Εφαρμογή μεθόδων αναγνώρισης ασυνεχειών από πυκνό νέφος σημείων για τη μελέτη ορυγμάτων σε νέους αυτοκινητοδρόμους

Application of discontinuity identification methods from dense point clouds for cut slope design in new motorway

ΤΣΟΥΤΣΑΣ, Δ.	Μηχανικός Μεταλλείων MSc, ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε.
ΤΥΡΗ, Δ.	Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε.
ΓΚΙΚΑΣ, Β.	Δρ. Μηχανικός Μεταλλείων, ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε.
ΚΑΡΙΝΤΖΗΣ, Β.	Γεωλόγος MSc, ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε.
ΦΙΚΙΡΗΣ, Ι.	Πολιτικός Μηχανικός MSc, DIC, ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε.
ΝΤΟΥΝΙΑΣ, Γ.	Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε.
ΣΤΕΡΓΙΟΥ, Ε.	Γεωλόγος MSc, ΤΕΡΝΑ Α.Ε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Η χάραξη του νέου αυτοκινητοδρόμου σύνδεσης του ΒΟΑΚ με το Νέο Διεθνή Αερολιμένα Ηρακλείου Κρήτης, διέρχεται σε σημαντικό τμήμα της από ημιορεινό ανάγλυφο. Στην παρούσα δημοσίευση παρουσιάζεται η εφαρμογή μεθόδου αναγνώρισης ασυνεχειών από πυκνά νέφη σημείων, που προέρχονται από τη χρήση εναέριων, μη επανδρωμένων μέσων, η παραγωγή τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου υφιστάμενων πρανών και η σύγκριση με αποτελέσματα μετρήσεων με γεωλογική πυξίδα. Τα ανωτέρω αποτέλεσαν το υπόβαθρο για τη γεωτεχνική μελέτη ασβεστολιθικών ορυγμάτων με την εφαρμογή μεθόδων προσομοίωσης των ασυνεχειών της βραχομάζας ως διακριτά στοιχεία.

ABSTRACT : The new motorway connecting VOAK with the New Heraklion International Airport of Crete, crosses, along a significant length, a relatively hilly terrain. The paper presents the method applied for the identification of discontinuities from dense point clouds, based on the outcome from aerial, unmanned vehicles, the creation of a 3D digital model of existing slopes and the comparison with conventional geological compass measurements. Such outcome was used for the geotechnical design of limestone cut slopes by applying methods for simulating rock mass discontinuities as discrete elements.

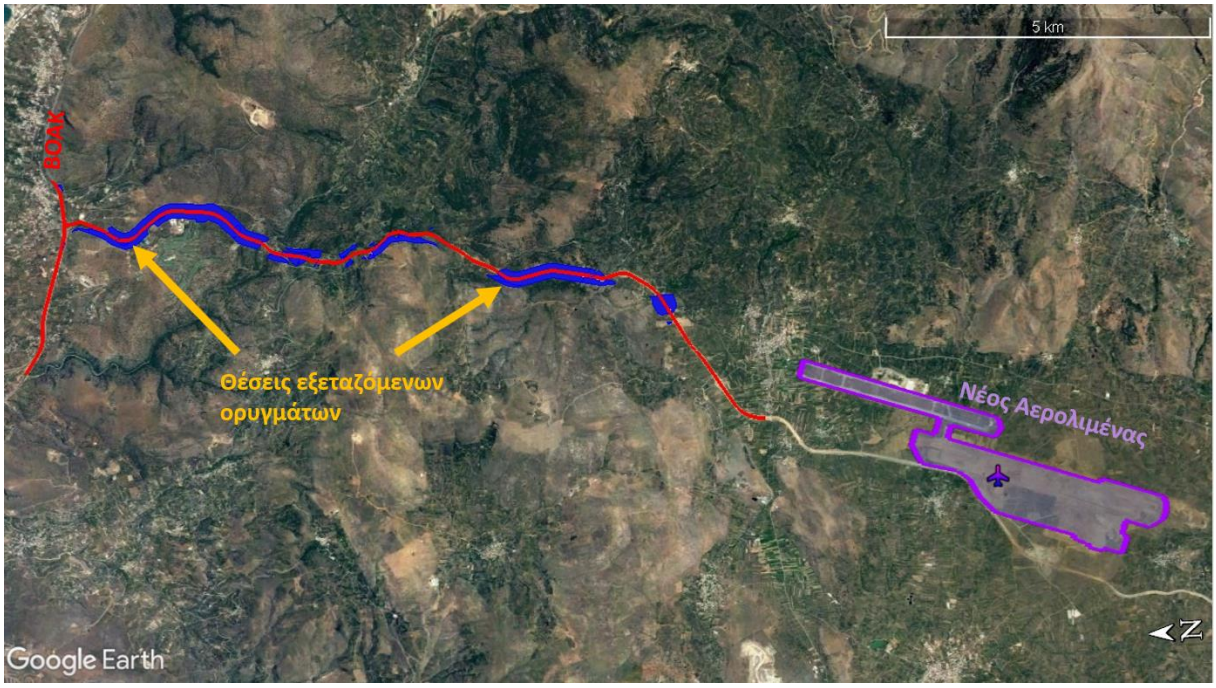
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για την ασφαλέστερη και ταχύτερη πρόσβαση στον Νέο Διεθνή Αερολιμένα Ηρακλείου Κρήτης μέσω του αυτοκινητόδρομου ΒΟΑΚ κατασκευάζεται νέος κλειστός αυτοκινητόδρομος με δύο λωρίδες και Λ.Ε.Α ανά κλάδο. Η νέα οδική αρτηρία μήκους περίπου 18km προβλέπεται να συνδεθεί με τον υφιστάμενο ΒΟΑΚ, στο ύψος του υφιστάμενου κόμβου Χερσονήσου. Η χάραξη μεταξύ των Χ.Θ. 0+800 έως Χ.Θ. 3+300 και μεταξύ των Χ.Θ. 7+400 έως Χ.Θ. 9+000 διέρχεται από ημιορεινό – λοφώδες βραχώδες ανάγλυφο, συχνά μέσω ορυγμάτων, μερικά εκ των οποίων σημαντικού ύψους. Η ευστάθεια των βραχωδών πρανών εξαρτάται πρωτίστως από την παρουσία ασυνεχειών, όπως ρήγματα, ζώνες διάτμησης, στρώσεις και διακλάσεις. Ακόμα, εξαρτάται από την παρουσία νερού εντός αυτών, την ποιότητα των τοιχωμάτων της ασυνέχειας (τραχύτητα, αποσάθρωση, αντοχή, γωνία τριβής) και τον σχετικό προσανατολισμό των ασυνεχειών και του πρανούς που διαμορφώνονται κατά την εκσκαφή. Η ISRM (1978) έχει καθιερώσει ένα συνδυασμό παραμέτρων για την περιγραφή της κατάστασης των ασυνεχειών που περιλαμβάνουν την απόσταση, το ίχνος, την τραχύτητα, το άνοιγμα, την αντοχή του τοιχώματος, το υλικό πλήρωσης, την παρουσία νερού και τον αριθμό των ασυνεχειών που ορίζουν το μέγεθος του στοιχειώδους τεμάχους. Συνεπώς, η μελέτη ευστάθειας των βραχωδών

ορυγμάτων προϋποθέτει την αποτύπωση και μελέτη του δικτύου ασυνεχειών της βραχομάζας, η λεπτομέρεια των οποίων εξαρτάται από το στάδιο της μελέτης.

Η χρήση μη επανδρωμένων μέσων για την αποτύπωση της δομής της βραχόμαζας στα βραχώδη πρανή προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις πιο συμβατικές μεθόδους. Συγκεκριμένα, η χρήση μη επανδρωμένων μέσων προσφέρει πιο ασφαλείς συνθήκες εργασίας, μειώνοντας, μεταξύ άλλων, την έκθεση σε πιθανούς κινδύνους λόγω παρουσίας σε δυσπρόσιτες περιοχές και την εργασία σε μεγάλα ύψη. Τα εναέρια μη επανδρωμένα μέσα έχουν τη δυνατότητα λήψης καταγραφών υψηλής ανάλυσης σε όλη την επιφάνεια του πρανούς γρήγορα και πιο οικονομικά σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους. Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα δημιουργίας τρισδιάστατου μοντέλου των βραχωδών πρανών, αναπαριστώντας ρεαλιστικά την γεωμετρία της αποτυπωμένης μορφολογίας, επιτρέποντας το λεπτομερή χαρακτηρισμό των ασυνεχειών και την αποτελεσματική οπτικοποίηση του πρανούς σε σχέση με τις δυνατότητες των συμβατικών μεθόδων. Τα πλεονεκτήματα αυτά καθιστούν εφικτή την πιο αντιπροσωπευτική προσομοίωση της δομής της βραχομάζας για τη μελέτη της ευστάθειας βραχωδών πρανών με την εισαγωγή των ασυνεχειών ως διακριτά στοιχεία. Παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου στον Ελλαδικό χώρο παρουσιάζονται στις δημοσιεύσεις των (Konstantinidis et al., 2021; Papathanassiou et al., 2020; Valkaniotis et al., 2018).

Στην παρούσα δημοσίευση παρουσιάζεται η εφαρμογή εναέριων μη επανδρωμένων μέσων (UAV – Drone) για την αποτύπωση του δικτύου των ασυνεχειών σε σημαντικού ύψους ορύγματα για τη χρήση αυτών στην βελτιστοποίησης του σχεδιασμού των νέων ορυγμάτων του αυτοκινητοδρόμου. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η χάραξη του νέου αυτοκινητοδρόμου, οι θέσεις όπου εμφανίζεται το ασβεστολιθικό υπόβαθρο της περιοχή και οι θέσεις των ορυγμάτων που επιλέχθηκαν να παρουσιαστούν στον παρόν άρθρο.



Σχήμα 1. Χάραξη του νέου αυτοκινητοδρόμου σύνδεσης του ΒΟΑΚ με το Νέο Διεθνή Αερολιμένα Ηρακλείου Κρήτης (κόκκινο), με περιοχές που διέρχεται μέσω ασβεστολιθικών βραχομαζών (μπλε) και θέσεις των ορυγμάτων που εξετάζονται.

Figure 1. Alignment of the new motorway linking the VOAK with the New Heraklion International Airport of Crete (with red colour), along with the areas that crosses limestone rockmass and the cut slopes presented.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ

Για την αναγνώριση των ασυνεχειών είναι απαραίτητη η κατασκευή, ενός υψηλής ακρίβειας και λεπτομέρειας, πυκνού νέφους σημείων (Dense Point Cloud - DPC) σε όλο το εύρος κατάληψης του πρανούς. Για την αποτύπωση του πρανούς με drone είναι απαραίτητη η λήψη φωτογραφιών υψηλής ανάλυσης με την απαραίτητη επικάλυψη, τόσο κατακόρυφες όσο και μετωπικές. Οι φωτογραφίες επεξεργάζονται με χρήση φωτογραμμετρικού προγράμματος ώστε να εξαχθεί το DPC. Το νέφος σημείων στη συνέχεια εισάγετε στον κώδικα Discontinuity Set Extractor (DSE) (Riquelme et al., 2014) όπου εφαρμόζονται μέθοδοι αναγνώρισης προσανατολισμού ασυνεχειών. Ο κώδικας αρχικά υπολογίζει τον προσανατολισμό του κάθε σημείου κάνοντας δοκιμές ταύτισης προσανατολισμού με τα γειτονικά σημεία. Ο αριθμός των γειτονικών σημείων που χρησιμοποιούνται από τον κώδικα αποτελεί μια από τις βασικές παραμέτρους εισαγωγής. Σε κάθε σημείο προσδιορίζεται το άνυσμα με ορθή διεύθυνση κάθετη στην επιφάνεια που προσδιορίστηκε από τα γειτονικά σημεία. Ο προσδιορισμός του προσανατολισμού γίνεται με εκτίμηση πυκνότητας με την μέθοδο των πυρήνων (kernel density estimation) και εντοπισμό συστάδων με αλγόριθμο που βασίζεται στη σάρωση πυκνότητας δεδομένων με θόρυβο (Density-Based Scan Algorithm with Noise).

Στη συνέχεια εφαρμόζεται στατιστική ανάλυση για τον υπολογισμό της Κλίσης / Διεύθυνσης κλίσης (Dip / Dip Dir) και ταξινόμηση σε οικογένειες ασυνεχειών σε όρους τεχνικής γεωλογίας. Η ταξινόμηση σε οικογένειες ασυνεχειών γίνεται εφαρμόζοντας κωνικό φίλτρο ώστε οι γωνία μεταξύ των ανυσμάτων δύο πόλων να είναι μικρότερη από μία συγκεκριμένη γωνία. Για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων της διαδικασίας αυτής, στην παρούσα εργασία γίνεται σύγκριση των εξαγόμενων πόλων με μετρήσεις υπαίθρου με γεωλογική πυξίδα. Σε αυτό το σημείο μπορεί να προσδιοριστεί – φιλτραριστεί ο αριθμός των οικογενειών ασυνεχιεών, να κατασκευαστεί τεκτονικό διάγραμμα με συγκεντρώσεις πόλων και να εξαχθεί νέφος όπου όλα τα σημεία που ανήκουν στην ίδια οικογένεια ασυνεχειών έχουν ίδια χρώματα. Στη συνέχεια μπορεί να γίνει περαιτέρω επεξεργασία και όλα τα γειτονικά σημεία που ανήκουν στην ίδια οικογένεια να ταξινομηθούν στην ίδια συστάδα σημείων. Η περεταίρω επεξεργασία γίνεται μέσω εισαγωγής φίλτρων που αφορούν τον ελάχιστο αριθμό σημείων που μπορεί να διαθέτει η κάθε συστάδα. Έτσι επιτυγχάνεται η ελάττωση του ¨θορύβου¨ που μπορεί να δημιουργείται από τον μεγάλο όγκο δεδομένων. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας αυτής μπορεί να γίνει εξαγωγή των τελικών αρχείων που περιλαμβάνουν τα ταξινομημένα σε οικογένειες ασυνεχειών νέφη σημείων. Τέλος, μπορεί να γίνει εκτίμηση της απόστασης και την εμμονής των ασυνεχειών με στατιστικές μεθόδους.

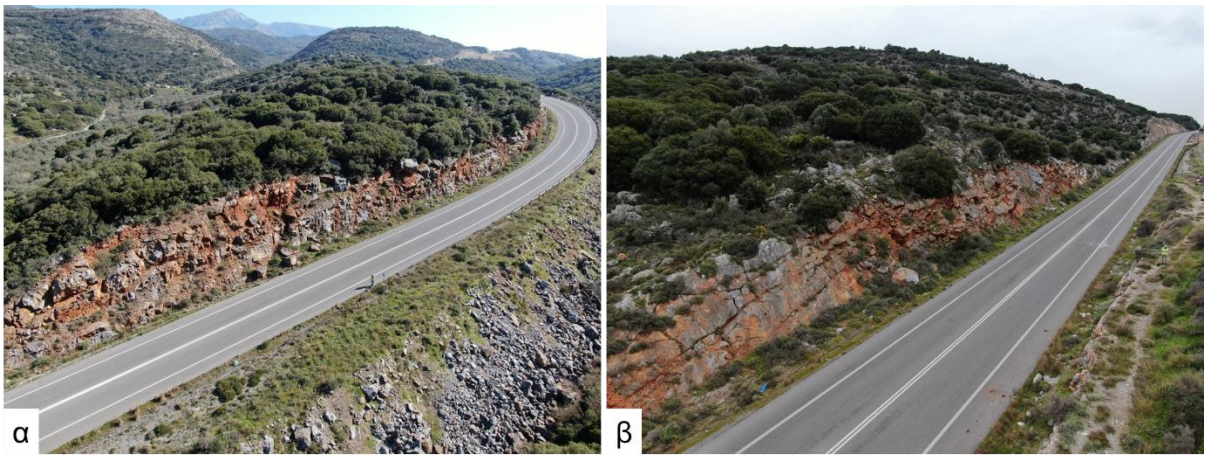
3. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥ

3.1 Αναγνώριση ασυνεχειών

Η μεθοδολογία που παρουσιάστηκε στην §2 εφαρμόστηκε σε μεγάλο αριθμό πρανών κατά μήκος του νέου κλειστού αυτοκινητόδρομου σύνδεσης του ΒΟΑΚ με τον Νέο Διεθνή Αερολιμένα Ηρακλείου Κρήτης. Αφορούσε είτε υφιστάμενα πρανή ορυγμάτων παλαιών εκσκαφών σημαντικού ύψους ή νέες αρχικές προσωρινές εκσκαφές που εκτελέστηκαν εσκεμμένα για τη χαρτογράφηση της δομής της βραχόμαζας στις θέσεις κατασκευής ορυγμάτων. Κριτήριο επιλογής των πρανών που εφαρμόστηκε η μεθοδολογία ήταν η εκτεταμένη εμφάνιση του ασβεστόλιθου, η παρουσία διακριτών και αμετακίνητων όγκων πετρώματος, το μέγεθος των νέων τεχνητών πρανών που προβλέπεται να κατασκευαστούν και οι περιορισμοί πτήσης δεδομένης της εγγύτητας του νέου δρόμου με το υφιστάμενο αεροδρόμιο Καστελίου.

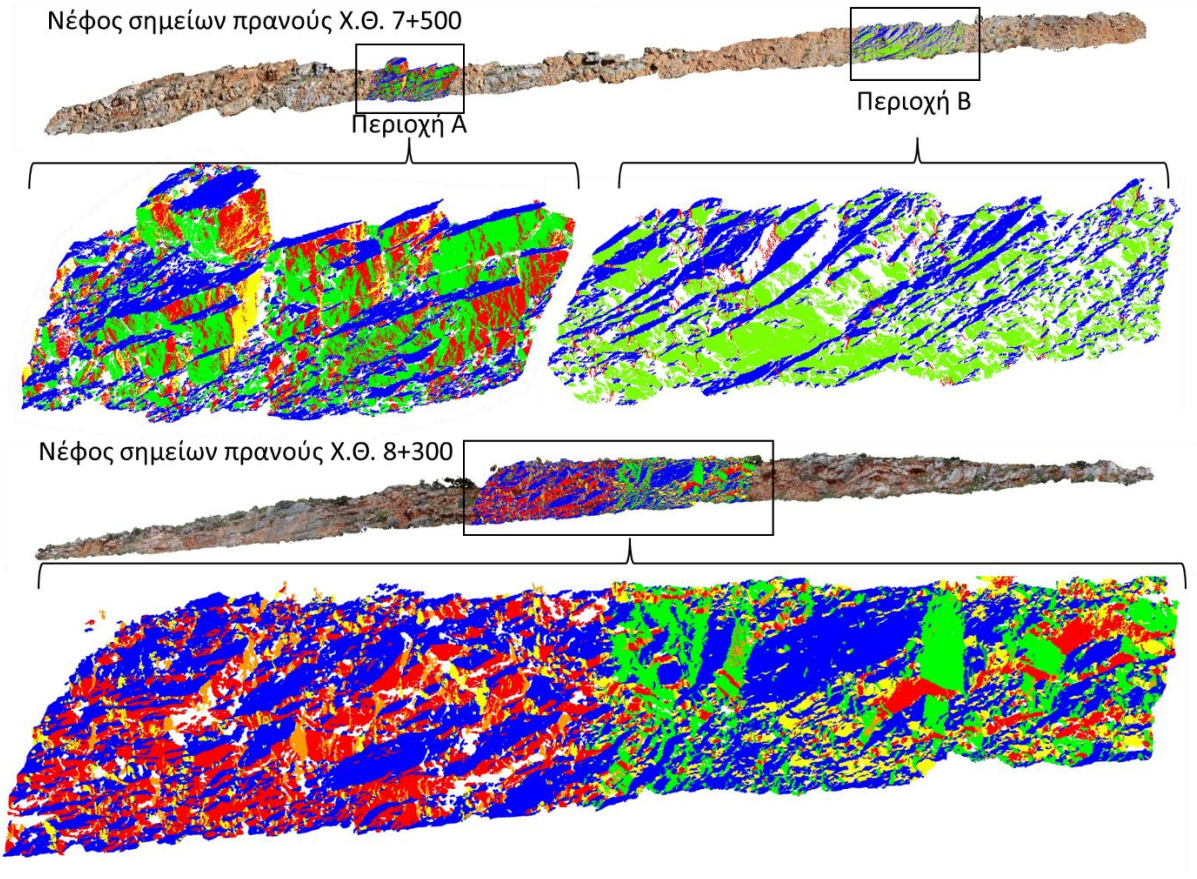
Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται τυπικές θέσεις που εφαρμόσθηκε η μεθοδολογία και που η χάραξη του νέου αυτοκινητοδρόμου προβλέπει σημαντικές χωματουργικές εργασίες διαπλάτυνσης και αύξησης του ύψους παλαιότερων ορύγματα της υφιστάμενης οδού που αναβαθμίζεται σε αυτοκινητόδρομο. Είναι χαρακτηριστικό στις θέσεις των υφιστάμενων

ορυγμάτων του Σχήματος 2 η παρουσία βραχοκαταπτώσεων τεμαχιών λόγω της δυσμενούς δομής της βραχόμαζας.



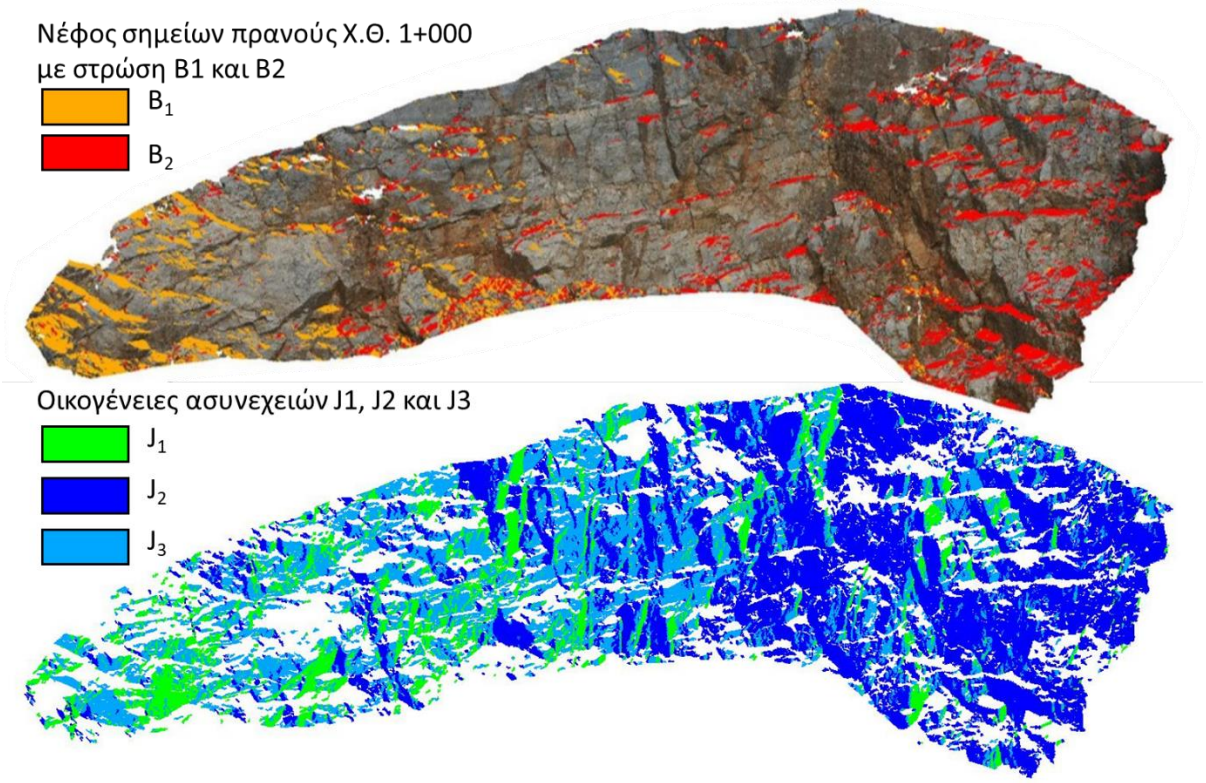
Σχήμα 2. Τυπική εμφάνιση ασβεστολίθου σε ορύγματα της υφιστάμενης οδού που αναβαθμίζεται σε αυτοκινητόδρομο. (α) πρανή μεταξύ των Χ.Θ. 7+400 – 7+750 και (β) πρανή μεταξύ των Χ.Θ. 8+250 – 8+400
Figure 2. Typical limestone outcrop of cut slopes along the existing road that is being upgraded to highway. (α) cut slopes between ch. Χ.Θ. 7+400 – 7+750 and (β) cut slopes between ch. 8+250 – 8+400

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η εφαρμογή της μεθοδολογίας στα υφιστάμενα πρανή οδοποιίας περί τη Χ.Θ. 7+500 και 8+300 του αυτοκινητοδρόμου άποψη των οποίων παρουσιάσθηκε στο Σχήμα 2. Ο υπολογισμός του προσανατολισμού του κάθε πόλου έγινε με χρήση 30 γειτονικών σημείων, τα ανύσματα όλων των πόλων της ίδια οικογένειας ορίστηκε ώστε να ανήκουν σε κώνο γωνίας 30° ενώ διατηρήθηκαν οι συστάδες που αποτελούσαν οικογένειες ασυνεχειών με τουλάχιστον 100 σημεία. Στο πρανές περί τη Χ.Θ. 7+500 είναι εμφανής η μεταβολή του προσανατολισμού της στρώσης του ασβεστόλιθου μεταξύ της περιοχής Α και της περιοχής Β. Η μεταβολή αυτή είναι κρίσιμη για τη μελέτη του πρανούς καθώς σε διαφορετική θέση μπορεί να προκύψουν διαφορετικά απαιτούμενα μέτρα σταθεροποίησης για το πρανές. Σε περίπτωση αποτύπωσης του πρανούς με κλασικές μεθόδους με γεωλογική πυξίδα, θα έπρεπε να κατασκευαστούν δύο διακριτά τεκτονικά διαγράμματα ώστε να μην υπάρχει γενίκευση των μέτρων σταθεροποίησης στο σύνολο του πρανούς. Η μεταβολή αυτή της στρώσης σε μεγάλες αποστάσεις δεν είναι πάντα εύκολο να παρατηρηθεί κατά την έρευνα υπαίθρου, ενώ είναι επισφαλές να προσεγγιστούν πρανή μεγάλου ύψους με αποτέλεσμα οι λήψη των μετρήσεων να γίνονται μόνο στον πόδα του πρανούς. Η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας παρείχε τη δυνατότητα εποπτικής παρατήρησης του συνόλου του πρανούς κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, με αποτέλεσμα οι μεταβολές αυτές στα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά να είναι εύκολα ανιχνεύσιμες. Η υπεροχή αυτή της μεθόδου εξασφαλίζει τη δυνατότητα βελτιστοποίησης της μελέτης του προβλεπόμενου πρανούς ύψους περί τα 21m. Στο ίδιο Σχήμα 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας για το υφιστάμενο τεχνητό πρανές περί τη Χ.Θ. 8+300. Είναι εμφανής ο πολύ δυσμενής προσανατολισμός της στρώσης, γεγονός που επηρέασε τη μελέτη του προβλεπόμενου ορύγματος ύψους περί τα 22m.

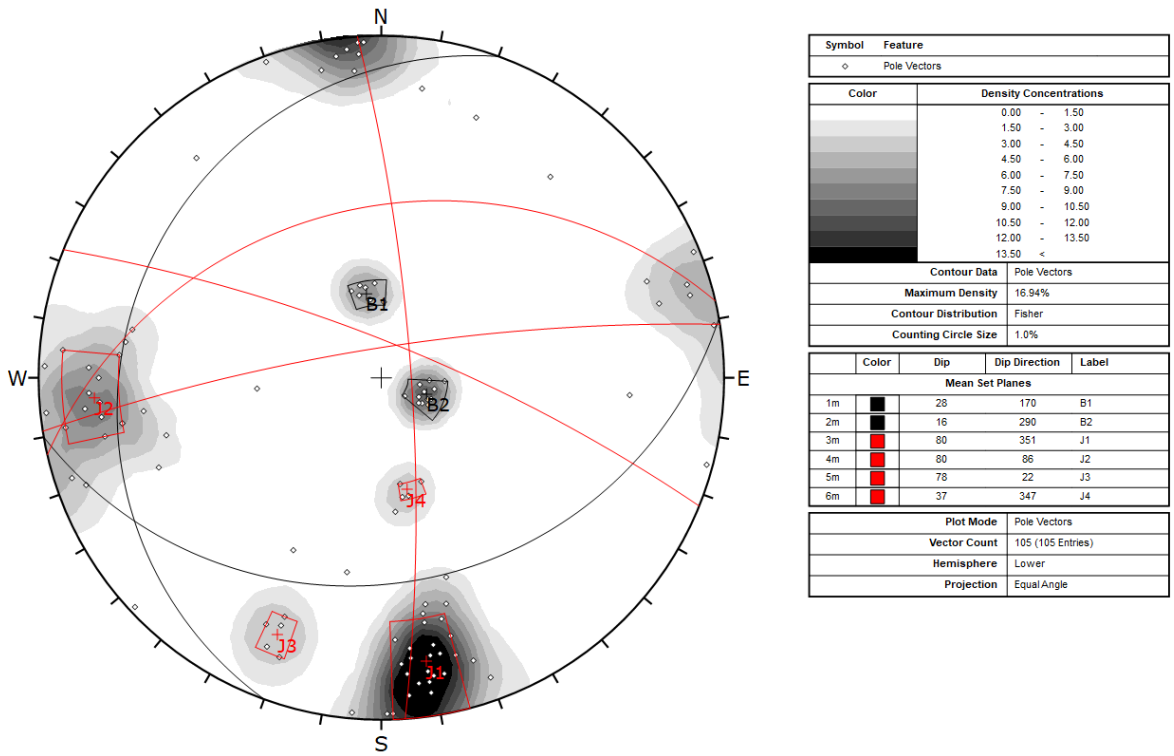


Σχήμα 3. Αποτελέσματα αναγνώρισης ασυνεχειών στα πρανή Χ.Θ. 7+500 και Χ.Θ. 8+300.
Figure 3. Cut slope at Ch. 7+500 and 8+300 discontinuity recognition.

Αντίστοιχα, στο Σχήμα 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ίδιας μεθοδολογίας αναγνώρισης ασυνεχειών σε εγκαταλελειμμένο λατομείο περί τη Χ.Θ. 1+000 του νέου αυτοκινητόδρομου. Ο ασβεστόλιθος στην περιοχή του λατομείου ήταν αρκετά μαζώδης και απαλλαγμένος από επισφαλής, μετακινημένους και ασταθής όγκους, καθιστώντας τον ιδανικό για εφαρμογή της μεθόδου. Εντοπίστηκαν δύο (2) οικογένειες ασυνεχειών που αφορούν στρώση και τρείς (3) οικογένειες ασυνεχειών που αφορούν διακλάσεις. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων συγκρίθηκαν με μετρήσεις με γεωλογική πυξίδα και επιβεβαιώθηκε η ταύτιση τους. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων με χρήση γεωλογικής πυξίδας παρουσιάζονται στο Σχήμα 5. Στις μετρήσεις υπαίθρου με την πυξίδα αναγνωρίσθηκε και η ομάδα ασυνεχειών J4 η οποία όμως λόγω περιορισμένης εμμονής και εξάπλωσης κρίθηκε ότι δεν είναι κρίσιμη και φιλτραρίσθηκε καταλλήλως (απομονώθηκε) στο ψηφιακό μοντέλο. Έχοντας δημιουργήσει το τριδιάστατο μοντέλο των ασυνεχειών, έγινε υπολογισμός της μέσης απόστασης των ασυνεχειών ώστε να μπορέσουν να προσομοιωθούν ως διακριτά στοιχεία (βλ. §3.2) κατά την μελέτη ευστάθειας του νέου προβλεπόμενου τεχνητού πρανούς ύψους περί τα 35m.



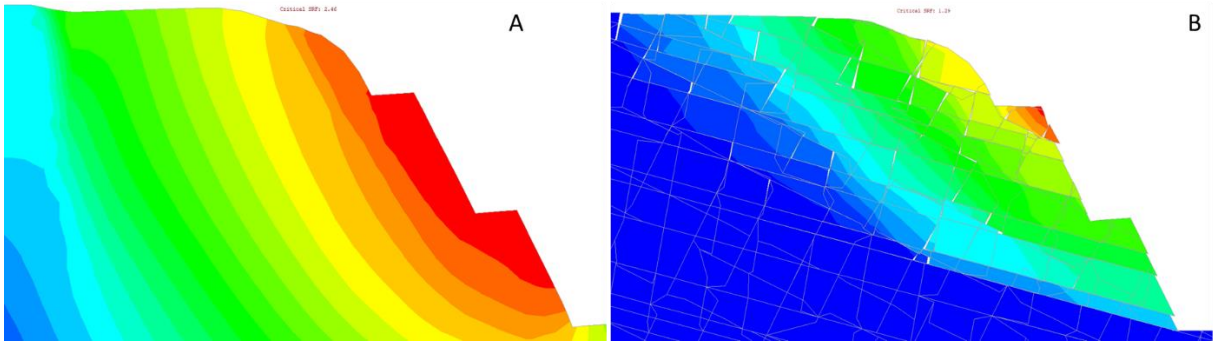
Σχήμα 4. Αποτελέσματα αναγνώρισης ασυνεχειών στο πρανές στη Χ.Θ. 1+000.
Figure 4. Cut slope at Ch. 1+000 discontinuity recognition.



Σχήμα 5. Τεκτονικό διάγραμμα καταγραφής δομής ασβεστολιθικής βραχόμαζας περί τη Χ.Θ. 1+000
Figure 5. Stereographic projection of limestone rockmass approximately at ch. 1+000

3.2 Υπολογισμοί ευστάθειας

Βάσει της λεπτομερούς χαρτογράφησης της δομής της βραχόμαζας του πρανούς και με δεδομένα τα προβλεπόμενα έργα, δόθηκε η δυνατότητα εφαρμογής σύγχρονων μεθόδων προσομοίωσης, όπως χρήση της μεθόδου των διακριτών στοιχείων. Στο Σχήμα 4Α παρουσιάζονται τα αποτελέσματα προσομοίωσης της εξεταζόμενης τελικής γεωμετρίας του πρανούς του αυτοκινητοδρόμου με αναλύσεις συνεχούς μέσου, ενώ στο Σχήμα 4Β με διακριτά στοιχεία λαμβάνοντας υπόψη τον προσανατολισμό του πρανούς και τη φαινόμενη κλίση των ασυνεχειών. Γενικά, οι αναλύσεις συνεχούς μέσου χωρίς ενσωμάτωση ανισοτροπίας καταλήγουν σε κυκλικού τύπου αστοχίες που δεν είναι ρεαλιστικές για πρανή σε μαζώδης βραχομάζες όπου οι αστοχίες είναι βασικά δομικού τύπου και καθορίζονται από τον προσανατολισμό των ασυνεχειών και των προβλεπόμενων εκσκαφών. Στην περίπτωση εφαρμογής διακριτών στοιχείων, η υπολογιζόμενη αστοχία του πρανούς προκύπτει ρεαλιστική σε όρους βραχομηχανικής και συμβατή με το τριδιάστατο μοντέλο ασυνεχειών που δημιουργήθηκε. Συγκεκριμένοι επισφαλείς όγκοι με δυσμενή προσανατολισμό αποκολλούνται και σταδιακά αποδομείται το πρανές επί των διακριτών όγκων πετρώματος που ορίζουν οι ασυνέχειες με ταυτόχρονα πιθανές θραύσεις εντός των ίδιων των μπλοκ τα οποία είναι παραμορφώσιμα και πλαστικά.



Σχήμα 6. Αποτελέσματα ανάλυσης ευστάθειας πρανούς στη Χ.Θ. 1+000, Α) συνεχές μέσο, Β) διακριτά στοιχεία.
Figure 6. Cut slope at Ch. 1+000 slope stability analysis, A) continuum, B) discrete elements.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μελέτη των βραχωδών πρανών σε ισχυρές βραχομάζες εξαρτάται άρρηκτα από τον προσανατολισμό των εκσκαφών και των ασυνεχειών, την πυκνότητα αυτών και τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους. Τα σύγχρονα υπολογιστικά μέσα παρέχουν τη δυνατότητα λεπτομερούς τριδιάστατης αποτύπωσης του δικτύου των ασυνεχειών και προσομοίωση αυτών με διακριτά στοιχεία. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να γίνει βελτιστοποίηση του σχεδιασμού ενώ η τριδιάστατη αποτύπωση παρέχει μία εποπτικότητα που κάνει ευκολότερη την αναγνώριση ιδιαιτεροτήτων στην δομή της βραχομάζας.

6. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το έργο οδικών συνδέσεων του αυτοκινητοδρόμου ΒΟΑΚ με τον νέο διεθνή αερολιμένα Ηρακλείου μελετάται, χρηματοδοτείται και κατασκευάζεται από την “Ένωση Προσώπων ΤΕΡΝΑ Α.Ε. – GMR Airports limited” και κατασκευάζεται από την ΤΕΡΝΑ Α.Ε.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ISRM, (International Society for Rock Mechanics). (1978). *1-S2.0-0148906278914729-Main*. *15*(4).

Konstantinidis, I., Marinos, V., & Papathanassiou, G. (2021). Uav-based evaluation of rockfall hazard in the cultural heritage area of kipinas monastery, greece. *Applied Sciences (Switzerland)*, *11*(19). https://doi.org/10.3390/app11198946

Papathanassiou, G., Riquelme, A., Tzevelekis, T., & Evaggelou, E. (2020). Rock mass characterization of karstified marbles and evaluation of rockfall potential based on traditional and sfm-based methods; case study of Nestos, Greece. *Geosciences (Switzerland)*, *10*(10), 1–20. https://doi.org/10.3390/geosciences10100389

Riquelme, A. J., Abellán, A., Tomás, R., & Jaboyedoff, M. (2014). A new approach for semi-automatic rock mass joints recognition from 3D point clouds. *Computers and Geosciences*, *68*, 38–52. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2014.03.014

Valkaniotis, S., Papathanassiou, G., & Ganas, A. (2018). Mapping an earthquake-induced landslide based on UAV imagery; case study of the 2015 Okeanos landslide, Lefkada, Greece. *Engineering Geology*, *245*, 141–152. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.08.010