



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ**  
**ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**Δ.Π.Μ.Σ. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΩΝ ΣΕ ΤΜΗΜΑΤΑ  
ΤΗΣ ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ ΜΕΤΑ ΤΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΙΑΣ  
ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΛΩΡΙΔΑΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΑΝΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ**

**ΤΡΑΚΑΚΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ**

*Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός, ΕΜΠ*

*Επιβλέπων: Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Αναπληρωτής Καθηγητής*

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ  
ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

*Αθήνα, Οκτώβριος 2021*



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ**  
**ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**Δ.Π.Μ.Σ. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΩΝ ΣΕ ΤΜΗΜΑΤΑ  
ΤΗΣ ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ ΜΕΤΑ ΤΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΙΑΣ  
ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΛΩΡΙΔΑΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΑΝΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ**

**ΤΡΑΚΑΚΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ**

*Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός, ΕΜΠ*

*Επιβλέπων: Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Αναπληρωτής Καθηγητής*

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ  
ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

*Αθήνα, Οκτώβριος 2021*



**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS**  
**SCHOOLS OF MINING AND METALLURGICAL ENGINEERING**  
**CIVIL ENGINEERING**  
**RURAL AND SURVEYING ENGINEERING**  
MSc Programme Design & Construction of Underground Works

Master Diploma Thesis

**GEOTECHNICAL CONDITIONS OF SLOPES STABILITY IN  
SECTIONS OF THE IONIAN ROAD AFTER THE CONSIDERATION  
OF CONSTRUCTION OF AN ADDITIONAL TRAFFIC  
LANE IN EACH DIRECTION**

**TRAKAKIS ANTONIOS**

*MSc Rural and Surveyor Engineer, NTUA*

*Supervisor: Loupasakis Constantinos, Associate Professor*

**LABORATORY OF  
TECHNICAL GEOLOGY & HYDROGEOLOGY**

*Athens, October 2021*

## *ΔΗΛΩΣΗ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ*

*Δηλώνω ότι η διπλωματική αυτή εργασία αποτελεί στο σύνολο δική μου εργασία, και κανένα τμήμα της δεν έχει χρησιμοποιηθεί για την κτήση άλλου τίτλου σπουδών. Όπου έχει χρησιμοποιηθεί υλικό από άλλες πηγές, αυτές έχουν αναφερθεί με ακρίβεια και πληρότητα.*

*Τρακάκης Αντώνιος*

## Ευχαριστίες

Με την εκπόνηση αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας ολοκληρώνεται η φοίτησή μου στο Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων». Στο διάστημα της φοίτησής μου ενίσχυσα σημαντικά τις προϋπάρχουσες γνώσεις μου και παράλληλα απέκτησα πλήθος νέων. Για τους λόγους αυτούς θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το εκπαιδευτικό προσωπικό του μεταπτυχιακού προγράμματος.

Ιδιαίτερα και εγκάρδια θα ήθελα να ευχαριστήσω, έναν εξαιρετικό επιστήμονα και άνθρωπο, τον Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών Λουπασάκη Κωνσταντίνο. Αφενός για την ανάθεση του παρόντος θέματος και τη συνολική επιστημονική του βοήθεια, σε οποιοδήποτε σημείο τη χρειαζόμουν και αφετέρου για την άριστη συνεργασία μας. Τέλος ευχαριστώ θερμά τον Ψαριανό Βασίλειο, Καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών και τον Αποστολέρη Κωνσταντίνο, Υποψήφιο Διδάκτορα της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, για τις συμβουλές τους σε θέματα τεχνικού χαρακτήρα.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, η οποία βρίσκεται πάντα δίπλα μου και στηρίζει κάθε νέο βήμα μου. Αρχικά ευχαριστώ τον πατέρα μου Ευτύχη, ο οποίος αποτελεί πρότυπό μου και πάντα με συμβουλεύει προς τη σωστή κατεύθυνση. Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω την πολυαγαπημένη μου μητέρα Γεωργία, η οποία προσφέρει κάθε ημέρα το καλύτερο για εμένα και η μεγαλύτερή της χαρά είναι η ευτυχία εμένα και του αδερφού μου. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αδερφό μου Νίκο, ο οποίος είναι πάντα πρόσχαρος να με βοηθήσει έμπρακτα σε οποιοδήποτε θέμα τον χρειαστώ.

Ολοκληρώνοντας θα ήθελα να κάνω ειδική αναφορά σε δύο ανθρώπους, οι οποίοι πλέον δεν βρίσκονται στη ζωή. Αναφέρομαι στον παππού μου Νίκο και τη γιαγιά μου Τασία, οι οποίοι ως δάσκαλοι παλαιάς κοπής, ήταν δίπλα μου από τα πρώτα εκπαιδευτικά μου βήματα, μου έδωσαν όλα τα εφόδια για να γνωρίσω και να αγαπήσω τη γνώση, αλλά και επιθυμούσαν με λαχτάρα να με βλέπουν να προοδεύω. Παράλληλα αποτελούσαν για εμένα τους δεύτερους γονείς μου και το μεγάλο μου στήριγμα σε κάθε στιγμή της ζωής μου. Ως εκ τούτου η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία αφιερώνεται αποκλειστικά στη μνήμη τους, ως ο ελάχιστος φόρος τιμής για την ανιδιοτελή τους αγάπη και αφοσίωση κάθε στιγμή των 25 υπέροχων ετών που περάσαμε μαζί. Η αγάπη που εισέπραξα από εκείνους μου δείχνει τον δρόμο για να συνεχίζω να προοδεύω. Στη σκέψη μου η μορφή τους, η φωνή τους, η καλοσύνη τους και οι στιγμές μας δεν θα σβήσουν ποτέ, ενώ η θέση τους στην καρδιά μου θα είναι πάντοτε ξεχωριστή.

*«Κάθε Δύση του ηλίου και μια ανάμνηση,  
κάθε Ανατολή και μια καινούργια ελπίδα»*

*Δομήνικος Θεοτοκόπουλος*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η σωστή διαμόρφωση των πρανών, για ένα έργο οδοποιίας, αποτελεί παράγοντα μείζονος σημασίας αναφορικά με την προστασία της οδού έναντι εισχώρησης τεμαχών βράχου. Δεν είναι λίγες οι φορές κατά τις οποίες ένα κατολισθητικό φαινόμενο, σε πρανές πλησίον οδού, έχει οδηγήσει σε σύγκρουση των αποκολλημένων βράχων με διερχόμενα οχήματα και κατά συνέπεια έχει στοιχίσει ανθρώπινες ζωές και προκαλέσει σοβαρούς τραυματισμούς.

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία πραγματεύεται τη γεωτεχνική μελέτη αναδιαμόρφωσης των ήδη διαμορφωμένων πρανών του Αυτοκινητοδρόμου 5 (Ιόνια Οδός), σε συγκεκριμένα τμήματά του από τη Χ.Θ. 161+590 έως τη Χ.Θ. 166+900, λόγω της κατασκευής μίας επιπλέον λωρίδας κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση. Στο τμήμα αυτό περιλαμβάνονται τόσο η κύρια οδός και οι παράπλευρες οδοί, όσο και ο ανισόπεδος κόμβος Γοργομύλου.

Το εξεταζόμενο διάστημα μεταξύ των δύο προαναφερθέντων χιλιομετρικών θέσεων, διαιρείται σε επιμέρους τμήματα βάσει κυρίως της μορφολογίας των πρανών πέριξ της οδού, αλλά και των επικρατουσών γεωλογικών και γεωτεχνικών συνθηκών. Συγκεκριμένα για κάθε διάστημα επιλέγεται μία χαρακτηριστική διατομή, όπου τα πρανή πέριξ της οδού εμφανίζουν το μεγαλύτερο υψόμετρο. Οι αναλύσεις λαμβάνουν χώρα και για τα δεξιά πρανή (άνοδος οδού), αλλά και για τα αριστερά πρανή (κάθοδος).

Όπου η ανάλυση περιλαμβάνει μόνο το ένα πρανές, συνεπάγεται πως το άλλο δεν χρειαζόταν διαμόρφωση ή η διαμόρφωσή του ήταν απλή και δεν έχρηζε γεωτεχνικής μελέτης. Μάλιστα παρατίθενται δύο σενάρια σε κάθε διατομή, από τα οποία το πρώτο αποτελεί το προτεινόμενο βάσει και της αρχικής γεωτεχνικής μελέτης, ενώ το δεύτερο αποτελεί το συντηρητικότερο. Η διαμόρφωση, βάσει του συντηρητικότερου σεναρίου, πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψιν τα διαθέσιμα στοιχεία από τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις (δείκτης ποιότητας βραχομάζας RQD, συνοχή  $c$  και γωνία τριβής  $\phi$ ). Για τη διαμόρφωση των πρανών (κλίση, διαστάσεις τάφρων, αναβαθμών κ.λπ.) ακολουθούνται οι οδηγίες των σχεδίων ΟΜΟΕ-Δ και Κ.Μ.Ε.

Η αποτελεσματικότητα των αναδιαμορφώσεων εξετάζεται κατόπιν προσομοίωσης κατάπτωσης τεμαχών βράχου στο RocFall 4.0. Για την επιλογή των κατάλληλων στοιχείων των μεταθετικών ολισθήσεων τεμαχών βράχου, δημιουργήθηκαν οι στερεογραφικές απεικονίσεις πρανών και ασυνεχειών σε δίκτυα Schmidt, μέσω του λογισμικού Dips 5.1. Επιπλέον στη συνέχεια εκτιμήθηκαν οι συντελεστές ασφαλείας σε συνθήκες στατικής φόρτισης, ασυνεχειών πληρωμένων με νερό, αλλά και παράλληλα ύπαρξης σεισμικής φόρτισης. Οι συντελεστές εκτιμήθηκαν μέσω των λογισμικών Swedge 4.0 και RocPlane 2.0 για τις δυνητικές σφηνοειδείς και επίπεδες ολισθήσεις αντίστοιχα. Για όσους συντελεστές προέκυψαν τιμές μικρότερες από τη μονάδα, αξιολογήθηκε το βάρος του δυνητικά ολισθαίνοντος τεμάχους στον υπολογισμό της μέγιστης μάζας για την εξέταση της δυσμενέστερης περίπτωσης.

Ύστερα από κάθε προσομοίωση εξετάστηκε η μεταβολή του ύψους αναπήδησης, της κινητικής ενέργειας, της μεταθετικής ταχύτητας και της γωνιακής ταχύτητας συναρτήσει της οριζόντιας θέσης. Τα αποτελέσματα οδήγησαν στο συμπέρασμα πως η ηπιότερη κλίση του πρανούς, αλλά και το χαμηλότερο ύψος αυτού, επιδρούν άμεσα στη μείωση της μεταθετικής ταχύτητας και του ύψους αναπήδησης, αλλά και έμμεσα στην απομείωση της κινητικής ενέργειας των βραχοτεμαχών. Επιπλέον παρατηρήθηκε πως η μείωση της μάζας επιφέρει μείωση της κινητικής ενέργειας κι αύξηση της γωνιακής ταχύτητας του βραχοτεμάχους.

Συμπληρωματικά, έλαβαν χώρα και αναλύσεις ευαισθησίας αναφορικά με την επίδραση της τυπικής απόκλισης της τραχύτητας και του υλικού των τάφρων και των αναβαθμών στις μέγιστες τιμές των παραπάνω μεγεθών για συγκριμένες θέσεις (εντός της τάφρου και του αναβαθμού). Η επίδραση των παραπάνω παραγόντων υπήρξε εμφανής μόνο στη μεταβολή του ύψους αναπήδησης των βραχοτεμαχών.

*Λέξεις κλειδιά: διαμόρφωση πρανών, οδοποιία, αποκολλημένοι βράχοι, ολισθαίνον τέμαχος βράχου, ασυνέχειες, Ιόνια Οδός, RQD, συνοχή, γωνία τριβής, σχέδιο ΟΜΟΕ-Δ, σχέδιο Κ.Μ.Ε., προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου, συντελεστές ασφαλείας, στατική φόρτιση, ασυνέχειες πληρωμένες με νερό, σεισμική φόρτιση, μεταθετικές ολισθήσεις, σφηνοειδής ολίσθηση, επίπεδη ολίσθηση, βάρος ολισθαίνοντος τεμάχους, ύψος αναπήδησης, κινητική ενέργεια, μεταθετική ταχύτητα, γωνιακή ταχύτητα, τυπική απόκλιση της τραχύτητας, υλικό τάφρου, υλικό αναβαθμού.*



## ABSTRACT

The configuration of the slopes, for a road construction project, is a factor of major importance regarding the protection of the road against the entry of rock fragments. It is not uncommon for a landslide on a slope near a road, to lead to collision of the detached rocks with passing vehicles, causing fatal accidents and serious injuries.

The specific diploma thesis deals with the geotechnical study of remodeling of the already formed slopes of the Highway 5 (Ionian Road), in its specific sections between Ch. 161 + 590 and Ch. 166 + 900, due to the construction of an additional traffic lane in each direction. This section includes both the main road and the secondary roads, as well as the Gorgomylos interchange.

The understudy area is divided into individual parts based mainly on the morphology of the around slopes, but also on the prevailing geological and geotechnical conditions. Specifically, for each part, a characteristic cross section is selected, where the slopes around the road present the highest altitude. The analyzes take place for the right slopes (ascent of the road), as well as for the left slopes (descent).

Where the analysis includes only one slope side, it entails that the other did not need configuration or its configuration was simple and did not demand geotechnical study. In fact, two scenarios are presented in each cross section, of which the first is the proposed one based on the initial geotechnical study, while the second is the most conservative. The configuration, based on the most conservative scenario, is performed taking into account the available data from the sampling boreholes (RQD rock mass quality index, cohesion  $c$  and friction angle  $\phi$ ). For the configuration of the slopes (form, dimensions of ditches, steps, etc.) the instructions of the OMOE-D and K.M.E. are followed.

The effectiveness of each remodeling is tested by simulations in RocFall 4.0. For the selection of the appropriate elements for the translational slides of rocks, stereographic representations of slopes and joints in Schmidt nets were created, using Dips 5.1 software. Furthermore, the safety factors were assessed in conditions of static loads existence, water pressure in filled fissures, but also existence of seismic loads. The relative values were estimated using Swedge 4.0 and RocPlane 2.0 software for the potential wedge failures and planar slides respectively. For those safety factors that resulted in values less than one unit, the weight of the potentially sliding block was evaluated, in the calculation of the maximum mass to examine the worst case.

After each simulation, the variation in bounce height, kinetic energy, translational velocity and angular velocity -as a function of horizontal location- was examined. The results led to the conclusion that the gentlest configuration of the slope, and also its lower height, have a direct effect on the reduction of the translational velocity and the bounce height, but also indirectly on the reduction of the kinetic energy. Moreover, it was observed that the mass reduction results in kinetic energy reduction and increase in angular velocity of the rock fragments.

Additionally, sensitivity analyzes took place regarding the effect of the standard deviation of the roughness and the material of the ditches and the steps to the maximum values of the above quantities for specific locations (inside the ditch and the step). The effect of the above factors was evident only in the variation of the rocks bounce height.

*Keywords: slopes configuration, road construction, detached rocks, sliding rocks, joints, Ionian Road, RQD, cohesion, friction angle, OMOE-D instructions, K.M.E. instructions, rockfall simulation, safety factors, static loads, water pressure in filled fissures, seismic loads, translational slides, wedge failures, planar slides, rock weight, bounce height, kinetic energy, translational velocity, angular velocity, standard deviation of the roughness, ditch material, step material.*

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	27
1.1 Περιγραφή του Υπό Εξέταση Προβλήματος.....	27
1.2 Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας.....	27
1.3 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας.....	27
2. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ / ΜΕΤΡΑ ΑΝΑΣΧΕΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ .....	29
2.1 Κατολισθήσεις.....	29
2.1.1 Ορισμός.....	29
2.1.2 Ταξινόμηση κατολισθήσεων.....	29
2.1.3 Παράγοντες επίδρασης κατολισθήσεων.....	35
2.1.4 Παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων .....	37
2.2 Αστοχία Πρανών .....	45
2.2.1 Κίνδυνοι της αστοχίας ως προς την οδική ασφάλεια .....	45
2.2.2 Συστήματα εκτίμησης επικινδυνότητας πρανών.....	46
2.3 Μέθοδοι Ασφάλειας και Προστασίας από Κατολισθήσεις.....	55
2.3.1 Λιθοπληρωμένα συρματοκιβώτια και συρματοκύλινδροι .....	55
2.3.2 Βλάστηση .....	56
2.3.3 Κορμοτεμάχια .....	57
2.3.4 Τοίχος αντιστήριξης-αναχαίτισης .....	57
2.3.5 Ηλώσεις - Κοχλιώσεις - Αγκυρώσεις .....	61
2.3.6 Φράχτες ανάσχεσης.....	63
2.3.7 Πλέγματα συγκράτησης.....	65
2.3.8 Διαμόρφωση πρανών .....	66
3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ .....	68
3.1 Γενικά Στοιχεία.....	68
3.2 Στοιχεία Γεωλογικής Μελέτης .....	69
3.2.1 Λιθολογία-Στρωματογραφία.....	71
3.2.2 Τεκτονική δομή.....	72
3.2.3 Υδρογεωλογικές συνθήκες.....	73
3.2.4 Τεχνικογεωλογικές ενότητες .....	74
3.3 Μελέτες Γεωτεχνικών Κατασκευών.....	78
3.3.1 Όρυγμα από Χ.Θ. 165+250 έως Χ.Θ. 165+530 .....	79
3.3.2 Όρυγμα από Χ.Θ. 165+950 έως Χ.Θ. 166+280 .....	83
3.3.3 Όρυγμα από Χ.Θ. 166+760 έως Χ.Θ. 166+900 .....	86
3.3.4 Ορύγματα για τη διαμόρφωση του ανισόπεδου κόμβου Γοργομούλου.....	89

<b>4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b> .....	<b>94</b>
4.1 Ανάλυση Νέων Συνθηκών.....	<b>94</b>
4.2 Παρουσίαση του Λογισμικού Προσομοίωσης Βραχοδών Καταπτώσεων RocFall	<b>96</b>
4.2.1 Ρυθμίσεις έργου (project settings).....	<b>96</b>
4.2.2 Επιλογή ορίων σχεδίασης έργου (limits).....	<b>98</b>
4.2.3 Στοιχεία και σχεδίαση πρανούς (slope editor, material editor και define slope).....	<b>98</b>
4.2.4 Ορισμός θέσης ή τμήματος εκκίνησης της βραχοκατάπτωσης (rocks).....	<b>99</b>
4.2.5 Διαθέσιμα μέτρα προστασίας και λοιπά εργαλεία (barriers και tools).....	<b>100</b>
4.3 Διαμόρφωση Πρανών, Κινηματικές Αναλύσεις Ευστάθειάς τους και Προσομοίωση Βραχοπτώσεων.....	<b>101</b>
4.3.1 Διατομή ορύγματος στη Χ.Θ. 165+290 (Διατομή 973).....	<b>101</b>
4.3.2 Διατομή ορύγματος στη Χ.Θ. 165+970 (Διατομή 1007).....	<b>116</b>
4.3.3 Διατομή ορύγματος στη Χ.Θ. 166+840 (Διατομή 1051).....	<b>128</b>
4.3.4 Διατομή ορύγματος στη Χ.Θ. 0+173.21 της παράπλευρης SRL24A στον ανισόπεδο κόμβο Γοργομούλου (Διατομή 10).....	<b>154</b>
4.3.5 Διατομή ορύγματος στη Χ.Θ. 0+000 του Κλάδου 1 του ανισόπεδου κόμβου Γοργομούλου (Διατομή 0).....	<b>176</b>
4.4 Ανάλυση Ευαισθησίας.....	<b>197</b>
4.4.1 Επίδραση της τυπικής απόκλισης της τραχύτητας.....	<b>198</b>
4.4.2 Επίδραση του υλικού της τάφρου και του αναβαθμού.....	<b>200</b>
<b>5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ</b> .....	<b>203</b>
5.1 Συμπεράσματα.....	<b>203</b>
5.2 Προτάσεις για Περαιτέρω Διερεύνηση.....	<b>204</b>
<b>ΑΝΑΦΟΡΕΣ/ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	<b>206</b>

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Τύπος μετακίνησης συναρτήσεως του τύπου γεωυλικού κατά Varnes (1978) (USGS, 2004) .....	29
Πίνακας 2.2: Διακριτοποίηση παραγόντων που οδηγούν σε κατολίσθηση (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007) .....	36
Πίνακας 2.3: Αριθμός βράχων που κατέπεσαν σε παραθαλάσσια οδό 4 λωρίδων κυκλοφορίας (Nouvelle Route Du Littoral, 2016).....	46
Πίνακας 2.4: Oregon’s Rockfall Hazard Risk Assessment (Pierson et al. 1990) .....	47
Πίνακας 2.5: Τροποποιημένος πίνακας RHSA (Budetta και Panico, 2002) .....	48
Πίνακας 2.6: Αξιολόγηση τιμών του δείκτη μάζας πρανού (SMR) (Romana, 1985) .....	48
Πίνακας 2.7: Αρχικό φύλλο βαθμολογίας του Κολοράντο RHRS (Andrew, 1994).....	50
Πίνακας 2.8: Αρχικό φύλλο βαθμολογίας του Κολοράντο RHRS (CDOT, 1997).....	51
Πίνακας 2.9: Το τροποποιημένο RHRS του Κολοράντο (Russell, Santi και Higgins, 2008) ..	52
Πίνακας 2.10: Επιμέρους κατηγορίες που λαμβάνει υπόψιν το σύστημα Tennessee RHRS ...	54
Πίνακας 2.11: Φύλλο βαθμολόγησης στο σύστημα Tennessee RHRS.....	55
Πίνακας 2.12: Βασικά μέρη, στοιχεία και λειτουργίες φράκτη ανάσχεσης (ETAG 027,2008) .....	64
Πίνακας 2.13: Συσχέτιση SEL & MEL βάσει ταξινόμησης επιπέδου ενέργειας (ETAG 027, 2008).....	65
Πίνακας 3.1: Στοιχεία στρώσεων ασβεστόλιθου συναρτήσεως και του βάθους (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014).....	80
Πίνακας 3.2: Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά κάθε στρώσης συναρτήσεως και του βάθους (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014).....	80
Πίνακας 3.3: Τεκτονικό διάγραμμα περιοχής ορύγματος X.Θ. 165+250 έως X.Θ. 165+530 (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014).....	81
Πίνακας 3.4: Στοιχεία δεύτερης στρώσης (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014).....	84
Πίνακας 3.5: Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά κάθε στρώσης συναρτήσεως και του βάθους (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014).....	84
Πίνακας 3.6: Τεκτονικό διάγραμμα περιοχής ορύγματος X.Θ. 165+950 έως X.Θ. 166+280 (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014).....	84
Πίνακας 3.7: Στοιχεία δεύτερης στρώσης (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014).....	87
Πίνακας 3.8: Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014) .....	87
Πίνακας 3.9: Τεκτονικό διάγραμμα αριστερού πρανού (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014) .....	87
Πίνακας 3.10: Τεκτονικό διάγραμμα δεξιού πρανού (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014) .....	87
Πίνακας 3.11: Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά εδαφικής στρώσης (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014) .....	90
Πίνακας 3.12: Στοιχεία δεύτερης στρώσης (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014).....	90
Πίνακας 3.13: Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά κάθε στρώσης συναρτήσεως και του βάθους (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014) .....	90
Πίνακας 3.14: Τεκτονικό διάγραμμα (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014).....	90
Πίνακας 4.1: Διαστάσεις τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων βραχωδών ορυγμάτων (Πίνακας Π-2, Παράρτημα I (ΟΜΟΕ - Δ) .....	94

Πίνακας 4.2 : Μέγιστες κλίσεις πρανών ορυγμάτων (τμήμα του Πίνακα 12 - 1.7 των Κ.Μ.Ε., 2014) .....	95
Πίνακας 4.3 : Περιορισμοί και οδηγίες αναφορικά με τη διαμόρφωση πρανών ορυγμάτων (πλήρως βασισμένος στον Πίνακα 12 - 1.7 των Κ.Μ.Ε., 2014) .....	96
Πίνακας 4.4: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 48°/244° (ανάντη της κύριας οδού).....	104
Πίνακας 4.5: Δυνητική επίπεδη ολίσθηση και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 48°/244° (ανάντη της κύριας οδού).....	104
Πίνακας 4.6: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανών 45°/244°, ύψους 8m και 6.9m (ανάντη της παράπλευρης οδού) .....	105
Πίνακας 4.7: Δυνητική επίπεδη ολίσθηση και συντελεστές ασφαλείας πρανών 45°/244°, ύψους 8m και 6.9m (ανάντη της παράπλευρης οδού) .....	105
Πίνακας 4.8: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (48°/244°) ύψους 12.8m.....	107
Πίνακας 4.9: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (45°/244°) ύψους 8m.....	107
Πίνακας 4.10: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (45°/244°) ύψους 6.9m.....	107
Πίνακας 4.11: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 973, Σενάριο 1 .....	111
Πίνακας 4.12: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανών 34°/244°, ύψους 8m έκαστον (ανάντη της παράπλευρης οδού).....	112
Πίνακας 4.13: Δυνητική επίπεδη ολίσθηση και συντελεστές ασφαλείας πρανών 34°/244°, ύψους 8m έκαστον (ανάντη της παράπλευρης οδού).....	112
Πίνακας 4.14: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για τα πρανή (34°/244°) ύψους 8m έκαστον.....	113
Πίνακας 4.15: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 973, σενάριο 2 .....	116
Πίνακας 4.16: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 64°/276° για τα τρία κατά σειρά διαμορφωμένα πρανή (ύψους 12m, 12m και 5.2m) .....	117
Πίνακας 4.17: Δυνητική επίπεδη ολίσθηση και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 64°/276° για τα δύο πρώτα κατά σειρά διαμορφωμένα πρανή (ύψους 12m).....	118
Πίνακας 4.18: Δυνητική επίπεδη ολίσθηση και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 64°/276° για το τρίτο κατά σειρά διαμορφωμένο πρανές (ύψους 5.2m) .....	118
Πίνακας 4.19: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για τα δύο πρώτα κατά σειρά διαμορφωμένα πρανή (64°/276°) ύψους 12m έκαστον.....	118
Πίνακας 4.20: Υπολογισμός βάρους τεμάχους δυνητικής επίπεδης ολίσθησης για τα δύο πρώτα κατά σειρά διαμορφωμένα πρανή (64°/276°) ύψους 12m έκαστον.....	118
Πίνακας 4.21: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το τρίτο κατά σειρά διαμορφωμένο πρανές (64°/276°) ύψους 5.2m .....	119
Πίνακας 4.22: Υπολογισμός βάρους τεμάχους δυνητικής επίπεδης ολίσθησης για το τρίτο κατά σειρά διαμορφωμένο πρανές (64°/276°) ύψους 5.2m .....	119
Πίνακας 4.23: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 1007, σενάριο 1 .....	122

Πίνακας 4.24: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς $55^{\circ}/276^{\circ}$ για τα τρία κατά σειρά διαμορφωμένα πρανή (ύψους 12m, 12m και 5.2m) .....	123
Πίνακας 4.25: Δυνητική επίπεδη ολίσθηση και συντελεστές ασφαλείας για τα δύο πρώτα κατά σειρά διαμορφωμένα πρανή ( $55^{\circ}/276^{\circ}$ ) ύψους 12m έκαστον.....	123
Πίνακας 4.26: Δυνητική επίπεδη ολίσθηση και συντελεστές ασφαλείας για το τρίτο κατά σειρά διαμορφωμένο πρανές ( $55^{\circ}/276^{\circ}$ ) ύψους 5.2m.....	124
Πίνακας 4.27: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για τα δύο πρώτα κατά σειρά διαμορφωμένα πρανή ( $55^{\circ}/276^{\circ}$ ) ύψους 12m.....	124
Πίνακας 4.28: Υπολογισμός βάρους τεμάχους δυνητικής επίπεδης ολίσθησης για τα δύο πρώτα κατά σειρά διαμορφωμένα πρανή ( $55^{\circ}/276^{\circ}$ ) ύψους 12m .....	124
Πίνακας 4.29: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το τρίτο κατά σειρά διαμορφωμένο πρανές ( $55^{\circ}/276^{\circ}$ ) ύψους 5.2m .....	124
Πίνακας 4.30: Υπολογισμός βάρους τεμάχους δυνητικής επίπεδης ολίσθησης για το τρίτο κατά σειρά διαμορφωμένο πρανές ( $55^{\circ}/276^{\circ}$ ) ύψους 5.2m .....	125
Πίνακας 4.31: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 1007, σενάριο 2.....	128
Πίνακας 4.32: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανών $64^{\circ}/86^{\circ}$ .....	130
Πίνακας 4.33: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές ( $64^{\circ}/86^{\circ}$ ) ύψους 9m έως τον πρώτο αναβαθμό .....	130
Πίνακας 4.34: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές ( $64^{\circ}/86^{\circ}$ ) ύψους 10m μεταξύ πρώτου και δεύτερου αναβαθμού.....	130
Πίνακας 4.35: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές ( $64^{\circ}/86^{\circ}$ ) ύψους 6.8m μεταξύ του δεύτερου αναβαθμού και του υψηλότερου διαμορφωμένου τμήματος.....	130
Πίνακας 4.36: Σύνοψη μέγιστων τιμών βραχοσφηνών για κάθε τμήμα του πρανούς $64^{\circ}/86^{\circ}$ .....	131
Πίνακας 4.37: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 1051 (αριστερά), σενάριο 1 .....	134
Πίνακας 4.38: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανών $55^{\circ}/86^{\circ}$ .....	135
Πίνακας 4.39: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για τα δύο πρανή ( $55^{\circ}/86^{\circ}$ ) ύψους 10m έκαστον .....	135
Πίνακας 4.40: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς $45^{\circ}/86^{\circ}$ .....	136
Πίνακας 4.41: Σύνοψη μέγιστων τιμών βραχοσφηνών για κάθε τμήμα διαμόρφωσης .....	136
Πίνακας 4.42: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 1051 (αριστερά), σενάριο 2 .....	139
Πίνακας 4.43: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανών $64^{\circ}/260^{\circ}$ .....	141
Πίνακας 4.44: Δυνητική επίπεδη ολίσθηση και συντελεστές ασφαλείας για τα τρία πρώτα κατά σειρά διαμορφωμένα πρανή ( $64^{\circ}/260^{\circ}$ ) ύψους (9.6m, 10m και 10m αντίστοιχα) .....	141
Πίνακας 4.45: Δυνητική επίπεδη ολίσθηση και συντελεστές ασφαλείας πρανούς $64^{\circ}/260^{\circ}$ για το τέταρτο κατά σειρά διαμορφωμένο πρανές (ύψους 5.4 m) .....	141

Πίνακας 4.46: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (64°/260°) ύψους 9.6m.....	142
Πίνακας 4.47: Υπολογισμός βάρους τεμάχους δυνητικής επίπεδης ολίσθησης για το πρανές (64°/260°) ύψους 9.6m.....	142
Πίνακας 4.48: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για τα δύο πρανή (64°/260°) ύψους 10m έκαστον.....	142
Πίνακας 4.49: Υπολογισμός βάρους τεμάχους δυνητικής επίπεδης ολίσθησης για τα δύο πρανή (64°/260°) ύψους 10m έκαστον.....	142
Πίνακας 4.50: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (64°/260°) ύψους 5.4m.....	142
Πίνακας 4.51: Υπολογισμός βάρους τεμάχους δυνητικής επίπεδης ολίσθησης για το πρανές (64°/260°) ύψους 5.4m.....	143
Πίνακας 4.52: Σύνοψη μέγιστων τιμών βραχοσφηνών για κάθε τμήμα του πρανούς 64°/260° .....	143
Πίνακας 4.53: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 1051 (δεξιά), σενάριο 1 .....	146
Πίνακας 4.54: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανών 55°/260° .....	147
Πίνακας 4.55: Δυνητική επίπεδη ολίσθηση και συντελεστές ασφαλείας πρανών 55°/260° ..	148
Πίνακας 4.56: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για τα τρία πρώτα κατά σειρά διαμορφωμένα πρανή (55°/260°) ύψους 10m έκαστον.....	148
Πίνακας 4.57: Υπολογισμός βάρους τεμάχους δυνητικής επίπεδης ολίσθησης για τα τρία πρώτα κατά σειρά διαμορφωμένα πρανή (55°/260°) ύψους 10m έκαστον.....	148
Πίνακας 4.58: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 45°/260° .....	149
Πίνακας 4.59: Δυνητική επίπεδη ολίσθηση και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 45°/260° ..	149
Πίνακας 4.60: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (45°/260°) ύψους 3.2m μεταξύ του τρίτου αναβαθμού και του υψηλότερου διαμορφωμένου τμήματος.....	150
Πίνακας 4.61: Υπολογισμός βάρους τεμάχους δυνητικής επίπεδης ολίσθησης για το πρανές (45°/260°) ύψους 3.2m μεταξύ του τρίτου αναβαθμού και του υψηλότερου διαμορφωμένου τμήματος.....	150
Πίνακας 4.62: Σύνοψη μέγιστων τιμών βραχοσφηνών για κάθε τμήμα του διαμορφωμένου πρανούς .....	150
Πίνακας 4.63: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 1051 (δεξιά), σενάριο 2 .....	153
Πίνακας 4.64: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 64°/165° .....	155
Πίνακας 4.65: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (64°/165°) ύψους 10m έως τον αναβαθμό .....	156
Πίνακας 4.66: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 45°/165° .....	156
Πίνακας 4.67: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (45°/165°) ύψους 2.8m μεταξύ του αναβαθμού και του υψηλότερου διαμορφωμένου τμήματος .....	157
Πίνακας 4.68: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 10 (αριστερά), σενάριο 1 .....	160



Πίνακας 4.69: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 55°/165° .....	161
Πίνακας 4.70: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (55°/165°) ύψους 10m έως τον αναβαθμό .....	162
Πίνακας 4.71: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (45°/165°) ύψους 2.1m μεταξύ του αναβαθμού και του υψηλότερου διαμορφωμένου τμήματος .....	162
Πίνακας 4.72: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 10 (αριστερά), σενάριο 2 .....	165
Πίνακας 4.73: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανών 64°/345° .....	167
Πίνακας 4.74: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (64°/345°) ύψους 10m έως τον αναβαθμό .....	167
Πίνακας 4.75: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (64°/345°) ύψους 6.6m μεταξύ του αναβαθμού και του υψηλότερου διαμορφωμένου τμήματος .....	167
Πίνακας 4.76: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 10 (δεξιά), σενάριο 1 .....	171
Πίνακας 4.77: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανών 55°/345° .....	172
Πίνακας 4.78: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (55°/345°) ύψους 10m έως τον αναβαθμό .....	172
Πίνακας 4.79: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (55°/345°) ύψους 6m μεταξύ του αναβαθμού και του υψηλότερου διαμορφωμένου τμήματος .....	172
Πίνακας 4.80: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 10 (δεξιά), σενάριο 2 .....	176
Πίνακας 4.81: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 64°/173° .....	177
Πίνακας 4.82: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (64°/173°) ύψους 10m έως τον αναβαθμό .....	177
Πίνακας 4.83: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 45°/173° .....	178
Πίνακας 4.84: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 0 (αριστερά), σενάριο 1 .....	182
Πίνακας 4.85: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 55°/173° .....	183
Πίνακας 4.86: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (55°/173°) ύψους 10m έως τον αναβαθμό .....	183
Πίνακας 4.87: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 0 (αριστερά), σενάριο 2 .....	186
Πίνακας 4.88: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 64°/353° .....	188
Πίνακας 4.89: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (64°/353°) ύψους 10m έως τον αναβαθμό .....	188
Πίνακας 4.90: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 45°/353° .....	189

Πίνακας 4.91: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 0 (δεξιά), σενάριο 1 .....	193
Πίνακας 4.92: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 55°/353° .....	194
Πίνακας 4.93: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 0 (δεξιά), σενάριο 2 .....	197
Πίνακας 4.94: Μέγιστες τιμές μεγεθών ύψους αναπήδησης, κινητικής ενέργειας, μεταθετικής και γωνιακής ταχύτητας εντός της τάφρου συναρτήσει της τυπικής απόκλισης της τραχύτητας .....	198
Πίνακας 4.95: Μέγιστες τιμές μεγεθών ύψους αναπήδησης, κινητικής ενέργειας, μεταθετικής και γωνιακής ταχύτητας εντός του αναβαθμού συναρτήσει της τυπικής απόκλισης της τραχύτητας .....	198
Πίνακας 4.96: Χαρακτηριστικές τιμές συντελεστών κανονικής αποκατάστασης και τυπικές τους αποκλίσεις (Rocscience Coefficient of Restitution Table) .....	200
Πίνακας 4.97: Χαρακτηριστικές τιμές συντελεστών εφαπτομενικής αποκατάστασης και τυπικές τους αποκλίσεις (Rocscience Coefficient of Restitution Table) .....	200
Πίνακας 4.98: Μέγιστες τιμές μεγεθών ύψους αναπήδησης, κινητικής ενέργειας, μεταθετικής και γωνιακής ταχύτητας εντός της τάφρου συναρτήσει του υλικού της .....	201
Πίνακας 4.99: Μέγιστες τιμές μεγεθών ύψους αναπήδησης, κινητικής ενέργειας, μεταθετικής και γωνιακής ταχύτητας εντός του αναβαθμού συναρτήσει του υλικού του ..	201

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Αριθμός κατολισθήσεων συναρτήσει κατηγορίας υψομέτρου (Λαϊνάς, 2018) .....	37
Σχήμα 2.2: Αριθμός κατολισθήσεων συναρτήσει της κλίσης του πρανούς (Λαϊνάς, 2018) .....	37
Σχήμα 2.3: Συσχέτιση μεταξύ μέγιστου όγκου κατολίσθησης και μεγέθους σεισμού (Nerop και Agatona, 2016) .....	39
Σχήμα 2.4: Παράγοντες εναυσματικών κατολισθήσεων (Δεδομένα από Λαϊνά, 2018) .....	43
Σχήμα 2.5: Συσχέτιση αριθμού γεγονότων και δείκτη συμβάντος συναρτήσει της συσσώρευσης της βροχόπτωσης (Zhang et al., 2019) .....	43
Σχήμα 2.6: Συσχέτιση αριθμού γεγονότων και δείκτη συμβάντος συναρτήσει της χρονικής διάρκειας της βροχόπτωσης (Zhang et al., 2019) .....	44
Σχήμα 2.7: Συσχέτιση αριθμού γεγονότων και δείκτη συμβάντος συναρτήσει της σφοδρότητας της βροχόπτωσης (Zhang et al., 2019) .....	45
Σχήμα 2.8: Επιρροή του ύψους του πρανούς στη βαθμολογία (Pierson et al. 1990) .....	47
Σχήμα 2.9: Διάγραμμα σχεδίασης M.Richie για τον προσδιορισμό του απαιτούμενου πλάτους (W) και του βάθους (D) των τάφρων βράχου σε σχέση με το ύψος (H) και τη γωνία κλίσης ( $\psi$ ) του λόφου (Whiteside, 1986) .....	49
Σχήμα 2.10: Συσχέτιση μεταξύ της απόστασης από τη θέση απόφασης (Da) και ταχύτητας οχήματος (V) για διαφορετικές κατά μήκος κλίσεις (i) της οδού (CNR, 1980) .....	49
Σχήμα 2.11: Βαθμολογία συνεπειών από την πτώση βράχων συναρτήσει της γωνίας κλίσης του πρανούς και των αντίστοιχων μέσων βαθμολογιών της (Maerz et al., 2005) .....	52
Σχήμα 2.12: Πραγματικές και απαιτούμενες διαστάσεις τάφρου και βαθμολογία της (Russell, Santi και Higgins, 2008) .....	53
Σχήμα 4.1: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 48°/244° (ανάντη της κύριας οδού) και εμφανιζόμενων ασυνεχειών ( $c=0\text{kPa}$ , $\phi=33^\circ$ ) .....	103

Σχήμα 4.2: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 45°/244° (ανάντη της παράπλευρης οδού) και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=33°).....	105
Σχήμα 4.3: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 973 με διαμόρφωση πρανών με κλίσεις 48°,45° & 45° κατά σειρά από αριστερά προς δεξιά.....	108
Σχήμα 4.4: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 973, σενάριο 1.....	108
Σχήμα 4.5: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 973, σενάριο 1.....	109
Σχήμα 4.6: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 973, σενάριο 1.....	109
Σχήμα 4.7: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 973, σενάριο 1.....	110
Σχήμα 4.8: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 973, σενάριο 1.....	110
Σχήμα 4.9: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 34°/244° (ανάντη της παράπλευρης οδού) και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=33°).....	111
Σχήμα 4.10: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 973 με διαμόρφωση πρανών με κλίσεις 48°,34° & 34° κατά σειρά από αριστερά προς δεξιά. ....	113
Σχήμα 4.11: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 973, σενάριο 2 .....	113
Σχήμα 4.12: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 973, σενάριο 2 .....	114
Σχήμα 4.13: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 973, σενάριο 2 .....	114
Σχήμα 4.14: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 973, σενάριο 2 .....	115
Σχήμα 4.15: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 973, σενάριο 2 .....	115
Σχήμα 4.16: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 64°/276° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=35°).....	117
Σχήμα 4.17: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 1007 με διαμόρφωση πρανών με κλίση 64°. ....	119
Σχήμα 4.18: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 1007, σενάριο 1.....	120
Σχήμα 4.19: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1007, σενάριο 1.....	120
Σχήμα 4.20: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1007, σενάριο 1.....	121
Σχήμα 4.21: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1007, σενάριο 1.....	121
Σχήμα 4.22: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1007, σενάριο 1.....	122
Σχήμα 4.23: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 55°/276° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=35°).....	123

Σχήμα 4.24: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 1007 με διαμόρφωση πρανών με κλίση 55° .....	125
Σχήμα 4.25: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 1007, σενάριο 2.....	125
Σχήμα 4.26: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1007, σενάριο 2.....	126
Σχήμα 4.27: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1007, σενάριο 2.....	126
Σχήμα 4.28: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1007, σενάριο 2.....	127
Σχήμα 4.29: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1007, σενάριο 2.....	127
Σχήμα 4.30: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 64°/86° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=35°).....	129
Σχήμα 4.31: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 1051 (αριστερά) με διαμόρφωση πρανών με κλίση 64° .....	131
Σχήμα 4.32: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 1051 (αριστερά), σενάριο 1 .....	131
Σχήμα 4.33: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (αριστερά), σενάριο 1 .....	132
Σχήμα 4.34: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (αριστερά), σενάριο 1 .....	132
Σχήμα 4.35: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (αριστερά), σενάριο 1 .....	133
Σχήμα 4.36: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (αριστερά), σενάριο 1 .....	133
Σχήμα 4.37: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 55°/86° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=35°).....	134
Σχήμα 4.38: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 45°/86° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=35°).....	135
Σχήμα 4.39: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 1051 (αριστερά) με διαμόρφωση των δύο πρώτων κατά σειρά πρανών ορυγμάτων με κλίση 55° και του τρίτου με κλίση 45° .....	136
Σχήμα 4.40: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 1051 (αριστερά), σενάριο 2.....	137
Σχήμα 4.41: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (αριστερά), σενάριο 2.....	137
Σχήμα 4.42: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (αριστερά), σενάριο 2.....	138
Σχήμα 4.43: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (αριστερά), σενάριο 2.....	138
Σχήμα 4.44: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (αριστερά), σενάριο 2.....	139
Σχήμα 4.45: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 64°/260° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=35°).....	140
Σχήμα 4.46: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 1051 (δεξιά) με διαμόρφωση πρανών με κλίση 64° .....	143

Σχήμα 4.47: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 1051 (δεξιά), σενάριο 1.....	144
Σχήμα 4.48: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (δεξιά), σενάριο 1.....	144
Σχήμα 4.49: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (δεξιά), σενάριο 1.....	145
Σχήμα 4.50: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (δεξιά), σενάριο 1.....	145
Σχήμα 4.51: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (δεξιά), σενάριο 1.....	146
Σχήμα 4.52: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 55°/260° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=35°).....	147
Σχήμα 4.53: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 45°/260° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=35°).....	149
Σχήμα 4.54: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 1051 (δεξιά) με διαμόρφωση των τριών πρώτων κατά σειρά πρανών ορυγμάτων με κλίση 55° και του τέταρτου με κλίση 45°.....	150
Σχήμα 4.55: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 1051 (δεξιά), σενάριο 2.....	151
Σχήμα 4.56: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (δεξιά), σενάριο 2.....	151
Σχήμα 4.57: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (δεξιά), σενάριο 2.....	152
Σχήμα 4.58: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (δεξιά), σενάριο 2.....	152
Σχήμα 4.59: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (δεξιά), σενάριο 2.....	153
Σχήμα 4.60: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 64°/165° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=30°).....	155
Σχήμα 4.61: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 45°/165° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=30°).....	156
Σχήμα 4.62: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 10 (αριστερά) με διαμόρφωση πρανών με κλίση 64° έως τον αναβαθμό και 45° από τον αναβαθμό έως το υψηλότερο διαμορφωμένο τμήμα του πρανούς.....	157
Σχήμα 4.63: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 10 (αριστερά), σενάριο 1.....	158
Σχήμα 4.64: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (αριστερά), σενάριο 1.....	158
Σχήμα 4.65: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (αριστερά), σενάριο 1.....	159
Σχήμα 4.66: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (αριστερά), σενάριο 1.....	159
Σχήμα 4.67: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (αριστερά), σενάριο 1.....	160
Σχήμα 4.68: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 55°/165° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=30°).....	161

Σχήμα 4.69: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 10 (αριστερά) με διαμόρφωση πρανών με κλίση 55° έως τον αναβαθμό και 45° από τον αναβαθμό έως το υψηλότερο διαμορφωμένο τμήμα του πρανούς.....	162
Σχήμα 4.70: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 10 (αριστερά), Σενάριο 2.....	163
Σχήμα 4.71: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (αριστερά), Σενάριο 2.....	163
Σχήμα 4.72: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (αριστερά), Σενάριο 2.....	164
Σχήμα 4.73: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (αριστερά), Σενάριο 2.....	164
Σχήμα 4.74: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (αριστερά), Σενάριο 2.....	165
Σχήμα 4.75: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 64°/345° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=30°).....	166
Σχήμα 4.76: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 10 (δεξιά) με διαμόρφωση πρανών με κλίση 64° .....	168
Σχήμα 4.77: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 10 (δεξιά), σενάριο 1.....	168
Σχήμα 4.78: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (δεξιά), σενάριο 1.....	169
Σχήμα 4.79: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (δεξιά), σενάριο 1.....	169
Σχήμα 4.80: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (δεξιά), σενάριο 1.....	170
Σχήμα 4.81: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (δεξιά), σενάριο 1.....	170
Σχήμα 4.82: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 55°/345° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=30°).....	171
Σχήμα 4.83: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 10 (δεξιά) με διαμόρφωση πρανών με κλίση 55° .....	173
Σχήμα 4.84: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 10 (δεξιά), σενάριο 2.....	173
Σχήμα 4.85: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (δεξιά), σενάριο 2.....	174
Σχήμα 4.86: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (δεξιά), σενάριο 2.....	174
Σχήμα 4.87: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (δεξιά), σενάριο 2.....	175
Σχήμα 4.88: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (δεξιά), σενάριο 2.....	175
Σχήμα 4.89: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 64°/173° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=30°).....	177
Σχήμα 4.90: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 45°/173° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=30°).....	178

Σχήμα 4.91: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 0 (αριστερά) με διαμόρφωση πρανών με κλίση 64° έως τον αναβαθμό και 45° από τον αναβαθμό έως το υψηλότερο διαμορφωμένο τμήμα του πρανούς.....	179
Σχήμα 4.92: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 0 (αριστερά), σενάριο 1.....	179
Σχήμα 4.93: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (αριστερά), σενάριο 1.....	180
Σχήμα 4.94: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (αριστερά), σενάριο 1.....	180
Σχήμα 4.95: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (αριστερά), σενάριο 1.....	181
Σχήμα 4.96: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (αριστερά), σενάριο 1.....	181
Σχήμα 4.97: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 55°/173° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=30°).....	182
Σχήμα 4.98: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 0 (αριστερά) με διαμόρφωση πρανών με κλίση 55° έως τον αναβαθμό και 45° από τον αναβαθμό έως το υψηλότερο διαμορφωμένο τμήμα του πρανούς.....	183
Σχήμα 4.99: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 0 (αριστερά), σενάριο 2.....	184
Σχήμα 4.100: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (αριστερά), σενάριο 2.....	184
Σχήμα 4.101: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (αριστερά), σενάριο 2.....	185
Σχήμα 4.102: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (αριστερά), σενάριο 2.....	185
Σχήμα 4.103: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (αριστερά), σενάριο 2.....	186
Σχήμα 4.104: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 64°/353° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=30°).....	187
Σχήμα 4.105: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 45°/353° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=30°).....	189
Σχήμα 4.106: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 0 (δεξιά) με διαμόρφωση πρανών με κλίση 64° έως τον αναβαθμό και 45° από τον αναβαθμό έως το υψηλότερο διαμορφωμένο τμήμα του πρανούς.....	190
Σχήμα 4.107: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 0 (δεξιά), σενάριο 1.....	190
Σχήμα 4.108: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (δεξιά), σενάριο 1.....	191
Σχήμα 4.109: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (δεξιά), σενάριο 1.....	191
Σχήμα 4.110: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (δεξιά), σενάριο 1.....	192
Σχήμα 4.111: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (δεξιά), σενάριο 1.....	192
Σχήμα 4.112: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 55°/353° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=30°).....	193

Σχήμα 4.113: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 0 (δεξιά) με διαμόρφωση πρανών με κλίση 55° έως τον αναβαθμό και 45° από τον αναβαθμό έως το υψηλότερο διαμορφωμένο τμήμα του πρανούς.....	194
Σχήμα 4.114: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 0 (δεξιά), σενάριο 2 .....	195
Σχήμα 4.115: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (δεξιά), σενάριο 2 .....	195
Σχήμα 4.116: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (δεξιά), σενάριο 2 .....	196
Σχήμα 4.117: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (δεξιά), σενάριο 2 .....	196
Σχήμα 4.118: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (δεξιά), σενάριο 2 .....	197
Σχήμα 4.119: Συσχέτιση μέγιστου ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου εντός της τάφρου και τυπικής απόκλισης τραχύτητας .....	199
Σχήμα 4.120: Συσχέτιση μέγιστου ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου εντός του αναβαθμού και τυπικής απόκλισης τραχύτητας .....	199
Σχήμα 4.121: Μέγιστες τιμές του ύψους αναπήδησης εντός της τάφρου συναρτήσει του υλικού της.....	201
Σχήμα 4.122: Μέγιστες τιμές του ύψους αναπήδησης εντός του αναβαθμού συναρτήσει του υλικού του .....	202

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΕΔΙΩΝ

Σχέδιο 3.1: Οριζοντιογραφία Ιόνιας Οδού από Χ.Θ. 165+250 έως Χ.Θ. 165+530 (Σχέδιο χάραξης οριζοντιογραφίας Ιόνιας Οδού).....	79
Σχέδιο 3.2: Διατομή ορύγματος στη Χ.Θ. 165+290 (Διατομή 973, Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014).....	82
Σχέδιο 3.3: Οριζοντιογραφία Ιόνιας Οδού από Χ.Θ. 165+950 έως Χ.Θ. 166+280 (Σχέδιο χάραξης οριζοντιογραφίας Ιόνιας Οδού).....	83
Σχέδιο 3.4: Διατομή ορύγματος στη Χ.Θ. 165+970 (Διατομή 1007, Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014).....	85
Σχέδιο 3.5: Οριζοντιογραφία Ιόνιας Οδού από Χ.Θ. 166+760 έως Χ.Θ. 166+900 (Σχέδιο χάραξης οριζοντιογραφίας Ιόνιας Οδού).....	86
Σχέδιο 3.6: Διατομή ορύγματος στη Χ.Θ. 166+840 (Διατομή 1051, Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014).....	88
Σχέδιο 3.7: Οριζοντιογραφία Ιόνιας Οδού στη θέση του ανισόπεδου κόμβου Γοργομύλου (Σχέδιο χάραξης οριζοντιογραφίας Ιόνιας Οδού).....	89
Σχέδιο 3.8: Διατομή ορύγματος στη Χ.Θ. 0+173.21 της παράπλευρης SRL24A στον ανισόπεδο κόμβο Γοργομύλου (Διατομή 10, Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014).....	92
Σχέδιο 3.9: Διατομή ορύγματος στη Χ.Θ. 0+000 του Κλάδου 1 του ανισόπεδου κόμβου Γοργομύλου (Διατομή 0, Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014).....	93



## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Σχηματική απεικόνιση τύπων κατολισθήσεων κατά Varnes (USGS, 2004) .....	32
Εικόνα 2.2: Καταπτώσεις βράχων (rockfalls) στα Τέμπη (Εικόνα από “skai.gr”, 2009) .....	32
Εικόνα 2.3: Ανατροπές τεμαχών (blocks topplings) (Novotný, 2013) .....	33
Εικόνα 2.4: Μεταθετική ολίσθηση (translational slide) στην κοιλάδα του ποταμού Beaton (Highland και Bobrowsky, 2008).....	33
Εικόνα 2.5: Περιστροφική ολίσθηση (rotational slide) με κοίλο επίπεδο ολίσθησης (Hagen, 2015).....	33
Εικόνα 2.6: Εγκάρσιες εξαπλώσεις (lateral spreads) στη λίμνη Sunset (Kramer, 2001) .....	34
Εικόνα 2.7: Κατολίσθηση Τσιβλού, ροές κορημάτων (debris flow) (Εικόνα από “Google Earth”) .....	34
Εικόνα 2.8: Ροές γαιών (earth flows), λασποροή (Εικόνα από “Storyful News”, 2016).....	34
Εικόνα 2.9: Ερπυσμός (creep) (USRA, 2013) .....	35
Εικόνα 2.10: Σύνθετες κινήσεις (complex) (Conforti, Rago, Muto & Critelli, 2014) .....	35
Εικόνα 2.11: Ροή κορημάτων μετά από βροχοπτώσεις στην επαρχιακή οδό Βαρβαριάδας - Αγράφων (Εικόνα από “vimaropolit.gr”, 2020) .....	38
Εικόνα 2.12: Πτώση και ροή βραχωδών τεμαχών στην εθνική οδό Ναυπάκτου - Ιτέας (Εικόνα από “nafraktianews.gr”, 2021).....	40
Εικόνα 2.13: Κατολίσθηση σε οδικό τμήμα του Great Ocean Road (Εικόνα από “The Landslide Blog”, 2016) .....	40
Εικόνα 2.14: Καταπτώσεις και ανατροπές τεμαχών στην Ήπειρο (Εικόνα από “epiruspost.gr”, 2021) .....	41
Εικόνα 2.15: Ολισθήσεις γαιών σε αργιλώδεις σχηματισμούς λόγω της εκμετάλλευσης του λατομείου Roncobotto (Castaldini) .....	42
Εικόνα 2.16: Η διαμόρφωση του πρανούς και η χρήση τοίχου αναχαίτισης καταπτώσεων για την κατασκευή του “Al Boschetto Restaurant” (Castaldini).....	42
Εικόνα 2.17: Γραφική απεικόνιση συρματοκιβωτίου (αριστερά) και συρματοκυλίνδρου (δεξιά) (Εικόνα από “erlikon.gr”).....	56
Εικόνα 2.18: Αποκατάσταση ζημιών πρανούς στην επαρχιακή οδό Ραψάνη, Λάρισα (Εικόνα από “paidis.com”) .....	56
Εικόνα 2.19: Κάτοψη, πρόσοψη και μηχανισμός λειτουργίας κορμοτεμαχιών (Hellenic Ministry of Environment, Physical Planning and Public Works).....	57
Εικόνα 2.20: Μορφές τύπων τοίχων βαρύτητας (Εικόνα από “wikipedia.org”).....	58
Εικόνα 2.21: Μορφή τοίχου βαρύτητας (Εικόνα από “wikipedia.org”) .....	59
Εικόνα 2.22: Τοίχος αντιστήριξης βαρύτητας (Εικόνα από “wikipedia.org”) .....	59
Εικόνα 2.23: Μορφή τοίχου προβόλου (Εικόνα από “wikipedia.org”) .....	60
Εικόνα 2.24: Αγκυρωμένος τοίχος (Εικόνα από το “pinterest.com”).....	60
Εικόνα 2.25: Μορφή αγκυρωμένου τοίχου (Εικόνα από “wikipedia.org”) .....	61
Εικόνα 2.26: Μηχανισμός προστασίας αγκυρίου (Catanzariti, 2016) .....	62
Εικόνα 2.27: Ράβδος ολόσωμου σπειρώματος. (Χορηγήθηκε από την ΕΛΕΒΟΡ ΑΕΒΕ και τροποποιήθηκε από τον Σοφριανό, 2008).....	62
Εικόνα 2.28: Παθητικός ήλος συνεχούς σπειρώματος (Εικόνα από ΕΛΕΒΟΡ ΑΕΒΕ). .....	63
Εικόνα 2.29: Συγκράτηση κινούμενου αποκολλημένου βράχου από φράχτη ανάσχεσης (Εικόνα από “maccaferri.com”).....	63
Εικόνα 2.30: Προστασία πρανούς με χρήση ελεύθερου πλέγματος (Εικόνα από “plastwood.gr) .....	66

Εικόνα 2.31: Προστασία πρανούς με χρήση δακτυλοειδούς πλέγματος (Εικόνα από “maccaferri.com”).....	66
Εικόνα 2.32: Έργα διαμόρφωσης πρανούς (Broms, 1969) .....	67
Εικόνα 3.1: Χάρτης Ιόνιας Οδού (Εικόνα από “Google Maps”).....	68
Εικόνα 3.2: Γεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής Ιόνιας Οδού (Εικόνα από ΙΓΜΕ, 1963).....	69
Εικόνα 3.3: Τεταρτογενείς Αποθέσεις (πηγή ΙΓΜΕ, 1963 και επεξεργασία από Νταλάκου, 2014).....	70
Εικόνα 3.4: Πλειόκαινο (πηγή ΙΓΜΕ, 1963 και επεξεργασία από Νταλάκου, 2014).....	70
Εικόνα 3.5: Παλαιόκαινο - Ανώτερο Ηώκαινο (πηγή ΙΓΜΕ, 1963 και επεξεργασία από Νταλάκου, 2014).....	70
Εικόνα 3.6: Ανώτερο Σενώνιο (πηγή ΙΓΜΕ, 1963 και επεξεργασία από Νταλάκου, 2014).....	70
Εικόνα 3.7: Ανώτερο Ιουρασικό - Κατώτερο Σενώνιο (πηγή ΙΓΜΕ, 1963 και επεξεργασία από Νταλάκου, 2014).....	71
Εικόνα 3.8: Κατώτερο - Μέσο Λιάσιο (πηγή ΙΓΜΕ, 1963 και επεξεργασία από Νταλάκου, 2014).....	71
Εικόνα 4.1: Επιλογές παραμέτρων ρυθμίσεων έργου για εφαρμογή στην προσομοίωση .....	98
Εικόνα 4.2: Ορισμός εύρους ορίων έργου.....	98
Εικόνα 4.3: Παράμετροι ασβεστολιθικού υλικού για εφαρμογή στην προσομοίωση (Παράδειγμα από τη διατομή 973).....	99
Εικόνα 4.4: Καθορισμός αρχικών συνθηκών για το καταπεσόν βραχοτέμαχος.....	100
Εικόνα 4.5: Επιλογή χρήσης τοίχου αναχαίτισης καταπτώσεων (αριστερά) ή φράχτη ανάσχεσης καταπτώσεων (δεξιά).....	100

## **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας, αναφέρεται το έρεισμα που οδήγησε στην εκπόνησή της. Παράλληλα σημειώνεται συνοπτικά η σημαντικότητα της κατάλληλης διαμόρφωσης των πρानών περίξ μίας χάραξης οδοποιίας. Τέλος παρουσιάζεται η δομή της.

### **1.1 Περιγραφή του Υπό Εξέταση Προβλήματος**

Τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα και διεθνώς έχουν σημειωθεί περιστατικά εισχώρησης τεμαχών βράχου σε οδοστρώματα, μετά την αποκόλλησή τους από το πρानές. Σε κάποιες περιπτώσεις, τα περιστατικά αυτά έχουν στοιχίσει ανθρώπινες ζωές και οδηγήσει σε σοβαρούς τραυματισμούς. Επομένως αποτελεί θέμα μείζονος σημασίας, η διαμόρφωση των πρानών - περίξ των χαράξεων οδοποιίας- με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η ασφάλεια της οδού σε περιπτώσεις κατολισθήσεων.

### **1.2 Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας**

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει το υποθετικό σενάριο αναδιαμόρφωσης των ήδη διαμορφωμένων πρानών, μετά τη χάραξη μίας επιπλέον λωρίδας κυκλοφορίας πλάτους 3.75m σε κάθε κατεύθυνση, σε συγκεκριμένα τμήματα του Αυτοκινητοδρόμου 5 (Ιόνια Οδός) από τη Χ.Θ. 161+590 έως τη Χ.Θ. 165+900, καθώς και στις παράπλευρες οδούς του τμήματος αυτού και στον ανισόπεδο κόμβο Γοργομύλου. Συγκεκριμένα, στο πλαίσιο της διατριβής, λαμβάνει χώρα μία πλήρης γεωτεχνική μελέτη για την αναδιαμόρφωση των πρानών, η οποία περιλαμβάνει και προσομοίωση κατάπτωσης βραχοτεμαχών, με σκοπό την εξέταση της ασφάλειας της οδού.

Κατά την προσομοίωση ελέγχονται οι τιμές των μεγεθών «ύψος αναπήδησης», «κινητική ενέργεια», «μεταθετική ταχύτητα» και «γωνιακή ταχύτητα», οι οποίες συσχετίζονται με τη θέση καταγραφής τους. Τέλος πραγματοποιείται και ανάλυση ευαισθησίας, η οποία εξετάζει την επίδραση της τυπικής απόκλισης της τραχύτητας του πρανούς ορύγματος και του υλικού των τάφρων ή των αναβαθμών, στα τέσσερα προαναφερθέντα μεγέθη.

### **1.3 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας**

Το πρώτο κεφάλαιο με τίτλο «ΕΙΣΑΓΩΓΗ» περιλαμβάνει μία σύντομη αναφορά στον σκοπό αυτής της διπλωματικής εργασίας, καθώς και στις αναλύσεις όπου έλαβαν χώρα κατά την εκπόνησή της.

Το δεύτερο κεφάλαιο με τίτλο «ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ / ΜΕΤΡΑ ΑΝΑΣΧΕΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ» περιλαμβάνει στοιχεία για τις κατολισθήσεις, όπως τον ορισμό τους, την ταξινόμησή τους σε κατηγορίες, αλλά και τους παράγοντες επίδρασης και εκδήλωσής τους. Επίσης αναφέρονται οι κίνδυνοι που ελλοχεύουν για την οδική ασφάλεια από πιθανές αστοχίες πρानών, αλλά και συγκεκριμένα εμπειρικά συστήματα αξιολόγησης της επικινδυνότητας των πρानών. Τέλος αναλύονται οι μέθοδοι ασφάλειας και προστασίας από κατολισθήσεις.

Το τρίτο κεφάλαιο με τίτλο «ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ», εμπεριέχει γενικά γεωλογικά στοιχεία για την ευρύτερη περιοχή μελέτης (γεωλογικοί χάρτες, στρωματογραφία, δομή πετρώματος, υδρογεωλογικές συνθήκες και τεχνικογεωλογικές ενότητες). Επιπλέον περιλαμβάνονται και οι γεωτεχνικές μελέτες των ορυγμάτων, όπως αυτές πραγματοποιήθηκαν για την πρώτη χάραξη.

Το τέταρτο κεφάλαιο με τίτλο «ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ», εμπεριέχει όλες τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στην έρευνα αυτή και τα αποτελέσματα

## Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή

στα οποία αυτές οδήγησαν. Ουσιαστικά περιλαμβάνει την αναδιαμόρφωση των πρυνών, τις προσομοιώσεις βραχοκαταπτώσεων καθώς και στοχευμένες αναλύσεις ευαισθησίας.

Το τελευταίο κεφάλαιο με τίτλο «ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ», αποτελείται από τα συμπεράσματα που εξήχθησαν κατά την επεξεργασία των δεδομένων και την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Επιπλέον παρατίθενται μερικές προτάσεις, για ενδιαφέρουσες μελλοντικές διερευνήσεις.

## 2. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ / ΜΕΤΡΑ ΑΝΑΣΧΕΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

### 2.1 Κατολισθήσεις

Το φαινόμενο των κατολισθήσεων είναι αυτό το οποίο είναι υπεύθυνο για τα περιστατικά που αναφέρθηκαν προωτέρω. Αποτελείται από διάφορους τύπους μετακινήσεων, αλλά και από συνδυασμό των τύπων αυτών.

#### 2.1.1 Ορισμός

Ο όρος κατολίσθηση είναι πολυσύνθετος. Για τον όρο αυτό έχουν δημιουργηθεί διάφοροι ορισμοί, προκειμένου να βρεθεί αυτός που ανταπεξέρχεται καταλληλότερα στην περιγραφή του φαινομένου. Αυτός που φαίνεται να επικρατεί τα τελευταία χρόνια είναι «κίνηση μίας μάζας βράχου, εδάφους ή κορημάτων προς κατάντη ενός πρηνούς» (Cruden-WP/WLI, 1991).

#### 2.1.2 Ταξινόμηση κατολισθήσεων

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος ταξινόμησης μίας κατολίσθησης είναι η κατά Varnes (1978). Περιλαμβάνει όλες τις εδαφικές μετακινήσεις που μπορούν να λάβουν χώρα σε πρηνή, εκτός των εδαφικών υποχωρήσεων και των καταρρεύσεων.

Σύμφωνα με τον Varnes (1978) τα βασικά στοιχεία για την ταξινόμηση είναι ο τύπος μετακίνησης και το είδος του μετακινούμενου υλικού. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται ο παρακάτω πίνακας, ο οποίος παραθέτει τον τύπο μετακίνησης συναρτήσει του είδους του γεωυλικού. Στη συνέχεια βάσει της θεωρίας του Varnes αποδίδονται σαφείς ορισμοί για τον κάθε τύπο κατολίσθησης.

**Πίνακας 2.1: Τύπος μετακίνησης συναρτήσει του τύπου γεωυλικού κατά Varnes (1978) (USGS, 2004)**

TYPE OF MOVEMENT	TYPE OF MATERIAL		
	BEDROCK	ENGINEERING SOILS	
		Predominantly coarse	Predominantly fine
FALLS	Rock fall	Debris fall	Earth fall
TOPPLES	Rock topple	Debris topple	Earth topple
SLIDES: ROTATIONAL	Rock slide	Debris slide	Earth slide
TRANSLATIONAL			
LATERAL SPREADS	Rock spread	Debris spread	Earth spread
FLOWS	Rock flow	Debris flow	Earth flow
	Deep creep	Soil creep	
COMPLEX	Combination of two or more principal types of movements and/or type of material		

- **Καταπτώσεις (Falls):** Αποκόλληση τμήματος βραχομάζας ή/και συνεκτικού εδάφους σε απότομο πρηνές και κατά μήκος μίας επιφάνειας με ή χωρίς ελάχιστη διατμητική μετατόπιση. Το γεγονός που ακολουθεί μετά το στάδιο της αποκόλλησης είναι είτε ελεύθερη πτώση του βραχώδους τεμάχου, είτε κύλισή του, είτε αναπήδηση αυτού.
- **Ανατροπές (Topplings):** Μία -προς τα έξω- περιστροφή της αποσπώμενης μάζας γύρω από το σημείο ή τον άξονα περιστροφής που βρίσκεται χαμηλότερα από το κέντρο βάρους της μετακινούμενης μάζας. Συνήθεις λόγοι πρόκλησης ανατροπών είναι είτε η βαρύτητα, είτε οι δυνάμεις που ασκούνται από γειτονικά τεμάχια και ασκούν αυξημένη πίεση, είτε από υδροστατικές πιέσεις ή παγετό, δηλαδή φαινόμενα που γεμίζουν τις ασυνέχειες και τις ρωγματώσεις του πετρώματος με νερό. Ανάλογα τη γεωμετρία του πρηνούς, αλλά και της -υπό μετακίνηση- μάζας, η ανατροπή εξελίσσεται σε κατάπτωση

## Κεφάλαιο 2 - Κατολισθήσεις / Μέτρα Ανάσχεσης και Προστασίας

ή ολίσθηση. Μάλιστα η ταχύτητα μετατόπισης μπορεί να είναι αρκετά χαμηλή στα πρώτα στάδια και να μετατραπεί απότομα σε αρκετά υψηλή στα τελευταία. Μία ανατροπή -πριν εξελιχθεί σε πιθανή κατάπτωση- μπορεί να αντιμετωπιστεί με συνήθη μέτρα υποστήριξης όπως λόγου χάριν αγκύρια, ενώ σε περίπτωση που εξελιχθεί σε κατάπτωση τότε πρέπει να έχουν γίνει κατάλληλοι υπολογισμοί σχετικά με τις διαστάσεις της γεωμετρίας της, το βάρος και τον όγκο της.

- **Ολισθήσεις (Slides):** Ως ολίσθηση ονομάζεται η διατμητική παραμόρφωση, μετατόπιση και θραύση του υλικού κατά μήκος μίας ή περισσότερων επιφανειών στα όρια μιας στενής ζώνης. Η επιφάνεια αστοχίας μπορεί να είναι είτε κυκλική είτε επίπεδη. Σε βραχώδεις σχηματισμούς η επιφάνεια αστοχίας μπορεί να ταυτίζεται με καλά διαμορφωμένες επιφάνειες ασυνεχειών. Η μετατόπιση μπορεί να αυξάνεται με συγκεκριμένο ρυθμό αλλά μπορεί και να είναι ακαριαία, αναλόγως την πρόοδο της διατμητικής θραύσης. Η υπό μετακίνηση μάζα σε ορισμένες περιπτώσεις τείνει να διαχωρίζεται σε επιμέρους τεμάχια, τα οποία στη συνέχεια δρουν ανεξάρτητα, είτε να παραμείνουν ενιαία κατά τη διάρκεια της ολίσθησης.

Βασικός διαχωρισμός των ολισθήσεων είναι αυτός που τις κατατάσσει σε **περιστροφικές (rotational)** ή **μεταθετικές (translational)**. Οι πρώτες λαμβάνουν χώρα κατά μήκος κοίλων επιφανειών με μικρή παραμόρφωση στο σώμα της μετακινούμενης μάζας. Ουσιαστικά ο άξονας της ολίσθησης είναι παράλληλος προς την περιστροφή της κατολίσθησης. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα αποτελεί η ζώνη απομείωσης του ανώτερου τμήματός της αρχικής εδαφικής επιφάνειας και η ζώνη ανύψωσης -λόγω συσσώρευσης- στην κάτω βάση της. Το τελευταίο στοιχείο αποτελεί από μόνο του έναν μηχανισμό ασφαλείας, καθώς με τη συσσώρευση υλικού στο πόδι της κατολίσθησης δημιουργείται ένα φυσικό αντίβαρο στο υλικό ολίσθησης και επομένως επικρατεί ασφάλεια εν τέλει.

Ένα σύννηθες φαινόμενο που έπεται μίας περιστροφικής ολίσθησης είναι η δημιουργία νέων περιστροφικών ολισθήσεων λόγω της φόρτισης της στέψης του πρηνούς από την αρχική ολίσθηση και της δημιουργίας ενός νέου πρηνούς με πιθανώς σημαντικά διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά.

Συνήθως εκδηλώνονται σε ομοιογενή εδαφικά υλικά ή σε έντονα κατακερματισμένες βραχομάζες, όπου ο κερματισμός τους -και κατ' επέκταση η σημαντική απομείωση των μηχανικών χαρακτηριστικών τους- τις οδηγεί στο να συμπεριφέρονται σαν να δομούνται από αδρόκοκκους εδαφικούς σχηματισμούς.

Οι δεύτερες αποτελούν μία διαμήκη μετατόπιση μίας κατά προσέγγιση επίπεδης ή κυματοειδούς μορφής επιφάνειας ολίσθησης με ελάχιστη έως καθόλου περιστροφική κίνηση. Σε εδαφικούς σχηματισμούς η επιφάνεια ολίσθησης ορίζεται από στρωματογραφικές μεταβάσεις ή μεταβολές των μηχανικών χαρακτηριστικών του ίδιου υλικού, ενώ σε βραχώδεις σχηματισμούς από επιφάνειες ασυνεχειών. Χαρακτηρίζονται ως **επίπεδες ολισθήσεις (planar slides)** όταν λαμβάνουν χώρα κατά μήκος μίας ασυνέχειας και **σφηνοειδείς ολισθήσεις (wedge failures)** όταν η επιφάνεια ολίσθησης ορίζεται από δύο τεμνόμενες επιφάνειες ασυνεχειών.

Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα είναι πως είναι πιο αβαθείς συγκριτικά με τις περιστροφικές (οι οποίες χαρακτηρίζονται από μεγάλο βάθος και μήκος) και ως εκ τούτου το μήκος τους συνήθως είναι μεγαλύτερο από το δεκαπλάσιο του βάθους τους.

## Κεφάλαιο 2 - Κατολισθήσεις / Μέτρα Ανάσχεσης και Προστασίας

Ωστόσο η βασική διαφορά με τις περιστροφικές έγκειται στο γεγονός πως δεν υπάρχει μία τάση σταδιακής εξισορρόπησης της ασταθούς μάζας

- **Εγκάρσιες εξαπλώσεις (Lateral spreads):** Ορίζονται οι εγκάρσιες μετακινήσεις εντός στρώσεων με σημαντικά απομειωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά. Σε βραχώδεις σχηματισμούς τα τεμάχια του ισχυρότερου σχηματισμού (ή της ισχυρότερης δομής μεταξύ του ίδιου σχηματισμού) συνθλίβουν το υποκείμενο στρώμα και η μετατόπιση κατανέμεται στο σύνολο του ασθενέστερου υλικού με αργό ρυθμό, χωρίς όμως να δημιουργείται μία καθορισμένη διατμητική επιφάνεια.
- **Ροές (Flows):** Λαμβάνουν χώρο κυρίως σε εδαφικά υλικά αλλά και σε βραχώδη. Η βασική διαφορά τους σε σχέση με τις ολισθήσεις είναι πως δεν δημιουργούνται σαφείς επιφάνειες ολίσθησης, αλλά και στο γεγονός πως η παραμόρφωση του μετακινούμενου υλικού είναι πολύ έντονη.

Όταν οι ροές είναι **βραχωδών σχηματισμών (rock flows)** τότε συνήθως η επιφάνεια ολίσθησης είναι οι ασυνέχειες του πετρώματος. Όταν πρόκειται για **ροές κορημάτων (debris flows)** η ταχύτητα ολίσθησης εξαρτάται από την περιεκτικότητά τους σε νερό αλλά και το πάχος των κόκκων των υλικών. Χαρακτηριστικό είναι πως το υλικό παραμορφώνεται έντονα μέχρι να λάβει την τελική του θέση. Τέλος όταν οι ροές κορημάτων αποτελούνται τουλάχιστον στο 50% τους από λεπτόκοκκο υλικό, τότε κατατάσσονται ως **ροές γαιών (earth flows)**.

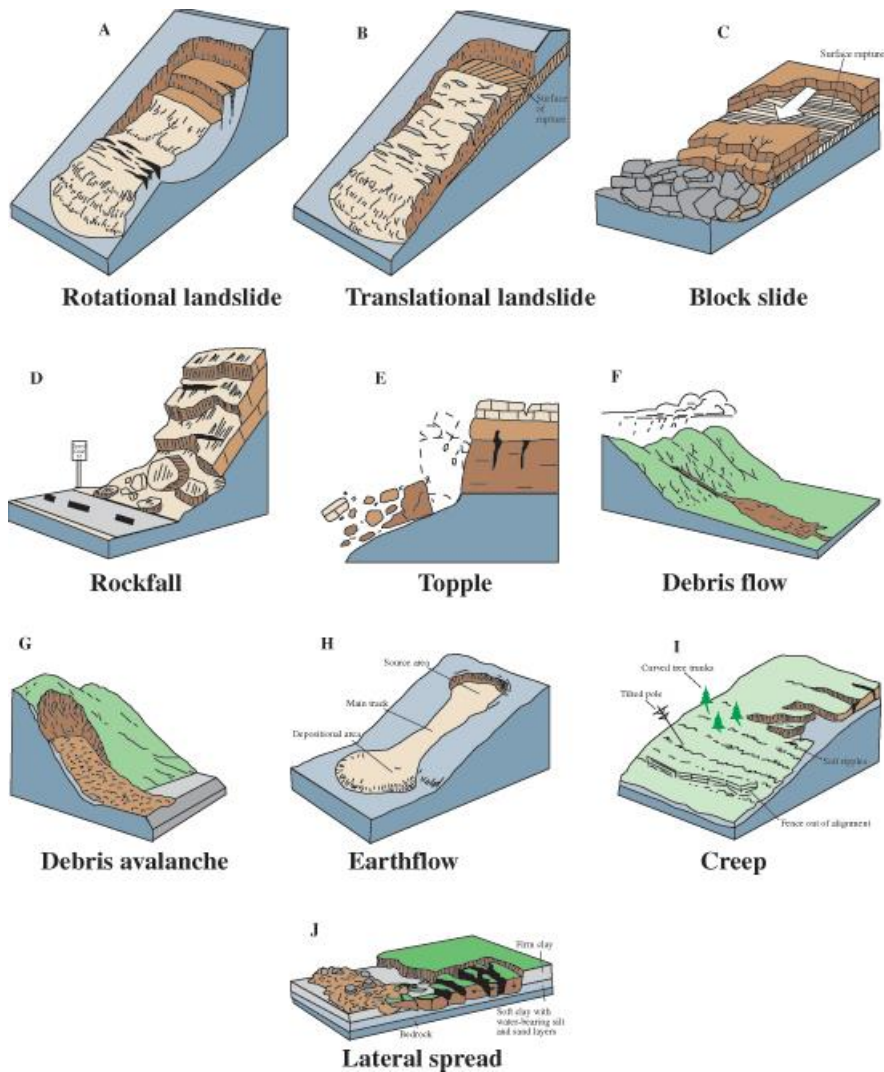
- **Ερπυσμοί (Creep):** Θα μπορούσε να ανήκει και ως υποκατηγορία στην αμέσως προηγούμενη ενότητα των ροών, αφού ουσιαστικά πρόκειται για αργές ροές που λαμβάνουν χώρα στον μανδύα του εδάφους ή στον μανδύα αποσάθρωσης ενός πετρώματος. Η κίνηση αυτή προκαλείται από διατμητική τάση, ικανή να προκαλέσει μόνιμη παραμόρφωση. Προσβάλλουν μεγάλες εκτάσεις, ενώ το μέγιστο εύρος της μετακινούμενης μάζας κυμαίνεται από 2 έως 3 μέτρα. Ο ερπυσμός μπορεί να διαχωριστεί σε 3 κατηγορίες.

Η πρώτη αφορά τον εποχιακό, όπου η μετακίνηση βρίσκεται στο βάθος του εδάφους και επηρεάζεται από εποχιακές αλλαγές στην υγρασία και τη θερμοκρασία του, η δεύτερη αφορά τον συνεχή όπου συμβαίνει όταν η διατμητική τάση υπερβαίνει συνεχώς την αντοχή του γεωυλικού. Τέλος η τρίτη αφορά τον προοδευτικό ερπυσμό όπου τύποι μαζικών κινήσεων φτάνουν σε σημείο αστοχίας.

- **Σύνθετες κινήσεις (Composite or Complex Slides):** Ουσιαστικά πρόκειται για συνδυασμό μετακινήσεων και πρόκειται είτε για διαφορετικού τύπου μετακινήσεις που συμβαίνουν σχεδόν ταυτόχρονα σε διαφορετικές περιοχές της κατολισθαίνουσας μάζας (**composite slides**), είτε για μια μετακίνηση που από μία μορφή μετατρέπεται σε άλλη μορφή (**complex slides**).

Στη συνέχεια -και για την πλήρη κατανόηση των προαναφερθέντων- παρουσιάζεται ένα πλήθος εικόνων. Η Εικόνα 2.1 αποτελεί μια απεικόνιση της ταξινόμησης των κατολισθήσεων κατά Varnes (1978) και δημιουργήθηκε από το U.S. Geological Survey (2004).

## Κεφάλαιο 2 - Κατολισθήσεις / Μέτρα Ανάσχεσης και Προστασίας



**Εικόνα 2.1:** Σχηματική απεικόνιση τύπων κατολισθήσεων κατά Varnes (USGS, 2004)

Εν συνεχεία, παρατίθεται ένα πλήθος εικόνων, καθεμία από τις οποίες απεικονίζει ένα πραγματικό γεγονός κατολίσησης σύμφωνα με τον εκάστοτε τύπο αυτής.



**Εικόνα 2.2:** Καταπτώσεις βράχων (rockfalls) στα Τέμπη (Εικόνα από "skai.gr", 2009)





**Εικόνα 2.3: Ανατροπές τεμαχών (blocks topplings) (Novotný, 2013)**



**Εικόνα 2.4: Μεταθετική ολίσθηση (translational slide) στην κοιλάδα του ποταμού Beatton (Highland και Bobrowsky, 2008)**



**Εικόνα 2.5: Περιστροφική ολίσθηση (rotational slide) με κοίλο επίπεδο ολίσθησης (Hagen, 2015)**



*Εικόνα 2.6: Εγκάρσιες εξαπλώσεις (lateral spreads) στη λίμνη Sunset (Kramer, 2001)*



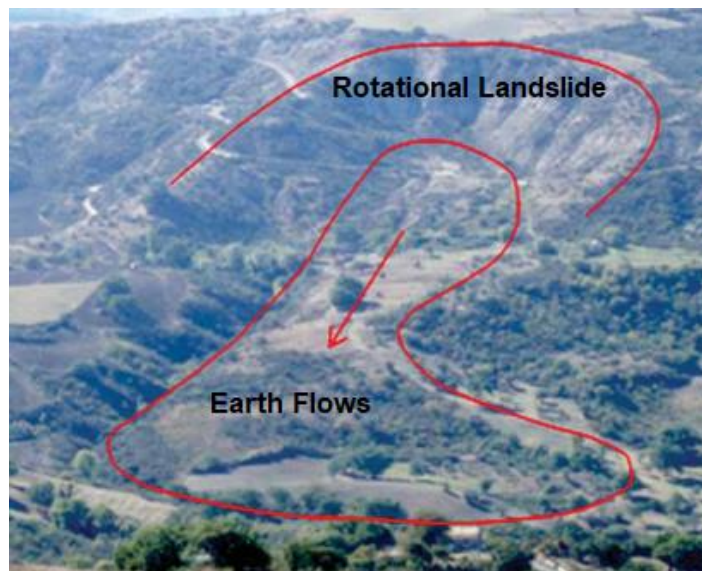
*Εικόνα 2.7: Κατολίσθηση Τσιβλού, ροές κορημάτων (debris flows) (Εικόνα από “Google Earth”)*



*Εικόνα 2.8: Ροές γαιών (earth flows), λασποροή (Εικόνα από “Storyful News”, 2016)*



**Εικόνα 2.9: Ερπυσμός (creep) (USRA, 2013)**



**Εικόνα 2.10: Σύνθετες κινήσεις (complex) (Conforti, Rago, Muto & Critelli, 2014)**

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία θα δοθεί έμφαση στις καταπτώσεις και κυρίως στις ολισθήσεις τεμαχών βράχου, καθώς τα φαινόμενα αυτά είναι προφανές πως μπορούν να οδηγήσουν σε μοιραία αποτελέσματα σε περίπτωση που τα προϊόντα τους εισέλθουν στην οδό.

### **2.1.3 Παράγοντες επίδρασης κατολισθήσεων**

Ένας αυτούσιος παράγοντας ή ένα σύνολο παραγόντων μπορεί να αποτελέσει έναυσμα μίας κατολίστησης. Οι Κούκης και Σαμπατακάκης (2007), δημιούργησαν έναν πίνακα διακριτοποίησης των παραγόντων που δύνανται να οδηγήσουν σε κατολίστηση. Η διακριτοποίηση γίνεται με διαχωρισμό σε τέσσερες κατηγορίες:

- Εδαφικές συνθήκες
- Γεωμορφολογικές διεργασίες
- Φυσικές διεργασίες
- Ανθρώπινες διεργασίες

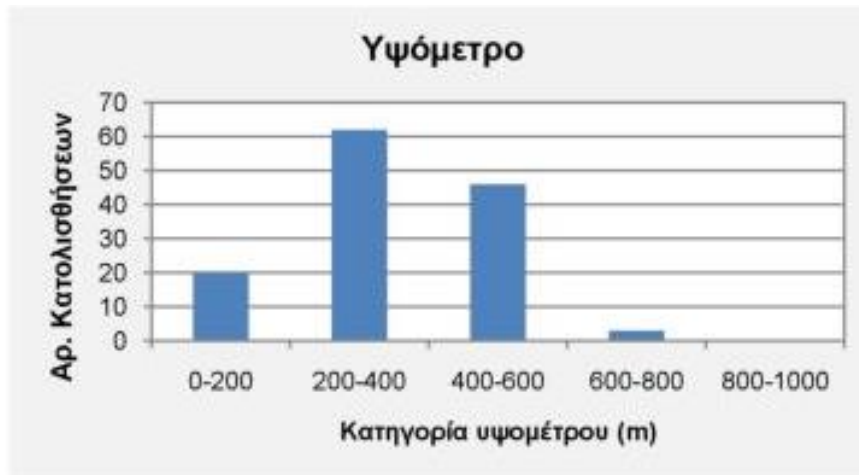
## Κεφάλαιο 2 - Κατολισθήσεις / Μέτρα Ανάσχεσης και Προστασίας

Συγκεκριμένα η διακριτοποίηση, καθώς και οι υποκατηγορίες που περιλαμβάνει παρατίθενται στον Πίνακα 2.2.

**Πίνακας 2.2: Διακριτοποίηση παραγόντων που οδηγούν σε κατολίπηση (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007)**

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

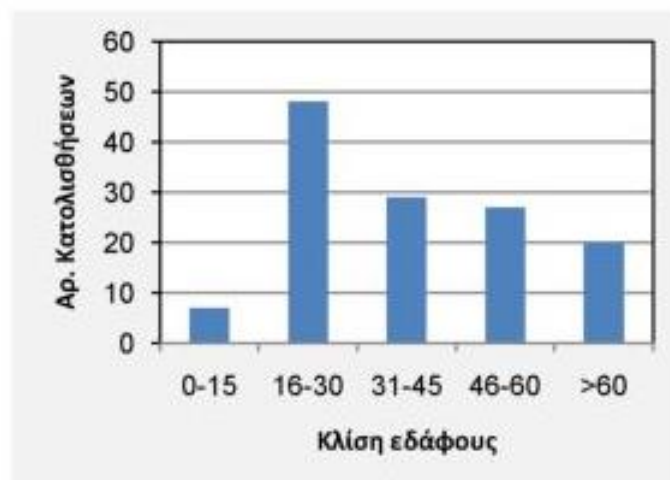
Ένα πολύ ενδιαφέρον στοιχείο προκύπτει μέσω της διδακτορικής διατριβής του Λαϊνά (2018). Συγκεκριμένα από τη συλλογή δεδομένων κατά την έρευνά του προέκυψε πως το 47.3% των καταγεγραμμένων κατολισθήσεων, σε περιοχές της Βορειοδυτικής Πελοποννήσου, υφίσταται σε πρηνή με υψόμετρο από 200 έως 400 μέτρα, ενώ το 35.1% σε πρηνή υψομέτρου από 400 έως 600 μέτρα.



**Σχήμα 2.1: Αριθμός κατολισθήσεων συναρτήσει κατηγορίας υψόμετρου (Λαϊνάς, 2018)**

Από τις 131 συνολικά κατολισθήσεις φαίνεται πως οι 108 (ήτοι ποσοστό περίπου 60%) πραγματοποιούνται από πρανή ύψους μεταξύ 200 και 600 μέτρων. Το αποτέλεσμα αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα πως ο παράγοντας υψόμετρο είναι από τους βασικότερους, όσον αφορά την επίδραση στις κατολισθήσεις.

Ένας επιπλέον παράγοντας, ο οποίος σχετίζεται και με το υψόμετρο του πρανού λόγω γεωμετρίας, είναι η κλίση του πρανού. Το παρακάτω σχήμα αποτελεί μία συσχέτιση μεταξύ του αριθμού των κατολισθήσεων και της κλίσης του πρανού. Με κατηγοριοποίηση της κλίσης του εδάφους με βήμα 15° ανά κατηγορία μέχρι τις 60° και μία ακόμη για μεγαλύτερη από 60°, προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα.



**Σχήμα 2.2: Αριθμός κατολισθήσεων συναρτήσει της κλίσης του πρανού (Λαϊνάς, 2018)**

Ίσως ο βασικότερος και ο πιο συνηθισμένος παράγοντας επίδρασης κατολισθήσεων είναι οι γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην εκάστοτε περιοχή. Οι καταπτώσεις βραχωδών τεμαχών είναι σίγουρα πιθανότερες σε ασθενέστερους βραχώδεις σχηματισμούς σε σχέση με σχηματισμούς ισχυρής δομής. Συνεπώς σε περιοχές όπου τα πετρώματα είναι άρρηκτης ή πολύ καλής δομής είναι σπανιότερη μία κατολίσθηση, συγκριτικά με περιοχές που αποτελούνται από κερματισμένο, διαταραγμένο ή αποσαθρωμένο πέτρωμα.

#### **2.1.4 Παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων**

Πέραν των προαναφερθέντων παραγόντων επίδρασης κατολισθήσεων, οι οποίοι σαφώς και μπορούν να αποτελέσουν και παράγοντες εκδήλωσης, στην υποενότητα αυτή θα τονιστούν

## Κεφάλαιο 2 - Κατολίσεις / Μέτρα Ανάσχεσης και Προστασίας

δευτερεύοντες παράγοντες. Σε αυτούς ανήκουν οι φυσικές και ανθρωπογενείς διεργασίες. Η κατηγοριοποίηση του αιτίου της κατολίσεθης γίνεται βάσει δύο τύπων. Ο πρώτος τύπος αφορά την κατηγορία των προπαρασκευαστικών αιτίων. Είναι ένα σύνολο από αίτια τα οποία σταδιακά μπορούν να οδηγήσουν σε αστοχία, εντούτοις δεν αποτελούν το τελικό αίτιο αστοχίας. Ο δεύτερος τύπος αποτελεί το τελικό αίτιο, το οποίο καλείται ως εναυσματικό αίτιο. Αφορά ένα γεγονός, ή μια σειρά από γεγονότα, τα οποία αποτέλεσαν εναυσματικό παράγοντα για να πραγματοποιηθεί μία κατολίσεθης.

Όσον αφορά τις φυσικές διεργασίες, σε αυτές περιλαμβάνονται σεισμοί, πυρκαγιές, βροχοπτώσεις και άνεμοι. Ξεκινώντας από τις βροχοπτώσεις, είναι γνωστό πως κάθε βροχόπτωση μειώνει προσωρινά τον συντελεστή ασφαλείας. Το πιο σύνηθες είναι ο συντελεστής ασφαλείας να επανέρχεται σχεδόν στην αρχική του τιμή, προ της βροχόπτωσης. Σε περίπτωση που αυτό δεν συμβεί, τότε αυτό μπορεί να αποτελέσει ένα προπαρασκευαστικό αίτιο αστοχίας (σε περίπτωση που γίνει σταδιακά) ή εναυσματικό (σε περίπτωση που η μείωση του συντελεστή ασφαλείας είναι τέτοια, ώστε να τον οδηγήσει σε τιμές μικρότερες της μονάδας). Για να αποτελέσει εναυσματικό αίτιο, το πιθανότερο είναι πως η βροχόπτωση μπορεί να αποτέλεσε μία ισχυρή καταιγίδα, ενώ αντίστοιχα για να αποτελέσει προπαρασκευαστικό αίτιο πρέπει η εκάστοτε βροχόπτωση, αναλόγως και την έντασή της, να απομειώνει σταδιακά τον συντελεστή ασφαλείας.

Ένας τρόπος κατηγοριοποίησης του αιτίου, είναι η παρατήρηση των στοιχείων του υδρολογικού κύκλου. Δηλαδή σε περίπτωση όπου περάσει ένας υδρολογικός κύκλος (διάρκειας ενός έτους) από την καταγραφή του φαινομένου και δεν υπάρξει αστοχία τότε δεν μπορεί να θεωρηθεί ως εναυσματικό αίτιο το εκάστοτε γεγονός και επομένως κατατάσσεται ως προπαρασκευαστικό. Επιπλέον σημειώνεται πως μια βροχόπτωση δύναται να προκαλέσει ροή κορημάτων, ενώ και σε συνδυασμό με το λιώσιμο των πάγων, μπορεί να οδηγήσει σε έντονη ροή γαιών.

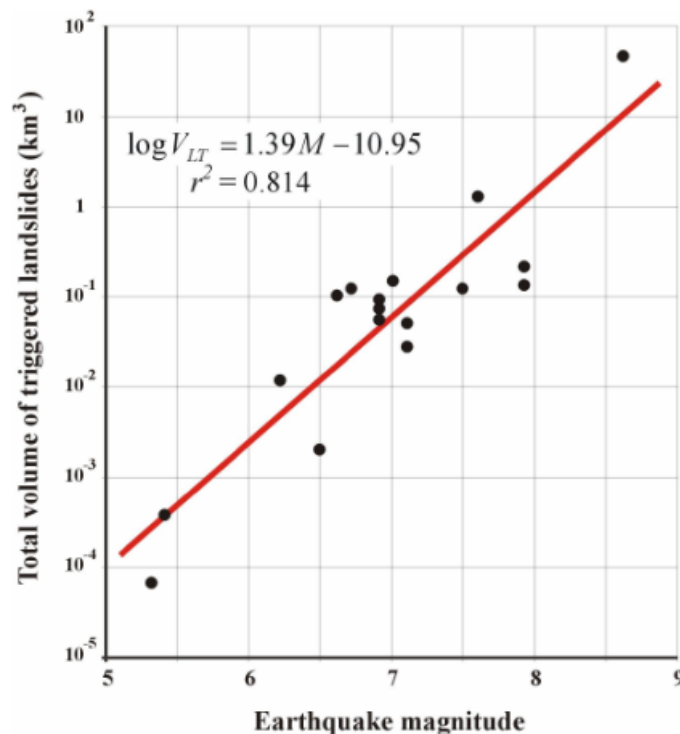
Χαρακτηριστικό παράδειγμα κατολίσεθης από βροχοπτώσεις, είναι αυτή που συνέβη στην επαρχιακή οδό Βαρβαριάδας - Αγράφων ανάμεσα στα Σβερωνέϊκα και την Αγία Βαρβάρα.



**Εικόνα 2.11: Ροή κορημάτων μετά από βροχοπτώσεις στην επαρχιακή οδό Βαρβαριάδας - Αγράφων (Εικόνα από “vimapoliiti.gr”, 2020)**

Ένα άλλο αίτιο που δύναται να οδηγήσει σε αστοχία είναι η σεισμική δόνηση, ιδίως μάλιστα σε περιοχές όπου χαρακτηρίζονται από έντονη σεισμικότητα και που η δομή του πετρώματός τους είναι ήδη κατακερματισμένη. Σε αυτές τις περιπτώσεις ένα σεισμικό γεγονός μπορεί να αποτελέσει εναυσματικό παράγοντα για την κατάπτωση ογκωδών τεμαχών βράχου. Ένα αρκετά πρόσφατο περιστατικό κατολίσθησης εξαιτίας σεισμικής δόνησης είναι αυτό που κατεγράφη στην εθνική οδό Ναυπάκτου - Ιτέας. Η σεισμική δόνηση είχε μέγεθος 3.9 βαθμούς της κλίμακας Ρίχτερ και το επίκεντρό της ήταν 11 χιλιόμετρα Νοτιοδυτικά της Ναύπακτου. Ως αποτέλεσμα αυτού υπήρξε η πτώση βραχωδών τεμαχών εντός του οδικού δικτύου.

Ένα πολύ ενδιαφέρον διάγραμμα που συνδέει την ένταση του σεισμού με τον μέγιστο όγκο κατολίσθησης, παρουσιάστηκε από τους Nerop και Agatona (2016) και παρατίθεται παρακάτω.



**Σχήμα 2.3: Συσχέτιση μεταξύ μέγιστου όγκου κατολίσθησης και μεγέθους σεισμού (Nerop και Agatona, 2016)**

Η γραμμή τάσης που χρησιμοποιείται στο διάγραμμα υποδηλώνει αύξηση του όγκου κατολίσθησης με την αύξηση του μεγέθους του σεισμού και μπορεί να αποτελέσει μία προεκτίμηση για τον όγκο των αναμενόμενων τεμαχών μετά από μία σεισμική φόρτιση. Παρά ταύτα πρέπει να σημειωθεί πως το μοντέλο αυτό είναι εμπειρικό και εφαρμοσμένο σε συγκεκριμένα πρηνή. Όπως έχει αναφερθεί και πρωτύτερα, η δομή του πρηνούς και η γεωμετρία του αποτελούν πρωτεύοντες παράγοντες για αντίστοιχες εκτιμήσεις.



***Εικόνα 2.12: Πτώση και ροή βραχωδών τεμαχίων στην εθνική οδό Ναυπάκτου - Ιτέας (Εικόνα από “nafraktianews.gr”, 2021)***

Τα ίδια αποτελέσματα δύνανται να επιφέρουν οι πυρκαγιές. Η ύπαρξη μίας πυρκαγιάς και η ταχύτητα εξάπλωσής της, η οποία σχετίζεται άμεσα με τον άνεμο, μπορεί να οδηγήσει σε καταπτώσεις βραχοτεμαχίων. Εκτός από την ταχύτητα εξάπλωσής της, ένας παράγοντας που μπορεί να διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο είναι η αντοχή του πετρώματος. Η πυρκαγιά μειώνει τα μηχανικά χαρακτηριστικά αυτού και των ασυνεχειών του ή μπορεί ακόμα και να μεταβάλλει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των τελευταίων, λόγω συστολοδιαστολής, με αποτέλεσμα μια ενδεχόμενη βροχόπτωση να μεταβάλλει -επί το ασθενέστερον- την κατάσταση ισορροπίας. Ένα τέτοιο φαινόμενο έλαβε χώρα στην περιοχή του ποταμού Wye στην Αυστραλία, όπου μετά από δασική πυρκαγιά, πραγματοποιήθηκε σημαντική κατολίσθηση σε οδικό τμήμα του Great Ocean Road.



***Εικόνα 2.13: Κατολίσθηση σε οδικό τμήμα του Great Ocean Road (Εικόνα από “The Landslide Blog”, 2016)***



## Κεφάλαιο 2 - Κατολισθήσεις / Μέτρα Ανάσχεσης και Προστασίας

Τέλος σε μικρότερο βαθμό, σπανιότερα και με λιγότερο δυσμενή αποτελέσματα όσον αφορά το μέγεθος των τεμαχών, μπορεί να αποτελέσει εναυσματικό παράγοντα για τα παραπάνω ο άνεμος. Οι ισχυροί άνεμοι που πνέουν κατά κύριο λόγο στη νησιωτική χώρα, είναι ικανοί να παρασύρουν κάποιο αποκολλημένο ή κρεμάμενο τέμαχος, το οποίο προσωρινά αντιστηρίζεται. Εντούτοις το πιο συνηθισμένο σε τέτοιες περιπτώσεις είναι να αποτελέσουν προπαρασκευαστικό και όχι εναυσματικό αίτιο. Αποτελούν τον λιγότερο συχνό παράγοντα εναύσματος συγκριτικά με τους υπόλοιπους, χωρίς όμως να μην δύνανται να αποτελέσουν κύριο εναυσματικό αίτιο.



**Εικόνα 2.14: Καταπτώσεις και ανατροπές τεμαχών στην Ήπειρο  
(Εικόνα από “epiruspost.gr”, 2021)**

Στη συνέχεια εξετάζονται από βιβλιογραφικής άποψης, οι επιδράσεις των ανθρωπίνων διεργασιών στην πραγματοποίηση κατολισθήσεων. Σύμφωνα με το Europa Major Hazards Agreement, οι τεχνητές εργασίες (όπως η δημιουργία δρόμων, οι δονήσεις, η αποψίλωση, η εκμετάλλευση των υπογείων υδάτων, οι ανασκαφές, τα ορυχεία και τα λατομεία, η φόρτιση κ.α.), μπορούν να επηρεάσουν την έναρξη μετακινήσεως μαζών, που επιδρούν στα αίτια των κατολισθήσεων. Στην πραγματικότητα, εκτός από τις μετακινήσεις μαζών υψηλής ισχύος, οι οποίες προκαλούνται σπανίως, υπάρχει και ένας τεράστιος αριθμός κατολισθήσεων μετρίου έως μικρού μεγέθους, οι οποίες είναι τόσο εκτεταμένες που το σχετικό κόστος τους στην κοινωνία είναι πολύ περισσότερο από το κόστος των καταστροφικών γεγονότων. Ο αριθμός κατολισθήσεων λόγω γεγονότων χαμηλής ισχύος και υψηλής συχνότητας αυξάνεται με την ανθρώπινη δραστηριότητα, η οποία ευνοεί τις ευάλωτες καταστάσεις.

Επιπρόσθετα και σύμφωνα με την ίδια πηγή, η ανθρώπινη δραστηριότητα κοντά σε ένα πρηνές μπορεί να αυξήσει τις δυνάμεις που τείνουν να προκαλέσουν αστοχία. Οι ανθρώπινες παρεμβάσεις που μπορεί να επηρεάσουν τα εξωτερικά φορτία είναι:

- εξομάλυνση του πρηνούς ή άλλου πρηνούς,
- κατασκευές σε μικρή απόσταση,
- δονήσεις από ανατινάξεις,
- δονήσεις από διερχόμενα οχήματα.

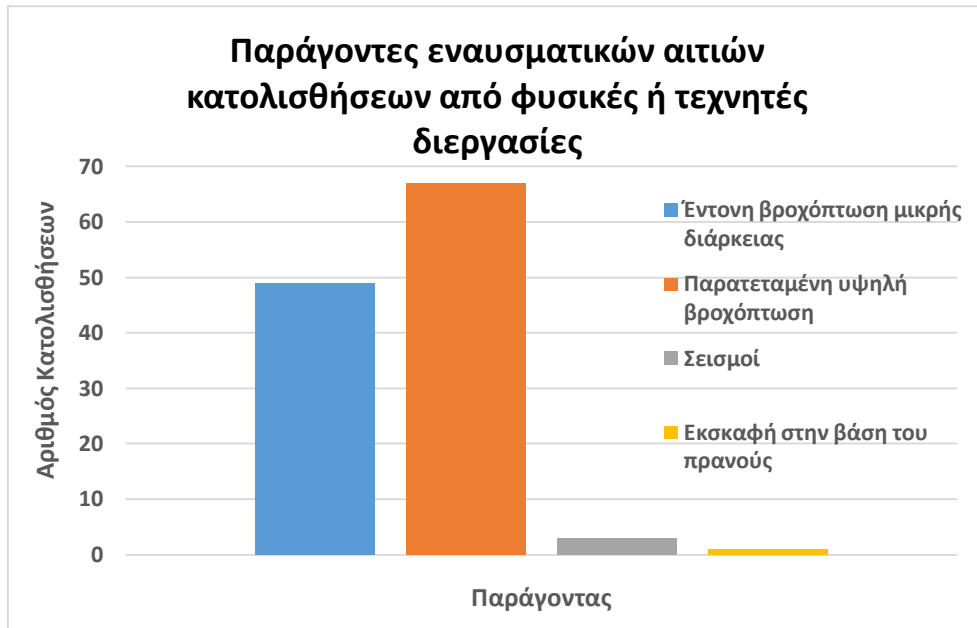


***Εικόνα 2.15: Ολισθήσεις γαιών σε αργιλώδεις σχηματισμούς λόγω της εκμετάλλευσης του λατομείου Roncobotto (Castaldini)***



***Εικόνα 2.16: Η διαμόρφωση του πρανούς και η χρήση τοίχου αναχαίτισης καταπτώσεων για την κατασκευή του “Al Boschetto Restaurant” (Castaldini)***

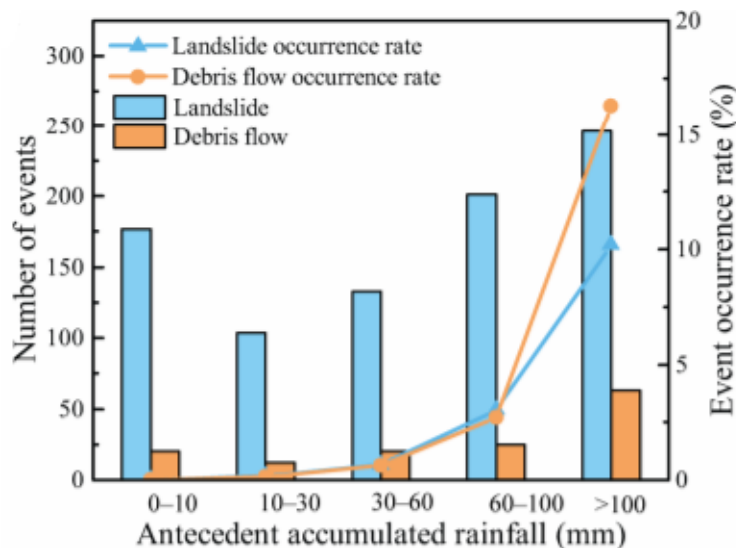
Αξιοποιώντας εκ νέου τα στοιχεία της έρευνας του Λαϊνά (2018) παρουσιάζεται το Σχήμα 2.4, το οποίο δημιουργείται βάσει των στοιχείων της έρευνας αυτής και αφορά αποκλειστικά τα κύρια εναυσματικά αίτια, από φυσικές και ανθρώπινες διεργασίες, που οδήγησαν στη δημιουργία κατολισθήσεων στις πυρόπληκτες περιοχές της Βορειοδυτικής Πελοποννήσου.



**Σχήμα 2.4: Παράγοντες εναυσματικών κατολισθήσεων (Δεδομένα από Λαϊνά, 2018)**

Από το δείγμα αυτό γίνεται σαφές πως η βροχόπτωση αποτέλεσε το κύριο εναυσματικό αίτιο κατολισθήσεων στην περιοχή της Βορειοδυτικής Πελοποννήσου. Αξιοσημείωτο είναι πως το 40% των εναυσματικών αιτιών αποτελείται από βροχοπτώσεις μικρής διάρκειας, γεγονός το οποίο υποδηλώνει τη γενικότερη σημαντικότητα της έννοιας «βροχόπτωση» στα κατολισθητικά φαινόμενα. Βέβαια υπενθυμίζεται πως πρόκειται για περιοχές, οι οποίες έχουν πληγεί από φαινόμενα πυρκαγιών.

Το συμπέρασμα αυτό ισχυροποιείται από τα σχήματα 2.5, 2.6 και 2.7 που αποτελούν τμήμα της έρευνας του Zhang (Zhang et al., 2019) και εντός των οποίων ποσοτικοποιούνται τα χαρακτηριστικά των βροχοπτώσεων συναρτήσει των καταγεγραμμένων περιστατικών κατολισθήσεων. Πιο συγκεκριμένα το Σχήμα 2.5 αναπαριστά ένα διάγραμμα συσχέτισης του αριθμού των γεγονότων και του δείκτη συμβάντος συναρτήσει της συσσώρευσης της βροχόπτωσης. Στο παράδειγμα αυτό, όπως και σε αυτά των σχημάτων 2.6 και 2.7, διαχωρίζονται οι κατολισθήσεις ως γενικότερος όρος και οι ροές κορημάτων.

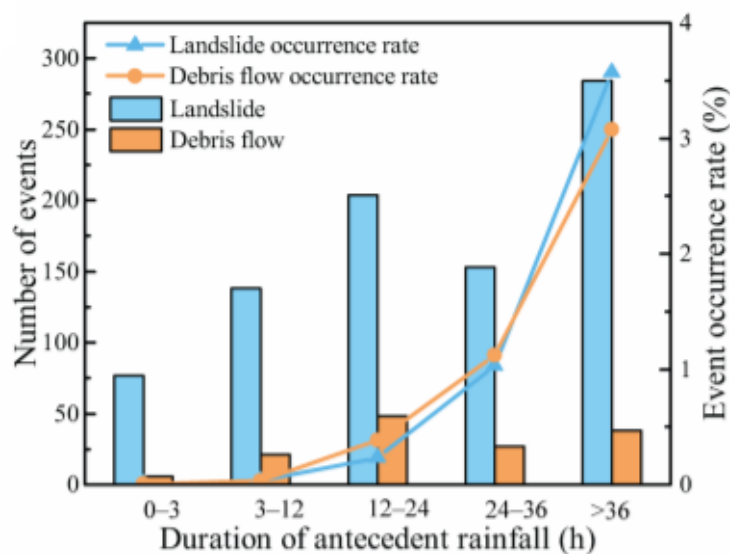


**Σχήμα 2.5: Συσχέτιση αριθμού γεγονότων και δείκτη συμβάντος συναρτήσει της συσσώρευσης της βροχόπτωσης (Zhang et al., 2019)**

## Κεφάλαιο 2 - Κατολισθήσεις / Μέτρα Ανάσχεσης και Προστασίας

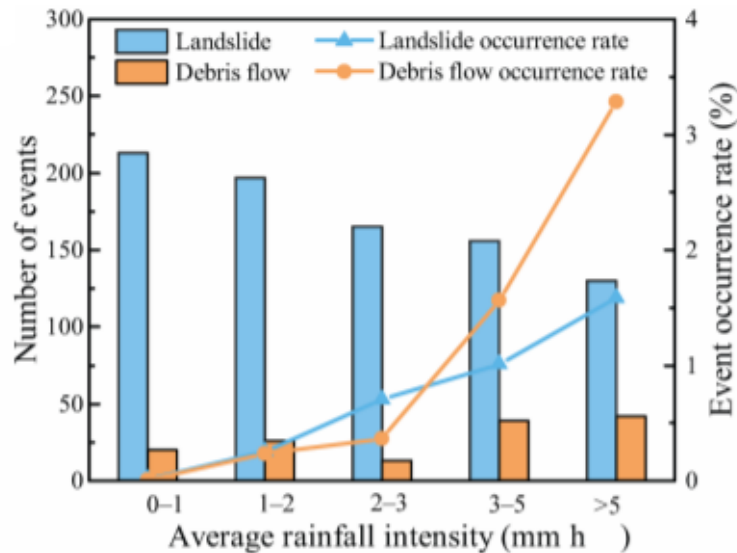
Το πιο αντιπροσωπευτικό στοιχείο του διαγράμματος, δεν είναι ο αριθμός των καταγεγραμμένων περιστατικών, αλλά ο δείκτης συμβάντος. Αυτό προκύπτει καθώς μία κατηγορία μπορεί να έχει σημαντικά μεγαλύτερη συχνότητα σε σχέση με μία άλλη. Επομένως ο δείκτης συμβάντος λαμβάνει υπόψιν και τη συχνότητα και παρουσιάζει ένα πολύ πιο ολοκληρωμένο και σαφές αποτέλεσμα. Συγκεκριμένα διευκρινίζεται πως όσο συσσωρεύεται η βροχόπτωση, τόσο αυξάνουν οι δείκτες των κατολισθήσεων και των ροών κορημάτων. Μέχρι τα 100 χιλιοστά οι δείκτες είναι σχεδόν ίσοι μεταξύ τους και αυξάνονται με σχεδόν σταθερό ρυθμό, αλλά για συσσώρευση μεγαλύτερη από 100 χιλιοστά, ο δείκτης των ροών κορημάτων αυξάνεται πολύ πιο απότομα σε σχέση με τον αντίστοιχο για τις κατολισθήσεις, λαμβάνοντας τιμές περί του 16% έναντι του 10% αντίστοιχα.

Ο αριθμός των γεγονότων και ο δείκτης συμβάντος συσχετίστηκε και με τη χρονική διάρκεια της βροχόπτωσης, κατά την εκπόνηση της ίδιας έρευνας. Το διάγραμμα συσχέτισης βρίσκεται παρακάτω και ξανά οι συγκεκριμένοι δείκτες είναι αυτοί που αποτελούν το αντιπροσωπευτικότερο στοιχείο του. Οι δείκτες (κατολισθήσεων και ροής κορημάτων), αυξάνονται με την αύξηση της χρονικής διάρκειας της βροχόπτωσης. Η πιο απότομη μεταβολή παρατηρείται για βροχοπτώσεις μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας από 36 ώρες, όπου και οι κατολισθήσεις λαμβάνουν μεγαλύτερο ποσοστό (3.5%) συγκριτικά με τις ροές κορημάτων (3%). Εντούτοις από 0 έως 36 ώρες ο δείκτης της ροής κορημάτων λαμβάνει σταθερά μεγαλύτερες ποσοστιαίες τιμές σε σχέση με τον αντίστοιχο για τις κατολισθήσεις.



**Σχήμα 2.6:** Συσχέτιση αριθμού γεγονότων και δείκτη συμβάντος συναρτήσει της χρονικής διάρκειας της βροχόπτωσης (Zhang et al., 2019)

Τέλος το πιο ενδιαφέρον διάγραμμα είναι αυτό που προκύπτει συγκεντρωτικά από τα δύο παραπάνω και συσχετίζει τον αριθμό γεγονότων με τους δείκτες συμβάντων συναρτήσει της σφοδρότητας της βροχόπτωσης, μέσω του σχήματος 2.7.



**Σχήμα 2.7: Συσχέτιση αριθμού γεγονότων και δείκτη συμβάντος συναρτήσει της σφοδρότητας της βροχόπτωσης (Zhang et al., 2019)**

Τα συμπεράσματα που εξάγονται από το παραπάνω σχήμα, είναι πως η εκδήλωση των συμβάντων αυξάνεται σταδιακά με την αύξηση της σφοδρότητας της βροχόπτωσης τόσο για τις κατολισθήσεις όσο και για τις ροές κορημάτων. Όσον αφορά τις πρώτες, παρατηρείται σχεδόν σταθερή αύξηση, με το μέγιστο ποσοστό να υπερβαίνει το 1.5% για σφοδρότητα μεγαλύτερη των 5 χιλιοστών ανά ώρα. Αντίθετα ο δείκτης για τις δεύτερες, παρότι αυξάνεται ομαλά μέχρι και τα 3 χιλιοστά ανά ώρα, μετά από την τιμή αυτή αυξάνεται ραγδαίως και καταλαμβάνει τιμή ίση με 3.4% για σφοδρότητα μεγαλύτερη από 5 χιλιοστά ανά ώρα.

## **2.2 Αστοχία Πρανών**

Η αστοχία των πρανών αποτελεί την αφετηρία για την ύπαρξη κατολισθήσεων και πρακτικά αφορά την μείωση του συντελεστή ασφαλείας σε τιμές μικρότερες της μονάδας. Ουσιαστικά αυτό προκύπτει από την αύξηση των διατμητικών τάσεων σε τέτοιο βαθμό, ώστε εν τέλει να υπερβούν τη διατμητική αντοχή του υλικού του πρανούς.

### **2.2.1 Κίνδυνοι της αστοχίας ως προς την οδική ασφάλεια**

Οι Badger και Lowell (1983) αναφέρουν πως στις ΗΠΑ τα τελευταία 30 χρόνια έχουν προέλθει 6 θάνατοι από καταπτώσεις βραχωδών τεμαχών σε αυτοκινητοδρόμους και ότι το 45% των ασταθών πρανών σχετίζονται με φαινόμενα καταπτώσεων βράχων.

Επιπρόσθετα το Nouvelle Route Du Littoral (2016) αναφέρει πως σε παράκτιες οδούς με 4 λωρίδες κυκλοφορίας, από το 1976 έως το 2012, σημειώθηκαν 123 θάνατοι και 287 σοβαροί τραυματισμοί. Από τους αριθμούς αυτούς οι 23 και οι 22 αντίστοιχα, προέκυψαν λόγω πτώσεων τεμαχών βράχου. Δηλαδή περίπου το 19% των θανάτων και το 8% των σοβαρών τραυματισμών οφειλόταν σε πτώσεις βραχοτεμαχών.

Η ίδια πηγή παραθέτει και έναν ακόμη πίνακα (Πίνακας 2.3), στον οποίο καταγράφονται από το 1997 έως το 2012 ο αριθμός των βραχωδών τεμαχών που εισχωρήσαν στην οδό και ο αριθμός ή το βάρος των τεμαχών που παγιδεύτηκαν εντός της τάφρου.

## Κεφάλαιο 2 - Κατολισθήσεις / Μέτρα Ανάσχεσης και Προστασίας

**Πίνακας 2.3: Αριθμός βράχων που κατέπεσαν σε παραθαλάσσια οδό 4 λωρίδων κυκλοφορίας (Nouvelle Route Du Littoral, 2016)**

Year	Rocks falling onto the road on the cliff side	Rocks falling onto the road on the sea side	Rocks remaining in the ditch	Number of rock falls (falling onto the road)	
1997	63.0	12.1	Over 10,000 t	89	
1998	363.9	54.0		86	
1999	12.9	3.9		120	
2000	5.5	0.4		119	
2001	14.3	10.6		142	
2002	53.4	47.1		137	
2003	6.7	7.1		112	
2004	10.3	2.3		72	
2005	9.3	18.5		75	
2006	16.7	14.5		128	
2007	2.2	Negligible (30 kg)			38
2008	0.5	0.4			43
2009	4	Negligible (10 kg)	10	17	
2010	1.5	Negligible (27 kg)	60	18	
2011	22.0	1.7	3.000	Not communicated	
2012	3.9	6.1	6.5	Not communicated	

Σύμφωνα με τον Hand (2000), η κατολίσθηση μορφής ροής γαιών-λασποροής που συνέβη το 1997 στην πλαγιά κάτω από το Alpine Way -τον αυτοκινητόδρομο που συνδέει το Jindabyne, με τον αυτοκινητόδρομο Murray Valley στα δυτικά της Βικτώριας- επέφερε τον θάνατο 18 ανθρώπων και την καταστροφή μερικών δεκάδων οχημάτων.

### **2.2.2 Συστήματα εκτίμησης επικινδυνότητας πρανών**

Από τη δεκαετία του '90 και έπειτα, έχει αναπτυχθεί ένα πλήθος συστημάτων εκτίμησης της επικινδυνότητας των πρανών, τα οποία λαμβάνουν υπόψιν ένα σύνολο διαφορετικών παραγόντων (όπως η γεωμετρία του πρανούς, η γεωλογική μορφή του, τα χαρακτηριστικά της γεωμετρίας της οδού, το ιστορικό καταπτώσεων κ.α.).

#### ***Oregon's Rockfall Hazard Risk Assessment (Pierson et al. 1990)***

Το μοντέλο αυτό παρουσιάστηκε το 1990 και αποτελεί ένα από τα γνωστότερα και σημαντικότερα μοντέλα εκτίμησης της επικινδυνότητας των πρανών, καθώς λαμβάνει υπόψιν ένα πλήθος παραγόντων διαφόρων τύπων. Συγκεκριμένα λαμβάνονται υπόψιν:

- Το ύψος του πρανούς (Slope height).
- Η επιδραστικότητα / αποτελεσματικότητα της τάφρου (Ditch effectiveness).
- Ο μέσος κίνδυνος του οχήματος (AVR), ο οποίος υπολογίζεται από το ποσοστό του χρόνου αντίδρασης.
- Η απόσταση από τη θέση απόφασης (Decision sight distance) σχετικά με την αντίδραση που θα πραγματοποιηθεί από τον οδηγό (ποσοστό % της τιμής σχεδιασμού αναφορικά με την ορατότητα).
- Το πλάτος του οδοστρώματος (Roadway width), στο οποίο υπόκειται και το πλάτος της λωρίδας έκτακτης ανάγκης..
- Η δομική κατάσταση (Structural condition) των ασυνεχειών.
- Η τραχύτητα (Friction) των ασυνεχειών.
- Η διαφορετικότητα όσον αφορά τον ρυθμό διάβρωσης (Difference in erosion rates).
- Το μέγεθος του βραχοτεμάχους (Block size).
- Ο συνολικός όγκος των καταπεσόντων βραχοτεμαχών ανά συμβάν (Volume of rockfall per event).

## Κεφάλαιο 2 - Κατολισθήσεις / Μέτρα Ανάσχεσης και Προστασίας

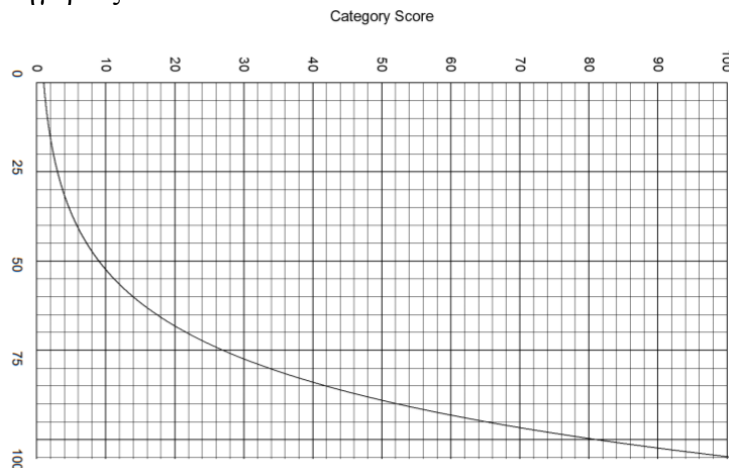
- Το κλίμα της ευρύτερης περιοχής και η παρουσία νερού (Climate and presence of water on slope).
- Το ιστορικό πτώσης βραχωδών τεμαχών (Rockfall history).

Βάσει των άνωθεν παραγόντων δημιουργείται ένας πίνακας με τη μορφή κριτηρίου αξιολόγησης υπό βαθμολογία. Συγκεκριμένα καθέννας από τους υπό εξέταση παράγοντες αξιολογείται βάσει των τιμών ή των χαρακτηριστικών του και στη συνέχεια βαθμολογείται με τρεις, εννέα, είκοσι επτά, ή ογδόντα ένα πόντους. Η τιμή των τριών πόντων αποτελεί την ευνοϊκότερη περίπτωση, ενώ η τιμή των ογδόντα ένα πόντων τη δυσμενέστερη.

**Πίνακας 2.4: Oregon's Rockfall Hazard Risk Assessment (Pierson et al. 1990)**

Category	Rating criteria by score				
	Points 3	Points 9	Points 27	Points 81	
Slope height	7.5 m	15 m	22.5 m	> 30 m	
Ditch effectiveness	Good catchment	Moderate catchment	Limited catchment	No catchment	
Average vehicle risk (% of time)	25%	50%	75%	100%	
Decision sight distance (% of design value)	Adequate (100%)	Moderate (80%)	Limited (60%)	Very limited (40%)	
Roadway width (including paved shoulders)	13.20 m	10.80 m	8.40 m	6 m	
Geologic characteristics Case 1	Structural condition	Discontinuous joints, favorable orientation	Discontinuous joints, random orientation	Discontinuous joints, adverse orientation	Continuous joints, adverse orientation
	Friction	Rough, irregular	Undulating	Planar	Clay infilling or slickensided
Geologic characteristics Case 2	Structural condition	Few differential erosion features	Occasional erosion features	Many erosion features	Major erosion features
	Difference in erosion rates	Small	Moderate	Large	Extreme
Block size	0.3 m	0.6 m	0.9 m	1.20 m	
Volume of rockfall per event	2.3 m <sup>3</sup>	4.6 m <sup>3</sup>	6.9 m <sup>3</sup>	9.2 m <sup>3</sup>	
Climate and presence of water on slope	Low to moderate precipitation; no freezing periods; no water on slope	Moderate precipitation or short freezing periods or intermittent water on slope	High precipitation or long freezing periods or continual water on slope and long freezing periods	High precipitation and long freezing periods or continual	
Rockfall history	Few falls	Occasional falls	Many falls	Constant falls	

Ένα ακόμη ενδιαφέρον διάγραμμα είναι αυτό του σχήματος 2.8, προερχόμενο από τους Pierson et al. (1990), όπου αναπαριστά την άμεση συσχέτιση και επιρροή του ύψους του πρσανούς στη βαθμολογία της κατηγορίας.



**Σχήμα 2.8: Επιρροή του ύψους του πρσανούς στη βαθμολογία (Pierson et al. 1990)**

## Κεφάλαιο 2 - Κατολισθήσεις / Μέτρα Ανάσχεσης και Προστασίας

### *The modified rockfall hazard rating system (Budetta And Panico, 2002)*

Μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στη Νότια Ιταλία έλεγξαν τη δυνατότητα εφαρμογής του πρωτότυπου μοντέλου Rockfall Hazard Risk Assessment, αντικαθιστώντας τις παραμέτρους της δομικής κατάστασης (structural condition) των ασυνεχειών, της τραχύτητας (friction) των ασυνεχειών και της διαφορετικότητας όσον αφορά τον ρυθμό διάβρωσης (difference in erosion rates), με τον δείκτη μάζας του πρανού (slope mass rating).

Τα αποτελέσματα των εφαρμογών έφεραν την τροποποίηση του αρχικού πίνακα κατά Pierson et al. (1990).

**Πίνακας 2.5: Τροποποιημένος πίνακας RHSA (Budetta και Panico, 2002)**

Category	Rating criteria by score			
	Points 3	Points 9	Points 27	Points 81
Slope height	7.5 m	15 m	22.5 m	> 30 m
Ditch effectiveness	Good catchment: properly designed according to updates of Ritchie's ditch design chart + barriers	Moderate catchment: properly designed according to updates of Ritchie's ditch design chart	Limited catchment: wrongly designed	No catchment
Average vehicle risk (% of time)	25%	50%	75%	100%
Decision sight distance (% of design value)	Adequate (100%)	Moderate (80%)	Limited (60%)	Very limited (40%)
Roadway width	21.5 m	15.50 m	9.50 m	3.50 m
Slope Mass Rating (SMR)	80	40	27	20
Block size	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm
Boulder volume	26 dm <sup>3</sup>	0.21 m <sup>3</sup>	0.73 m <sup>3</sup>	1.74 m <sup>3</sup>
Volume of rockfall per event	2.3 m <sup>3</sup>	4.6 m <sup>3</sup>	6.9 m <sup>3</sup>	9.2 m <sup>3</sup>
Annual rainfall and freezing periods	h=300 mm or no freezing periods	h=600 mm or short freezing periods	h=900 mm or long freezing periods	h=1200 mm or long freezing periods
Rockfall frequency	1 per 10 years	3 per year	6 per year	9 per year

Στο παραπάνω μοντέλο ο δείκτης AVR υπολογίζεται ως εξής:

$$AVR = \frac{ADT \times SL \times 100\%}{PSP}$$

Όπου

ADT: ΕΜΗΚ «Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία» Οδού

SL: Η έκταση της ζώνης κινδύνου

PSP: Το επιτρεπόμενο όριο ταχύτητας

Όσον αφορά τον δείκτη μάζας του πρανού (slope mass rating), ο Romana (1985) πρότεινε τον εξής πίνακα.

**Πίνακας 2.6: Αξιολόγηση τιμών του δείκτη μάζας πρανού (SMR) (Romana, 1985)**

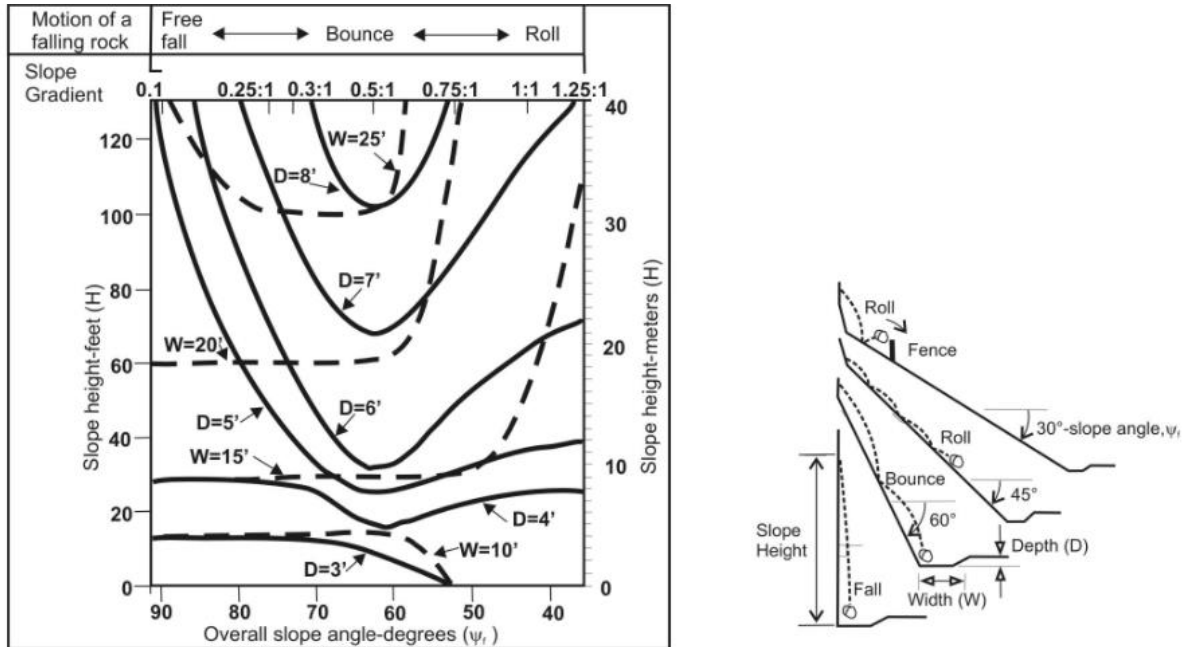
Class	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Description	Very bad	Bad	Normal	Good	Very good
Stability	Completely unstable	Unstable	Partially stable	Stable	Completely stable
Failures	Big planar or soil-like	Planar or big wedges	Some joints or many wedges	Some blocks	None

Ενώ όσον αφορά την επιδραστικότητα/αποτελεσματικότητα της τάφρου, αυτή μετριέται από την ικανότητά της να αποτρέπει το βραχοτέμαχος από το να φτάσει στο δρόμο. Κατά την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας της τάφρου, οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψιν είναι το ύψος και η γωνία κλίσης αλλά και το πλάτος, το βάθος και το σχήμα της τάφρου. Στην



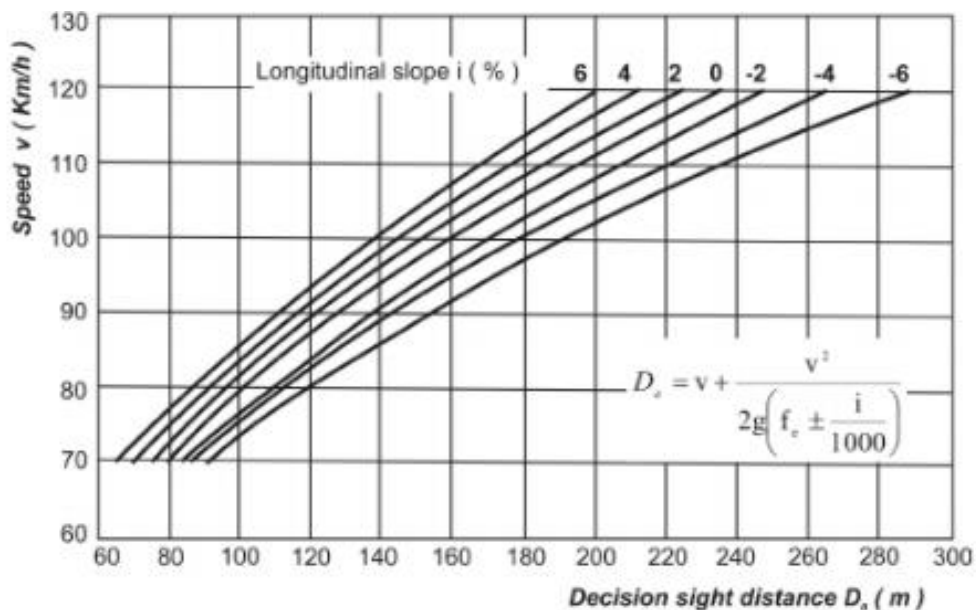
## Κεφάλαιο 2 - Κατολισθήσεις / Μέτρα Ανάσχεσης και Προστασίας

αρχική μέθοδο, αυτή η ικανότητα εκτιμάται ποιοτικά. Εντούτοις στην τροποποιημένη μέθοδο, οι αναφορές αφορούν ενημερώσεις του διαγράμματος σχεδίασης τάφρου του Ritchie (1963), όπως προτάθηκε από τους Fookes και Sweeny (1976) και Whiteside (1986). Επιπλέον, γίνονται αναφορές και σε μέτρα προστασίας (φράγματα, φράχτες πετρωμάτων, συρματοπλέγματα κ.λπ.) για τα πρηνή ανάντη των οδών.



**Σχήμα 2.9: Διάγραμμα σχεδίασης M.Richie για τον προσδιορισμό του απαιτούμενου πλάτους (W) και του βάθους (D) των τάφρων βράχου σε σχέση με το ύψος (H) και τη γωνία κλίσης (ψ) του λόφου (Whiteside, 1986)**

Τέλος όσον αφορά την απόσταση από τη θέση απόφασης, το διάγραμμα στο οποίο βασίζεται είναι το ακόλουθο.



**Σχήμα 2.10: Συσχέτιση μεταξύ της απόστασης από τη θέση απόφασης (D<sub>s</sub>) και ταχύτητας οχήματος (V) για διαφορετικές κατά μήκος κλίσεις (i) της οδού (CNR, 1980)**

**Κεφάλαιο 2 - Κατολισθήσεις / Μέτρα Ανάσχεσης και Προστασίας**

***Modification and statistical analysis of the Colorado Rockfall Hazard Rating System***

Οι Russell, Santi και Higgins του Colorado School of Mines (2008) αναφέρουν πως η ανασκόπηση του RHRS του CDOT (πίνακες 2.7 και 2.8) οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πολλές από τις παραμέτρους βαθμολογούνται με βάση την υποκειμενική ορολογία. Επομένως οι όροι που χρησιμοποιούνται ανταποκρίνονται πλήρως μόνο στο σκεπτικό, βάσει του οποίου έλαβε χώρα η δημιουργία τους.

**Πίνακας 2.7: Αρχικό φύλλο βαθμολογίας του Κολοράντο RHRS (Andrew, 1994)**

Rockfall Hazard Rating System						
FACTOR		RANK				
		3 Points	9 Points	27 Points	81 Points	
SLOPE PROFILE	Slope Height	25 to 50 ft	50 to 75 ft	75 to 100 ft	100 ft	
	Segment Length	0 to 250 ft	250 to 500 ft	500 to 750 ft	750 ft	
	Slope Inclination	15 to 25 degrees	25 to 35 degrees	35 to 50 degrees	50 degrees	
	Slope Continuity	Possible launching features	Some minor launching features	Many launching features	Major rock launching features	
	Average Block or Clast Size	6 to 12 in.	1 to 2 ft	2 to 5 ft	5 ft	
GEOLOGIC CHARACTERISTICS	Quantity of Rockfall Event	1 cu ft to 1 cu yd	1 to 3 cu yds	3 to 10 cu yds	10 cu yds	
	CASE 1	Structural Condition	Discontinuous fractures, favorable orientation	Discontinuous fractures, random orientation	Discontinuous fractures, adverse orientation	Continuous fractures, adverse orientation
		Rock Friction	Rough, irregular	Undulating smooth	Planar	Clay, gouge infilling, or slickensided
	CASE 2	Structural Condition	Few differential erosion features	Occasional erosion features	Many erosion features	Major erosion features
		Difference in Erosion	Small difference	Moderate difference	Large difference	Extreme difference
	Climate and Presence of Water on Slope		Low to moderate precipitation; no freezing periods; no water on slope	Moderate precipitation or short freezing periods, or intermittent water on slope	High precipitation or long freezing periods or continual water on slope	High Precipitation and long freezing periods, or continual water on slope and long freezing periods
Rockfall History (From Ride Through)		Few falls	Occasional falls	Many falls	Constant falls	
Number of Accidents Reported in Mile		0 to 5	5 to 10	10 to 15	15 and over	

## Κεφάλαιο 2 - Κατολισθήσεις / Μέτρα Ανάσχεσης και Προστασίας

**Πίνακας 2.8: Αρχικό φύλλο βαθμολογίας του Κολοράντο RHRS (CDOT, 1997)**

**'s 1997 Rockfall Rating Field Worksheet**

*struction and Materials Branch ~ 4340 East Louisiana Avenue, Denver, CO 80222*

Information				
	SEGMENT ID NUMBER	ENGINEERING REGION	MAINTENANCE SECTION	DATE
	BEGIN MILE POST	END MILE POST	R / L OF CENTERLINE	RATER
Values				
		<i>Remarks</i>		
Height _____	Sight Distance _____			
Angle _____	Speed Limit _____			
Width _____	ADT _____			
Points				
	3 Points	9 Points	27 Points	81 Points
Height	25 to 50 ft	50 to 75 ft	75 to 100 ft	>100 ft
Inclination	35° to 45°	45° to 55°	55° to 65°	>65°
Geologic Features	Possible	Minor	Many	Major
Exposure	Good	Moderate	Limited	No
Volume/Quantity	<1 ft / <1 cy	1 to 2 ft / 1 to 3 cy	2 to 5 ft / 3 to 10 cy	>5 ft / >10 cy
Seepage / Exposure	Low / None / Favorable	Moderate / Some / Moderate	High / Moderate / Moderate	High / High / Adverse
Access/Orientation	Discontinuous / Favorable	Discontinuous / Random	Discontinuous / Adverse	Continuous / Adverse
Rock Friction	Rough, irregular	Undulating, smooth	Planar	Clay infilling, slickensided
Additional Features	Few differential	Occasional	Many	Major
Scour in Erosion	Small	Moderate	Large	Extreme
Drainage	> 80 %	60 % - 80 %	40 % - 60 %	< 40 %
Daily Traffic	< 1000	1000 - 5000	5000 - 15,000	> 15,000
Accidents	0 to 2	3 to 5	6 to 8	9 and over
Event History	Few	Occasional	Many	Constant
	x 3 =	x 9 =	x 27 =	x 81 =

Αρκετές από τις τροποποιήσεις στο σύστημα περιλάμβαναν την αφαίρεση της ορολογίας αυτής και την αντικατάσταση των παραμέτρων βαθμολογίας με αριθμητικές τιμές ή με περισσότερο περιγραφική ορολογία.

Επιπλέον, σύμφωνα με την ίδια πηγή αναφοράς, το τρέχον RHRS του CDOT δεν αξιολογεί πολλούς παράγοντες που αναγνωρίζονται ευρέως στην πρόσφατη βιβλιογραφία και οι οποίοι συμβάλλουν στην αστάθεια του πρανούς. Επομένως, διάφορες κατηγορίες έχουν αλλάξει, επεκταθεί ή προστεθεί βάσει ερευνητικών πληροφοριών. Το τροποποιημένο σύστημα περιέχει τέσσερις ξεχωριστές κατηγορίες που συμβάλλουν στον κίνδυνο πτώσης:

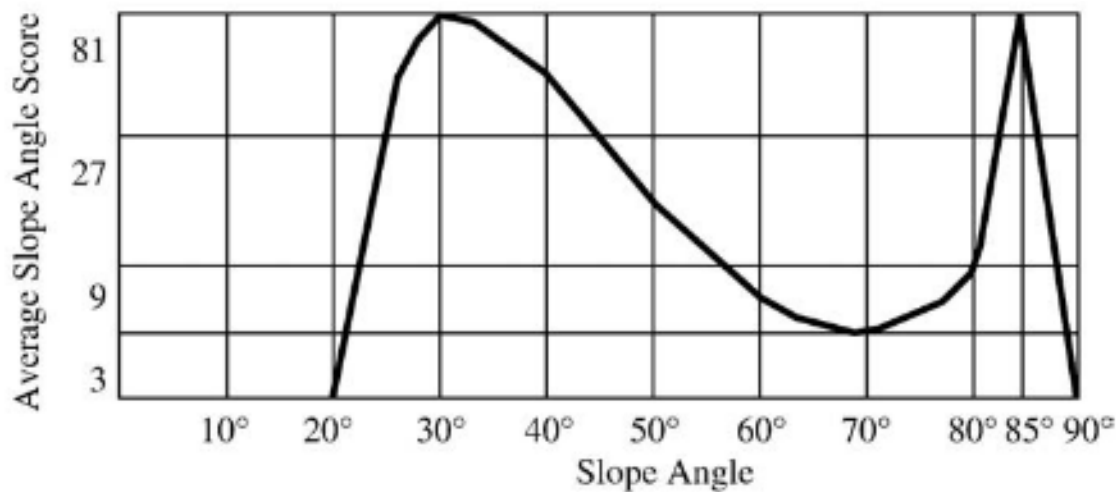
- χαράκτηρα κλίσης,
- κλιματολογικές συνθήκες,
- γεωλογικές συνθήκες και
- συνθήκες ασυνέχειας.

**Κεφάλαιο 2 - Κατολισθήσεις / Μέτρα Ανάσχεσης και Προστασίας**

**Πίνακας 2.9: Το τροποποιημένο RHRS του Κολοράντο (Russell, Santi και Higgins, 2008)**

Colorado rockfall hazard rating field worksheet						
Sight information						
ROUTE NO	SEGMENT ID NUMBER	ENGINEERING REGION	MAINTENANCE SECTION	DATE		
COUNTRY	BEGIN MILE POST	END MILE POST	R/L OF CENTERLINE	RATER		
Actual values			Remarks			
Slope height	Ditch depth	Major rockslide potential:				
Slope angle	Sight distance	Dominating rockfall mode: Block-in-matrix / Sedimentary rock / Crystalline rock				
Ditch slope	Speed limit	Dominating sight distance: Horizontal / Vertical				
Ditch width	ADT	Mitigation effectiveness: A B C D F				
Rating Cut slope / total slope (circle one)						
Slope	Slope height	3 points 7.5 to 15m	9 points 15 to 23m	27 points 23 to 30m	81 points > 30m	
	Rockfall frequency	> 2 years	1 to 2 years	Yearly, seasonal	Year round / severe events	
	Average slope angle score	0 to 2	2 to 4	4 to 8	> 8	
	Launching features	None (smooth slope)	Minor (< 0.6m surface variation)	Many (0.6 to 1.8m surf. variation)	Major (> 1.8m surface variation)	
	Ditch catchment	95% to 100% / Class 1	65% to 94% / Class 2	30% to 64% / Class 3	< 30% / Class 4 / ≥ Major launching features	
Climate	Annual precipitation	< 250mm	250 to 500mm	500 to 900mm	> 900mm	
	Annual freeze thaw cycles	1 to 5	6 to 10	11 to 15	16 or more	
	Seepage / water	Dry	Damp / wet	Dripping	Running water	
	Slope aspect	N	E, W, NE, NW	SE, SW	S	
Geology	Sed. rock	Degree of under-cutting	0 to 0.3m	0.3 to 0.6m	0.6 to 1.2m	> 1.2m
		Jar slake	6	5	3 to 4	1 to 2
		Degree of interbedding	1 to 2 weak interbeds, < 15cm	1 to 2 weak interbeds, > 15cm	> 2 weak interbeds, < 15cm	> 2 weak interbeds, < 15cm
	Crys. rock	Rock character	Homogenous/massive	Small faults / strong veins	Schist shear zones < 15cm	Weak pegmatite / micas / shear zones > 15 cm
		Degree of overhang	0 to 0.3m	0.3 to 0.6m	0.6 to 1.2m	> 1.2m
	Discontinuities	Weathering grade	Fresh	Surface staining	Slightly altered / softened	Core stones
		Block size / volume	< 0.3m / < 0.75m <sup>3</sup>	0.3 to 0.6m / 0.75 to 2.3m <sup>3</sup>	0.6 to 1.5m / 2.3 to 7.6m <sup>3</sup>	> 1.5m / >7.6m <sup>3</sup>
		Number of sets	1	1 plus random	2	> 2
		Persistence, orientation	< 3m and dips into slope	> 3m and clips to slope	< 3m and daylight out of slope	> 3m and daylight out of slope
		Aperture	Closed	0.1 to 1mm	1 to 5mm	> 5mm
		Weathering condition	Fresh	Surface staining	Granular infilling	Clay infilling
		Friction	Rough	Undulating	Planar	Slickensided
	Block in mat.	Block size (x3)	< 0.3m	0.3 to 0.6m	0.6 to 1.5m	> 1.5m
Block shape (x3)		Tabular	Blocky	Blocky to angular	Rounded and smooth	
Vegetation (x3)		Fully vegetated	Patchy vegetation	Isolated plants	None	
<b>Total hazard score:</b>						
Traffic	Sight distance	> 80%	60% to 80%	40% to 60%	< 40%	
	Avg. vehicle risk	0 to 24%	25 to 49%	50 to 74%	75% or more	
	No. of accidents	0 to 2	3 to 5	6 to 8	9 and over	
<b>Total risk score:</b>						
Additional rater's comments						

Ένα ακόμη διάγραμμα, το οποίο χρησιμοποιείται σε αυτές τις μεθόδους, είναι αυτό που τροποποιήθηκε από τον Maerz et al. (2005) και απεικονίζεται στο αμέσως παρακάτω σχήμα.



**Σχήμα 2.11: Βαθμολογία συνεπειών από την πτώση βράχων συναρτήσεως της γωνίας κλίσης του πρανούς και των αντίστοιχων μέσων βαθμολογιών της (Maerz et al., 2005)**

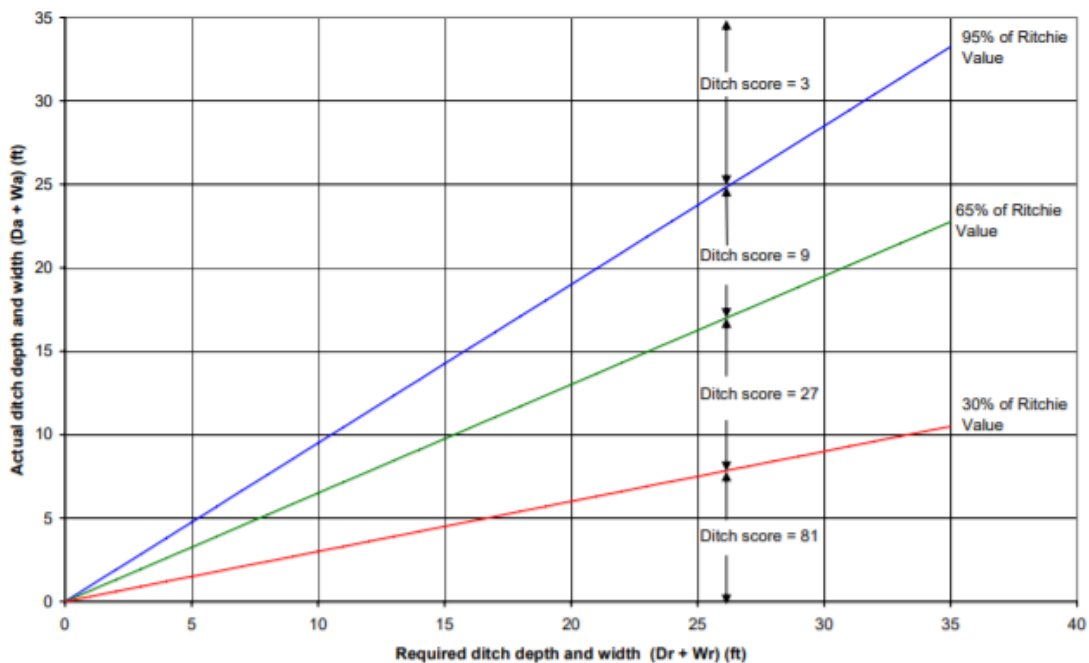
## Κεφάλαιο 2 - Κατολισθήσεις / Μέτρα Ανάσχεσης και Προστασίας

Οι Russell, Santi και Higgins (2008) υποστηρίζουν πως οι διαστάσεις της τάφρου τροποποιήθηκαν σημαντικά για το νέο RHRS. Τα αρχικά κριτήρια αξιολόγησης για αυτήν την παράμετρο ήταν πολύ υποκειμενικά. Το νέο RHRS αξιολογεί τόσο την αποτελεσματικότητα της διάστασης της τάφρου όσο και την αποτελεσματικότητα του σχήματος αυτής. Η υψηλότερη από τις δύο βαθμολογίες, είναι αυτή που χρησιμοποιείται για την αξιολόγησή της. Συνιστάται η απόδοση τιμών με βάση τις πραγματικές διαστάσεις της τάφρου έναντι των απαιτούμενων διαστάσεων Ritchie, προκειμένου να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα της διάστασης τάφρου (Flatland, 1993 και NYDOT, 1996). Η εκτίμηση προκύπτει βάσει της εξίσωσης:

$$\text{Αποτελεσματικότητα Διαστάσεων Τάφρου} = \frac{Da + Wa}{Dr + Wr} \times 100\%$$

Ένα ακόμη ενδιαφέρον γράφημα, αποτελεί αυτό του σχήματος 2.12. Παρατηρείται πως, βάσει των πραγματικών και των απαιτούμενων διαστάσεων της τάφρου, μπορεί αυτή να αξιολογηθεί μέσω της προκύπτουσας βαθμολογίας της.

Scores for actual ditch dimensions vs. required ditch dimensions



Σχήμα 2.12: Πραγματικές και απαιτούμενες διαστάσεις τάφρου και βαθμολογία της (Russell, Santi και Higgins, 2008)

Όπου:

Da = Πραγματικό βάθος της τάφρου.

Wa = Πραγματικό πλάτος της τάφρου.

Dr = Βάθος σχεδιασμού κατά Ritchie με βάση το ύψος και τη γωνία κλίσης

Wr = Πλάτος σχεδιασμού κατά Ritchie με βάση το ύψος και τη γωνία κλίσης

### *Tennessee Geologic Character Scoring System (TennRHRS)*

Το σύστημα Tennessee RHRS εξετάζει πέντε κατηγορίες πτώσης βράχων:

- Επίπεδη ολίσθηση (Planar rockfall mode)
- Σφηνοειδής ολίσθηση (Wedge rockfall mode)
- Ανατροπή (Topples rockfall mode)

## Κεφάλαιο 2 - Κατολισθήσεις / Μέτρα Ανάσχεσης και Προστασίας

- Διαφορική διάβρωση (Differential weathering rockfall mode)
- Κατάπτωση (Raveling rockfall mode)

Το σύστημα Tennessee RHRS αποτελεί και αυτό ένα συνηθισμένο σύστημα της κατηγορίας αυτής όσον αφορά τη βαθμολογία του. Η κατηγοριοποίηση περιλαμβάνει έξι συνδυασμούς χαρακτηριστικών (πίνακες 2.10 και 2.11). Όπως και τα προαναφερθέντα, έτσι και αυτό, αποτελείται από τέσσερις κατηγορίες βαθμολογίας (από τρεις έως ογδόντα ένα βαθμούς για την πρώτη έως την τέταρτη κατηγορία αντίστοιχα).

Ως κοινό χαρακτηριστικό σε όλους τους παραπάνω τύπους εντοπίζεται η αφθονία τεμαχών (abundance) και το μέγεθός τους (block size). Στο NHI RHRS, τα μεγέθη των καταπεσόντων τεμαχών αντιμετωπίζονται ξεχωριστά από τα γεωλογικά χαρακτηριστικά, αλλά στο Tennessee RHRS ενσωματώνονται σε αυτά, καθώς θεωρούνται τμήμα της γεωλογίας του πρανούς. Στους τύπους της επίπεδης ολίσθησης και της σφηνοειδούς ολίσθησης, τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά που συμπληρώνουν το σύστημα αξιολόγησης είναι η κλίση και η τραχύτητα.

Πέραν της αφθονίας και του μεγέθους των τεμαχών, στον τύπο της διαφορικής καθίζησης, λαμβάνεται υπόψιν μόνο το ανάγλυφο, ενώ αντίστοιχα στον τύπο της κατάπτωσης μόνο το σχήμα.

Τέλος για την περίπτωση της ανατροπής, δεν λαμβάνεται κανένας άλλος παράγοντας υπόψιν, πέραν της αφθονίας και του μεγέθους των τεμαχών.

Οι δύο επόμενοι πίνακες που παρουσιάζονται αφορούν τις κατηγορίες που λαμβάνει υπόψιν του το σύστημα Tennessee για κάθε τύπο πτώσης τεμάχους (Πίνακας 2.10) και τη διακριτοποίηση των στοιχείων για την κατάλληλη ένταξη της κάθε υποκατηγορίας στον συγκεκριμένο τύπο αστοχίας, ώστε να συγκεντρωθεί η σωστή βαθμολογία (Πίνακας 2.11).

**Πίνακας 2.10: Επιμέρους κατηγορίες που λαμβάνει υπόψιν το σύστημα Tennessee RHRS**

Rockfall Modes	Characteristics					
	Abundance	Block Size	Inclination	Friction	Relief	Block Shape
Planar	X	X	X	X		
Wedge	X	X	X	X		
Topple	X	X				
Differential weathering	X	X			X	
Raveling	X	X				X

## Κεφάλαιο 2 - Κατολισθήσεις / Μέτρα Ανάσχεσης και Προστασίας

**Πίνακας 2.11: Φύλλο βαθμολόγησης στο σύστημα Tennessee RHRS**

<b>Planar Rockfall Mode</b>				
Abundance	<10%	10–20%	20–30%	>30%
Score	3	9	27	81
Block size	<1 ft (<0.3 m)	1 to 3 ft (0.3–0.9 m)	3 to 6 ft (0.9–1.8 m)	>6 ft (>1.8m)
Score	3	9	27	81
Steepness	0–20°	20–40°	40–60°	>60°
Score	2	5	14	41
Friction (micro/macro)	Rough/undulating	Smooth/undulating	Rough/planar	Smooth/planar
Score	2	5	14	41
<b>Wedge Rockfall Mode</b>				
Abundance	<10%	10–20%	20–30%	>30%
Score	3	9	27	81
Block size	<1 ft (<0.3 m)	1 to 3 ft (0.3–0.9 m)	3 to 6 ft (0.9–1.8 m)	>6 ft (>1.8 m)
Score	3	9	27	81
Steepness	0–20°	20–40°	40–60°	>60°
Score	2	5	14	41
Friction (micro/macro)	Rough/undulating	Smooth/undulating	Rough/planar	Smooth/planar
Score	2	5	14	41
<b>Topple Rockfall Mode</b>				
Abundance	<10%	10–20%	20–30%	>30%
Score	5	4	41	122
Block size	<1 ft (<0.3 m)	1 to 3 ft (0.3–0.9 m)	3 to 6 ft (0.9–1.8 m)	>6 ft (>1.8 m)
Score	5	14	41	122
<b>Differential Weathering Rockfall Mode</b>				
Abundance	<10%	10–20%	20–30%	>30%
Score	3	9	27	81
Block size	<1 ft (<0.3 m)	1 to 3 ft (0.3–0.9 m)	3 to 6 ft (0.9–1.8 m)	>6 ft (>1.8 m)
Score	3	9	27	81
Relief	<1 ft (<0.3 m)	1 to 3 ft (0.3–0.9 m)	3 to 6 ft (0.9–1.8 m)	>6 ft (>1.8 m)
Score	3	9	27	81
<b>Raveling Rockfall Mode</b>				
Abundance	<10%	10–20%	20–30%	>30%
Score	3	9	27	81
Block size	<1 ft (<0.3 m)	1 to 3 ft (0.3–0.9 m)	3 to 6 ft (0.9–1.8 m)	>6 ft (>1.8 m)
Score	3	9	27	81
Shape	Tabular	Blocky	Round	—
Score	3	9	27	—

### 2.3 Μέθοδοι Ασφάλειας και Προστασίας από Κατολισθήσεις

Από όσα αναλύθηκαν παραπάνω, είναι σαφές πως μία κατολίσηση, και πόσω μάλλον μία πτώση τεμαχών βράχου συγκεκριμένα, μπορεί να επιφέρει οδυνηρές συνέπειες τόσο σχετικά με την προστασία της ανθρώπινης ζωής και ασφάλειας, όσο αναφορικά και με τις οικονομικές της επιπτώσεις. Οι δεύτερες συμπεριλαμβάνουν τόσο την πρώτη όσο και άλλους ζημιογόνους παράγοντες, όπως το κόστος της ανακατασκευής των τμημάτων που αντιμετωπίζουν φθορές. Σε αυτούς τους παράγοντες ανήκουν οι στοχοποιημένες διορθωτικές κινήσεις στο οδόστρωμα (μαλώματα), η ανακατασκευή των στηθαίων ασφαλείας, που πιθανότατα σε σύγκρουση με τα βραχώδη τεμάχια θα καταστραφούν, το κόστος αντικατάστασης πιθανών κολώνων οι οποίες είναι ιδιαίτερα ευάλωτες σε τέτοιες συγκρούσεις, αλλά και το κόστος που επιφέρει η μερική ή ολική προσωρινή απενεργοποίηση του συγκεκριμένου οδικού τμήματος είτε λόγω του αποκλεισμού του από τεμάχια, είτε λόγω των εργασιών.

Για τους παραπάνω λόγους, κρίνεται απαραίτητη η λήψη εγκεκριμένων μέτρων προστασίας του οδοστρώματος από προϊόντα κατολισθήσεων. Μερικά από τα πιο συνηθισμένα εξ αυτών, παρατίθενται μέσω των επόμενων παραγράφων.

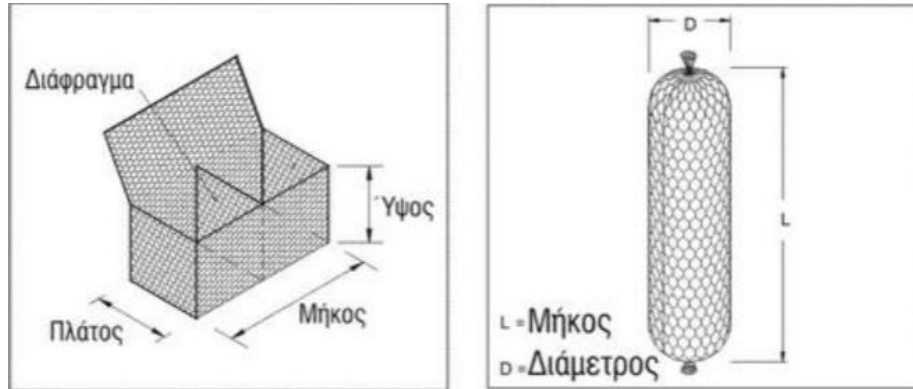
#### 2.3.1 Λιθοπληρωμένα συρματοκιβώτια και συρματοκύλινδροι

Η χρήση τους είναι συχνή και ποικίλει ανάλογα με τις απαιτήσεις. Χρησιμοποιούνται συχνά με σκοπό τη σταθεροποίηση των -αποτελούμενων από εδαφικό υλικό- πρανών έντονης κλίσης. Άλλοτε δύνανται να χρησιμοποιηθούν ως αντίβαρο, με σκοπό την αύξηση του συντελεστή ασφαλείας, στο πόδι μιας κατολισθαίνουσας μάζας. Επιπλέον συχνή είναι η εφαρμογή τους σε πρανή, τα οποία χρειάζεται να προστατευτούν έναντι διάβρωσης. Αποτελούνται από

## Κεφάλαιο 2 - Κατολισθήσεις / Μέτρα Ανάσχεσης και Προστασίας

γαλβανισμένο συρματοπλέγμα διπλής στρέψης πάχους 3mm, εξαγωνικού σχήματος, ενώ οι διαστάσεις τους διαφοροποιούνται βάσει των υπό χρησιμοποίηση αδρανών υλικών.

Αντίστοιχα, οι συρματοκύλινδροι χρησιμοποιούνται τόσο στον πόδα των πρανών, όσο και σε κοιτοστρώσεις χειμάρρων και ποταμών, αλλά και για υποθεμελίωση κατασκευών από συρματοκιβώτια διαφορετικού είδους, λόγω της ευκαμψίας και της προσαρμοστικότητάς τους. Αποτελούνται από εξαγωνικό χαλύβδινο συρματοπλέγμα διπλής στρέψης, ενώ η επιλογή των διαστάσεων τους εξαρτάται από το έργο στο οποίο θα χρησιμοποιηθούν.



**Εικόνα 2.17: Γραφική απεικόνιση συρματοκιβωτίου (αριστερά) και συρματοκύλινδρου (δεξιά) (Εικόνα από “erlikon.gr”)**



**Εικόνα 2.18: Αποκατάσταση ζημιών πρανούς στην επαρχιακή οδό Ραψάνη, Λάρισα (Εικόνα από “paidis.com”)**

### **2.3.2 Βλάστηση**

Η ύπαρξη φυσικής βλάστησης είναι πολύ σημαντική στα εδαφικά πρανή, καθώς βοηθάει ως επιφανειακή στρώση στην αποφυγή της διάβρωσης και της αποσάθρωσης, ενώ μπορεί να προσδώσει τριβή στην κίνηση μίας κατολισθαίνουσας μάζας και εν τέλει να αποτρέψει (ή τουλάχιστον να εμποδίσει σημαντικά) την είσοδο προϊόντων ροών κορημάτων ή γαιών (όταν πρόκειται ακόμα και για περιοχή χέρσων εκτάσεων, με θάμνους και χαμηλή βλάστηση) στην οδό. Πέραν τούτου, κυρίως οι δεντροκαλύψεις συμβάλλουν στην αύξηση της διατμητικής αντοχής του εδάφους, αφού ουσιαστικά οι ρίζες των δέντρων λειτουργούν ως οπλισμός του. Συμπερασματικά η σπορά φυσικής βλάστησης και κυρίως η δενδροφύτευση σε εδαφικά πρανή αποτελεί ένα ακόμη μέτρο προστασίας έναντι των σχετικών κατολισθητικών φαινομένων, ενώ



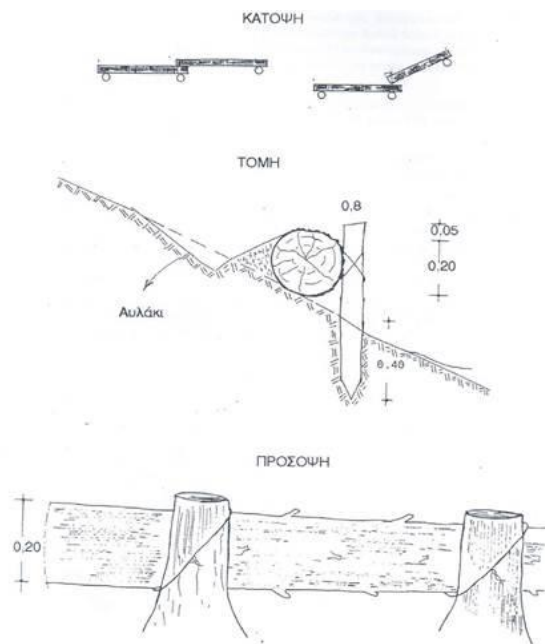
σε άλλες περιπτώσεις (κυρίως όταν η επένδυση με φυσική βλάστηση είναι δύσκολη) επιλέγεται η κάλυψη του πρανού με τεχνητή βλάστηση.

### **2.3.3 Κορμοτεμάχια**

Μία διαδεδομένη μέθοδος, η οποία είναι ικανή να προστατεύσει την οδό από την εισχώρηση βράχων, είναι η έμπηξη -σε ικανό βάθος από την εδαφική επιφάνεια- κορμοτεμαχίων δηλαδή τμημάτων ξερών κορμών δένδρων διαμέτρου 20cm έως 25cm και μήκους εύρους 5m έως 15m, προερχόμενα από συγκεκριμένα δέντρα (λ.χ. Κυπαρισσιού, Μαύρης Πεύκης, Δρυός, Ιτιάς, Αρμυρικού, Μαυρολεύκης, Σκλήθρου, κ.λπ.). Όπως υποδηλώνεται και από το είδος του επιλεγόμενου δέντρου, οι κορμοί που χρησιμοποιούνται ανήκουν σε κατηγορίες δέντρων με πολύ ισχυρή ποιότητα και αντοχή κορμού.

Η χρησιμοποίηση των συγκεκριμένων κορμών έγκειται στο γεγονός της παρεμπόδισης των τεμαχίων βράχου ή των ροών κορημάτων, από τη στιγμή που έχει ξεκινήσει η μετακίνηση και η ολίσθησή τους, με τη λογική της πρόσκρουσης αυτών στους κορμούς και τον ολικό περιορισμό της κίνησής τους. Για να είναι αποτελεσματικό ως μέτρο σε περιπτώσεις σφηνοειδούς ολίσθησης αρκεί να έχει ευρεθεί από τη μελέτη ο άξονας της ολίσθησης, ώστε να τοποθετηθούν κατά μήκος του.

Η απόσταση μεταξύ των κορμών κυμαίνεται ανάλογα με την εγκάρσια κλίση του εδάφους. Σε κλίσεις από 20% έως 50% η απόσταση μεταξύ τους είναι 8m (Μιχαλακόπουλος, 2020).



**Εικόνα 2.19: Κάτωση, πρόσοψη και μηχανισμός λειτουργίας κορμοτεμαχίων (Hellenic Ministry of Environment, Physical Planning and Public Works)**

### **2.3.4 Τοίχος αντιστήριξης-αναχαίτισης**

Στη διεθνή βιβλιογραφία, ως τοίχος αντιστήριξης έχει καθιερωθεί να ονομάζεται κάθε τεχνικό έργο που υποστηρίζει ένα επίχωμα με ύψος μεγαλύτερο από 0.5m πάνω από τη στάθμη του επιχώματος ή από το φυσικό έδαφος που βρίσκεται σε άμεση επαφή με την όψη του. Είναι ένα αρκετά ευρέως χρησιμοποιούμενο μέτρο προστασίας σε μεγάλα έργα οδοποιίας καθώς μπορεί να συμβάλει στην εμπόδιση εισχώρησης κινούμενων βραχοτεμαχίων στο οδικό δίκτυο (τοίχος αναχαίτισης), αλλά και στη συγκράτηση ενός πλήθους δυνητικά ολισθαινόντων μαζών, δρώντας υποστηρικτικά για τη διατήρηση ικανοποιητικού συντελεστή ασφαλείας (τοίχος

αντιστήριξης). Άλλες δράσεις του αφορούν την προστασία ενός οικισμού από θορύβους, αλλά και την προστασία μίας κατασκευής από σύγκρουση με όχημα που δύναται να αποκλίνει από την πορεία της οδού.

Υπάρχουν διάφορα είδη τοίχων, ενώ το πιο σύνηθες κριτήριο για την ένταξη ενός τοίχου σε μία από τις κατηγορίες είναι βάσει:

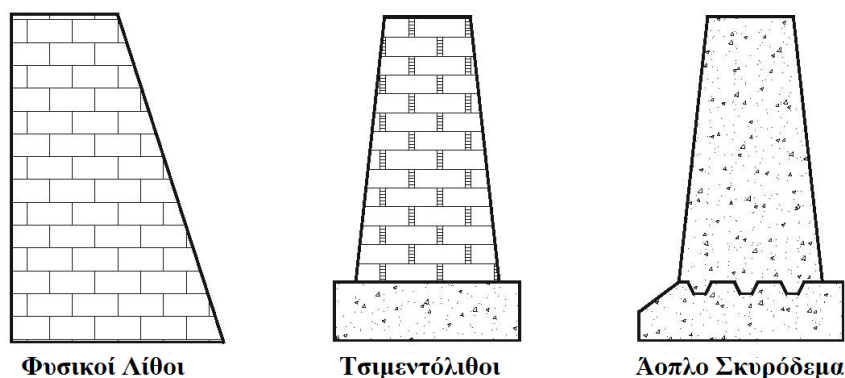
- της σχετικής μάζας του,
- της ευκαμψίας του,
- των συνθηκών αγκύρωσής του.

### ***Τοίχος βαρύτητας***

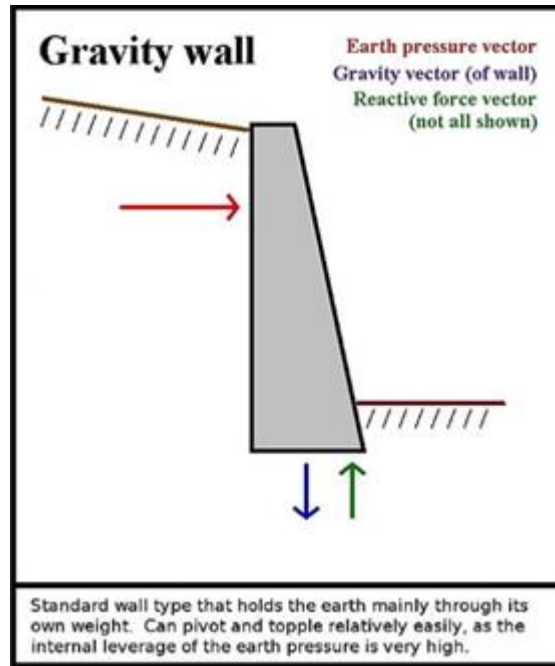
Αποτελεί τον παλαιότερο και παραδοσιακότερο τύπο. Οι τοίχοι βαρύτητας αποτελούνται από άοπλο σκυρόδεμα, τσιμεντόλιθους και σπανιότερα από φυσικούς λίθους. Η αντοχή του υλικού από το οποίο αποτελούνται απαρτίζει το μεγαλύτερο μέρος της ευστάθειάς τους είτε ως προς τη συγκράτηση ως συντελεστές ασφαλείας, είτε ως προς την εμπόδιση προσπέρασης τους -και συνεπώς της αστοχίας τους- από κινούμενα τεμάχια βράχου. Λόγω του μεγάλου εύρους τους, μπορούν να θεωρηθούν πρακτικά αμετακίνητοι. Χρησιμοποιούνται τόσο για περιορισμό ροών κορημάτων, αλλά και για καταπτώσεις, ανατροπές και ολισθήσεις βραχοτεμαχών. Μάλιστα ο έλεγχος ευστάθειάς τους, πριν την κατασκευή στον περιβάλλοντα χώρο του πρανού, γίνεται για ολισθήσεις τεμαχών και ανατροπές. Το σημαντικότερο μειονέκτημα τους είναι πως η μόνη τους αντίσταση είναι το βάρος τους, γεγονός που τους οδηγεί να υφίστανται σημαντικές καταπονήσεις εξαιτίας των σεισμικών φορτίων.

Οι παλαιότεροι τοίχοι βαρύτητας αποτελούνται είτε από σκυρόδεμα, είτε από ισχυρό βραχώδες υλικό. Με το πέρασμα του χρόνου όμως κατασκευάζονται όλο και πιο σύνθετα τοιχώματα βαρύτητας. Ένα τέτοιο είδος αποτελούν τα συρματοκιβώτια που αναλύθηκαν στην υποενοότητα 2.3.1, καθώς και άλλες μέθοδοι όπως τα crib walls, δηλαδή κελιά κατασκευασμένα σε μορφή καμπίνας από προκατασκευασμένο σκυρόδεμα ή ξύλο και γεμάτα με κοκκώδες υλικό.

#### Gravity Retaining Walls



***Εικόνα 2.20: Μορφές τύπων τοίχων βαρύτητας (Εικόνα από “wikipedia.org”)***



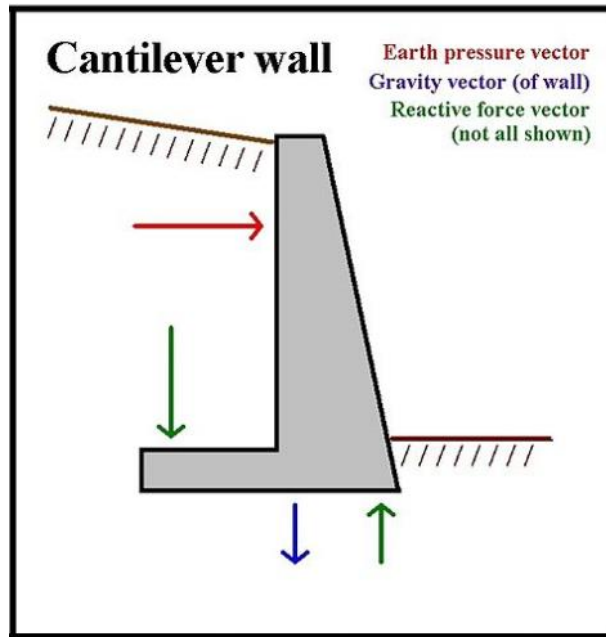
*Εικόνα 2.21: Μορφή τοίχου βαρύτητας (Εικόνα από “wikipedia.org”)*



*Εικόνα 2.22: Τοίχος αντιστήριξης βαρύτητας (Εικόνα από “wikipedia.org”)*

### **Τοίχος προβόλου**

Οι τοίχοι μορφής προβόλου είναι λεπτομερότερης διατομής συγκριτικά με τους τοίχους βαρύτητας, κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα και σχεδιάζονται συχνά σε σχήμα ανεστραμμένου «T». Λειτουργούν όπως οι δοκοί, σε ένα μεγάλο δομικό υπόστρωμα, μετατρέποντας τις οριζόντιες πιέσεις, που δέχονται από τη μεριά που βρίσκεται το πρανές, σε κατακόρυφες πιέσεις -στο κάτωθέν τους- έδαφος. Για να αντισταθούν στις εδαφικές ωθήσεις βασίζονται στη δυσκαμψία τους, ενώ παράλληλα αξιοποιούν το βάρος του αντιστηριζόμενου εδάφους. Μερικές φορές οι τοίχοι προβόλου στηρίζονται στο μπροστινό μέρος, ή περιλαμβάνουν ένα αντίθετο πίσω μέρος, για να βελτιώσουν την αντοχή τους ώστε να αντιστέκονται στις πιέσεις των μεγάλων φορτίων που δέχονται. Οι τοίχοι μορφής προβόλου χρησιμοποιούν λιγότερο υλικό από έναν παραδοσιακό τοίχο βαρύτητας.



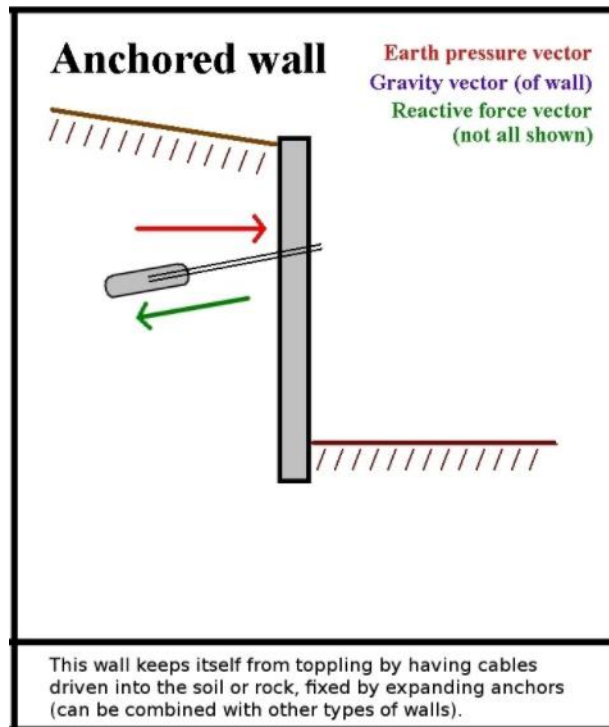
Εικόνα 2.23: Μορφή τοίχου προβόλου (Εικόνα από “wikipedia.org”)

#### Αγκυρωμένος τοίχος

Ένας αγκυρωμένος τοίχος, κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα και σχεδιάζεται με λεπτομερή διατομή, ενώ παράλληλα προσφέρει μία πρόσθετη αντοχή λόγω των ενεργητικών ή παθητικών αγκυριών που χρησιμοποιούνται. Τα αγκύρια φτάνουν στο υλικό του πρανούς με διάτρηση. Η χρησιμότητά τους είναι διπλή καθώς ενισχύουν την αντοχή του τοίχου, με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η μετατόπισή του, ενώ ταυτόχρονα συγκρατούν το γεωυλικό του πρανούς. Από τεχνικής απόψεως, η κατασκευή ενός τέτοιου τοίχου είναι πολύ χρήσιμη όταν αναμένεται πως θα παραλάβει υψηλά φορτία ή σε περίπτωση που η διαστασιολόγηση του τοίχου, ως προς το πάχος του, αναμένεται να είναι λεπτή.



Εικόνα 2.24: Αγκυρωμένος τοίχος (Εικόνα από το “pinterest.com”)



*Εικόνα 2.25: Μορφή αγκυρωμένου τοίχου (Εικόνα από “wikipedia.org”)*

### 2.3.5 Ηλώσεις - Κοχλιώσεις - Αγκυρώσεις

Αναφορικά με τις κοχλιώσεις, η τοποθέτησή τους λαμβάνει χώρα με μεταλλικά καρφιά, τα οποία τοποθετούνται σε χαλύβδινες οπές πληρωμένες από σκυρόδεμα στο μέτωπο του πρανούς. Η χρήση τους αφορά βραχώδη πρανή είτε πολλών οικογενειών ασυνεχειών, είτε όταν οι ασυνέχειες εμφανίζονται με μεγάλη συχνότητα. Σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται συνδυαστικά με ηλώσεις, με σκοπό την αύξηση -σε ικανοποιητικό βαθμό- του συντελεστή ασφαλείας των ασταθών βράχων έναντι ολίσθησης.

Αντίστοιχα οι ηλώσεις χρησιμοποιούνται για την αποτροπή της κίνησης των τεμαχών των βραχωδών πρανών, αλλά και τη σταθεροποίηση κατολισθητικών προϊόντων. Η τοποθέτηση των ήλων λαμβάνει χώρα με χρήση μεταλλικών καρφιών, τα οποία με τη βοήθεια του σκυροδέματος, εγκαθίστανται στο πέτρωμα. Η χρήση τους προσφέρει αύξηση της αντοχής του πετρώματος σε εφελκυσμό και διάτμηση, εν μέσω βελτίωσης της αντοχής των ασυνεχειών του στις δύο προαναφερθείσες εντατικές καταστάσεις. Τέλος τα τελευταία χρόνια είναι συχνή η χρήση των ήλων και σε εδαφικά πρανή, συνδυαστικά με τοποθέτηση τοίχων αντιστήριξης.

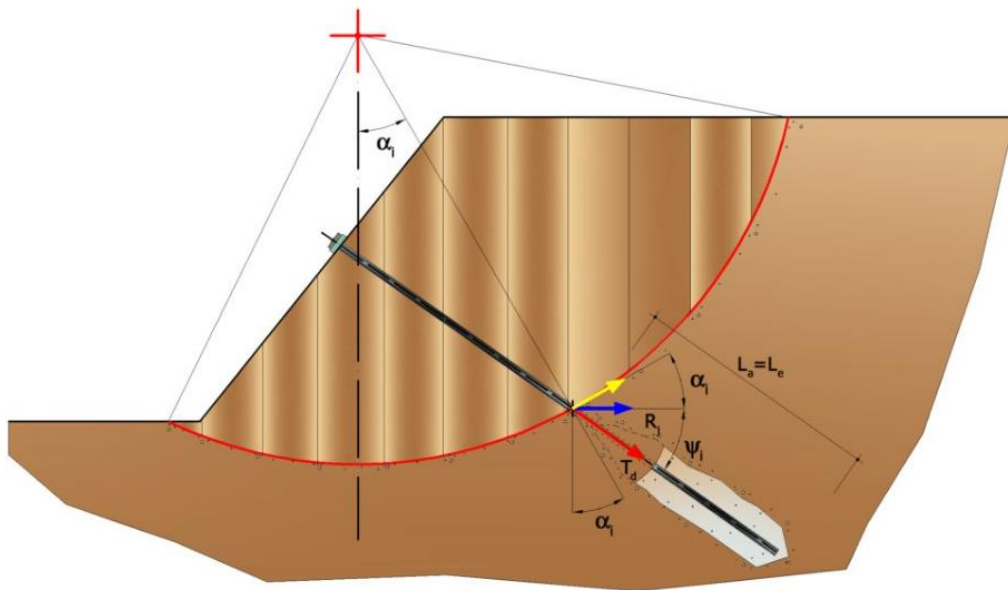
Το σημαντικότερο και συνηθέστερο μέτρο προστασίας, είναι η χρήση αγκυρίων, η οποία ενδείκνυται για τη σταθεροποίηση μεγάλου μεγέθους -και κατ' επέκταση μάζας- βραχοτεμαχών. Ειδικότερα, σε πρανή όπου η γεωτεχνική μελέτη έχει εντοπίσει τις ζώνες δυνητικής αστοχίας, τα αγκύρια αποτελούν μία αρκετά ασφαλή, στοχευμένη και άμεση λύση, ώστε να αποτραπεί κάθε είδους δυνητική ολίσθηση. Βασική παράμετρος της σωστής χρήσης και εφαρμογής τους είναι η σωστή θέση πάκτωσής τους.

Τα αγκύρια πρέπει να πακτώνονται εντός της υγιούς ζώνης του πετρώματος, όπου δεν αναμένεται σε καμία περίπτωση μετακίνηση της συγκεκριμένης θέσης τους. Η εσωτερική σημειακή σύζευξή τους με το περιβάλλον πέτρωμα του πρανούς, πραγματοποιείται είτε δια μέσου τριβής, είτε διαμέσου ενέματος (ρητίνη, τσιμεντένεμα κ.λπ.). Επιπλέον τα αγκύρια διαχωρίζονται σε ενεργητικά και παθητικά, ανάλογα με τη στιγμή όπου εφαρμόζεται η τάνυσή τους.

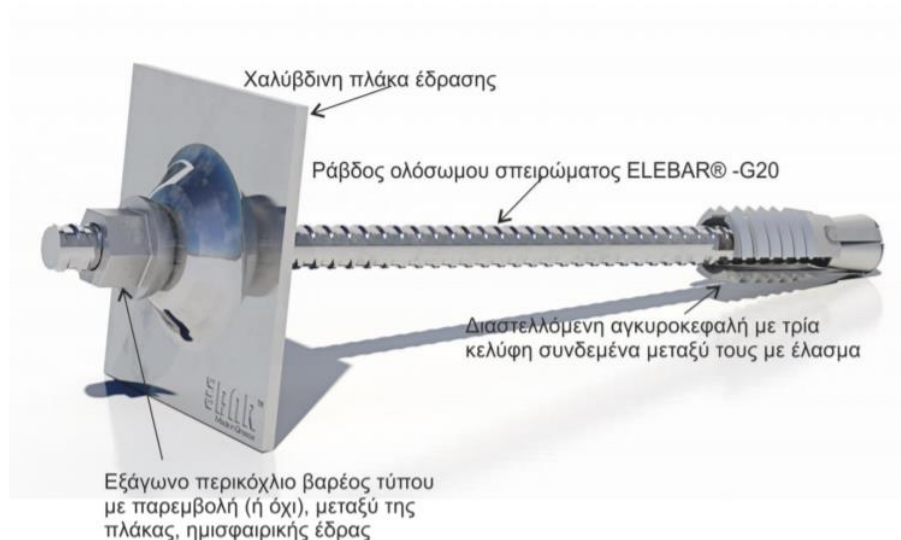
## Κεφάλαιο 2 - Κατολισθήσεις / Μέτρα Ανάσχεσης και Προστασίας

Συγκεκριμένα, όταν απαιτείται άμεση υποστήριξη του πετρώματος από αγκύρια, τότε θα τοποθετηθούν ενεργητικά αγκύρια, τα οποία προσδίδουν προένταση και η τάνυσή τους θα εφαρμοστεί αμέσως. Αντίθετα, όταν η αναγκαιότητα της δράσης των αγκυρίων δεν είναι άμεση, τότε τοποθετούνται παθητικά αγκύρια, τα οποία ενεργοποιούνται κατόπιν παραμόρφωσης του πετρώματος. Τέλος συχνή είναι η χρήση των αγκυρίων με άλλες μεθόδους προστασίας, όπως μεταλλικά πλέγματα και τοίχοι αντιστήριξης, ενώ διαδεδομένη θεωρείται και η χρήση τους σε εδαφικά πρανή, κυρίως συνδυαστικά με τοίχους αντιστήριξης.

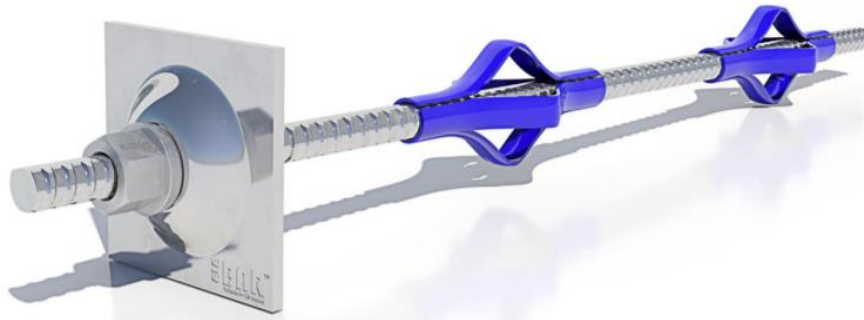
Συμπερασματικά θα μπορούσε να ειπωθεί πως -για κάθε κατηγορία- ο τύπος δράσης επιλέγεται βάσει των χαρακτηριστικών της γεωλογίας του πρανούς, αλλά και μερικών υποκειμενικών παραγόντων. Σε αυτούς ανήκουν το πόσο άμεση ανάγκη αποτελεί η δράση των αγκυρίων/ήλων/κοχλιώσεων, αλλά και το κόστος τους.



**Εικόνα 2.26: Μηχανισμός προστασίας αγκυρίου (Catanzariti, 2016)**



**Εικόνα 2.27: Ράβδος ολόσωμου σπειρώματος. (Χορηγήθηκε από την ΕΛΕΒΟΡ ΑΕΒΕ και τροποποιήθηκε από τον Σοφιανό, 2008)**



**Εικόνα 2.28: Παθητικός ήλος συνεχούς σπειρώματος (Εικόνα από ΕΛΕΒΟΡ ΑΕΒΕ).**

### **2.3.6 Φράχτες ανάσχεσης**

Οι φράχτες ανάσχεσης καταπτώσεων έχουν τη μορφή συρματοπλέγματος και ουσιαστικά η λειτουργία τους αφορά την απορρόφηση της κινητική ενέργειας του αποκολλημένου και καταπέσοντος βραχώδους τεμάχους ή της ροής κορημάτων. Ένα πολύ βασικό τμήμα του σχεδιασμού τους, όσον αφορά την αποτελεσματικότητά τους ως μέτρο ασφάλειας της οδού, είναι η θέση τοποθέτησής τους. Αυτή βρίσκεται σε σημεία όπου η κινητική ενέργεια του αποκολλημένου υλικού είναι η ελάχιστη δυνατή, εντούτοις πρέπει να ληφθεί υπόψιν και ο παράγοντας της αναπήδησης (σε περιπτώσεις πτώσης βραχωδών τεμαχών).

Όταν τα βραχώδη πρηνή διαμορφώνονται με δημιουργία ενδιάμεσων αναβαθμών, η τοποθέτησή τους πραγματοποιείται στο μεταίχιμο μεταξύ της στέψης του μετώπου του πρηνούς ορύγματος και του ανάντη αναβαθμού. Όσον αφορά το ύψος αναπήδησης, θα πρέπει αυτό να είναι χαμηλότερο από το ύψος του φράχτη, ώστε το τέμαχος να περιοριστεί από τον φράχτη και σε καμία περίπτωση να μην τον προσπεράσει αναπηδώντας. Οι φράχτες ανάσχεσης αποτελούν ένα ικανοποιητικό και συνάμα οικονομικό -συγκριτικά με τις άλλες μεθόδους- μέσο προστασίας, αλλά σε περίπτωση που δεν ληφθούν υπόψιν οι σωστές παράμετροι, ο σχεδιασμός τους δύναται να γίνει αντιοικονομικός.



**Εικόνα 2.29: Συγκράτηση κινούμενου αποκολλημένου βράχου από φράχτη ανάσχεσης (Εικόνα από “maccaferri.com”)**

### **Εύκαμπτοι φράχτες**

Η λειτουργία των εύκαπτων φραχτών βασίζεται στη δυνατότητά τους να απορροφούν την κινητική ενέργεια των ολισθαινόντων βραχοτεμαχών, εξαιτίας της παραμόρφωσής τους. Η

## Κεφάλαιο 2 - Κατολισθήσεις / Μέτρα Ανάσχεσης και Προστασίας

αντοχή τους σε κινητική ενέργεια, έχει φτάσει έως και τα 8000 kJ, ενώ το υλικό από το οποίο αποτελούνται είναι είτε αλληλοεμπλεκόμενοι δακτύλιοι (πιο αξιόπιστοι όσον αφορά την απορρόφηση ενέργειας), είτε χαλύβδινα συρματόσχοινα και πλέγματα. Πλεονεκτήματα της χρήσης τους αποτελούν η γρήγορη τοποθέτησή τους, η λειτουργική τους απλότητα, η αποτελεσματικότητα και η αξιοπιστία τους, η προσαρμοστικότητά τους σε κάθε γεωμορφολογική κατάσταση, αλλά και το χαμηλότερο κόστος τους συγκριτικά με λοιπά μέτρα προστασίας από βραχοπτώσεις.

Αντίθετα, η χρήση τους ενέχει και μερικά μειονεκτήματα. Σύμφωνα με τον EOTA (European Organisation for Technical Approvals), τα 25 έτη ορίζονται ως ο μέγιστος χρόνος αποτελεσματικής λειτουργίας τους, ο οποίος δύναται να μειωθεί σε πρηνή όπου καταγράφονται συχνές βραχοπτώσεις ή/και σε περιπτώσεις όπου τα ολισθαίνοντα βραχοτεμάχια είναι από μεσαίου έως μεγάλου μεγέθους. Στα παραπάνω έρχεται να προστεθεί και η αναγκαιότητα της συχνής συντήρησης ή ακόμα και αντικατάστασής τους, έπειτα από ισχυρές βραχοπτώσεις. Τέλος προτείνεται να αποφεύγονται όταν αναμένονται βραχοπτώσεις πολύ υψηλού ενεργειακού βαθμού, σε περιπτώσεις όπου αναμένονται σημαντικά ύψη αναπήδησης των τεμαχίων βράχου, όταν οι τροχιές ολίσθησης των βραχοτεμαχίων είναι άγνωστες, αλλά και όταν δεν υφίσταται καθόλου (ή έστω σημαντικού διαστήματος) υγιής ζώνη πετρώματος για την πάκτωσή τους.

Δύο εξαιρετικά ενδιαφέροντες πίνακες είναι αυτοί που προέρχονται μέσω των οδηγιών ETAG 027 (2008) και παρατίθενται ακολούθως. Όσον αφορά τον πρώτο πίνακα, εντός αυτού αποτυπώνονται τα βασικά μέρη ενός φράχτη ανάσχεσης, τα στοιχεία από τα οποία απαρτίζεται και οι λειτουργίες που δύναται να επιτελέσει κάθε στοιχείο.

**Πίνακας 2.12: Βασικά μέρη, στοιχεία και λειτουργίες φράχτη ανάσχεσης (ETAG 027,2008)**

Main parts	Components	Function
Interception structure	Principal net: made up of metallic cables, wires and/or bars of different types and materials (for example cable nets joined by clamps, submarine nets and ring nets. In the last two cases the rings forming the net are connected to each other). Additional layers: usually with a finer meshwork than the principal net made up of cables and/or wires or other materials.	To bear the direct impact of the mass, deform elastically and/or plastically and transmit the stresses to the connection components, the support structure and the foundations.
Support structure	Posts made of different materials, geometries and lengths (for example, pipes, structural metallic elements) having a hinge at the bottom.	To keep the erected interception structure. It can be directly connected to the interception structure or through the connection components.
Connection components	Connecting ropes, steel cables, wires and/or bars of different types and materials, junctions, clamps, energy dissipating devices (elements which are able to dissipate energy and/or allow a controlled displacement when stressed).	To transmit the stresses to the foundation structure during impact and/or keep the interception structure in position.
Foundations	Cables or bars anchored in the ground with adequate grout (not part of the ETAG).	To transmit the forces derived from the block impact to the ground.

Αντίστοιχα ο δεύτερος παραθέτει τις τιμές SEL (Service Energy Level) και MEL (Maximum Energy Level) αναλόγως την ταξινόμηση του επιπέδου ενέργειας. Σύμφωνα με τους Peila και Ronco (2009) και κυρίως τις οδηγίες ETAG 027 (2008), ως SEL ορίζεται η κινητική ενέργεια ενός αποκολλημένου βραχοτεμάχους κανονικών διαστάσεων, το οποίο προσκρούει στον φράχτη δύο φορές. Ο φράχτης πληροί τα κριτήρια κατάταξής τους ως προς τη SEL, όταν:

- Το σύστημα πρέπει να σταματήσει το τέμαχος κατά τη διάρκεια δύο κρούσεων με την ίδια κινητική ενέργεια, χωρίς συντήρηση μετά την πρώτη κρούση. Το πρώτο τέμαχος βράχου πρέπει να αφαιρεθεί πριν από τη δεύτερη πρόσκρουση.
- Ο βράχος δεν πρέπει να αγγίζει το έδαφος έως ότου το δικτυωτό πλέγμα φτάσει στη μέγιστη παραμόρφωσή του, τόσο κατά την πρώτη όσο και τη δεύτερη κρούση. Αυτό είναι απαραίτητο για την αποφυγή απορρόφησης κινητικής ενέργειας από το έδαφος,



## Κεφάλαιο 2 - Κατολισθήσεις / Μέτρα Ανάσχεσης και Προστασίας

λόγω της επαφής του τεμάχους με αυτό και ως εκ τούτου την αποφυγή της μείωσης του επιπέδου ενέργειας που απορροφάται από τον φράχτη.

- Μετά την πρώτη πρόσκρουση, δεν πρέπει να υπάρχουν ρήξεις στα εξαρτήματα σύνδεσης, ενώ τα ανοίγματα των βροχίδων του πλέγματος πρέπει να είναι μικρότερα ή το πολύ ίσα με το διπλάσιο του αρχικού ανοίγματος.
- Το υπολειπόμενο ύψος των στύλων πρέπει να είναι υψηλότερο ή ίσο με το 70% του αρχικού.

Σύμφωνα με τις ίδιες πηγές, ως MEL ορίζεται η κινητική ενέργεια ενός -υπό κρούση- τεμάχους που πληροί τους ακόλουθους περιορισμούς:

A)  $MEL > 3 \times SEL$ ,

B) ο εξεταζόμενος φράχτης αναχαιτίζει πλήρως το βραχοτέμαχος κατά τη διάρκεια της κρούσης (πραγματοποιείται μόνο μία κρούση),

Γ) το τέμαχος δεν έρχεται σε επαφή με το έδαφος έως ότου το δικτυωτό πλέγμα φτάσει στη μέγιστή του παραμόρφωση.

Μια τιμή SEL, υποτιθέμενη ίση με το 1/3 της τιμής MEL, υιοθετήθηκε για να δώσει πληροφορίες σχετικά με το επίπεδο ενέργειας, που δεν απαιτεί πρακτικές επισκευές στον φράχτη, μετά την πρόσκρουση.

**Πίνακας 2.13: Συσχέτιση SEL & MEL βάσει ταξινόμησης επιπέδου ενέργειας (ETAG 027, 2008)**

Energy level classification	0	1	2	3	4	5	6	7	8
SEL [kJ]	–	85	170	330	500	660	1000	1500	>1500
MEL [kJ]≥	100	250	500	1000	1500	2000	3000	4500	>4500

### **Φράχτες ανάσχεσης ροής κορημάτων**

Είναι παρόμοιοι με τους φράχτες ανάσχεσης καταπτώσεων, αλλά διαθέτουν πρόσθετα στοιχεία απορρόφησης ενέργειας και μεταβλητής γεωμετρίας. Η χρήση πλεγμάτων διαφορετικής διαμέτρου συνδυαστικά, είναι ευρέως διαδεδομένη για την κατασκευή του τελικού πλέγματος συγκράτησης. Τα δακτυλιοειδή πλέγματα θεωρούνται τα καταλληλότερα για τις δομές ροών κορημάτων, καθώς προσφέρουν τη δυνατότητα απορρόφησης της ενέργειας, προτού τα φορτία μεταφερθούν στα φρένα συμπίεσης. Τα πλέγματα μικρότερης διαμέτρου τοποθετούνται στην κορυφή των δομών ροής κορημάτων, ώστε να ανασχέσουν το φαινόμενο στον μέγιστο δυνατό βαθμό. Αντίθετα τα πλέγματα μεγαλύτερης διαμέτρου τοποθετούνται στο κατώτερο μέρος της δομής, με σκοπό να επιτρέπουν στο νερό και τα μικροϋλικά να διαπερνούν τον φράχτη.

### **2.3.7 Πλέγματα συγκράτησης**

Τα πλέγματα συγκράτησης προϊόντων κατολισθήσης αποτελούν μία από τις δημοφιλέστερες μεθόδους ανάσχεσης. Συνηθέστερα συναντώνται τα ελεύθερα και τα δακτυλιοειδή πλέγματα. Συγκεκριμένα τα ελεύθερα πλέγματα συγκράτησης καταπεσόντων βραχοτεμαχών, «σκεπάζουν» το πρηνές με τέτοιο τρόπο που αναγκάζουν τις ροές κορημάτων να παραμείνουν πίσω από αυτό και τα βραχοτεμάχη να φτάσουν ελεγχόμενα στο πόδι του πρηνούς. Ωστόσο ένας πολύ σημαντικός παράγοντας είναι τα ανοίγματα του πλέγματος, τα οποία θα πρέπει να είναι μικρότερα από τα θραύσματα των πετρωμάτων.

Σε πρηνή με πιο απότομες κλίσεις και σε περιπτώσεις όπου απαιτείται μεγαλύτερη ταχύτητα περάτωσης, χρησιμοποιούνται πλέγματα δομούμενα συνδυαστικά από χάλυβα διπλής πλέξης και συρματόσχοινα υψηλής αντοχής. Τα πλέγματα διπλής πλέξης πλεονεκτούν αναφορικά με

την ευελιξία και προσαρμοστικότητα τους, αφού αφενός είναι εύκολο να ξετυλιχθούν επάνω στο μέτωπο του πρανούς κατά τη διάρκεια της τοποθέτησής τους και αφετέρου είναι δύσκολο να ξετυλιχθούν κατά τη χρήση τους, ακόμα και αν θραυστούν ορισμένα σύρματα.



***Εικόνα 2.30: Προστασία πρανούς με χρήση ελεύθερου πλέγματος  
(Εικόνα από “plastwood.gr”)***

Τέλος σχετικά με τα δακτυλιοειδή πλέγματα, πραγματοποιήθηκε μια αναφορά και στην παραπάνω υποενότητα, αναφορικά με τη χρήση τους ως πλέγμα συγκράτησης σε φράχτες ανάσχεσης ροών κορημάτων. Γενικότερα η υψηλή τους αντοχή έναντι των δυναμικών κρούσεων τα κατατάσσει ως τα καταλληλότερα για χρήση σε βραχώδη πρανή, στα οποία αναμένεται ύπαρξη κατολισθήσεων βραχοτεμαχών μεγάλου βάρους.



***Εικόνα 2.31: Προστασία πρανούς με χρήση δακτυλιοειδούς πλέγματος  
(Εικόνα από “maccaferri.com”)***

### **2.3.8. Διαμόρφωση πρανών**

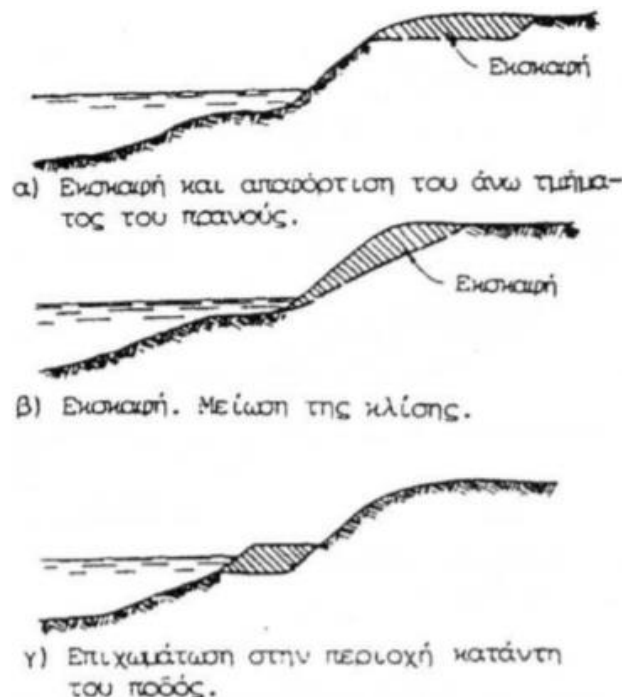
Η διαμόρφωση του πρανούς αποτελεί μία ενέργεια διπλής σημασίας. Αφενός μπορεί να λειτουργήσει ανασταλτικά, καθώς στοχεύει στην αποτροπή ολίσθησης έως την οδό των αποκολλημένων τεμαχών βράχου, μέσω και των αναβαθμών κατά ύψος του πρανούς ή των τάφρων αναχαίτισης καταπτώσεων στο πόδι του, και αφετέρου μπορεί να λειτουργήσει

## Κεφάλαιο 2 - Κατολισθήσεις / Μέτρα Ανάσχεσης και Προστασίας

συνδυαστικά με τα παραπάνω μέτρα προστασίας. Συγκεκριμένα η κατάλληλη διαμόρφωση των πρανών μπορεί να μειώσει σημαντικά την ταχύτητα κίνησης και το ύψος αναπήδησης του αποκολλημένου τεμάχους. Η μείωση της ταχύτητας του βραχώδους τεμάχους επιφέρει τη μείωση της κινητικής ενέργειας, συνεισφέροντας, έτσι, στο έργο των αναβαθμών και των τάφρων. Επιπλέον επηρεάζει βοηθητικά και τη λειτουργία των τοίχων αναχαίτισης και των φραχτών ανασχεσης καταπτώσεων.

Η διαμόρφωση πραγματοποιείται με κατασκευή είτε επιχωμάτων, είτε ορυγμάτων. Τα επιχώματα χρησιμοποιούνται για την αλλαγή της γεωμετρίας του πρανούς, μειώνοντας την κλίση του μετώπου και παράλληλα ομαλοποιώντας το. Επιπλέον χρησιμοποιούνται για την αύξηση του συντελεστή ασφαλείας σε ζώνες δυνητικά επικίνδυνες για πρόκληση κατολισθητικών φαινομένων. Ουσιαστικά η βασική τους χρήση αφορά την ενίσχυση της ευστάθειας του πρανούς, στο οποίο τοποθετούνται. Ανάλογα την εφαρμογή τους, δύνανται να είναι και οπλισμένα. Τα τελευταία χρησιμοποιούνται σε πρανή με απότομη κλίση, όπου δεν θα ήταν δυνατή η επίτευξη της ευστάθειας του επιχώματος χωρίς τη χρήση όπλισης.

Τα ορύγματα περιλαμβάνουν είτε την απομάκρυνση από το πρανές μαζών που έχουν μετατοπιστεί ή βάσει του συντελεστή ασφαλείας τους πρόκειται να μετατοπιστούν, είτε τη διαμόρφωση αναβαθμών και τάφρων αναχαίτισης καταπτώσεων που λειτουργούν ως παγίδες για την κινούμενη μάζα, είτε την ομαλοποίηση της κλίσης του μετώπου του πρανούς. Η όρυξη συνήθως πραγματοποιείται με μηχανικά μέσα, ωστόσο μπορεί να πραγματοποιηθεί και με χρήση εκρηκτικών υλών. Η τελευταία μέθοδος μπορεί να είναι άμεση και αποτελεσματική ως προς την όρυξη, αλλά πριν εφαρμοστεί απαιτείται μια επαρκής μελέτη της δομής και της μορφολογίας του πρανούς.

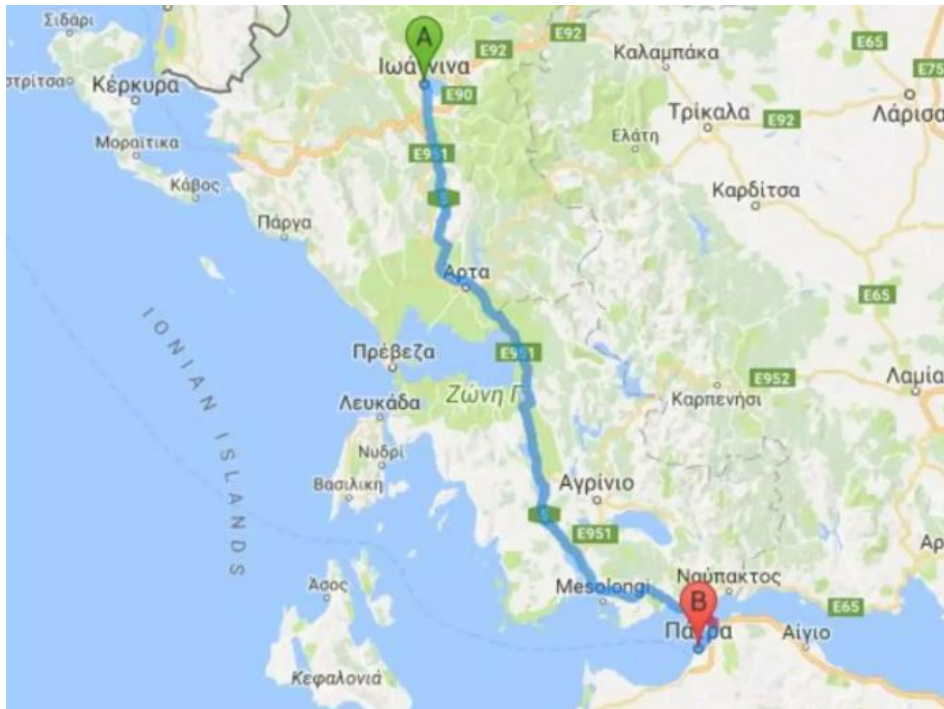


**Εικόνα 2.32: Έργα διαμόρφωσης πρανούς (Broms, 1969)**

### 3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

#### 3.1 Γενικά Στοιχεία

Όπως έχει προαναφερθεί, σε αυτή τη διπλωματική εργασία αναλύονται οι επιδράσεις της γεωμετρίας του πρηνούς στην αποκόλληση και πτώση τεμαχών βράχου, αλλά και τα μέτρα αποτροπής αυτών των φαινομένων ή έστω ανάσχεσης και συγκράτησης των βραχοτεμαχών. Τα πρηνή, στα οποία γίνεται η ανάλυση, είναι αυτά που συναντώνται πλησίον του οδικού δικτύου του αυτοκινητοδρόμου της Ιόνιας Οδού από Αντίρριο μέχρι και την παράκαμψη των Ιωαννίνων και συγκεκριμένα από τη χιλιομετρική θέση 161+590 έως τη χιλιομετρική θέση 166+900.



*Εικόνα 3.1: Χάρτης Ιόνιας Οδού (Εικόνα από “Google Maps”)*

Η Ιόνια Οδός, ή αλλιώς γνωστή και ως αυτοκινητόδρομος 5 (Α5), είναι αυτοκινητόδρομος που σε πλήρη ολοκλήρωση, θα διασχίζει κατακόρυφα τη Δυτική Ελλάδα και την Ήπειρο από τον ανισόπεδο κόμβο Τσακώνας στη συμβολή με τον Αυτοκινητόδρομο Κεντρικής Πελοποννήσου, έως την Κακαβιά στα βόρεια σύνορα Ελλάδας-Αλβανίας. Ο νέος υπό κατασκευή άξονας Πάτρα - Πύργος - Τσακώνα αποτελεί τυπικά τμήμα του Αυτοκινητοδρόμου 5 από το 2008, ενώ από το 2020 εντείνονται οι προσπάθειες για την υλοποίηση και της βόρειας επέκτασης του αυτοκινητοδρόμου στο τμήμα Ιωάννινα-Κακαβιά με έκταση περί των 60 χιλιομέτρων.

Στη σημερινή μορφή του έχει έκταση 220 χιλιόμετρα (4 χιλιόμετρα γέφυρα Ρίου-Αντίρριου, 196 χιλιόμετρα από Αντίρριο μέχρι Ιωάννινα, 20 χιλιόμετρα από Ρίο έως Μιντιλόγλι), ενώ κατά την ολοκλήρωση του αναμένεται να έχει συνολική έκταση περί των 424 χιλιομέτρων (πρόσθετα τα 60 χιλιόμετρα από Ιωάννινα έως Κακαβιά, τα 68 χιλιόμετρα από Μιντιλόγλι έως Πύργο και τα 76 χιλιόμετρα από Πύργο έως Τσακώνα). Ο Αυτοκινητόδρομος 5 διέρχεται πλησίον των εξής πόλεων:

- Ιωάννινα (βόρειο τέρμα, προς το παρόν)
- Φιλιπιάδα
- Άρτα

### Κεφάλαιο 3 - Περιοχή Μελέτης

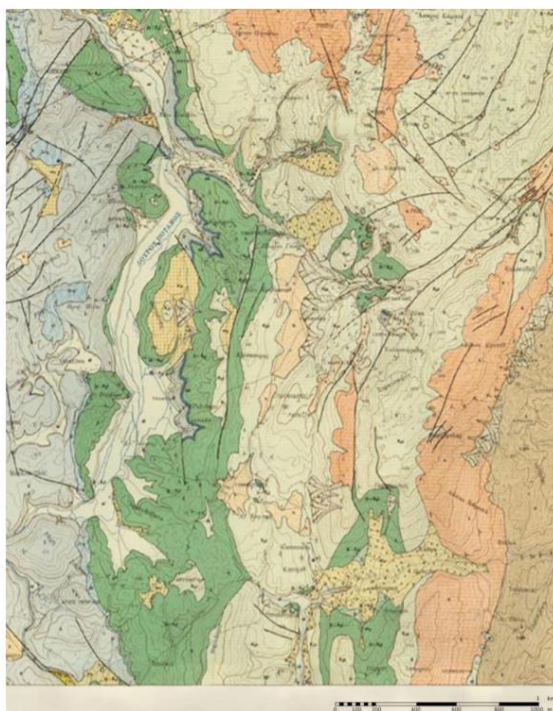
- Αμφιλοχία
- Αγρίνιο
- Μεσολόγγι
- Ρίο
- Πάτρα (νότιο τέρμα, προς το παρόν)
- Πύργος (μελλοντικά)
- Καλό Νερό (μελλοντικά)
- Λουτρό (νότιο τέρμα, μελλοντικά)
- Καλαμάτα (32 χλμ. νότια μέσω του Α7, μελλοντικά)

Συνοπτικά, το έργο στο τμήμα από το Αντίρριο έως τα Ιωάννινα (ανισόπεδος κόμβος με Εγνατία Οδό) περιλαμβάνει:

- 196 χιλιόμετρα αυτοκινητοδρόμου, με 2 λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, λωρίδα έκτακτης ανάγκης (Λ.Ε.Α.) και διαχωριστικό τύπου New Jersey,
- 19 ανισόπεδους κόμβους,
- 133 άνω και κάτω διαβάσεις,
- 4 δίδυμες σήραγγες συνολικού μήκους 11.2 χιλιομέτρων, με μεγαλύτερη τη δίδυμη σήραγγα της Κλόκοβας μήκους περίπου 3 χιλιομέτρων,
- 24 γέφυρες συνολικού μήκους 7 χιλιομέτρων,
- 4 μετωπικούς και 5 πλευρικούς σταθμούς διοδίων,
- 5 Σταθμούς Εξυπηρέτησης Αυτοκινητιστών (Σ.Ε.Α.).

#### **3.2 Στοιχεία Γεωλογικής Μελέτης**

Σύμφωνα με το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ, 1963), ο γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Ιόνιας Οδού για το τμήμα της Δυτικής Ελλάδας παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.2



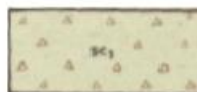
**Εικόνα 3.2: Γεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής Ιόνιας Οδού (Εικόνα από ΙΓΜΕ, 1963)**

### Κεφάλαιο 3 - Περιοχή Μελέτης

Όπου το υπόμνημα του χάρτη παρατίθεται στις παρακάτω εικόνες:



Σύγχρονες αποθέσεις κοιλάδων (al).



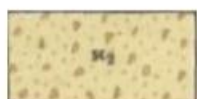
Πλευρικά ασύνδετα κορήματα (sc<sub>1</sub>).



Κώνιοι κορημάτων χειμαρρώδους προέλευσης (sc<sub>1</sub>).



Εναποθέσεις terra rossa (ερυθρογής) των δολινών  
Ξεροβουνίου και Λούρου (tr).



Πλευρικά, παλαιά, συνεκτικά κορήματα (sc<sub>2</sub>).

**Εικόνα 3.3: Τεταρτογενείς Αποθέσεις (πηγή ΙΓΜΕ, 1963 και επεξεργασία από Νταλάκου, 2014)**



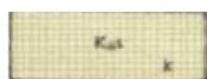
Νεογενές, Νέας Φιλιππιάδας. Πρόκειται για μεικτή σειρά  
χερσαίων κροκαλοπαγών (c) και άμμων αργιλούχων. Είναι ισότιμο με το  
νεογενές Αρχαγγέλου (P1).

**Εικόνα 3.4: Πλειόκαινο (πηγή ΙΓΜΕ, 1963 και επεξεργασία από Νταλάκου, 2014)**



Ασβεστόλιθοι υπολιθογραφικοί και ασβεστόλιθοι  
μικρολατυποπαγείς. Πάχος :250-400m ( e, k).

**Εικόνα 3.5: Παλαιόκαινο - Ανώτερο Ηώκαινο (πηγή ΙΓΜΕ, 1963 και επεξεργασία από Νταλάκου, 2014)**



Ασβεστόλιθοι μικρολατυποπαγείς με θραύσματα Ρουδιστών  
και ασβεστόλιθοι πελαγικοί με Globotruncanides. Πάχος: 200-300m (KgS).

**Εικόνα 3.6: Ανώτερο Σενώνιο (πηγή ΙΓΜΕ, 1963 και επεξεργασία από Νταλάκου, 2014)**

### Κεφάλαιο 3 - Περιοχή Μελέτης



Ασβεστόλιθοι Βίγλας. Είναι υπολιθογραφικοί, υποκίτρινοι έως ερυθρωποί με μικρές ενστρώσεις πυριτολίθων. Υπάρχουν ταχείες και σημαντικές μεταβολές του πάχους. Στο κεντρικό τμήμα του φύλλου οι ασβεστόλιθοι Βίγλας είναι επικλυσιγενείς στους ασβεστόλιθους Παντοκράτορος με γωνιώδη ασυμφωνία. Το πάχος τους είναι 20m (στο Τόμαρο) έως 400m στην περιοχή του Λούρου. Στο ανατολικό τμήμα του φύλλου (Ξεροβούνι) υπάρχει σημαντική αύξηση του πάχους του σχηματισμού και δολομιτίωση μέχρι του Μέσου Κρητιδικού (Αμμότοπος, Μπούκος).

*Εικόνα 3.7: Ανώτερο Ιουρασικό - Κατώτερο Σενώνιο (πηγή ΙΓΜΕ, 1963 και επεξεργασία από Νταλάκου, 2014)*



Ασβεστόλιθοι Σινιών και Παντοκράτορος. Οι ασβεστόλιθοι Σινιών είναι φαιοί, υποκίτρινοι με Ακτινόζωα. Παρουσιάζονται πάνω από τον σχηματισμό Ammonitico Rosso. Το πάχος τους είναι ελαττωμένο λόγω συνιζηματογενετικής διάβρωσης ή μεταβολών φάσεων (0-200m). Οι ασβεστόλιθοι Παντοκράτορος είναι λευκοί, συμπαγείς, θρομβώδεις με φύκη και βραχιονόποδα του Μέσου και Κατώτερου Λιασίου. Στην περιοχή του φύλλου είναι μη δολομιτικοί εκτός από το λόφο της Καλογερίτσας. Το πάχος τους κυμαίνεται από 1000-1500m.

*Εικόνα 3.8: Κατώτερο - Μέσο Λιάσιο (πηγή ΙΓΜΕ, 1963 και επεξεργασία από Νταλάκου, 2014)*

Στα υποκεφάλαια που ακολουθούν γίνεται μια εκτενής αναφορά σχετικά με τη λιθολογία, την τεκτονική δομή, τις υδρογεωλογικές συνθήκες και τις τεχνικογεωλογικές ενότητες της περιοχής μελέτης.

#### **3.2.1 Λιθολογία-Στρωματογραφία**

Σύμφωνα με τους Παπαμαρινόπουλο και Βακίρη (2014), οι βραχώδεις γεωλογικοί σχηματισμοί που απαρτίζουν την περιοχή μελέτης, από τους νεότερους προς τους αρχαιότερους διαχωρίζονται στις κλαστικές ιζηματογενείς και στις ανθρακικές σειρές. Η διαδοχή των βραχωδών λιθολογικών σχηματισμών από τους νεότερους στους παλαιότερους, έχει ως ακολούθως:

- Φλύσσης αδιαίρετος (Ανώτερο Ηώκαινο - Ολιγόκαινο) (κλαστική σειρά). Ο φλύσσης αποτελείται από εναλλαγές ψαμμιτών και αργιλικών στρωμάτων.
- Ασβεστόλιθοι (Παλαιόκαινο - Ηώκαινο). Πρόκειται για λευκούς έως ιώδεις λεπτοπλακώδεις, υπολιθογραφικούς, μικρολατυποπαγείς πελαγικούς ασβεστόλιθους.
- Ασβεστόλιθοι λατυποπαγείς (Ανώτερο Σενώνιο). Πρόκειται για ασβεστόλιθους Βίγλας, οι οποίοι συνεχίζονται και στο Ανώτερο Σενώνιο ως λατυποπαγείς με θραύσματα Ρουδιστών και τεμάχια ασβεστόλιθων με Orbitolina.

### Κεφάλαιο 3 - Περιοχή Μελέτης

- Ασβεστόλιθοι Βίγλας (Ανώτερο Ιουρασικό - Κατώτερο Σενώνιο). Πρόκειται για λεπτοπλακώδεις πελαγικούς ασβεστόλιθους, δηλαδή βαθιάς θάλασσας, με ενστρώσεις και βολβούς πυριτόλιθων γκρίζου χρώματος και μερικές φορές ερυθρωπού. Οι ασβεστόλιθοι Βίγλας χαρακτηρίζονται από απολιθώματα ακτινόζωων με χαρακτηριστικό είδος την *Calpionella alpina* αλλά και ριζόποδων με χαρακτηριστικά είδη *Globotruncana*.
- Σχιστόλιθοι με ποσειδώνιες (Ανώτερο Λιάσιο - Ανώτερο Ιουρασικό). Πρόκειται κυρίως για εναλλαγές ερυθρωπών πυριτόλιθων με πυριτικές αργίλους με ποσειδώνιες στη βάση.
- *Ammonitico Rosso* - (Ανώτερο Λιάσιο - Ανώτερο Ιουρασικό). Πρόκειται κυρίως για μαργαϊκούς κονδυλώδεις ασβεστόλιθους ερυθρωπού χρώματος με αμμωνίτες και κυανές μάργες στη βάση.
- Ασβεστόλιθοι - δολομίτες Παντοκράτορος (Κατώτερο - Μέσο Λιάσιο). Πρόκειται κυρίως για άστρωτους νηριτικούς δηλαδή αβαθούς θάλασσας ασβεστόλιθους και μερικώς δολομιτωμένους.
- Εβαπορίτες - (Γύψος και τριαδικά λατυποπαγή) - (Τριαδικόν). Τους βραχώδεις σχηματισμούς κρασπεδώνουν οι νεότεροι εδαφικοί ή οι ημιβραχώδεις ιζηματογενείς λιθολογικοί σχηματισμοί εν μέρει του Νεογενούς αλλά κυρίως του Τεταρτογενούς και του Πλειόκαινου.

Τέλος, όσον αφορά τους εδαφικούς σχηματισμούς, αυτοί συνίστανται από τις σύγχρονες αποθέσεις των αλλουβιακών πεδίων, από τα σύγχρονα και παλαιότερα πλευρικά κορήματα (κόννοι κορημάτων), από τα υλικά των αναβαθμιδών, από τις ερυθρογαίες και τις παλαιές πυριτικές προσχώσεις, από τις πλειστοκαινικές λιμναίες αποθέσεις και τέλος από τα νεογενή χερσαία κροκαλοπαγή.

#### **3.2.2 Τεκτονική δομή**

Από πλήθος ερευνών που έχει πραγματοποιηθεί σχετικά με την ευρύτερη περιοχή του αυτοκινητοδρόμου της Ιόνιας Οδού και συγκεκριμένα τη μελέτη των Παπαμαρινόπουλου και Βακίρη (2014), έχουν εξαχθεί τα εξής συμπεράσματα:

- Στην ευρύτερη περιοχή επικρατεί συμπίεστικό (θλιπτικό) πεδίο τάσεων, που οφείλεται στη σύγκλιση (βράχυνση) του φλοιού στα πλαίσια της κίνησης της Αδριατικής στην περιοχή του Βόρειου Ιονίου.
- Τα ενεργά ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης είναι πολύ σπάνια.
- Ο τεκτονισμός του πρόσφατου Νεογενούς οφείλεται σε συνδυασμό επωθήσεων, τοπικών διαπυρισμών και εφελκυσμών, που εκδηλώνεται με τη δημιουργία ενός συστήματος λεκανών.
- Στο Ανώτερο Πλειόκαινο - Τεταρτογενές διακρίνονται δύο τεκτονικές φάσεις. Μία εφελκυστική φάση διεύθυνσης Β-Ν (Ανώτερο Πλειόκαινο) και μία μεταπλειοκαινική συμπίεση με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ.
- Συνύπαρξη και εναλλαγή συμπίεστικών και εφελκυστικών φάσεων με διεύθυνση περίπου Α-Δ και Β-Ν αντίστοιχα.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι γενικότερα η περιοχή της Ηπείρου έχει υποστεί έντονες νεοτεκτονικές διεργασίες, οι οποίες προκάλεσαν τη δημιουργία ρηγμάτων, πτυχώσεων και επιπεύσεων και οι οποίες εκφράζονται με την παρουσία ανεξάρτητων μορφολογικών μονάδων έντονου αναγλύφου και σύνθετης γεωλογικής δομής. Η παλαιότερη τεκτονική



### Κεφάλαιο 3 - Περιοχή Μελέτης

εκδηλώνεται με κανονικά ρήγματα με κύριες διευθύνσεις προσανατολισμού ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ και τα οποία έχουν επηρεάσει κυρίως το ασβεστολιθικό υπόβαθρο, με μεγάλα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης, καθώς και με πολλαπλά σύγκλινα ή αντίκλινα (πολυπτυχώσεις) που έχουν αξονικά επίπεδα με κύρια διεύθυνση προσανατολισμού ΒΒΔ-ΝΝΑ.

Τα τεκτονικά αυτά γεγονότα συνεχίστηκαν και κατά τη διάρκεια του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς σε ορισμένες περιοχές. Αυτό προκύπτει από το πλήθος των σύγχρονων ρηγμάτων που τέμνουν τις μεγάλες παλιές τεκτονικές δομές και εκφράζονται από τις έντονες κλίσεις στους πλειο-πλειστοκαινικούς σχηματισμούς και από την παρουσία μεγάλης έκτασης πλευρικών κορημάτων.

Συνήθως τα κανονικά και τα οριζόντια μετατόπισης ρήγματα έχουν κύριες διευθύνσεις προσανατολισμού ΑΒΑ-ΔΝΔ και ΔΒΔ-ΑΝΑ αντίστοιχα. Εκτός των παραπάνω αναφέρονται επίσης συμπίεστικές τάσεις με διεύθυνση προσανατολισμού ΑΒΑ-ΔΝΔ, οι οποίες προκάλεσαν τα μεγάλα οριζόντια μετατόπισης ρήγματα με μηδενική ή πολύ μικρή κατακόρυφη συνιστώσα καθώς και συζυγή τούτων με διευθύνσεις ΒΒΑ-ΝΝΔ και ΒΔ-ΝΑ. Τα κανονικά ρήγματα επίσης εμφανίζονται να έχουν διεύθυνση προσανατολισμού Α-Δ έως και ΔΒΔ-ΑΝΑ και τα πλαγιοκανονικά διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Οφείλονται αμφότερα σε εφελκυσμούς με διεύθυνση προσανατολισμού ΒΒΔ-ΝΝΑ (170°).

#### **3.2.3 Υδρογεωλογικές συνθήκες**

Από την ίδια έρευνα (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014) προέκυψε πως οι βραχώδεις ανθρακικοί γεωλογικοί σχηματισμοί των Ηωκαινικών και των Σενώνιων ασβεστόλιθων, αλλά και των ασβεστόλιθων της Βίγλας (ΚΒ2) και του Παντοκράτορος, θεωρούνται διαπερατοί λόγω του αυξημένου δευτερογενούς πορώδους, σε αντίθεση με τους γεωλογικούς σχηματισμούς του φλύσχη, των μεταβατικών στρωμάτων και των σχηματισμών της Βίγλας (ΚΒ1) που ουσιαστικά θεωρούνται υδατοστεγανοί και αδιαπέρατοι.

Ως εκ τούτου στις περιοχές που καλύπτονται από τους μεν δεν αναμένονται υπόγεια νερά (τόσο εποχιακά όσο και μόνιμα), ακόμα και στους βαθύτερους ορίζοντες, εν αντιθέσει με τις περιοχές που καλύπτονται από τους δε στις οποίες αναμένονται εποχιακά και μόνιμα υπόγεια νερά τόσο επιφανειακά (υψηλά) όσο και στους σχετικώς βαθύτερους ορίζοντες.

Από τους εδαφικούς γεωλογικούς σχηματισμούς, οι αργιλικής σύστασης αλλουβιακές αποθέσεις, οι πυριτικές άργιλοι, οι ερυθρογαίες και τα αργιλικά κορήματα θεωρούνται πρακτικά έως αδιαπέρατοι και υδατοστεγανοί σχηματισμοί, εν αντιθέσει με τις λεπτομερείς κοκκώδεις και αδρομερείς αλλουβιακές αποθέσεις, τους μανδύες και τα πλευρικά αδρομερή κορήματα που θεωρούνται διαπερατοί σχηματισμοί. Η περιοχή μεταξύ της Χ.Θ. 161+590 και της Χ.Θ. 166+900 εντάσσεται στην υδρογεωλογική λεκάνη, η οποία εκτείνεται από τη Χ.Θ. 159+140 (Γυμνότοπος) έως τη Χ.Θ. 181+760 περίπου. Η ιδιαιτερότητα της υδρογεωλογικής αυτής λεκάνης είναι ότι συνίσταται από μικρότερες και επιμέρους υπολεκάνες, των οποίων τα κύρια ρέματα με διεύθυνση προσανατολισμού ΒΔ-ΝΑ, ΒΒΑ-ΝΝΔ, ή Α-Δ παροχετεύονται απευθείας στον κύριο αποδέκτη (ποταμός Λούρος), ο οποίος εκτείνεται δυτικά των έργων.

Τέλος από την επιτόπου παρατήρηση στις κοίτες των υφιστάμενων κύριων υδρορεμάτων, που εντοπίζονται στην περιοχή του έργου και διέρχονται εγκάρσια ή διαγώνια από τον άξονα της χάραξης, προκύπτει ότι οι στερεοπαροχές τους συνολικά δεν ήταν ιδιαίτερα σημαντικές ή και επιπλέον κατά θέσεις εξέλειπαν τελείως. Αυτό οφείλεται στο ότι, λόγω του βραχώδους ανθρακικού υποβάθρου που δομεί το σύνολο σχεδόν της ευρύτερης περιοχής, δεν ευνοούνται οι επιφανειακές απορροές και ως εκ τούτου οι μεγάλες στερεομεταφορές.

### 3.2.4 Τεχνικογεωλογικές ενότητες

Στην έρευνα των Παπαμαρινόπουλου και Βακίρη (2014) αναφέρεται πως οι γεωλογικοί σχηματισμοί, που απαντώνται στην περιοχή των υπό μελέτη χωματογενικών του τμήματος 304C της Ιόνιας Οδού, ομαδοποιήθηκαν σε τρεις κύριες τεχνικογεωλογικές ενότητες (TE-1, TE-2 και TE-3) βάσει κυρίως της λιθολογικής τους σύστασης, των φυσικομηχανικών τους χαρακτηριστικών καθώς και των μακροσκοπικών παρατηρήσεων επί αυτών κατά τη διάρκεια της γεωλογικής χαρτογράφησης. Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες ταξινομούνται κατά αύξουσα σειρά, από αυτές με τα πτωχότερα μηχανικά χαρακτηριστικά προς αυτές με τα καλύτερα μηχανικά χαρακτηριστικά. Ακολουθώς λαμβάνει χώρα και περιγραφή των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών των επιμέρους γεωλογικών σχηματισμών ανά τεχνικογεωλογική ενότητα.

#### *Τεχνικογεωλογική ενότητα 1*

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της TE-1 χαρακτηρίζονται από την επικράτηση εδαφικών σχηματισμών, την ευκολία στην αποσάθρωση και την εύκολη εκσκαψιμότητα με συμβατικά μέσα. Οι μεταβολές της λιθολογίας είναι πολλαπλές τόσο κατά την κατακόρυφη όσο και κατά την οριζόντια διεύθυνση. Η TE-1 χωρίζεται σε δύο επιμέρους υποενότητες, την TE-1A και την TE-1B.

#### *Τεχνικογεωλογική ενότητα 1A*

- Τεχνητές Επιχώσεις (AD): προέρχονται από τις εκσκαφές των υφιστάμενων ορυγμάτων που διανοίχθηκαν παλαιότερα κατά μήκος της παλαιάς Εθνικής Οδού Φιλιπιάδας - Ιωαννίνων και η σύστασή τους είναι κυρίως ασβεστολιθική. Είναι ασυμπύκνωτες με κυμαινόμενο -αλλά περιορισμένο γενικά- πάχος, ποικίλη κοκκομετρική διαβάθμιση και αποτέθηκαν στα ερείσματα της οδού ή σε περιορισμένης έκτασης αποθεσιοθαλάμους. Εκτός από τα υλικά των επιχωμάτων και των δανειοθαλάμων, κατά θέσεις συναντώνται και ανθρωπογενούς προέλευσης υλικά (παραδείγματος χάριν μπάζα, αστικά λύματα κ.λπ.) ποικίλης σύστασης, τα οποία έχουν αποθεθεί σε διάφορα σημεία εντός της περιοχής μελέτης.
- Ποταμοχειμάρριες Αποθέσεις (Rd)

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί, οι οποίοι αποτελούν την τεχνικογεωλογική υποενότητα 1A, εμφανίζονται με περιορισμένο πάχος και επιφανειακή εξάπλωση και χαρακτηρίζονται από τη χαλαρή τους δομή, τη μεγάλη τους ευκολία στην αποσάθρωση και τη μικρή έως μεγάλη ανομοιομορφία τους.

#### *Τεχνικογεωλογική ενότητα 1B*

- Ολοκαινικές αλλουβιακές αποθέσεις κοιλάδων και πεδιάδων (al)
- Μανδύας αποσάθρωσης (cw(Fo))
- Ερυθρογαίες (TR): έντονα ερυθρού χρώματος λεπτόκοκκα υλικά (άργιλοι, αμμώδεις άργιλοι), με λατύπες και κροκάλες ασβεστολιθικής σύστασης σε κυμαινόμενο ποσοστό. Αποτελούν εδαφικές αποθέσεις, οι οποίες προέρχονται από τα γεωυλικά της καρστικής διάλυσης των ασβεστόλιθων και εντοπίζονται σε θέσεις υψιπέδων (οροπέδια) με ήπια γενικά μορφολογία, συχνά πληρώνοντας καρστικά κενά.
- Πλευρικά κορήματα ή σύγχρονοι κώνοι αργιλικών κορημάτων (C.Co): Προέρχονται από διάβρωση και αποσάθρωση των ασβεστόλιθων και συνίστανται από καστανή ή κόκκινη άργιλο με ικανό ποσοστό γωνιωδών λεπτών θραυσμάτων ασβεστόλιθων ή από έξι τεμάχη κερατόλιθων και με μικρή περιεκτικότητα άμμου. Το πάχος τους υπερβαίνει τα 10m, τοπικά δε, είναι μικρότερο. Είναι στιφρά έως πολύ στιφρά και διαθέτουν ικανοποιητικά γεωμηχανικά χαρακτηριστικά. Κύρια χαρακτηριστικά της ενότητας

### Κεφάλαιο 3 - Περιοχή Μελέτης

είναι η αμμοχαλικώδης - αργιλική σύσταση, η χαλαρή δομή, η μεγάλη ανομοιομορφία, η μέτρια έως χαμηλή διαπερατότητα και η μέτρια έως μεγάλη ευκολία στην αποσάθρωση.

Οι πλευρικές μεταβάσεις και αποσφηνώσεις των οριζόντων συντελούν στην ανομοιόμορφη και ανισότροπη συμπεριφορά αυτών στο σύνολο τους και στη μεταβολή των μηχανικών χαρακτηριστικών τους, τόσο στην πλευρική όσο και στην κατακόρυφη ανάπτυξη. Η γενικότερη συμπεριφορά τους είναι ικανοποιητική, όσον αφορά τις συνθήκες έδρασης των επιχωμάτων και των τεχνικών αλλά και τις αναμενόμενες καθιζήσεις. Παρουσιάζουν ενδεχόμενη αστάθεια στα ορύγματα και συνιστάται η διαμόρφωση ήπιων κλίσεων στα πρανή. Γενικώς αναμένεται η συγκέντρωση υλικού στη βάση του πρανούς με μορφή σάρας και κρίνεται αναγκαίο το πλάτυσμα στον πόδα των πρανών, της τάξεως των 30cm. Όπου είναι μικρού πάχους, είναι καλύτερη η απομάκρυνσή τους. Η εκσκαφή τους γίνεται εύκολα με μηχανικά μέσα.

- Παλαιές πυριτικές προσχώσεις (Pi.cl): έντονου καστανού έως καστανέρυθρου χρώματος, κυρίως αργιλικό κλάσμα, με κυμαινόμενο ποσοστό από γωνιώδη θραύσματα πυριτόλιθων - κερατόλιθων, με παρουσία υπολειμματικών δομών πυριτόλιθων μικρής (ενστρώσεις) ή μεγαλύτερης έκτασης. Προέρχονται από τη διάβρωση, αλλά και την απασβεστίωση των ασθενών λεπτοστρωματωδών σχηματισμών της Βίγλας (KB1). Το πάχος τους είναι κυμαινόμενο -και βάσει εκτιμήσεων- της τάξεως των 3m έως και μεγαλύτερο των 30m.

Οι πυριτικές άργιλοι συνίστανται από αργίλους (CL, CH, ML κατά AUSCS), οι οποίες είναι πολύ στιφρές έως σκληρές (Δείκτης «N» της τυπικής δοκιμής διείδυσης εύρους 35 έως 50). Τα γεωμηχανικά τους χαρακτηριστικά είναι ικανοποιητικά καθώς και η γενικότερη συμπεριφορά τους, κυρίως όσον αφορά την έδραση επιχωμάτων και μικρών τεχνικών. Η ευστάθεια των πρανών των ορυγμάτων κρίνεται ως ικανοποιητική κυρίως για ήπιες κλίσεις πρανών σε θέσεις υψηλών ορυγμάτων, για τα οποία απαιτείται αντιδιαβρωτική προστασία των πρανών (αφού οι πυριτικές άργιλοι θεωρούνται ευδιάβρωτα γεωυλικά στη δράση εξωγενών διαβρωτικών παραγόντων). Για τα μεγάλα τεχνικά (γέφυρες) και για τα μεσόβαθρα που θα χωροθετηθούν στον σχηματισμό των πυριτικών αργίλων, συνήθως είναι πιθανή η λύση της βαθιάς θεμελίωσης για την έδρασή τους.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί, οι οποίοι αποτελούν την τεχνικογεωλογική υποενότητα 1B, χαρακτηρίζονται από την επικράτηση των λεπτομερών κλασμάτων, τη χαλαρή τους δομή, την ευκολία στην αποσάθρωση, τη μικρή έως κυμαινόμενη διαπερατότητα και τη σχετικά μέτρια ομοιομορφία τους. Οι παράμετροι αντοχής των υλικών αυτών μεταβάλλονται επίσης ανάλογα με το ποσοστό συμπύκνωσης και στερεοποίησης, αλλά και της συμμετοχής των αδρομερών συστατικών τους, τα οποία ενισχύουν τη διατμητική τους αντοχή. Χαρακτηρίζονται από μέτρια έως χαμηλή διαπερατότητα και σχηματίζουν ελεύθερους υδροφόρους ορίζοντες μικρής έως και μέτριας δυναμικότητας στους ανώτερους ορίζοντες και επάλληλους υπό πίεση στους κατώτερους. Η εκσκαφή τους γίνεται εύκολα (με χειρωνακτικά ή ελαφρά μηχανικά μέσα).

#### **Τεχνικογεωλογική ενότητα 2**

Η TE-2 αποτελείται από σχηματισμούς, οι οποίοι άλλοτε εμφανίζονται ως ημίβραχοι, άλλοτε ως εδαφοποιημένοι και σε μερικές περιπτώσεις ως βράχοι (Co, ψαμμιτική φάση Fo, ασβεστόλιθοι KeFo). Λόγω των διαφοροποιήσεων στη λιθολογία η TE-2 χωρίζεται σε δύο επιμέρους ενότητες, την TE-2A και την TE-2B.

#### **Τεχνικογεωλογική ενότητα 2Α**

- Παλαιοί κώνοι κορημάτων (Co): είτε υπόλευκου, είτε καστανέρυθρου χρώματος ασβεστολιθικά, κοκκώδη, αδρομερή υλικά (χαλίκια, κροκάλες και τοπικά ογκόλιθοι), γωνιώδη, με σχετικά υψηλό ποσοστό λεπτομερών υλικών, χαλαρά έως ελαφρά ή ισχυρά συγκολλημένα. Κατά μήκος του έργου εντοπίζονται στις περιοχές με έντονο συνήθως μορφολογικό ανάγλυφο και ισχυρές εγκάρσιες κλίσεις, στις ζώνες ρηξιγενών δομών και στις παραχειμάρριες περιοχές. Το πάχος τους, ανάλογα με τη θέση τους και την περιοχή απόθεσης, είναι συνήθως μεγαλύτερο των 5m, ενώ τοπικά υπερβαίνει τα 20m. Τοπικά ο σχηματισμός εμφανίζεται έντονα σιμεντοποιημένος με καστανέρυθρο ασβεστιτικό, αργιλοαμμώδες, συνδετικό υλικό. Δυτικά της χάραξης ο σχηματισμός Co εμφανίζεται υπό τη μορφή σκληρού λατυποπαγούς, με ικανοποιητική ευστάθεια σε φυσικά πρηνή (ύψους 5m έως 7m) με απότομες κλίσεις. Αντίθετα σε άλλες περιοχές παρουσιάζει χαμηλό βαθμό συγκόλλησης χωρίς χαρακτηριστικά βραχομάζας, ενώ αρκετά συχνά συνοδεύεται από αστοχίες εδαφικού τύπου, γεγονός το οποίο καθιστά αναγκαία τη λήψη μέτρων (μείωση της κλίσης, κατασκευή αναβαθμών, κ.λπ.).

Κύρια χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης υποενότητας είναι η γαιωημιβραχώδης μηχανική συμπεριφορά, η μέτρια ανομοιομορφία και η σχετικά μέτρια ευκολία στην αποσάθρωση. Γενικά χαρακτηρίζονται ως σχηματισμοί που έχουν χαλαρή έως μέτρια και τοπικά ισχυρή σύνδεση/συγκόλληση, πτωχά έως μέτρια τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά (ανάλογα με τον βαθμό σύνδεσης), αλλά και μεγάλη διαπερατότητα και υδατοχωρητικότητα (ανάλογα με την κοκκομετρική σύνθεσή τους).

Τα μέτρια συγκολλημένα έως ισχυρά συγκολλημένα διαθέτουν ικανοποιητικά μηχανικά χαρακτηριστικά, κυρίως όσον αφορά την ευστάθεια των πρηνών και την έδραση μικρών τεχνικών (π.χ. κιβωτοειδών οχετών ή τεχνικών Α/Δ και Κ/Δ μικρού μήκους και εύρους). Συνιστάται πάντως ο βαθμός συγκόλλησης των κορημάτων να ελέγχεται, αφού κατά θέσεις (στην ίδια περιοχή) εμφανίζονται και οι δύο μορφές τους, στην περίπτωση που πρόκειται για θεμελίωση τεχνικών και ιδίως σε επικλινές φυσικό έδαφος. Η εκσκαψιμότητά τους γίνεται με μικρή έως μέτρια δυσκολία (με χειρωνακτικά ή ελαφρά μηχανικά μέσα).

#### **Τεχνικογεωλογική ενότητα 2Β**

- Ηωκαινικός φλύσχης (Fo)
- Μεταβατικά στρώματα (KeFo)
- Ασβεστόλιθοι Βίγλας (KB1): ποικίλων έντονων χρωμάτων (λευκό, κίτρινο, ροδίζον, κυανό) λεπτοστρωματώδεις υπολιθογραφικοί ασβεστόλιθοι, μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένοι, πολυπτυχωμένοι, κατακερματισμένοι, με πυκνές ενστρώσεις πυριτόλιθων. Το πάχος των στρωμάτων είναι της τάξεως των 2cm έως 5cm. Οι εναλλαγές των επιμέρους στρώσεων είναι ρυθμικές και ισοπαχείς. Ο σχηματισμός Βίγλας (KB1) εμφανίζεται εντονότατα πολυπτυχωμένος, ισχυρά κερματισμένος και αποσαθρωμένος, και ως εκ τούτου αποτελεί τον πλέον «ασθενή», ευδιάβρωτο και «ευαίσθητο» βραχώδη γεωλογικό σχηματισμό, του οποίου η βραχομάζα είναι ποιοτικά υποβαθμισμένη και χαρακτηρίζεται από πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά. Τα χρώματα του είναι ποικίλα και γενικά έντονα. Η προϊούσα διάβρωση και αποσάθρωση προκαλείται επί τόπου, μεταβαίνοντας σταδιακά σε πυριτικές αργίλους (Pi.cl).

Κύρια χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης υποενότητας είναι η ημιβραχώδης μηχανική συμπεριφορά, οι συχνές εναλλαγές στη λιθολογία κατά την κατακόρυφη διεύθυνση (επάλληλοι ορίζοντες), η μέτρια ανομοιομορφία και η σχετικά μέτρια ευκολία στην

### Κεφάλαιο 3 - Περιοχή Μελέτης

αποσάθρωση. Αναφορικά με τη συνοχή, αυτή ποικίλει σε ευρύτερα όρια σε συνάρτηση με ορισμένους πρωτογενείς (αρχική λιθολογική σύσταση, διαγένεση, κοκκομετρία), αλλά και δευτερογενείς (εξαλλοίωση, αποσάθρωση) παράγοντες. Οι ψαμμίτες χαρακτηρίζονται γενικά (σε υγρή κατάσταση) από υψηλές τιμές συνοχής και διατμητικής αντοχής. Η εκσκαψιμότητα τους κρίνεται ως μέτρια και πραγματοποιείται με ελαφρά έως βαρέα μηχανικά μέσα.

#### **Τεχνικογεωλογική ενότητα 3**

- Σενώνιοι ασβεστόλιθοι (Ks): λευκοί, υπόλευκοι, τοπικά ροδόχροιοι, συμπαγείς, σκληροί (R4), μικρολατυποπαγείς έως λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι, υγείς έως και ελαφρώς αποσαθρωμένοι, με ύπαρξη θραυσμάτων ρουδιστών και παρεμβολές υπολιθογραφικών ασβεστόλιθων, ορατές καρστικές δομές κάθετης ανάπτυξης, τοπικά άστρωτοι, συνήθως όμως με ευδιάκριτα στρωσιγενή επίπεδα και μεταβαλλόμενο πάχος στρώσης. Εμφανίζουν -περισσότερες των τεσσάρων- οικογένειες ασυνεχειών, με διάσπαρτες ζώνες κερματισμού ή κατακερματισμού. Το πάχος του σχηματισμού είναι μεταξύ 200m και 300m.

Οι ασβεστόλιθοι Ks παρουσιάζουν καλά μηχανικά χαρακτηριστικά και εκτιμάται ότι έχουν υψηλές αντοχές. Ακόμη και στις ζώνες των ρηγμάτων (όπως επίσης και όπου αυτές συνδέονται με έντονα φαινόμενα καρστικών διεργασιών) η ευστάθεια πρανών μέσου μεγέθους -που σχηματίζονται κατά τις εκσκαφές- είναι ικανοποιητική για δεκαετίες τώρα, όπως παρατηρείται στα πρανή της υφιστάμενης οδού. Θετική επιρροή -στην ευστάθεια των ορυγμάτων που δημιουργούνται στους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς Ks- έχει η κατά τόπους μαζώδης/άστρωτη εμφάνιση της βραχομάζας, επιτρέποντας τη δημιουργία υψηλών ορυγμάτων.

Υπάρχει, εντούτοις, ανάγκη προσοχής στις περιοχές που τα τελικώς διαμορφωμένα πρανή είναι παράλληλα με ζώνες ρηγμάτων και βρίσκονται σε μικρή (τάξης ολίγων μέτρων) απόσταση από αυτές. Στις περιοχές αυτές υπάρχει ανάγκη μείωσης της γενικής κλίσης του πρανούς ή και δημιουργία αναβαθμιδών και «παγίδων» βράχων. Αντίθετα στις περιπτώσεις των τεχνητών πρανών που τέμνουν με μεγάλη γωνία τα ρήγματα δεν αναμένονται ιδιαίτερα προβλήματα. Η εκσκαφή του σχηματισμού Ks γίνεται με χρήση εκρηκτικών, ενώ τα προϊόντα εκσκαφής είναι κατάλληλα για υλικά επιχωμάτων και για αδρανή (έπειτα από θραύση).

- Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι (Fe)
- Ασβεστόλιθοι Βίγλας (KB2): λευκού έως υπόλευκου χρώματος, σκληροί (R4), λεπτομεσοστρωματώδεις, υπολιθογραφικοί ασβεστόλιθοι, ελαφρώς έως μετρίως αποσαθρωμένοι, με αραιές ενστρώσεις ή κονδύλους πυριτόλιθων και κατά θέσεις καρστικοποιημένοι. Σε διατμητικές ζώνες μεγάλου εύρους εμφανίζονται έντονα κερματισμένοι και κατακερματισμένοι και τοπικά εδαφοποιημένοι με μεταβάσεις προς πυριτικές αργίλους. Οι ασβεστόλιθοι Βίγλας (KB2) αποτελούν βραχομάζα η οποία κρίνεται ποιοτικά ως ικανοποιητική, αν και κατά θέσεις -εξαιτίας του ισχυρού της κερματισμού και της αποσάθρωσής της- εμφανίζεται ποιοτικά υποβαθμισμένη και συνοδεύεται από έντονες εδαφοποιήσεις προς τον σχηματισμό των πυριτικών αργίλων (ιδίως σε διατμητικές ζώνες ικανού εύρους). Οι σχηματισμοί Βίγλας (KB1) υπέρκεινται ή μεταβαίνουν πλευρικά προς τους ασβεστόλιθους Βίγλας (KB2), χωρίς να αποκλείεται και η ύπαρξη τοπικών υπολειμματικών δομών, συνήθως μικρής έκτασης, των δεύτερων στους πρώτους.

### Κεφάλαιο 3 - Περιοχή Μελέτης

Οι σχηματισμοί της ενότητας αυτής παρουσιάζουν υψηλές τιμές μηχανικής αντοχής, ενώ η συμπεριφορά της βραχομάζας είναι συνήθως ικανοποιητική για τη θεμελίωση τεχνικών έργων. Σε ορισμένες περιπτώσεις θρυμματίζονται εύκολα σε μέγεθος ψηφίδας. Εμφανίζονται κερματισμένοι, με μικρή ανομοιομορφία και μικρή ευκολία στην αποσάθρωση, με βραχώδη μηχανική συμπεριφορά και μεγάλη δευτερογενή περατότητα. Επίσης είναι καρστικοποιημένοι και φιλοξενούν πλούσιους υδροφόρους ορίζοντες. Η μέθοδος εξόρυξής τους, η οποία και θα ακολουθηθεί, είναι με χρήση εκρηκτικών υλών.

#### **3.3 Μελέτες Γεωτεχνικών Κατασκευών**

Για το σύνολο του έργου οι μελέτες προβλέπουν την κατασκευή έντεκα διαστημάτων ορυγμάτων και ορυγμάτων μεικτής διατομής (ορύγματα και επιχώματα), κατά μήκος της κύριας χάραξης:

- X.Θ. 161+590 έως X.Θ. 161+770,
- X.Θ. 161+770 έως X.Θ. 162+270,
- X.Θ. 162+700 έως X.Θ. 163+100,
- X.Θ. 163+270 έως X.Θ. 163+570,
- X.Θ. 163+570 έως X.Θ. 163+910,
- X.Θ. 164+070 έως X.Θ. 164+300,
- X.Θ. 164+730 έως X.Θ. 164+920,
- X.Θ. 165+250 έως X.Θ. 165+530,
- X.Θ. 165+690 έως X.Θ. 165+950,
- X.Θ. 165+950 έως X.Θ. 166+280,
- X.Θ. 166+760 έως X.Θ. 166+900,

αλλά και συνολικά πέντε διαστημάτων ορυγμάτων για τους κλάδους του ανισόπεδου κόμβου Γοργομύλου:

- Κλάδος 1: X.Θ. 0+000 έως τη X.Θ. 100.23,
- Κλάδος 2: X.Θ. 0+140 έως τη X.Θ. 0+490.55,
- Κλάδος 3: X.Θ. 0+000 έως τη X.Θ. 0+140,
- Κλάδος 4: X.Θ. 0+000 έως τη X.Θ. 0+260,
- Κλάδος 5: X.Θ. 0+320 έως τη X.Θ. 0+380.

Επίσης προβλέπεται η κατασκευή ορυγμάτων σε τέσσερα διαστήματα κατά μήκος των παράπλευρων οδών:

- SRL24A: X.Θ. 0+040 έως τη X.Θ. 0+173.21,
- SRL24B: X.Θ. 0+340.03 έως τη X.Θ. 0+378.87,
- SRR22: X.Θ. 0+000 έως τη X.Θ. 0+080,
- SRR23: X.Θ. 0+080.3 έως τη X.Θ. 0+323.4

και επιπλέον μεικτές διατομές στα εξής διαστήματα:

- A/K Γοργομύλου: X.Θ. 0+120 έως τη X.Θ. 0+140,
- SRL24A: X.Θ. 0+000 έως τη X.Θ. 0+040,
- SRL24B: X.Θ. 0+000 έως τη X.Θ. 0+340.03,
- SRR22: X.Θ. 0+080 έως τη X.Θ. 0+223.41.

Αντίστοιχα προβλέπεται η κατασκευή επιχωμάτων σε οκτώ διαστήματα κατά μήκος της κύριας χάραξης:

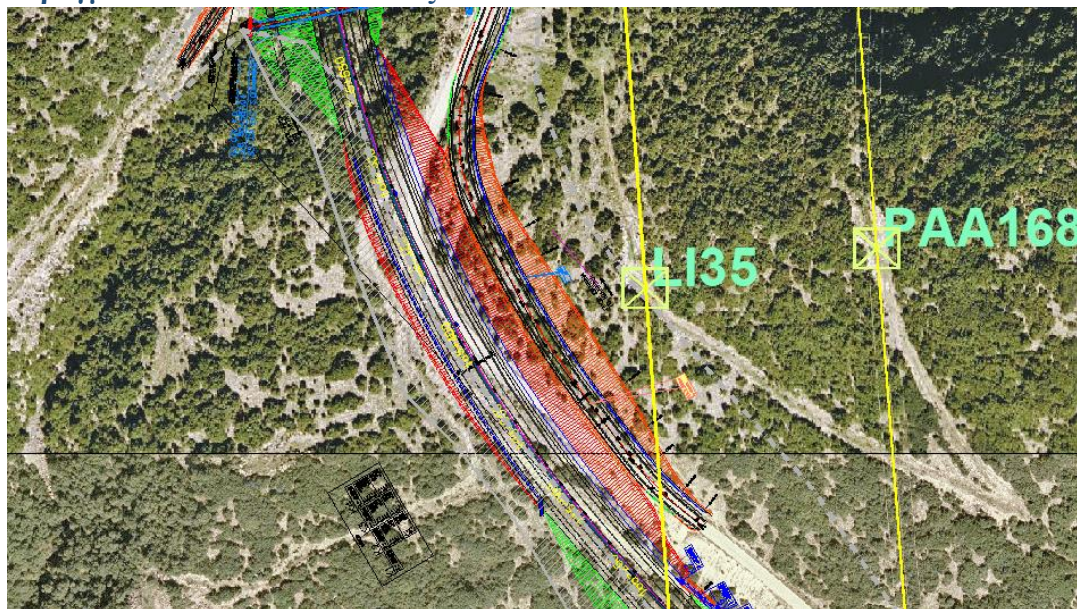
### Κεφάλαιο 3 - Περιοχή Μελέτης

- X.Θ. 161+590 έως X.Θ. 162+050,
- X.Θ. 162+410 έως X.Θ. 162+650,
- X.Θ. 163+620 έως X.Θ. 163+710,
- X.Θ. 163+870 έως X.Θ. 163+990,
- X.Θ. 164+310 έως X.Θ. 164+650,
- X.Θ. 164+950 έως X.Θ. 165+270,
- X.Θ. 165+540 έως X.Θ. 165+670,
- X.Θ. 165+990 έως X.Θ. 166+130,

αλλά και η δημιουργία ενός επιχώματος κατά μήκος της παράπλευρης οδού SRR23, από τη X.Θ. 0+000 έως τη X.Θ. 0+080.3.

Παρακάτω θα αναλυθούν ξεχωριστά συγκεκριμένες διατομές των ορυγμάτων, οι οποίες θα απασχολήσουν αυτήν την έρευνα κατά τη μελέτη και την επεξεργασία. Συγκεκριμένα τα τεκτονικά διαγράμματα των συναντώμενων σχηματισμών, τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά και οι αρχικές διαμορφώσεις στα πρηνή -κατά την πρώτη χάραξη-, θα αποτελέσουν τη βάση για τη μετέπειτα γεωτεχνική διερεύνηση.

#### **3.3.1 Όρυγμα από X.Θ. 165+250 έως X.Θ. 165+530**



**Σχέδιο 3.1: Οριζοντιογραφία Ιόνιας Οδού από X.Θ. 165+250 έως X.Θ. 165+530  
(Σχέδιο χάραξης οριζοντιογραφίας Ιόνιας Οδού)**

Στην έρευνα των Παπαμαρινόπουλου και Βακίρη (2014) σημειώνεται πως η Ιόνια Οδός από τη X.Θ. 165+250 έως τη X.Θ. 165+530, στην περιοχή ανάπτυξης της γέφυρας Τσαγκαρόπουλου, κατασκευάζεται αρχικά σε μεικτή διατομή, σε επίχωμα στα κατάντη και όρυγμα στα ανάντη από τη X.Θ. 165+250 έως τη X.Θ. 165+300 και στη συνέχεια σε αμφίπλευρο όρυγμα από τη X.Θ. 165+300 έως τη X.Θ. 165+530. Το πλάτος του οδοστρώματος ισούται με 22.17m. Το όρυγμα διευρύνεται προς τα δεξιά από τη X.Θ.165+250 έως τη X.Θ. 165+490, για την ανάπτυξη της δεξιάς παράπλευρης της οδού SRR26.

Από τις δύο γειτονικές γεωτρήσεις, αλλά και τις γεωλογικές και γεωτεχνικές εργασίες, η μελέτη των Παπαμαρινόπουλου και Βακίρη (2014) κατέληξε στο συμπέρασμα πως η περιοχή του ορύγματος διαμορφώνεται εντός ασβεστολιθικού σχηματισμού (Σενώνιου - Ks). Ο σχηματισμός εμφανίζεται υγής έως έντονα αποσθρωμένος, ελαφρώς κερματισμένος και κατά

### Κεφάλαιο 3 - Περιοχή Μελέτης

θέσεις κατακερματισμένος (TE-3). Κατά θέσεις και σε μικρά βάθη ενδέχεται να συναντηθούν τεχνητές επιχώσεις (AD), υλικά επιχωμάτων ή ανθρωπογενούς προέλευσης (TE-1A).

Ως εκ τούτου για τη στρωματογραφία λαμβάνεται μία στρώση, που δομείται από μέσης έως υψηλής και κατά θέσεις πολύ υψηλής αντοχής ασβεστόλιθο (Σενώνιου - Ks - TE-3). Ουσιαστικά αποτελεί τον μοναδικό σχηματισμό που θα συναντηθεί κατά την κατασκευή του ορύγματος και διαφοροποιείται όσον αφορά τον βαθμό κερματισμού και αποσάθρωσής του. Συγκεκριμένα μέχρι τα 8m βάθους θεωρείται από ελαφριά έως έντονα αποσαθρωμένος (RQD από 0% έως 40%), ενώ σε μεγαλύτερα βάθη από υγιής έως έντονα αποσαθρωμένος (RQD από 0% έως 55% και κατά κανόνα μεγαλύτερο από 25%).

Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα RocLab 1.0 της εταιρείας Rocscience και επιλέγοντας χρήση του κριτηρίου Hoek & Brown (2002), υπολογίστηκαν οι παράμετροι αντοχής της βραχομάζας (συνοχή  $c$  και ισοδύναμη γωνία τριβής  $\phi$ ), λαμβάνοντας υπόψιν και τις υπόλοιπες κρίσιμες παραμέτρους όπως αυτές εκτιμήθηκαν κατά τη μελέτη.

**Πίνακας 3.1: Στοιχεία στρώσεων ασβεστόλιθου συναρτήσει και του βάθους (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014)**

Στρώση / Τεχνικογεωλογική Ενότητα	GSI	GSI <sub>design</sub>	$\sigma_c$ (MPa)	$m_i$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	D	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
I / TE-3 (0,0m – 8,0m)	20-30	25	80	8	26,7	0,8	74	43,1
I / TE-3 (>8,0m)	40-50	45	80	8	26,7	0,7	333	48,8

Η τελική τιμή της συνοχής  $c$  ισούται με τα 2/3 της τιμής, όπως αυτή προέκυψε από το κριτήριο, ενώ της ισοδύναμης γωνίας τριβής  $\phi$  ισούται με αυτήν του κριτηρίου λαμβάνοντας υπόψιν μια μικρή απομείωση.

**Πίνακας 3.2: Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά κάθε στρώσης συναρτήσει και του βάθους (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014)**

Βάθος [m]	Στρώση / Τεχνικογεωλογική Ενότητα	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Όρυγμα	
			$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
0,0-8,0	I / TE-3	26,7	50	41
>8,0m	I / TE-3	26,7	110	45

Για τις αναλύσεις ευστάθειας πρανών έναντι σφηνοειδών ή επίπεδων ολισθήσεων, έλαβαν χώρα μικροτεκτονικές μετρήσεις και ανάλυση της βραχομάζας, από τις οποίες προέκυψε το εξής τεκτονικό διάγραμμα.



### Κεφάλαιο 3 - Περιοχή Μελέτης

**Πίνακας 3.3: Τεκτονικό διάγραμμα περιοχής ορύγματος Χ.Θ. 165+250 έως Χ.Θ. 165+530 (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014)**

Σύστημα ασυνεχειών	Κλίση	Διεύθυνση κλίσης	Είδος
B1	10°	234°	Στρώση
B2	30°	296°	Στρώση
J1	78°	125°	Ασυνέχεια
J2	90°	156°	Ασυνέχεια
J3	90°	005°	Ασυνέχεια
J4	85°	072°	Ασυνέχεια

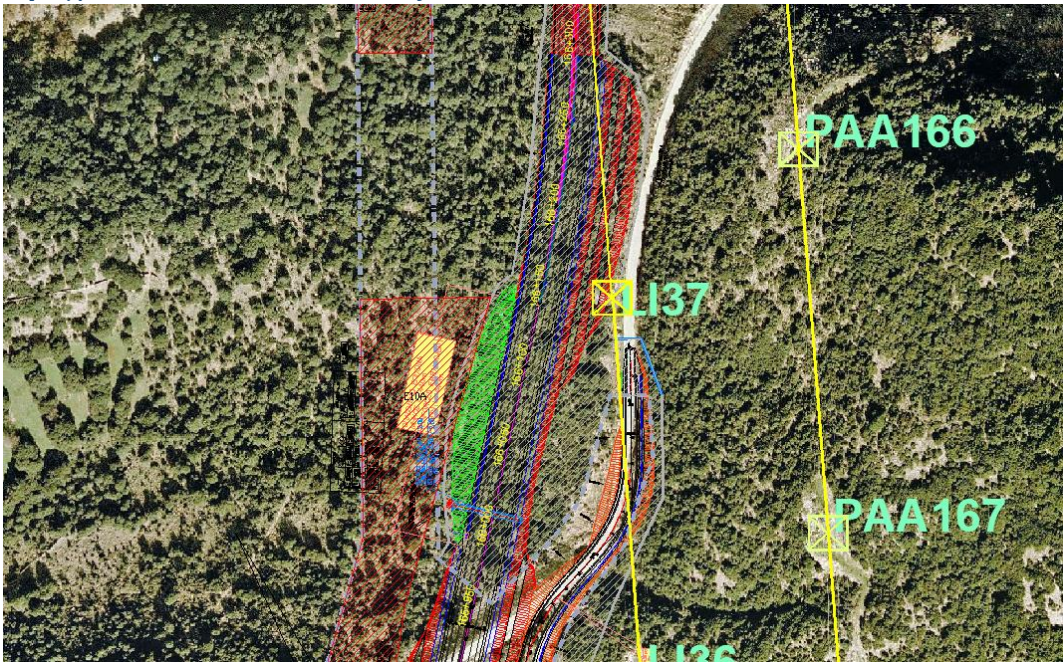
Το μέγιστο ύψος των δεξιών πρανών του ορύγματος ισούται με 26.5m περίπου, λαμβάνοντας υπόψιν τόσο τα ορύγματα ανάντη της κύριας οδού, όσο και της παράπλευρης. Το μέγιστο ύψος του αριστερού πρανού του ορύγματος αγγίζει τα 9.5m. Επομένως, αφού το ύψος του είναι χαμηλότερο από 10m, δεν απαιτείται γεωτεχνική μελέτη ευστάθειας του συγκεκριμένου πρανού. Ως εκ τούτου, το αριστερό πρανές του ορύγματος διαμορφώνεται με κλίση 2:1 (υ:β), ενώ τα αντίστοιχα δεξιά πρανή διαμορφώνονται με κλίση 1:1 (υ:β), τόσο ανάντη της κύριας οδού (ύψος 13.45m), όσο και της παράπλευρης (ύψος 6.35m).

Στον πόδα του δεξιού πρανού ορύγματος (ανάντη της κύριας οδού) προβλέπεται η κατασκευή τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων, πλάτους 5m και βάθους 2m, εντός της οποίας θα παγιδεύονται τυχόν προϊόντα κατάπτωσης. Επιπλέον στο πόδι του πρανού ορύγματος ανάντη της παράπλευρης οδού, προβλέπεται η δημιουργία τριγωνικής τάφρου πλάτους 4.31m και βάθους 1m. Αντίστοιχα στον πόδα του αριστερού πρανού προβλέπεται η κατασκευή ερείσματος πλάτους 3.75m. Οι παραπάνω διαμορφώσεις ελέγχθηκαν μέσω της γεωτεχνικής μελέτης, θέτοντας για τις ασυνέχειες τη γωνία εσωτερικής τριβής ίση με 33° και τη συνοχή ίση με 0 kPa, και κρίθηκαν ασφαλείς.

Τέλος αξίζει να αναφερθεί πως για το πρανές ανάντη της κύριας οδού, η αρχική γεωτεχνική μελέτη προτείνει και δύο ακόμα εναλλακτικές διαμορφώσεις. Συγκεκριμένα, κατά την πρώτη εναλλακτική, προτείνεται η διαμόρφωση του πρανού ορύγματος (ύψους 14m) με κλίση 3:2 (υ:β) και με τραπεζοειδή τάφρο αναχαίτισης καταπτώσεων πλάτους 5m και βάθους 2m στον πόδα του. Αντίστοιχα, κατά τη δεύτερη εναλλακτική, προτείνεται η διαμόρφωση του πρανού ορύγματος (ύψους 10.19m) με κλίση 2:1 (υ:β) και τραπεζοειδή τάφρο αναχαίτισης καταπτώσεων πλάτους 2.5m και βάθους 1.5m στον πόδα του. Οι παραπάνω διαμορφώσεις κρίθηκαν -από τη γεωτεχνική μελέτη- ως ασφαλείς, αλλά δεν έλαβαν χώρα στην πράξη.



**3.3.2 Όρυγμα από Χ.Θ. 165+950 έως Χ.Θ. 166+280**



**Σχέδιο 3.3: Οριζοντιογραφία Ιόνιας Οδού από Χ.Θ. 165+950 έως Χ.Θ. 166+280  
(Σχέδιο χάραξης οριζοντιογραφίας Ιόνιας Οδού)**

Αναφορικά με το τμήμα της Ιόνιας Οδού από τη Χ.Θ. 165+950 έως τη Χ.Θ. 166+280, στην περιοχή ανάπτυξης της γέφυρας Τσαγκαρόπουλου, η μελέτη των Παπαμαρινόπουλου και Βακίρη (2014) επισημαίνει πως αυτό κατασκευάζεται σε μεικτή διατομή με επίχωμα στα κατάντη και όρυγμα στα ανάντη. Το πλάτος του οδοστρώματος του αυτοκινητοδρόμου είναι 22m. Στα ανάντη του αυτοκινητοδρόμου κατασκευάζεται η παράπλευρη οδός SRR26.

Στη συνέχεια για την εύρεση της στρωματογραφίας του εδάφους, στην προαναφερθείσα μελέτη αξιοποιήθηκαν στοιχεία από δύο γεωτρήσεις που είχαν λάβει χώρα στην περιοχή για τους σκοπούς παλαιότερου ερευνητικού προγράμματος, καθώς και μία που πραγματοποιήθηκε σε πολύ κοντινή θέση στην περιοχή μελέτης. Βάσει των αποτελεσμάτων, τα οποία προέκυψαν από τις γεωλογικές και γεωτεχνικές μελέτες, η περιοχή του ορύγματος διαμορφώνεται εντός ασβεστόλιθου (Σενώνιου - Ks - TE-3). Ο σχηματισμός εμφανίζεται ελαφρώς έως μέτρια αποσθρωμένος, ελαφρώς έως έντονα κερματισμένος και κατά θέσεις κατακερματισμένος και καρστικοποιημένος με παρουσία κενών.

Βάσει των γεωτρήσεων, η στρωματογραφία αποτελείται από δύο στρώσεις. Η πρώτη στρώση (I) αποτελείται από χάλικες έως αργιλώδεις χάλικες (TE-1B), όπου η στρώση είναι επουσιώδης για τον σχεδιασμό των ορυγμάτων καθώς το πάχος της δεν ξεπερνά τα 2m με 2.5m.

Η δεύτερη στρώση (II) αποτελείται από χαμηλής έως πολύ υψηλής αντοχής ασβεστόλιθο (Σενώνιου - Ks - TE-3). Αποτελεί ουσιαστικά τον αποκλειστικό σχηματισμό κατά μήκος του ορύγματος, με διαφοροποιήσεις σχετικά με τον βαθμό κερματισμού (RQD από 24% έως 81% και κατά κανόνα μεγαλύτερο από 40%) και καρστικοποίησής του. Ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται ελαφρώς ως μέτρια αποσθρωμένος, ελαφρώς έως έντονα κερματισμένος και σε ορισμένες θέσεις κατακερματισμένος. Επιπλέον σε ορισμένες θέσεις υπάρχουν καρστικά κενά.

Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα RocLab 1.0, μέσω του κριτηρίου Hoek and Brown (2002), υπολογίστηκαν οι παράμετροι αντοχής της βραχομάζας (συνοχή c και ισοδύναμη γωνία τριβής

### Κεφάλαιο 3 - Περιοχή Μελέτης

φ), λαμβάνοντας υπόψιν και τις υπόλοιπες κρίσιμες παραμέτρους όπως αυτές εκτιμήθηκαν κατά τη μελέτη. Αναφορικά με τη γωνία εσωτερικής τριβής και τη συνοχή των ασυνεχειών, από την έρευνα προέκυψαν οι τιμές 35° και 0 kPa αντίστοιχα.

**Πίνακας 3.4: Στοιχεία δεύτερης στρώσης (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014)**

Στρώση/ Τεχνικογεωλογική Ενότητα	GSI	GSI <sub>design</sub>	$\sigma_{ci}$ (MPa)	$m_i$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	D	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
II / TE-3 (>2,0m)	40-50	45	30	8	25,3	0,8	171	36,2

Η τελική τιμή της συνοχής  $c$  ισούται με τα 2/3 της αναγράφουσας τιμής, όπως αυτή προέκυψε από το κριτήριο, ενώ της ισοδύναμης γωνίας τριβής  $\phi$  ισούται με αυτήν του κριτηρίου λαμβάνοντας υπόψιν μια μικρή απομείωση.

**Πίνακας 3.5: Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά κάθε στρώσης συναρτήσει και του βάθους (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014)**

Βάθος [m]	Στρώση / Τεχνικογεωλογική Ενότητα	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Όρυγμα	
			$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
0,0-2,0	I / TE-1B			
>2,0m	II / TE-3	25,3	110	35

Μέσω των μικροτεκτονικών μετρήσεων και των αναλύσεων για τη βραχομάζα προέκυψε ο Πίνακας 3.6, ο οποίος αποτελεί το τεκτονικό διάγραμμα.

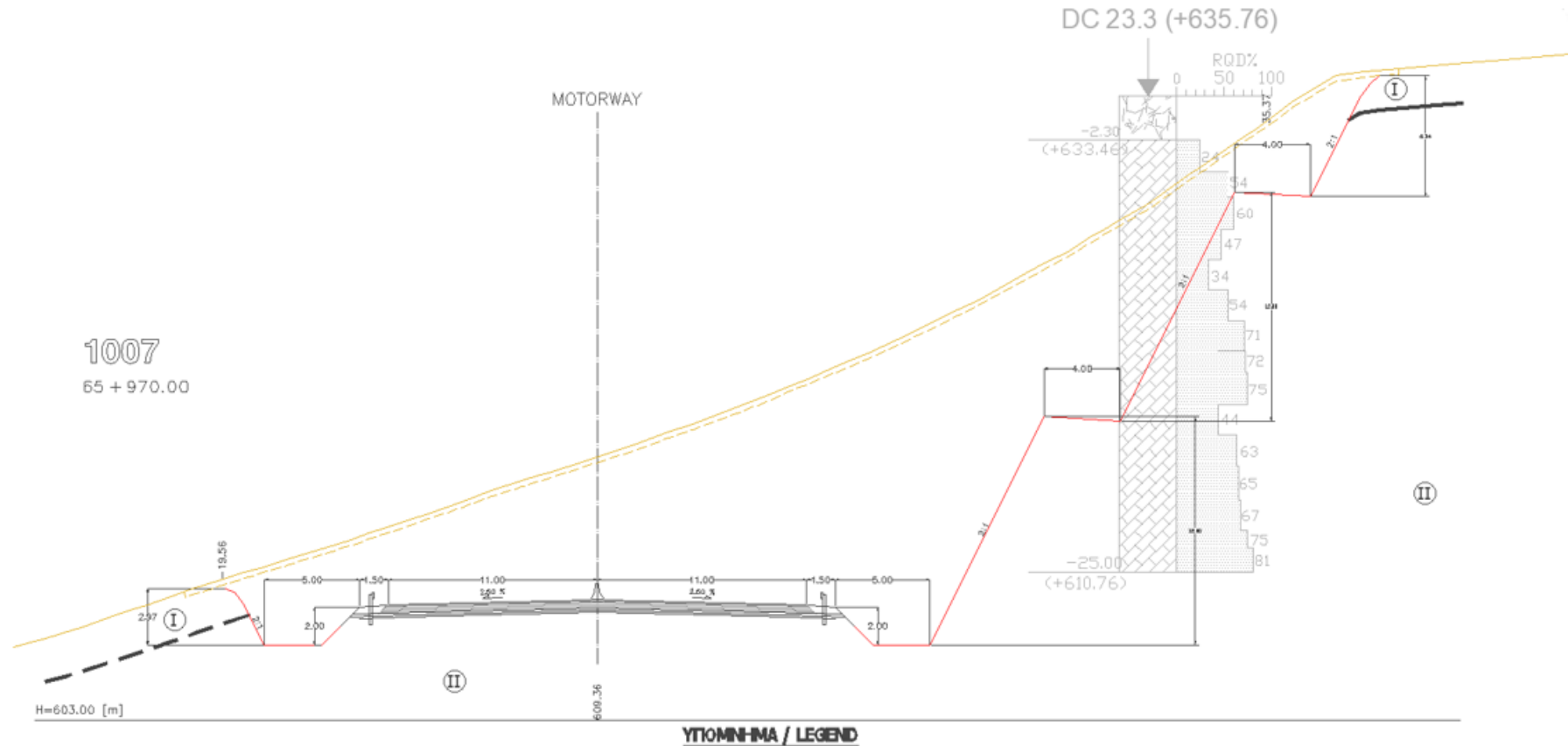
**Πίνακας 3.6: Τεκτονικό διάγραμμα περιοχής ορύγματος Χ.Θ. 165+950 έως Χ.Θ. 166+280 (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014)**

Σύστημα ασυνεχειών	Κλίση	Διεύθυνση κλίσης	Είδος
B	29°	260°	Στρώση
J1	51°	150°	Ασυνέχεια
J2	88°	190°	Ασυνέχεια
J3	77°	058°	Ασυνέχεια
J4	79°	096°	Ασυνέχεια
J5	89°	323°	Ασυνέχεια

Το μέγιστο ύψος των ορυγμάτων φθάνει τα 30.1m για τα δεξιά πρανή του αυτοκινητοδρόμου. Το τμήμα οριοθετείται σε έντονο σχετικά ανάγλυφο με εγκάρσιες κλίσεις περί τις 25° με 30°. Τα πρανή ορυγμάτων του δεξιού πρανούς διαμορφώνονται με κλίση 2:1 (υ:β) από τη Χ.Θ. 165+950 έως τη Χ.Θ. 166+000, βάσει της εγκεκριμένης μελέτης οδοποιίας. Προβλέπεται επίσης η κατασκευή ενδιάμεσου αναβαθμού ανά 12m ύψος, όπου απαιτείται. Οι αναβαθμοί είναι πλάτους 4m και κλίσης 6% προς την πλευρά του πρανούς, κατά τα προβλεπόμενα στον Κ.Μ.Ε. Επιπλέον προβλέπεται και η δημιουργία τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων πλάτους 5m και βάθους 2m.

### Κεφάλαιο 3 - Περιοχή Μελέτης

ΟΡΥΓΜΑ Χ.Θ. 16 5+950 - 166+280 / CUTTING CH. 165+950 - 166+280  
 ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ 1007, Χ.Θ. 165+970 / REPRESENTATIVE SECTION 1007, CH. 165+970  
 ΜΗΚΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ : Χ.Θ. 165+950 - 166+000 / APPLICATION LENGTH: Ch. 165+950 - 166+000

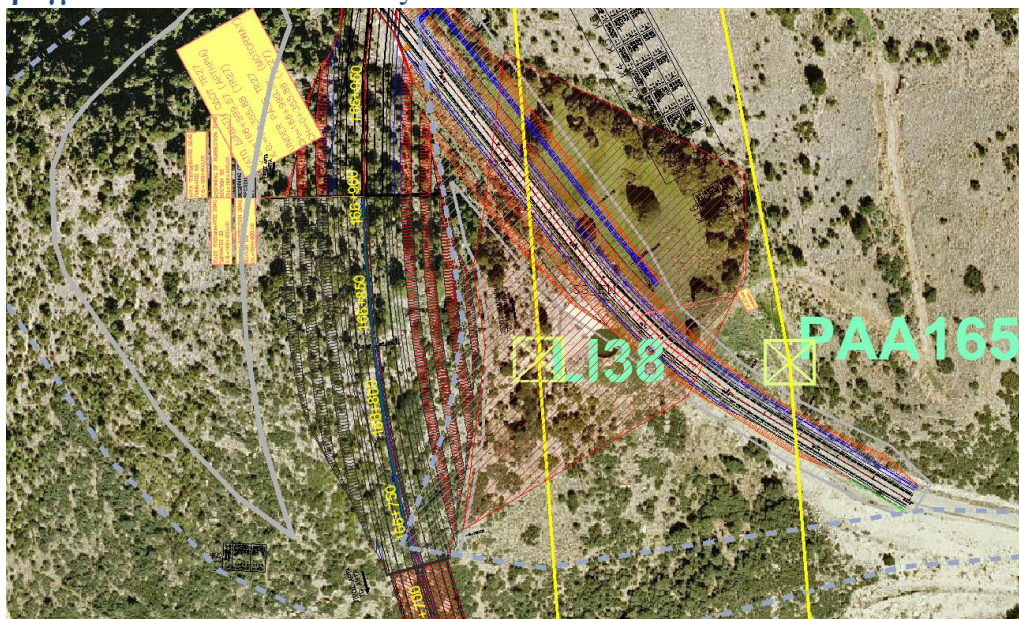


Στρώση I / Layer I : Χάλικες έως αργιλώδεις Χάλικες / Gravel to clayey Gravel.

Στρώση II / Layer II : Χαμηλής έως πολύ υψηλής αντοχής Ασβεστόλιθα ελαφρά έως μέτρια αποσθρωμένους ελαφρά έως έντονα κερματισμένους και κατά θέσεις κατεκρηματισμένους και κατά θέσεις καρστικοποιημένους με παρουσία κενών. / Limestone of to very high strength, slightly to moderately weathered, slightly to heavily jointed and at places karstified with voids.

Σχέδιο 3.4: Διατομή ορύγματος στη Χ.Θ. 165+970 (Διατομή 1007, Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014)

### 3.3.3 Όρυγμα από Χ.Θ. 166+760 έως Χ.Θ. 166+900



**Σχέδιο 3.5: Οριζοντιογραφία Ιόνιας Οδού από Χ.Θ. 166+760 έως Χ.Θ. 166+900  
(Σχέδιο χάραξης οριζοντιογραφίας Ιόνιας Οδού)**

Σύμφωνα με τους Παπαμαρινόπουλο και Βακίρη (2014), η Ιόνια Οδός από τη Χ.Θ. 166+760 έως τη Χ.Θ. 166+900, στην περιοχή ανάπτυξης της γέφυρας Τσαγκαρόπουλου, κατασκευάζεται σε αμφίπλευρο όρυγμα. Το πλάτος του οδοστρώματος ισούται με 22.22m.

Για τη συγκεκριμένη περιοχή αξιολογήθηκαν -από τους Παπαμαρινόπουλο και Βακίρη (2014)- τα ευρήματα από τη μοναδική γεώτρηση που υπήρχε προς αξιοποίηση στην περιοχή του ορύγματος, μέσω παλαιότερου ερευνητικού προγράμματος, καθώς και επιπλέον δύο νέων που εκτελέστηκαν σε πολύ κοντινές θέσεις. Βάσει του συνόλου των γεωλογικών και γεωτεχνικών αναλύσεων προέκυψε πως η περιοχή του ορύγματος δομείται από ασβεστόλιθο (Σενώνιου - Ks). Ο σχηματισμός εμφανίζεται υγιής έως μέτρια αποσαθρωμένος, ελαφρώς έως ισχυρώς κερματισμένος και κατά θέσεις κατακερματισμένος και ελαφρώς έως έντονα καρστικοποιημένος με μεγάλα κενά κατά θέσεις (RQD από 0% έως 84%). Αναφορικά με την κατάταξη του στις τεχνικογεωλογικές ενότητες, ανήκει στην TE-3.

Όσον αφορά τη στρωματογραφία του εδάφους η πρώτη στρώση (I) αποτελείται από αργιλοαμμώδεις χάλικες (TE-1B), πάχους έως 1.5m, οι οποίοι αποτελούν τον μανδύα αποσάθρωσης της ασβεστολιθικής επιφάνειας. Η δεύτερη στρώση (II) αποτελείται από μέσης ως υψηλής αντοχής ασβεστόλιθο (Σενώνιου - Ks - TE-3), ο οποίος πρακτικά αποτελεί και τον μοναδικό σχηματισμό.

Κατά τα γνωστά, μέσω του κριτηρίου Hoek and Brown και τη χρήση του λογισμικού RocLab 1.0, υπολογίστηκαν η συνοχή  $c$  και η ισοδύναμη γωνία τριβής  $\phi$ , με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν και τις λοιπές εκτιμήσεις σχετικά με τις -χρησιμοποιούμενες στο κριτήριο- παραμέτρους. Η τελική τιμή της συνοχής  $c$  λαμβάνεται ίση με τα 2/3 της ευρεθείσας τιμής μέσω του κριτηρίου, ενώ η ισοδύναμη γωνία τριβής που χρησιμοποιείται είναι αυτή του κριτηρίου, αφού πρώτα υποστεί μία μικρή μείωση. Οι πίνακες 3.9 και 3.10 αποτελούν τα τεκτονικά διαγράμματα του αριστερού και του δεξιού πρηνούς αντίστοιχα, όπως προέκυψαν από τις αναλύσεις της βραχομάζας. Τέλος ως γωνία εσωτερικής τριβής των ασυνεχειών χρησιμοποιήθηκε η τιμή των  $35^\circ$ , ενώ η συνοχή τους θεωρήθηκε μηδενική.

### Κεφάλαιο 3 - Περιοχή Μελέτης

**Πίνακας 3.7: Στοιχεία δεύτερης στρώσης (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014)**

Στρώση / Τεχνικογεωλογική Ενότητα	GSI	GSI <sub>design</sub>	$\sigma_{ci}$ (MPa)	$m_i$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	D	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
II / TE-3 (>1,50m)	50-60	55	50	8	26,5	0,8	347	44,5

**Πίνακας 3.8: Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014)**

Βάθος [m]	Στρώση / Τεχνικογεωλογική Ενότητα	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Όρυγμα	
			$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
0,0-1,5	I / TE-1B			
>1,5m	II / TE-3	26,5	230	43

**Πίνακας 3.9: Τεκτονικό διάγραμμα αριστερού πρηνούς  
(Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014)**

Σύστημα ασυνεχειών	Κλίση	Διεύθυνση κλίσης	Είδος
B1a	40°	263°	Στρώση
B1b	23°	276°	Στρώση
B1c	55°	312°	Στρώση
J1	58°	125°	Ασυνέχεια
J2	76°	020°	Ασυνέχεια
J3	58°	028°	Ασυνέχεια

**Πίνακας 3.10: Τεκτονικό διάγραμμα δεξιού πρηνούς  
(Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014)**

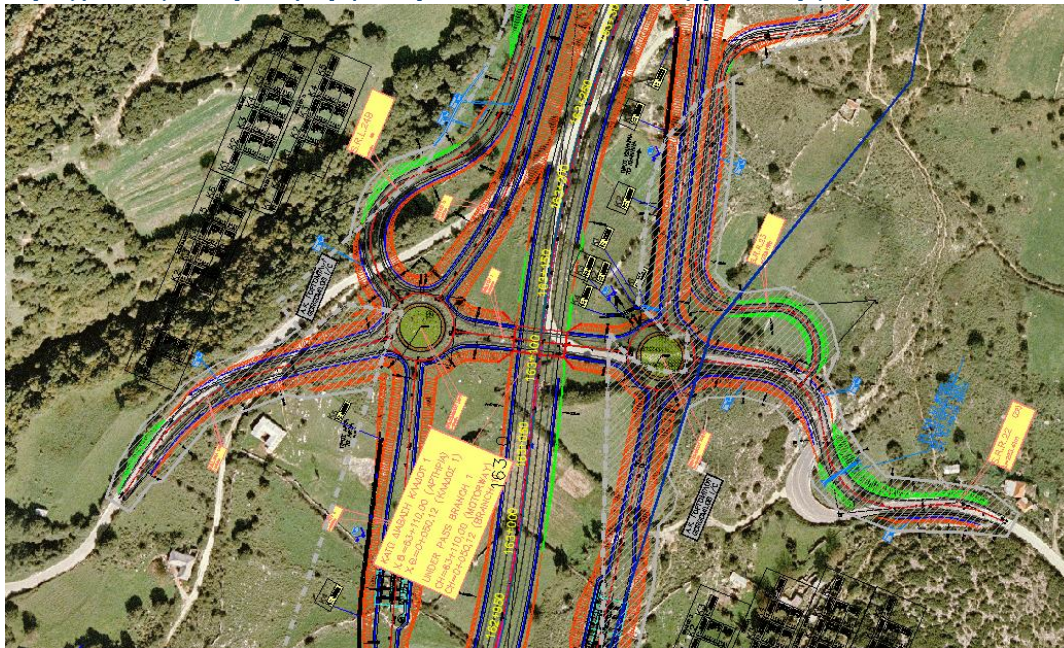
Σύστημα ασυνεχειών	Κλίση	Διεύθυνση κλίσης	Είδος
B	21°	263°	Στρώση
J1	83°	027°	Στρώση
J2	88°	005°	Ασυνέχεια
J3	85°	123°	Ασυνέχεια
SH	75°	010°	Ρήγμα διάρρηξης

Το μέγιστο ύψος των ορυγμάτων ισούται με 27.9m περίπου για τα αριστερά πρηνή της οδού και με 36.1m για τα δεξιά. Από τη μελέτη χάραξης οδοποιίας, τα πρηνή διαμορφώνονται με κλίση 2:1 (υ:β). Σημειώνεται, αναφορικά με το Σχέδιο 3.6 και συγκεκριμένα με το αριστερό πρηνές, πως στην πράξη και το τρίτο πρηνές ορύγματος διαμορφώθηκε με κλίση 2:1 (υ:β). Επιπλέον προτείνεται η δημιουργία ενδιάμεσων αναβαθμών ανά 10m ύψος, πλάτους 4m και κλίσης 6% προς την πλευρά του πρηνούς, κατά τα προβλεπόμενα στον Κ.Μ.Ε. Στον πόδα, τόσο του αριστερού όσο και του δεξιού πρηνούς, προβλέπεται η κατασκευή τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων πλάτους 5m και βάθους 2m, η οποία θα λειτουργεί ως βραχοπαγίδα των αποκολλημένων -από τα πρηνή- τεμαχών (κατά κύριο λόγο από το κοντινότερο σε αυτήν, αλλά και από τα υπόλοιπα σε περίπτωση μη πλήρους αναχαίτισης από τους αναβαθμούς).





### 3.3.4 Ορύγματα για τη διαμόρφωση του ανισόπεδου κόμβου Γοργομούλου



**Σχέδιο 3.7: Οριζοντιογραφία Ιόνιας Οδού στη θέση του ανισόπεδου κόμβου Γοργομούλου (Σχέδιο χάραξης οριζοντιογραφίας Ιόνιας Οδού)**

Τα τελευταία, κατά σειρά, ορύγματα που εξετάζονται από τη μελέτη των Παπαμαρινόπουλου και Βακίρη (2014), αφορούν αυτά του ανισόπεδου κόμβου Γοργομούλου. Συγκεκριμένα η Ιόνια Οδός κατά τη Χ.Θ. 162+750 εισέρχεται στην περιοχή ανάπτυξης του ανισόπεδου κόμβου Γοργομούλου. Ο κόμβος, εκτός από την αρτηρία του αυτοκινητοδρόμου, αποτελείται από τις Πλατείες RAL και RAR, τους Κλάδους 1,2,3,4 και 5 και τις παράπλευρες οδούς SRL24A, SRL24B, SRR22 και SRR23.

Για την εύρεση της λιθογραφίας και της στρωματογραφίας του εδάφους, η παραπάνω έρευνα βασίστηκε σε δεδομένα από δύο γεωτρήσεις που έλαβαν χώρα στην περιοχή παλαιότερα και από άλλες δύο που πραγματοποιήθηκαν σε κοντινές θέσεις, σε συνδυασμό με άλλες γεωλογικές και γεωτεχνικές εργασίες. Το συμπέρασμα αυτών είναι πως η περιοχή δομείται κυρίως από ασβεστόλιθο (Βίγλας - KB2). Ο σχηματισμός εμφανίζεται υγιής έως ελαφρώς αποσαθρωμένος και κατά θέσεις μέτρια αποσαθρωμένος, ελαφρώς κερματισμένος και κατά θέσεις κατακερματισμένος (RQD από 0% έως 100%). Τέλος ως προς τις τεχνικογεωλογικές ενότητες κατατάσσεται στην TE-3.

Επομένως η στρωματογραφία αποτελείται από δύο στρώσεις. Η πρώτη στρώση (I) αφορά τον μανδύα αποσάθρωσης του ασβεστόλιθου (TE-1B) και το πάχος της δεν υπερβαίνει το 1m. Τέλος η δεύτερη στρώση (II) αποτελείται από μέσης έως πολύ υψηλής αντοχής ασβεστόλιθο (Βίγλας - KB2 - TE-3).

Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων  $c$  και  $\phi$ , για την εδαφική στρώση οι τιμές προσδιορίστηκαν λαμβάνοντας υπόψιν χαρακτηριστικά αντίστοιχων εδαφικών σχηματισμών στην περιοχή του έργου και παρουσιάστηκαν μέσω του πίνακα 3.11. Επιπρόσθετα, για τη βραχώδη στρώση, με βάση την εκτίμηση και τον υπολογισμό των απαιτούμενων παραμέτρων, εφαρμόστηκε το κριτήριο Hoek and Brown (2002), όπου προέκυψαν οι τιμές των  $c$  και  $\phi$ , όπως αυτές αποτυπώνονται στον πίνακα 3.12. Για την τελική εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών η συνοχή θεωρήθηκε ίση με τα 2/3 της τιμής που προκύπτει βάσει του

### Κεφάλαιο 3 - Περιοχή Μελέτης

κριτηρίου, ενώ για την ισοδύναμη γωνία τριβής επιλέχθηκε η τιμή του κριτηρίου, αφού πρώτα απομειώθηκε ελάχιστα, όπως αποδίδεται μέσω του πίνακα 3.13.

**Πίνακας 3.11: Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά εδαφικής στρώσης (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014)**

Στρώση / Τεχνικογεωλογική Ενότητα	c' (kPa)	φ' (°)	S <sub>u</sub> (MPa)	E <sub>s</sub> (MPa)	γ <sub>b</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	N <sub>SPT</sub>
Ia / TE-1B	10	30	100	20	18,9	25

**Πίνακας 3.12: Στοιχεία δεύτερης στρώσης (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014)**

Στρώση / Τεχνικογεωλογική Ενότητα	GSI	GSI <sub>design</sub>	σ <sub>ci</sub> (MPa)	m <sub>i</sub>	γ (kN/m <sup>3</sup> )	D	c' [kPa]	φ' [°]
II / TE-3 (>1,0m)	35-50	40	30	8	26,2	0,8	82	41,8

**Πίνακας 3.13: Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά κάθε στρώσης συναρτήσει και του βάθους (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014)**

Βάθος [m]	Στρώση / Τεχνικογεωλογική Ενότητα	γ [kN/m <sup>3</sup> ]	Όρυγμα	
			c' [kPa]	φ' [°]
0,0-1,0	Ia / TE-1B			
>1,0m	II / TE-3	26,2	50	40

**Πίνακας 3.14: Τεκτονικό διάγραμμα (Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014)**

Σύστημα ασυνεχειών	Κλίση	Διεύθυνση κλίσης	Είδος
B1a	16°	130°	Στρώση
B1b	22°	272°	Στρώση
J1	88°	007°	Ασυνέχεια
J2	79°	331°	Ασυνέχεια
J3	71°	262°	Ασυνέχεια

Αναφορικά με τη στρώση του μανδύα αποσάθρωσης του ασβεστόλιθου (TE-1B), μέγιστου πάχους 1m, η αρχική μελέτη προτείνει την αφαίρεσή της κατά την κατασκευή των πρανών ορυγμάτων του ανισόπεδου κόμβου. Επιπλέον σημειώνεται πως η γωνία εσωτερικής τριβής των ασυνεχειών ισούται με 30°, ενώ η συνοχή τους θεωρείται, πρακτικά, μηδενική.

Βάσει και του τεκτονικού διαγράμματος (Πίνακας 3.14), οι αναλύσεις έλαβαν χώρα για τα αριστερά και για τα δεξιά πρανή. Όσον αφορά τα αριστερά πρανή (διεύθυνση μέγιστης κλίσης ίση με 173°) του Κλάδου 1, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για το συνολικό πρανές ύψους 11m με κλίση 2:1 (υ:β) σε κάθε πρανές ορύγματός του και με έναν οριζόντιο αναβαθμό πλάτους 4m σε απόσταση 1.26m από το φρύδι του πρανούς. Η τάφος αναχαίτισης καταπτώσεων

### Κεφάλαιο 3 - Περιοχή Μελέτης

προτείνεται να είναι τραπεζοειδούς σχήματος, με πλάτος 5m και βάθος 1m. Η διαμόρφωση αυτή αποτελεί και την τελική επιλογή για το δεξιό πρηνές της συγκεκριμένης διατομής.

Στη συνέχεια εξετάστηκε η διαμόρφωση, του ίδιου πρηνούς, με κλίση 4:1 (υ:β) ( $76^{\circ}/173^{\circ}$ ) πριν και μετά τον αναβαθμό, μέγιστο ύψος 11.9m και με κατασκευή στον πόδα τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων πλάτους 3m και βάθους 1.5m. Οι παράμετροι c και φ των ασυνεχειών λήφθηκαν ξανά 0kPa και  $30^{\circ}$  αντίστοιχα, ενώ η γεωτεχνική μελέτη έκρινε πως και η συγκεκριμένη διαμόρφωση είναι επαρκής και ασφαλής.

Συνεχίζοντας με το δεξιό πρηνές (διεύθυνση μέγιστης κλίσης ίση με  $353^{\circ}$ ) του Κλάδου 1, αυτό θεωρείται μέγιστου ύψους 12.5m και κάθε πρηνές ορύγματός του διαμορφώνεται με κλίση 2:1 (υ:β). Στα 10m ύψος προβλέπεται να κατασκευαστεί οριζόντιος αναβαθμός πλάτους 4m και στο πόδι του προβλέπεται η δημιουργία τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων πλάτους 5m και βάθους 1m. Ύστερα εξετάστηκε η διαμόρφωση κάθε πρηνούς ορύγματος με κλίση 4:1 (υ:β) και με μέγιστο συνολικό ύψος πρηνούς ίσο με 13.1m. Επιπλέον προβλέπονται οι δημιουργίες αναβαθμού ύψους 10m και πλάτους 4m και τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων πλάτους 3m και βάθους 1.5m. Η συγκεκριμένη διαμόρφωση εγκρίθηκε, ως ασφαλής, από τη γεωτεχνική μελέτη.

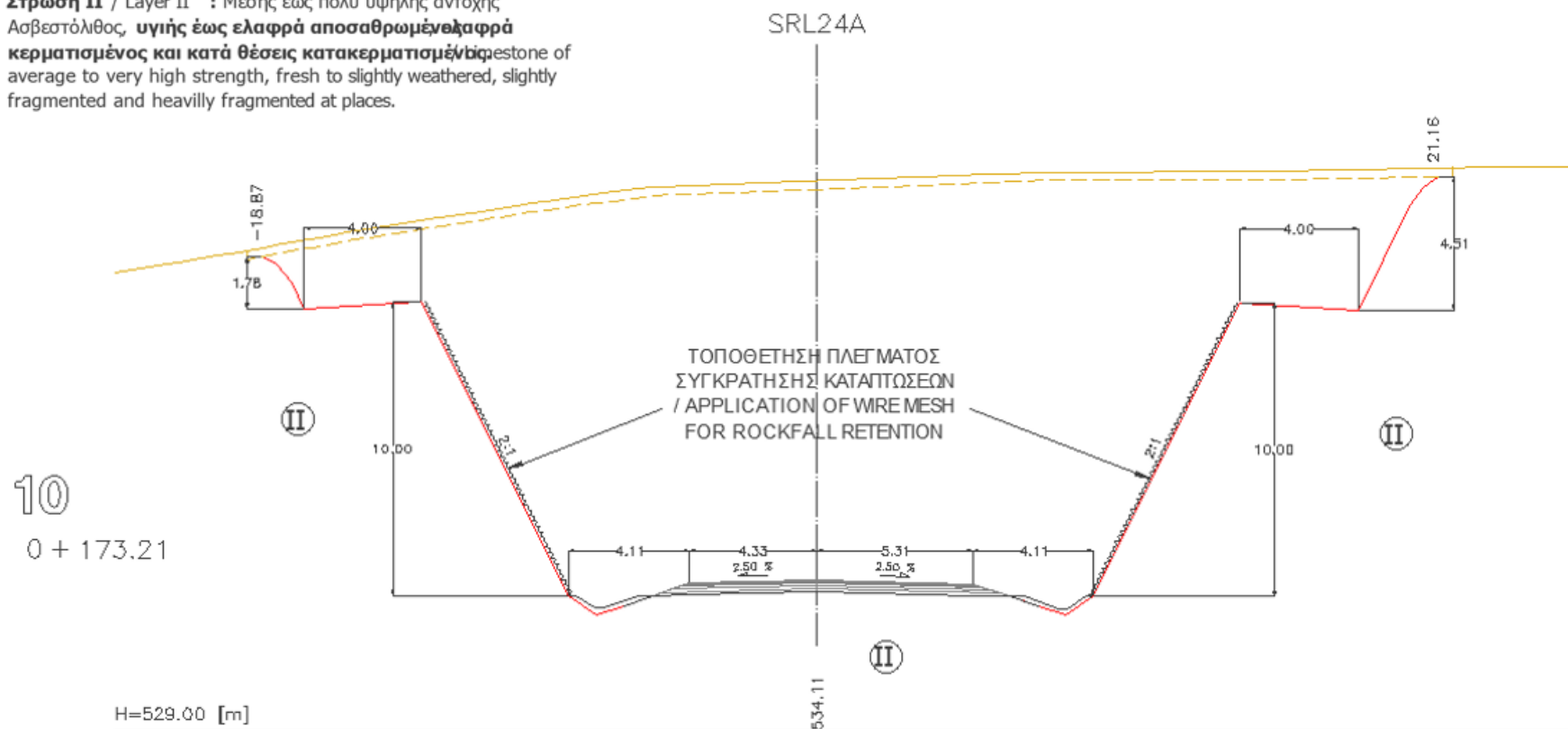
Το αριστερό πρηνές (διεύθυνση μέγιστης κλίσης ίση με  $165^{\circ}$ ) της παράπλευρης οδού SRL24A θεωρείται με μέγιστο ύψος 11.5m και διαμορφώνεται με δυο πρηνή ορυγμάτων κλίσης 2:1 (υ:β), παρεμβολή οριζόντιου αναβαθμού (ύψους 10m) σε απόσταση 1.78m από το φρύδι του πρηνούς και ανοικτή τριγωνική τάφρο αναχαίτισης καταπτώσεων πλάτους 4.11m και βάθους 1m στον πόδα του.

Το τελευταίο που εξετάστηκε από τη μελέτη των Παπαμαρινόπουλου και Βακίρη (2014), αφορά το δεξιό πρηνές (διεύθυνση μέγιστης κλίσης ίση με  $345^{\circ}$  και ύψος ίσο με 14.3m) της παράπλευρης οδού SRL24A. Οι αναλύσεις οδήγησαν στο συμπέρασμα πως η διαμόρφωση του πρηνούς με δύο πρηνή ορυγμάτων κλίσης 2:1 (υ:β), δημιουργία ενός ενδιάμεσου αναβαθμού πλάτους 4m και ύψους 10m, αλλά και ανοικτής τριγωνικής τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων πλάτους 4.11m και βάθους 1m, κρίνεται ικανοποιητική. Τέλος τόσο για τα αριστερά όσο και για τα δεξιά πρώτα πρηνή ορυγμάτων της παράπλευρης οδού SRL24A, προβλέπεται η τοποθέτηση πλέγματος συγκράτησης καταπτώσεων μεταξύ των Χ.Θ. 0+120 και Χ.Θ. 0+173.21.

### Κεφάλαιο 3 - Περιοχή Μελέτης

ΟΡΥΓΜΑ ΠΑΡΑΠΛΕΥΡΟΥ SRL24A Α/Κ ΓΟΡΓΟΜΥΛΟΥ / SRL24A CUTTING GORGOMYLOS I/C  
ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ 10, Χ.Θ. 0+173.21 / REPRESENTATIVE SECTION 10, CH. 0+173.21  
ΜΗΚΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ : Χ.Θ. 0+120 - 0+173.21 / APPLICATION LENGTH: Ch. 0+120 - 0+173.21

**Στρώση II / Layer II** : Μέσης έως πολύ υψηλής αντοχής  
Ασβεστόλιθος, υγιής έως ελαφρά αποσθρωμένως ελαφρά  
κερματισμένος και κατά θέσεις κατακερματισμένος  
of average to very high strength, fresh to slightly weathered, slightly  
fragmented and heavily fragmented at places.

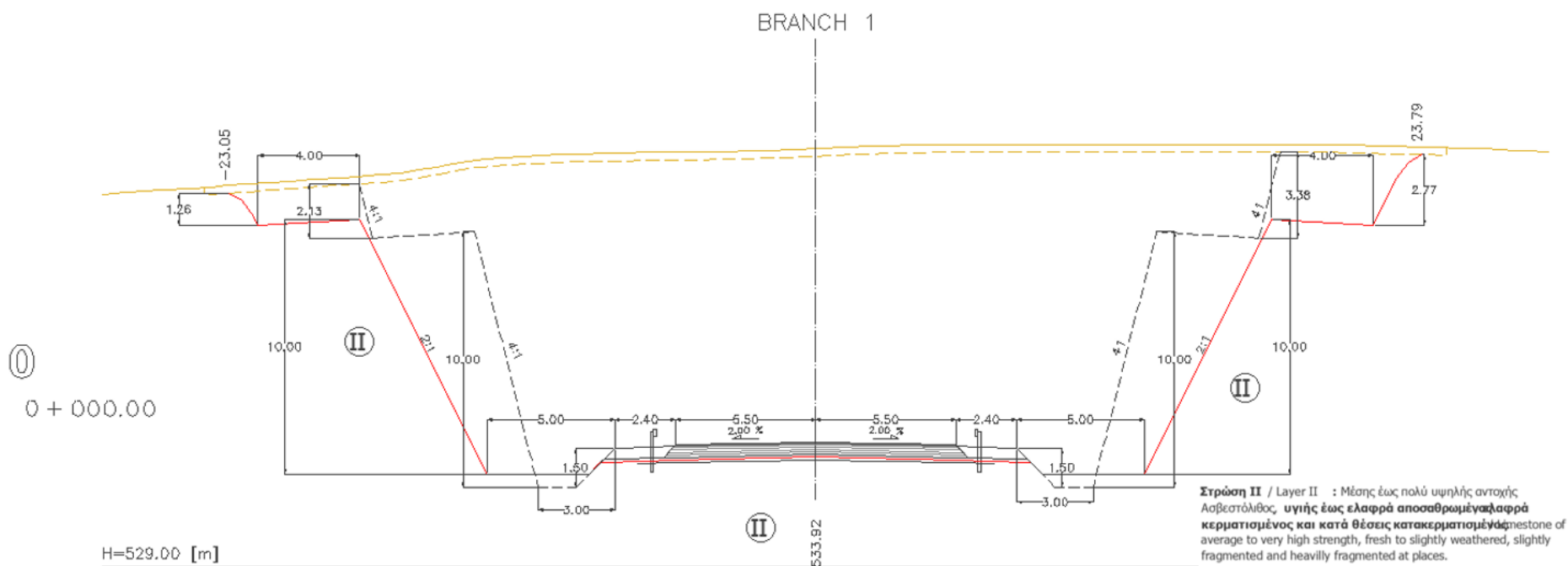


H=529.00 [m]

Σχέδιο 3.8: Διατομή ορύγματος στη Χ.Θ. 0+173.21 της παράπλευρης SRL24A στον ανισόπεδο κόμβο Γοργομύλου (Διατομή 10, Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014)

### Κεφάλαιο 3 - Περιοχή Μελέτης

ΟΡΥΓΜΑ ΚΛΑΔΟΥ 1 Α/Κ ΓΟΡΓΟΜΥΛΟΥ / BRANCH 1 CUTTING GORGOMYLOS I/C  
ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ 0, Χ.Θ. 0+000 / REPRESENTATIVE SECTION 0, CH. 0+000



— Βασική λύση Διαμόρφωση πρανών Ορυγμάτων σύμφωνα με την εγκεκριμένη μελέτη Οδοποιίας: λεγθείσα και τεκμηριωμένη από την παρούσα γεωτεχνική μελέτη. / Basic solution: Excavation of cuttings slope according to the approved highway design, checked and documented from the geotechnical design.

- - - Εναλλακτική προτεινόμενη λύση Διαμόρφωση πρανών Ορυγμάτων όπως τεκμηριώνεται από την παρούσα γεωτεχνική μελέτη. / Alternative proposed solution Excavation of cuttings slopes documented from the geotechnical design.

Σχέδιο 3.9: Διατομή ορύγματος στη Χ.Θ. 0+000 του Κλάδου 1 του ανισόπεδου κόμβου Γοργομύλου (Διατομή 0, Παπαμαρινόπουλος και Βακίρης, 2014)

## 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 4.1 Ανάλυση Νέων Συνθηκών

Όπως έχει αναφερθεί και στο κεφάλαιο της εισαγωγής, ένα από τα ζητήματα που εξετάζονται στην παρούσα έρευνα αφορά την εκ νέου διαμόρφωση των πρανών υπό την υπόθεση δημιουργίας μία περεταίρω λωρίδας κυκλοφορίας σε κάθε κατεύθυνση, τόσο για το πρωτεύον οδικό δίκτυο (κύρια χάραξη) όσο και για την παράπλευρη οδό και τον ανισόπεδο κόμβο. Επιπλέον αποσαφηνίζεται πως ο γενικότερος σχεδιασμός της διατομής, ακολουθεί το εγκεκριμένο σχέδιο οδοποιίας της αρχικής μελέτης, τόσο για την επίκλιση του οδοστρώματος, όσο και για το πλάτος και την επίκλιση των ερεισμάτων (όπου αυτά προβλέπονται). Τέλος οι σκοποί της νέας διαμόρφωσης συγκεντρώνονται γύρω από τρεις νέες προϋποθέσεις.

Η πρώτη προϋπόθεση αφορά τη διαμόρφωση των πρανών με τέτοιο τρόπο, ώστε να προστατεύεται το εκάστοτε οδικό δίκτυο πλησίον αυτών. Η διαμόρφωση λαμβάνει υπόψιν τα γεωλογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, αλλά και τη δομή του πετρώματος του πρανού. Η δεύτερη βασίζεται στο γεγονός πως η υπάρχουσα διαμόρφωση των πρανών (σύμφωνα με τις μελέτες που παρουσιάστηκαν πρωύτερα και πλέον έχουν εφαρμοστεί κατασκευαστικά) πρέπει να αξιολογηθεί υπό τις νέες συνθήκες γεωμετρίας του πλάτους της οδού. Εάν η μορφή της υπάρχουσας διαμόρφωσης κρίνεται ικανοποιητική και λειτουργική, από την κατασκευή της μέχρι τη στιγμή της αναδιαμόρφωσης, τότε προτείνεται να χρησιμοποιηθεί η ίδια. Σε αντίθετη περίπτωση προτείνεται ένα δεύτερο σενάριο διαμόρφωσης, με ουσιαστικά ηπιότερη κλίση. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί πως η ασφαλέστερη διαμόρφωση προκύπτει από τα στοιχεία της γεωτεχνικής μελέτης.

Τέλος η τρίτη προϋπόθεση σχετίζεται με την οικονομικότητα της διαμόρφωσης. Επιδιώκεται η αναδιαμόρφωση του πρανού να γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε ο όγκος του προς εξόρυξη υλικού να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος. Ουσιαστικά η πρώτη προϋπόθεση πρέπει να πληρείται από τη δεύτερη και την τρίτη, ενώ και οι τρεις προϋποθέσεις οφείλουν να συμμορφώνονται με τα σχέδια των ΟΜΟΕ-Δ και του Κ.Μ.Ε.

Συγκεκριμένα στο σχέδιο των ΟΜΟΕ-Δ, ανάλογα με την κλίση του διαμορφωμένου βραχώδους πρανού ορύγματος αλλά και με το ύψος του ορύγματος, ομαδοποιούνται οι κατάλληλες προτεινόμενες διαστάσεις της τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων.

**Πίνακας 4.1: Διαστάσεις τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων βραχωδών ορυγμάτων (Πίνακας Π-2, Παράρτημα Ι (ΟΜΟΕ - Δ))**

Κλίση Πρανού Ορύγματος ( $\nu:\beta$ ) (deg)	Ύψος Ορύγματος h (m)	Πλάτος Τάφρου Αναχαίτισης W (m)	Βάθος Τάφρου Αναχαίτισης d (m)
$\geq 5.7:1$ ( $80^\circ-90^\circ$ )	5-10	3	1
	10-20	5	1.5
	>20	6.5	1.5
3.7:1 ( $75^\circ$ )	5-10	3	1
	10-20	5	1.5
	20-35	6.5	2
	>35	8	2
2:1 ( $65^\circ$ )	5-10	3	1.5
	10-20	5	2
	20-35	6.5	2
	>35	8	3

**Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα**

Κλίση Πρανούς Ορύγματος ( $\nu:\beta$ ) (deg)	Ύψος Ορύγματος h (m)	Πλάτος Τάφρου Αναχαίτισης W (m)	Βάθος Τάφρου Αναχαίτισης d (m)
1.4:1 (55°)	5-10	3	1
	10-20	5	1.5
	>35	5	2
1:1 (45°)	5-10	3	1
	10-20	3	1.5
	>20	5	2

Αντίστοιχα ο Κ.Μ.Ε. προτείνει τις μέγιστες επιτρεπόμενες κλίσεις των πρανών ορυγμάτων, συναρτήσει του τύπου του πρανού ορύγματος (γαιωμιβραχώδες ή βραχώδες) και του ύψους του. Σημειώνεται πως για τα βραχώδη πρανή, σε περίπτωση δημιουργίας αναβαθμών, η μέγιστη κλίση διαμόρφωσης αφορά τη μέση κλίση του συνολικού πρανού. Επιπλέον αναφέρουν και κάποιους ακόμη κανονισμούς, όπως:

- την υποχρεωτική διαμόρφωση τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων για πρανή με ύψος > 5m και κλίση  $\geq 1:1$  ( $\nu:\beta$ ).
- την υποχρεωτική πρόβλεψη κατασκευής αναβαθμών ανά -το πολύ- 12m ύψος, για βραχώδη πρανή με ύψος μεγαλύτερο από 12m και κλίση πρανού  $\nu : \beta > 1 : 1$ . Το πλάτος του αναβαθμού δεν θα πρέπει να είναι μικρότερο από 4m.
- για τον παραπάνω κανονισμό, σε εξαιρετικά δυσχερείς περιπτώσεις, είναι δυνατόν να γίνει αποδεκτό το μέγιστο ύψος του αναβαθμού να ισούται από 15 έως 20m, υπό την προϋπόθεση ότι τηρούνται οι συνθήκες ευστάθειας του πρανού και έχει εγκριθεί η συγκεκριμένη διαμόρφωση από την αρμόδια Υπηρεσία.

**Πίνακας 4.2 : Μέγιστες κλίσεις πρανών ορυγμάτων (τμήμα του Πίνακα 12 - 1.7 των Κ.Μ.Ε., 2014)**

ΠΡΑΝΗ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ			
ΓΑΙΩΗΜΙΒΡΑΧΩΔΗ		ΒΡΑΧΩΔΗ	
Ύψος H (m)	Μέγιστη κλίση $\nu : \beta$	Ύψος H (m)	Μέγιστη κλίση $\nu : \beta$
H ≤ 10.0	1 : 1.5 (1 : 1)	H ≤ 5.0	1 : 1 (2 : 1)
H > 10.0	1 : 1	H > 5.0	3 : 1

Στο σημείο αυτό αφενός τονίζεται πως τα εξεταζόμενα πρανή αυτής της έρευνας είναι όλα βραχώδη και αφετέρου υπενθυμίζεται πως για τη διαμόρφωση της κλίσης του πρανού ορύγματος θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος εξόρυξης με χρήση εκρηκτικών υλών, όπως αναφέρεται για τα συγκεκριμένα πρανή (βάσει του γεωλογικού σχηματισμού τους) και στην αρχική γεωτεχνική μελέτη.

Στη συνέχεια παρατίθεται ο Πίνακας 4.3, εντός του οποίου αναγράφεται ένα μέρος των οδηγιών και των περιορισμών για τη διαμόρφωση των πρανών ορυγμάτων σύμφωνα με τους Κ.Μ.Ε.

**Πίνακας 4.3 : Περιορισμοί και οδηγίες αναφορικά με τη διαμόρφωση πρανών ορυγμάτων (πλήρως βασισμένος στον Πίνακα 12 - 1.7 των Κ.Μ.Ε., 2014)**

A) Οι κλίσεις πρανών που θα εφαρμόζονται θα ανταποκρίνονται σε απαιτήσεις μακράς περιόδου ευστάθειας (LONG TERM STABILITY) και αντοχής σε διάβρωση.
B) Οι κλίσεις μέσα σε παρενθέσεις μπορούν να εφαρμοσθούν μόνον σε εξαιρετικά δυσχερείς περιπτώσεις (αποφυγή καθαίρεσης σοβαρών κτισμάτων, περιορισμός απαλλοτριώσης χώρου αναγκαίου για τη λειτουργία βιομηχανικής εγκατάστασης και άλλων παρόμοιων, περιορισμός εκτέλεσης χωματουργικών σε περιοχή με έντονη φυτοκάλυψη φυσικού εδάφους κ.λπ.).
Γ) Για ύψος πρανών $H > 10.0$ m απαιτείται σε κάθε περίπτωση σύνταξη μελέτης "ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΩΝ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ".
Δ) Για ύψος πρανών $H > 5.0$ m και κλίση $\nu : \beta \geq 1 : 1$ , απαιτείται η κατασκευή "τάφρων αναχαίτισης καταπτώσεων".
Ε) Για την περίπτωση διαμόρφωσης του πρανούς με οριζόντιες βαθμίδες ("μπακίνες"), η προτεινόμενη κλίση αντιστοιχεί στη "μέση κλίση" του συνολικού πρανούς.

#### **4.2 Παρουσίαση του Λογισμικού Προσομοίωσης Βραχωδών Καταπτώσεων RocFall**

Πέραν των υπόλοιπων προγραμμάτων που θα χρησιμοποιηθούν στην έρευνα αυτή με τη μορφή βοηθήματος (Dips 5.1, Swedge 4.0 και RocPlane 2.0 της εταιρείας Rocscience), το βασικό λογισμικό το οποίο θα οδηγήσει στα ζητούμενα αποτελέσματα είναι το RocFall 4.0 της ίδιας εταιρείας. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα λογισμικό, το οποίο δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να πραγματοποιήσει μία αρκετά αληθοφανή προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου από το εξεταζόμενο πρανές.

Από την προσομοίωση μπορούν να εξαχθούν χρήσιμες πληροφορίες για τα καταπεσόντα βραχοτεμάχια, όπως το ύψος αναπήδησής τους, η τελική οριζόντια θέση τους, η κινητική τους ενέργεια, καθώς και η μεταθετική και η γωνιακή ταχύτητά τους. Συγκεκριμένα μετά την επιλογή της εντολής "Compute" υπάρχει η δυνατότητα εξαγωγής των τιμών των παραπάνω μεγεθών, συναρτήσει και της οριζόντιας θέσης καταγραφής τους, σε αρχεία μορφής xlsx. Στα επόμενα υποκεφάλαια παρουσιάζονται ένα προς ένα τα βήματα για την πραγματοποίηση μιας σχετικής προσομοίωσης στο λογισμικό αυτό.

##### **4.2.1 Ρυθμίσεις έργου (project settings)**

Με την εντολή αυτή δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να ορίσει τις πρώτες κρίσιμες παραμέτρους, οι οποίες θα αξιολογηθούν στην ανάλυση. Αρχικά δύναται να οριστεί ο αριθμός των καταπεσόντων τεμαχών ("Number of Rocks to throw"), καθώς και ο αριθμός των οριζοντίων θέσεων ανάλυσης ("Number of horizontal locations to analyze"). Είναι γενικότερα αποδεκτό πως όσο μεγαλύτερες τιμές δοθούν στις παραπάνω παραμέτρους, τόσο ακριβέστερα αποτελέσματα αναμένονται. Επίσης θεωρείται πως η τιμή των 200 τεμαχών είναι υπερεπαρκής για την ακρίβεια της κατάπτωσης.

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία ορίστηκε ως αριθμός τεμαχών βράχου ίσος με 1000 τεμάχια. Ο αριθμός αυτός ισομοιράζεται για κάθε "seeder" (θα εξηγηθεί παρακάτω η έννοια του όρου) που ορίζεται από τον χρήστη. Επομένως σε κάθε κατάπτωση αντιστοιχεί ένας αριθμός τεμαχών, το εύρος του οποίου κυμαίνεται από 250 έως 500. Οι αριθμοί αυτοί των τεμαχών κρίνονται ως υπερεπαρκείς για την εξέταση όλων των δυνατών σεναρίων κατάπτωσης. Τέλος, αναφορικά με τις οριζόντιες θέσεις ανάλυσης, ο αριθμός και αυτόν ορίζεται ως 1000, με αποτέλεσμα να αποτελεί μία πληρέστατη επιλογή για την ακρίβεια των



#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

σεναρίων κατάπτωσης και την αναλυτική καταγραφή των τιμών των εξεταζόμενων μεγεθών σε κάθε οριζόντια θέση ανάλυσης.

Στη συνέχεια πρέπει να οριστεί ο τρόπος με τον οποίο θα υπολογιστεί η γωνία εσωτερικής τριβής (“Friction angle”), η οποία αποτελεί τη γωνία τριβής ανάμεσα στην επιφάνεια του πρανούς και των τεμαχών πάνω σε αυτήν, ενώ η τιμή της είναι η ελάχιστη απαιτούμενη για την ολίσθησή τους. Το λογισμικό προσφέρει τη δυνατότητα τριών συγκεκριμένων επιλογών.

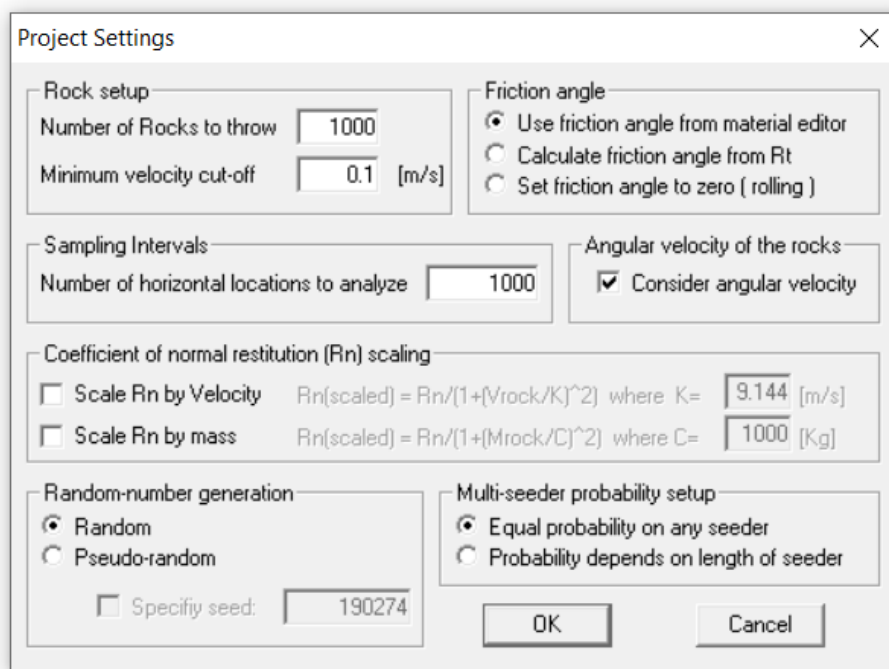
Η πρώτη αφορά τη χρησιμοποίηση της γωνίας τριβής που έχει οριστεί στα χαρακτηριστικά του υλικού του πρανούς (“Use friction angle from material editor”), η δεύτερη τον υπολογισμό της μέσω της τιμής  $R_T$  των χαρακτηριστικών του υλικού (“Calculate friction angle from  $R_T$ ”) και της σχέσης  $\Phi = \arctan [(1 - R_T) / R_T]$ , ενώ η τρίτη επιλογή προσφέρει στον χρήστη στη δυνατότητα να θέσει τη γωνία ίση με μηδέν (“Set friction angle to zero”), ώστε να εξεταστεί το δυσμενέστερο σενάριο των λείων επιφανειών. Στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιείται η πρώτη επιλογή, όπου οι τιμές της σε κάθε διατομή προέρχονται από τη γωνία εσωτερικής τριβής των ασυνεχειών, όπως αυτή εκτιμήθηκε μέσω της έρευνας των Παπαμαρινόπουλου και Βακίρη (2014).

Οι δύο επόμενες -και χρονικά τελευταίες επιλογές παραμέτρων-, αφορούν τη γεννήτρια των αριθμών (“Random-number generation”) και την κατανομή της πιθανότητας σε κάθε “seeder” (“Multi-seeder probability setup”), όπου προσφέρονται δύο επιλογές σε κάθε περίπτωση. Αναφορικά με τη γεννήτρια αριθμών η πρώτη αφορά την τυχαία (“Random”), όπου με κάθε χρήση της εντολής “Compute” διαφοροποιούνται ελάχιστα τα σενάρια κατάπτωσης και κίνησης των τεμαχών. Η δεύτερη αφορά την ψευδοτυχαία γεννήτρια των αριθμών (“Pseudo-random”), όπου προκύπτουν ίδια αποτελέσματα μετά από κάθε χρήση της εντολής “Compute”.

Κατά την εξέταση των μεγεθών για την αναδιαμόρφωση των πρανών χρησιμοποιήθηκε η πρώτη επιλογή, καθώς το επιθυμητό ήταν να προκύψει ένα τυχαίο σενάριο από ένα πλήθος τυχαίων σεναρίων. Αντίθετα, στις αναλύσεις ευαισθησίας προτιμήθηκε η δεύτερη επιλογή, ώστε να εξεταστούν καθαρά οι επιδράσεις των εξεταζόμενων παραγόντων στα αποτελέσματα.

Επιπρόσθετα, σχετικά με την κατανομή της πιθανότητας σε κάθε “seeder”, προσφέρεται η δυνατότητα δύο επιλογών. Η πρώτη αφορά την κατανομή ίσων πιθανοτήτων σε κάθε “seeder” (“Equal probability of any seeder”), ενώ η δεύτερη την κατανομή των πιθανοτήτων βάσει του μήκους του “seeder” (“Probability depends on length of seeder”). Στις αναλύσεις που έλαβαν χώρα στην παρούσα έρευνα, χρησιμοποιήθηκε η πρώτη επιλογή, ώστε οι βραχοκαταπτώσεις από κάθε πρανός να είναι ισοπίθανες.

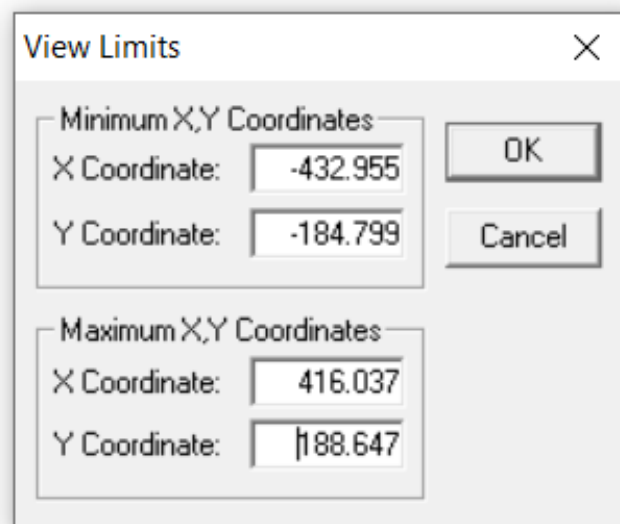
Τέλος σε κάθε ανάλυση περιλαμβάνεται η επιλογή του συνυπολογισμού της γωνιακής ταχύτητας των βραχοτεμαχών (“Consider angular velocity of rocks”). Αυτός ο παράγοντας είναι ιδιαίτερα σημαντικός στην εξέταση της κατάπτωσης, καθώς μελέτες που παρατίθενται μέσω της διεθνούς βιβλιογραφίας αναφέρουν πως η κίνηση των βραχοτεμαχών επηρεάζεται άμεσα από τις τιμές της γωνιακής τους ταχύτητας.



*Εικόνα 4.1: Επιλογές παραμέτρων ρυθμίσεων έργου για εφαρμογή στην προσομοίωση*

#### 4.2.2 Επιλογή ορίων σχεδίασης έργου (limits)

Με την επιλογή της εντολής “View” και μετέπειτα της εντολής “Limits” παρέχεται στον χρήστη η δυνατότητα να ορίσει τα όρια, εντός των οποίων θα λάβει χώρα ο σχεδιασμός της γεωμετρίας του πρανούς και εν συνεχεία η προσομοίωση της κατάπτωσης. Το RocFall αποτελεί λογισμικό δισδιάστατης ανάλυσης, όπου η τετμήμενη X αντιπροσωπεύει το πλάτος, ενώ η τεταγμένη Y το ύψος. Μέσω των συγκεκριμένων εντολών είναι δυνατή η απόδοση της κατάλληλης κλίμακας του έργου, η οποία επιθυμείται από τον χρήστη.



*Εικόνα 4.2: Ορισμός εύρους ορίων έργου*

#### 4.2.3 Στοιχεία και σχεδίαση πρανούς (slope editor, material editor και define slope)

Με τη χρήση της εντολής “Slope” και μετέπειτα την επιλογή “Slope Editor” ο χρήστης δύναται να ορίσει ακριβώς τις συντεταγμένες (x,y), από τις οποίες δομείται το υπό εξέταση πρανές. Πλησίον των συντεταγμένων παρέχεται η δυνατότητα ορισμού της τυπικής απόκλισης αυτών

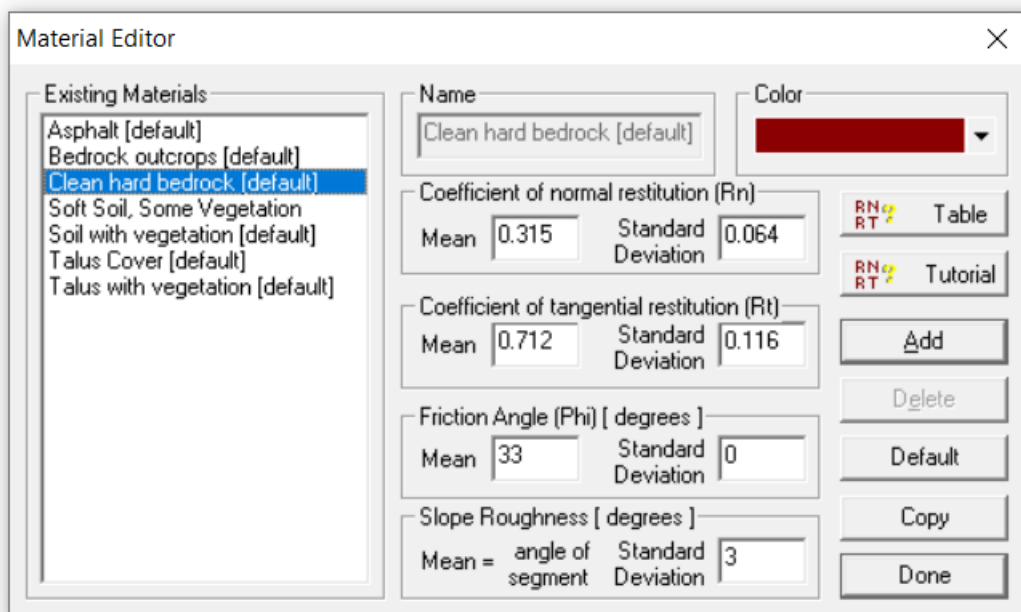
## Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

(“std dev”), αλλά και του υλικού από το οποίο αποτελείται η κατασκευή ή το πρανές σε κάθε ευθύγραμμο τμήμα που σχηματίζεται μεταξύ των ζευγών συντεταγμένων (“Material”).

Αναφορικά με την επιλογή του υλικού, χρησιμοποιώντας την εντολή “Material Editor”, το λογισμικό παρέχει κάποιες προκαθορισμένες επιλογές, αλλά ταυτόχρονα προσφέρει τη μετάβαση στον πίνακα της Rocscience, ώστε να οριστούν επακριβώς οι συντελεστές κανονικής και εφαπτομενικής αποκατάστασης ( $R_n$  και  $R_t$  αντίστοιχα), καθώς και οι αποκλίσεις τους, συναρτήσει του γεωυλικού.

Στη συγκεκριμένη έρευνα για τα πρανή, τα οποία δομούνται από ασβεστολιθικό υλικό, επιλέχθηκε μέση τιμή  $R_n$  ίση με 0.315 και τυπική απόκλιση 0.064 και μέση τιμή  $R_t$  ίση με 0.712 και τυπική απόκλιση 0.116. Αντίστοιχα για την ασφαλτο επιλέχθηκαν οι προκαθορισμένες -από το λογισμικό- τιμές, ενώ στην τάφρο ανάντη της κύριας οδού στα δύο σενάρια της διατομής 973, επιλέχθηκε το υλικό επίχωσης να αποτελείται από μαλακό έδαφος και βλάστηση με μέσες τιμές  $R_n$  και  $R_t$  ίσες με 0.3 και 0.8 αντίστοιχα. Στις υπόλοιπες τάφρους επιλέχθηκαν οι κατάλληλες μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις που αντιστοιχούν σε ασβεστολιθικό υλικό, όπως αυτές αναφέρθηκαν στην αρχή της συγκεκριμένης παραγράφου.

Αναφορικά με τη γωνία εσωτερικής τριβής, όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιήθηκε η τιμή που προτείνεται από την έρευνα των Παπαμαρινόπουλου και Βακίρη (2014) και η οποία διαφοροποιείται για τις περισσότερες διατομές. Σχετικά με την τυπική απόκλιση της τραχύτητας, οι τιμές που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι  $0^\circ$ ,  $2^\circ$ ,  $3^\circ$  και  $5^\circ$ . Στην παρούσα έρευνα δόθηκε τιμή ίση με  $3^\circ$ , λόγω της εκσκαφής με χρήση εκρηκτικών υλών.



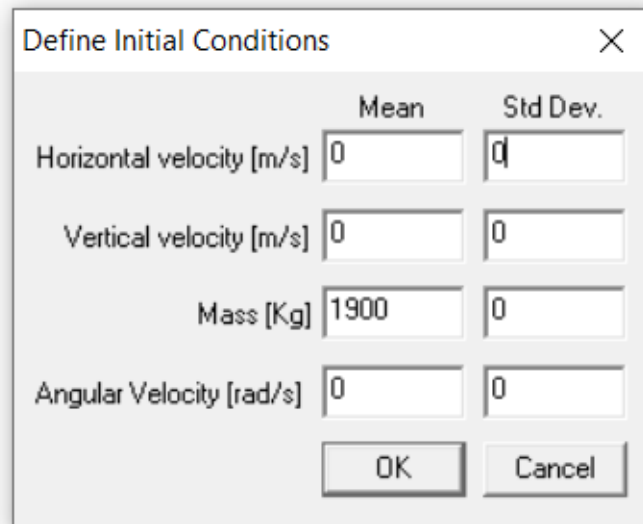
**Εικόνα 4.3: Παράμετροι ασβεστολιθικού υλικού για εφαρμογή στην προσομοίωση (Παράδειγμα από τη διατομή 973)**

Τέλος με την εντολή “Define Slope” ο χρήστης δύναται να σχεδιάσει τόσο το πρανές όσο και τις λοιπές κατασκευές, είτε σκοπεύοντας στον κানাβο για τον ορισμό των σημείων, είτε εισάγοντας τις συντεταγμένες τους μέσω του διαθέσιμου παραθύρου.

### **4.2.4 Ορισμός θέσης ή τμήματος εκκίνησης της βραχοκατάπτωσης (rocks)**

Το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα στον χρήστη να ορίσει εκείνος είτε τη θέση (“Rocks” → “Add Point Seeder”), είτε το τμήμα (“Rocks” → “Add Line Seeder”) εκκίνησης της

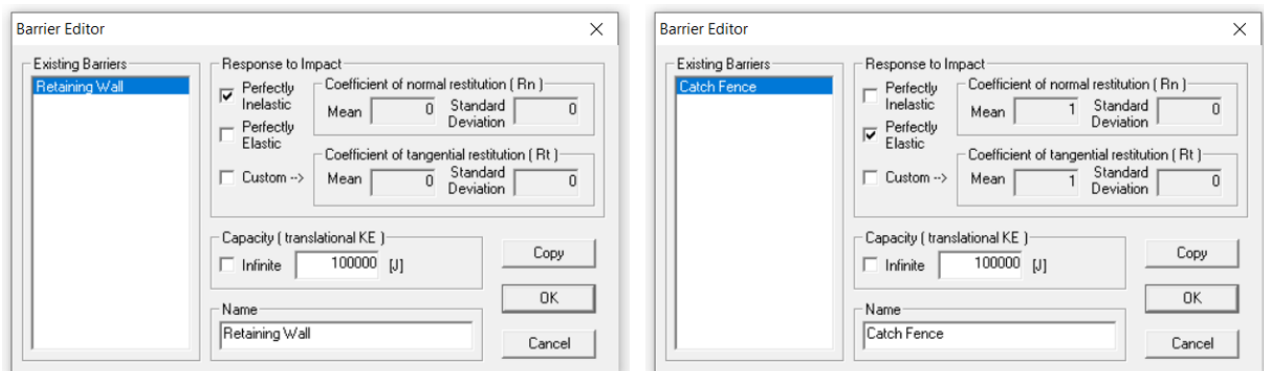
βραχοκατάπτωσης. Ύστερα από την εκάστοτε επιλογή, εμφανίζεται ένα παράθυρο, το οποίο για το βραχοτέμαχος δίνει τη δυνατότητα ορισμού της αρχικής οριζόντιας, κατακόρυφης και γωνιακής ταχύτητάς του, των αποκλίσεών τους, αλλά και της μάζας του και της τυπικής της απόκλισης. Σε αυτήν τη διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε η εντολή “Add Line Seeder” και ο Seeder ορίστηκε στη στέψη του εκάστοτε πρανούς, με σκοπό την εξέταση της δυσμενέστερης περίπτωσης. Περισσότερα σχετικά με το μήκος του seeder αναφέρονται στο υποκεφάλαιο 4.3.



**Εικόνα 4.4: Καθορισμός αρχικών συνθηκών για το καταπεσόν βραχοτέμαχος**

#### **4.2.5 Διαθέσιμα μέτρα προστασίας και λοιπά εργαλεία (barriers και tools)**

Το λογισμικό παρέχει και κάποιες άλλες ενδιαφέρουσες δυνατότητες στον χρήστη. Η πρώτη είναι η χρήση κάποιων συγκεκριμένων μέτρων προστασίας. Στην ουσία δύνανται να σχεδιαστούν άκαμπτοι τοίχοι αναχαίτισης καταπτώσεων (Retaining Walls) (Barriers → Add Barrier, Barriers → Barrier Editor → Response to Impact → Perfectly Inelastic) ή τοίχοι με συγκεκριμένη αντοχή σε κινητική ενέργεια (Barriers → Add Barrier, Barriers → Barrier Editor → Response to Impact → Perfectly Inelastic) → Capacity → Ορισμός της μέγιστης κινητικής ενέργειας). Επιπλέον δύνανται να σχεδιαστούν και φράχτες ανάσχεσης καταπτώσεων (Catch Fences) (Barriers → Add Barrier, Barriers → Barrier Editor → Response to Impact → Perfectly Elastic) → Capacity → Ορισμός της μέγιστης κινητικής ενέργειας).



**Εικόνα 4.5: Επιλογή χρήσης τοίχου αναχαίτισης καταπτώσεων (αριστερά) ή φράχτη ανάσχεσης καταπτώσεων (δεξιά)**

Επιπλέον μέσω της εντολής “Tools” μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα πλήθος από εργαλεία όπως μέτρησης απόστασης, σχεδίασης γραμμής, βέλους, πολυγώνου και κύκλου, προσθήκης κειμένου κ.α. Τέλος υπάρχει δυνατότητα εισαγωγής και εξαγωγής των σχεδίων σε μορφή dxf.

### **4.3 Διαμόρφωση Πρανών, Κινηματικές Αναλύσεις Ευστάθειάς τους και Προσομοίωση Βραχοπτώσεων**

Το σημαντικότερο μέρος της έρευνας απαρτίζεται από αυτό το υποκεφάλαιο. Η επιλογή των υπό ανάλυση διατομών πραγματοποιήθηκε βάσει συγκεκριμένων προϋποθέσεων. Η πρώτη αφορά την επιλογή θέσεων που υπόκεινται σε διαφορετικά τμήματα της χάραξης (κύρια και παράπλευρη οδός, αλλά και ανισόπεδος κόμβος), ενώ η δεύτερη αφορά την εξέταση τόσο σε πέτρωμα καλής δομής, όσο και σε μη. Στο σημείο αυτό, άξιο αναφοράς είναι το γεγονός πως οι παρουσιαζόμενες διατομές αφορούν τη δυσμενέστερη περίπτωση, δηλαδή τα υψηλότερα πρανή, στο εκάστοτε υπό εξέταση διάστημα χιλιομετρικών θέσεων.

Εν ολίγοις για κάθε επιθυμητή διαμόρφωση, εντοπίζονται οι δυναμικές μεταθετικές ολισθήσεις, υπολογίζεται η μάζα των καταπεσόντων βραχοτεμαχών και λαμβάνει χώρα η προσομοίωση. Σημειώνεται πως σε όλες τις αναδιαμορφώσεις, αναφορικά με τη στρογγύλευση που προτείνεται από την Π.Τ.Π. Χ1 σε μέρος του -πλησιέστερου στο φρύδι- πρανούς ορύγματος, αυτή σκοπίμως παραβλέπεται διότι στην πράξη συνήθως αγνοείται από τους κατασκευαστές. Ως εκ τούτου, η προσομοίωση της βραχοπτώσης δύναται να ταυτιστεί όσο το δυνατόν περισσότερο με τις πραγματικές και παράλληλα δυσμενέστερες συνθήκες.

Τέλος, αναφορικά με την επιλογή των κατάλληλων διαστάσεων για τις τάφρους αναχαίτισης καταπτώσεων, όπως αυτές παρατίθενται μέσω του πίνακα 4.1 από τις ΟΜΟΕ-Δ, διατυπώνονται δύο κριτήρια. Το πρώτο αφορά την ταξινόμηση -στην κατάλληλη σχετική κατηγορία- ενός πρανού ορύγματος, το ύψος του οποίου βρίσκεται στο μεταίχμιο μεταξύ δύο κατηγοριών. Στην περίπτωση αυτή η συγκεκριμένη έρευνα προτείνει την ταξινόμησή του στη μεγαλύτερη αριθμητικά κατηγορία, η οποία αφενός οδηγεί σε μεγαλύτερες διαστάσεις τάφρων αναχαίτισης καταπτώσεων καλύπτοντας ουσιαστικά τη δυσμενέστερη συνθήκη και αφετέρου αποτελεί τη συνηθισμένη τακτική. Το δεύτερο αφορά την ταξινόμηση ενός πρανού σε κατηγορία βάσει της κλίσης του, όταν εκείνη δεν ανήκει αυτούσια σε κάποια από τις ενδεικτικές του πίνακα 4.1. Στην περίπτωση αυτή η κλίση ταξινομείται στην πλησιέστερη αριθμητικά κατηγορία.

#### **4.3.1 Διατομή ορύγματος στη Χ.Θ. 165+290 (Διατομή 973)**

Όπως αναφέρεται και στο Κεφάλαιο 3, η διατομή 973 αποτελείται από δύο επιμέρους πρανή (ύψους 13.45m και 6.35m), τα οποία διαμορφώνονται με κλίση 1:1 (υ:β) (45°/244°), σύμφωνα με τη μελέτη οδοποιίας. Επιπλέον στο πόδι του πρανού ορύγματος που βρίσκεται ανάντη της κύριας οδού υπάρχει πρόβλεψη για την κατασκευή τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων βάθους 2m και πλάτους 5m, ενώ στο πόδι του πρανού ορύγματος ανάντη της παράπλευρης οδού έχει προβλεφθεί η δημιουργία τριγωνικής τάφρου βάθους 1m και πλάτους 4.31m.

Η παρούσα έρευνα λαμβάνοντας υπόψιν τις τρεις βασικές προϋποθέσεις, που αναφέρθηκαν πρωτίτερα για την περίπτωση δημιουργίας μίας νέας λωρίδας κυκλοφορίας σε κάθε κατεύθυνση, προτείνει δύο διαφορετικά σενάρια σχετικά με την αναδιαμόρφωση. Το πρώτο είναι να δοθεί κλίση 1.1:1 (υ:β) στο πρανές ανάντη της κύριας οδού (κλίση/διεύθυνση μέγιστης κλίσης ίση με 48°/244° και ύψος ίσο με 12.8m) και κλίση 1:1 (υ:β) (κλίση/διεύθυνση μέγιστης κλίσης ίση με 45°/244°) και στα δύο πρανή ορυγμάτων ανάντη της παράπλευρης οδού (ύψους

#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

8m και 6.9m αντίστοιχα). Ενδιάμεσα στα πρηνή ορυγμάτων με κλίση 45°, προβλέπεται η δημιουργία αναβαθμού πλάτους 4m και κλίσης 5°.

Επιπρόσθετα στον πόδα του πρηνούς ανάντη της κύριας οδού προβλέπεται η δημιουργία τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων βάθους 1.5m και πλάτους 3m, κατά τα προβλεπόμενα των ΟΜΟΕ-Δ. Αντίστοιχα στο πόδι του πρηνούς ανάντη της παράπλευρης οδού προβλέπεται η δημιουργία τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων βάθους 1m και πλάτους 3m. Τέλος το συνολικό ύψος του διαμορφωμένου πρηνούς ανάντη της παράπλευρης οδού ισούται με 14.5m, ενώ η μέση κλίση του είναι 0.8:1 (υ:β)

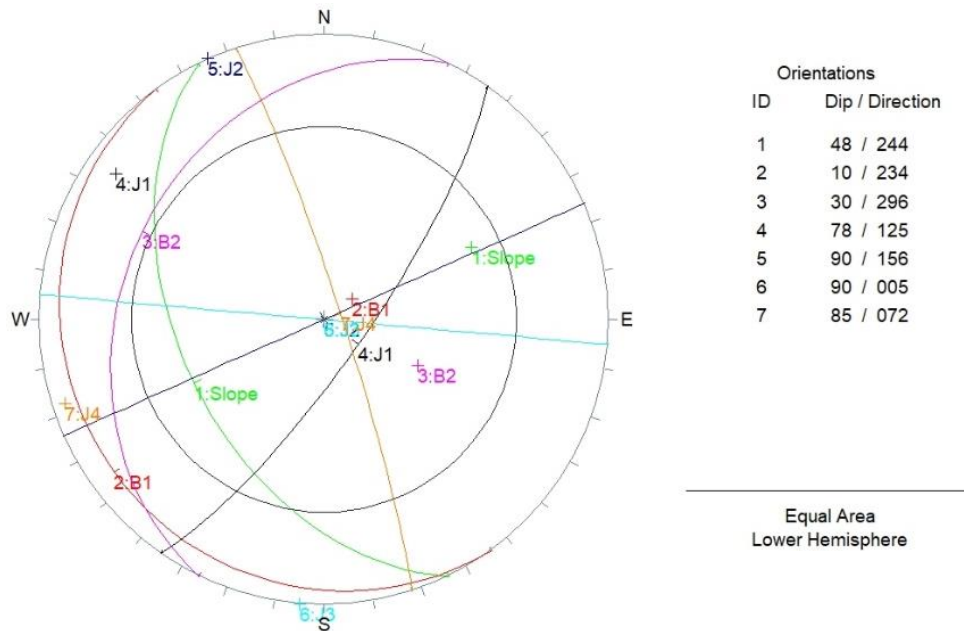
Επεξηγηματικά για τις παραπάνω επιλογές αναφέρεται πως η κλίση 1.1:1 (υ:β) είναι η ελάχιστη δυνατή που μπορεί να υιοθετηθεί υπό τις νέες συνθήκες, λαμβάνοντας υπόψιν πως θα χρησιμοποιηθεί και μικρότερων διαστάσεων τάφρος, συγκριτικά με την αντίστοιχη της αρχικής μελέτης. Επιπλέον λόγω της δομής της βραχομάζας του ασβεστόλιθου, επιλέγεται το ύψος του πρηνούς έως τον αναβαθμό να ισούται με 8m. Τέλος μετά το δεύτερο πρηνές ορύγματος (ύψους 6.9m) ανάντη της παράπλευρης οδού, προτείνεται να διαμορφωθεί το πρηνές με κλίση 5° σε μορφή κατωφέρειας για αρκετά μέτρα, καθώς δεν υπάρχουν επαρκείς πληροφορίες σχετικά με τη μορφολογία του.

Το δεύτερο σενάριο αφορά μία συντηρητικότερη διαμόρφωση. Συγκεκριμένα, να μεν το πρηνές ανάντη της κύριας οδού διαμορφώνεται με κλίση 1.1:1 (υ:β) όπως στο πρώτο σενάριο -καθώς η κατασκευασμένη παράπλευρη οδός δεν αφήνει άλλα περιθώρια- αλλά τα δύο πρηνή ορυγμάτων ανάντη της παράπλευρης οδού διαμορφώνονται με κλίση 2:3 (υ:β) (κλίση/διεύθυνση μέγιστης κλίσης ίση με 34°/244°) και ύψος 8m έκαστον. Η συντηρητική αυτή διαμόρφωση αναφορικά με την κλίση προτείνεται εξαιτίας της δομής της συγκεκριμένης ασβεστολιθικής στρώσης. Εντούτοις σημειώνεται πως μία τέτοια διαμόρφωση μπορεί να είναι αντιοικονομική και θα μπορούσε να οριστεί μόνο σε περιπτώσεις όπου υπήρχε ανάγκη εύρεσης αδρανών υλικών.

Ενδιάμεσα στα τα δύο πρηνή ορυγμάτων κλίσης 34° προβλέπεται η δημιουργία αναβαθμού πλάτους 4m και κλίσης 5°. Η δομή του υλικού είναι τέτοια, ώστε να οδηγεί αυτή την έρευνα στο συμπέρασμα πως είναι απαραίτητη η χρήση αναβαθμού, παρότι δεν απαιτείται από τον Κ.Μ.Ε. Για τον ίδιο λόγο επιλέγεται και το μέγιστο ύψος έως τον αναβαθμό να ισούται με 8m. Επιπλέον στο πόδι του πρηνούς με κλίση 48° προβλέπεται η δημιουργία τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων βάθους 1.5m και πλάτους 3m, ενώ στο πόδι του πρηνούς με κλίση 34° προβλέπεται η δημιουργία ανοικτής τριγωνικής τάφρου πλάτους 2.2m και βάθους 1m.

Ακόμα, επειδή δεν είναι γνωστή η μορφολογία του πρηνούς από ένα σημείο και έπειτα, προτείνεται είτε η διαμόρφωση να συνεχίζει με την ίδια επαναληπτικότητα (κλίση 2:3 (υ:β), αναβαθμός ύψους 8m, πλάτους 4m και κλίσης 5° σε μορφή κατωφέρειας), είτε να δημιουργηθεί μια κεκλιμένη ζώνη αρκετών μέτρων κατά μήκος του φρυδιού του συνολικού πρηνούς. Τέλος στη συγκεκριμένη διαμόρφωση το μέγιστο ύψος του συνολικά διαμορφωμένου πρηνούς, ανάντη της παράπλευρης οδού, ισούται με 15.9m, ενώ η μέση κλίση του είναι 0.6:1 (υ:β)

Ως εκ τούτου, βάσει του τεκτονικού διαγράμματος της περιοχής (Πίνακας 3.3) και μέσω του λογισμικού Dips 5.1 της Rocscience, για το κάθε πρηνές του κάθε σεναρίου έλαβαν χώρα οι στερεογραφικές απεικονίσεις των επιφανειών σε δίκτυο Schmidt, αλλά και οι κινηματικές αναλύσεις ευστάθειας των βραχωδών πρηνών έναντι μεταθετικών αστοχιών. Για τη σχεδίαση η συνοχή των ασυνεχειών θεωρήθηκε μηδενική και η γωνία εσωτερικής τριβής τους ίση με 33°, όπως υποδεικνύεται από τη μελέτη των Παπαμαρινόπουλου και Βακίρη (2014).



**Σχήμα 4.1: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς  $48^{\circ}/244^{\circ}$  (ανάντη της κύριας οδού) και εμφανιζόμενων ασυνεχειών ( $c=0kPa$ ,  $\phi=33^{\circ}$ )**

Για το πρώτο σενάριο, από το παραπάνω δίκτυο Schmidt, εντοπίστηκαν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί ασυνεχειών, οι οποίοι μπορούν να οδηγήσουν σε σφηνοειδή ολίσθηση, αλλά και ελέγχθηκαν οι ασυνέχειες που δύνανται να προκαλέσουν επίπεδη ολίσθηση. Από τη στερεογραφική απεικόνιση και το Test Markland είναι προφανές πως σε συνθήκες στατικής φόρτισης ανυποστήρικτου πρανούς δεν υπάρχει δυνατότητα σφηνοειδούς ολίσθησης. Επομένως, υπό τις συγκεκριμένες συνθήκες, είναι βέβαιο πως όλοι οι συντελεστές ασφαλείας ( $A_1$ ) έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης θα είναι μεγαλύτεροι της μονάδας.

Ωστόσο η ανάλυση, που έλαβε χώρα μέσω του λογισμικού Swedge 4.0 της Rocscience, συνυπολόγισε και δύο ακόμα πολύ σημαντικές παραμέτρους. Η πρώτη (συντελεστής ασφαλείας  $A_2$ ) αφορούσε το γεγονός όπου οι ασυνέχειες είναι πληρωμένες με νερό, ενώ η δεύτερη (συντελεστής ασφαλείας  $A_3$ ) προσέθετε στην πρώτη και τη σεισμική επιτάχυνση για ενδεχόμενη σεισμική φόρτιση.

Σημειώνεται πως για τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας, το Swedge 4.0 λαμβάνει υπόψιν και τη γεωμετρία του άνω μετώπου του πρανούς. Ωστόσο δεν προσφέρει τη δυνατότητα εισαγωγής τιμών, οι οποίες είναι μεγαλύτερες από  $90^{\circ}$ . Συγκεκριμένα προσφέρει τη δυνατότητα εισαγωγής μίας τιμής μεταξύ  $0^{\circ}$  και  $90^{\circ}$ . Συνεπώς όλες οι αναλύσεις, σε όλες τις διατομές, των οποίων η δεξιόστροφη γωνία -που σχηματίζει το άνω μέτωπο του πρανούς με τη νοητή κάθετη γραμμή σε αυτό- είναι μεγαλύτερη από  $90^{\circ}$ , θα λάβουν χώρα θέτοντας τη γωνία ίση με μηδέν. Η τιμή αυτή επιλέγεται ως η πλησιέστερη στην πραγματική γωνία (θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί γωνία ίση με  $-5^{\circ}$  στη συγκεκριμένη περίπτωση) και παρότι αναμένεται μια μικρή υποτίμηση των συντελεστών ασφαλείας  $A_2$  και  $A_3$ , αυτή δεν είναι ικανή ώστε να επηρεάσει σημαντικά τις τιμές τους. Άλλωστε πρόβλημα θα αποτελούσε μόνο η υπερεκτίμηση των συντελεστών ασφαλείας, καθώς θα ήταν δυνατό να λάβουν χώρα μη αναμενόμενες αστοχίες. Τα αποτελέσματα παρατίθενται μέσω του πίνακα 4.4.

**Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα**

**Πίνακας 4.4: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 48°/244° (ανάντη της κύριας οδού)**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ειδικό Βάρος $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
B1 & J1	2.67	3.68	2.76	1.60
B1 & J2		3.90	3.02	1.69
B1 & J3		5.47	4.35	2.16
B1 & J4		3.68	1.88	1.50
B2 & J1		12.46	9.95	3.73
B2 & J2		2.62	1.77	1.28
<b>B2 &amp; J3</b>		1.44	<b>0.44</b>	<b>0.34</b>
B1 & B2		3.68	2.80	1.60

Όπως παρατηρείται, σε συνθήκες όπου οι ασυνέχειες είναι πληρωμένες με νερό, αναμένεται ολίσθηση από την τομή των ασυνεχειών B2 και J3, με άξονα ολίσθησης την επιφάνεια της B2.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε έλεγχος για επίπεδη ολίσθηση. Από τη στερεογραφική απεικόνιση, παρατηρείται πως η ασυνέχεια B1 δεν δημιουργεί με το πρανές συνθήκες επίπεδης ολίσθησης υπό στατική φόρτιση, καθώς να μεν η διαφορά μεταξύ της διεύθυνσης μέγιστης κλίσης του πρανούς και της διεύθυνσης μέγιστης κλίσης της B1 είναι 10° (< 20°) και η κλίση του πρανούς (ήτοι 48°) είναι μεγαλύτερη από την κλίση της ασυνέχειας B1 (ήτοι 10°), αλλά η κλίση της τελευταίας είναι μικρότερη από τη γωνία εσωτερικής τριβής των ασυνεχειών (ήτοι 33°).

Ωστόσο πρέπει να εξεταστούν και οι συντελεστές ασφαλείας σε συνθήκες ασυνεχειών πληρωμένων με νερό, αλλά και ύπαρξης σεισμικής φόρτισης. Επομένως, μέσω του λογισμικού RocPlane 2.0 της Rocscience, πραγματοποιήθηκε έλεγχος σε αντίστοιχες συνθήκες με αυτές που αναφέρθηκαν για τη δυνητική σφηνοειδή ολίσθηση. Τα αποτελέσματα, τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα 4.5, αποσαφηνίζουν πως δεν αναμένεται επίπεδη ολίσθηση. Με την ίδια νοοτροπία εξετάζονται οι δυνητικές επίπεδες ολισθήσεις (όπου δημιουργούνται οι απαραίτητες συνθήκες) σε όλα τα διαμορφωμένα πρανή.

**Πίνακας 4.5: Δυνητική επίπεδη ολίσθηση και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 48°/244° (ανάντη της κύριας οδού)**

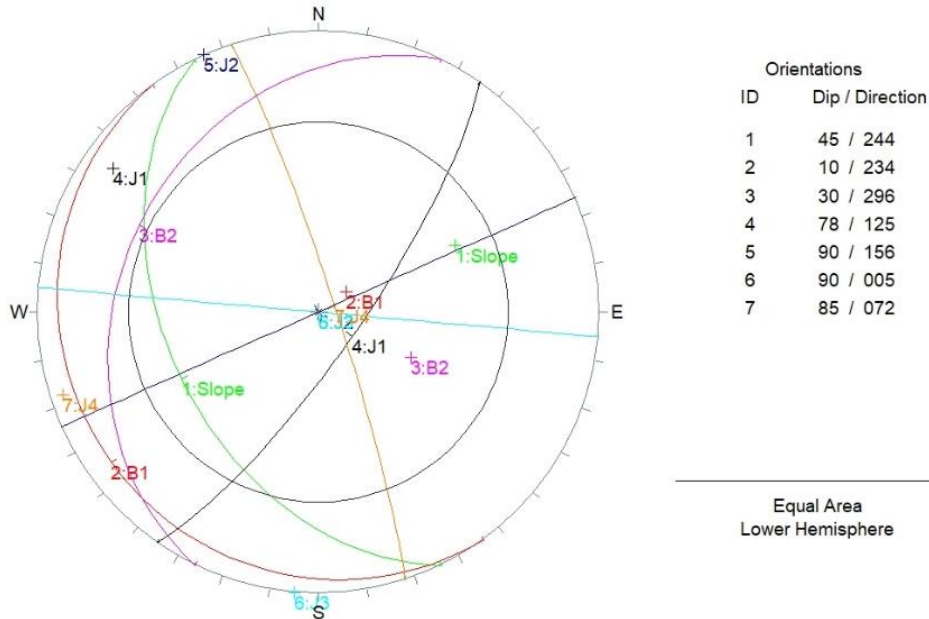
Ασυνέχεια	Ειδικό Βάρος $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
B1	2.67	3.68	2.46	1.35

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η ίδια ανάλυση για το πρανές ανάντη της παράπλευρης οδού. Όπως γίνεται αντιληπτό από την παρακάτω στερεογραφική απεικόνιση κατά την εφαρμογή του Test Markland, ούτε στην περίπτωση του πρανούς 45°/244° αναμένεται σφηνοειδής ολίσθηση σε συνθήκες στατικής φόρτισης για το ανυποστήρικτο πρανές. Μάλιστα αυτό επιβεβαιώνεται και από τα στοιχεία του πίνακα 4.6, όπου όλοι οι συντελεστές ασφαλείας A<sub>1</sub> είναι μεγαλύτεροι της μονάδας.

Μέσω του ίδιου πίνακα παρατηρείται πως μόνο για τη βραχοσφήνα που σχηματίζεται από την τομή των ασυνεχειών B2 και J3, αρκεί οι ασυνέχειες να είναι πληρωμένες με νερό, ώστε αυτή να ολισθήσει κατά την επιφάνεια της B2. Σχετικά με την υποτίμηση των συντελεστών ασφαλείας A<sub>2</sub> και A<sub>3</sub> ισχύει ό,τι αναφέρθηκε προτύτερα, καθώς θα έπρεπε ως γωνία του άνω μετώπου των πρανών ύψους 8m και 6.9m να χρησιμοποιηθεί η τιμή -5°.



## Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα



**Σχήμα 4.2:** Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 45°/244° (ανάντη της παράπλευρης οδού) και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=33°)

**Πίνακας 4.6:** Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανών 45°/244°, ύψους 8m και 6.9m (ανάντη της παράπλευρης οδού)

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ειδικό Βάρος γ (t/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
B1 & J1	2.65	3.68	2.74	1.59
B1 & J2		3.90	3.00	1.68
B1 & J3		5.47	4.32	2.15
B1 & J4		3.68	1.80	1.44
B2 & J1		12.46	9.93	3.72
B2 & J2		2.62	1.72	1.25
<b>B2 &amp; J3</b>		1.44	<b>0.31</b>	<b>0.24</b>
B1 & B2		3.68	2.79	1.56

Τέλος όσον αφορά τις επίπεδες ολισθήσεις, εξετάζεται και πάλι η δυνητική περίπτωση ολίσθησης μέσω της ασυνέχειας B1. Και σε αυτή την περίπτωση, όπως και σε αυτήν του πρανούς ανάντη της κύριας οδού, οι συντελεστές ασφαλείας και στις τρεις περιπτώσεις προκύπτουν μεγαλύτεροι της μονάδας, οπότε το σενάριο της επίπεδης ολίσθησης δεν επιβεβαιώνεται. Η εύρεση της τιμής του συντελεστή A<sub>1</sub> δεν ήταν απαραίτητη, διότι μπορεί μεν η διαφορά μεταξύ της διεύθυνσης μέγιστης κλίσης του πρανούς και της διεύθυνσης μέγιστης κλίσης της B1 να είναι 10° (< 20°) και η κλίση του πρανούς (ήτοι 45°) να είναι μεγαλύτερη από την κλίση της ασυνέχειας B1 (ήτοι 10°), αλλά η κλίση της τελευταίας είναι μικρότερη από τη γωνία εσωτερικής τριβής των ασυνεχειών (ήτοι 33°).

**Πίνακας 4.7:** Δυνητική επίπεδη ολίσθηση και συντελεστές ασφαλείας πρανών 45°/244°, ύψους 8m και 6.9m (ανάντη της παράπλευρης οδού)

Ασυνέχεια	Ειδικό Βάρος γ (t/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
B1	2.67	3.68	2.43	1.33

Με τη χρήση του Swedge 4.0, υπάρχει δυνατότητα υπολογισμού του βάρους των σχηματιζόμενων βραχοσφηνών, ενώ με το RocPlane 2.0 των τεμαχών που δύνανται να

#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

αστοχήσουν από το πρανές με τη μορφή επίπεδων ολισθήσεων. Στην παρούσα έρευνα υπήρξε αδυναμία αυτοψίας στα πρανή, ώστε να υπάρξει πλήρης εξοικείωση με την κατανομή των ασυνεχειών πάνω στο εκάστοτε πρανές και να μπορέσει να εκτιμηθεί με ακρίβεια η θέση και το μέγιστο ύψος του αποκολλημένου τεμάχους. Για τους λόγους αυτούς έλαβαν χώρα οι εξής παραδοχές, οι οποίες εφαρμόζονται για όλες τις αναλύσεις, όλων των παρουσιαζόμενων διατομών.

- Η θέση αποκόλλησης ταυτίζεται με το υψηλότερο σημείο του πρανούς, ώστε να εξεταστεί η δυσμενέστερη περίπτωση. Παράλληλα εξετάζεται μία ακόμη δυσμενέστερη περίπτωση, κατά την οποία από το ανώτερο ύψος του κάθε διαμορφωμένου πρανούς, υπάρχει ταυτόχρονη αστοχία.
- Το ύψος του τεμάχους τίθεται ίσο με το  $1/3$  του μέγιστου ύψους του πρανούς ορύγματος για πρανή με ύψος μεγαλύτερο από 5m και με το  $1/2$  για πρανή με ύψος μικρότερο ή ίσο αυτού. Οι παραπάνω εκτιμήσεις αφορούν περιπτώσεις όπου αναμένεται σφηνοειδής ή επίπεδη ολίσθηση.
- Η εκτίμηση των παραπάνω τιμών θεωρείται αρκετά αυστηρή, ώστε να καλύπτει τις πρακτικά δυσμενέστερες περιπτώσεις. Η ουσία αυτής της υπόθεσης αφορά τη δυνητική ύπαρξη υγιούς ζώνης ανά διαστήματα του πρανούς. Ως εκ τούτου και μην γνωρίζοντας περισσότερα σχετικά με την κατανομή των ασυνεχειών στην επιφάνεια του πρανούς, έλαβαν χώρα οι παραπάνω εκτιμήσεις.

Η αυστηρότερη και δυσμενέστερη περίπτωση θα ήταν να δοθεί τιμή ίση με το μέγιστο ύψος του πρανούς ορύγματος, αλλά μία τέτοια υπόθεση εμπεριέχει μικρή πιθανότητα εμφάνισης και θα υπερεκτιμούσε τα απαραίτητα μέτρα υποστήριξης της βραχομάζας, αλλά και αυτά της προστασίας της οδού. Εντούτοις σε περίπτωση που ήταν δυνατή η έρευνα πεδίου, η εκτίμηση θα μπορούσε να λάβει χώρα με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια. Επίσης τονίζεται πως τα πρανή βραχιδών ορυγμάτων σπανίως υπερβαίνουν τα 12m ύψος, σύμφωνα με τον Κ.Μ.Ε.

- Σε περιπτώσεις όπου δεν αναμένεται καμία εκ των προαναφερθέντων αστοχιών (σφηνοειδής ή επίπεδη ολίσθηση), στην προσομοίωση λαμβάνεται μάζα ίση με εκείνη των τεμαχών του κερματισμένου -από την έκρηξη- μετώπου. Η τιμή της τίθεται ίση με το  $1/4$  του κυβικού μέτρου, ενώ το ύψος του τεμάχους θεωρείται ίσο με το  $1/10$  του ύψους του πρανούς, για πρανή υψηλότερα από 5m, και με το  $1/5$  του ύψους του πρανούς, για πρανή χαμηλότερα από 5m.
- Σε περιπτώσεις όπου αναμένεται πτώση περισσότερων της μίας βραχοσφήνας ή/και επίπεδη ολίσθηση σε συνδυασμό με αναμενόμενη ολίσθηση βραχοσφήνας, τότε η ανάλυση γίνεται για τη δυσμενέστερη περίπτωση, δηλαδή για το βαρύτερο τέμαχος.
- Στα παραπάνω λαμβάνεται υπόψιν και το βάρος των τεμαχών που έχουν δημιουργηθεί στο μέτωπο του νέου πρανούς, λόγω της ανατίναξης του μετώπου του αρχικού πρανούς και δύνανται να καταπέσουν. Η τελική επιλογή της μάζας του καταπεσόντος βράχου πραγματοποιείται με επιλογή της μέγιστης τιμής κατόπιν αξιολόγησης και των τριών συνθηκών.

Η -υπολογιζόμενη από το Swedge 4.0- τιμή της μάζας της σχηματιζόμενης βραχοσφήνας, η οποία αναμένεται να ολισθήσει, παρατίθενται μέσω του πίνακα 4.8. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί πως το Swedge προσδίδει μία ακόμη δυσλειτουργία, αναφορικά με την τιμή της γωνίας του άνω μετώπου του πρανούς. Αυτή έγκειται στο γεγονός πως υπερτιμάται η μάζα της βραχοσφήνας. Μολονότι το Swedge δεν μπορεί να υπολογίσει τη μάζα για πρανή με γωνία

#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

μετώπου μεγαλύτερη από 90°, για τον υπολογισμό αυτής με γωνία ίση με 0°, μπορεί να ευρεθεί η πραγματική τιμή της μάζας κατόπιν γεωμετρικής επεξεργασίας.

Στην άνω διάσταση της βραχοσφήνας, θεωρείται γωνία ίση με τη γωνία του άνω μετώπου του πρανούς και με τη συγκεκριμένη γεωμετρική απομείωση, δύναται να υπολογιστεί με ικανοποιητική ακρίβεια η πραγματική τιμή του βάρους της σφήνας. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζονται οι πραγματικές τιμές της μάζας σε όλες τις διατομές, στις οποίες υπάρχει το συγκεκριμένο θέμα.

**Πίνακας 4.8: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (48°/244°) ύψους 12.8m**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
B2 & J3	4.3	23.3	22.1

Όπως αναφέρθηκε προωτέρω, η ολίσθηση αναμένεται για τη βραχοσφήνα που δημιουργείται από την τομή των ασυνεχειών B2 και J3. Συνεπώς στην προσομοίωση για το πρανές ανάντη της κύριας οδού, η μάζα του τεμάχους ορίζεται ίση με 22.1 τόνους (ήτοι 22100 κιλά) και το εύρος της ορίζεται 4.3m με έναρξη το φρύδι του πρανούς ορύγματος. Στη συνέχεια, η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για το πρανές ανάντη της παράπλευρης οδού.

**Πίνακας 4.9: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (45°/244°) ύψους 8m**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
B2 & J3	2.7	4.2	4.0

Ως συνάρτηση των παραπάνω, για το πρώτο τμήμα του πρανούς ορύγματος ανάντη της παράπλευρης οδού θα χρησιμοποιηθεί ως βάρος τεμάχους η τιμή που ισούται με 4.0 τόνους, ενώ το εύρος της βραχοσφήνας ορίζεται ως 2.7m από το φρύδι του πρανούς ορύγματος.

Τελευταίο μέλημα, πριν τη διαδικασία της προσομοίωσης, αποτελεί η εύρεση της μάζας για το τελευταίο κατά σειρά πρανές ορύγματος.

**Πίνακας 4.10: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (45°/244°) ύψους 6.9m**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
B2 & J3	2.3	2.6	2.5

Από τη στιγμή που δεν αναμένεται επίπεδη ολίσθηση, στην προσομοίωση θα εισαχθεί η τιμή 2.5 τόνων για το βάρος του αποκολλημένου βράχου, με συνολική απόσταση 2.3m από το φρύδι του πρανούς ορύγματος.

Σημειώνεται πως σε όλη τη διαδικασία εύρεσης της μέγιστης μάζας για το βραχώδες τέμαχος, συνυπολογίστηκε και η τιμή των 0.7 τόνων που αντιστοιχεί στη μάζα του τεμάχους που δύναται να καταπέσει από το κερματισμένο -λόγω έκρηξης- μέτωπο του πρανούς. Εντούτοις η τιμή αυτή δεν ήταν σε καμία περίπτωση η μέγιστη, ώστε να χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς.

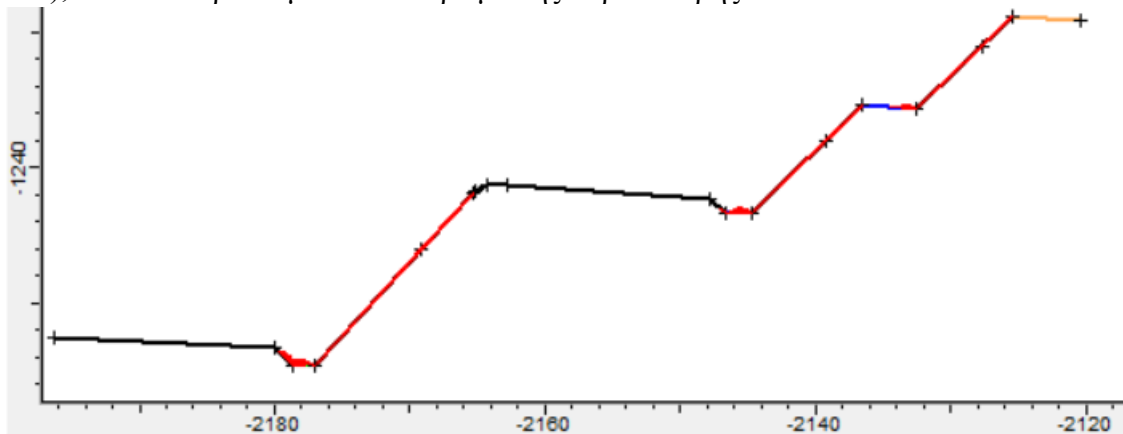
Ως εκ τούτου, τα δεδομένα εισήχθησαν στο RocFall 4.0, όπου για την πρώτη τάφρο αναχαίτισης καταπτώσεων θεωρείται εδαφικό υλικό χρησιμοποίησης συνδυαστικά με βλάστηση, καθώς το τμήμα αυτό θα έχει επιχωματωθεί, λόγω κάλυψης της προηγούμενης τάφρου, που προέβλεπε η αρχική μελέτη προτού δημιουργηθεί η νέα λωρίδα κυκλοφορίας.

#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

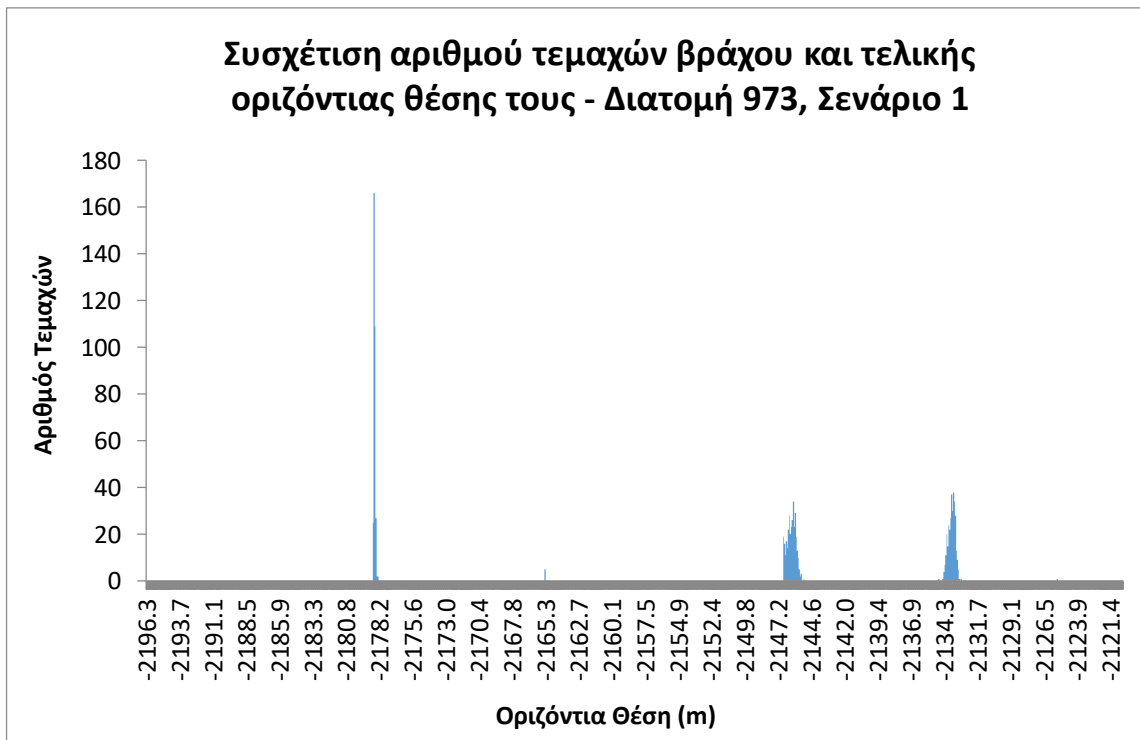
Σημειώνεται πως η νέα λωρίδα είναι πλάτους 3.75m και αφορά κάθε κατεύθυνση, τόσο της κύριας οδού, όσο και της παράπλευρης. Επειδή για την κύρια οδό χρήζει εξέτασης μόνο το δεξιό πραινός, στο αρχικό πλάτος της οδού προστίθεται το πλάτος της μίας λωρίδας. Αντίθετα για την παράπλευρη οδό, που η εξέταση γίνεται συναρτήσεως και του πραινούς ανάντη της οδού, η διαπλάτυνση του οδοστρώματος αφορά και τις δύο λωρίδες (μία ανά κατεύθυνση).

Παρακάτω παρουσιάζεται η προσομοίωση για τα παραπάνω δεδομένα, καθώς και χαρακτηριστικά διαγράμματα συσχέτισης της οριζόντιας θέσης με τον αριθμό των τεμαχών βράχου που επιλέχθηκε από τις βασικές ρυθμίσεις ανάλυσης, το ύψος αναπήδησης, την κινητική ενέργεια, τη μεταθετική ταχύτητα και τη γωνιακή ταχύτητα.

Αποσαφηνίζεται πως η πρώτη τάφρος ολοκληρώνεται στο σημείο  $(x,y) = (-2180.05, -1253.38)$ , όπου ξεκινάει το οδόστρωμα της κύριας οδού, ενώ η δεύτερη στο σημείο  $(x,y) = (-2147.8, -1242.4)$ , όπου συνορεύει με το οδόστρωμα της παράπλευρης οδού.



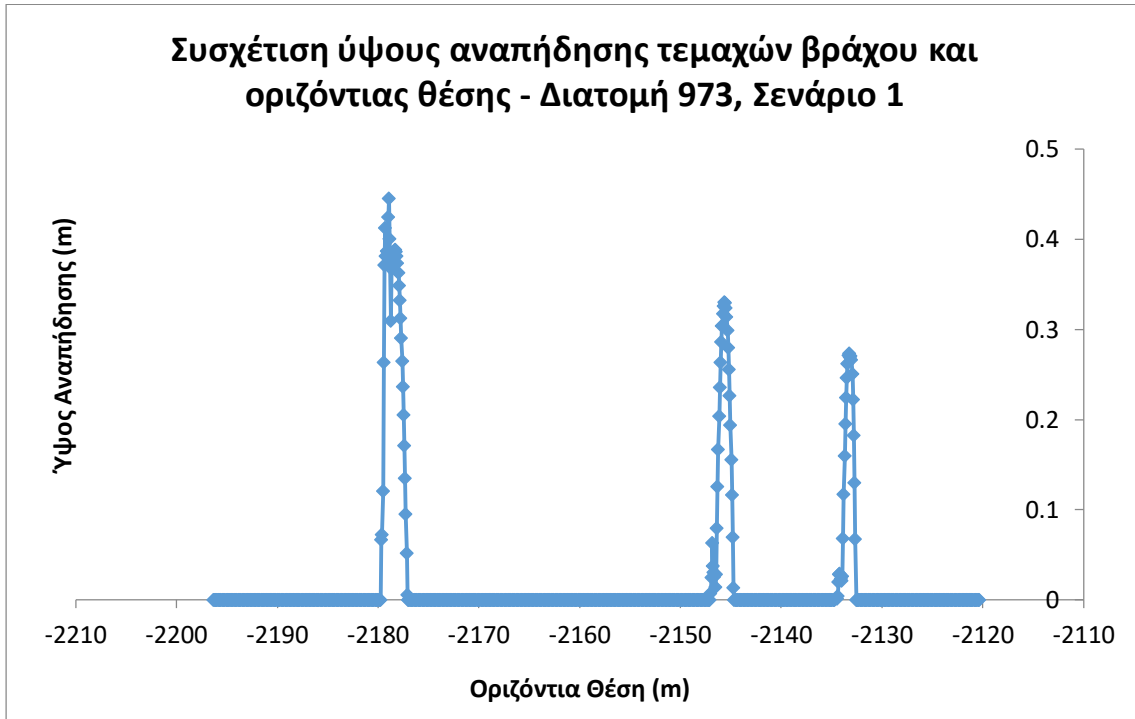
**Σχήμα 4.3:** Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 973 με διαμόρφωση πραινών με κλίσεις  $48^\circ, 45^\circ$  &  $45^\circ$  κατά σειρά από αριστερά προς δεξιά.



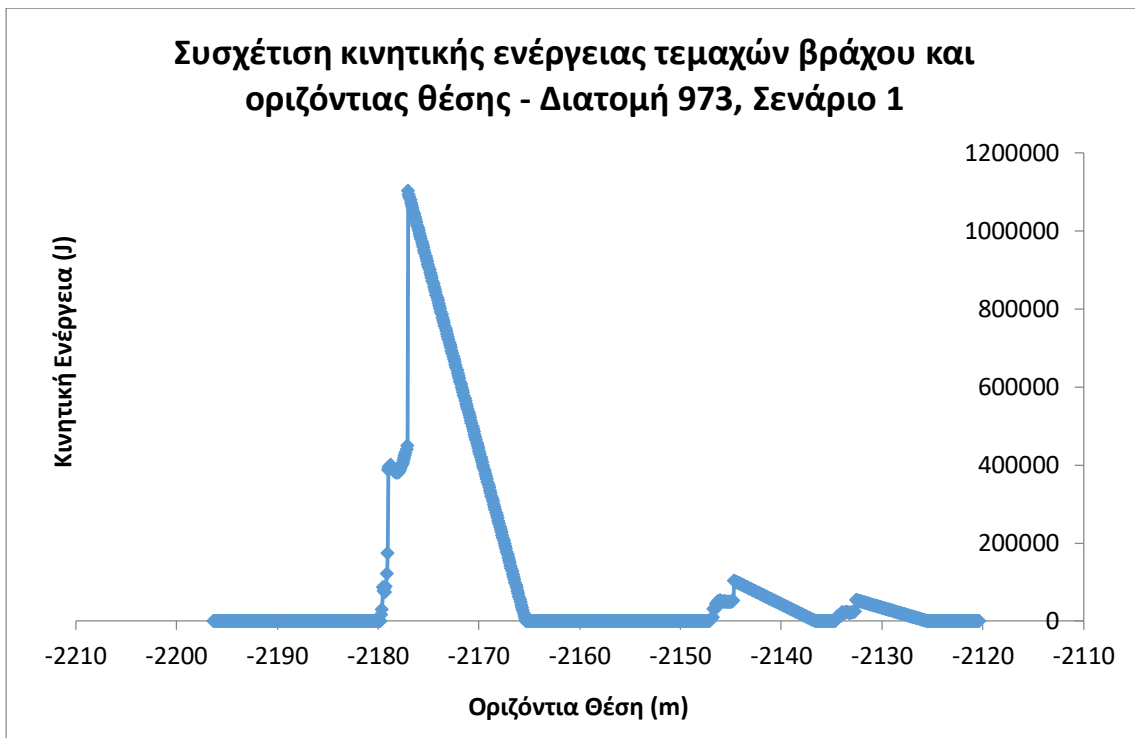
**Σχήμα 4.4:** Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 973, σενάριο 1

#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

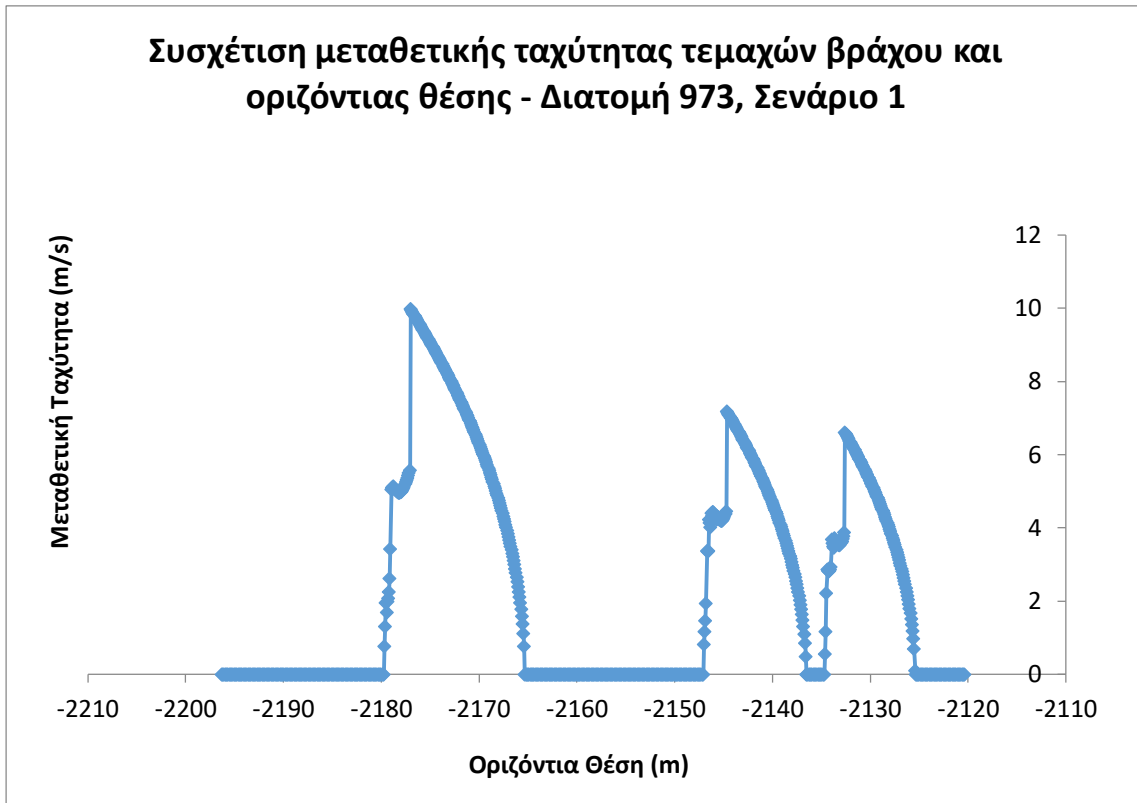
Από το δύο παραπάνω σχήματα γίνεται αντιληπτό πως οι σχεδιαζόμενες τάφροι, είναι επαρκείς για την προστασία του οδοστρώματος, αφού κανένα τμήμαχος βράχου δεν εισέρχεται στην οδό, αλλά παγιδεύεται εντός της τάφρου. Επιπλέον παρατηρείται πως ο αναβαθμός ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του, καθώς το πλάτος του -σε συνδυασμό και με την κλίση του- υπερεπαρκεί για την παγίδευση των τεμαχών βράχου. Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται και από το Σχήμα 4.4, που ακολουθεί.



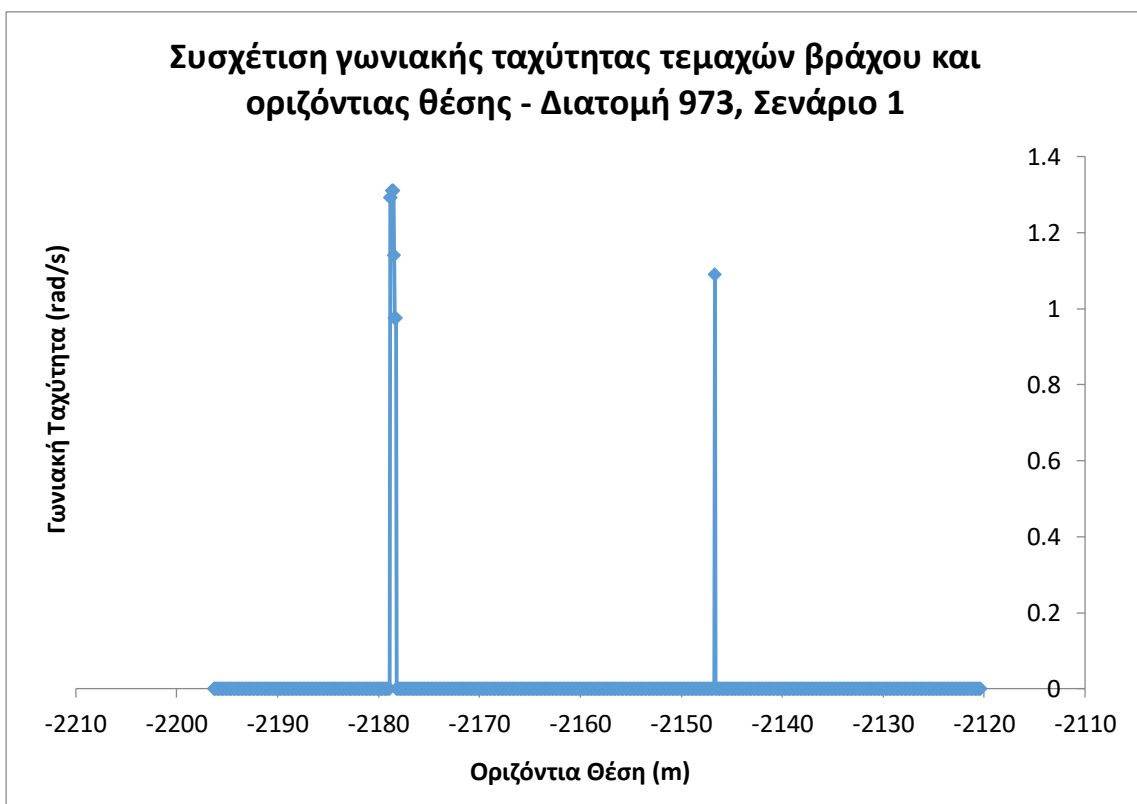
Σχήμα 4.5: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 973, σενάριο 1



Σχήμα 4.6: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 973, σενάριο 1



*Σχήμα 4.7: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 973, σενάριο 1*



*Σχήμα 4.8: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 973, σενάριο 1*

Αποδελτιώνοντας τα δεδομένα των σχημάτων, παρουσιάζεται ο Πίνακας 4.11, στον οποίο αναγράφονται οι μέγιστες τιμές των εξεταζόμενων μεγεθών στις τάφρους και τον αναβαθμό.

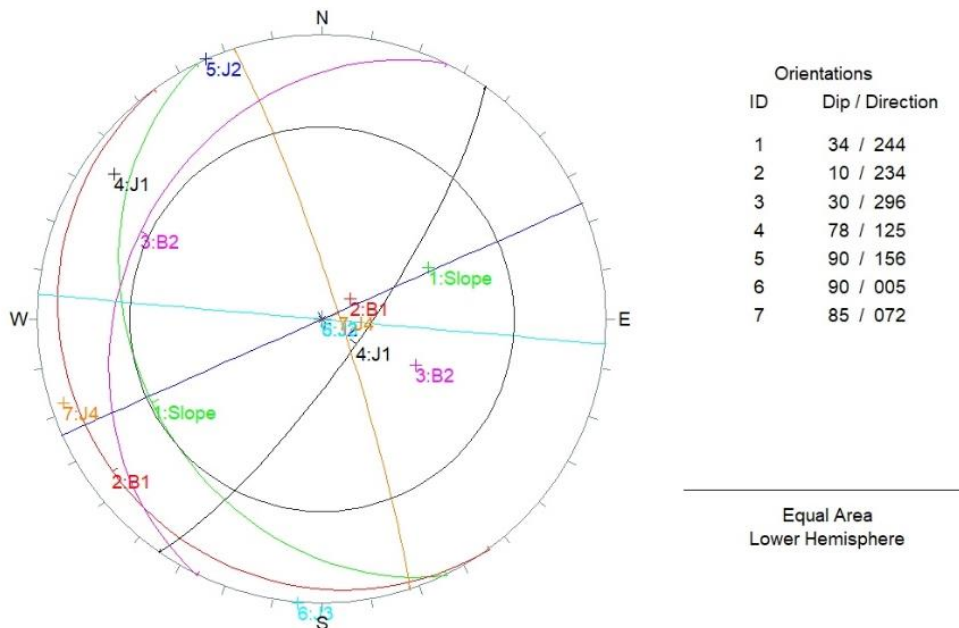
**Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα**

**Πίνακας 4.11: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 973, Σενάριο 1**

Μέγεθος Διάστημα Εξέτασης	Τάφρος 1 (ανάντη της κύριας οδού)	Τάφρος 2 (ανάντη της παράπλευρης οδού)	Αναβαθμός
Ύψος Αναπήδησης (m)	0.45	0.33	0.27
Κινητική Ενέργεια (kJ)	1102.79	103.39	54.62
Μεταθετική Ταχύτητα (m/s)	9.99	7.19	6.61
Γωνιακή Ταχύτητα (rad/s)	1.29	1.09	0

Επεξηγηματικά, για τον παραπάνω πίνακα, σημειώνεται πως οι μέγιστες τιμές των μεγεθών «κινητική ενέργεια» και «μεταθετική ταχύτητα» καταγράφονται στο μεταίχμιο μεταξύ του ποδός του εκάστοτε διαμορφωμένου πρανούς ορύγματος και της τάφρου ή του αναβαθμού. Ουσιαστικά μέχρι το σημείο αυτό, οι τιμές των παραπάνω μεγεθών αυξάνονται συνεχώς. Η μέγιστη τιμή τους συναντάται τη στιγμή πρόσκρουσης του τεμάχους στο μεταίχμιο μεταξύ του πρανού ορύγματος και της τάφρου ή του αναβαθμού. Έπειτα απορροφάται κινητική ενέργεια και ως εκ τούτου οι τιμές αυτής και της μεταθετικής ταχύτητας μειώνονται. Η μέγιστη τιμή του ύψους αναπήδησης συναντάται εντός του αναβαθμού ή της τάφρου και οφείλεται στην πρόσκρουση του τεμάχους στο μεταίχμιο μεταξύ του πρανού και του αναβαθμού ή της τάφρου. Τέλος η γωνιακή ταχύτητα λαμβάνει την υψηλότερη τιμή της, και μοναδική μη μηδενική, κατόπιν πρόσκρουσης των τεμαχών στο πλευρικό τμήμα της εκάστοτε τάφρου.

Συνεχίζοντας με το δεύτερο σενάριο, όπως αυτό αναλύθηκε πρωτύτερα, δημιουργήθηκαν ξανά μέσω του Dips 5.1 οι στερεογραφικές απεικονίσεις των επιφανειών. Ουσιαστικά η μόνη αλλαγή συγκριτικά με το πρώτο σενάριο, όσον αφορά τα σχεδιαζόμενα δίκτυα Schmidt, αφορά τα πρανή ορυγμάτων ανάντη της παράπλευρης οδού. Συγκεκριμένα εξετάζεται η διαμόρφωση με κλίση ίση με 34°, αντί για 45° που εξετάστηκε στο πρώτο σενάριο.



**Σχήμα 4.9: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 34°/244° (ανάντη της παράπλευρης οδού) και εμφανιζόμενων ασυνεχειών ( $c=0kPa$ ,  $\phi=33^\circ$ )**

#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

Παρατηρώντας τα στοιχεία του δικτύου, γίνεται σαφές από το Test Markland πως όλοι οι συντελεστές ασφαλείας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης σε συνθήκες στατικής φόρτισης, θα είναι μεγαλύτεροι της μονάδας για κάθε συνδυασμό τεμνόμενων ασυνεχειών. Επομένως χρησιμοποιώντας ξανά το Swedge 4.0, δύνανται να υπολογιστούν οι συντελεστές ασφαλείας για συνθήκες όπου οι ασυνέχειες είναι πληρωμένες με νερό, αλλά και στην περίπτωση όπου στην παραπάνω συνθήκη προστεθεί και σεισμική φόρτιση. Λαμβάνοντας υπόψιν πως για το πρανές ανάντη της κύριας οδού δεν υπάρχει κάποια διαφοροποίηση σε σχέση με το πρώτο σενάριο, οι πίνακες για τις δυναμικές σφηνοειδείς και επίπεδες ολισθήσεις ταυτίζονται με αυτούς που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στον πίνακα 4.12.

**Πίνακας 4.12: Δυναμικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανών 34°/244°, ύψους 8m έκαστον (ανάντη της παράπλευρης οδού)**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ειδικό Βάρος $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
B1 & J1	2.67	3.68	2.62	1.52
B1 & J2		3.90	2.90	1.62
B1 & J3		5.47	4.21	2.09
B1 & J4		3.68	1.23	1.03
B2 & J1		12.46	9.80	3.67
<b>B2 &amp; J2</b>		2.62	1.37	<b>1.00</b>
<b>B2 &amp; J3</b>		1.44	<b>0</b>	<b>0</b>
B1 & B2		3.68	2.68	1.53

Από τα στοιχεία του πίνακα, προκύπτει πως σε συνθήκες όπου οι ασυνέχειες είναι πληρωμένες με νερό, αναμένεται ολίσθηση της βραχοσφήνας που δημιουργείται από την τομή των ασυνεχειών B2 και J3. Για την τιμή 1.00 που λαμβάνει ο συντελεστής A<sub>3</sub> του ζεύγους B2 και J2, δεν θα πραγματοποιηθεί περαιτέρω διερεύνηση λόγω της υποτίμησης των συντελεστών A<sub>2</sub> και A<sub>3</sub> από το Swedge 4.0. Στη συνέχεια ακολουθεί ο Πίνακας 4.13, όπου αναγράφονται οι συντελεστές ασφαλείας έναντι επίπεδης ολίσθησης των δύο πρανών ορυγμάτων κλίσης 34°. Η τιμή του συντελεστή ασφαλείας A<sub>1</sub> υπήρχε βεβαιότητα πως θα υπερβαίνει τη μονάδα, καθώς από τη μία πλευρά η διαφορά της διεύθυνσης μέγιστης κλίσης του πρανούς και της ασυνέχειας B1 είναι 10° (< 20°) και η κλίση του πρανούς (ήτοι 34°) είναι μεγαλύτερη από αυτή της ασυνέχειας B1 (ήτοι 10°), αλλά από την άλλη η γωνία εσωτερικής τριβής των ασυνεχειών (ήτοι 33°) είναι μεγαλύτερη της κλίσης της ασυνέχειας.

**Πίνακας 4.13: Δυναμική επίπεδη ολίσθηση και συντελεστές ασφαλείας πρανών 34°/244°, ύψους 8m έκαστον (ανάντη της παράπλευρης οδού)**

Ασυνέχεια	Ειδικό Βάρος $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
B1	2.67	3.68	2.23	1.22

Στη συνέχεια, το τελευταίο βήμα πριν την έναρξη της προσομοίωσης στο RocFall 4.0, είναι η εύρεση των τιμών του βάρους των υπό ολίσθηση τεμαχών βράχου από το κάθε διαμορφωμένο πρανές. Κατά τα γνωστά, υπολογίστηκαν οι τιμές του βάρους των τεμαχών για τις δυναμικές σφηνοειδείς ολισθήσεις. Για την τιμή της βραχοσφήνας πραγματοποιήθηκε η κατάλληλη απομείωση. Για το πρανές ανάντη της κύριας οδού, ισχύουν οι πίνακες που παρουσιάστηκαν στο πρώτο σενάριο, ενώ ο Πίνακας 4.14 αφορά τα πρανή ορυγμάτων ανάντη της παράπλευρης οδού.



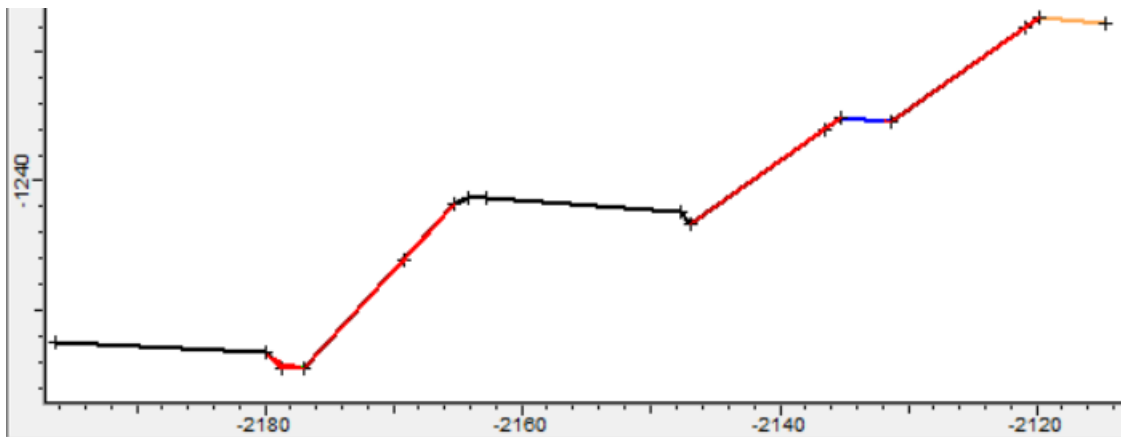
**Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα**

**Πίνακας 4.14: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για τα πρανή (34°/244°) ύψους 8m έκαστον**

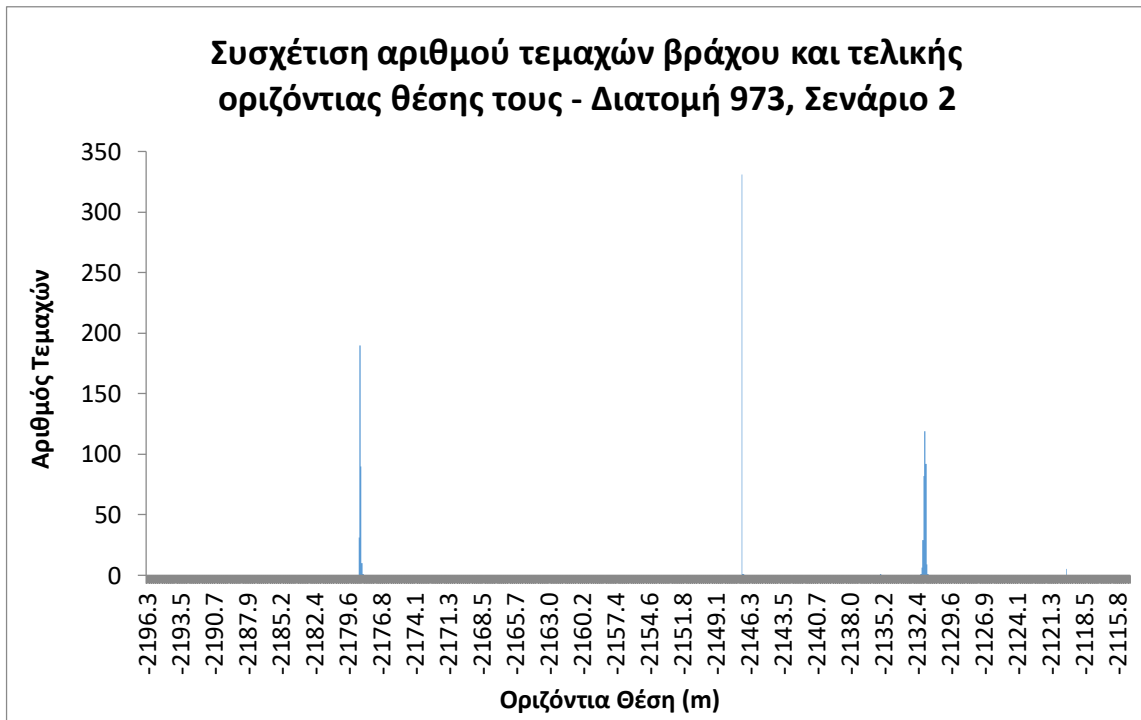
Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
B2 & J3	2.7	0.1	0.1

Επομένως η σχηματιζόμενη βραχοσφήνα έχει βάρος ίσο με 0.1 τόνους. Ως εκ τούτου για τα δύο πρανή ορυγμάτων ανάντη της παράπλευρης οδού στην ανάλυση θα χρησιμοποιηθεί ως μέγιστο βάρος, αυτό (ήτοι 0.7 τόνοι) των τεμαχών του κερματισμένου -από τη χρήση εκρηκτικών υλών- μετώπου του πρανούς ορύγματος.

Συνεπώς δύναται να πραγματοποιηθεί η ανάλυση στο RocFall 4.0, τα αποτελέσματα της οποίας απεικονίζονται στα παρακάτω σχήματα. Στο σημείο αυτό τονίζεται πως στο παρακάτω σχήμα η τελική θέση της τραπεζοειδούς τάφρου είναι στο σημείο (x,y) = (-2180.05, -1253.38), ενώ της τριγωνικής τάφρου στο σημείο (x,y) = (-2147.8, -1242.4).



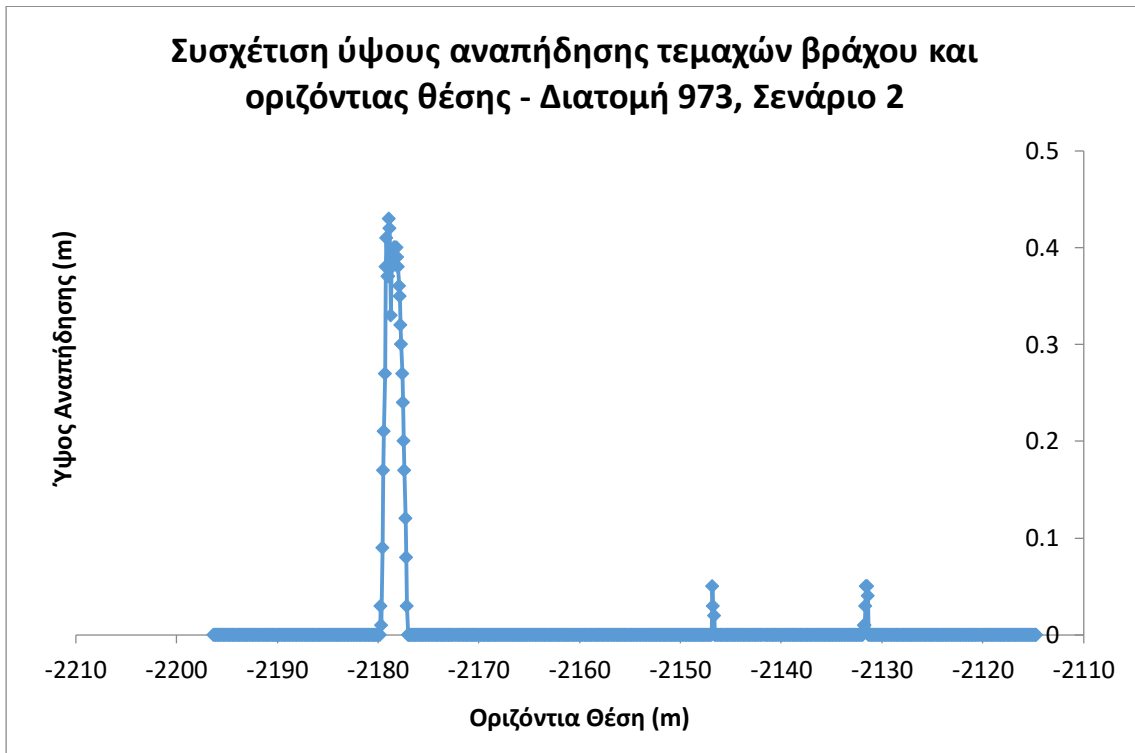
**Σχήμα 4.10: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 973 με διαμόρφωση πρανών με κλίσεις 48°, 34° & 34° κατά σειρά από αριστερά προς δεξιά.**



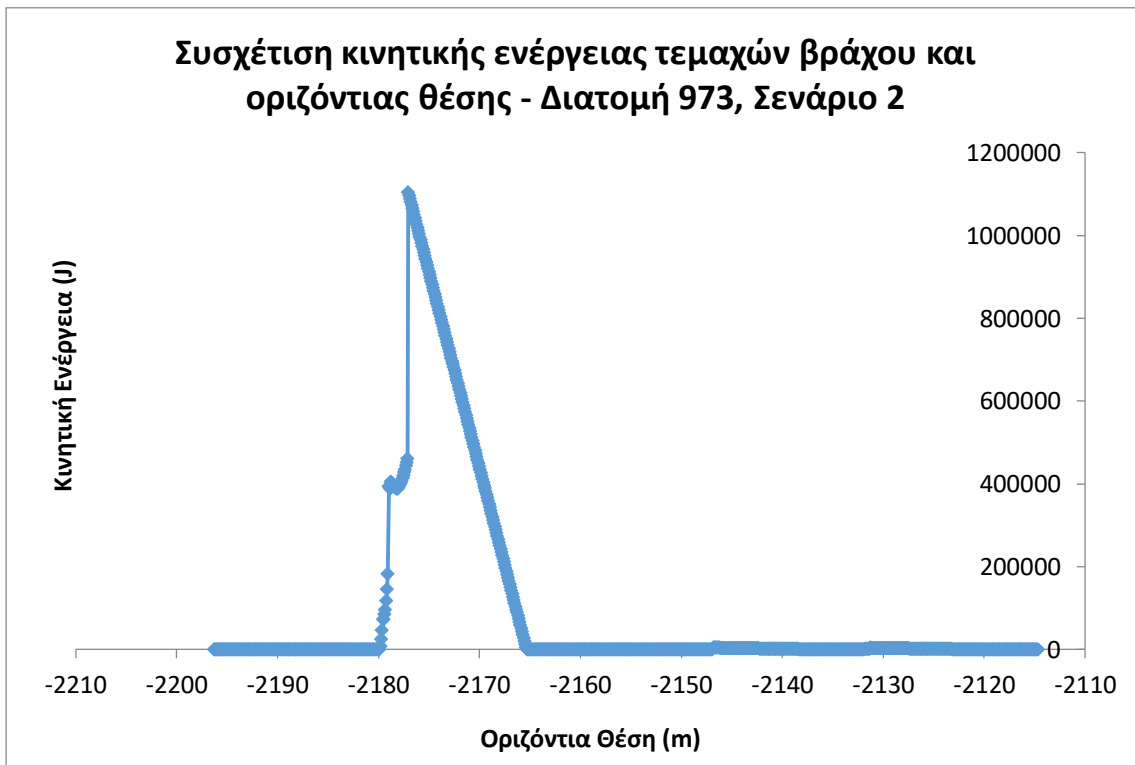
**Σχήμα 4.11: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 973, σενάριο 2**

#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

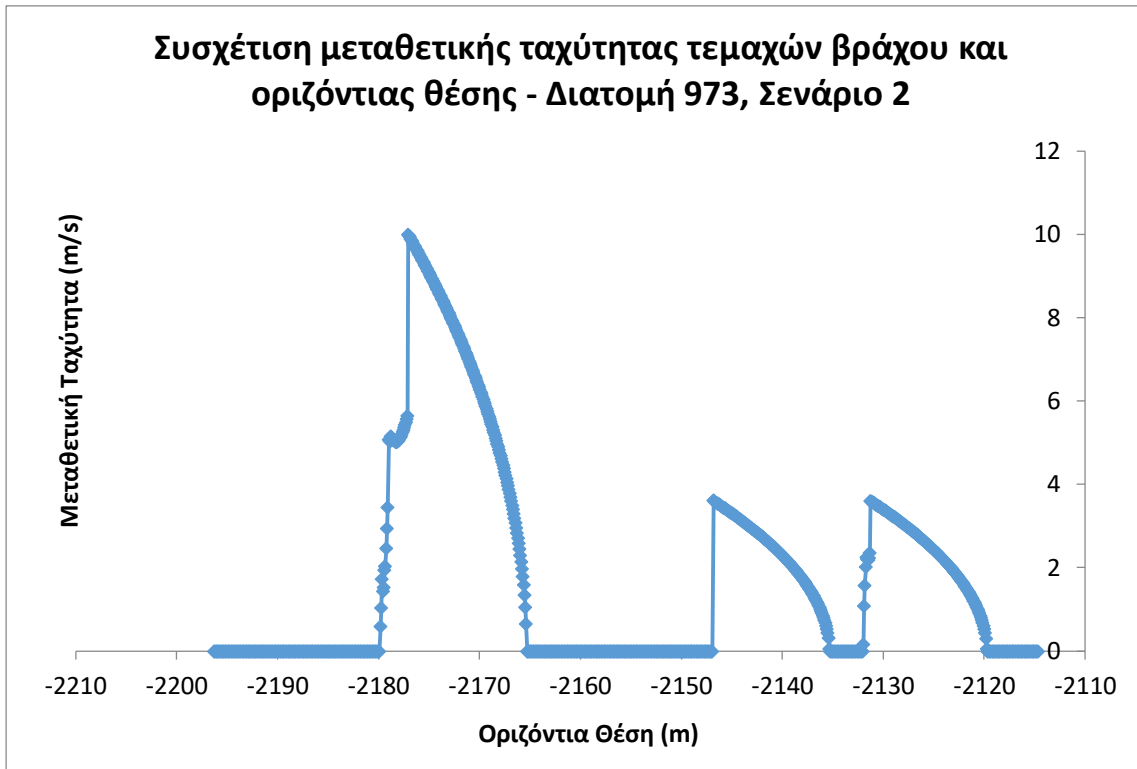
Μέσω των σχημάτων 4.10 και 4.11, προκύπτει πως τόσο η κύρια (κοντινότερο στο πρανές σημείο το  $(x,y) = (-2180.05, -1253.38)$ ), όσο και η παράπλευρη οδός (κοντινότερο στο πρανές σημείο το  $(x,y) = (-2147.8, -1242.4)$ ), προστατεύονται έναντι εισχώρησης τεμαχών βράχου. Επομένως είναι σαφές πως οι τάφροι και ο αναβαθμός λειτουργούν πλήρως αποτελεσματικά.



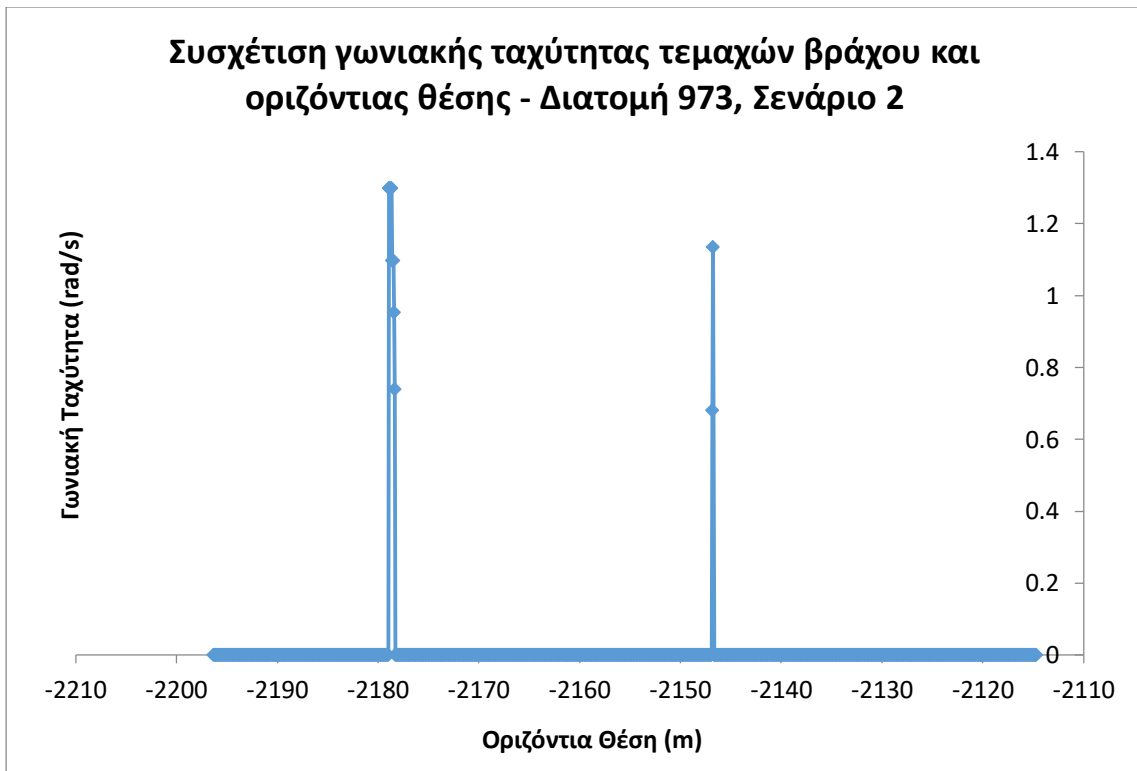
Σχήμα 4.12: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 973, σενάριο 2



Σχήμα 4.13: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 973, σενάριο 2



Σχήμα 4.14: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 973, σενάριο 2



Σχήμα 4.15: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 973, σενάριο 2

Η αποδελτίωση των παραπάνω διαγραμμάτων, πραγματοποιείται μέσω του πίνακα 4.15 όσον αφορά τις μέγιστες τιμές του εκάστοτε μεγέθους εντός της πρώτης και της δεύτερης τάφρου, αλλά και του αναβαθμού.

**Πίνακας 4.15: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 973, σενάριο 2**

Μέγεθος Διάστημα Εξέτασης	Τάφρος 1 (ανάντη της κύριας οδού)	Τάφρος 2 (ανάντη της παράπλευρης οδού)	Αναβαθμός
Ύψος Αναπήδησης (m)	0.43	0.05	0.05
Κινητική Ενέργεια (kJ)	1105.00	4.56	4.56
Μεταθετική Ταχύτητα (m/s)	10.00	3.61	3.61
Γωνιακή Ταχύτητα (rad/s)	1.29	1.14	0

Οι θέσεις μεγιστοποίησης των τιμών είναι αυτές που αναφέρθηκαν και κατά την ανάλυση του πρώτου σεναρίου. Παρατηρείται πως η ηπιότερη διαμόρφωση των πρανών ορυγμάτων ανάντη της παράπλευρης οδού, επιφέρει σημαντική απομείωση της μεταθετικής ταχύτητας των τεμαχών βράχου αλλά και του ύψους αναπήδησης, το οποίο εξαρτάται άμεσα από αυτήν. Επιπλέον η μείωση της μεταθετικής ταχύτητας, σε συνδυασμό με τη μικρότερη μάζα του βραχοτεμάχους, οδηγεί σε μείωση και της κινητικής ενέργειας. Αναφορικά με τη γωνιακή ταχύτητα, οι μη μηδενικές τιμές εντός των τάφρων προκύπτουν κατόπιν σύγκρουσης του βραχοτεμάχους με το πλευρικό τμήμα της τάφρου και ως εκ τούτου δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο ασφαλές συμπέρασμα. Τέλος οι μικρές διαφοροποιήσεις, μεταξύ των δύο σεναρίων, στις τιμές των μεγεθών του πρανού ανάντη της κύριας οδού οφείλονται στην επιλογή της τυχαίας γεννήτριας αριθμών.

#### **4.3.2 Διατομή ορύγματος στη Χ.Θ. 165+970 (Διατομή 1007)**

Η αρχική μελέτη οδοποιίας προβλέπει τη διαμόρφωση των πρανών ορυγμάτων με κλίση 2:1 (υ:β) (64°/276°) και την κατασκευή αναβαθμών ανά 12m ύψος για το πρανές συνολικού ύψους 30.1m. Επιπρόσθετα προβλέπεται, στο πόδι του πρανού, η δημιουργία τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων βάθους 2m και πλάτους 5m

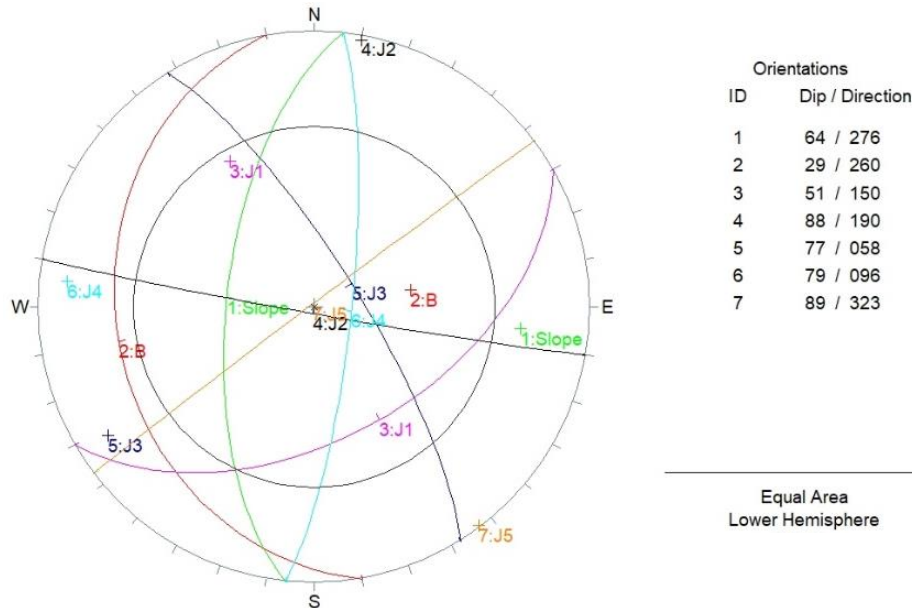
Η αναδιαμόρφωση του πρανού, λόγω της απαίτησης κατασκευής μίας επιπλέον λωρίδας κυκλοφορίας και λαμβάνοντας υπόψιν τις τρεις βασικές προαναφερθείσες προϋποθέσεις, επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί ως εξής. Το πρώτο σενάριο αφορά την αναδιαμόρφωση με κλίση των πρανών ορυγμάτων ίση με 2:1 (υ:β) (64°/276°), δημιουργία δύο αναβαθμών πλάτους 4m και κλίσης 5°, αλλά και τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων βάθους 2m και πλάτους 5m. Κατά την εφαρμογή του σεναρίου αυτού, το μέγιστο ύψος του συνολικά διαμορφωμένου πρανού ορίζεται ίσο με 28.4m, ενώ η μέση του κλίση είναι 1.3:1 (υ:β).

Το δεύτερο σενάριο αφορά μία συντηρητικότερη προσέγγιση της αναδιαμόρφωσης, δηλαδή με κλίση των πρανών ορυγμάτων ίση με 1.4:1 (υ:β) (55°/276°). Η επιλογή αυτής της κλίσης, αποτέλεσε την ηπιότερη και αυστηρότερη δυνατή, βάσει των τιμών του RQD για τα συγκεκριμένα βάρη. Η διαμόρφωση αυτή προβλέπει την κατασκευή δύο αναβαθμών πλάτους 4m και κλίσης 5°, αλλά και τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων με βάθος ίσο με 1.5m και πλάτος ίσο με 5m. Το μέγιστο ύψος του συνολικά διαμορφωμένου πρανού ισούται με 28.2m, ενώ η μέση κλίση του ορίζεται ως 1:1 (υ:β).

Τόσο στο πρώτο, όσο και στο δεύτερο σενάριο προτείνεται η πρώτη στρώση, πάχους περίπου 2m και αποτελούμενη από χάλικες έως αργιλώδεις χάλικες, να αφαιρεθεί. Διαφορετικά θα μπορούσε να διαμορφωθεί με κλίση 1:1.5 (υ:β), όπως ορίζεται στον Κ.Μ.Ε. Επιπλέον στο σημείο εκείνο προτείνεται η διαμόρφωση να είναι επίπεδη για τα πρώτα τουλάχιστον 2m μήκους.

## Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

Για τις αναλύσεις ευστάθειας σε αυτή την περίπτωση η συνοχή των ασυνεχειών θεωρήθηκε ξανά μηδενική, ενώ η γωνία εσωτερικής τριβής τους, όπως ορίζεται από τη μελέτη, θεωρήθηκε ίση με  $35^\circ$ .



**Σχήμα 4.16: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς  $64^\circ/276^\circ$  και εμφανιζόμενων ασυνεχειών ( $c=0kPa$ ,  $\phi=35^\circ$ )**

Εφαρμόζοντας το Test Markland, στην παραπάνω στερεογραφική απεικόνιση, προκύπτει πως σε συνθήκες στατικής φόρτισης δεν αναμένεται σφηνοειδής ολίσθηση. Επομένως πρέπει, εν συνεχεία, να εξεταστεί η ευστάθεια όσον αφορά την περίπτωση ασυνεχειών πληρωμένων με νερό (συντελεστής ασφαλείας  $A_2$ ), καθώς και ταυτόχρονα ύπαρξης σεισμικής φόρτισης (συντελεστής ασφαλείας  $A_3$ ).

Στο σημείο αυτό οφείλουν να αναφερθούν τα εξής. Τα πρώτα δύο πρανή θα έχουν τους ίδιους συντελεστές ασφαλείας  $A_2$  και  $A_3$ , οι οποίοι θα είναι ελαφρώς μεγαλύτεροι από τους παρουσιαζόμενους, όπως εξηγήθηκε και στην ανάλυση της διατομής 973, εξαιτίας της αδυναμίας του Swedge 4.0 να λάβει υπόψιν τη γωνία των  $-5^\circ$  για το άνω μέτωπο. Ωστόσο οι παραπάνω συντελεστές ασφαλείας δεν θα μεταβάλλονταν και τόσο σημαντικά, ώστε οι τιμές που είναι μικρότερες της μονάδας, να γίνουν μεγαλύτερες αυτής. Αναφορικά με το τρίτο πρανές ορύγματος, η γωνία του άνω μετώπου είναι μηδενική, επομένως δεν υπάρχει κάποια υποτίμηση των συντελεστών του.

**Πίνακας 4.16: Δυναμικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς  $64^\circ/276^\circ$  για τα τρία κατά σειρά διαμορφωμένα πρανή (ύψους 12m, 12m και 5.2m)**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ειδικό Βάρος $\gamma$ ( $t/m^3$ )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		$A_1$	$A_2$	$A_3$
<b>B &amp; J1</b>	2.53	1.26	<b>0.53</b>	<b>0.45</b>
<b>B &amp; J2</b>		1.58	1.05	<b>0.82</b>
B & J3		5.56	4.38	2.52
<b>B &amp; J5</b>		1.26	<b>0.72</b>	<b>0.58</b>
J1 & J5		12.96	9.92	5.17

Από τον παραπάνω πίνακα, γίνεται αντιληπτό πως οι συνδυασμοί των ασυνεχειών B και J1, αλλά και B και J5, σε συνθήκες ασυνεχειών πληρωμένων με νερό, δημιουργούν συνθήκες σφηνοειδούς ολίσθησης με συντελεστή ασφαλείας μικρότερο της μονάδας. Αν σε αυτές τις

#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

συνθήκες προστεθεί και η συνθήκη σεισμικής φόρτισης, τότε αναμένεται ολίσθηση και της βραχοσφήνας που δημιουργείται από την τομή των ασυνεχειών B και J2.

Αντίστοιχα για τη δυνητική επίπεδη ολίσθηση μέσω της ασυνέχειας B, δημιουργήθηκαν οι πίνακες 4.17 και 4.18, μέσω των οποίων είναι εμφανές πως η περίπτωση ασυνεχειών πληρωμένων με νερό επαρκεί ώστε να οδηγήσει σε επίπεδη ολίσθηση του τεμάχους. Αναφορικά με τον συντελεστή ασφαλείας έναντι στατικής φόρτισης, η -μεγαλύτερη της μονάδας- τιμή του ήταν αναμενόμενη. Συγκεκριμένα από τη μία πλευρά η διαφορά της διεύθυνσης μέγιστης κλίσης του πρανού και της ασυνέχειας B είναι  $16^\circ (< 20^\circ)$  και η κλίση του πρανού (ήτοι  $64^\circ$ ) είναι μεγαλύτερη από αυτή της ασυνέχειας B (ήτοι  $29^\circ$ ), αλλά από την άλλη η γωνία εσωτερικής τριβής των ασυνεχειών (ήτοι  $35^\circ$ ) είναι μεγαλύτερη της κλίσης της ασυνέχειας B.

**Πίνακας 4.17: Δυνητική επίπεδη ολίσθηση και συντελεστές ασφαλείας πρανού  $64^\circ/276^\circ$  για τα δύο πρώτα κατά σειρά διαμορφωμένα πρανή (ύψους 12m)**

Ασυνέχεια	Ειδικό Βάρος $\gamma$ ( $t/m^3$ )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
<b>B</b>	2.53	1.26	<b>0.46</b>	<b>0.29</b>

**Πίνακας 4.18: Δυνητική επίπεδη ολίσθηση και συντελεστές ασφαλείας πρανού  $64^\circ/276^\circ$  για το τρίτο κατά σειρά διαμορφωμένο πρανές (ύψους 5.2m)**

Ασυνέχεια	Ειδικό Βάρος $\gamma$ ( $t/m^3$ )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
<b>B</b>	2.53	1.26	<b>0.37</b>	<b>0.22</b>

Η παραπάνω διαφοροποίηση έγκειται στη διαφορετική γεωμετρία του άνω μετώπου του πρανού. Για τα δύο πρώτα πρανή στο RocPlane 2.0 δόθηκε γωνία ίση με  $-5^\circ$ , λόγω των αναβαθμών, ενώ για το τρίτο πρανές δόθηκε τιμή ίση με  $0^\circ$ .

Επομένως, γνωρίζοντας τις δυνητικές ολισθήσεις, απομένει να βρεθεί το βάρος του ολισθαίνοντος βράχου, ώστε να χρησιμοποιηθεί ως παράμετρος στο RocFall 4.0. Για την εύρεσή του, μέσω των Swedge 4.0 και RocPlane 2.0, χρησιμοποιήθηκε για κάθε πρανές ως ύψος του τεμάχους το 1/3 του συνολικού ύψους του πρανού. Για την πραγματική τιμή του βάρους της βραχοσφήνας, η οποία αναμένεται να αποκολληθεί από τα δύο πρώτα πρανή ορυγμάτων, πραγματοποιήθηκε γεωμετρική απομείωση της αρχικής μορφής του τεμάχους. Τα αποτελέσματα για κάθε τμήμα του πρανού παρουσιάζονται στην ακόλουθη σειρά πινάκων.

**Πίνακας 4.19: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για τα δύο πρώτα κατά σειρά διαμορφωμένα πρανή ( $64^\circ/276^\circ$ ) ύψους 12m έκαστον**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
B & J1	4.0	77.9	73.7
B & J2		185.2	166.7
B & J5		118.9	110.1

**Πίνακας 4.20: Υπολογισμός βάρους τεμάχους δυνητικής επίπεδης ολίσθησης για τα δύο πρώτα κατά σειρά διαμορφωμένα πρανή ( $64^\circ/276^\circ$ ) ύψους 12m έκαστον**

Ασυνέχεια	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Τεμάχους (t/m)	Βάρος Τεμάχους (t)
<b>B</b>	4.0	24.0	96

#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

Ως εκ τούτου, για τα δύο πρώτα πρανή ορυγμάτων, στην προσομοίωση λαμβάνεται μάζα ίση με 166.7 τόνους, ως η μέγιστη μεταξύ των αναμενόμενων σφηνοειδών και επίπεδων ολισθήσεων, αλλά και των κερματισμένων τεμαχών στο μέτωπο του πρανού λόγω της έκρηξης. Ο άξονας ολίσθησης είναι αυτός της τομής των επιφανειών (28°/279°).

**Πίνακας 4.21: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το τρίτο κατά σειρά διαμορφωμένο πρανές (64°/276°) ύψους 5.2m**

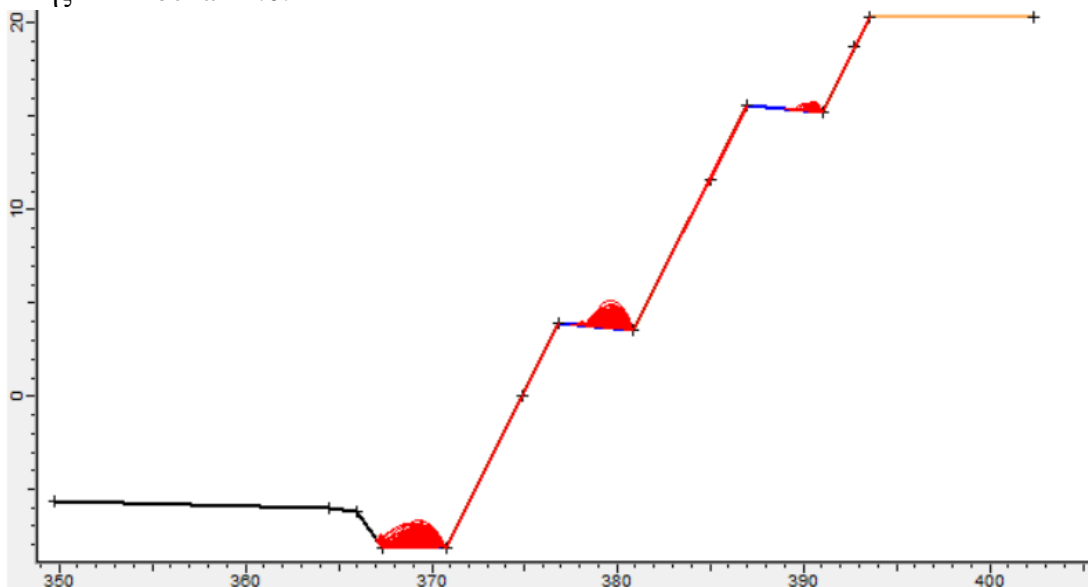
Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)
B & J1	1.7	5.9
B & J2		14.2
B & J5		9.1

**Πίνακας 4.22: Υπολογισμός βάρους τεμάχους δονητικής επίπεδης ολίσθησης για το τρίτο κατά σειρά διαμορφωμένο πρανές (64°/276°) ύψους 5.2m**

Ασυνέχεια	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Τεμάχους (t/m)	Βάρος Τεμάχους (t)
B	1.7	4.8	8.2

Από τα παραπάνω, για το πρανές μεταξύ του δευτέρου αναβαθμού και υψηλότερου διαμορφωμένου τμήματος, η προσομοίωση λαμβάνει χώρα με την τιμή της παραμέτρου μάζας να ισούται με 14.2 τόνους, επιλέγοντας τη μέγιστη τιμή κατά τα γνωστά. Ο άξονας ολίσθησης είναι αυτός της τομής των επιφανειών (28°/279°). Τέλος σημειώνεται πως για κάθε πρανές, στην επιλογή της μέγιστης τιμής μάζας λήφθηκε υπόψιν και η μάζα των 0.6 τόνων, η οποία αντιστοιχεί στα βραχοτεμάχια του κερματισμένου μετώπου του πρανού.

Ολοκληρώνοντας τις κινηματικές αναλύσεις ευστάθειας, ακολουθεί η ανάλυση που έλαβε χώρα στο RocFall 4.0, για το πρώτο σενάριο (πρανή ορυγμάτων 64°/276°). Τα δύο πρώτα σχήματα αφορούν την πορεία και τη θέση των τεμαχών βράχου, ενώ τα υπόλοιπα τέσσερα αποτελούν αναλύσεις συσχέτισης του ύψους αναπήδησης, της κινητικής ενέργειας, της μεταθετικής και της γωνιακής ταχύτητας με την οριζόντια θέση. Σημειώνεται πως οι τιμές των μεγεθών και ο συσχετισμός με την οριζόντια θέση, προέρχονται από τα αποτελέσματα της ανάλυσης του RocFall 4.0.



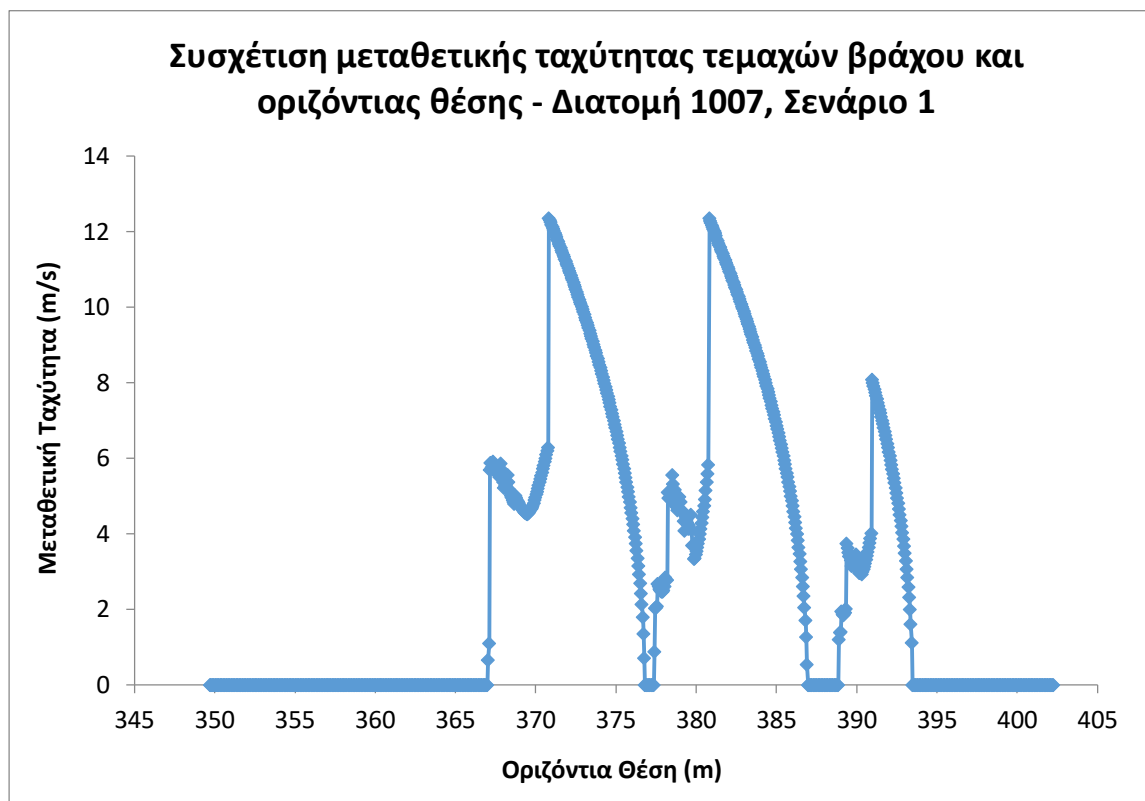
**Σχήμα 4.17: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 1007 με διαμόρφωση πρανών με κλίση 64°.**







*Σχήμα 4.20: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1007, σενάριο 1*



*Σχήμα 4.21: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1007, σενάριο 1*



**Σχήμα 4.22: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1007, σενάριο 1**

Η αποδελτίωση των παραπάνω σχημάτων πραγματοποιείται μέσω του πίνακα 4.23, όσον αφορά τις μέγιστες τιμές του εκάστοτε μεγέθους σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης.

**Πίνακας 4.23: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 1007, σενάριο 1**

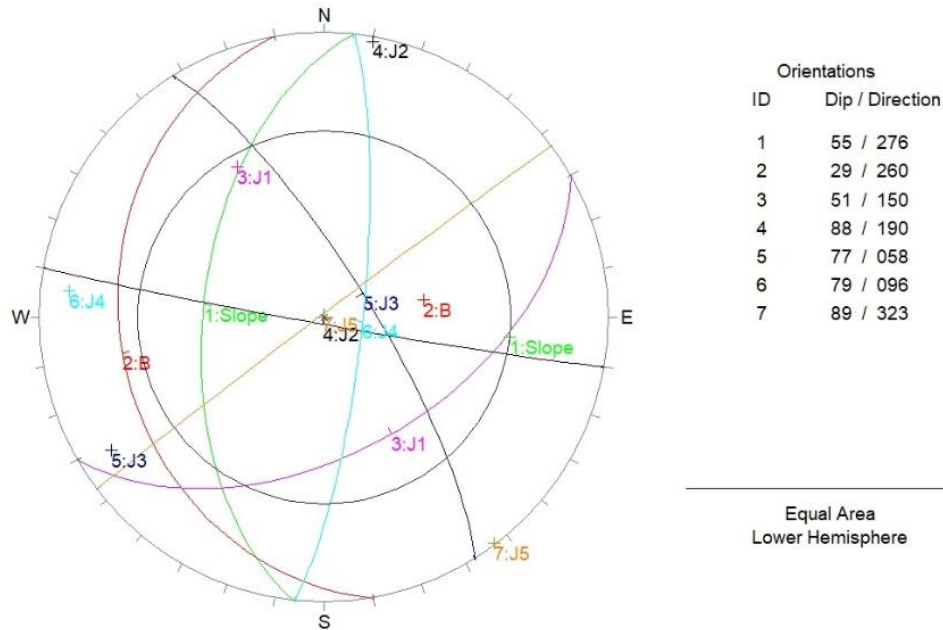
Μέγεθος Διάστημα Εξέτασης	Τάφρος	Πρώτος Αναβαθμός	Δεύτερος Αναβαθμός
Ύψος Αναπήδησης (m)	1.44	1.46	0.55
Κινητική Ενέργεια (kJ)	12712.75	12712.75	463.53
Μεταθετική Ταχύτητα (m/s)	12.35	12.35	8.08
Γωνιακή Ταχύτητα (rad/s)	1.02	0	0

Για τα παραπάνω αποσαφηνίζεται πως η μέγιστη κινητική ενέργεια και η μεταθετική ταχύτητα καταγράφεται τη στιγμή επαφής του τεμαχούς με το μεταίχμιο του ποδός του πρανούς και την έναρξη της τάφρου ή του αναβαθμού. Αντίστοιχα το μέγιστο ύψος αναπήδησης καταγράφεται εντός της τάφρου ή του αναβαθμού, έπειτα από την σύγκρουση του τεμαχούς με το μεταίχμιο ποδός και τάφρου ή αναβαθμού. Τα παραπάνω συμπεραίνονται και για όλες τις υπόλοιπες υπό εξέταση διατομές. Τέλος η μέγιστη τιμή, και μοναδική μη μηδενική, της γωνιακής ταχύτητας καταγράφεται εντός της τάφρου και συγκεκριμένα μετά την πρόσκρουση των τεμαχών στο πλευρικό τμήμα αυτής, κατάντη της οδού.

Η ανάλυση του δεύτερου σεναρίου, πραγματοποιείται ως εξής. Αρχικά σχηματίζεται η στερεογραφική απεικόνιση των επιφανειών της περιοχής του πρανούς και ο κώνος τριβής μέσω

## Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

της γωνίας εσωτερικής τριβής των ασυνεχειών (μετρώντας τη σχετική απόσταση  $\phi = 35^\circ$  από την περίμετρο του δικτύου).



**Σχήμα 4.23: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς  $55^\circ/276^\circ$  και εμφανιζόμενων ασυνεχειών ( $c=0kPa$ ,  $\phi=35^\circ$ )**

Στη συνέχεια για κάθε επιμέρους πρανές υπολογίζεται ο συντελεστής ασφαλείας σε συνθήκες στατικής φόρτισης, ασυνεχειών πληρωμένων με νερό και σεισμικής φόρτισης σε συνδυασμό με όλα τα παραπάνω. Από το Test Markland αναμένεται οι συντελεστές ασφαλείας σε συνθήκες στατικής φόρτισης, για κάθε συνδυασμό ασυνεχειών, να είναι μεγαλύτεροι της μονάδας. Ως εκ τούτου ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι τιμές των συντελεστών  $A_2$  και  $A_3$ . Υπενθυμίζεται πως για τα δύο πρώτα πρανή ορυγμάτων οι συντελεστές ασφαλείας  $A_2$  και  $A_3$  έχουν υποτιμηθεί ελάχιστα λόγω της αδυναμίας του Swedge 4.0 να συνυπολογίσει και τη γωνία του άνω μετώπου του πρανού, όταν αυτή είναι μεγαλύτερη από  $90^\circ$ . Ωστόσο βάσει και των τιμών του παρακάτω πίνακα, είναι σαφές πως η αδυναμία αυτή δεν επιδρά στις αστοχίες.

**Πίνακας 4.24: Δυναμικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς  $55^\circ/276^\circ$  για τα τρία κατά σειρά διαμορφωμένα πρανή (ύψους 12m, 12m και 5.2m)**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ειδικό Βάρος $\gamma$ ( $t/m^3$ )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		$A_1$	$A_2$	$A_3$
<b>B &amp; J1</b>	2.53	1.26	<b>0.31</b>	<b>0.27</b>
<b>B &amp; J2</b>		1.58	<b>0.96</b>	<b>0.75</b>
B & J3		5.56	4.27	2.46
<b>B &amp; J5</b>		1.26	<b>0.58</b>	<b>0.47</b>
J1 & J5		12.96	9.77	5.09

**Πίνακας 4.25: Δυναμική επίπεδη ολίσθηση και συντελεστές ασφαλείας για τα δύο πρώτα κατά σειρά διαμορφωμένα πρανή ( $55^\circ/276^\circ$ ) ύψους 12m έκαστον**

Ασυνέχεια	Ειδικό Βάρος $\gamma$ ( $t/m^3$ )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		$A_1$	$A_2$	$A_3$
<b>B</b>	2.53	1.26	<b>0.29</b>	<b>0.15</b>

**Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα**

**Πίνακας 4.26: Δυνητική επίπεδη ολίσθηση και συντελεστές ασφαλείας για το τρίτο κατά σειρά διαμορφωμένο πρανές (55°/276°) ύψους 5.2m**

Ασυνέχεια	Ειδικό Βάρος $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
<b>B</b>	2.53	1.26	<b>0.20</b>	<b>0.08</b>

Από τα παραπάνω παρατηρείται πως από την τομή των ασυνεχειών B και J1, B και J2 και B και J5, αναμένεται σφηνοειδής ολίσθηση για συνθήκες ασυνεχειών πληρωμένων με νερό. Αντίστοιχα και στα τρία πρανή, υπό τις ίδιες συνθήκες αναμένεται επίπεδη ολίσθηση κατά την επιφάνεια της ασυνέχειας B. Αναφορικά με τον συντελεστή A<sub>1</sub>, έναντι επίπεδης ολίσθησης, η -μεγαλύτερη της μονάδας- τιμή του ήταν αναμενόμενη, καθώς παρότι η διαφορά της διεύθυνσης μέγιστης κλίσης του πρανούς και της ασυνέχειας B είναι 16° (< 20°) και η κλίση του πρανούς (ήτοι 55°) είναι μεγαλύτερη από αυτή της ασυνέχειας B (ήτοι 29°), η γωνία εσωτερικής τριβής των ασυνεχειών (ήτοι 35°) είναι μεγαλύτερη της κλίσης της ασυνέχειας B.

Επομένως για να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση στο RocFall 4.0 απαιτείται για κάθε πρανές η εύρεση της μέγιστης τιμής της μάζας εκ των αναμενόμενων σφηνοειδών και επίπεδων ολισθήσεων, αλλά και των τεμαχών βράχου που δύνανται να καταπέσουν λόγω του κερματισμού του μετώπου του πρανούς από την έκρηξη. Οι παρακάτω πίνακες αναγράφουν τα βάρη των βραχοτεμαχών που δύνανται να πραγματοποιήσουν σφηνοειδή ή επίπεδη ολίσθηση.

**Πίνακας 4.27: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για τα δύο πρώτα κατά σειρά διαμορφωμένα πρανή (55°/276°) ύψους 12m**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
B & J1	4.0	43.1	41.3
B & J2		133.8	129.6
B & J5		73.7	71.2

**Πίνακας 4.28: Υπολογισμός βάρους τεμάχους δυνητικής επίπεδης ολίσθησης για τα δύο πρώτα κατά σειρά διαμορφωμένα πρανή (55°/276°) ύψους 12m**

Ασυνέχεια	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Τεμάχους (t/m)	Βάρος Τεμάχους (t)
B	4.0	20.5	82

Από τους παραπάνω πίνακες προκύπτει πως η μάζα για την οποία θα «τρέξει» η προσομοίωση των δύο πρώτων πρανών ισούται με 129.6 τόνους, ενώ ο άξονας ολίσθησης είναι αυτός της τομής των επιφανειών (28°/279°). Σημειώνεται πως μάζα του τεμάχους λόγω κερματισμού του μετώπου από τις εκρηκτικές ύλες, είναι η ίδια με αυτή του πρώτου σεναρίου, δηλαδή με 0.6 τόνους.

**Πίνακας 4.29: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το τρίτο κατά σειρά διαμορφωμένο πρανές (55°/276°) ύψους 5.2m**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)
B & J1	1.7	3.3
B & J2		10.3
B & J5		5.7

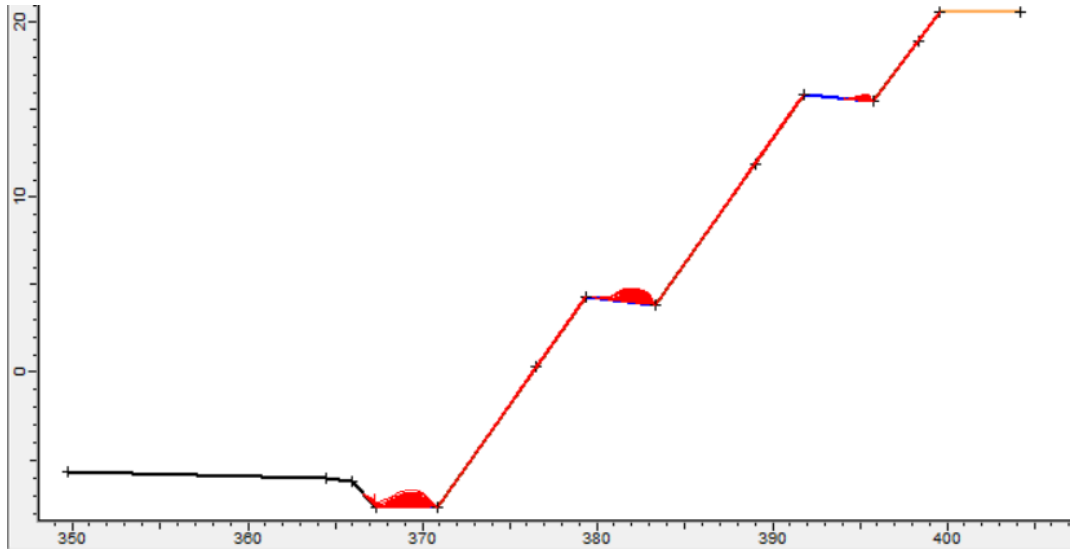
**Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα**

**Πίνακας 4.30: Υπολογισμός βάρους τεμάχους δονητικής επίπεδης ολίσθησης για το τρίτο κατά σειρά διαμορφωμένο πρανές (55°/276°) ύψους 5.2m**

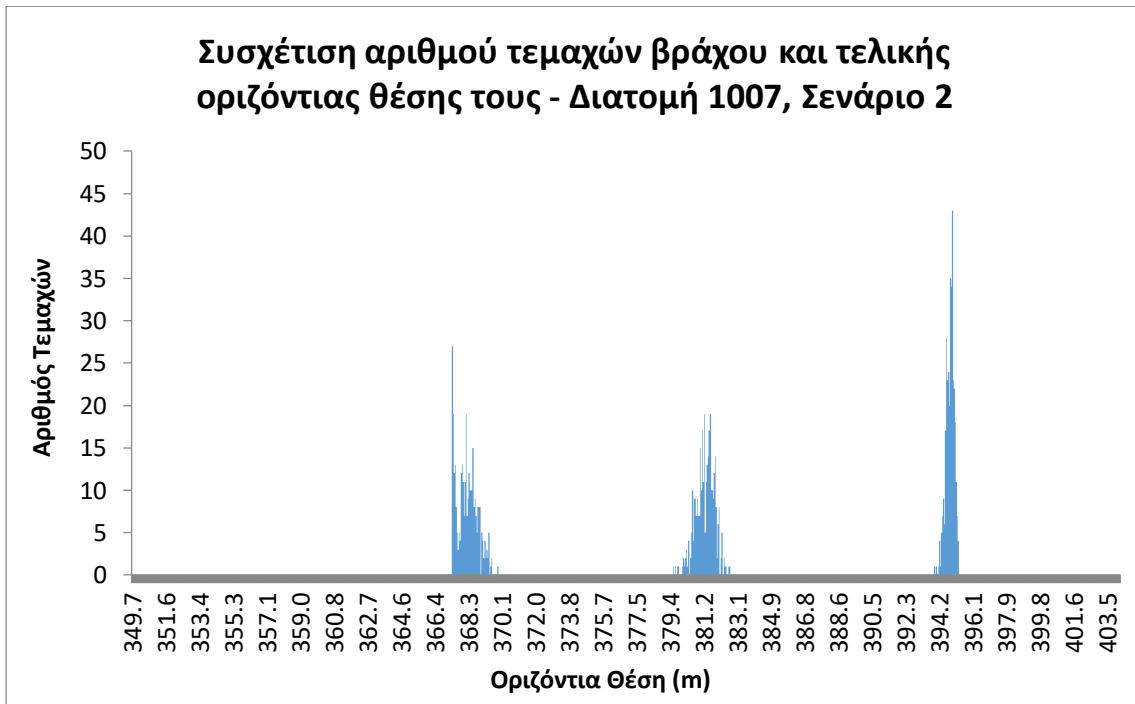
Ασυνέχεια	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Τεμάχους (t/m)	Βάρος Τεμάχους (t)
B	1.7	4.0	6.8

Από τα παραπάνω προκύπτει πως για το τρίτο πρανές ορύγματος, η μέγιστη τιμή του βάρους του ολισθαίνοντος τεμάχους ορίζεται ίση με 10.3 τόνους και βάσει αυτής θα πραγματοποιηθεί η προσομοίωση. Ο άξονας ολίσθησης είναι αυτός της τομής των επιφανειών (28°/279°).

Βάσει των προαναφερθέντων, η προσομοίωση δύναται να λάβει χώρα στο RocFall 4.0. Τα αποτελέσματα για το δεύτερο αυτό σενάριο παρουσιάζονται μέσω των ακόλουθων σχημάτων.



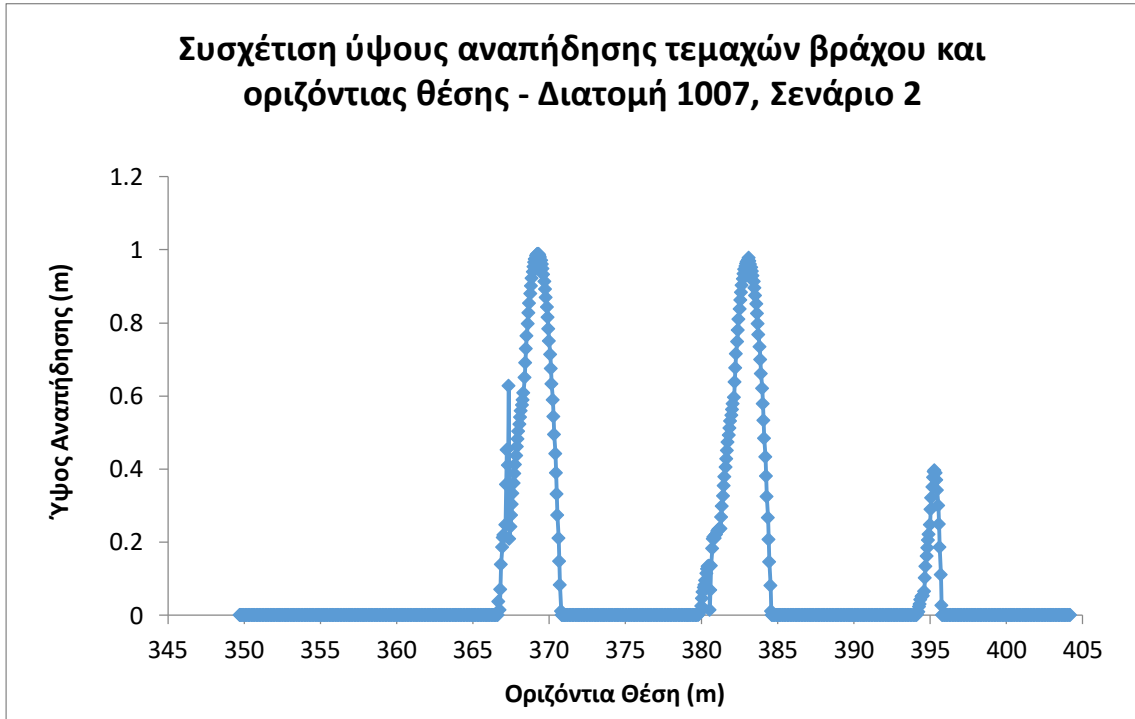
**Σχήμα 4.24: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 1007 με διαμόρφωση πρανών με κλίση 55°.**



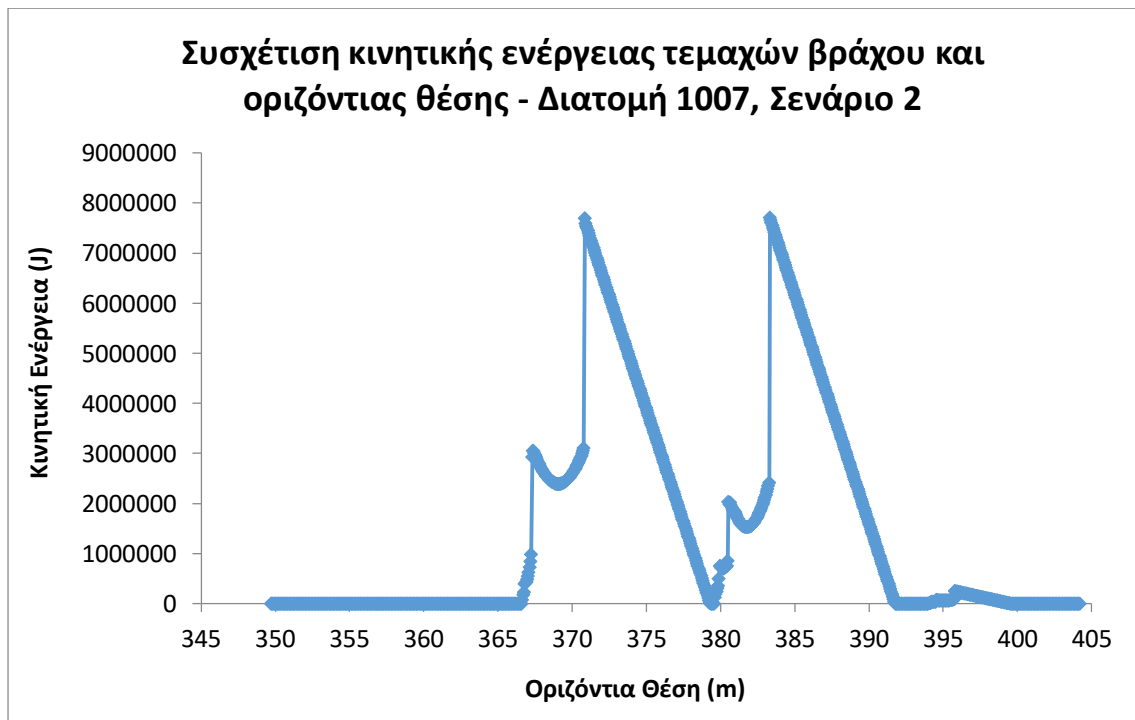
**Σχήμα 4.25: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 1007, σενάριο 2**

#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

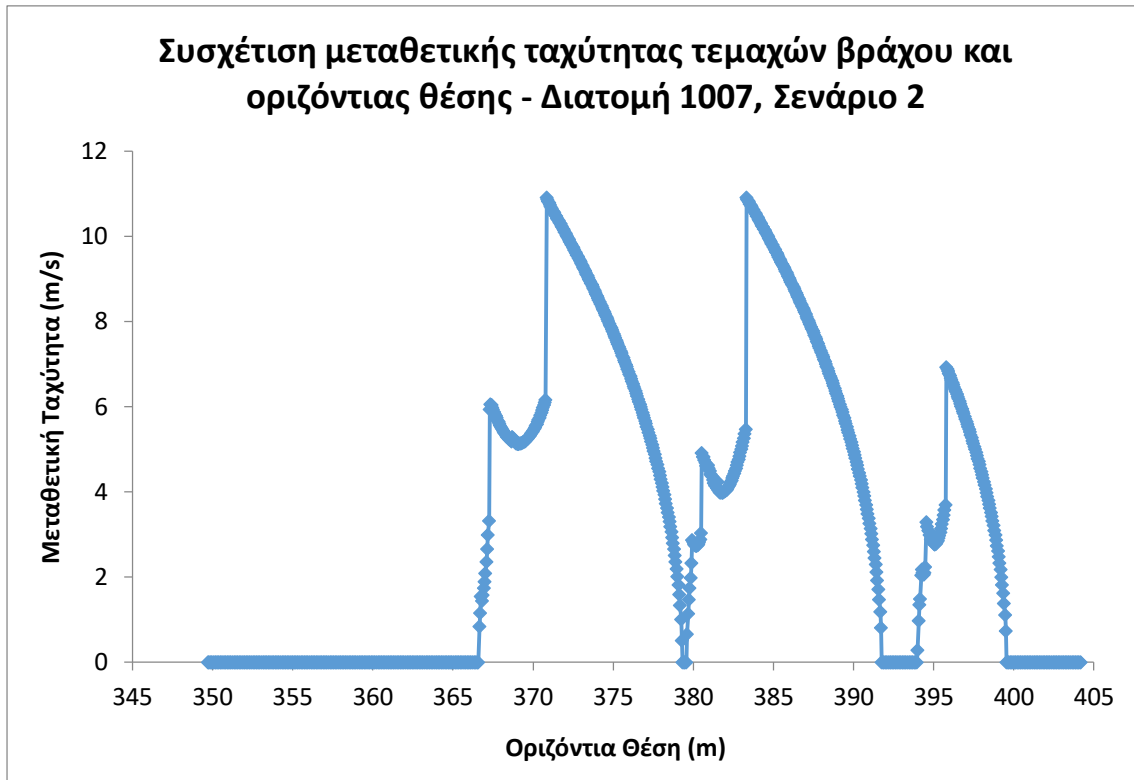
Μέσω των δύο παραπάνω σχημάτων, καθίσταται σαφές πως η οδός, της οποίας το κοντινότερο στο πρηνές σημείο είναι το  $(x,y) = (365.95, -6.25)$  όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4.24, είναι ασφαλής έναντι εισχώρησης τεμαχών βράχου. Συγκεκριμένα παρατηρείται πως όλα τα τεμάχη που φτάνουν έως την τάφρο αναχαίτισης καταπτώσεων, παγιδεύονται εντός αυτής. Επιπλέον παρατηρείται πως και οι αναβαθμοί λειτουργούν πλήρως ικανοποιητικά, αφού τα ολισθαίνοντα τεμάχη -από τα ανάντη πρηνή ορυγμάτων- σταματούν την κίνησή τους εντός αυτών.



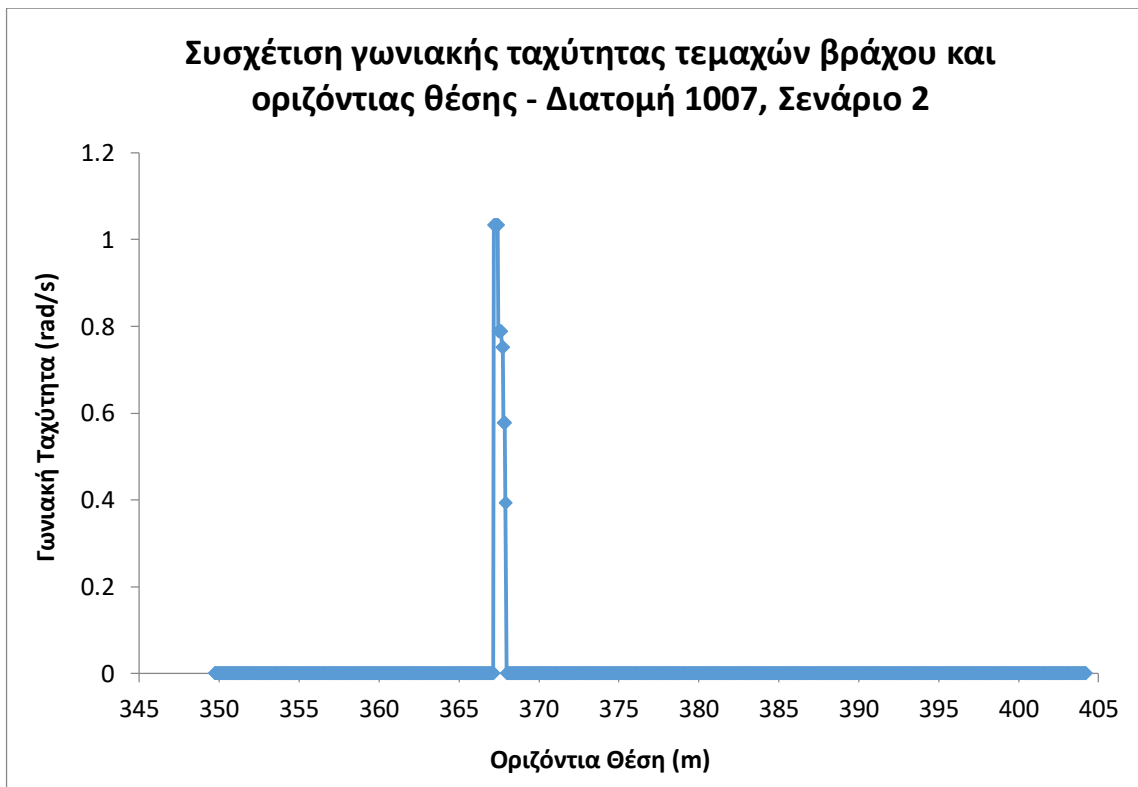
Σχήμα 4.26: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1007, σενάριο 2



Σχήμα 4.27: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1007, σενάριο 2



*Σχήμα 4.28: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1007, σενάριο 2*



*Σχήμα 4.29: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1007, σενάριο 2*

Για τα παραπάνω σχήματα παρουσιάζεται ο Πίνακας 4.31, έχοντας συγκεντρωτική χρήση αναφορικά με τη μέγιστη προκύπτουσα τιμή κάθε μεγέθους σε ορισμένες θέσεις.

**Πίνακας 4.31: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 1007, σενάριο 2**

Μέγεθος Διάστημα Εξέτασης	Τάφρος	Πρώτος Αναβαθμός	Δεύτερος Αναβαθμός
Ύψος Αναπήδησης (m)	0.99	0.98	0.39
Κινητική Ενέργεια (kJ)	7698.89	7713.02	248.04
Μεταθετική Ταχύτητα (m/s)	10.90	10.91	6.94
Γωνιακή Ταχύτητα (rad/s)	1.03	0	0

Από τα παραπάνω αποτελέσματα και συγκριτικά με τα αντίστοιχα του πρώτου σεναρίου, παρατηρείται πως η μείωση της κλίσης του πρανούς, οδηγεί σε μείωση των μέγιστων τιμών των εξεταζόμενων μεγεθών, με τη σημαντικότερη εξ' αυτών να αφορά την κινητική ενέργεια. Συγκεκριμένα η συντηρητικότερη διαμόρφωση του πρανούς απομειώνει τις τιμές του ύψους αναπήδησης και της μεταθετικής ταχύτητας. Η επίδραση στη μεταθετική ταχύτητα έχει άμεσο αντίκτυπο και στην απομείωση της κινητικής ενέργειας. Επιπρόσθετα, η μάζα επιδρά άμεσα στην κινητική ενέργεια, καθώς με τη μείωση της πρώτης παρατηρούνται μικρότερες αναγραφόμενες τιμές της δεύτερης, αλλά και αντίθετα (αύξηση της μάζας επιφέρει αύξηση των τιμών της κινητικής ενέργειας).

#### **4.3.3 Διατομή ορύγματος στη Χ.Θ. 166+840 (Διατομή 1051)**

Η χάραξη της οδοποιίας στη Χ.Θ. 166+840 περιλαμβάνει τη διαμόρφωση τόσο του αριστερού, όσο και του δεξιού, πρανούς. Το δεξί πρανές (μέγιστου ύψους 36.1m), σύμφωνα με την αρχική μελέτη οδοποιίας, διαμορφώνεται με πρανή ορυγμάτων κλίσης 2:1 (υ:β), τρεις αναβαθμούς πλάτους 4m ανά 10m ύψος και με τραπεζοειδή τάφρο αναχαίτισης καταπτώσεων βάθους 2m και πλάτους 5m στον πόδα. Αντίστοιχα το αριστερό πρανές (μέγιστου ύψους 27.9m) είναι διαμορφωμένο με πρανή ορυγμάτων κλίσης 2:1 (υ:β), δύο αναβαθμούς πλάτους 4m ανά 10m ύψος και με τραπεζοειδή τάφρο αναχαίτισης καταπτώσεων βάθους 2m και πλάτους 5m.

#### **Αριστερό πρανές (διεύθυνση μέγιστης κλίσης 86°)**

Η παρούσα έρευνα εξετάζει την αναδιαμόρφωση τόσο του δεξιού όσο και του αριστερού πρανούς για την περίπτωση όπου προστεθεί στο οδόστρωμα μία επιπλέον λωρίδα κυκλοφορίας πλάτους 3.75m σε κάθε κατεύθυνση. Με αφετηρία το αριστερό πρανές δημιουργήθηκαν και σε αυτή την περίπτωση δύο σενάρια, όπως και σε κάθε εξεταζόμενο πρανές.

Το πρώτο αφορά την αναδιαμόρφωση με τις κλίσεις που έχει το αρχικά διαμορφωμένο πρανές και βασίζονται στη μελέτη οδοποιίας. Ουσιαστικά λοιπόν εξετάζεται η αναδιαμόρφωση με -εκ νέου- κλίση 2:1 (υ:β) (64°/86°) σε κάθε πρανές ορύγματος, κατασκευή δύο αναβαθμών πλάτους 4m και κλίσης 5°. Στο πόδι του πρανούς προβλέπεται η δημιουργία νέας τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων βάθους 1.5m και πλάτους 3m. Το μέγιστο ύψος του συνολικά διαμορφωμένου πρανούς ισούται με 25.5m και η μέση κλίση του ορίζεται ως 1.2:1 (υ:β). Τέλος σημειώνεται πως η στρώση πάχους περίπου 1.5m, η οποία αποτελείται από αργιλοαμμώδεις ασβεστολιθικούς χάλικες, προτείνεται να αφαιρεθεί. Διαφορετικά θα ήταν δυνατό να διαμορφωθεί με κλίση 1:1.5 (υ:β), σύμφωνα με τα προτεινόμενα στον Κ.Μ.Ε.

Το δεύτερο σενάριο αφορά τη διαμόρφωση με ηπιότερη κλίση. Θεωρείται πως για τη συγκεκριμένη περιοχή του ασβεστόλιθου, η ηπιότερη διαμόρφωση που θα μπορούσε να ελεγχθεί αφορά κλίση 1.4:1 (υ:β). Πρακτικά η κλίση αυτή είναι αρκετά αυστηρή και θα μπορούσε ως ελάχιστη κλίση να χρησιμοποιηθεί κάποια μεγαλύτερη, λόγω των τιμών του

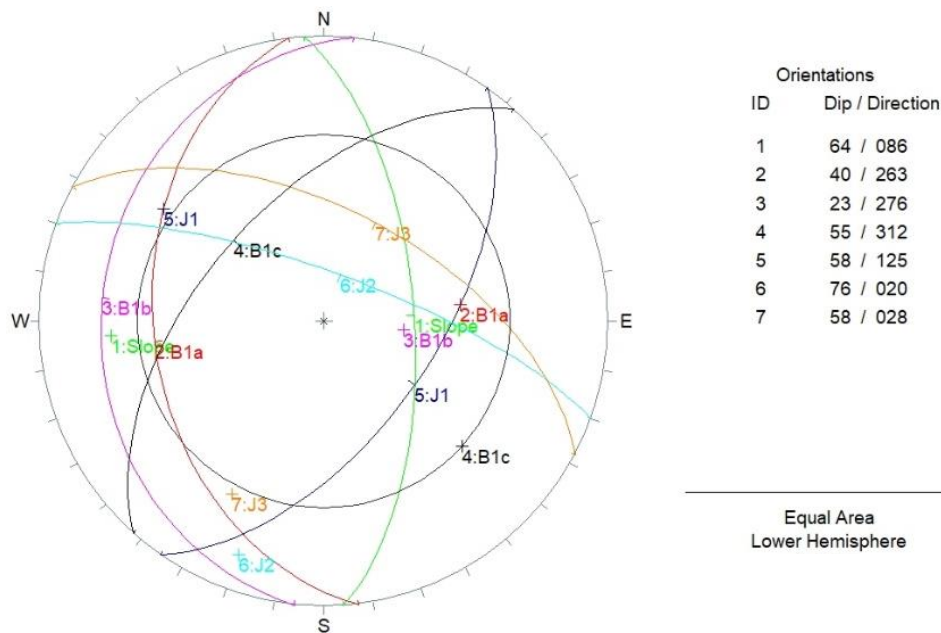


## Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

RQD. Παρά ταύτα επιλέγεται για εκπαιδευτικούς λόγους, ώστε να τονιστούν οι διαφορές που θα προκύψουν στα εξεταζόμενα μεγέθη των δύο πρανών, λόγω της αλλαγής της κλίσης.

Επομένως τα δύο πρώτα πρανή ορυγμάτων, σύμφωνα με αυτό το σενάριο, είναι τα  $55^{\circ}/86^{\circ}$ . Η διαμόρφωσή του περιλαμβάνει και τη δημιουργία αναβαθμών πλάτους 4m και κλίσης  $5^{\circ}$ . Μετά το πέρας του δεύτερου αναβαθμού, το πρανές διαμορφώνεται με κλίση 1:1 (υ:β) για τα υπόλοιπα 3.2m ύψος του βραχώδους πρανούς, όπως ορίζει ο Κ.Μ.Ε. Ακόμη στο πόδι του πρανούς, προβλέπεται η δημιουργία νέας τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων βάθους 1.5m και πλάτους 5m. Το ύψος του συνολικά διαμορφωμένου πρανούς ανέρχεται στα 22.9m, ενώ η μέση κλίση του είναι 0.9:1 (υ:β). Τέλος σημειώνεται πως για τη στρώση πάχους 1.5m, η οποία αποτελείται από αργιλοαμμώδεις ασβεστολιθικούς χάλικες, ισχύει ό,τι αναφέρθηκε και κατά τη διαμόρφωση του πρώτου σεναρίου.

Διερευνώντας αρχικά το πρώτο σενάριο, με τη χρήση του λογισμικού Dips 5.1, πραγματοποιήθηκαν οι κινηματικές αναλύσεις ευστάθειας για το πρανές  $64^{\circ}/86^{\circ}$ , σύμφωνα με τις ασυνέχειες που δρουν σε αυτό. Οι αναλύσεις παρουσιάζονται με τη μορφή στερεογραφικής απεικόνισης σε δίκτυο Schmidt. Για την ανάλυση θεωρήθηκε γωνία εσωτερικής τριβής των ασυνεχειών ίση με  $35^{\circ}$ , ενώ η τιμή της συνοχής τους -που θα χρειαστεί για τον υπολογισμό των συντελεστών ασφαλείας αργότερα- τέθηκε ίση με μηδέν.



**Σχήμα 4.30: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς  $64^{\circ}/86^{\circ}$  και εμφανιζόμενων ασυνεχειών ( $c=0kPa$ ,  $\phi=35^{\circ}$ )**

Από την παραπάνω στερεογραφική απεικόνιση και με εφαρμογή του Test Markland προκύπτει πως αναμένεται σφηνοειδής ολίσθηση βραχοσφήνας σε συνθήκες στατικής φόρτισης, τόσο από την τομή των ασυνεχειών J1 και J2 όσο και από την τομή των J1 και J3. Επομένως για τα ζεύγη αυτά, ο συντελεστής ασφαλείας  $A_1$  είναι βέβαιο πως είναι μικρότερος της μονάδας. Για τον υπολογισμό όλων των συντελεστών ασφαλείας χρησιμοποιήθηκε το Swedge 4.0. Σημειώνεται πως οι συντελεστές  $A_2$  και  $A_3$  αντικατοπτρίζουν ακριβώς ό,τι και στις αναλύσεις προηγούμενων διατομών.

Επιπλέον σχετικά με τους δύο προαναφερθέντες συντελεστές, τόσο για τα δύο πρώτα πρανή ορυγμάτων (γωνία άνω μετώπου ίση με  $-5^{\circ}$ ), όσο κυρίως για το τρίτο (γωνία άνω μετώπου ίση με  $-19^{\circ}$ ), οι τιμές τους έχουν υποτιμηθεί εξαιτίας του Swedge 4.0. Μάλιστα για το τρίτο πρανές

**Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα**

η υποτίμηση είναι σημαντικότερη συγκριτικά με τα δύο πρώτα. Εντούτοις, όπως διαφαίνεται και μέσω του παρακάτω πίνακα, αναμένεται ολίσθηση της βραχοσφήνας και σε συνθήκες στατικής φόρτισης, επομένως η υποτίμησή τους δεν επιδρά στη συγκεκριμένη ανάλυση. Τέλος σημειώνεται πως, από το Σχήμα 4.30, δεν φαίνεται να προκύπτουν δυνητικές επίπεδες ολισθήσεις.

**Πίνακας 4.32: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανών 64°/86°**

Συνδυασμός Ασυνχειών	Ειδικό Βάρος γ (t/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
B1c & J1	2.65	13.71	10.90	4.43
<b>J1 &amp; J2</b>		<b>0.74</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>J1 &amp; J3</b>		<b>0.85</b>	<b>0.13</b>	<b>0.11</b>
J2 & J3		10.29	7.72	5.55

Από τις τιμές όλων των συντελεστών ασφαλείας, προκύπτει πως οι αναμενόμενες βραχοσφήνες, ακόμα και κατά τη δυσμενέστερη περίπτωση συνύπαρξης ασυνχειών πληρωμένων με νερό και σεισμικής φόρτισης, είναι οι εντοπιζόμενες μέσω του Test Markland.

Συνεπώς το τελευταίο βήμα, το οποίο απομένει πριν την έναρξη της προσομοίωσης στο RocFall 4.0, αφορά τον υπολογισμό της μέγιστης μάζας των αναμενόμενων καταπεσόντων βραχωδών τεμαχών από το κάθε τμήμα του πρανούς. Με τη χρήση του Swedge 4.0 δημιουργούνται οι παρακάτω πίνακες, ωστόσο η τιμή της μάζας υπερεκτιμάται από το λογισμικό, αφού δεν λαμβάνεται υπόψιν η γεωμετρία του άνω μετώπου του κάθε πρανούς. Για τον λόγο αυτό, με γεωμετρική απομείωση προέκυψε το πραγματικό βάρος της βραχοσφήνας.

**Πίνακας 4.33: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (64°/86°) ύψους 9m έως τον πρώτο αναβαθμό**

Συνδυασμός Ασυνχειών	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
J1 & J2	3.0	1.4	1.4
J1 & J3		4.3	4.1

**Πίνακας 4.34: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (64°/86°) ύψους 10m μεταξύ πρώτου και δεύτερου αναβαθμού**

Συνδυασμός Ασυνχειών	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
J1 & J2	3.3	1.9	1.9
J1 & J3		5.8	5.6

**Πίνακας 4.35: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (64°/86°) ύψους 6.8m μεταξύ του δεύτερου αναβαθμού και του υψηλότερου διαμορφωμένου τμήματος**

Συνδυασμός Ασυνχειών	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
J1 & J2	2.3	0.6	0.5
J1 & J3		2.0	1.8

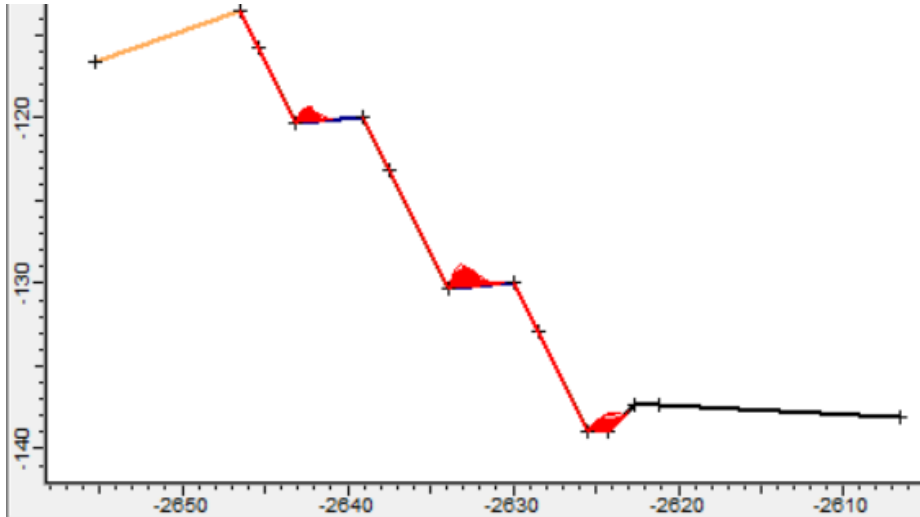
Από τα παραπάνω και κατόπιν θεώρησης πως η μάζα των κερματισμένων -από έκρηξη στο μέτωπο του πρανούς- τεμαχών δεν υπερβαίνει το 1/4 του κυβικού μέτρου (ήτοι 0.7 τόνοι), οι μέγιστες τιμές των αναμενόμενων ολισθαινόντων βραχοσφηνών είναι αυτές που αναγράφονται στον πίνακα 4.36.

**Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα**

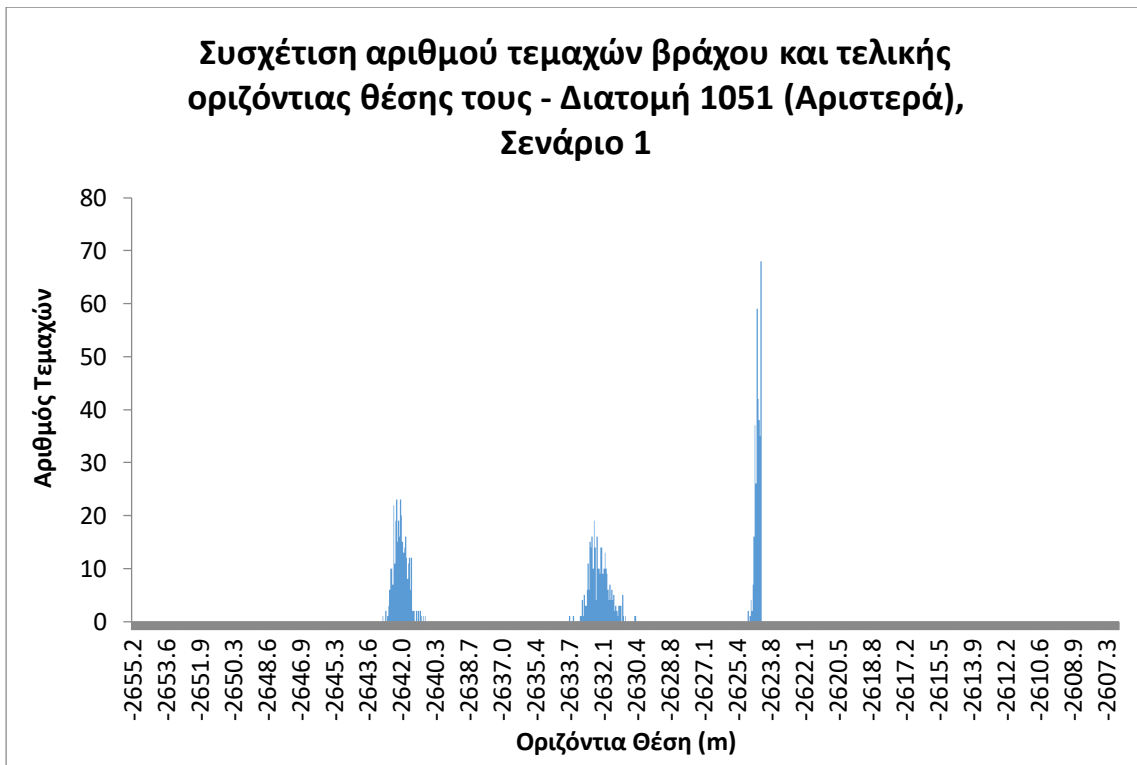
**Πίνακας 4.36: Σύνοψη μέγιστων τιμών βραχοσφηνών για κάθε τμήμα του πρανούς 64°/86°**

Ύψος Πρανούς (m)	Ύψος Τεμάχου (m)	Μέγιστο Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Άξονας Ολίσθησης
9.0	3.0	4.1	47°/77°
10.0	3.3	5.6	47°/77°
6.8	2.3	1.8	47°/77°

Η συνέχεια δίνεται στο RocFall 4.0, όπου για τις παραπάνω τιμές πραγματοποιήθηκε προσομοίωση κατάπτωσης βραχιδών τεμαχών. Τα δύο πρώτα σχήματα αποτυπώνουν την κίνηση και την τελική θέση των βράχων, ενώ τα επόμενα τέσσερα αφορούν τις τιμές των εξεταζόμενων μεγεθών σε κάθε θέση.



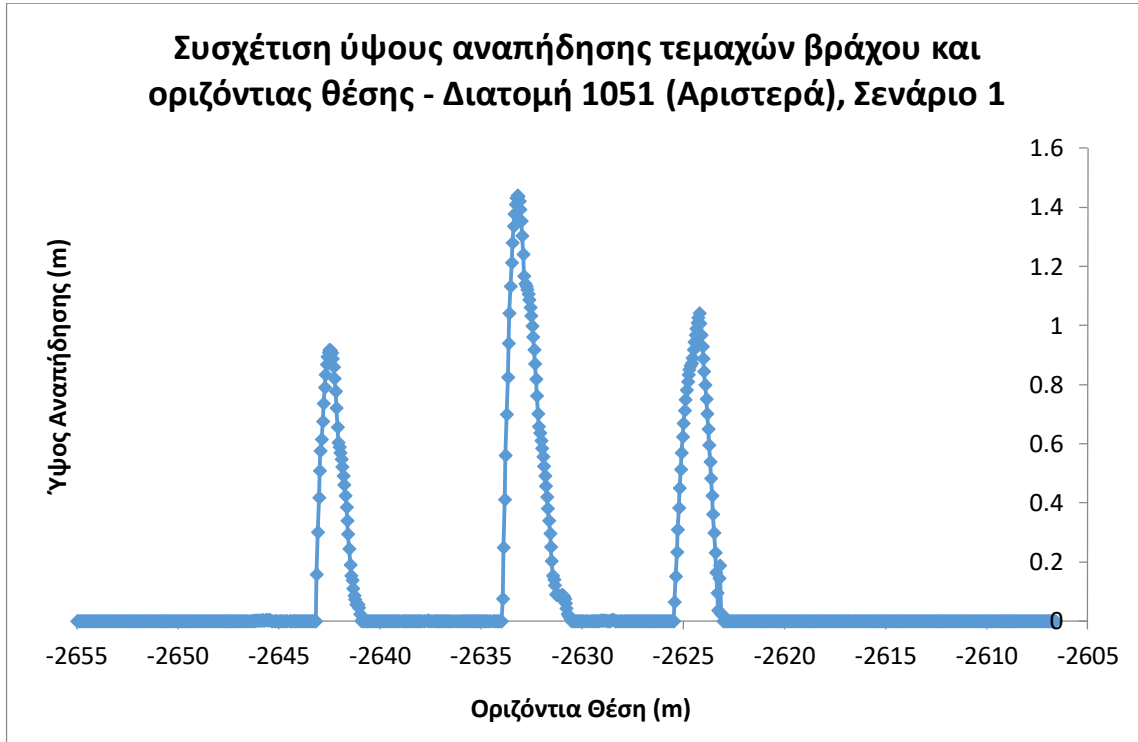
**Σχήμα 4.31: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 1051 (αριστερά) με διαμόρφωση πρανών με κλίση 64°.**



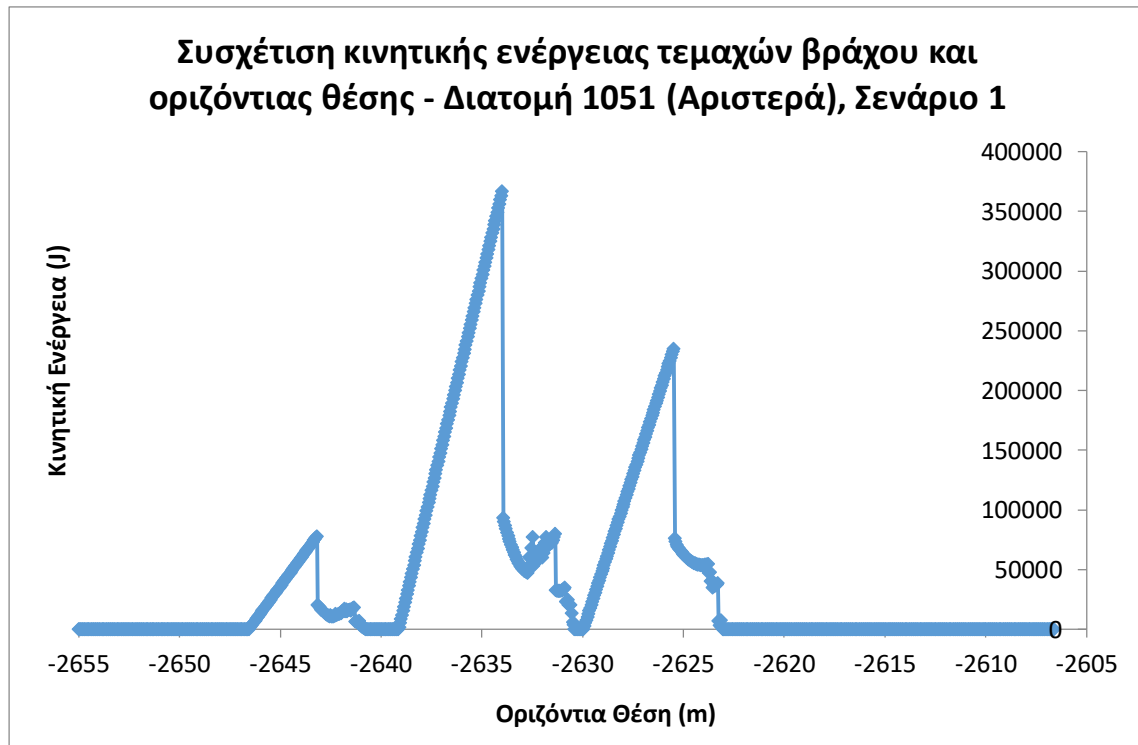
**Σχήμα 4.32: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 1051 (αριστερά), σενάριο 1**

#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

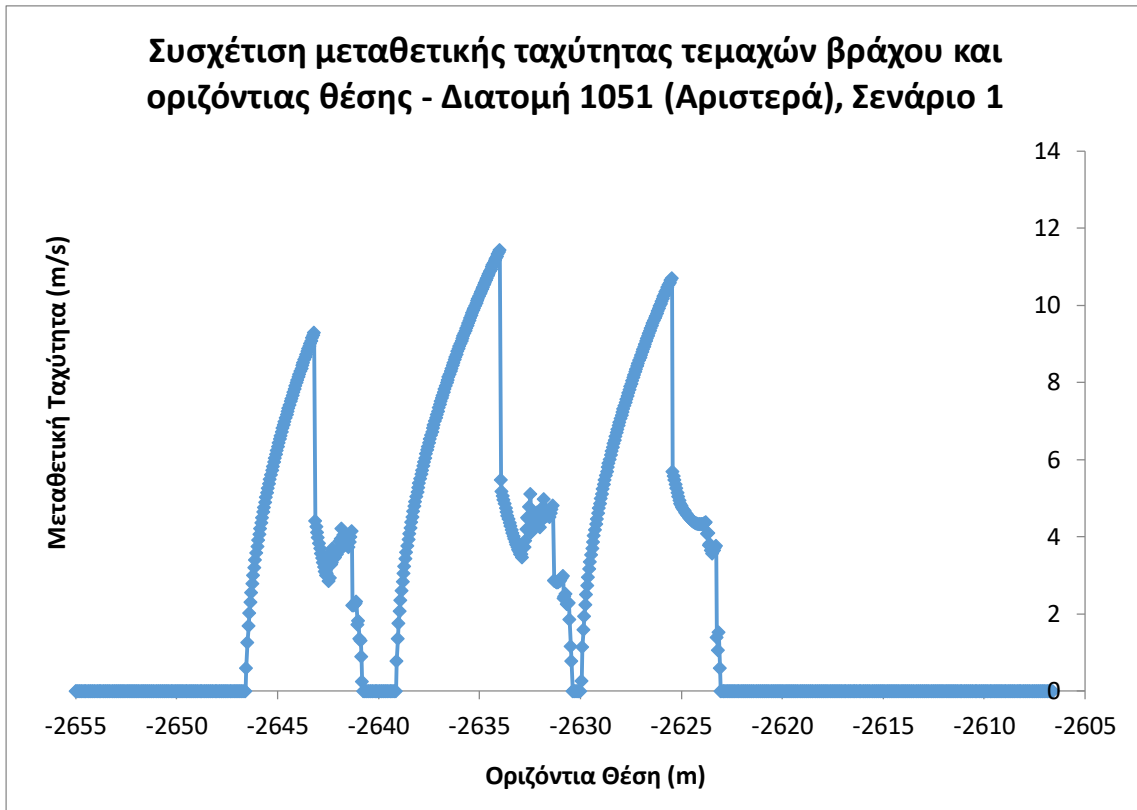
Όπως συμπεραίνεται από τα δύο παραπάνω σχήματα, η οδός με πλάτος έως και τη θέση (x,y) = (-2622.65, -137.4) του σχήματος 4.31, παραμένει ασφαλής έναντι των καταπτώσεων αφού η τάφρος λειτουργεί πλήρως αποτελεσματικά στην παγίδευση των βραχοτεμαχών. Όσον αφορά τους αναβαθμούς, και οι δύο λειτουργούν εντελώς ικανοποιητικά, αφού κανένας τους δεν επιτρέπει την ολίσθηση των τεμαχών στο μέτωπο του κατάντη διαμορφωμένου πρανούς.



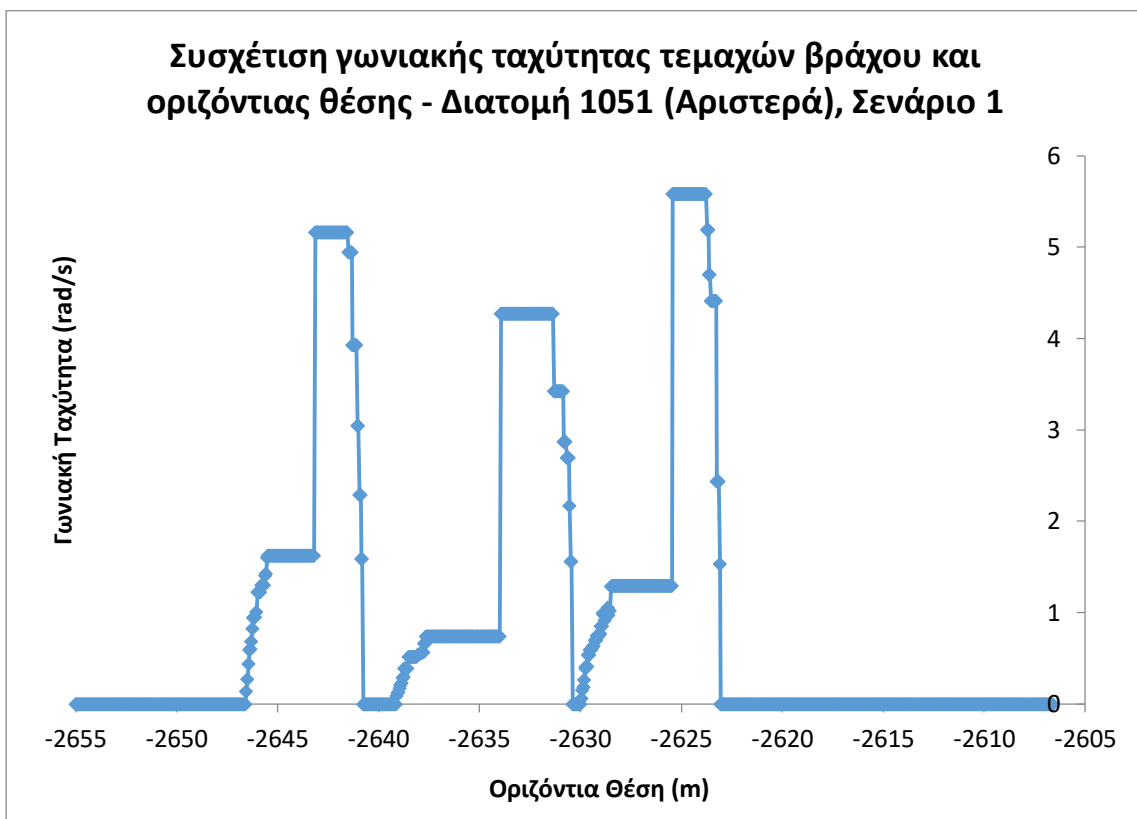
*Σχήμα 4.33: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (αριστερά), σενάριο 1*



*Σχήμα 4.34: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (αριστερά), σενάριο 1*



*Σχήμα 4.35: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (αριστερά), σενάριο 1*



*Σχήμα 4.36: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (αριστερά), σενάριο 1*

## Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

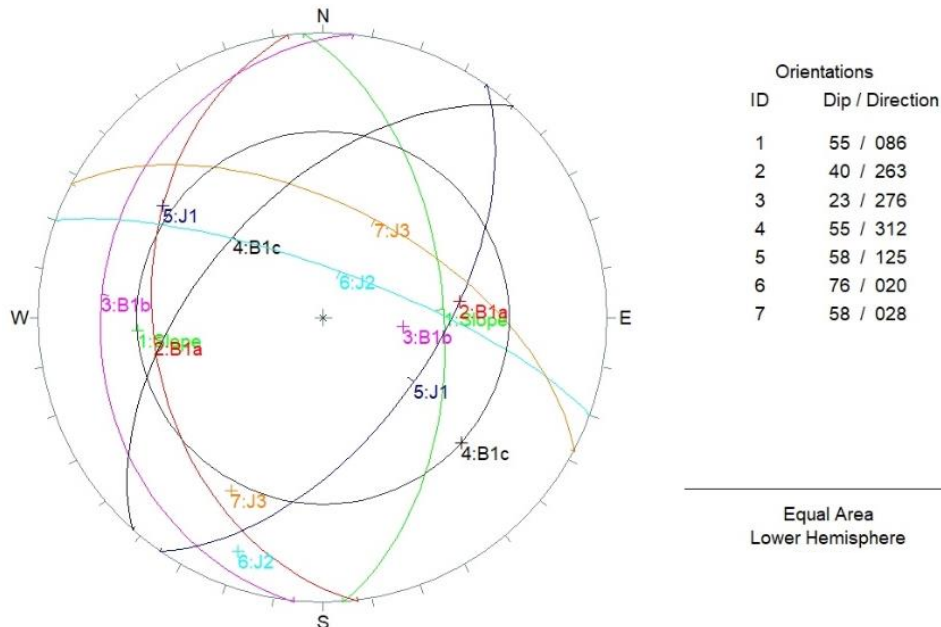
Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ο Πίνακας 4.37, ως συγκεντρωτικός αναφορικά με τη μέγιστη τιμή του εκάστοτε μεγέθους σε συγκεκριμένες θέσεις.

**Πίνακας 4.37: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 1051 (αριστερά), σενάριο 1**

Μέγεθος Διάστημα Εξέτασης	Δεύτερος Αναβαθμός	Πρώτος Αναβαθμός	Τάφος
Ύψος Αναπήδησης (m)	0.91	1.44	1.03
Κινητική Ενέργεια (kJ)	77.67	366.45	235.14
Μεταθετική Ταχύτητα (m/s)	9.29	11.44	10.71
Γωνιακή Ταχύτητα (rad/s)	5.16	4.28	5.58

Οι θέσεις μεγιστοποίησης των τιμών των μεγεθών, είναι οι αντίστοιχες με αυτές που αναφέρθηκαν και στις παραπάνω διατομές. Ωστόσο παρατηρείται πως σε αυτή την περίπτωση η γωνιακή ταχύτητα λαμβάνει πολύ υψηλότερες τιμές συγκριτικά με τις προηγούμενες διατομές. Η πιθανότερη εξήγηση αυτού, είναι η σημαντικά χαμηλότερη τιμή μάζας των καταπεσόντων τεμαχών. Συγκεκριμένα η γωνιακή ταχύτητα επηρεάζεται από το μέγεθος -και κατ' επέκταση από τη μάζα- του βραχοτεμαχίου. Μικρότερο μέγεθος συνεπάγεται μεγαλύτερη γωνιακή ταχύτητα και αντίθετα. Τέλος οι τιμές της μεταθετικής ταχύτητας στις συγκεκριμένες θέσεις, τονίζουν την επίδραση που δέχεται το συγκεκριμένο μέγεθος από το ύψος του πρανούς.

Συνεχίζοντας με το δεύτερο σενάριο, τα βήματα μέχρι την προσομοίωση ήταν ίδια με αυτά του πρώτου σεναρίου. Πρώτα υλοποιήθηκε η στερεογραφική απεικόνιση της επιφάνειας του πρανούς και των ασυνεχειών.



**Σχήμα 4.37: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 55°/86° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών ( $c=0kPa$ ,  $\phi=35^\circ$ )**

Από το Test Markland παρατηρείται πως, ακόμα και σε συνθήκες στατικής φόρτισης, αναμένεται σφηνοειδής ολίσθηση από την τομή των ασυνεχειών J1 και J2, αλλά και J1 και J3. Το συμπέρασμα αυτό επαληθεύεται και μέσω των συντελεστών ασφαλείας  $A_1$ . Για τις τιμές

## Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

των συντελεστών ασφαλείας  $A_2$  και  $A_3$  ισχύει ό,τι αναφέρθηκε και κατά την ανάλυση του πρώτου σεναρίου.

**Πίνακας 4.38: Δυναμικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανών  $55^\circ/86^\circ$**

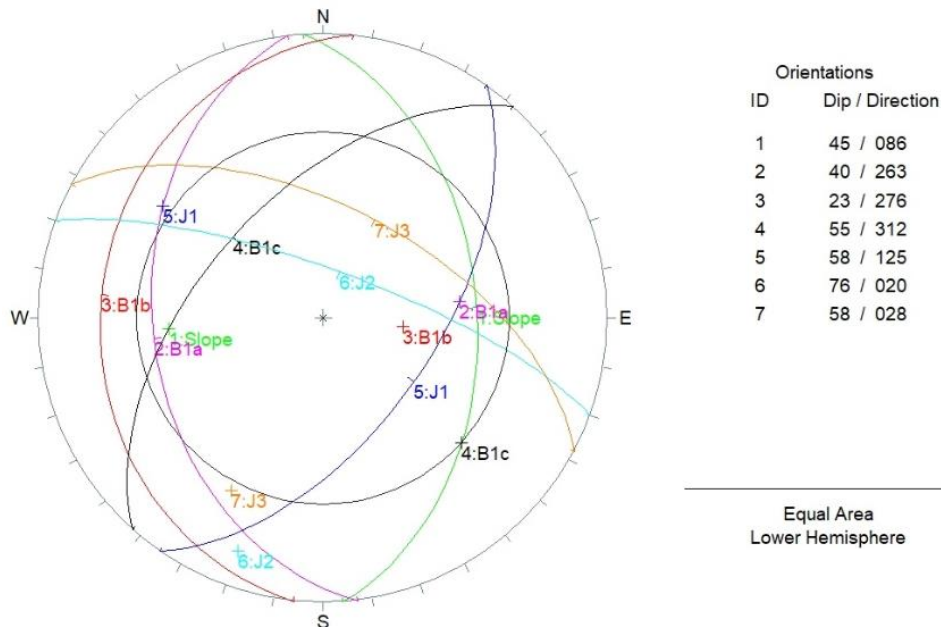
Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ειδικό Βάρος $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		$A_1$	$A_2$	$A_3$
B1c & J1	2.65	13.71	10.81	4.39
<b>J1 &amp; J2</b>		<b>0.74</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>J1 &amp; J3</b>		<b>0.85</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
J2 & J3		10.29	7.43	5.35

Επομένως για τα δύο παραπάνω ζεύγη ασυνεχειών, θα πρέπει να βρεθεί η τιμή του βάρους της κάθε βραχοσφήνας που αναμένεται να ολισθήσει από το υψηλότερο τμήμα του κάθε διαμορφωμένου πρανούς. Τονίζεται πως και στη συγκεκριμένη περίπτωση έχει ληφθεί υπόψιν η κατάλληλη γεωμετρική απομείωση των διαστάσεων του αποκολλημένου τεμάχους βράχου, για τον υπολογισμό της πραγματικής του μάζας.

**Πίνακας 4.39: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για τα δύο πρανή ( $55^\circ/86^\circ$ ) ύψους 10m έκαστον**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
J1 & J2	3.3	0.1	0.1
J1 & J3		1.6	1.6

Από τον παραπάνω πίνακα είναι σαφές πως επιλέγεται ως μέγιστη η βραχοσφήνα βάρους 1.6 τόνων, ενώ ο άξονας ολίσθησής της είναι ο  $47^\circ/77^\circ$ . Στη συνέχεια εξετάζεται το τελευταίο τμήμα του υπό διαμόρφωση πρανούς, με κλίση  $45^\circ$  και ύψος 3.2m. Αρχικά δημιουργείται το δίκτυο στερεογραφικής απεικόνισης των επιφανειών.



**Σχήμα 4.38: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς  $45^\circ/86^\circ$  και εμφανιζόμενων ασυνεχειών ( $c=0kPa$ ,  $\phi=35^\circ$ )**

Από το Test Markland παρατηρείται πως δεν αναμένεται σφηνοειδής ολίσθηση σε συνθήκες στατικής φόρτισης. Επομένως πρέπει να εξεταστούν οι συντελεστές ασφαλείας  $A_2$  και  $A_3$  μέσω

#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

του Swedge 4.0. Από τις τιμές τους, και παρά την υποτίμησή τους από το λογισμικό, παρατηρείται πως δεν αναμένεται σφηνοειδής ολίσθηση. Επομένως η μάζα του βραχοτεμάχους, η οποία θα χρησιμοποιηθεί στην προσομοίωση, θα είναι αυτή που αντιστοιχεί στα τεμάχη του κερματισμένου -από τη χρήση εκρηκτικών υλών- μετώπου και που ισούται με 0.7 τόνους.

**Πίνακας 4.40: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 45°/86°**

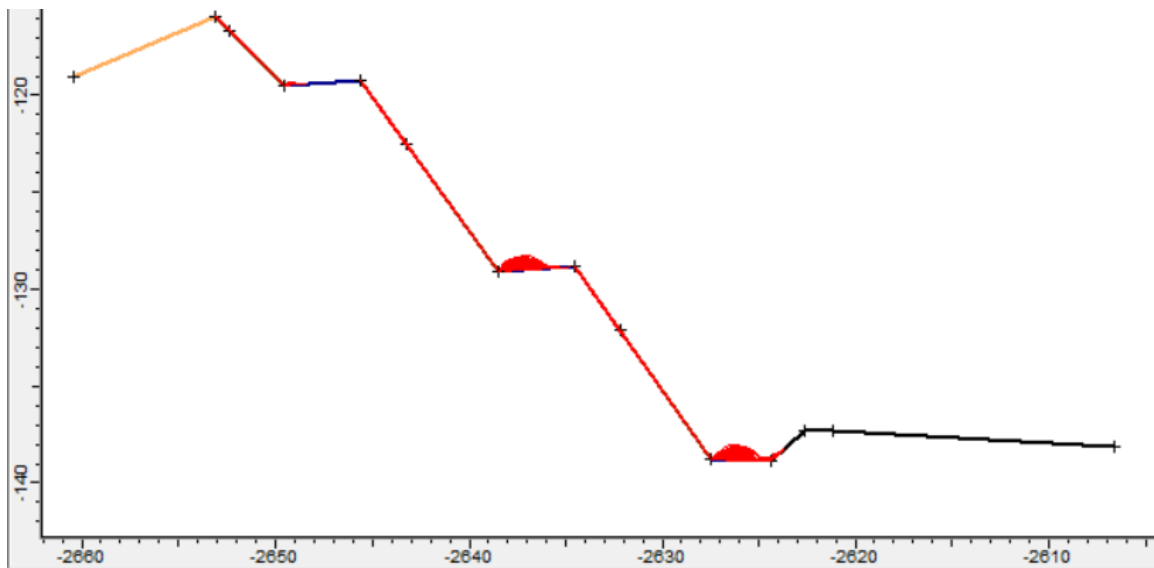
Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ειδικό Βάρος $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
B1c & J1	2.65	13.71	10.53	4.28
J2 & J3		10.29	6.72	4.84

Από τα παραπάνω και λαμβάνοντας υπόψιν τη μάζα των δυνητικά καταπεσόντων τεμαχών που δημιουργήθηκαν από την έκρηξη, προκύπτει ο Πίνακας 4.41 στον οποίο αναγράφονται οι τιμές για τις οποίες θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση.

**Πίνακας 4.41: Σύνοψη μέγιστων τιμών βραχοσφηνών για κάθε τμήμα διαμόρφωσης**

Ύψος Πρανούς (m)	Ύψος Τεμάχους (m)	Μέγιστο Βάρος Βραχοσφήνας (t)
10.0	3.3	1.6
3.2	0.6	0.7

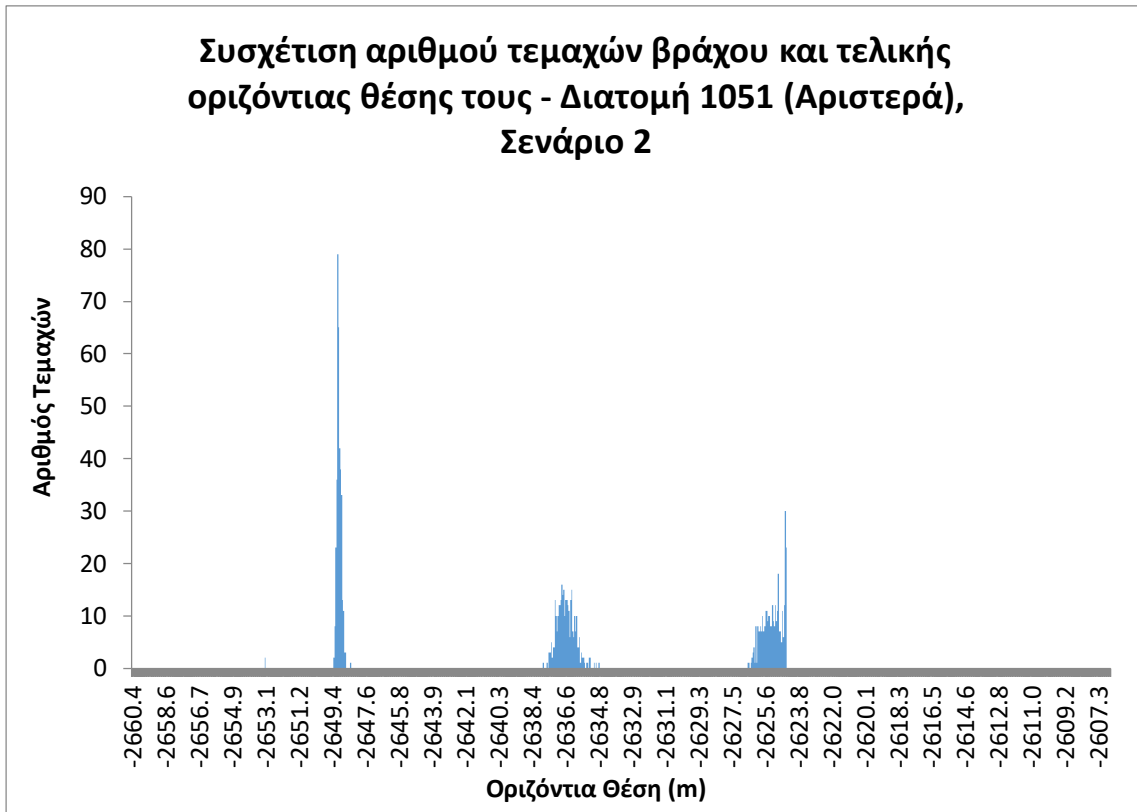
Από την προσομοίωση στο RocFall 4.0, προέκυψαν τα παρακάτω σχήματα.



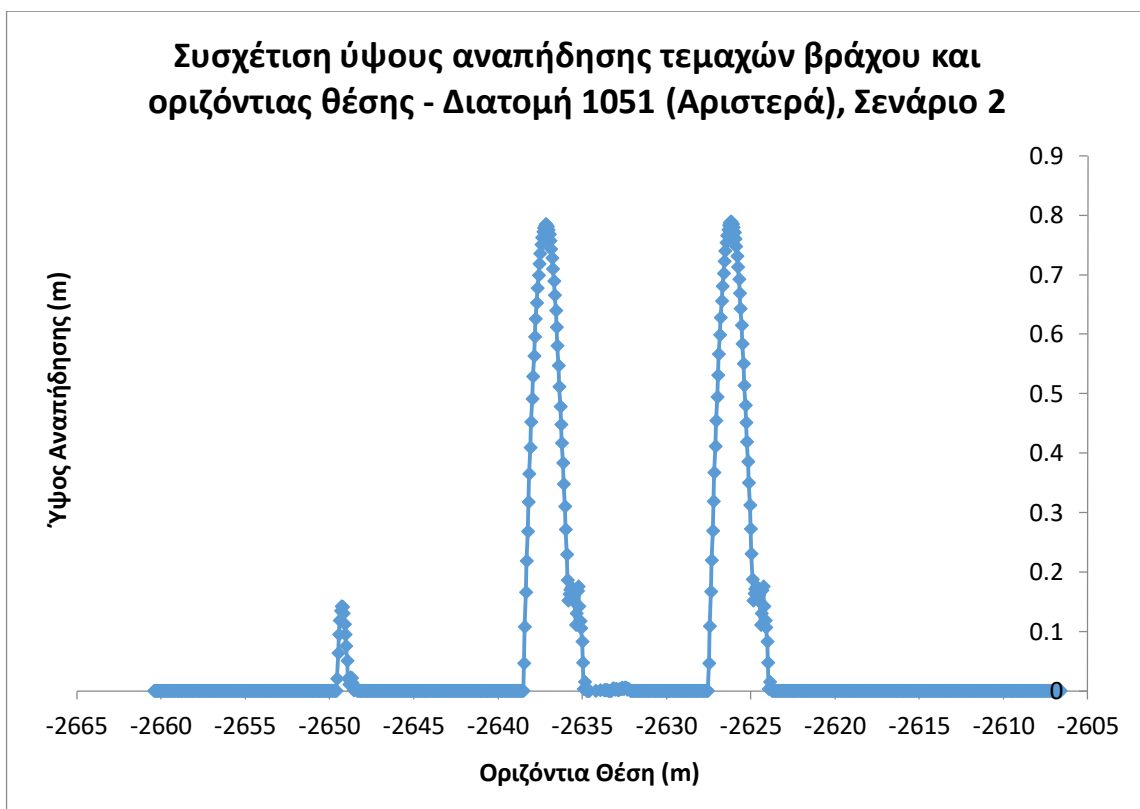
**Σχήμα 4.39: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 1051 (αριστερά) με διαμόρφωση των δύο πρώτων κατά σειρά πρανών ορυγμάτων με κλίση 55° και του τρίτου με κλίση 45°**

Από το παραπάνω σχήμα, αλλά και από αυτό που ακολουθεί, παρατηρείται πως η οδός με πλάτος έως και τη θέση (x,y) = (-2622.65, -137.4) του σχήματος 4.39, παραμένει ασφαλής έναντι των καταπτώσεων αφού η τάφρος αναχαίτισης λειτουργεί πλήρως αποτελεσματικά στην παγίδευση των βράχων. Επιπλέον αποτελεσματικά ανταποκρίνονται και οι αναβαθμοί, αφού κανένα -προερχόμενο από το ανάντη τους πρανές- τεμάχος δεν συνεχίζει την πορεία του στο κατάντη. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι συσχετίσεις των εξεταζόμενων μεγεθών με την οριζόντια θέση, ενώ στο τέλος της ανάλυσης παρατίθεται ο συγκεντρωτικός πίνακας αναφορικά με τις μέγιστες τιμές των εξεταζόμενων μεγεθών σε συγκεκριμένες θέσεις.





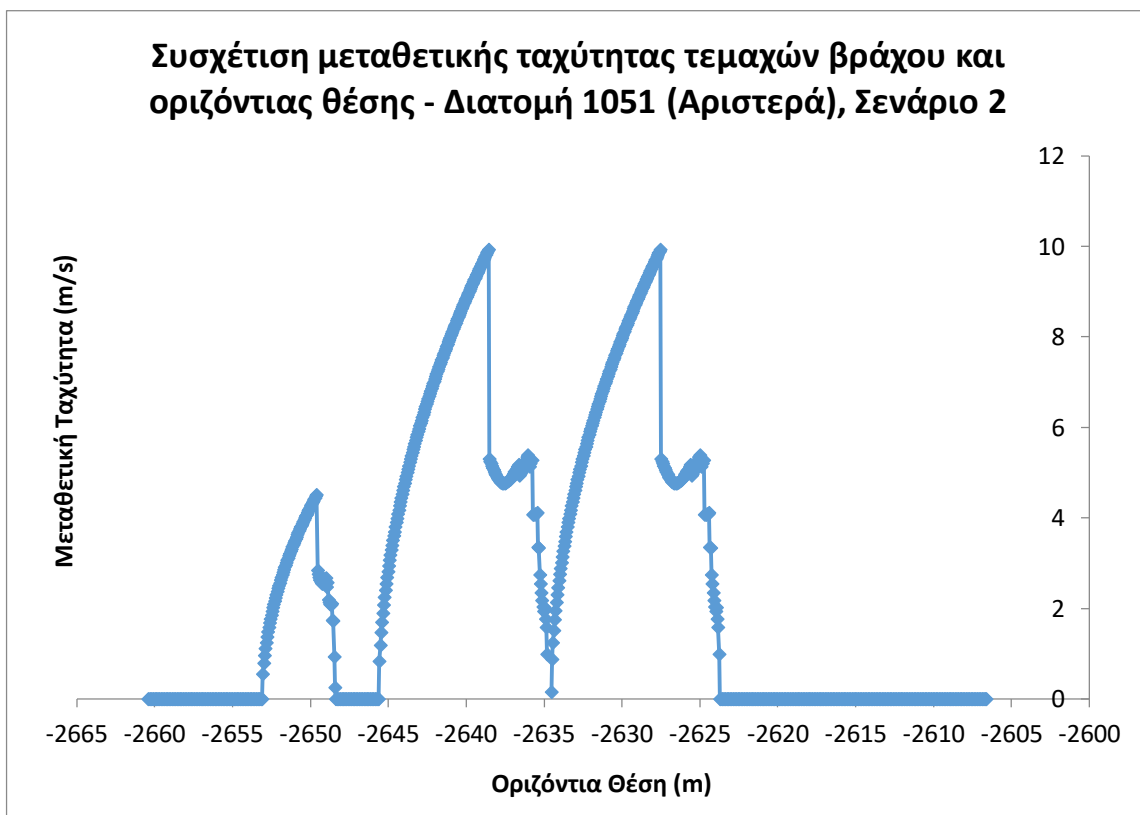
*Σχήμα 4.40: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 1051 (αριστερά), σενάριο 2*



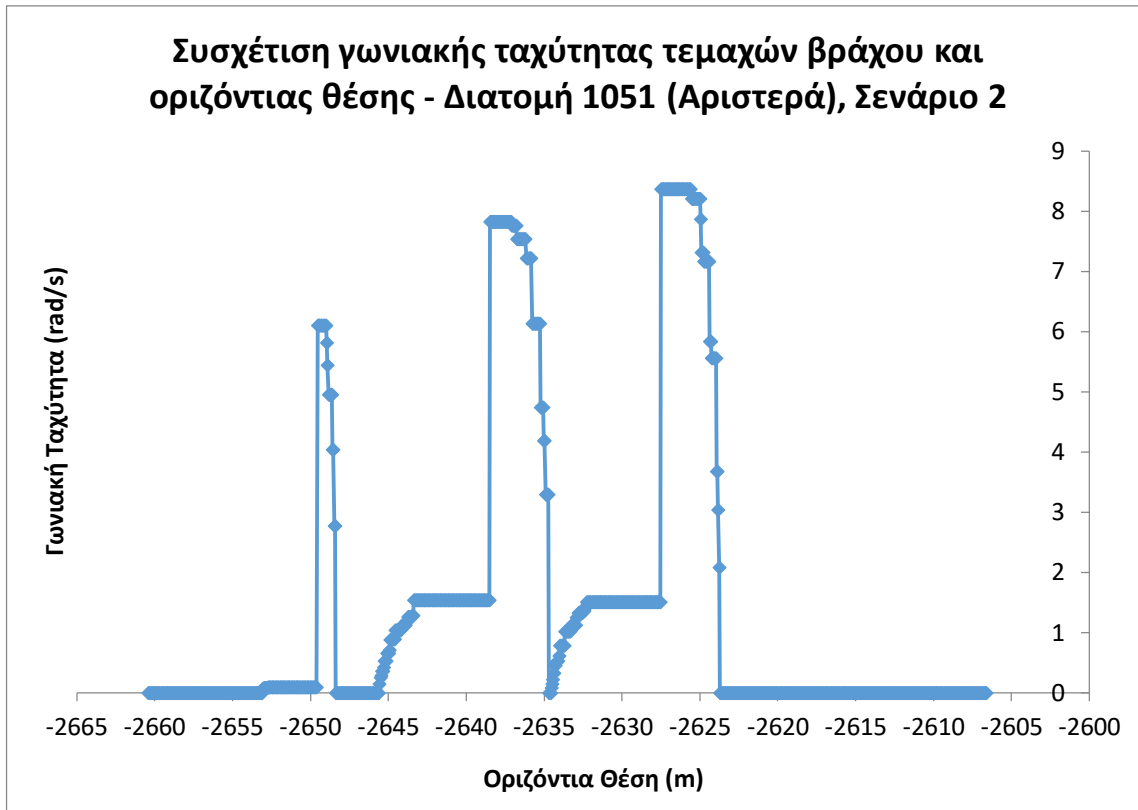
*Σχήμα 4.41: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (αριστερά), σενάριο 2*



Σχήμα 4.42: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (αριστερά), σενάριο 2



Σχήμα 4.43: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (αριστερά), σενάριο 2



**Σχήμα 4.44:** Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (αριστερά), σενάριο 2

**Πίνακας 4.42:** Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 1051 (αριστερά), σενάριο 2

Μέγεθος / Διάστημα Εξέτασης	Δεύτερος Αναβαθμός	Πρώτος Αναβαθμός	Τάφρος
Ύψος Αναπήδησης (m)	0.14	0.78	0.79
Κινητική Ενέργεια (kJ)	7.15	78.88	79.20
Μεταθετική Ταχύτητα (m/s)	4.52	9.93	9.95
Γωνιακή Ταχύτητα (rad/s)	6.10	7.83	8.37

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του πίνακα με τα αντίστοιχα του πρώτου σεναρίου, παρατηρείται πως η ηπιότερη διαμόρφωση έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του ύψους αναπήδησης, της μεταθετικής ταχύτητας και της κινητικής ενέργειας. Το τελευταίο μέγεθος επηρεάζεται άμεσα και από τη μείωση της μάζας. Το αντίκτυπο της ηπιότερης κλίσης στα εξεταζόμενα μεγέθη διαφαίνεται πρωτίστως από τις μέγιστες τιμές εντός του δεύτερου αναβαθμού, όπου το ανάντη του πρανές ορύγματος έχει διαμορφωθεί με κλίση 1:1 στο δεύτερο σενάριο. Τέλος, όσον αφορά τη γωνιακή ταχύτητα, η σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο σεναρίων επιβεβαιώνει πως η μείωση της μάζας του βραχοτεμαχούς, λόγω της μείωσης των διαστάσεών του, οδηγεί σε αύξηση της τιμής της.

**Δεξιό πρανές (διεύθυνση μέγιστης κλίσης 260°)**

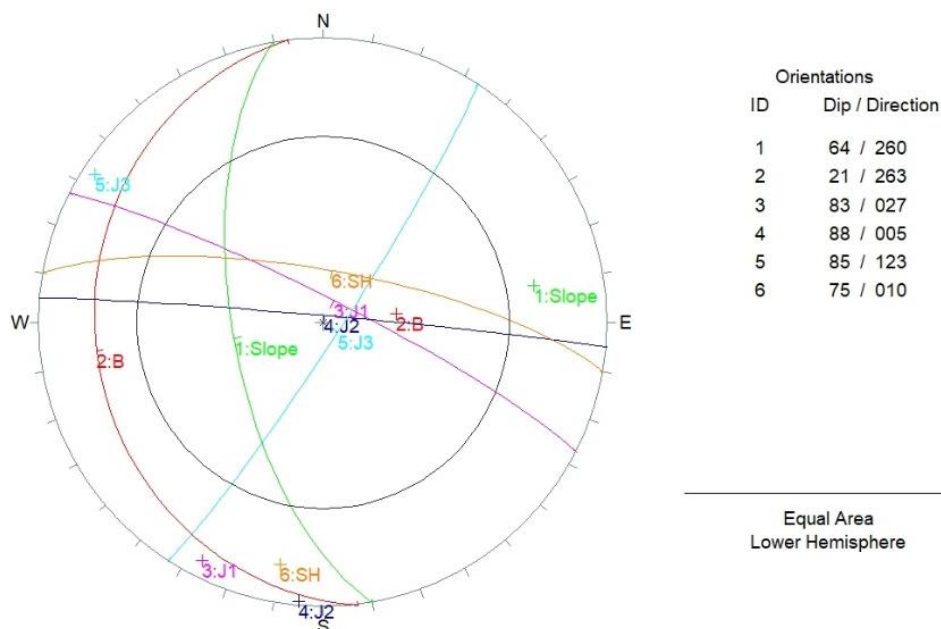
Για το δεξιό πρανές, η μελέτη οδοποιίας όρισε την κλίση των πρανών ορυγμάτων ως 2:1 (υ:β) και προέβλεπε τη δημιουργία τριών αναβαθμών πλάτους 4m ανά 10m ύψος, καθώς και την κατασκευή τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων βάθους 2m και πλάτους 5m.

#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

Η μελέτη που πραγματοποιήθηκε για αυτήν τη διπλωματική εργασία, κατόπιν δημιουργίας μίας επιπλέον λωρίδας κυκλοφορίας πλάτους 3.75m, προτείνει δύο σενάρια αναδιαμόρφωσης των πρανών ορυγμάτων. Το πρώτο αφορά τη διατήρηση της κλίσης ως 2:1 (υ:β) (πρανές 64°/260°), όπως αυτή ορίστηκε από την αρχική μελέτη οδοποιίας, κατασκευή τριών αναβαθμών πλάτους 4m και κλίσης 5°, αλλά και δημιουργία τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων στο πόδι του πρανού διαστάσεων (βάθος × πλάτος) ίσων με 1.5m × 3m. Επιπλέον το συνολικό ύψος του διαμορφωμένου πρανού ισούται με 33.8m, ενώ η μέση κλίση του είναι 1.1:1 (υ:β).

Το δεύτερο σενάριο πραγματεύεται την αναδιαμόρφωση με συντηρητικότερη κλίση 1.4:1 (υ:β) για τα τρία πρώτα πρανή ορυγμάτων (55°/260°), η οποία θεωρείται ως η πιο συντηρητική για το συγκεκριμένο ασβεστολιθικό περιβάλλον. Ωστόσο η συγκεκριμένη επιλογή έλαβε χώρα σύμφωνα με τους λόγους που προαναφέρθηκαν κατά την ανάλυση του αριστερού πρανού. Και σε αυτή την περίπτωση προβλέπεται η κατασκευή τριών αναβαθμών πλάτους 4m και κλίσης 5°. Το υπόλοιπο τμήμα του πρανού, μέχρι το υψηλότερο τμήμα του, διαμορφώνεται με κλίση 1:1 (υ:β) και ύψος 3.2m, όπως ορίζει ο Κ.Μ.Ε. Στον πόδα του πρώτου πρανού ορύγματος προβλέπεται η δημιουργία τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων, βάθους 1.5m και πλάτους 5m. Επιπλέον το συνολικό ύψος του διαμορφωμένου πρανού ισούται με 32m, ενώ η μέση κλίση του είναι 0.9:1 (υ:β). Τέλος αναφορικά με τη γαιωμιβραχώδη στρώση, και για τα δύο σενάρια, ισχύει ό,τι προτάθηκε και στη διαμόρφωση των αριστερών πρανών.

Για το πρώτο σενάριο, δημιουργήθηκαν τα δίκτυα στερεογραφικής απεικόνισης των επιφανειών, ώστε να πραγματοποιηθεί έλεγχος για δυνητικές σφηνοειδείς και επίπεδες ολισθήσεις βραχοτεμαχών. Η γωνία εσωτερικής τριβής των ασυνεχειών τίθεται ίση με 35°, ενώ η συνοχή τους, η οποία θα χρειαστεί για τον υπολογισμό των συντελεστών ασφαλείας, τίθεται ίση με 0kPa, όπως και στην αρχική γεωτεχνική μελέτη των Παπαμαρινόπουλου και Βακίρη (2014).



**Σχήμα 4.45: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανού 64°/260° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών ( $c=0kPa$ ,  $\phi=35^\circ$ )**

Με εφαρμογή του Test Markland, προκύπτει πως σε συνθήκες στατικής φόρτισης δεν αναμένεται σφηνοειδής ολίσθηση, ενώ για το ενδεχόμενο επίπεδης ολίσθησης, αυτό εξετάζεται

#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

για την ασυνέχεια Β. Παρακάτω παρατίθενται οι συντελεστές ασφαλείας του πρανούς, έναντι αρχικά σφηνοειδούς και έπειτα επίπεδης ολίσθησης, για τις τρεις γνωστές συνθήκες.

**Πίνακας 4.43: Δυναμικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανών 64°/260°**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ειδικό Βάρος $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
<b>B &amp; J1</b>	2.65	1.82	1.33	<b>1.00</b>
<b>B &amp; J2</b>		1.82	1.33	<b>0.98</b>
B & J3		3.78	3.03	1.93
<b>B &amp; SH</b>		1.82	1.32	<b>0.98</b>

Σχετικά με τον παραπάνω πίνακα πρέπει να αποσαφηνιστούν τα εξής. Παρατηρείται πως, σε συνθήκες όπου οι ασυνέχειες είναι πληρωμένες με νερό και ταυτόχρονα σημειώνεται κάποια σεισμική φόρτιση, αναμένεται ολίσθηση βραχοσφήνας από την τομή των ασυνεχειών Β και J2 και της ασυνέχειας Β με το ρήγμα SH. Επιπρόσθετα πιθανή θεωρείται και η ολίσθηση της βραχοσφήνας που σχηματίζεται από την τομή των ασυνεχειών Β και J1. Εντούτοις υπενθυμίζεται πως το Swedge υποτιμά τους συντελεστές ασφαλείας A<sub>2</sub> και A<sub>3</sub> σε πρανή με δεξιόστροφη γωνία μετώπου μεγαλύτερη από 90°. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η δεξιόστροφη γωνία για το άνω μέτωπο των τριών πρώτων πρανών ισούται με -5°, ενώ για το τέταρτο κατά σειρά πρανές ισούται με -11°, συνεπώς αναμένεται υποτίμηση των συντελεστών.

Τα παραπάνω από μόνα τους επαρκούν για να εξηγήσουν πως σε πραγματικές συνθήκες οι παραπάνω τιμές του συντελεστή A<sub>3</sub> λαμβάνουν τιμές μεγαλύτερες της μονάδας ή τουλάχιστον ίσες με αυτήν, ενώ αν προστεθεί και το γεγονός της αυστηρότητας από την οποία χαρακτηρίστηκε ο ορισμός των συντελεστών A<sub>2</sub> και A<sub>3</sub>, αλλά και πως εξαρχής τέθηκε μηδενική συνοχή, ενισχύεται το παραπάνω συμπέρασμα.

Παρά ταύτα, επειδή τα παραπάνω αποτελούν εκτιμήσεις, θα υπολογιστούν τα βάρη των σχηματιζόμενων βραχοσφηνών, αφού πρώτα εφαρμοστεί η κατάλληλη γεωμετρική απομείωση του όγκου τους. Σε περίπτωση που κάποια από τα τεμάχια αυτά είναι βαρύτερο από αυτά των αναμενόμενων επίπεδων ολισθήσεων, τότε η προσομοίωση θα πραγματοποιηθεί βάσει αυτού. Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, αποδείξουν πως δεν χρειάζεται κάποιο επιπλέον μέτρο για την προστασία της οδού, τότε η αυστηρότητα χρησιμοποίησης αυτού του σεναρίου είναι αποδεκτή, καθώς εκφράζει τη δυσμενέστερη περίπτωση, καλύπτει όλες τις υπόλοιπες και παράλληλα δεν οδηγεί στη λήψη κάποιου αντιοικονομικού μέτρου προστασίας.

**Πίνακας 4.44: Δυναμική επίπεδη ολίσθηση και συντελεστές ασφαλείας για τα τρία πρώτα κατά σειρά διαμορφωμένα πρανή (64°/260°) ύψους (9.6m, 10m και 10m αντίστοιχα)**

Ασυνέχεια	Ειδικό Βάρος $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
<b>B</b>	2.65	1.82	<b>1.00</b>	<b>0.67</b>

**Πίνακας 4.45: Δυναμική επίπεδη ολίσθηση και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 64°/260° για το τέταρτο κατά σειρά διαμορφωμένο πρανές (ύψους 5.4m)**

Ασυνέχεια	Ειδικό Βάρος $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
<b>B</b>	2.65	1.82	1.12	<b>0.76</b>

Αναφορικά με την επίπεδη ολίσθηση κατά τον άξονα της Β, για τα τρία πρώτα διαμορφωμένα πρανή ορυγμάτων, αναμένεται με βεβαιότητα σε συνθήκες πλήρωσης των ασυνεχειών με νερό και παράλληλα ύπαρξης σεισμικής φόρτισης, ενώ πιθανή μπορεί να θεωρηθεί και σε συνθήκες

#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

όπου απλώς οι ασυνέχειες είναι πληρωμένες με νερό. Η τελευταία διαπίστωση βασίζεται στο γεγονός πως συντελεστής ασφαλείας  $A_2$  είναι ακριβώς ίσος με τη μονάδα.

Παράλληλα για το τέταρτο πρανές ορύγματος, επίπεδη ολίσθηση αναμένεται όταν οι ασυνέχειες είναι πληρωμένες με νερό και ταυτόχρονα υπάρχει σεισμική φόρτιση. Αναφορικά με την τιμή του συντελεστή ασφαλείας  $A_1$ , αυτή αναμενόταν μεγαλύτερη της μονάδας και χωρίς τη χρήση του λογισμικού RocPlane 2.0. Αναλυτικότερα παρότι η διαφορά της διεύθυνσης μέγιστης κλίσης του πρανούς και της ασυνέχειας B είναι  $3^\circ (< 20^\circ)$  και η κλίση του πρανούς (ήτοι  $64^\circ$ ) είναι μεγαλύτερη από αυτή της ασυνέχειας B (ήτοι  $21^\circ$ ), η γωνία εσωτερικής τριβής των ασυνεχειών (ήτοι  $35^\circ$ ) είναι μεγαλύτερη της κλίσης της ασυνέχειας.

Κατόπιν όλων των παραπάνω, υπολογίζονται οι τιμές της μάζας για τα τεμάχια βράχου που αναμένεται να ολισθήσουν. Ουσιαστικά η τιμή που θα δοθεί στην προσομοίωση επιλέγεται ως η μέγιστη, μεταξύ των τιμών των τεμαχίων που αναμένεται να πραγματοποιήσουν σφηνοειδή ή επίπεδη ολίσθηση και αυτών που βρίσκονται στο κερματισμένο -από τις εκρήξεις- μέτωπο.

**Πίνακας 4.46: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές ( $64^\circ/260^\circ$ ) ύψους 9.6m**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
B & J1	3.2	1164.5	986.4
B & J2		1215.0	1090.1
B & SH		1191.3	1008.0

**Πίνακας 4.47: Υπολογισμός βάρους τεμάχους δονητικής επίπεδης ολίσθησης για το πρανές ( $64^\circ/260^\circ$ ) ύψους 9.6m**

Ασυνέχεια	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Τεμάχους (t/m)	Βάρος Τεμάχους (t)
B	3.2	24.4	78.1

**Πίνακας 4.48: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για τα δύο πρανή ( $64^\circ/260^\circ$ ) ύψους 10m έκαστον**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
B & J1	3.3	1277.1	1081.8
B & J2		1332.5	1195.5
B & SH		1306.5	1105.5

**Πίνακας 4.49: Υπολογισμός βάρους τεμάχους δονητικής επίπεδης ολίσθησης για τα δύο πρανή ( $64^\circ/260^\circ$ ) ύψους 10m έκαστον**

Ασυνέχεια	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Τεμάχους (t/m)	Βάρος Τεμάχους (t)
B	3.3	25.9	85.5

**Πίνακας 4.50: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές ( $64^\circ/260^\circ$ ) ύψους 5.4m**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
B & J1	1.8	207.2	175.5
B & J2		216.2	194.0
B & SH		212.0	179.4

**Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα**

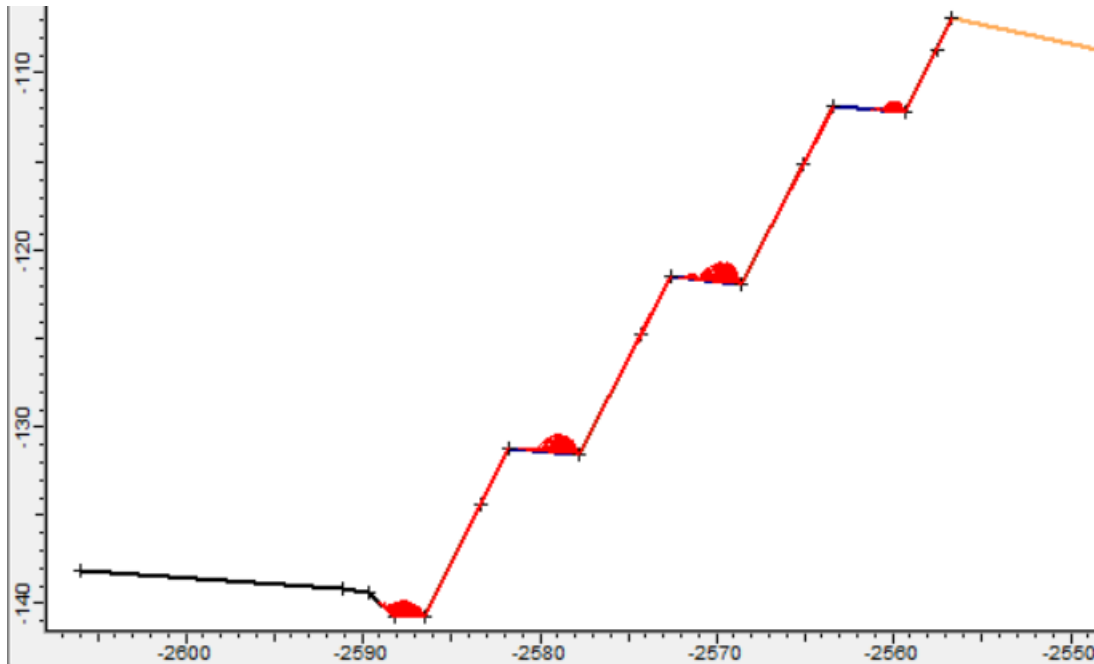
**Πίνακας 4.51: Υπολογισμός βάρους τεμάχους δονητικής επίπεδης ολίσθησης για το πρανές (64°/260°) ύψους 5.4m**

Ασυνέχεια	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Τεμάχους (t/m)	Βάρος Τεμάχους (t)
B	1.8	6.6	11.9

Ο Πίνακας 4.52, παρουσιάζει συγκεντρωτικά, για κάθε πρανές ορύγματος, τη μέγιστη τιμή του βάρους του καταπεσόντος τεμάχους, η οποία θα χρησιμοποιηθεί και στην προσομοίωση. Επιπλέον τονίζεται πως η ολίσθηση του αποκολλημένου βραχοτεμάχους, πρόκειται να λάβει χώρα κατά την επιφάνεια της ασυνέχειας B.

**Πίνακας 4.52: Σύνοψη μέγιστων τιμών βραχοσφηνών για κάθε τμήμα του πρανούς 64°/260°**

Ύψος Πρανούς (m)	Ύψος Τεμάχους (m)	Μέγιστο Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
9.6	3.2	1215.0	1090.1
10	3.3	1332.5	1195.5
5.4	2.4	216.2	194.0



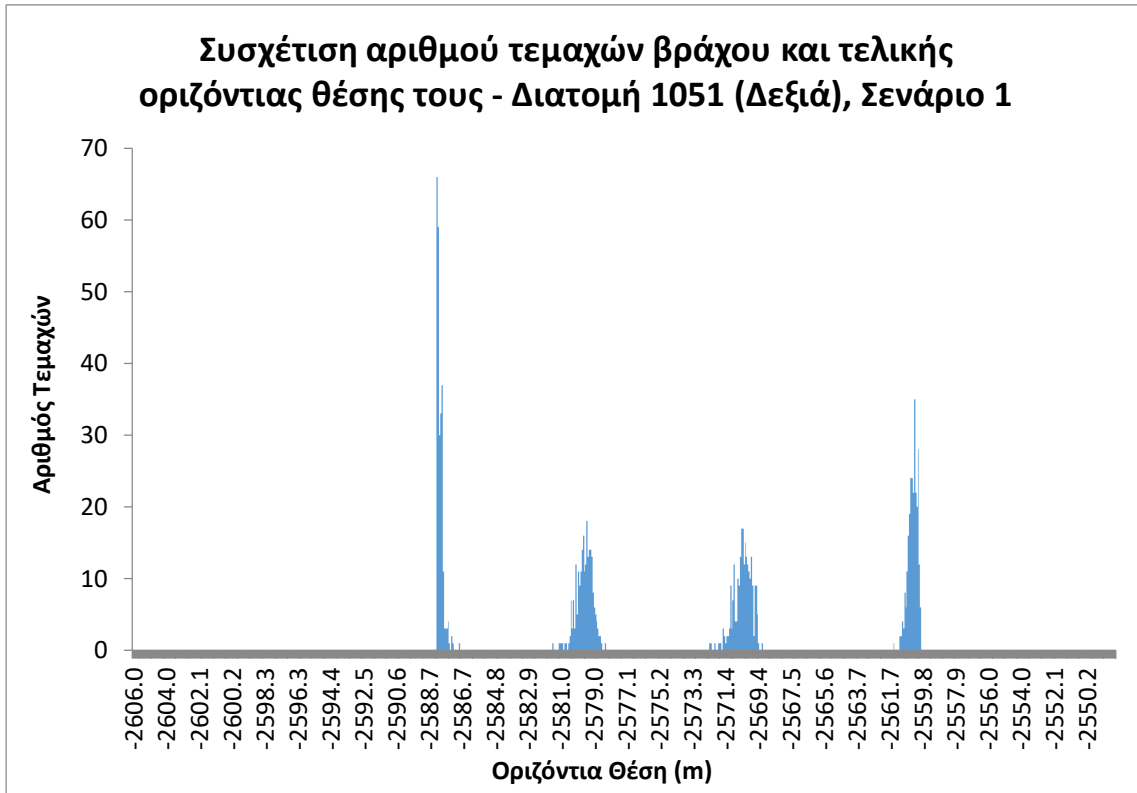
**Σχήμα 4.46: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 1051 (δεξιά) με διαμόρφωση πρανών με κλίση 64°**

Από το παραπάνω σχήμα, αλλά και από αυτό που ακολουθεί, γίνεται αντιληπτό πως η οδός, της οποίας το πλησιέστερο στο πρανές σημείο είναι το  $(x,y) = (-2589.64, -139.4)$ , είναι προστατευμένη από τα καταπεσόντα τεμάχη βράχου. Επομένως η τάφρος λειτουργεί ικανοποιητικά στην παγίδευση των βράχων. Επιπλέον παρατηρείται πως και οι τρεις αναβαθμοί λειτουργούν πλήρως αποτελεσματικά στην παγίδευση των καταπεσόντων βραχοτεμαχών. Ως εκ τούτου η χρήση των συγκεκριμένων τιμών για τη μάζα είναι αποδεκτή, καθώς αφενός δεν διαφοροποιεί την προτεινόμενη διαμόρφωση και αφετέρου δεν οδηγεί στη λήψη επιπλέον και ακριβότερων μέτρων προστασίας.

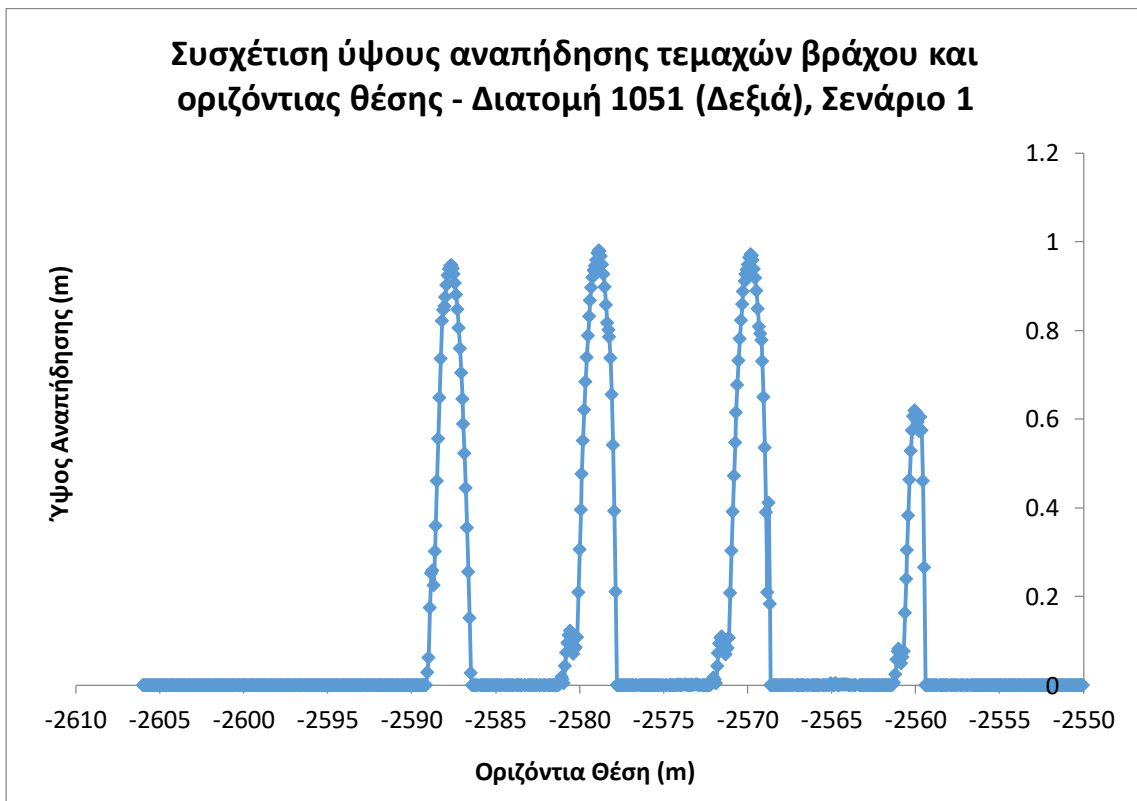
Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα συσχέτισης των υπό εξέταση μεγεθών και της οριζόντιας θέσης καταγραφής των τιμών τους. Για τα παραπάνω σχήματα παρατίθεται ο

#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

Πίνακας 4.53, ο οποίος αναγράφει για κάθε εξεταζόμενο μέγεθος τη μέγιστη τιμή του σε ορισμένες θέσεις.

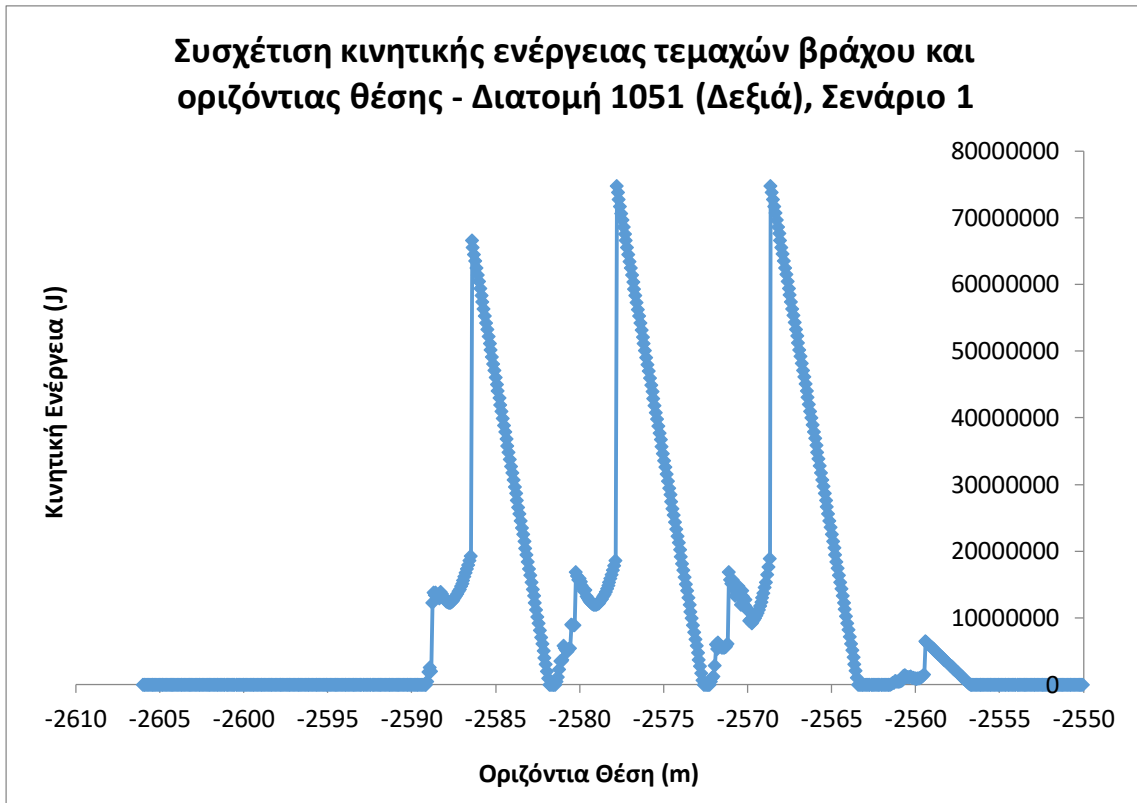


*Σχήμα 4.47: Συσχέτιση αριθμού τεμαχίων βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 1051 (δεξιά), σενάριο 1*

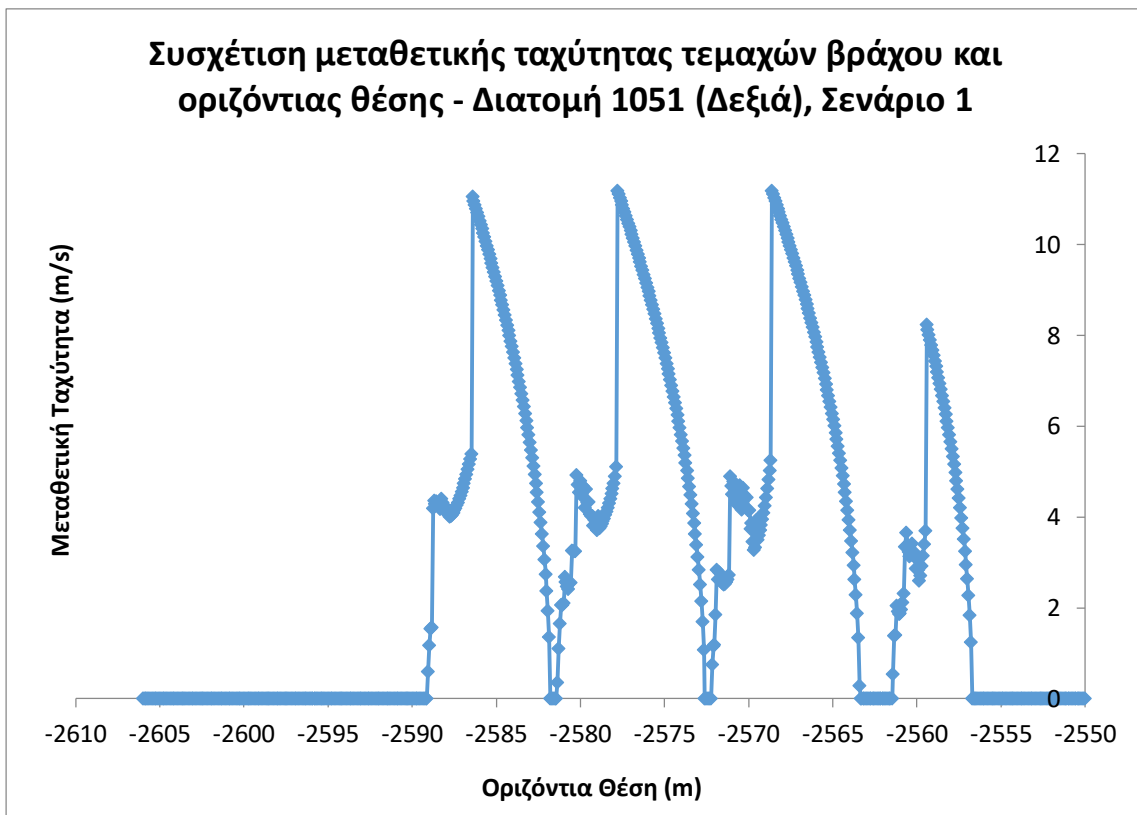


*Σχήμα 4.48: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχίων βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (δεξιά), σενάριο 1*

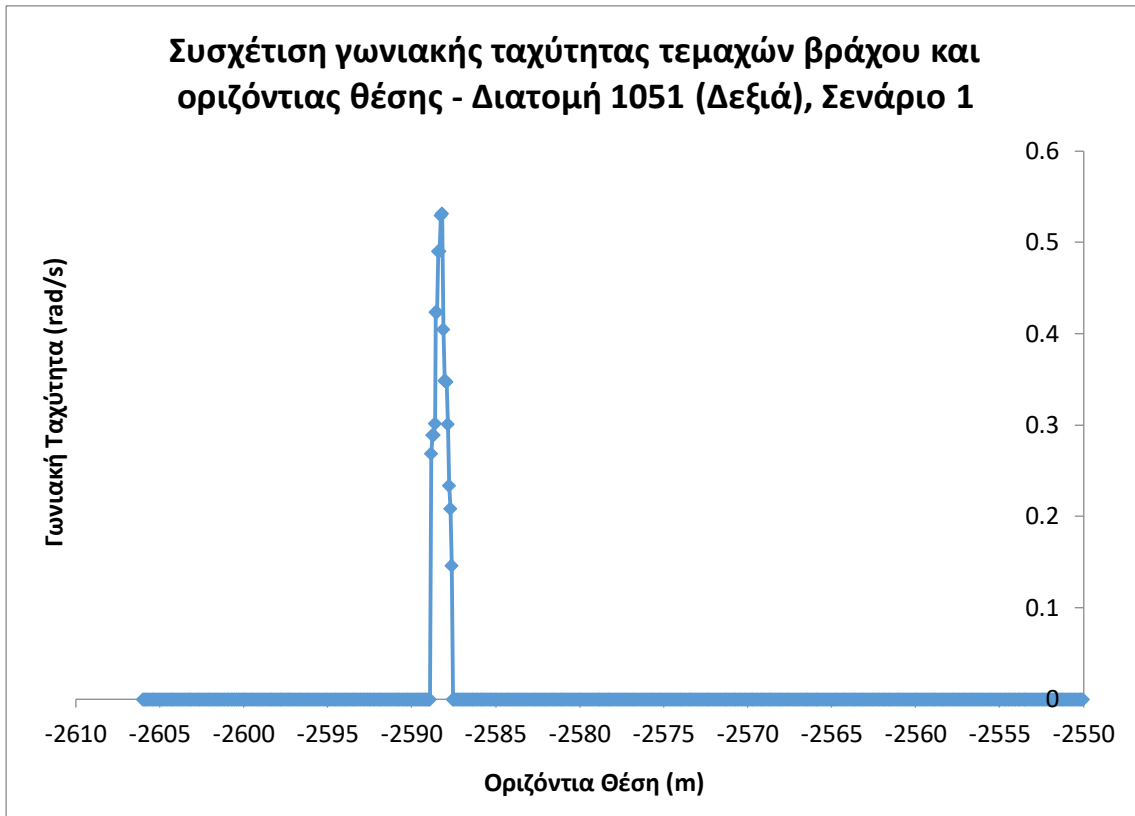




*Σχήμα 4.49: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (δεξιά), σενάριο 1*



*Σχήμα 4.50: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (δεξιά), σενάριο 1*



**Σχήμα 4.51:** Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (δεξιά), σενάριο 1

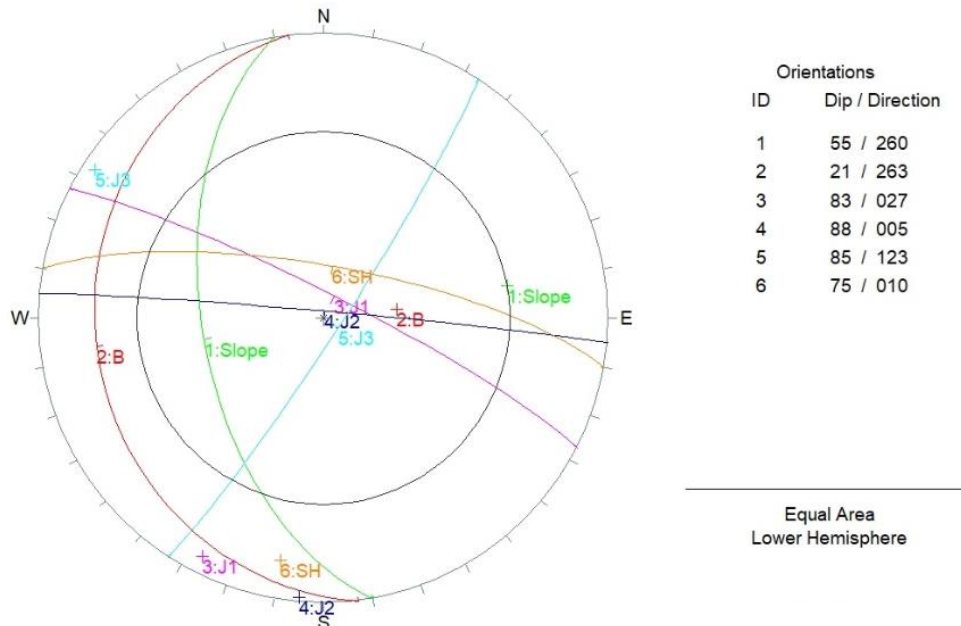
**Πίνακας 4.53:** Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 1051 (δεξιά), σενάριο 1

Μέγεθος / Διάστημα Εξέτασης	Τάφρος	Πρώτος Αναβαθμός	Δεύτερος Αναβαθμός	Τρίτος Αναβαθμός
Ύψος Αναπήδησης (m)	0.94	0.98	0.97	0.61
Κινητική Ενέργεια (kJ)	66551.97	74847.92	74847.92	6586.07
Μεταθετική Ταχύτητα (m/s)	11.05	11.19	11.19	8.24
Γωνιακή Ταχύτητα (rad/s)	0.53	0	0	0

Για τον πρώτο και τον δεύτερο αναβαθμό, οι τιμές των μεγεθών είναι ίσες, όπως αναμενόταν λόγω των ίδιων γεωμετρικών χαρακτηριστικών των πρηνών ορυγμάτων και ως εκ τούτου του ίδιου βάρους του βραχοτεμαχούς. Επιπρόσθετα για τον τρίτο αναβαθμό οι τιμές των μεγεθών είναι οι χαμηλότερες, ως αναμενόμενο γεγονός, λόγω του μικρότερου βάρους του βραχοτεμαχούς και του χαμηλότερου ύψους του πρηνούς ορύγματος. Αντίστοιχα για την τάφρο οι τιμές του ύψους αναπήδησης, της κινητικής ενέργειας και της μεταθετικής ταχύτητας είναι ελαφρώς χαμηλότερες, συγκριτικά με τις αντίστοιχες των αναβαθμών, καθώς καταρχάς το πρηνές ορύγματος ανάντη της τάφρου είναι ελάχιστα χαμηλότερο από τα δύο επόμενα κατά σειρά πρηνή ορυγμάτων και κατά δεύτερον διότι η μάζα του καταπεσόντος βραχοτεμαχούς είναι μικρότερη από αυτή των επόμενων δύο πρηνών ορυγμάτων. Τέλος αναφορικά με τη γωνιακή ταχύτητα, η μέγιστη τιμή της λαμβάνει χώρα εντός της τάφρου, κατόπιν της σύγκρουσης του τεμαχούς με το πλευρικό τμήμα αυτής.

## Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

Συνεχίζοντας την ανάλυση με το δεύτερο σενάριο, για το πρανές 55°/260° δημιουργήθηκε η στερεογραφική απεικόνιση αυτού και των -δρώντων σε αυτό- ασυνεχειών. Ο κόνος τριβής βασίζεται στην τιμή της γωνίας εσωτερικής τριβής των ασυνεχειών, η οποία τίθεται ίση με 35° (μετρώντας τη σχετική απόσταση φ από την περίμετρο του δικτύου).



**Σχήμα 4.52: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 55°/260° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=35°)**

Από το Test Markland παρατηρείται πως οι συντελεστές ασφαλείας έναντι ολίσθησης σε συνθήκες στατικής φόρτισης θα είναι, με βεβαιότητα, μεγαλύτεροι της μονάδας. Επομένως πρέπει να εξεταστούν και οι συνθήκες όπου οι ασυνέχειες είναι πληρωμένες με νερό, αλλά και όπου ταυτόχρονα υπάρχει σεισμική φόρτιση. Επιπλέον παρατηρείται πως η ασυνέχεια B δημιουργεί συνθήκες για δυνητική επίπεδη ολίσθηση και πρέπει να εξεταστούν οι συντελεστές ασφαλείας. Ως εκ τούτου, παρουσιάζονται οι παρακάτω πίνακες.

**Πίνακας 4.54: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανών 55°/260°**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ειδικό Βάρος γ (t/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
<b>B &amp; J1</b>	2.65	1.82	1.26	<b>0.96</b>
<b>B &amp; J2</b>		1.82	1.28	<b>0.94</b>
B & J3		3.78	2.95	1.88
<b>B &amp; SH</b>		1.82	1.27	<b>0.94</b>

Ο παραπάνω πίνακας, αντιμετωπίζεται όπως ο αντίστοιχος του πρώτου σεναρίου. Μολονότι είναι σαφές πως το Swedge υποτιμά τους συντελεστές A<sub>2</sub> και A<sub>3</sub> για τα τρία πρώτα πρανή ορυγμάτων (γωνία άνω μετώπου ίση με -5°), δεν μπορεί να εκτιμηθεί με ακρίβεια αν οι παραπάνω συντελεστές -που είναι μικρότεροι της μονάδας- θα είναι πρακτικά μεγαλύτεροι αυτής.

Συνεπώς εάν κάποια βραχοσφήνα είναι βαρύτερη από τα τεμάχια που αναμένεται να προβούν σε επίπεδη ολίσθηση ή αυτά του κατακερματισμένου μετώπου, θα επιλεγεί η τιμή της για την ανάλυση. Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αποδείξουν πως δεν χρειάζεται κάποιο επιπλέον μέτρο για την προστασία της οδού, τότε η αυστηρότητα

#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

χρησιμοποίησης αυτού του σεναρίου είναι αποδεκτή, καθώς εκφράζει τη δυσμενέστερη γενικά περίπτωση και καλύπτει όλες τις υπόλοιπες χωρίς να επιφέρει κάποιο επιπλέον οικονομικό κόστος.

**Πίνακας 4.55: Δυναμική επίπεδη ολίσθηση και συντελεστές ασφαλείας πρανών 55°/260°**

Ασυνέχεια	Ειδικό Βάρος $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
<b>B</b>	2.65	1.82	<b>0.89</b>	<b>0.59</b>

Από τα παραπάνω παρατηρείται πως η πλήρωση των ασυνεχειών με νερό, είναι αρκετή ώστε να υπάρξει επίπεδη ολίσθηση κατά τον άξονα της ασυνέχειας B. Η τιμή του συντελεστή A<sub>1</sub> είναι δικαιολογημένα μεγαλύτερη της μονάδας καθώς παρότι από τη μία πλευρά η διαφορά της διεύθυνσης της μέγιστης κλίσης του πρανούς και της ασυνέχειας B είναι 3° (< 20°) και η κλίση του πρανούς (ήτοι 55°) είναι μεγαλύτερη από εκείνη της ασυνέχειας B (ήτοι 21°), αλλά από την άλλη η γωνία εσωτερικής τριβής των ασυνεχειών (ήτοι 35°) είναι μεγαλύτερη της κλίσης της ασυνέχειας.

Στη συνέχεια υπολογίζονται τα βάρη των βραχοτεμαχών, ώστε να επιλεγθεί για κάθε πρανές ορύγματος η δυσμενέστερη περίπτωση.

**Πίνακας 4.56: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για τα τρία πρώτα κατά σειρά διαμορφωμένα πρανή (55°/260°) ύψους 10m έκαστον**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
B & J1	3.3	1021.8	873.7
B & J2		1074.5	925.6
B & SH		1050.6	900.5

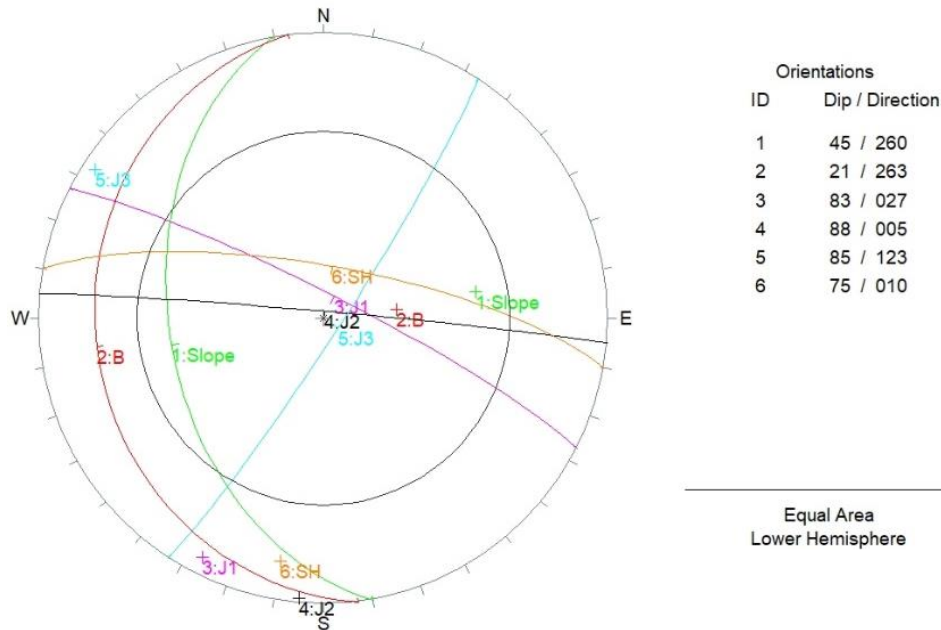
**Πίνακας 4.57: Υπολογισμός βάρους τεμάχους δυνητικής επίπεδης ολίσθησης για τα τρία πρώτα κατά σειρά διαμορφωμένα πρανή (55°/260°) ύψους 10m έκαστον**

Ασυνέχεια	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Τεμάχους (t/m)	Βάρος Τεμάχους (t)
B	3.3	23.8	78.5

Από τα στοιχεία των παραπάνω πινάκων προκύπτει πως στην προσομοίωση η μέγιστη τιμή της μάζας, που θα ληφθεί για τα τρία πρώτα πρανή ορυγμάτων, ισούται με 925.6 τόνους. Επιπρόσθετα η ολίσθηση αναμένεται να λάβει χώρα κατά την επιφάνεια της ασυνέχειας B.

Στη συνέχεια η αντίστοιχη συνολική διαδικασία πρέπει να επαναληφθεί και για το τέταρτο πρανές ορύγματος, ύψους 3.2m και κλίσης 1:1 (υ:β). Αρχικά σχεδιάζεται και παρατίθεται το δίκτυο στερεογραφικής απεικόνισης των επιφανειών. Ο κώνος τριβής σχεδιάζεται, κατά τα γνωστά, με μετρούμενη απόσταση από την περίμετρο του δικτύου ίση με τη γωνία εσωτερικής τριβής των ασυνεχειών (ήτοι 35°).

## Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα



**Σχήμα 4.53: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 45°/260° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών ( $c=0kPa$ ,  $\phi=35^\circ$ )**

Από το παραπάνω σχήμα και το Test Markland παρατηρείται πως δεν αναμένεται σφηνοειδής ολίσθηση σε συνθήκες στατικής φόρτισης. Επομένως εξετάζονται οι τιμές των συντελεστών ασφαλείας  $A_2$  και  $A_3$ .

**Πίνακας 4.58: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 45°/260°**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ειδικό Βάρος $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		$A_1$	$A_2$	$A_3$
<b>B &amp; J1</b>	2.65	1.82	1.17	<b>0.86</b>
<b>B &amp; J2</b>		1.82	1.15	<b>0.87</b>
B & J3		3.78	2.81	1.79
<b>B &amp; SH</b>		1.82	1.16	<b>0.86</b>

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται πως αναμένεται σφηνοειδής ολίσθηση σε συνθήκες όπου οι ασυνέχειες είναι πληρωμένες με νερό και παράλληλα το πρανές φορτίζεται σεισμικά. Σχετικά με τις τιμές των συντελεστών ασφαλείας  $A_2$  και  $A_3$  ισχύει ό,τι έχει προαναφερθεί, καθώς η γωνία του άνω μετώπου του πρανούς (ήτοι  $-11^\circ$ ), δεν συνυπολογίστηκε στον υπολογισμό τους. Στη συνέχεια υπολογίζονται οι συντελεστές ασφαλείας για τη δυνητική επίπεδη ολίσθηση κατά τον άξονα της ασυνέχειας B. Ο συντελεστής  $A_1$  θα είναι σίγουρα μεγαλύτερος της μονάδας, καθώς παρότι η διαφορά της διεύθυνσης της μέγιστης κλίσης του πρανούς και της ασυνέχειας B είναι  $3^\circ$  ( $< 20^\circ$ ) και η κλίση του πρανούς (ήτοι  $45^\circ$ ) είναι μεγαλύτερη από αυτή της ασυνέχειας B (ήτοι  $21^\circ$ ), η γωνία εσωτερικής τριβής των ασυνεχειών (ήτοι  $35^\circ$ ) είναι μεγαλύτερη της κλίσης της ασυνέχειας. Ως εκ τούτου, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι τιμές των συντελεστών  $A_2$  και  $A_3$ .

**Πίνακας 4.59: Δυνητική επίπεδη ολίσθηση και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 45°/260°**

Ασυνέχεια	Ειδικό Βάρος $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		$A_1$	$A_2$	$A_3$
<b>B</b>	2.65	1.82	<b>0.81</b>	<b>0.53</b>

#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

Μέσω αυτών παρατηρείται πως είναι αρκετό οι ασυνέχειες να είναι πληρωμένες με νερό, ώστε να υπάρξει επίπεδη ολίσθηση κατά την επιφάνεια της ασυνέχειας B. Επομένως για όλες τις δυνατές αστοχίες, πρέπει να υπολογιστεί η μάζα του ολισθαίνοντος βραχοτεμάχους.

**Πίνακας 4.60: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (45°/260°) ύψους 3.2m μεταξύ του τρίτου αναβαθμού και του υψηλότερου διαμορφωμένου τμήματος**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
B & J1	1.6	80.9	66.8
B & J2		86.4	71.2
B & SH		84	70.0

**Πίνακας 4.61: Υπολογισμός βάρους τεμάχους δυνητικής επίπεδης ολίσθησης για το πρανές (45°/260°) ύψους 3.2m μεταξύ του τρίτου αναβαθμού και του υψηλότερου διαμορφωμένου τμήματος**

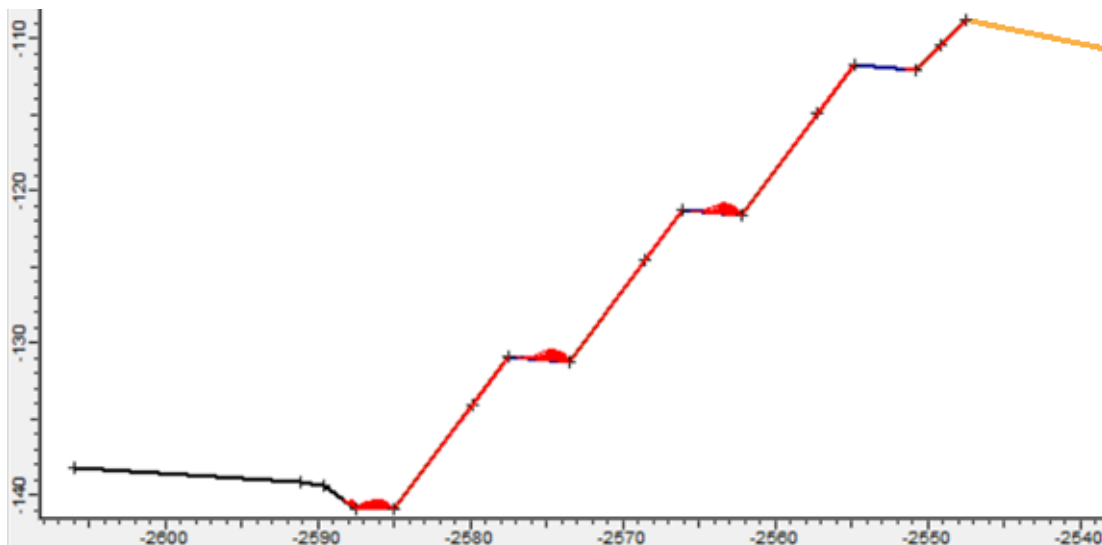
Ασυνέχεια	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Τεμάχους (t/m)	Βάρος Τεμάχους (t)
B	1.6	4.3	6.9

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, καθώς και λαμβάνοντας υπόψιν πως το βάρος του δυνητικά καταπεσόντος τεμάχους, λόγω κερματισμού του μετώπου από τα εκρηκτικά, είναι το 1/4 του κυβικού μέτρου (ήτοι 0.7 τόνοι), προκύπτει ο Πίνακας 4.62.

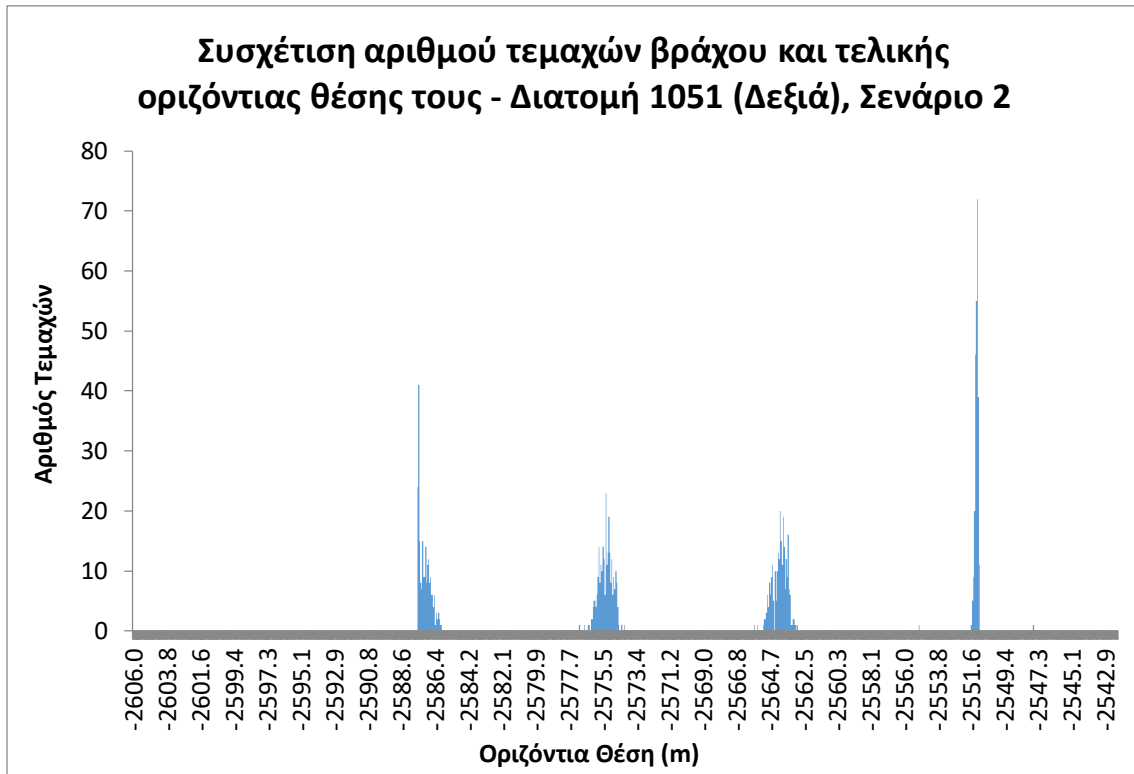
**Πίνακας 4.62: Σύνοψη μέγιστων τιμών βραχοσφηνών για κάθε τμήμα του διαμορφωμένου πρανούς**

Ύψος Πρανούς (m)	Ύψος Τεμάχους (m)	Μέγιστο Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
10	3.3	1074.5	925.6
3.2	1.6	86.4	71.2

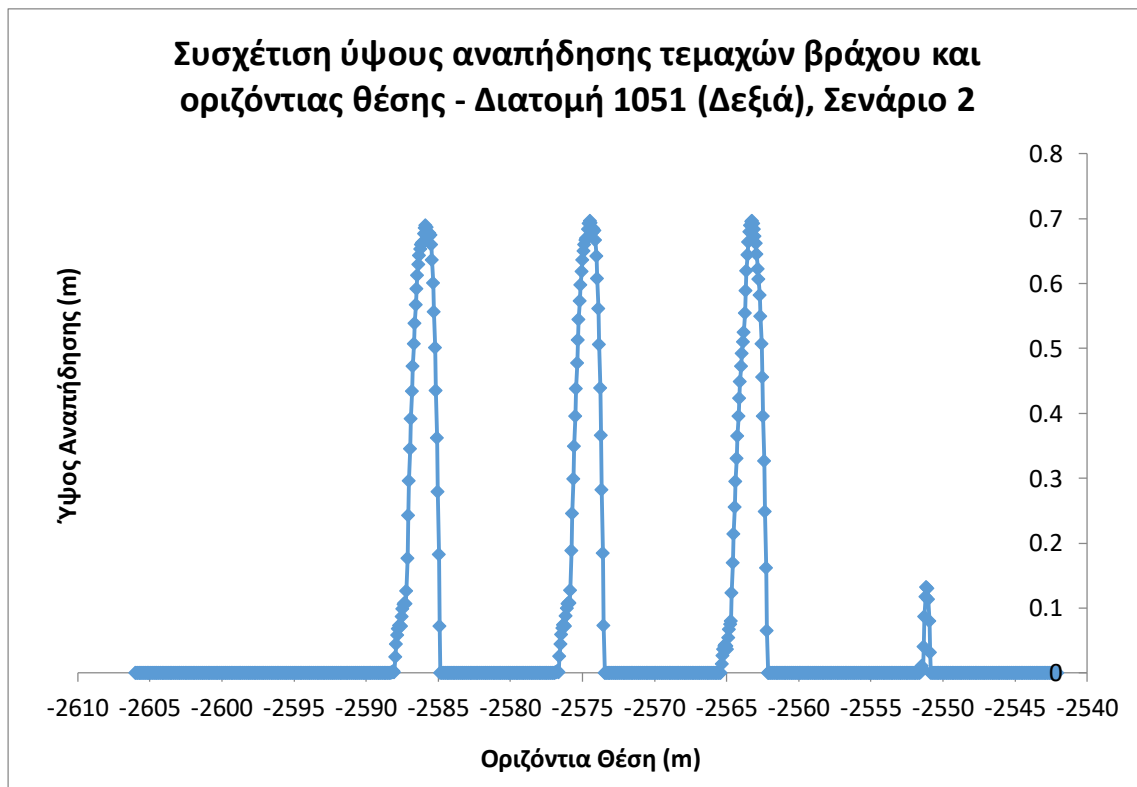
Βάσει των τιμών αυτών έλαβε χώρα η προσομοίωση στο RocFall 4.0, ενώ η αποτύπωση της κίνησης των βράχων και η τελική οριζόντια θέση τους δίνεται από τα δύο πρώτα σχήματα.



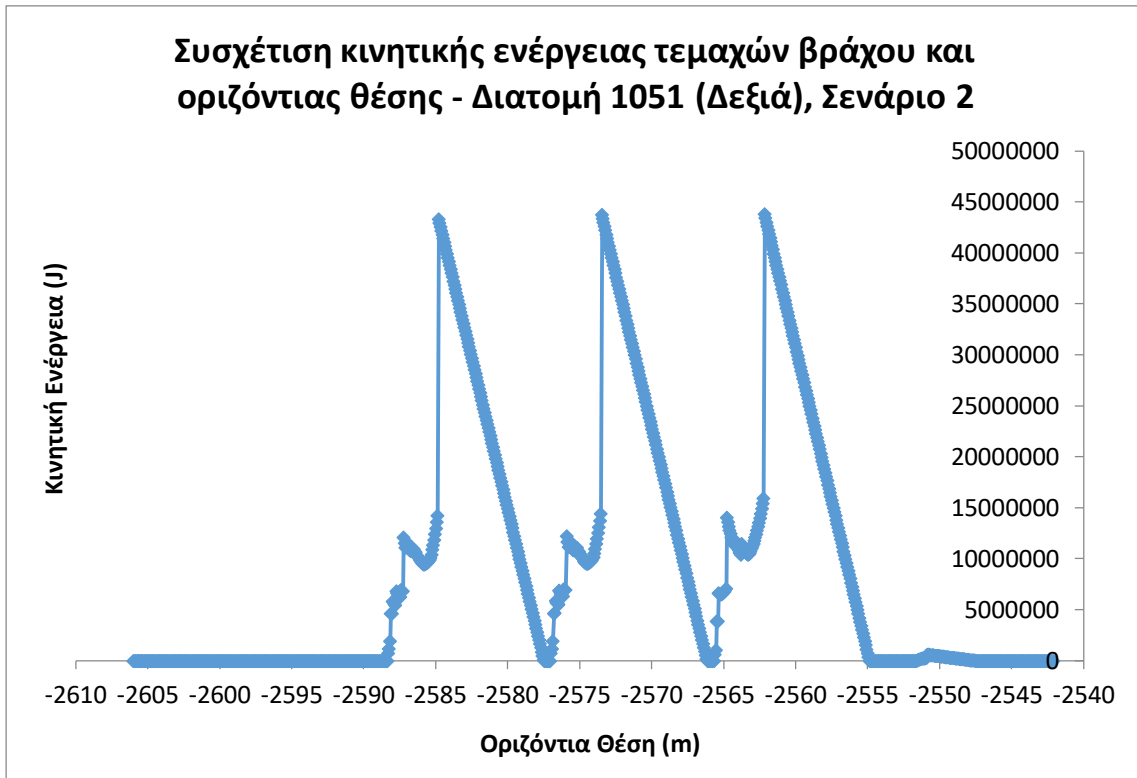
**Σχήμα 4.54: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 1051 (δεξιά) με διαμόρφωση των τριών πρώτων κατά σειρά πρανών ορυγμάτων με κλίση 55° και του τέταρτου με κλίση 45°**



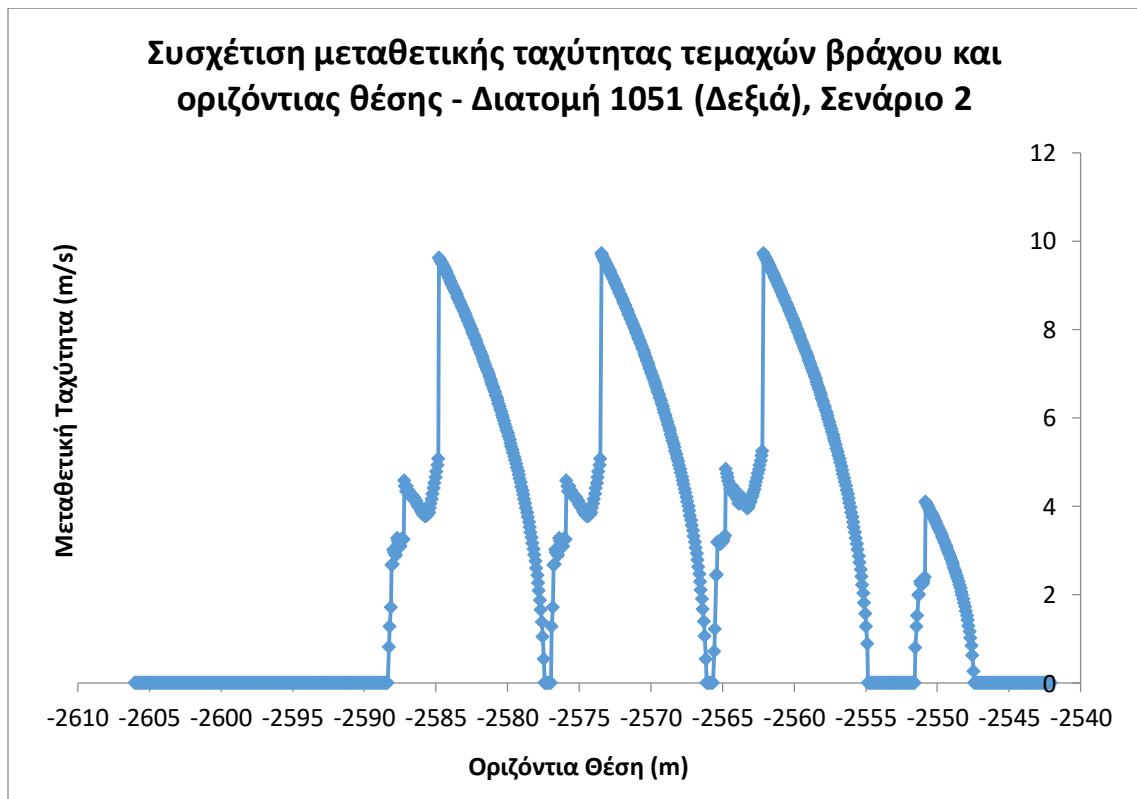
*Σχήμα 4.55: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 1051 (δεξιά), σενάριο 2*



*Σχήμα 4.56: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (δεξιά), σενάριο 2*

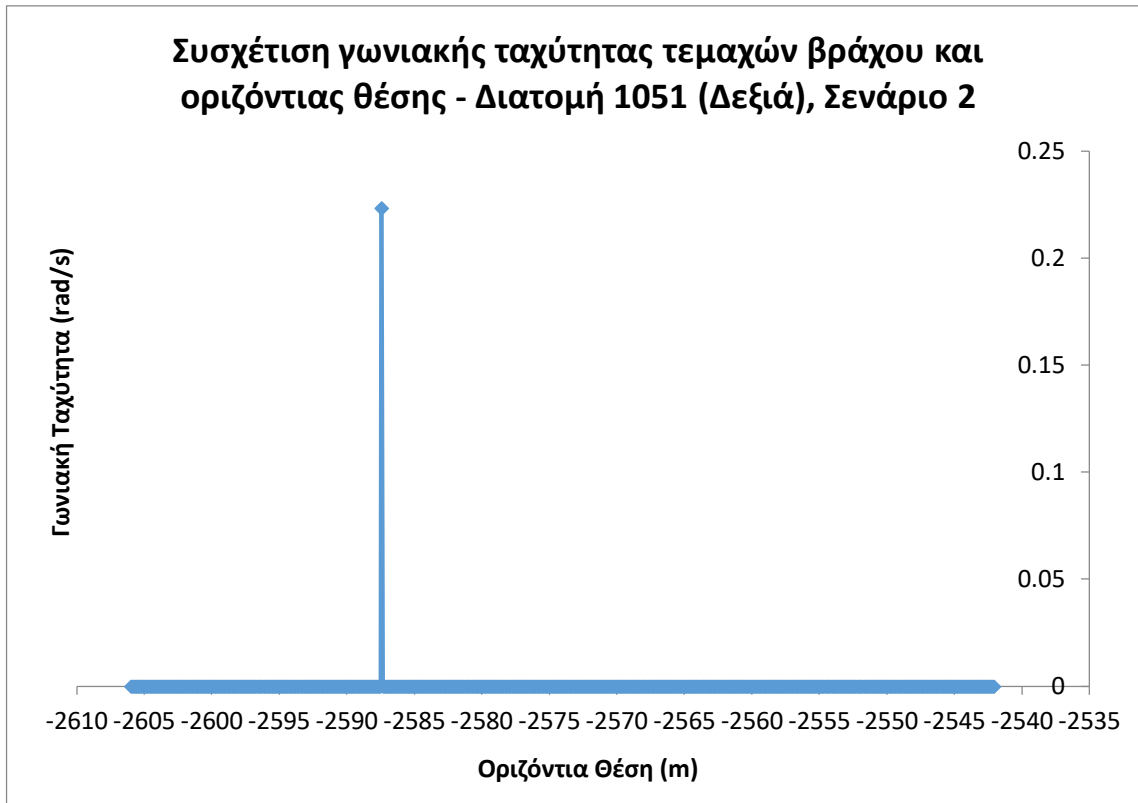


*Σχήμα 4.57: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (δεξιά), σενάριο 2*



*Σχήμα 4.58: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (δεξιά), σενάριο 2*





**Σχήμα 4.59: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 1051 (δεξιά), σενάριο 2**

Αποδελτιώνοντας τις μέγιστες τιμές των παραπάνω διαγραμμάτων και εισάγοντάς τες στον πίνακα 4.63, μπορεί να πραγματοποιηθεί μία σύγκριση σχετικά με τη διαμόρφωση του πρώτου σεναρίου.

Γενικότερα και από τα σχήματα αυτά επιβεβαιώνεται για ακόμη μία φορά πως η κλίση (κυρίως) και το ύψος του πρανούς (δευτερευόντως) αποτελούν τους σημαντικότερους παράγοντες επίδρασης και ακολουθεί η μάζα, αναφορικά με τη μεταβολή των μεγεθών. Μικρότερη μάζα συνεπάγεται και μικρότερη κινητική ενέργεια. Επιπλέον η μεταθετική ταχύτητα δεν επηρεάζεται από τη μάζα, αλλά πρωτίστως από την κλίση του πρανούς. Συγκεκριμένα, όπως έχει προαναφερθεί, η διαμόρφωση με ηπιότερη κλίση επιφέρει μικρότερη μεταθετική ταχύτητα και χαμηλότερο ύψος αναπήδησης στα βραχοτεμάχια. Επομένως η κλίση του πρανούς επιδρά έμμεσα και στη μεταβολή της κινητικής ενέργειας. Τέλος, η τιμή της γωνιακής ταχύτητας εντός της τάφρου εξαρτάται από την πρόσκρουση στο πλευρικό τμήμα της τάφρου και τη γεωμετρία αυτού. Στους αναβαθμούς, λόγω της τιμής του βάρους των βραχοτεμαχίων, είναι μηδενική.

**Πίνακας 4.63: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 1051 (δεξιά), σενάριο 2**

Μέγεθος Διάστημα Εξέτασης	Τάφρος	Πρώτος Αναβαθμός	Δεύτερος Αναβαθμός	Τρίτος Αναβαθμός
Ύψος Αναπήδησης (m)	0.69	0.69	0.69	0.13
Κινητική Ενέργεια (kJ)	43634.68	43724.60	43814.62	601.36
Μεταθετική Ταχύτητα (m/s)	9.71	9.72	9.73	4.11
Γωνιακή Ταχύτητα (rad/s)	0.22	0	0	0

#### 4.3.4 Διατομή ορύγματος στη Χ.Θ. 0+173.21 της παράπλευρης SRL24A στον ανισόπεδο κόμβο Γοργομύλου (Διατομή 10)

Η αρχική μελέτη οδοποιίας προέβλεπε τη διαμόρφωση των αριστερών και των δεξιών πρανών με κλίση των πρανών ορυγμάτων τους ίση με 2:1 (υ:β), αλλά και κατασκευή αναβαθμού πλάτους 4m ανά 10m ύψος και τριγωνικής τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων βάθους 1m και πλάτους 4.11m στο πόδι του πρανούς. Τέλος η μελέτη προέβλεπε επίσης και χρήση πλέγματος συγκράτησης καταπτώσεων.

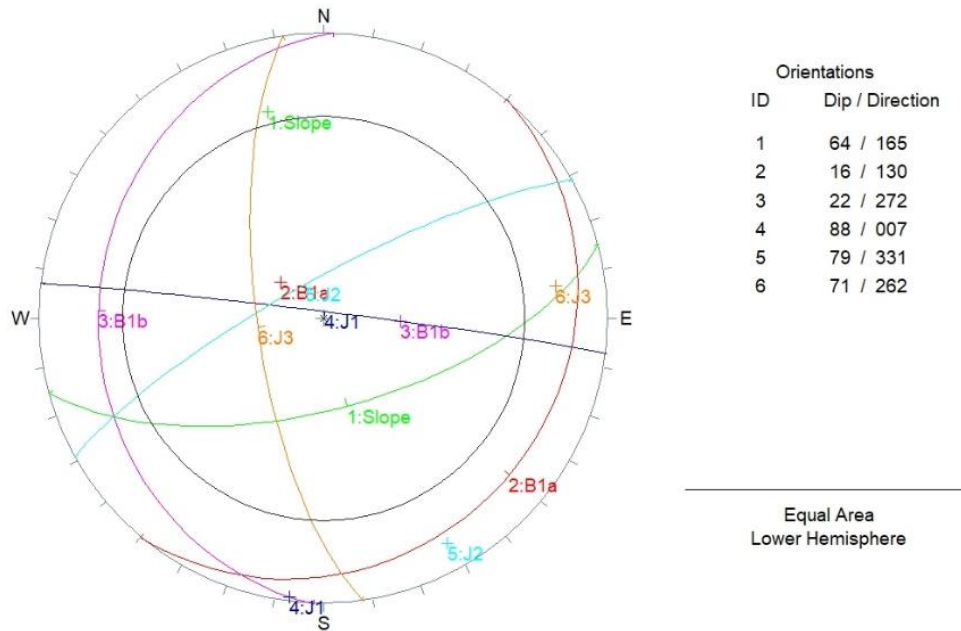
##### *Αριστερό πρανές (διεύθυνση μέγιστης κλίσης 165°)*

Η αναδιαμόρφωση του αριστερού πρανούς, η οποία πρέπει να πραγματοποιηθεί εξαιτίας της κατασκευής μίας νέας λωρίδας κυκλοφορίας πλάτους 3.75m, περιλαμβάνει δύο σενάρια. Το πρώτο είναι να διατηρηθεί η κλίση, η οποία έχει δοθεί από τη μελέτη οδοποιίας κατά την πρώτη διαμόρφωση, δηλαδή 2:1 (υ:β), για το πρανές (64°/165°) μέχρι τα 10m ύψος. Για τα υπόλοιπα 2.8m, προτείνεται η διαμόρφωση με κλίση 1:1 (υ:β) (πρανές 45°/165°), σύμφωνα με τον Κ.Μ.Ε. Ανάμεσα στα δύο πρανή ορυγμάτων, προβλέπεται η κατασκευή αναβαθμού πλάτους 4m και κλίσης 5°. Παράλληλα προβλέπεται η δημιουργία τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων στο πόδι του πρανούς, με βάθος 2m και πλάτος 5m. Τέλος το συνολικό ύψος του διαμορφωμένου πρανούς ανέρχεται στα 12.5m, ενώ η μέση κλίση του είναι 1.1:1 (υ:β).

Το δεύτερο σενάριο αφορά τη διαμόρφωση με συντηρητικότερη κλίση 1.4:1 (υ:β) (πρανές 55°/165) για τα πρώτα 10m ύψος και με κλίση 1:1 (υ:β) (πρανές 45°/165°), για τα υπόλοιπα 2.1m. Στην επιλογή της διαμόρφωσης λαμβάνεται υπόψιν και η δομή της βραχομάζας, ενώ οι λόγοι που δεν χρησιμοποιήθηκε μεγαλύτερη κλίση ταυτίζονται με τους αναφερθέντες κατά τις αναλύσεις των προηγούμενων διατομών. Ανάμεσα στα δύο διαμορφωμένα πρανή ορυγμάτων προβλέπεται η δημιουργία αναβαθμού πλάτους 4m και κλίσης 5°, ενώ στο πόδι του πρανούς προβλέπεται η κατασκευή τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων βάθους 1.5m και πλάτους 5m. Το συνολικό ύψος του διαμορφωμένου πρανούς υπολογίζεται ίσο με 11.8m, ενώ η κλίση του είναι 0.9:1 (υ:β).

Για τις αναλύσεις κινηματικής ευστάθειας για το πρώτο σενάριο, παρατίθενται τα παρακάτω δύο δίκτυα στερεογραφικής απεικόνισης των επιφανειών για τα δύο διαμορφωμένα πρανή. Σημειώνεται πως η γωνία εσωτερικής τριβής των ασυνεχειών τίθεται ίση με 30° και η συνοχή τους (η οποία θα χρειαστεί στον υπολογισμό των συντελεστών ασφαλείας) ίση με 0 kPa, όπως προτείνεται από τη μελέτη των Παπαμαρινόπουλου και Βακίρη (2014).

**Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα**



**Σχήμα 4.60: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 64°/165° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών ( $c=0kPa$ ,  $\phi=30^\circ$ )**

Από το παραπάνω δίκτυο Schmidt, παρατηρείται πως οι συντελεστές ασφαλείας έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης, σε συνθήκες στατικής φόρτισης, αναμένεται να είναι μεγαλύτεροι της μονάδας. Η διαπίστωση αυτή γίνεται κατόπιν εφαρμογής του Test Markland. Εντούτοις τα στοιχεία θα πρέπει να εισαχθούν στο Swedge 4.0, ώστε να προκύψουν οι τιμές των συντελεστών ασφαλείας για συνθήκες ασυνεχειών πληρωμένων με νερό, αλλά και παράλληλα συνθηκών σεισμικής φόρτισης. Διευκρινίζεται πως και σε αυτήν την περίπτωση το Swedge 4.0 υποτιμά τους συντελεστές ασφαλείας  $A_2$  και  $A_3$  του πρανού ορύγματος, καθώς δεν μπορεί να λάβει υπόψιν τη γωνία του άνω μετώπου του πρανού που ισούται με  $-5^\circ$ .

**Πίνακας 4.64: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανού 64°/165°**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ειδικό Βάρος $\gamma$ ( $t/m^3$ )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		$A_1$	$A_2$	$A_3$
<b>B1a &amp; J1</b>	2.62	2.01	1.09	<b>0.85</b>
B1a & J3		3.34	2.62	1.55
B1a & B1b		5.56	4.42	1.98

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει πως ο συνδυασμός των ασυνεχειών B1a και J1, οδηγεί σε σφηνοειδή ολίσθηση σε συνθήκες όπου οι ασυνέχειες είναι πληρωμένες με νερό και παράλληλα εκδηλώνεται κάποια σεισμική φόρτιση.

Συνεπώς για το πρώτο πρανές ορύγματος, η μάζα του τεμάχους θα είναι ίση με τη βραχοσφήνα που προκύπτει από τον πρώτο συνδυασμό ασυνεχειών. Ο υπολογισμός της τιμής της γίνεται μέσω του Swedge 4.0. Εντούτοις λαμβάνει χώρα η κατάλληλη γεωμετρική απομείωση του σχήματος της βραχοσφήνας, ώστε να υπολογιστεί η πραγματική μάζα του βραχοτεμάχους. Ο άξονας ολίσθησης είναι αυτός της ασυνέχειας B1a. Σημειώνεται πως η μάζα των δυνητικά καταπεσόντων τεμαχών, λόγω της όρυξης με εκρηκτικές ύλες, ισούται με 0.7 τόνους ως το 1/4 του κυβικού μέτρου.

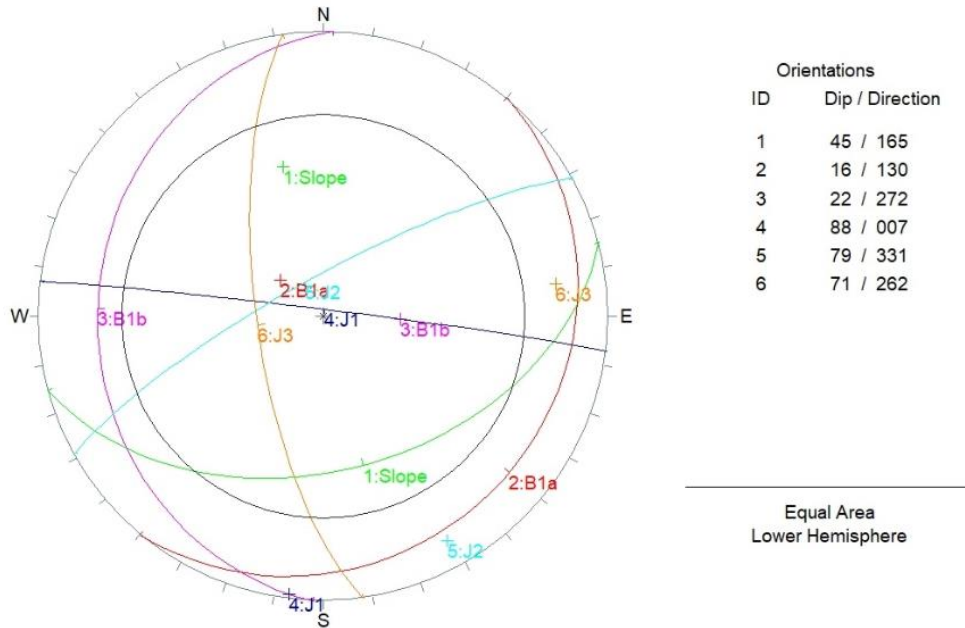
**Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα**

**Πίνακας 4.65: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (64°/165°) ύψους 10m έως τον αναβαθμό**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμάχου (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
B1a & J1	3.3	67.0	63.8

Επομένως για το πρανές αυτό, η τιμή του βάρους της σφήνας που θα χρησιμοποιηθεί στην προσομοίωση είναι ίση με 63.8 τόνους.

Στη συνέχεια θα πραγματοποιηθούν οι ίδιες αναλύσεις και για το δεύτερο πρανές ορύγματος (45°/165°).



**Σχήμα 4.61: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 45°/165° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=30°)**

Από το Test Markland συμπεραίνεται πως σε συνθήκες στατικής φόρτισης υπάρχει ασφάλεια έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης. Εντούτοις για τις υπόλοιπες δύο συνθήκες, τα συμπεράσματα θα εξαχθούν κατόπιν ανάλυσης με το Swedge 4.0.

**Πίνακας 4.66: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 45°/165°**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ειδικό Βάρος $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
<b>B1a &amp; J1</b>	2.62	2.01	<b>0.52</b>	<b>0.44</b>
B1a & J3		3.34	2.52	1.50
B1a & B1b		5.56	4.33	1.94

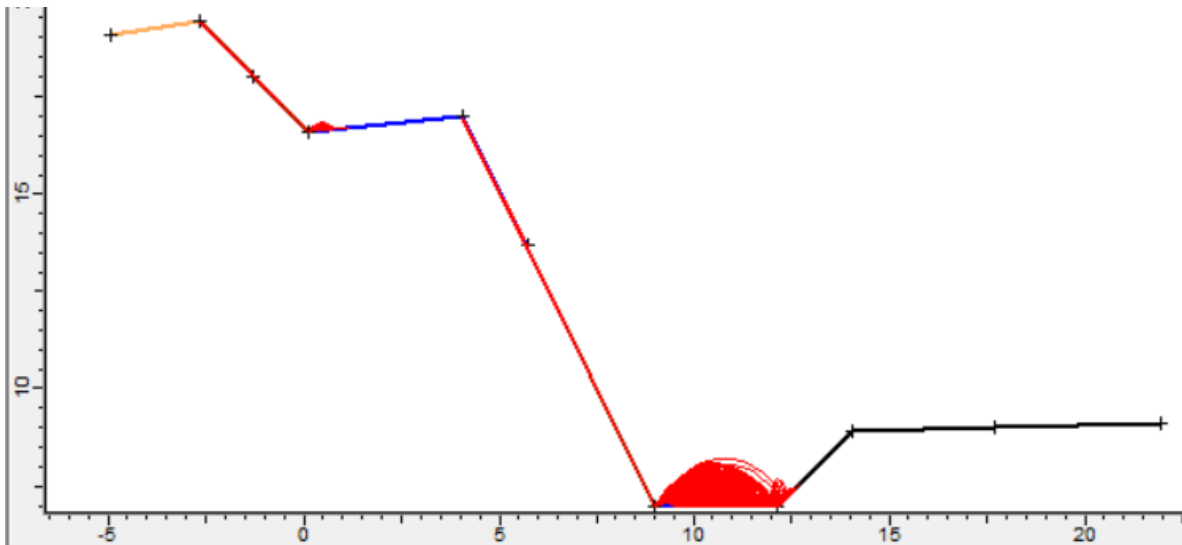
Μολονότι είναι σαφές πως το Swedge 4.0 υποτιμά τους συντελεστές ασφαλείας A<sub>2</sub> και A<sub>3</sub>, καθώς η γωνία του άνω μετώπου του πρανούς ισούται με -8°, οι τιμές τους είναι τέτοιες που δεν χωρά αμφιβολία για το ότι αναμένεται ολίσθηση βραχοσφήνας. Σχετικά με την τιμή της μάζας του βραχοτεμάχου, πραγματοποιείται η κατάλληλη γεωμετρική απομείωση του σχήματος του βραχοτεμάχου, για τον υπολογισμό της ακριβούς τιμής της.

**Πίνακας 4.67: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (45°/165°) ύψους 2.8m μεταξύ του αναβαθμού και του υψηλότερου διαμορφωμένου τμήματος**

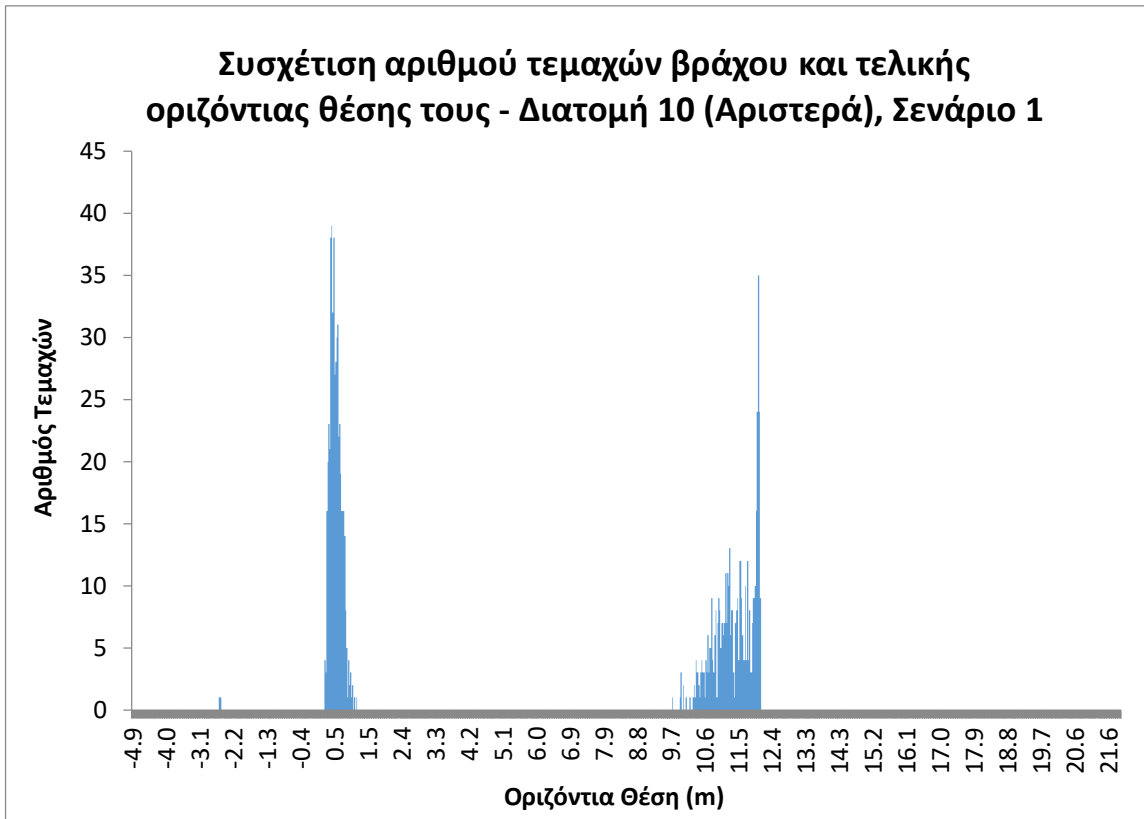
Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμαχούς (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
B1a & J1	1.4	1.3	1.2

Ως εκ τούτου αναμένεται ολίσθηση της βραχοσφήνας που δημιουργείται από την τομή των ασυνεχειών B1a και J1, ακόμα και μόνο κατόπιν συνθηκών φόρτισης εξαιτίας της πλήρωσης των ασυνεχειών με νερό. Για τη συγκεκριμένη σφήνα, η μάζα ισούται με 1.2 τόνους και είναι μεγαλύτερη από αυτήν των κερματισμένων βράχων στο μέτωπο λόγω έκρηξης. Ο άξονας ολίσθησης είναι αυτός της ασυνέχειας B1a.

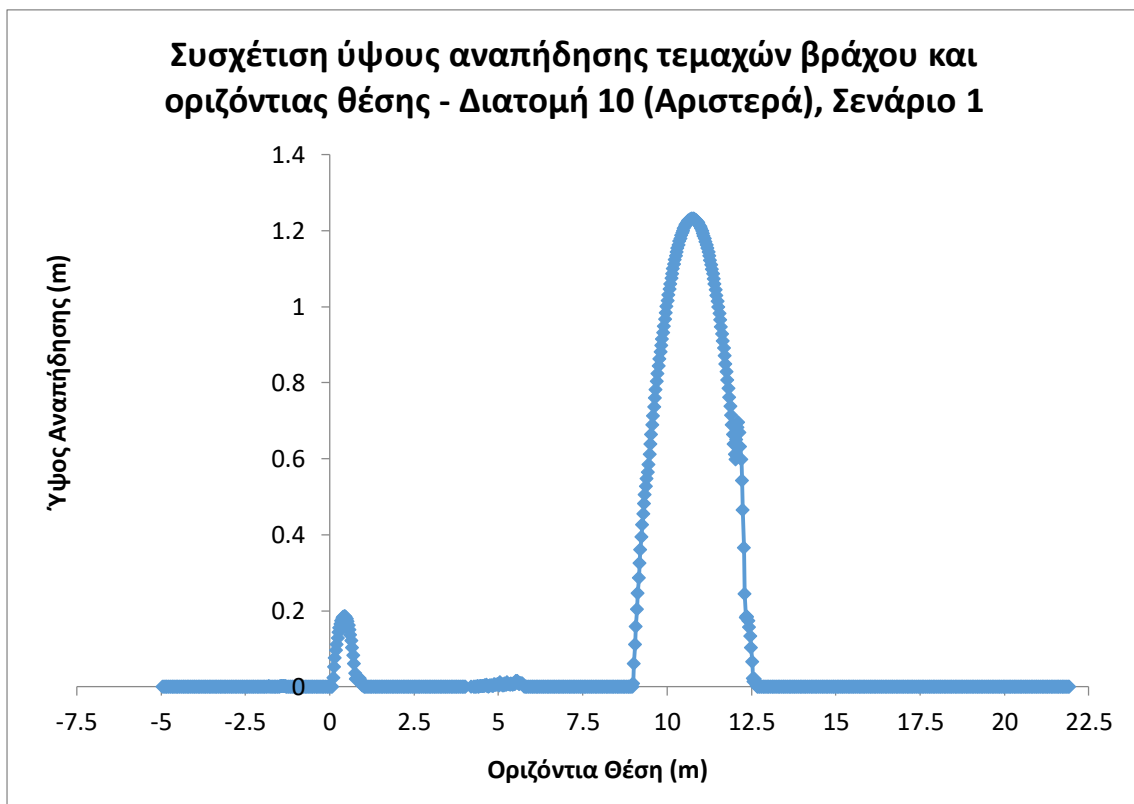
Η προσομοίωση, βάσει όλων των παραπάνω, έδωσε τα αποτελέσματα που παρατίθενται μέσω των ακόλουθων σχημάτων. Τα δύο πρώτα αφορούν την κίνηση και τη θέση των τεμαχών βράχου και από τα οποία προκύπτει πως η οδός (με κοντινότερο στο πρανές σημείο το  $(x,y) = (14.01,8.92)$  του σχήματος 4.62) είναι ασφαλής έναντι εισόδου τεμαχών βράχου. Ως εκ τούτου, η τάφρος αναχαίτισης καταπτώσεων λειτουργεί πλήρως αποτελεσματικά. Επιπλέον ο αναβαθμός φαίνεται πως υπερεπαρκεί για τη συγκράτηση των καταπεσόντων, από το πρανές ορύγματος κλίσης 45°, τεμαχών βράχου. Τα τέσσερα τελευταία διαγράμματα αφορούν τη συσχέτιση του ύψους αναπήδησης, της κινητικής ενέργειας, της μεταθετικής και της γωνιακής ταχύτητας των τεμαχών βράχου με την οριζόντια θέση.



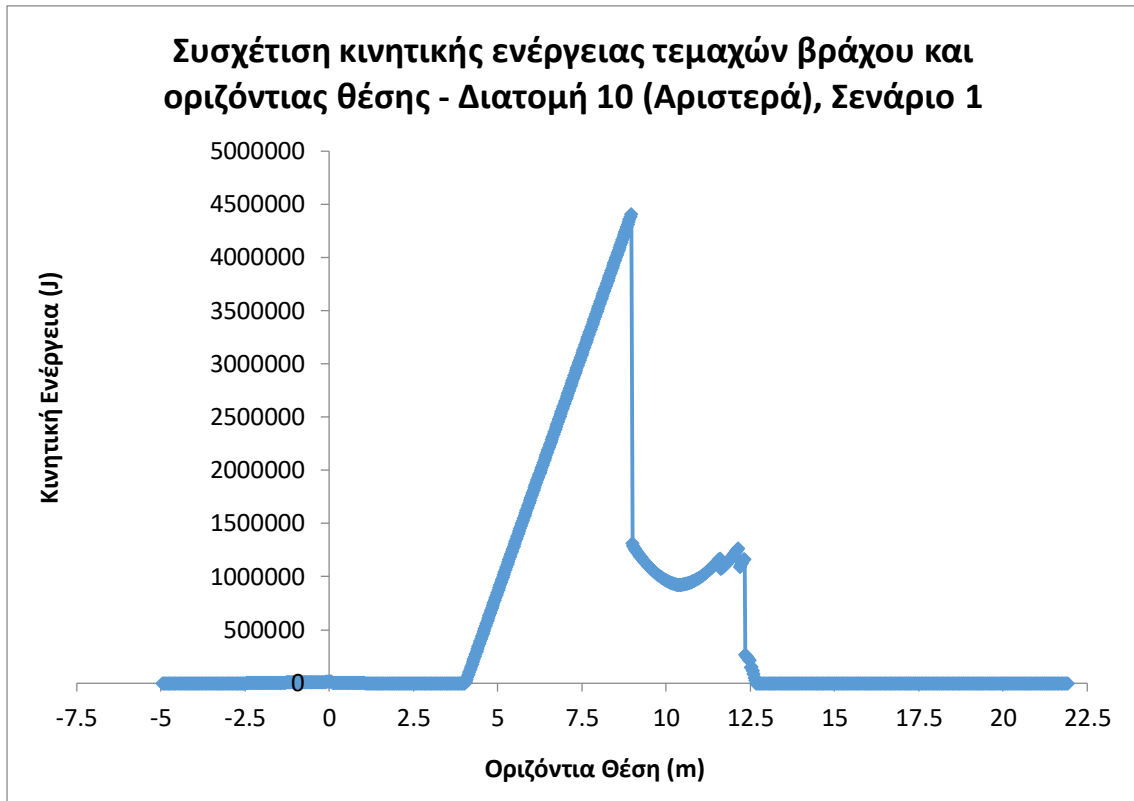
**Σχήμα 4.62: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 10 (αριστερά) με διαμόρφωση πρανών με κλίση 64° έως τον αναβαθμό και 45° από τον αναβαθμό έως το υψηλότερο διαμορφωμένο τμήμα του πρανούς**



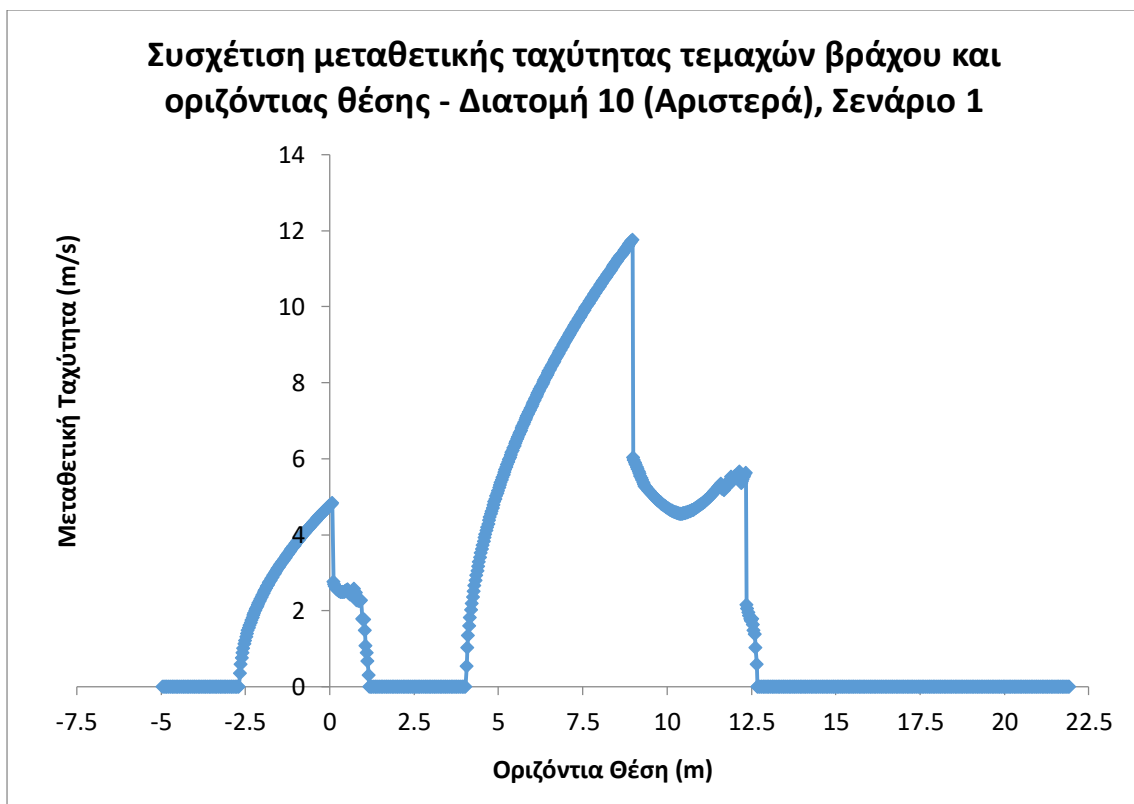
*Σχήμα 4.63: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 10 (αριστερά), σενάριο 1*



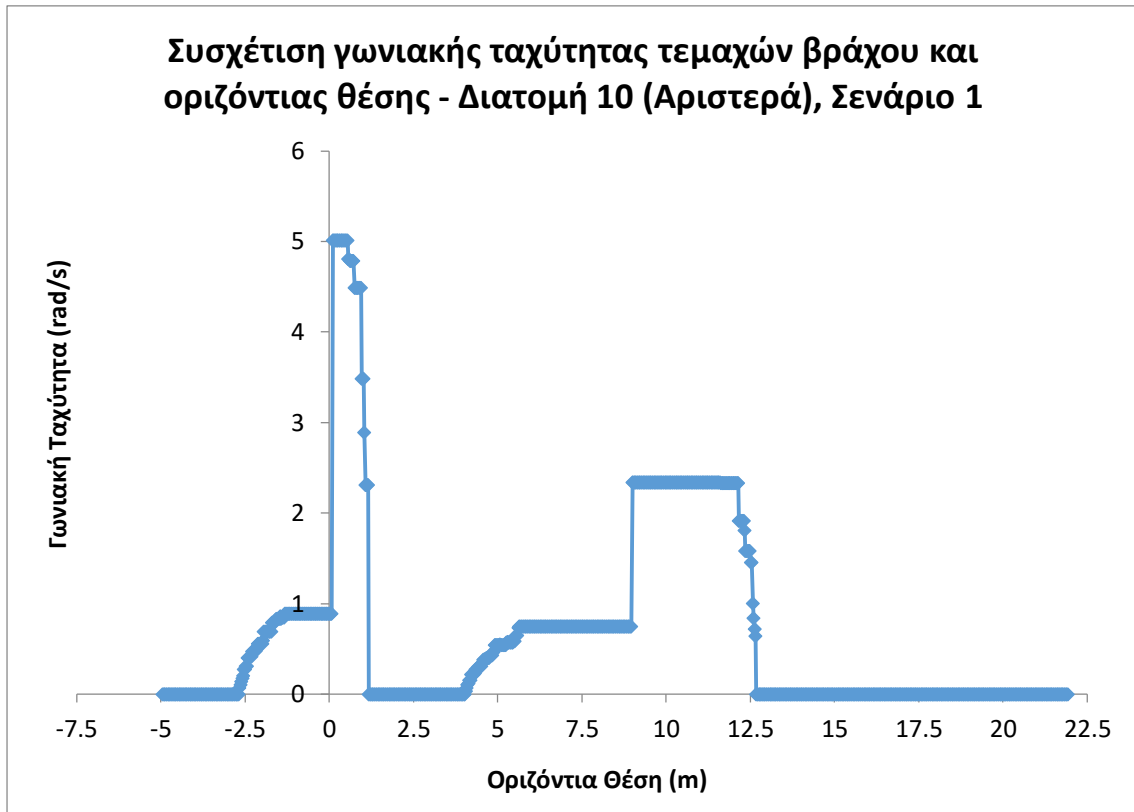
*Σχήμα 4.64: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (αριστερά), σενάριο 1*



*Σχήμα 4.65: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (αριστερά), σενάριο 1*



*Σχήμα 4.66: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (αριστερά), σενάριο 1*



**Σχήμα 4.67: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (αριστερά), σενάριο 1**

Τέλος παρουσιάζεται ο παρακάτω πίνακας, ο οποίος αποτελεί την αποδελτίωση των παραπάνω διαγραμμάτων, αναφορικά με τις μέγιστες τιμές των μεγεθών κατά πλάτος του αναβαθμού και της τάφρου.

**Πίνακας 4.68: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 10 (αριστερά), σενάριο 1**

Μέγεθος / Διάστημα Εξέτασης	Αναβαθμός	Τάφρος
Ύψος Αναπήδησης (m)	0.20	1.22
Κινητική Ενέργεια (kJ)	14.00	4404.19
Μεταθετική Ταχύτητα (m/s)	4.83	11.75
Γωνιακή Ταχύτητα (rad/s)	5.01	2.34

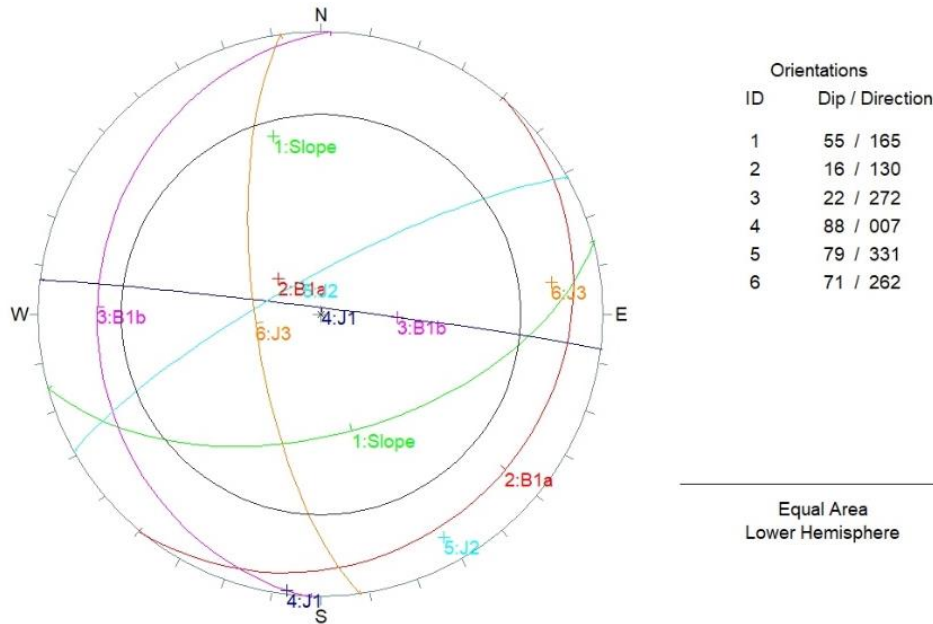
Αναλύοντας τα αποτελέσματα του πίνακα παρατηρείται πως αύξηση της μάζας προκαλεί την αναμενόμενη αύξηση της κινητικής ενέργειας, ενώ παράλληλα οδηγεί σε μείωση της γωνιακής ταχύτητας. Εντός της τάφρου η γωνιακή ταχύτητα αυξάνεται έως ότου λάβει τη μέγιστη τιμή της, κατόπιν της πρόσκρουσης στο πλευρικό τμήμα της τάφρου. Παράλληλα η κλίση και το ύψος του πρηνούς ορύγματος επιδρούν σημαντικά στις τιμές της μεταθετικής ταχύτητας και του ύψους αναπήδησης, βάσει του τρόπου που έχει προαναφερθεί και στις υπόλοιπες διατομές.

Στη συνέχεια οι αντίστοιχες διαδικασίες λαμβάνουν χώρα για το δεύτερο σενάριο. Αρχικά πραγματοποιείται η ανάλυση της κινηματικής ευστάθειας του πρηνούς 55°/165°. Σημειώνεται πως για το πρηνές 45°/165° το δίκτυο στερεογραφικής προβολής είναι αυτό του σχήματος 4.61, το οποίο παρουσιάστηκε κατά την ανάλυση του πρώτου σεναρίου. Το ίδιο συμβαίνει και με



## Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

τους συντελεστές ασφαλείας, ενώ το μόνο στο οποίο διαφοροποιείται συγκριτικά με το πρανές ορύγματος του πρώτου σεναρίου, είναι το βάρος της σχηματιζόμενης βραχοσφήνας λόγω της διαφοράς στο ύψος του πρανούς.



**Σχήμα 4.68: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 55°/165° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών ( $c=0kPa$ ,  $\phi=30^\circ$ )**

Από το παραπάνω σχήμα, και συγκεκριμένα την εφαρμογή του Test Markland, προκύπτει πως σε συνθήκες στατικής φόρτισης το πρανές χαρακτηρίζεται από ασφάλεια έναντι ολίσθησης βραχοσφήνας. Επομένως απομένει η εξέταση και των συνθηκών ασυνεχειών πληρωμένων με νερό, αλλά και παράλληλα ύπαρξης σεισμικής φόρτισης. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.69 και έχουν εξαχθεί μέσω του Swedge 4.0. Σημειώνεται πως και σε αυτήν την περίπτωση το Swedge 4.0 υποτιμά τους συντελεστές ασφαλείας  $A_2$  και  $A_3$ , καθώς η γωνία του άνω μετώπου του πρανούς ισούται με  $-5^\circ$ .

**Πίνακας 4.69: Δυναμικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 55°/165°**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ειδικό Βάρος $\gamma$ ( $t/m^3$ )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		$A_1$	$A_2$	$A_3$
<b>B1a &amp; J1</b>	2.62	2.01	<b>0.91</b>	<b>0.74</b>
B1a & J3		3.34	2.58	1.53
B1a & B1b		5.56	4.38	1.96

Σύμφωνα με τις τιμές του πίνακα, οι συνθήκες όπου οι ασυνέχειες είναι πληρωμένες με νερό επαρκούν ώστε να υπάρξει ολίσθηση βραχοσφήνας από την τομή των ασυνεχειών B1a και J1. Η τιμή του συντελεστή  $A_3$  επαρκεί ώστε να ειπωθεί με βεβαιότητα πως αναμένεται ολίσθηση βραχοσφήνας από την τομή των συγκεκριμένων ασυνεχειών, αφού ναι μεν υποτιμάται από το Swedge 4.0, αλλά δεν θα λάμβανε τιμή μεγαλύτερη της μονάδας δε. Η συγκεκριμένη δυσλειτουργία του λογισμικού οδηγεί και σε υπερεκτίμηση της μάζας της βραχοσφήνας, παρόλα αυτά με την κατάλληλη γεωμετρική απομείωση στο σχήμα της, είναι δυνατό να ευρεθεί η πραγματική τιμή του βάρους της.

#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

**Πίνακας 4.70: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (55°/165°) ύψους 10m έως τον αναβαθμό**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
B1a & J1	3.3	42.6	40.7

Επομένως, λαμβάνοντας υπόψιν το βάρος της βραχοσφήνας που δημιουργείται από τις B1a και J1 (ήτοι 40.7 τόνοι) και το βάρος του τεμάχους του κερματισμένου -λόγω της έκρηξης- μετώπου του πρανούς (ήτοι 0.7 τόνοι), η τιμή που θα χρησιμοποιηθεί στις αναλύσεις ως μέγιστη ισούται με 40.7 τόνους. Ο άξονας ολίσθησης ταυτίζεται με την επιφάνεια (επίπεδο) της ασυνέχειας B1a.

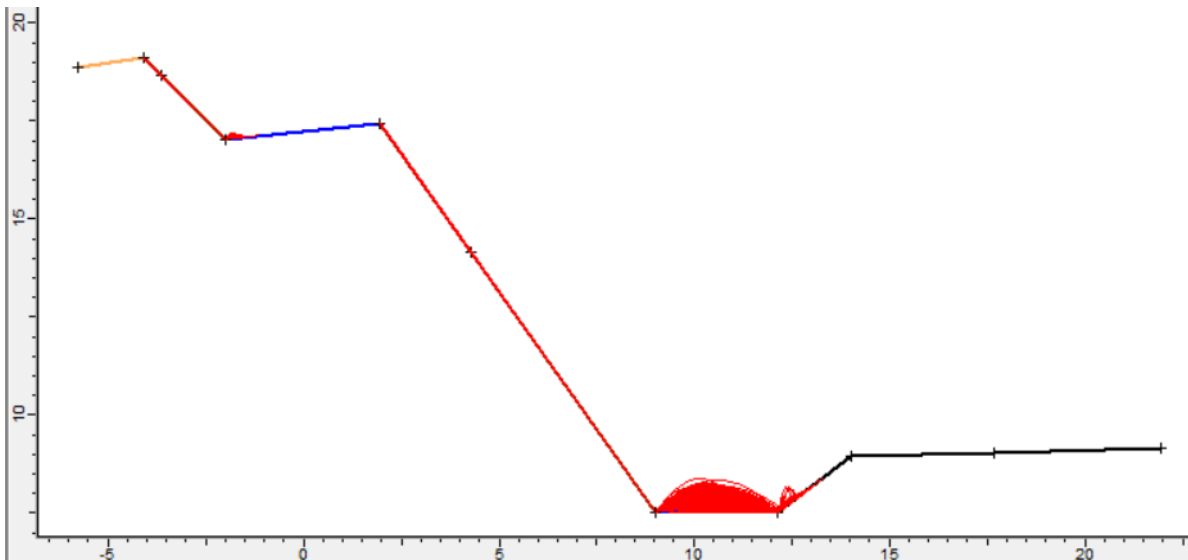
Αντίστοιχα για το πρανές 45°/165° με ύψος 2.1m, παρουσιάζεται το προκύπτον βάρος της σχηματιζόμενης βραχοσφήνας μέσω του πίνακα 4.71.

**Πίνακας 4.71: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (45°/165°) ύψους 2.1m μεταξύ του αναβαθμού και του υψηλότερου διαμορφωμένου τμήματος**

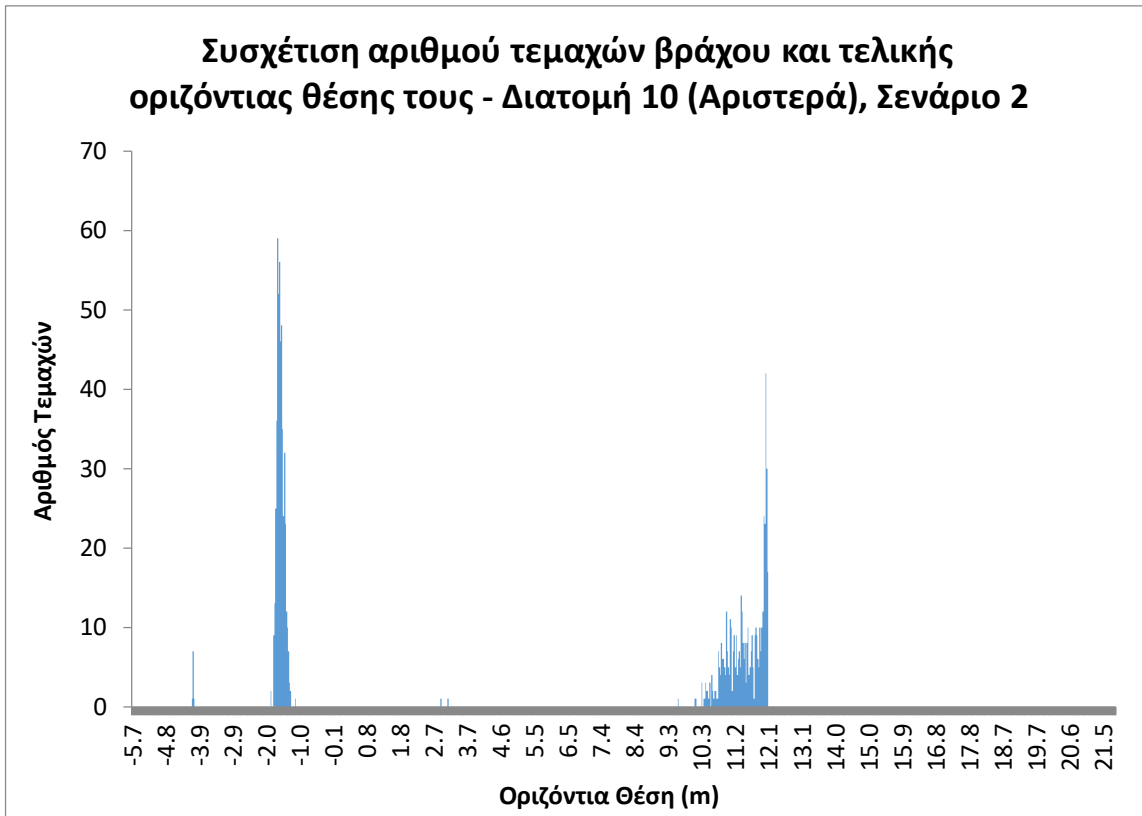
Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
B1a & J1	1.1	0.6	0.6

Εφόσον η τιμή του βάρους της βραχοσφήνας ισούται με 0.6 τόνους, η μέγιστη τιμή του καταπεσόντος τεμάχους είναι ίση με 0.7 τόνους και αντιστοιχεί στη μάζα του τεμάχους από το κερματισμένο μέτωπο.

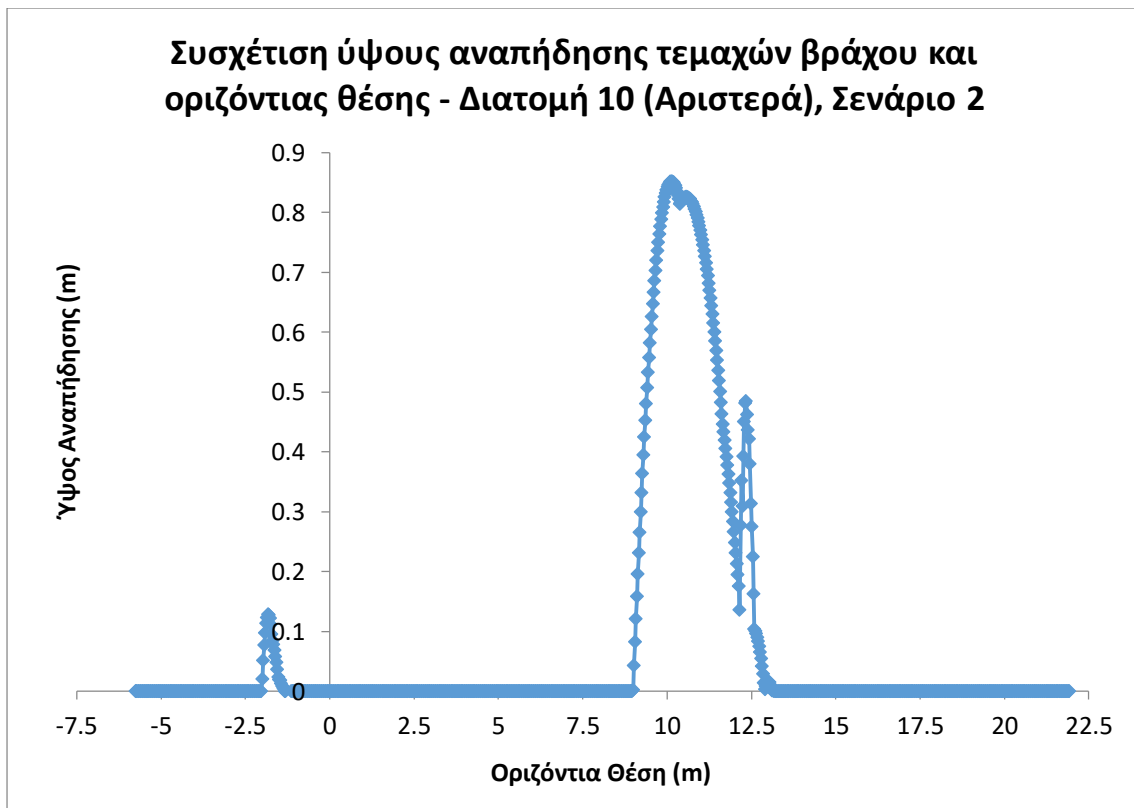
Βάσει των παραπάνω, η προσομοίωση έλαβε χώρα και έδωσε τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στα επόμενα έξι σχήματα. Τα πρώτα δύο αφορούν την κίνηση των τεμαχών βράχου και την τελική οριζόντια θέση τους, ενώ τα υπόλοιπα τέσσερα αφορούν τις συσχετίσεις των -υπό εξέταση- μεγεθών με την οριζόντια θέση καταγραφής τους.



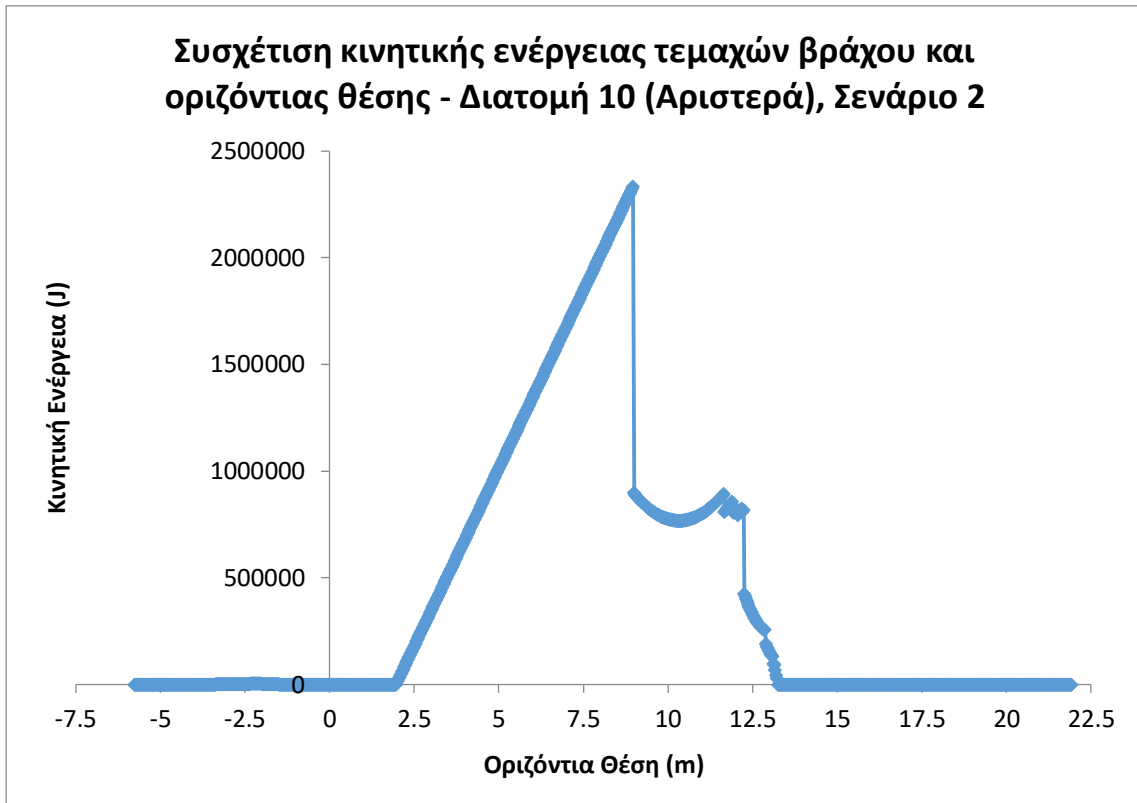
**Σχήμα 4.69: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 10 (αριστερά) με διαμόρφωση πρανών με κλίση 55° έως τον αναβαθμό και 45° από τον αναβαθμό έως το υψηλότερο διαμορφωμένο τμήμα του πρανούς**



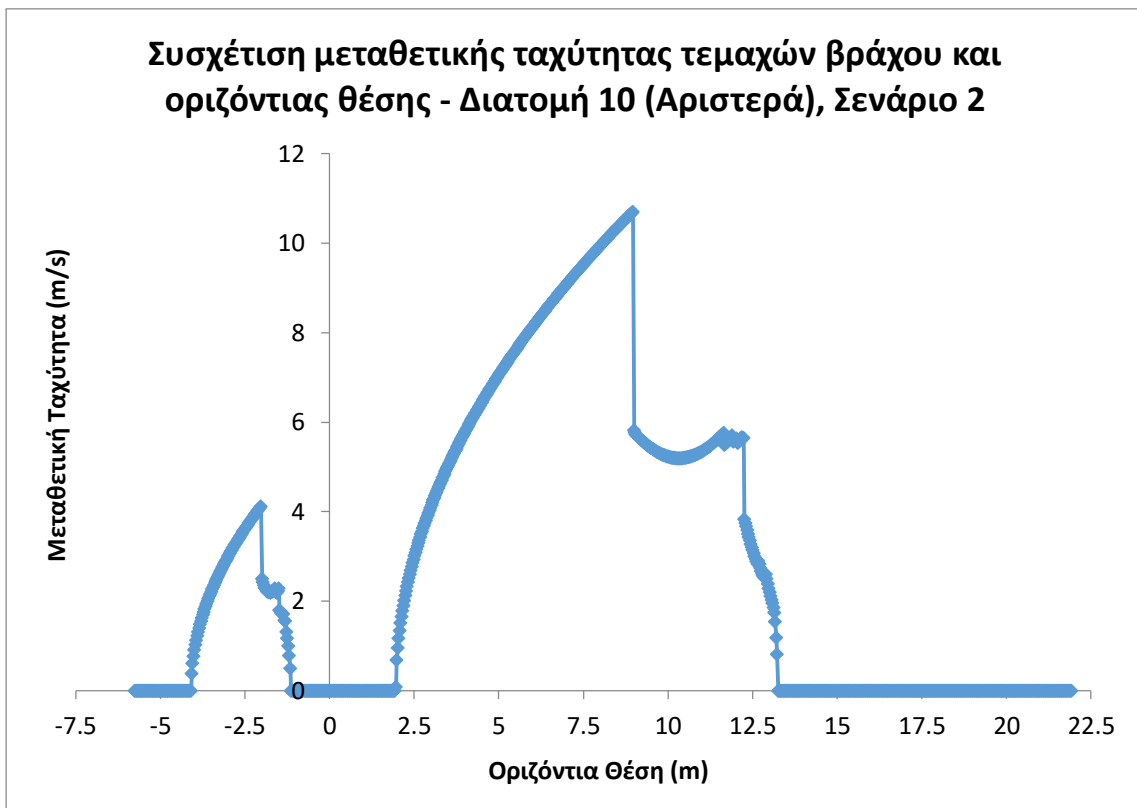
*Σχήμα 4.70: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 10 (αριστερά), Σενάριο 2*



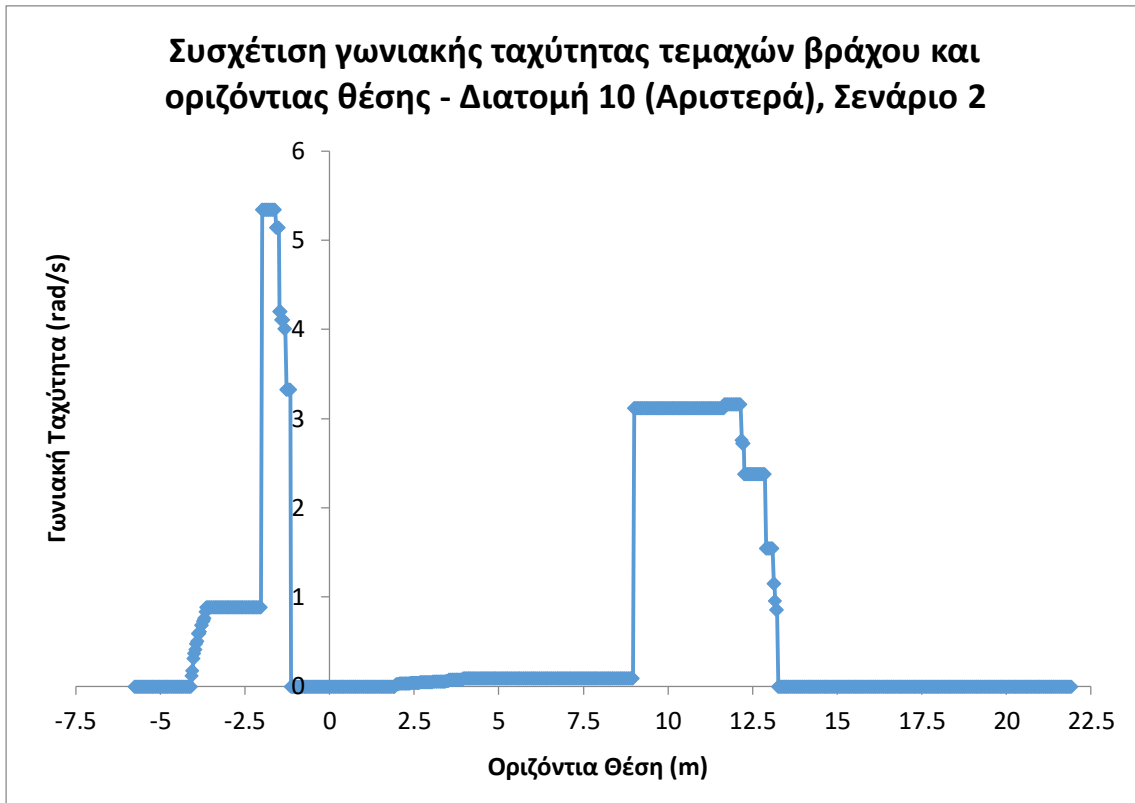
*Σχήμα 4.71: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (αριστερά), Σενάριο 2*



Σχήμα 4.72: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (αριστερά), Σενάριο 2



Σχήμα 4.73: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (αριστερά), Σενάριο 2



**Σχήμα 4.74: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (αριστερά), Σενάριο 2**

Από τα σχήματα 4.69 και 4.70 παρατηρείται πως το πλησιέστερο στο πρηνές σημείο της οδού, με συντεταγμένες στο Σχήμα 4.69  $(x,y) = (14.01,8.92)$ , είναι απαλλαγμένο από τεμάχια βράχου και επομένως η οδός χαρακτηρίζεται από ασφάλεια έναντι εισχώρησης βράχων. Η συγκεκριμένη διαπίστωση οδηγεί και σε δύο ακόμη συμπεράσματα.

Αφενός η τάφρος αναχαίτισης καταπτώσεων λειτουργεί αποτελεσματικά στην παγίδευση των βράχων και αφετέρου και ο αναβαθμός λειτουργεί αποτελεσματικά στον ολικό περιορισμό της κίνησης των τεμαχών που προέρχονται από το ανάντη του πρηνές. Το τελευταίο επηρεάζει και την τάφρο, καθώς δεν προστίθενται σε αυτήν επιπλέον βραχοτεμάχια και μάλιστα από μεγαλύτερο ύψος αρχικής κατάπτωσης.

Αναφορικά με την αποδελτίωση των μέγιστων τιμών των παραπάνω μεγεθών, στις θέσεις κατά πλάτος του αναβαθμού και της τάφρου, παρατίθεται ο Πίνακας 4.72.

**Πίνακας 4.72: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 10 (αριστερά), σενάριο 2**

Μέγεθος / Διάστημα Εξέτασης	Αναβαθμός	Τάφρος
Ύψος Αναπήδησης (m)	0.13	0.85
Κινητική Ενέργεια (kJ)	5.94	2334.23
Μεταθετική Ταχύτητα (m/s)	4.12	10.71
Γωνιακή Ταχύτητα (rad/s)	5.35	3.16

## Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

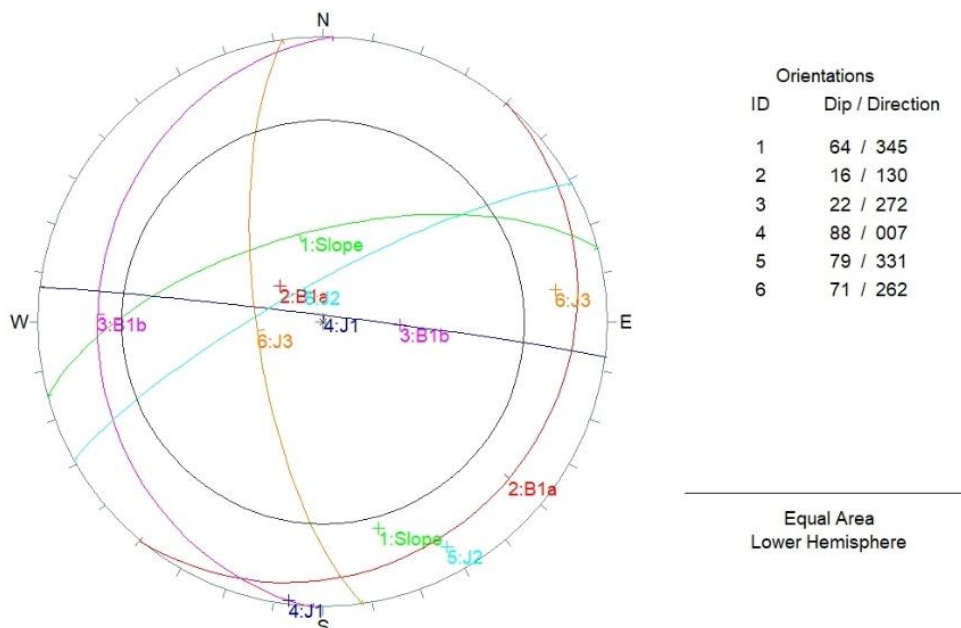
Προχωρώντας σε μία σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο σεναρίων, αποδεικνύεται έτι μία ακόμη φορά πως η μείωση της μάζας οδηγεί σε μείωση των τιμών της κινητικής ενέργειας των βραχοτεμαχών, αλλά και σε αύξηση της γωνιακής τους ταχύτητας. Επιπλέον η μείωση της κλίσης του πρανού οδηγεί σε χαμηλότερο ύψος αναπήδησής τους και μικρότερες τιμές της μεταθετικής τους ταχύτητας. Συνεπώς η επίδρασή της είναι έμμεση και στην κινητική τους ενέργεια.

### **Δεξιό πρανές (διεύθυνση μέγιστης κλίσης 345°)**

Η αναδιαμόρφωση του δεξιού πρανού, λόγω της κατασκευής της επιπλέον λωρίδας πλάτους 3.75m, πραγματοποιείται μέσω δύο προτεινόμενων σεναρίων. Το πρώτο σενάριο αφορά τη διαμόρφωση διατηρώντας την αρχική κλίση 2:1 (υ:β) (πρανές 64°/345°) για το πρώτο πρανές ορύγματος (ύψος 10m), κατόπιν τη δημιουργία αναβαθμού πλάτους 4m και κλίσης 5° και έπειτα τη διαμόρφωση του επόμενου πρανού ορύγματος με κλίση 2:1 (υ:β) και ύψος 6.6m. Στο πόδι του πρανού προβλέπεται η δημιουργία τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων βάθους 2m και πλάτους 5m. Τέλος το συνολικό ύψος του διαμορφωμένου πρανού ανέρχεται στα 16.2m, ενώ η μέση κλίση του είναι 1:1 (υ:β).

Αντίστοιχα το δεύτερο σενάριο, λαμβάνοντας υπόψιν και τη δομή του ασβεστόλιθου και τους προαναφερθέντες λόγους, προβλέπει τη διαμόρφωση με κλίση 1.4:1 (υ:β), τόσο για το πρανές ορύγματος κατάντη του αναβαθμού (ύψος 10m), όσο και για αυτό ανάντη του (ύψος 6m). Ο αναβαθμός έχει πλάτος 4m και κλίση ίση με 5°. Επιπλέον στο πόδι του πρανού προβλέπεται η κατασκευή τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων βάθους 1.5m και πλάτους 5m. Το συνολικό ύψος του διαμορφωμένου πρανού ισούται με 15.7m, ενώ η μέση κλίση του ορίζεται ως 0.8:1 (υ:β).

Προχωρώντας στις αναλύσεις κινηματικής ευστάθειας για το πρώτο σενάριο, έως ότου να λάβει χώρα η προσομοίωση καταπτώσεως βράχων, παρατίθεται το δίκτυο Schmidt για τη στερεογραφική απεικόνιση των επιφανειών. Η γωνία εσωτερικής τριβής των ασυνεχειών  $\phi$  και η συνοχή τους  $c$  λαμβάνουν τιμές ίσες με 30° και 0 kPa αντίστοιχα, όπως έχει εξηγηθεί προωτέρω.



**Σχήμα 4.75: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανού 64°/345° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών ( $c=0kPa$ ,  $\phi=30^\circ$ )**

#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

Κατά την εφαρμογή του Test Markland, προκύπτει πως δεν αναμένεται ολίσθηση βραχοσφήνας σε συνθήκες στατικής φόρτισης. Παρά ταύτα για να διερευνηθεί η ασφάλεια και υπό συνθήκες όπου οι ασυνέχειες είναι πληρωμένες με νερό, αλλά και ταυτόχρονα όπου υπάρχει σεισμική φόρτιση, δημιουργήθηκε ο Πίνακας 4.73, τα στοιχεία του οποίου προκύπτουν μέσω του Swedge 4.0.

**Πίνακας 4.73: Δυναμικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανών 64°/345°**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ειδικό Βάρος $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
B1a & J2	2.62	7.35	5.23	2.20
<b>B1b &amp; J1</b>		1.49	<b>0.59</b>	<b>0.49</b>
B1b & J3		12.28	9.84	3.71

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει πως η βραχοσφήνα που δημιουργείται από την τομή των ασυνεχειών B1b και J1, αναμένεται να ολισθήσει σε συνθήκες όπου οι ασυνέχειες είναι πληρωμένες με νερό, χωρίς μάλιστα να χρειάζεται να προστεθούν και οι συνθήκες σεισμικής φόρτισης. Σημειώνεται πως οι συντελεστές ασφαλείας A<sub>2</sub> και A<sub>3</sub> για το πρώτο πρανές ορύγματος έχουν υποτιμηθεί ελαφρώς, λόγω της αδυναμίας του Swedge 4.0 να λάβει υπόψη του τη γωνία του άνω μετώπου του πρανούς, η οποία ισούται με -5°. Εντούτοις οι τιμές των παραπάνω συντελεστών ασφαλείας είναι τέτοιες, που η συγκεκριμένη υποτίμηση δεν δύναται να αλλάξει το γεγονός της αστοχίας.

Επομένως για να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση αρκεί να βρεθεί το βάρος της σχηματιζόμενης βραχοσφήνας και να επιλεγεί η μέγιστη τιμή μεταξύ αυτού και του βάρους του κατακερματισμένου τεμάχους του μετώπου (ήτοι 0.7 τόνοι). Το πραγματικό βάρος της βραχοσφήνας, που αναμένεται να ολισθήσει από το πρώτο πρανές ορύγματος, υπολογίζεται αφού κατόπιν λάβει χώρα η κατάλληλη γεωμετρική απομείωση του σχήματός της, εξαιτίας της αδυναμίας του Swedge 4.0 να συμπεριλάβει στους υπολογισμούς τις γωνίες του άνω μετώπου του πρανούς, όταν εκείνες είναι μεγαλύτερες από 90°.

**Πίνακας 4.74: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (64°/345°) ύψους 10m έως τον αναβαθμό**

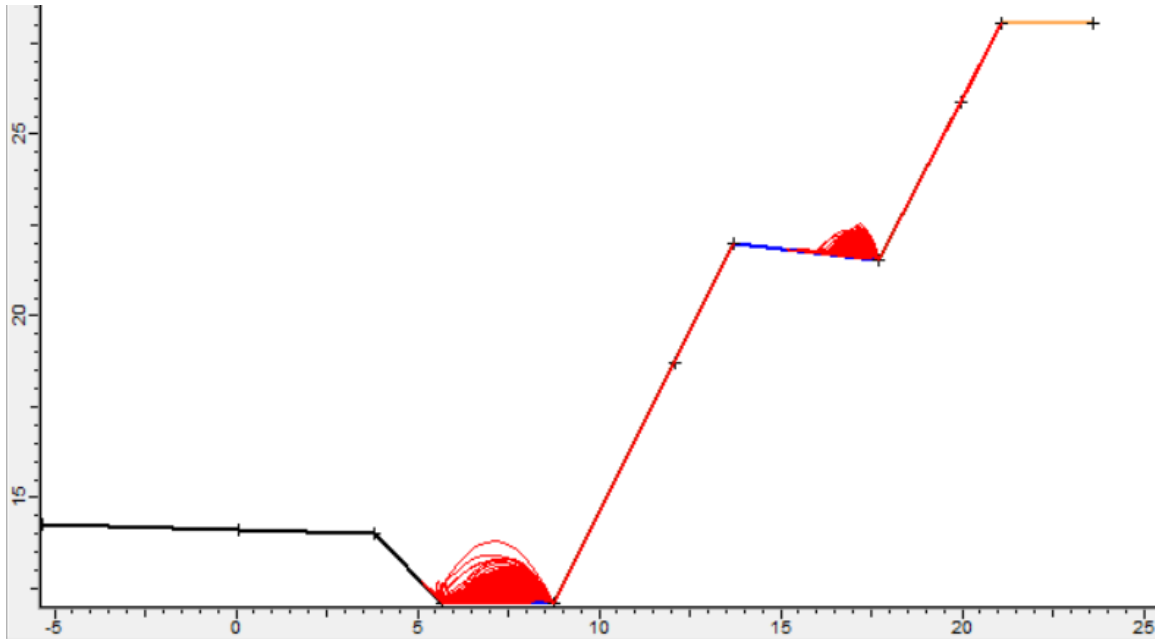
Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
B1b & J1	3.3	9.9	9.7

**Πίνακας 4.75: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (64°/345°) ύψους 6.6m μεταξύ του αναβαθμού και του υψηλότερου διαμορφωμένου τμήματος**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)
B1b & J1	2.2	2.9

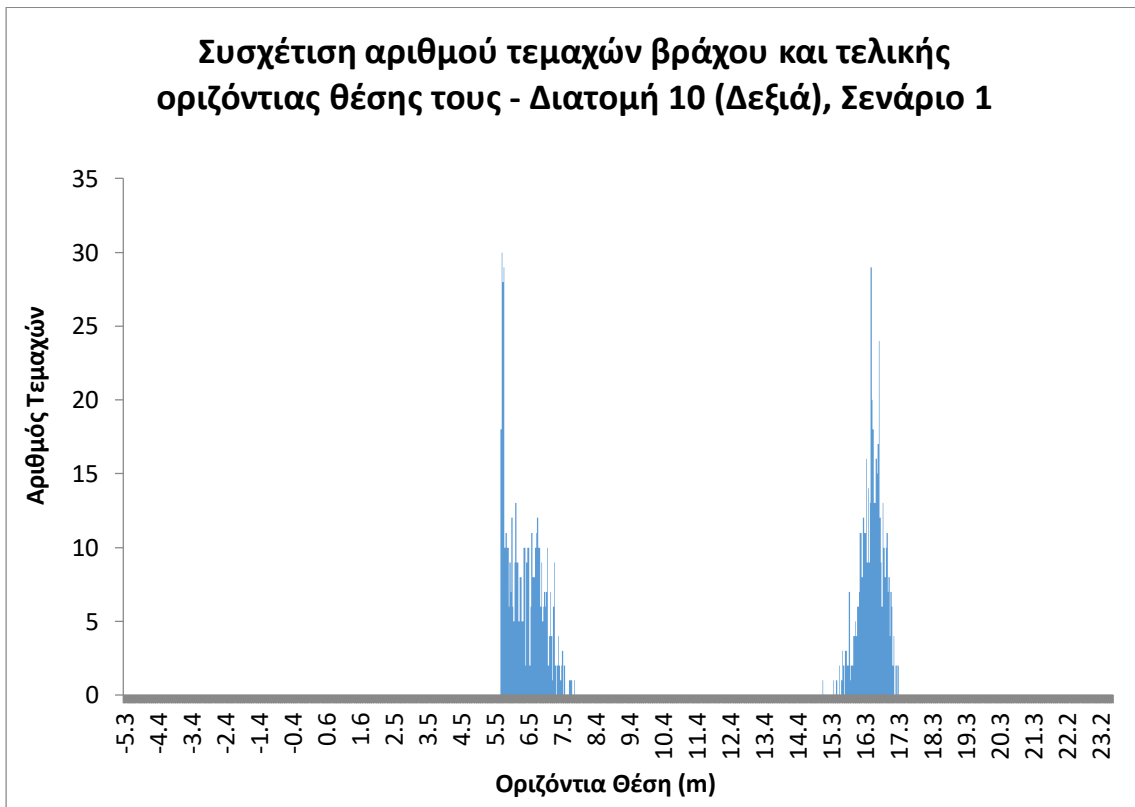
Αναφορικά με το δεύτερο κατά σειρά πρανές ορύγματος, το βάρος της βραχοσφήνας που υπολογίζεται μέσω του λογισμικού Swedge 4.0, ταυτίζεται με το πραγματικό βάρος της, καθώς η γωνία του άνω μετώπου του πρανούς είναι μηδενική. Επομένως η δυσμενέστερη περίπτωση στην προσομοίωση θα λάβει, ως βάρος του τεμάχους βράχου, την τιμή των 9.7 τόνων για το πρανές κατάντη του αναβαθμού και την τιμή των 2.9 τόνων για το πρανές ανάντη αυτού. Ο άξονας ολίσθησης της βραχοσφήνας και για τα δύο πρανή ορυγμάτων, είναι η επιφάνεια της ασυνέχειας B1b.

Ως εκ τούτου η προσομοίωση στο RocFall 4.0, οδηγεί στα εξής αποτελέσματα.



**Σχήμα 4.76: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 10 (δεξιά) με διαμόρφωση πρανών με κλίση 64°**

Από το παραπάνω σχήμα -αλλά και από αυτό που ακολουθεί- γίνεται σαφές πως η οδός, η οποία ως κοντινότερο σημείο στο πρανές έχει το  $(x,y) = (3.8,14.0)$  του σχήματος 4.76, είναι προστατευμένη έναντι εισχώρησης τεμαχών βράχου. Η διαπίστωση αυτή σχετίζεται αφενός με την αποτελεσματικότητα της τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων, η οποία λειτουργεί επαρκώς όσον αφορά την παγίδευση των βραχοτεμαχών και αφετέρου με την αποτελεσματικότητα του αναβαθμού, ο οποίος υπερεπαρκεί για τον ολικό περιορισμό της κίνησής τους.

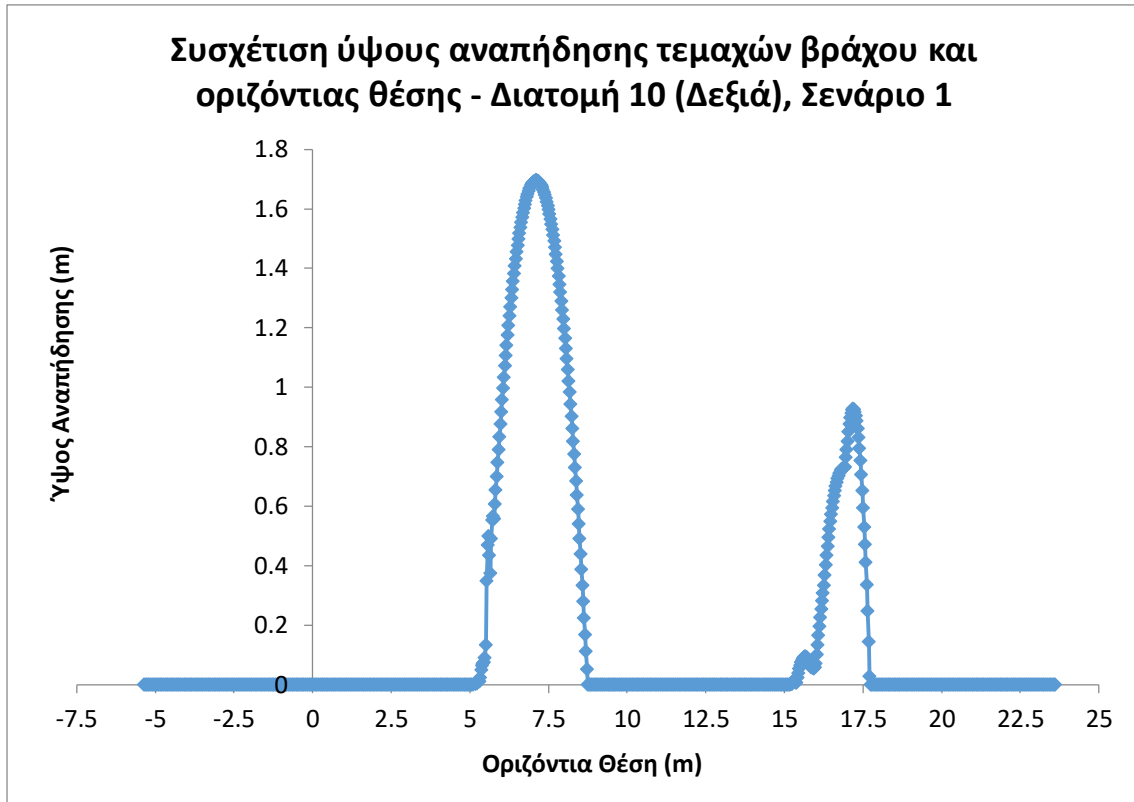


**Σχήμα 4.77: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 10 (δεξιά), σενάριο 1**

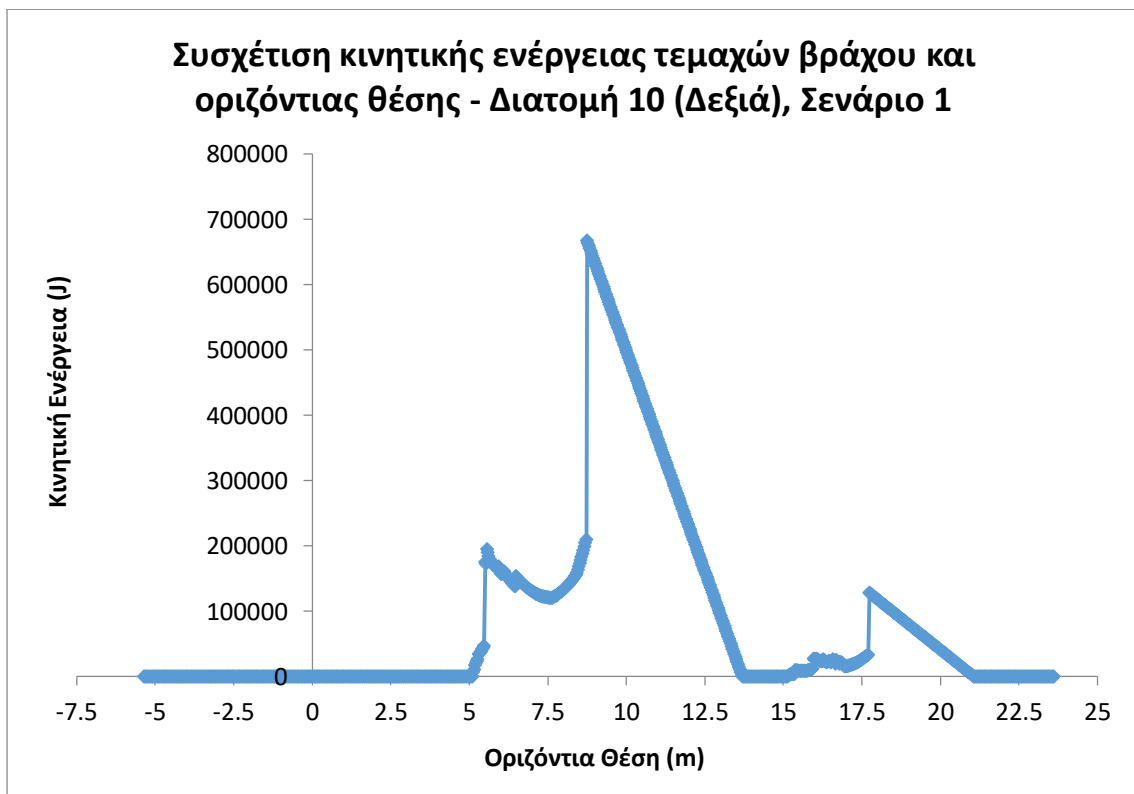


#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

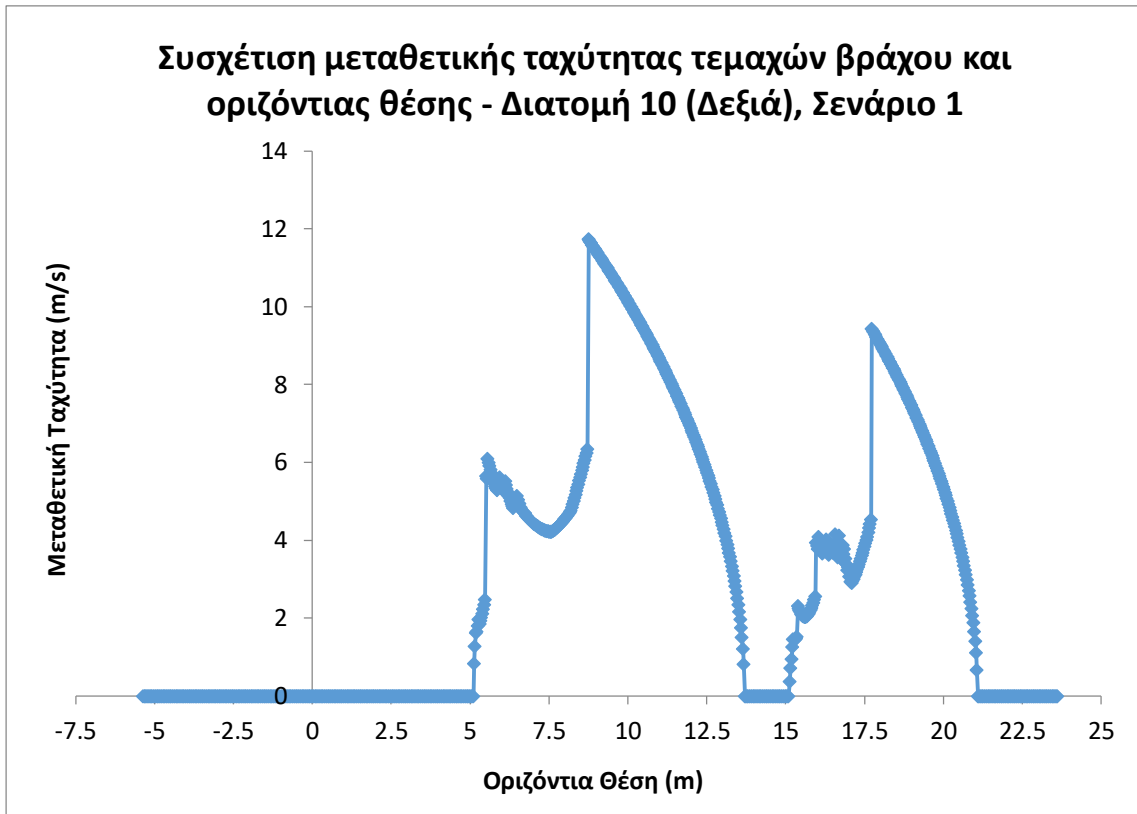
Στη συνέχεια παρατίθενται διαγράμματα συσχέτισης του ύψους αναπήδησης, της κινητικής ενέργειας, της μεταθετικής και της γωνιακής ταχύτητας με την οριζόντια θέση.



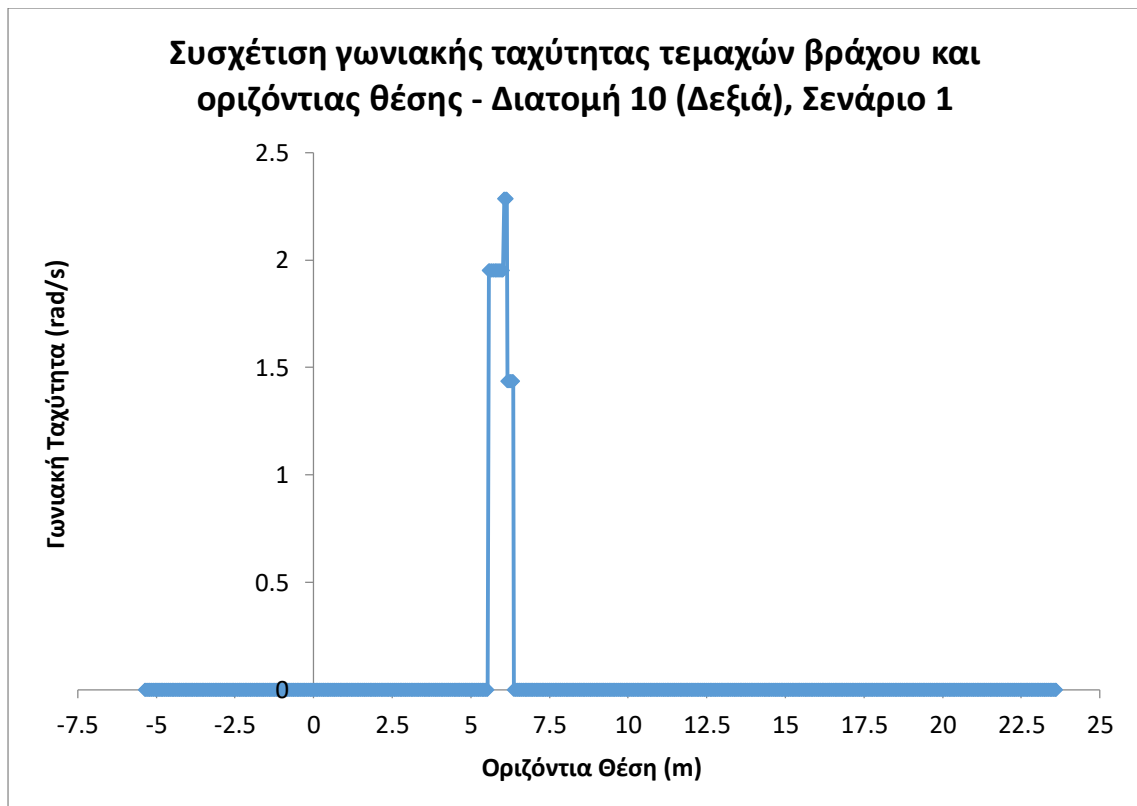
Σχήμα 4.78: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (δεξιά), σενάριο 1



Σχήμα 4.79: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (δεξιά), σενάριο 1



*Σχήμα 4.80: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (δεξιά), σενάριο 1*



*Σχήμα 4.81: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (δεξιά), σενάριο 1*

**Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα**

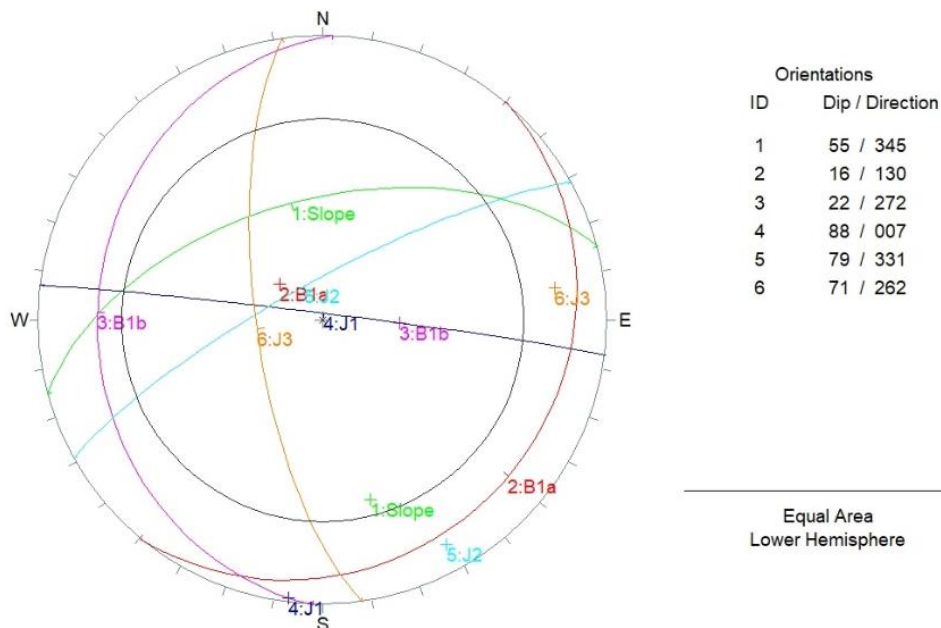
Τέλος ο Πίνακας 4.76 αποτελεί έναν συγκεντρωτικό, σχετικά με τις μέγιστες τιμές των παραπάνω εξεταζόμενων μεγεθών εντός της τάφρου και του αναβαθμού.

**Πίνακας 4.76: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 10 (δεξιά), σενάριο 1**

Μέγεθος Διάστημα Εξέτασης	Τάφρος	Αναβαθμός
Ύψος Αναπήδησης (m)	1.68	0.92
Κινητική Ενέργεια (kJ)	668.46	128.94
Μεταθετική Ταχύτητα (m/s)	11.74	9.43
Γωνιακή Ταχύτητα (rad/s)	2.28	0

Από τον παραπάνω πίνακα, τα συμπεράσματα είναι όμοια με αυτά που εξήχθησαν και από τις προηγούμενες διατομές. Συγκεκριμένα καταγράφεται αύξηση της κινητικής ενέργειας με την αύξηση της μάζας του βραχώδους τεμάχου. Επιπλέον η μεταθετική ταχύτητα δεν επηρεάζεται από τη μάζα, αλλά από την κλίση και το ύψος του πρηνούς ορύγματος. Αναφορικά με τη γωνιακή ταχύτητα, η μέγιστη τιμή της εντός της τάφρου προκύπτει ως αποτέλεσμα της σύγκρουσης του βραχοτεμάχου με το πλευρικό τμήμα της τελευταίας.

Για το δεύτερο σενάριο ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία. Αρχικά -κατά τα γνωστά- σχεδιάστηκε η στερεογραφική απεικόνιση των επιφανειών, αλλά και ο κώνος τριβής σε απόσταση  $\phi$  (ίση με  $30^\circ$ ) από την περίμετρο του δικτύου.



**Σχήμα 4.82: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρηνούς  $55^\circ/345^\circ$  και εμφανιζόμενων ασυνεχειών ( $c=0kPa$ ,  $\phi=30^\circ$ )**

Από το παραπάνω σχήμα, με τη χρήση του Test Markland, συμπεραίνεται πως δεν αναμένεται σφηνοειδής ολίσθηση σε συνθήκες στατικής φόρτισης. Επομένως απομένει να ελεγχθούν και οι συνθήκες όπου οι ασυνέχειες είναι πληρωμένες με νερό (συντελεστής  $A_2$ ), αλλά και όπου ταυτόχρονα υπάρχει σεισμική φόρτιση (συντελεστής  $A_3$ ). Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε μέσω του Swedge 4.0 και ο Πίνακας 4.77 παραθέτει τις τιμές που υπολογίστηκαν από το συγκεκριμένο λογισμικό.

#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

**Πίνακας 4.77: Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανών 55°/345°**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ειδικό Βάρος $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
B1a & J2	2.62	7.35	5.00	2.10
<b>B1b &amp; J1</b>		1.49	<b>0.15</b>	<b>0.14</b>
B1b & J3		12.28	9.79	3.69

Από τον παραπάνω πίνακα διαφαίνεται πως η βραχοσφήνα, η οποία σχηματίζεται από την τομή των ασυνεχειών B1b και J1, αναμένεται να ολισθήσει σε συνθήκες πλήρωσης των ασυνεχειών με νερό. Για τις τιμές των συντελεστών A<sub>2</sub> και A<sub>3</sub>, σχετικά με το πρώτο πρανές ορύγματος, ισχύει ό,τι αναφέρθηκε και κατά το πρώτο σενάριο.

Ως εκ τούτου χρειάζεται η εύρεση του βάρους της βραχοσφήνας, ώστε να εκτιμηθεί για κάθε πρανές ορύγματος η μέγιστη τιμή της μάζας του καταπεσόντος βράχου. Στη μέγιστη τιμή λαμβάνεται υπόψιν και το βάρος των τεμαχών του κερματισμένου -από την έκρηξη- πετρώματος του μετώπου του πρανούς, το οποίο -όπως έχει προαναφερθεί- λογίζεται ως το 1/4 του κυβικού μέτρου (ήτοι 0.7 τόνοι).

**Πίνακας 4.78: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (55°/345°) ύψους 10m έως τον αναβαθμό**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
B1b & J1	3.3	3.0	2.9

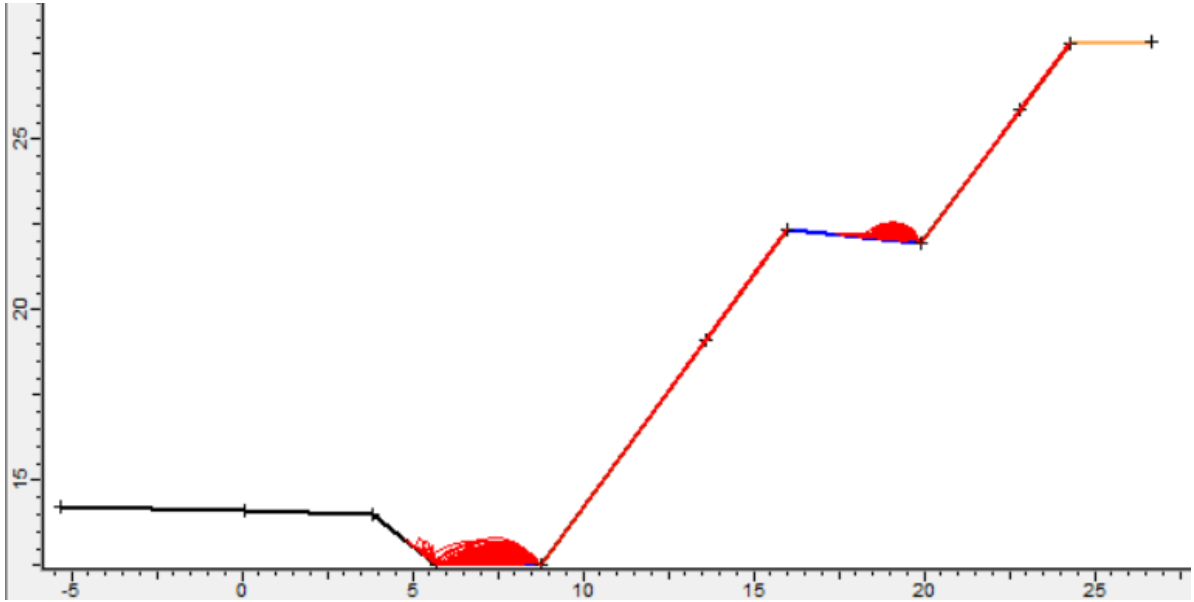
**Πίνακας 4.79: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (55°/345°) ύψους 6m μεταξύ του αναβαθμού και του υψηλότερου διαμορφωμένου τμήματος**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)
B1b & J1	2.0	0.7

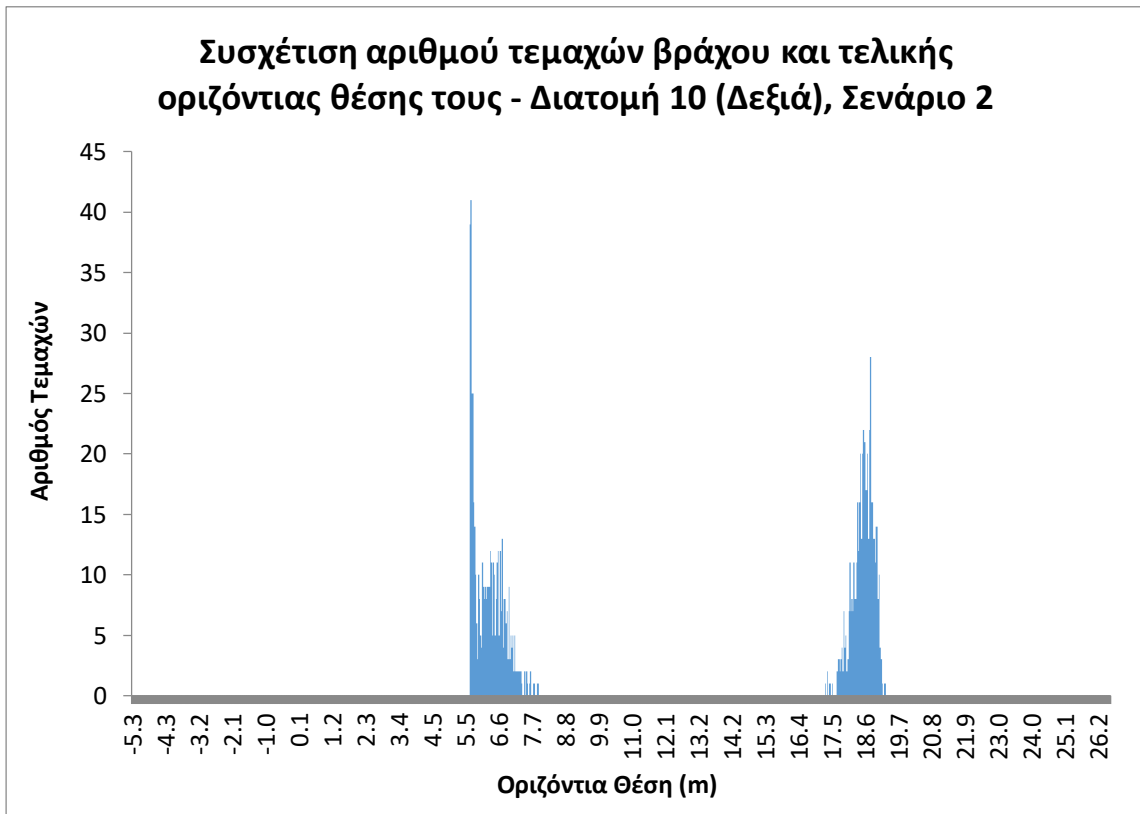
Από τα παραπάνω προκύπτει πως η τιμή του βάρους του καταπεσόντος τεμάχους τίθεται ίση με την τιμή του βάρους της βραχοσφήνας, τόσο για το πρανές κατάντη του αναβαθμού (ήτοι 2.9 τόνοι), όσο και για αυτό ανάντη του (ήτοι 0.7 τόνοι). Ο άξονας ολίσθησης είναι η επιφάνεια (επίπεδο) της ασυνέχειας B1b. Επιπλέον σημειώνεται πως η τιμή του βάρους του δυνητικά αποκολλημένου -από το δεύτερο πρανές ορύγματος- βραχοτεμάχους ισούται και με την τιμή του βάρους του τεμάχους που αντιστοιχεί στο κερματισμένο μέτωπο. Ωστόσο επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί το βάρος της βραχοσφήνας για δύο λόγους. Πρώτον διότι δεν είναι γνωστό με ακρίβεια αν το τεμάχος του κερματισμένου μετώπου θα ολισθήσει και δεύτερον επειδή, λόγω των διαστάσεών της, η βραχοσφήνα αποτελεί τη δυσμενέστερη περίπτωση.

Από τα παραπάνω προκύπτει πως τηρούνται όλες οι απαραίτητες προϋποθέσεις, ώστε να μπορέσει να λάβει χώρα η προσομοίωση. Από τα σχήματα 4.83 και 4.84 προκύπτει πως η οδός, της οποίας το κοντινότερο στο πρανές σημείο είναι το (x,y) = (3.8,14.0) του σχήματος 4.83, είναι ασφαλής έναντι εισχώρησης τεμαχών βράχου. Τα τελευταία τέσσερα σχήματα αφορούν τη συσχέτιση των εξεταζόμενων μεγεθών των τεμαχών βράχου με την οριζόντια θέση.

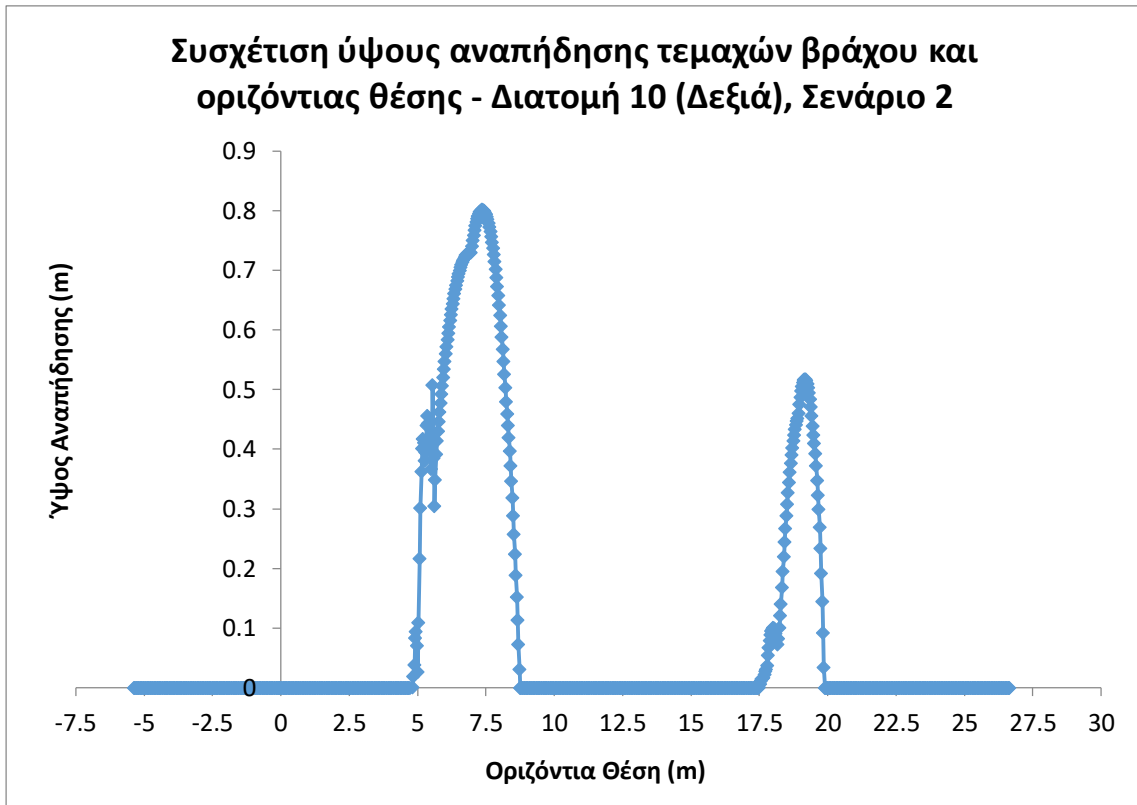
Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα



Σχήμα 4.83: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 10 (δεξιά) με διαμόρφωση πρανών με κλίση 55°



Σχήμα 4.84: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 10 (δεξιά), σενάριο 2



*Σχήμα 4.85: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (δεξιά), σενάριο 2*



*Σχήμα 4.86: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (δεξιά), σενάριο 2*



*Σχήμα 4.87: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (δεξιά), σενάριο 2*



*Σχήμα 4.88: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 10 (δεξιά), σενάριο 2*

#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

Τέλος παρουσιάζεται ο Πίνακας 4.80, στον οποίο αναγράφονται οι μέγιστες τιμές των παραπάνω τεσσάρων μεγεθών, τόσο εντός της τάφρου, όσο και εντός του αναβαθμού.

**Πίνακας 4.80: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 10 (δεξιά), σενάριο 2**

Μέγεθος Διάστημα Εξέτασης	Τάφρος	Αναβαθμός
Ύψος Αναπήδησης (m)	0.80	0.51
Κινητική Ενέργεια (kJ)	162.31	22.79
Μεταθετική Ταχύτητα (m/s)	10.58	8.07
Γωνιακή Ταχύτητα (rad/s)	2.45	0

Επομένως, αν πραγματοποιηθεί μια σύγκριση ανάμεσα στις διαμορφώσεις των δύο σεναρίων, θα παρατηρηθεί πως η ηπιότερη διαμόρφωση εξασφαλίζει μικρότερες τιμές για το ύψος αναπήδησης, την κινητική ενέργεια και τη μεταθετική ταχύτητα. Επιπλέον στη μείωση της κινητικής ενέργειας, καθοριστικό παράγοντα αποτελεί η μείωση της μάζας των βραχοτεμαχών. Η γωνιακή ταχύτητα μεγιστοποιείται εντός της τάφρου, μετά τη σύγκρουση με το πλευρικό τμήμα της.

#### **4.3.5 Διατομή ορύγματος στη Χ.Θ. 0+000 του Κλάδου 1 του ανισόπεδου κόμβου Γοργομούλου (Διατομή 0)**

Η αρχική μελέτη οδοποιίας προβλέπει τη διαμόρφωση τόσο του δεξιού, όσο και του αριστερού πρανούς, με κλίση των πρανών ορυγμάτων ίση με 2:1 (υ:β) και την κατασκευή ενός ενδιάμεσου αναβαθμού πλάτους 4m και ύψους 10m. Στο πόδι του πρανού προβλέπεται η δημιουργία τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων βάθους 2m και πλάτους 5m.

##### **Αριστερό πρανές (διεύθυνση μέγιστης κλίσης 173°)**

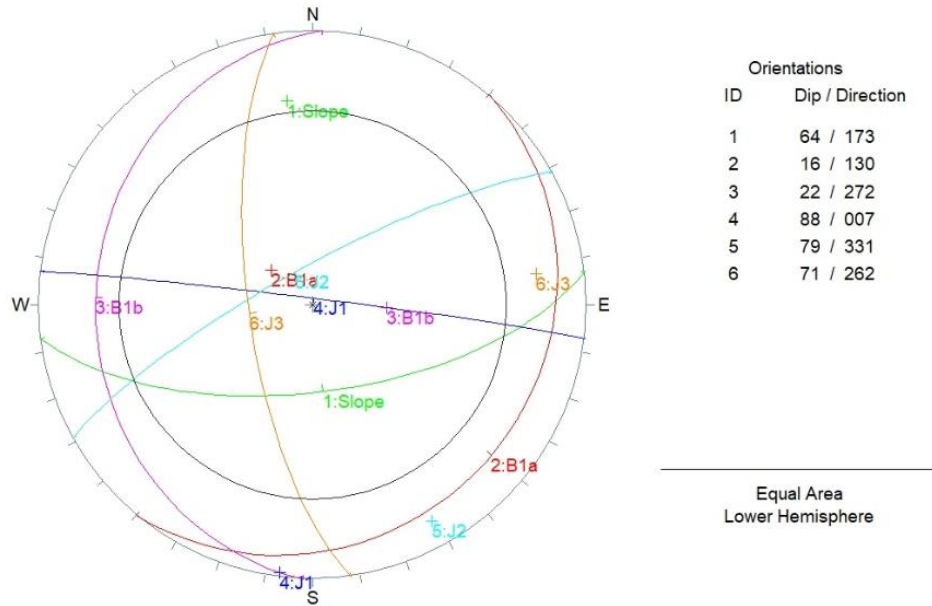
Η αναδιαμόρφωση του πρανού, λόγω της δημιουργίας μίας επιπλέον λωρίδας κυκλοφορίας πλάτους 3.75m, εξετάζει την εφαρμογή δύο σεναρίων. Το πρώτο σενάριο αφορά τη διατήρηση της κλίσης ως 2:1 (υ:β) (πρανές 64°/173°) μέχρι τα 10m ύψος, ενώ έπειτα προτείνεται η διαμόρφωση με κλίση 1:1 (υ:β), για το πρανές ορύγματος (45°/173°) ύψους 2.4m. Μεταξύ των δύο πρανών ορυγμάτων, προβλέπεται η δημιουργία αναβαθμού πλάτους 4m και κλίσης 5°, ενώ στο πόδι του πρανού προβλέπεται η κατασκευή τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων βάθους 2m και πλάτους 5m. Το συνολικό ύψος του διαμορφωμένου πρανού ισούται με 12m, ενώ η μέση κλίση του είναι 1.1:1 (υ:β).

Το δεύτερο σενάριο αφορά την αναδιαμόρφωση με συντηρητικότερη κλίση. Βάσει της δομής του ασβεστόλιθου, η συντηρητικότερη κλίση που εκτιμάται πως θα μπορούσε να δοθεί είναι αυστηρά ίση με 1.4:1 (υ:β) (πρανές 55°/173°) μέχρι τα 10m ύψος. Στη συνέχεια προβλέπεται η δημιουργία αναβαθμού πλάτους 4m και κλίσης 5°, ενώ στα ανάντη αυτού η κλίση προτείνεται να είναι ίση με 1:1 (υ:β), για το πρανές ορύγματος (45°/173°) ύψους 1.8m. Στο πόδι του πρανού προβλέπεται η δημιουργία τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων βάθους 1.5m και πλάτους 5m. Το συνολικό ύψος του διαμορφωμένου πρανού ανέρχεται στα 11.5m, ενώ η μέση κλίση του ορίζεται ως 0.9:1 (υ:β).

Ύστερα, για να βρεθούν οι πιθανές αστοχίες που θα λάβουν χώρα στο πρανές κατά το πρώτο σενάριο, δημιουργούνται τα δίκτυα στερεογραφικής προβολής με χρήση του λογισμικού Dips 5.1. Η γωνία εσωτερικής τριβής των ασυνεχειών ισούται με 30° και η συνοχή τους με 0kPa.



## Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα



**Σχήμα 4.89: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 64°/173° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=30°)**

Από τα παραπάνω, με τη χρήση του Test Markland, προκύπτει ασφάλεια όσον αφορά την ολίσθηση βραχοσφηνών σε συνθήκες στατικής φόρτισης (συντελεστής ασφαλείας A<sub>1</sub>). Εντούτοις θα πρέπει να εξεταστούν και οι συντελεστές ασφαλείας A<sub>2</sub> και A<sub>3</sub>, για συνθήκες ασυνεχειών πληρωμένων με νερό και παράλληλα ύπαρξης σεισμικής φόρτισης αντίστοιχα. Μέσω του Swedge 4.0 υπολογίζονται οι τιμές και των τριών συντελεστών ασφαλείας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.81.

**Πίνακας 4.81: Δυναμικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 64°/173°**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ειδικό Βάρος γ (t/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
<b>B1a &amp; J1</b>	2.62	2.01	<b>0.65</b>	<b>0.57</b>
B1a & J3		3.34	2.61	1.55
<b>B1b &amp; J2</b>		1.98	<b>0.09</b>	<b>0.08</b>
B1a & B1b		5.56	4.42	1.98

Από τα παραπάνω προκύπτει πως οι δύο βραχοσφήνες που δημιουργούνται από την τομή των ασυνεχειών B1a και J1 αλλά και B1b και J2, αναμένεται να ολισθήσουν σε συνθήκες ασυνεχειών πληρωμένων με νερό και χωρίς να εξαρτώνται από ενδεχόμενη σεισμική φόρτιση. Οι τιμές των συντελεστών ασφαλείας A<sub>2</sub> και A<sub>3</sub>, έχουν υποστεί μικρή υποτίμηση, καθώς στο Swedge 4.0 δεν λογίζεται η συγκεκριμένη γωνία του άνω μετώπου (-5°). Ωστόσο, οι τιμές τους αποκλίνουν σημαντικά από τη μονάδα, οπότε δεν τίθεται αμφιβολία σχετικά με την αστοχία.

Στη συνέχεια για τους δύο συνδυασμούς ασυνεχειών υπολογίζεται το βάρος του τεμάχου, το οποίο -κατά τα γνωστά- προκύπτει έπειτα από γεωμετρική απομείωση στο σχήμα της σφήνας.

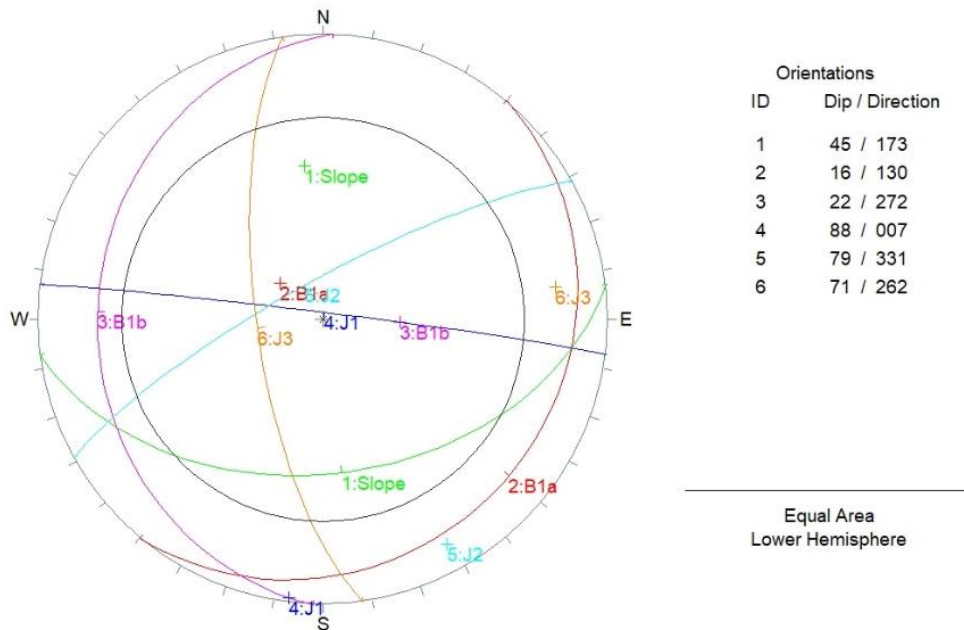
**Πίνακας 4.82: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (64°/173°) ύψους 10m έως τον αναβαθμό**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμάχου (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας
B1a & J1	3.3	19.1	18.5
B1b & J2		5.0	4.9

## Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

Από τα παραπάνω προκύπτει πως η μέγιστη τιμή της ολισθαίνουσας βραχοσφήνας ισούται με 18.5 τόνους, λαμβάνοντας υπόψιν και την τιμή των 0.7 τόνων που αντιστοιχεί στα τεμάχια βράχου του κερματισμένου μετώπου. Ο άξονας ολίσθησης είναι η επιφάνεια της B1a.

Στη συνέχεια λαμβάνει χώρα η ίδια διαδικασία για το δεύτερο πρανές ορύγματος ( $45^\circ/173^\circ$ ). Αρχικά δημιουργείται το δίκτυο στερεογραφικής απεικόνισης επιφανειών. Μέσω της εφαρμογής του Test Markland, παρατηρείται πως σε συνθήκες στατικής φόρτισης δεν αναμένεται ολίσθηση βραχοσφήνας. Στη συνέχεια εξετάζεται πιθανή ολίσθηση εξαιτίας της πλήρωσης των ασυνεχειών με νερό αλλά και της ύπαρξης σεισμικής φόρτισης παράλληλα. Τα αποτελέσματα από τις συγκεκριμένες αναλύσεις παρατίθενται μέσω του σχήματος 4.90, κατά την ανάλυση στο λογισμικό Dips 5.1, καθώς και του πίνακα 4.83, κατόπιν ανάλυσης στο λογισμικό Swedge 4.0.



**Σχήμα 4.90: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς  $45^\circ/173^\circ$  και εμφανιζόμενων ασυνεχειών ( $c=0kPa$ ,  $\phi=30^\circ$ )**

**Πίνακας 4.83: Δυναμικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς  $45^\circ/173^\circ$**

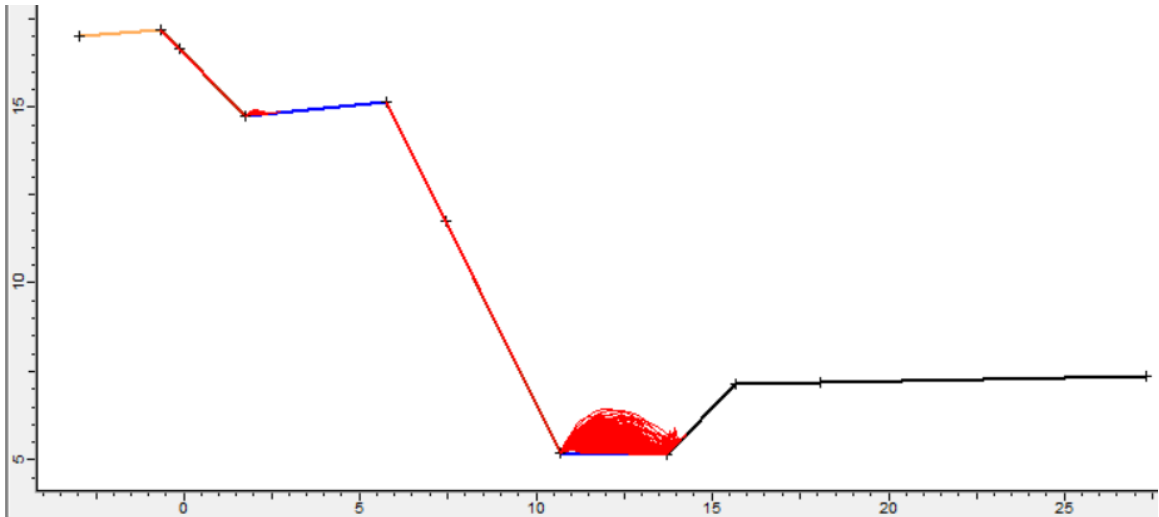
Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ειδικό Βάρος $\gamma$ ( $t/m^3$ )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		$A_1$	$A_2$	$A_3$
B1a & J3	2.62	3.34	2.51	1.49
B1a & B1b		5.56	4.34	1.94

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει πως όλοι οι συντελεστές ασφαλείας είναι μεγαλύτεροι της μονάδας και συνεπώς υπάρχει ασφάλεια έναντι ολίσθησης βραχοσφήνας ακόμα και στη δυσμενέστερη περίπτωση όπου οι ασυνέχειες είναι πληρωμένες με νερό και ταυτόχρονα εκδηλώνεται σεισμική φόρτιση. Στα παραπάνω προστίθεται και το γεγονός πως το Swedge 4.0 έχει υποτιμήσει τις παραπάνω τιμές, αφού δεν έχει λάβει υπόψιν τη γωνία του άνω μετώπου ( $-3^\circ$ ) του πρανούς. Επομένως για το πρανές  $45^\circ/173^\circ$  στην προσομοίωση θα εξεταστεί η πτώση τεμαχίου εξαιτίας του κερματισμού του μετώπου, λόγω της όρυξης με εκρηκτικές ύλες. Η τιμή του βάρους του λογίζεται ως το 1/4 του κυβικού μέτρου, δηλαδή 0.7 τόνοι.

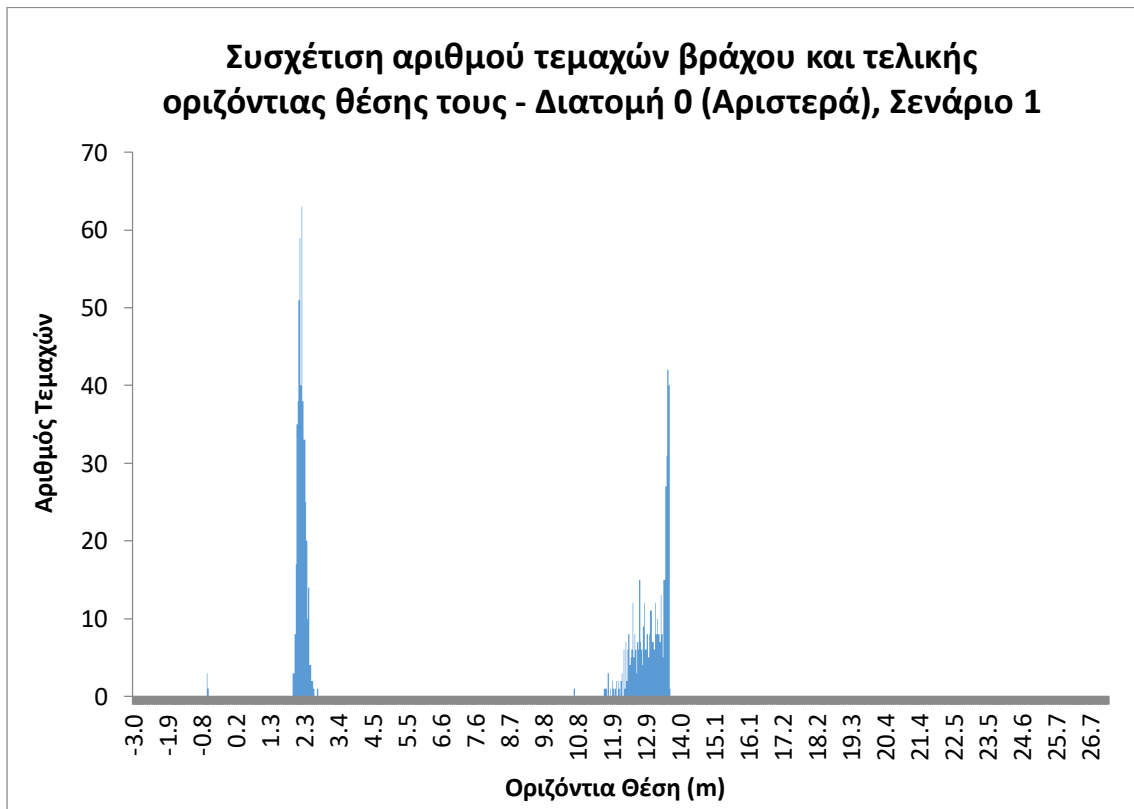
Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω, πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχίων βράχου στο RocFall 4.0. Από τα δύο πρώτα σχήματα που ακολουθούν παρατηρείται πως η

#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

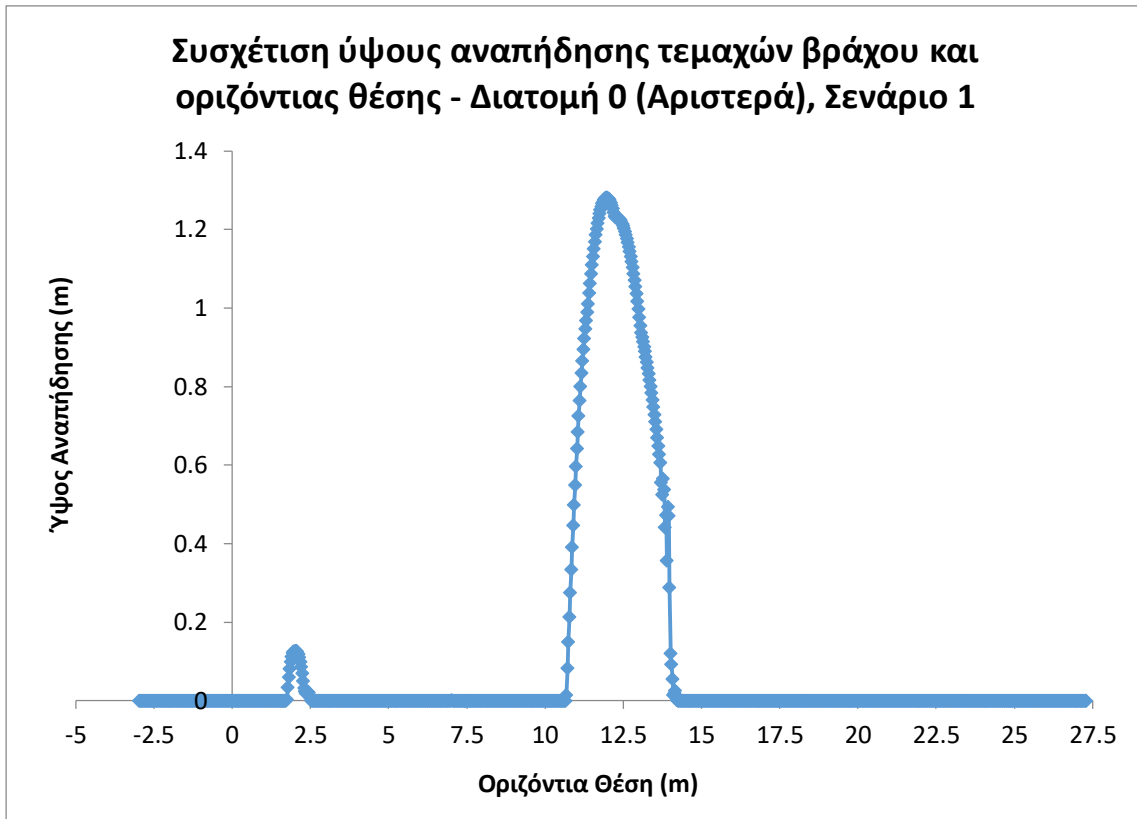
οδός, η οποία ως κοντινότερο σημείο στο πρηνές έχει το  $(x,y) = (15.66, 7.13)$  του παρακάτω σχήματος, είναι προστατευμένη έναντι εισχώρησης τεμαχών βράχου. Βασικό παράγοντα στη συγκεκριμένη διαπίστωση αποτελεί το γεγονός πως η τάφρος αναχαίτισης καταπτώσεων λειτουργεί πλήρως ικανοποιητικά στη συγκράτηση των τεμαχών βράχου. Επιπλέον πολύ σημαντική είναι και η λειτουργικότητα του αναβαθμού, στον οποίο τα τεμάχια του αποκολλημένου βράχου του πρηνούς  $45^{\circ}/173^{\circ}$ , λαμβάνουν την τελική τους θέση. Τέλος τα τελευταία τέσσερα σχήματα αφορούν τη συσχέτιση του ύψους αναπήδησης, της κινητικής ενέργειας, της μεταθετικής και της γωνιακής ταχύτητας των τεμαχών με την οριζόντια θέση.



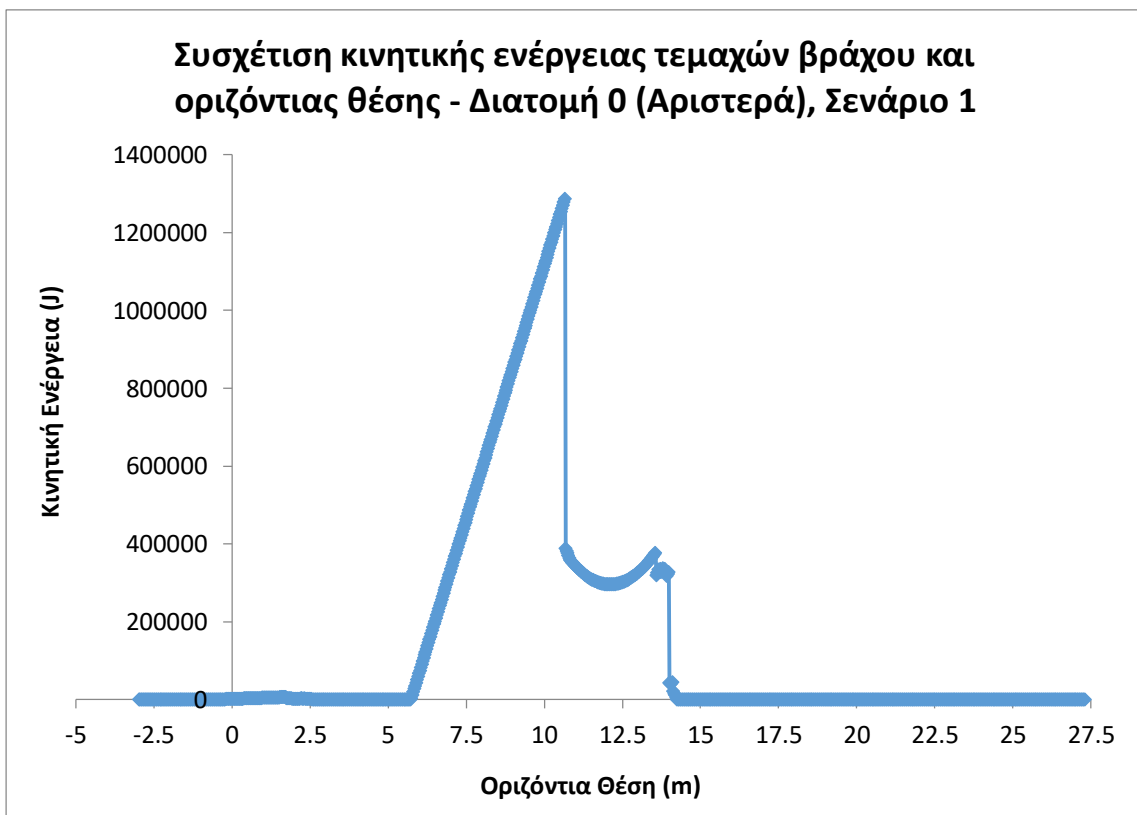
**Σχήμα 4.91: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος  $\theta$  (αριστερά) με διαμόρφωση πρηνών με κλίση  $64^{\circ}$  έως τον αναβαθμό και  $45^{\circ}$  από τον αναβαθμό έως το υψηλότερο διαμορφωμένο τμήμα του πρηνούς**



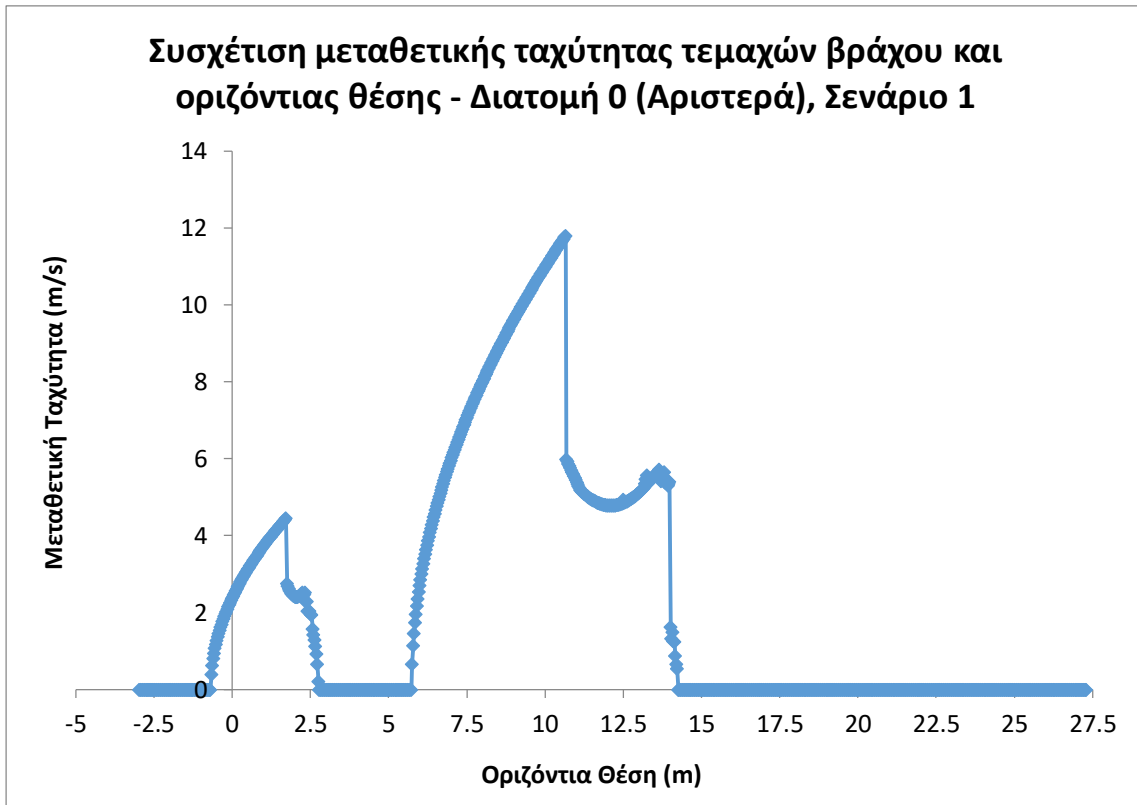
**Σχήμα 4.92: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή  $\theta$  (αριστερά), σενάριο 1**



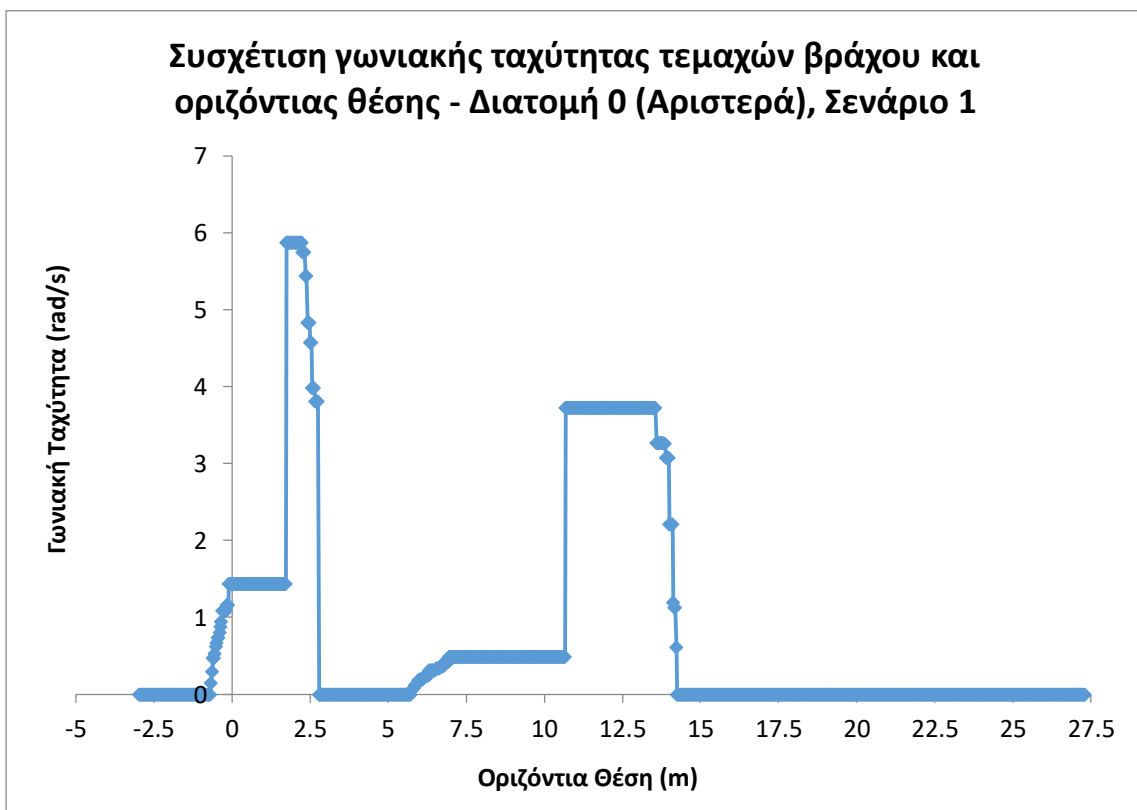
*Σχήμα 4.93: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (αριστερά), σενάριο 1*



*Σχήμα 4.94: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (αριστερά), σενάριο 1*



*Σχήμα 4.95: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (αριστερά), σενάριο 1*



*Σχήμα 4.96: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (αριστερά), σενάριο 1*

## Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

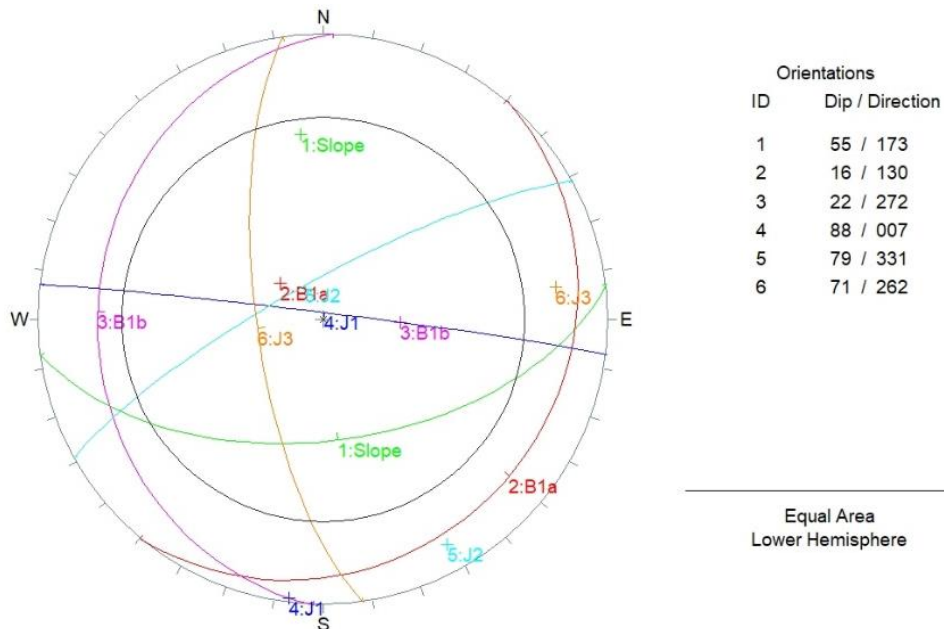
Στη συνέχεια ακολουθεί ο Πίνακας 4.84, όπου αναγράφονται οι μέγιστες τιμές των εξεταζόμενων μεγεθών στον αναβαθμό και την τάφρο.

**Πίνακας 4.84: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 0 (αριστερά), σενάριο 1**

Μέγεθος Διάστημα Εξέτασης	Αναβαθμός	Τάφρος
Ύψος Αναπήδησης (m)	0.13	1.28
Κινητική Ενέργεια (kJ)	6.93	1285.79
Μεταθετική Ταχύτητα (m/s)	4.45	11.79
Γωνιακή Ταχύτητα (rad/s)	5.87	3.73

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται πως η αύξηση της μάζας επηρεάζει άμεσα την αύξηση της κινητικής ενέργειας, ενώ το ύψος του πρανούς και η κλίση του επηρεάζουν άμεσα τη μεταθετική ταχύτητα. Οι δύο τελευταίοι παράγοντες επιδρούν έμμεσα και στη μεταβολή του ύψους αναπήδησης και της κινητικής ενέργειας.

Στη συνέχεια οι ίδιες αναλύσεις λαμβάνουν χώρα για το δεύτερο σενάριο (πρανές 55°/173° στα κατάντη του αναβαθμού και 45°/173° στα ανάντη του). Αρχικά δημιουργούνται τα δίκτυα στερεογραφικής απεικόνισης των επιφανειών και στη συνέχεια υπολογίζονται οι συντελεστές ασφαλείας για τις δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις. Σημειώνεται πως για το πρανές 45°/173° το δίκτυο δεν δημιουργείται ξανά, ούτε υπολογίζονται οι συντελεστές ασφαλείας, αφού και στις δύο περιπτώσεις τα ζητούμενα είναι τα ίδια με αυτά που παρουσιάστηκαν στο πρώτο σενάριο.



**Σχήμα 4.97: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 55°/173° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών ( $c=0kPa$ ,  $\phi=30^\circ$ )**

Από το δίκτυο Schmidt παρατηρείται πως δεν αναμένεται σφηνοειδής ολίσθηση σε συνθήκες στατικής φόρτισης, οπότε πρέπει να εξεταστούν οι συντελεστές ασφαλείας για πλήρωση των ασυνεχειών με νερό, αλλά και ταυτόχρονα για ύπαρξη σεισμικής φόρτισης.

**Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα**

**Πίνακας 4.85: Δυναμικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 55°/173°**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ειδικό Βάρος $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
<b>B1a &amp; J1</b>	2.62	2.01	<b>0.24</b>	<b>0.22</b>
B1a & J3		3.34	2.57	1.53
<b>B1b &amp; J2</b>		1.98	<b>0</b>	<b>0</b>
B1a & B1b		5.56	4.39	1.96

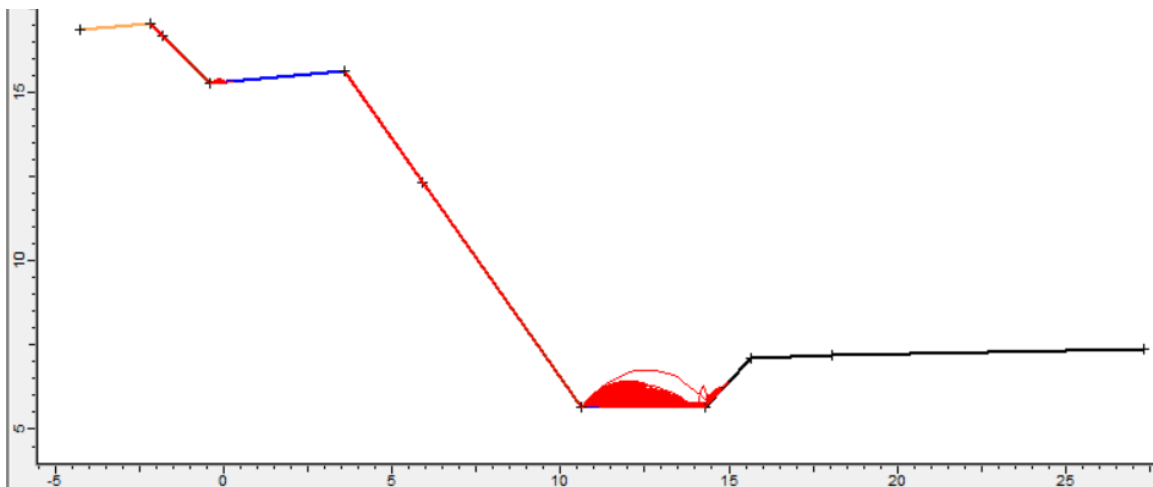
Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει πως οι βραχοσφήνες που σχηματίζονται από την τομή των ασυνεχειών B1a και J1, αλλά και B1b και J2, αναμένεται να ολισθήσουν ακόμα και κατά τη συνθήκη όπου οι ασυνέχειες είναι πληρωμένες με νερό. Σχετικά με τους συντελεστές A<sub>2</sub> και A<sub>3</sub> ισχύει ό,τι αναφέρθηκε και κατά την ανάλυση του πρώτου σεναρίου.

Επομένως για τις δύο αυτές βραχοσφήνες, πρέπει να βρεθεί η τιμή του βάρους τους και να επιλεγεί η μέγιστη, λαμβάνοντας υπόψιν και το βάρος του τεμάχους στο κερματισμένο, λόγω έκρηξης, μέτωπο του πρανούς. Για τον υπολογισμό του βάρους των βραχοσφηνών, λαμβάνει χώρα και η κατάλληλη γεωμετρική απομείωση του σχήματός τους, ώστε να συμπεριληφθεί στον υπολογισμό του η γωνία του άνω μετώπου του πρανούς.

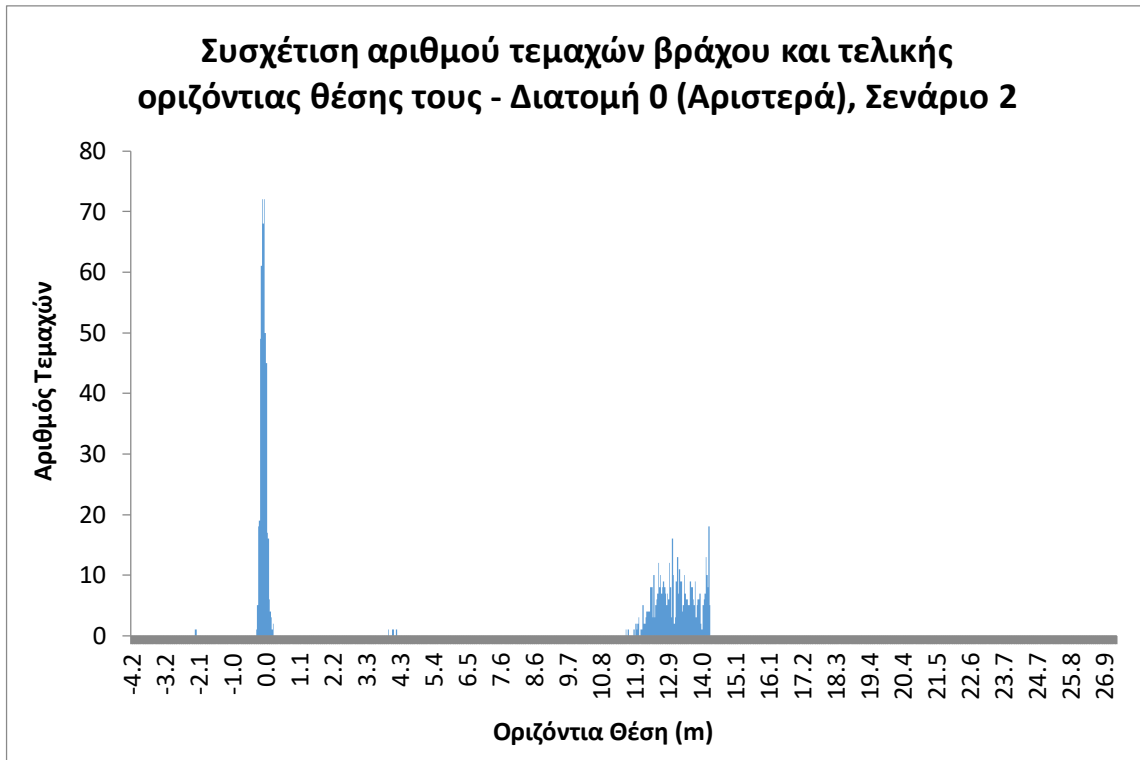
**Πίνακας 4.86: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές (55°/173°) ύψους 10m έως τον αναβαθμό**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμάχους (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
B1a & J1	3.3	6.1	6.0
B1b & J2		0.9	0.9

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει πως η μέγιστη τιμή του βάρους της βραχοσφήνας είναι ίση με 6 τόνους, επομένως αυτή θα είναι και η τιμή που θα χρησιμοποιηθεί στην προσομοίωση. Ο άξονας ολίσθησης είναι η επιφάνεια (επίπεδο) της ασυνέχειας B1a. Αντίστοιχα για το πρανές 45°/173° με ύψος 1.8m, όπως παρατηρήθηκε και κατά την ανάλυση του πρώτου σεναρίου διαμόρφωσης, δεν αναμένεται σφηνοειδής ολίσθηση. Επομένως και σε αυτό το σενάριο η ανάλυση θα πραγματοποιηθεί με τιμή μάζας τεμάχους ίση με 0.7 τόνους, δηλαδή το 1/4 του κυβικού μέτρου, για τα τεμάχη του κερματισμένου -λόγω έκρηξης- μετώπου του πρανούς.

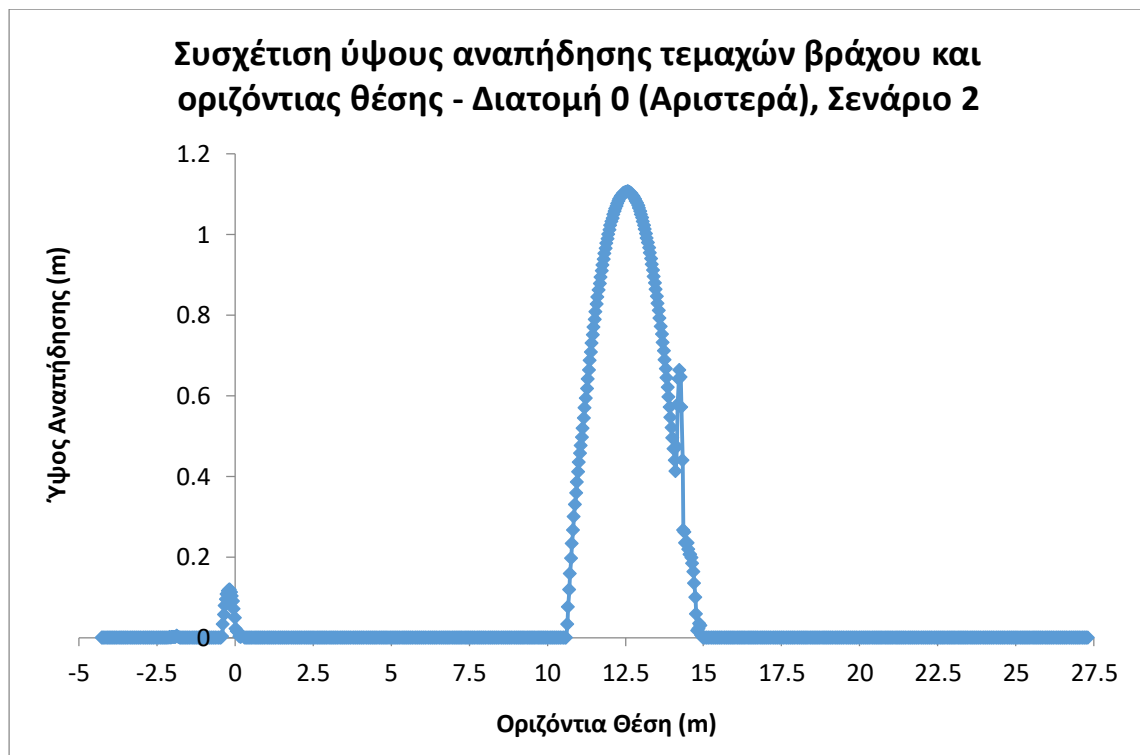


**Σχήμα 4.98: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος  $\theta$  (αριστερά) με διαμόρφωση πρανών με κλίση 55° έως τον αναβαθμό και 45° από τον αναβαθμό έως το υψηλότερο διαμορφωμένο τμήμα του πρανούς**



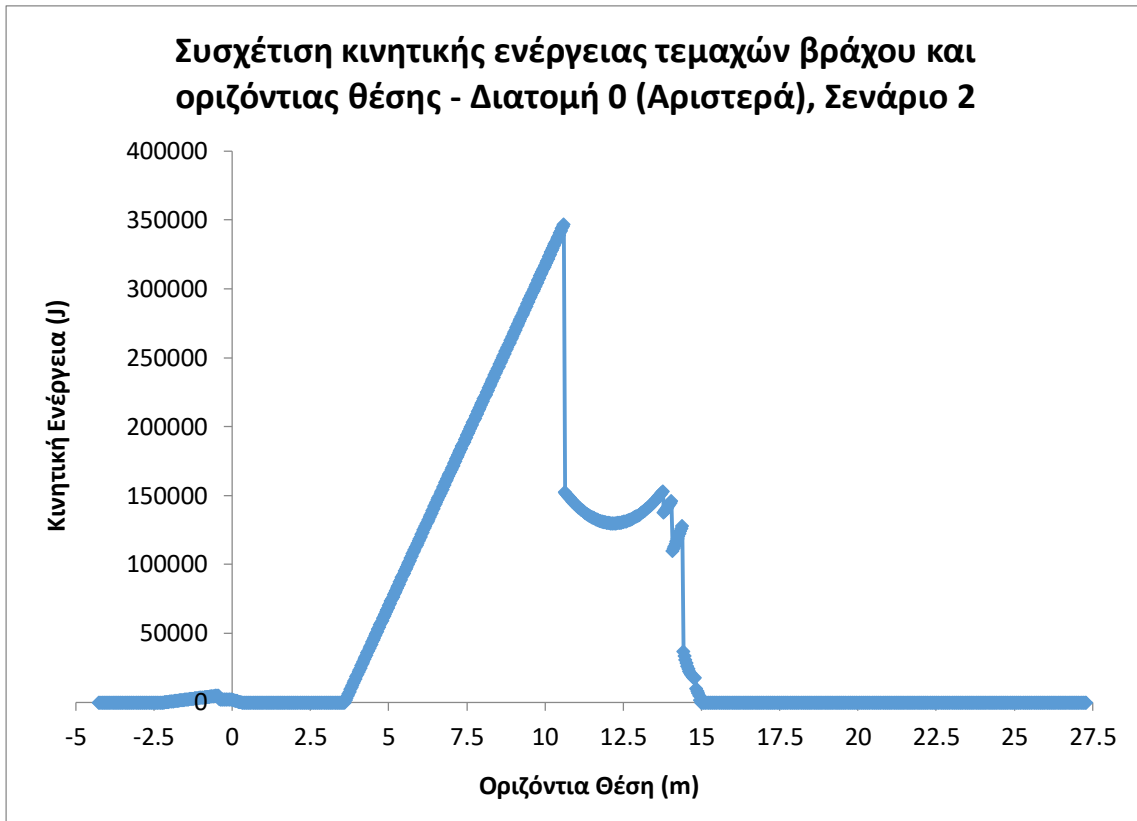
**Σχήμα 4.99:** Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 0 (αριστερά), σενάριο 2

Από τα παραπάνω δύο σχήματα προκύπτει πως η οδός, η οποία ως κοντινότερο σημείο στο πρανές έχει το  $(x,y) = (15.66, 7.13)$ , είναι ασφαλής έναντι εισχώρησης τεμαχών βράχου. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει πως η τάφρος λειτουργεί ικανοποιητικά στην παγίδευση των βράχων. Επιπλέον ικανοποιητικά λειτουργεί και ο αναβαθμός, βάσει των σχημάτων 4.98 και 4.99.

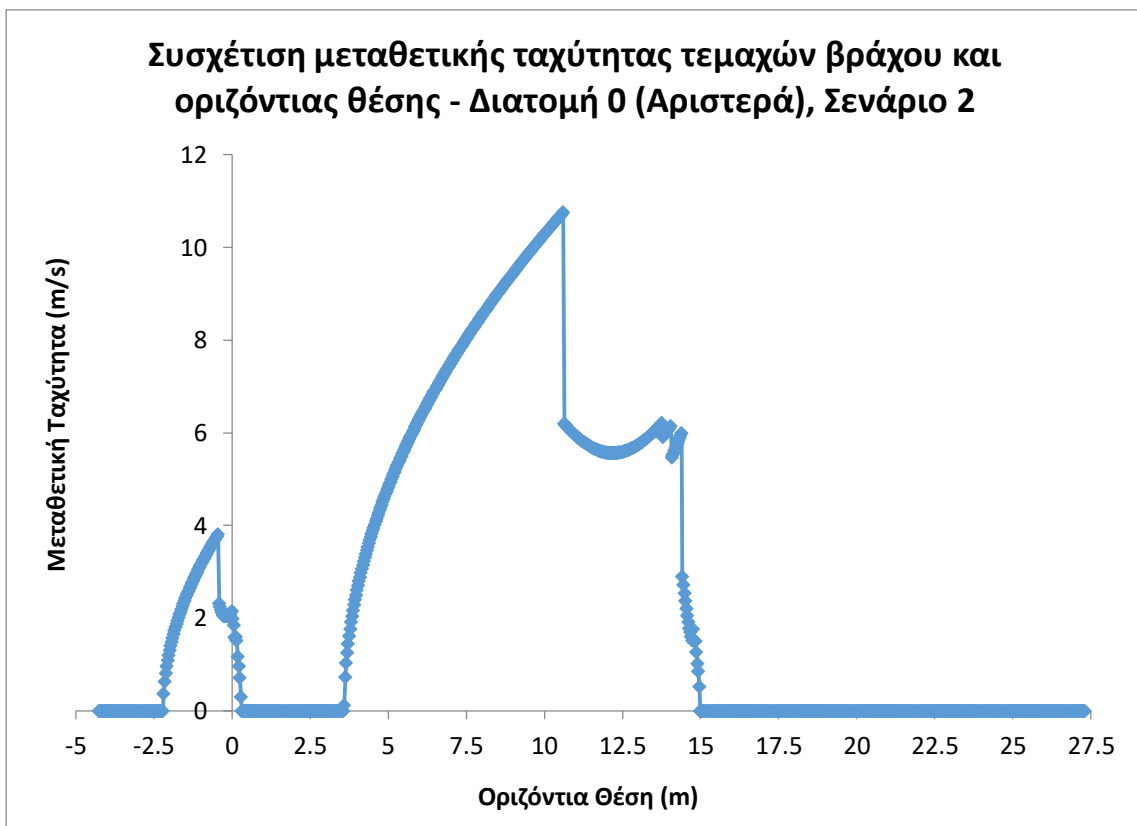


**Σχήμα 4.100:** Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (αριστερά), σενάριο 2

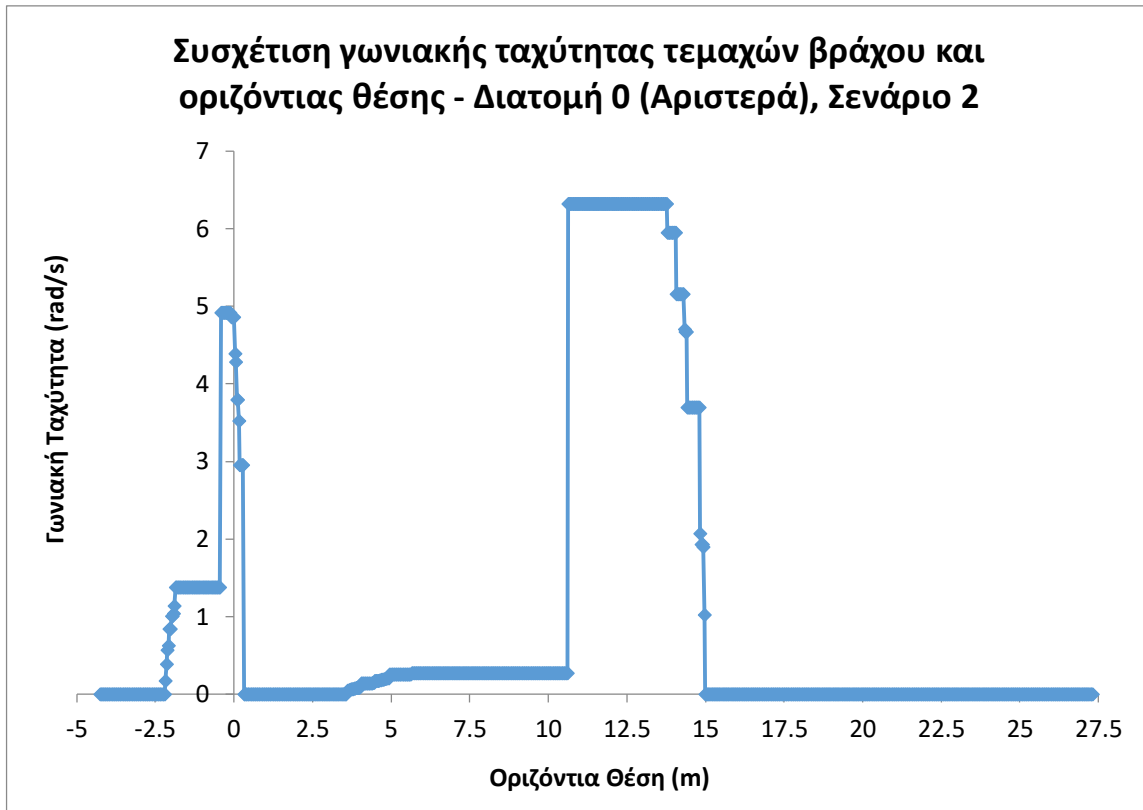




*Σχήμα 4.101: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (αριστερά), σενάριο 2*



*Σχήμα 4.102: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (αριστερά), σενάριο 2*



**Σχήμα 4.103: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (αριστερά), σενάριο 2**

Για τα παραπάνω διαγράμματα η αποδελτίωση των μέγιστων τιμών των εξεταζόμενων μεγεθών, εντός του αναβαθμού και της τάφρου, παρουσιάζεται μέσω του πίνακα 4.87.

**Πίνακας 4.87: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 0 (αριστερά), σενάριο 2**

Μέγεθος / Διάστημα Εξέτασης	Αναβαθμός	Τάφρος
Ύψος Αναπήδησης (m)	0.12	1.11
Κινητική Ενέργεια (kJ)	5.08	346.69
Μεταθετική Ταχύτητα (m/s)	3.81	10.75
Γωνιακή Ταχύτητα (rad/s)	5.00	6.32

Προχωρώντας σε μία σύγκριση των μέγιστων τιμών ανάμεσα στα δύο σενάρια, προκύπτει πως η μείωση της μάζας επιφέρει και την αναμενόμενη μείωση της κινητικής ενέργειας. Αναφορικά με τη γωνιακή ταχύτητα, εντός του αναβαθμού παρατηρείται μείωση της τιμής της συγκριτικά με αυτήν του πρώτου σεναρίου. Από τη στιγμή που τα τεμάχια ολισθαίνουν από την ίδια θέση και με την ίδια μάζα, ίσως πρέπει να εξεταστεί περαιτέρω η επίδραση του ύψους του πρανούς στη γωνιακή ταχύτητα. Από τα δύο συγκεκριμένα σενάρια παρατηρήθηκε πως το χαμηλότερο ύψος του πρανούς, οδήγησε σε μείωση της τιμής της.

Παράλληλα η διαμόρφωση του δεύτερου πρανούς ορύγματος είναι πολύ σημαντική για την εξαγωγή συμπερασμάτων, αφού η κλίση του και η μάζα του βραχοτεμάχους παραμένουν σταθερές και στα δύο σενάρια (ήτοι 45° και 0.7 τόνοι αντίστοιχα), επομένως μπορεί να ελεγχθεί άμεσα η επίδραση του ύψους του πρανούς ορύγματος στα εξεταζόμενα μεγέθη. Συγκεκριμένα

## Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

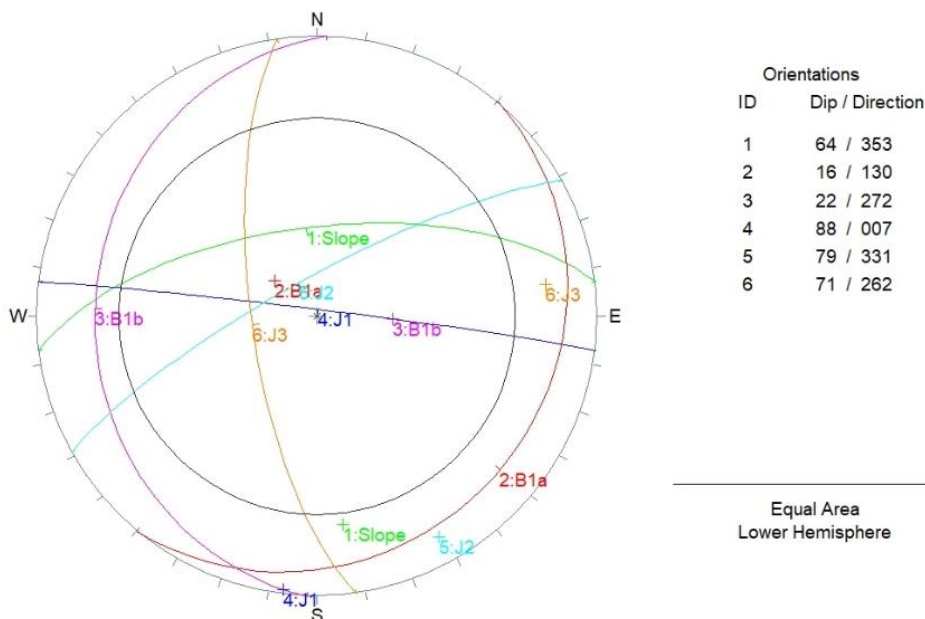
παρατηρήθηκε πως η μείωση του ύψους του πρανούς ορύγματος επιφέρει μείωση της μεταθετικής ταχύτητας, η οποία επιδρά άμεσα και στη μείωση του ύψους αναπήδησης. Τέλος υπάρχει έμμεση επίδραση και στην κινητική ενέργεια, ως απόρροια της άμεσης επίδρασης στη μεταθετική ταχύτητα.

### *Δεξιό πρανές (διεύθυνση μέγιστης κλίσης 353°)*

Η αναδιαμόρφωση του δεξιού πρανούς, λόγω της δημιουργίας μίας επιπλέον λωρίδας κυκλοφορίας, πραγματοποιείται δημιουργώντας δύο σενάρια. Το πρώτο αφορά τη διαμόρφωση με κλίση 2:1 (υ:β) μέχρι τα 10m ύψος του πρανούς (64°/353°), ενδιάμεσο αναβαθμό πλάτους 4m και κλίσης 5° και διαμόρφωση του υπόλοιπου πρανούς (ύψους 4.1m) με κλίση 1:1 (υ:β). Στο πόδι του πρανούς προβλέπεται η δημιουργία τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων βάθους 2m και πλάτους 5m. Το συνολικό ύψος του διαμορφωμένου πρανούς ανέρχεται στα 13.6m, ενώ η μέση κλίση του ισούται με 1:1 (υ:β).

Το δεύτερο σενάριο αφορά διαμόρφωση με κλίση 1.4:1 (υ:β), μέχρι τα 10m ύψος του πρανούς (55°/353°), δημιουργία αναβαθμού πλάτους 4m και κλίσης 5° και στη συνέχεια διαμόρφωση με κλίση 1:1 (υ:β) του πρανούς (45°/353°) έως το φρύδι (υψόμετρο 3.5m, με σημείο αναφοράς το μεταίχμιο του αναβαθμού και του ανάντη του πρανούς). Στο πόδι του πρανούς προβλέπεται η δημιουργία νέας τραπεζοειδούς τάφρου αναχαίτισης καταπτώσεων βάθους 1.5m και πλάτους 5m. Το συνολικό ύψος του διαμορφωμένου πρανούς ανέρχεται στα 12.5 m, ενώ η μέση κλίση του ισούται με 0.9:1 (υ:β). Τέλος και σε αυτήν την περίπτωση λήφθηκε υπόψιν η δομή του ασβεστόλιθου και οι τιμές του RQD, ώστε να αποδοθεί η ελάχιστη δυνατή κλίση για τη διαμόρφωση των πρανών. Οι λόγοι που δεν επιλέγεται μεγαλύτερη κλίση ταυτίζονται με αυτούς που αναφέρθηκαν και κατά την ανάλυση του συντηρητικότερου σεναρίου των προηγούμενων διατομών, των οποίων η βραχομάζα αποτελείται από συναφείς τιμές RQD.

Με αφετηρία τη διαμόρφωση του πρώτου σεναρίου και συγκεκριμένα το πρανές 64°/353°, για τον έλεγχο κινηματικής ευστάθειας, δημιουργήθηκαν οι στερεογραφικές απεικονίσεις των επιφανειών και στη συνέχεια για τις δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις υπολογίστηκαν οι συντελεστές ασφαλείας. Η γωνία εσωτερικής τριβής των ασυνεχειών ισούται με 30°, ενώ η συνοχή τους τίθεται ίση με 0kPa.



**Σχήμα 4.104: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 64°/353° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=30°)**

#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

Από το παραπάνω δίκτυο Schmidt, το οποίο δημιουργήθηκε μέσω του Dips 5.1, παρατηρείται πως σε συνθήκες στατικής φόρτισης δεν αναμένονται σφηνοειδείς ολισθήσεις. Επομένως απομένει να ελεγχθούν οι συντελεστές ασφαλείας για πλήρωση των ασυνεχειών με νερό, αλλά και για συνθήκες εκδήλωσης σεισμικής φόρτισης παράλληλα. Σχετικά με τις τιμές των συντελεστών  $A_2$  και  $A_3$ , αυτές έχουν υποτιμηθεί ελαφρώς λόγω της αδυναμίας του Swedge να λάβει υπόψιν τη γωνία του άνω μετώπου του πρανούς, η οποία ισούται με  $-5^\circ$ .

**Πίνακας 4.88: Δονητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς  $64^\circ/353^\circ$**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ειδικό Βάρος $\gamma$ ( $t/m^3$ )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		$A_1$	$A_2$	$A_3$
B1a & J2	2.62	7.35	5.51	2.32
<b>B1b &amp; J1</b>		1.49	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>
B1b & J3		12.28	9.81	3.70

Από τα παραπάνω προκύπτει πως η βραχοσφήνα, η οποία δημιουργείται από την τομή των ασυνεχειών B1b και J1, αναμένεται να ολισθήσει σε συνθήκες όπου οι ασυνέχειες είναι πληρωμένες με νερό. Σημειώνεται πως οι τιμές των συντελεστών  $A_2$  και  $A_3$  είναι τέτοιες, ώστε η μικρή υποτίμηση στην οποία υπόκεινται από το Swedge 4.0, να μην δημιουργεί αμφιβολίες για το αν αναμένεται ολίσθηση.

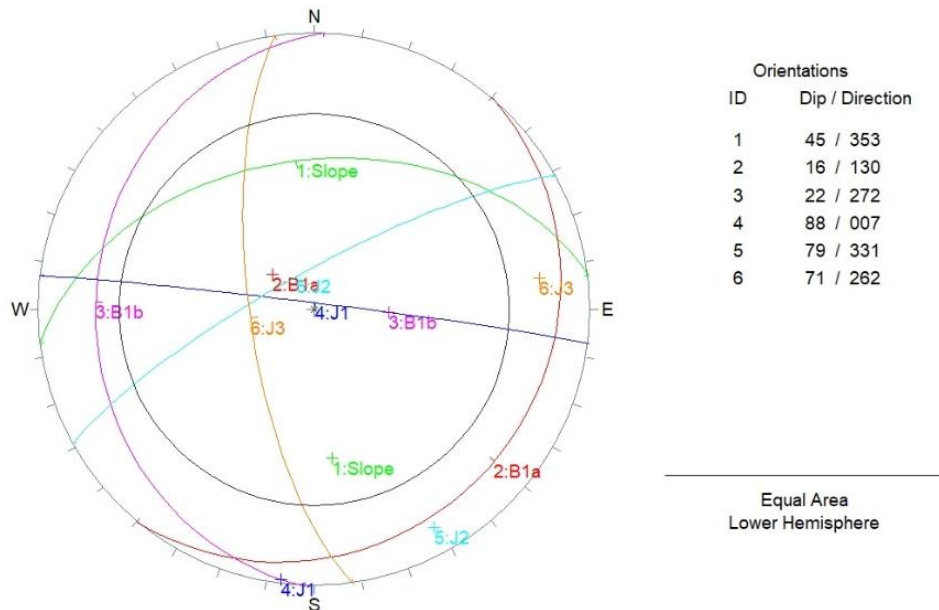
Υπολογίζοντας τα βάρη των τεμαχών μέσω του Swedge 4.0 και παρουσιάζοντάς τα στον ακόλουθο πίνακα, προκύπτει πως το βάρος που θα ληφθεί υπόψιν στην προσομοίωση για το πρανές  $64^\circ/353^\circ$  είναι ίσο με 1.4 τόνους. Η παραπάνω τιμή λήφθηκε ως μέγιστη, καθώς η αμέσως επόμενη (ήτοι 0.7 τόνου) ήταν αυτή των τεμαχών του κερματισμένου -λόγω έκρηξης- μετώπου του πρανούς. Υπενθυμίζεται πως για την εύρεση του πραγματικού βάρους της βραχοσφήνας σε περιπτώσεις όπου δεν λαμβάνεται υπόψιν η πραγματική γωνία του άνω μετώπου του πρανούς, πραγματοποιείται νωρίτερα η κατάλληλη γεωμετρική απομείωση του σχήματός της, όπως αυτό προκύπτει από το Swedge 4.0. Ο άξονας ολίσθησης είναι η επιφάνεια της ασυνέχειας B1b.

**Πίνακας 4.89: Υπολογισμός βάρους σχηματιζόμενης βραχοσφήνας για το πρανές ( $64^\circ/353^\circ$ ) ύψους 10m έως τον αναβαθμό**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ύψος Τεμάχου (m)	Βάρος Βραχοσφήνας (t)	Πραγματικό Βάρος Βραχοσφήνας (t)
B1b & J1	3.3	1.4	1.4

Στη συνέχεια λαμβάνουν χώρα ακριβώς οι ίδιες αναλύσεις όσον αφορά το πρανές  $45^\circ/353^\circ$ , ύψους 4.1m. Συγκεκριμένα, πρώτα δημιουργήθηκε το δίκτυο στερεογραφικής απεικόνισης των επιφανειών (πρανούς και ασυνεχειών), έπειτα ο κώνος τριβής σε απόσταση  $\phi$  (ίση με  $30^\circ$ ) από την περίμετρο του δικτύου και στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι τρεις συντελεστές ασφαλείας για κάθε συνδυασμό ασυνεχειών που δύναται να δημιουργήσει ολισθαίνουσα βραχοσφήνα.

## Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα



**Σχήμα 4.105: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανούς 45°/353° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=30°)**

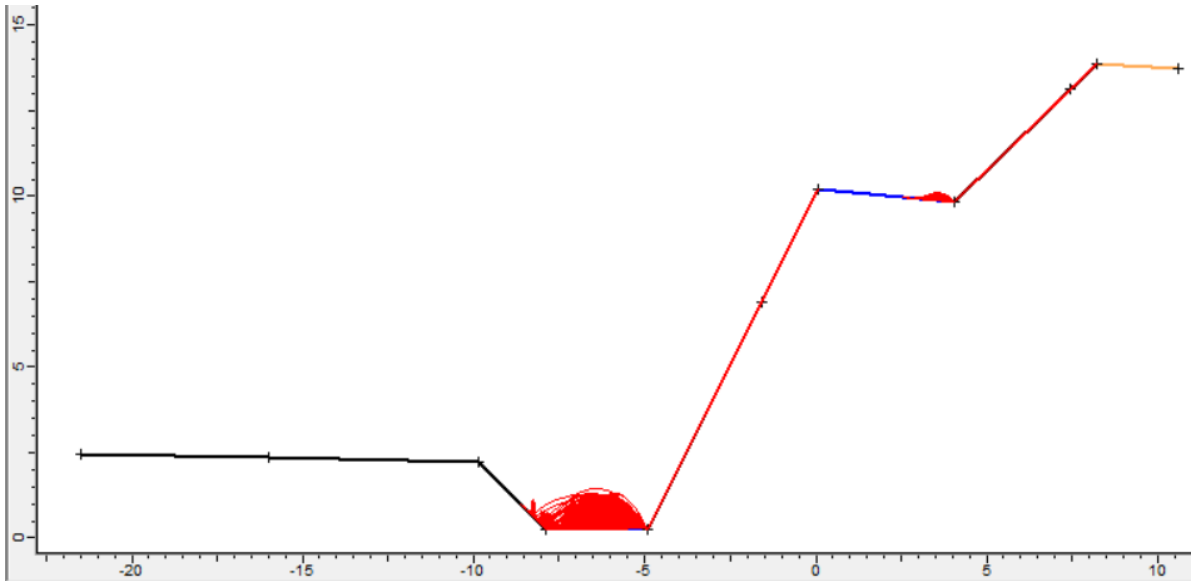
**Πίνακας 4.90: Δυναμικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 45°/353°**

Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ειδικό Βάρος γ (t/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
B1a & J2	2.62	7.35	5.20	2.19
B1b & J3		12.28	9.70	3.65

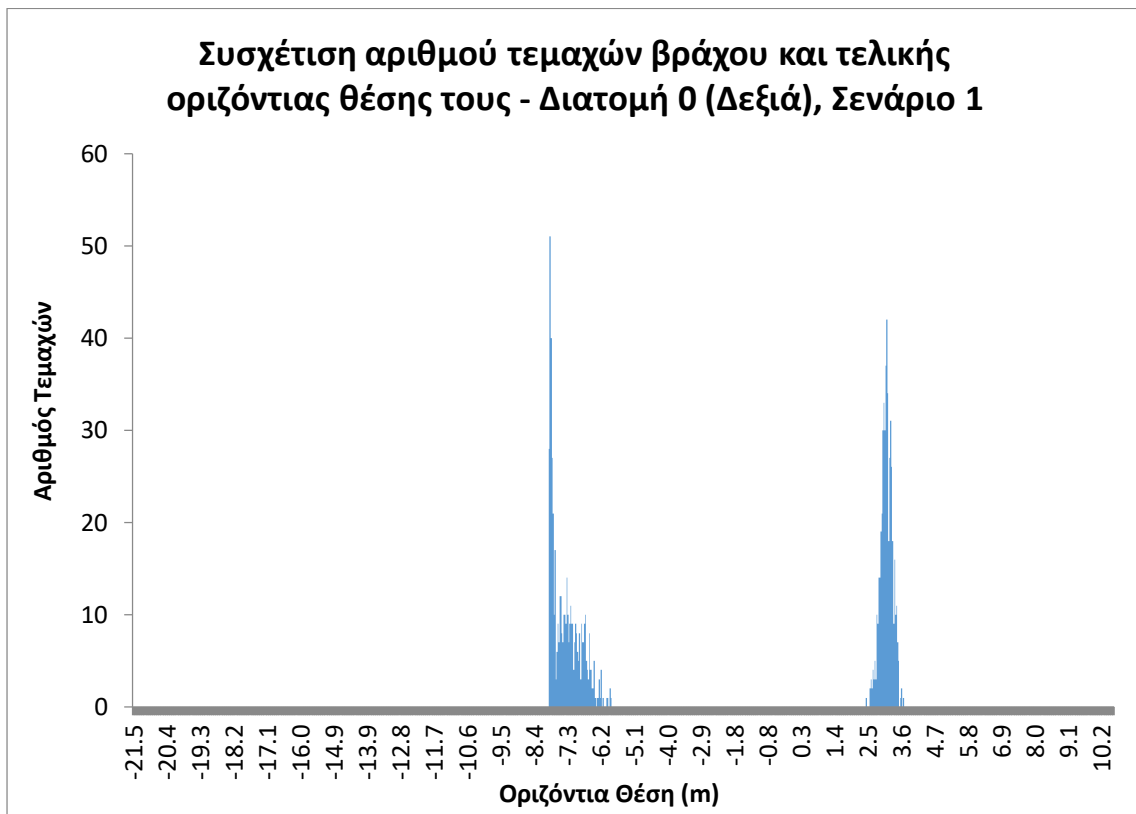
Μέσω του παραπάνω πίνακα παρατηρείται πως ούτε κατά τη δυσμενέστερη συνθήκη, όπου οι ασυνέχειες είναι πληρωμένες με νερό και ταυτόχρονα υπάρχει σεισμική φόρτιση, αναμένεται σφηνοειδής ολίσθηση. Επομένως η προσομοίωση θα πραγματοποιηθεί με χρήση της μάζας του τεμάχους, το οποίο δύναται να ολισθήσει λόγω του κερματισμού του μετώπου από τη χρήση εκρηκτικών υλών. Η τιμή της μάζας αυτής, ως το 1/4 του κυβικού μέτρου, ορίζεται ίση με 0.7 τόνους.

Συνεπώς υπάρχουν όλα τα διαθέσιμα στοιχεία ώστε να λάβει χώρα η προσομοίωση. Συγκεκριμένα τα σχήματα 4.106 και 4.107, αποδεικνύουν πως η οδός, της οποίας το κοντινότερο στο πρανές σημείο είναι το (x,y)=(-9.86, 2.22) όπως αντιστοιχίζεται στο Σχήμα 4.106, είναι ασφαλής έναντι εισχώρησης τεμαχών βράχου. Επίσης παρατηρείται πως τόσο ο αναβαθμός όσο και η τάφρος ανταποκρίνονται πλήρως στη συγκράτηση των καταπεσόντων τεμαχών βράχου.

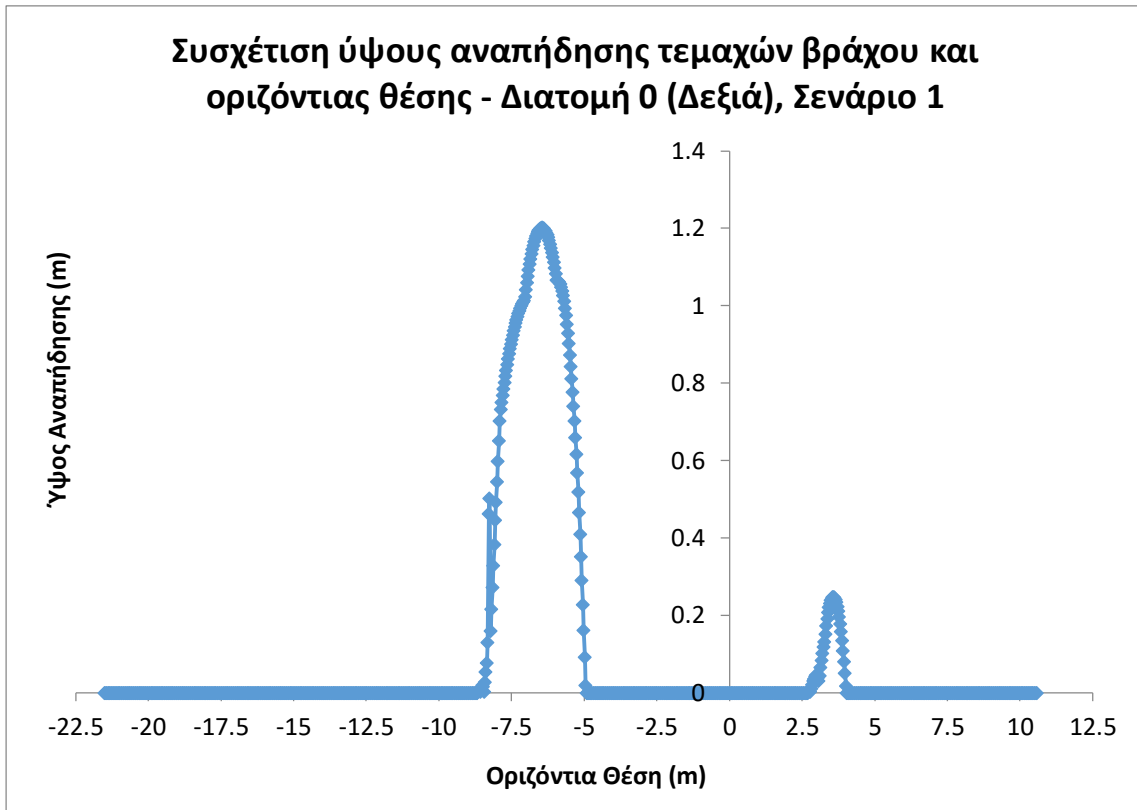
Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα



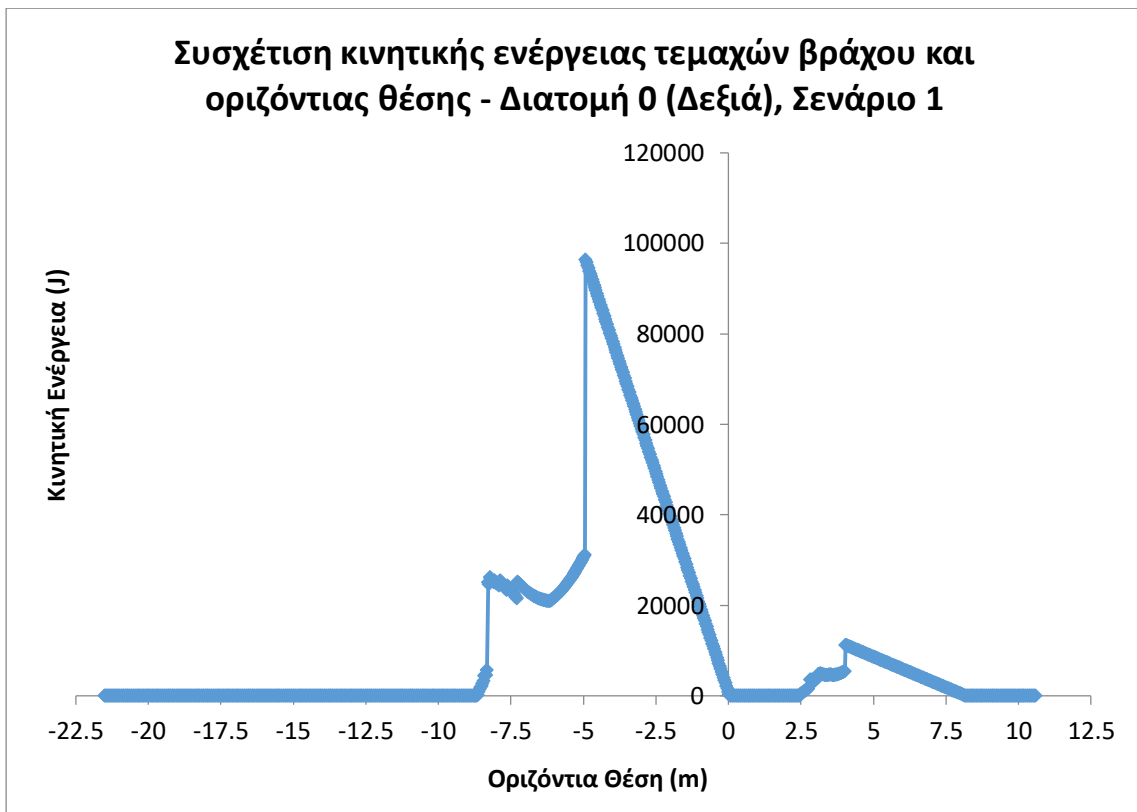
**Σχήμα 4.106:** Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 0 (δεξιά) με διαμόρφωση πρανών με κλίση 64° έως τον αναβαθμό και 45° από τον αναβαθμό έως το υψηλότερο διαμορφωμένο τμήμα του πρανούς



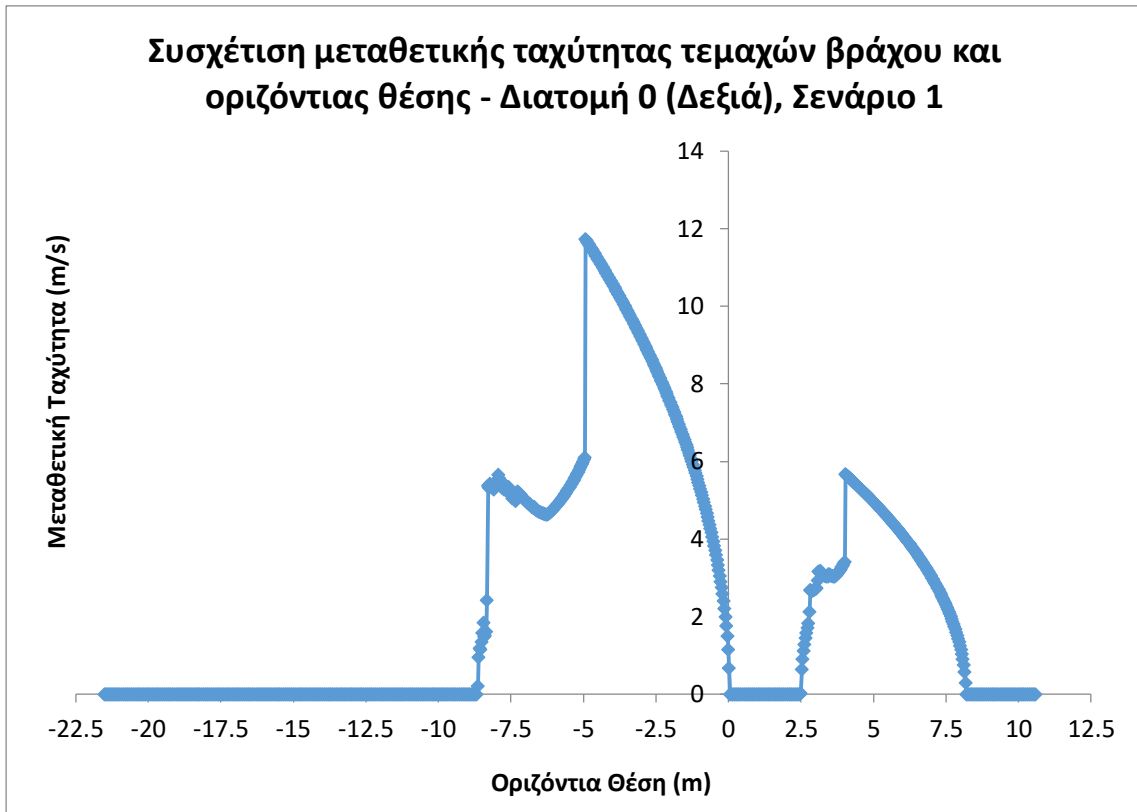
**Σχήμα 4.107:** Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 0 (δεξιά), σενάριο 1



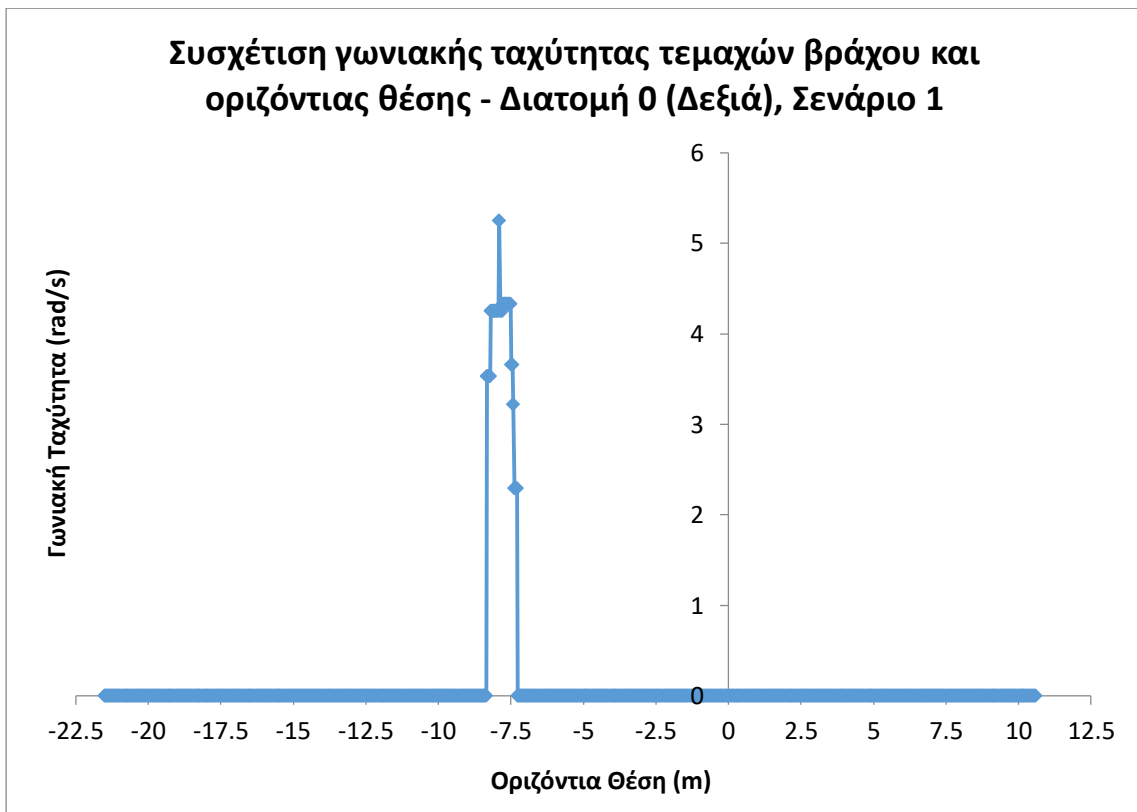
*Σχήμα 4.108: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (δεξιά), σενάριο 1*



*Σχήμα 4.109: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (δεξιά), σενάριο 1*



*Σχήμα 4.110: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (δεξιά), σενάριο 1*



*Σχήμα 4.111: Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (δεξιά), σενάριο 1*



**Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα**

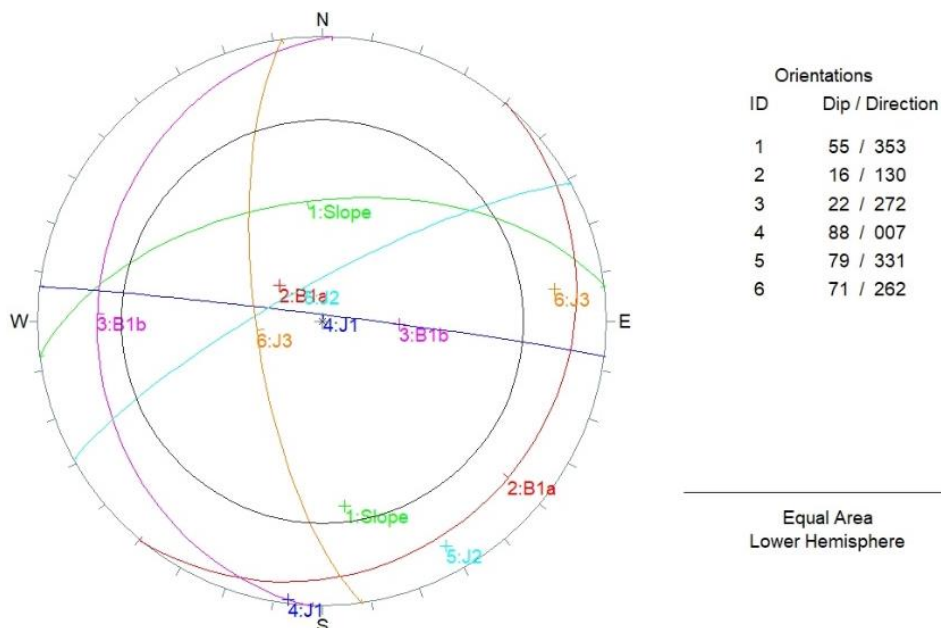
Τέλος, για το πρώτο σενάριο, παρουσιάζεται ο Πίνακας 4.91, ο οποίος αποτελεί τον συγκεντρωτικό σχετικά με τις μέγιστες τιμές των παραπάνω μεγεθών εντός του αναβαθμού και της τάφρου.

**Πίνακας 4.91: Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 0 (δεξιά), σενάριο 1**

Μέγεθος Διάστημα Εξέτασης	Τάφρος	Αναβαθμός
Ύψος Αναπήδησης (m)	1.20	0.25
Κινητική Ενέργεια (kJ)	96.32	11.25
Μεταθετική Ταχύτητα (m/s)	11.73	5.67
Γωνιακή Ταχύτητα (rad/s)	5.25	0

Αναφορικά με τις θέσεις μεγιστοποίησης των τιμών των μεγεθών, ισχύει ό,τι έχει αναφερθεί και κατά την ανάλυση των προηγούμενων διατομών. Επίσης παρατηρείται πως η κλίση του πρανού, συνδυαστικά με το ύψος του, αποτελεί τον πιο καθοριστικό παράγοντα επίδρασης στη μεταθετική ταχύτητα και το ύψος αναπήδησης των βραχοτεμαχών. Άρα επιδρά έμμεσα και στην κινητική τους ενέργεια, η οποία άμεσα επιδράται από τη μεταθετική τους ταχύτητα.

Συνεχίζοντας με την ανάλυση του δεύτερου σεναρίου και την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης ενότητας, παρατίθεται το δίκτυο στερεογραφικής απεικόνισης των επιφανειών για το πρανές 55°/353°, ενώ στη συνέχεια εξετάζονται και οι συντελεστές ασφαλείας όλων των βραχοσφηνών που δύνανται να ολισθήσουν. Σημειώνεται πως για τη διαμόρφωση με κλίση 1:1 (υ:β) μετά τον πρώτο αναβαθμό, δηλαδή για το πρανές 45°/353° ύψους 3.5m, το δίκτυο και οι συντελεστές ασφαλείας είναι οι ίδιοι με αυτούς που παρουσιάστηκαν κατά την ανάλυση του πρώτου σεναρίου. Επομένως για την περίπτωση αυτή, αφού δεν αναμένεται ολίσθηση βραχοσφήνας, η μάζα που θα χρησιμοποιηθεί και σε αυτήν την ανάλυση είναι ίση με 0.7 τόνους και αφορά τα τεμάχια του κερματισμένου -λόγω της έκρηξης- μετώπου του πρανούς ορύγματος.



**Σχήμα 4.112: Στερεογραφική απεικόνιση επιφάνειας πρανού 55°/353° και εμφανιζόμενων ασυνεχειών (c=0kPa, φ=30°)**

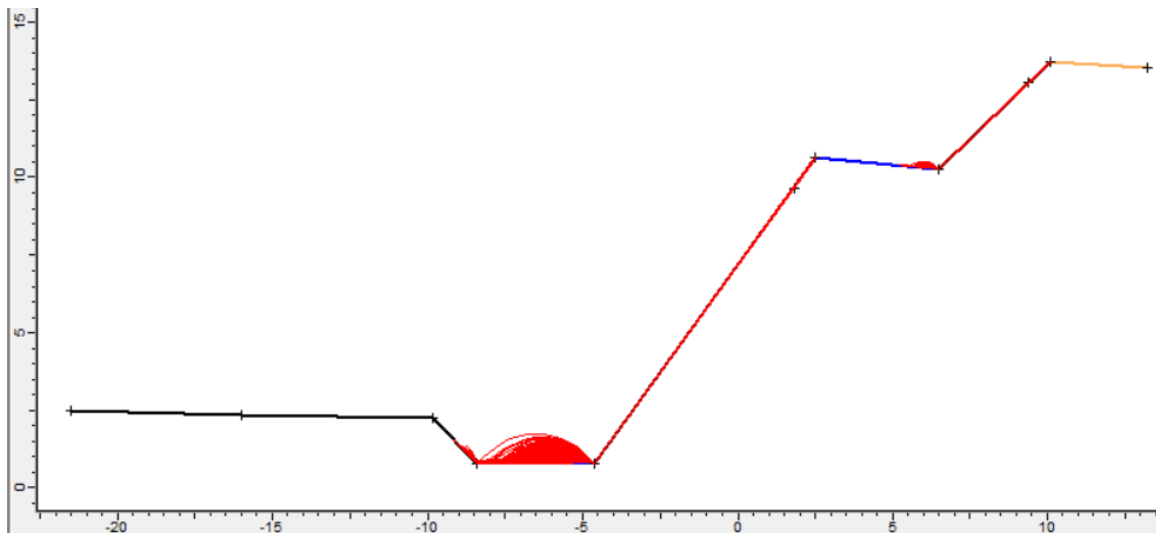
#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

**Πίνακας 4.92: Δυναμικές σφηνοειδείς ολισθήσεις και συντελεστές ασφαλείας πρανούς 55°/353°**

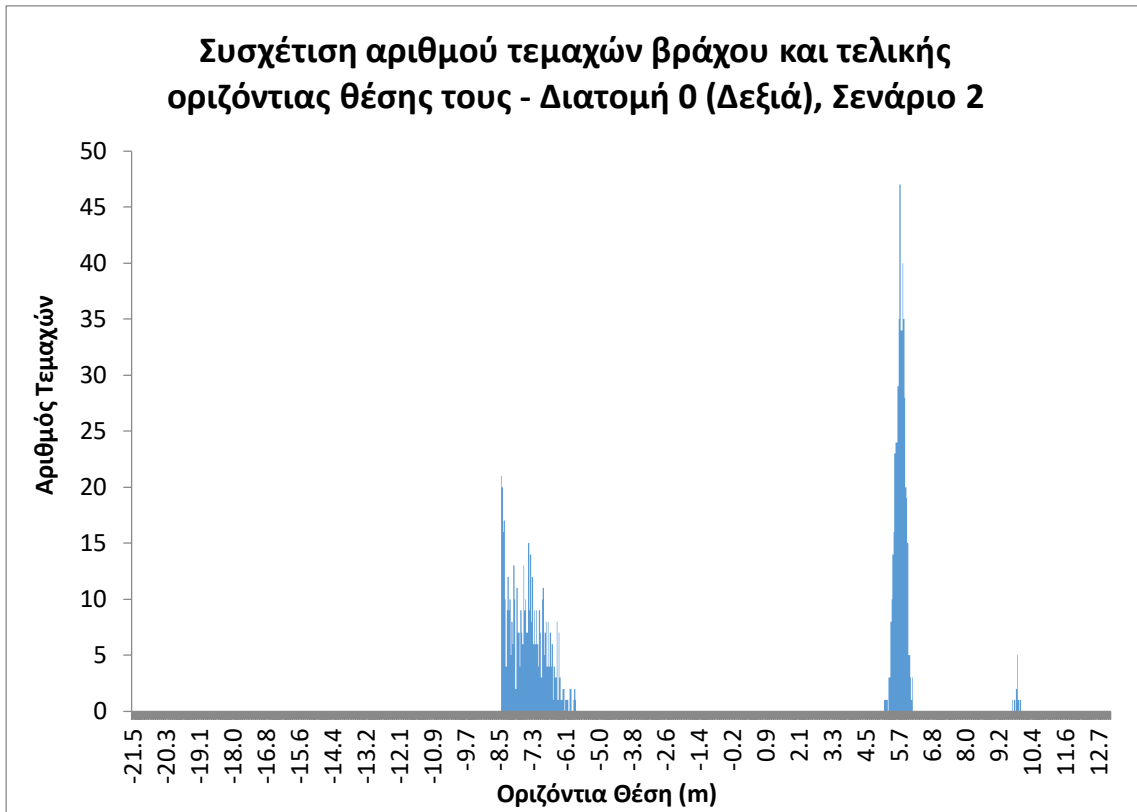
Συνδυασμός Ασυνεχειών	Ειδικό Βάρος $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής Ασφαλείας		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
B1a & J2	2.62	7.35	5.39	2.27
B1b & J3		12.28	9.77	3.68

Από τον παραπάνω πίνακα, εξάγεται το συμπέρασμα πως δεν αναμένεται ολίσθηση καμίας εκ των σχηματιζόμενων βραχοσφηνών, ακόμα και στη δυσμενέστερη περίπτωση πλήρωσης των ασυνεχειών με νερό και παράλληλα ύπαρξης σεισμικής φόρτισης. Επομένως και για το πρανές 55°/353° η μάζα του καταπεσόντος τεμάχους θα είναι ίση με το 1/4 του κυβικού μέτρου (ήτοι 0.7 τόνοι), που προκύπτει από τον κερματισμό του μετώπου του πρανούς λόγω της όρυξης με χρήση εκρηκτικών υλών.

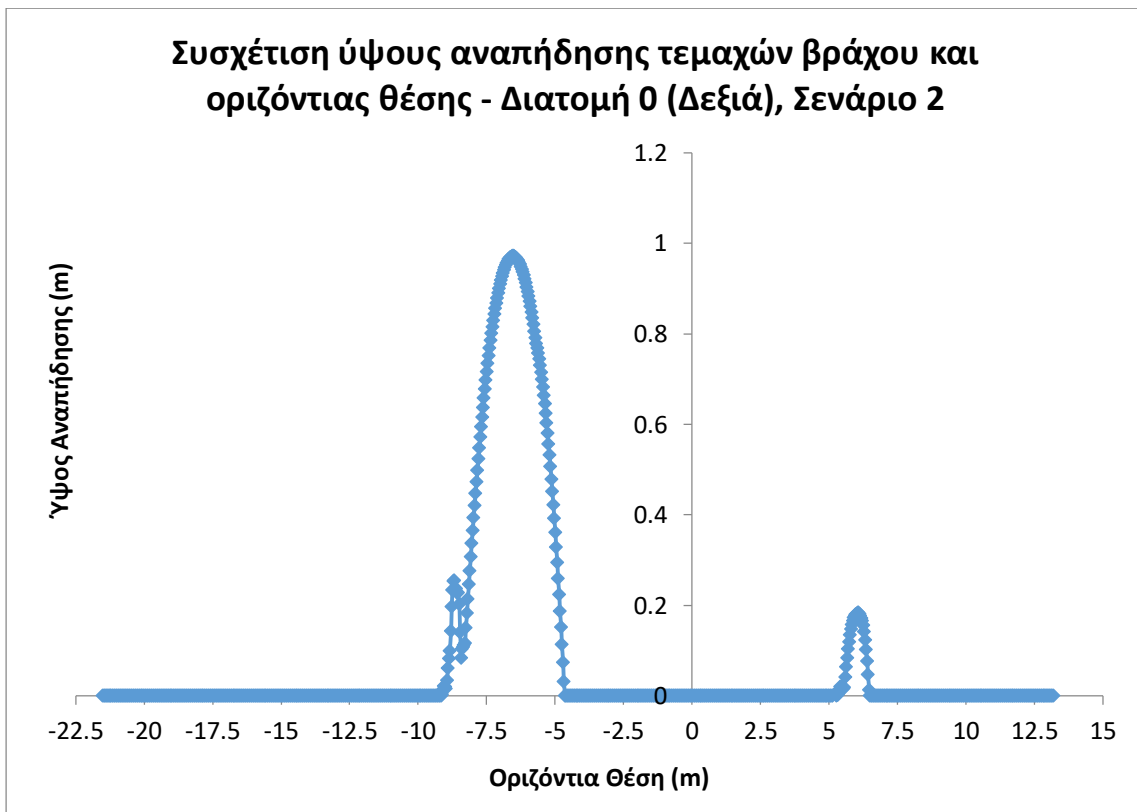
Βάσει όλων των παραπάνω, η προσομοίωση έλαβε χώρα στο RocFall και έδωσε τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στα ακόλουθα σχήματα. Από τα δύο πρώτα σχήματα (4.113 και 4.114), προκύπτει πως η οδός, της οποίας το κοντινότερο στο πρανές σημείο είναι το (x,y)=(-9.86, 2.22), είναι ασφαλής έναντι εισχώρησης βράχων. Ως εκ τούτου, η τάφρος λειτουργεί αποτελεσματικά στην παγίδευση των τεμαχών βράχου. Επιπλέον και ο αναβαθμός φαίνεται πως υπερεπαρκεί για την παγίδευση των βραχοτεμαχών.



**Σχήμα 4.113: Προσομοίωση κατάπτωσης τεμαχών βράχου για τη διατομή ορύγματος 0 (δεξιά) με διαμόρφωση πρανών με κλίση 55° έως τον αναβαθμό και 45° από τον αναβαθμό έως το υψηλότερο διαμορφωμένο τμήμα του πρανούς**



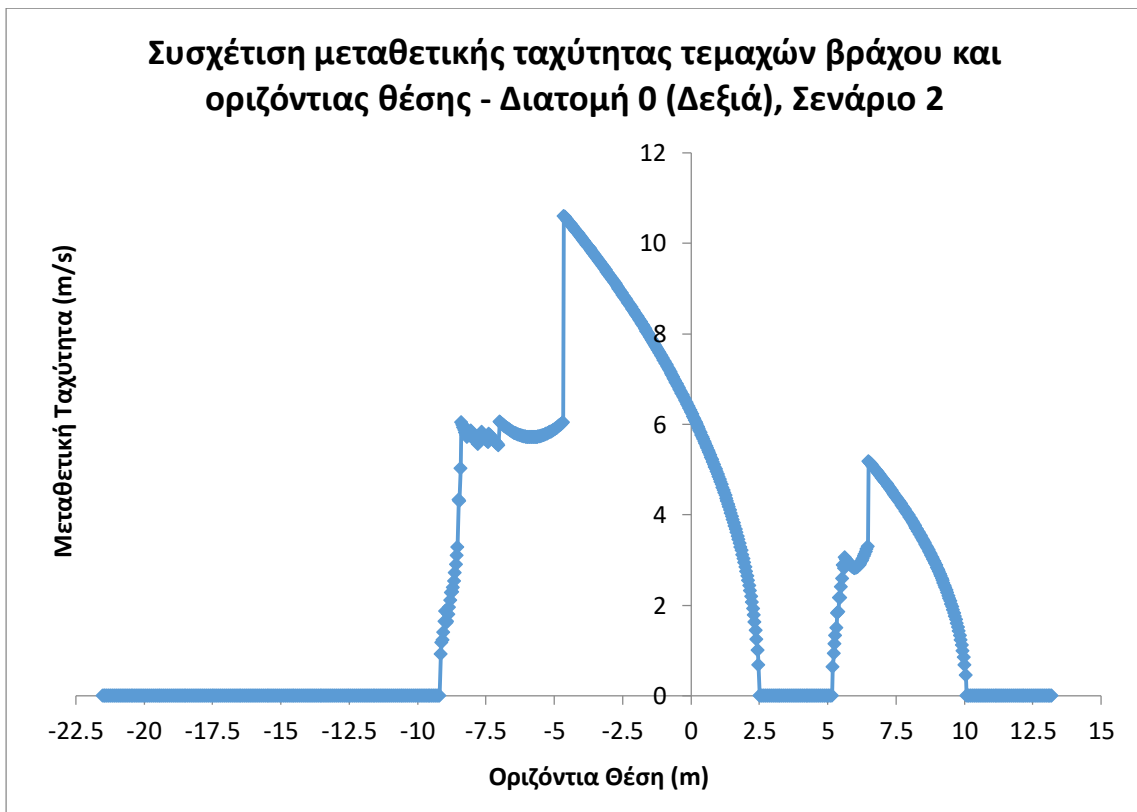
*Σχήμα 4.114: Συσχέτιση αριθμού τεμαχών βράχου και τελικής οριζόντιας θέσης τους - Διατομή 0 (δεξιά), σενάριο 2*



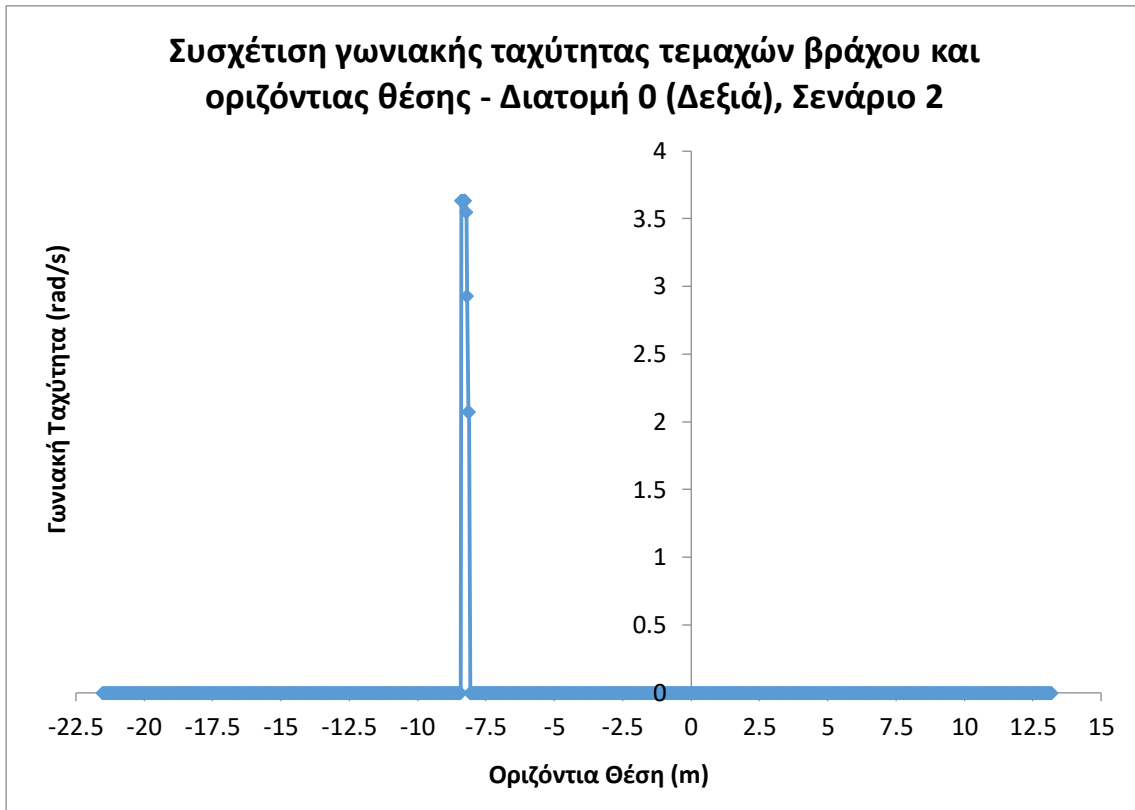
*Σχήμα 4.115: Συσχέτιση ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (δεξιά), σενάριο 2*



*Σχήμα 4.116: Συσχέτιση κινητικής ενέργειας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (δεξιά), σενάριο 2*



*Σχήμα 4.117: Συσχέτιση μεταθετικής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (δεξιά), σενάριο 2*



**Σχήμα 4.118:** Συσχέτιση γωνιακής ταχύτητας τεμαχών βράχου και οριζόντιας θέσης - Διατομή 0 (δεξιά), σενάριο 2

Τέλος για τη συσχέτιση των παραπάνω τεσσάρων μεγεθών και της οριζόντιας θέσης, παρατίθεται ο Πίνακας 4.93, ως συγκεντρωτικός σχετικά με τις μέγιστες τιμές τους εντός της τάφρου και του αναβαθμού.

**Πίνακας 4.93:** Μέγιστες τιμές μεγεθών σε ορισμένα διαστήματα εξέτασης - Διατομή 0 (δεξιά), σενάριο 2

Μέγεθος / Διάστημα Εξέτασης	Τάφρος	Αναβαθμός
Ύψος Αναπήδησης (m)	0.97	0.18
Κινητική Ενέργεια (kJ)	39.33	9.39
Μεταθετική Ταχύτητα (m/s)	10.60	5.18
Γωνιακή Ταχύτητα (rad/s)	3.63	0

Συσχετίζοντας τα αποτελέσματα αναφορικά με τις μέγιστες τιμές των εξεταζόμενων μεγεθών στα δύο σενάρια διαμόρφωσης, παρατηρείται πως η μείωση της κλίσης του πρανούς, αλλά και του ύψους του, επιφέρουν μείωση της μεταθετικής ταχύτητας και του ύψους αναπήδησης των βραχοτεμαχών. Επομένως επιδρούν έμμεσα και στη μείωση της κινητικής τους ενέργειας. Τέλος, αναφορικά με τη γωνιακή τους ταχύτητα εντός της τάφρου, οι μοναδικές μη μηδενικές τιμές της προκύπτουν κατόπιν σύγκρουσης με το πλευρικό τμήμα της τάφρου και κατ' επέκταση δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο ασφαλές συμπέρασμα.

#### 4.4 Ανάλυση Ευαισθησίας

Για την αξιολόγηση της σημαντικότητας ορισμένων παραμέτρων, στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο λαμβάνουν χώρα δύο διαφορετικές αναλύσεις ευαισθησίας. Η πρώτη αφορά την

## Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

επίδραση της τυπικής απόκλισης της τραχύτητας του πρανού, της τάφρου και του αναβαθμού στο ύψος αναπήδησης, την κινητική ενέργεια, τη μεταθετική και τη γωνιακή ταχύτητα των βραχοτεμαχών. Η δεύτερη αφορά την επίδραση του υλικού, από το οποίο αποτελείται η βάση της τάφρου και του αναβαθμού, στα παραπάνω μεγέθη. Τέλος για την ανάλυση ευαισθησίας, επιλέχθηκε να ελεγχθεί το δεξιό πρανές (πρανή ορυγμάτων  $64^{\circ}/353^{\circ}$  και  $45^{\circ}/353^{\circ}$ , αναβαθμός πλάτους 4m και τραπεζοειδής τάφρος αναχαίτισης καταπτώσεων πλάτους 5m και βάθους 2m) του πρώτου κλάδου του ανισόπεδου κόμβου.

### 4.4.1 Επίδραση της τυπικής απόκλισης της τραχύτητας

Όπως έχει αναφερθεί και προωύτερα, η τυπική απόκλιση της τραχύτητας του μετώπου του ασβεστολιθικού πρανού, του αναβαθμού και της τάφρου, μπορεί να λάβει τιμές ίσες με  $0^{\circ}, 2^{\circ}, 3^{\circ}$  και  $5^{\circ}$  σύμφωνα με τις βιβλιογραφικές μελέτες.

Ως εκ τούτου, στη συγκεκριμένη έρευνα εξετάστηκε η επίδραση που επιφέρει στα εξεταζόμενα μεγέθη η μεταβολή της τυπικής απόκλισης της τραχύτητας, στην οποία δίνεται καθεμία από τις προαναφερθείσες τιμές. Από τις αναλύσεις, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στους δύο επόμενους πίνακες, τόσο για την τάφρο όσο και για τον αναβαθμό προέκυψε πως το μοναδικό μέγεθος που επηρεάζεται από τη διαφοροποίηση της τυπικής απόκλισης της τραχύτητας είναι το ύψος αναπήδησης.

Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε πως το ύψος αναπήδησης μεταβάλλεται μεν, αλλά χωρίς να ακολουθείται κάποιου είδους συσχέτιση με την τυπική απόκλιση της τραχύτητας δε. Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε συμφωνία με τα αντίστοιχα της διεθνούς βιβλιογραφίας, μέσω των οποίων αναφέρεται πως η διαφοροποίηση της τυπικής απόκλισης της τραχύτητας οδηγεί τα βραχοτεμάχια στο να ακολουθούν πιο απρόβλεπτες ή ασυνήθιστες διαδρομές. Ως εκ τούτου εμφανίζεται μια περισσότερο τυχαία διασπορά των αποτελεσμάτων.

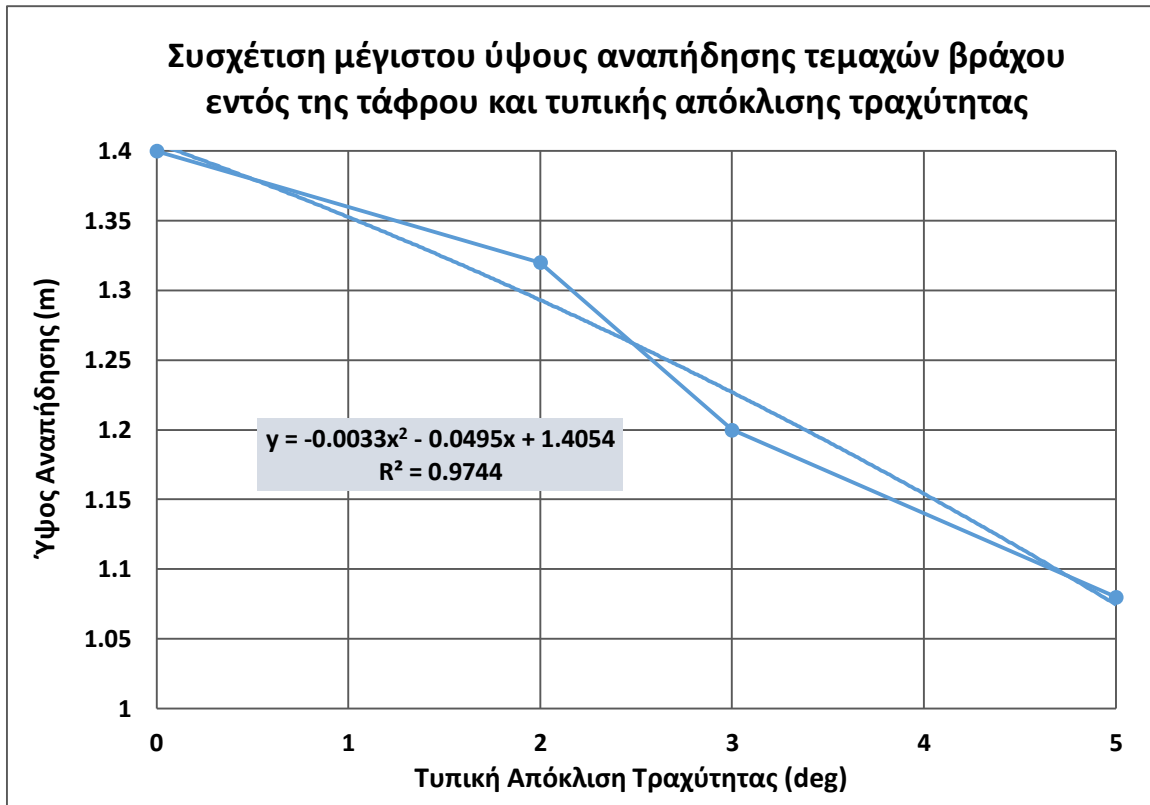
Τέλος αναφορικά με τη γωνιακή ταχύτητα, έχει διαπιστωθεί στο σύνολο της έρευνας, πως οι τιμές της εντός της τάφρου, οι οποίες λαμβάνουν μη μηδενικές τιμές μόνο κατόπιν σύγκρουσης με το πλευρικό τμήμα, εξαρτώνται από το υλικό του τμήματος αυτού και τη γεωμετρία του.

**Πίνακας 4.94: Μέγιστες τιμές μεγεθών ύψους αναπήδησης, κινητικής ενέργειας, μεταθετικής και γωνιακής ταχύτητας εντός της τάφρου συναρτήσει της τυπικής απόκλισης της τραχύτητας**

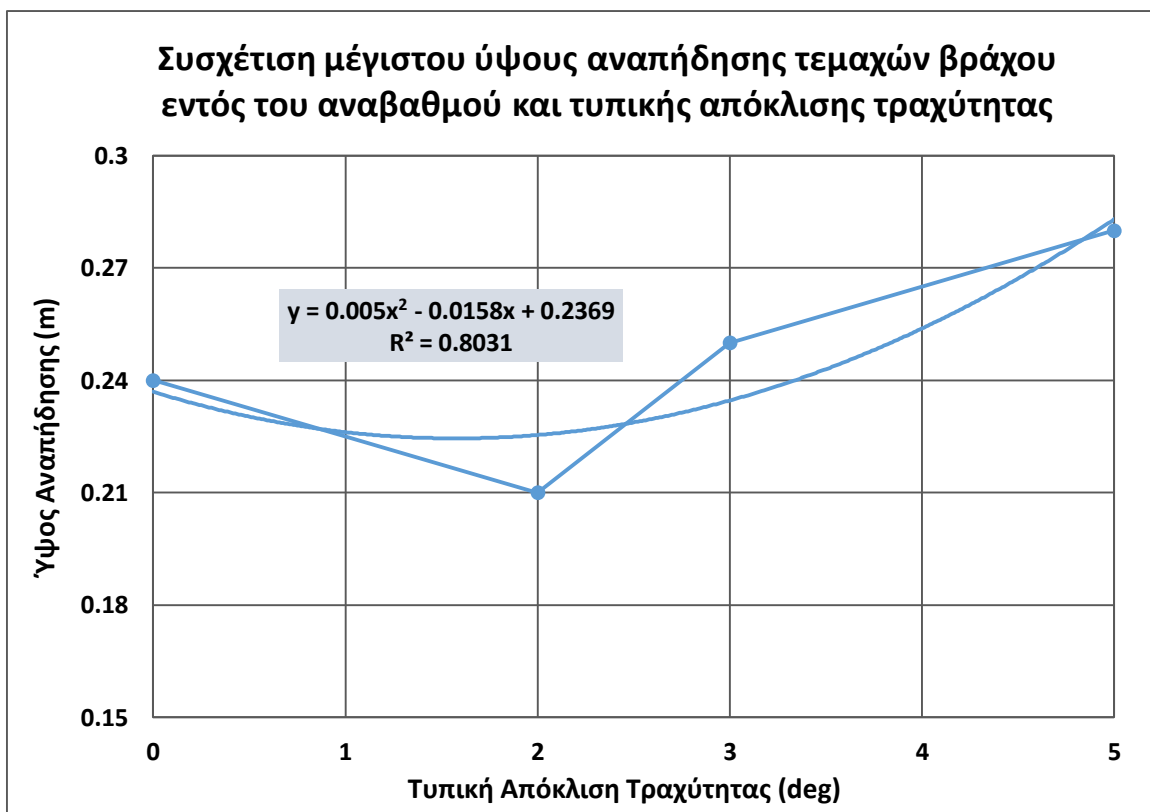
Τυπική Απόκλιση Τραχύτητας (deg)	Ύψος Αναπήδησης (m)	Κινητική Ενέργεια (kJ)	Μεταθετική Ταχύτητα (m/s)	Γωνιακή Ταχύτητα (rad/s)
0	1.40	96.32	11.73	4.21
2	1.32	96.32	11.73	4.13
3	1.20	96.32	11.73	5.25
5	1.08	96.32	11.73	4.05

**Πίνακας 4.95: Μέγιστες τιμές μεγεθών ύψους αναπήδησης, κινητικής ενέργειας, μεταθετικής και γωνιακής ταχύτητας εντός του αναβαθμού συναρτήσει της τυπικής απόκλισης της τραχύτητας**

Τυπική Απόκλιση Τραχύτητας (deg)	Ύψος Αναπήδησης (m)	Κινητική Ενέργεια (kJ)	Μεταθετική Ταχύτητα (m/s)	Γωνιακή Ταχύτητα (rad/s)
0	0.24	11.25	5.67	0
2	0.21	11.25	5.67	0
3	0.25	11.25	5.67	0
5	0.28	11.25	5.67	0



Σχήμα 4.119: Συσχέτιση μέγιστου ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου εντός της τάφρου και τυπικής απόκλισης τραχύτητας



Σχήμα 4.120: Συσχέτιση μέγιστου ύψους αναπήδησης τεμαχών βράχου εντός του αναβαθμού και τυπικής απόκλισης τραχύτητας

## Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

Οι δείκτες συσχέτισης  $R^2$  των παραπάνω σχημάτων, σε συνδυασμό με την εκάστοτε μορφή της καμπύλης, αποδεικνύουν όσα αναφέρθηκαν προωτέρω. Ο δείκτης συσχέτισης λαμβάνει πολύ υψηλή τιμή για την εξέταση στην τάφρο, ενώ υψηλή είναι και η τιμή του για τον αναβαθμό. Παρόλα αυτά, παρατηρείται πως ενώ τα δύο διαγράμματα συσχετίζουν τα ίδια μεγέθη, η μορφή της καμπύλης τους είναι διαφορετική. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως εντός της τάφρου με την αύξηση της τυπικής απόκλισης της τραχύτητας, μειώθηκε το ύψος αναπήδησης των βραχοτεμαχών, ενώ εντός του αναβαθμού, στις δύο από τις τρεις περιπτώσεις, η αύξηση της τυπικής απόκλισης της τραχύτητας οδήγησε σε αύξηση του ύψους αναπήδησής τους.

Άλλωστε το δείγμα είναι πολύ μικρό, αφού αποτελείται από μόνο τέσσερις διαφορετικές τιμές, και επομένως δεν μπορεί να θεωρηθεί στατιστικά αξιόπιστο. Τέλος αναφέρεται πως χρησιμοποιήθηκε γραμμική τάσης πολυωνυμικής μορφής, καθώς εμφάνιζε τον υψηλότερο δείκτη συσχέτισης σε κάθε διάγραμμα, ενώ παράλληλα ήταν ικανή να αποτυπώσει τη διαφοροποίηση στη διαγραμματική μορφή του εκάστοτε σχήματος.

### **4.4.2 Επίδραση του υλικού της τάφρου και του αναβαθμού**

Το στάδιο αυτό της ανάλυσης ευαισθησίας αφορά την εξέταση της επίδρασης του υλικού, από το οποίο αποτελείται η τάφρος και ο αναβαθμός, στο ύψος αναπήδησης, την κινητική ενέργεια, τη μεταθετική και γωνιακή ταχύτητα. Η εξέταση γίνεται για χρησιμοποίηση των εξής υλικών:

- μαλακό έδαφος σε συνύπαρξη με βλάστηση
- μαλακό έδαφος
- εκτοξευόμενο σκυρόδεμα
- ασβεστόλιθος (υπάρχουσα κατάσταση)

Από τους πίνακες που παρατίθενται στη συνέχεια (πίνακες 4.98 και 4.99), παρατηρήθηκε πως και σε αυτή την περίπτωση, η διαφοροποίηση του υλικού της τάφρου ή του αναβαθμού, επιδρά στη μεταβολή μόνο του ύψους αναπήδησης. Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε υλικό, αντλήθηκαν από τον σχετικό πίνακα της Rocscience και παρουσιάζονται μέσω των επόμενων δύο πινάκων (πίνακες 4.96 και 4.97). Τέλος αναφορικά με τη γωνιακή ταχύτητα, υπενθυμίζεται πως όταν οι τιμές που λαμβάνει εντός της τάφρου είναι αίφνης μη μηδενικές -κατόπιν σύγκρουσης με το πλευρικό τμήμα αυτής-, τότε δεν υπάρχει κάποια επίδραση του υλικού της βάσης της τάφρου, αλλά εξαρτάται από το υλικό και τη γεωμετρία του πλευρικού της τμήματος.

**Πίνακας 4.96: Χαρακτηριστικές τιμές συντελεστών κανονικής αποκατάστασης και τυπικές τους αποκλίσεις (Rocscience Coefficient of Restitution Table)**

Υλικό Τάφρου ή Αναβαθμού	Συντελεστής Κανονικής Αποκατάστασης ( $R_n$ )	Τυπική Απόκλιση
Έδαφος & βλάστηση	0.3	0
Έδαφος	0.393	0
Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα	0.453	0
Ασβεστόλιθος	0.315	0.064

**Πίνακας 4.97: Χαρακτηριστικές τιμές συντελεστών εφαπτομενικής αποκατάστασης και τυπικές τους αποκλίσεις (Rocscience Coefficient of Restitution Table)**

Υλικό Τάφρου ή Αναβαθμού	Συντελεστής Εφαπτομενικής Αποκατάστασης ( $R_t$ )	Τυπική Απόκλιση
Έδαφος & βλάστηση	0.8	0
Έδαφος	0.567	0
Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα	0.737	0
Ασβεστόλιθος	0.712	0.116

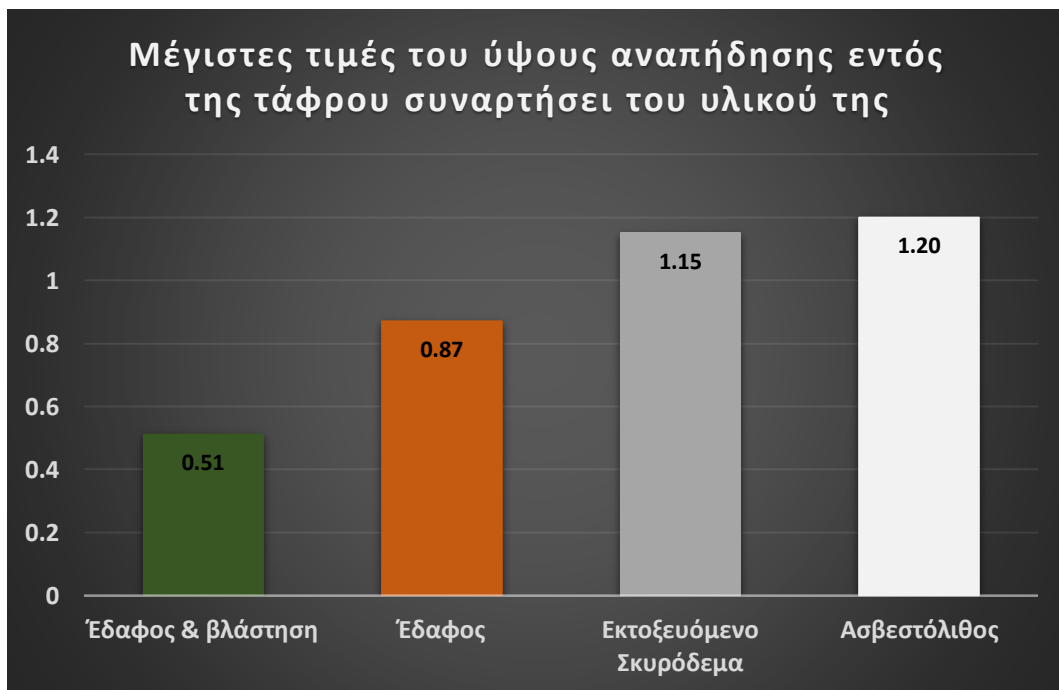


#### Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση Δεδομένων και Αποτελέσματα

Μέσω της ανάλυσης παρατηρήθηκε πως το χαμηλότερο ύψος αναπήδησης καταγράφεται για τάφρο ή αναβαθμό, των οποίων η βάση αποτελείται από μαλακό έδαφος σε συνύπαρξη με βλάστηση. Το αμέσως μεγαλύτερο σημειώνεται για βάση τάφρου ή αναβαθμού από μαλακό έδαφος. Οι μεγαλύτερες τιμές για το ύψος αναπήδησης προκύπτουν κατόπιν επαφής του βραχοτεμάχους με βάση δομούμενη από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ή ασβεστόλιθο (υπάρχον υλικό). Συγκεκριμένα, η μέγιστη τιμή του ύψους αναπήδησης προκύπτει όταν το υλικό της βάσεως της τάφρου ή του αναβαθμού είναι ασβεστολιθικό, ενώ η αμέσως επόμενη μεγαλύτερη τιμή καταγράφεται για βάση από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

**Πίνακας 4.98: Μέγιστες τιμές μεγεθών ύψους αναπήδησης, κινητικής ενέργειας, μεταθετικής και γωνιακής ταχύτητας εντός της τάφρου συναρτήσει του υλικού της**

Υλικό Τάφρου	Ύψος Αναπήδησης (m)	Κινητική Ενέργεια (kJ)	Μεταθετική Ταχύτητα (m/s)	Γωνιακή Ταχύτητα (rad/s)
Έδαφος & βλάστηση	0.51	96.32	11.73	1.45
Έδαφος	0.87	96.32	11.73	2.02
Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα	1.15	96.32	11.73	4.20
Ασβεστόλιθος	1.20	96.32	11.73	5.25



**Σχήμα 4.121: Μέγιστες τιμές του ύψους αναπήδησης εντός της τάφρου συναρτήσει του υλικού της**

**Πίνακας 4.99: Μέγιστες τιμές μεγεθών ύψους αναπήδησης, κινητικής ενέργειας, μεταθετικής και γωνιακής ταχύτητας εντός του αναβαθμού συναρτήσει του υλικού του**

Υλικό Αναβαθμού	Ύψος Αναπήδησης (m)	Κινητική Ενέργεια (kJ)	Μεταθετική Ταχύτητα (m/s)	Γωνιακή Ταχύτητα (rad/s)
Έδαφος & βλάστηση	0.09	11.25	5.67	0
Έδαφος	0.15	11.25	5.67	0
Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα	0.20	11.25	5.67	0
Ασβεστόλιθος	0.25	11.25	5.67	0



*Σχήμα 4.122: Μέγιστες τιμές του ύψους αναπήδησης εντός του αναβαθμού συναρτήσει του υλικού του*

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στο τελευταίο κεφάλαιο της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας, παρατίθενται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν κατά την εκπόνησή της, αλλά και περιλαμβάνονται συγκεκριμένες προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση, οι οποίες πηγάζουν από τα αποτελέσματα των συγκεκριμένων αναλύσεων.

### 5.1 Συμπεράσματα

Από τις αναλύσεις της συγκεκριμένης μελέτης, προέκυψαν κάποια ενδιαφέροντα συμπεράσματα, τα οποία δύνανται να αποτελέσουν σημείο αναφοράς και βοήθημα σε παρόμοιες έρευνες.

- Η διαμόρφωση τους πρανούς με ηπιότερη κλίση επιδρά άμεσα στη μείωση της μεταθετικής ταχύτητας των ολισθαινόντων βραχοτεμαχών και του ύψους αναπήδησής τους. Επιπλέον επιδρά έμμεσα στη μείωση και της κινητικής ενέργειας, ως αποτέλεσμα της μείωσης της ταχύτητας.
- Αντίστοιχα η διαμόρφωση με πιο απότομη κλίση επιφέρει τα αντίθετα αποτελέσματα, δηλαδή μεγαλύτερο ύψος αναπήδησης των βραχοτεμαχών και μεγαλύτερη μεταθετική ταχύτητά τους. Ως εκ τούτου, έμμεσα οδηγεί σε αύξηση και της κινητικής ενέργειάς τους.
- Το ύψος του πρανούς αποτελεί σημαντικό παράγοντα επίδρασης στα εξεταζόμενα μεγέθη. Μεγαλύτερο ύψος, συγκριτικά με ίδιας κλίσης πρανή, συνεπάγεται και μεγαλύτερο μήκος κίνησης των βραχοτεμαχών, τα οποία αποκολλιούνται από τη στέψη. Επομένως η ταχύτητα στο μεταίχμιο του πρανούς και του αναβαθμού ή της τάφρου, θα λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές, με ό,τι αυτό συνεπάγεται για την επίδραση στο ύψος αναπήδησης και την κινητική ενέργεια.
- Η μεταθετική ταχύτητα επιδρά άμεσα στο ύψος αναπήδησης και την κινητική ενέργεια των βραχοτεμαχών. Αύξηση της πρώτης συνεπάγεται αύξηση των δευτέρων, αλλά και αντίθετα (μείωση της πρώτης συνεπάγεται μείωση των δευτέρων).
- Η αύξηση της μάζας του καταπεσόντος βραχοτεμαχούς, εκτός από την αύξηση της κινητικής του ενέργειας -με την οποία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη μέσω της σχέσεως της φυσικής-, φάνηκε να οδηγεί και σε μείωση της γωνιακής του ταχύτητας.
- Αντίστοιχα η μείωσή της, επιφέρει μείωση της κινητικής ενέργειας, αλλά αύξηση της γωνιακής ταχύτητας των τεμαχών βράχου.
- Η γωνιακή ταχύτητα εντός των τάφρων, στο πλήθος των περιπτώσεων, έλαβε -αίφνης- μη μηδενικές τιμές για μικρά διαστήματα. Οι τιμές της αυτές οφείλονταν στη σύγκρουση των βραχοτεμαχών με το πλευρικό τμήμα της τάφρου, το οποίο αποτελεί και πλευρικό τμήμα της βάσεως της οδού.
- Το σχέδιο των ΟΜΟΕ-Δ, σχετικά με τις διαστάσεις των απαιτούμενων τάφρων αναχαίτισης καταπτώσεων, αποδείχθηκε υπερεπαρκές για τις εξεταζόμενες διατομές. Συγκεκριμένα, όπως παρατηρήθηκε, σε καμία περίπτωση η ασφάλεια του οδικού δικτύου δεν απειλήθηκε από την είσοδο τεμαχών βράχου.
- Η ίδια διαπίστωση πραγματοποιήθηκε σχετικά με την επιτρεπόμενη γεωμετρία των αναβαθμών, όπως αυτή ορίζεται από τον Κ.Μ.Ε. Σε όλες τις εξεταζόμενες περιπτώσεις, οι αναβαθμοί ανταποκρίθηκαν απολύτως ικανοποιητικά στην παγίδευση και στην παύση της κίνησης των -προερχόμενων από το ανάντη τους πρανές- βραχοτεμαχών.

## Κεφάλαιο 5 - Συμπεράσματα και Προτάσεις

- Το δεύτερο σενάριο, σχετικά με τη διαμόρφωση του πρανούς ανάντη της παράπλευρης οδού της διατομής 973, είναι ένα αρκετά συντηρητικό σενάριο, το οποίο σπανίως προβλέπεται σε ασβεστολιθικό περιβάλλον. Εντούτοις, η δομή του ασβεστόλιθου σε συνδυασμό με την επικινδυνότητα αναφορικά με την οδική ασφάλεια και την αναζήτηση μίας συντηρητικότερης διαμόρφωσης για εκπαιδευτικούς σκοπούς, οδήγησαν στη συγκεκριμένη πρόταση.
- Από τα δύο σενάρια που δημιουργήθηκαν για κάθε διατομή αναφορικά με τη διαμόρφωσή της, η συγκεκριμένη έρευνα προτείνει την εφαρμογή του πρώτου (λιγότερο συντηρητικό). Ωστόσο για να είναι πλήρως ασφαλής αυτή η επιλογή, απαραίτητη κρίνεται η επί τόπου αυτοψία των πρανών.
- Αναφορικά με τις ημιβραχώδεις στρώσεις μικρού πάχους, οι οποίες συναντιούνται στις διατομές 1007 και 1051, η έρευνα προτείνει την αφαίρεσή τους. Διαφορετικά θα μπορούσαν να διαμορφωθούν με κλίση 1:1.5 (υ:β), όπως ορίζεται στον Κ.Μ.Ε.
- Πέραν των διαμορφώσεων, θα ήταν δυνατός ο περιορισμός των σφηνοειδών και επίπεδων ολισθήσεων, αλλά και των καταπτώσεων τεμαχών του κερματισμένου μετώπου, είτε με τη χρήση αγκυρίων βράχου, είτε και με τη χρήση πλέγματος συγκράτησης καταπτώσεων σε ορισμένες περιπτώσεις.
- Επιπλέον παρατηρήθηκε πως η ηπιότερη διαμόρφωση οδήγησε σε μείωση των συντελεστών ασφαλείας και της μάζας των δυνητικά αποκολλημένων τεμαχών.
- Από τις αναλύσεις ευαισθησίας προέκυψε πως η τυπική απόκλιση της τραχύτητας του μετώπου του πρανούς, του αναβαθμού και της τάφρου, δεν αποτελούν σημαντική παράμετρο μεταβολής των μεγεθών «κινητική ενέργεια» και «μεταθετική ταχύτητα».
- Αντιθέτως μεταβολή παρατηρείται στο ύψος αναπήδησης των τεμαχών βράχου, χωρίς ωστόσο να εντοπίζεται κάποια μαθηματική ακολουθία. Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε μια περισσότερο τυχαία κατανομή των αποτελεσμάτων, η οποία βασίστηκε στις ασυνήθιστες τροχιές που ακολουθούν τα βραχοτεμάχια σε αυτές τις περιπτώσεις.
- Περισσότερο καθοριστικός παράγοντας, όπως προέκυψε από τις αναλύσεις ευαισθησίας, είναι το υλικό από το οποίο αποτελείται η βάση της τάφρου και του αναβαθμού. Η επίδραση του υλικού επιφέρει μεταβολή μόνο στο ύψος αναπήδησης των βραχοτεμαχών, ενώ η κινητική τους ενέργεια και η μεταθετική τους ταχύτητα δεν μεταβάλλονται. Συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε πως το ύψος αναπήδησής τους μεταβάλλεται κατά αύξουσα σειρά για βάση -της τάφρου ή του αναβαθμού- από έδαφος και βλάστηση, έδαφος, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και ασβεστόλιθο (υπάρχον υλικό).

### **5.2 Προτάσεις για Περαιτέρω Διερεύνηση**

Στο υποκεφάλαιο αυτό προτείνονται συγκεκριμένα θέματα, τα οποία χρήζουν διερεύνησης και θα μπορούσαν να παρουσιάσουν ενδιαφέροντα αποτελέσματα συναρτήσεων και των εξαγόμενων αυτής της διπλωματικής εργασίας.

- Να λάβει χώρα η προσομοίωση πτώσης βραχοτεμαχών, αφού πρώτα καθοριστεί από την έρευνα πεδίου το εύρος της αστοχίας στο μέτωπο του εκάστοτε πρανούς ορύγματος και γενικότερα το εύρος των υγιών ζωνών του πετρώματος.
- Να ληφθούν μέτρα υποστήριξης (λόγου χάριν αγκύρια βράχου, μεταλλικά πλέγματα, γεωκυψέλες κ.λπ.) που δυνητικά θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν τη διαμόρφωση των πρανών ή τουλάχιστον τμήμα αυτής.

## Κεφάλαιο 5 - Συμπεράσματα και Προτάσεις

- Να διερευνηθεί ο τρόπος επίδρασης του πλευρικού τμήματος της τάφρου (υλικό δόμησης, γεωμετρία κ.α.) στις τιμές της γωνιακής ταχύτητας των βραχοτεμαχών κατόπιν της μεταξύ τους σύγκρουσης.
- Να εξεταστεί η δυνατότητα θεωρητικής αντικατάστασης των τάφρων αναχαίτισης καταπτώσεων με τοίχους αναχαίτισης ή φράχτες ανάσχεσης καταπτώσεων ή και με συνδυασμό των παραπάνω μέτρων.
- Να πραγματοποιηθεί αναδιαμόρφωση και εδαφικών πρανών.
- Να διαστασιολογηθούν οι τάφροι αναχαίτισης καταπτώσεων, βάσει των μοντέλων της διεθνούς βιβλιογραφίας, και στη συνέχεια να πραγματοποιηθούν νέες προσομοιώσεις βραχοκαταπτώσεων για τη σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ/ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΕΛΛΗΝΙΚΗ

1. Αβρανά Β.Σ., 2006. *Μελέτη Δυναμικής Αλληλεπίδρασης Τοίχων Αντιστήριξης - Εδάφους - Κατασκευής*. Μεταπτυχιακή Εργασία. Πολυτεχνείο Κρήτης. Τμήμα Επιστημών.
2. Ανδρακάκος Α. και Ζαχαράκης Ζ., 2020. *ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΠΟΤΡΟΠΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΟ ΛΑΤΟΜΕΙΟ «ΕΡΓΑΝΗ» (ΛΑΤΟΜΕΙΟ ΘΕΑΤΡΟΥ ΒΡΑΧΩΝ) ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΒΥΡΩΝΑ*. Διπλωματική Εργασία. Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
3. Αποστολέρης Α., 2015. *ΟΔΟΠΟΪΑ Ι - ΧΑΡΑΞΕΙΣ & ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΩΜΑΤΙΣΜΩΝ ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΙ ΠΡΑΚΤΙΚΗ*.
4. Αστερίου Π. και Ευθυμίου Β., 2011. *Διερεύνηση χαρακτηριστικών τροχιάς καταπτώσεων σε βραχώδη πρανή. Επίδραση κινηματικών παραμέτρων*.
5. Βασιλοπούλου Ι.Ε., 2015. *Διερεύνηση της επίδρασης των χαρακτηριστικών πρόσκρουσης στις καταπτώσεις βράχων*. Διπλωματική Εργασία. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
6. Βούδρης Α.Κ. και Κωστόγιαννης Η.Γ., 2013. *Τριδιάστατη ανάλυση βραχοπτώσεων Εφαρμογές στο πεδίο και στο εργαστήριο*. Διπλωματική Εργασία. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
7. Γεωργαράς Ν. και Χρυσοχοΐδης Χ., 2014. *ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΓΚΑΤΑΛΕΙΜΜΕΝΟΥ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ "ΒΛΑΧΟΥ" ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΝΩ ΓΛΥΦΑΔΑΣ*. Διπλωματική Εργασία. Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
8. Γιαννοπούλου Χ.Ν., 2015. *ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΟΙΧΟΥ ΠΡΟΒΟΛΟΥ*. Πτυχιακή Εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας.
9. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών και Μελετών (ΙΓΜΕ).
10. Κ.Μ.Ε., 2014. *Κανονισμός Μελετών Ερευνών*. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ, ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΥΠΟ.ΜΕ.ΔΙ., ΓΕΝ. ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ, Ειδική Υπηρεσία Δημοσίων Έργων Μελετών - Κατασκευών Έργων Παραχώρησης Πελοποννήσου (ΕΥΔΕ / Μ-Κ ΕΠΠ). Έργο: Ολοκλήρωση του Αυτοκινητοδρόμου Πάτρα – Πύργος από τον Κόμβο Μιντιλογλίου (πέρας της Ευρείας Παράκαμψης Πάτρας) έως και τον Κόμβο Εισόδου Πύργου.
11. Κούκης Γ. και Σαμπατακάκης Ν., 2007. *Γεωλογία Τεχνικών Έργων*. Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
12. Λαϊνάς Σ., 2018. *ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ ΣΤΟΥΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΗΣ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ*. Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Πατρών. Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Γεωλογίας.
13. Λουπασάκης Κ., 2014. *Κατολισθητικά Φαινόμενα και Υπόγεια Έργα*. Τεχνική Γεωλογία Υπογείων Έργων. ΔΠΜΣ Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

## Αναφορές/Βιβλιογραφία

14. Μίντσης Γ. *Οδοποιία II, Ενότητα 2 : Διατομές της οδού – σύμφωνα με το τεύχος Διατομές των ΟΜΟΕ (ΟΜΟΕ – Δ)*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
15. Νταλάκου Κ., 2014. *Διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας μέσω της διενέργειας παραμετρικών αναλύσεων σε επιχώματα του Αυτοκινητοδρόμου ΙΟΝΙΑ ΟΔΟΣ*. Διπλωματική Εργασία. Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
16. ΟΜΟΕ-Δ, 2001. *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων, Τεύχος 2: Διατομές (ΟΜΟΕ-Δ)*. Στο «Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων. ΝΑΜΑ ΑΕ.».
17. Παπαλέξης Α. και Τσακανίκας Α., 2019. *ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΕΙΣ*. Διπλωματική Εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
18. Παπαμαρινόπουλος Α. και Βακίρης Δ., 2014. *ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΟΣ S3-304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ ΑΠΟ Χ.Θ. 161+590 ΕΩΣ Χ.Θ. 166+900 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ*. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ. ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ ΓΓΔΕ / ΕΥΔΕ / ΕΠΑ & ΙΟ.
19. Παπαμαρινόπουλος Α. και Βακίρης Δ., 2014. *ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΟΣ S3-304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ ΑΠΟ Χ.Θ. 161+590 ΕΩΣ Χ.Θ. 166+900 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ (1/3, 2/3 & 3/3)*. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ. ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ ΓΓΔΕ / ΕΥΔΕ / ΕΠΑ & ΙΟ.
20. Παπαμαρινόπουλος Α. και Βακίρης Δ., 2014. *ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΟΣ S3-304C ΙΟΝΙΑΣ ΟΔΟΥ ΑΠΟ Χ.Θ. 161+590 ΕΩΣ Χ.Θ. 166+900 ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ*. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ. ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ ΓΓΔΕ / ΕΥΔΕ / ΕΠΑ & ΙΟ.
21. Πετσίνης Χ., 2016. *ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΕΛΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ*. Πτυχιακή Εργασία. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας. Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε.
22. ΠΡΟΤΥΠΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΑΙ (ΠΤΠ) ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΠΟΙΑΣ, 1966. ΥΔΕ, Γενική Διεύθυνσις Δημοσίων Έργων.
23. Σοφιανός Α., 2018. *ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ ΑΠΟ: Υποστήριξη Υπογείων Έργων*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
24. Ταβουλάρης Ν., 2017. *ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΑΣΤΟΧΙΩΝ ΠΡΑΝΩΝ*. Διδακτορική Διατριβή. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
25. Χατζηγηγορίου Γ. και Κουντούρας Δ., 2019. *ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΚΑΙ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ*. Διπλωματική Εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

## ΔΙΕΘΝΗΣ

1. AASHTO, 2018. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Washington, DC.
2. Andrecs P., Hagen K., Lang E., Stary U., Gartner K., Herzberger E., Riedel F. and Haiden T., 2007. *Dokumentation und Analyse der Schadensereignisse 2005 in den Gemeinden Gasen und Haslau (Steiermark)*. BFW-Dokumentation; Schriftenreihe des Bundesforschungs- und Ausbildungszentrums für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Wien, Nr. 6, p 75.

### Αναφορές/Βιβλιογραφία

3. Andrew R.D., 1994. *The Colorado Rockfall Hazard Rating System*. Colorado Dept. of Transportation, report # CTI-CDOT-2-94.
4. Broms B.B. Stability of Natural Slopes and Embankment Foundations (Gota River Valley). *7<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Singapore*, 1969.
5. Budetta P., 2004. *Assessment of rockfall risk along roads*. Natural Hazards and Earth System Sciences.
6. Budetta P. and Panico M., 2002. Il metodo “*Rockfall Hazard Rating System*” *modificato per la valutazione del rischio da caduta massi*. Geologia Tecnica ed Ambientale.
7. Castaldini D., 1996. *Earthquake-triggered mass movements*. In: M. Panizza (ed.) “*Environmental Geomorphology*”. *Developments in Earth Surface Processes*, Elsevier, 180-187.
8. Catanzariti F., 2016. *Slope stability analysis*. GeoStru.
9. CDOT, 1997. *Rockfall rating field worksheet: Staff Construction and Materials Branch*.
10. Central Federal Lands Highway. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration.
11. Conforti M., Rago V., Muto F. and Critelli S., 2014. *Landslide inventory map of northeastern Calabria (South Italy)*. Journal of Maps.
12. Consiglio Nazionale delle Ricerche - CNR, 1980. *Norme tecniche per lecostruzioni stradali*.
13. ETAG 027, 2008. *Guideline for European Technical Approval of Falling Rock Protection Kits*.
14. EUR-OPA Magor Hazards Agreement. BeSafeNet.
15. European Organisation for Technical Approvals.
16. Hagen K., Huber A., Fischer J.T. and Benedetti L., 2015. *DATABASE OF HYDROLOGICALLY-DRIVEN SLOPE FAILURES*. WORK PACKAGE 4 - Model tests, case studies and best practice. Austrian Research Centre for Forests (BFW).
17. Hellenic Ministry of Environment, Physical Planning and Public Works.
18. Highland L.M. and Bobrowsky P., 2008. *The Landslide Handbook - A Guide to Understanding Landslides*. U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey.
19. Koukis G., Sabatakakis N., Lainas S., Bouckovalas G. and Rondoyanni Th. Engineering geological conditions and site response in earthquake affected areas. The case of Achaia-Illia region, western Greece. In: Williams et al. *Geologically Active. 11th International Congress of IAEG, Auckland, NZ*, 2010.
20. Lainas S., Koulouris S., Vagenas N., Depountis N., Sabatakakis N. and Koukis G. Earthquake-induced rockfalls in Santomeri village, Western Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece vol. XLIII. 12th International Congress, Patras*, 2010.
21. Maccaferri website.
22. Maerz N.H., Youssef A. and Fennessey T.W., 2005. *New risk- consequence rockfall hazard rating system for Missouri highways using digital image analysis*. Environmental and Engineering Geoscience.
23. National Highway Institute, 1993: *Rockfall Hazard Rating System participant’s manual*. NHI Course No. 130220, U.S. Dept. of Transportation, Federal Highway Administration, Publication No.FHWA SA-93-057.
24. Nepop R. and Agatova A., 2016. *Quantitative Estimations of the Holocene Erosion due to Seismically Induced Landslides in the SE Altai (Russia) Applying Detailed Profiling and Statistical Approaches*. International Journal of Geo hazards and Environment.



## Αναφορές/Βιβλιογραφία

25. Nouvelle Route Du Littoral website.
26. Novotný J., 2013. *VARNES LANDSLIDE CLASSIFICATION* (1978). Addis Ababa University, Ethiopia & Charles University in Prague, Faculty of Science, Czech Republic.
27. Peila D. and Ronco C., 2009. *Technical Note: Design of rockfall net fences and the new ETAG 027 European guideline*. Natural Hazards and Earth System Sciences.
28. Pierson L.A. and Van Vickle R., 1993. *Rockfall Hazard Rating System Participant's Manual*: Federal Highway Administration Publication SA-93-057, 104 p.
29. Pierson L.A., Davis S.A. and Van Vickle R., 1990. *Rockfall Hazard Rating System - Implementation Manual*. Federal Highway Administration (FHWA) Report FHWA-OR—EG-90-01. FHWA, U.S. Department of Transportation.
30. Ritchie A.M., 1963. *The evaluation of rockfall and its control*. Highway Record.
31. Rocscience Coefficient of Restitution Table. Attached to RocFall 4.0 material editor.
32. Romana M. New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. *International Symposium on "The role of rock mechanics", Zacatecas, 1985*.
33. Russell C.P., Dr. Santi P. and Dr. Higgins J.D., 2008. *MODIFICATION AND STATISTICAL ANALYSIS OF THE COLORADO ROCKFALL HAZARD RATING SYSTEM*.
34. Sabatakakis N., Koukis G., Vassiliades E. and Lainas S., 2013. *Landslide susceptibility zonation in Greece*. Natural Hazards.
35. Universities Space Research Association (USRA) website.
36. USGS, 2004. *Landslide Types and Processes*. Fact Sheet 2004-3072, US. Geological Survey, U.S. Department of the Interior.
37. Vandewater C.J., Dunne W.M., Drumm E.C., Mauldon M. and Bateman V., 2005. *Classifying and Assessing the Geologic Contribution to Rockfall Hazard*. The Geology Society of America.
38. Varnes D.J., 1978. *Slope Movement Types and Processes*. Transportation Board, National Academy of Sciences, Special Report 176: 11-33.
39. Varnes D.J. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice, Natural Hazards, *Commission on Landslides of the IAEG, UNESCO, Paris, France, 63 p.*, 1984.
40. Wang W., Chen H., Xu A. and Qu M., 2018. *Analysis of the disaster characteristics and emergency response of the Jiuzhaigou earthquake*. Natural Hazards and Earth System Science (NHES).
41. Whiteside P. G. D. Discussion on rockfall protection measures, *Conference on Rock Engineering and Excavation in an Urban Environment*, 1986.
42. Wikipedia website.
43. Zhang K., Wang S., Bao H., and Zhao X., 2019. *Characteristics and influencing factors of rainfall-induced landslide and debris flow hazards in Shaanxi Province, China*.

## ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΝΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ

1. AutoCAD 2019, Autodesk.
2. Dips 5.1, Rocscience.
3. RocFall 4.0, Rocscience.
4. RocPlane 2.0, Rocscience.
5. Swedge 4.0, Rocscience.

Φωτογραφία Εξωφύλλου: PRODYOGI