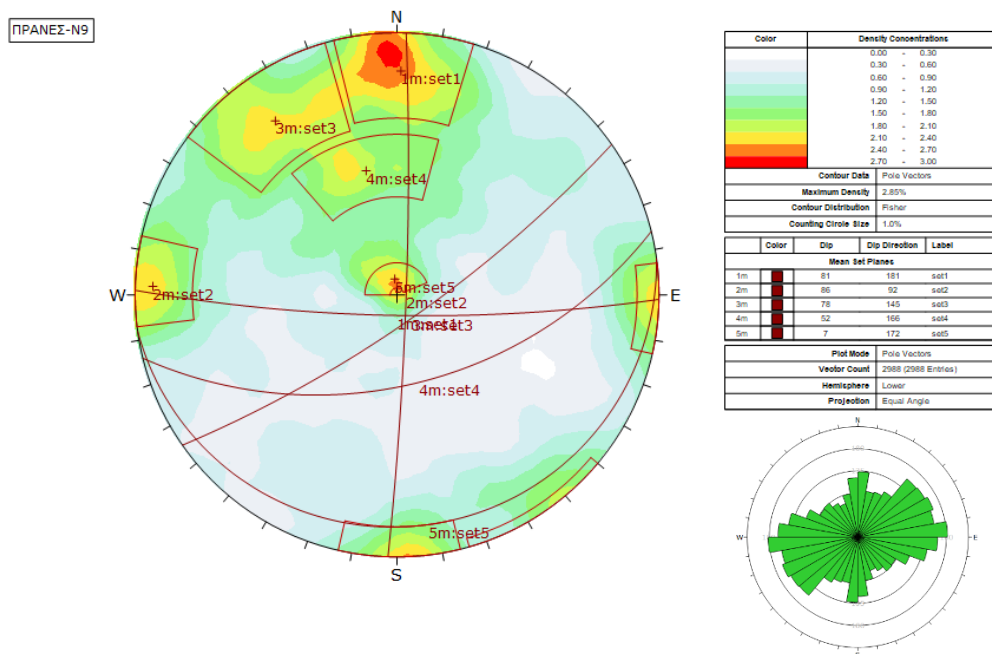


**Εικόνα N8.3:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N8. Συνδυασμός ασυνεχειών set2-set4. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 15m.

Τμήμα πρανούς-N9



Εικόνα N9.1: Τμήμα πρανούς N9.



Εικόνα N9.1: Τεκτονικό διάγραμμα συγκέντρωσης των πόλων, εντοπισμός των κύριων συστημάτων ασυνεχειών και ροδόγραμμα διασποράς προσανατολισμού ασυνεχειών βραχομάζας, για το τμήμα N9.

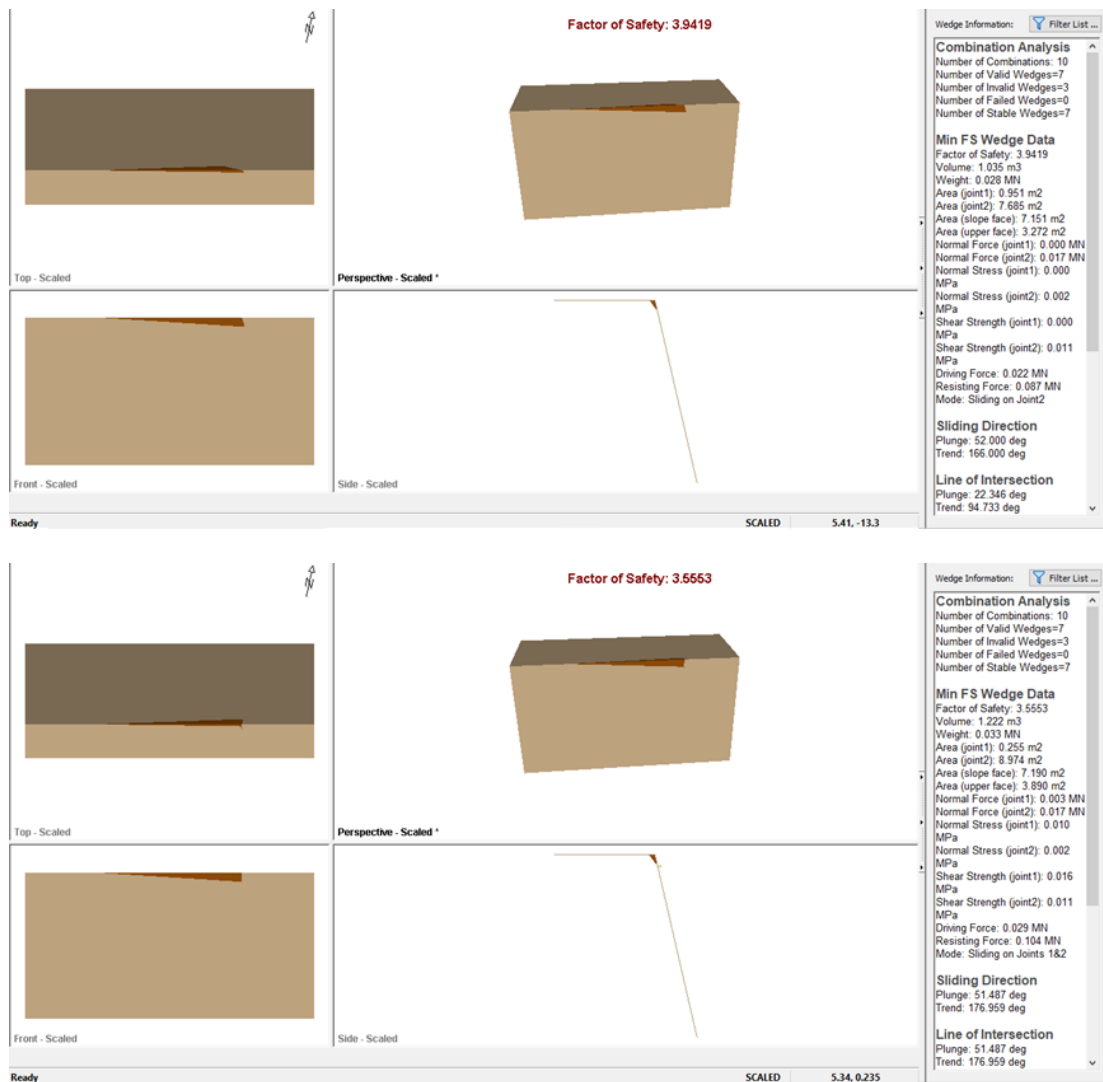


**Πίνακας N9.1:** Κύρια συστήματα ασυνεχειών , με τον προσανατολισμό τους και τις γεωτεχνικές παραμέτρους αντοχής – τμήμα πρανούς N9.

ID	Κλίση- dip (°)	Διεύθυνση κλίσης-dip direction (°)	Συνοχή- c (kPa)	Γωνία τριβής- φ (°)
Set 1	81	181	10	30
Set 2	86	92	10	30
Set 3	78	145	10	30
Set 4	52	166	10	30
Set 5	7	172	10	30

**Πίνακας N9.2:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν σφηνοειδείς ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες- τμήμα πρανούς N9.

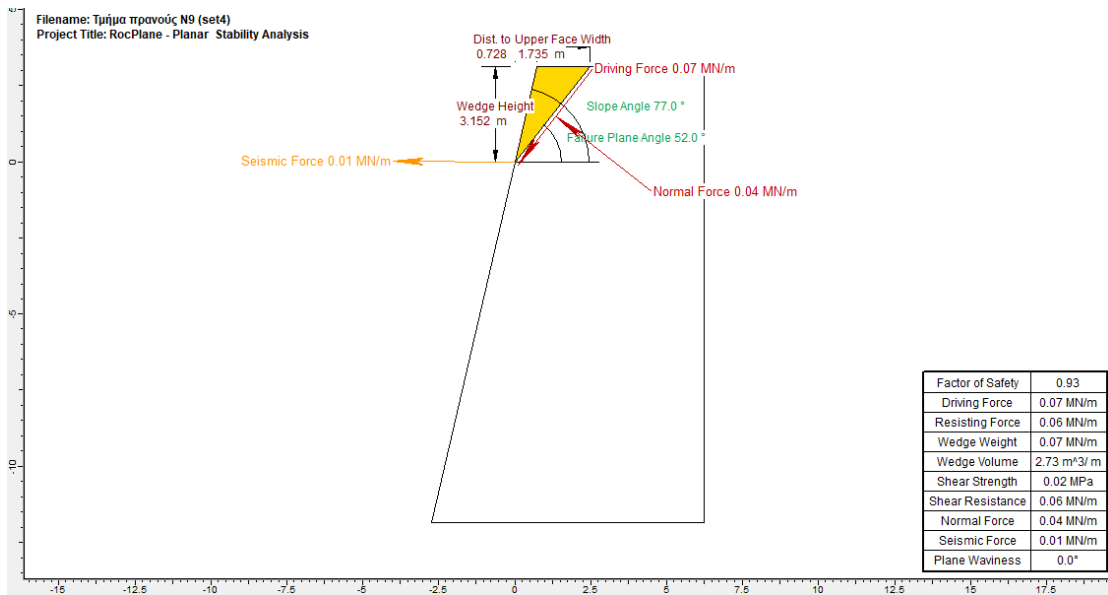
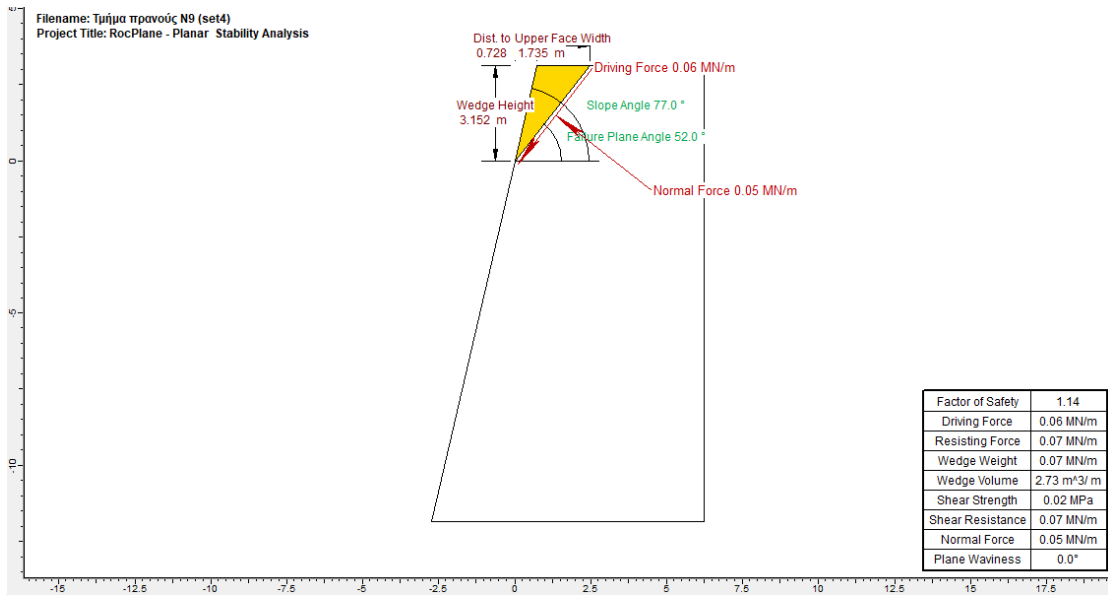
Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών	Σ.Α. Κανονικές συνθήκες/ Σ.Α. Σεισμικές συνθήκες	Όγκος (m <sup>3</sup> )	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
-	-	-	-



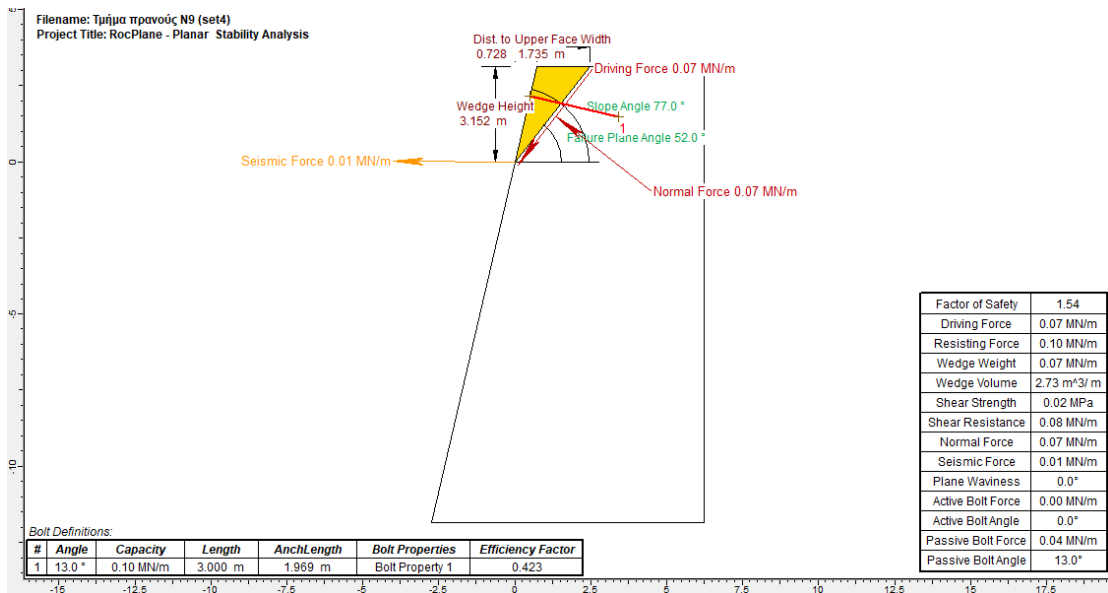
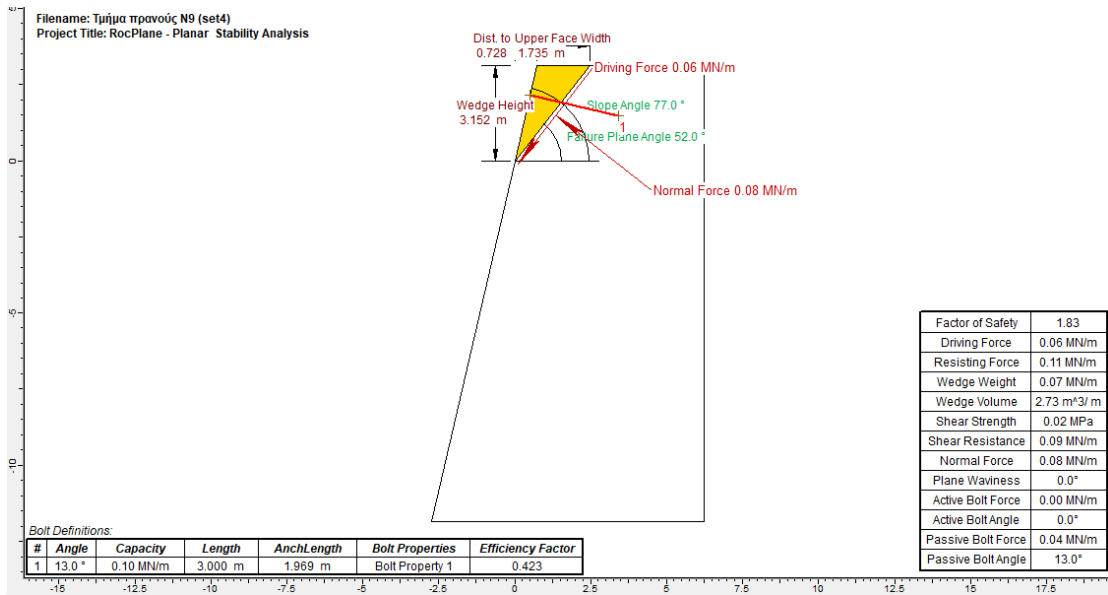
**Εικόνα Ν9.3:** Συνδυαστική ανάλυση (combination analysis), για τον εντοπισμό σφηνοειδών ολισθήσεων στο τμήμα πρανούς Ν9, σε στατικές και σεισμικές συνθήκες με μέγιστη εμμόνη 15m. Οι συντελεστές ασφαλείας σε όλους τους δυνατούς συνδυασμούς είναι αποδεκτοί και έτσι το πρανές δεν κρίνεται επισφαλές σε σφηνοειδείς ολισθήσεις.

**Πίνακας Ν9.3:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνχειών που μπορούν να δώσουν επίπεδες ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A. < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες - Τμήμα πρανούς Ν9.

Σύστημα ασυνχειών	Σ.Α. κανονικές συνθήκες	Σ.Α. σεισμικές συνθήκες	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set4	1.14	0.93	1.83/1.54

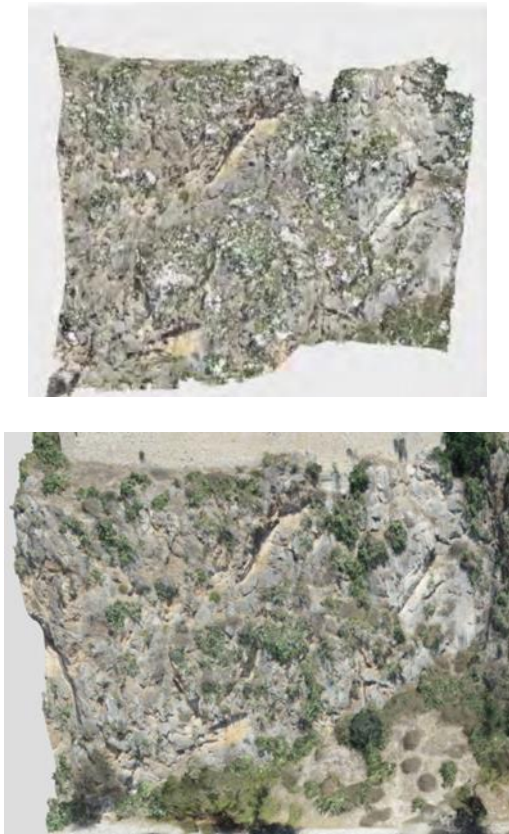


**Εικόνα N9.4:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες, για κλίση ασυνέχειας 52° (set4) και ύψος τεμάχου ολίσθησης 3.1 m.



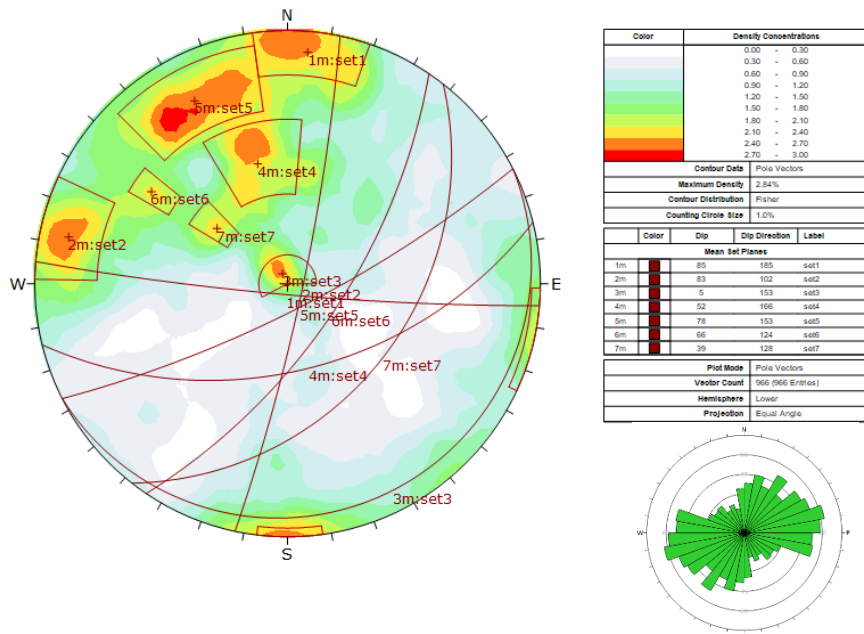
**Εικόνα N9.5:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες, για κλίση ασυνέχειας 52° (set4) με αγκύρωση και ύψος τεμάχου ολίσθησης 3.1 m.

Τμήμα πρανούς-N10



Εικόνα N10.1: Τμήμα πρανούς N10.

ΠΑΝΕΞ-N10



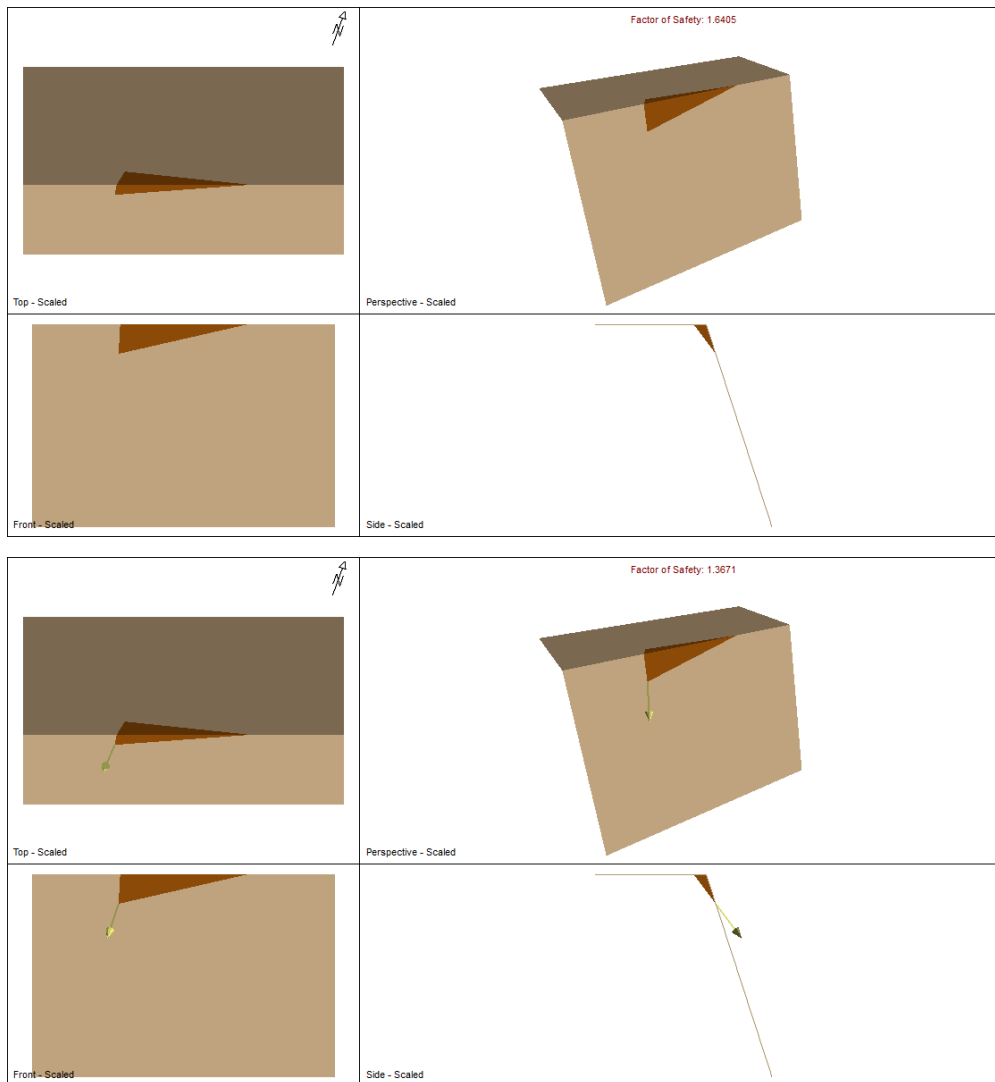
Εικόνα N10.1: Τεκτονικό διάγραμμα συγκέντρωσης των πόλων, εντοπισμός των κύριων συστημάτων ασυνεχιών και ροδόγραμμα διασποράς προσανατολισμού ασυνεχιών βραχομάζας, για το τμήμα N10.

**Πίνακας N10.2:** Κύρια συστήματα ασυνεχειών, με τον προσανατολισμό τους και τις γεωτεχνικές παραμέτρους αντοχής – τμήμα πρανούς N10.

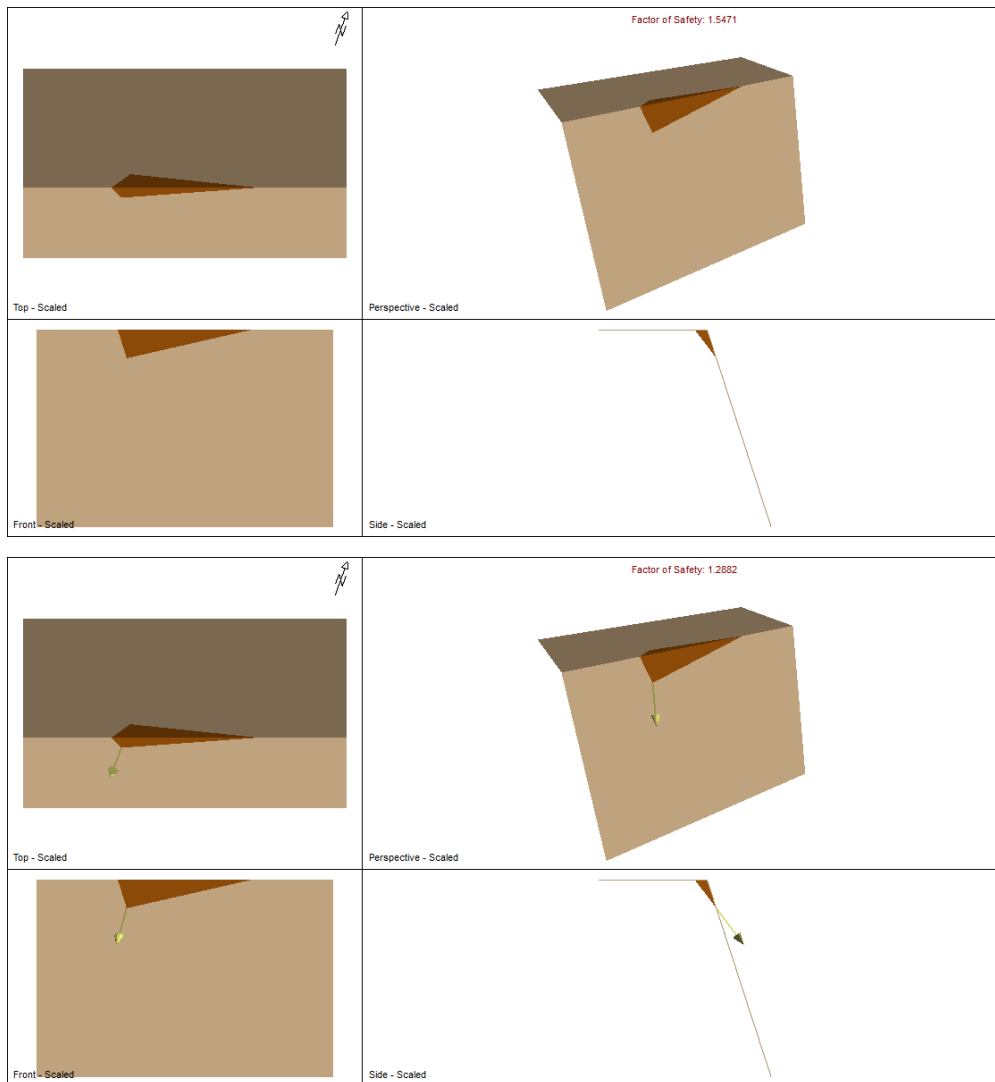
ID	Κλίση-dip (°)	Διεύθυνση κλίσης-dip direction (°)	Συνοχή-c (kPa)	Γωνία τριβής-φ (°)
Set 1	85	185	10	30
Set 2	83	102	10	30
Set 3	5	153	10	30
Set 4	52	166	10	30
Set 5	78	153	10	30
Set 6	66	124	10	30
Set 7	39	128	10	30

**Πίνακας N10.3:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν σφηνοειδείς ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες- τμήμα πρανούς N10, με κλίση πρανούς 72° .

Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών	Σ.Α. Κανονικές συνθήκες/ Σ.Α. Σεισμικές συνθήκες	Όγκος (m <sup>3</sup> )	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set 2- Set 4	1.64/1.36 (εμμονή 15m)	11.3	-
Set 4- Set 6	1.54/1.28 (εμμονή 15m)	12.4	-
Set 4- Set 7	1.01/0.81 (εμμονή 15m)	12.8	1.73/1.37 (1 αγκύριο, L=4m)

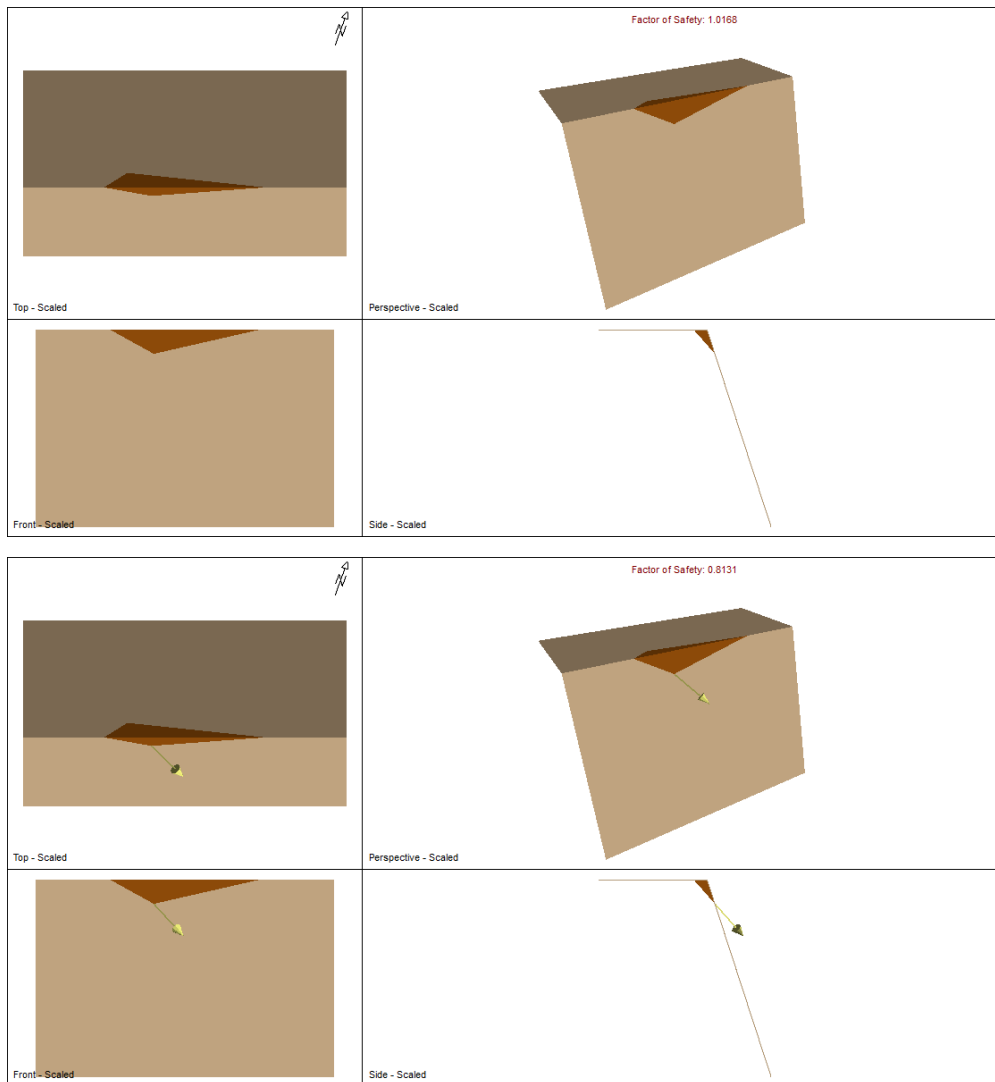


**Εικόνα N10.3:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N10. Συνδυασμός ασυνεχειών set2-set4. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 15m.

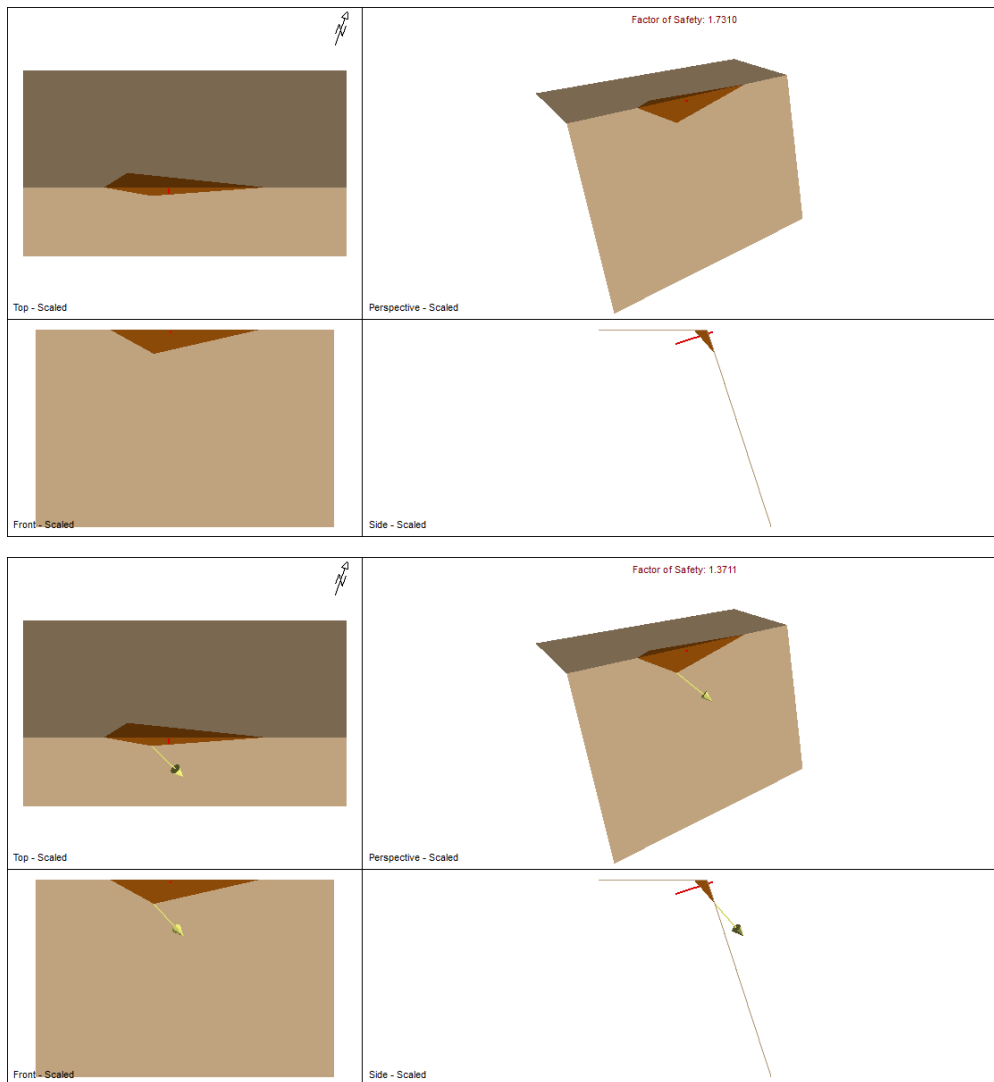


**Εικόνα N10.4:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N10. Συνδυασμός ασυνεχειών set4-set6. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 15m.





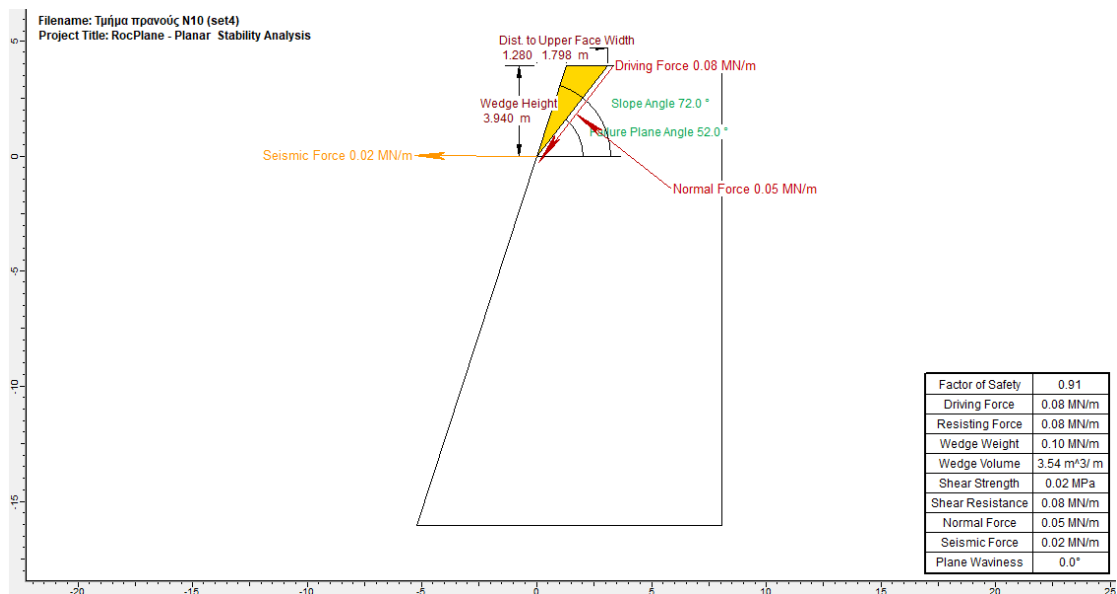
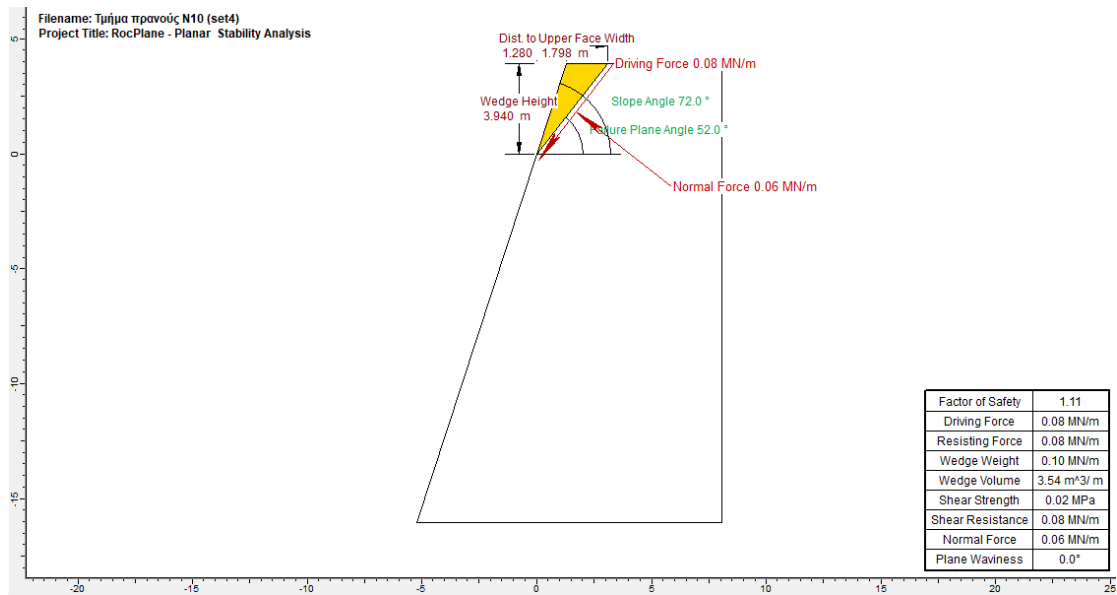
**Εικόνα N10.5:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N10. Συνδυασμός ασυνεχειών set4-set7. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 15m.



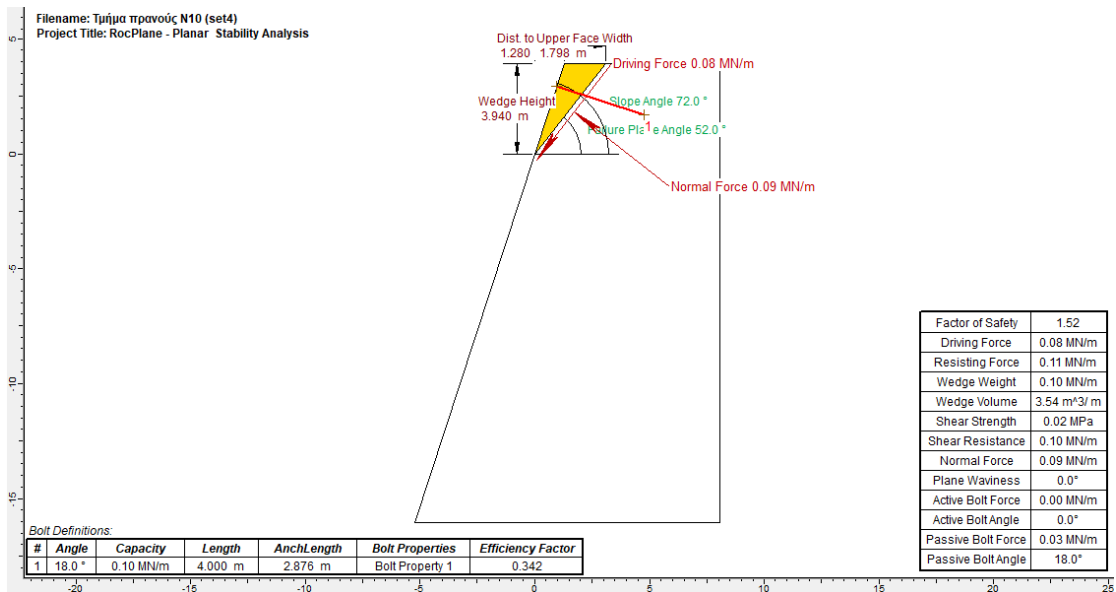
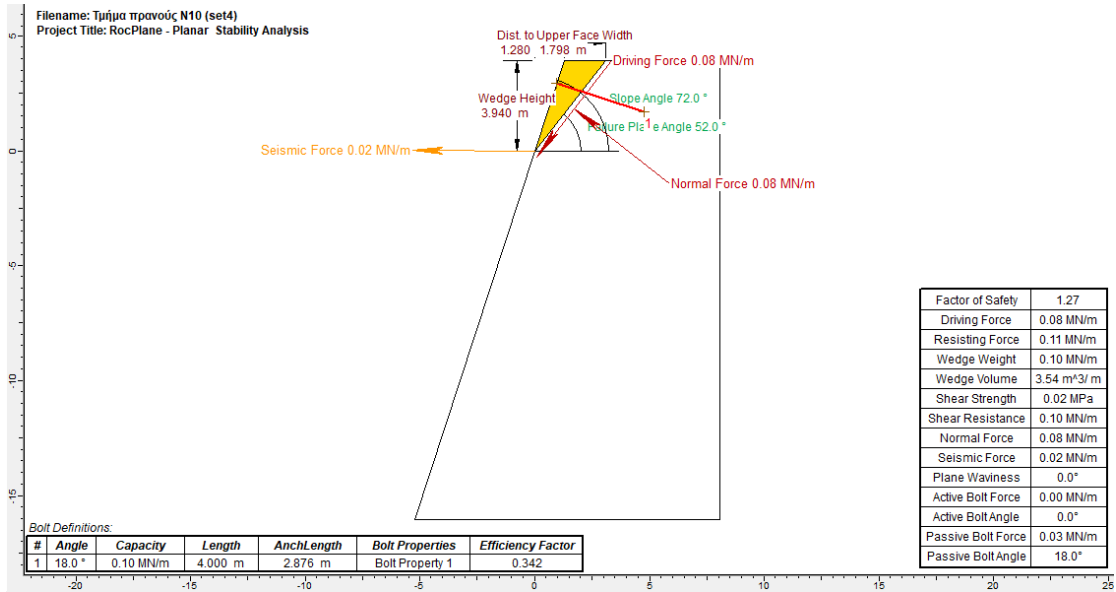
**Εικόνα N10.6:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N10. Συνδυασμός ασυνεχειών set4-set7, με αγκύρωση (1 αγκύριο L=4m). Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 15m.

**Πίνακας N10.3:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν επίπεδες ολισθήσεις στο πρηνές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A. < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες - Τμήμα πρηνούς N10.

Σύστημα ασυνεχειών	Σ.Α. κανονικές συνθήκες	Σ.Α. σεισμικές συνθήκες	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set4	1.11	0.91	1.52/1.27



**Εικόνα N10.7:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες, για κλίση ασυνέχειας 52° (set4) και ύψος τεμάχου ολίσθησης 3.9 m.

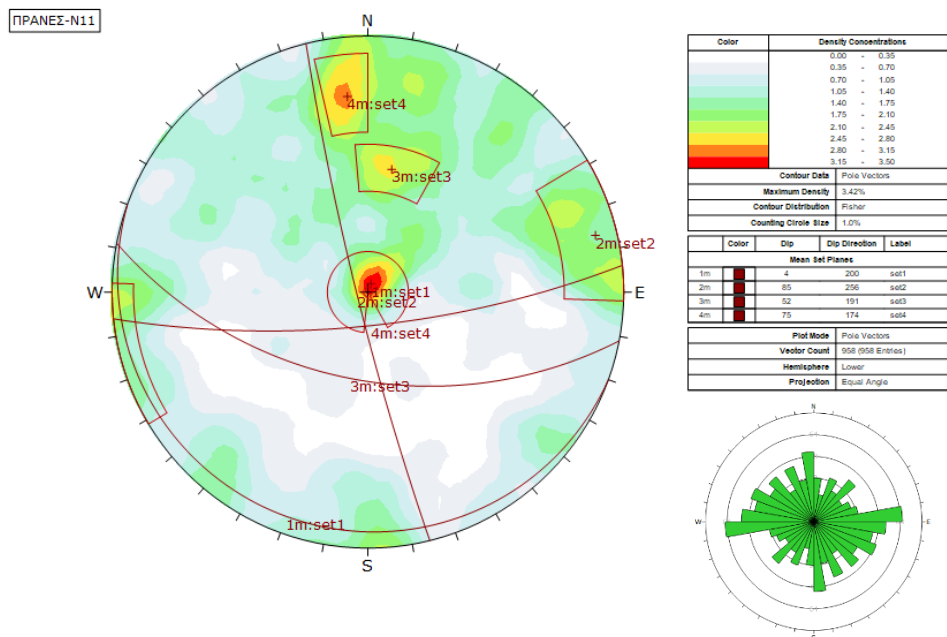


**Εικόνα N10.8:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες, για κλίση ασυνέχειας 52° (set4) με αγκύρωση και ύψος τεμάχου ολίσθησης 3.9 m.

Τμήμα πρανούς-N11



Εικόνα N11.1: Τμήμα πρανούς N11.



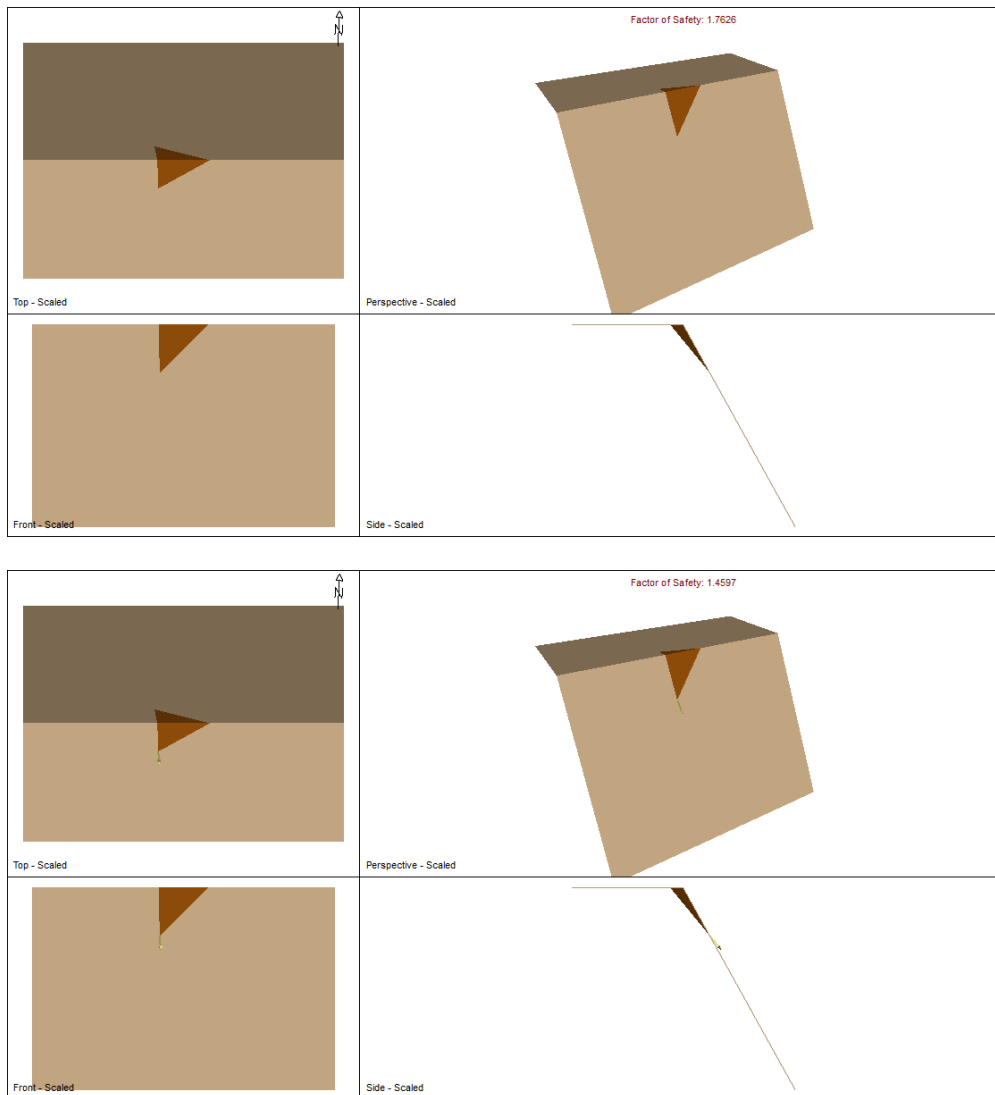
Εικόνα N11.1: Τεκτονικό διάγραμμα συγκέντρωσης των πόλων, εντοπισμός των κύριων συστημάτων ασυνεχειών και ροδόγραμμα διασποράς προσανατολισμού ασυνεχειών βραχομάζας, για το τμήμα N11.

**Πίνακας N11.1:** Κύρια συστήματα ασυνεχειών, με τον προσανατολισμό τους και τις γεωτεχνικές παραμέτρους αντοχής – τμήμα πρανούς N11.

ID	Κλίση- dip (°)	Διεύθυνση κλίσης-dip direction (°)	Συνοχή- c (kPa)	Γωνία τριβής- φ (°)
Set 1	4	200	10	30
Set 2	85	256	10	30
Set 3	52	191	10	30
Set 4	75	174	10	30

**Πίνακας N11.2:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν σφηνοειδείς ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες- τμήμα πρανούς N11.

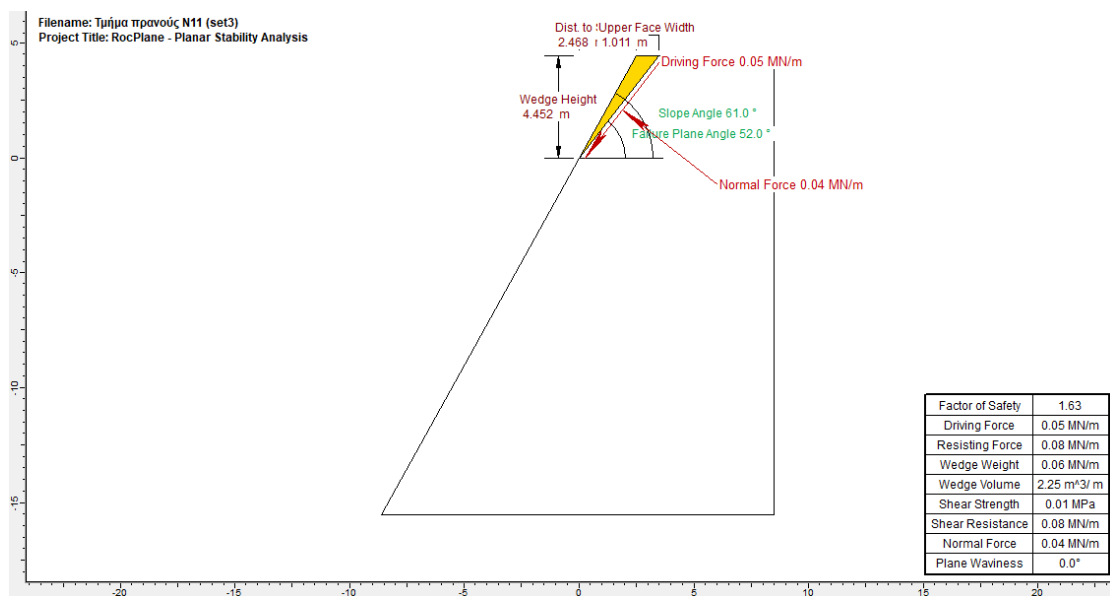
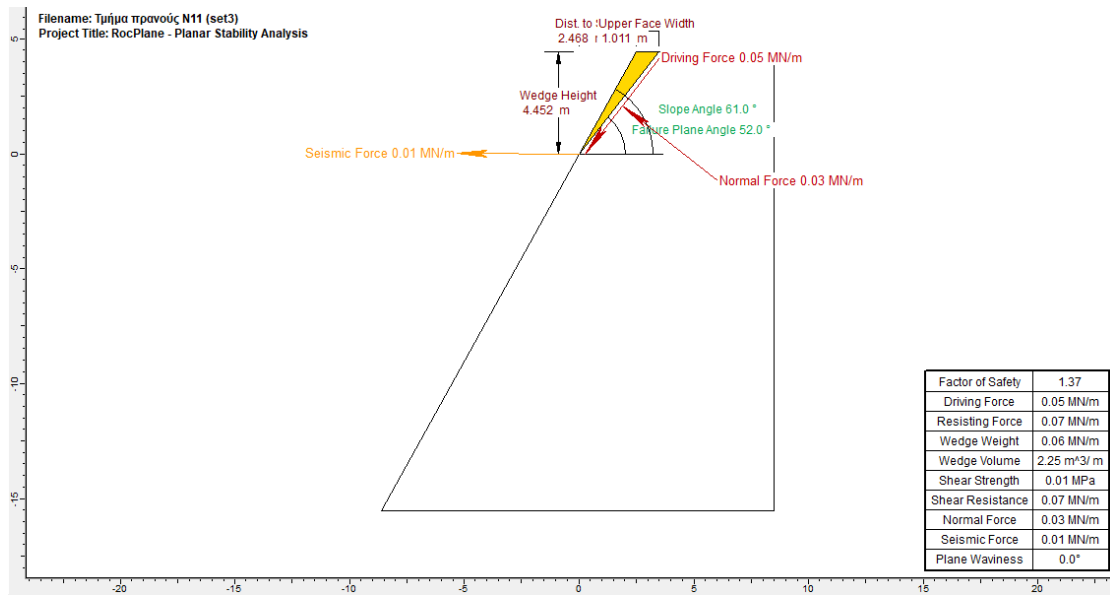
Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών	Σ.Α. Κανονικές συνθήκες/ Σ.Α. Σεισμικές συνθήκες	Όγκος (m <sup>3</sup> )	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set 2- Set 3	1.76/1.45 (εμμονή 12m)	22.4	-



**Εικόνα N11.3:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφρηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N11. Συνδυασμός ασυνεχειών set2-set3. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 12m.

**Πίνακας N11.3:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν επίπεδες ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A. < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες - Τμήμα πρανούς N11.

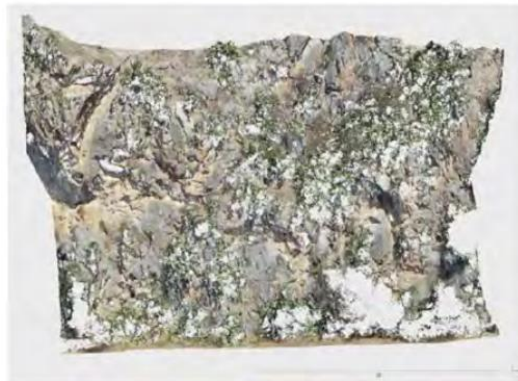
Σύστημα ασυνεχειών	Σ.Α. κανονικές συνθήκες	Σ.Α. σεισμικές συνθήκες	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set3	1.63	1.37	-



**Εικόνα N11.4:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες, για κλίση ασυνέχειας 52° (set3) και ύψος τεμάχου ολίσθησης 4.4 m.

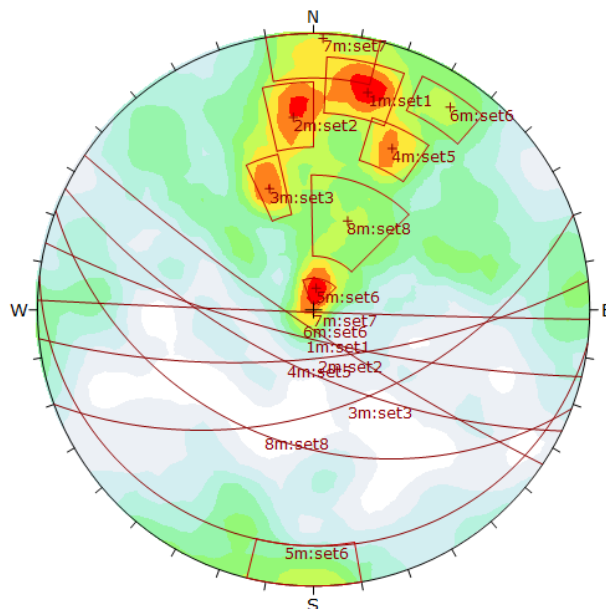


Τμήμα πρανούς-N12



Εικόνα N12.1: Τμήμα πρανούς N12.

ΠΡΑΝΕΣ-N12



Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.30
	0.30 - 0.60
	0.60 - 0.90
	0.90 - 1.20
	1.20 - 1.50
	1.50 - 1.80
	1.80 - 2.10
	2.10 - 2.40
	2.40 - 2.70
	2.70 - 3.00

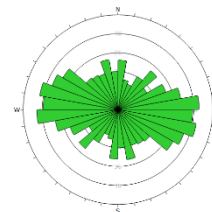
Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	2.97%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Color	Dip	Dip Direction	Label
	Mean set Planes		
1m	78	194	set1
2m	70	174	set2
3m	50	160	set3
4m	66	206	set5
5m	9	187	set6
6m	83	214	set8
7m	89	182	set7
8m	38	201	set8

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	826 (826 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle



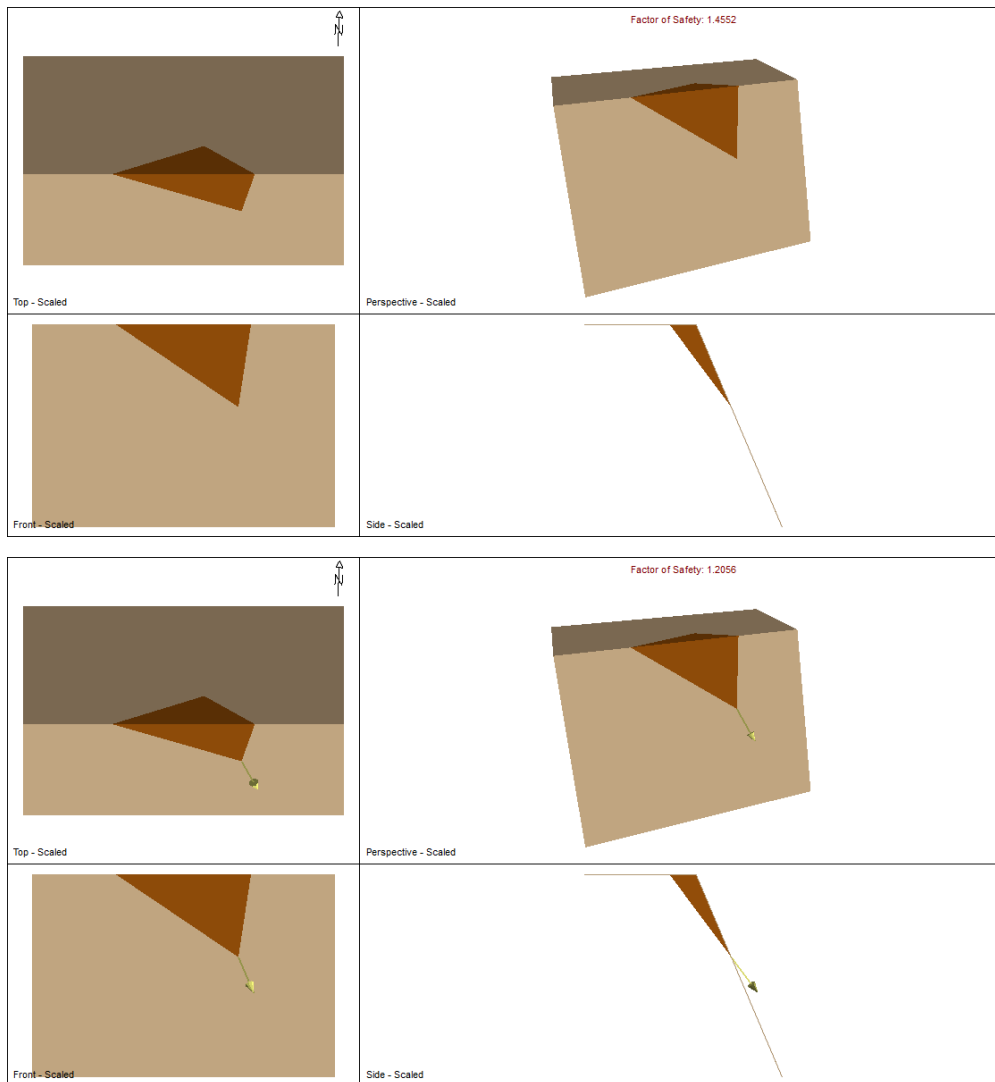
Εικόνα N12.2: Τεκτονικό διάγραμμα συγκέντρωσης των πόλων, εντοπισμός των κύριων συστημάτων ασυνεχιών και ροδόγραμμα διασποράς προσανατολισμού ασυνεχιών βραχομάζας, για το τμήμα N12.

**Πίνακας N12.1:** Κύρια συστήματα ασυνεχειών, με τον προσανατολισμό τους και τις γεωτεχνικές παραμέτρους αντοχής – τμήμα πρανούς N12.

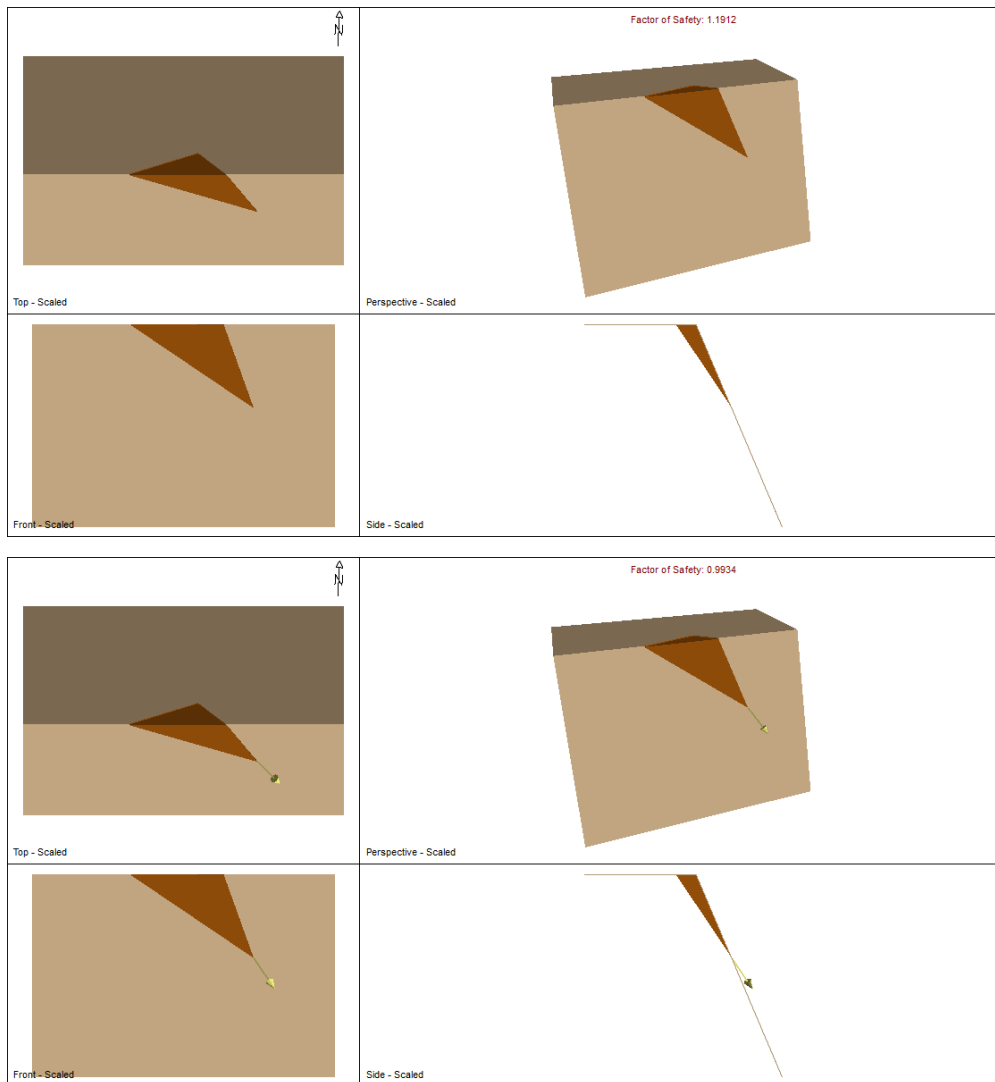
ID	Κλίση- <i>dip</i> (°)	Διεύθυνση κλίσης- <i>dip</i> <i>direction</i> (°)	Συνοχή- <i>c</i> (kPa)	Γωνία τριβής- $\phi$ (°)
Set 1	78	194	10	30
Set 2	70	174	10	30
Set 3	50	160	10	30
Set 4	66	206	10	30
Set 5	9	187	10	30
Set 6	83	214	10	30
Set 7	89	182	10	30
Set 8	38	201	10	30

**Πίνακας N12.2:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν σφηνοειδείς ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες- τμήμα πρανούς N12.

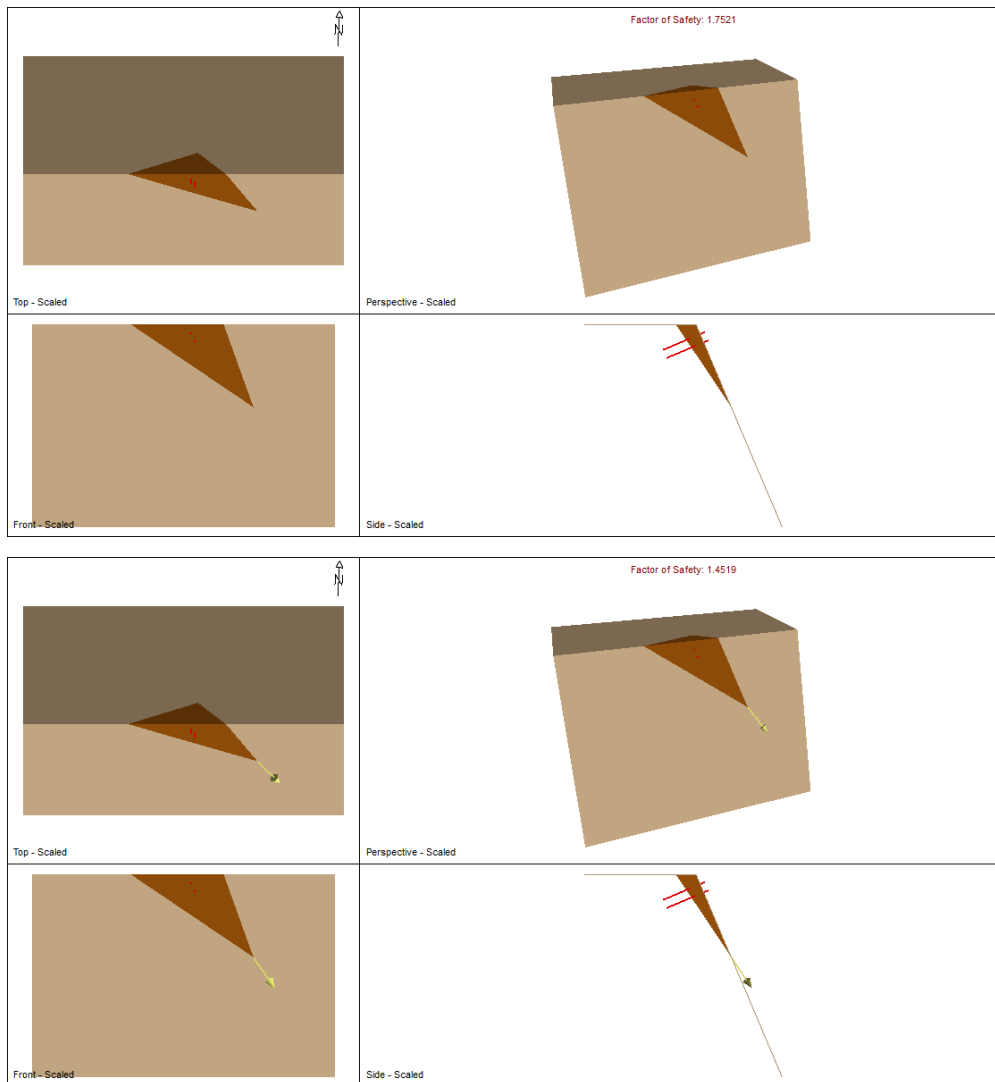
Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών	Σ.Α. Κανονικές συνθήκες/ Σ.Α. Σεισμικές συνθήκες	Όγκος (m <sup>3</sup> )	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set 3- Set 4	1.45/1.2 ( <i>c</i> =20kPa, εμμονή 15m)	47.7	-
Set 3- Set 6	1.19/0.99 (εμμονή 15m)	24.8	1.75/1.45 (2 αγκύρια, L=4m)
Set 3- Set 8	1.21/0.96 (εμμονή 10m)	27.8	1.6/1.2 (1 αγκύριο, L=4m)



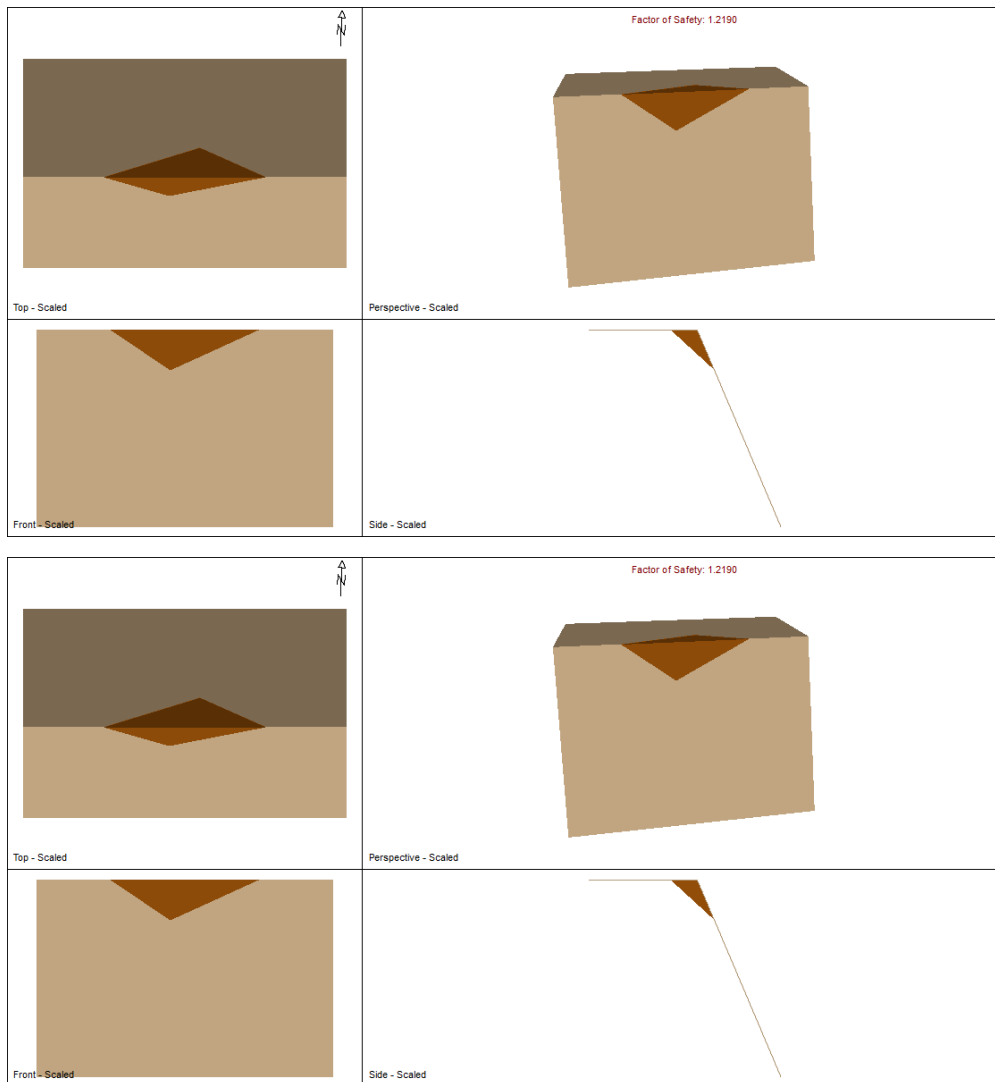
**Εικόνα N12.3:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N12. Συνδυασμός ασυνεχειών set3-set4. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 15m.



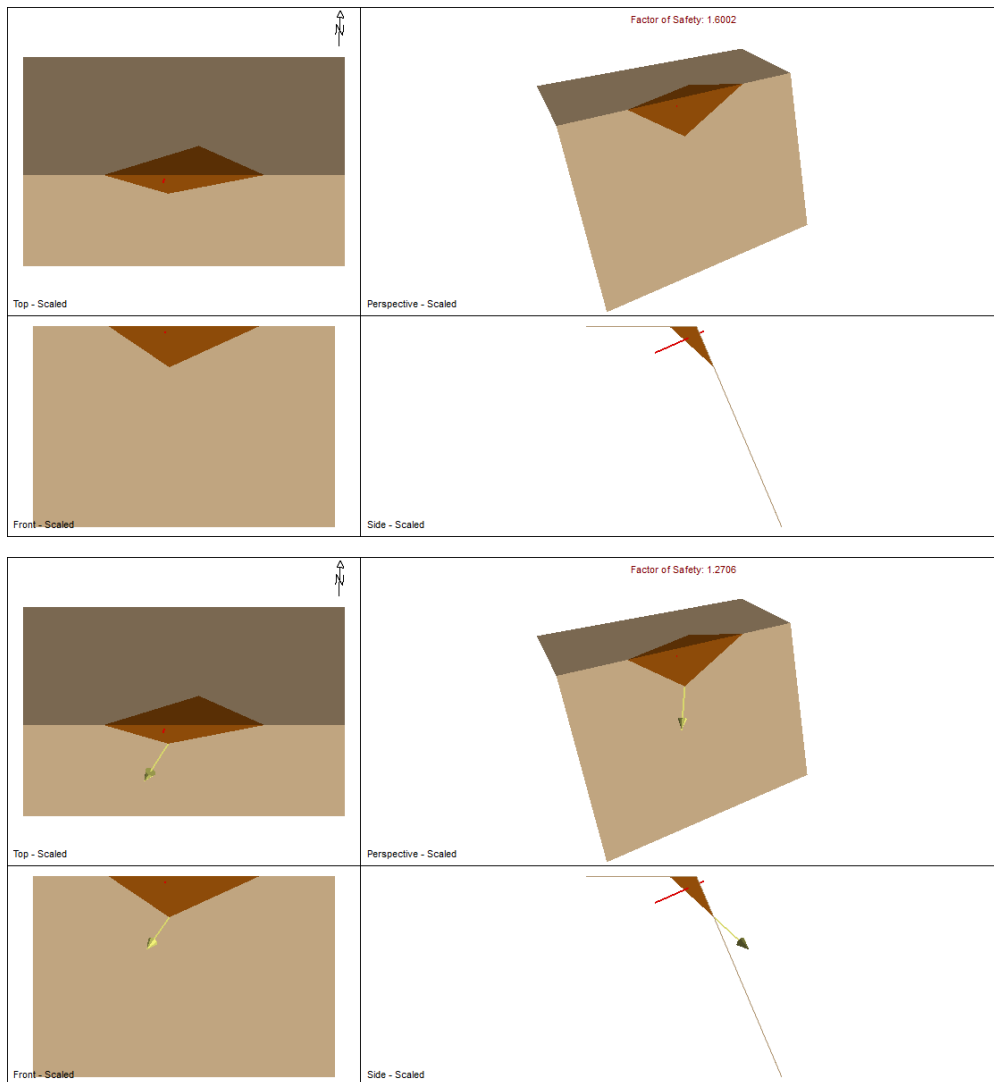
**Εικόνα N12.4:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N12. Συνδυασμός ασυνεχειών set3-set6. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 15m



**Εικόνα N12.5:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N12. Συνδυασμός ασυνεχειών set3-set6, με αγκύρωση (2 αγκύρια,  $L=4m$ ). Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 15m.



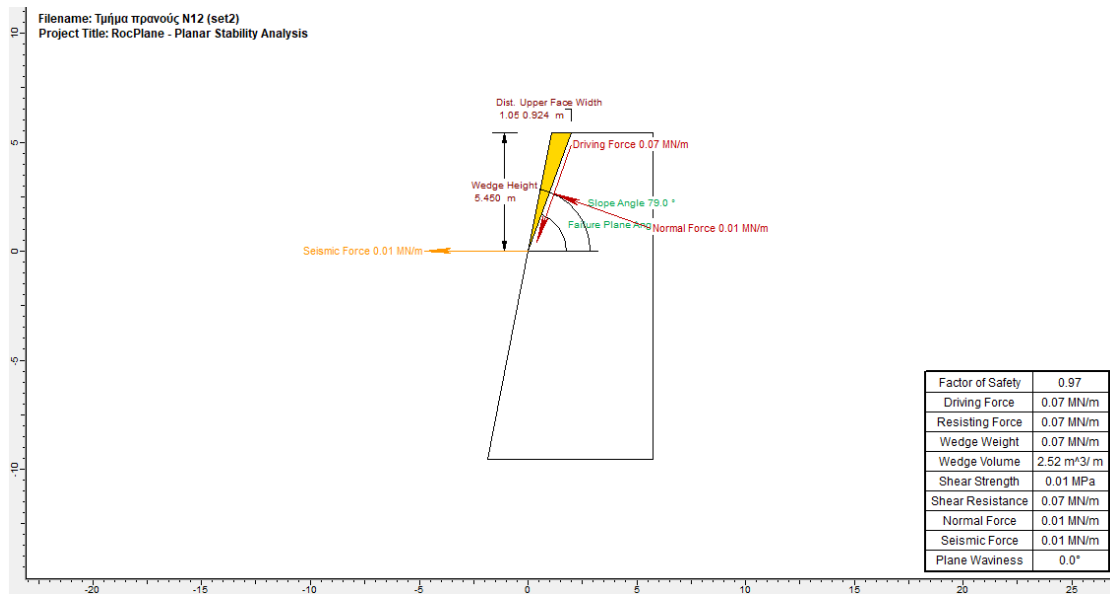
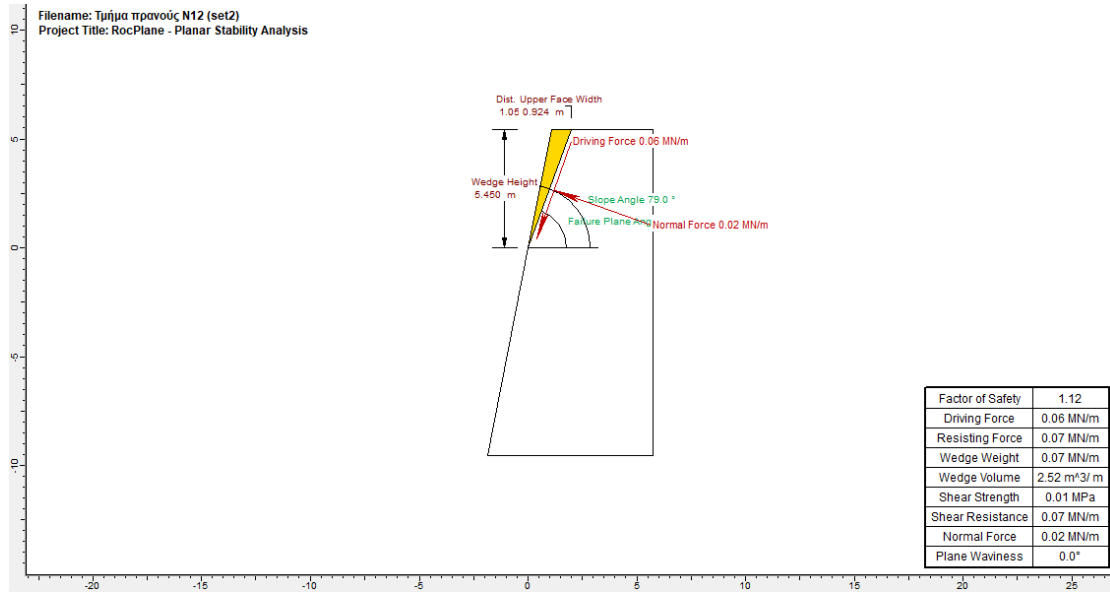
**Εικόνα N12.6:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N12. Συνδυασμός ασυνεχειών set3-set8. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 10m.



**Εικόνα N12.7:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης για το τμήμα N12. Συνδυασμός ασυνεχειών set3-set8, με αγκύρωση (1 αγκύριο,  $L=4m$ ). Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 10m.

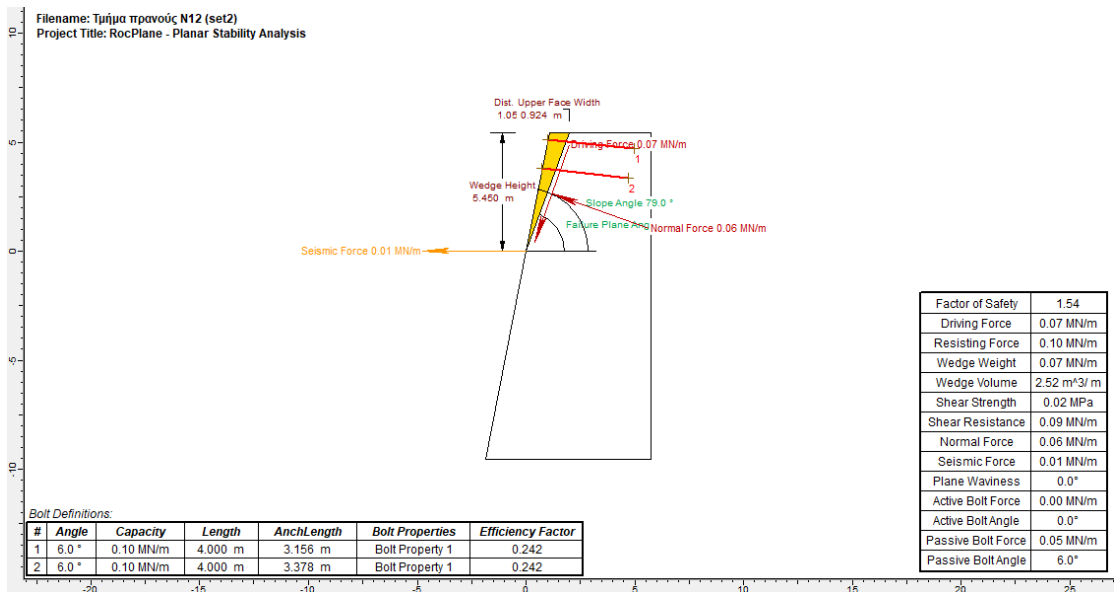
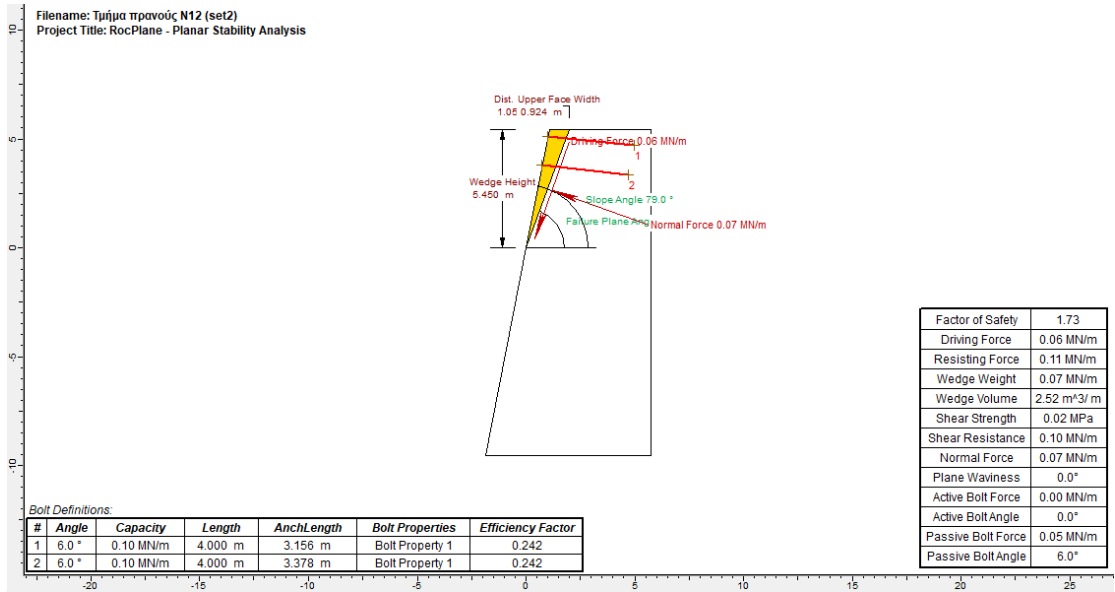
**Πίνακας N12.3:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν επίπεδες ολισθήσεις στο πρηνές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A.<2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες - Τμήμα πρηνούς N12.

Σύστημα ασυνεχειών	Σ.Α. κανονικές συνθήκες	Σ.Α. σεισμικές συνθήκες	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set2	1.12	0.97	1.73/1.54
Set3	1.14	0.92	1.86/1.55

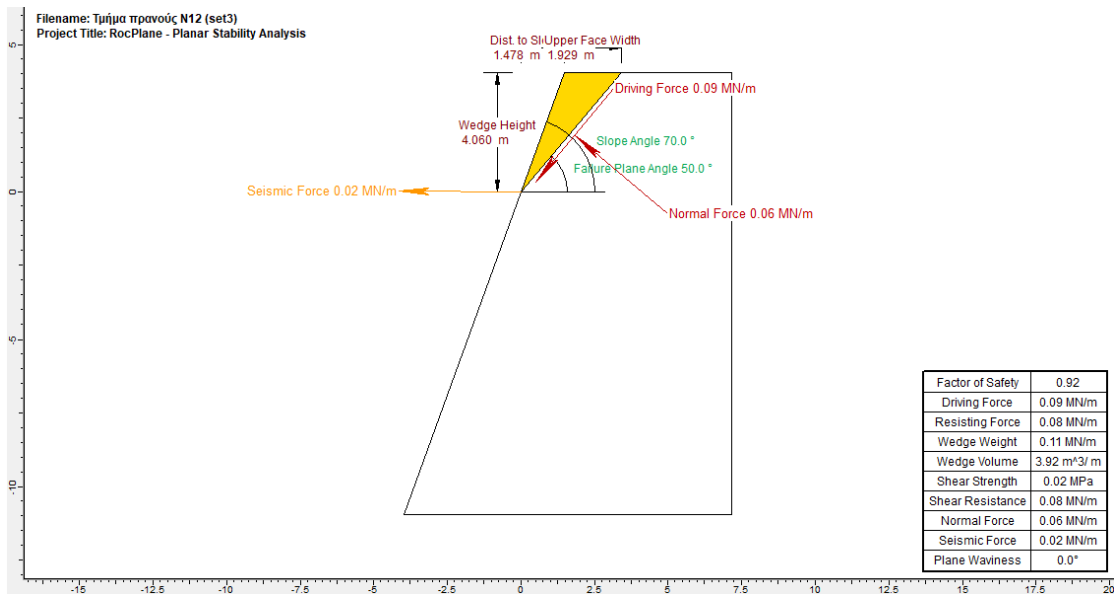
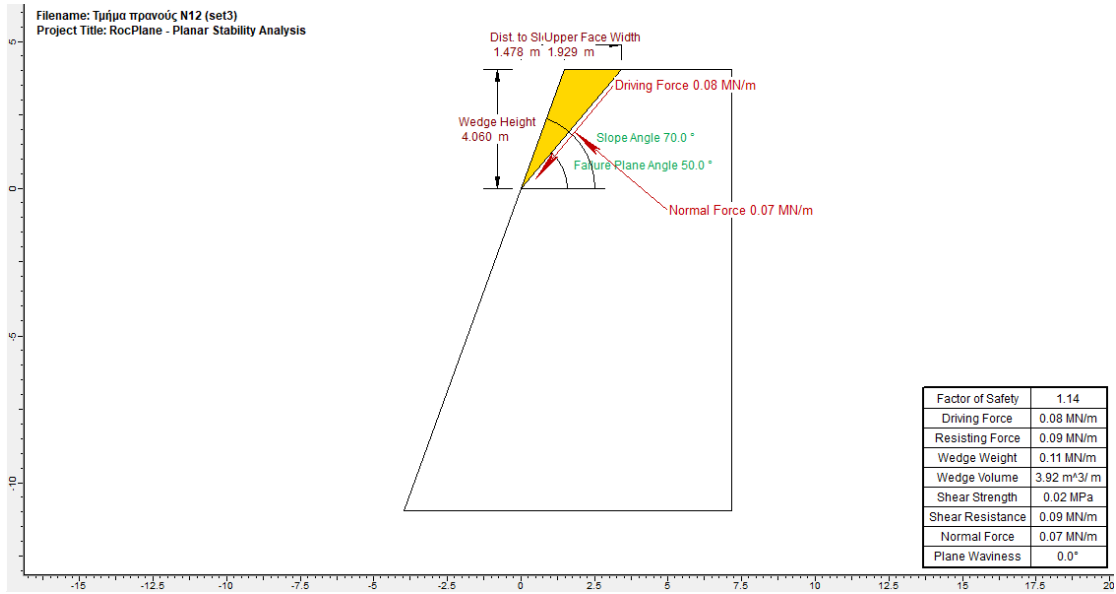


**Εικόνα N12.17:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες, για κλίση ασυνέχειας 70° (set2) και ύψος τεμάχου ολίσθησης 5.4 m.

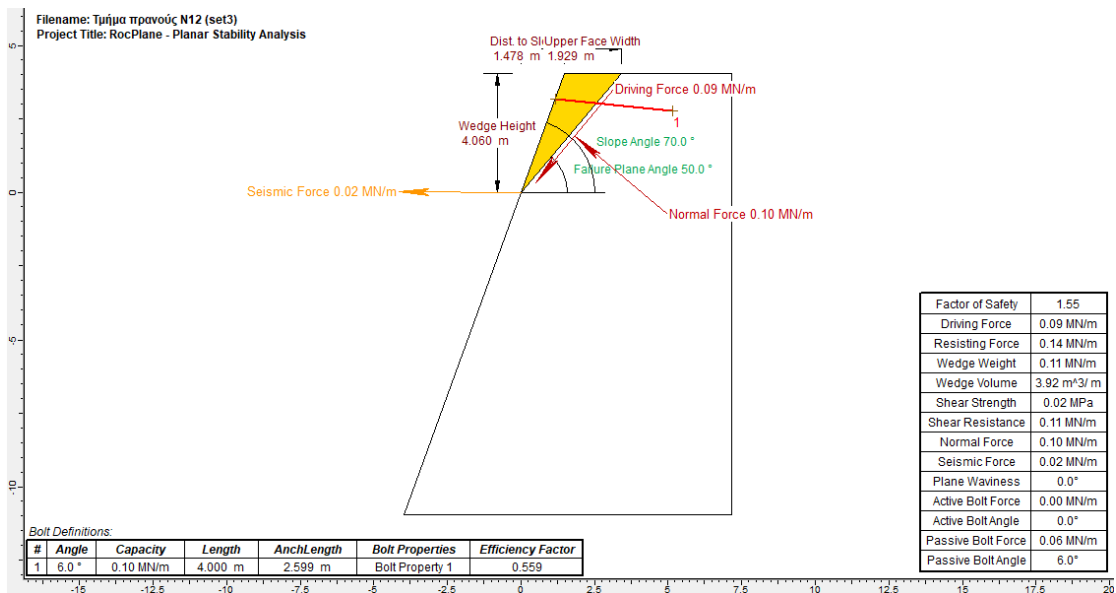
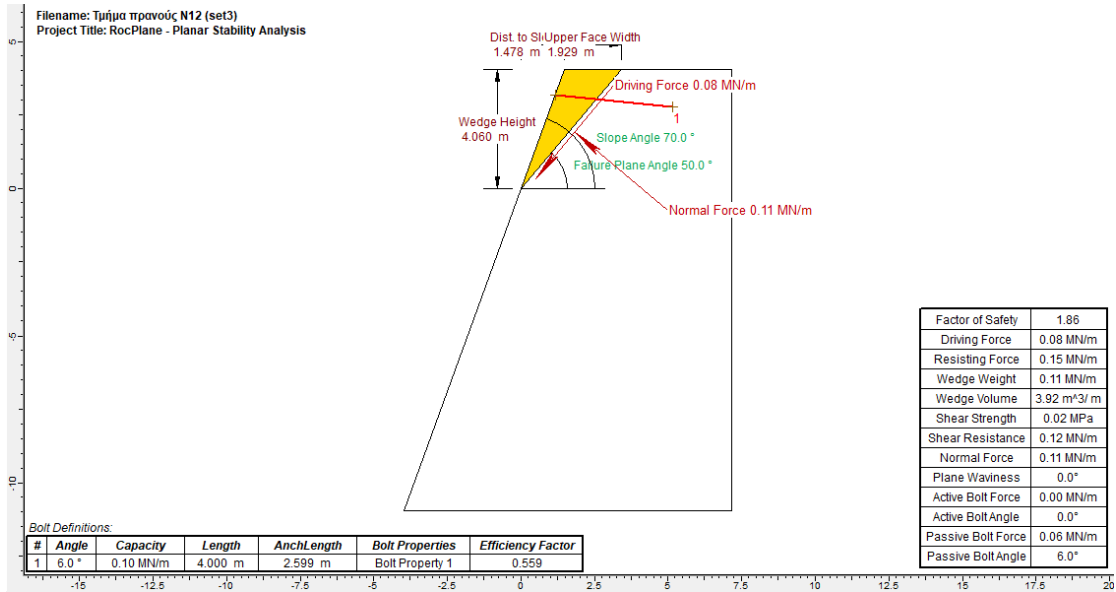




**Εικόνα N12.18:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες, για κλίση ασυνέχειας 70° (set2) με αγκύρωση και ύψος τεμάχους ολίσθησης 5.4 m.



**Εικόνα N12.19:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες, για κλίση ασυνέχειας 50° (set3) με αγκύρωση και ύψος τεμάχους ολίσθησης 4 m.

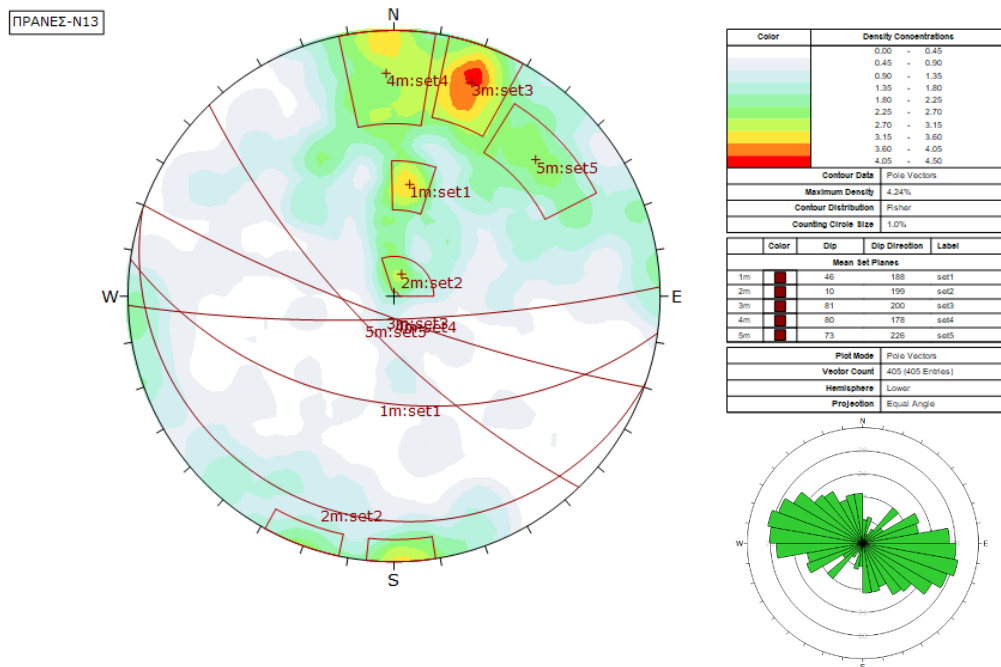


**Εικόνα N12.19:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες, για κλίση ασυνέχειας 50° (set3) και ύψος τεμάχου ολίσθησης 4 m.

Τμήμα πρανούς-N13



Εικόνα N13.1: Τμήμα πρανούς N13.



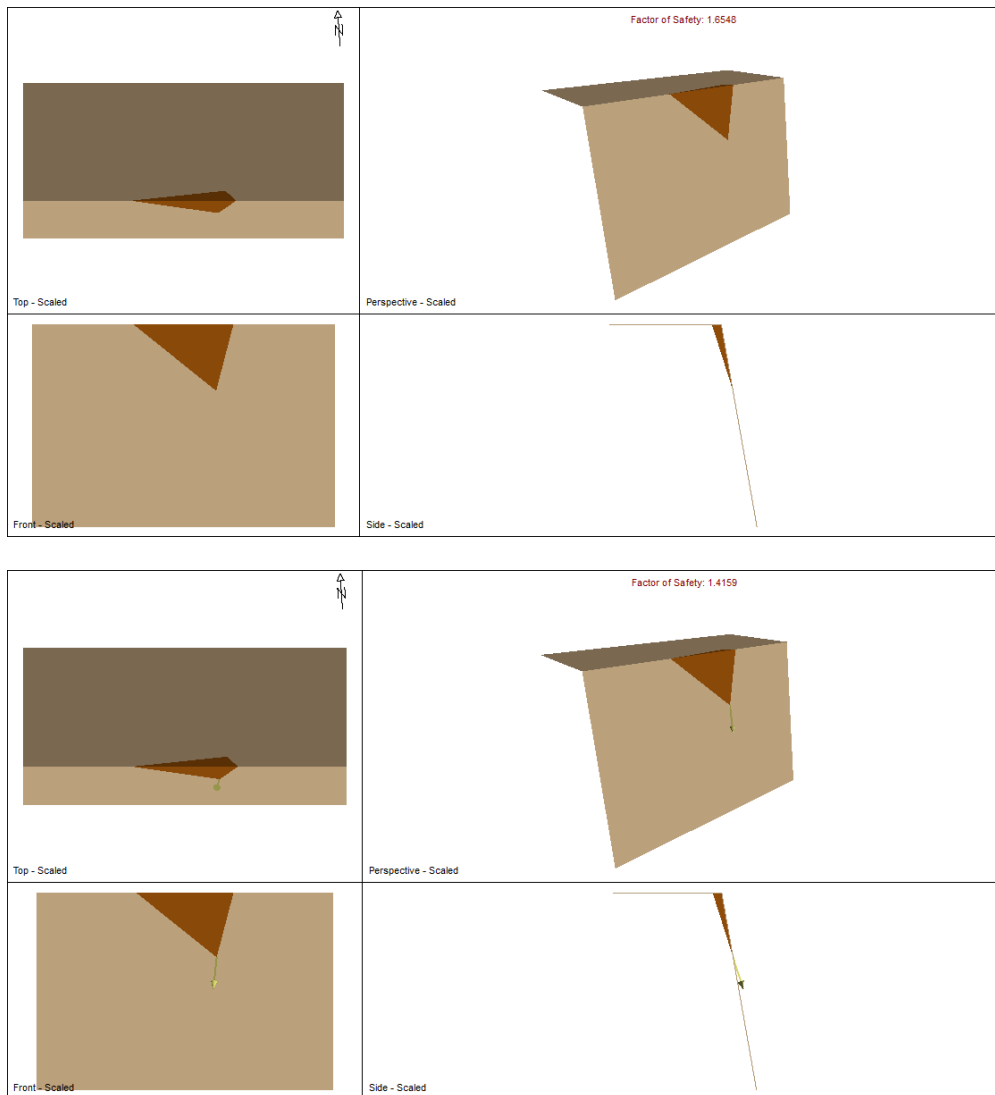
Εικόνα N13.1: Τεκτονικό διάγραμμα συγκέντρωσης των πόλων, εντοπισμός των κύριων συστημάτων ασυνεχειών και ροδόγραμμα διασποράς προσανατολισμού ασυνεχειών βραχομάζας, για το τμήμα N13.

**Πίνακας N13.1:** Κύρια συστήματα ασυνεχειών, με τον προσανατολισμό τους και τις γεωτεχνικές παραμέτρους αντοχής – τμήμα πρανούς N13.

ID	Κλίση- dip (°)	Διεύθυνση κλίσης-dip direction (°)	Συνοχή- c (kPa)	Γωνία τριβής- φ (°)
Set 1	46	188	10	30
Set 2	10	199	10	30
Set 3	81	200	10	30
Set 4	80	178	10	30
Set 5	73	226	10	30

**Πίνακας N13.2:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν σφηνοειδείς ολισθήσεις στο πρανές και συντελεστές ασφαλείας (Σ.Α<2) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες- τμήμα πρανούς N13.

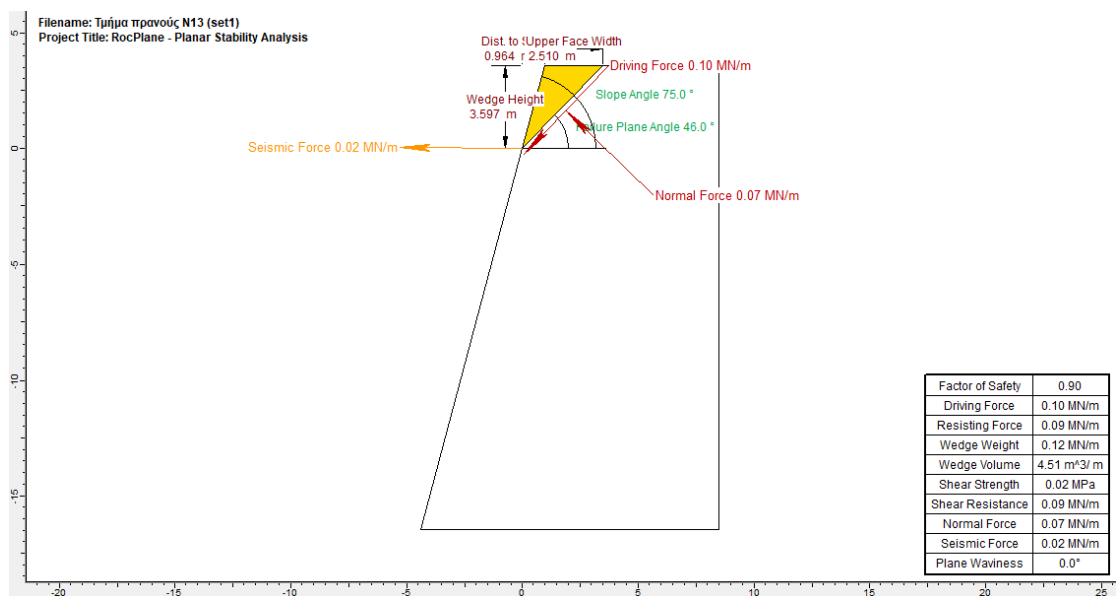
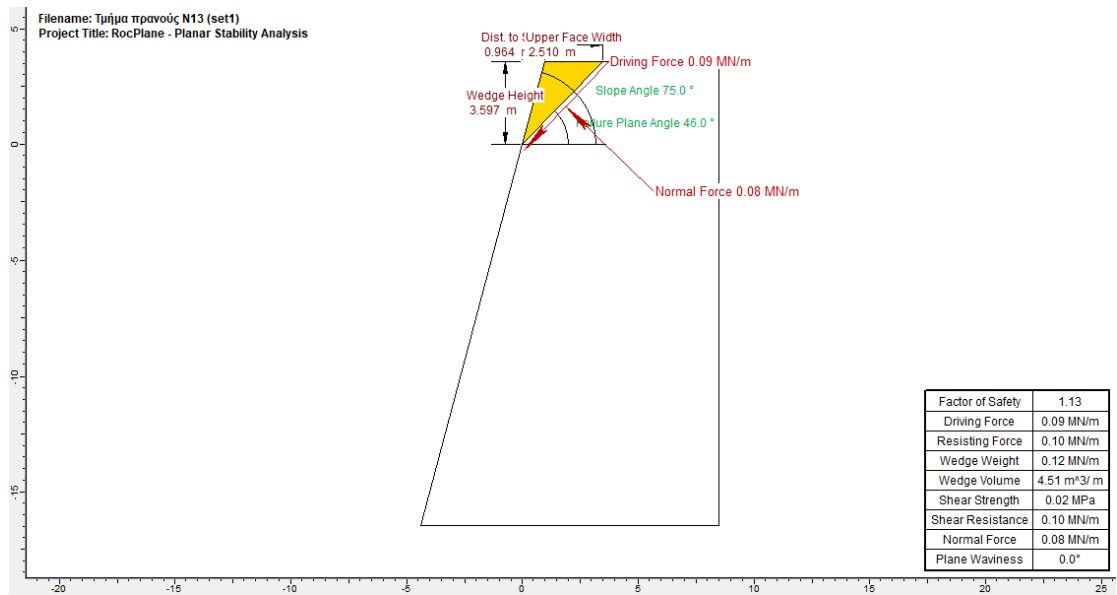
Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών	Σ.Α. Κανονικές συνθήκες/ Σ.Α. Σεισμικές συνθήκες	Όγκος (m <sup>3</sup> )	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set 4-set5	1.65/1.41(εμμονή 10m, κλίση πρανούς 80°)	10	-



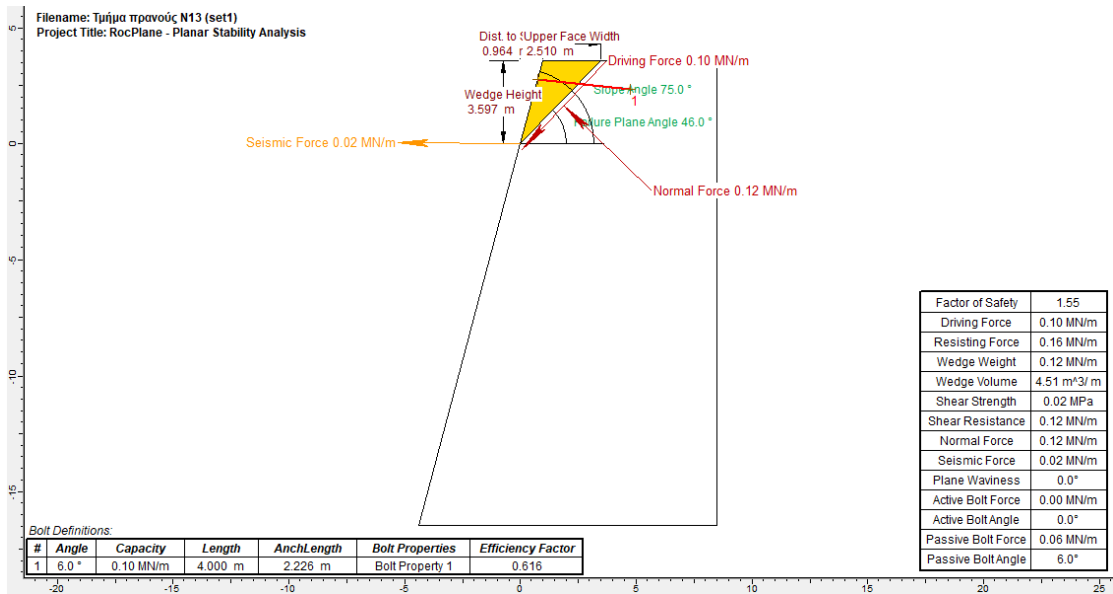
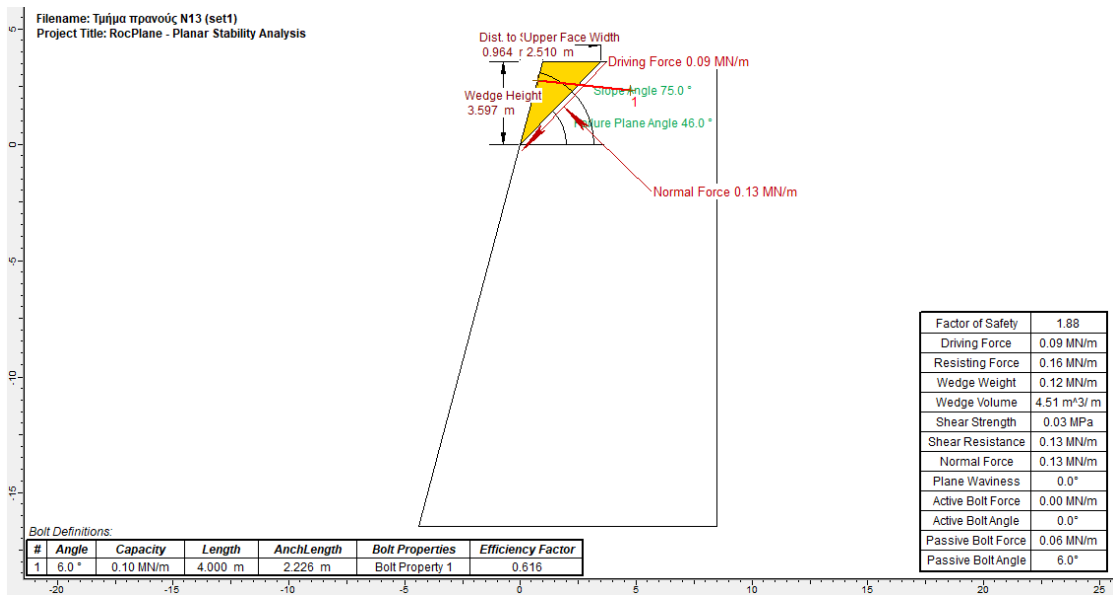
**Εικόνα N13.3:** Ανάλυση ευστάθειας έναντι σφηροειδούς ολίσθησης για το τμήμα N13. Συνδυασμός ασυνεχειών set4-set5. Στατικές και σεισμικές συνθήκες φόρτισης, με εμμονή ασυνεχειών 10m.

**Πίνακας N13.3:** Συνδυασμοί συστημάτων ασυνεχειών που μπορούν να δώσουν επίπεδες ολισθήσεις στο πρηνές και συντελεστές ασφαλείας ( $\Sigma.A. < 2$ ) σε στατικές και σεισμικές συνθήκες - Τμήμα πρηνούς N13.

Σύστημα ασυνεχειών	Σ.Α. κανονικές συνθήκες	Σ.Α. σεισμικές συνθήκες	Σ.Α. με αγκύρωση, Κανονικές συνθήκες/ Σεισμικές συνθήκες
Set1	1.13	0.90	1.88/1.55



**Εικόνα N13.4:** Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες, για κλίση ασυνέχειας 46° (set1) και ύψος τεμάχου ολίσθησης 3.5 m.

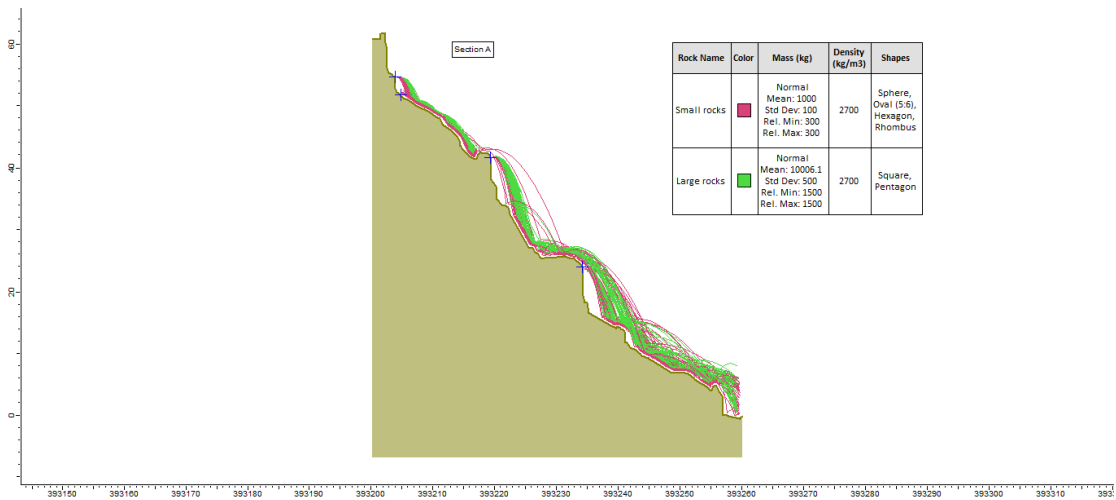


Εικόνα N13.5: Επίπεδη ολίσθηση για στατικές και σεισμικές συνθήκες, για κλίση ασυνέχειας 46° (set1) με αγκύρωση και ύψος τεμάχους ολίσθησης 3.5m.

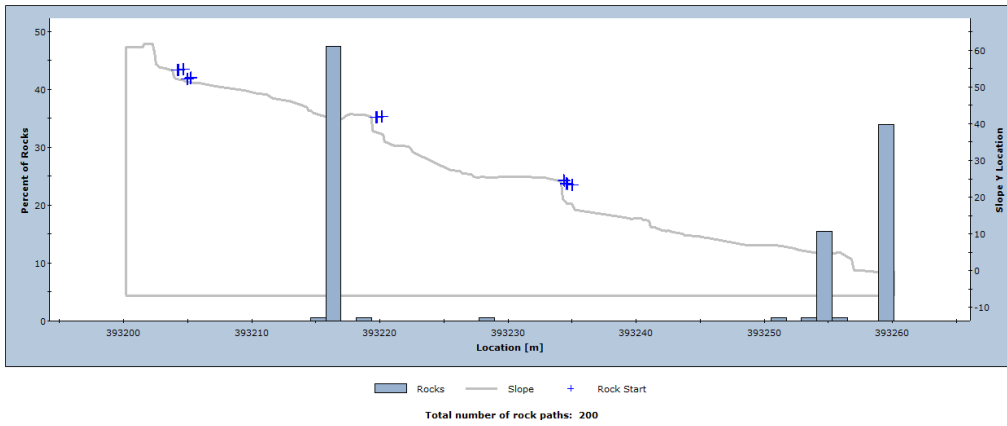


# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Αναλύσεις βραχοκαταπτώσεων

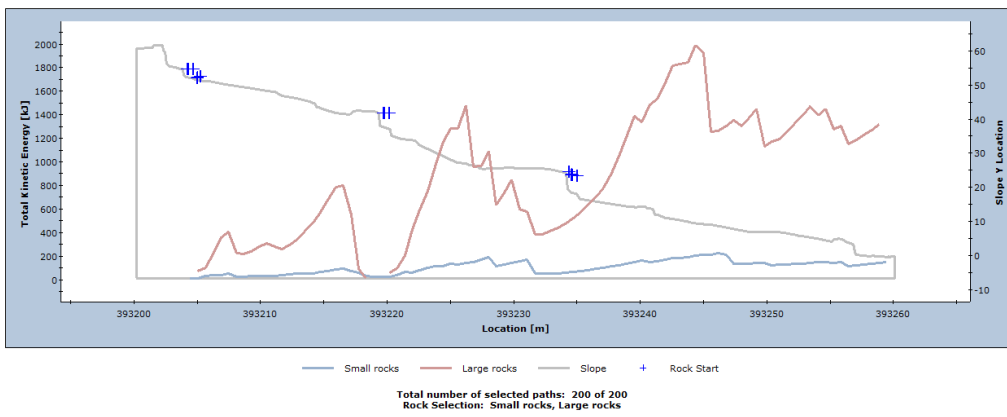
## ΔΙΑΤΟΜΗ Α (Χ.Θ. 0+35)



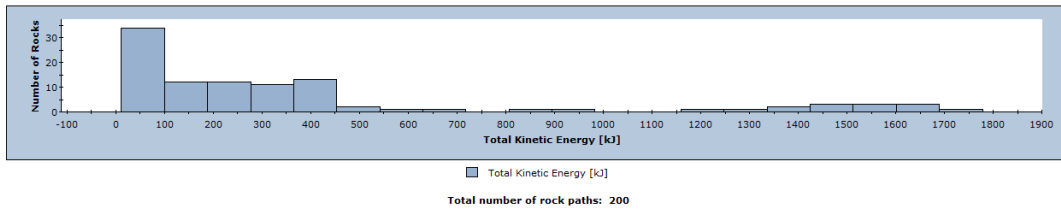
Distribution of Rock Path End Locations - Section A



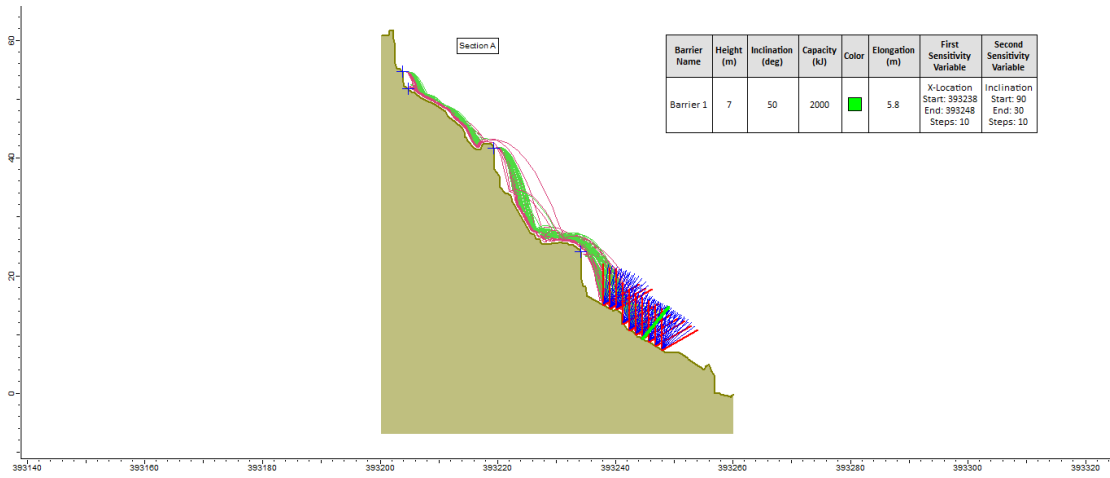
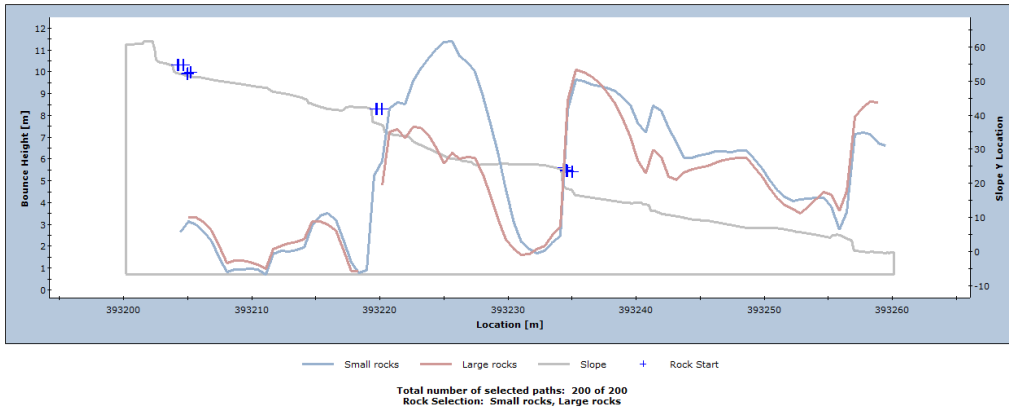
Total Kinetic Energy on Slope  
Maximum Value - Section A



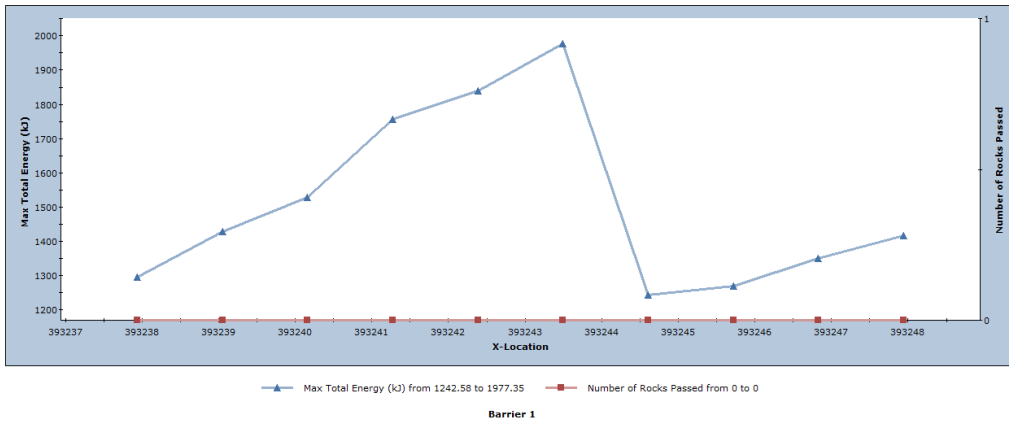
Total Kinetic Energy Distribution at x = 393242

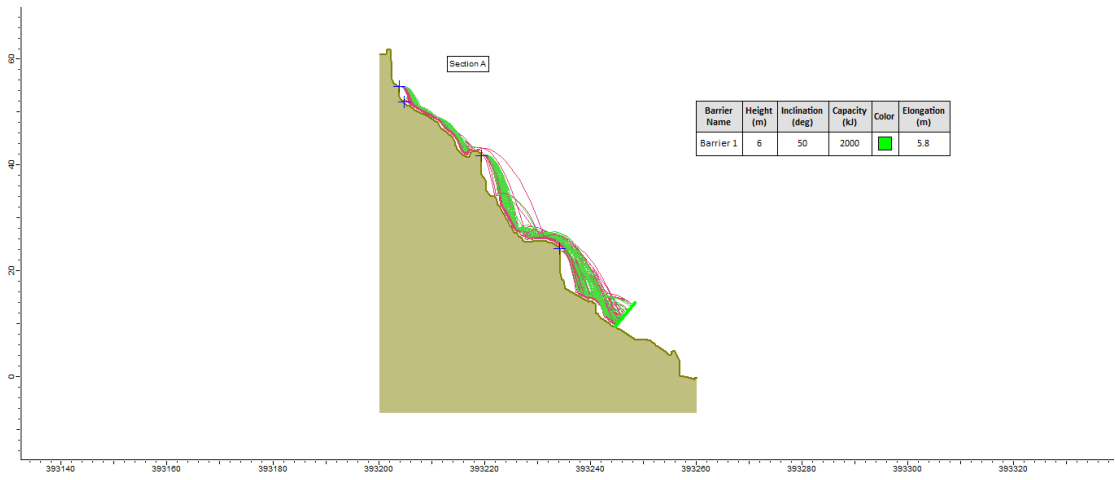


**Bounce Height on Slope  
Maximum Value - Section A**

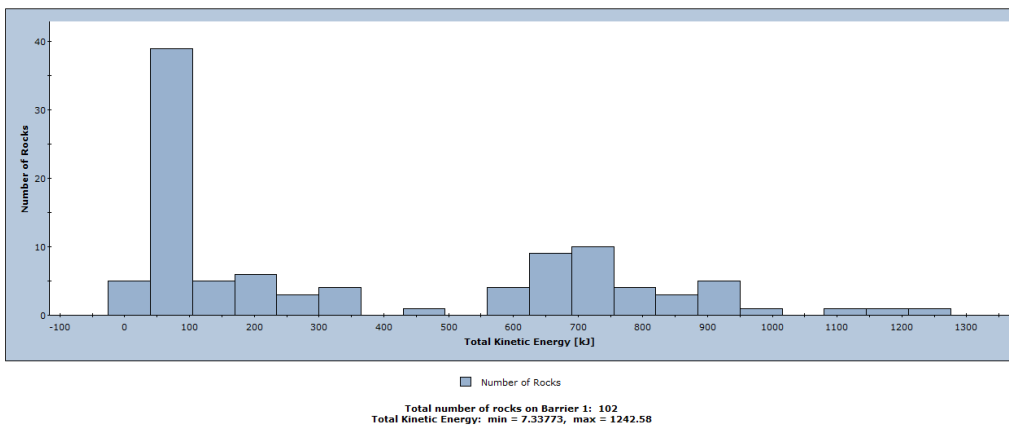


**Max Total Energy (kJ) and Number of Rocks Passed vs. X-Location - Section A**

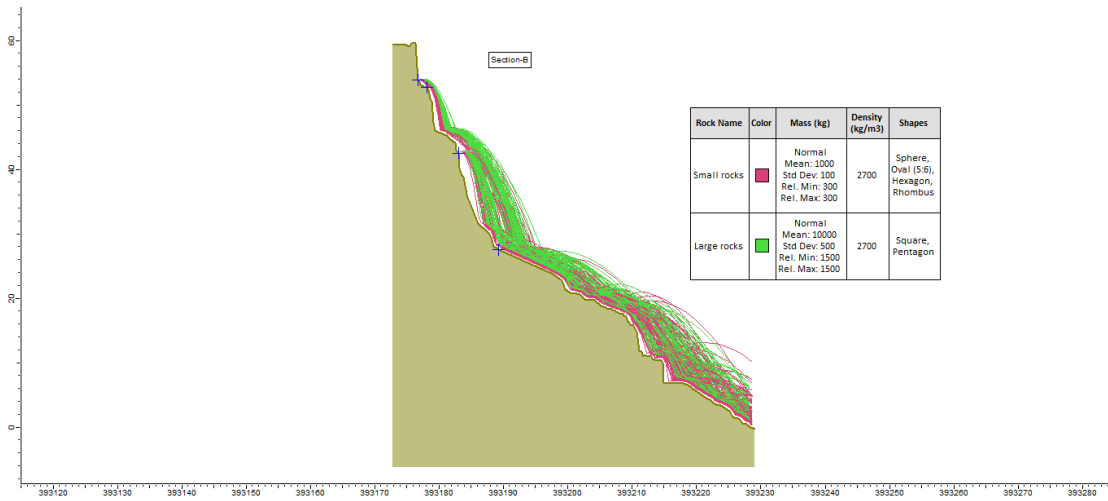




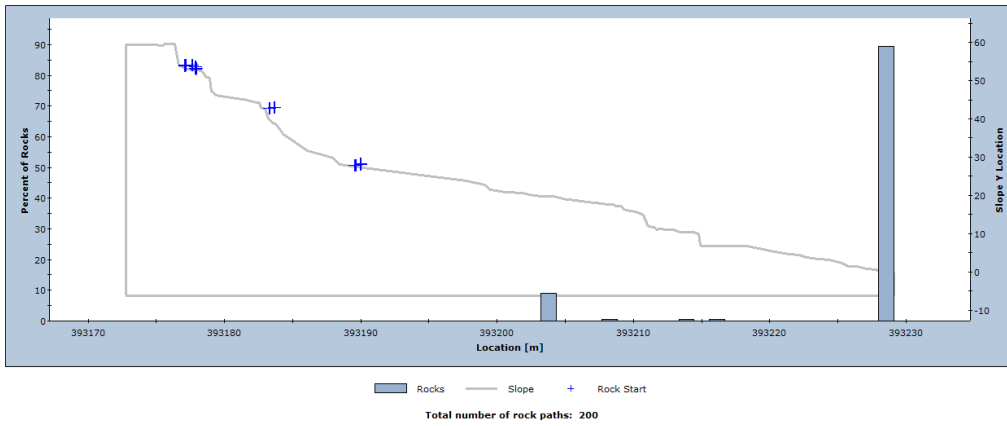
Total Kinetic Energy on Barrier 1 - Section A



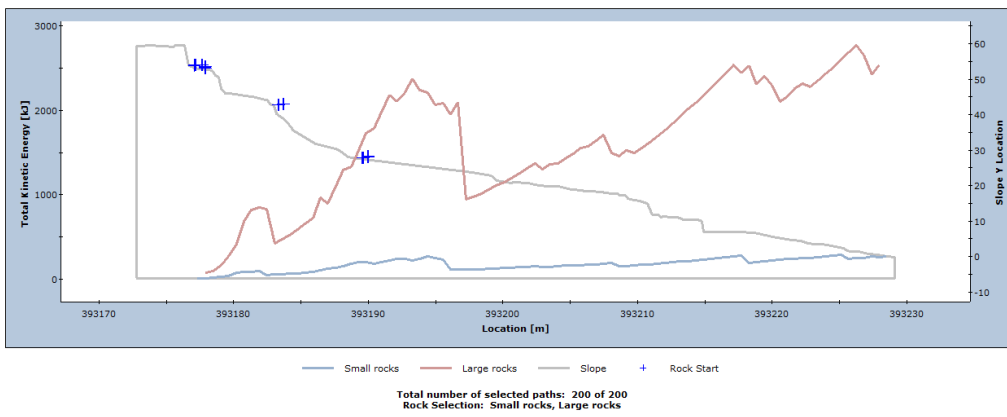
## ΔΙΑΤΟΜΗ Β (Χ.Θ. 0+82)



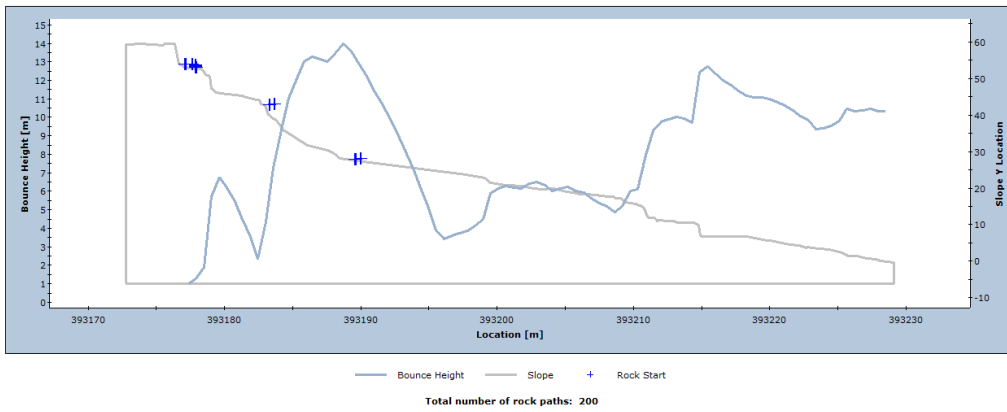
Distribution of Rock Path End Locations - Section B



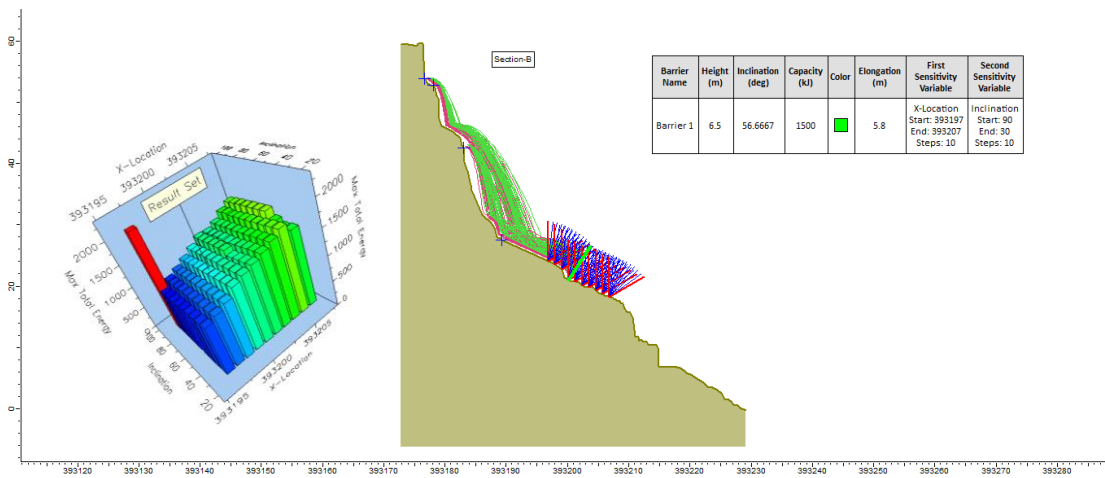
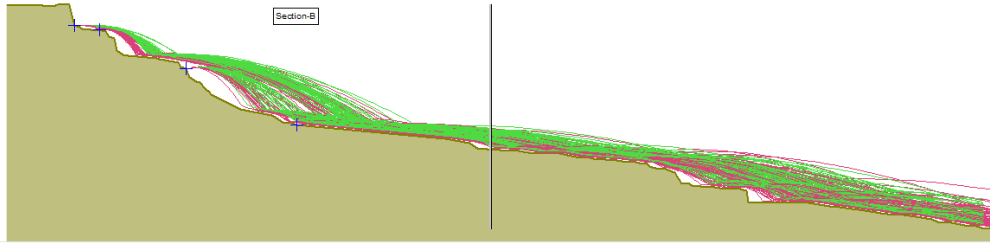
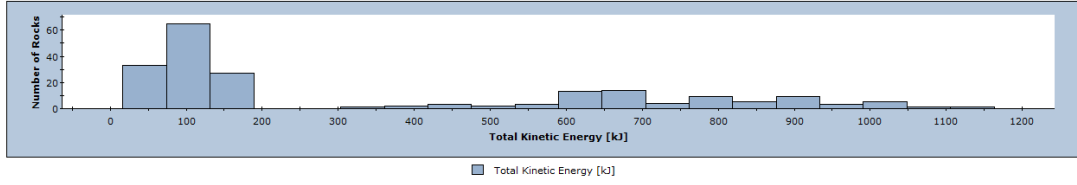
Total Kinetic Energy on Slope  
Maximum Value - Section B

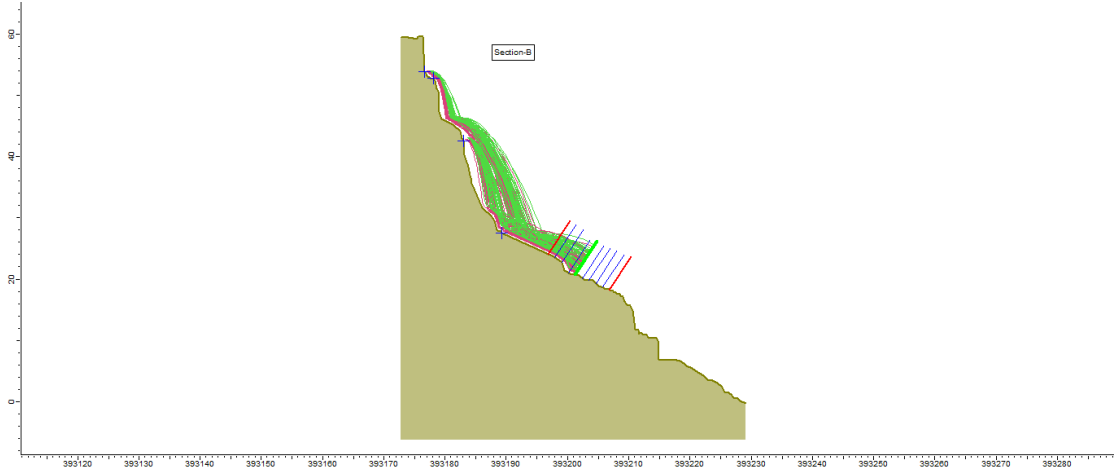


Bounce Height on Slope  
Maximum Value - Section B

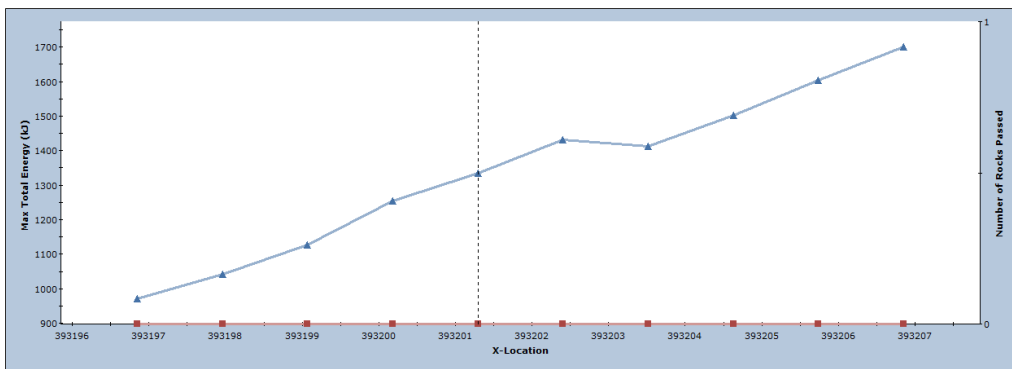


Total Kinetic Energy Distribution at x = 393200

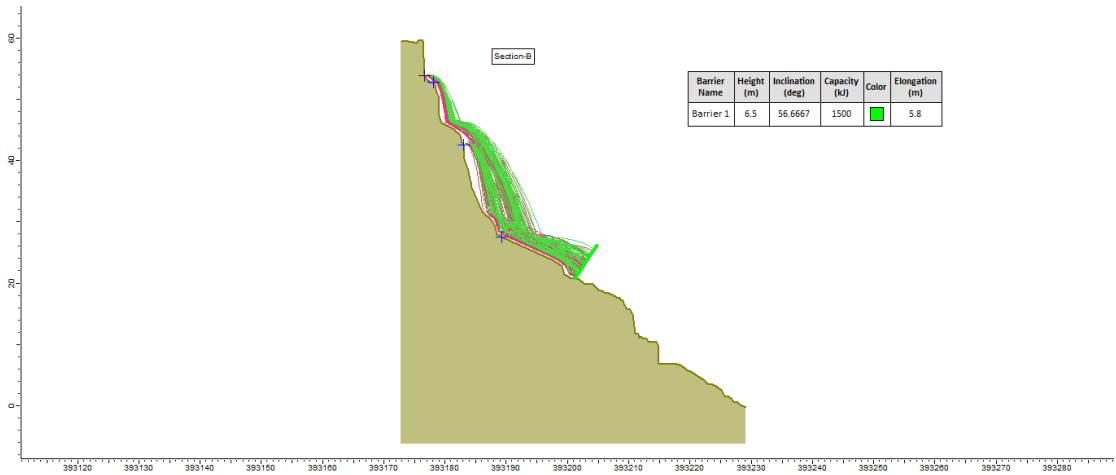




Max Total Energy (kJ) and Number of Rocks Passed vs. X-Location - Section B

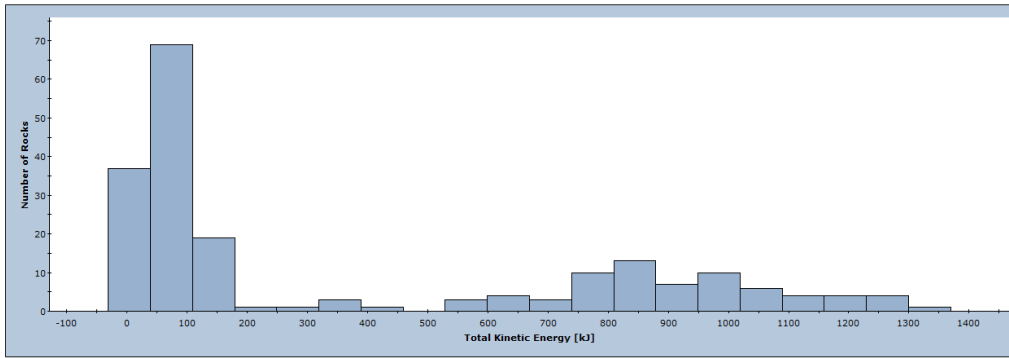


Barrier 1





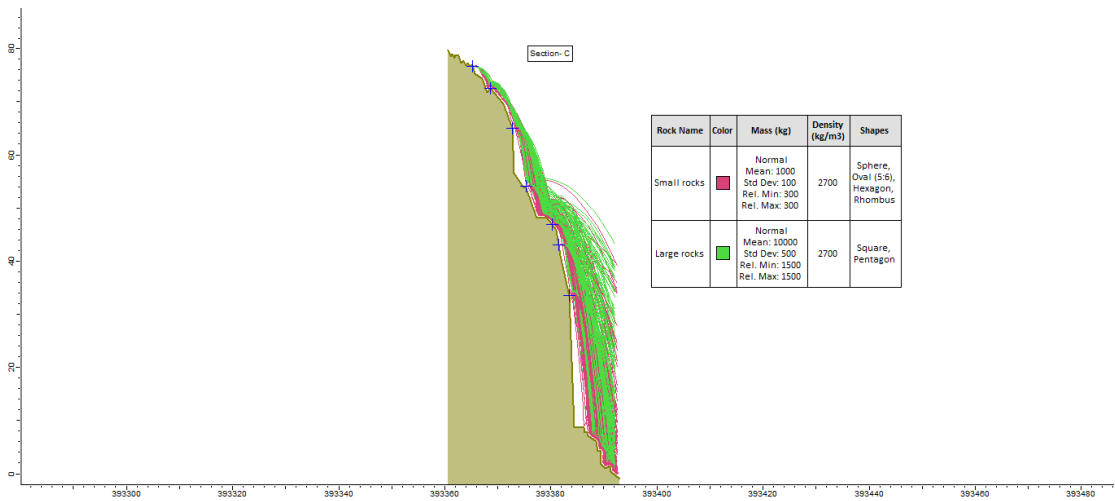
Total Kinetic Energy on Barrier 1- Section B



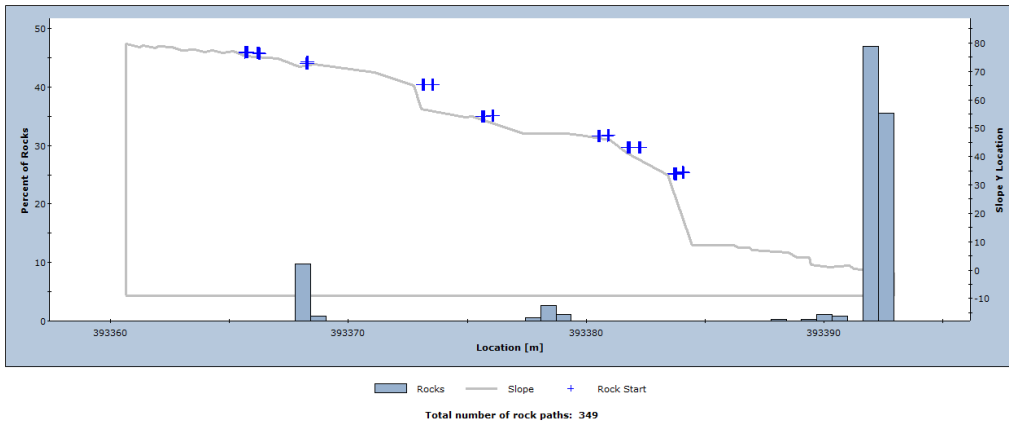
■ Number of Rocks

Total number of rocks on Barrier 1: 200  
Total Kinetic Energy: min = 4.79472, max = 1334.06

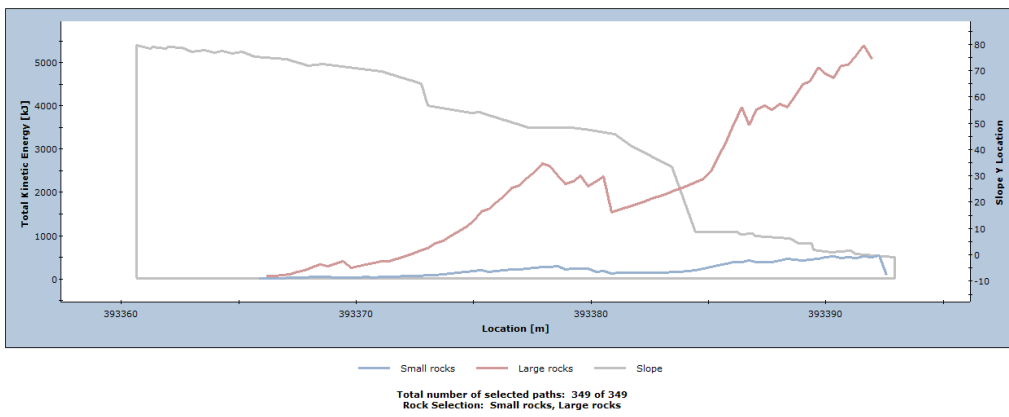
## *ΔΙΑΤΟΜΗ C (X.Θ. 0+438)*



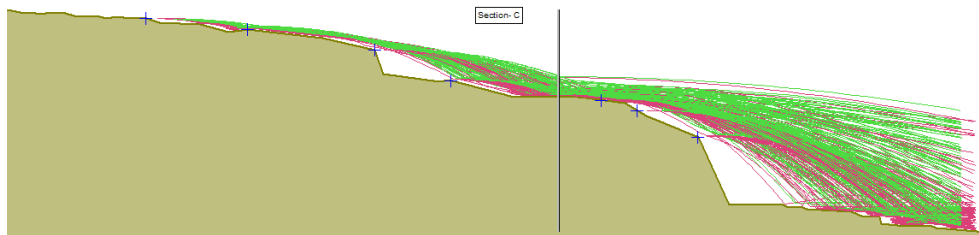
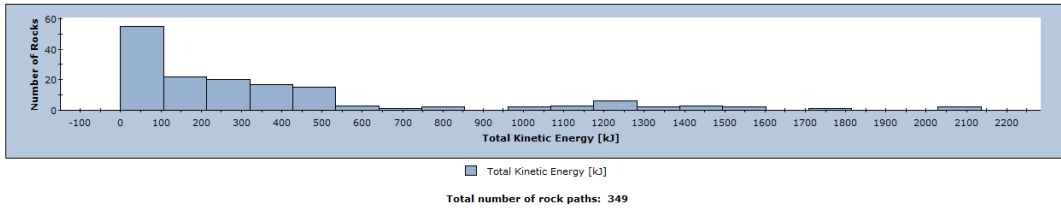
Distribution of Rock Path End Locations - Section C

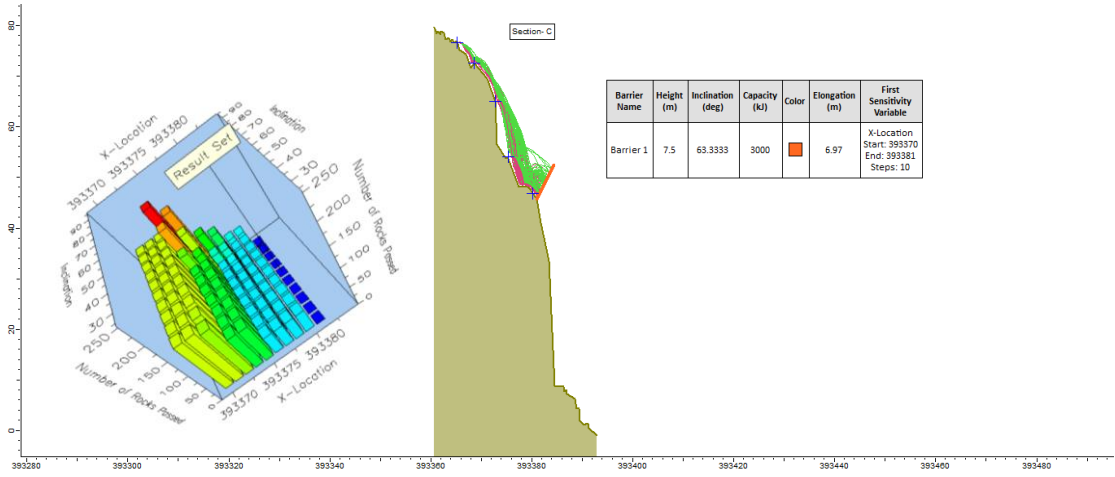


Total Kinetic Energy on Slope  
Maximum Value- Section C

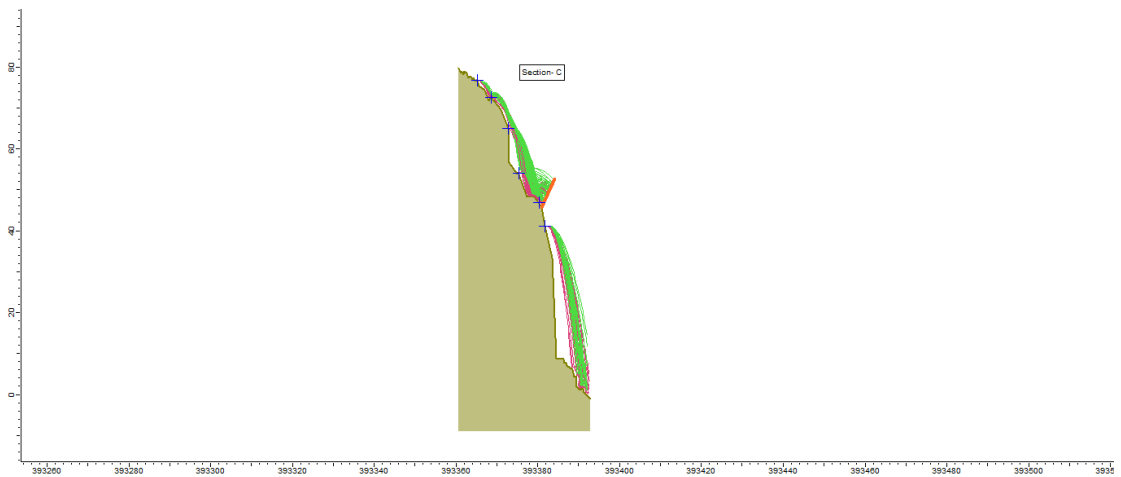
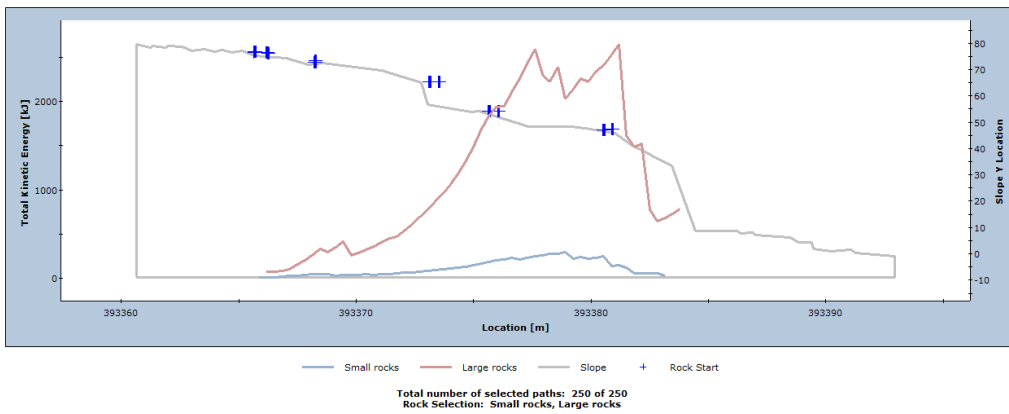


Total Kinetic Energy Distribution at x = 393379 - Section C

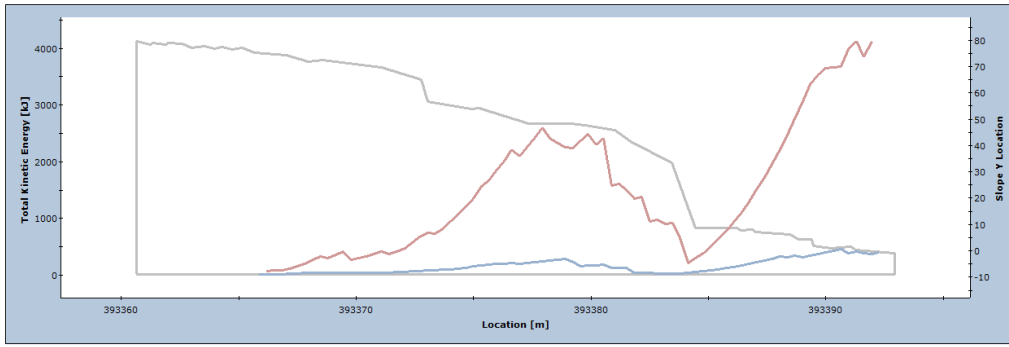




Total Kinetic Energy on Slope  
Maximum Value - Section C

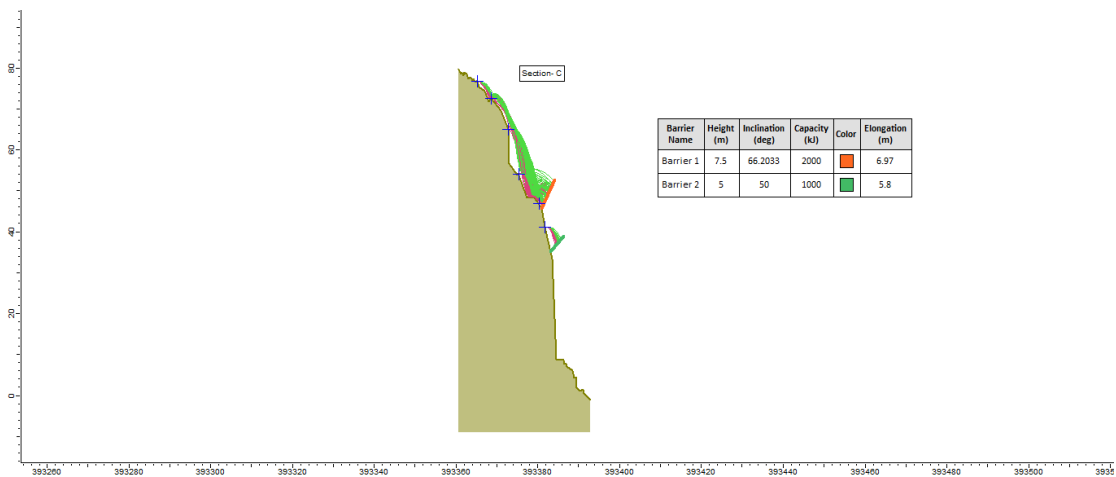
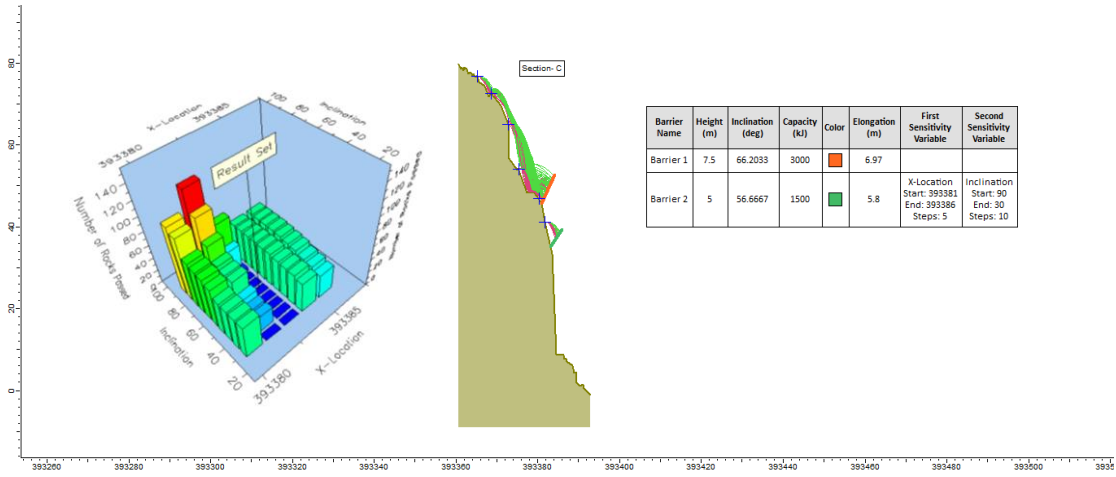


**Total Kinetic Energy on Slope  
Maximum Value -Section C**

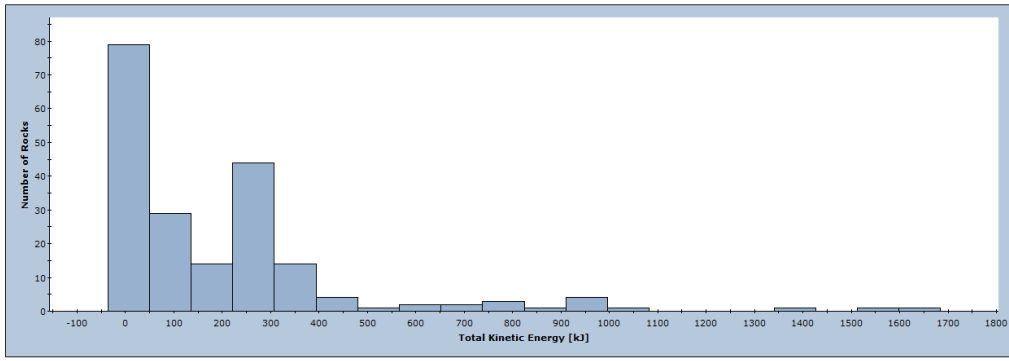


— Small rocks — Large rocks — Slope

Total number of selected paths: 299 of 299  
Rock Selection: Small rocks, Large rocks

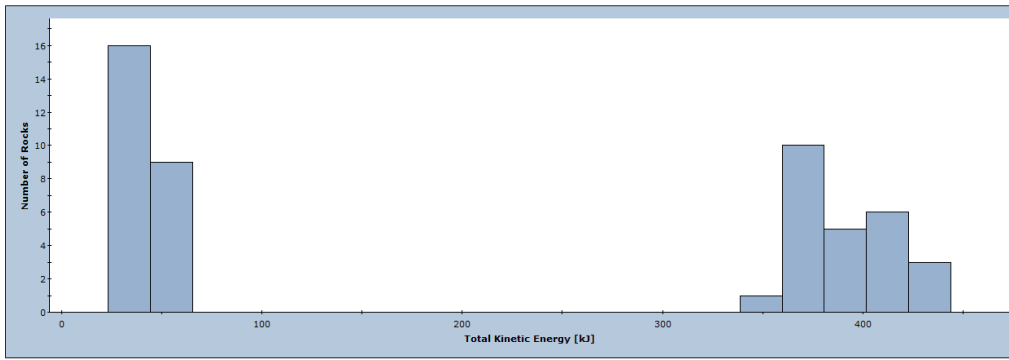


Total Kinetic Energy on Barrier 1



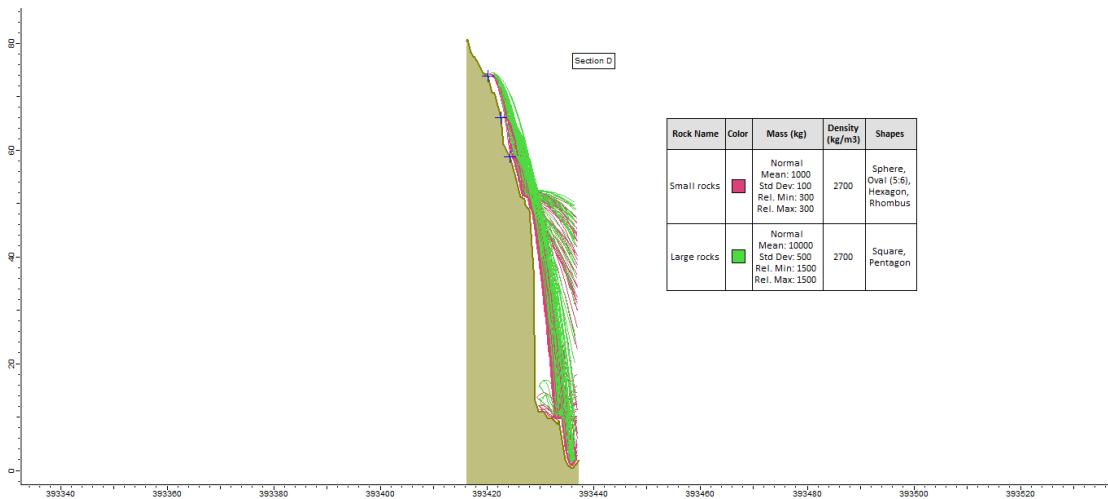
Number of Rocks  
Total number of rocks on Barrier 1: 201  
Total Kinetic Energy: min = 6.58764, max = 1641.24

Total Kinetic Energy on Barrier 2

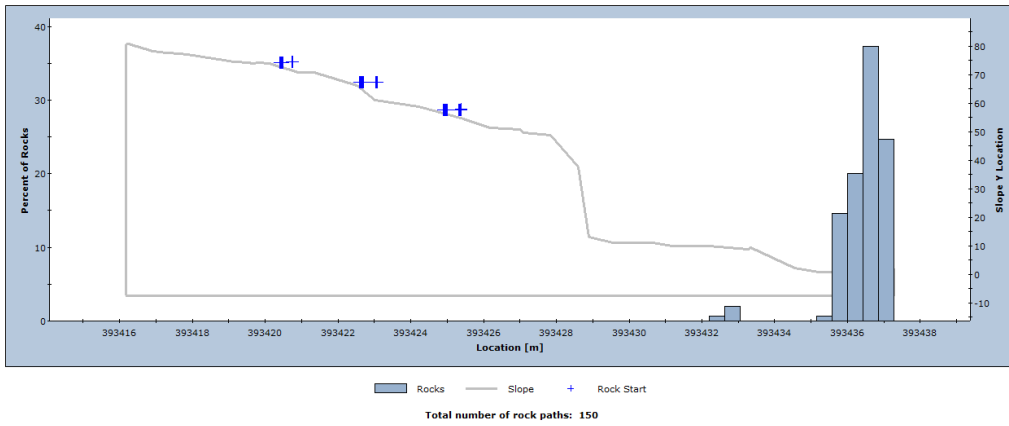


Number of Rocks  
Total number of rocks on Barrier 2: 50  
Total Kinetic Energy: min = 33.8494, max = 433.301

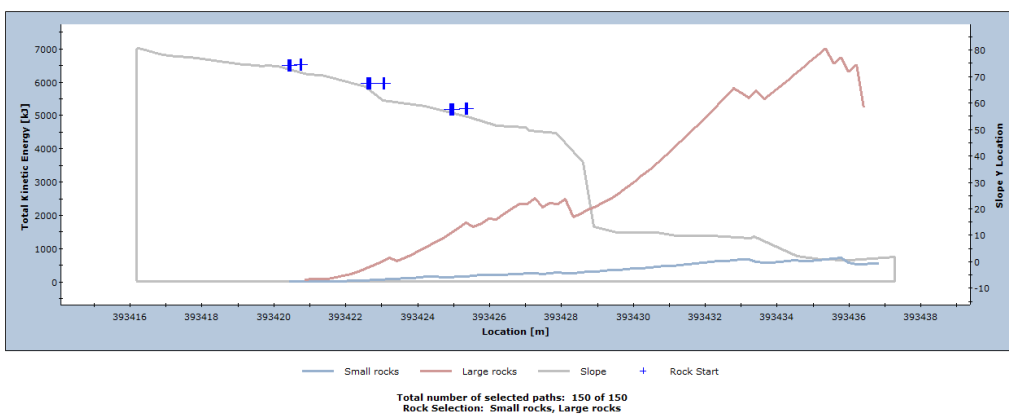
## ΔΙΑΤΟΜΗ D (X.Θ. 0+485)



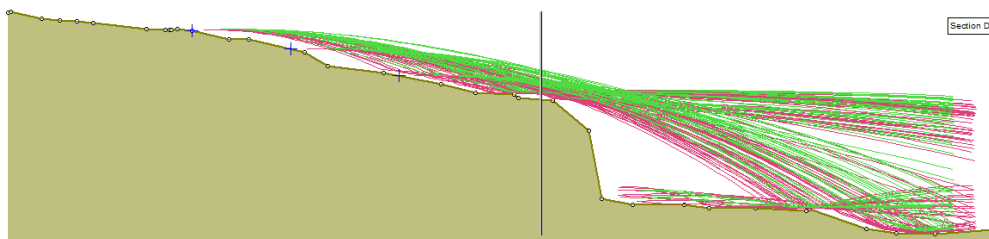
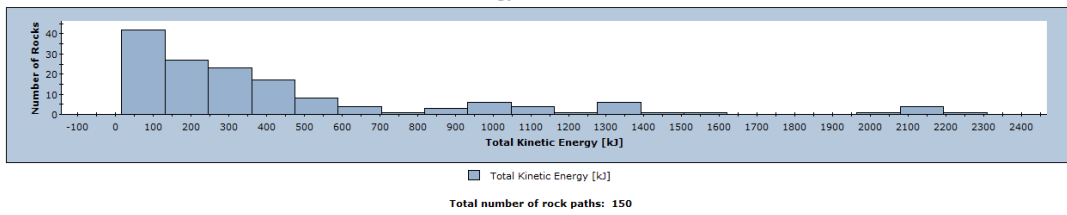
Distribution of Rock Path End Locations -Section D



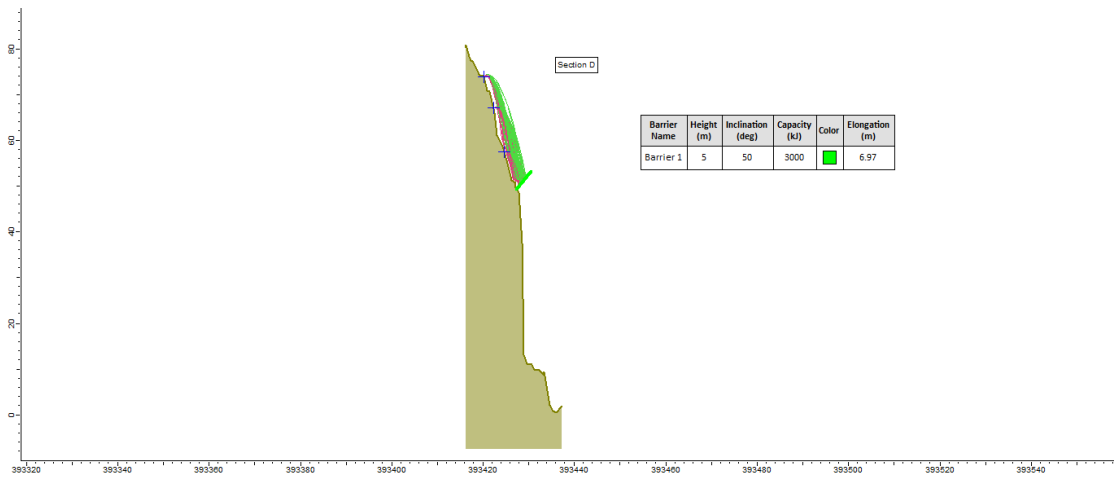
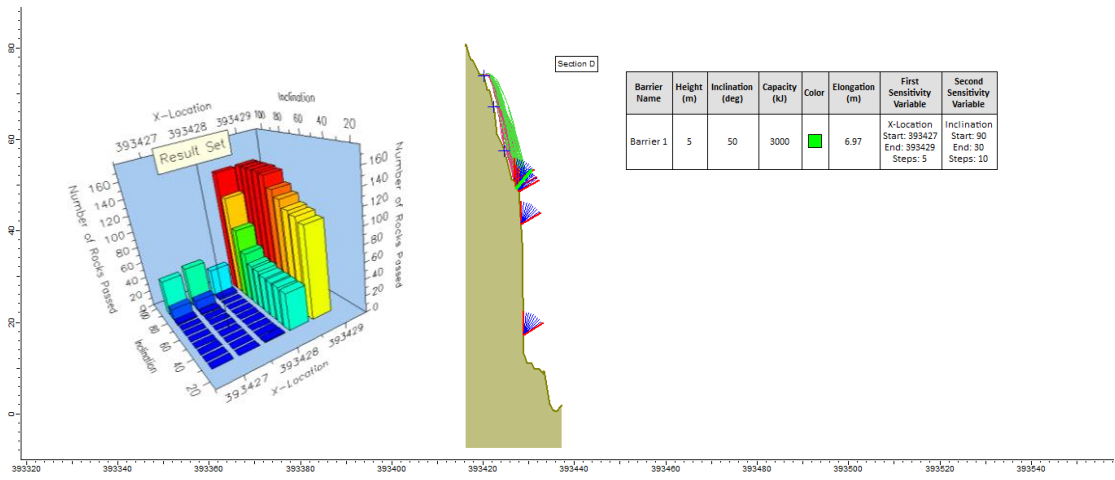
Total Kinetic Energy on Slope  
Maximum Value - Section D



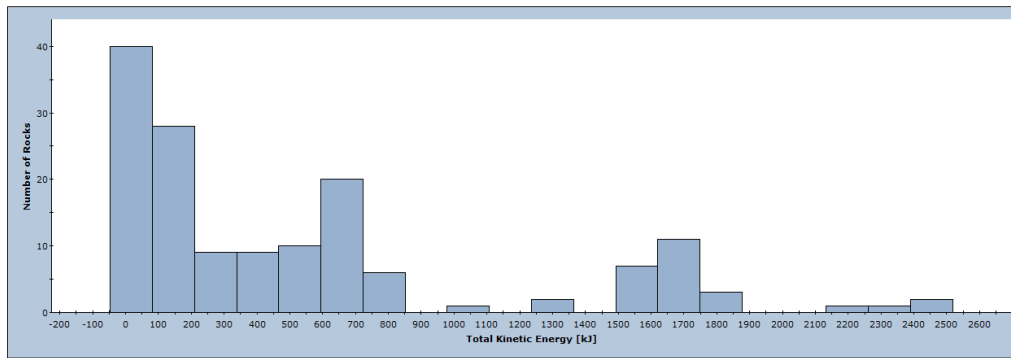
Total Kinetic Energy Distribution at x = 393428





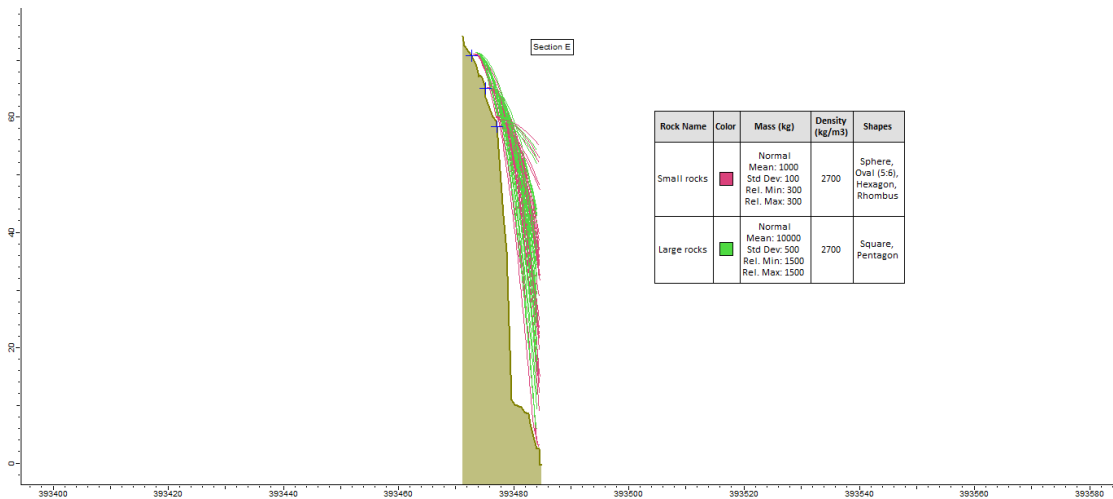


**Total Kinetic Energy on Barrier 1 - Section D**

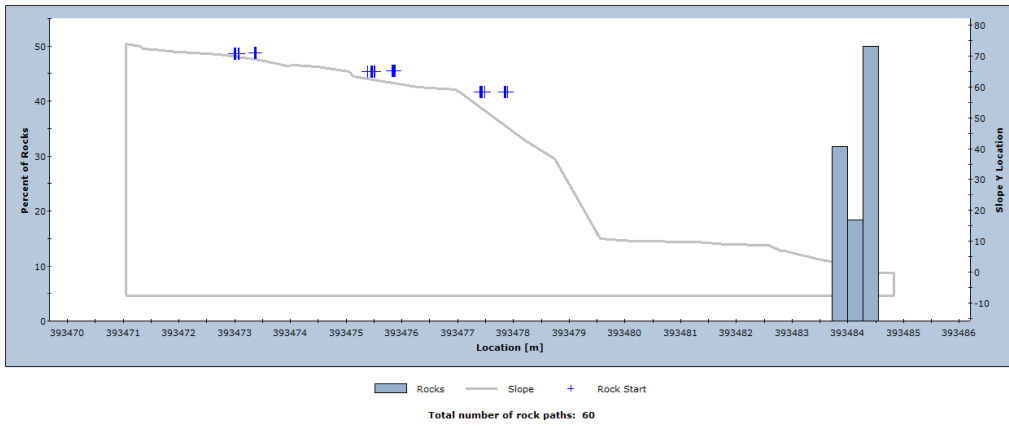


■ Number of Rocks  
**Total number of rocks on Barrier 1: 150**  
**Total Kinetic Energy: min = 18.049, max = 2453.47**

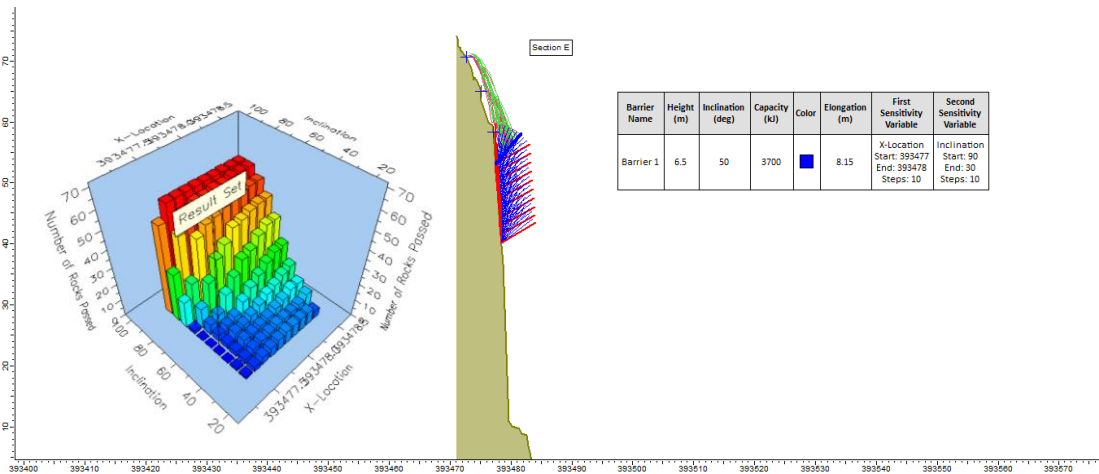
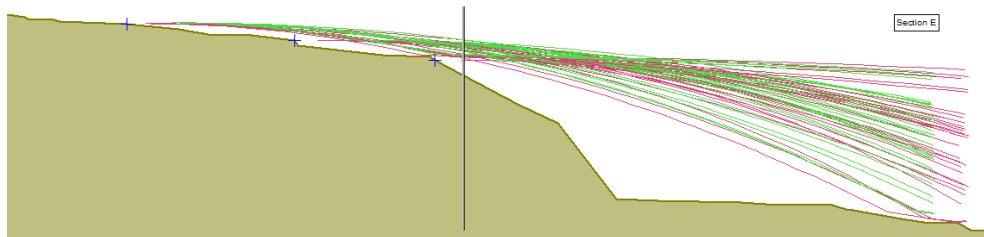
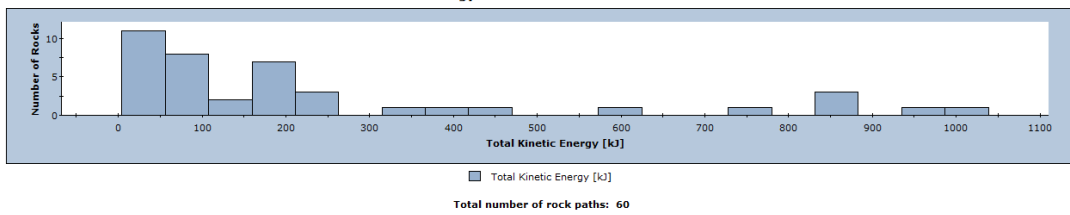
*ΔΙΑΤΟΜΗ Ε (Χ.Θ. 0+539)*

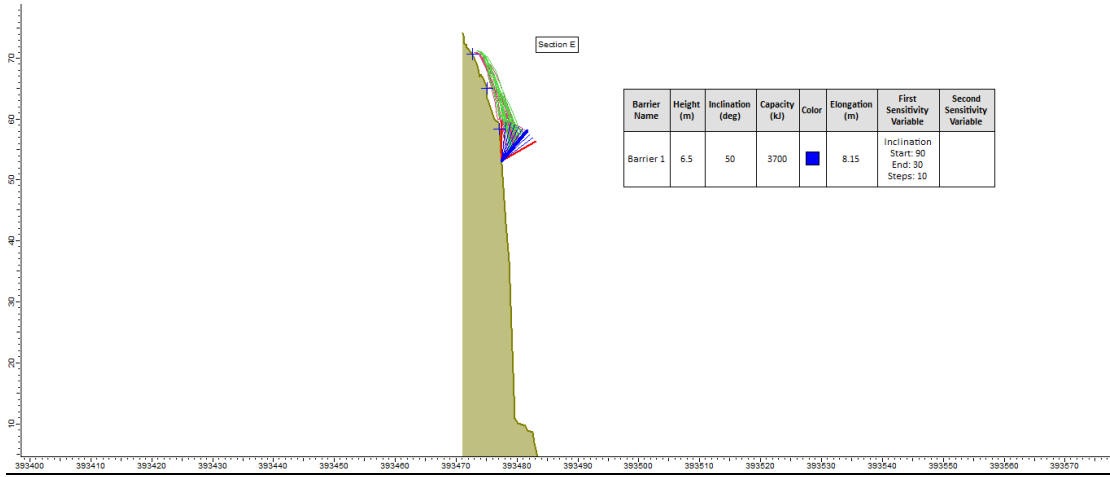


Distribution of Rock Path End Locations - Section E

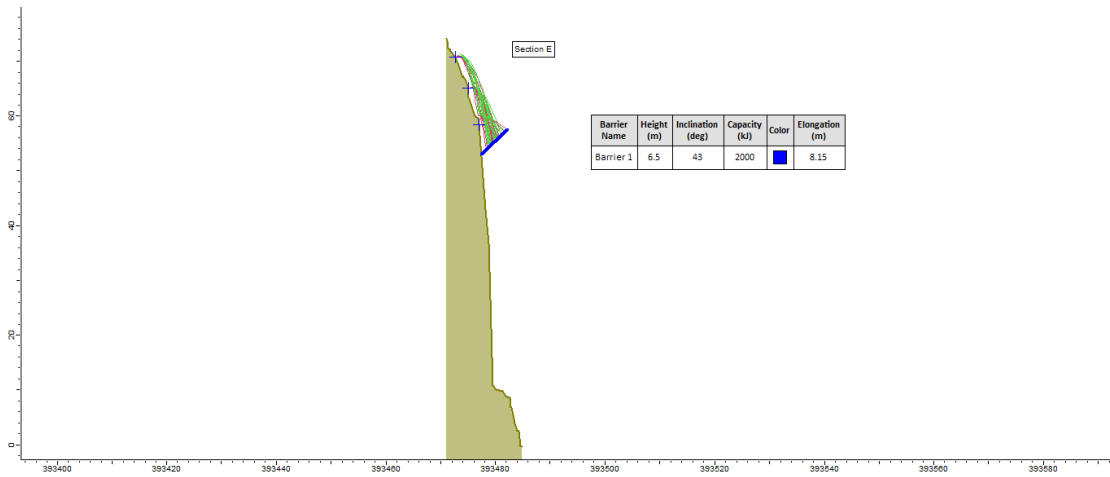
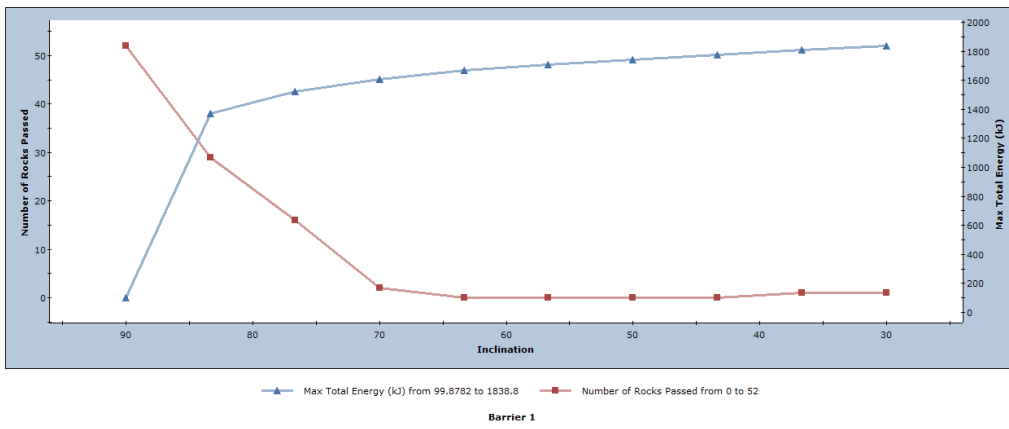


Total Kinetic Energy Distribution at x = 393477 - Section E

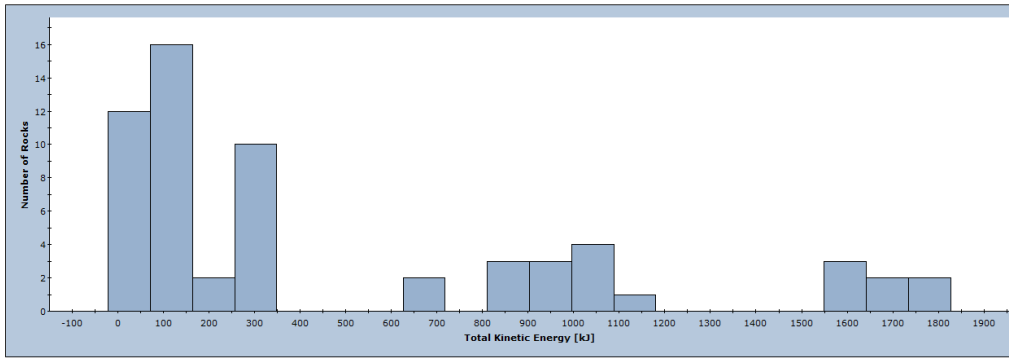




Max Total Energy (kJ) and Number of Rocks Passed vs. Inclination - Section E



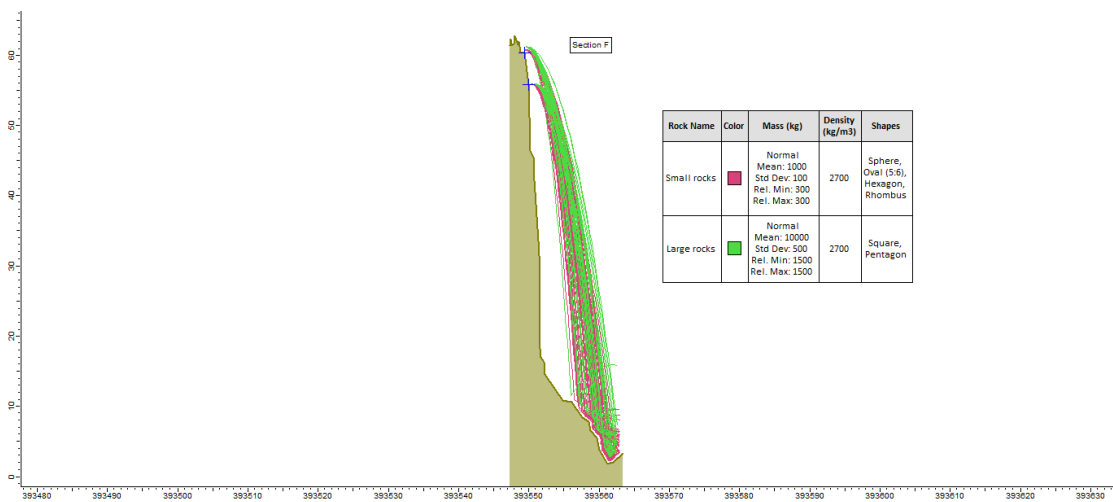
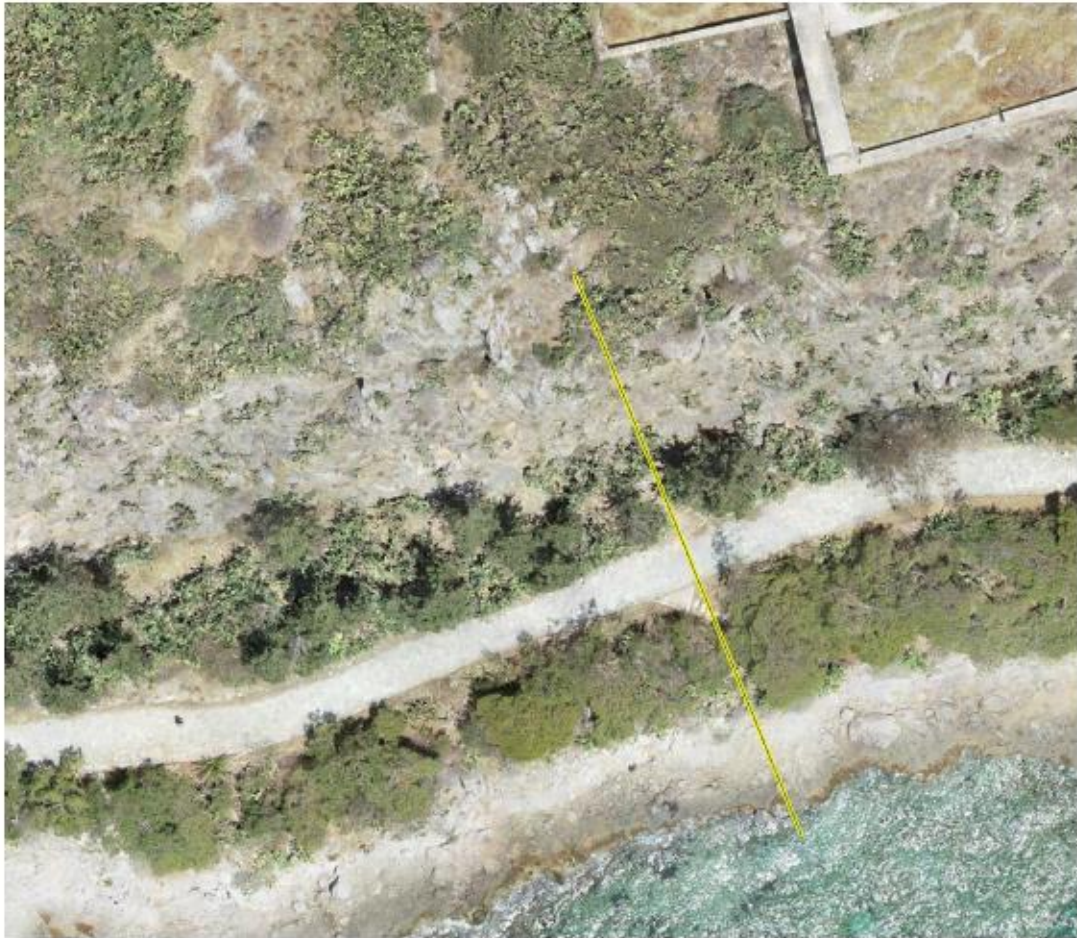
Total Kinetic Energy on Barrier 1- Section E



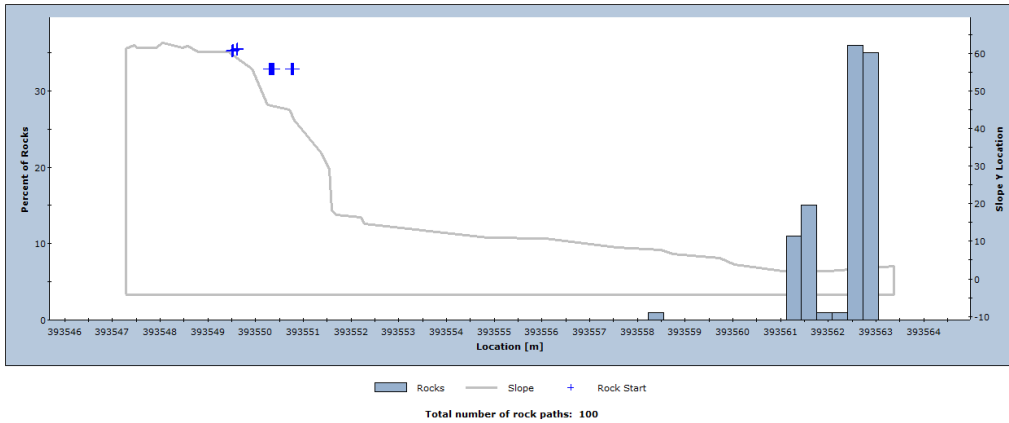
Number of Rocks

Total number of rocks on Barrier 1: 60  
Total Kinetic Energy: min = 26.2066, max = 1780.26

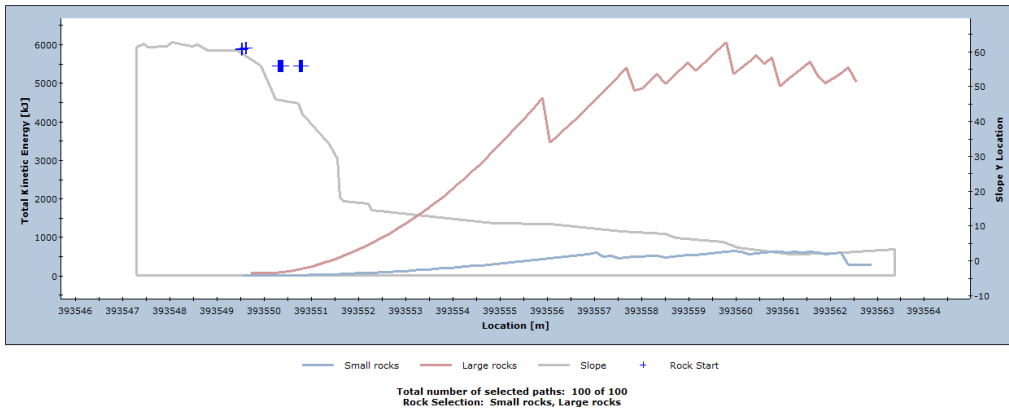
## ΔΙΑΤΟΜΗ F (X.Θ. 0+615)



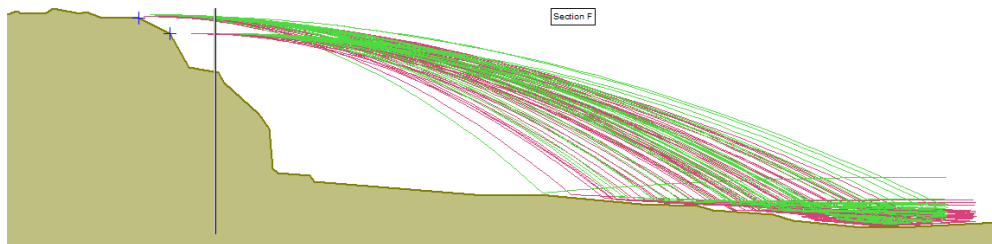
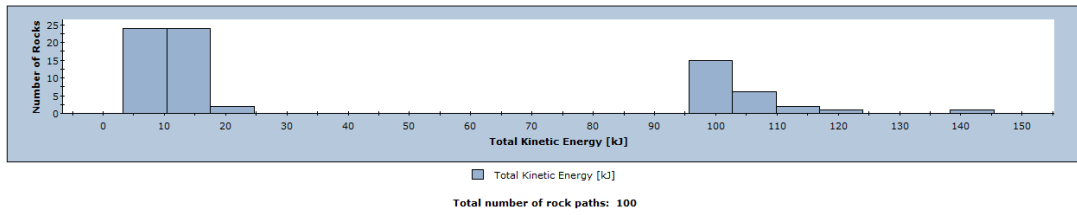
Distribution of Rock Path End Locations - Section F

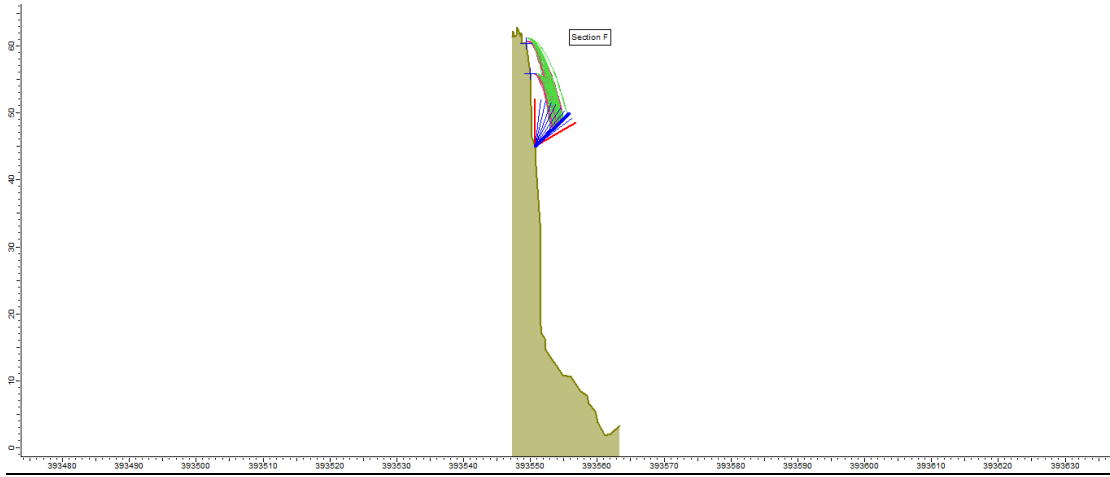


Total Kinetic Energy on Slope  
Maximum Value -Section F

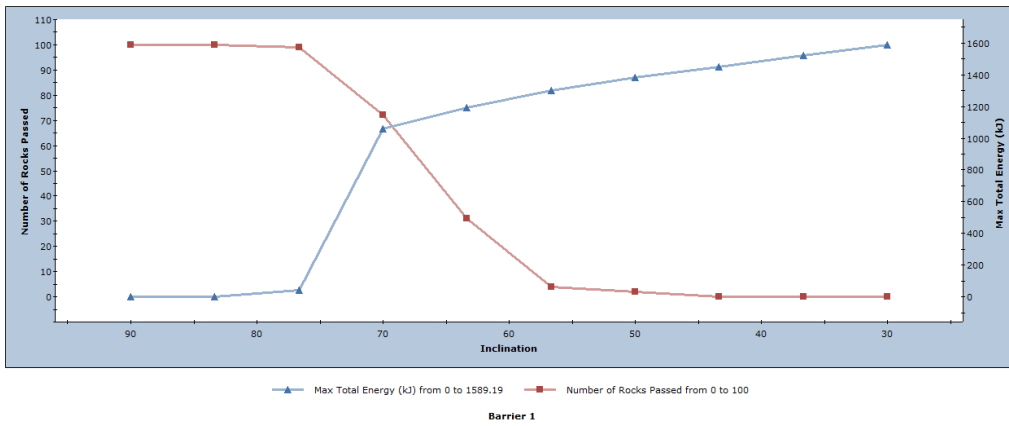


Total Kinetic Energy Distribution at x = 393551 -Section F

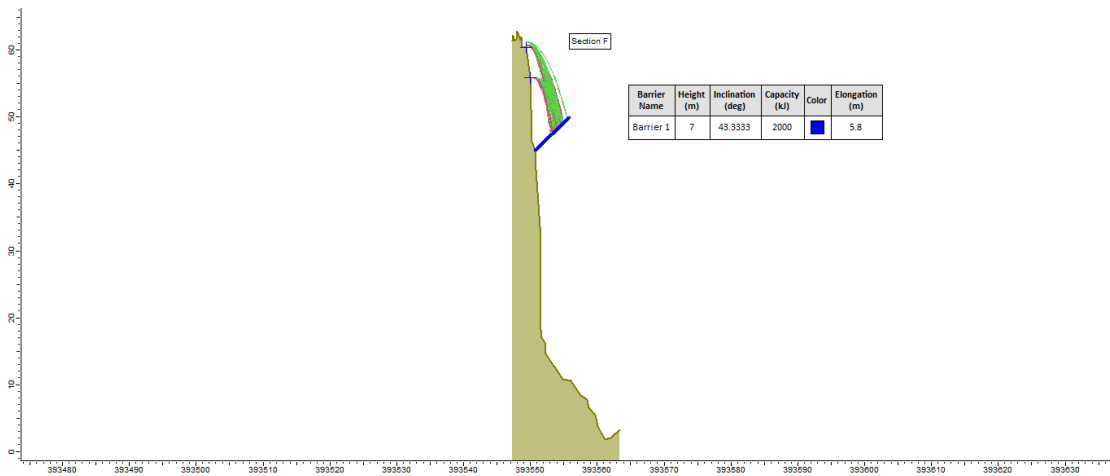




Max Total Energy (kJ) and Number of Rocks Passed vs. Inclination- Section F

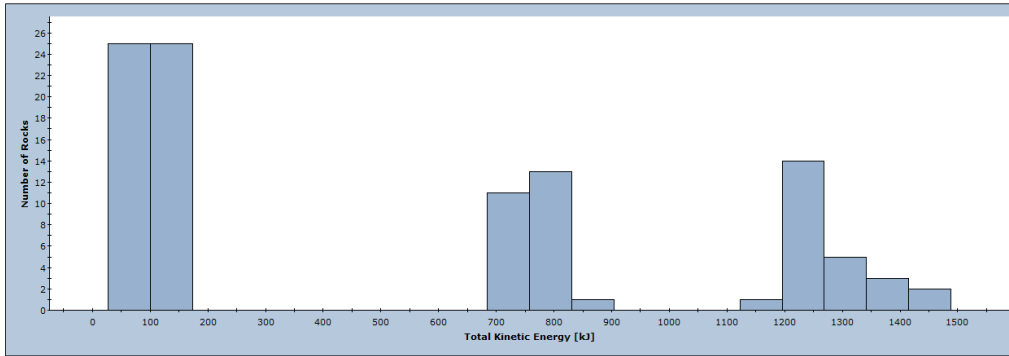


Barrier 1





Total Kinetic Energy on Barrier 1- Section F



■ Number of Rocks

Total number of rocks on Barrier 1: 100  
Total Kinetic Energy: min = 64.1814, max = 1450.91