



## ΥΠΟΕΡΓΟ 1 «ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ, ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ – ΕΝΗΜΕΡΩΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ»

<b>Πακέτο Εργασίας</b>	<b>Π.Ε.1.4 – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΧΕΡΣΟΥ</b>		
<b>Συντάκτης Φορέας</b>	Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών		
<b>Κωδικός Παραδοτέου</b>	Π.1.6.2 – Έκθεση Ταξινόμησης Βραχομάζας και Γεωλογικών Σχηματισμών		
<b>Αριθμός Έκδοσης</b>	1	<b>Διαθεσιμότητα</b>	Ολοκληρωμένο
<b>Μήνας Έναρξης</b>	Μ3	<b>Μήνα Λήξης</b>	Μ19
<b>Τύπος</b>	Έκθεση		
<b>Ομάδα Σύνταξης</b>	ΔΡ. ΛΕΚΚΑΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ, ΔΡ. ΛΟΖΙΟΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ, ΔΡ. ΑΝΤΩΝΙΟΥ ΒΑΡΒΑΡΑ, ΔΡ. ΚΡΑΝΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ, ΔΡ. ΣΚΟΥΡΤΣΟΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, MSc ΔΕΛΗΓΙΑΝΝΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΔΡ. ΔΙΑΚΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ, MSc ΜΑΥΡΟΥΛΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ, MSc ΚΩΤΣΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ, MSc ΦΙΛΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ, ΔΡ. ΚΑΡΑΛΕΜΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ		

Η σελίδα έχει μείνει σκόπιμα κενή



**ΛΑΕΡΤΗΣ**

Καινοτόμο επιχειρησιακό σύστημα  
διαχείρισης φυσικών κινδύνων  
στην Περιφέρεια Ιονίων Νήσων



**ΥΠΟΕΡΓΟ 1 «ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ,  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ – ΕΝΗΜΕΡΩΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗΣΗ  
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ»**

<b>Πακέτο Εργασίας</b>	<b>Π.Ε.1.4 – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΧΕΡΣΟΥ</b>		
<b>Συντάκτης Φορέας</b>	Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών		
<b>Κωδικός Παραδοτέου</b>	Π.1.6.2 – Έκθεση Ταξινόμησης Βραχομάζας και Γεωλογικών Σχηματισμών		
<b>Αριθμός Έκδοσης</b>	1	<b>Διαθεσιμότητα</b>	Ολοκληρωμένο
<b>Μήνας Έναρξης</b>	M3	<b>Μήνα Λήξης</b>	M19
<b>Τύπος</b>	Έκθεση		
<b>Ομάδα Σύνταξης</b>	ΔΡ. ΛΕΚΚΑΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ, ΔΡ. ΛΟΖΙΟΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ, ΔΡ. ΑΝΤΩΝΙΟΥ ΒΑΡΒΑΡΑ, ΔΡ. ΚΡΑΝΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ, ΔΡ. ΣΚΟΥΡΤΣΟΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, MSc ΔΕΛΗΓΙΑΝΝΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΔΡ. ΔΙΑΚΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ, MSc ΜΑΥΡΟΥΛΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ, MSc ΚΩΤΣΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ, MSc ΦΙΛΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ, ΔΡ. ΚΑΡΑΛΕΜΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ		

Η σελίδα έχει μείνει σκόπιμα κενή

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	3
2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ – ΒΡΑΧΟΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ.....	3
2.1. Βραχοτεκτονική Ενότητα f,c-I (Μικτές φάσεις χαλαρών τεταρτογενών αποθέσεων) .....	8
2.2. Βραχοτεκτονική Ενότητα c-cm (Συνεκτικές αδρομερείς τεταρτογενείς αποθέσεις) .....	9
2.3. Βραχοτεκτονική Ενότητα f-c (Μικτές φάσεις νεογενών σχηματισμών).....	9
2.4. Βραχοτεκτονική Ενότητα M (Μολασσικοί σχηματισμοί) .....	10
2.5. Βραχοτεκτονική Ενότητα F (Φλύσχης αδιαίρετος) .....	11
2.6. Βραχοτεκτονική Ενότητα L (Ασβεστόλιθοι) .....	12
2.7. Βραχοτεκτονική Ενότητα L-si (Ασβεστόλιθοι με πυριτιολίθους).....	13
2.8. Βραχοτεκτονική Ενότητα LD (Δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες) .....	14
2.9. Βραχοτεκτονική Ενότητα G (Γύψος και συνοδά ασβεστολιθικά λατυποπαγή) ..	15
3. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΩΝ ΑΣΤΟΧΙΩΝ .....	16
4. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ – ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ – ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ – ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΑ.....	23
4.1. Θέση 1 (profile 1 2).....	23
4.2. Θέση 2 (profile 3).....	27
4.3. Προτεινόμενα μέτρα .....	31
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	46



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το παρόν παραδοτέο εκπονείται στο πλαίσιο του πακέτου εργασίας (Π.Ε.1.4) “**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΧΕΡΣΟΥ**” της πράξης «ΛΑΕΡΤΗΣ» - **Καινοτόμο Επιχειρησιακό Σύστημα Διαχείρισης Φυσικών Κινδύνων στην Περιφέρεια Ιονίων Νήσων** και έχει ως αντικείμενο / εστιάζει στην ταξινόμηση της βραχομάζας με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία εργαστηριακών δοκιμών για τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των γεωλογικών σχηματισμών και του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση των αστοχιών κατά μήκος επικίνδυνων πρηνών στην χέρσο, με έμφαση στο βασικό οδικό δίκτυο και τον ευρύτερο χώρο πέριξ των οικισμών.

Το παραδοτέο **1.6.2 “Έκθεση ταξινόμησης βραχομάζας και γεωλογικών σχηματισμών”** περιλαμβάνει τα παρακάτω αντικείμενα:

**α)** τεχνική έκθεση των αποτελεσμάτων εργαστηριακών δοκιμών για τον προσδιορισμό των φυσικο-μηχανικών ιδιοτήτων των γεωλογικών σχηματισμών (βραχοτεκτονικών ενοτήτων) και την ταξινόμηση της βραχομάζας σε ομάδες με βάση τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά τους.

**β)** τεχνική έκθεση του λογισμικού προσομοίωσης των αναμενόμενων αστοχιών, που περιλαμβάνει τεχνικογεωλογική αξιολόγηση, αποτίμηση των αστοχιών γεωλογικών σχηματισμών κατά μήκος των κρημών/πρηνών συμπεριλαμβανομένων κατολισθήσεων και καταπτώσεων, της εξέλιξης της πορείας (τροχιάς) των βραχωδών τεμαχών [ολίσθησης, ελεύθερης πτώσης, κύλισης, αναπήδησης (κρούσης)] και της τελικής θέσης κατάληξής τους κάτω από στατική φόρτιση και κάτω από σεισμική φόρτιση.

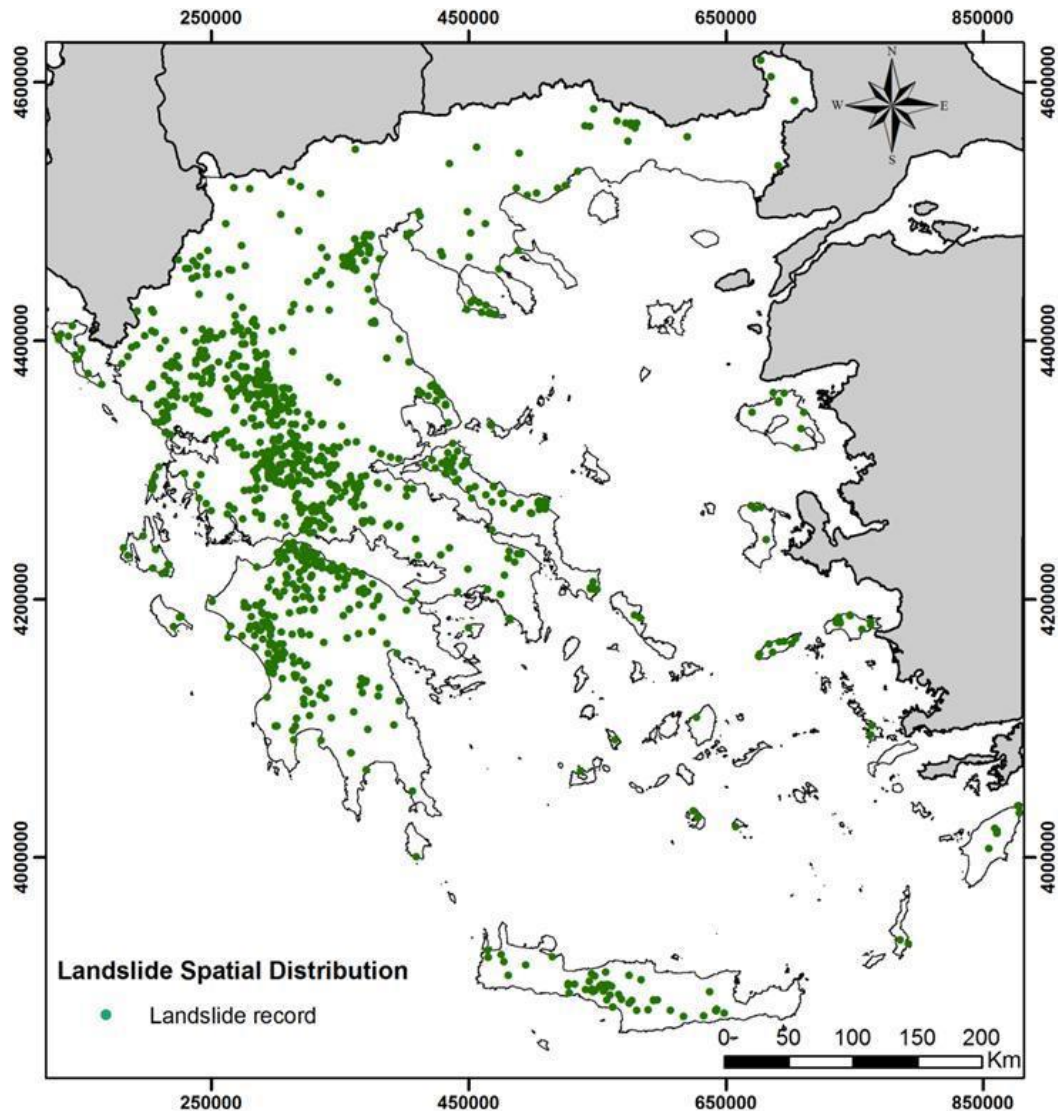
## 2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ – ΒΡΑΧΟΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ

Οι κυριότεροι παράγοντες που συντελούν στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων είναι:

- i. τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά και οι φυσικο-μηχανικές παράμετροι των γεωλογικών σχηματισμών
- ii. η παραμόρφωση των γεωλογικών σχηματισμών με έμφαση στην γεωμετρία, στην πυκνότητα και στο είδος των ασυνεχειών του τέμνου το πέτρωμα (φύλλωση, διαρρήξεις κ.λπ.) και επηρεάζουν τις φυσικο-μηχανικές παραμέτρους της βραχομάζας,
- iii. το ανάγλυφο και οι κλίσεις των φυσικών ή διαμορφούμενων πρηνών,
- iv. ο βαθμός διάβρωσης και αποσάθρωσης των πετρωμάτων,
- v. οι κλιματολογικές συνθήκες με έμφαση στο ποσοστό των βροχοπτώσεων και
- vi. η σεισμική δραστηριότητα.

Στον χάρτη της Εικόνας 1 (Sabatakakis et al., 2013) παρουσιάζεται η κατανομή των σημαντικότερων κατολισθήσεων που έχουν λάβει χώρα στον ελληνικό χώρο μέχρι το 2010

και στον χάρτη της Εικόνας 2 (Ανδρονόπουλος και συν., 1993) οι κατολισθαίνοντες οικισμοί. Οι περισσότερες κατολισθήσεις πλήττουν την Νήσο Κέρκυρα, αλλά και την Λευκάδα και την Κεφαλονιά, σε αντίθεση με την Ζάκυνθο, όπου παρατηρείται σημαντικά μικρότερος αριθμός κατολισθήσεων. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων οι κατολισθήσεις εντοπίζονται σε κατακερματισμένη βραχομάζα με την μορφή των καταπτώσεων βράχων και σε μικρότερο βαθμό αφορούν αργιλικά πετρώματα με περιστροφικού χαρακτήρα ολισθήσεις.



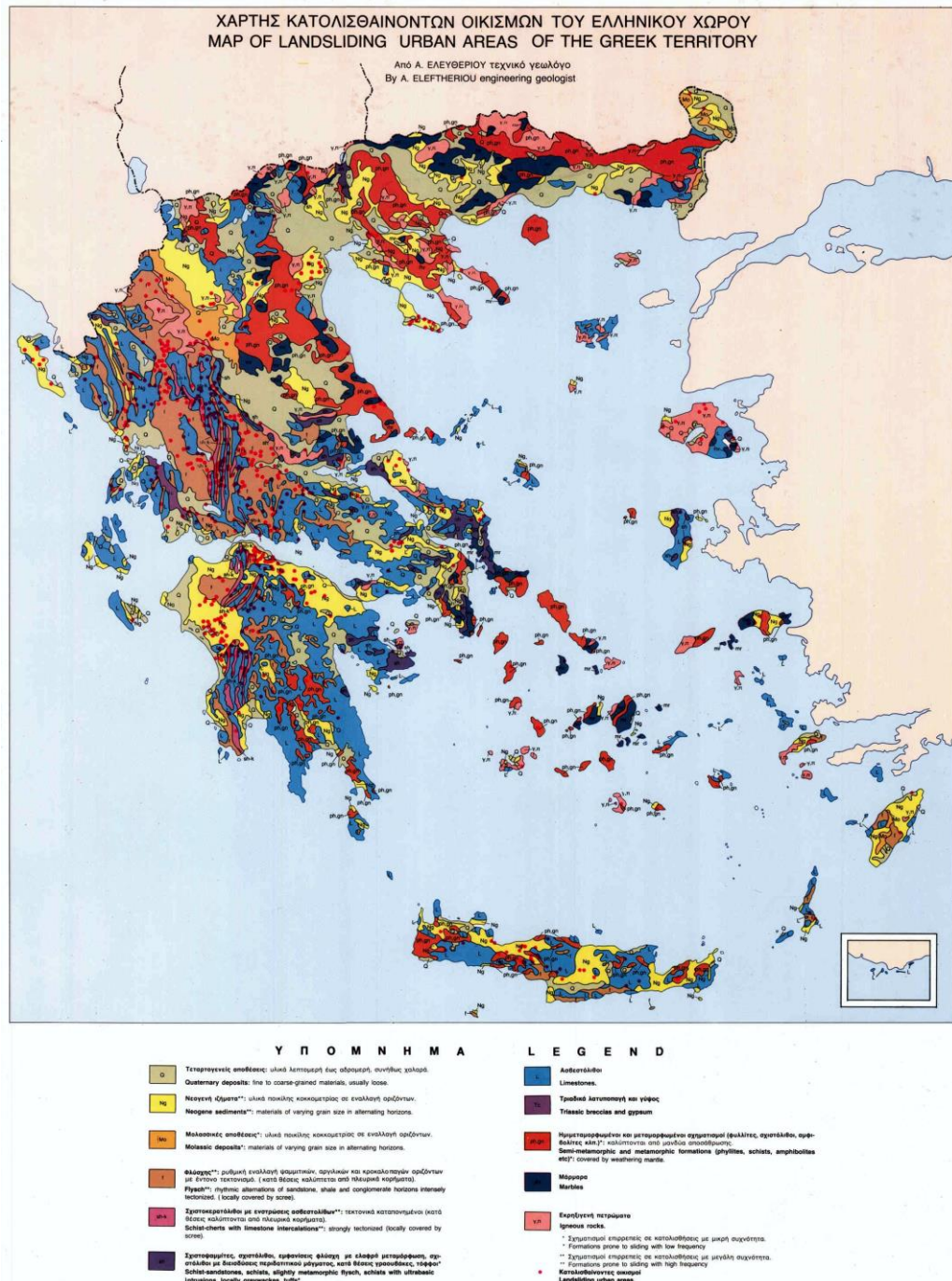
**Εικόνα 1.** Οι θέσεις των σημαντικών κατολισθήσεων που καταγράφηκαν στον ελληνικό χώρο μέχρι το 2010 (από Sabatakakis et al., 2013).

Για τον λόγο αυτό στην παρούσα φάση της έρευνας έγινε ταξινόμηση της βραχομάζας και διάκριση των βραχοτεκτονικών ενοτήτων της περιοχής των Ιονίων Νήσων με βάση τις μηχανικές παραμέτρους που χαρακτηρίζουν την κάθε μία από αυτές. Σαν βασικός οδηγός χρησιμοποιήθηκε η ταξινόμηση του Γεωτεκτονικού Χάρτη της Ελλάδος, κλίμακας 1:500.000

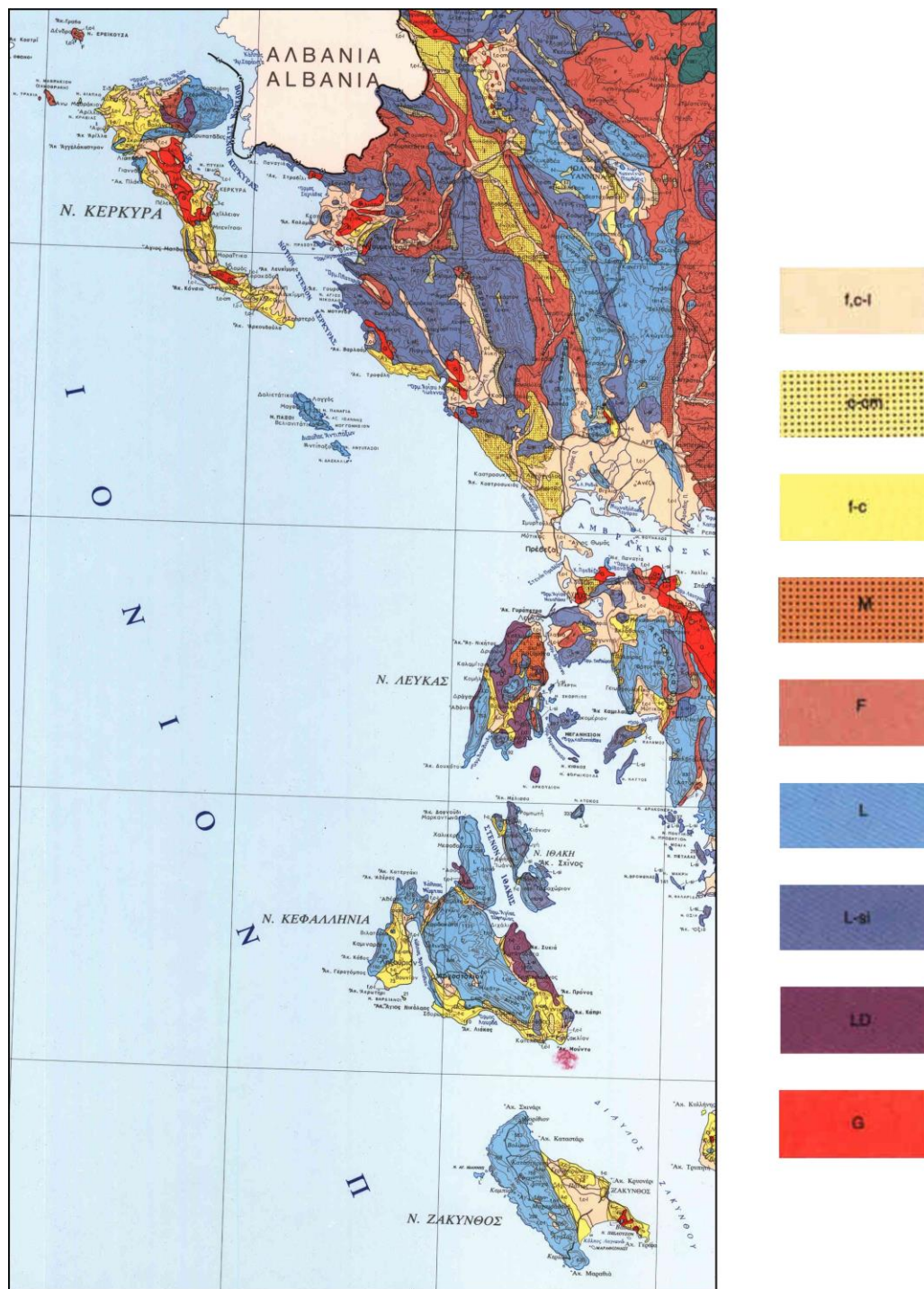


του ΙΓΜΕ (Ανδρονόπουλος και συν., 1993), και σαν στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν οι γεωτεχνικές δοκιμές που έχουν πραγματοποιηθεί διαχρονικά, τόσο από το Εργαστήριο Εδαφομηχανικής – Βραχομηχανικής του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, όσο και διάφορα άλλα εργαστήρια, ινστιτούτα, φορείς και υπηρεσίες.

Στον χάρτη της Εικόνας 3 και στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι βραχοτεκτονικές ενότητες που απαντώνται στην περιοχή των Ιονίων Νήσων και στη συνέχεια ακολουθεί η περιγραφή των γεωτεχνικών τους χαρακτηριστικών και η παράθεση των τιμών των φυσικο-μηχανικών τους παραμέτρων, με βάση όλα τα στοιχεία που συλλέχθηκαν (με βάση αναφοράς τον Γεωτεχνικό Χάρτη του ΙΓΜΕ, κλίμακας 1:500.000).



Εικόνα 2. Χάρτης με τους οικισμούς του ελληνικού χώρου όπου εντοπίζονται κατολισθητικά φαινόμενα (από Ανδρονόπουλος και συν., 2013).



**Εικόνα 3.** Απόσπασμα από τον Γεωτεχνικό Χάρτη της Ελλάδος σε κλίμακα 1:5.000 του ΙΓΜΕ, με την ταξινόμηση της βραχομάζας (βραχοτεκτονικές ενότητες) για την περιοχή των Ιονίων Νήσων (από Ανδρονόπουλος και συν., 2013).



**Πίνακας 1.** Συνοπτική παρουσίαση των βραχοτεκτονικών ενότητων που εμφανίζονται σε κάθε ένα από τα Επτάνησα.

	<b>Βραχοτεκτονικές Ενότητες</b>
ΚΕΡΚΥΡΑ	<b>f,c-l / f-c / F / L / L-si / LD / G</b>
ΠΑΞΟΙ, ΑΝΤΙΠΑΞΟΙ	<b>L</b>
ΛΕΥΚΑΔΑ	<b>f,c-l / f-c / M / F / L / L-si / LD</b>
Μεγανήσι, Κάστος, Άτοκος	<b>L-si</b>
Κάλαμος	<b>f-c / L-si</b>
Αρκούδιον	<b>L-D</b>
ΙΘΑΚΗ	<b>f-c / L / L-si</b>
ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑ	<b>f,c-l / c-cm / f-c / L / L-si / LD</b>
ΖΑΚΥΝΘΟΣ	<b>f,c-l / f-c / L / G</b>

### 2.1. Βραχοτεκτονική Ενότητα f,c-l (Μικτές φάσεις χαλαρών τεταρτογενών αποθέσεων)

Χαλαρές αποθέσεις από τη διάβρωση και αποσάθρωση παλαιότερης ηλικίας σχηματισμών, που συγκεντρώνονται στις πεδινές περιοχές με χαμηλό υψόμετρο, στις κοιλάδες και τις κοίτες ποταμών και χειμάρρων και στις παράκτιες ζώνες εκβολής των υδρορευμάτων. Συνίστανται από αργίλους, ιλύες, άμμους, ψηφίδες, χάλικες και κροκάλες με ποικίλη διαβάθμιση, που σχηματίζουν συνήθως μικτές φάσεις με κυμαινόμενα ποσοστά συμμετοχής των διαφόρων υλικών.

Οι φάσεις μεταβάλλονται έντονα στην κατακόρυφη αλλά και την οριζόντια διάσταση, τόσο ως προς την λιθολογική σύσταση, όσο και ως προς την κοκκομετρία, ενώ το πάχος ποικίλει από 0,5-1 m μέχρι και αρκετές δεκάδες m. Η υδροπερατότητα κυμαίνεται από μέτρια έως υψηλή, ανάλογα με τις φάσεις που επικρατούν και στις περιοχές με μεγάλο πάχος μπορούν να αναπτυχθούν υδροφορίες υψηλής δυναμικότητας, με έντονες, όμως, διακυμάνσεις. Τα κυριότερα γεωτεχνικά προβλήματα που παρουσιάζουν συνήθως είναι καθιζήσεις και εδαφικές μετακινήσεις, παράμετρος που πρέπει να ληφθεί ιδιαίτερα υπόψη δεδομένου ότι αρκετοί και σημαντικοί μεγέθους οικισμοί έχουν αναπτυχθεί σε τέτοιου είδους αποθέσεις.

Οι φυσικο-μηχανικές τους παράμετροι παρουσιάζουν έντονες μεταβολές και χαρακτηρίζονται από έντονη ανισοτροπία στη μηχανική τους συμπεριφορά, λόγω της έντονης, επίσης, μεταβολής των φάσεων, τόσο ως προς τη λιθολογία όσο και την κοκκομετρία, ενώ σημαντικό ρόλο στη συμπεριφορά τους διαδραματίζει τόσο το πάχος όσο και οι εδαφικές κλίσεις, ιδιαίτερα όταν έχουμε σημαντικές δυναμικές φορτίσεις.

Τα φυσικά και μηχανικά τους χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα (εύρος τιμών από τη βιβλιογραφία και εργαστηριακές δοκιμές που αφορούν κυρίως τις λεπτομερείς φάσεις):

<b>Y<sub>b</sub>:</b>	1,8 – 2,2 gr/cm <sup>2</sup>	<b>C<sub>t</sub>:</b>	0,2 – 0,5 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>LL:</b>	20 – 46 %	<b>φ<sub>t</sub>:</b>	15° – 35°
<b>PL:</b>	8 – 30 %	<b>q<sub>u</sub>:</b>	0,5 – 3,5 Kg/cm <sup>2</sup>

**Y<sub>b</sub>:** Υγρό φαινόμενο βάρος, **LL:** Όριο υδαρότητας, **PL:** Όριο πλαστικότητας, **C<sub>t</sub>:** Συνοχή από τριαξονική δοκιμή, **φ<sub>t</sub>:** Γωνία εσωτερικής τριβής από τριαξονική δοκιμή, **q<sub>u</sub>:** Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη.

## 2.2. Βραχοτεκτονική Ενότητα c-cm (Συνεκτικές αδρομερείς τεταρτογενείς αποθέσεις)

Αντιπροσωπεύουν παλαιές χερσαίες αποθέσεις αναβαθμίδων, παλαιούς κώνους κορημάτων και ριπίδια χειμάρρων, που συνίστανται από κροκάλες, λατύπες, χάλικες, ψηφίδες και άμμους (σε μεικτές φάσεις με κυμαινόμενα ποσοστά συμμετοχής και διαβάθμισης) μέτρια έως ισχυρά συγκολλημένα με ασβεστομαργαϊκό ή ασβεστοψαμμιτικό συνδετικό υλικό.

Το πάχος κυμαίνεται από 0,5-1 m μέχρι και αρκετές δεκάδες m, ενώ παρουσιάζουν μέτρια έως υψηλή υδροπερατότητα, με τους υδροφόρους ορίζοντες που σχηματίζονται να εκφορτίζονται, συνήθως, γρήγορα πλευρικά.

Σε γενικές γραμμές παρουσιάζουν καλή μηχανική συμπεριφορά και ικανοποιητική φέρουσα ικανότητα, χαρακτηριστικά που, όμως, εξαρτώνται σε σημαντικό βαθμό από το πάχος, τα φυσικά χαρακτηριστικά του σχηματισμού και τον βαθμό συγκόλλησης. Πρέπει να σημειωθεί ότι είναι επιδεκτικά υπόγειας διάβρωσης ή υποσκαφών, κατά μήκος ετερογενών επαφών με το υποκείμενο πέτρωμα να είναι στεγανό ή περισσότερο ανθεκτικό στη διάβρωση.

Τα φυσικά και μηχανικά τους χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα (εύρος τιμών από τη βιβλιογραφία και περιορισμένο αριθμό εργαστηριακών δοκιμών):

<b>Y<sub>b</sub>:</b>	2,1 – 2,8 gr/cm <sup>2</sup>	<b>Y<sub>b</sub>:</b> Υγρό φαινόμενο βάρος, <b>C<sub>t</sub>:</b> Συνοχή από τριαξονική δοκιμή, <b>φ<sub>t</sub>:</b> Γωνία εσωτερικής τριβής από τριαξονική δοκιμή, <b>q<sub>u</sub>:</b> Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη.
<b>C<sub>t</sub>:</b>	2 – 30 Kg/cm <sup>2</sup>	
<b>φ<sub>t</sub>:</b>	35° – 65°	
<b>q<sub>u</sub>:</b>	2 – 150 Kg/cm <sup>2</sup>	

## 2.3. Βραχοτεκτονική Ενότητα f-c (Μικτές φάσεις νεογενών σχηματισμών)

Θαλάσσιοι κλαστικοί σχηματισμοί που δομούνται από εναλλαγές μικρού πάχους ενστρώσεων από μάργες, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και μαργαϊκούς ασβεστολίθους. Συχνές είναι και οι πλευρικές μεταβάσεις ανάμεσα στις διάφορες λιθολογίες. Το συνολικό πάχος του σχηματισμού υπερβαίνει τις αρκετές εκατοντάδες μέτρα.

Η υδροπερατότητα ποικίλει ανάλογα με την επικρατούσα λιθολογία και τη σύσταση των διαδοχικών εναλλαγών (στην κατακόρυφη ή οριζόντια διάταξη), με αποτέλεσμα να δημιουργούνται συνήθως τοπικής κλίμακας ελεύθεροι ή υπό πίεση υδροφόροι ορίζοντες.

Οι μαργαϊκοί ορίζοντες δίνουν συνήθως ένα παχύ εδαφικό μανδύα αποσάθρωσης με συχνή εκδήλωση επιφανειακών θραύσεων και ολισθήσεων. Σε γενικές γραμμές όμως στο σύνολό του ο σχηματισμός δεν χαρακτηρίζεται από μεγάλης έκτασης και σοβαρότητας κατολισθητικά φαινόμενα.

Οι διαδοχικές εναλλαγές των διαφόρων λιθολογικών τύπων και οι συχνές πλευρικές μεταβάσεις και αποσφηνώσεις προσδίδουν στον σχηματισμό αυτό μια μεγάλη ετερογένεια στην μακροκλίμακα, γεγονός που οδηγεί σε μια ανομοιομορφη και ανισότροπη συμπεριφορά, που χαρακτηρίζεται από ταχεία εναλλαγή των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών του σχηματισμού από θέση σε θέση και από οριζόντια σε οριζόντια. Έτσι η συνοχή κυμαίνεται ανάμεσα σε ευρύτατα όρια, γεγονός που εξαρτάται άμεσα τόσο από ορισμένους πρωτογενείς παράγοντες (π.χ. λιθολογική σύσταση, βαθμός διαγένεσης, φύση συνδετικού υλικού, κοκκομετρία κ.λπ.), όσο και από δευτερογενείς (π.χ. εξαλλοίωση, αποσάθρωση, πυκνότητα και είδος διαρρήξεων κ.λπ.). Σαν γενική παρατήρηση θα λέγαμε ότι οι ψαμμίτες και τα κροκαλοπαγή, όταν παραμένουν σε υγιή κατάσταση, χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές συνοχής και διατμητικής αντοχής.

Τα φυσικά και μηχανικά τους χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα (εύρος τιμών από τη βιβλιογραφία και μικρό αριθμό εργαστηριακών δοκιμών):

	Αργίλοι – Μάργες – Αμμοιούλες	Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι – Ψαμμίτες – Κροκαλοπαγή
<b>Y<sub>b</sub>:</b>	1,8 – 2,2 gr/cm <sup>2</sup>	2,0 – 2,8 gr/cm <sup>2</sup>
<b>LL:</b>	27 – 67 %	
<b>PL:</b>	18 – 33 %	
<b>C<sub>t</sub>:</b>	0,05 (άμμοι) – 2,3 Kg/cm <sup>2</sup>	2 – 75 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>φ<sub>t</sub>:</b>	15° – 40°	
<b>C<sub>s</sub>:</b>	0,03 – 1 Kg/cm <sup>2</sup>	
<b>φ<sub>s</sub>:</b>	20° – 50°	
<b>q<sub>u</sub>:</b>	1 – 25 Kg/cm <sup>2</sup>	2,0 – 630 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>C<sub>c</sub>:</b>	0,15 – 0,26	
<b>e<sub>0</sub>:</b>	0,7 – 1,1	

**Y<sub>b</sub>:** Υγρό φαινόμενο βάρος, **LL:** Όριο υδαρότητας, **PL:** Όριο πλαστικότητας, **C<sub>s</sub>:** Συνοχή από δοκιμή διάτμησης, **C<sub>t</sub>:** Συνοχή από τριαξονική δοκιμή, **φ<sub>s</sub>:** Γωνία εσωτερικής τριβής από δοκιμή διάτμησης, **φ<sub>t</sub>:** Γωνία εσωτερικής τριβής από τριαξονική δοκιμή, **q<sub>u</sub>:** Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη, **C<sub>c</sub>:** Δείκτης συμπίεστότητας, **e<sub>0</sub>:** Αρχικός λόγος κενών.

#### 2.4. Βραχοτεκτονική Ενότητα Μ (Μολασσικοί σχηματισμοί)

Θαλάσσιοι έως λιμναίοι σχηματισμοί από κροκαλοπαγή κυρίως αλλά και ψαμμίτες, μάργες, ασβεστολιθικές μάργες και αργίλους, που εναλλάσσονται μεταξύ τους τόσο κατακόρυφα όσο και πλευρικά με απότομες αποσφηνώσεις. Το πάχος τους φθάνει τις μερικές εκατοντάδες μέτρα και εντοπίζονται κυρίως στο νησί της Λευκάδας.

Χαρακτηρίζονται από χαμηλή έως μέτρια υδροπερατότητα, στις αδρομερείς όμως φάσεις μπορεί να αναπτυχθούν σημαντικές υδροφορίες.

Τα κατολισθητικά φαινόμενα είναι συνήθως μικρής έκτασης και αντιπροσωπεύονται από ολισθήσεις στους αποσαθρωμένους οριζόντες των λεπτομερών φάσεων ή καταπτώσεις όπου επικρατούν συνεκτικά κροκαλοπαγή.

Η μεγάλη ετερογένεια της λιθολογικής σύστασης αντανακλάται στην μεγάλη ανομοιομορφία και ανισοτροπία των μικτών σχηματισμών, όπου τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά

παρουσιάζουν ένα μεγάλο εύρος τιμών αλλάζοντας από θέση σε θέση και από ορίζοντα σε ορίζοντα, ανάλογα με τη λιθολογία και τους άλλους παράγοντες που περιεγράφηκαν στην προηγούμενη βραχοτεκτονική ενότητα των νεογενών σχηματισμών. Εν κατακλείδι, ψαμμίτες, μάργες και κροκαλοπαγή παρουσιάζουν συνήθως υψηλές αντοχές σε διάτμηση και θλίψη, ενώ άμμοι και αργιλικά πετρώματα χαρακτηρίζονται από ευρείες διακυμάνσεις στις τιμές των μηχανικών παραμέτρων.

Τα φυσικά και μηχανικά τους χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα (εύρος τιμών από τη βιβλιογραφία και μικρό αριθμό εργαστηριακών δοκιμών):

	Αργίλοι – Μάργες – Άμμοι	Ψαμμίτες – Κροκαλοπαγή
<b>Y<sub>b</sub>:</b>	1,8 – 2,2 gr/cm <sup>2</sup>	2,0 – 2,7 gr/cm <sup>2</sup>
<b>LL:</b>	25 – 60 %	
<b>PL:</b>	16 – 35 %	
<b>C<sub>t</sub>:</b>	0,03 (άμμοι) – 2,6 Kg/cm <sup>2</sup>	2,5 – 70 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>φ<sub>t</sub>:</b>	14° – 43°	
<b>q<sub>u</sub>:</b>	2 – 23 Kg/cm <sup>2</sup>	3,5 – 550 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>C<sub>c</sub>:</b>	0,13 – 0,22	
<b>e<sub>0</sub>:</b>	0,7 – 1	

**Y<sub>b</sub>:** Υγρό φαινόμενο βάρος, **LL:** Όριο υδαρότητας, **PL:** Όριο πλαστικότητας, **C<sub>t</sub>:** Συνοχή από τριαξονική δοκιμή, **φ<sub>t</sub>:** Γωνία εσωτερικής τριβής από τριαξονική δοκιμή, **q<sub>u</sub>:** Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη, **C<sub>c</sub>:** Δείκτης συμπίεστότητας, **e<sub>0</sub>:** Αρχικός λόγος κενών.

## 2.5. Βραχοτεκτονική Ενότητα F (Φλύσχης αδιαίρετος)

Θαλάσσια κλαστικά ιζήματα με ρυθμικές εναλλαγές ιλυολίθων και ψαμμιτών αλλά και κροκαλοπαγών ή ενδιάμεσων λιθολογικών τύπων. Σπανιότερα παρατηρούνται ασβεστολιθικές ενστρώσεις ή ενστρώσεις ασβεστιτικών σχιστών. Το συνολικό πάχος του σχηματισμού φθάνει και υπερβαίνει τα 1.000 μέτρα και σε ορισμένες περιπτώσεις γίνεται ακόμα μεγαλύτερο. Ο σχηματισμός αυτός παρουσιάζεται έντονα τεκτονισμένος, τόσο με ανοικτές ή ισοκλινείς πτυχές με αναστροφές σε όλες τις κλίμακες, όσο και με ρήγματα, όπως λεπιώσεις, κανονικά ρήγματα και συστήματα διαρρήξεων που κατακερματίζουν το πέτρωμα.

Σε γενικές γραμμές και στη μακροκλίμακα ο σχηματισμός είναι υδατοστεγής, παρόλα αυτά δημιουργούνται τοπικές και μικρής κλίμακας υδροφορίες με εκδήλωση πηγών ανάμεσα στο έντονα κατακερματισμένο ή έντονα αποσαθρωμένο ανώτερο επιφανειακό τμήμα και το στεγανό υγιές υπόβαθρο.

Στον σχηματισμό αυτό εκδηλώνονται κατολισθητικά φαινόμενα με ιδιαίτερη συχνότητα, που συνήθως όμως επηρεάζουν τον ανώτερο αποσαθρωμένο μανδύα και την ανώτερη ζώνη έντονου κατακερματισμού. Τα φαινόμενα αστάθειας εκδηλώνονται στις ετερογενείς επαφές ανάμεσα στα στρώματα, σε συνδυασμό πάντα με τις ισχυρές κλίσεις των στρωμάτων, το έντονο ανάγλυφο και τη δράση του νερού ή των σεισμικών δονήσεων. Συχνά παρουσιάζονται έντονα προβλήματα στην θεμελίωση τεχνικών έργων και ιδίως στην οδοποιία με περισσότερο συνήθη περίπτωση αυτή των μειωμένων διατμητικών αντοχών.

Εν κατακλείδι η μηχανική συμπεριφορά του σχηματισμού χαρακτηρίζεται από έντονη ανισοτροπία και ταχείες μεταβολές στις παραμέτρους, που ελέγχονται από τον βαθμό

χαλάρωσης των στρωμάτων (από την αποσάθρωση και τον τεκτονισμό) σε συνδυασμό με τη γεωμετρία των ασυνεχειών, την κλίση των πρηνών και τη δράση του νερού ή των σεισμικών δονήσεων.

Τα φυσικά και μηχανικά τους χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα (εύρος τιμών από την βιβλιογραφία και μικρό αριθμό εργαστηριακών δοκιμών):

	Ιλυόλιθοι	Ψαμμίτες – Κροκαλοπαγή
<b>Y<sub>b</sub>:</b>	1,7 – 2,3 gr/cm <sup>2</sup>	1,7 – 2,8 gr/cm <sup>2</sup>
<b>LL:</b>	25 – 35 % (αποσαθρωμένο πέτρωμα)	
<b>PL:</b>	16 – 21 % (αποσαθρωμένο πέτρωμα)	
<b>C<sub>s</sub>:</b>	6 – 30 Kg/cm <sup>2</sup>	10 – 200 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>φ<sub>s</sub>:</b>	20° – 32°	25° – 45°
<b>q<sub>u</sub>:</b>	65 – 400 Kg/cm <sup>2</sup> (συνήθεις τιμές 100 – 300 Kg/cm <sup>2</sup> )	100 – 1.200 Kg/cm <sup>2</sup> (συνήθεις τιμές 200 – 700 Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Y<sub>b</sub>:</b> Υγρό φαινόμενο βάρος, <b>LL:</b> Όριο υδαρότητας, <b>PL:</b> Όριο πλαστικότητας, <b>C<sub>s</sub>:</b> Συνοχή από δοκιμή διάτμησης, <b>φ<sub>s</sub>:</b> Γωνία εσωτερικής τριβής από δοκιμή διάτμησης, <b>q<sub>u</sub>:</b> Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη.		

## 2.6. Βραχοτεκτονική Ενότητα L (Ασβεστόλιθοι)

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει μια μεγάλη γκάμα ασβεστολιθικών πετρωμάτων από άστρωτους, παχυστρωματώδεις ή λεπποστρωματώδεις ασβεστόλιθους, που κατά θέσεις, ιδίως στα μεταβατικά στρώματα, μπορεί να γίνονται μαργαϊκοί. Συνήθως διασχίζονται από διάφορα συστήματα διαρρήξεων και παρουσιάζουν έντονα φαινόμενα καρστικοποίησης στο ανώτερο τμήμα τους. Το πάχος τους κυμαίνεται από μερικές δεκάδες μέχρι και αρκετές εκατοντάδες μέτρα.

Η κατηγορία των πετρωμάτων αυτών πρωτογενώς είναι υδατοστεγής, παρουσιάζει όμως μέτρια έως υψηλή δευτερογενή περατότητα λόγω της καρστικοποίησης, με αποτέλεσμα να φιλοξενεί πολύ σημαντικές υδροφορίες.

Οι ασβεστόλιθοι παρουσιάζουν υψηλές τιμές μηχανικών αντοχών και η συμπεριφορά της βραχομάζας είναι στην πλειονότητα των περιπτώσεων ικανοποιητική για τη θεμελίωση τεχνικών έργων. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται όμως τόσο στα υπόγεια έργα, όπου στην περίπτωση παρουσίας μεγάλων καρστικών εγκοίλων υφίσταται κίνδυνος κατάρρευσης της οροφής, όσο και στις περιπτώσεις δευτερογενούς χαλάρωσης ή έντονου κατακερματισμού της βραχομάζας από πυκνά συστήματα διαρρήξεων, ιδίως όταν αυτό συνοδεύεται από δυσμενή προσανατολισμό των ασυνεχειών και πλήρωση αυτών με αργιλικά υλικά.

Αστοχίες στα πρηνή παρατηρούνται με τη μορφή καταπτώσεων βραχωδών τεμαχίων, κυρίως όταν οι κλίσεις του πετρώματος είναι πολύ υψηλές, σε συνδυασμό με την κατάλληλη γεωμετρία των συστημάτων διαρρήξεων και ιδίως όταν αυτές είναι ανοικτές συντείνοντας στην χαλάρωση της βραχομάζας. Διατάραξη της φυσικής ισορροπίας και δυναμικές φορτίσεις εντείνουν ακόμα περισσότερο τον κίνδυνο για καταπτώσεις.

Τα φυσικά και μηχανικά τους χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα (εύρος τιμών από την βιβλιογραφία και εργαστηριακές δοκιμές):



<b>Υ<sub>b</sub>:</b>	2,5 – 2,7 gr/cm <sup>2</sup>
<b>q<sub>u</sub>:</b>	300 – 1.200 Kg/cm <sup>2</sup> (ακραίες τιμές 60 – 100 και 1.300 – 1.700 Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>C<sub>t</sub>:</b>	100 – 300 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>C<sub>s</sub>:</b>	Δοκιμές in-situ
<b>φ<sub>t</sub>:</b>	30° – 45°
<b>φ<sub>s</sub>:</b>	25° – 45°
<b>E:</b>	25.000 – 1.000.000 Kg/cm <sup>2</sup> (συνήθεις τιμές 200.000 – 600.000 Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Υ<sub>b</sub>:</b> Υγρό φαινόμενο βάρος, <b>C<sub>s</sub>:</b> Συνοχή από δοκιμή διάτμησης, <b>C<sub>t</sub>:</b> Συνοχή από τριαξονική δοκιμή, <b>φ<sub>s</sub>:</b> Γωνία εσωτερικής τριβής από δοκιμή διάτμησης, <b>φ<sub>t</sub>:</b> Γωνία εσωτερικής τριβής από τριαξονική δοκιμή, <b>q<sub>u</sub>:</b> Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη, <b>E:</b> Μέτρο ελαστικότητας.	

## 2.7. Βραχοτεκτονική Ενότητα L-si (Ασβεστόλιθοι με πυριτολίθους)

Πελαγικοί λεπτοστρωματώδεις έως μεσοπλακώδεις ασβεστόλιθοι, ενίοτε λατυποπαγείς, με κονδύλους, φακούς ή ενστρώσεις πυριτολίθων και ενίοτε, σε τοπικό επίπεδο, παρεμβολές αργιλικών σχιστών. Το πάχος τους είναι συνήθως μικρό, μερικές δεκάδες μέτρα και η επιφανειακή τους εξάπλωση περιορισμένη, σε σχέση με τα αμιγώς ανθρακικά πετρώματα. Παρουσιάζουν έντονη παραμόρφωση, τόσο με ισοκλινείς πτυχές και λεπιώσεις, όσο και με κανονικές διαρρήξεις και διακλάσεις.

Η υδροπερατότητά τους είναι περιορισμένη και κυμαινόμενη, αφού εξαρτάται άμεσα από την πυκνότητα και το είδος των ασυνεχειών (ανοικτές ή κλειστές) αλλά και τον βαθμό της αποσάθρωσης, που δημιουργούν δευτερογενή περατότητα και ανάπτυξη τοπικής κλίμακας υδροφόρων οριζόντων.

Τα φυσικά τους χαρακτηριστικά κυμαίνονται σε εύρος τιμών αντίστοιχο με αυτό που περιεγράφηκε για την προηγούμενη βραχοτεκτονική ενότητα των ασβεστολίθων, ενώ οι μηχανικές παράμετροι αντιπροσωπεύονται από τιμές που διαφοροποιούνται ανάλογα με τον λιθολογικό τύπο (ασβεστόλιθος, κερατόλιθος, σχίστης). Στο σύνολό της η βραχομάζα παρουσιάζει χαρακτηριστική ανομοιομορφία και ανισοτροπία, που σε σημαντικό βαθμό ελέγχεται από την πυκνότητα των πυριτικών ενστρώσεων ή των αργιλικών παρεμβολών, εκτός από τους υπόλοιπους παράγοντες που αναφέρθηκαν και στην προηγούμενη περίπτωση των ασβεστολίθων.

Διατάραξη της ισορροπίας των πρηνών και εκδήλωση συχνών κατολισθητικών φαινομένων παρατηρείται στις περιπτώσεις που οι ισχυρές κλίσεις συνεπικουρούνται από αυξημένη πυκνότητα ασυνεχειών (στρώση και διαρρήξεις) και έντονη παρουσία ετερογενών επαφών, που υποβιβάζουν τη διατμητική, κυρίως, αντοχή της βραχομάζας. Στις περιπτώσεις αυτές η διατάραξη της φυσικής ισορροπίας από τεχνικά έργα, απαιτεί τη διαμόρφωση τεχνιτών πρηνών με ηπιότερες κλίσεις.

Τα φυσικά και μηχανικά τους χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα (εύρος τιμών από την βιβλιογραφία και μικρό αριθμό εργαστηριακών δοκιμών):

Υγιές πέτρωμα	Βραχομάζα με ασυνέχειες πληρωμένες με αργιλικό	Βραχομάζα χωρίς εμφανείς ασυνέχειες
---------------	--	-------------------------------------

		υλικό πάχους μέχρι 1 cm	
<b>Y<sub>b</sub>:</b>	2,5 – 2,7 gr/cm <sup>2</sup>		
<b>q<sub>u</sub>:</b>	200 – 1.700 Kg/cm <sup>2</sup>		
<b>C<sub>t</sub>:</b>	100 – 300 Kg/cm <sup>2</sup>		
<b>C<sub>s</sub>:</b>		0,1 – 1,0 Kg/cm <sup>2</sup>	9 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>φ<sub>t</sub>:</b>	30° – 45°		
<b>φ<sub>s</sub>:</b>		13° – 22°	45°
<b>E:</b>	25.000 – 1.000.000 Kg/cm <sup>2</sup>		

**Y<sub>b</sub>:** Υγρό φαινόμενο βάρος, **C<sub>s</sub>:** Συνοχή από δοκιμή διάτμησης, **C<sub>t</sub>:** Συνοχή από τριαξονική δοκιμή, **φ<sub>s</sub>:** Γωνία εσωτερικής τριβής από δοκιμή διάτμησης, **φ<sub>t</sub>:** Γωνία εσωτερικής τριβής από τριαξονική δοκιμή, **q<sub>u</sub>:** Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη, **E:** Μέτρο ελαστικότητας.

## 2.8. Βραχοτεκτονική Ενότητα LD (Δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες)

Αστρωτοι ή παχυπλακώδεις δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και αμιγείς δολομίτες, που αναπτύσσονται σε τοπικό επίπεδο μαζί με τους ασβεστολίθους και χαρακτηρίζονται συχνά από μεγάλη επιφανειακή εξάπλωση και σημαντικό πάχος, που φθάνει και τις μερικές εκατοντάδες μέτρα.

Όπως και οι ασβεστόλιθοι έτσι και οι δολομίτες είναι πρακτικά στεγανοί και αδιαπέρατοι, σε αντίθεση όμως με τους ασβεστολίθους παρουσιάζουν μειωμένη καρστικότητα (ιδιαίτερα οι καθαροί δολομίτες), άρα και μειωμένη δευτερογενή υδροπερατότητα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι υδροφορίες να περιορίζονται κατά κύριο λόγο σε ζώνες με μεγάλη πυκνότητα διαρρήξεων.

Τα φυσικά τους χαρακτηριστικά και οι μηχανικές αντοχές ταυτίζονται ή προσεγγίζουν αυτές των ασβεστολίθων ενώ η συμπεριφορά της βραχομάζας καθορίζεται από τους ίδιους παράγοντες που αναφέρθηκαν λεπτομερώς στην βραχοτεκτονική ενότητα των ασβεστολίθων και περιλαμβάνουν πυκνότητα, φυσικά χαρακτηριστικά, γεωμετρία και προσανατολισμός των ασυνχειών, κλίση και ύψος πρηνών, παράγοντες αποσάθρωσης, ετερογενείς ενδιαστρώσεις στην κύρια μάζα του πετρώματος κ.λπ. Οι αστοχίες στα πρηνή κυριαρχούνται αποκλειστικά από καταπτώσεις διαφόρου μεγέθους βραχοτεμαχών, μέσα από ένα σύνολο προϋποθέσεων που αναφέρθηκαν αναλυτικά στην περίπτωση των ασβεστολίθων.

Τα φυσικά και μηχανικά τους χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα:

<b>Y<sub>b</sub>:</b>	2,6 – 2,8 gr/cm <sup>2</sup>	<b>Y<sub>b</sub>:</b> Υγρό φαινόμενο βάρος, <b>C<sub>t</sub>:</b> Συνοχή από τριαξονική δοκιμή, <b>φ<sub>t</sub>:</b> Γωνία εσωτερικής τριβής από τριαξονική δοκιμή, <b>q<sub>u</sub>:</b> Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη, <b>E:</b> Μέτρο ελαστικότητας.
<b>q<sub>u</sub>:</b>	350 – 1.800 Kg/cm <sup>2</sup>	
<b>C<sub>t</sub>:</b>	100 – 300 Kg/cm <sup>2</sup>	
<b>φ<sub>t</sub>:</b>	27° – 45°	
<b>E:</b>	25.000 – 1.000.000 Kg/cm <sup>2</sup>	

## 2.9. Βραχοτεκτονική Ενότητα G (Γύψος και συνοδά ασβεστολιθικά λατυπτοπαγή)

Οι εμφανίσεις των γύψων έχουν τοπικό χαρακτήρα και καθορίζονται διαχρονικά από τα διαπειρικά φαινόμενα που τους χαρακτηρίζουν, με έντονα φαινόμενα κινητοποίησης και άνοδο προς τα ανώτερα στρώματα, εισχωρώντας και παραμορφώνοντας τα υπερκείμενα πετρώματα. Ακριβώς αυτή η συμπεριφορά τους (διαρκής παραμόρφωση και διαβρωτικές διεργασίες) καθορίζει και την δυσμενή γεωτεχνική συμπεριφορά τους και για το λόγο αυτό πρέπει να αποφεύγεται η θεμελίωση οποιουδήποτε τεχνικού έργου στους ίδιους και στους σχηματισμούς που τους εγκλείουν.

Τα φυσικά και μηχανικά τους χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα (εύρος τιμών από την βιβλιογραφία και εργαστηριακές δοκιμές):

<b>Υ<sub>b</sub>:</b>	1,7 – 2,3 gr/cm <sup>2</sup>	<b>Υ<sub>b</sub>:</b> Υγρό φαινόμενο βάρος, <b>C<sub>t</sub>:</b> Συνοχή από τριαξονική δοκιμή, <b>φ<sub>t</sub>:</b> Γωνία εσωτερικής τριβής από τριαξονική δοκιμή, <b>q<sub>u</sub>:</b> Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη, <b>E:</b> Μέτρο ελαστικότητας.
<b>q<sub>u</sub>:</b>	10 – 200 Kg/cm <sup>2</sup>	
<b>C<sub>t</sub>:</b>	10 – 150 Kg/cm <sup>2</sup>	
<b>φ<sub>t</sub>:</b>	25° – 35°	

### 3. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΩΝ ΑΣΤΟΧΙΩΝ

Για την ανάλυση της ευστάθειας των εξεταζόμενων πρानών, με δεδομένα τα γεωμετρικά, στρωματογραφικά και γεωμηχανικά χαρακτηριστικά, αναζητήθηκαν οι κρίσιμοι μηχανισμοί ολίσθησης και ο ελάχιστος διαθέσιμος συντελεστής ασφαλείας. Οι συντελεστές ασφαλείας (**SF** ή **ΣΑ**), που θα πρέπει να είναι διαθέσιμοι, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 7 (EC7), είναι:

- $\Sigma A > 1.5$  για στατικές συνθήκες και
- $\Sigma A > 1.1$  για συνθήκες φόρτισης λόγω σεισμού.

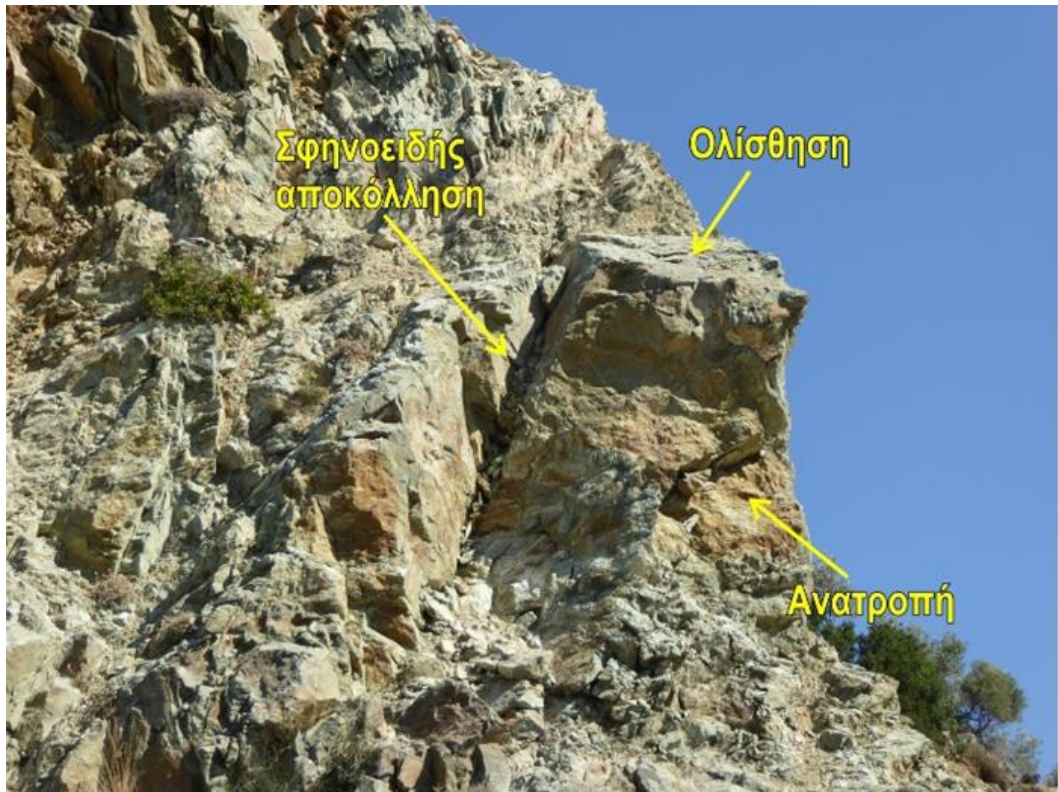
Πρέπει να αναφερθεί ότι οι γερμανικοί κανονισμοί (DIN 4084), που χρησιμοποιούνται ευρέως έως σήμερα, απαιτούν ελαφρώς μικρότερους συντελεστές ασφαλείας:

- $\Sigma A > 1.4$  για στατικές συνθήκες και
- $\Sigma A > 1.0$  για συνθήκες φόρτισης λόγω σεισμού.

Στα πλαίσια του παρόντος εφαρμοσμένου ερευνητικού προγράμματος, έγιναν κινηματικές αναλύσεις των βραχωδών πρानών, σύμφωνα με τα τεκτονικά διαγράμματα, εξετάζοντας επίπεδα και σφηνοειδή αστοχία, ενώ εκτιμήθηκε και η πιθανότητα εκδήλωσης ανατροπών. Με βάση τα αποτελέσματα αυτών των αναλύσεων προσδιορίστηκαν οι αντίστοιχοι συντελεστές ασφαλείας έναντι αστοχίας.

Οι αναλύσεις ευστάθειας έναντι επίπεδης ολίσθησης έγιναν με τη βοήθεια του λογισμικού Rocplane, v.2.029 της Rocscience, το οποίο δίνει τη δυνατότητα παραμετρικής ανάλυσης για μία ή και περισσότερες παραμέτρους σχεδιασμού (Εικ. 4 και Εικ. 5).

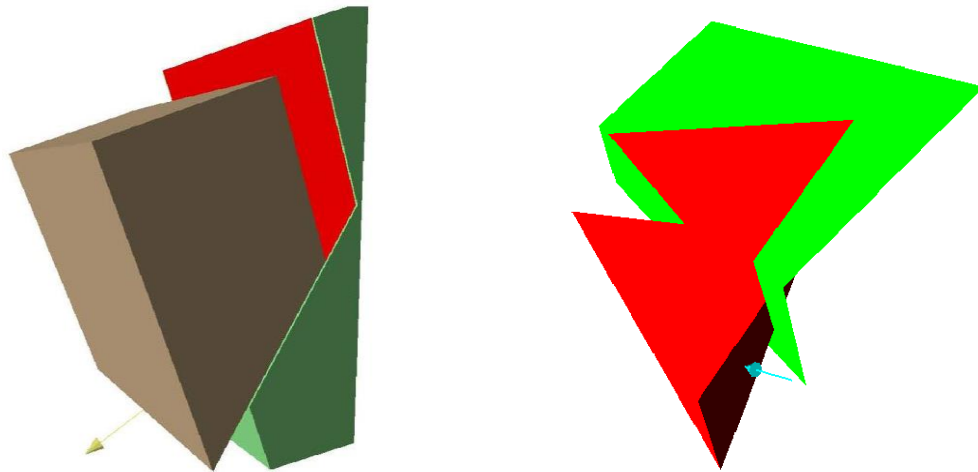
Οι αναλύσεις ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς αποκόλλησης έγιναν με τη βοήθεια του λογισμικού Swedge, v.4.078 της Rocscience. Το πρόγραμμα αυτό δίνει τη δυνατότητα διαστασιολόγησης των σχηματιζόμενων σφηνών, με κατάλληλη μείωση της εμμονής των ασυνεχειών, έτσι ώστε οι εξεταζόμενοι όγκοι σφηνών να προσεγγίζουν κατά το δυνατόν την πραγματική γεωμετρική εικόνα (Εικ. 4 και Εικ. 5).



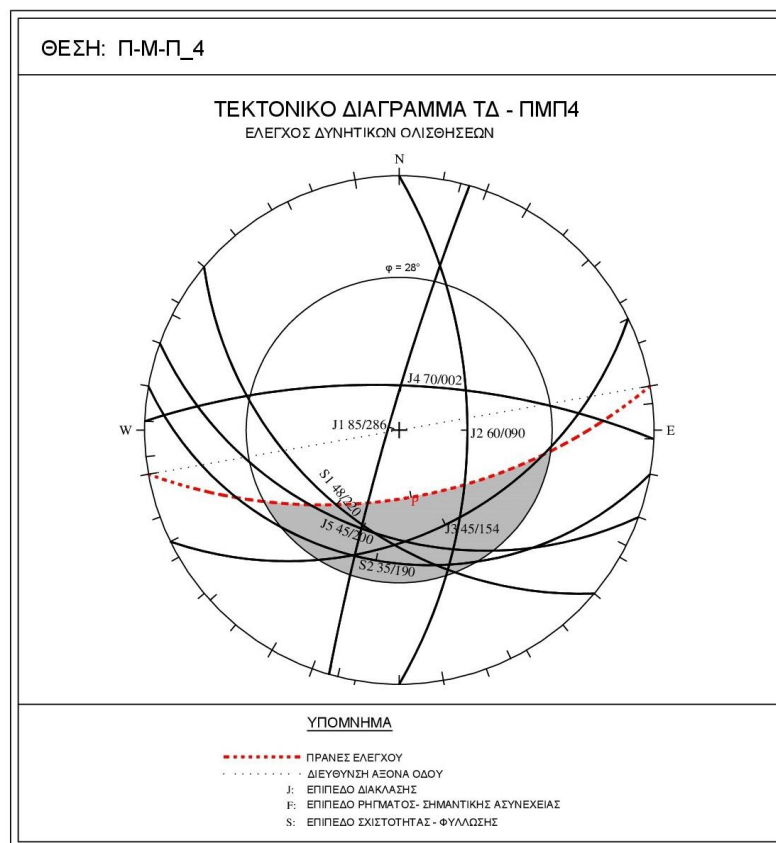
**Εικόνα 4.** Η παρουσία ασυνεχειών στη βραχομάζα με κατάλληλη γεωμετρία, δημιουργεί τις συνθήκες ώστε ο μηχανισμός των καταπτώσεων να είναι σφηνοειδής αποκόλληση, επίπεδη ολίσθηση ή ανατροπή.

Στην Εικόνα 6 δίνεται ένα παράδειγμα της χρήσης τεκτονικών διαγραμμάτων για την προσομοίωση των συνθηκών ευστάθειας και τον προσδιορισμό των δυνητικών μηχανισμών αστοχίας σε βραχώδες πρανές.

Με βάση τον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 1) φαίνεται ότι η γεωμετρία των ασυνεχειών (στρώση – διαρρήξεις) που τέμνουν τη βραχομάζα είναι τέτοια που μπορεί να οδηγήσει σε αποκολλήσεις και καταπτώσεις βραχωδών τεμαχών και με τους τρεις μηχανισμούς (σφηνοειδής αποκόλληση, επίπεδη ολίσθηση και ανατροπή). Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ελέγχων ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς αποκόλλησης.



**Εικόνα 5.** Προσομοίωση επίπεδης ολίσθησης, με τη βοήθεια του λογισμικού Rocplane, (αριστερά) και σφηνοειδούς αποκόλλησης, με τη βοήθεια του λογισμικού Swedge, (δεξιά). Με το κίτρινο άνωσμα αναπαρίσταται η σεισμική δράση, ενώ με το μπλε άνωσμα, πρόσθετη δύναμη πίεσης πόρων (παρουσία νερού).



**Εικόνα 6.** Τεκτονικό διάγραμμα ασυνεχειών όπου παρουσιάζονται όλοι οι δυνητικοί μηχανισμοί αστοχίας (δυνητικές ολισθήσεις).



**Πίνακας 1.** Δυνητικοί μηχανισμοί αστοχίας (σφηνοειδής αποκόλληση, επίπεδη ολίσθηση και ανατροπή) για διάφορες γεωμετρίες των ασυνεχειών (στρώση – διακλάσεις) που τέμνουν τη βραχομάζα.

Δυνητικός μηχανισμός αστοχίας	Σχετιζόμενα επίπεδα (στρώση – διακλάσεις)
Σφηνοειδής αποκόλληση	<ul style="list-style-type: none"> <li>• J1 – S1</li> <li>• J1 – J5</li> <li>• J1 – S2</li> <li>• J1 – J3</li> <li>• J3 – S1</li> <li>• S1 – S2</li> <li>• J2 – J3</li> <li>• J2 – J5</li> <li>• J2 – S2</li> <li>• J2 – S1</li> </ul>
Επίπεδη ολίσθηση	<ul style="list-style-type: none"> <li>• J3</li> <li>• S2</li> </ul>
Ανατροπή	<ul style="list-style-type: none"> <li>• J4</li> </ul>

**Πίνακας 2.** Αποτελέσματα ελέγχων ευστάθειας έναντι σφηνοειδούς αποκόλλησης.

A/A	Σχηματιζόμενη σφήνα (διασταύρωση επιπέδων)	Νερό (%)	Στατική Ανάλυση FS	Δυναμική Ανάλυση FS
1	J1-S1	0	<b>2.19</b>	<b>1.85</b>
		30	<b>2.15</b>	-
2	J1 – J5	0	<b>1.31</b>	<b>1.01</b>
		30	<b>1.28</b>	-
3	J1 – S2	0	<b>1.68</b>	<b>1.36</b>
		30	<b>1.66</b>	-
4	J1 – J3	0	<b>2.46</b>	<b>1.99</b>
		30	<b>2.44</b>	-
5	J3 – S1	0	<b>1.43</b>	<b>1.19</b>
		30	<b>1.42</b>	-
6	S1 – S2	0	<b>1.24</b>	<b>1.00</b>
		30	<b>1.22</b>	-
7	J2 – J3	0	<b>1.30</b>	<b>1.09</b>
		30	<b>1.28</b>	-
8	J2 – J5	0	<b>2.21</b>	<b>1.79</b>
		30	<b>2.19</b>	-
9	J2 – S2	0	<b>2.58</b>	<b>2.05</b>
		30	<b>2.57</b>	-
10	J2 – S1	0	<b>3.63</b>	<b>2.86</b>
		30	<b>3.61</b>	-

Παρατηρείται ότι προκύπτουν σφήνες με μη αποδεκτό συντελεστή ασφαλείας, σύμφωνα με τον EC7.

Στον Πίνακα 3, παρουσιάζονται αποτελέσματα ελέγχων ευστάθειας έναντι επίπεδης ολίσθησης, όπου φαίνεται ότι οι συντελεστές ασφαλείας που προκύπτουν είναι μη αποδεκτοί.

**Πίνακας 3.** Αποτελέσματα ελέγχων ευστάθειας έναντι επίπεδης ολίσθησης.

α/α	Ολίσθηση κατά μήκος του επιπέδου :	Νερό (%)	Στατική Ανάλυση FS	Δυναμική Ανάλυση FS
1	J3	0	<b>0.85</b>	<b>0.70</b>
		30	<b>0.79</b>	-
2	S2	0	<b>1.09</b>	<b>0.86</b>
		30	<b>1.02</b>	-

Τέλος, για την πιθανότητα ανατροπής χρησιμοποιείται η μέθοδος σύμφωνα με Goodman (1980), όπου για το παράδειγμά μας φαίνεται ότι η πιθανότητα ανατροπής εξαιτίας του επιπέδου J4 εκτιμάται ως «μεγάλη».

Για την αναπαράσταση των τροχιών πιπτόντων βραχοτεμαχίων στον έλεγχο προσομοίωσης καταπτώσεων κατά μήκος μιας τομής, χρησιμοποιείται το λογισμικό Rockfall της εταιρείας Rockscience, ένα από τα πλέον διαδεδομένα και ευρέως χρησιμοποιούμενα λογισμικά. Σύμφωνα με το λογισμικό αυτό, το κάθε βραχοτέμαχος θεωρείται ως ένα «σημείο» με συγκεκριμένη μάζα και ταχύτητα. Η κατάπτωση προσομοιώνεται κατά μήκος συγκεκριμένου εδαφικού προφίλ (τομής). Καθώς το τέμαχος έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του φυσικού εδάφους, η κινητική του ενέργεια (ορθή και εφαπτομενική συνιστώσα της ταχύτητας) απομειώνεται σύμφωνα με τους εφαρμοζόμενους συντελεστές αναπήδησης  $R_n$  (κάθετος) και  $R_t$  (εφαπτομενικός), οι οποίοι εξαρτώνται άμεσα από τη φύση του γεωλογικού σχηματισμού. Το πρόγραμμα λαμβάνει επίσης υπόψιν του την τραχύτητα της επιφάνειας του φυσικού εδάφους (roughness) καθώς και τη γωνιακή ταχύτητα των πίπτοντων τεμαχίων.

Για την προσέγγιση των παραμέτρων εισόδου (συντελεστές  $R_n$ ,  $R_t$ , γωνία  $\varphi$ ) πραγματοποιήθηκε μεγάλο πλήθος αναλύσεων, όπου τα ζητούμενα ήταν:

- Ρεαλιστικές τροχιές τεμαχίων (χωρίς υπερβολικά ύψη αναπήδησης).
- Κατάληξη τεμαχίων στη βάση της τομής σε ποσοστό τουλάχιστον 50%.
- Χρήση παραμέτρων που να ανταποκρίνονται στις βιβλιογραφικές προσεγγίσεις για υλικά με ιδιότητες μεταξύ βραχωδών προεξοχών και μικρού πάχους ασβεστολιθικών κορημάτων (ελαφρώς μικρότερες τιμές δηλαδή από αμιγώς βραχώδη υλικά).

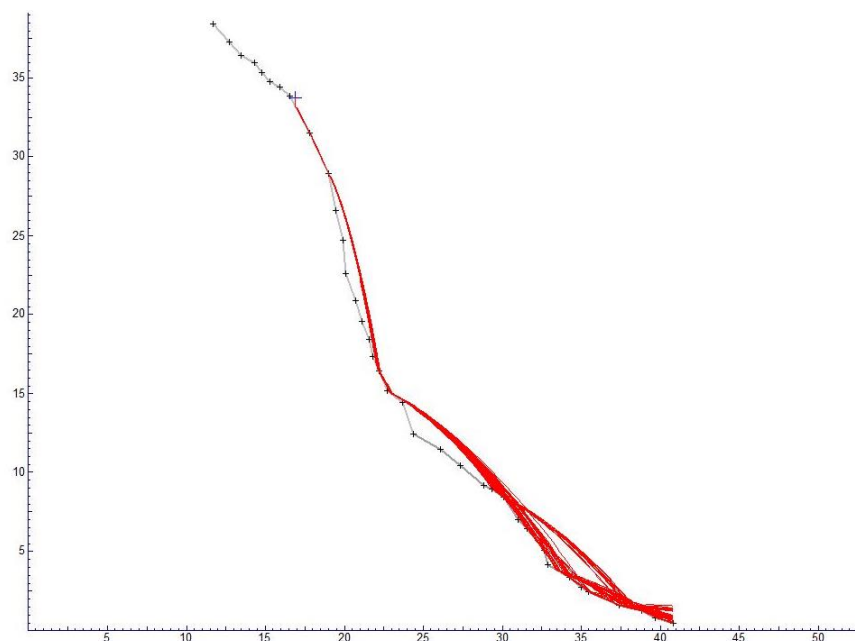
Ως γενικότερη παραδοχή λήφθηκε μέγιστο μέγεθος βραχοτεμαχίου ίσο με  $1 \text{ m}^3$  ή 2,5 tn.

Η προσομοίωση των καταπτώσεων έγινε με την παραδοχή αποκόλλησης από το ανώτερο τμήμα της τομής (στέψη), έτσι ώστε να προκύψει η μέγιστη δυνατή κινητική ενέργεια τεμαχίων που θα πρέπει να αναχαιτιστεί.

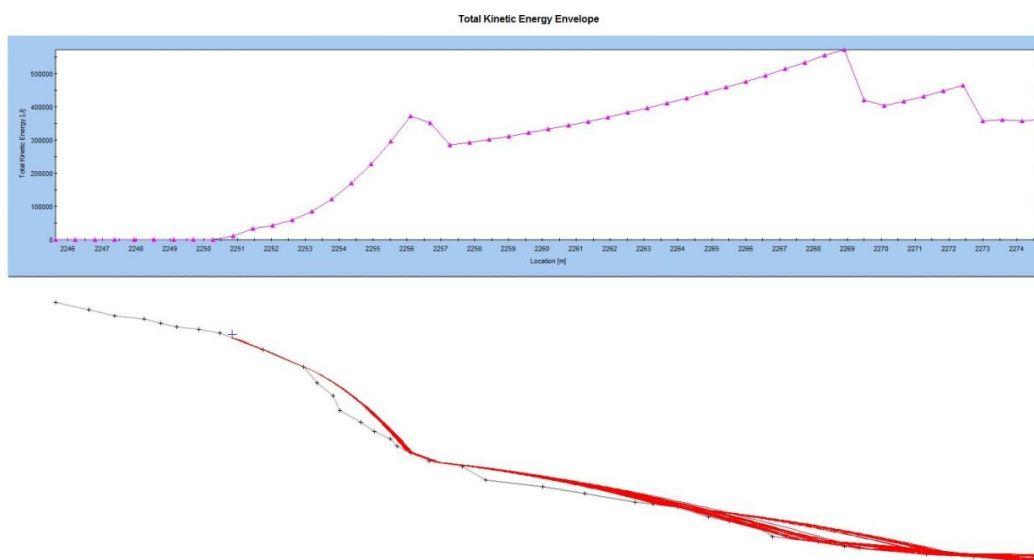


Ένα τέτοιο παράδειγμα και τα αποτελέσματα του ελέγχου παρατίθενται στις Εικόνες 7α και 7β, από τα οποία προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Μέγιστη ολική ενέργεια προσπίπτοντος τεμαχίου στη βάση του πρανούς: 420 kJ.
- Μέγιστο ύψος αναπήδησης στη βάση του πρανούς <2m.



**Εικόνα 7α.** Αποτελέσματα ελέγχου προσομοίωσης καταπτώσεων κατά μήκος τομής και αναπαράσταση τροχιών πιπτόντων τεμαχίων.



**Εικόνα 7β.** Αποτελέσματα ελέγχου προσομοίωσης καταπτώσεων κατά μήκος τομής και διάγραμμα κατανομής ολικής κινητικής ενέργειας, κατά μήκος της εξεταζόμενης διατομής.

Σε ότι αφορά στις δράσεις σχεδιασμού, υπολογίζεται η προβλεπόμενη σεισμική επιτάχυνση εδάφους με βάση τον τύπο  $A = a \cdot g$ , όπου το  $a$  παίρνει ειδική τιμή ανάλογα με την περιοχή. Με βάση τον Ευρωκώδικα 7, οι τιμές του συντελεστή σεισμικής επιβάρυνσης, που θα χρησιμοποιηθούν στις αναλύσεις ευστάθειας των πρानών, είναι  $A_h = 0.5 A$  (οριζόντια φόρτιση) και  $A_v = 0.25 A$  (κατακόρυφη φόρτιση).

Οι έλεγχοι ευστάθειας έναντι επίπεδων ολισθήσεων και σφηνοειδών αποκολλήσεων, έγιναν βάσει των κινηματικά δυσμενέστερων περιπτώσεων, όπως αυτές προέκυψαν από τον προσανατολισμό των οικογενειών διακλάσεων, σε συνδυασμό με τους γεωμετρικούς περιορισμούς που σε κάθε περίπτωση θέτουν οι διαστάσεις και η μορφολογία του εξεταζόμενου πρानού. Για κάθε τύπο δυνητικής ολίσθησης, με την εφαρμογή των άνω λογισμικών πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις ευστάθειας οι οποίες περιλαμβάνουν:

- Στατικές αναλύσεις ανυποστήρικτου πρानού για τη δυσμενέστερη/ες διατομή/ες.
- Αναλύσεις ανυποστήρικτου πρανού για τη δυσμενέστερη/ες διατομή/ες, παρουσία νερού.
- Δυναμικές αναλύσεις ανυποστήρικτου πρανού για τη δυσμενέστερη/ες διατομή/ες.

Αναφορικά με την παρουσία νερού, λήφθηκε υπόψη η ύπαρξη υδροστατικού φορτίου λόγω εγκλωβισμού στήλης νερού κατά μήκος των ασυνχειών, σε σχετικά όμως μικρό ποσοστό πλήρωσης των ρωγμών (20-40%). Σημειώνεται εδώ ότι το λογισμικό Rocplane, εκτός από τη δυνατότητα επιβολής υδροστατικού φορτίου με τη μορφή ποσοστό πλήρωσης (%) της επιφάνειας ολίσθησης, δίνει επιπλέον τη δυνατότητα ρύθμισης της κατανομής της υδροστατικής αυτής πίεσης, ελέγχει δηλαδή το σημείο επιβολής της μέγιστης τιμής της πίεσης επί της ολισθαίνουσας επιφάνειας.

Σημειώνεται επίσης, ότι κατά τη γεωμετρική προσομοίωση των σφηνών, παρουσιάζονται δυσκολίες που οφείλονται στην αδυναμία του συγκεκριμένου λογισμικού να λαμβάνει υπόψη τις αποστάσεις μεταξύ των ασυνχειών της ίδιας ομάδας (spacing), οδηγώντας έτσι σε υπέρμετρα μεγάλους όγκους σφηνών και κατά συνέπεια σε υποεκτιμημένους συντελεστές ασφαλείας. Το σφάλμα αυτό αντιμετωπίζεται εν μέρει με τη δυνατότητα ρύθμισης, τόσο του ύψους του πρανού όσο και της εμμόνης των ασυνχειών (scaling wedge). Για κάθε περίπτωση, έγινε προσπάθεια έτσι ώστε:

- Το μέγεθος της εξεταζόμενης σφήνας να μην υπερβαίνει τα όρια που θέτουν οι διαστάσεις του πρανού.
- Να προσεγγίζεται η κατά το δυνατόν καλύτερη προσομοίωση της αναλογίας ύψους/πλάτους της σφήνας.

Σε όλες δε τις περιπτώσεις, το φαινόμενο βάρος της βραχομάζας λήφθηκε ίσο με  $25 \text{KN/m}^3$ .

Αναφορικά με τις παραμέτρους διατμητικής αντοχής που χρησιμοποιήθηκαν, αντλήθηκαν στοιχεία από παρόμοια εφαρμοσμένα ερευνητικά προγράμματα στον Ελλαδικό χώρο για παρόμοιους σχηματισμούς, σε συναξιολόγηση πάντα με βιβλιογραφικά δεδομένα. Για τα ασβεστολιθικά πρανή της υπό διερεύνηση περιοχής, ως μέσες αντιπροσωπευτικές παράμετροι σχεδιασμού διατμητικής αντοχής ασυνέχειας βραχομάζας θεωρήθηκαν οι εξής: *γωνία τριβής  $\phi+i = 30^\circ$ , και συνοχή  $c = 5 \text{kPa}$ .*

## 4. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ – ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ – ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ – ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΑ

### 4.1. Θέση 1 (profile 1 2)

#### 4.1.1. Γενικά στοιχεία

Η εξεταζόμενη θέση αφορά σε υψηλό ασβεστολιθικό πρανές της επαρχιακής οδού Δράπανου – Φάρσας, ευρισκόμενη σε ευθεία απόσταση περί τα 2,5 km βόρεια του οικισμού του Αργοστολίου και πλησίον της απόκρημνης ακτογραμμής.

Το μέγιστο ύψος του πρανούς είναι της τάξης των 38 m και η μέση μορφολογική του κλίση είναι της τάξης των 60°, τοπικά όμως συναντώνται και μεγαλύτερες κλίσεις.

Γεωλογικά, η περιοχή του πρανούς δομείται αποκλειστικά από λεπτο-μεσοστρωματώδεις, ανωκρητιδικούς ασβεστολίθους της ενότητας Παξών (ks.k), οι οποίοι εμφανίζονται, μέτρια κερματισμένοι και ελαφρώς καρστικοποιημένοι στη θέση αυτή.

Σε αρκετές θέσεις, η βραχομάζα παρουσιάζεται χαλαρωμένη με χαρακτηριστικές ανοικτές ρωγμές και διακλάσεις, οι οποίες δημιουργούν προϋποθέσεις για μελλοντικές αποκολλήσεις και βραχοκαταπτώσεις.

Η φωτογραφική απεικόνιση του πρανούς δίνεται στις εικόνες που ακολουθούν.



**Εικόνα 8.** Θέση εξεταζόμενου πρανούς επί γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ (φύλλο «Κεφαλλονιά – νότια»).





**Εικόνα 9.** Γενική άποψη του πρανούς (θέση λήψης από νότο, επί της επαρχιακής οδού).



**Εικόνα 10.** Πανοραμική αεροφωτογραφία του πρανούς.



**Εικόνα 11.** Απεικόνιση τμήματος του πρανούς, όπου διακρίνονται χαλαρωμένα, επικρεμάμενα βραχοτεμάχια, επιρρεπή προς αποκολλήσεις.

#### 4.1.2. Μικροτεκτονική

Στην περιοχή του πρανούς λήφθηκαν πολυάριθμες μικροτεκτονικές μετρήσεις με τη βοήθεια των οποίων και κατόπιν κατάλληλης επεξεργασίας (Εικόνα 12) με ειδικό λογισμικό, συντάχθηκε το τεκτονικό διάγραμμα ΤΔ-1 που παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 13).

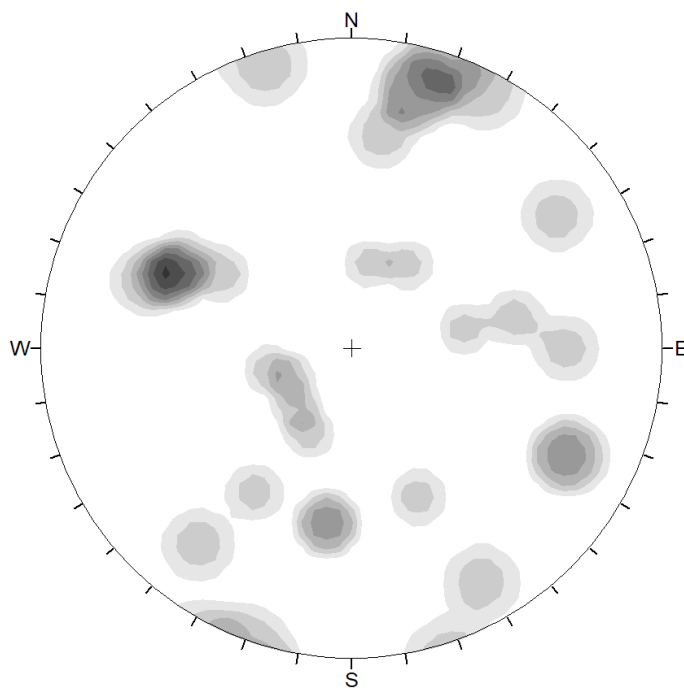
##### Προσδιορισμός δυνητικών ολισθήσεων

Από το τεκτονικό διάγραμμα ΤΔ-1 προέκυψε ο διαχωρισμός έξι (6) δικτύων διακλάσεων με τα παρακάτω γεωμετρικά χαρακτηριστικά (κλίση/φορά κλίσης):

- Οικογένεια διακλάσεων J1:  $64^{\circ}/112^{\circ}$
- Οικογένεια διακλάσεων J2:  $83^{\circ}/197^{\circ}$
- Οικογένεια διακλάσεων J3:  $58^{\circ}/008^{\circ}$
- Οικογένεια διακλάσεων J4:  $75^{\circ}/296^{\circ}$
- Οικογένεια διακλάσεων J5:  $27^{\circ}/070^{\circ}$
- Οικογένεια διακλάσεων J6:  $56^{\circ}/260^{\circ}$

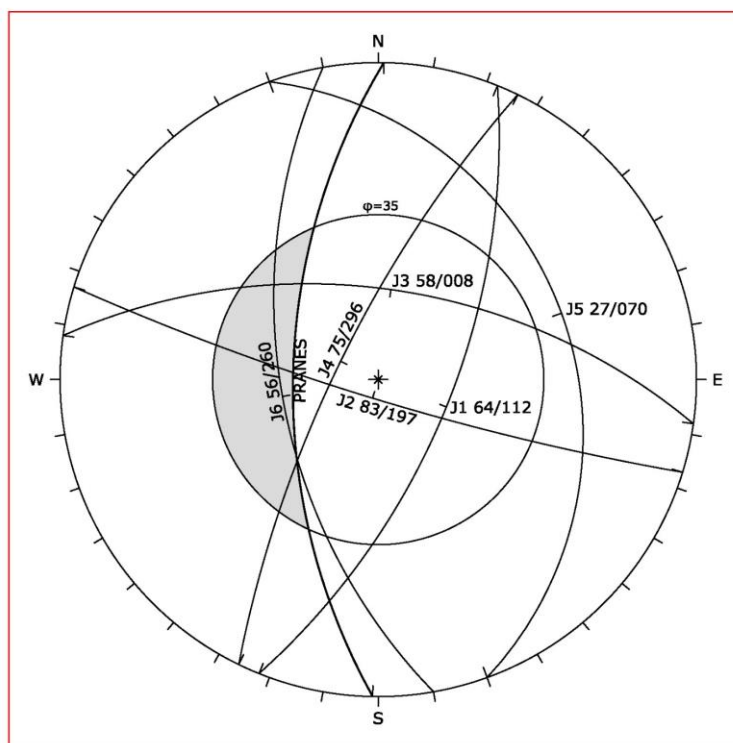
Από τους παραπάνω συνδυασμούς επιπέδων, για μέση γεωμετρία πρανούς  $P=60^{\circ}/271^{\circ}$  και για μέση γωνία τριβής ασυνεχειών  $\phi=35^{\circ}$ , προκύπτουν οι εξής μηχανισμοί δυνητικών ολισθήσεων:

- Επίπεδη ολίσθηση κατά μήκος του επιπέδου J6.
- Σφηνοειδής αποκόλληση από τη διασταύρωση των επιπέδων J6 και J4 (οριακά).



**Εικόνα 12.** Διάγραμμα κατανομής πόλων επιπέδων επί του συνόλου των μικροτεκτονικών μετρήσεων.

ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΔ-1



**Εικόνα 13.** Παρουσίαση τεκτονικού διαγράμματος ΤΔ – 1.



## 4.2. Θέση 2 (profile 3)

### 4.2.1. Γενικά στοιχεία

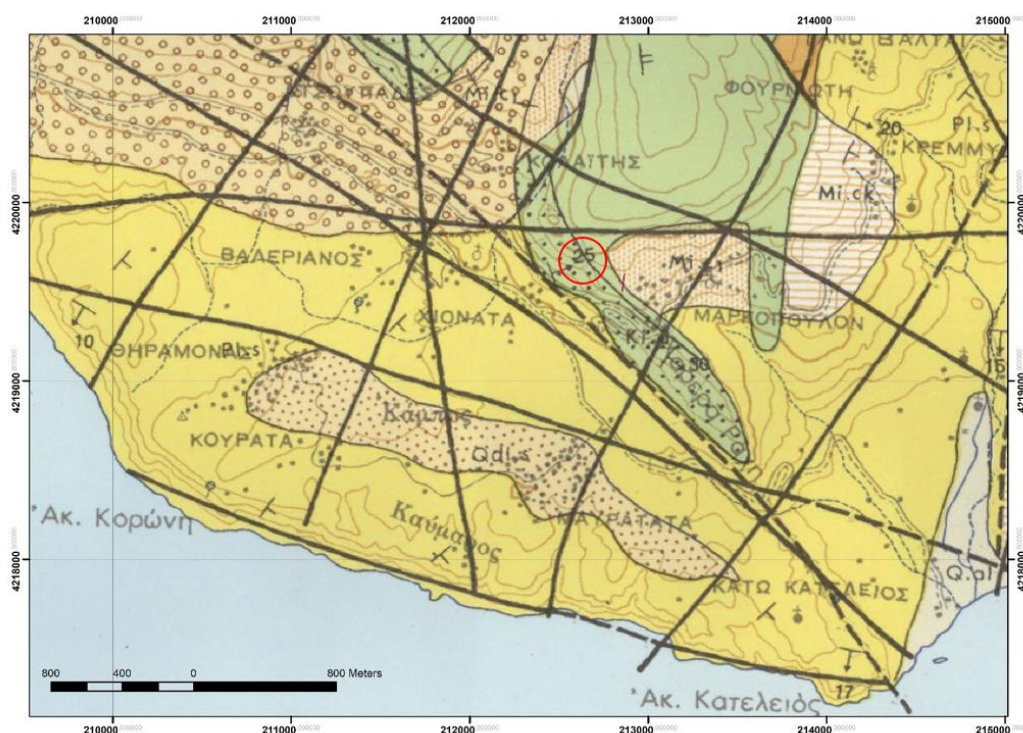
Η εξεταζόμενη θέση αφορά σε υψηλό ασβεστολιθικό πρανές της επαρχιακής οδού Αργοστολίου – Πόρου, στο τμήμα μεταξύ των οικισμών Χιονάτων και Μαρκόπουλου.

Το μέγιστο ύψος του πρανούς είναι της τάξης των 30m και η μέση μορφολογική του κλίση είναι της τάξης των 65°, τοπικά όμως συναντώνται και μεγαλύτερες κλίσεις. Το απόλυτο υψόμετρο στη στάθμη της οδού είναι της τάξης των 270 m.

Γεωλογικά, η περιοχή του πρανούς δομείται από λεπτο-μεσοστρωματώδεις, ανωκρητιδικούς ασβεστολίθους της ενότητας Παξών (ks.k), οι οποίοι εμφανίζονται, μέτρια κερματισμένοι και ελαφρώς καρστικοποιημένοι στη θέση αυτή. Στο κατώτερο τμήμα του πρανούς εμφανίζονται δολομίτες και ασβεστόλιθοι (ki.d) του κάτω Κρητιδικού, της ίδιας ενότητας.

Σε αρκετές θέσεις, η βραχομάζα παρουσιάζεται χαλαρωμένη με χαρακτηριστικές ανοικτές ρωγμές και διακλάσεις, οι οποίες δημιουργούν προϋποθέσεις για μελλοντικές αποκολλήσεις και βραχοκαταπτώσεις.

Η φωτογραφική απεικόνιση του πρανούς δίνεται στις εικόνες που ακολουθούν.



**Εικόνα 14.** Θέση εξεταζόμενου πρανούς επί γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ (φύλλο «Κεφαλονιά – νότια»).



**Εικόνα 15.** Απόψεις του εξεταζόμενου πρανούς.





**Εικόνα 16.** Κοντινές απόψεις του εξεταζόμενου πρανούς με επισήμανση κάποιων εκ των επισφαλών επικρεμάμενων βραχοτεμαχών

#### 4.2.2. Μικροτεκτονική

Στην περιοχή του πρανούς λήφθηκαν πολυάριθμες μικροτεκτονικές μετρήσεις με τη βοήθεια των οποίων και κατόπιν κατάλληλης επεξεργασίας (Εικόνα 17) με ειδικό λογισμικό, συντάχθηκε το τεκτονικό διάγραμμα ΤΔ-2 που παρουσιάζεται στην Εικόνα 18.

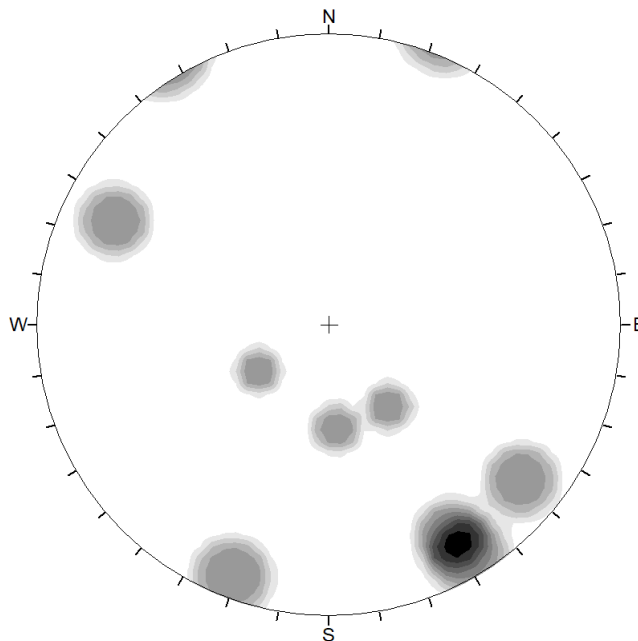
##### Προσδιορισμός δυνητικών ολισθήσεων

Από το τεκτονικό διάγραμμα ΤΔ-2 προέκυψε ο διαχωρισμός επτά (7) δικτύων διακλάσεων με τα παρακάτω γεωμετρικά χαρακτηριστικά (κλίση/φορά κλίσης):

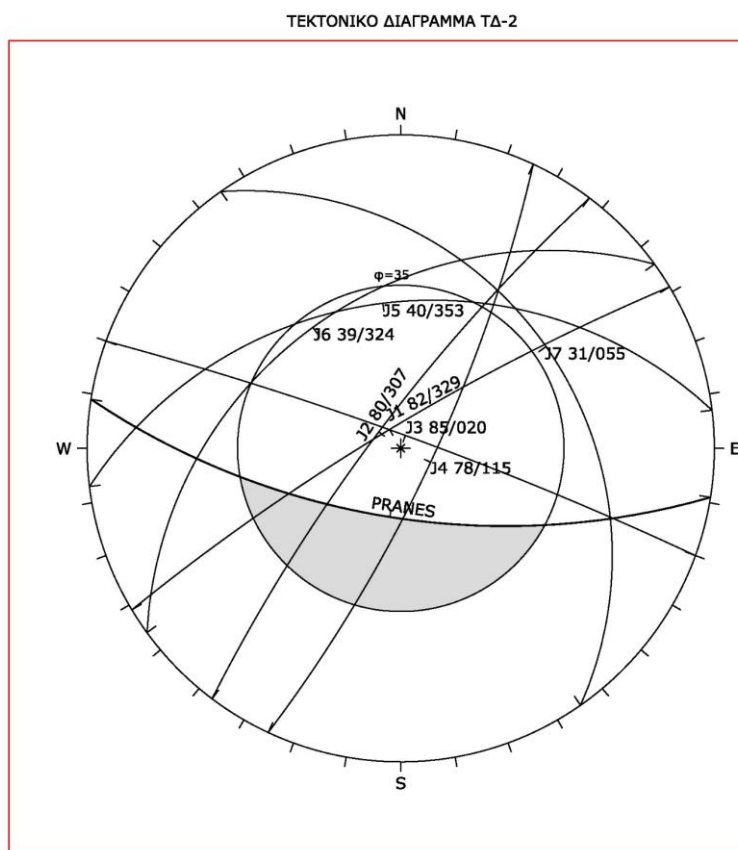
- Οικογένεια διακλάσεων J1:  $82^{\circ}/329^{\circ}$ ,
- Οικογένεια διακλάσεων J2:  $80^{\circ}/307^{\circ}$ ,
- Οικογένεια διακλάσεων J3:  $85^{\circ}/020^{\circ}$ ,
- Οικογένεια διακλάσεων J4:  $78^{\circ}/115^{\circ}$ ,
- Οικογένεια διακλάσεων J5:  $40^{\circ}/353^{\circ}$ ,
- Οικογένεια διακλάσεων J6:  $39^{\circ}/324^{\circ}$ ,
- Οικογένεια διακλάσεων J7:  $31^{\circ}/055^{\circ}$

Από τους παραπάνω συνδυασμούς επιπέδων, για μέση γεωμετρία πρανούς  $P=65/189$  και για μέση γωνία τριβής ασυνεχειών  $\phi=35^{\circ}$ , προκύπτουν οι εξής μηχανισμοί δυνητικών ολισθήσεων :

- Ανατροπές, εξαιτίας του επιπέδου J3



**Εικόνα 17.** Διάγραμμα κατανομής πόλων επιπέδων επί του συνόλου των μικροτεκτονικών μετρήσεων.



**Εικόνα 18.** Παρουσίαση τεκτονικού διαγράμματος ΤΔ – 2.

### 4.3. Προτεινόμενα μέτρα

#### 4.3.1. Γενικά

Από την ανάλυση που προηγήθηκε προκύπτει ότι υφίσταται αυξημένη επικινδυνότητα έναντι βραχωδών αποκολλήσεων για τις δύο εξεταζόμενες θέσεις των ασβεστολιθικών πρानών.

Στις θέσεις αυτές προτείνεται να κατασκευαστούν μέτρα, τα οποία (αποκλειστικά ή συνδυαστικά) θα περιλαμβάνουν:

- Πλέγματα επένδυσης πρानών ελεύθερα ή αγκυρούμενα,
- Μεταλλικούς φράχτες ανάσχεσης καταπτώσεων.

Ειδικότερα ως προς το δεύτερο μέτρο, κρίνεται απαραίτητη η προσομοίωση του φαινομένου των βραχοκαταπτώσεων με συγκεκριμένες παραδοχές που προέκυψαν από τα δεδομένα υπαίθρου, προκειμένου να διαστασιολογηθούν οι χρησιμοποιούμενοι φράχτες ως προς τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά (ικανότητα ανάσχεσης, ύψος, θέση τοποθέτησης).

### 4.3.2. Προσομοίωση βραχοκαταπτώσεων

#### Γενικά

Τα τελευταία χρόνια γίνεται συστηματική και διαρκώς εξελισσόμενη προσπάθεια μοντελοποίησης και προσομοίωσης των φαινομένων βραχοκατάπτωσης με σκοπό τον ακριβή καθορισμό και διαστασιολόγηση των απαιτούμενων μέτρων αναχαίτισης. Για το σκοπό αυτό, έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται διάφορα πακέτα λογισμικού. Ένα από τα πλέον διαδεδομένα και ευρέως χρησιμοποιούμενα αποτελεί το λογισμικό RocFall της εταιρείας Rocscience, το οποίο και χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας μελέτης.

Σε γενικές γραμμές το λογισμικό Rocfall είναι ένα δισδιάστατο πρόγραμμα ανάλυσης, το οποίο σχεδιάστηκε με σκοπό την αποτίμηση του κινδύνου από βραχοκαταπτώσεις σε περιοχές φυσικών και τεχνητών πρηνών.

Σύμφωνα με το λογισμικό αυτό, η κατάπτωση προσομοιώνεται κατά μήκος συγκεκριμένου εδαφικού προφίλ (τομής). Καθώς το τεμάχιο έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του φυσικού εδάφους, η κινητική του ενέργεια (ορθή και εφαπτομενική συνιστώσα της ταχύτητας) απομειώνεται σύμφωνα με τους εφαρμοζόμενους συντελεστές αναπήδησης  $R_n$  (κάθετος) και  $R_t$  (εφαπτομενικός), οι οποίοι εξαρτώνται άμεσα από τη φύση του γεωλογικού σχηματισμού. Το πρόγραμμα λαμβάνει επίσης υπόψη του τη γωνία τριβής, την τραχύτητα της επιφάνειας του φυσικού εδάφους (roughness) καθώς και τη γωνιακή ταχύτητα των πύπτοντων τεμαχίων.

Με τη χρήση του λογισμικού υπολογίζονται παράμετροι, όπως η ενέργεια, η ταχύτητα και το ύψος αναπήδησης των βραχοτεμαχίων καθώς και το σημείο όπου αυτά «καταλήγουν» επί πρηνούς δεδομένης γεωμετρίας. Δίνεται η δυνατότητα γραφικής απεικόνισης της κατανομής της μεταβολής των τιμών των μεγεθών αυτών, με αντίστοιχο υπολογισμό διάφορων στατιστικών μεγεθών. Με βάση τα δεδομένα αυτά, δίνεται η δυνατότητα «τοποθέτησης» μεταλλικών φρακτών επί της εξεταζόμενης τομής και εκ νέου προσομοιώσεων με σκοπό τη διερεύνηση της επάρκειας των τεχνικών τους χαρακτηριστικών για συγκεκριμένα γεγονότα καταπτώσεων.

Σε γενικές γραμμές, η ακριβής εκτίμηση της τροχιάς των βραχοτεμαχίων είναι δύσκολη και απαιτεί τον ακριβή προσδιορισμό πολλών παραγόντων, όπως του σημείου αποκόλλησης, της αρχικής ταχύτητας, της λεπτομέρειας του αναγλύφου και – κυρίως των γεωτεχνικών παραμέτρων που συναντώνται κατά μήκος της τροχιάς της κατάπτωσης.

Από τις γεωτεχνικές παραμέτρους, ιδιαίτερα κρίσιμος είναι ο προσδιορισμός αντιπροσωπευτικών τιμών για το συντελεστή αναπήδησης των γεωλογικών υλικών ( $R_n$  και  $R_t$ ) καθώς και της γωνίας τριβής. Σε γενικές γραμμές, τα συμπαγή και άρρηκτα πετρώματα παρουσιάζουν υψηλότερους συντελεστές σε σχέση με τα «μαλακότερα» πετρώματα ή τους εδαφικούς σχηματισμούς (κορήματα κλπ).

Η εκτίμηση των συντελεστών αναπήδησης μπορεί να γίνει :

- Με βάση ανάδρομες αναλύσεις πτώσεων βράχων με γνωστές τροχιές ή
- Με βάση εργαστηριακές δοκιμές όπου διερευνάται η τροχιά κατά την πτώση ενός τεμαχίου υπό κλίμακα εργαστηρίου



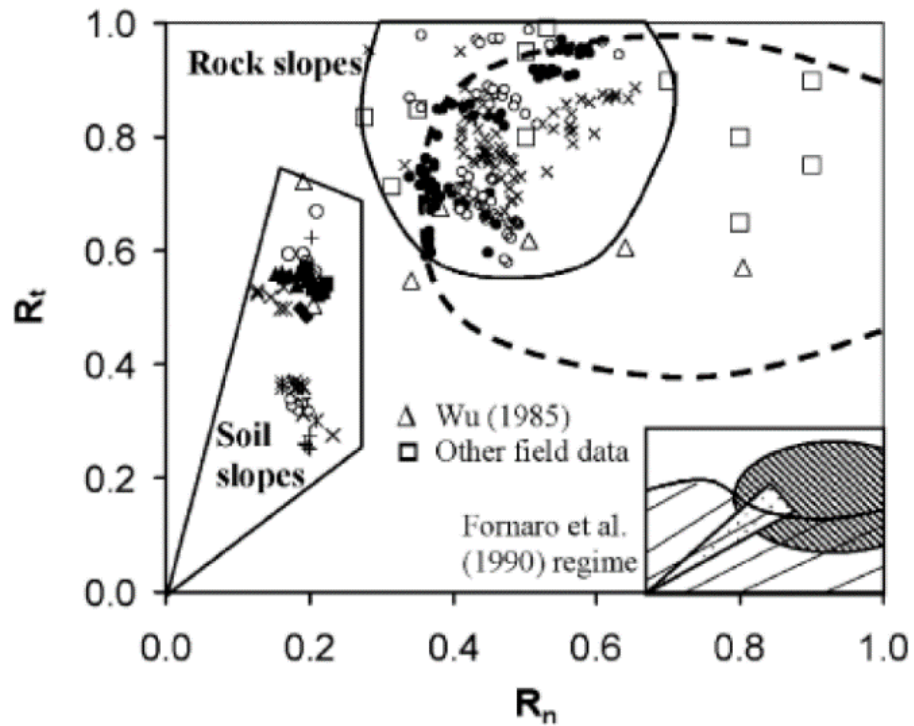
Τέτοιου είδους ερευνητικές εργασίες έχουν γίνει στο παρελθόν από διάφορους ερευνητές, οι οποίοι έχουν καταλήξει σε συγκεκριμένα εύρη τιμών για τους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς.

Χαρακτηριστικά, αναφέρονται οι εξής περιπτώσεις από τον Ελλαδικό και Διεθνή χώρο:

- Ο Hoek (1987) υπολογίζει τιμές  $R_n$  και  $R_t$  ίσες με 0,53 και 0,99 αντίστοιχα για συμπαγή βράχο. Ο ίδιος, υπολογίζει τις αντίστοιχες τιμές σε κορηματικά υλικά ίσες με 0,32 και 0,8 αντίστοιχα.
- Οι Gianni (1992), Barbieri et al. (1988) προσδιορίζουν τιμές  $R_n=0.5$  και  $R_t=0.95$  για βραχώδεις περιοχές γενικώς ενώ για ομοίμορφα κορήματα, οι αντίστοιχες τιμές που δίνονται είναι 0,3 και 0,7.
- Οι Pfeiffer and Bowen (1989) προσδιόρισαν εύρη τιμών συντελεστή  $R_n$  0.33-0.37 και συντελεστή  $R_t$  0.83 – 0.87 για περιοχές που καλύπτονται από βράχους ή ογκόλιθους με λίγη βλάστηση ή έδαφος. Οι ίδιοι προσδιορίζουν τις παραπάνω τιμές σε 0,3-0,33 ( $R_n$ ) και 0,80-0,83 ( $R_t$ ) για περιοχές συνεκτικών κορημάτων με βλάστηση.
- Οι Azzoni and de Freitas (1995), βασιζόμενοι σε επιτόπου δοκιμές προσδιόρισαν ότι ο συνολικός συντελεστής αναπήδησης είναι μεταξύ 0,51 και 0,92 για τον ασβεστόλιθο και μεταξύ 0,32 και 0,65 για ασβεστολιθικά κορήματα.
- Οι Robotham et al. (1995), προτείνουν για ασβεστολίθους τιμές κάθετου  $R_n$  και εφαπτομενικού συντελεστή αναπήδησης  $R_t$  ίσες με 0,315 και 0,712 αντίστοιχα, μετά από επιτόπου δοκιμές
- Οι Chau et al. (2002) βασιζόμενοι σε εργαστηριακές δοκιμές και παραδείγματα από τη βιβλιογραφία παρουσίασαν τη συσχέτιση των τιμών των συντελεστών  $R_n$  και  $R_t$  για διάφορα υλικά (Εικόνα 19),
- Οι Σαρόγλου και συν. (2010) προσδιόρισαν εύρη τιμών για τους συντελεστές  $R_n$  και  $R_t$  μετά από επίλυση ανάδρομων αναλύσεων σε ασβεστολιθικά πρανή του Ελλαδικού χώρου για τα οποία ήταν γνωστή η τροχιά των τεμαχίων. Πιο συγκεκριμένα, οι αναλύσεις έγιναν στις περιοχές «Πρανές Κακιάς Σκάλας», «Πρανές Σκύρου» και «Πρανές Μονεμβασιάς». Προσδιορίστηκαν εύρη τιμών 0,35 – 0,46 για το συντελεστή  $R_n$  και 0,77 - 0,83 για το συντελεστή  $R_t$ . Η γωνία τριβής των σχηματισμών κυμάνθηκε μεταξύ 32° και 35°.
- Στη νήσο Θήρα, στην περιοχή της καλδέρας, χρησιμοποιήθηκαν για σχηματισμούς πλευρικών κορημάτων, τιμές κάθετου  $R_n$  και εφαπτομενικού συντελεστή αναπήδησης  $R_t$ , ίσες με 0,32 και 0,82 αντίστοιχα (ΕΚΠΑ, ερευνητικό πρόγραμμα).
- Στην περιοχή Τιθορέας Φωκίδας, χρησιμοποιήθηκαν για σχηματισμούς πλευρικών κορημάτων, καλυπτόμενων από βλάστηση, τιμές κάθετου  $R_n$  και εφαπτομενικού συντελεστή αναπήδησης  $R_t$ , ίσες με 0,40 και 0,83 αντίστοιχα. Στην ίδια μελέτη, για συμπαγείς ασβεστολίθους καλυπτόμενους από πυκνή βλάστηση, χρησιμοποιήθηκαν τιμές  $R_n$  και  $R_t$ , ίσες με 0,50 και 0,91 αντίστοιχα. Οι παραπάνω τιμές επαλήθευσαν διαπιστωμένα και καταστροφικά γεγονότα βραχοκαταπτώσεων (Λιαλιάρης, 2016).

- Στην περιοχή Νάξου (Σκαδό), χρησιμοποιήθηκαν για κώνο αδρομερών κορημάτων, τιμές κάθετου  $R_n$  και εφαπτομενικού συντελεστή αναπήδησης  $R_t$ , ίσες με 0,35 και 0,83 αντίστοιχα. Στην ίδια μελέτη, για συμπαγή μάρμαρα, χρησιμοποιήθηκαν τιμές  $R_n$  και  $R_t$ , ίσες με 0,48 και 0,82 αντίστοιχα. Οι παραπάνω τιμές, επίσης επαλήθευσαν διαπιστωμένα και καταστροφικά γεγονότα βραχοκαταπτώσεων (Λιαλιάρης, 2011).

Επίσης, εντός του λογισμικού Rockfall υπάρχει σχετική βιβλιοθήκη με προτεινόμενες τιμές ανά γεωλικό.



Εικόνα 19. Διακύμανση των συντελεστών  $R_n$  και  $R_t$  (Chau et al., 2002).

#### 4.3.3. Αποτελέσματα ελέγχων

Η προσομοίωση των βραχοκαταπτώσεων έγινε κατά μήκος της δυσμενέστερης τομής αναγλύφου για κάθε εξεταζόμενη θέση. Ως εκ τούτου, πραγματοποιήθηκαν δύο (2) έλεγχοι, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται παρακάτω.

Σύμφωνα με τις γεωτεχνικές παρατηρήσεις, κατά μήκος των τομών διαχωρίστηκε μία γεωτεχνική ενότητα σε ότι αφορά τις παραμέτρους εισόδου στο λογισμικό Rocfall. Η ενότητα αυτή αντιστοιχεί στους ασβεστόλιθους που δομούν τα πρανή, τα οποία στερούνται βλάστησης.

Η μέγιστη θεωρούμενη μάζα αποκολληθέντος τεμάχους λήφθηκε ίση με 10tn (~4m<sup>3</sup>), σύμφωνα με τα δεδομένα που προέκυψαν από την ανάλυση των ασυνεχειών.

Για την αποτίμηση των παραμέτρων εισόδου, δεδομένου ότι δεν υπάρχει γεγονός κατάπτωσης με γνωστή τροχιά και κατάληξη βραχοτεμάχους, έγινε παραμετρική προσέγγιση

με χρήση παραμέτρων από παρόμοιους σχηματισμούς σε άλλες περιοχές. Οι χαρακτηριστικές παράμετροι που τελικά προτιμήθηκαν ήταν αυτές βάσει των οποίων προέκυψαν ρεαλιστικές τροχιές βραχοτεμαχών.

Εν τέλει, οι παράμετροι εισόδου συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

**Πίνακας 4.** Χρησιμοποιούμενες παράμετροι εισόδου για τη χρήση του λογισμικού Rocfall.

Γεωτεχνική ενότητα: Ασβεστολιθικές προεξοχές χωρίς βλάστηση			
	Μέση τιμή	Στατιστική κατανομή	Τυπική απόκλιση
Κάθετος συντελεστής αναπήδησης ( $R_n$ )	0,35	Κανονική	0,04
Εφαπτομενικός συντελεστής αναπήδησης ( $R_t$ )	0,85	Κανονική	0,04
Γωνία τριβής	30	Κανονική	2
Μεταβλητότητα μορφολογικής κλίσης, λόγω τραχύτητας αναγλύφου	± 5°		

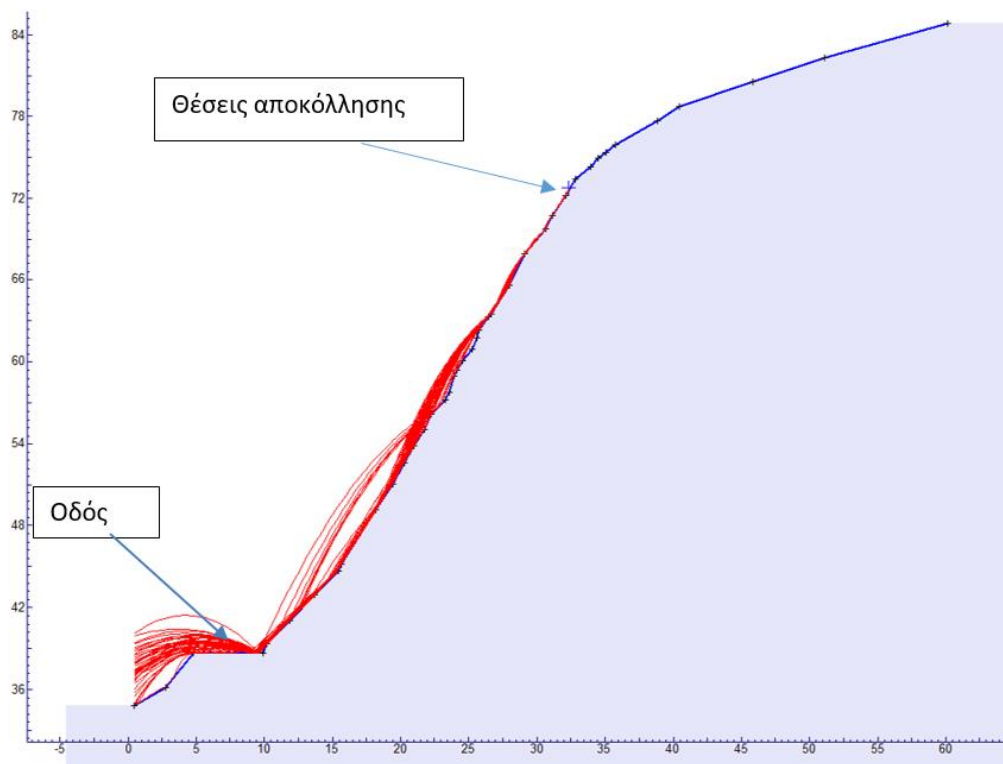
Τα αποτελέσματα των ελέγχων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 5.** Αποτελέσματα ελέγχου προσομοίωσης βραχοκαταπτώσεων κατά μήκος των τομών T3 έως T9 (χ.θ. από 0+140 έως 0+250).

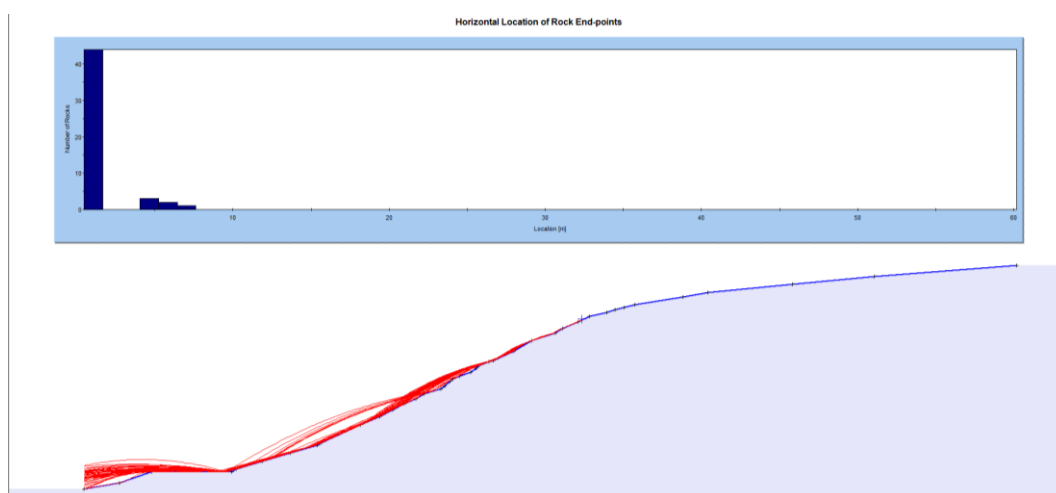
ΘΕΣΗ	Μέγιστο απόλυτο υψόμετρο τομής	Απόλυτο υψόμετρο οδού	Απόλυτο υψόμετρο θέσης/εων αποκόλλησης	Max μέγεθος βραχο-τεμαχούς (tn)	Προσο-μοιούμενα βραχοτεμάχια ανά επίλυση (πλήθος)	Ενέργεια προς απόσβεση (kJ)*	max ύψος αναπήδησης* (m)	Υψόμετρο βέλτιστης τοποθέτησης φράχτη	Ποσοστό τεμαχίων που κατέληξαν στην οδό
1	+80	+40	+72	10	50	<b>1.770</b>	3,4	+48 έως +50	88%
2	+320	+270	+300	10	50	<b>1.534</b>	1,0	+274 έως + 276	94%

\* Αφορά στην ελάχιστη προς απόσβεση ενέργεια βραχοτεμαχούς και το αντίστοιχο ύψος αναπήδησης, σε θέση βέλτιστης τοποθέτησης φράχτη.

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων βραχοπτώσεων, για τις τομές εκείνες όπου απαιτείται η λήψη μέτρων, απεικονίζονται γραφικά στις παρακάτω εικόνες.

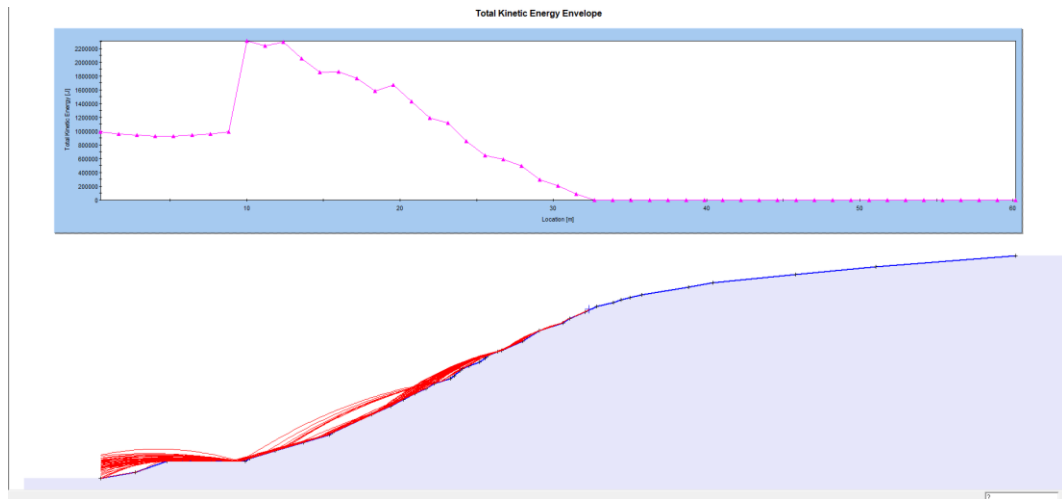


**Εικόνα 20.** Αποτελέσματα προσομοίωσης βραχοτεμαχών κατά μήκος της τομής ελέγχου πρανούς στη θέση 1.

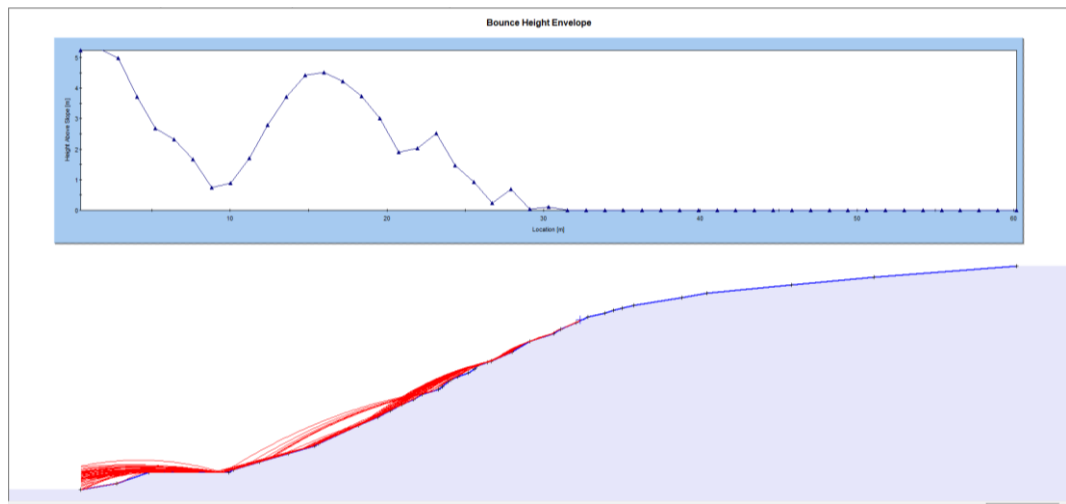


**Εικόνα 21.** Ιστόγραμμα θέσης κατάληξης βραχοτεμαχών.

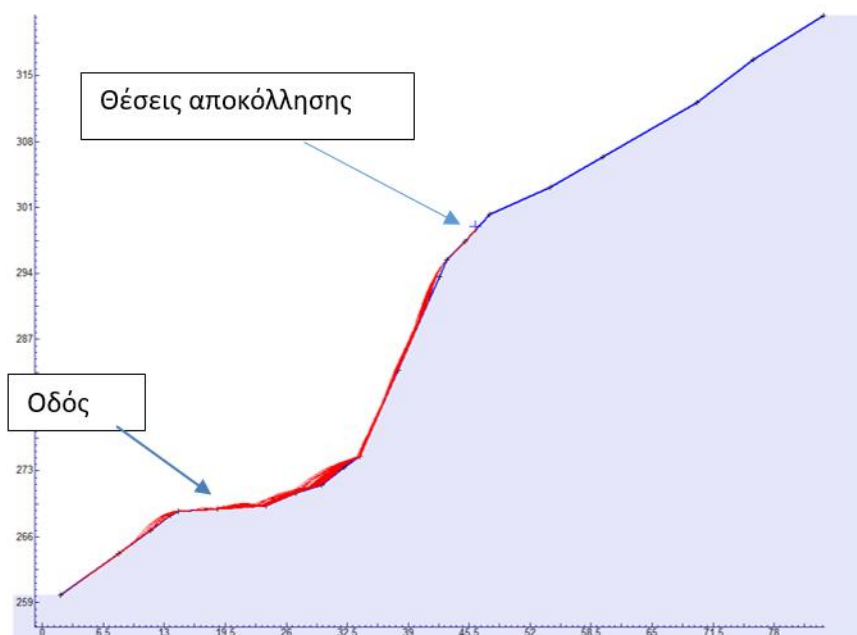




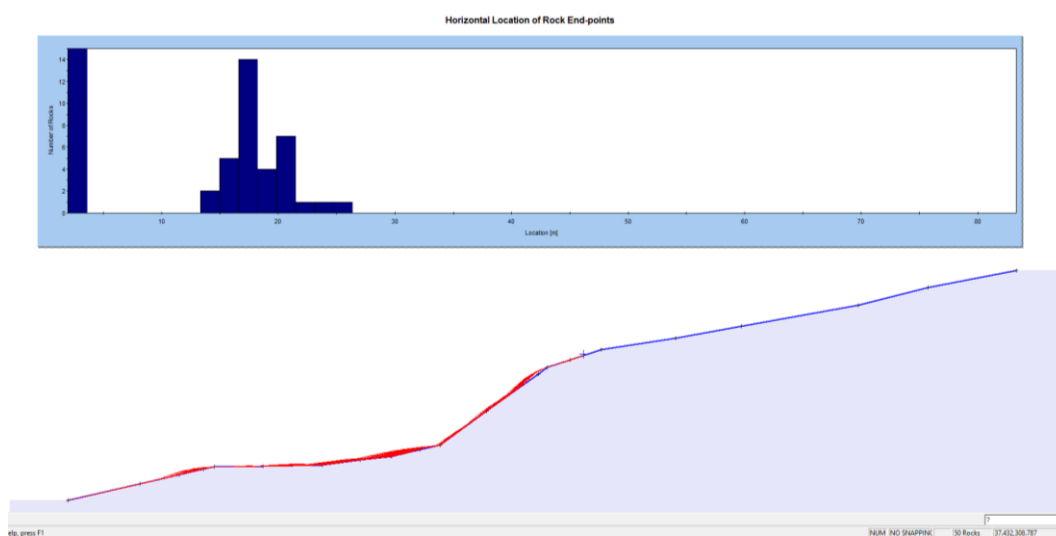
Εικόνα 22. Διάγραμμα μεταβολής μέσης ενέργειας τεμαχών κατά μήκος της τομής στη θέση 1.



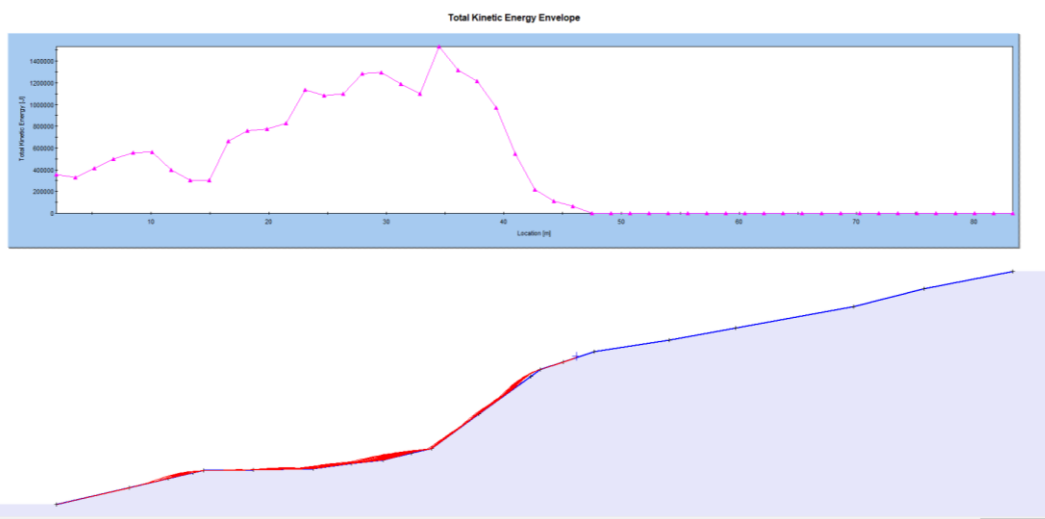
Εικόνα 23. Διάγραμμα μεταβολής ύψους αναπήδησης τεμαχών κατά μήκος της τομής στη θέση 1.



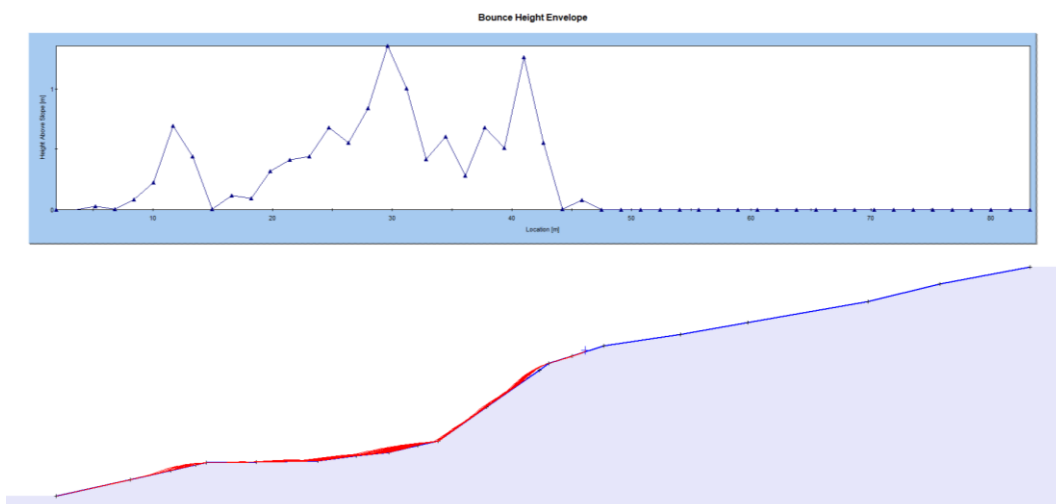
**Εικόνα 24.** Αποτελέσματα προσομοίωσης βραχοτεμαχών κατά μήκος της τομής ελέγχου πρσανούς στη θέση 3.



**Εικόνα 25.** Ιστόγραμμα θέσης κατάληξης βραχοτεμαχών.



**Εικόνα 26.** Διάγραμμα μεταβολής μέσης ενέργειας τεμαχών κατά μήκος της τομής στη θέση 3.



**Εικόνα 27.** Διάγραμμα μεταβολής ύψους αναπήδησης τεμαχών κατά μήκος της τομής στη θέση 3.

#### 4.3.4. Διαστασιολόγηση παθητικών μέτρων προστασίας (φρακτών ανάσχεσης)

Οι προσομοιώσεις καταπτώσεων αποτελούν το βασικό εργαλείο για τη σωστή διαστασιολόγηση ενός εύκαμπτου συστήματος ανάσχεσης (μεταλλικού φράκτη).

Η διαστασιολόγηση περιλαμβάνει κυρίως τρεις παραμέτρους :

- i. ικανότητα ανάσχεσης (kJ),
- ii. ύψος φράκτη και

iii. θέση (στάθμη) θεμελίωσης επί του εξεταζόμενου πρανούς.

Για τη σωστή διαστασιολόγηση, υπάρχουν συγκεκριμένες μεθοδολογίες, οι οποίες εφαρμόζουν επιμέρους συντελεστές ασφαλείας στις παραμέτρους που καθορίζουν την τελική επιλογή του μεταλλικού φράκτη.

Μία από τις πλέον διαδεδομένες είναι η μεθοδολογία ONR 24180 η οποία είναι από τις πλέον σύγχρονες και καλύπτει τις απαιτήσεις του Ευρωκώδικα, καθώς ο EC7 δεν παρέχει οδηγίες για την περίπτωση βροχοπτώσεων.

Η φιλοσοφία της μεθοδολογίας αυτής βασίζεται σε διαχωρισμό κλάσεων βαρύτητας επιπτώσεων (consequence classes) οι οποίες έχουν ως εξής στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 6.** Περιγραφή και παραδείγματα για κάθε κλάση βαρύτητας επιπτώσεων (consequence class).

Consequence class (CC)	Περιγραφή	Παραδείγματα
CC1	Χαμηλός κίνδυνος έναντι απώλειας ζωής ή μέτριες οικονομικές επιπτώσεις	Αγροτικές αποθήκες, στάβλοι κλπ
CC2	Μέσος κίνδυνος έναντι απώλειας ζωής ή αξιοσημείωτες οικονομικές επιπτώσεις	Κατοικίες, κτίρια γραφείων κλπ
CC3	Υψηλός κίνδυνος έναντι απώλειας ζωής η αξιοσημείωτες οικονομικές επιπτώσεις	Δημόσια κτίρια, σχολεία, νοσοκομεία

Για την υπό διερεύνηση περιοχή έγινε χρήση των μέγιστων επιμέρους συντελεστών ασφαλείας που αντιστοιχούν στην κλάση CC3.

Συγκεκριμένα, η επάρκεια ενέργειας του φράκτη προκύπτει από την σύγκριση της ενέργειας πρόσκρουσης σχεδιασμού ( $T_{E,d}$ ) με την ενέργεια απορρόφησης σχεδιασμού του φράκτη ( $T_{R,d}$ ) σύμφωνα με τη σχέση 1:

$$T_{E,d} \leq T_{R,d} \quad (1)$$

Όπου

$$T_{E,d} = T_{E,k} \cdot Y_{E,kin}$$

$$T_{R,d} = T_{k,MEL} / Y_{T,R}$$

$T_{k,MEL}$  : Απορρόφηση ενέργειας μέγιστης ενεργειακής στάθμης (MEL) σύμφωνα με ΕΤΑΓ-027.

$T_{E,d}$  : Υπολογιζόμενη ενέργεια πρόσκρουσης σύμφωνα με στοχαστική ανάλυση τροχιάς. Οι μερικοί συντελεστές ασφάλειας ( $Y_{E,kin}$ ) και ( $Y_{T,R}$ ) για τις δράσεις και τις αντοχές αντίστοιχα για την περίπτωση CC3 High Consequences Class (EC 1990:2003) παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 7.** Μερικοί συντελεστές ασφάλειας ( $Y_{E,kin}$ ) και ( $Y_{T,R}$ ) για τις δράσεις και τις αντοχές αντίστοιχα για κάθε κλάση βαρύτητας (consequence classes – CC).

	CC1	CC2	CC3
$Y_{E,kin}$	1.0	1.05	1.15
$Y_{T,R}$	1.0	1.05	1.15

Η επάρκεια του ύψους αναπήδησης σε σχέση με το ύψος του φράχτη πραγματοποιείται συγκρίνοντας το ύψος αναπήδησης σχεδιασμού ( $h_{E,d}$ ) με το χαρακτηριστικό ύψος σχεδιασμού του φράχτη ( $h_{R,d}$ ) σύμφωνα με τη σχέση (2). Το ύψος αναπήδησης σχεδιασμού ( $h_{E,d}$ ) υπολογίζεται ως το μέγιστο ύψος στο 95% των τροχιών σχεδιασμού.

$$h_{E,d} \leq h_{R,d} \quad (2)$$

Όπου

$$h_{E,d} = h_{E,k \text{ MEL}} \cdot a_1$$

$$h_{R,d} = h_{R,k} / a_2$$

$h_{E,k \text{ MEL}}$  : Ύψος αναπήδησης μέγιστης ενεργειακής στάθμης (MEL) σύμφωνα με ΕΤΑΓ-027 για το 95% των τροχιών,

$h_{R,k}$  : Χαρακτηριστικό ύψος φράχτη.

Οι μερικοί συντελεστές ασφάλειας ( $a_1$ ) και ( $a_2$ ) για την περίπτωση CC3 High Consequences Class (EC 1990:2003) παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 8.** Μερικοί συντελεστές ασφάλειας ( $a_1$ ) και ( $a_2$ ) για τις δράσεις και τις αντοχές αντίστοιχα για κάθε κλάση βαρύτητας (consequence classes – CC).

	CC1	CC2	CC3
$a_1$	1.05	1.10	1.30
$a_2$	1.00	1.05	1.10

Σε ότι αφορά τη μέγιστη επιμήκυνση του φράχτη, εφαρμόζεται ενιαίος επιμέρους συντελεστής ασφαλείας  $a_4 = 1,2$  στις προδιαγραφές του κατασκευαστή ενώ επί του αποτελέσματος προστίθεται επιπλέον απόσταση  $D=1m$ .

Από την εφαρμογή των παραπάνω προκύπτει η αναγκαιότητα τοποθέτησης μεταλλικών φρακτών, δυναμικότητας 3000kJ για τη θέση 1 και 2000kJ για τη θέση 2, με ύψος 4m και στις

δύο θέσεις (λόγω κατασκευαστικών περιορισμών και πιστοποιήσεων των προϊόντων από τους κατασκευαστές).

#### 4.3.5. Σύνομη τεχνική περιγραφή

Τα προτεινόμενα μέτρα και για τις δύο θέσεις περιλαμβάνουν, όπως προαναφέρθηκε :

- Πλέγματα επένδυσης πρανών ελεύθερα ή αγκυρούμενα,
- Μεταλλικούς φράχτες ανάσχεσης καταπτώσεων.

Ως προς τους μεταλλικούς φράχτες, η σύνομη περιγραφή τους έχει ως εξής :

Γενικά, οι φράκτες ανάσχεσης βραχοπτώσεων (rockfall barriers) αποτελούν εύκαμπτα συστήματα ανάσχεσης που μπορούν να προστατεύσουν από φαινόμενα βραχοπτώσεων με ενέργεια πρόσκρουσης από 100 έως 10.000 KJ (ανάλογα με την εταιρεία κατασκευής και τον τύπο του φράκτη). Σε γενικές γραμμές αποτελούνται από:

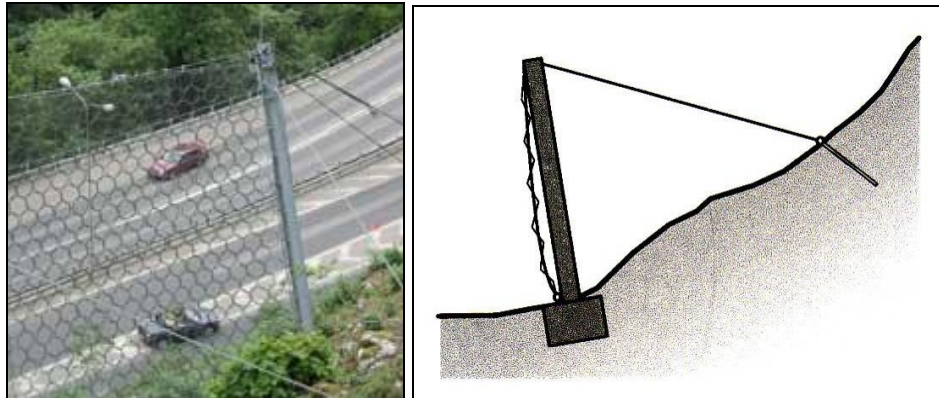
- Στύλους (ορθοστάτες) από γαλβανισμένο μορφοσίδηρο τύπου HEB/HEA με μεταλλική βάση.
- Γαλβανισμένο πλέγμα από συρματόσχοινα, ενισχυμένο με οριζόντια γαλβανισμένα συρματόσχοινα, που συγκρατούνται στους στύλους.
- Γαλβανισμένα συρματόσχοινα στήριξης της κορυφής των ορθοστατών.
- Δακτυλιωτά φρένα, αποσβεστήρες ενέργειας.
- Αγκύρια της διάταξης στήριξης.

Οι διαστάσεις, η ποιότητα των υλικών καθώς και οι τεχνικές προδιαγραφές τους είναι τυποποιημένες (ETAG 027, EAD 340059-00-0106) και συνοδεύονται από σχετικά πιστοποιητικά, ανάλογα με τον προμηθευτή. Η τυπική άποψη τέτοιων διατάξεων παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.

Τα συστήματα αυτά είναι πολύ αποτελεσματικά για την ανάσχεση των βραχοπτώσεων και «φιλικά» από περιβαλλοντική άποψη, καθώς διαθέτουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Προσαρμοστικότητα στις εκάστοτε μορφολογικές ιδιαιτερότητες, χάρη στην αρθρωτή δομή του συστήματος, τον συνδυασμό ειδικών εξαρτημάτων και την πολυμορφία των βάσεων στήριξης, οι οποίες μπορούν να προσαρμοστούν σχετικά εύκολα.
- Δεν απαιτείται ιδιαίτερος «χώρος» για την εγκατάστασή τους, γεγονός που επιφέρει πολύ περιορισμένες αποψιλώσεις σε δασικές περιοχές.
- Σχετική ευκολία στην τοποθέτηση, χάρη στην αρθρωτή δομή του συστήματος, την τοποθέτηση μεμονωμένων εξαρτημάτων, τον περιορισμένο αριθμό διατρημάτων για τη θεμελίωση των ορθοστατών και για την αγκύρωση των συρματόσχοινων.
- Ευκολία στην συντήρηση, χάρη στην αρθρωτή δομή του συστήματος, την εύκολη συναρμολόγηση-αποσυναρμολόγηση των μεμονωμένων εξαρτημάτων.
- Περιορισμένες παραμορφώσεις και διατήρηση επαρκούς ύψους της προστατευτικής ασπίδας μετά την πρόσκρουση βράχου στο εύκαμπτο πέτασμα ανάσχεσης.

- Αποτελεσματικότητα σε ταυτόχρονες προσκρούσεις σε διάφορα τμήματα του φράκτη ή σε δευτερεύουσες προσκρούσεις στο ίδιο τμήμα χάρη στη σύνδεση όλων των τμημάτων του και την συνεργασία ολόκληρης της εμπρόσθιας πλευράς κατά τη διάρκεια της πρόσκρουσης.
- Μικρή περιβαλλοντική επιβάρυνση χάρη στη οπτική διαπερατότητα και τα στοιχεία της κατασκευής τα οποία δύναται να έχουν διαφορετική απόχρωση ανάλογα με τον περιβάλλοντα χώρο.



**Εικόνα 28.** Τυπική διάταξη συστημάτων ανάρρησης πτώσης βράχων απορρόφησης ενέργειας.

### Μεθοδολογία κατασκευής

Αναφορικά με την τοποθέτησή τους, ισχύουν τα εξής :

- Οι φράκτες θα πρέπει να διαθέτουν τα κατάλληλα πιστοποιητικά που θα αποδεικνύουν την επάρκειά τους. Οι δοκιμές για την χορήγηση του πιστοποιητικού του συστήματος θα έχουν πραγματοποιηθεί, σύμφωνα με την Οδηγία ETAG-027.
- Η συναρμολόγηση θα γίνεται, σύμφωνα με τις σχετικές οδηγίες του κατασκευαστή, από έμπειρο προσωπικό, υπό την επίβλεψη εξειδικευμένου τεχνικού του εργοστασίου παραγωγής ή του προμηθευτή του συστήματος.
- Διαφοροποιήσεις σε σχέση με την απεικονιζόμενη θέση εγκατάστασης (πχ αποκλίσεις από την ευθυγραμμία, υψομετρικές διαφορές διαδοχικών ορθοστατών κλπ.) είναι δυνατόν να προκύπτουν, σύμφωνα πάντα με τους περιορισμούς που τίθενται από τον κατασκευαστή των συστημάτων.
- Η απόσταση των στύλων δε θα πρέπει να διαφέρει  $\pm 2m$  από αυτή που χρησιμοποιείται στις δοκιμές πιστοποίησης.
- Σε περιπτώσεις δυσμενούς μορφολογίας του εδάφους ή/και αναγκαιότητας κεκλιμένης τοποθέτησης της βάσης έδρασης, προτείνεται η κατασκευή θεμελίου από σκυρόδεμα, οι διαστάσεις του οποίου διαφέρουν από θέση σε θέση.
- Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ φράκτη και στάθμης προστασίας (επαρχιακή οδός) θα πρέπει να είναι 1.2X τη μέγιστη επιμήκυνση, σύμφωνα με το πιστοποιητικό δοκιμής +1m (βλ. ONR 24180).
- Όπου εξαιτίας τοπογραφικής ανωμαλίας υπάρχει κενό κάτω από το φράκτη αυτό θα πρέπει να πληρώνεται με πλέγμα ίδιο με το φράκτη και να αγκυρώνεται επί του εδάφους.
- Τα ανάντη και κατόντη καλώδια συγκράτησης θα πρέπει να τοποθετούνται σε αποστάσεις και γωνίες σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του πιστοποιητικού που συνοδεύουν το φράκτη.



- Οι αγκυρώσεις παραλαβής των φορτίων των καλωδίων θα έχουν την φέρουσα ικανότητα που συνιστά ο κατασκευαστής του συστήματος ανάσχεσης. Το αυτό ισχύει και για τις λοιπές προβλεπόμενες διατάξεις θεμελίωσης των φρακτών.
- Το είδος, η διάμετρος και το μήκος των αγκυριών που θα χρησιμοποιηθούν για τη θεμελίωση των φρακτών (έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του κατασκευαστή ως προς τη φέρουσα ικανότητα), καθώς και η πιθανή χρήση σκυροδέματος (και ο τύπος αυτού) στην περιοχή θεμελίωσης των ορθοστατών, θα αποτελέσουν αντικείμενο ειδικής γεωτεχνικής μελέτης, η οποία αποτελεί υποχρέωση του Αναδόχου του έργου.

Ο Επιστημονικός Υπεύθυνος



Δρ. Ευθύμης Λέκκας

Καθηγητής  
Δυναμικής, Τεκτονικής, Εφαρμοσμένης  
Γεωλογίας και  
Φυσικών Καταστροφών

## 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ανδρονόπουλος, Β. και συν. (1993). Γεωτεχνικός Χάρτης της Ελλάδος, κλίμακας 1:500.000. Έκδοση ΙΓΜΕ, 1993.

Sabatoukakis, N., Koukis, G., Vassiliades, E., Lainas, S. (2013). Landslide susceptibility zonation in Greece. *Nat Hazards* (2013) 65:523–543, DOI 10.1007/s11069-012-0381-4.

