



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπόγειων Έργων»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Εκτίμηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης καταπτώσεων
βράχων σε πρανή Οδοποιίας. Η περίπτωση της κοιλάδας των
Τεμπών**



Ανδριανόπουλος Άγγελος

Μηχανικός Μεταλλείων – Μεταλλουργός, M.Sc.

Επιβλέπων

Γ. Τσιαμπάος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Δεκέμβριος 2011



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπόγειων Έργων»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανδριανόπουλος Άγγελος

Επιβλέπων Καθηγητής : Γ. Τσιαμπάος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 2011

Γ. Τσιαμπάος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Α. Ρόζος, Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Β. Παπαδόπουλος, Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Δεκέμβριος 2011

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς και θερμές μου ευχαριστίες σε όλους αυτούς που συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας.

Καταρχήν, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα αυτής της εργασίας, κ. Γ. Τσιαμπάο, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. του Τομέα Γεωτεχνικής, για την ανάθεση του θέματος, τη μετέπειτα επίβλεψη και καθοδήγηση και την εξαιρετική συνεργασία μας.

Ευχαριστώ επίσης τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής, τον κ. Δ. Ρόζο, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών Ε.Μ.Π. του Τομέα Γεωλογικών Επιστημών και τον κ. Β. Παπαδόπουλο, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. του Τομέα Γεωτεχνικής για το χρόνο που αφιέρωσαν στην παρούσα εργασία.

Ιδιαίτερη αναφορά οφείλω στον κ. Χ. Σαρόγλου, ΙΔΑΧ της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. του Τομέα Γεωτεχνικής, Εργαστήριο Θεμελιώσεων για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Επίσης, θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω του γονείς μου, που ήταν πάντα δίπλα μου σε ό,τι και αν χρειάστηκα. Ο αδερφός μου Κώστας, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π. με βοήθησε σημαντικά με τις καίριες παρατηρήσεις και συμβουλές του.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την Κατερίνα, το Νίκο και λίγους στενούς μου φίλους, που στάθηκαν δίπλα μου και με βοήθησαν, ο καθένας με τον τρόπο του, όλο αυτό τον καιρό.

Άγγελος Ι. Ανδριανόπουλος

Δεκέμβριος 2011

Πίνακας περιεχομένων

| | |
|---|-----|
| Περίληψη | 10 |
| Summary | 12 |
| Εισαγωγή..... | 14 |
| 1. Ορισμοί..... | 16 |
| 2. Μέθοδοι εκτίμησης επικινδυνότητας και διακινδύνευσης βραχοπτώσεων - Γενικά . | 19 |
| 3. Συστήματα ταξινόμησης επικινδυνότητας βραχοπτώσεων..... | 24 |
| 3.1. Γενικά | 24 |
| 3.2. Rockfall Hazard Rating System – Pierson, 1991 (RHRS) | 26 |
| 3.3. National Highway Institute – Rockfall Hazard Rating System – Pierson&Vickle, 1993 (NHI-RHRS) | 38 |
| 3.4. Tennessee Rockfall Hazard Rating System – Vanderwater <i>et al.</i> , 2005 (TRHRS) . | 42 |
| 3.5. Colorado Rockfall Hazard Rating System – Santi <i>et al.</i> , 2009 (CRHRS) | 60 |
| 3.6. Falling Rock Hazard Index – Singh, 2004 (FRHI)..... | 73 |
| 3.7. Σύστημα ταξινόμησης επικινδυνότητας κατά Marinós <i>et al.</i> , 2008 | 77 |
| 3.8. Ελβετική μέθοδος, βασισμένη στις αναλύσεις προσομοίωσης τροχιάς..... | 85 |
| 4. Συστήματα ταξινόμησης διακινδύνευσης βραχοπτώσεων..... | 91 |
| 4.1. Γενικά | 91 |
| 4.2. Washington State department of Transportation (WSDOT, 2010) | 92 |
| 4.3. Ελβετικές Μεθοδολογίες (FEDRO, 2009) | 96 |
| 4.4. Quantitative Risk Assessment – Corominas & Mova, 2008 (QRA) | 117 |
| 5. Σύγκριση συστημάτων ταξινόμησης | 134 |
| 5.1. Σύγκριση συστημάτων ταξινόμησης επικινδυνότητας..... | 134 |
| 5.2. Σύγκριση συστημάτων ταξινόμησης διακινδύνευσης..... | 137 |
| 5.3. Γενικός σχολιασμός..... | 138 |
| 6. Η περιοχή των Τεμπών..... | 140 |
| 6.1. Γενικά στοιχεία | 140 |
| 6.2. Μηχανισμός των καταπτώσεων | 142 |
| 6.3. Ιστορικό καταπτώσεων | 143 |
| 7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρτανών | 147 |
| 7.1. Γενικά | 147 |
| 7.2. Βαθμολόγηση Επικινδυνότητας | 149 |
| 7.2.1. Χ.Θ. 386+200 – Χ.Θ. 386+300 (διατομή: Χ.Θ. 386+215)..... | 149 |
| 7.2.1.1. Μέθοδος RHRS | 150 |
| 7.2.1.2. Μέθοδος NHI – RHRS | 154 |
| 7.2.1.3. Μέθοδος CRHRS..... | 157 |
| 7.2.1.4. Αναλύσεις ευαισθησίας..... | 164 |
| 7.2.2. Χ.Θ. 387+060 – Χ.Θ. 387+160 (διατομή: Χ.Θ. 387+130)..... | 172 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 7.2.2.1. | Μέθοδος RHRS | 173 |
| 7.2.2.2. | Μέθοδος NHI – RHRS | 177 |
| 7.2.2.3. | Μέθοδος CRHS..... | 178 |
| 7.2.2.4. | Αναλύσεις ευαισθησίας | 185 |
| 7.2.3. | Σύνοψη – συμπεράσματα βαθμολόγησης επικινδυνότητας | 192 |
| 7.3. | Βαθμολόγηση διακινδύνευσης | 197 |
| 7.3.1. | Γενικά..... | 197 |
| 7.3.1.1. | Διαδικασία ανάλυσης κατά FEDRO | 197 |
| 7.3.1.2. | Διαδικασία ανάλυσης κατά QRA..... | 199 |
| 7.3.2. | Εκτίμηση διακινδύνευσης των περιοχών ελέγχου κατά FEDRO | 201 |
| 7.3.2.1. | FEDRO – Γενικά | 201 |
| 7.3.2.2. | FEDRO, Χ.Θ. 386+200 – 386+300..... | 203 |
| 7.3.2.3. | FEDRO, Χ.Θ. 387+060 – 387+160..... | 205 |
| 7.3.2.4. | FEDRO, Χ.Θ. 386+200 – 386+300, Αναλύσεις ευαισθησίας | 207 |
| 7.3.2.5. | FEDRO, Χ.Θ. 386+200 – 386+300 – Συγκεντρωτικά | 212 |
| 7.3.2.6. | FEDRO, Χ.Θ. 387+060 – 387+160, Αναλύσεις ευαισθησίας | 216 |
| 7.3.2.7. | FEDRO, Χ.Θ. 387+060 – 387+160 – Συγκεντρωτικά | 221 |
| 7.3.3. | Εκτίμηση διακινδύνευσης των περιοχών ελέγχου κατά QRA..... | 225 |
| 7.3.3.1. | QRA – Εκτίμηση ολικής διακινδύνευσης οδού | 225 |
| 7.3.3.2. | QRA – Εκτίμηση μέσης διακινδύνευσης οδού..... | 225 |
| 7.3.3.3. | QRA – Εκτίμηση μέσης διακινδύνευσης τμήματος Χ.Θ. 386+200 – 386+300 | 227 |
| 7.3.3.4. | QRA – Εκτίμηση μέσης διακινδύνευσης τμήματος Χ.Θ. 387+060 – 387+160 | 228 |
| 7.3.3.5. | QRA – αναλύσεις ευαισθησίας | 228 |
| 7.3.3.6. | QRA – Συμπεράσματα..... | 231 |
| 7.3.4. | Σύγκριση αποτελεσμάτων FEDRO και QRA | 231 |
| 7.4. | Εκτίμηση επικινδυνότητας με βάση τον υπολογισμό της ενέργειας κατάπτωσης (με το Rocfall)..... | 233 |
| 7.4.1. | Γενικά..... | 233 |
| 7.4.2. | Προσομοίωση για τη Χ.Θ. 386+200 – 386+300 | 238 |
| 7.4.3. | Προσομοίωση για τη Χ.Θ. 387+060 – 387+160 | 241 |
| 7.4.4. | Εκτίμηση επικινδυνότητας | 244 |
| 7.4.5. | Συμπεράσματα – Σύγκριση με άλλες μεθόδους | 246 |
| 7.4.6. | Συγκεντρωτικά αποτελέσματα εκτίμησης επικινδυνότητας και διακινδύνευσης | 248 |
| 8. | Συμπεράσματα | 251 |
| 9. | Βιβλιογραφία | 255 |

Σχήματα

| | |
|---|-----|
| Σχήμα 2.1. Διάγραμμα event – tree, (Hoek, 2006)..... | 21 |
| Σχήμα 2.2. Διάγραμμα event – tree, υποθετική περίπτωση κατά την οποία οι εργασίες κατασκευής πραγματοποιούνται σε διάστημα 6 μηνών, με τον αυτοκινητόδρομο σε λειτουργία (Hoek, 2006) | 22 |
| Σχήμα 2.3. Σύγκριση μεταξύ διακινδύνευσης θανάτων εξαπίας βραχοπτώσεων και προτεινόμενων αποδεκτών κριτηρίων διακινδύνευσης (Hoek, 2006) | 23 |
| Σχήμα 3.1. Γράφημα βαθμολογίας κατηγορίας ύψους πρानούς (Hoek, 2006) | 28 |
| Σχήμα 3.2. Μέτρηση του ύψους του πρानούς, (Hoek, 2006)..... | 30 |
| Σχήμα 3.3. Διάγραμμα σχεδιασμού τάφρου, (Hoek, 2006) | 31 |
| Σχήμα 3.4. Συσχέτιση γωνίας πρानούς με βαθμολόγηση της αντίστοιχης κατηγορίας (Russell et al., 2008)..... | 61 |
| Σχήμα 3.5. Κριτήρια σχεδιασμού βραχοπαγίδας, όπου D=βάθος και W=πλάτος βραχοπαγίδας (Russell et al., 2008)..... | 62 |
| Σχήμα 3.6. Διάφορες περιπτώσεις τεμαχισμού, κατά τις δοκιμές χαλάρωσης (Russell et al., 2008) | 65 |
| Σχήμα 3.7. Αποτελέσματα αναλύσεων (Santi et al., 2009) | 71 |
| Σχήμα 3.8. Οι τρεις τύποι πλεγμάτων που προτείνονται κατά FRHI (Singh, 2004)..... | 76 |
| Σχήμα 3.9. Ελβετικό διάγραμμα έντασης – συχνότητας (Abbruzzese et al.,2009)..... | 85 |
| Σχήμα 3.10. Τροποποιημένη μεθοδολογία Matterock. Αθροιστική κατανομή της ενέργειας των τεμαχίων βράχων σε μία δοσμένη τετμημένη. Το προφίλ της ενέργειας κατά μήκος του πρानούς εκτιμάται λαμβάνοντας υπόψη, για κάθε τετμημένη, τις ενέργειες μόνο του 90% των τεμαχίων που προσομοιώθηκαν (Abbruzzese et al.,2009)..... | 88 |
| Σχήμα 3.11. Μεθοδολογία Cadanan. Σχηματική απεικόνιση του προσδιορισμού των ορίων της ζώνης επικινδυνότητας. Στο σχήμα απεικονίζονται 5 τεμάχια με μέση συχνότητα αστοχία 1 γεγονός στα 100 έτη. Η πιθανότητα που ισούται με 7% σχετίζεται με τα σημεία 2 και 7 και αντιστοιχεί σε χρόνο αναφοράς 300 έτη (Abbruzzese et al.,2009)..... | 89 |
| Σχήμα 4.1. Περίμετρος πιθανών ζημιών (FEDRO, 2009) | 100 |
| Σχήμα 4.2. Περίμετρος ανάλυσης επικινδυνότητας (FEDRO, 2009) | 100 |
| Σχήμα 4.3. Παραγωγή της πιθανότητας γεωγραφικής εμφάνισης: $P_{pro} = 1/50$ στην περίπτωση A και $1/100$ στην περίπτωση B, αγνοώντας την παράμετρο του τύπου του γεγονότος (FEDRO, 2009)..... | 106 |
| Σχήμα 4.4. Σχετικά σενάρια για συμβάντα επί της περιοχής της οδού (FEDRO, 2009)..... | 107 |
| Σχήμα 4.5. Σχετικά σενάρια για συμβάντα σε δευτερεύουσες εγκαταστάσεις (FEDRO, 2009) | 108 |
| Σχήμα 4.6. Γεωμετρικές σχέσεις που ορίζονται μεταξύ $P_{(S,T)}$ και $P_{(S,P)}$ (Corominas & Mova, 2008) | 121 |
| Σχήμα 4.7. Διαφορετικοί ορισμοί της έντασης της κατολίσθησης (Pina, 2008)..... | 124 |
| Σχήμα 4.8. Κριτήρια αποδεκτής κοινωνικής διακινδύνευσης (Pina, 2008) | 128 |
| Σχήμα 4.9. Διάγραμμα ροής των συνεπειών (Pina, 2008) | 130 |
| Σχήμα 7.1. Χ.Θ. 386+200 – 386+300. Συγκριτικό διάγραμμα της βαθμολογίας της επικινδυνότητας, όπως προέκυψε για τις τρεις μεθόδους. Φαίνονται και τα αντίστοιχα όρια του χαρακτηρισμού της επικινδυνότητας κατά CRHRS για όρυγμα κρυσταλλικού πετρώματος..... | 193 |
| Σχήμα 7.2. Χ.Θ. 386+200 – 386+300. Συγκριτικό διάγραμμα της βαθμολογίας της επικινδυνότητας κατά CRHRS, ανάλογα με την θεώρηση κρυσταλλικού ή ιζηματογενούς πετρώματος. | 193 |
| Σχήμα 7.3. Χ.Θ. 387+060 – 387+160. Συγκριτικό διάγραμμα της βαθμολογίας της επικινδυνότητας, όπως προέκυψε για τις τρεις μεθόδους. Φαίνονται και τα αντίστοιχα όρια του χαρακτηρισμού της επικινδυνότητας κατά CRHRS για όρυγμα κρυσταλλικού πετρώματος..... | 194 |
| Σχήμα 7.4. Χ.Θ. 387+060 – 387+160. Συγκριτικό διάγραμμα της βαθμολογίας της επικινδυνότητας κατά CRHRS, ανάλογα με την θεώρηση κρυσταλλικού ή ιζηματογενούς πετρώματος. | 194 |

| | |
|---|-----|
| Σχήμα 7.5. Συγκριτικό διάγραμμα της βαθμολογίας της επικινδυνότητας κατά CRHRS, σε ορύγματα κρυσταλλικού πρανούς, στις δύο θέσεις ελέγχου. Φαίνονται και τα αντίστοιχα όρια του χαρακτηρισμού της επικινδυνότητας. | 195 |
| Σχήμα 7.6. Διάγραμμα απόφασης – εκτίμησης σεναρίου..... | 201 |
| Σχήμα 7.7. Συγκεντρωτικό διάγραμμα της διακινδύνευσης σύγκρουσης των σεναρίων. | 214 |
| Σχήμα 7.8. Συγκεντρωτικό διάγραμμα της συγκεντρωτικής διακινδύνευσης των σεναρίων. | 215 |
| Σχήμα 7.9. Συγκεντρωτικό διάγραμμα της μεμονωμένης διακινδύνευσης των σεναρίων..... | 215 |
| Σχήμα 7.10. Συγκεντρωτικό διάγραμμα της διακινδύνευσης σύγκρουσης των σεναρίων. | 223 |
| Σχήμα 7.11. Συγκεντρωτικό διάγραμμα της συγκεντρωτικής διακινδύνευσης των σεναρίων. | 224 |
| Σχήμα 7.12. Συγκεντρωτικό διάγραμμα της μεμονωμένης διακινδύνευσης των σεναρίων..... | 224 |
| Σχήμα 7.13. Αποτελέσματα αναλύσεων ευαισθησίας για την ολική και τη μέση διακινδύνευση της οδού. | 230 |
| Σχήμα 7.14. Αποτελέσματα αναλύσεων ευαισθησίας για τη μέση διακινδύνευση οδού στα δύο τμήματα που μελετώνται. | 230 |
| Σχήμα 7.15. Επίπεδο μέση διακινδύνευσης τμήματος οδού κατά QRA και μεμονωμένης διακινδύνευσης κατά FEDRO. | 232 |
| Σχήμα 7.16. Σύγκριση αποτελεσμάτων με και χωρίς υπολογισμό της γωνιακής ταχύτητας (Βραχλιώτης, 2011)..... | 235 |
| Σχήμα 7.17. Γεωμετρία και αποτέλεσμα προσομοίωσης για Χ.Θ. 386+200 – 386+300..... | 239 |
| Σχήμα 7.18. Μεταβολή της κινητικής ενέργειας για τα σεναρία με περίοδο επαναφοράς 10, 30, 100 και 300 έτη, για το πρανές στη Χ.Θ. 386+200 – 386+300. | 240 |
| Σχήμα 7.19. Γεωμετρία και αποτέλεσμα προσομοίωσης για Χ.Θ. 387+060 – 387+160..... | 242 |
| Σχήμα 7.20. Μεταβολή της κινητικής ενέργειας για τα σεναρία με περίοδο επαναφοράς 10, 30, 100 και 300 έτη, για το πρανές στη Χ.Θ. 387+060 – 387+160. | 243 |
| Σχήμα 7.21. Ελβετικό διάγραμμα έντασης – συχνότητας (Abbruzzese et al.,2009)..... | 244 |
| Σχήμα 7.22. Εκτίμηση επικινδυνότητας για το πρανές της Χ.Θ. 386+200 – 386+300, βάση του διαγράμματος Έντασης – Περιόδου επαναφοράς..... | 245 |
| Σχήμα 7.23. Εκτίμηση επικινδυνότητας για το πρανές της Χ.Θ. 387+060 – 387+160, βάση του διαγράμματος Έντασης – Περιόδου επαναφοράς..... | 246 |
| Σχήμα 7.24. Τροποποίηση του διαγράμματος Έντασης – Συχνότητας κατάπτωσης. Στο σχήμα αποτυπώνονται και οι βαθμολογίες των δύο πρανών..... | 247 |

Εικόνες

| | |
|--|-----|
| Εικόνα 3.1. Αποτύπωση από το αρχείων φωτογραφιών, στο οποίο φαίνεται ένα βραχώδες όρυγμα. Παρατηρείται το μικρό πλάτος της βραχοπαγίδας (Cain, 2004)..... | 43 |
| Εικόνα 3.2. Παράδειγμα τυπικού πρανούς (α) τύπου Α και (β) τύπου Β. (Cain, 2004) | 44 |
| Εικόνα 3.3. Παράδειγμα επίπεδης ολίσθησης, όπου φαίνεται η πιθανή επιφάνεια αστοχίας, οι ομόρροπες επιφάνειες αστοχίας και η φορά της ολίσθησης. (Cain, 2004)..... | 54 |
| Εικόνα 3.4. Παράδειγμα σφηνοειδούς ολίσθησης. (Cain, 2004) | 55 |
| Εικόνα 3.5. Ανατροπή (Cain, 2004) | 56 |
| Εικόνα 3.6. Παράδειγμα διαφορικής αποσάθρωσης και ροής (Cain, 2004) | 57 |
| Εικόνα 6.1. Δορυφορικές φωτογραφίες της υπό εξέταση περιοχής. Στην τελευταία φωτογραφία παρουσιάζεται προοπτικά (πηγή: Google Earth) | 141 |
| Εικόνα 6.2. Άποψη της περιοχής που εξετάζεται (Τσιαμπάος, 2010) | 142 |
| Εικόνα 6.3. Το θανατηφόρο γεγονός στις 17/9/2009 (Τσιαμπάος, 2010)..... | 146 |
| Εικόνα 7.1. Άποψη του πρανούς στην Χ.Θ. 386+215..... | 149 |

| | |
|--|-----|
| Εικόνα 7.2. Άποψη του πρανούς στην Χ.Θ. 387+130..... | 172 |
|--|-----|

Πίνακες

| | |
|--|-----|
| Πίνακας 3.1. Προκαταρκτικό σύστημα ταξινόμησης (Pierson, 1991) | 26 |
| Πίνακας 3.2. Σύστημα βαθμονόμησης πρανών για την εκτίμηση της επικινδυνότητας. (Pierson, 1991).29 | |
| Πίνακας 3.3. Συσχετίσεις ορίου ταχύτητας – απόστασης ορατότητας. (Pierson, 1991)..... | 32 |
| Πίνακας 3.4. Προκαταρκτικό σύστημα ταξινόμησης (Pierson & Vickle, 1993)..... | 38 |
| Πίνακας 3.5. Πίνακας ταξινόμησης επικινδυνότητας (Pierson & Vickle, 1993)..... | 40 |
| Πίνακας 3.6. Βοηθητικοί πίνακες βαθμολόγησης κατά NHI-RHRS (Pierson & Vickle, 1993) | 41 |
| Πίνακας 3.7. Συστήματα ταξινόμησης του γεωλογικού χαρακτήρα (Cain, 2004)..... | 46 |
| Πίνακας 3.8. Φύλλο εργασίας υπολογισμού επικινδυνότητας κατά TRHRS (Cain, 2004)..... | 49 |
| Πίνακας 3.9. Βοηθητικοί πίνακες βαθμολογίας TRHRS (Cain, 2004)..... | 50 |
| Πίνακας 3.10. Τύποι αστοχίας βραχύπτωσης και χαρακτηριστικά της ταξινόμησης του γεωλογικού χαρακτήρα του TRHRS. Με «X» συμβολίζονται τα κριτήρια που περιλαμβάνονται στον εκάστοτε τύπο αστοχίας. (Cain, 2004) | 52 |
| Πίνακας 3.11. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στο TRHRS (Cain, 2004) | 58 |
| Πίνακας 3.12. Πίνακας βαθμολόγησης συστήματος CRHRS (Russell et al., 2008) | 63 |
| Πίνακας 3.13. Κατάταξη επικινδυνότητας πρανών κατά CRHRS (Russell et al., 2008)..... | 69 |
| Πίνακας 3.14. Πίνακας βαθμολόγησης επικινδυνότητας κατά FRHI (Singh, 2004) | 74 |
| Πίνακας 3.15. Βαρύτητα σχετικής σημαντικότητας των κατηγοριών του FRHI (Singh, 2004) | 75 |
| Πίνακας 3.16. Κατάταξη επικινδυνότητας κατά FRHI (Singh, 2004, Koleini & Van Rooy, 2010)..... | 75 |
| Πίνακας 3.17. Χαρακτηριστικά των τριών τύπων πλεγμάτων που προτείνονται κατά FRHI (Singh, 2004) | 76 |
| Πίνακας 3.18. Συντελεστές βαρύτητας ανά κατηγορία (Saroglou et al., 2011) | 78 |
| Πίνακας 3.19. Σύστημα εκτίμησης επικινδυνότητας φυσικών βραχωδών πρανών, κατά Saroglou et al., 2011 | 79 |
| Πίνακας 3.20. Ταξινόμηση επικινδυνότητας (Saroglou et al., 2011)..... | 84 |
| Πίνακας 3.21. Μεθοδολογία Matterock. Ορισμός της πιθανότητας εμφάνισης (Abbruzzese et al.,2009) | 87 |
| Πίνακας 4.1. Κατάταξη διακινδύνευσης κατά USMS (Huang et al., 2009)..... | 93 |
| Πίνακας 4.2. Κριτήρια κατάταξης μείωσης διακινδύνευσης (WSDOT, 2010) | 95 |
| Πίνακας 4.3. Περίοδος επαναφοράς στην ανάλυση επικινδυνότητας (FEDRO, 2009)..... | 101 |
| Πίνακας 4.4. Ταξινόμηση έντασης (FEDRO, 2009)..... | 105 |
| Πίνακας 4.5. Τρόποι επιρροής του εκάστοτε προφίλ ζημιάς (FEDRO, 2009) | 109 |
| Πίνακας 4.6. Επίδραση θέσης (FEDRO, 2009)..... | 110 |
| Πίνακας 4.7. Προτεινόμενη αποδεκτή διακινδύνευση κατά AGS, 2000..... | 128 |
| Πίνακας 4.8. Ποιοτική κατάταξη της πιθανότητας κατάπτωσης και των συνεπειών στους πόρους (Pina, 2008)..... | 131 |
| Πίνακας 4.9. Ποιοτική ανάλυση διακινδύνευσης – κατηγορίες διακινδύνευσης (Pina, 2008)..... | 131 |
| Πίνακας 6.1. Ιστορικό καταγεγραμμένων συμβάντων αποκολλήσεων βράχων στην κοιλάδα των Τεμπών με χρονολογική σειρά (Γκαζέτας et al., 2010 – Πόρισμα TEE) | 144 |
| Πίνακας 7.1. Κατάταξη βαθμολόγησης επικινδυνότητας σύμφωνα με τη μέθοδο CRHRS. Οι τιμές αντιστοιχούν σε % ποσοστό της μέγιστης τιμής (από Russell et al., 2008)..... | 148 |

| | |
|--|-----|
| Πίνακας 7.2. Βοηθητικοί πίνακες βαθμολόγησης κατά NHI-RHRS (Pierson & Vickle, 1993) | 155 |
| Πίνακας 7.3. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα βαθμολόγησης επικινδυνότητας..... | 192 |
| Πίνακας 7.4. Περίοδος επαναφοράς στην ανάλυση επικινδυνότητας (FEDRO, 2009)..... | 197 |
| Πίνακας 7.5. Εκτίμηση συσχέτισης όγκου ανά γεγονός βραχύπρωσης με τον κρίσιμο όγκο, το επηρεαζόμενο μήκος οδού και την επακόλουθη θνησιμότητα..... | 202 |
| Πίνακας 7.6. Αποτέλεσμα υπολογισμών για το πρηνές Χ.Θ. 386+200 – 386+300 και πρόσθετες παράμετροι υπολογισμού | 204 |
| Πίνακας 7.7. Αποτέλεσμα υπολογισμών για το πρηνές Χ.Θ. 387+060 – 387+160 και πρόσθετες παράμετροι υπολογισμού | 206 |
| Πίνακας 7.8. Αποτέλεσμα αναλύσεων ευαισθησία της παραμέτρου της ταχύτητας του οχήματος για το πρηνές Χ.Θ. 386+200 – 386+300 | 208 |
| Πίνακας 7.9. Αποτέλεσμα αναλύσεων ευαισθησία της παραμέτρου: επηρεαζόμενο μήκος οδού για το πρηνές Χ.Θ. 386+200 – 386+300 | 209 |
| Πίνακας 7.10. Αποτέλεσμα αναλύσεων ευαισθησία της παραμέτρου: Μέση κυκλοφορία οχημάτων για το πρηνές Χ.Θ. 386+200 – 386+300 | 210 |
| Πίνακας 7.11. Αποτέλεσμα αναλύσεων ευαισθησία της παραμέτρου: μέσο πλήθος ατόμων ανά όχημα για το πρηνές Χ.Θ. 386+200 – 386+300 | 211 |
| Πίνακας 7.12. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα διακινδύνευσης σύγκρουσης για το πρηνές Χ.Θ. 386+200 – 386+300..... | 212 |
| Πίνακας 7.13. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ανάλυσης συγκεντρωτικής και μεμονωμένης διακινδύνευσης για το πρηνές Χ.Θ. 386+200 – 386+300..... | 213 |
| Πίνακας 7.14. Αποτέλεσμα αναλύσεων ευαισθησία της παραμέτρου της ταχύτητας του οχήματος για το πρηνές Χ.Θ. 387+060 – 387+160 | 217 |
| Πίνακας 7.15. Αποτέλεσμα αναλύσεων ευαισθησία της παραμέτρου: επηρεαζόμενο μήκος οδού για το πρηνές Χ.Θ. 387+060 – 387+160 | 218 |
| Πίνακας 7.16. Αποτέλεσμα αναλύσεων ευαισθησία της παραμέτρου: Μέση κυκλοφορία οχημάτων για το πρηνές Χ.Θ. 387+060 – 387+160 | 219 |
| Πίνακας 7.17. Αποτέλεσμα αναλύσεων ευαισθησία της παραμέτρου: μέσο πλήθος ατόμων ανά όχημα για το πρηνές Χ.Θ. 387+060 – 387+160 | 220 |
| Πίνακας 7.18. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ανάλυσης διακινδύνευσης για το πρηνές Χ.Θ. 387+060 – 387+160..... | 222 |
| Πίνακας 7.19. Εκτίμηση ολικής διακινδύνευσης οδού | 225 |
| Πίνακας 7.20. Εκτίμηση μέσης διακινδύνευσης οδού..... | 226 |
| Πίνακας 7.21. Εκτίμηση μέσης διακινδύνευσης τμήματος..... | 227 |
| Πίνακας 7.22. Εκτίμηση μέσης διακινδύνευσης τμήματος..... | 228 |
| Πίνακας 7.23. Αποτελέσματα αναλύσεων ευαισθησίας μεθόδου QRA | 229 |
| Πίνακας 7.24. Δεδομένα εισαγωγής για τη Χ.Θ. 386+200 – 386+300..... | 238 |
| Πίνακας 7.25. Αποτελέσματα προσομοίωσης για το πρηνές στη Χ.Θ. 386+200 – 386+300 | 240 |
| Πίνακας 7.26. Δεδομένα εισαγωγής για τη Χ.Θ. 387+060 – 387+160..... | 241 |
| Πίνακας 7.27. Αποτελέσματα προσομοίωσης για το πρηνές στη Χ.Θ. 387+060 – 387+160 | 243 |
| Πίνακας 7.28. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα επικινδυνότητας και διακινδύνευσης για το πρηνές Χ.Θ. 386+200 – 386+300..... | 248 |
| Πίνακας 7.29. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα επικινδυνότητας και διακινδύνευσης για το πρηνές Χ.Θ. 387+060 – 387+160..... | 249 |

Περίληψη

Η περιοχή της κοιλάδας των Τεμπών, στο τμήμα από το οποίο διέρχεται η Εθνική Οδός Αθηνών – Θεσσαλονίκης έχει γίνει πολλές φορές αντικείμενο μελέτης, εξαιτίας των συχνά παρατηρούμενων βραχοπτώσεων, σε ένα κομβικό σημείο για τη σύνδεση Κεντρικής και Νότιας Ελλάδας. Η εμφάνιση βραχοπτώσεων δημιουργεί πολλά προβλήματα, με κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις.

Πρόσφατο και σημαντικότερο γεγονός είναι το συμβάν που έλαβε χώρα στις 17/12/2009, περί τη Χ.Θ. 386+150 – 386+200, με συνολικό όγκο κατάπτωσης περίπου 300m³ και μέγιστο τέμαχος περίπου 20m³. Κατά το συμβάν αυτό, έχασε τη ζωή του ο διευθυντής του έργου διάνοιξης σηράγγων, Ιταλός μηχανικός Σέρτζιο Σιάνι.

Με αφορμή τα παραπάνω, εκπονήθηκε η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, που είχε διπλό σκοπό. Σε πρώτη φάση συλλέχθηκαν, αναλύθηκαν, παρουσιάστηκαν και συγκρίθηκαν οι κυριότερες μέθοδοι εκτίμησης της επικινδυνότητας και της διακινδύνευσης μίας βραχόπτωσης σε ένα πρηνές οδικής αρτηρίας, ενώ στη συνέχεια, επιλέχθηκαν οι καταλληλότερες εξ αυτών και εφαρμόστηκαν σε δύο, κρίσιμα προς κατάπτωση, πρηνή στο τμήμα της Ε.Ο. που διέρχεται από την κοιλάδα των Τεμπών, οδηγώντας σε χρήσιμα συμπεράσματα.

Όσον αφορά τις μεθόδους εκτίμησης της επικινδυνότητας, βασικότερη είναι η μέθοδος Rockfall Hazard Rating System (RHRS) που πραγματοποιήθηκε για λογαριασμό της πολιτείας του Oregon από τον Pierson το 1991. Η μέθοδος λαμβάνει υπόψη της παραμέτρους όπως η γεωμετρία της διατομής του πρηνούς, οι συνθήκες κυκλοφορίας, ο γεωλογικός χαρακτήρας της βραχώμαζας, το μέγεθος των επισφαλών προς αποκόλληση τεμαχών, οι κλιματολογικές συνθήκες και το ιστορικό καταπτώσεων. Στη μέθοδο αυτή βασίστηκαν πολλές μεταγενέστερες, όπως η NHI-RHRS (Pierson & Vickle, 1993), που είναι μία βελτίωση της προηγούμενης, η TRHRS (Vanderwater *et al.*, 2005) που εφαρμόστηκε στην περιοχή του Tennessee, η CRHRS που εφαρμόστηκε στο Colorado από τους Santi *et al.*, 2009 και περιλαμβάνει περισσότερες παραμέτρους και πλείστες άλλες μέθοδοι.

Ακολουθώντας ίδια λογική, αλλά διαφορετικό τρόπο βαθμολόγησης, αναπτύχθηκε η μέθοδος FRHI (Singh, 2004) για ευσταθή βραχώδη ορύγματα, εκτιμώντας το επίπεδο επικινδυνότητας του πρηνούς για εργάτες που δουλεύουν πέριξ αυτού. Επίσης, οι Marinis *et al.*, 2008 ανέπτυξαν μία μέθοδο εκτίμησης της επικινδυνότητας για τη γενικευμένη περίπτωση ενός βραχώδους πρηνούς, το οποίο δεν βρίσκεται απαραίτητα σε μία οδική αρτηρία.

Τέλος, εκτίμηση της διακινδύνευσης είναι δυνατό να γίνει χρησιμοποιώντας 2D ή 3D προγράμματα προσομοίωσης της τροχιάς των καταπιπτόντων βραχωδών τεμαχών, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να εκτιμούν τη μέγιστη κινητική ενέργεια του τεμαχούς, πριν αυτό φτάσει στο οδόστρωμα. Στη συνέχεια, με κατάλληλα διαγράμματα (πχ Ελβετικές προδιαγραφές) συνδυάζεται η συχνότητα των βραχοπτώσεων με την κινητική ενέργεια των τεμαχών και εκτιμάται το επίπεδο της επικινδυνότητας.

Για την εκτίμηση της διακινδύνευσης, περιγράφηκαν οι μέθοδοι WSDOT (2010) του τμήματος μεταφορών της Washington που αποτελεί μία απλουστευτική προσέγγιση της διακινδύνευσης, της ελβετικής υπηρεσίας FEDRO (2009) που έχει αναπτύξει μία εμπειριστατωμένη μέθοδο εκτίμησής της, ενώ τέλος παρουσιάστηκε και η μέθοδος QRA (Corominas & Mova, 2008) που αποτελεί μία ποσοτική.

Ακολούθως, χρησιμοποιήθηκαν οι καταλληλότερες μέθοδοι για την εκτίμηση της επικινδυνότητας και της διακινδύνευσης σε δύο πρηνή στην κοιλάδα των Τεμπών. Το πρώτο βρίσκεται μεταξύ της Χ.Θ. 386+200 – 386+300, όπου εξετάζεται ένα πρηνές αποτελούμενο από λεπτοστρωματώδη κρυσταλλικό ασβεστόλιθο, με ύψος 90m και μέση γωνία ίση με 60°. Το δεύτερο πρηνές βρίσκεται μεταξύ της Χ.Θ. 387+060 – 387+160, αποτελείται από λεπτοστρωματώδη κρυσταλλικό ασβεστόλιθο, με ύψος 55m και μέση γωνία ίση με 70°.

Για την εκτίμηση της επικινδυνότητας χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι RHRS, NHI-RHRS και CRHRS, ενώ πραγματοποιήθηκαν και προσομοιώσεις τροχιάς με το πρόγραμμα RocFall της RocScience, όπου εκτιμήθηκε η μέγιστη κινητική ενέργεια των καταπιπτόντων τεμαχίων, συνδυάστηκε με τη συχνότητα των καταπτώσεων και με βάση τις Ελβετικές προδιαγραφές, εκτιμήθηκε η επικινδυνότητα.

Σύμφωνα με όλες τις μεθόδους (και τις αναλύσεις ευαισθησίας που έγιναν σε κάθε μία από αυτές), εκτιμάται ότι η επικινδυνότητά τους είναι (οριακά μέτρια έως) ΥΨΗΛΗ.

Συνεπώς, είναι απαραίτητη η διεξαγωγή αναλύσεων για την εκτίμηση της διακινδύνευσης των δύο αυτών πρηνών. Χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι FEDRO και QRA.

Με βάση τα αποτελέσματά τους, εκτιμήθηκε πως η πιθανότητα να χάσει τη ζωή του ένα άτομο, που επιβαίνει σε ένα αυτοκίνητο και διέρχεται από το τμήμα μεταξύ Χ.Θ. 386+200 – 386+300 είναι της τάξης του $1,5 \times 10^{-6}$, ενώ η αντίστοιχη τιμή για το τμήμα μεταξύ Χ.Θ. 387+060 – 387+160 είναι της τάξης του $5,0 \times 10^{-6}$.

Οι τιμές αυτές είναι χαμηλότερες από τα διεθνώς αποδεκτά όρια για τη διακινδύνευση. Ωστόσο, εκτιμάται πως συνδυαστικά γεγονότα ενδέχεται να αυξήσουν τα επίπεδά της και για αυτό κρίνεται απαραίτητο να ληφθούν μέτρα προστασίας των πρηνών έναντι κατάπτωσης βράχων.

Summary

The Tempi Valley Gorge, where the Motorway, that connects Athens and Thessaloniki, is located, has often been studied for rockfall problems. The existence of these rockfalls causes many problems with social and economical consequences, in a crucial trail that connects the Central and Southern Greece.

An important and recent rockfall event is the one that took place on 17/12/2009 at the section between 386+200 and 386+300, with an approximate total volume of 300m³ and a maximum block of 30m³ size. During this event, the tunneling project manager, Sergio Siani, was killed.

Due to the above, this post-graduate thesis was conducted and includes two different parts. Initially, the main methods of hazard and risk assessment were collected, analyzed, presented and compared. At the second part, the most suitable of them were applied to two crucial sections of the Motorway passing through the Tempi Valley Gorge, leading to useful conclusions.

Regarding the methods of hazard assessment, the most important is the one called Rockfall Hazard Rating System (RHRS), which was held on behalf of the State of Oregon by Pierson, 1991. This method takes into account parameters such as the geometry of the slope, traffic conditions, the geological character of the rockmass, the block's size, weather conditions and the rockfall historical data. An improvement of this method is NHI-RHRS (Pierson & Vickle, 1993), while the method TRHRS was implemented by Vanderwater et al., 2005 in the region of Tennessee and the CRHRS method was applied by Santi et al., 2009 in Colorado and includes more parameters. Many other methods, based on RHRS are also implemented.

Following the same patterns, but different scoring system Singh, 2004 developed FRHI on stable rocky excavations, concerning the slope's hazard level for workers working next to it. Also, Marinos et al., 2008 developed a method of hazard assessment for a general case of a rocky slope, which is not necessarily located next to a road.

Finally, a hazard assessment can be executed, using 2D or 3D simulation programs that track the block's movement and estimate the maximum kinetic energy of the block before it reaches the ground. Then, with appropriate diagrams (eg Swiss methodologies), which combine the frequency of rockfall and the kinetic energy of the blocks, can estimate the level of hazard.

For the risk assessment, the methods described here are: (a) the WSDOT method (2010) that was conducted by Washington State Department of Transportation and includes a simplistic approach, (b) a comprehensive probabilistic risk assessment method that is developed by the Swiss Federal Roads Office (FEDRO, 2009) and finally (c) a quantitative risk assessment method of QRA, developed by Corominas & Mova, 2008).

Afterwards, the most appropriate methods were used in order to assess the level of hazard and risk in two sections of the Motorway. The first section is located between 386+200 – 386+300. The slope that was examined consists of thin-bedded crystalline limestone, its height is about 90m and has an average slope angle of 60°. The second slope is located between 387+060 – 387+160. The slope that was examined consists of thin-bedded crystalline limestone, its height is about 55m and has an average slope angle of 70°.

Methods RHRS, NHI-RHRS and CRHRS were used to assess the level of hazard on the two sections. In addition, the statistical analysis program RocFall of RocScience Inc. was used to estimate the maximum kinetic energy of the falling block, which was combined with the rockfall frequency and, according to the Swiss standards, led to the estimation of the level of hazard.

According to all these methods (and the sensitivity analysis performed on each of them), the level of hazard is estimated as (moderate to) HIGH.

It is therefore necessary to assess the level of risk on both slopes. The methods FEDRO and QRA were used.

Based on their results, the probability of a commuter passing through these sections was estimated. For the section between 386+200 – 386+300 it reached the value of $1,5 \times 10^{-6}$, while the corresponding value of the section between 387+060 – 387+160 reached the value of $5,0 \times 10^{-6}$.

These values are lower than the worldwide accepted limits of risk. On the other hand, it is estimated that a combination of multiple rockfall events, may increase these values and therefore appropriate protection measures must be implemented.

Εισαγωγή

Η αστάθεια των βραχωδών πρηνών αποτελεί μία σημαντική πηγή επικινδυνότητας για τις ανθρώπινες δραστηριότητες, που πολύ συχνά οδηγεί σε οικονομικές απώλειες, καταστροφές ιδιοκτησιών και εγκαταστάσεων, αύξηση του κόστους συντήρησης, καθώς και τραυματισμούς ή απώλειες ανθρωπίνων ζώων (Pantelidis, 2009).

Η διακινδύνευση των βραχοπτώσεων, σε οικονομικό επίπεδο, κατά μήκος αυτοκινητοδρόμων (ή/και σιδηροδρόμων) σε βραχώδεις περιοχές, δεν μπορεί να συγκριθεί με εκείνη άλλων πηγών επικινδυνότητας, όπως για παράδειγμα των κατολισθήσεων μεγάλης κλίμακας, που ενδέχεται να οδηγήσουν σε διακοπή κυκλοφορίας της οδού για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ωστόσο, το πλήθος των απωλειών ζώων εξαιτίας βραχοπτώσεων, τείνει να βρίσκεται στα ίδια επίπεδα με τις αντίστοιχες τιμές οποιασδήποτε άλλης πηγής επικινδυνότητας αστάθειας βραχώδους πρηνούς (Hoek, 2006).

Συνεπώς, η κατασκευή αυτοκινητοδρόμων και σιδηροδρομικών γραμμών σε ορεινές περιοχές αποτελεί μία ιδιαίτερη πρόκληση για τους γεωλόγους και τους γεωτεχνικούς μηχανικούς, καθώς το μεγάλο, συνήθως, μήκος των έργων αυτών δημιουργεί δυσκολίες στην απόκτηση επαρκών πληροφοριών για την εκτίμηση της ευστάθειας για κάθε πρηνές κατά μήκος της χάραξης.

Αναγνωρίζοντας τη σημασία του προβλήματος και την δυσκολία διεξαγωγής λεπτομερών ερευνών και αναλύσεων στα εκατοντάδες χιλιόμετρα των ορεινών αυτοκινητοδρόμων, διάφοροι μελετητές εργάστηκαν στην παραγωγή συστημάτων κατάταξης τόσο της επικινδυνότητας, όσο και της διακινδύνευσης των βραχοπτώσεων, που βασίζονται σε οπτική παρατήρηση και απλούς υπολογισμούς. Σκοπός των κατατάξεων αυτών είναι να προσδιοριστούν τα πρηνή με το μεγαλύτερο βαθμό διακινδύνευσης και ιδίως αυτά που απαιτούν τη λήψη άμεσων μέτρων προστασίας ή περαιτέρω λεπτομερή έρευνα.

Με βάση τα παραπάνω και ειδικότερα όσον αφορά τις βραχοπτώσεις σε οδικές αρτηρίες, έχουν προκύψει δεκάδες συστήματα ταξινόμησης της επικινδυνότητας και της διακινδύνευσης των βραχοπτώσεων, τα σημαντικότερα εκ των οποίων παρουσιάζονται στην παρούσα διπλωματική εργασία. Η ταξινόμηση εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, όπως το ύψος του πρηνούς, η γεωμετρία του, οι γεωλογικές συνθήκες, η ποσότητα της κατάπτωσης, η συχνότητά της, η ημερήσια κυκλοφορία των οχημάτων, η ταχύτητά τους κ.α.

Όσον αφορά τον Ελληνικό χώρο, οι κατολισθήσεις υπό τη μορφή βραχοπτώσεων είναι η συνηθέστερη μορφή κατολισθήσεων, ιδίως μετά από σεισμό ή έντονες βροχοπτώσεις (Koukis *et al.*, 1994 & 1996, Χαραλάμπους *et al.*, 2008, Lainas *et al.*, 2010). Τα μεγαλύτερα προβλήματα βραχοπτώσεων μάλιστα εντοπίζονται σε περιοχές της Δυτική Ελλάδας και οφείλονται σε ένα συνδυασμό παραγόντων και διεργασιών που αφορούν στο ανάγλυφο, στο γεωλογικό και τεκτονικό περιβάλλον,

στις κλιματικές συνθήκες, αλλά και στην ανθρώπινη δραστηριότητα (Koukis *et al.*, 1994 & 1996, Χαραλάμπους *et al.*, 2010). Ενδεικτικά, αναφέρονται κατολισθητικά φαινόμενα στον ιστορικό χώρο της Μονεμβάσιας (Marinos *et al.*, 2008), στον αρχαιολογικό χώρο των Δελφών (Marinos & Rondoyanni, 2005) καθώς και η βραχόπτωση στην Ε.Ο στην κοιλάδα των Τεμπών στις 17/12/2009, η οποία προκάλεσε τον θάνατο ενός ανθρώπου και δημιούργησε σημαντικά προβλήματα στο εθνικό οδικό δίκτυο (Γκαζέτας *et al.*, 2010 – Πόρισμα ΤΕΕ).

Η τελευταία περίπτωση, της βραχόπτωσης στα Τέμπη, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, τόσο εξαιτίας των προβλημάτων που προκλήθηκαν στην σύνδεση Βόρειας και Κεντρικής Ελλάδας, όσο και εξαιτίας του τραγικού συμβάντος του θανάτου του Ιταλού μηχανικού στο συμβάν που έλαβε χώρα στις 17/12/2009.

Στην Ε.Ο. της κοιλάδας των Τεμπών έχουν καταγραφεί κατά το παρελθόν αρκετές βραχοπτώσεις, σημαντικές ή μη, σε διάφορες χιλιομετρικές θέσεις. Μετά τα γεγονότα του 2009, η Ε.Ο. έκλεισε για σημαντικό διάστημα προκειμένου να γίνουν εργασίες αποκατάστασης της κατολίθησης, αλλά και προστασίας από τις πτώσεις βράχων. Έκτοτε, η εθνική οδός κλείνει ανά τακτά διαστήματα, για εργασίες συντήρησης και καθαρισμού των βραχοπαγίδων.

Στην παρούσα διπλωματική, με βάση τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν από την περιοχή των Τεμπών, επιλέχθηκαν δύο διατομές και εφαρμόστηκαν τα σημαντικότερα συστήματα ταξινόμησης επικινδυνότητας και διακινδύνευσης βραχοπτώσεων.

Έτσι, στην παρούσα εργασία, στο **πρώτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται οι βασικοί ορισμοί των κυριότερων εννοιών που αφορούν την εκτίμηση της επικινδυνότητας και της διακινδύνευσης. Στο **δεύτερο κεφάλαιο**, γίνεται μία γενική αναφορά στις μεθόδους εκτίμησης της επικινδυνότητας και της διακινδύνευσης. Στο **τρίτο κεφάλαιο** περιγράφονται αναλυτικά, τα βασικότερα συστήματα ταξινόμησης επικινδυνότητας. Στο **τέταρτο κεφάλαιο** περιγράφονται τα συστήματα εκτίμησης διακινδύνευσης, ενώ στο **πέμπτο κεφάλαιο** γίνεται σύγκριση των ανωτέρων μεθόδων. Στα **κεφάλαια έξι και επτά**, αναλύονται οι συνθήκες που επικρατούν στην κοιλάδα των Τεμπών, επιλέγονται δύο διατομές και εφαρμόζονται σε αυτές τα κυριότερα συστήματα κατάταξης επικινδυνότητας και διακινδύνευσης. Τέλος, στο **κεφάλαιο οκτώ** αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν τόσο από την παράθεση και σύγκριση των μεθόδων επικινδυνότητας και διακινδύνευσης, όσο και από την εφαρμογή τους στις δύο θέσεις της περιοχής των Τεμπών.

1. Ορισμοί

Πριν την αναλυτική περιγραφή των μεθόδων εκτίμησης επικινδυνότητας και διακινδύνευσης, κρίνεται σκόπιμη η παρουσίαση μερικών ορισμών για έννοιες σχετικές με το αντικείμενο.

Σύμφωνα με το *UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction, United Nations, 2009*, ορίζονται τα εξής:

Καταστροφή (Disaster)

Μια σοβαρή διατάραξη της λειτουργίας μιας κοινότητας ή μιας κοινωνίας, με ευρείες ανθρώπινες, υλικές, οικονομικές ή περιβαλλοντικές απώλειες και επιπτώσεις, οι οποίες υπερβαίνουν την ικανότητα της πληγείσας κοινότητας ή της κοινωνίας να αντιμετωπίσει με τα δικά της μέσα.

Έκθεση (Exposure)

Άνθρωποι, περιουσίες, συστήματα, ή άλλα στοιχεία που βρίσκονται εντός των ζωνών επικινδυνότητας και συνεπώς υπόκεινται σε πιθανές απώλειες.

Τρωτότητα – ευπάθεια (Vulnerability – “V”)

Τα χαρακτηριστικά και οι συνθήκες μιας κοινότητας, συστήματος ή περιουσιακού στοιχείου που τα καθιστούν ευαίσθητα στις επιβλαβείς συνέπειες της επικινδυνότητας.

Κατά *Varnes 1984*, η τρωτότητα είναι ο βαθμός της απώλειας ενός δεδομένου στοιχείου, ή μίας ομάδας στοιχείων που βρίσκονται σε διακινδύνευση (βλ. παρακάτω), ως αποτέλεσμα της εμφάνισης ενός φυσικού φαινομένου συγκεκριμένου μεγέθους. Εκφράζεται σε κλίμακα από μηδέν (0) – καμία βλάβη, έως ένα (1) – ολική απώλεια.

Επικινδυνότητα (Hazard)

Ένα (επικίνδυνο) φαινόμενο, ουσία, ανθρώπινη δραστηριότητα ή κατάσταση που μπορεί να προκαλέσει απώλεια ζωής, τραυματισμού ή άλλες επιπτώσεις για την υγεία, υλικές ζημιές, απώλεια αγαθών και υπηρεσιών, κοινωνική και οικονομική αναστάτωση, ή περιβαλλοντική ζημία.

Φυσική επικινδυνότητα (Natural Hazard – “H”)

Φυσικό φαινόμενο ή διαδικασία που μπορεί να προκαλέσει απώλεια ζωής, τραυματισμού ή άλλες επιπτώσεις για την υγεία, υλικές ζημιές, απώλεια αγαθών και υπηρεσιών, κοινωνική και οικονομική αναστάτωση, ή περιβαλλοντική ζημία.

Κατά *Varnes 1984*, φυσική επικινδυνότητα είναι η πιθανότητα εμφάνισης, εντός συγκεκριμένης χρονικής περιόδου και σε δεδομένη περιοχή, ενός ενδεχόμενου επιβλαβούς φαινομένου

Γεωλογική Επικινδυνότητα (Geological Hazard)

Γεωλογική διαδικασία ή φαινόμενο που ενδέχεται να προκαλέσει απώλεια ζωής, τραυματισμού ή άλλες επιπτώσεις για την υγεία, υλικές ζημιές, απώλεια αγαθών και υπηρεσιών, κοινωνική και οικονομική αναστάτωση, ή περιβαλλοντική ζημία.

Διακινδύνευση ή κίνδυνος (Risk)

Ο συνδυασμός της πιθανότητας εμφάνισης ενός γεγονότος και των αρνητικών συνεπειών του.

Κατά *Health and Safety Executive* (<http://www.hse.gov.uk/risk/theory/alarplance.htm> 7/8/11) η διακινδύνευση είναι η πιθανότητα της επικινδυνότητας να προκαλέσει τις δυσμενείς επιπτώσεις της, δίνοντας και το μέτρο της επίπτωσης. Πρόκειται για μία διπλή έννοια και απαιτούνται και δύο όροι της για να γίνει αντιληπτή. Μπορεί να εκφραστεί ως πιθανότητα (“μία στις χίλιες”), συχνότητα (“1000 περιπτώσεις ανά έτος”), ή ποιοτικά (“αμελητέα”, “σημαντική”, κτλ).

Κατά *Fell et al.*, 2008, διακινδύνευση είναι ένα μέτρο της πιθανότητας και της σοβαρότητας των δυσμενών συνεπειών για την υγεία, την ιδιοκτησία ή το περιβάλλον. Η διακινδύνευση συχνά υπολογίζεται από το γινόμενο της πιθανότητας εμφάνισης ενός φαινομένου συγκεκριμένου μεγέθους επί τις συνέπειές του.

Κατά *Crichton*, 1999 (από *FloodRiskNet Newsletter*, 2003) διακινδύνευση είναι η πιθανότητα της απώλειας και εξαρτάται από τρία στοιχεία: τη επικινδυνότητα, την τρωτότητα και την έκθεση στο φαινόμενο. Εάν οποιοδήποτε από αυτά τα στοιχεία αυξηθεί ή μειωθεί, η διακινδύνευση αυξάνεται ή μειώνεται αντίστοιχα.

Αποδεκτή Διακινδύνευση (Acceptable Risk)

Το επίπεδο της πιθανής απώλειας που μία κοινωνία ή κοινότητα θεωρεί ως αποδεκτό, με βάση τις υπάρχουσες κοινωνικές, οικονομικές, πολιτικές, πολιτισμικές, τεχνικές και περιβαλλοντικές συνθήκες της

Ολική διακινδύνευση (Total Risk – “ R_t ”)

Κατά *Varnes*, 1984, είναι το αναμενόμενο πλήθος απωλειών ζωής, τραυματισμών, ζημιών σε ιδιοκτησίες ή ανωμαλία της οικονομικής δραστηριότητας, εξαιτίας ενός συγκεκριμένου φυσικού φαινομένου. Επομένως είναι το γινόμενο της ειδικής διακινδύνευσης με τα στοιχεία σε διακινδύνευση: $R_t = (E) \times (R_s) = (E) \times (H \times V)$

Όπου H και V η φυσική επικινδυνότητα και η τρωτότητα όπως ορίζονται στο παρόν κεφάλαιο και E , R_s όπως ορίζονται παρακάτω.

Κατά *Blong*, 1996 (από *FloodRiskNet Newsletter*, 2003) ισχύει:

Ολική διακινδύνευση = Επίδραση επικινδυνότητας x Στοιχεία σε διακινδύνευση x Τρωτότητα στοιχείων.

Ειδική Διακινδύνευση (Specific Risk – “R_s”)

Κατά Varnes, 1984, είναι ο αναμενόμενος βαθμός των απωλειών, εξαιτίας ενός συγκεκριμένου φυσικού φαινομένου. Εκφράζεται ως το γινόμενο της φυσικής επικινδυνότητας (H) επί την τρωτότητα (V).

Παραμένουσα διακινδύνευση (Residual Risk)

Η διακινδύνευση που παραμένει σε μη διαχειριζόμενη μορφή, ακόμη και εάν έχουν τεθεί σε εφαρμογή αποτελεσματικά μέτρα για τη μείωση της διακινδύνευσης, και για την οποία πρέπει να διατηρούνται σχέδια αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης και ικανότητας ανάκαμψης.

Στοιχεία σε κίνδυνο (Elements at risk – “E”)

Κατά Varnes, 1984, πρόκειται για πληθυσμό, ιδιοκτησίες, οικονομικές δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένων των δημόσιων υπηρεσιών κτλ, που βρίσκονται σε διακινδύνευση σε μία δεδομένη περιοχή.

Εκτίμηση διακινδύνευσης (Risk assessment)

Μεθοδολογία για τον προσδιορισμό της φύσης και της έκτασης της διακινδύνευσης, αναλύοντας την πιθανή επικινδυνότητα και αξιολογώντας τις υφιστάμενες συνθήκες και την τρωτότητα που θα μπορούσαν να βλάψουν εκτιθέμενα άτομα, ιδιοκτησίες, υπηρεσίες, αγαθά καθώς το περιβάλλον από το οποίο εξαρτώνται.

2. Μέθοδοι εκτίμησης επικινδυνότητας και διακινδύνευσης βραχοπτώσεων - Γενικά

Στην βιβλιογραφία αναφέρονται διαφορετικές προσεγγίσεις για την εκτίμηση της επικινδυνότητας και της διακινδύνευσης των βραχοπτώσεων. Ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για να προσεγγιστεί κάθε φορά η βραχόπτωση, εξάγονται και τα αντίστοιχα συμπεράσματα.

Όσον αφορά την επικινδυνότητα, έχει ευρέως υιοθετηθεί η χρήση συστημάτων ταξινόμησής της, που, εν γένει, βαθμολογούν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της περιοχής και του πρानού που εξετάζεται, με σκοπό, αθροίζοντας τις επί μέρους βαθμολογίες των χαρακτηριστικών τους, να προκύψει ένας καθαρός αριθμός, που θα αντιπροσωπεύει το επίπεδο της επικινδυνότητας της εν λόγω κατάπτωσης.

Σε γενικές γραμμές, η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι η εξής:

- Αρχικά, γίνεται μία ποιοτική κατάταξη των πρानών της εξεταζόμενης περιοχής, διαχωρίζοντας έτσι εκείνα που χρήζουν περαιτέρω έρευνας, από εκείνα που κρίνονται ως ασφαλή και δεν αναμένεται να οδηγήσουν σε καταπτώσεις. Παράγοντες που καθορίζουν την αρχική αυτή κατάταξη είναι η κλίση του πρανού, η γεωλογία, η ύπαρξη ή μη ικανής βραχοπαγίδας κ.α.
- Στη συνέχεια, για τις περιοχές εκείνες που εκτιμήθηκε ότι χρήζουν περαιτέρω μελέτης, γίνεται λεπτομερέστερος έλεγχος των κρίσιμων χαρακτηριστικών (ανάλογα τη μέθοδο) και δίδεται σε αυτά μία βαθμολογία. Τα χαρακτηριστικά αυτά ποικίλουν, περισσότερο ή λιγότερο, ανά μέθοδο και αφορούν κυρίως στο ύψος του πρανού, στην ύπαρξη και την επάρκεια της βραχοπαγίδας, στο πλάτος της οδού, στα γεωλογικά χαρακτηριστικά καθώς και στα χαρακτηριστικά των ασυνχειών, αλλά και στις συνθήκες κυκλοφορίας των οχημάτων. Οι επί μέρους βαθμολογίες των χαρακτηριστικών αυτών αθροίζονται και προκύπτει η γενική βαθμολογία επικινδυνότητας της κατάπτωσης του πρανού.

Σημειώνεται ότι οι περισσότερες ευρέως χρησιμοποιούμενες μέθοδοι εκτίμησης της επικινδυνότητας δίνουν ως τελικό αποτέλεσμα έναν καθαρό αριθμό, ενδεικτικό της επικινδυνότητας. Δεν την κατατάσσουν, πχ. ως υψηλή, μέτρια, χαμηλή, καθώς ένας τέτοιος χαρακτηρισμός εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, όπως είναι ο διατιθέμενος, από την αρμόδια υπηρεσία, προϋπολογισμός για τις απαιτούμενες εργασίες προστασίας.

Επιπρόσθετα, η επικινδυνότητα μπορεί να εκτιμηθεί από αναλύσεις της τροχιάς του καταπίπτοντος τεμάχους, τον υπολογισμό της ενέργειας που έχει πριν καταλήξει στο οδόστρωμα, που σε συνδυασμό με την συχνότητα του φαινομένου και κατάλληλα διαγράμματα, προκύπτει η επικινδυνότητα της βραχόπτωσης.

Πιο συγκεκριμένα, από την ανάλυση των διαθέσιμων στοιχείων, κατασκευάζονται κατάλληλοι χάρτες διακινδύνευσης, διαχωρίζοντας έτσι την περιοχή μελέτης σε ζώνες διαφορετικών επιπέδων διακινδύνευσης. Στη συνέχεια προσδιορίζονται τα πιθανά

2. Μέθοδοι εκτίμησης επικινδυνότητας και διακινδύνευσης βραχοπτώσεων - Γενικά

σημεία αποκόλλησης των βράχων, καθώς και η κατανομή του όγκου τους. Με βάση τα στοιχεία αυτά, καθώς και του αναγλύφου, είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν δισδιάστατες ή/και τρισδιάστατες αναλύσεις των τροχιών των βράχων με κατάλληλα αριθμητικά μοντέλα. Από τις αναλύσεις αυτές μπορεί να προκύψει η ενέργεια που θα έχουν τα τεμάχια, όταν φτάσουν στο επίπεδο του δρόμου. Συνδυάζοντας την κινητική ενέργεια των τεμαχίων με τη συχνότητα των γεγονότων κατάπτωσης προκύπτει η επικινδυνότητα της βραχοπτώσεως και συγκρίνεται με τα ανεκτά όρια αυτής.

Για την διακινδύνευση, οι προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται αφορούν κυρίως στην ποσοτική (πιθανοτική) εκτίμησή της

Στην ποσοτική προσέγγιση της διακινδύνευσης, περιέχεται η ανάλυση της επικινδυνότητας, ως πρώτο βήμα, καθώς και η εκτίμηση της έκθεσης ενός ατόμου, μίας ιδιοκτησίας ή μίας κατασκευής, στην επικινδυνότητα αυτή. Στη συνέχεια, εκτιμάται το επίπεδο της διακινδύνευσης, με μορφή πιθανότητας, να συμβεί και εξετάζεται εάν και κατά πόσο, το επίπεδο αυτό βρίσκεται εντός αποδεκτών ορίων, που ορίζονται διαφορετικά σε κάθε περιοχή, ανάλογα με το βιοτικό επίπεδο, την ανοχή του πληθυσμού, την ανάγκη υλοποίησης του έργου (πχ μίας οδού), την κοινωνική ανάπτυξη κτλ. Σε αυτή την ανάλυση υπεισέρχονται διάφοροι παράγοντες που πρέπει να εξεταστούν, όπως είναι οι κυκλοφοριακές συνθήκες, το είδος του τεχνικού έργου (πχ οδός, cut-and-cover ή γέφυρα), η γεωλογία, το είδος της πρόσκρουσης του οχήματος με τον βράχο, η περίοδος επαναφοράς του φαινομένου της κατάπτωσης, κ.α.

Στην περίπτωση που τα αποτελέσματα της διακινδύνευσης δεν γίνονται αποδεκτά, καθώς βρίσκονται υψηλότερα από τα ανεκτά όρια, πρέπει να ληφθούν μέτρα προστασίας, που θα αποσκοπούν στον περιορισμό της.

Ανάλυση γεγονότων δενδριτικής μορφής (event-tree)

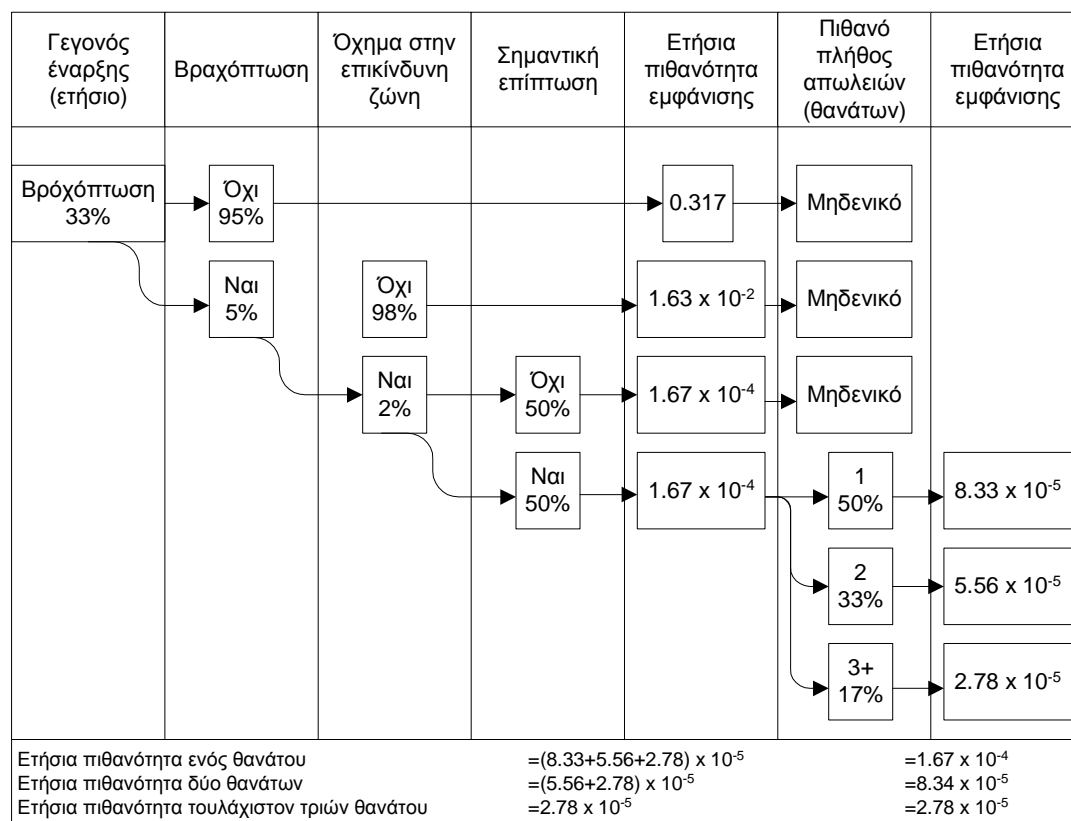
Υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι για την προσέγγιση της εκτίμησης της ετήσιας πιθανότητας θνησιμότητας, που οφείλεται σε γεγονότα καταπτώσεων βράχων.

Μία από αυτές είναι και η ανάλυση event-tree, κατά την οποία μία τιμή πιθανότητας συμβάντος εισάγεται σε κάθε γεγονός με μία σειρά, η οποία οδηγεί στην θνησιμότητα εξαιτίας κατάπτωσης, όπως φαίνεται στο παράδειγμα του ακόλουθου σχήματος (περίπτωση Argillite Cut, Hoek, 2006 από Bunce, 1994).

Σύμφωνα με το ακόλουθο παράδειγμα, βροχοπτώσεις παρουσιάζονται στο 33% του χρόνου, οι βραχοπτώσεις παρουσιάζονται στο 5% των ημερών που βρέχει, τα οχήματα επηρεάζονται κατά 2% από τις καταπτώσεις αυτές και το 50% των επιρροών αυτών είναι σημαντικές (πχ οδηγούν σε τουλάχιστον ένα θάνατο). Συνεπώς, η ετήσια πιθανότητα θνησιμότητας που προκαλείται σε ένα όχημα, που επηρεάζεται από μία κατάπτωση, η οποία προκαλείται από μία βροχοπτώση είναι ίση με:

$$P = 0.333 \times 0.05 \times 0.02 \times 0.5 = 1.67 \times 10^{-4}$$

2. Μέθοδοι εκτίμησης επικινδυνότητας και διακινδύνευσης βραχοπτώσεων - Γενικά



Σχήμα 2.1. Διάγραμμα event – tree, (Hoek, 2006)

Το δέντρο γεγονότων επεκτείνεται για τον υπολογισμό της ετήσιας πιθανότητας εμφάνισης ενός, δύο, τριών ή περισσότερων θανάτων σε ένα ατύχημα. Όπως φαίνεται στο σχήμα υπολογίζεται η πιθανότητα για:

Τουλάχιστον ένα θάνατο: $(8.33 + 5.56 + 2.78) \times 10^{-5} = 1.7 \times 10^{-4}$

Τουλάχιστον δύο θανάτους: $(5.56 + 2.78) \times 10^{-5} = 8.34 \times 10^{-5}$

Τρεις ή περισσότερους θανάτους: 2.78×10^{-5}

Έστω ότι γίνονται εργασίες στο πρανές του ορύγματος και απαιτείται να διατηρηθεί η υπάρχουσα ροή κυκλοφορίας κατά τις εργασίες. Έστω ότι οι κατασκευαστικές εργασίες διαρκούν 6 μήνες (50% του έτους) και οι καταπτώσεις πραγματοποιούνται στο 20% του συνολικού χρόνου εργασιών, δηλαδή 36 ημέρες. Στο ίδιο παράδειγμα με τα προηγούμενα, οι υπόλοιπες παράμετροι διατηρούνται ως έχουν. Όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα, από την ανάλυση προκύπτει ότι η διακινδύνευση της θνησιμότητας από καταπτώσεις αυξάνεται σχεδόν κατά μία τάξη μεγέθους (δεκαπλασιάζεται) εξαιτίας των απαιτούμενων εργασιών.

2. Μέθοδοι εκτίμησης επικινδυνότητας και διακινδύνευσης βραχοπτώσεων - Γενικά

| Γεγονός έναρξης (ετήσιο) | Βραχώπτωση | Όχημα στην επικίνδυνη ζώνη | Σημαντική επίπτωση | Ετήσια πιθανότητα εμφάνισης | Πιθανό πλήθος απωλειών (θανάτων) | Ετήσια πιθανότητα εμφάνισης |
|---|-----------------------|----------------------------|--------------------|---|----------------------------------|-----------------------------|
| Κατασκευή 50% | Όχι 80% | | | 0.4 | Μηδενικό | |
| | | | | 9.80×10^{-2} | Μηδενικό | |
| | 1.00×10^{-3} | | | Μηδενικό | | |
| | 1.00×10^{-3} | | | 1 50% | 5.00×10^{-4} | |
| Ναι 20% | Όχι 98% | | | | | |
| | Ναι 2% | | | Ναι 50% | 2 33% | 3.30×10^{-4} |
| | | | | | 3+ 17% | 1.70×10^{-4} |
| Ετήσια πιθανότητα ενός θανάτου | | | | $= (5.00 + 3.30 + 1.70) \times 10^{-4}$ | | $= 1.00 \times 10^{-3}$ |
| Ετήσια πιθανότητα δύο θανάτων | | | | $= (3.30 + 1.70) \times 10^{-5}$ | | $= 5.00 \times 10^{-4}$ |
| Ετήσια πιθανότητα τουλάχιστον τριών θανάτων | | | | $= 1.70 \times 10^{-5}$ | | $= 1.70 \times 10^{-4}$ |

Σχήμα 2.2. Διάγραμμα event – tree, υποθετική περίπτωση κατά την οποία οι εργασίες κατασκευής πραγματοποιούνται σε διάστημα 6 μηνών, με τον αυτοκινητόδρομο σε λειτουργία (Hoek, 2006).

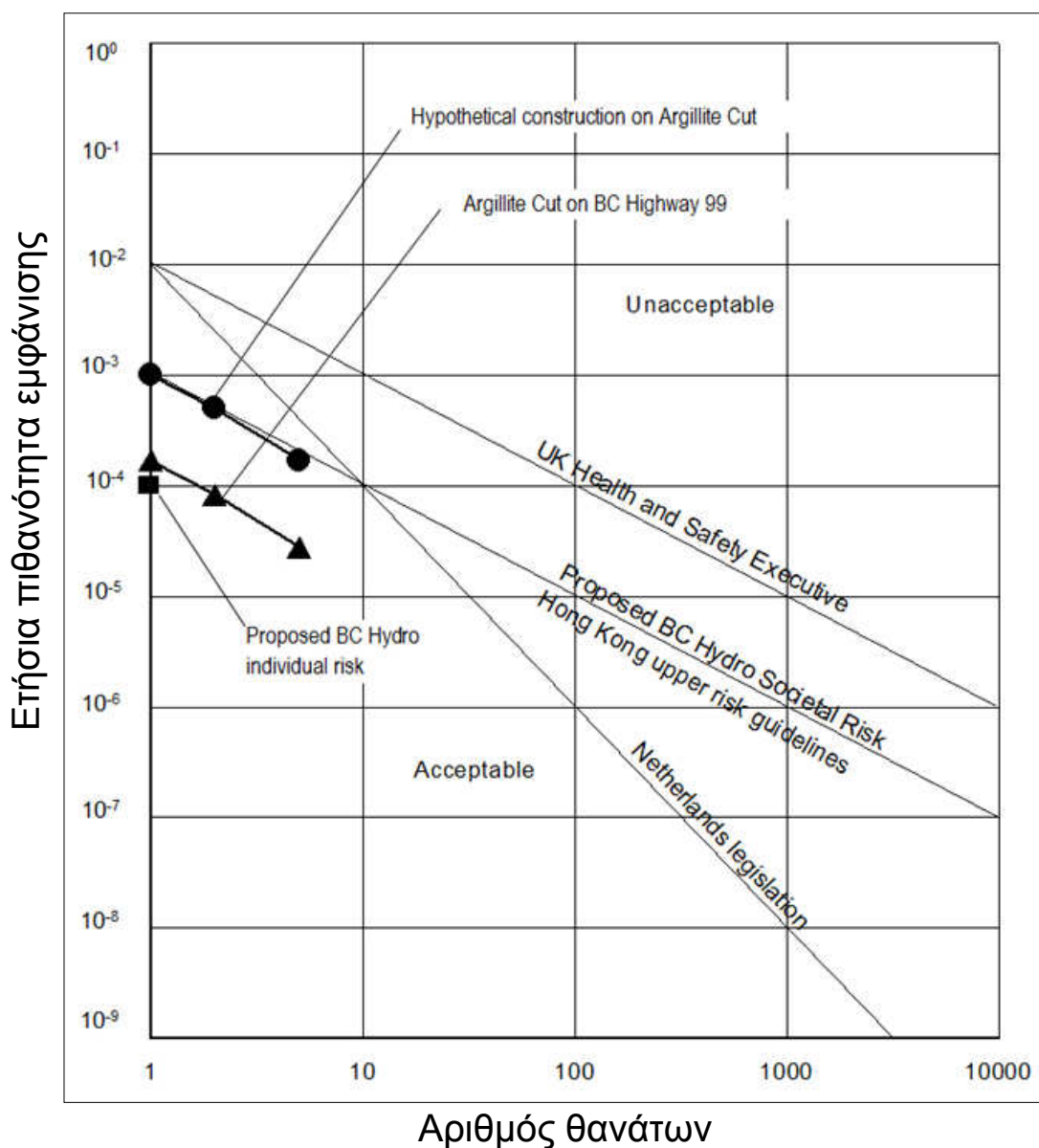
Σύγκριση εκτιμώμενης και αποδεκτής διακινδύνευσης

Η εκτίμηση της ετήσιας πιθανότητας θνησιμότητας λόγω καταπτώσεων όπως υπολογίστηκε παραπάνω δεν έχει αξία εάν δεν συγκριθεί με την αποδεκτή διακινδύνευση που χρησιμοποιείται στα μεγάλα κατασκευαστικά έργα.

Σύμφωνα με τον Whitman (κατά Hoek, 2006), με το ακόλουθο διάγραμμα παρέχονται οδηγίες για την αποδεκτή διακινδύνευση. Η γραμμή “Proposed BC Hydro Societal Risk” (Προτεινόμενη κοινωνική διακινδύνευση κατά BC Hydro) είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς ορίζει την πιθανότητα θανατηφόρου συμβάντος λόγω αστοχίας φράγματος ίση με 0.001 απώλειες ζωής ανά έτος, ή 1 θάνατος ανά 1000 χρόνια.

Κατά Hoek, 2006 στο ίδιο διάγραμμα σχεδιάστηκαν οι αντίστοιχες γραμμές για το παραπάνω παράδειγμα, από τις οποίες φαίνεται ότι η αντίστοιχη πιθανότητα είναι δέκα φορές μεγαλύτερη από αυτή της αστοχίας φράγματος, καταδεικνύοντας την σπουδαιότητα της εκτίμησης της διακινδύνευσης και την κρισιμότητα της απόφασης της διακοπής ή μη της λειτουργίας της οδού κατά την διάρκεια των εργασιών.

2. Μέθοδοι εκτίμησης επικινδυνότητας και διακινδύνευσης βραχοπτώσεων - Γενικά



Σχήμα 2.3. Σύγκριση μεταξύ διακινδύνευσης θανάτων εξαιτίας βραχοπτώσεων και προτεινόμενων αποδεκτών κριτηρίων διακινδύνευσης (Hoek, 2006)

3. Συστήματα ταξινόμησης επικινδυνότητας βραχοπτώσεων

3.1. Γενικά

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η επικινδυνότητα και η διακινδύνευση των βραχοπτώσεων είναι δυνατόν να εκτιμηθούν με διάφορες μεθόδους.

Όσον αφορά την επικινδυνότητα, τα περισσότερα συστήματα ταξινόμησης που χρησιμοποιούνται βασίζονται στο Rockfall Hazard Rating System ή RHRS (Pierson, 1991). Όπως θα αναλυθεί στην επόμενη παράγραφο, το σύστημα αυτό εξετάζει την βαρύτητα, που έχουν δέκα χαρακτηριστικά της περιοχής που εξετάζεται, στην επικινδυνότητα, αποδίδοντας έτσι μία βαθμολογία.

Με βάση το RHRS, έχουν προκύψει ποικίλες άλλες μέθοδοι και βελτιώσεις του, αποσκοπώντας κάθε φορά στην προσαρμογή της μεθόδου, στις απαιτήσεις της περιοχής που εξετάζεται, αλλά και στην αντικειμενικότερη επιλογή της βαθμολογίας του εκάστοτε χαρακτηριστικού.

Μία τέτοια προσπάθεια έγινε από τον ίδιο τον Pierson, βελτιώνοντας το αρχικό σύστημα που εισήγαγε, με αποτέλεσμα την δημιουργία του NHI-RHRS (Pierson & Vickle, 1993), το οποίο δίνει την δυνατότητα ακριβέστερης βαθμολόγησης πέντε βασικών παραμέτρων της βαθμολόγησης. Κατά Vanderwater *et al.*, 2005, αλλαγές και βελτιώσεις έγιναν για την περιοχή του Tennessee, κυρίως όσον αφορά τον γεωλογικό χαρακτήρα (TRHRS). Μία από τις σημαντικότερες βελτιώσεις έγινε για την περιοχή του Colorado (CRHRS) από τους Santi *et al.*, 2009, εισάγοντας περισσότερες παραμέτρους κατά την εκτίμηση της επικινδυνότητας. Η μέθοδος ωστόσο συνεχίζει και σε μία εκτίμηση της διακινδύνευσης. Αντίστοιχη λογική, αλλά με διαφορετικό τρόπο βαθμολόγησης ακολουθείται και στο σύστημα FRHI (Singh, 2004), που αφορά τεχνητά πρηνή, χρησιμοποιώντας δέκα κατηγορίες, που απαιτούν τόσο επί τόπου παρατηρήσεις, όσο και επί τόπου πειράματα και πληροφορίες από τον κατασκευαστή του πρηνούς. Με βάση το αρχικό RHRS, έγινε μία προσπάθεια από Marinis, 2008 για την κατάταξη της επικινδυνότητας όχι μόνο δρόμων και σιδηροδρόμων, αλλά και οικισμών.

Με βάση τις Ελβετικές μεθοδολογίες, έχουν αναπτυχθεί και άλλες μέθοδοι, που βασίζονται στη συχνότητα εμφάνισης του φαινομένου της βραχοπτώσης και στην κινητική ενέργεια του όγκου που καταλήγει στο οδόστρωμα. Για την εφαρμογή των μεθόδων αυτών χρησιμοποιούνται χάρτες επικινδυνότητας και προγράμματα δισδιάστατης ή τρισδιάστατης προσομοίωσης της τροχιάς των βραχοτεμαχών. Προγράμματα προσομοίωσης τροχιάς, όπως το STONE, χρησιμοποιήθηκαν στην περίπτωση της κοιλάδας Yosemite στην Καλιφόρνια για την εκτίμηση της επικινδυνότητας και διακινδύνευσης από τους Guzzeti *et al.*, 2003.

Οι μέθοδοι που αναφέρθηκαν μέχρι τώρα, περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια του κεφαλαίου.

Σημειώνεται ότι στην βιβλιογραφία αναφέρονται πλείστες άλλες μέθοδοι για την εκτίμηση της επικινδυνότητας των βραχοπτώσεων.

Εναλλακτικές εκφράσεις του RHRS αναφέρονται για τις περιοχές του Ohio, του Idaho και του Missouri (Russell *et al.*, 2008). Αντίστοιχα, με μικρές διαφοροποιήσεις, το RHRS έχει εφαρμοστεί και στη Νότια Ιταλία, στο τμήμα N°145 του αυτοκινητοδρόμου στο Sorrentine (Budetta, 2004)

Οι Bolin *et al.*, 2009, μελετώντας την περιοχή Wu Gorge, Three Gorges στην Κίνα, περιέγραψαν μία μέθοδο εκτίμησης της διακινδύνευσης βραχοπτώσεων σε διώρυγες και κανάλια που κινούνται πλοία.

Στην περιοχή του Hong Kong, οι Chau *et al.*, 2003, προέβησαν σε μία στατιστική επεξεργασία των χαρακτηριστικών της περιοχής (γεωλογικές και κλιματικές συνθήκες) και σε συνδυασμό με την ανάλυση της σχέσης συχνότητας και μεγέθους των καταπτώσεων κατέληξαν σε εκτίμηση της επικινδυνότητας των βραχοπτώσεων.

3.2. Rockfall Hazard Rating System – Pierson, 1991 (RHRS)

Σε όρους ανάλυσης διακινδύνευσης βραχοπτώσεων, ένα από τα πιο διαδεδομένα συστήματα είναι το Rockfall Hazard Rating System (RHRS), που αναπτύχθηκε από τον Pierson (1991) για λογαριασμό του Oregon State Highway Division.

Το σύστημα RHRS είναι μία διαδικασία που επιτρέπει την διαχείριση των βραχωδών πρηνών κατά μήκος των αυτοκινητοδρόμων, με έναν ορθολογικό τρόπο, για την λήψη των κατάλληλων αποφάσεων για την διαχείριση των διαθέσιμων οικονομικών πόρων κατασκευής.

Το RHRS συνίσταται από 6 βασικά χαρακτηριστικά (Pierson, 1991):

1. Ομοιόμορφη μέθοδο καταγραφής των πρηνών
2. Προκαταρκτική βαθμολόγηση του συνόλου των πρηνών
3. Αναλυτική βαθμολόγηση του συνόλου των επικίνδυνων πρηνών
4. Προκαταρκτικό σχεδιασμό και εκτίμηση κόστους για τα σημαντικότερα τμήματα
5. Προσδιορισμός Έργου και ανάπτυξη
6. Ετήσια αναθεώρηση και επικαιροποίηση

Τα χαρακτηριστικά αυτά συνοψίζονται στις ακόλουθες υποκατηγορίες:

Έρευνα πρηνών

Αποτελεί ένα βασικό χαρακτηριστικό του RHRS, που απαιτείται για τον ακριβή καθορισμό του πλήθους και της τοποθεσίας των πρηνών. Ως τμήμα βραχόπτωσης ορίζεται οποιοδήποτε συνεχόμενο πρηνές, κατά μήκος του αυτοκινητοδρόμου, όπου το επίπεδο της πιθανής βραχόπτωσης είναι το ίδιο.

Προκαταρκτική κατάταξη

Ο σκοπός της προκαταρκτικής ταξινόμησης είναι η ομαδοποίηση των πρηνών που ελέγχθηκαν, σε τρεις ευρείες, εύκολα διαχειρίσιμες κατηγορίες. Χωρίς αυτό το στάδιο, θα απαιτηθούν περισσότερες ώρες στην αναλυτική κατάταξη, σε πρηνή χαμηλής επικινδυνότητας, που δεν απαιτούν μία τέτοια εργασία. Η κατηγορίες της προκαταρκτικής κατάταξης φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 3.1. Προκαταρκτικό σύστημα ταξινόμησης (Pierson, 1991)

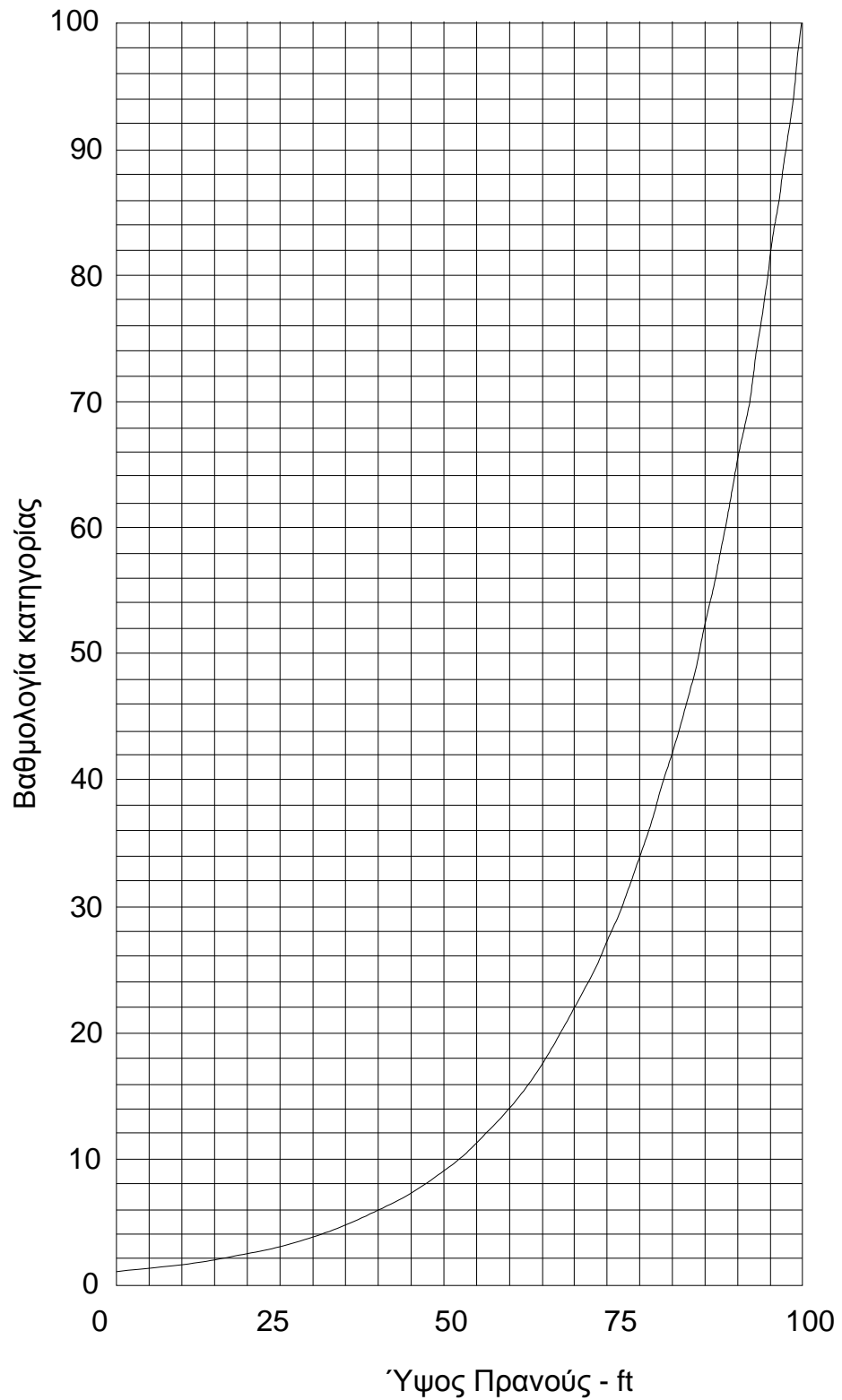
| Κριτήρια \ Κατηγορία | A | B | C |
|--|-------|--------|--------|
| Εκτιμώμενη δυνητική κατάπτωση σε αυτοκινητόδρομο | Υψηλή | Μέτρια | Χαμηλή |
| Ιστορικό καταπτώσεων | Υψηλό | Μέτριο | Χαμηλό |

Αναλυτική κατάταξη

Η αναλυτική κατάταξη περιλαμβάνει 10 κατηγορίες, οι οποίες ύστερα από αξιολόγηση, βαθμολόγηση και άθροισή τους, αποδίδουν μία συνολική βαθμολογία που ταξινομεί κάθε πρηνές ως προς το επίπεδο επικινδυνότητας. Οι δέκα αυτές κατηγορίες αντιπροσωπεύουν τα σημαντικότερα εκείνα στοιχεία που συνεισφέρουν στην συνολική επικινδυνότητα. Η βαθμολογία τους χωρίζεται σε 4 στήλες και αυξάνεται εκθετικά μεταξύ 3 και 81. Ένα εκθετικό σύστημα προσφέρει αλματώδη αύξηση της βαθμολογίας μεταξύ των στηλών, δίνοντας έτσι την δυνατότητα του εύκολου διαχωρισμού των πρηνών με μεγαλύτερη επικινδυνότητα.

Έτσι, η βαθμολογία των κατηγοριών αντιστοιχεί σε μία καμπύλη $y=3^x$. Στο σχήμα που ακολουθεί (Hoek, 2006), η καμπύλη έχει προσδιοριστεί με βάση την εξίσωση $y=3^x$, όπου σε αυτή την περίπτωση, το x ισούται με το $1/25$ το ύψους του πρηνούς (σε πόδια). Αντίστοιχες καμπύλες είναι δυνατόν να προκύψουν για άλλες κατηγορίες, σύμφωνα με τις ακόλουθες τιμές του εκθέτη x .

| | |
|--------------------------------|--|
| Ύψος πρηνούς: | $x = \text{ύψος πρηνούς (feet)} / 25$ |
| Μέση διακινδύνευση οχήματος: | $x = \% \text{χρόνος} / 25$ |
| Απόσταση ορατότητας: | $x = (120 - \% \text{ απόσταση ορατότητας απόφασης}) / 20$ |
| Πλάτος αυτοκινητοδρόμου: | $x = (52 - \text{πλάτος οδοστρώματος (feet)}) / 8$ |
| Μέγεθος καταπίπτοντος τεμάχου: | $x = \text{μέγεθος τεμάχου (feet)}$ |
| Όγκος: | $x = \text{όγκος (cu.ft)} / 3$ |



Σχήμα 3.1. Γράφημα βαθμολογίας κατηγορίας ύψους πρανούς (Hoek, 2006)

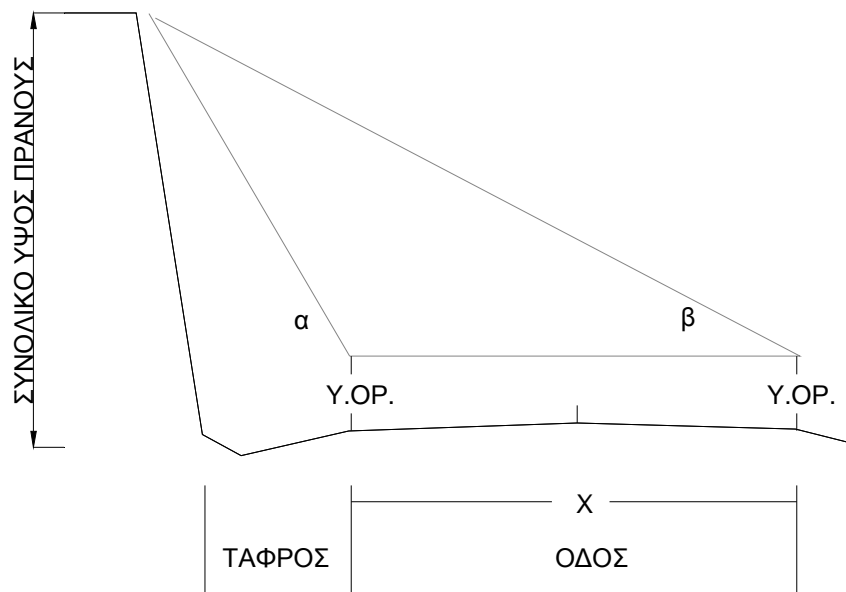
3. Συστήματα ταξινόμησης επικινδυνότητας βραχοπτώσεων

Πίνακας 3.2. Σύστημα βαθμονόμησης πρανών για την εκτίμηση της επικινδυνότητας. (Pierson, 1991)

| ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ | | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | | |
|--|-------------|---|---|--|---|--|
| | | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 | |
| Ύψος πρανούς | | 25 ft (≈7.6 m) | 50 ft (≈15.2 m) | 75 ft (≈22.9 m) | 100 ft (≈30.5 m) | |
| Αποτελεσματικότητα τάφρου | | Καλή συγκράτηση | Μέτρια συγκράτηση | Περιορισμένη συγκράτηση | Καθόλου συγκράτηση | |
| Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR) | | 25% του χρόνου | 50% του χρόνου | 75% του χρόνου | 100% του χρόνου | |
| Απόσταση αντίδρασης, ως ποσοστό της ελάχιστης τιμής σχεδιασμού (DSD) | | Επαρκής οπτική απόσταση, 100% της χαμηλής τιμής σχεδιασμού | Μέτρια οπτική απόσταση, 80% της χαμηλής τιμής σχεδιασμού | Περιορισμένη οπτική απόσταση, 60% της χαμηλής τιμής σχεδιασμού | Πολύ περιορισμένη οπτική απόσταση, 40% της χαμηλής τιμής σχεδιασμού | |
| Συνολικό πλάτος δρόμου | | 44 ft (≈13.4 m) | 36 ft (≈11.0 m) | 28 ft (≈8.5 m) | 20 ft (≈6.1 m) | |
| Γεωλογικός χαρακτήρας | Περίπτωση 1 | Δομή βραχώμαζας | Ασυνεχείς διακλάσεις, ευμενής προσανατολισμός | Ασυνεχείς διακλάσεις, τυχαίος προσανατολισμός | Ασυνεχείς διακλάσεις, δυσμενής προσανατολισμός | Συνεχείς διακλάσεις, δυσμενής προσανατολισμός |
| | | Τραχύτητα | Τραχεία, ανώμαλη | Κυματοειδής | Επίπεδη | Αργιλικό υλικό πλήρωσης – Ολισθηρές επιφάνειες |
| | Περίπτωση 2 | Δομή βραχώμαζας | Ελαφρά διαφορική διάβρωση | Περιστασιακή διαφορική διάβρωση | Σημαντική διαφορική διάβρωση | Εκτεταμένη διαφορική διάβρωση |
| | | Διαφορά στο ρυθμό διάβρωσης | Μικρή διαφορά | Μέτρια διαφορά | Μεγάλη διαφορά | Υπερβολικά μεγάλη διαφορά |
| Μέγεθος τεμαχίων / Ποσότητα επισφαλών τεμαχίων | | 1ft (≈0.30 m) / 3 yd ³ (≈2.3 m ³) | 2ft (≈0.61 m) / 6 yd ³ (≈4.6 m ³) | 3ft (≈0.91 m) / 9 yd ³ (≈6.9 m ³) | 4ft (≈1.22 m) / 12 yd ³ (≈9.2 m ³) | |
| Κλίμα και παρουσία νερού στο πρανές | | Χαμηλές έως μέτριες βροχοπτώσεις Καθόλου περίοδοι παγετού-Καθόλου νερό στο πρανές | Μέτριες βροχοπτώσεις ή μικροί περίοδοι παγετού ή περιστασιακή παρουσία νερού στο πρανές | Υψηλές βροχοπτώσεις ή μεγάλοι περίοδοι παγετού ή συνεχής παρουσία νερού στο πρανές | Υψηλές βροχοπτώσεις και μεγάλοι περίοδοι παγετού ή συνεχής παρουσία νερού στο πρανές και μεγάλοι περίοδοι παγετού | |
| Ιστορικό καταπτώσεων | | Ελάχιστες καταπτώσεις | Περιστασιακές καταπτώσεις | Πολλές καταπτώσεις | Συνεχείς καταπτώσεις | |

Ύψος πρानούς

Η παράμετρος αυτή αντιπροσωπεύει το κατακόρυφο ύψος του πρानούς. Βράχοι σε υψηλά πρानή έχουν πιθανώς μεγαλύτερη ενέργεια σε σχέση με βράχους σε χαμηλότερα πρानή και κατ' επέκταση αντιπροσωπεύουν μεγαλύτερο βαθμό επικινδυνότητας και βαθμολογούνται υψηλότερα. Η μέτρηση του ύψους γίνεται μέχρι το υψηλότερο σημείο από το οποίο αναμένεται μία πτώση βράχου. Εάν βραχοτεμάχια προέρχονται από το φυσικό πρानές, υψηλότερα από το όρυγμα, χρησιμοποιείται το ύψος του ορύγματος συν το πρόσθετο ύψος του πρानούς (κατακόρυφη απόσταση). Μία καλή προσέγγιση του ύψους του πρानούς παρέχεται από τις σχέσεις που παρατίθενται παρακάτω.



$$\text{ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΥΨΟΣ ΠΡΑΝΟΥΣ} = \frac{(X) \sin \alpha \sin \beta}{\sin (\alpha - \beta)} + \text{Υ.ΟΡ.}$$

όπου X = απόσταση μεταξύ των μετρήσεων των γωνιών
Υ.ΟΡ. = το ύψος των οργάνων

Σχήμα 3.2. Μέτρηση του ύψους του πρानούς, (Hoek, 2006)

Αποτελεσματικότητα βραχοπαγίδας (τάφρου)

Η αποτελεσματικότητα της βραχοπαγίδας βαθμονομείται από την ικανότητά της να αποτρέψει ένα καταπίπτον τεμάχιο βράχου να φτάσει μέχρι το οδόστρωμα. Για τον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητάς της, πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφοροι παράγοντες, όπως:

- Ύψος και κλίση πρानούς
- Πλάτος, βάθος και μορφή βραχοπαγίδας
- Εκτιμώμενο μέγεθος τεμάχους και ποσότητα βραχοπτώσεων
- Επιρροή των ανωμαλιών του πρανούς (χαρακτηριστικά αποκόλλησης) των καταπίπτοντων βράχων

3. Συστήματα ταξινόμησης επικινδυνότητας βραχοπτώσεων

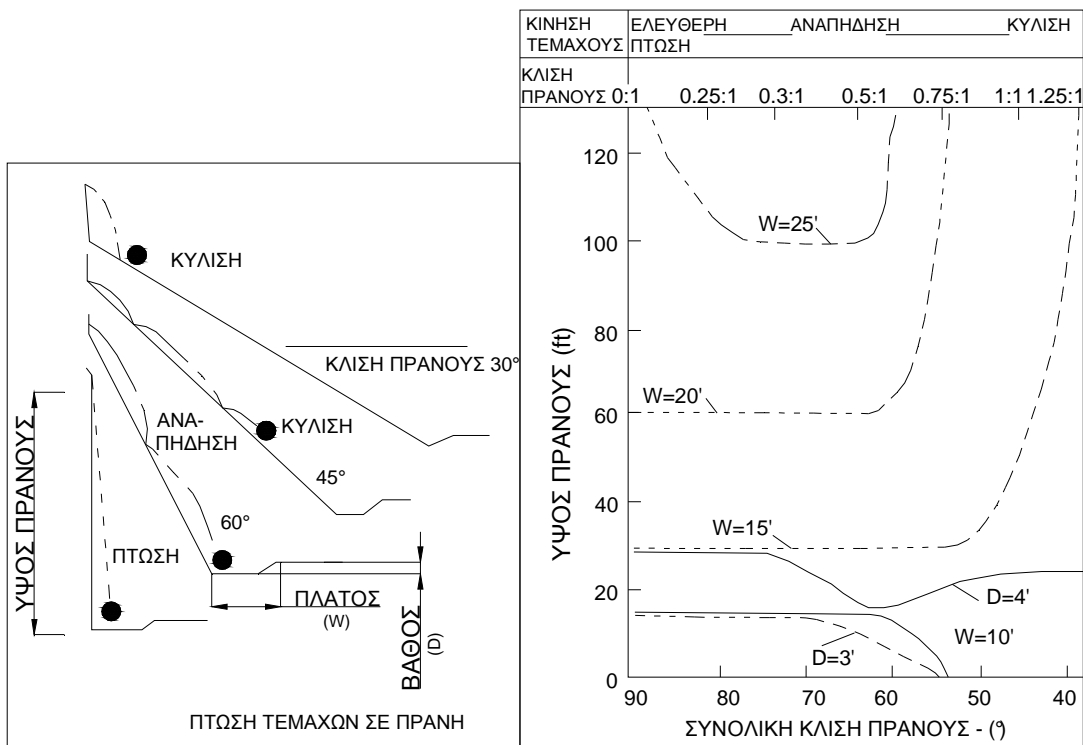
Είναι εξαιρετικά σημαντική η εκτίμηση της επίδρασης των ανωμαλιών του πρானούς, καθώς αυτές μπορούν να εξουδετερώσουν τα όποια πλεονεκτήματα αναμένονται σε μία περιοχή καταπτώσεων. Πρέπει να γίνει καταρχήν εκτίμηση εάν κάποια ανωμαλία, φυσική ή τεχνητή, στο πρανές, είναι ικανή να οδηγήσει στην αποκόλληση κάποιου τεμάχους μέχρι το οδόστρωμα. Στη συνέχεια, με βάση το πλήθος και το μέγεθος των χαρακτηριστικών αποκόλλησης, εκτιμάται το ποσοστό των βράχων που επηρεάζονται. Χρήσιμες πληροφορίες για την απόδοση της βραχοπαγίδας μπορούν να δοθούν από το προσωπικό συντήρησης. Η βαθμολόγηση πρέπει να γίνεται ως εξής:

3 βαθμοί: Καλή συγκράτηση: Το σύνολο, ή σχεδόν το σύνολο των βράχων της κατάπτωσης συγκρατούνται στην βραχοπαγίδα.

9 βαθμοί: Μέτρια συγκράτηση: Βράχοι φτάνουν μέχρι το οδόστρωμα περιστασιακά.

27 βαθμοί: Περιορισμένη συγκράτηση: Βράχοι φτάνουν μέχρι το οδόστρωμα συχνά.

81 βαθμοί: Καθόλου συγκράτηση: Απουσία βραχοπαγίδας ή αναποτελεσματική βραχοπαγίδα. Το σύνολο ή σχεδόν το σύνολο των βράχων φτάνουν μέχρι το οδόστρωμα.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΑΦΡΟΥ

Σχήμα 3.3. Διάγραμμα σχεδιασμού τάφρου, (Hoek, 2006)

Μέση διακινδύνευση οχήματος (AVR) - Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση

Η κατηγορία αυτή αφορά το ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο ένα όχημα βρίσκεται εντός της ζώνης επικινδυνότητας βραχοπτώσεων. Το ποσοστό αυτό προκύπτει με τη χρήση ενός τύπου που βασίζεται στο μήκος του πρσανούς, τη μέση ημερήσια κυκλοφορία (ADT) και το όριο ταχύτητας των οχημάτων στην υπό εξέταση περιοχή. Τιμή 100% σημαίνει ότι ένα όχημα αναμένεται να βρίσκεται εντός της ζώνης επικινδυνότητας στο 100% του χρόνου. Προσοχή πρέπει να δίνεται στη μέτρηση μόνο στο τμήμα που τα πρρανή κρίνονται ως επικίνδυνα. Υπερεκτίμηση του μήκους των επικίνδυνων πρρανών δημιουργεί στρεβλώσεις στο αποτέλεσμα. Υψηλή μέση ημερήσια κυκλοφορία οχημάτων αποδίδει μεγαλύτερες από 100% τιμές στο δείκτη AVR. Αυτό σημαίνει ότι σε κάθε χρονική στιγμή, περισσότερα του ενός αυτοκίνητα βρίσκονται εντός της επικίνδυνης ζώνης. Η σχέση είναι η ακόλουθη (Pierson, 1991):

$$AVR = \frac{ADT \text{ (οχήματα/ημέρα)} \times \text{μήκος πρσανούς (μίλια)}/24 \text{ (ώρες/ημέρα)}}{\text{Όριο ταχύτητας (μίλια/ώρα)}} \times 100\%^1$$

Απόσταση αντίδρασης, ως ποσοστό της ελάχιστης τιμής σχεδιασμού, (DSD%)

Η απόσταση αντίδρασης, ως ποσοστό της ελάχιστης τιμής σχεδιασμού, χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του μήκους της οδού (σε πόδια) που απαιτείται από τον οδηγό ώστε να είναι σε θέση να λάβει μία σύνθετη ή ακαριαία απόφαση. Η παράμετρος DSD είναι κρίσιμη όταν υπάρχουν εμπόδια στο οδόστρωμα που δύσκολα μπορούν να γίνουν αντιληπτά, ή όταν απαιτούνται μη αναμενόμενοι ή ασυνήθιστοι ελιγμοί. Απόσταση ορατότητας είναι η ελάχιστη απόσταση κατά την οποία ένα αντικείμενο συγκεκριμένου ύψους είναι συνεχώς ορατό από τον οδηγό. Η απόσταση αυτή σε μία περιοχή βραχοπτώσεων ποικίλει σημαντικά και εξαρτάται από την οριζόντια και κατακόρυφη καμπυλότητα της οδού, τη βλάστηση και εμφανίσεις ογκολίθων στις άκρες του οδοστρώματος. Για τον προσδιορισμό των παραγόντων αυτών, πρέπει να γίνει επί τόπου αυτοψία της περιοχής, να επιλεγεί η κατεύθυνση που έχει τη μικρότερη απόσταση ορατότητας και να γίνουν επί τόπου δοκιμές ώστε να μετρηθεί η πραγματική απόσταση ορατότητας. Η απόσταση ορατότητας απόφασης προσδιορίζεται με βάση τον ακόλουθο πίνακα. Οι αποστάσεις που εμφανίζονται (προτείνονται κατά AASHTO, Pierson 1991) στον πίνακα αντιπροσωπεύουν την κατώτατη τιμή σχεδιασμού.

Πίνακας 3.3. Συσχετίσεις ορίου ταχύτητας – απόστασης ορατότητας. (Pierson, 1991)

| Όριο ταχύτητας | | Απόσταση ταχύτητας απόφασης | |
|----------------|--------|-----------------------------|-----|
| (mph) | (km/h) | (ft) | (m) |
| 30 | 48 | 450 | 137 |
| 40 | 64 | 600 | 183 |
| 50 | 80 | 750 | 229 |
| 60 | 96 | 1000 | 305 |
| 70 | 112 | 1100 | 335 |

¹ Το μήκος του πρσανούς και το όριο ταχύτητας μπορούν να εκφραστούν και σε km και km/h αντίστοιχα

Από τα παραπάνω προκύπτει η ποσοστιαία απόσταση αντίδρασης, ως εξής:

$$DSD(\%) = \frac{\text{Πραγματική απόσταση } () \times 100\%}{\text{Απόσταση απόφασης } ()}$$

Συνολικό πλάτος οδού

Η απόσταση υπολογίζεται κάθετα στον άξονα της οδού, ανάμεσα στα δύο πεζοδρόμια και αντιπροσωπεύει το διαθέσιμο χώρο ελιγμών για την αποφυγή μίας κατάπτωσης. Σε περίπτωση που το πλάτος του οδοστρώματος δεν είναι σταθερό, λαμβάνεται τιμή ίση με το ελάχιστο πλάτος.

Γεωλογικός χαρακτήρας

Οι γεωλογικές συνθήκες του πρανούς αξιολογούνται σε αυτή την κατηγορία. Διακρίνονται δύο περιπτώσεις:

- Περίπτωση 1. Αφορά την περίπτωση όπου η βραχώμαζα ελέγχεται από τις ασυνέχειες (διακλάσεις, στρώσεις και άλλες ρωγματώσεις).
- Περίπτωση 2. Πρόκειται για πρανή με διαφορετικό βαθμό διάβρωσης ή εξαιρετικά απότομες κλίσεις.

Πρέπει να γίνεται αντιστοίχιση του πρανούς σε μία από τις δύο περιπτώσεις και να βαθμολογείται αντίστοιχα. Όταν είναι παρούσες και οι δύο περιπτώσεις, βαθμολογούνται ξεχωριστά και οι δύο και επιλέγεται η χειρίστη (δηλαδή αυτή με τη μεγαλύτερη βαθμολογία).

Περίπτωση 1:

Δομή βραχώμαζας:

Δυσμενής προσανατολισμός διακλάσεων. Πρέπει να ληφθούν υπόψη χαρακτηριστικά όπως γωνία τριβής ασυνεχειών, υλικά πλήρωσης ασυνεχειών και το υδροστατικό φορτίο, σε περίπτωση παρουσίας νερών.

Ανεπιθύμητες διακλάσεις είναι εκείνες που προκαλούν αστοχίες τεμαχίων, σφηνών και ανατροπής.

Ως συνεχείς χαρακτηρίζονται οι διακλάσεις με μήκος μεγαλύτερο των 10 feet (>3m). Βαθμολογούνται ως εξής:

3 βαθμοί: Ασυνεχείς διακλάσεις, ευμενής προσανατολισμός: Κερματισμένη βραχώμαζα, χωρίς δυσμενώς προσανατολισμένες ασυνέχειες, στρώσεις, κτλ.

9 βαθμοί: Ασυνεχείς διακλάσεις, τυχαίος προσανατολισμός: Βραχώδη πρανή με ασυνέχειες τυχαίου προσανατολισμού που δημιουργούν ένα τρισδιάστατο τεμαχισμό. Ο τύπος του μοντέλου είναι πιθανό να περιέχει μερικά διάσπαρτα τεμάχια βραχώμαζας με δυσμενώς προσανατολισμένες ασυνέχειες, χωρίς όμως να κυριαρχούν.

27 βαθμοί: Ασυνεχείς διακλάσεις, δυσμενής προσανατολισμός: Βραχώδες πρανές που περιέχει μία κυρίαρχη ομάδα διακλάσεων, στρώσεων ή άλλων

ασυνεχειών με δυσμενή προσανατολισμό. Τα στοιχεία αυτά έχουν μήκος μικρότερο από 10 feet (3m).

81 βαθμοί: Συνεχείς διακλάσεις, δυσμενής προσανατολισμός: Βραχώδεις πρηνές που περιέχει μία κυρίαρχη ομάδα διακλάσεων, στρώσεων ή άλλων ασυνεχειών με δυσμενή προσανατολισμό και μήκος μεγαλύτερο από 10 feet (3m).

Τραχύτητα

Η παράμετρος αυτή αναφέρεται στην δυνατότητα ενός τεμάχους να κινηθεί σχετικά με ένα άλλο. Η τριβή κατά μήκος μίας διάκλασης, μεταξύ της διεπιφάνειας βραχόμαζας – εδαφικού σχηματισμού ή οποιαδήποτε άλλης ασυνέχειας εξαρτάται από την τραχύτητα της επιφάνειας σε μικρο και μακρο κλίμακα. Η τραχύτητα μικροκλίμακας αφορά στην υφή της διάκλασης. Σε περιοχές όπου εντός των ασυνεχειών περιέχονται έντονα αποσαθρωμένα και υδροθερμικά εξαλλοιωμένα υλικά, όταν η μετακίνηση δημιουργεί λείες επιφάνειες, όταν οι ανοιχτές ασυνέχειες κυριαρχούν στο πρηνές ή όταν οι ασυνέχειες είναι πληρωμένες με νερό, η πιθανότητα καταπτώσεων βράχων αυξάνεται. Η παρατήρηση των επιφανειών αστοχίας παλαιότερων καταπτώσεων στο πρηνές βοηθούν στην εκτίμηση της γωνίας τριβής κατά μήκος των ασυνεχειών

3 βαθμοί: Τραχεία, ανώμαλη: Οι επιφάνειες των διακλάσεων είναι τραχείες και αρκετά ακανόνιστες, ώστε να δημιουργούν αλληλοκλείδωμα. Πρόκειται για την ευνοϊκότερη περίπτωση (και στη μικρο και στην μακρο περίπτωση).

9 βαθμοί: Κυματοειδής: Τόσο η μικρο όσο και η μακρο τραχύτητα είναι σημαντικές, απουσιάζει όμως το αλληλοκλείδωμα, σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση.

27 βαθμοί: Επίπεδη: Επιφάνειες λείες σε μακρο επίπεδο και τραχείες σε μικρο. Η επιφάνεια δεν περιέχει κυματοειδείς μορφές. Η τριβή εξαρτάται αποκλειστικά από την τραχύτητα της βραχώδους επιφάνειας.

81 βαθμοί: Αργιλικό υλικό πλήρωσης ή ολισθηρές επιφάνειες: Χαμηλής τριβής υλικά, όπως άργιλος και υλικά αποσάθρωσης, διαχωρίζουν τις βραχώδεις επιφάνειες των ασυνεχειών, αναιρώντας την ύπαρξη μακρο ή μικρο τριβής. Αυτά τα υλικά πλήρωσης έχουν σημαντικά μικρότερη γωνία τριβής σε σχέση με την τριβή μεταξύ δύο βραχώδων επιφανειών. Οι λείες επιφάνειες των διακλάσεων εμπίπτουν επίσης σε αυτή την κατηγορία.

Περίπτωση 2:

Δομή βραχόμαζας:

Στην περίπτωση αυτή συγκαταλέγονται πρηνή με διαφορετικό βαθμό διάβρωσης ή εξαιρετικά απότομα πρηνή που οδηγούν σε καταπτώσεις. Χαρακτηριστικά διάβρωσης, όπως εξαιρετικά απότομες κλίσεις, ανυποστήρικτα μεμονωμένα τμήματα βράχων ή επικρεμάμενοι ογκόλιθοι, μπορεί να οδηγήσουν σε καταπτώσεις. Οι

καταπτώσεις βράχων προκαλούνται από απώλεια στήριξης είτε τοπικά είτε κατά μήκος του πρηνούς. Συνήθως, πρηνή που παρουσιάζουν τέτοια φαινόμενα είναι: στρωματώδεις ενότητες που περιέχουν βραχώμαζες επιδεκτικές σε αποσάθρωση και μειώνουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά του συνόλου της βραχώμαζας – ακόμα και αν περιέχονται πετρώματα υψηλών αντοχών, έντονα ανομοιόμορφα υλικά – όπως πχ κροκαλοπαγή – όπου η αποσάθρωση οδηγεί τα ανθεκτικότερα τεμάχια να πέφτουν και τέλος βραχώδη/εδαφικά πρηνή όπου τεμάχια βράχων πέφτουν, λόγω υποσκαφής τους από τη διάβρωση των υποκείμενων εδαφικών σχηματισμών.

3 βαθμοί: Ελαφρά διαφορική διάβρωση: Μικρές διαφοροποιήσεις που δεν κατανέμονται σε όλο το μήκος του πρηνούς.

9 βαθμοί: Περιστασιακή διαφορική διάβρωση: Μικρές διαφοροποιήσεις που κατανέμονται σημαντικά σε όλο το μήκος του πρηνούς.

27 βαθμοί: Σημαντική διαφορική διάβρωση: Η διαφοροποίηση στη διάβρωση είναι εκτεταμένη τόσο σε μέγεθος όσο και σε πλήθος στο σύνολο του πρηνούς.

81 βαθμοί: Εκτεταμένη διαφορική διάβρωση: Δυσμενείς περιπτώσεις, όπως επικίνδυνες μορφές διάβρωσης επικρεμάμενων τεμαχίων, ή εξαιρετικά απότομων βραχωδών/εδαφικών πρηνών ή πρηνών πλευρικών κορημάτων.

Διαφορά στον βαθμό διάβρωσης:

Ο βαθμός αποσάθρωσης στα πρηνή της περίπτωσης αυτής συνδέεται άμεσα με τη δυνατότητα εκδήλωσης μίας μελλοντικής κατάπτωσης. Καθώς η αποσάθρωση προχωρά, δημιουργούνται πρηνή χωρίς υποστήριξη, ή με εξαιρετικά μεγάλη κλίση. Το αποτέλεσμα του κοινού αυτού φυσικού και χημικού φαινομένου, όπως επίσης και οι επιδράσεις από τις τεχνητές ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στο πρηνές πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Ο βαθμός επικινδυνότητας που οφείλεται στην διάβρωση / αποσάθρωση και συνεπώς η βαθμολογία που λαμβάνει η συγκεκριμένη παράμετρος πρέπει να αντιστοιχεί στην ταχύτητα με την οποία δρα η διάβρωση, στο μέγεθος των τεμαχίων και των μονάδων που εκτίθενται σε αυτή, τη συχνότητα των γεγονότων βραχοπτώσεων και την ποσότητα υλικού που απελευθερώνεται κατά την διάρκεια ενός τέτοιου γεγονότος.

3 βαθμοί: Μικρή διαφορά: Οι διαφοροποιήσεις στον βαθμό αποσάθρωσης αντιστοιχούν σε διαβρωτικές διεργασίες που πραγματοποιούνται για πολλά χρόνια. Πρηνή που βρίσκονται σε ισορροπία με το περιβάλλον τους περιλαμβάνονται σε αυτή την κατηγορία.

9 βαθμοί: Μέτρια διαφορά: Οι διαφοροποιήσεις στον βαθμό αποσάθρωσης αντιστοιχούν σε διαβρωτικές διεργασίες που πραγματοποιούνται σε διάρκεια λίγων ετών

27 βαθμοί: Μεγάλη διαφορά: Οι διαφοροποιήσεις στον βαθμό αποσάθρωσης αντιστοιχούν σε διαβρωτικές διεργασίες που αναπτύσσονται σε ετήσια βάση

81 βαθμοί: Υπερβολικά μεγάλη διαφορά: Οι διαφοροποιήσεις στον βαθμό αποσάθρωσης αντιστοιχούν σε έντονες, ραγδαίες διαβρωτικές διεργασίες.

Μέγεθος τεμαχών / ποσότητα επισφαλών τεμαχών

Η καταμέτρηση πρέπει να είναι αντιπροσωπευτική, ανεξαρτήτως του τύπου της βραχοπτώσης που είναι πιθανότερο να συμβεί. Εάν ο τύπος της κατάπτωσης αποτελείται από μεμονωμένα τεμάχια, το μέγεθός τους πρέπει να χρησιμοποιηθεί στη βαθμολόγηση. Εάν μία μάζα από τεμάχια τείνουν να είναι ο κυρίαρχος τύπος της κατάπτωσης, πρέπει να χρησιμοποιείται η ποσότητα ανά γεγονός. Τα παραπάνω μπορούν να προσδιοριστούν από το ιστορικό καταγραφής ή να εκτιμηθούν από την επί τόπου παρατήρηση των συνθηκών, εάν δεν υπάρχουν ιστορικά στοιχεία. Η καταγραφή αυτή θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στον καθορισμό και των μέτρων αποκατάστασης.

Κλιματικές συνθήκες και παρουσία νερού στο πρανές

Τόσο η παρουσία νερού όσο και οι κύκλοι ψύξης/απόψυξης συνεισφέρουν στην αποσάθρωση και στη μετακίνηση βραχωδών υλικών. Εάν η ροή νερού είναι συνεχής ή περιοδική, λαμβάνεται η αντίστοιχη βαθμολογία. Περιοχές με ετήσια κατακρημνίσματα λιγότερο από 20 ίντσες (51cm) χαρακτηρίζονται ως χαμηλής βροχόπτωσης. Περιοχές με ετήσια κατακρημνίσματα περισσότερο από 50 ίντσες (127cm) χαρακτηρίζονται ως υψηλής βροχόπτωσης.

Η επίδραση των κύκλων ψύξης/απόψυξης μπορεί να κατανοηθεί από τη γνώση των κλιματικών συνθηκών (ψύχος) και των επιρροών τους στην περιοχή. 27 βαθμοί στον πίνακα βαθμολόγησης αντιστοιχούν σε περιοχές με μακρές περιόδους ψύχους ή υψηλές τιμές βροχόπτωσης ή συνεχή ροή ύδατος. 81 βαθμοί στον πίνακα βαθμολόγησης αντιστοιχούν σε περιοχές με μακρές περιόδους ψύχους και μία από τις δύο περιπτώσεις που αφορούν τα νερά.

Ιστορικό καταπτώσεων βράχων

Οι πληροφορίες αυτές προκύπτουν από το ιστορικό που κρατείται από την Υπηρεσία που εκμεταλλεύεται και συντηρεί το έργο. Αντιπροσωπεύει άμεσα την δραστηριότητα βραχοπτώσεων της περιοχής. Σε περιπτώσεις νέων έργων, ή όπου δεν κρατείται ιστορικό, τέτοια στοιχεία δεν είναι διαθέσιμα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το κόστος συντήρησης ενδέχεται να είναι η μόνη διαθέσιμη πληροφορία, από την οποία αντανακλάται η εκδήλωση των βραχοπτώσεων.

Η πληροφορία αυτή είναι σημαντική για τον έλεγχο του δυναμικού μελλοντικών βραχοπτώσεων.

Εάν η βαθμολόγηση που θα δοθεί δεν αντιστοιχεί στο ιστορικό καταπτώσεων, αυτή θα πρέπει να επανελεγχθεί. Καλύτερη καταγραφή του ιστορικού οδηγεί σε ακριβέστερα συμπεράσματα για το δυναμικό των βραχοπτώσεων.

3 βαθμοί: Ελάχιστες καταπτώσεις: Καταπτώσεις βράχων παρατηρούνται σε διάφορες χρονικές στιγμές, σύμφωνα με τα ιστορικά στοιχεία, χωρίς να αποτελεί, ωστόσο, διαρκές πρόβλημα. Εάν οι καταπτώσεις συμβαίνουν μόνο

μερικές φορές το χρόνο ή και λιγότερες, ή μόνο κατά την διάρκεια έντονων καταιγίδων, τότε ενδείκνυται η χρήση αυτής της κατηγορίας. Χρησιμοποιείται επίσης όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία.

9 βαθμοί: Περιστασιακές καταπτώσεις: Οι καταπτώσεις συμβαίνουν τακτικά. Αναμένονται αρκετές φορές το χρόνο και κατά τη διάρκεια των περισσότερων καταιγίδων.

27 βαθμοί: Πολλές καταπτώσεις: Οι βραχοπτώσεις συμβαίνουν συχνά κατά τη διάρκεια μίας συγκεκριμένης περιόδου, όπως, τη χειμερινή ή εαρινή υγρή περίοδο, ή κατά τη διάρκεια των κύκλων ψύξης/απόψυξης κτλ. Αυτή η κατηγορία είναι κατάλληλη για περιοχές με συχνές βραχοπτώσεις σε συγκεκριμένες περιόδους, ενώ κατά το υπόλοιπο έτος δεν αποτελούν σημαντικό πρόβλημα. Στην κατηγορία εντάσσεται επίσης και η περίπτωση έντονων φαινομένων καταπτώσεων.

81 βαθμοί: Συνεχείς καταπτώσεις: Βραχοπτώσεις παρατηρούνται συχνά κατά τη διάρκεια του έτους. Εφαρμόζεται επίσης και σε περιοχές όπου παρατηρούνται συχνά έντονα φαινόμενα καταπτώσεων.

Σχόλιο:

Το σύστημα RHRS δεν περιέχει προτάσεις για ενέργειες που πρέπει να γίνουν (μέτρα προστασίας από τις βραχοπτώσεις) για τα διάφορα αποτελέσματα της βαθμολόγησης. Αυτό συμβαίνει γιατί οι αποφάσεις για τα μέτρα προστασίας ενός συγκεκριμένου πρανούς εξαρτώνται από πολλές παραμέτρους όπως η κατανομή του προϋπολογισμού για τις εργασίες του αυτοκινητοδρόμου, που δεν μπορούν να ληφθούν υπόψη κατά την βαθμολόγηση.

Ωστόσο σύμφωνα με «μαρτυρίες» των Hoek και Pierson (Hoek, 2006), πρανή με βαθμολογία λιγότερο από 300 χαρακτηρίζονται ως χαμηλής προτεραιότητας, ενώ πρανή με βαθμολογία μεγαλύτερη από 500 χαρακτηρίζονται ως περιπτώσεις στις οποίες πρέπει να ληφθούν άμεσα μέτρα προστασίας.

3.3. National Highway Institute – Rockfall Hazard Rating System – Pierson&Vickle, 1993 (NHI-RHRS)

Πρόκειται για μία τροποποίηση του αρχικού RHRS (Pierson, 1991), από τους Pierson & Vickle, 1993, με σκοπό να διαμορφωθεί το αρχικό RHRS κατάλληλα για τις συνθήκες της περιοχής ελέγχου του National Highway Institute, μεταβάλλοντας έτσι μία ή περισσότερες φόρμες συλλογής δεδομένων, γραφικές παραστάσεις ή υπολογιστικά φύλλα.

Αρχική βαθμολόγηση

Όπως και στις προηγούμενες μεθόδους, που βασίζονται στο αρχικό RHRS, προηγείται μία αρχική κατηγοριοποίηση των πρηνών σε τύπου A, B και C, όπως στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.4. Προκαταρκτικό σύστημα ταξινόμησης (Pierson & Vickle, 1993)

| Κριτήρια \ Κατηγορία | A | B | C |
|--|-------|--------|--------|
| Εκτιμώμενη δυναμική κατάπτωση σε αυτοκινητόδρομο | Υψηλή | Μέτρια | Χαμηλή |
| Ιστορικό καταπτώσεων | Υψηλό | Μέτριο | Χαμηλό |

Τα κριτήρια της αρχικής κατηγοριοποίησης των πρηνών είναι τα εξής:

1. Εκτιμώμενο δυναμικό κατάπτωσης βράχων στον αυτοκινητόδρομο
Κατά την εκτίμηση του δυναμικού καταπτώσεων λαμβάνονται υπόψη τα εξής:
 - Εκτιμώμενο μέγεθος υλικού κατάπτωσης
 - Εκτιμώμενη ποσότητα του υλικού του γεγονότος
 - Ποσότητα επί της οδού (πραγματική)
 - Αποτελεσματικότητα βραχοπαγίδας
2. Ιστορικά δεδομένα δραστηριότητας βραχοπτώσεων
 - Συχνότητα βραχοπτώσεων που καταλήγουν στο οδόστρωμα
 - Ποσότητα υλικού
 - Μέγεθος υλικού
 - Συχνότητα καθαρισμού οδού

Εάν ένα πρηνές χαρακτηριστεί *τύπου C*, τότε η πιθανότητα να συμβεί μία κατάπτωση βράχων θεωρείται μηδαμινή, ή εάν συμβεί, θεωρείται ότι κανένα τμήμα της βραχοπτώσης δεν θα φτάσει στο οδόστρωμα. Με άλλα λόγια, ο κίνδυνος να συμβεί αυτή η κατηγορία επικινδυνότητας, είναι σχεδόν αμελητέα.

Ένα πρηνές *τύπου B* παρουσιάζει μεγαλύτερη διακινδύνευση από ένα τύπου C. Το εύρος της διακινδύνευσης κυμαίνεται μεταξύ χαμηλής και ενδιάμεσης. Η πιθανότητα παρουσίας ενός τεμάχους βράχου στο οδόστρωμα θεωρείται μικρή.

Για ένα πρηνές τύπου A, η επικινδυνότητα κυμαίνεται μεταξύ ενδιάμεσης και υψηλής. Σημειώνεται ότι θεωρείται πως υπάρχει μία ανεξάντλητη «πηγή» βράχων προς κατάπτωση, το σύνολο των οποίων θα καταπέσει στο οδόστρωμα. Επίσης, η απόσταση ορατότητας είναι ανεπαρκής και το πλάτος του οδοστρώματος μικρό.

Αναλυτική Βαθμολόγηση

Στη συνέχεια ακολουθεί η αναλυτική βαθμολόγηση, ακολουθώντας τις γενικές αρχές του RHRS. Συνοπτικά παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα (Pierson & Vickie, 1993).

Περιλαμβάνει 12 κατηγορίες, από τις οποίες αξιολογούνται και βαθμολογούνται τα πρηνή. Από το άθροισμα της βαθμολογίας της κάθε κατηγορίας, προκύπτει η συνολική βαθμολογία του πρηνούς. Πρηνή με μεγαλύτερη βαθμολογία θεωρούνται ότι περιλαμβάνουν μεγαλύτερη διακινδύνευση.

Καθώς η διακινδύνευση αυξάνεται από τα αριστερά προς τα δεξιά η αντίστοιχη βαθμολογία παίρνει τιμές 3^1 , 3^2 , 3^3 και 3^4 . Όπως φαίνεται, η βαθμολογία αυτή αυξάνεται εκθετικά. Η χρήση εκθετικού συστήματος παρέχει τη δυνατότητα εύκολου και γρήγορου διαχωρισμού μεταξύ των ζωνών επικινδυνότητας. Η βαθμολογία αυτή αποτελεί μία απλή αντιστοίχιση μίας συνεχούς ακολουθίας βαθμολόγησης από 1 έως 100. Όταν βαθμολογείται το πρηνές, χρησιμοποιώντας τη βαθμολογία 1-100, παρέχεται μεγαλύτερη ελαστικότητα κατά την αξιολόγηση των παραγόντων που παρουσιάζουν μεγάλη μεταβλητότητα, αλλά απαιτείται περισσότερη κριτική ικανότητα από το μελετητή. Η χρήση της κλίμακας 1-100 συνεπώς κρίνεται ως βέλτιστη μεθοδολογία.

Επεξήγηση κατηγοριών

Οι 10 κατηγορίες βαθμολόγησης της επικινδυνότητας επεξηγούνται σε πλήρη αντιστοιχία με το αρχικό RHRS. Μοναδική διαφοροποίηση είναι ότι οι κατηγορίες

- Ύψος πρηνούς
- Μέση διακινδύνευση οχήματος (AVR) – Ποσοστό χρόνου παρουσίας οχήματος σε πιθανή κατάπτωση
- Ποσοστιαία απόσταση αντίδρασης (DSD%)
- Συνολικό πλάτος οδού
- Μέγεθος τεμαχών /ποσότητα επισφαλών τεμαχών

Οι οποίες επιδέχονται βαθμολόγηση 1 έως 100, σύμφωνα με τους παρακάτω πίνακες.

3. Συστήματα ταξινόμησης επικινδυνότητας βραχοπτώσεων

Πίνακας 3.5. Πίνακας ταξινόμησης επικινδυνότητας (Pierson & Vickle, 1993)

| ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ | | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | | |
|--|-------------|---|---|--|---|--|
| | | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 | |
| Ύψος πρानούς | | Εναλλακτικά: Βαθμολογία 1-100 | | | | |
| | | 25 ft (≈7.6 m) | 50 ft (≈15.2 m) | 75 ft (≈22.9 m) | 100 ft (≈30.5 m) | |
| Αποτελεσματικότητα τάφρου | | Καλή συγκράτηση | Μέτρια συγκράτηση | Περιορισμένη συγκράτηση | Καθόλου συγκράτηση | |
| Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR) | | Εναλλακτικά: Βαθμολογία 1-100 | | | | |
| | | 25% του χρόνου | 50% του χρόνου | 75% του χρόνου | 100% του χρόνου | |
| Απόσταση αντίδρασης, ως ποσοστό της ελάχιστης τιμής σχεδιασμού (DSD) | | Εναλλακτικά: Βαθμολογία 1-100 | | | | |
| | | Επαρκής οπτική απόσταση, 100% της χαμηλής τιμής σχεδιασμού | Μέτρια οπτική απόσταση, 80% της χαμηλής τιμής σχεδιασμού | Περιορισμένη οπτική απόσταση, 60% της χαμηλής τιμής σχεδιασμού | Πολύ περιορισμένη οπτική απόσταση, 40% της χαμηλής τιμής σχεδιασμού | |
| Συνολικό πλάτος δρόμου | | Εναλλακτικά: Βαθμολογία 1-100 | | | | |
| | | 44 ft (≈13.4 m) | 36 ft (≈11.0 m) | 28 ft (≈8.5 m) | 20 ft (≈6.1 m) | |
| Γεωλογικός χαρακτήρας | Περίπτωση 1 | Δομή βραχώμαζας | Ασυνεχείς διακλάσεις, ευμενής προσανατολισμός | Ασυνεχείς διακλάσεις, τυχαίος προσανατολισμός | Ασυνεχείς διακλάσεις, δυσμενής προσανατολισμός | Συνεχείς διακλάσεις, δυσμενής προσανατολισμός |
| | | Τραχύτητα | Τραχεία, ανώμαλη | Κυματοειδής | Επίπεδη | Αργιλικό υλικό πλήρωσης – Ολισθηρές επιφάνειες |
| | Περίπτωση 2 | Δομή βραχώμαζας | Ελαφρά διαφορική διάβρωση | Περιστασιακή διαφορική διάβρωση | Σημαντική διαφορική διάβρωση | Εκτεταμένη διαφορική διάβρωση |
| | | Διαφορά στο ρυθμό διάβρωσης | Μικρή διαφορά | Μέτρια διαφορά | Μεγάλη διαφορά | Υπερβολικά μεγάλη διαφορά |
| Μέγεθος τεμαχίων / Ποσότητα επισφαλών τεμαχίων | | Εναλλακτικά: Βαθμολογία 1-100 | | | | |
| | | 1ft (≈0.30 m) / 3 yd ³ (≈2.3 m ³) | 2ft (≈0.61 m) / 6 yd ³ (≈4.6 m ³) | 3ft (≈0.91 m) / 9 yd ³ (≈6.9 m ³) | 4ft (≈1.22 m) / 12 yd ³ (≈9.2 m ³) | |
| Κλίμα και παρουσία νερού στο πρानές | | Χαμηλές έως μέτριες βροχοπτώσεις Καθόλου περίοδοι παγετού-Καθόλου νερό στο πρानές | Μέτριες βροχοπτώσεις ή μικροί περίοδοι παγετού ή περιστασιακή παρουσία νερού στο πρानές | Υψηλές βροχοπτώσεις ή μεγάλοι περίοδοι παγετού ή συνεχής παρουσία νερού στο πρानές | Υψηλές βροχοπτώσεις και μεγάλοι περίοδοι παγετού ή συνεχής παρουσία νερού στο πρανές και μεγάλοι περίοδοι παγετού | |
| Ιστορικό καταπτώσεων | | Ελάχιστες καταπτώσεις | Περιστασιακές καταπτώσεις | Πολλές καταπτώσεις | Συνεχείς καταπτώσεις | |

2. Μέθοδοι εκτίμησης επικινδυνότητας και διακινδύνευσης βραχοπτώσεων - Γενικά

Πίνακας 3.6. Βοηθητικοί πίνακες βαθμολόγησης κατά NHI-RHRS (Pierson & Vickie, 1993)

| ΥΨΟΣ ΠΡΑΝΟΥΣ | | | | | |
|--------------|-------|------------|-----|-------|------------|
| ft | m | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | ft | m | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ |
| 9 | 2,74 | 1 | 58 | 17,68 | 13 |
| 10 | 3,05 | 2 | 59 | 17,98 | 13 |
| 11 | 3,35 | 2 | 60 | 18,29 | 14 |
| 12 | 3,66 | 2 | 61 | 18,59 | 15 |
| 13 | 3,96 | 2 | 62 | 18,90 | 15 |
| 14 | 4,27 | 2 | 63 | 19,20 | 16 |
| 15 | 4,57 | 2 | 64 | 19,51 | 17 |
| 16 | 4,88 | 2 | 65 | 19,81 | 17 |
| 17 | 5,18 | 2 | 66 | 20,12 | 18 |
| 18 | 5,49 | 2 | 67 | 20,42 | 19 |
| 19 | 5,79 | 2 | 68 | 20,73 | 20 |
| 20 | 6,10 | 2 | 69 | 21,03 | 21 |
| 21 | 6,40 | 3 | 70 | 21,34 | 22 |
| 22 | 6,71 | 3 | 71 | 21,64 | 23 |
| 23 | 7,01 | 3 | 72 | 21,95 | 24 |
| 24 | 7,32 | 3 | 73 | 22,25 | 25 |
| 25 | 7,62 | 3 | 74 | 22,56 | 26 |
| 26 | 7,92 | 3 | 75 | 22,86 | 27 |
| 27 | 8,23 | 3 | 76 | 23,16 | 28 |
| 28 | 8,53 | 3 | 77 | 23,47 | 29 |
| 29 | 8,84 | 4 | 78 | 23,77 | 31 |
| 30 | 9,14 | 4 | 79 | 24,08 | 32 |
| 31 | 9,45 | 4 | 80 | 24,38 | 34 |
| 32 | 9,75 | 4 | 81 | 24,69 | 35 |
| 33 | 10,06 | 4 | 82 | 24,99 | 37 |
| 34 | 10,36 | 4 | 83 | 25,30 | 38 |
| 35 | 10,67 | 5 | 84 | 25,60 | 40 |
| 36 | 10,97 | 5 | 85 | 25,91 | 42 |
| 37 | 11,28 | 5 | 86 | 26,21 | 44 |
| 38 | 11,58 | 5 | 87 | 26,52 | 46 |
| 39 | 11,89 | 6 | 88 | 26,82 | 48 |
| 40 | 12,19 | 6 | 89 | 27,13 | 50 |
| 41 | 12,50 | 6 | 90 | 27,43 | 52 |
| 42 | 12,80 | 6 | 91 | 27,74 | 55 |
| 43 | 13,11 | 7 | 92 | 28,04 | 57 |
| 44 | 13,41 | 7 | 93 | 28,35 | 60 |
| 45 | 13,72 | 7 | 94 | 28,65 | 60 |
| 46 | 14,02 | 8 | 95 | 28,96 | 62 |
| 47 | 14,33 | 8 | 96 | 29,26 | 65 |
| 48 | 14,63 | 8 | 97 | 29,57 | 71 |
| 49 | 14,94 | 9 | 98 | 29,87 | 74 |
| 50 | 15,24 | 9 | 99 | 30,18 | 78 |
| 51 | 15,54 | 9 | 100 | 30,48 | 81 |
| 52 | 15,85 | 10 | 101 | 30,78 | 85 |
| 53 | 16,15 | 10 | 102 | 31,09 | 88 |
| 54 | 16,46 | 11 | 103 | 31,39 | 92 |
| 55 | 16,76 | 11 | 104 | 31,70 | 97 |
| 56 | 17,07 | 12 | 105 | 32,00 | 100 |
| 57 | 17,37 | 12 | | | |

| ΜΕΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ | | | |
|-----------------------------|------------|-----|------------|
| % | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | % | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ |
| 9 | 1 | 58 | 13 |
| 10 | 2 | 59 | 13 |
| 11 | 2 | 60 | 14 |
| 12 | 2 | 61 | 15 |
| 13 | 2 | 62 | 15 |
| 14 | 2 | 63 | 16 |
| 15 | 2 | 64 | 17 |
| 16 | 2 | 65 | 17 |
| 17 | 2 | 66 | 18 |
| 18 | 2 | 67 | 19 |
| 19 | 2 | 68 | 20 |
| 20 | 2 | 69 | 21 |
| 21 | 3 | 70 | 22 |
| 22 | 3 | 71 | 23 |
| 23 | 3 | 72 | 24 |
| 24 | 3 | 73 | 25 |
| 25 | 3 | 74 | 26 |
| 26 | 3 | 75 | 27 |
| 27 | 3 | 76 | 28 |
| 28 | 3 | 77 | 29 |
| 29 | 4 | 78 | 31 |
| 30 | 4 | 79 | 32 |
| 31 | 4 | 80 | 34 |
| 32 | 4 | 81 | 35 |
| 33 | 4 | 82 | 37 |
| 34 | 4 | 83 | 38 |
| 35 | 5 | 84 | 40 |
| 36 | 5 | 85 | 42 |
| 37 | 5 | 86 | 44 |
| 38 | 5 | 87 | 46 |
| 39 | 6 | 88 | 48 |
| 40 | 6 | 89 | 50 |
| 41 | 6 | 90 | 52 |
| 42 | 6 | 91 | 55 |
| 43 | 7 | 92 | 57 |
| 44 | 7 | 93 | 60 |
| 45 | 7 | 94 | 60 |
| 46 | 8 | 95 | 62 |
| 47 | 8 | 96 | 65 |
| 48 | 8 | 97 | 71 |
| 49 | 9 | 98 | 74 |
| 50 | 9 | 99 | 78 |
| 51 | 9 | 100 | 81 |
| 52 | 10 | 101 | 85 |
| 53 | 10 | 102 | 88 |
| 54 | 11 | 103 | 92 |
| 55 | 11 | 104 | 97 |
| 56 | 12 | 105 | 100 |
| 57 | 12 | | |

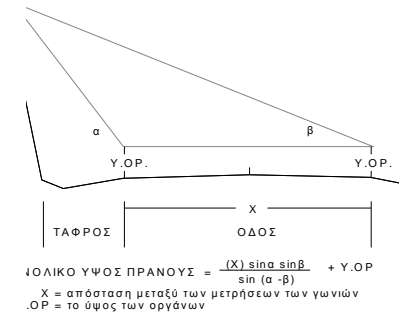
| ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ | | | |
|--------------------------------|------------|-----|------------|
| % | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | % | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ |
| 36 | 100 | 75 | 12 |
| 37 | 96 | 76 | 11 |
| 38 | 90 | 77 | 11 |
| 39 | 86 | 78 | 10 |
| 40 | 81 | 79 | 10 |
| 41 | 77 | 80 | 9 |
| 42 | 73 | 81 | 9 |
| 43 | 69 | 82 | 8 |
| 44 | 65 | 83 | 8 |
| 45 | 62 | 84 | 7 |
| 46 | 58 | 85 | 7 |
| 47 | 55 | 86 | 6 |
| 48 | 52 | 87 | 6 |
| 49 | 49 | 88 | 6 |
| 50 | 47 | 89 | 5 |
| 51 | 44 | 90 | 5 |
| 52 | 42 | 91 | 5 |
| 53 | 40 | 92 | 5 |
| 54 | 38 | 93 | 4 |
| 55 | 36 | 94 | 4 |
| 56 | 34 | 95 | 4 |
| 57 | 32 | 96 | 4 |
| 58 | 30 | 97 | 4 |
| 59 | 29 | 98 | 3 |
| 60 | 27 | 99 | 3 |
| 61 | 26 | 100 | 3 |
| 62 | 24 | 101 | 3 |
| 63 | 23 | 102 | 3 |
| 64 | 22 | 103 | 3 |
| 65 | 21 | 104 | 2 |
| 66 | 19 | 105 | 2 |
| 67 | 18 | 106 | 2 |
| 68 | 17 | 107 | 2 |
| 69 | 16 | 108 | 2 |
| 70 | 16 | 109 | 2 |
| 71 | 15 | 110 | 2 |
| 72 | 14 | 111 | 2 |
| 73 | 13 | 112 | 2 |
| 74 | 13 | 113 | 1 |

| ΠΛΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΥ | | |
|---------------|------|------------|
| ft | m | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ |
| 18 | 5,5 | 100 |
| 19 | 5,8 | 93 |
| 20 | 6,1 | 81 |
| 21 | 6,4 | 71 |
| 22 | 6,7 | 62 |
| 23 | 7,0 | 54 |
| 24 | 7,3 | 47 |
| 25 | 7,6 | 41 |
| 26 | 7,9 | 36 |
| 27 | 8,2 | 31 |
| 28 | 8,5 | 27 |
| 29 | 8,8 | 24 |
| 30 | 9,1 | 21 |
| 31 | 9,4 | 18 |
| 32 | 9,8 | 16 |
| 33 | 10,1 | 14 |
| 34 | 10,4 | 12 |
| 35 | 10,7 | 10 |
| 36 | 11,0 | 9 |
| 37 | 11,3 | 8 |
| 38 | 11,6 | 7 |
| 39 | 11,9 | 6 |
| 40 | 12,2 | 5 |
| 41 | 12,5 | 5 |
| 42 | 12,8 | 4 |
| 43 | 13,1 | 3 |
| 44 | 13,4 | 3 |
| 45 | 13,7 | 3 |
| 46 | 14,0 | 2 |
| 47 | 14,3 | 2 |
| 48 | 14,6 | 2 |
| 49 | 14,9 | 2 |
| 50 | 15,2 | 1 |

| ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΤΕΜΑΧΩΝ | | |
|------------------|------|------------|
| yd³ | m³ | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ |
| 1 | 0,76 | 1 |
| 1,5 | 1,15 | 2 |
| 2 | 1,53 | 2 |
| 2,5 | 1,91 | 2 |
| 3 | 2,29 | 3 |
| 3,5 | 2,68 | 4 |
| 4 | 3,06 | 4 |
| 4,5 | 3,44 | 5 |
| 5 | 3,82 | 6 |
| 5,5 | 4,21 | 7 |
| 6 | 4,59 | 9 |
| 6,5 | 4,97 | 11 |
| 7 | 5,35 | 13 |
| 7,5 | 5,73 | 16 |
| 8 | 6,12 | 19 |
| 8,5 | 6,50 | 22 |
| 9 | 6,88 | 27 |
| 9,5 | 7,26 | 32 |
| 10 | 7,65 | 39 |
| 10,5 | 8,03 | 47 |
| 11 | 8,41 | 56 |
| 11,5 | 8,79 | 67 |
| 12 | 9,17 | 81 |
| 12,5 | 9,56 | |
| 13 | 9,94 | |

| ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟΦΑΣΗΣ | | | |
|-------------------|--------|----------|--------|
| ft | m | miles/hr | km/hr |
| 300 | 91,44 | 20 | 32,19 |
| 375 | 114,30 | 25 | 40,23 |
| 450 | 137,16 | 30 | 48,28 |
| 525 | 160,02 | 35 | 56,33 |
| 600 | 182,88 | 40 | 64,37 |
| 675 | 205,74 | 45 | 72,42 |
| 750 | 228,60 | 50 | 80,47 |
| 825 | 251,46 | 55 | 88,51 |
| 900 | 274,32 | 60 | 96,56 |
| 975 | 297,18 | 65 | 104,61 |

| ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΕΜΑΧΟΥΣ | | |
|------------------|------|------------|
| ft | m | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ |
| 0,5 | 0,15 | 2 |
| 1 | 0,30 | 3 |
| 1,5 | 0,46 | 5 |
| 2 | 0,61 | 9 |
| 2,5 | 0,76 | 16 |
| 3 | 0,91 | 27 |
| 3,5 | 1,07 | 47 |
| 4 | 1,22 | 81 |
| 4,5 | 1,37 | 100 |



$$AVR = \frac{ADT (\text{οχήματα/ημέρα}) \times \text{μήκας πρανούς (μίλια)} \times 24 (\text{ώρες/ημέρα})}{\text{Οριο ταχύτητας (μίλια/ώρα)}} \times 100\%$$

3.4. Tennessee Rockfall Hazard Rating System – Vanderwater *et al.*, 2005 (TRHRS)

Εισαγωγή

Το σύστημα βαθμολόγησης επικινδυνότητας καταπτώσεων βράχων του Tennessee (TRHRS) διαφέρει από το αρχικό RHRS του Pierson κυρίως ως προς τον γεωλογικό χαρακτηρισμό (Vanderwater *et al.*, 2005). Αλλαγές επίσης έγιναν στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της περιοχής και του αυτοκινητοδρόμου, ιδιαίτερα όσον αφορά στην αποτελεσματικότητα της βραχοπαγίδας και στον ορισμό της.

Πλεονεκτήματα TRHRS

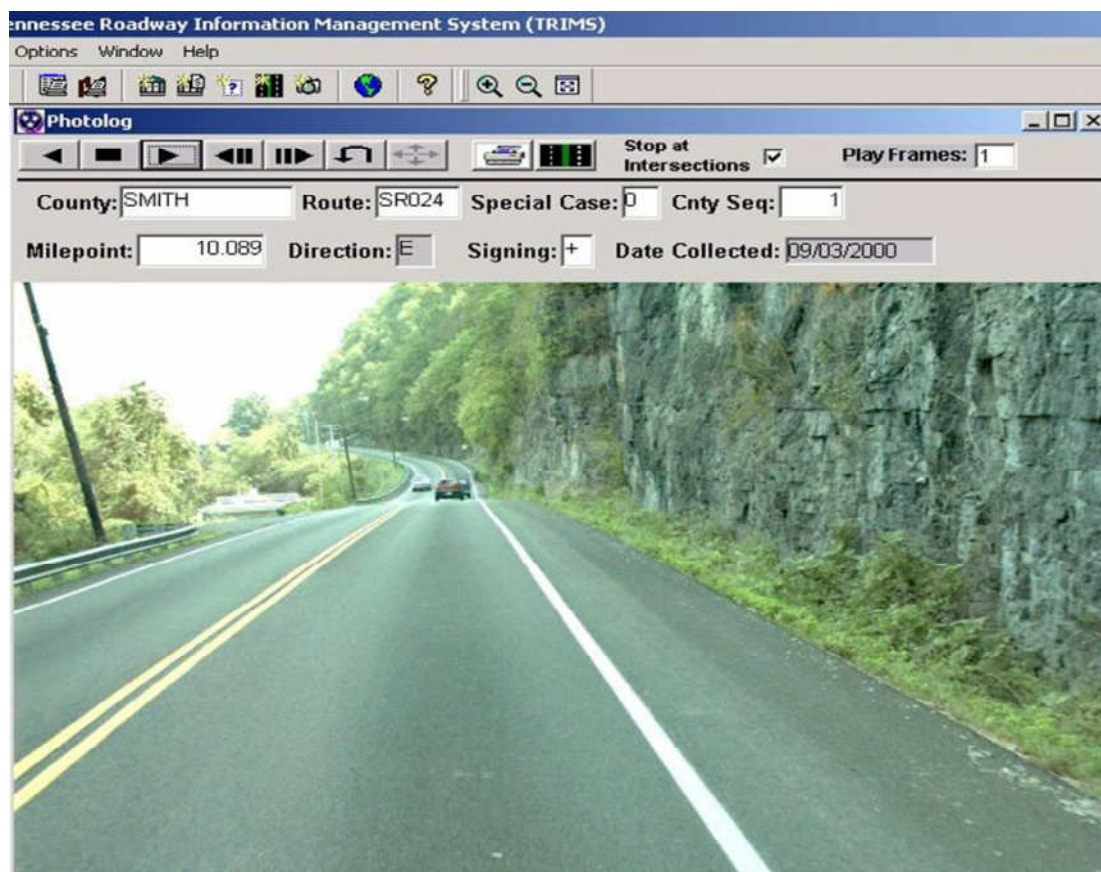
Το σύστημα TRHRS παρέχει τις ίδιες βασικές γεωμετρικές πληροφορίες για την περιοχή και τον οδικό άξονα όπως και στα υπόλοιπα αντίστοιχα συστήματα. Περιλαμβάνει δηλαδή δεδομένα για το μήκος και το ύψος του πρανούς, την απόσταση της αντίδρασης, τη μέση διακινδύνευση οχήματος και την αποτελεσματικότητα της βραχοπαγίδας.

Επιπρόσθετα το TRHRS περιλαμβάνει πληρέστερες περιγραφές για το γεωλογικό χαρακτήρα σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα. Επίσης γίνεται λήψη ψηφιακών φωτογραφιών για κάθε πρανός και τα δεδομένα εισάγονται σε βάση δεδομένων. Η γεωλογική αξιολόγηση του TRHRS λαμβάνει υπόψη τους τύπους αστοχίας, που βασίζονται στους βασικούς μηχανισμούς αστοχίας των βραχωδών πρανών. Από αυτή την πληροφορία, είναι δυνατόν για το μηχανικό να βγάλει συμπεράσματα για την απαιτούμενη αποκατάσταση και να προσδιορίσει το απαιτούμενο κόστος, χωρίς να πραγματοποιήσει απαραίτητα επί τόπου επίσκεψη (Cain, 2004).

Σύστημα Διαχείρισης Πληροφοριών Αυτοκινητοδρόμων του Tennessee (TRIMS)

Το TRIMS αποτελεί ένα σύστημα διαχείρισης του οδικού δικτύου και δρα επικουρικά στις αποφάσεις συντήρησής του. Περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα πληροφοριών, όπως ένα αρχείο φωτογραφικής καταγραφής της κατάστασης συντήρησης των οδών. Πρόκειται για μία αλληλουχία φωτογραφιών σε βήματα των 0.016 km. Οι φωτογραφίες αυτές επιτρέπουν στον χρήστη την αναγνώριση πιθανών προβληματικών πρανών, πριν την επί τόπου επίσκεψη στην περιοχή.

Επιπρόσθετα, περιέχονται πληροφορίες όπως η Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία οχημάτων (ADT), η χιλιομετρική θέση της έναρξης του πρανούς, η πλευρά της οδού στην οποία βρίσκεται το πρανός και το πλάτος της οδού. Το πλάτος της οδού επιβεβαιώνεται στη συνέχεια από την επί τόπου επίσκεψη. Οι τιμές για το όριο ταχύτητας επιβεβαιώνονται από την παρατήρηση των πινακίδων που εμφανίζονται στις φωτογραφίες.



Εικόνα 3.1. Αποτύπωση από το αρχείων φωτογραφιών, στο οποίο φαίνεται ένα βραχώδες όρυγμα. Παρατηρείται το μικρό πλάτος της βραχοπαγίδας (Cain, 2004)

Προκαταρκτική βαθμολόγηση

Μετά την προσδιορισμό όλων των πρηνών, με τη χρήση του TRIMS, καθώς και τη συλλογή των αρχικών στοιχείων για τον αυτοκινητόδρομο, ακολουθεί η επί τόπου επίσκεψη, παρατήρηση και προκαταρκτική βαθμολόγησή τους.

Η προκαταρκτική βαθμολόγηση χρησιμοποιείται για τη γενική αξιολόγηση της επικινδυνότητας των βραχωδών πρηνών, ως υψηλή (A), μέτρια (B) ή χαμηλή (C), με βάση τις οδηγίες της NHI (Pierson & Vickie, 1993), ως εξής:

- Πρηνή τύπου A: Μέτριο έως υψηλό δυναμικό παρουσίας βράχων στο οδόστρωμα και/ή υψηλή συχνότητα καταπτώσεων βράχων.
- Πρηνή τύπου B: Χαμηλό έως μέτριο δυναμικό παρουσίας βράχων στο οδόστρωμα και/ή μέτριο ιστορικό δραστηριότητας καταπτώσεων βράχων.
- Πρηνή τύπου C: Αμελητέο έως χαμηλό δυναμικό παρουσίας βράχων στο οδόστρωμα και/ή χαμηλό ιστορικό δραστηριότητας καταπτώσεων βράχων.

Τα πρηνή τύπου C είναι και τα πιο εύκολα αναγνωρίσιμα πρηνή, καθώς στην πλειοψηφία τους έχουν ύψος μικρότερο των 3m, με ήπιων κλίσεων ή επίπεδες επιφάνειες πίσω από αυτά και έχουν βραχοπαγίδες πλάτους τουλάχιστον 1.5m. Αποκατεστημένα πρηνή ή πρηνή που δεν περιλαμβάνονται στις κατηγορίες A και B,

ορίζονται ως πρανή τύπου R, πχ πρανή που έχουν απομονωθεί από την οδό με κατάλληλους φράχτες προστασίας.

Εάν ένα πρανές χαρακτηριστεί κατά την προκαταρκτική αξιολόγηση ως τύπου A ή B, τότε καταγράφονται στοιχεία όπως Χ.Θ., στοιχεία περιοχής, όρια ταχύτητας και συντεταγμένες μέσω GPS. Εάν ένα πρανές χαρακτηριστεί τύπου A, το προσωπικό προβαίνει σε αναλυτική βαθμολόγηση της διακινδύνευσής του. Στα πρανή τύπου B, καταγράφονται τα αντίστοιχα στοιχεία, αλλά δεν δίνεται βαθμολόγηση της διακινδύνευσής του.

Διαχωρισμός πρανών τύπου A και B

Αν και η αναγνώριση των πρανών τύπου C είναι άμεση και αναμφισβήτητη, αυτή μεταξύ των πρανών A και B εξαρτάται σημαντικά από την υποκειμενικότητα του προσωπικού, καθορίζοντας έτσι και ποιο πρανές θα αξιολογηθεί ως προς την επικινδυνότητα και ποιο όχι. Μία συντηρητική προσέγγιση είναι να χαρακτηρίζεται κάθε οριακό πρανές ως τύπου A, αλλά κάτι τέτοιο θα προκαλούσε αλλοιώσεις στην βάση δεδομένων, ένα αυτό είναι στην πραγματικότητα ένα πρανές τύπου B. Παρακάτω φαίνονται δύο τυπικά πρανή τύπου A και B.



Εικόνα 3.2. Παράδειγμα τυπικού πρανούς (α) τύπου A και (β) τύπου B. (Cain, 2004). Παρατηρείται η μικρή απόσταση αντίδρασης (DSD), η ανύπαρκτη βραχοπαγίδα και το μεγάλο δυνητικό τέμαχος κατάπτωσης στην εικόνα (α) και η υψηλή DSD και η πλατιά παγίδα συγκράτησης, που κατάφερε να συγκρατήσει το βραχοτέμαχος στην εικόνα (β).

Κατά τον διαχωρισμό μεταξύ πρανών τύπου A και B, η εμπειρία έχει δείξει ότι είναι χρήσιμο να δίνονται απαντήσεις στα ακόλουθα ερωτήματα (Cain, 2004):

1. Η παγίδα συγκράτησης είναι ανεπαρκής για να περιορίσει το πιθανό εύρος του γεγονότος κατάπτωσης;
2. Υπάρχουν παλαιότερες ενδείξεις καταπτώσεων κατά τις οποίες βράχοι έφτασαν μέχρι το οδόστρωμα;

Τέτοια στοιχεία μπορούν να προκύψουν από το ιστορικό καταγραφής της συντήρησης της οδού.

Εάν η απάντηση σε οποιαδήποτε από τις δύο αυτές ερωτήσεις είναι ΝΑΙ, τότε πρόκειται για πρυνές τύπου Α.

Επιπλέον, για την απάντηση της ερώτησης 1, χρήσιμο είναι να δοθούν απαντήσεις και στα ακόλουθα:

3. Τα χαρακτηριστικά του πρυνούς αυξάνουν την πιθανότητα μίας κατάπτωσης να καταλήξει στο οδόστρωμα; Παράδειγμα είναι τα χαρακτηριστικά αποκόλλησης και η τάση να πληρώνεται η βραχοπαγίδα με μπάζα που δημιουργούν μία ράμπα που συνεισφέρει στην κύλιση των τεμαχίων.

4. Ποιο είναι το πιθανό εύρος του μεγέθους των μεμονωμένων τεμαχίων και ποιος ο όγκος του πιθανού γεγονότος κατάπτωσης βράχων.

Εάν ο αξιολογητής έχει ακόμα αμφιβολίες για την κατάταξη του πρυνούς, τότε πρέπει να συναξιολογηθούν πιο συγκεκριμένες παράμετροι για τη λήψη της κατάλληλης απόφασης. Σημαντικότερες είναι η μέση ημερήσια κυκλοφορία οχημάτων (ADT) και η απόσταση ορατότητας απόφασης (DSD). Για παράδειγμα, εάν ένα βραχώδες πρυνές βρίσκεται σε ένα μεγάλο αυτοκινητόδρομο, ο αξιολογητής θα πρέπει να κλίνει περισσότερο προς το πρυνές τύπου Α, καθώς η ADT και συνεπώς η διακινδύνευση της δημόσιας ασφάλειας είναι υψηλότερη. Αντίστοιχα, στην περίπτωση ενός πρυνούς σε στροφή χωρίς ορατότητα, η κατάταξη σε τύπου Α ενδείκνυται, καθώς η DSD είναι χαμηλή.

Εάν, εν τέλει εξακολουθεί να υφίσταται αμφιβολία για την κατάταξη του πρυνούς, θα πρέπει να υιοθετηθεί η συντηρητική προσέγγιση και το πρυνές να χαρακτηριστεί ως τύπου Α και να ακολουθήσει αναλυτική βαθμολόγηση επικινδυνότητας.

Αναλυτική βαθμολόγηση

Όλα τα πρυνή τύπου Α απαιτούν αναλυτική βαθμολόγηση. Σε αυτή την φάση περιλαμβάνονται δύο τομείς:

A) γεωμετρία περιοχής και οδού,

B) γεωλογικός χαρακτήρας.

Όσον αφορά τη γεωμετρία της οδού και της περιοχής, η βαθμολόγηση γίνεται αντίστοιχα με τη NHI-RHRS με εξαίρεση την παράμετρο της αποτελεσματικότητας της βραχοπαγίδας. Ωστόσο, η κύρια διαφοροποίηση μεταξύ των δύο συστημάτων είναι στον χαρακτηρισμό της γεωλογικής επικινδυνότητας του πρυνούς.

Πίνακας 3.7. Συστήματα ταξινόμησης του γεωλογικού χαρακτήρα (Cain, 2004)

| Επίπεδη αστοχία | | | | |
|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|
| Πλήθος | <10% | 10-20% | 20-30% | >30% |
| Βαθμολογία | 3 | 9 | 27 | 81 |
| Μέγεθος τεμάχους | <1ft (<0.3m) | 1-3ft (0.3-0.9m) | 3-6ft (0.9-1.8m) | >6 ft (1.8m) |
| Βαθμολογία | 3 | 9 | 27 | 81 |
| Κλίση | 0-20° | 20-40° | 40-60° | >60° |
| Βαθμολογία | 2 | 5 | 14 | 41 |
| Τριβή (μικρο/μάκρο) | ανώμαλη/ κυματοειδής | Ομαλή/ κυματοειδής | ανώμαλη/ επίπεδη | Ομαλή/ επίπεδη |
| Βαθμολογία | 2 | 5 | 14 | 41 |
| Σφηνοειδής ολίσθηση | | | | |
| Πλήθος | <10% | 10-20% | 20-30% | >30% |
| Βαθμολογία | 3 | 9 | 27 | 81 |
| Μέγεθος τεμάχους | <1ft (<0.3m) | 1-3ft (0.3-0.9m) | 3-6ft (0.9-1.8m) | >6 ft (1.8m) |
| Βαθμολογία | 3 | 9 | 27 | 81 |
| Κλίση | 0-20° | 20-40° | 40-60° | >60° |
| Βαθμολογία | 2 | 5 | 14 | 41 |
| Τριβή (μικρο/μάκρο) | ανώμαλη/ κυματοειδής | Ομαλή/ κυματοειδής | ανώμαλη/ επίπεδη | Ομαλή/ επίπεδη |
| Βαθμολογία | 2 | 5 | 14 | 41 |
| Ανατροπή | | | | |
| Πλήθος | <10% | 10-20% | 20-30% | >30% |
| Βαθμολογία | 5 | 14 | 41 | 122 |
| Μέγεθος τεμάχους | <1ft (<0.3m) | 1-3ft (0.3-0.9m) | 3-6ft (0.9-1.8m) | >6 ft (1.8m) |
| Βαθμολογία | 5 | 14 | 41 | 122 |
| Διαφορική αποσάθρωση | | | | |
| Πλήθος | <10% | 10-20% | 20-30% | >30% |
| Βαθμολογία | 3 | 9 | 27 | 81 |
| Μέγεθος τεμάχους | <1ft (<0.3m) | 1-3ft (0.3-0.9m) | 3-6ft (0.9-1.8m) | >6 ft (1.8m) |
| Βαθμολογία | 3 | 9 | 27 | 81 |
| Βαθμός χαλάρωσης | <1ft (<0.3m) | 1-3ft (0.3-0.9m) | 3-6ft (0.9-1.8m) | >6 ft (1.8m) |
| Βαθμολογία | 3 | 9 | 27 | 81 |
| Ροή | | | | |
| Πλήθος | <10% | 10-20% | 20-30% | >30% |
| Βαθμολογία | 3 | 9 | 27 | 81 |
| Μέγεθος τεμάχους | <1ft (<0.3m) | 1-3ft (0.3-0.9m) | 3-6ft (0.9-1.8m) | >6 ft (1.8m) |
| Βαθμολογία | 3 | 9 | 27 | 81 |
| Σχήμα | Γωνιώδες | Τεμαχισμένο | Σφαιρικό | - |
| Βαθμολογία | 3 | 9 | 27 | - |

A) Γεωμετρία περιοχής και έργου

Ύψος πρानούς

Ένας βράχος που πέφτει από ψηλά έχει μεγαλύτερη κινητική ενέργεια από ότι αν πέφτει από χαμηλά. Με τις υπόλοιπες παραμέτρους σταθερές, μεγαλύτερη κινητική ενέργεια σημαίνει μεγαλύτερη κινητικότητα του βραχώδους τεμάχους, αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα να βρεθεί το τέμαχος στο οδόστρωμα. Συνεπώς υψηλότερα πρानή αντιπροσωπεύουν μεγαλύτερη επικινδυνότητα. Το ύψος του πρानούς μετρίεται μέχρι το ανώτατο σημείο της επικίνδυνης, για καταπτώσεις βράχων, ζώνης. Βαθμολογείται από την ακόλουθη σχέση, σε αντιστοιχία με το *NHI-RHRS*:

$$\text{Βαθμολογία Ύψους} = 3^x$$

Όπου $x = \text{Ύψος πρानούς}/H_0$

Με H_0 : ύψος αναφοράς ίσο με 7.6m (25ft)

Αποτελεσματικότητα βραχοπαγίδας (τάφρου)

Αν και θεωρητικά είναι τεχνικοοικονομικά αδύνατο να σχεδιαστεί μία βραχοπαγίδα που θα συγκρατήσει κάθε πιθανό τέμαχος βράχου να καταπέσει στο οδόστρωμα, είναι ωστόσο δυνατό να σχεδιαστεί μία επαρκής βραχοπαγίδα που θα μειώσει σημαντικά την πιθανότητα να βρεθούν μικρά ή μεγάλα βραχοτεμάχη στο οδόστρωμα.

Σύμφωνα με *Cain, 2004* η αποτελεσματικότητα της βραχοπαγίδας καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την προκαταρκτική ταξινόμηση του πρानούς σε τύπου A ή τύπου B. Προτείνεται πλάτος βραχοπαγίδας κατ'ελάχιστο 5.5m σε πρानή ύψους 12.2m, ενώ μεγαλύτερες βραχοπαγίδες πρέπει να κατασκευάζονται σε ψηλότερα πρανή ή σε μη κατακόρυφα πρανή.

Η βαθμολογία της αποτελεσματικότητας συγκρίνει την πραγματική συγκράτηση και το πρανές με τις απαιτήσεις του σχεδιασμού. Επίσης πρέπει να ληφθεί υπόψη η απουσία ή η παρουσία χαρακτηριστικών αποκόλλησης. Πρόκειται για τοπογραφικές προεξοχές και ανωμαλίες στο προφίλ του πρανούς που αλλάζουν την τροχιά της κατάπτωσης, αυξάνοντας την πιθανότητα να καταπέσει ένας βράχος στο οδόστρωμα. Εάν υπάρχουν τέτοια χαρακτηριστικά, το πλάτος της βραχοπαγίδας πρέπει να είναι αισθητά μεγαλύτερο από ένα πρανές χωρίς τέτοια φαινόμενα.

Η συνολική βαθμολόγηση της αποτελεσματικότητας της βραχοπαγίδας εξαρτάται από το ποσοστό του πλάτους σχεδιασμού, το πρανές και την παρουσία ή μη χαρακτηριστικών αποκόλλησης.

Μέση διακινδύνευση οχήματος (AVR) – ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση

Σε αντιστοιχία με το NHI-RHRS, προκύπτει από την εξίσωση:

$$AVR = \frac{ADT \text{ (οχήματα/ώρα)} \times \text{μήκος πρσανούς (μίλια)} \times 100\%}{\text{Οριο ταχύτητας (μίλια/ώρα)}}$$

* Μίλια ή χιλιόμετρα

Συνολικό πλάτος οδού

Το πλάτος της οδού επηρεάζει την επικινδυνότητα γιατί ένας στενός δρόμος μειώνει το χρόνο και το χώρο που διαθέτει ο οδηγός για να αντιδράσει, αυξάνοντας έτσι την διακινδύνευση του διερχόμενου κοινού. Μετρείται αντίστοιχα με τις προδιαγραφές του NHI-RHRS.

Απόσταση αντίδρασης ως ποσοστό της ελάχιστης τιμής σχεδιασμού (%DSD)

Ορίζεται σε αντιστοιχία με το NHI-RHRS. Η απόσταση αντίδρασης πεδίου (Decision Site Distance, DSD) είναι η μέγιστη απόσταση κατά την οποία ένας οδηγός μπορεί να δει ένα εμπόδιο 15cm επί του οδοστρώματος και να έχει ικανοποιητικό χρόνο να αντιδράσει κατάλληλα. Η DSD έχει προδιαγραφεί κατά AASHTO (1984) και εξαρτάται από τα όρια ταχύτητας. Με τις υπόλοιπες παραμέτρους σταθερές, η επικινδυνότητα αυξάνεται, όσο μειώνεται ο χρόνος αντίδρασης του οδηγού.

Το TRHRS δίνει δύο επιλογές βαθμολόγησης του DSD: 1) προσδιορισμός του ως επαρκές, μέτριο, περιορισμένο ή πολύ περιορισμένο, 2) μέτρηση του DSD και υπολογισμός του επί της εκατό ποσοστού DSD με βάση τη σχέση:


$$DSD(\%) = \frac{DSD_{\text{μετρημένο}}}{DSD_{(AASHTO)}}$$

Μετά τον υπολογισμό, η %DSD επικινδυνότητα βρίσκεται από τον αντίστοιχο πίνακα.

Παρακάτω δίδονται οι αντίστοιχοι πίνακες υπολογισμού των ως άνω παραμέτρων.

3. Συστήματα ταξινόμησης επικινδυνότητας βραχοπτώσεων

Πίνακας 3.8. Φύλλο εργασίας υπολογισμού επικινδυνότητας κατά TRHRS (Cain, 2004)

| Βαθμολογία | | | Α. Επί τόπου παρατηρήσεις και Γεωμετρία | | | | | | | | |
|---------------------------------|--|----------------------|---|---|-------------------------------------|---|--|--|----------------------------------|------------------|---------------|
| 1. Ύψος πρανούς | | | 1. Ύψος πρανούς (ft) | | | | 2. Μέση διακινδύνευση οχήματος (AVR%) | | | | |
| 2. AVR | | | a= | $\frac{(X) \sin \alpha \sin \beta}{\sin (\alpha - \beta)} + \gamma \cdot \text{OP}$  | | $\text{AVR} = \frac{\text{ADT} (\text{οχήματα/ημέρα}) \times \text{μήκος πρανούς (μίλια)/24 (\text{ώρες/ημέρα})}{\text{Όριο ταχύτητας (μίλια/ώρα)} \times 100\%}$ | | | | | |
| 3. %DSD | | | b= | | | | | | | | |
| 4. Πλάτος οδού | | | πλάτος x= | $\text{DSD} (\%) = \frac{\text{Πραγματική απόσταση (C)} \times 100\%}{\text{Απόσταση απόφασης (C)}}$ | | | 3. DSD(%) | | | | |
| 5. Αποτελεσματικότητα τάφρου | | | Ύψος οργάνου γ.Ο.Ρ.= | | | | Εναλλακτικά, επιλέγεται: | | Επαρκής | Μέτρια | Περιορισμένη |
| 6. Ιστορικό καταπτώσεων | | | Συνολικό ύψος πρανούς= | 4. Πλάτος οδού | | 3 | 9 | 27 | 81 | | |
| 7. Νερό | | | 5. Αποτελεσματικότητα τάφρου | | | | | | | | |
| 8. Γεωλογικός χαρακτήρας | | | Πλάτος σχεδιασμού | | | | Ενεργό πλάτος συγκράτησης (ft) | | | | |
| ΣΥΝΟΛΟ | | | | | | | | | | | |
| 6. Ιστορικό καταπτώσεων | | | Ύψος πρανούς (ft) | Προτεινόμενη τιμή (κατακόρυφα πρανή) | Προτεινόμενη τιμή (κεκλιμένα πρανή) | Χαρακτηριστικά αποκόλλησης (N/O) | | | | | |
| | | | Τύπος | Συχνότητα | Βαθμολογία | 0-40 | 18 | 18 | Σχήμα συγκράτησης 6:1; (Ναι/Όχι) | | |
| Σπάνιες | | | ≤1/έτος | 3 | 40-50 | 18 | 24 | % πραγματικού πλάτους σε σχέση με πλάτος σχεδιασμού από πίνακα | | | |
| Συχνές | | | 2/έτος | 9 | 50-60 | 24 | 30 | | | | |
| Πολλές | | | 3-4/έτος | 27 | 60-70 | 26 | 34 | >90% | 70-90% | 50-70% | <50% |
| Συνεχείς | | | ≥5/έτος | 81 | 70-80 | 32 | 38 | Σχήμα συγκράτησης 6:1. Βαθμολογία | | | |
| 7. Παρουσία νερού | | | 80-100 | 36 | 42 | 42 | 3 | 9 | 27 | 81 | |
| Περιγραφή | | | Βαθμολογία | 100-125 | 36 | 42 | Φτωχή συγκράτηση Η χαρακτηριστικά αποκόλλησης. | | | | |
| Καθόλου | | | 3 | 125-175 | 40 | 48 | Βαθμολογία: | | | | |
| Στάγδην | | | 9 | >175 | 52 | 60 | 9 | 27 | 81 | 81 | |
| Ρέον | | | 27 | | | | | Φτωχή συγκράτηση ΚΑΙ χαρακτηριστικά αποκόλλησης. | | | |
| Αναβλύζον | | | 81 | | | | | Βαθμολογία: | | | |
| | | | | | | | 27 | 81 | 81 | 81 | |
| Β. Γεωλογικός χαρακτήρας | | | | | | | | | | | |
| ΤΥΠΟΣ | | Επίπεδη αστοχία | | | | ΤΥΠΟΣ | | Σφηνοειδής ολίσθηση | | | |
| Πλήθος | | <10% | 10-20% | 20-30% | >30% | Πλήθος | | <10% | 10-20% | 20-30% | >30% |
| Βαθμολογία | | 3 | 9 | 27 | 81 | Βαθμολογία | | 3 | 9 | 27 | 81 |
| Μέγεθος τεμάχους | | <1ft (<0.3m) | 1-3ft (0.3-0.9m) | 3-6ft (0.9-1.8m) | >6 ft (1.8m) | Μέγεθος τεμάχους | | <1ft (<0.3m) | 1-3ft (0.3-0.9m) | 3-6ft (0.9-1.8m) | >6 ft (1.8m) |
| Βαθμολογία | | 3 | 9 | 27 | 81 | Βαθμολογία | | 3 | 9 | 27 | 81 |
| Κλίση | | 0-20° | 20-40° | 40-60° | >60° | Κλίση | | 0-20° | 20-40° | 40-60° | >60° |
| Βαθμολογία | | 2 | 5 | 14 | 41 | Βαθμολογία | | 2 | 5 | 14 | 41 |
| Τριβή (μίκρο/μάκρο) | | ανώμαλη/κυματοειδής | Ομαλή/κυματοειδής | ανώμαλη/επίπεδη | Ομαλή/επίπεδη | Τριβή (μίκρο/μάκρο) | | ανώμαλη/κυματοειδής | Ομαλή/κυματοειδής | ανώμαλη/επίπεδη | Ομαλή/επίπεδη |
| Βαθμολογία | | 2 | 5 | 14 | 41 | Βαθμολογία | | 2 | 5 | 14 | 41 |
| ΤΥΠΟΣ | | Ανατροπή | | | | Συνολική βαθμολογία Γεωλογικού χαρακτήρα | | | | | |
| Πλήθος | | <10% | 10-20% | 20-30% | >30% | | | | | | |
| Βαθμολογία | | 5 | 14 | 41 | 122 | | | | | | |
| Μέγεθος τεμάχους | | <1ft (<0.3m) | 1-3ft (0.3-0.9m) | 3-6ft (0.9-1.8m) | >6 ft (1.8m) | | | | | | |
| Βαθμολογία | | 5 | 14 | 41 | 122 | | | | | | |
| ΤΥΠΟΣ | | Διαφορική αποσάθρωση | | | | ΤΥΠΟΣ | | Ροή | | | |
| Πλήθος | | <10% | 10-20% | 20-30% | >30% | Πλήθος | | <10% | 10-20% | 20-30% | >30% |
| Βαθμολογία | | 3 | 9 | 27 | 81 | Βαθμολογία | | 3 | 9 | 27 | 81 |
| Μέγεθος τεμάχους | | <1ft (<0.3m) | 1-3ft (0.3-0.9m) | 3-6ft (0.9-1.8m) | >6 ft (1.8m) | Μέγεθος τεμάχους | | <1ft (<0.3m) | 1-3ft (0.3-0.9m) | 3-6ft (0.9-1.8m) | >6 ft (1.8m) |
| Βαθμολογία | | 3 | 9 | 27 | 81 | Βαθμολογία | | 3 | 9 | 27 | 81 |
| Βαθμός χαλάρωσης | | <1ft (<0.3m) | 1-3ft (0.3-0.9m) | 3-6ft (0.9-1.8m) | >6 ft (1.8m) | Σχήμα | | Γωνιώδες | Τεμαχισμένο | Σφαιρικό | - |
| Βαθμολογία | | 3 | 9 | 27 | 81 | Βαθμολογία | | 3 | 9 | 27 | - |

3. Συστήματα ταξινόμησης επικινδυνότητας βραχοπτώσεων

Πίνακας 3.9. Βοηθητικοί πίνακες βαθμολογίας TRHRS (Cain, 2004)

| Πίνακας βαθμολογίας πλάτους οδού | | | | Πίνακας βαθμολογίας %DSD | | | |
|----------------------------------|------------|-------------|------------|--------------------------|------------|---------|------------|
| Πλάτος (ft) | Βαθμολογία | Πλάτος (ft) | Βαθμολογία | %DSD | Βαθμολογία | %DSD | Βαθμολογία |
| 18 | 100 | 35 | 10 | 36 | 100 | 61 | 26 |
| 19 | 93 | 36 | 9 | 37 | 96 | 62 | 24 |
| 20 | 81 | 37 | 8 | 38 | 90 | 63 | 23 |
| 21 | 71 | 38 | 7 | 39 | 86 | 64 | 22 |
| 22 | 62 | 39 | 6 | 40 | 81 | 65 | 21 |
| 23 | 54 | 40 | 5 | 41 | 77 | 66 | 19 |
| 24 | 47 | 41 | 5 | 42 | 72 | 67 | 18 |
| 25 | 41 | 42 | 4 | 43 | 69 | 68 | 17 |
| 26 | 36 | 43 | 3 | 44 | 65 | 69-70 | 16 |
| 27 | 31 | 44 | 3 | 45 | 62 | 71 | 15 |
| 28 | 27 | 45 | 3 | 46 | 58 | 72 | 14 |
| 29 | 24 | 46 | 2 | 47 | 55 | 73-74 | 13 |
| 30 | 21 | 47 | 2 | 48 | 52 | 75 | 12 |
| 31 | 18 | 48 | 2 | 49 | 49 | 76-79 | 11 |
| 32 | 16 | 49 | 2 | 50 | 47 | 80-81 | 9 |
| 33 | 14 | 50 | 1 | 51 | 44 | 82-83 | 8 |
| 34 | 12 | | | 52 | 42 | 84-85 | 7 |
| | | | | 53 | 40 | 86-88 | 6 |
| | | | | 54 | 38 | 89-92 | 5 |
| | | | | 55 | 35 | 93-97 | 4 |
| | | | | 56 | 34 | 98-103 | 3 |
| | | | | 57 | 31 | 104-112 | 2 |
| | | | | 58 | 30 | 113 | 1 |
| | | | | 59 | 29 | | |
| | | | | 60 | 27 | | |
| Πίνακας βαθμολογίας DSD | | | | | | | |
| Απόσταση απόφασης | | MPH | | | | | |
| 300 ft | | 20 | | | | | |
| 375 | | 25 | | | | | |
| 450 | | 30 | | | | | |
| 525 | | 35 | | | | | |
| 600 | | 40 | | | | | |
| 675 | | 45 | | | | | |
| 750 | | 50 | | | | | |
| 875 | | 55 | | | | | |
| 1000 | | 60 | | | | | |
| 1015 | | 65 | | | | | |

| Πίνακας βαθμολογίας Ύψος πρηνούς/AVR | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|
| Ύψος/AVR | Βαθμολογία | Ύψος/AVR | Βαθμολογία | Ύψος/AVR | Βαθμολογία | Ύψος/AVR | Βαθμολογία |
| 9 | 1 | 61-62 | 15 | 77 | 29 | 91 | 55 |
| 10-20 | 2 | 63 | 16 | 78 | 31 | 92 | 57 |
| 21-28 | 3 | 64-65 | 17 | 79 | 32 | 93-94 | 60 |
| 29-34 | 4 | 66 | 18 | 80 | 34 | 95 | 62 |
| 34-38 | 5 | 67 | 19 | 81 | 35 | 96 | 65 |
| 39-42 | 6 | 68 | 20 | 82 | 37 | 97 | 71 |
| 42-45 | 7 | 69 | 21 | 83 | 38 | 98 | 74 |
| 46-48 | 8 | 70 | 22 | 84 | 40 | 99 | 78 |
| 49-51 | 9 | 71 | 23 | 85 | 42 | 100 | 81 |
| 52-53 | 10 | 72 | 24 | 86 | 44 | 101 | 85 |
| 54-55 | 11 | 73 | 25 | 87 | 46 | 102 | 88 |
| 56-57 | 12 | 74 | 26 | 88 | 48 | 103 | 92 |
| 58-59 | 13 | 75 | 27 | 89 | 50 | 104 | 97 |
| 60 | 14 | 76 | 28 | 90 | 52 | 105 | 100 |

Όπου AVR και DSD(%) υπολογίζονται με βάση τους τύπους που περιγράφηκαν παραπάνω.

B) Γεωλογικός χαρακτήρας

Το TRHRS περιλαμβάνει ένα πλήθος αλλαγών στην βαθμολόγηση της επικινδυνότητας του γεωλογικού χαρακτήρα. Οι αλλαγές αυτές ενσωματώθηκαν με σκοπό να βελτιώσουν την επαναληψιμότητα, τη ευκολία στην χρήση και το πλήθος των πληροφοριών που παρέχονται από την έρευνα της κατάπτωσης βράχων και είναι οι ακόλουθες (Cain, 2004):

1. Εξάρτηση της βαθμολόγησης του γεωλογικού χαρακτήρα από συμβατικούς τύπους αστοχίας των βραχωδών πρανών
2. Εισαγωγή πολλαπλών τύπων αστοχίας
3. Μείωση της ασάφειας των λεκτικών περιγραφών.

Το NHI-RHRS λαμβάνει υπόψη δύο περιπτώσεις: την *περίπτωση 1* που αφορά την αστάθεια λόγω δομής (διακλάσεις, στρώσεις κτλ) και την *περίπτωση 2* που αφορά τον διαφορετικό βαθμό διάβρωσης ως κυρίαρχο παράγοντα αστάθειας. Εάν ένα πρανές περιλαμβάνει και τις δύο περιπτώσεις, λαμβάνεται εκείνη με την ψηλότερη βαθμολογία.

Το TRHRS, βασίζει τον γεωλογικό χαρακτήρα σε δεδομένους μηχανισμούς αστοχίας πρανούς. Οι τύποι αστοχίας είναι περιγραφικοί και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την λήψη αποφάσεων των μέτρων προστασίας.

Επιτρέποντας να περιληφθούν όλοι οι τύποι αστοχίας στο υπό εξέταση πρανές, είναι δυνατόν να προκύψει πληρέστερος και με περισσότερη πληροφορία, γεωλογικός χαρακτηρισμός. Η επαναληψιμότητα και η συνοχή του χαρακτηρισμού αυξάνονται, καθώς οι μηχανισμοί αστοχίας είναι σαφώς καθορισμένοι και αποφεύγεται η κακή υποκειμενική εκτίμηση.

Αρχικά καθορίζονται οι συναφείς τύποι αστοχίας με τρόπο λογικό και σαφή από τον αντίστοιχο πίνακα 3.10. Ο καθορισμός βασίζεται στα γεωλογικά χαρακτηριστικά και στο πρανές, με τρόπο εμφανή για ένα βαθμολογητή με τη βασική εκπαίδευση.

Ο γεωλογικός χαρακτηρισμός συνεχίζει με την εισαγωγή παραμέτρων όπως πλήθος, μέγεθος καταπίπτοντος τεμάχους, κλίση, τριβή, μορφή τεμάχους ή βαθμός χαλάρωσης, ανάλογα με τους προσδιοριζόμενους τύπους αστοχίας, επίσης με τρόπο λογικό και σαφή.

Αυξάνοντας την επαναληψιμότητα και μειώνοντας την ασάφεια, το TRHRS αυξάνει την αξιοπιστία και την ποιότητα της παρεχόμενης πληροφορίας.

Πίνακας 3.10. Τύποι αστοχίας βραχόπτωσης και χαρακτηριστικά της ταξινόμησης του γεωλογικού χαρακτήρα του TRHRS. Με «X» συμβολίζονται τα κριτήρια που περιλαμβάνονται στον εκάστοτε τύπο αστοχίας. (Cain, 2004)

| Τύπος αστοχίας | Χαρακτηριστικά | | | | | |
|----------------------|----------------|------------------|-------|-------|------------------|----------------|
| | Πλήθος | Μέγεθος τεμάχους | Κλίση | Τριβή | Βαθμός χαλάρωσης | Σχήμα τεμάχους |
| Επίπεδη | X | X | X | X | - | - |
| Σφηνοειδής | X | X | X | X | - | - |
| Ανατροπή | X | X | - | - | - | - |
| Διαφορική αποσάθρωση | - | - | - | - | X | - |
| Ροή | X | X | - | - | - | X |

Αν και το TRHRS επιτρέπει την αξιολόγηση πολλαπλών τύπων αστοχίας, εν τέλει επιλέγεται μόνο ένας τύπος. Η μοναδική εξαίρεση είναι όταν η ροή εδάφους – κορημάτων εμφανίζεται μαζί με αστοχία δομικού χαρακτήρα όπως σε επίπεδη ή σφηνοειδή ολίσθηση. Σε αυτή την περίπτωση, η γεωλογική επικινδυνότητα λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές από την μέγιστη τιμή κατά NHI-RHRS, που ισούται με 243, ενώ το TRHRS φτάνει μέχρι 300.

Ευστάθεια βραχώδους πρानούς

Η αντοχή της βραχώμαζας, σε αντίθεση με την αντοχή του άρρηκτου βράχου, είναι η αντοχή εκείνη που ελέγχει την ευστάθεια του πρानούς και εξαρτάται από τις ασυνέχειες και τα χαρακτηριστικά αποσάθρωσής της.

Τόσο η κινηματικές όσο και οι κινητικές συνθήκες πρέπει να ικανοποιούνται ώστε να οδηγήσουν σε αστάθεια. Οι κινηματικές συνθήκες ικανοποιούνται όταν υπάρχει χώρος και βραχώδη τεμάχια να κινηθούν και το επίπεδο ή τα επίπεδα που ορίζουν την επιφάνεια ολίσθησης τέμνουν αυτόν τον χώρο. Μία κινητική ανάλυση συγκρίνει τις δυνάμεις που ανθίστανται και τις δυνάμεις που συνεισφέρουν στην μετακίνηση του συστήματος. Εάν οι συνεισφέρουσες δυνάμεις υπερβαίνουν τις αντίρροπες, τότε πραγματοποιείται κίνηση. Η κινηματική του συστήματος ορίζει κατά πόσο είναι εφικτή η μετακίνηση, ενώ η κινητική καθορίζει εάν θα πραγματοποιηθεί η μετακίνηση.

Αστάθεια ελεγχόμενη από την δομή βραχώμαζας

Η αστάθεια λόγω της δομής έχει ως αποτέλεσμα την ολίσθηση ή την ανατροπή βραχωδών τεμαχίων σε μία βραχώμαζα. Σε μία τέτοια περίπτωση, ο προσανατολισμός και η διατμητική αντοχή των ασυνεχειών καθορίζουν την ευστάθεια.

Ολίσθηση παρουσιάζεται όταν οι διατμητικές τάσεις υπερβαίνουν την διατμητική αντοχή. Η διατμητική αντοχή μίας πιθανής επιφάνειας ολίσθησης έχει δύο παραμέτρους: 1) αντοχή λόγω τριβής μεταξύ των επιφανειών επαφής και 2) την συνοχή μεταξύ των επιφανειών. Η αντοχή λόγω τριβής εξαρτάται από την ορυκτολογία, την τραχύτητα της επιφάνειας και την παρουσία ή μη συνδεδετικής ύλης. Η γωνία τριβής αυξάνει με την αύξηση της τραχύτητας της επιφάνειας, καθώς απαιτείται μεγαλύτερη ενέργεια και στις δύο επιφάνειες, είτε για να συρθούν πάνω

από τους ασπερίτες είτε για να διατμηθούν κατά μήκος αυτών. Η συνοχή των ασυνεχειών συνήθως έχει την μορφή τεμαχών άρρηκτου βράχου που συνδέουν τη βραχώμαζα κατά μήκος των ασυνεχειών. Η συνοχή αυξάνεται αναλογικά με την επιφάνεια που καταλαμβάνουν αυτά τα τεμάχια.

Η ευστάθεια του πρανούς ενδέχεται να μειωθεί με την πάροδο του χρόνου, είτε λόγω μείωσης της διατμητικής αντοχής, είτε λόγω αύξησης των διατμητικών τάσεων. Η μείωση της διατμητικής αντοχής μπορεί να συμβεί είτε με την μείωση των συνδετικών τεμαχών άρρηκτου βράχου, εξαιτίας των τάσεων που προκαλούνται από την αύξηση των υπο-κρίσιμων ρωγμών, είτε από την αποσάθρωση, την πλήρωση των ασυνεχειών με υλικά πτωχών χαρακτηριστικών, ή τέλος από άλλους μηχανισμούς όπως είναι η μείωση των ενεργών τάσεως εξαιτίας της αύξησης των υδροστατικών πιέσεων. Απομάκρυνση της πλευρικής υποστήριξης αυξάνει τις πλευρικές πιέσεις, ενώ η επιβολή ενός επιπρόσθετου φορτίου στο φρύδι του πρανούς αυξάνει της διατμητικές τάσεις, οδηγώντας έτσι στη μείωση της ευστάθειας.

Αστοχίες σχετιζόμενες με τη λιθολογία και την αποσάθρωση

Οι λιθολογικές μεταβολές μπορούν να αντιπαραθέσουν δύο μονάδες με διαφορετικό βαθμό διάβρωσης. Εάν το υποκείμενο στρώμα διαβρώνεται σε μεγαλύτερο βαθμό, η στήριξη του ανώτερου στρώματος υποσκάπτεται και οδηγεί σε αστάθεια του πρανούς. Καταπτώσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν επίσης εξαιτίας συνολικής αποσάθρωσης του πρανούς. Τέτοιου τύπου πρανή δεν αστοχούν λόγω δομής, αλλά ωστόσο δημιουργούν εν δυνάμει επικινδυνότητα. Οι ιδιότητες των αστοχιών που καθορίζονται από την αποσάθρωση μεταβάλλονται επίσης με το πέρασμα του χρόνου.

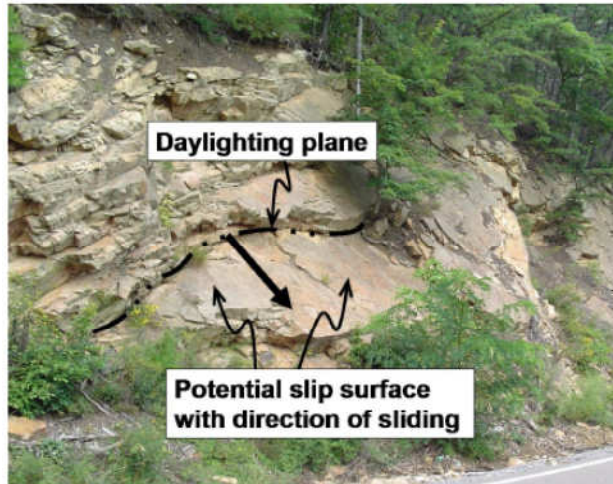
Προσδιορισμός των τύπων αστοχίας

Όπως αναφέρθηκε, η κινηματική κατάσταση ορίζει εάν μία αστοχία είναι δυνατή, ενώ η κινητική ορίζει εάν η αστοχία θα συμβεί. Στο TRHRS, οι κανόνες της κινηματικής χρησιμοποιούνται στον προσδιορισμό των διαφορετικών μηχανισμών αστοχίας, ενώ αυτοί της κινητικής χρησιμοποιούνται στην βαθμολόγηση κάθε τύπου αστοχίας.

Η βαθμολογία της επικινδυνότητας σχετίζεται με την πιθανότητα της αστοχίας. Για παράδειγμα, χαμηλή βαθμολογία δίνεται σε ένα πρανές με μεγάλη αντίσταση λόγω τριβής (τραχείες επιφάνειες) και μικρές διατμητικές τάσεις (χαμηλά πρανή με μικρή κλίση). Ένα τέτοιο πρανές έχει μικρή πιθανότητα να αστοχήσει. Αν και η πιθανότητα να αστοχήσει είναι μικρή, τέτοιου τύπου πρανή θα βαθμολογηθούν, καθώς ικανοποιούν τις κινηματικές απαιτήσεις για ολίσθηση.

Επίπεδη αστοχία

Η επίπεδη ολίσθηση ή η επίπεδη αστοχία είναι η απλούστερη μορφή αστοχίας, τόσο στην αναγνώριση, όσο και στην ανάλυσή της. Πρόκειται για ολίσθηση μίας ή περισσοτέρων ασυνεχειών. Στην ακόλουθη εικόνα φαίνεται το επίπεδο ολίσθησης που ορίζεται από ασυνέχειες με τον ίδιο προσανατολισμό.



Εικόνα 3.3. Παράδειγμα επίπεδης ολίσθησης, όπου φαίνεται η πιθανή επιφάνεια αστοχίας, οι ομόρροπες επιφάνειες αστοχίας και η φορά της ολίσθησης. (Cain, 2004)

Για να πραγματοποιηθεί αστοχία πρέπει:

1. Η κλίση του πρανούς να υπερβαίνει την κλίση του πιθανού επιπέδου αστοχίας
2. Το επίπεδο αστοχίας να είναι ομόρροπο του πρανούς
3. Η κλίση της πιθανής επιφάνειας αστοχίας να διαφέρει έως $\pm 20^\circ$ από την κλίση του πρανούς
4. Η κλίση της πιθανής επιφάνειας ολίσθησης να είναι ίση ή μεγαλύτερη με την αντοχή σε τριβή της ασυνέχειας.

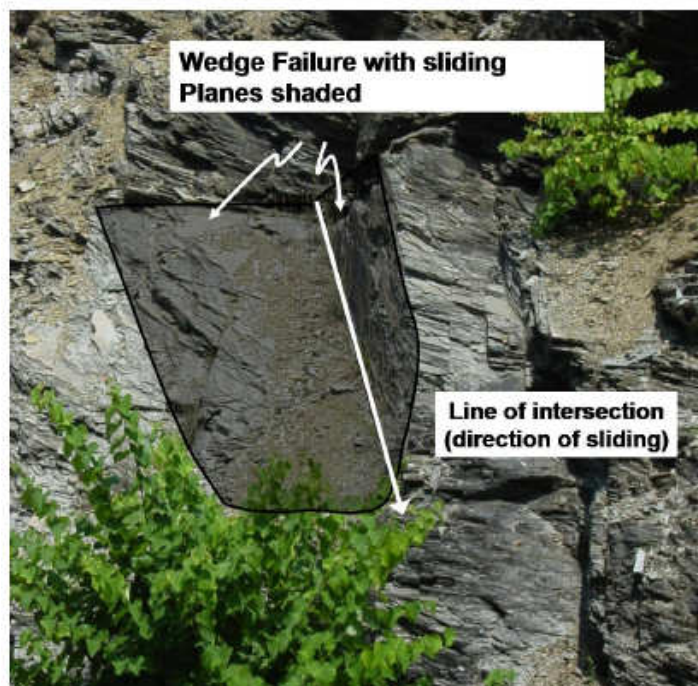
Οι πρώτες τρεις συνθήκες αποτελούν τις κινηματικές απαιτήσεις, ενώ η τέταρτη της κινητική.

Σφηνοειδής ολίσθηση

Αφορά την αστοχία που παρατηρείται μεταξύ δύο ή περισσότερων τεμνόμενων επιπέδων ολίσθησης. Για να συμβεί αστοχία, πρέπει να ισχύουν τα ακόλουθα:

1. Η κλίση του πρανούς πρέπει να υπερβαίνει την βύθιση της γραμμής της τομής των ασυνεχειών, που σχετίζεται με την πιθανή ασταθή σφήνα.
2. Η γραμμή τομής πρέπει να είναι ομόρροπη του μετώπου του πρανούς.
3. Η βύθιση της γραμμής τομής πρέπει να είναι να είναι ίση ή μεγαλύτερη με την αντοχή σε τριβή της επιφάνειας των ασυνεχειών.

Οι συνθήκες 1 και 2 αποτελούν την κινηματική και η συνθήκη 3 την κινητική κατάσταση του φαινομένου.



Εικόνα 3.4. Παράδειγμα σφηνοειδούς ολίσθησης. (Cain, 2004)

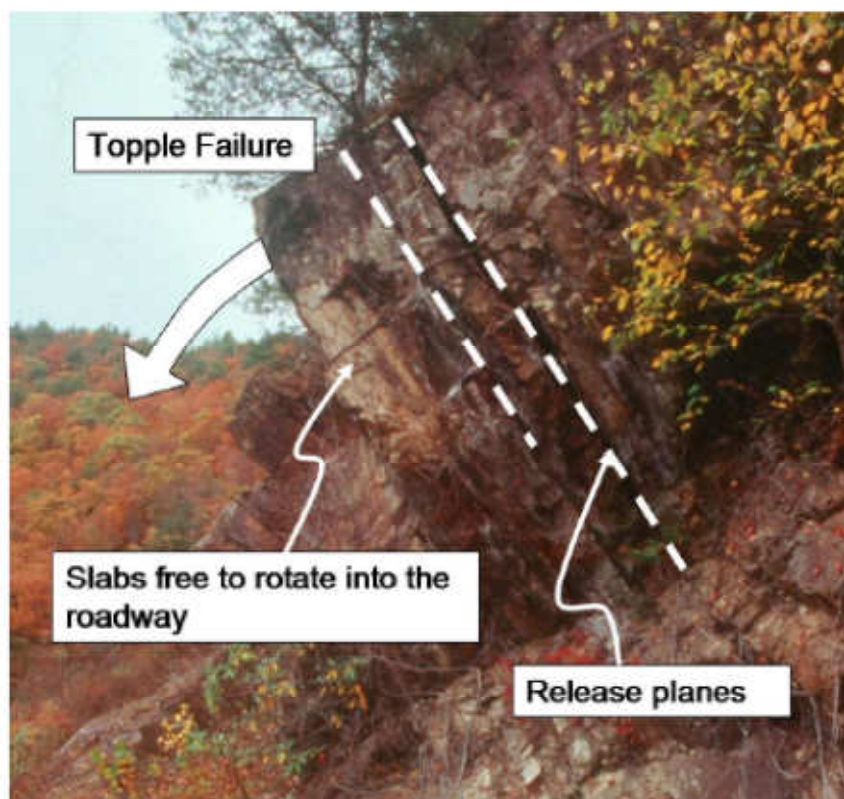
Η αστοχία σφήνας αναγνωρίζεται ελαφρώς δυσκολότερα από την επίπεδη αστοχία, ενώ απαιτείται η τρισδιάστατη αντίληψη του φαινομένου. Ισχύει η ίδια λογική με την εφαρμογή της επίπεδης ολίσθησης, από την στιγμή που θα οριστεί μία γενική διεύθυνση της γραμμής τομής των ασυνεχειών, που ορίζει και την επιφάνεια αστοχίας.

Ανατροπή

Αφορά στην ανατροπή βραχωδών λωρίδων που χωρίζονται μεταξύ τους από επιφάνειες ολίσθησης. Η αστοχία τύπου ανατροπής περιλαμβάνει τις υποκατηγορίες: ανατροπή κάμψης, ανατροπή τεμαχών και ανατροπή κάμψης τεμαχών.

Όλοι οι τύποι αστοχίας ανατροπής απαιτούν την παρουσία ενδιάμεσων επιφανειών ολίσθησης και αποτελούν την κινητική απαίτηση, η οποία αν υπερκεραστεί, θα οδηγήσει σε αστοχία.

Αν και η ανάλυση της αστοχίας ανατροπής, ειδικά όσον αφορά την αλληλεπίδραση πολλαπλών τεμαχών που περιστρέφονται ταυτόχρονα, είναι δύσκολη, η αναγνώριση της πιθανής επικινδυνότητας είναι σχετικά εύκολη.



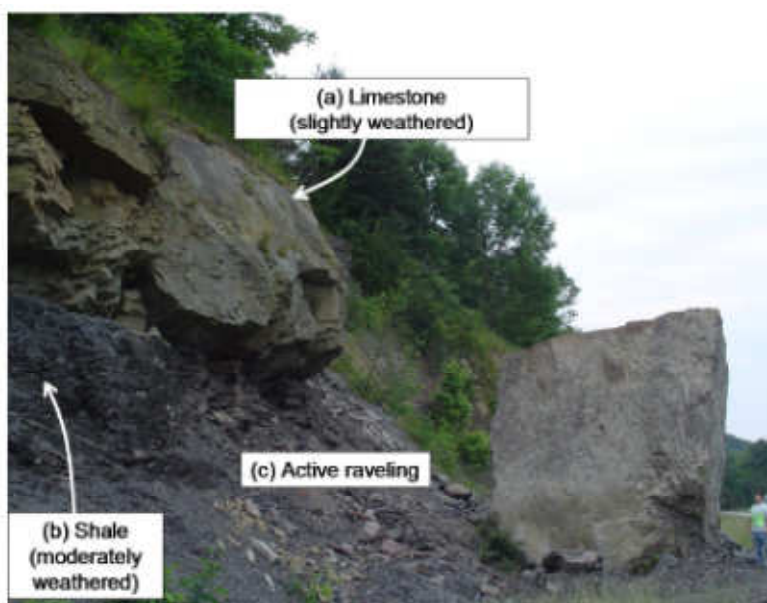
Εικόνα 3.5. Ανατροπή (Cain, 2004)

Διαφορική αποσάθρωση

Οποτεδήποτε παρουσιάζεται διαφορά στη λιθολογία σε ένα βραχώδες πρηνές, η πιθανότητα παρουσίας διαφορικής αποσάθρωσης είναι υψηλή. Διαφορική αποσάθρωση παρουσιάζεται όταν βραχώδη στρώματα ή τεμάχια αποσαθρώνονται με διαφορετικό ρυθμό, εξαιτίας της αλλαγής της λιθολογίας ή διαφορετικής πυκνότητας. Αστοχία παρουσιάζεται όταν η υποκείμενη υποστήριξη υπονομεύεται, προκαλώντας το υπερκείμενο τέμαχος να περιστραφεί και να απομακρυνθεί από το μέτωπο. Τα υλικά που υπέρκεινται του τεμάχους αυτού, ενδέχεται να το διατηρήσουν σταθερό για δεδομένο χρονικό διάστημα, ωστόσο η αστοχία δεν θα αποφευχθεί.

Ένας βασικό παράγοντας που συνεισφέρει στην αστάθεια είναι η παρουσία διακλάσεων παράλληλων ή σχεδόν παράλληλων στο μέτωπο. Όταν παρουσιάζονται τέτοιου είδους διακλάσεις, η ροπή πρέπει να είναι τόσο ισχυρή ώστε να προκαλέσει περιστροφή και όχι κερματισμού του βράχου. Η επιφάνεια αποκόλλησης μορφώνεται επίσης και από μία ομάδα διακλάσεων που διασταυρώνονται πίσω από το μέτωπο.

Η διαφορική αποσάθρωση είναι η κύρια αιτία επικινδυνότητας καταπτώσεων βράχων σε περιοχές με επίπεδη στρωματογραφία και ετερογενείς λιθολογίες που συνίστανται σε ενστρώσεις ψαμμιτών, ασβεστολίθων και σχιστολίθων. Στην παραπάνω εικόνα παριστάνεται μεγάλης κλίμακας αστοχία λόγω διαφορικής αποσάθρωσης, η οποία προκλήθηκε από έντονες βροχοπτώσεις πολλών ημερών.



Εικόνα 3.6. Παράδειγμα διαφορεικής αποσάθρωσης και ροής (Cain, 2004)

Ροή

Η πλειοψηφία των πρανών έχουν την τάση να ρέουν. Ο όρος ροή, βάση του TRHRS, αναφέρεται σε πρανή, όπου τεμάχια βράχων, συνήθως μικρότερα από 0,3m, κατολισθαίνουν από το μέτωπο σε ζώνες υψηλής αποσάθρωσης ή σε διερρηγμένες, από τη χρήση εκρηκτικών, ζώνες.

Επίσης, πρόκειται για μία γενικευμένη περίπτωση όταν δεν είναι ευδιάκριτος ο προσδιορισμός κάποιου άλλου τύπου αστοχίας. Ο προσδιορισμός της διαδικασίας αποκόλλησης είναι εξαιρετικά σημαντικός, καθώς η μέθοδος της αποκατάστασης εξαρτάται σε κάποιο βαθμό από το τύπο της αστοχίας.

Η ροή αποτελεί ουσιαστικά μία διαδικασία αποσάθρωσης και δεν είναι αποτέλεσμα μίας αστάθειας μεγάλης κλίμακας. Η ροή αντιπροσωπεύει μία πηγή επικινδυνότητας όταν στο πρανές υπάρχουν χαρακτηριστικά αναπήδησης ή όταν τα μέτρα συγκράτησης του πρανούς αδυνατούν να παραλάβουν τεμάχια. Καθώς η κινητικότητα των τεμαχίων που ρέουν παίζει σημαντικό ρόλο στην ικανότητά τους να φτάσουν στο οδόστρωμα, το σχήμα του τεμαχίου είναι ιδιαίτερα σημαντικό. Ένα στρογγυλεμένο τέμαχος μπορεί να μετακινηθεί μακρύτερα σε σχέση με ένα γωνιώδες.

Στην περίπτωση διαφορεικής αποσάθρωσης, τα υλικά που αποσαθρώνονται γρηγορότερα ρέουν από το πρανές. Παράδειγμα είναι η αποσάθρωση του σχιστολίθου που δημιουργεί κώνους κορημάτων στον πόδα του πρανούς.

Βαθμολόγηση παραμέτρων γεωλογικού χαρακτήρα

Μετά την αναγνώριση του τύπου αστοχίας, δίδεται βαθμολόγηση επικινδυνότητας, εξαρτώμενη από τις παραμέτρους του τύπου της αστοχίας. Οι παράμετροι της αστοχίας δίνουν εικόνα για την επίδραση του φαινομένου. Περιλαμβάνουν το πλήθος (Abundance), το μέγεθος του τεμάχου, την κλίση (steepness), την τριβή, το σχήμα του τεμάχου και το βαθμό χαλάρωσης (relief). Σε κάθε τύπο αστοχίας δεν αντιστοιχούν όλες οι παράμετροι. Συνοπτικά παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 3.11. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στο TRHRS (Cain, 2004)

| Παράμετρος | Τύπος αστοχίας όπου εφαρμόζεται | Περιγραφή |
|------------------|---------------------------------|---|
| Πλήθος | Σε όλες | Ως πλήθος ενός τύπου αστοχίας, ορίζεται το ποσοστό επί της συνολικής επιφάνειας, που καλύπτεται από τον τύπο αστοχίας. Το άθροισμα των επιμέρους τμημάτων του πλήθους δεν μπορεί να υπερβαίνει το 100%, εκτός από την περίπτωση όπου η ροή επικάθεται της επίπεδης ή σφηνοειδούς αστοχίας |
| Μέγεθος τεμάχου | Σε όλες | Το μέγεθος του τεμάχου καθορίζεται από την μεγαλύτερη διάσταση του βραχώδους τεμάχου που σχετίζεται με το τυπικό εύρος των γεγονότων βραχοπτώσεως. Κρίνεται σωστότερο να χαρακτηρίζεται το μέγεθος των τεμαχών που δεν έχουν ακόμα αποκολληθεί από το πρηνές, αλλά εάν αυτά είναι αρκετά ψηλά και η εκτίμηση δεν είναι δυνατή, τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν παρόμοιου μεγέθους τεμάχη που βρίσκονται στην τάφρο. |
| Κλίση | Επίπεδη και σφηνοειδή | Η κλίση αποτελεί συστατικό δύο τύπων αστοχίας και αντιστοιχεί στη βύθιση της επιφάνειας ολίσθησης για την επίπεδη αστοχία και στην γραμμή της τομής των ασυνεχειών στην σφηνοειδή ολίσθηση. Η κλίση πρέπει να εκτιμάται, βάση στα χαρακτηριστικά εκείνα του επιπέδου ή της σφήνας που ικανοποιούν τις κινηματικές απαιτήσεις για να συμβεί αστοχία. |
| Τριβή | Επίπεδη και σφηνοειδή | Η βαθμολογία της τριβής σχετίζεται με το σχήμα της αστοχίας τόσο σε μικρο, όσο και μακρο κλίμακα. Στη μακρο κλίμακα χαρακτηρίζεται ως επίπεδη ή κυματοειδής. Στην μικρο ως ανώμαλη ή ομαλή. Η τριβή σε μακρο κλίμακα είναι σημαντικότερη, καθώς οι μικροί ασπερίτες, που ευθύνονται για την τραχύτητα, θραύονται ευκολότερα κατά τη διάτμηση. |
| Βαθμός χαλάρωσης | Διαφορική αποσάθρωση | Ως βαθμός χαλάρωσης νοείται το πλήθος των επικρεμάμενων τεμαχών που προήλθαν από διαφοροποιήσεις στο ρυθμό διάβρωσης. Με την αύξηση των επικρεμάμενων τεμαχών, η αποσταθεροποίηση αυξάνεται, αυξάνοντας της επικινδυνότητα του πρηνούς. |
| Σχήμα τεμάχου | Ροή | Καθώς η ροή είναι απλά τεμάχη που καταπίπτουν από το πρηνές, η κινητικότητα ενός τεμάχου θα έχει σχέση με το ύψος της αποκόλλησης και το σχήμα του τεμάχου. Τα τεμάχη που έχουν κυβικό ή σφαιρικό σχήμα, είναι μεγαλύτερης επικινδυνότητας. |

Άλλα κριτήρια βαθμολόγησης

Νερό

Η παρουσία νερού στο πρανές μειώνει την ευστάθεια των πρανών που εξαρτώνται από τους τύπους αστοχίας (σφήνα και επίπεδη), μειώνοντας τις ενεργές τάσεις που δρουν στην επιφάνεια ολίσθησης και κατ'επέκταση μειώνοντας των αντοχή τριβής. Επίσης, το νερό αυξάνει το ρυθμό διάβρωσης και χαλαρώνει τα υλικά στο πρανές, μέσω τον κύκλων ψύξης/απόψυξης και άλλων μηχανισμών, που ευνοούν την ροή και την διαφορική αποσάθρωση. Η παρουσία νερού κατατάσσεται ως μηδενική, στάγδην, ροή, αναβλύζον.

Ιστορικό καταπτώσεων

Το ιστορικό των καταπτώσεων είναι ενδεικτικό για τη συχνότητα των κατολισθητικών γεγονότων. Στοιχεία μπορούν να συγκεντρωθούν, από τα αρχεία συντήρησης (εάν υπάρχουν) ή μέσω της παρατήρησης. Καθώς τα στοιχεία από τα αρχεία συντήρησης συνήθως δεν είναι διαθέσιμα, ιδιαίτερη βαρύτητα θα πρέπει να δίνεται στις παρατηρήσεις υπαίθρου, δηλαδή στα σημάδια από παλαιότερες καταπτώσεις και τον όγκο των υλικών που ενδεχομένως υπάρχουν στις βραχοπαγίδες.

3.5. Colorado Rockfall Hazard Rating System – Santi *et al.*, 2009 (CRHRS)

Το τροποποιημένο CRHRS κατά Santi *et al.*, 2009 περιέχει τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες που συνεισφέρουν στην εκτίμηση της επικινδυνότητας των βραχοπτώσεων:

- Κατάσταση πρानούς
- Κλιματικές συνθήκες
- Γεωλογικές συνθήκες
- Κατάσταση των ασυνεχειών

Περιλαμβάνονται επίσης και οι συνθήκες κυκλοφορίας.

Αναλυτικά:

Πρανές:

Ύψος πρानούς:

Περιλαμβάνει είτε το συνολικό ύψος πρानούς είτε το ύψος του ορύγματος. Εάν υπάρχει πιθανότητα η θέση αποκόλλησης των βράχων (“πηγή” βραχοπτώσεως) να είναι ψηλότερα από το όρυγμα, το ύψος φτάνει μέχρι εκεί, εκτός εάν εξετάζεται μόνο το όρυγμα.

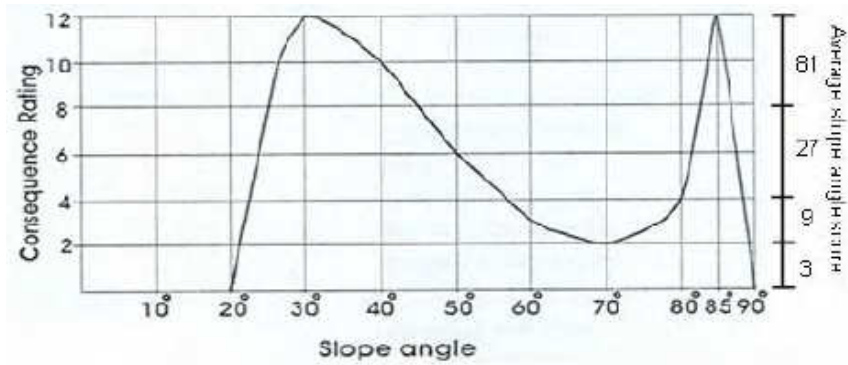
Συχνότητα βραχοπτώσεως:

Προκύπτει από αρχείο βραχοπτώσεων (ιστορικά στοιχεία - καταγραφές)

Μέση γωνία πρानούς

Σύμφωνα με πρόσφατη έρευνα, εάν συμβεί μία κατάπτωση σε πρानή με γωνία της τάξης των 30° ή/και των 85°, τότε θα παραχθούν καταπτώσεις με τις μεγαλύτερες τροχιές και άρα με τις χειρότερες συνέπειες (βλ. σχήμα 3.4). Επομένως, η βαθμολόγηση πρέπει να αντικατοπτρίζει τις διάφορες τροχιές των βράχων που φτάνουν μέχρι το οδόστρωμα, ανάλογα με την κλίση του πρανούς. Σε αντιστοιχία με το ύψος του πρανούς, επιλέγεται η χειρότερη περίπτωση, μεταξύ του ορύγματος και του φυσικού πρανούς, εάν υπάρχει πηγή επικινδυνότητας πάνω από το όρυγμα.

Έτσι, με βάση το σχήμα 3.4, ανάλογα με τη γωνία πρανούς, προκύπτει η βαθμολόγηση των συνεπειών (με βαθμολογία 1-12, αριστερός άξονας διαγράμματος) και από τον πίνακα βαθμολόγησης του CRHRS προκύπτει η βαθμολόγηση της κατηγορίας (όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα, από τον δεξί άξονα).



Σχήμα 3.4. Συσχέτιση γωνίας πρανούς με βαθμολόγηση της αντίστοιχης κατηγορίας (Russell et al., 2008)

Χαρακτηριστικά αποκόλλησης

Μηδενικά: ήπια πρανή με μικρές τοπογραφικές ανωμαλίες

Χαμηλά: πρανή με μικρές τοπογραφικές/στρωματογραφικές ανωμαλίες, όπως μικροί αναβαθμοί και εξογκώματα <0,6μ

Μέτρια: πρανή με πολλαπλές τοπογραφικές/στρωματογραφικές ανωμαλίες, με αναβαθμούς και εξογκώματα της τάξης των 0,6-1,8μ

Υψηλά: πρανή με μεγάλες προεξοχές, με αναβαθμούς και εξογκώματα μεγαλύτερα από 1,8μ

Συγκράτηση βραχοπαγίδας:

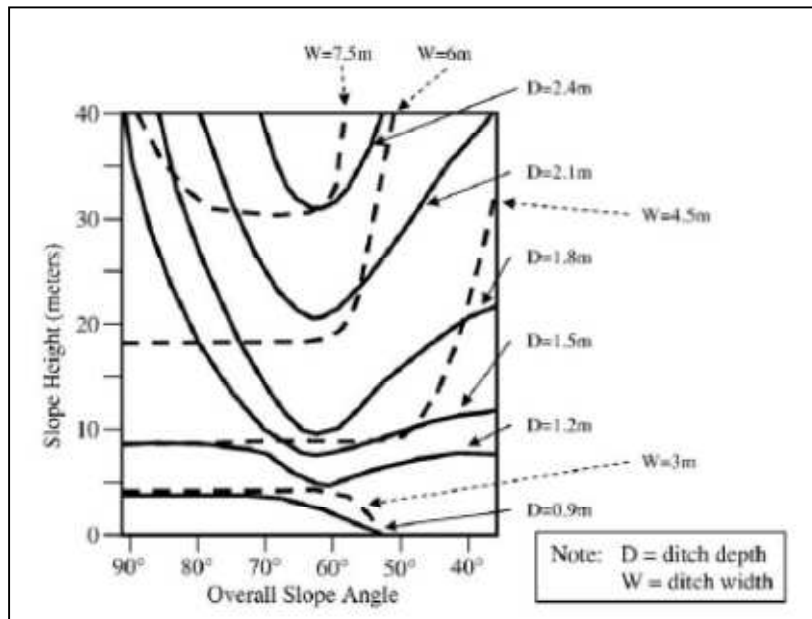
$$\text{Αποτελεσματικότητα διαστάσεων βραχοπαγίδας} = 100 \times \frac{D_a + W_a}{D_r + W_r}$$

Όπου

D_a = Πραγματικό βάθος βραχοπαγίδας

W_a = Πραγματικό πλάτος βραχοπαγίδας

D_r = Τυπικό βάθος σχεδιασμού βραχοπαγίδας



Σχήμα 3.5. Κριτήρια σχεδιασμού βραχοπαγίδας, όπου D =βάθος και W =πλάτος βραχοπαγίδας (Russell et al., 2008)

3. Συστήματα ταξινόμησης επικινδυνότητας βραχοπτώσεων

Πίνακας 3.12. Πίνακας βαθμολόγησης συστήματος CRHS (Russell et al., 2008)

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | | |
|---|--|------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---|--|
| | | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 | |
| ΠΡΑΞΕΣ | Ύψος πρηνούς | 7,5-15μ | 15-23μ | 23-30μ | >30μ | |
| | Συχνότητα Βραχοπτώσεων | >2 χρόνια | 1-2 χρόνια | ετήσια/ εποχιακά | Κατά τη διάρκεια του έτους/ σοβαρά γεγονότα | |
| | Μέση βαθμολογία γωνίας | 0-2 | 2-4 | 4-8 | >8 | |
| | Χαρακτηριστικά αποκόλλησης | Μηδενικά (απαλό πρηνές) | Χαμηλά (<0.6μ ανωμαλία εδάφους) | Μέτρια (0,6-1,8μ ανωμαλία εδάφους) | Υψηλά (>1,8μ ανωμαλία εδάφους) | |
| | Συγκράτηση βραχοπαγίδας | 95-100% (κλάση 1) | 94-65% (κλάση 2) | 30-64% (κλάση 3) | <30% (κλάση 4)≥ Μεγάλα χαρακτηριστικά αποκόλλησης | |
| ΚΛΙΜΑ | Ετήσια βροχόπτωση | <250mm | 250-500mm | 500-900mm | >900 | |
| | Ετήσιοι κύκλοι ψύξης-απόψυξης | 1-5 | 6-10 | 11-15 | >16 | |
| | Ροή/παρουσία νερού | Στεγνό | ύψυγρο | στάγδην | ροή | |
| | Προσανατολισμός πρηνούς | N | E,W,NE,NW | SE, SW | S | |
| ΓΕΩΛΟΓΙΑ | ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣ | Βαθμός τεμαχισμού | 0-0,3m | 0,3-0,6m | 0,6-1,2m | >1,2m |
| | | Δείκτης χαλάρωσης | 6 | 5 | 3-4 | 1-2 |
| | | Βαθμός διαστρωμάτωσης | 1-2 ασθενείς διαστρώσεις<15cm | 1-2 ασθενείς διαστρώσεις>15cm | >2 ασθενείς διαστρώσεις<15cm | >2 ασθενείς διαστρώσεις >15cm |
| | ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ | Χαρακτηριστικά πετρώματος | Ομογενές/συμπαγές | Μικρές ρωγμές/ισχυρές φλέβες | Σχιστότητα/ζώνες διάτμησης <15cm | Ασθενής πιγματίτης/μαρμαρυγίες/ ζώνες διάτμησης >15cm |
| | | Βαθμός ύπαρξης | 0-0,3m | 0,3-0,6m | 0,6-1,2m | >1,2m |
| | | Βαθμός αποσάθρωσης | Υγιές | Ελαφρά αποσάθρωση | Μέτρια αποσάθρωμένο | Τελείως αποσάθρωμένο |
| | ΑΣΥΝΕΧΕΙΣ | Μέγεθος τεμάχους/όγκος | <0,3m / <0,75m ³ | 0,3-0,6 / 0,75-2,3m ³ | 0,6-1,5m / 2,3-7,6m ³ | >1,5m / >7,6m ³ |
| | | Πλήθος οικογενειών | 1 | 1 και τυχαίες | 2 | >2 |
| | | Εμμονή/προσανατολισμός | <3m ευμενώς | >3m ευμενώς | <3m δυσμενώς | >3m δυσμενώς |
| | | Άνοιγμα | Κλειστές | 0,1-1,00mm | 1,0-5,0mm | >5,0mm |
| | | Κατάσταση αποσάθρωσης | Υγιές | Ελαφρά αποσάθρωση | Κοκκώδες υλικό | Αργιλικό υλικό πλήρωσης |
| | | Τριβή | Τραχείες | κυματοειδής | επίπεδες | Λείες |
| | ΧΑΟΤΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ | Μέγεθος τεμάχους (x3) | <0.3m | 0,3-0,6m | 0,6-1,5m | >1,5m |
| | | Σχήμα τεμάχους (x3) | Γωνιώδες | Τεμαχισμένο | Τεμαχισμένο έως γωνιώδες | Αποστρογγυλεμένο |
| | | Φυτοκάλυψη (x3) | Πλήρης φυτοκάλυψη | Σποραδική φυτοκάλυψη | Απομονωμένα φυτά | Τίποτα |
| | Συνολική Βαθμολογία ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ | | | | | |
| | ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ | Απόσταση ορατότητας | >80% | 60-80% | 40-60% | <40% |
| | | Μέση επικινδυνότητα οχήματος | 0-24% | 25-49% | 50-74% | 75-100% |
| Πλήθος ατυχημάτων | | 0-2 | 3-5 | 6-8 | 9 και πάνω | |
| Συνολική Βαθμολογία ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ | | | | | | |

Κλιματικές συνθήκες

Ετήσια βροχόπτωση

Προκύπτουν από χρονοσειρές και αντίστοιχους χάρτες. Αφορούν τις ετήσιες ποσότητες βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων.

Ετήσιοι κύκλοι ψύξης/απόψυξης

Ο δείκτης ψύξης/απόψυξης υγρασίας ορίζεται ως το γινόμενο του μηνιαίου ποσοστού των ημερών με βροχοπτώσεις άνω των 0.25mm και του πλήθους των ημερών με κύκλο ψύξης. Οι μέρες με κύκλο ψύξης ορίζονται ως ο μέσος αριθμός ημερών όπου η ημερήσια θερμοκρασία κυμαίνεται πάνω και κάτω από το μηδέν

Ροή/παρουσία νερού

Αφορά την παρουσία νερού στο πρανές. Σε περίπτωση που η αξιολόγηση γίνεται κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου, τα ποσοστά ροής μπορούν ακόμα να εκτιμηθούν από την παρατήρηση από ζώνες παρουσίας νερού και περιοχές αποχρωματισμού του μετώπου του πετρώματος, που αντιπροσωπεύει εμφάνιση εποχιακής ροής.

Προσανατολισμός πρανούς

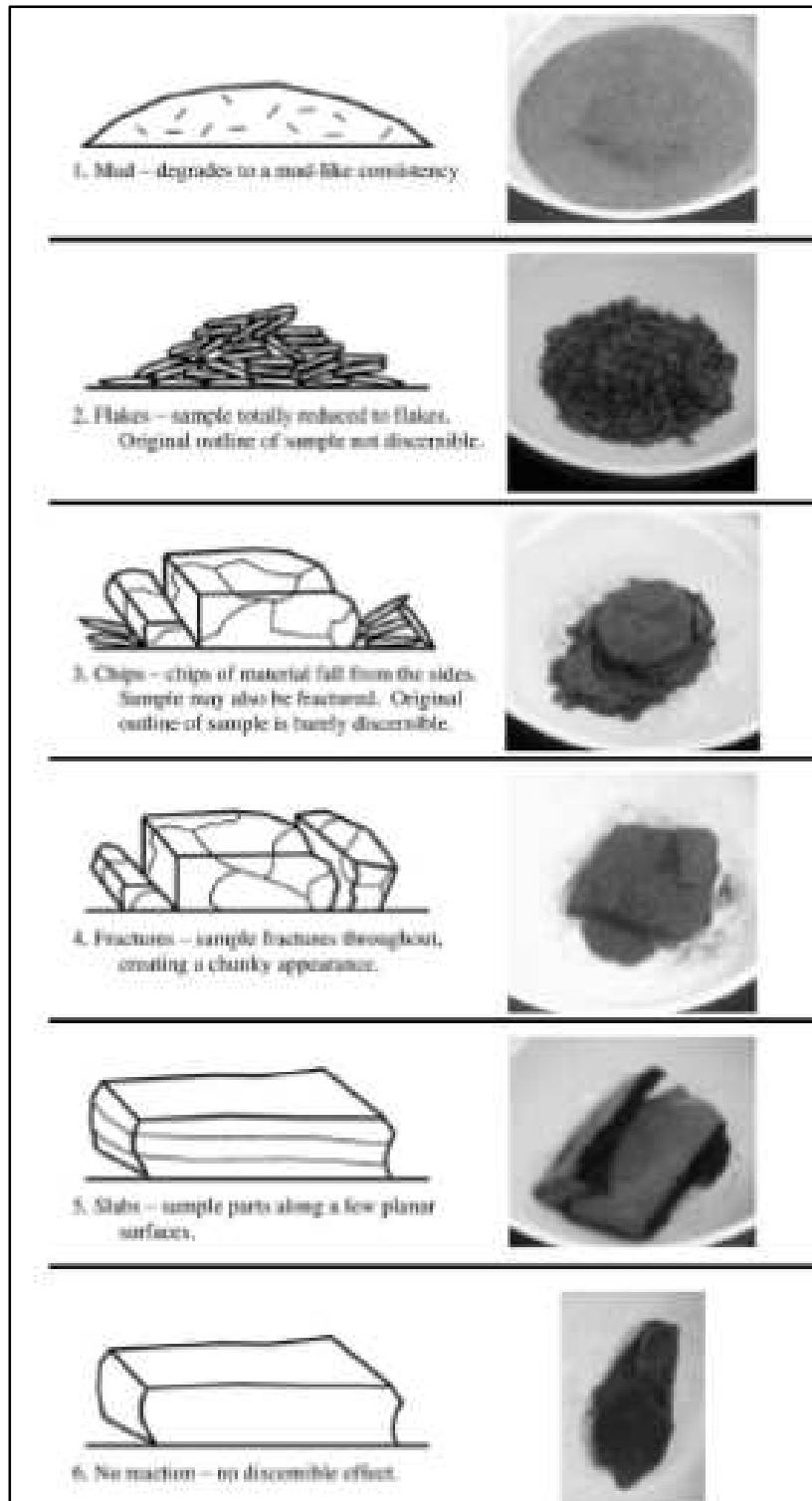
Βασίζεται στην παρατήρηση ότι τα νότια μέτωπα αντιμετωπίζουν περισσότερους κύκλους ψύξης/απόψυξης σε σχέση με τα βόρεια πρανή, καθώς τα τελευταία εκτίθενται στην ηλιακή ακτινοβολία λιγότερα σε σχέση με τα πρώτα, οπότε και εμφανίζεται μικρότερη θερμοκρασιακή μεταβολή. Ανατολικά, δυτικά, βορειοανατολικά και βορειοδυτικά πρανή εκτίθενται σε σχετική ακτινοβολία και αξιολογούνται ως δεύτερα χαμηλότερα. Νοτιοανατολικά και νοτιοδυτικά μέτωπα εκτίθενται σε αρκετή ακτινοβολία και αξιολογούνται ως δεύτερα υψηλότερα.

Ο προσανατολισμός του μετώπου του πρανούς επηρεάζει (λόγω ηλιακής ακτινοβολίας) και την βλάστηση. Μεγαλύτερη ακτινοβολία συνεισφέρει σε μεγαλύτερα ποσοστά εξατμισιοδιαπνοής και κατ'επέκταση σε μικρότερη φυτοκάλυψη, που οδηγεί σε μεγαλύτερη διάβρωση.

Γεωλογικές συνθήκες

1. Ιζηματογενή πετρώματα

- *Βαθμός τεμαχισμού:* Οι καταπτώσεις βράχων στα ιζηματογενή πετρώματα, εξαρτώνται κυρίως από διαφορική διάβρωση και αποσάθρωση, διαφορετικών λιθολογιών που οδηγούν σε τεμαχισμό και αστοχία της βραχώμαζας. Ο βαθμός τεμαχισμού αντιστοιχεί στην ποικιλία της λιθολογίας και συνεισφέρει σημαντικά στο δυναμικό παρουσίας βραχοπτώσεων
- *Δείκτης χαλάρωσης (Jar slake):* Ο τεμαχισμός απαιτεί και την παρουσία ασθενέστερων ζωνών/ενστρώσεων με διαφορετική συμπεριφορά. Για το λόγο αυτό πραγματοποιούνται δοκιμές χαλάρωσης (jar slake durability tests) (σχήμα 3.6)
- *Βαθμός διαστρωμάτωσης:* Οι καταπτώσεις εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το πλήθος και το πάχος των ασθενών ενστρώσεων εντός της βραχώμαζας.



Σχήμα 3.6. Διάφορες περιπτώσεις τεμαχισμού, κατά τις δοκιμές χαλάρωσης (Russell et al., 2008)

2. Κρυσταλλικά πετρώματα

- Χαρακτηριστικά πετρώματος: Από το χειρότερο προς το καλύτερο, κατατάσσεται ως εξής:
 - Ομογενές/συμπαγές: Μικρή ορυκτολογική / λιθολογική ανομοιομορφία (λίγες ζώνες αδυναμίας)
 - Μικρές ρωγμές/ισχυρές φλέβες: Οι φλέβες οδηγούν σε ελάχιστες μειώσεις της αντοχής της βραχώμαζας (δεν αποτελούν μεγάλες ζώνες αδυναμίας, αλλά βρίσκονται σε μία κρυσταλλική, χωρίς αποσάθρωση, κατάσταση)
 - Σχιστότητα/ζώνες διάτμησης <15cm: Εξασθενούν το πέτρωμα και δημιουργούν δυνατότητα πρόσθετης αποσάθρωσης, χημικής και φυσικής.
 - Ασθενείς πιγματίτες / μαρμαρυγίες / ζώνες διάτμησης >15cm: καθοριστικός παράγοντας για μεγάλης κλίμακας αστάθεια.
- Βαθμός ύπαρξης προεξεχόντων τεμαχίων: Λόγω της διαφορετικής διάβρωσης.
- Βαθμός αποσάθρωσης: Αφορά τον βαθμό αποσάθρωσης του άρρηκτου βράχου και όχι των επιφανειών των ασυνεχειών, που αξιολογούνται ξεχωριστά.

3. Ασυνέχειες

- Μέγεθος/όγκος τεμάχους: Οι ασυνέχειες ελέγχουν σε μεγάλο βαθμό τον τύπο, το μέγεθος και την συχνότητα των καταπτώσεων βράχων. Το μέγεθος των τεμαχίων δίνει στοιχεία για την έκταση των ασυνεχειών, μιας και εξαρτάται από αυτές. Κριτήριο για την επιλογή, είναι το μέγεθος τεμαχίων των καταπτώσεων, που παρουσιάζεται συχνότερα ή που είναι πιθανότερο να συμβεί (σύμφωνα με την γεωλογική παρατήρηση). Αξιολογούνται κυρίως μεμονωμένες καταπτώσεις βράχων και όχι μεγάλου όγκου κατολισθήσεις. Η παράμετρος αυτή είναι σημαντική στην αξιολόγηση της σοβαρότητας του γεγονότος. Μεγάλα τεμάχια έχουν μεγαλύτερη κινητική ενέργεια και συνεπώς είναι πιθανότερο να φτάσουν μέχρι το οδόστρωμα, όπου και ενδέχεται να προκαλέσουν ατύχημα κατά τη σύγκρουση με οχήματα, ενώ συμπαρασύρουν κατά την κύλιση/ολίσθηση και άλλα επιρρεπή σε αποκόλληση τεμάχια.
- Πλήθος οικογενειών: Μεγαλύτερο πλήθος οδηγεί σε περισσότερες διόδους για φυσική και χημική αποσάθρωση και κατ'επέκταση εξασθένηση της βραχώμαζας
- Εμμονή/προσανατολισμός: Χρησιμοποιείται για να εκφράσει τη συνέχεια ή μη της εμμονής (>3μ ή <3μ αντίστοιχα). Η περιγραφή του προσανατολισμού διευκρινίζεται ως “δυσμενής” την ομόρροπη κλίση των ασυνεχειών ως προς το πρανάς και ως “ευμενής” την αντίρροπη ως προς αυτό.
- Άνοιγμα: Χρησιμοποιείται για να ληφθεί υπόψη η διήθηση του νερού, του παγετού και των συναφών διεργασιών.
- Βαθμός αποσάθρωσης: Η αντοχή της επιφάνειας των ασυνεχειών επηρεάζει σημαντικά το δυναμικό της κατάπτωσης και η χημική αποσάθρωση μειώνει τις μηχανικές ιδιότητες κατά μήκος της ασυνέχειας, μειώνοντας την συνοχή και την τριβή. Τόσο η χημική

αποσάθρωση όσο και η υδροθερμική εξαλλοίωση υποβαθμίζουν την συνολική αντοχή της βραχώμαζας. Επιπρόσθετα, η χημική αποσάθρωση αποτελεί ένδειξη της παρουσίας νερού κατά μήκος της ασυνέχειας, το οποίο δημιουργεί αυξημένες πιέσεις πόρων και ενσφήνωση πάγου που συνεισφέρουν σημαντικά στην εμφάνιση καταπτώσεων.

- *Τριβή:* Η τριβή κατά μήκος των ασυνεχειών εκτιμάται τόσο από την παρατήρηση όσο και την αφή των επιφανειών τους. Οι τραχείες επιφάνειες έχουν ευδιάκριτους και γωνιώδεις ασπερίτες και τραχεία υφή. Κυματοειδής μορφή σημαίνει ότι οι ασπερίτες έχουν διατμηθεί και συνεπώς έχουν πιο λείες και στρογγυλεμένες επιφάνειες. Επίπεδες επιφάνειες υπονοούν απουσία ασπεριτών και οι μαλακές επιφάνειες έρχονται σε επαφή μεταξύ τους. Λείες επιφάνειες σημαίνουν μετακίνηση/ολίσθηση κατά το παρελθόν, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό γραμμών ολίσθησης στην επιφάνεια της ασυνέχειας και μείωση της γωνίας τριβής, ενδεχομένως στην τιμή της παραμένουσας.

4. Χαοτικές βραχώμαζες (*Block-in-matrix*):

- *Πολλαπλασιαστές:* Τα block-in-matrix έχουν μόνο τρεις παραμέτρους προς αξιολόγηση, σε αντίθεση με τα ιζηματογενή και κρυσταλλικά βραχώδη πρανή, που έχουν εννέα, εξαιτίας της βαθμολόγησης των ασυνεχειών. Για την ισοδύναμη λοιπόν βαθμολόγηση των παραμέτρων των block-in-matrix, αυτές πολλαπλασιάζονται επί τρία.
- *Μέγεθος τεμάχους:* Η βαθμολόγηση του τεμάχους γίνεται γιατί μεγαλύτερα τεμάχη έχουν περισσότερες πιθανότητες να φτάσουν το οδόστρωμα. Ωστόσο, αν και τα μεγαλύτερα τεμάχη συμμετέχουν περισσότερο στην επικινδυνότητα, τα μικρότερα κατολισθαίνουν συχνότερα, καθώς “απαιτούν” λιγότερη αποσάθρωση για να αποκολληθούν. Ένα τέμαχος διαμέτρου 0.3μ αποκολλάται ευκολότερα από ένα διαμέτρου 1.5μ. Η βαθμολογία δεν πρέπει να βασίζεται απλά στο μέγεθος του τεμάχους, αλλά στο μέγεθος του τεμάχους που είναι πιθανό να αποκολληθεί.
- *Σχήμα τεμάχους:* Το σχήμα του τεμάχους βαθμολογείται ξεχωριστά. Προτείνεται να βαθμολογείται το σχήμα ανάλογα με την δυνατότητά του να κυλίσει στο πρανές ή όχι. Για παράδειγμα, τα κολλούβια ή κορήματα που περιέχουν μεγάλα γωνιώδη τεμάχη δεν θα εκληφθούν ως στοιχεία μεγάλης διακινδύνευσης, σε αντίθεση με τις παγετώδεις αποθέσεις που περιέχουν στρογγυλεμένους ογκολίθους εντός της δομής τους.
- *Βλάστηση:* Γενικά, η βλάστηση επιδρά θετικά στην ευστάθεια των εδαφικών και των block-in-matrix πρανών, μειώνοντας την διάβρωση. Σύμφωνα με μελετητές, περιλαμβάνεται επίσης μία παράμετρος για την βλάστηση, όταν βαθμολογείται η πιθανότητα για ροές ή μεγάλες κατολισθήσεις σε εδαφικά πρανή. Το τροποποιημένο RHRS περιλαμβάνει μία αντίστοιχη προσέγγιση για την βλάστηση σε αυτά τα υλικά.

Κυκλοφοριακές συνθήκες

Επιπρόσθετα της βαθμολόγησης της επικινδυνότητας με βάση τα γεωλογικά και κλιματικά δεδομένα, που περιγράφηκαν προηγουμένως, είναι δυνατόν να ακολουθήσει μία βαθμολόγηση/αξιολόγηση της διακινδύνευσης, με σκοπό την ποσοτικοποίηση της πιθανότητας εμφάνισης ατυχημάτων ή τραυματισμών εξαιτίας μίας κατάπτωσης βράχων. Οι δείκτες διακινδύνευσης σχετίζονται με τις κυκλοφοριακές συνθήκες.

- *Απόσταση ορατότητας*: Το ποσοστό της απόστασης για την ορατότητα απόφασης ορίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$100 \times \frac{\text{Πραγματική απόσταση ορατότητας απόφασης}}{\text{Απαιτούμενη απόσταση ορατότητας απόφασης}}$$

Η πραγματική απόσταση ορατότητας απόφασης ορίζεται ως η απόσταση σε ένα αυτοκινητόδρομο κατά την οποία ένα αντικείμενο 15cm, τοποθετημένο στην άκρη της οδού, είναι ορατό για τον οδηγό. Η απαιτούμενη απόσταση ορατότητας φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί (Russell *et al.*, 2008):

| Όριο ταχύτητας (km/h) | Απόσταση ορατότητας απόφασης (m) |
|-----------------------|----------------------------------|
| 40 | 114 |
| 48 | 137 |
| 56 | 160 |
| 64 | 183 |
| 72 | 206 |
| 80 | 229 |
| 89 | 267 |
| 97 | 305 |
| 105 | 1320 |

- *Μέση διακινδύνευση οχήματος*: Η μέση διακινδύνευση οχήματος (AVR) δίνει μία εικόνα για το ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο ένα όχημα βρίσκεται εντός της επικίνδυνης, προς κατάπτωση βράχων, περιοχής. Η μέση διακινδύνευση οχήματος (AVR) λαμβάνει υπόψη της τη μέση ημερήσια κυκλοφορία (ADT), το όριο ταχύτητας (SL) και το μήκος του επικίνδυνου πρσανούς (LS). Η AVR υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$AVR = \frac{100 \times ADT \left(\frac{cars}{day} \right) \times LS(km)}{24 \left(\frac{hrs}{day} \right) \times SL \left(\frac{km}{hr} \right)}$$

Από την παραπάνω εξίσωση είναι δυνατό να προκύψουν αποτελέσματα μεγαλύτερα από 100. Αυτό σημαίνει ότι περισσότερα του ενός αυτοκίνητα βρίσκονται ταυτόχρονα κατά μήκος του επικίνδυνου πρσανούς, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Κατά τον υπολογισμό δεν λαμβάνονται υπόψη αυτοκίνητα που κινούνται σημαντικά πιο αργά από το όριο ταχύτητας, καθώς αυτό ενδέχεται να συμβαίνει σε κακοκαιρία ή σε κυκλοφοριακή συμφόρηση, όπου πολλά οχήματα μπορεί να βρίσκονται στην επικίνδυνη ζώνη για σημαντικά χρονικά διαστήματα.

- ο *Πλήθος ατυχημάτων*: Τα απαραίτητα στοιχεία προκύπτουν από βάσεις δεδομένων για ατυχήματα που προκλήθηκαν από “βράχους στο οδόστρωμα” ή μεγάλους ογκολίθους. Στη βάση δεδομένων πρέπει να αναφέρεται και η χιλιομετρική θέση που πραγματοποιήθηκε το ατύχημα.

Χαρακτηρισμός κατάταξης

Στη συνέχεια ακολουθεί ένας πίνακας (Russell *et al.*, 2008) κατάταξης της επικινδυνότητας του πρανούς, με βάση την βαθμολογία, όπως αυτή υπολογίστηκε, σύμφωνα με τα παραπάνω.

Πίνακας 3.13. Κατάταξη επικινδυνότητας πρανών κατά CRHRS (Russell *et al.*, 2008)

| Κατάταξη βαθμολόγησης επικινδυνότητας | | | |
|--|--------|---------|-------|
| Ορύγματα με κρυσταλλικό πέτρωμα | | | |
| Βαθμολογία επικινδυνότητας | 0-549 | 550-699 | ≥700 |
| Κατάταξη | Χαμηλή | Μέτρια | Υψηλή |
| Κωδικοποίηση | 3 | 2 | 1 |
| Συνολικά πρανή με κρυσταλλικό πέτρωμα | | | |
| Βαθμολογία επικινδυνότητας | 0-699 | 700-799 | ≥800 |
| Κατάταξη | Χαμηλή | Μέτρια | Υψηλή |
| Κωδικοποίηση | 3 | 2 | 1 |
| Πρανή με πέτρωμα χαοτικής δομής | | | |
| Βαθμολογία επικινδυνότητας | 0-449 | 450-599 | ≥600 |
| Κατάταξη | Χαμηλή | Μέτρια | Υψηλή |
| Κωδικοποίηση | 3 | 2 | 1 |

*Σημειώνεται ότι δεν υπάρχουν βιβλιογραφικές αναφορές που να κατατάσσουν την επικινδυνότητα των πρανών ιζηματογενών πετρωμάτων, ανάλογα με τη συνολική βαθμολογία που τους αποδόθηκε.

Μεθοδολογία ανάλυσης – βαθμολόγησης πρανών

Σύμφωνα με το τροποποιημένο RHRS του Colorado, παρέχεται η δυνατότητα να:

1. Δημιουργηθούν εξισώσεις που θα προβλέπουν την βαθμολογία, με λιγότερες των 18 παραμέτρων.
2. Γίνεται κατανοητό για ποιο λόγο ορισμένες παράμετροι διατηρούνται ως ανεξάρτητα δεδομένα (inputs) στις εξισώσεις, ενώ άλλες όχι.

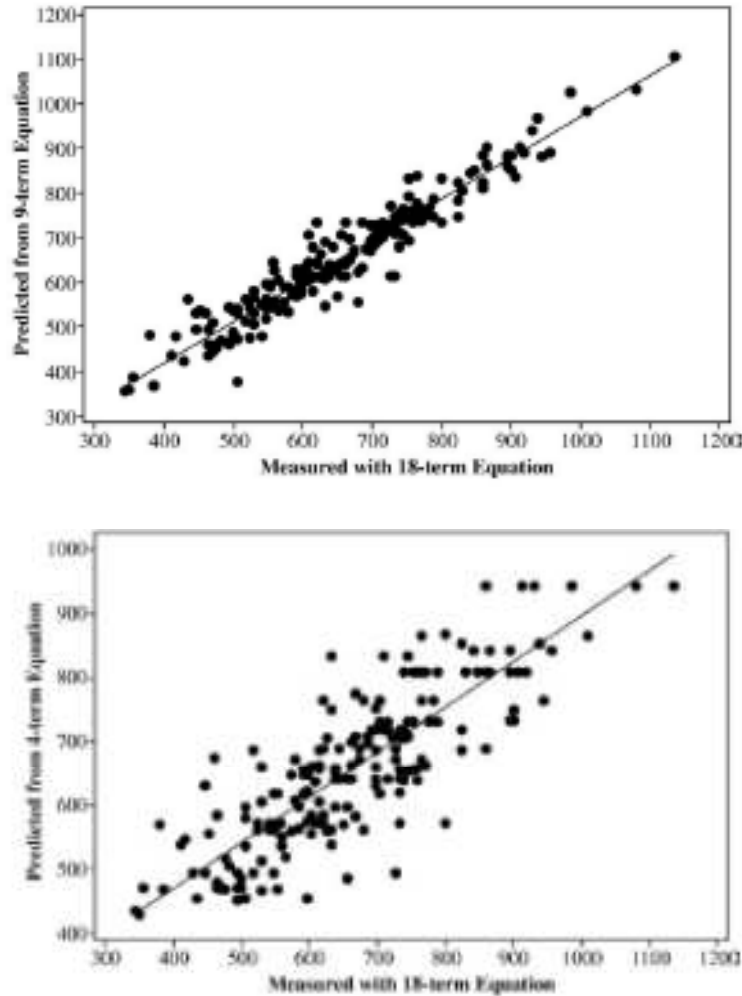
Τα δεδομένα αυτά χωρίστηκαν σε τρία γεωλογικά υλικά (πρανή κρυσταλλικών πετρωμάτων, ιζηματογενών και χαοτικής δομής) και τρεις τύποι πρανούς (τεχνητό ορύγμα, γενικό πρανές, συνολικά πρανή). Έτσι, δημιουργήθηκαν εννέα ομάδες αξιολόγησης. Χρησιμοποιήθηκαν τρία βήματα δοκιμών για να καταδείξουν την σπουδαιότητα και την ισχύ κάθε παραμέτρου.

Αρχικά, κατασκευάστηκαν ιστογράμματα με το συνολικό πλήθος των πρानών και την βαθμολογία κάθε παραμέτρου για κάθε μία από τις εννέα ομάδες αξιολόγησης (πχ πινακοποίηση του πλήθους των υψών των πρानών που βαθμολογήθηκαν με 3, 9, 27, 81 βαθμούς για τα κρυσταλλικά ορύγματα. Οι παράμετροι με τη μεγαλύτερη διασπορά στα αποτελέσματά τους αναλύθηκαν περαιτέρω (εάν έχουν δηλαδή δύο τουλάχιστον κατηγορίες βαθμολογίας που συγκεντρώνουν η κάθε μια το 15% ή περισσότερο των σημείων). Μικρή διασπορά σημαίνει πως η μεταβλητή δεν παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές σε μία ομάδα αξιολόγησης.

Το δεύτερο βήμα δοκιμής ήταν να διευκρινιστεί ποιες από τις εναπομείνασες παραμέτρους επικινδυνότητας έχουν στατιστικά σημαντική επιρροή στη συνολική βαθμολογία επικινδυνότητας. Αναλύσεις παλινδρόμησης με ελάχιστα τετράγωνα χρησιμοποιήθηκαν για να υπολογιστούν οι πιθανές συσχετίσεις μεταξύ ανεξάρτητων παραμέτρων και συνολικής βαθμολόγησης, πχ κατά πόσο το ύψος του πρानού είναι ικανό να “προβλέψει” τη συνολική βαθμολογία επικινδυνότητας για τα ορύγματα κρυσταλλικών πετρωμάτων. Χρησιμοποιώντας βαθμό εμπιστοσύνης ίσο με 95%, παράμετροι με τιμές P μικρότερες από 0.05 θεωρήθηκαν ότι έχουν σημαντική ικανότητα πρόγνωσης και χρησιμοποιήθηκαν για περαιτέρω ανάλυση.

Τέλος, οι εναπομείνασες παράμετροι κατατάχθηκαν με λογιστική παλινδρόμηση. Σύμφωνα με αυτή, επιτρέπονται ταυτόχρονες αναλύσεις της επίδρασης μίας σειράς μεταβλητών σε μία μεταβλητή απόκρισης, δημιουργώντας ένα ερμηνευτικό μαθηματικό μοντέλο για όλες τις παρατηρήσεις που έγιναν. Η τακτική λογιστική παλινδρόμηση είναι ένα πολυπαραμετρικό μοντέλο σχεδιασμένο για την ανάλυση πολλαπλών τάξεων των μεταβλητών απόκρισης με συγκεκριμένη σειρά (πχ υψηλό, μεσαίο, χαμηλό ή μηδενικό, μερικό, δριμύ). Χρησιμοποιήθηκε για να καταδείξει της μεταβλητές εκείνες που συμβαδίζουν περισσότερο με τη συνολική βαθμολογία επικινδυνότητας και συνεπώς αυτές που θα αποκλειστούν κατά την δημιουργία της τελικής εξίσωσης.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων φαίνεται στο σχήμα 3.7 και στο κείμενο που ακολουθεί.



Σχήμα 3.7. Αποτελέσματα αναλύσεων (Santi et al., 2009)

Με:

- PS Πρόβλεψη βαθμολογίας
- SH Ύψος πρηνούς
- RF Συχνότητα βραχόπτωσης
- AN Μέση γωνία πρηνούς
- LF Χαρακτηριστικά αποκόλλησης
- AS Διεύθυνση πρηνούς
- IN Βαθμός διαστρωμάτωσης
- RC Χαρακτηριστικά πετρώματος
- OH Βαθμός ύπαρξης προεξεχόντων τεμαχίων
- NS Αριθμός οικογενειών ασυνεχειών
- PO Εμμόνη/προσανατολισμός ασυνεχειών
- AP Άνοιγμα ασυνεχειών
- WG Κατάσταση αποσάθρωσης των ασυνεχειών
- BS Μέγεθος τεμάχους
- VE Βλάστηση
- PR Βροχόπτωση

Και προκύπτουν οι ακόλουθες εξισώσεις:

3. Συστήματα ταξινόμησης επικινδυνότητας βραχοπτώσεων

Κρυσταλλικά πετρώματα:

Εξίσωση 9 όρων, τόσο για ορύγματα όσο και για γενικά πρηνή

$$PS = 248.4 + 0.90(SH) + 1.10(RF) + 1.04(AN) + 1.08(LF) + 0.97(AS) + 1.61(RC) + 1.51(OH) + 1.11(PO) + 1.28(AP)$$

Με $n=224$ και $R^2 = 92\%$

Εξίσωση 4 όρων, τόσο για ορύγματα όσο και για ολικά πρηνή

$$PS = 408.6 + 1.44(SH) + 1.41(AS) + 2.50(OH) + 1.27(PO)$$

Με $n=224$ και $R^2 = 71\%$

Ιζηματογενή πετρώματα:

Εξίσωση 6 όρων, για ορύγματα

$$PS = 277.2 + 1.67(SH) + 1.74(RF) + 1.78(LF) + 1.42(AS) + 1.63(IN) + 1.35(AP)$$

Με $n=43$ και $R^2 = 83\%$

Εξίσωση 4 όρων, για ορύγματα

$$PS = 340.1 + 1.88(SH) + 2.41(RF) + 1.41(AS) + 1.98(IN)$$

Με $n=43$ και $R^2 = 68\%$

Εξίσωση 4 όρων, για συνολικά πρηνή

$$PS = 225.9 + 3.16(LF) + 4.89(PR) + 1.86(NS) + 1.81(WG)$$

Με $n=31$ και $R^2 = 82\%$

Χαοτικής δομής πετρώματα:

Εξίσωση 4 όρων, τόσο για ορύγματα όσο και για ολικά πρηνή

$$PS = 277.5 + 4.40(LF) + 1.42(AS) + 1.37(BS) + 0.90(VE)$$

Με $n=57$ και $R^2 = 78\%$

3.6. Falling Rock Hazard Index – Singh, 2004 (FRHI)

Το σύστημα FRHI σχεδιάστηκε (Singh, 2004) για ευσταθή τεχνικά ορύγματα, με σκοπό τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας για τους εργάτες που βρίσκονται σε άμεση γεινίαση με την εκσκαφή.

Το σύστημα FRHI περιλαμβάνει δέκα κατηγορίες που αντιπροσωπεύουν τις σημαντικές εκείνες παραμέτρους που συνεισφέρουν στη συνολική επικινδυνότητα. Κάθε κατηγορία χωρίζεται σε τέσσερις στήλες που αντιστοιχούν σε τέσσερα λογικά όρια αυξανόμενης διακινδύνευσης. Οι δέκα κατηγορίες είναι οι εξής:

1. Ύψος μετώπου
2. Κλίση μετώπου
3. Ανωμαλία επιφάνειας μετώπου
4. Συνθήκες βραχώμαζας
5. Απόσταση ασυνεχειών
6. Μέγεθος τεμαχών καταπιπτόντων βράχων
7. Βάρος καταπιπτόντων βράχων
8. Μέθοδος εκσκαφής
9. Παράγοντας χρόνου αποκατάστασης
10. Συχνότητα καταπτώσεων βράχων

Οι πέντε πρώτες κατηγορίες μπορούν να εκτιμηθούν απευθείας από την απλή παρατήρηση των συνθηκών του ορύγματος. Ωστόσο, οι υπόλοιπες πέντε κατηγορίες απαιτούν είτε επί τόπου πειράματα, είτε πληροφορίες από τον κατασκευαστή για το εν λόγω πρανές.

Ορισμένες κατηγορίες καταδεικνύουν την δριμύτητα της κατάπτωσης με περισσότερη ακρίβεια, σε σχέση με άλλες, υπό τις ίδιες συνθήκες. Για παράδειγμα, ο όγκος και το μέγεθος των τεμαχών της κατάπτωσης αποτελούν καλύτερα στοιχεία για την ακριβή πρόγνωση της δριμύτητας του φαινομένου, σε σχέση με τη μέθοδο εκσκαφής. Για αυτόν το λόγο, κάθε κατηγορία ομαδοποιείται σε τρεις ευρύτερες τάξεις, τις A, B και C. Η τάξη A είναι η σημαντικότερη στην αύξηση της διακινδύνευσης της επικινδυνότητας της βραχώπτωσης και πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στις κατηγορίες που ανήκουν σε αυτή την τάξη, κατά την επί τόπου εκτίμησή τους. Οι τάξεις B και C περιλαμβάνουν σταδιακά μειωμένη διακινδύνευση.

Στους πίνακες 3.14 – 3.16 δίνονται αντίστοιχα η βαθμολόγηση της επικινδυνότητας, η βαρύτητα σημαντικότητας των κατηγοριών (τάξεως A, B, C) καθώς και η κατάταξη της επικινδυνότητας με τα αντίστοιχα ενδεικτικά μέτρα προστασίας που προτείνονται από τη μέθοδο FRHI.

3. Συστήματα ταξινόμησης επικινδυνότητας βραχοπτώσεων

Πίνακας 3.14. Πίνακας βαθμολόγησης επικινδυνότητας κατά FRHI (Singh, 2004)

| Falling rock hazard index | | | | |
|--------------------------------------|---|---|--|--|
| Χαρακτηριστικό | Κατάταξη | | | |
| Ύψος μετώπου | <i><1,5m</i> | <i>1,5-4,5m</i> | <i>4,5-7,5m</i> | <i>>7,5m</i> |
| <i>Βαθμολογία</i> | <i><1,5m=1</i> | <i>1,5-2m=2</i> <i>2-3m=3</i> <i>3-4m=3</i> <i>4-4,5m=6</i> | <i>4,5-5m=7</i> <i>5-6m=8</i> <i>6-7,5m=9</i> | <i>7,5-9=10</i> <i>>9m=12</i> |
| Κλίση μετώπου | <i><30? ή 90?</i> | <i>90?-75? ή 30?-25?</i> | <i>35?-60?</i> | <i>60?-75?</i> |
| <i>Βαθμολογία</i> | <i>1</i> | <i>90?-80?=2</i> <i>80?-75?=3</i> <i>30?-35?=4</i> | <i>35?-40?=5</i> <i>40?-50?=6</i> <i>50?-60?=7</i> | <i>60?-65?=8</i> <i>65?-70?=9</i> <i>70?-65?=10</i> |
| Ανωμαλίες μετώπου | <i>Λίγες (καθαρό όρυγμα)</i> | <i>Περιστασιακές</i> | <i>Πολλές</i> | <i>Τεράστιες</i> |
| <i>Βαθμολογία</i> | <i>-1</i> | <i>3</i> | <i>8</i> | <i>11</i> |
| Κατάσταση βραχόμαζας | <i>Σκληρή και άρηκτη</i> | <i>Συμπαγής, μέτρια διακλασμένη και τεμαχισμένη</i> | <i>Πολύ τεμαχισμένη, πολλές ρωγμές και ατελές αλληλοκλειδωμά των υγιών τεμαχών</i> | <i>Ισχυρά ρωγματωμένη, συνθλιμμένη</i> |
| <i>Βαθμολογία</i> | <i>-1</i> | <i>3</i> | <i>7</i> | <i>10</i> |
| Ισοδύναμο RQD(%) | <i>100-90</i> | <i>90-50</i> | <i>50-25</i> | <i><25</i> |
| Απόσταση ασυνεχειών | <i>Πολύ μεγάλη >0,9m</i> | <i>Μεγάλη 0,9-0,2m</i> | <i>Μικρή 0,2-0,05m</i> | <i>Πολύ μικρή <0,05m</i> |
| <i>Βαθμολογία</i> | <i>>1,2m = 0</i> <i>1,2-0,9m = 1</i> | <i>0,9-0,6m=2</i> <i>0,6-0,3m=3</i> <i>0,3-0,2m=4</i> | <i>0,2-0,15m=6</i> <i>0,15-0,10m=7</i> <i>0,10-0,05m=8</i> | <i>9</i> |
| Μέγεθος καταπίπτοντων τεμαχών | <i><0,05m</i> | <i>0,05-0,1m</i> | <i>0,1-0,2m</i> | <i>0,2-0,3m</i> |
| <i>Βαθμολογία</i> | <i><0,025m=0</i> <i>0,025-0,05m=1</i> | <i>0,05-0,076m=2</i> <i>0,076-0,1m=3</i> | <i>0,1-0,127m=4</i> <i>0,127-0,15m=5</i> <i>0,15-0,17m=6</i> <i>0,17-0,20m=7</i> | <i>0,20-0,23m=8</i> <i>0,23-0,25m=10</i> <i>0,25-0,3m=12</i> |
| Βάρος καταπιπτόντων βράχων | <i><4,54kg</i> | <i>4,54-13,6kg</i> | <i>13,6-22,7kg</i> | <i>>22,7kg</i> |
| <i>Βαθμολογία</i> | <i>1</i> | <i>4,54-6,8kg=3</i> <i>6,8-9,1kg=5</i> <i>9,1-13,6kg=7</i> | <i>13,6-15,88kg=9</i> <i>15,88-18,14kg=10</i> <i>18,14-22,7kg=11</i> | <i>12</i> |
| Μέθοδος Εκσκαφής | <i>Έλεγχόμενη ανατίναξη</i> | <i>Μηχανική εκσκαφή</i> | <i>Συνήθης ανατίναξη</i> | <i>Πτωχή ανατίναξη</i> |
| <i>Βαθμολογία</i> | <i>Καμία έως ελάχιστες ρωγμές=1</i> | <i>Ομαλή/επίπεδη εκσκαφή= -1</i> <i>Τυπική εκσκαφή, μερικές ρωγμές=3</i> <i>Χειροκίνητη εκσκαφή = 4</i> | <i>Μερικές ανωμαλίες =5</i> | <i>Εξαιρετικά ανώμαλη επιφάνεια μετώπου=8</i> |
| Χρόνος αποκατάστασης | <i><1 ημέρα</i> | <i>1 ημέρα - 1 μήνας</i> | <i>>4 χρόνια ή 1-4 μήνες</i> | <i>>4 μήνες</i> |
| <i>Βαθμολογία</i> | <i>0</i> | <i><1 ημέρα=1</i> <i>1-5 ημέρες=2</i> <i>5-10 ημέρες=3</i> <i>10 ημέρες-1 μήνας=4</i> | <i>(>4 χρόνια =5)</i> <i>1-2 μήνες =5</i> <i>2-4 μήνες =6</i> | <i>Εναπομένον βραχώδες μέτωπο=7</i> <i>Χωρίς εναπομένον βραχώδες μέτωπο=8</i> |
| Συχνότητα βραχοπτώσεων | <i>Μηδενικές</i> | <i>Σπάνιες</i> | <i>Περιστασιακές</i> | <i>Συχνές</i> |
| <i>Βαθμολογία</i> | <i>0</i> | <i>Χωρίς βραχοπτώσεις σε φυσικές συνθήκες, μόνο κατόπιν διατάραξης=3</i> | <i>Ύπαρξη βραχοπτώσεων σε φυσικές συνθήκες, πολλές βραχοπτώσεις ύστερα από διατάραξη=6</i> | <i>Βραχοπτώσεις ακόμα και χωρίς διατάραξη, υψηλή συχνότητα=8</i> |

Πίνακας 3.15. Βαρύτητα σχετικής σημαντικότητας των κατηγοριών του FRHI (Singh, 2004)

| Σχετική σημαντικότητα | Τάξη Α Υψηλής σημαντικότητας | Τάξη Β Μέτριας σημαντικότητας | Τάξη C Χαμηλής σημαντικότητας |
|---------------------------|---|---|--|
| Κατηγορίες | -Ύψος μετώπου -Ανωμαλίες μετώπου -Μέγεθος τεμαχών -Όγκος | -Κλίση μετώπου -Κατάσταση βραχώμαζας -Απόσταση ασυνεχειών | -Μέθοδος εκσκαφής -Χρόνος αποκατάστασης -Συχνότητα καταπτώσεων |
| Μέγιστη αποδεκτή βαρύτητα | 11-12 | 9-10 | 8 |

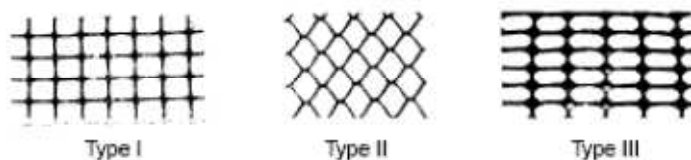
Πίνακας 3.16. Κατάταξη επικινδυνότητας κατά FRHI (Singh, 2004, Koleini & Van Rooy, 2010)

| | Κατηγορία | | | |
|--------------------------|----------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | I | II | III | IV |
| Εύρος βαθμολογίας | 0-20 | 21-40 | 41-70 | 71-100 |
| Επικινδυνότητα κατάταξης | Ελάχιστη | Χαμηλή | Μέτρια | Υψηλή |
| Μέτρα προστασίας | Μόνο ξεσκάρωμα | Πλέγμα προστασίας τύπου I | Πλέγμα προστασίας τύπου II | Πλέγμα προστασίας τύπου III |

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, με βάση την βαθμολογία του, το πρανές κατατάσσεται σε μία εκ των τεσσάρων κατηγοριών, που κυμαίνονται από το λιγότερο (κατηγορία I) έως το περισσότερο επικίνδυνο (κατηγορία IV).

Όσον αφορά τα μέτρα προστασίας, για την κατηγορία I, προτείνεται απλά ξεσκάρωμα των ασταθών όγκων, για την κατηγορία II, πλέγμα τύπου I, για την κατηγορία III, πλέγμα τύπου II και για την κατηγορία IV, πλέγμα τύπου III.

Τα πλέγματα είναι οικονομικά και ευπροσάρμοστα υλικά, που χρησιμεύουν για την προστασία από την πτώση μικρών βραχοτεμαχίων. Για την προστασία ενός εργοταξίου και την ασφάλεια των εργατών (όπως εξετάζεται στην παρούσα μέθοδο), γενικά χρησιμοποιούνται πλέγματα πολυαιθυλενίου ή πολυπροπυλενίου, όπως αυτά που παρουσιάζονται παρακάτω:



Σχήμα 3.8. Οι τρεις τύποι πλεγμάτων που προτείνονται κατά FRHI (Singh, 2004)

Πίνακας 3.17. Χαρακτηριστικά των τριών τύπων πλεγμάτων που προτείνονται κατά FRHI (Singh, 2004)

| Τύπος πλέγματος | Διαμητική αντοχή | Άνοιγμα κενού | Μέγεθος τεμάχου, m (Βάρος, kg) |
|--|--|---|---|
| I | 1116 kg/m (h) 1309 kg/m (v) | 38mm τετραγωνικό | 1.2m x 15.2m (4.54kg) 1.2m x 30.4m (9.08kg) |
| II | 140.6 kg/cm ² ~162.4 kg/cm ² | 38mm (h) x 50mm (v) w/σχήμα διαμαντιού | 1.2m x 15.2m (4.54kg) (9.08kg) 1.5m x 15.2m 11.34kg |
| III | 386.76 kg/cm ² (h) 410.66 kg/cm ² (v) | 50mm (h) x 25mm (v) | 1.2m x 30.4m (14.5kg) |
| Σημείωση: όπου (h): οριζόντια, (v): κάθετα | | | |

3.7. Σύστημα ταξινόμησης επικινδυνότητας κατά **Marinos et al., 2008**

Πρόκειται για ένα σύστημα, βασιζόμενο στο RHRS, που εκπονήθηκε κατά τη διάρκεια του ερευνητικού προγράμματος “Γεωλογική - Γεωτεχνική Έρευνα και διατύπωση μέτρων στερέωσης ψηλών βραχωδών πρηνών και υπερκείμενων τειχών Κάστρων και προστασίας υποκείμενων ιστορικών μνημείων, με εφαρμογή στο Κάστρο Μονεμβασιάς. ΥΠ.ΠΟ. - Τομέας Γεωτεχνικής ΕΜΠ. 2010-2011.”, το οποίο δεν περιορίζεται μόνο σε πρηνή αυτοκινητοδρόμων και σιδηροδρομικών γραμμών, αλλά έχει ευρύτερη εφαρμογή, ανεξαρτήτως των συνθηκών που επικρατούν κατάντη αυτών (Τσαπάκης, 2005, Marinos et al., 2008).

Βασίζεται σε 20 παραμέτρους – μεταβλητές, οι οποίες χωρίζονται σε τέσσερις κύριες κατηγορίες, ανάλογα με την επικινδυνότητα και τις συνέπειές τους. Κάθε κατηγορία έχει διαφορετικό ποσοστό βαρύτητας στην συνολική επικινδυνότητα του πρηνούς κατά Saroglou et al., 2011).

Η βαρύτητα κάθε κατηγορίες ποικίλει και εξαρτάται από την σημαντικότητα των παραμέτρων που περιλαμβάνει. Συγκεκριμένα, η κατηγορία A διαθέτει βαρύτητα της τάξης του 25% (επί της συνολικής βαθμολόγησης της διακινδύνευσης του πρηνούς), η B επίσης 25%, η C 10% και η D 40%.

Η **κατηγορία A** περιέχει παραμέτρους που σχετίζονται με τη γεωμετρία του πρηνούς (Saroglou et al., 2011) και αφορούν την γωνία, το ύψος και την τραχύτητα του πρηνούς, την βλάστηση, καθώς και το ύψος που βρίσκονται οι περιοχές αποκόλλησης των βραχοτεμαχών.

Η **κατηγορία B** αναφέρεται στις γεωλογικές συνθήκες και στην κατάσταση της βραχώμαζας πρηνούς. Οι παράμετροι αυτοί περιγράφουν την κατάσταση των ασυνεχειών, την αντοχή του άρρηκτου πετρώματος, την παρουσία καρστ, τον όγκο των τεμαχών και το πλήθος των πιθανών, προς αποκόλληση, τεμαχών.

Οι παράμετροι της **κατηγορίας C** σχετίζονται με τα αίτια ενεργοποίησης της δυνητικής αστοχίας (βροχοπτώσεις, σεισμικότητα περιοχής) και με τις συνθήκες αποστράγγισης των υπόγειων νερών, σε σχέση με την επίδρασή τους στην ευστάθεια του πρηνούς.

Η **κατηγορία D** περιλαμβάνει τις παραμέτρους που αναφέρονται στις συνέπειες – επίδραση στις κατασκευές και στα σχετικά στοιχεία, καθώς και δυνατότητες επέμβασης στο πρηνές.

Ο διαχωρισμός των ως άνω κατηγοριών, με τις αντίστοιχες παραμέτρους και τους αντίστοιχους συντελεστές βαρύτητας, παρουσιάζονται στους πίνακες 3.18 έως 3.20 που ακολουθούν (Saroglou et al., 2011).

Πίνακας 3.18. Συντελεστές βαρύτητας ανά κατηγορία (Saroglou et al., 2011)

| Κατηγορίες παραμέτρων | Περιγραφή κατηγορίας | Συντελεστής βαρύτητας στη συνολική επικινδυνότητα |
|-----------------------|---|---|
| A | Γεωμετρία πρηνούς και θέση περιοχής αποκόλλησης, τραχύτητα και παρουσία βλάστησης | 25% |
| B | Γεωλογία και συνθήκες βραχώμαζας | 25% |
| C | Πιθανοί παράγοντες ενεργοποίησης βραχόπτωσης (βροχοπτώσεις, σεισμικότητα), συνθήκες αποστράγγισης | 10% |
| D | Συνέπειες και σχετικοί παράγοντες, ιστορικό καταπτώσεων | 40% |

Πίνακας 3.19. Σύστημα εκτίμησης επικινδυνότητας φυσικών βραχωδών πρανών, κατά Saroglou et al., 2011

| ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ | ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ/ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ | ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ | | | | ΒΑΘΜΟΣ |
|---|--|---|--|---|--|--------|
| | | | | | | |
| 1. Κλίση πρανούς | A / 7% | Αμελητέα κλίση 25 - 40 | Μέτρια κλίση 40-50 | Μεγάλη 50-60 | Πολύ υψηλή >60 Παρουσία αρνητικών κλίσεων | |
| Βαθμολογία | | 10 | 30 | 60 | 100 | |
| 2. Ύψος πρανούς (m) | A / 4% | <15 | 15-30 | 30-60 | >60 | |
| Βαθμολογία | | 10 | 30 | 60 | 100 | |
| 3. Θέση εκκίνησης καταπτώσεων στο πρανές (όπου H το συνολικό ύψος του πρανούς) | A / 7% | Καταπτώσεις από το κατώτερο τμήμα (H/4) | Καταπτώσεις από θέσεις έως τη μέση του πρανούς (H/2) | Καταπτώσεις από θέσεις έως και πριν το ανώτερο τμήμα (3H/2) | Καταπτώσεις από όλο το ύψος του πρανούς (H) | |
| Βαθμολογία | | 10 | 30 | 60 | 100 | |
| 4. Τραχύτητα πρανούς | A / 3% | Τραχεία, επίπεδη (η τριβή μειώνει την επιτάχυνση) | Ομαλή, επίπεδη (βοηθά την επιτάχυνση) | Τραχεία, με παρουσία μικρών αναβαθμών (βοηθά την αναπήδηση) | Πολύ τραχεία, με παρουσία μικρών αναβαθμών | |
| Βαθμολογία | | 10 | 30 | 60 | 100 | |
| 5. Βλάστηση | A / 4% | Πυκνή βλάστηση, με παρουσία ψηλών δέντρων | Χαμηλή βλάστηση, θαμνώδης | Αραιή βλάστηση | Χωρίς βλάστηση | |
| Βαθμολογία | | 10 | 30 | 60 | 100 | |

| ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ | ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ/ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ | ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ | | | | | ΒΑΘΜΟΣ |
|--|--|----------------------------|------------------------------|--|--|---|--------|
| | | | | | | | |
| 6. Τραχύτητα /άνοιγμα /υλικό πλήρωσης ασυνεχειών | B / 6% | Τραχεία, κλιμακωτή | Ολισθηρή - λεία κλιμακωτή | Κυματοειδής ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη τεμάχια, ανεξαρτήτως της τραχύτητας ή μέτριο άνοιγμα ασυνεχειών 2.5-10 mm | Ελαφρώς τραχεία, επίπεδη ή με υλικό πλήρωσης στιφρή άργιλο>5μμ ανεξαρτήτων της τραχύτητας ή με μεγάλο άνοιγμα ασυνεχειών 10-100mm | Λεία, επίπεδη ή υλικό πλήρωσης μαλακής αργίλου>5mm ανεξαρτήτως της τραχύτητας ή εξαιρετικά μεγάλο άνοιγμα >100mm | |
| | | | | | | | |
| Βαθμολογία | | | | | | | |
| 7. Προσανατολισμός ασυνεχειών (ή οικογένειας ασυνεχειών) | B / 5% | Ευμενής | Μέτρια | Δυσμενής | Πολύ δυσμενής | | |
| Βαθμολογία | | | | | | | 10 |
| 8. Εμμόνη ασυνεχειών (m) | B / 4% | Πολύ μικρή <1m | Μικρή 1-3m | Μέση 3-10m | Υψηλή 10-20m | Πολύ υψηλή >20m | |
| Βαθμολογία | | 10 | 15 | 30 | 60 | 100 | |
| 9. Θλιπτική αντοχή ασυνεχειών (JCS, MPa, επηρεάζει την τριβή στην επιφάνεια τους) | B / 1% | > 30 | 20 - 30 | 5 - 20 | < 5, αποσαθρωμένο | | |
| Βαθμολογία | | | | | | | 10 |

| ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ | ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ/ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ | ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ | | | | | ΒΑΘΜΟΣ |
|---|--|----------------------------|---------|----------------------|----------------------|---------|--------|
| | | | | | | | |
| 10. Αντοχή άρρηκτου πετρώματος (MPa, βοηθά στον τεμαχισμό κατά την πτώση εάν είναι χαμηλή και στην αναπήδηση εάν είναι υψηλή) | B / 1% | < 10 | 10 – 30 | 30 - 60 | | > 60MPa | |
| | | 10 | 30 | 60 | | 100 | |
| 11. Τεμαχισμός βραχώμαζας / όγκος τεμαχίων (m ³) | B / 4% | <1 | 1-2.5 | 2.5- 4.0 | 4.0 – 8.0 | > 8.0 | |
| | | 10 | 15 | 30 | 60 | 100 | |
| 12. Εκτιμώμενος αριθμός τεμαχίων (για το πλάτος του πρανούς που εξετάζεται) | B / 2% | 0 | 1 - 5 | 5 - 10 | | > 10 | |
| | | 10 | 30 | 60 | | 100 | |
| 13. Καρστικά χαρακτηριστικά | B / 2% | Μηδενικά | Αραιά | Μέτρια | Συχνές | | |
| | | | | συνθήκες υποεκσκαφής | συνθήκες υποεκσκαφής | | |
| Βαθμολογία | | 10 | 30 | 60 | | 100 | |

| ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ | ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ/ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ | ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ | | | | | ΒΑΘΜΟΣ |
|---|--|----------------------------|--------|------------------------|------------------------|-------------------------------|--------|
| | | | | | | | |
| 14. Συνθήκες βροχοπτώσεων και ένταση | C / 3 % | Σπάνιες | Αραιές | Εποχιακές | Συχνές | Πολύ συχνές, καθ' όλο το έτος | |
| Βαθμολογία | | 10 | 15 | 30 | 60 | 100 | |
| 15. Υδροπερατότητα/ συνθήκες αποστράγγισης πρσανούς | C / 3 % | Πολύ υψηλή | Υψηλή | Μέτρια | Χαμηλή | Πολύ χαμηλή | |
| Βαθμολογία | | 10 | 15 | 30 | 60 | 100 | |
| 16. Σεισμική επικινδυνότητα (συντελεστής επιτάχυνσης α, συντελεστής σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους A=α.g) | C / 4 % | $\alpha < 0.16$ | | $0.16 < \alpha < 0.24$ | $0.24 < \alpha < 0.36$ | $\alpha > 0.36$ | |
| Βαθμολογία | | 10 | | 30 | 60 | 100 | |
| 17. Πλάτος περιοχής αναχαίτισης των προσπιπτόντων βράχων | D / 10 % | >20 | 10-20 | 5-10 | 2-5 | Όχι | |
| Βαθμολογία | | 10 | 15 | 30 | 60 | 100 | |

| ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ | ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ/ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ | ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ | | | | | ΒΑΘΜΟΣ |
|---|--|--|--|--|---|---|--------|
| | | Λίγες έως καθόλου | Περιστασιακά | Αρκετές | Πολλές | Συνεχείς | |
| 18. Ιστορικό καταπτώσεων | D / 5 % | | | | | | |
| Βαθμολογία | | 10 | 15 | 30 | 60 | 100 | |
| 19. Δυνατότητα επέμβασης στο πρανές | D / 5% | Εφαρμόσιμο κάθε είδος προστασίας | Μεγάλη δυνατότητα επέμβασης- Αρκετά εφαρμόσιμα μέτρα προστασίας | Εφαρμογή ορισμένων μόνο μέτρων προστασίας | Μικρή δυνατότητα επέμβασης-Ελάχιστα εφαρμόσιμα μέτρα προστασίας | Αδύνατη η επέμβαση στο πρανές κατ' οποιονδήποτε τρόπο | |
| Βαθμολογία | | 10 | 15 | 30 | 60 | 100 | |
| 20. Εκτιμώμενη αξία κατασκευών κατόπιν του πρανούς - Εκτιμώμενες συνέπειες πιθανής κατάπτωσης. | D / 20 % | Μηδαμινή - Ανυπαρξία ανθρώπων, υπαρχόντων ή μελλοντικών κατασκευών | Χαμηλή - Χώροι ελάχιστης προσέλευσης, διέλευσης κοινού - Μικρή πιθανότητα κατασκευής νέων κατασκευών | Μέτρια - Περιστασιακή παρουσία ανθρώπων - Υπό κατασκευή κτίσματα | Υψηλή - Συχνή παρουσία ανθρώπων - Πολυάριθμα κτίρια | Ανεκτίμητη - Χώροι συγκέντρωσης κοινού καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας - Κτίσματα υψίστης αξίας | |
| Βαθμολογία | | 10 | 15 | 30 | 60 | 100 | |
| ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ (Μέγιστο 100) | | | | | | | |

3. Συστήματα ταξινόμησης επικινδυνότητας βραχοπτώσεων

Με το τέλος της βαθμονόμησης, γίνεται κατάταξη της επικινδυνότητας του πρσανούς με βάση τον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 3.20. Ταξινόμηση επικινδυνότητας (Saroglou et al., 2011)

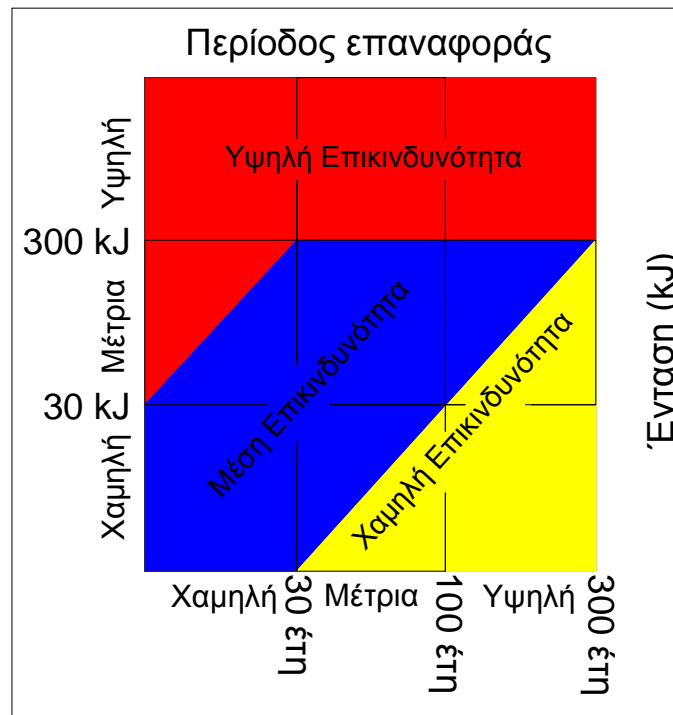
| Κατηγορία επικινδυνότητας | Συνολική βαθμολογία 1-100 | Επικινδυνότητα | Ενδεικτικά μέτρα προστασίας (η επιλογή ορίζεται επί τόπου) |
|---------------------------|---------------------------|----------------|--|
| I | < 20 | Πολύ χαμηλή | Δεν είναι απαραίτητη η χρήση μέτρων προστασίας, ενδέχεται να χρειάζονται τοπικές παρεμβάσεις |
| II | 20 - 40 | Χαμηλή | Σε περιορισμένο βαθμό |
| III | 40 - 60 | Μέτρια | Μικρή παρέμβαση (ήλιοι, δίκτυ, ξεσκάρωμα ασταθών όγκων, απλοί φράχτες) |
| IV | 60 - 80 | Υψηλή | Συνδυασμός ενεργητικών (ήλιοι και αγκύρια) και παθητικών (όπως δίκτυα, τοιχία αντιστήριξης, καλώδια, φράχτες, ξεσκάρωμα ασταθών όγκων) μέτρων |
| V | 80 – 100 | Πολύ υψηλή | Κρίσιμη κατάσταση ευστάθειας, συνδυασμός γενικευμένων ή/και ισχυρών ενεργητικών και παθητικών μέτρων. Εκτίμηση και αποδοχή της παραμένουσας επικινδυνότητας. |

3.8. Ελβετική μέθοδος, βασισμένη στις αναλύσεις προσομοίωσης τροχιάς

Η ανάλυση επικινδυνότητας καταπτώσεων λαμβάνει υπόψη δύο παραμέτρους (Abbruzzese *et al.*,2009):

- ✓ Την ένταση της κατάπτωσης βράχων, που εκφράζεται από την συνολική κινητική ενέργεια (μεταφορική και περιστροφική) των καταπιπτόντων τεμαχών βράχων, που μπορεί να εκτιμηθεί από προσομοιώσεις τροχιάς της βραχόπτωσης.
- ✓ Την περίοδο επαναφοράς, που ορίζεται ως η μέση χρονική περίοδος αναφοράς κατά την οποία μπορεί να συμβεί μία βραχόπτωση (το αντίστροφο της μέσης συχνότητας βραχόπτωσης).

Σύμφωνα με το ακόλουθο διάγραμμα, που συνδέει την ένταση με την περίοδο επαναφοράς, η επικινδυνότητα της κατάπτωσης κατηγοριοποιείται σε τρία επίπεδα: χαμηλή, μέση και υψηλή.



Σχήμα 3.9. Ελβετικό διάγραμμα έντασης – συχνότητας (Abbruzzese *et al.*,2009)

Η μέθοδος χρησιμοποιείται για την εκπόνηση χαρτών επικινδυνότητας, που θα χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό του έργου, αναδεικνύοντας την φυσική επικινδυνότητα που θα επηρεάσει την περιοχή και βοηθώντας στην ενδεχόμενη λήψη μέτρων προστασίας για να επιτευχθεί ένας ικανοποιητικός βαθμός επικινδυνότητας. Στην Ελβετία, οι ζώνες υψηλής επικινδυνότητας είναι αυτές στις οποίες απαγορεύεται οποιαδήποτε νέα οικιστική ανάπτυξη και πρέπει να ληφθούν κατάλληλα μέτρα προστασίας για τις υφιστάμενες κατασκευές, οι ζώνες μέση επικινδυνότητας είναι αυτές που επιτρέπεται νέα οικιστική ανάπτυξη υπό όρους, ενώ οι ζώνες χαμηλής επικινδυνότητας είναι αυτές όπου επιτρέπεται η οικιστική ανάπτυξη, με την

προϋπόθεση ότι οι ιδιοκτήτες είναι καλά ενημερωμένοι για την υπάρχουσα επικινδυνότητα.

Στην συνέχεια αναλύονται δύο μεθοδολογίες χαρτογράφησης επικινδυνότητας που έχουν σχεδιαστεί βάσει των ελβετικών μεθοδολογιών.

Μεθοδολογία Matterock (Abbruzzese et al., 2009)

Μεθοδολογία Matterock: αρχική προσέγγιση

Πρόκειται για μία μεθοδολογία ανίχνευσης των επιρρεπών σε βραχοπτώσεις περιοχών. Για την εκπόνηση ενός χάρτη επικινδυνότητας, η μελέτη των πιθανών πηγών βραχοπτώσεων πρέπει να συνδυαστεί με μία δισδιάστατη προσομοίωση της τροχιάς της βραχοπτώσεως. Για τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας σε ένα σημείο του πρσανούς σύμφωνα με το ανώτερο σχήμα 3.9, εκτιμάται η πιθανότητα εμφάνισης της ως ένας συνδυασμός της πιθανότητας κινητοποίησης του τεμάχους και της πιθανότητας να φτάσει, εάν αποκολληθεί, το συγκεκριμένο τέμαχος, στο συγκεκριμένο σημείο κατά μήκος του πρσανούς (πιθανότητα προσβολής).

Η πιθανότητα κινητοποίησης προσδιορίζεται με ποιοτικό τρόπο, με την λεπτομερή μελέτη των πιθανών περιοχών εκκίνησης της βραχοπτώσεως, στις οποίες αποδίδεται μία βαθμολογία, εξαρτώμενη από τη γεωμετρία των οικογενειών των ασυνεχειών και την παρουσία αποσταθεροποιητικών παραγόντων: συνέχεια των διακλάσεων, βαθμός δραστηριότητας (ιστορικό βραχοπτώσεων), παρουσία νερού, ευαισθησία μειωτικών παραγόντων (αποσάθρωση, μικροσεισμικότητα, κύκλοι ψύξης – απόψυξης) και μηχανισμούς έναρξης του φαινομένου (σεισμοί, ισχυρές βραχοπτώσεις), συντελεστή ασφαλείας (βασιζόμενος στα κατασκευαστικά / γεωμηχανικά χαρακτηριστικά και στις εκτιμήσεις ειδικών). Αποδίδονται τρία επίπεδα για την πιθανότητα κινητοποίησης: Χαμηλή, μέση και υψηλή.

Η πιθανότητα προσβολής εκτιμάται από τις προσομοιώσεις τροχιάς, μέσω των κατανομών της απόθεσης των τεμαχών κατά μήκος του πρσανούς. Πιο συγκεκριμένα, οριοθετούνται τρία όρια διάδοσης για την κατηγοριοποίηση της πιθανότητας σε υψηλή, μέση και χαμηλή. Τα όρια αυτά αντιπροσωπεύουν τις συνιστώσες των τεμαχών που διέρχονται από το 10^{-2} , το 10^{-4} και το 10^{-6} του συνόλου το τροχιών που υπολογίστηκαν (ή 1, 10^{-2} και 10^{-4} εάν εκφράζονται σε % ποσοστά).

Όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα, η πιθανότητα κινητοποίησης και η πιθανότητα προσβολής συνδυάζονται για την ποιοτική εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης, η οποία επίσης μπορεί να χαρακτηριστεί ως υψηλή, μέση και χαμηλή.

Πίνακας 3.21. Μεθοδολογία Matterock. Ορισμός της πιθανότητας εμφάνισης (Abbruzzese et al.,2009)

| Πιθανότητα εμφάνισης | | Πιθανότητα κινητοποίησης | | |
|----------------------|--------|--------------------------|--------|--------|
| | | Υψηλή | Μέση | Χαμηλή |
| Πιθανότητα προσβολής | Υψηλή | Υψηλή | Μέση | Χαμηλή |
| | Μέση | Μέση | Χαμηλή | - |
| | Χαμηλή | Χαμηλή | - | - |

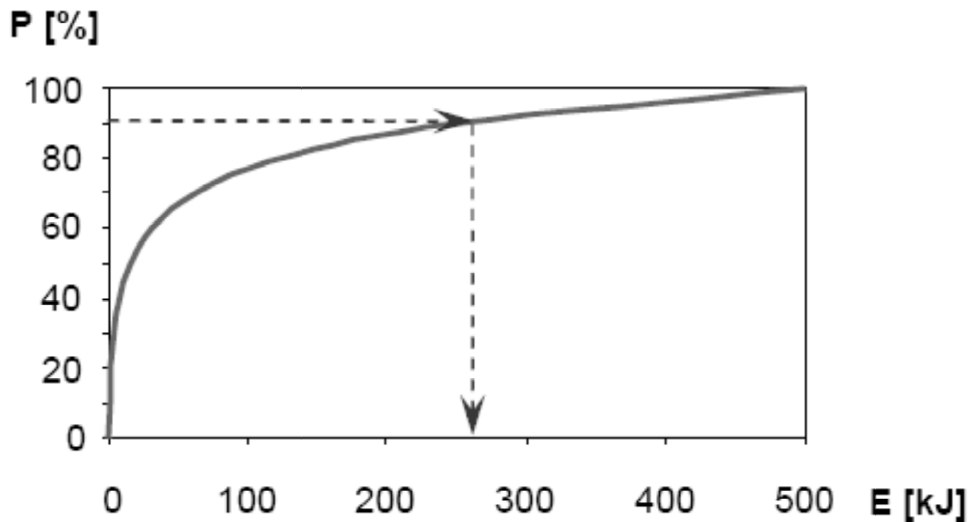
Η κινητική ενέργεια προσδιορίζεται από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης τροχιάς. Η ανάλυση του προφίλ της τροχιάς κατά μήκος του πρσανούς, επιτρέπει την κατηγοριοποίηση της ενέργειας σε χαμηλή, μέση και υψηλή για εύρη από 30kJ έως 300kJ, σύμφωνα με το ανώτερο σχήμα 3.9.

Γνωρίζοντας πλέον την πιθανότητα και την ένταση σε κάθε σημείο του πρσανούς, είναι δυνατό να προκύψει το επίπεδο της επικινδυνότητας από την αντίστοιχη ζώνη του σχήματος 3.9 (κόκκινη, μπλε, κίτρινη), αντιστοιχίζοντας το ζεύγος έντασης – πιθανότητας στο σημείο.

Μεθοδολογία Matterock: τροποποιημένη προσέγγιση

Η σημαντικότερη τροποποίηση της μεθοδολογίας έγκειται στο πλήθος των τεμαχών που χρησιμοποιούνται στην εκτίμηση της κινητικής ενέργειας.

Το προφίλ ενέργειας που αναφέρθηκε προηγουμένως περιλαμβάνει τη μέγιστη ένταση όλων των τεμαχών που προσομοιώθηκαν. Σε αυτή την τροποποιημένη προσέγγιση, αντίθετα, μόνο ένα ποσοστό του συνόλου των τεμαχών που προσομοιώθηκαν λαμβάνονται υπόψη κατά την εκτίμηση του προφίλ της ενέργειας σε κάθε σημείο του πρσανούς. Ενδεικτικά αναφέρεται (Abbruzzese et al.,2009) ότι στην περίπτωση του Canton of Valais, χρησιμοποιήθηκε ποσοστό ίσο με 90%. Η διαδικασία αυτή γίνεται με σκοπό να αποφευχθεί να ληφθούν υπόψη οι μέγιστες τιμές της έντασης, που θα οδηγούσε αφενός στην ύπαρξη εξαιρετικά δυσμενών συνθηκών στον χάρτη επικινδυνότητας και αφετέρου σε υψηλό κόστος μέτρων προστασίας. Στην τελευταία περίπτωση, τα μέτρα προστασίας θα διαστασιοποιηθούν έτσι ώστε να είναι πιο οικονομικά, αλλά ταυτόχρονα ικανά να εγγυηθούν ικανοποιητικό βαθμό προστασίας. Στο ακόλουθο σχήμα φαίνεται πως προσδιορίζεται η ενέργεια, που αντιστοιχεί στο 90% των τεμαχών που μετακινούνται προς τα κάτω στο πρσανές, από την αθροιστική κατανομή της ενέργειας, όπως υπολογίστηκε σε μία δοσμένη τετμημένη.



Σχήμα 3.10. Τροποποιημένη μεθοδολογία Matterock. Αθροιστική κατανομή της ενέργειας των τεμαχίων βράχων σε μία δοσμένη τετμημένη. Το προφίλ της ενέργειας κατά μήκος του πρσανούς εκτιμάται λαμβάνοντας υπόψη, για κάθε τετμημένη, τις ενέργειες μόνο του 90% των τεμαχίων που προσομοιώθηκαν (Abbruzzese et al.,2009)

Μεθοδολογία Cadanav (Abbruzzese et al.,2009)

Η μεθοδολογία αναπτύχθηκε από την Rock Mechanics Laboratory του EPFL για την εκπόνηση χαρτών επικινδυνότητας καταπτώσεων βράχων. Η μεθοδολογία, που στο παρόν παρουσιάζεται σε 2-D, δεν έχει ακόμα εφαρμοστεί (τουλάχιστον μέχρι το 2009, σύμφωνα με Abbruzzese et al.,2009).

Η επικινδυνότητα $H(E,x)$ σε μία τετμημένη x εκφράζεται ως το γινόμενο της μέση συχνότητας αστοχίας (λ_f), του πλήθους των τεμαχίων (N_{block}) που αποκολλώνται από το πρσανές σε ένα μεμονωμένο γεγονός και της πιθανότητας διάδοσης $P_p(E,x)$ που είναι η πιθανότητα ένα τέμαχος να φτάσει στην επιλεγμένη περιοχή με δεδομένη ένταση E :

$$H(E,x) = \lambda_f \times N_{blocks} \times P_p(E,x)$$

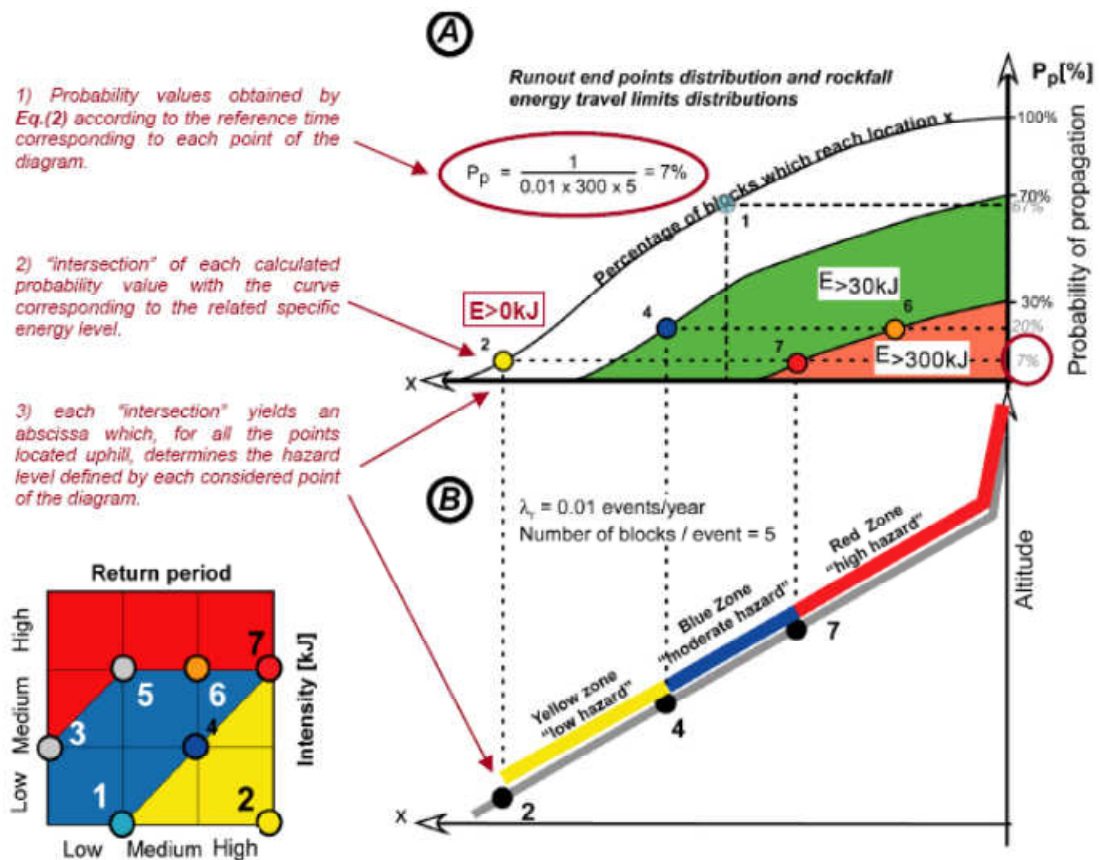
Αρχικά, εκτιμάται η ετήσια συχνότητα αστοχίας λ_f από τα διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα.

Από τα χαρακτηριστικά εμμονής και απόστασης των ασυνεχειών, είναι δυνατόν να εκτιμηθεί ένα τέμαχος αναφοράς, το μέγεθος του οποίου μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό για την ενδεχόμενη περιοχή της πηγής της βραχόπτωσης. Το τέμαχος αναφοράς χρησιμοποιείται στην προσομοίωση της τροχιάς. Μετά την εκτίμηση του συνολικού όγκου του γεγονότος, ο όγκος αυτός διαιρείται με τον αντίστοιχο όγκο του τεμάχους αναφοράς, ώστε να προκύψει το πλήθος των τεμαχίων N_{blocks} .

Στη συνέχεια, μέσω της προσομοίωσης, προσδιορίζεται η κατανομή της κινητικής ενέργειας κατά μήκος της τροχιάς. Για κάθε προσομοιωμένο τέμαχος (κάθε τροχιά) προσαρμόζεται το πραγματικό προφίλ ενέργειας, προσδιορίζοντας τα σημεία κατά τα

οποία τα, προτεινόμενα από τις Ελβετικές μεθοδολογίες, όρια των 0, 30 και 300 kJ επιτυγχάνονται για τελευταία φορά, και θέτοντας αυτές τις τιμές της ενέργειας σε όλα τα σημεία της ανωφέρειας. Αυτό το βήμα προτείνεται σε εφαρμογές χρήσης γης, ώστε να βεβαιώνεται ότι σε κάθε χάρτη, το επίπεδο επικινδυνότητας μειώνεται κατηφορίζοντας στο πρηνές.

Από τα τροποποιημένα προφίλ ενέργειας, σχεδιάζονται καμπύλες της πιθανότητας διάδοσης $P_p(E,x)$ για τα σταθερά όρια ενέργειας των 0, 30 και 300kJ. Έτσι, παράγονται τρεις καμπύλες από την ανάλυση της αθροιστικής συχνότητας των τεμαχών που φτάνουν σε μία συγκεκριμένη τετμημένη x κατά μήκος του προφίλ, για μία δεδομένη τιμή της ενέργειας, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 3.11. Μεθοδολογία Cadanan. Σχηματική απεικόνιση του προσδιορισμού των ορίων της ζώνης επικινδυνότητας. Στο σχήμα απεικονίζονται 5 τεμάχια με μέση συχνότητα αστοχία 1 γεγονός στα 100 έτη. Η πιθανότητα που ισούται με 7% σχετίζεται με τα σημεία 2 και 7 και αντιστοιχεί σε χρόνο αναφοράς 300 έτη (Abbruzzese et al.,2009)

Τα όρια των ζωνών επικινδυνότητας x_{Ei} προσδιορίζονται από την αξιολόγηση κατά πόσο η πιθανότητα που έχει ένα τεμάχιο να φτάσει, με δεδομένη ενέργεια E_i , μία συγκεκριμένη τετμημένη, είναι μικρότερη από 1 για μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Για μία δεδομένη περίοδο αναφοράς t_{ref} , η τετμημένη για την οποία ικανοποιείται η παραπάνω συνθήκη, δίνεται για την πιθανότητα διάδοσης:

$$P_p(E_i, X_{Ei}) = \frac{1}{\lambda_f \times t_{ref} \times N_{blocks}}$$

Χρησιμοποιώντας τις καμπύλες πιθανότητας, η συσχέτιση των P_p και x, x_{E_i} μπορεί να προσδιορισθεί, για κάθε ζεύγος έντασης – συχνότητας (σύμφωνα με τις Ελβετικές Μεθοδολογίες), ως η τετμημένη που πέραν αυτής, η πιθανότητα διάδοσης είναι μικρότερη από την υπολογιζόμενη τιμή $P_p(E_i, x_{E_i})$ (βλ. σχήμα 3.11). Το όριο κάθε ζώνης επικινδυνότητας εντοπίζεται θεωρώντας την δυσμενέστερη περίπτωση ανάμεσα στα διάφορα ζεύγη έντασης – συχνότητας και αντιπροσωπεύεται από αυτή που δίνει την υψηλότερη καθοδική τετμημένη.

4. Συστήματα ταξινόμησης διακινδύνευσης βραχοπτώσεων

4.1. Γενικά

Όπως συμβαίνει και στην εκτίμηση της επικινδυνότητας, αντίστοιχα, έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι που αποσκοπούν στην εκτίμηση της διακινδύνευσης των βραχοπτώσεων, οι βασικότερες εκ των οποίων παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο.

Αποσκοπώντας στην αναγνώριση και βαθμολόγηση της επικινδυνότητας και τη μείωση της διακινδύνευσης, προτάθηκε από το Washington State department of Transportation (WSDOT, 2010) ένα σύστημα στο οποίο εισάγεται και ο οικονομικός παράγοντας.

Ειδικότερα, για την διακινδύνευση, έχει αναπτυχθεί μία μέθοδος που εντάσσεται στις Ελβετικές Μεθοδολογίες (FEDRO, 2009), βάση της οποίας οριοθετείται η πηγή της επικινδυνότητας και υπολογίζεται η διακινδύνευση ως η πιθανότητα να συμβεί. Η διακινδύνευση εξαρτάται κάθε φορά από το εύρος της ζημιάς, την πιθανότητα να συμβεί το γεγονός της επικινδυνότητας και την πιθανότητα να βρίσκονται άτομα ή πολύτιμα αντικείμενα ανά πάσα στιγμή στη ζώνη επικινδυνότητας.

Εναλλακτικά, χρησιμοποιούνται μέθοδοι που αποσκοπούν στην ποσοτική εκτίμηση της διακινδύνευσης (Corominas & Moya, 2008), λαμβάνοντας υπόψη τη σχέση συχνότητας – μεγέθους της βραχοπτώσης, την πιθανότητα σύγκρουσης των υλικών της κατάπτωσης με κτίρια και ανθρώπους, την τρωτότητα των, εκτιθέμενων σε επικινδυνότητα, στοιχείων και την ανάλυση της αποτελεσματικότητας των μέτρων προστασίας (QRA).

4.2. Washington State department of Transportation (WSDOT, 2010)

Πρόγραμμα Διαχείρισης Ασταθών Πρανών – USMS

Γενικά

Πρόκειται για μία μεθοδολογία που αποσκοπεί στην ορθολογική αξιολόγηση γνωστών ασταθών πρανών στο σύνολο του δικτύου αυτοκινητοδρόμων του τομέα ευθύνης του τμήματος μεταφορών της Washington. Η μέθοδος εστιάζει στην εξισορρόπηση μεταξύ της επικινδυνότητας και της διακινδύνευσης, κατηγοριοποιώντας τα πρανή, για την ορθολογικότερη κατανομή των κονδυλίων που αφορούν στις προληπτικές προσπάθειες σταθεροποίησής τους (WSDOT, 2010).

Βαθμολόγηση

Ερευνήθηκαν περίπου 2.500 περιοχές και βαθμολογήθηκαν περίπου 3.100 πρανή με βάση 11 κατηγορίες, με συνολική βαθμολογία από 33 (χαμηλότερη) έως 891 (υψηλότερη), με σκοπό την αναγνώριση της επικινδυνότητας και των πιθανών παραγόντων διακινδύνευσης στην περίπτωση που το πρανές αστοχήσει. Όσο ψηλότερη η βαθμολογία που αντιστοιχεί σε ένα πρανές, τόσο μεγαλύτερη διακινδύνευση διαθέτει. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι κατηγορίες βαθμολόγησης (INE, Alaska, 2009).

Αρχικά, προηγείται μία προκαταρκτική κατάταξη των πρανών, σε αντιστοιχία με τη μέθοδο RHRS. Τα πρανή κατηγοριοποιούνται σε A, B, C τάξης και στην συνέχεια ακολουθεί η αναλυτική βαθμολόγηση.

Πίνακας 4.1. Κατάταξη διακινδύνευσης κατά USMS (Huang et al., 2009)

| Κατηγορία | Κατηγορίες και βαθμολογία | | | |
|--|--------------------------------------|--|--|---|
| | 3 Βαθμοί | 9 Βαθμοί | 27 Βαθμοί | 81 Βαθμοί |
| Τύπος προβλήματος: Εδαφικό | Όρυγμα ή πρανές διάβρωσης | Καθίζηση ή ροή | Κατολισθηση αργού ρυθμού | Γρήγορη κατολισθηση ή ροή κορημάτων |
| Τύπος προβλήματος: Βραχώδεις | Μικρές βραχοπτώσεις, Καλή συγκράτηση | Μέτριες βραχοπτώσεις, Ικανοποιητική συγκράτηση | Μεγάλες βραχοπτώσεις, περιορισμένη συγκράτηση | Μεγάλες βραχοπτώσεις, μηδενική συγκράτηση |
| Μέση κυκλοφορία οχημάτων | <5000 | 5000-20000 | 20000-40000 | >40000 |
| Απόσταση αντίδρασης, ως ποσοστό της ελάχιστης τιμής σχεδιασμού (DSD) | Ικανοποιητική | Μέτρια | Περιορισμένη | Πολύ περιορισμένη |
| Επίδραση αστοχίας στην οδό | <50ft (<15,2m) | 50-200 ft (15,2-61,0m) | 200-500 ft (61,0-152,5m) | >500ft (152,5m) |
| Παρεμπόδιση οδού | Στις άκρες μόνο | Στο 1/2 του πλάτους της οδού | Στα 3/4 του πλάτους της οδού | Σε όλο το πλάτος της οδού |
| Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR) | 25% του χρόνου | 50% του χρόνου | 75% του χρόνου | 100% του χρόνου |
| Καταστροφή οδοστρώματος | Μικρή - αμελητέα | Μέτρια - απαιτείται ελάττωση ταχύτητας | Σοβαρή - τα οχήματα πρέπει να ακινητοποιούνται | Τεράστια - απαγόρευση κυκλοφορίας |
| Συχνότητα αστοχίας | Καμία τα τελευταία 5 χρόνια | Μία τα τελευταία 5 χρόνια | 1/έτος | >1/έτος |
| Ετήσιο κόστος συντήρησης | <\$5000/έτος | \$5000-\$10000/έτος | \$10000-\$50000/έτος | >\$50000/έτος |
| Οικονομικός παράγοντας | Δεν απαιτούνται παρακάμψεις | Μικρές παρακάμψεις <3miles | Μεγάλες παρακάμψεις >3miles | Μοναδική πρόσβαση χωρίς παρακάμψεις |
| Ατυχήματα τελευταίας 10ετίας | 0-1 | 2-3 | 4-5 | >5 |

Κατηγορίες Βαθμολόγησης

Ένα μοναδικό χαρακτηριστικό του USMS είναι ότι περιλαμβάνει και βαθμολογεί συστηματικά αστάθειες βραχωδών πρανών, κατολισθήσεων, καθιζήσεων και προβλημάτων διάβρωσης.

Παρακάτω περιγράφονται οι κατηγορίες βαθμολόγησης (Huang et al., 2009).

1. Τύπος προβλήματος.

- Εδαφικά: Αφορούν αποκλειστικά αστοχία σε εδαφικά πρανή. Αναφέρεται σε διάβρωση, κατολισθήσεις και ροή κορημάτων. Η βαθμολόγηση βασίζεται στην πιθανή ταχύτητα της αστοχίας.
- Βραχώδη: Αφορούν αποκλειστικά καταπτώσεις σε βραχώδη πρανή. Αξιολογεί την ικανότητα της υφιστάμενης βραχοπαγίδας να συγκρατήσει τον όγκο της κατάπτωσης και να τον αποτρέψει να βρεθεί στο οδόστρωμα. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνεται επίσης η υποκειμενική αξιολόγηση του μεγέθους της κατάπτωσης με όρους μεγέθους τεμάχους και όγκου. Οι μικρές καταπτώσεις αφορούν σε τεμάχια διαμέτρου μικρότερης από 1ft και όγκου μικρότερο από 3yd³. Μέτρια κατάπτωση θεωρείται αν το μέγεθος του τεμάχους κυμαίνεται μεταξύ 1-2ft και όγκου μεταξύ 3-6yd³. Τέλος, μεγάλες καταπτώσεις θεωρούνται αυτές με διάμετρο τεμάχους μεγαλύτερο από 2ft και όγκο μεγαλύτερο από 6yd³.

2. *Μέση ημερήσια κυκλοφορία (ADT)*
Στην κατηγορία αυτή βαθμολογείται η παρούσα μέση ημερήσια κυκλοφορία στο τμήμα της οδού που ελέγχεται.
3. *Ποσοστό απόστασης ορατότητας απόφασης (PDSD)*
Η απόσταση απόφασης ορατότητας είναι η ελάχιστη απόσταση σε ft που απαιτείται από έναν οδηγό να ανιχνεύσει μία επικινδυνότητα και να λάβει την κατάλληλη στιγμιαία απόφαση ώστε να την αποφύγει. Η πραγματική απόσταση ορατότητας απόφασης (DSD) υπολογίζεται σε αντιστοιχία με το RHRS. Το ποσοστό απόστασης ορατότητας απόφασης ορίζεται ως το % κλάσμα της πραγματικής απόστασης ορατότητας προς την απόσταση ορατότητας απόφασης.
4. *Επίδραση της αστοχίας στον δρόμο*
Περιλαμβάνει το πραγματικό μήκος της αστοχίας, όπως μετρείται στο πεδίο, της ασταθούς ζώνης κατά μήκος του δρόμου.
5. *Παρεμπόδιση οδού*
Βαθμολογείται η παρεμπόδιση της κυκλοφορίας εξαιτίας της αστοχίας ενός ασταθούς πρηνούς. Βασίζεται στο πλάτος της οδού που επηρεάζεται από την αστοχία.
6. *Μέση διακινδύνευση οχήματος (AVR)*
Υπολογίζεται το ποσοστό του χρόνου που ένα όχημα βρίσκεται εντός της ασταθούς ζώνης. Μπορεί να πάρει τιμές μεγαλύτερες από 100% που σημαίνει ότι περισσότερα του ενός οχήματα βρίσκονται στη ασταθή ζώνη σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή.
7. *Καταστροφή οδοστρώματος*
Αξιολογείται η δριμύτητα της πιθανής ζημιάς στην επιφάνεια της οδού, εξαιτίας της αστοχίας του ασταθούς πρηνούς.
8. *Συχνότητα αστοχίας*
Αξιολογείται η συχνότητα παρουσίας αστοχιών στο ασταθές πρηνές.
9. *Ετήσιο κόστος συντήρησης.*
Αξιολογείται το συνολικό ετήσιο κόστος συντήρησης που σχετίζεται με το πρηνές ελέγχου.
10. *Ατυχήματα την τελευταία δεκαετία*
Αξιολογείται το πλήθος των ατυχημάτων που συνέβησαν την τελευταία δεκαετία και σχετίζονται με το ασταθές πρηνές.
11. *Οικονομικός παράγοντας*
Αυτή η κατηγορία αξιολογεί την πιθανή οικονομική επίδραση της διακοπής κυκλοφορίας εξαιτίας της αστοχίας. Βασίζεται στην διαθεσιμότητα και στο μήκος της παράκαμψης από την περιοχή αστοχίας. Πολλοί παράγοντες, όπως οι συνθήκες της παράκαμψης, ο όγκος οχημάτων και η πιθανή ροή κυκλοφορίας πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας της διαδρομής της παράκαμψης.

Κλιμακωτή μείωση διακινδύνευσης βραχώδους πρηνούς (Risk Reduction Rock Slope Scaling)

Το πρόγραμμα κλιμακωτής μείωσης διακινδύνευσης του βραχώδους πρηνούς σκοπεύει στην μείωση της διακινδύνευσης της βραχώπτωσης. Συνεπάγεται την

4. Συστήματα ταξινόμησης διακινδύνευσης βραχοπτώσεων

απομάκρυνση ασταθών όγκων από το πρηνές και τη χρήση εργαλείων όπως κλιμακωτές μπάρες (scaling bars), υδραυλικών σφηνών, μαξιλαριών αέρα (air pillows) και σε ορισμένες περιπτώσεις χρήση μηχανικών μέσων. Αυτές οι τεχνικές μπορούν να μειώσουν αισθητά την πιθανότητα ώστε η βραχώπωση να φτάσει στο οδόστρωμα, όταν οι γεωλογικές συνθήκες επιτρέπουν την επίτευξη των εργασιών αυτών.

Από μελέτες και αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν (WSDOT, 2010) σε πρηνή, με σκοπό τον προσδιορισμό της σκοπιμότητας εφαρμογής των ως άνω μεθόδων, κατασκευάστηκε ένα σύστημα κατάταξης, βασιζόμενο σε 8 κριτήρια, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα, το οποίο θέτει προτεραιότητα στα πρηνή που επιδέχονται μείωση της διακινδύνευσης.

Πίνακας 4.2. Κριτήρια κατάταξης μείωσης διακινδύνευσης (WSDOT, 2010)

| Κατηγορία | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
|-----------------------------------|--|--|---|---|
| Ύψος πρηνούς | <25 ft (<7.6 m) | 25-50 ft (7.6-15.2 m) | 50-75 ft (15.2-22.9 m) | >75 ft (>22.9 m) |
| Αποτελεσματικότητα βραχοπαγίδας | Καλή | Μέτρια | Περιορισμένη | Μηδενική |
| Συνολικό πλάτος οδού | <40ft (12.2m) | 32 ft (9.8m) | 24 ft (7.3m) | <24ft (<7.3m) |
| Ιστορικό καταπτώσεων | Λίγες | Περιστασιακές | Πολλές | Συνεχής |
| Πλήθος κλήσεων για συντήρηση/έτος | <1 | 1-3 | 4-5 | >5 |
| Μέγεθος τεμαχών κατάπτωσης | <1ft (<0.3m) | 1-2ft (0.3-0.6m) | 2-3ft (0.3-0.9m) | >3ft (>0.9m) |
| Όγκος καταπτώσεων/έτος | <3yd ³ (<2.3m ³) | 3-6yd ³ (2.3-4.6m ³) | 6-10yd ³ (4.6-7.6m ³) | >10yd ³ (>7.6m ³) |
| Μέση Ημερήσια κυκλοφορία οχημάτων | <500 | 500-2750 | 2751-5000 | >5000 |

Για την αποτελεσματικότερη απόδοση των εξόδων συντήρησης, το WSDOT δίνει προτεραιότητα στα προς αξιολόγηση πρηνή, βασιζόμενο (INE, Alaska, 2009): (1) στην λειτουργική κατηγορία του αυτοκινητοδρόμου, (2) στην αριθμητική βαθμολόγηση του USMS, (3) στην μέση ημερήσια κυκλοφορία (ADT). Πρηνή κατά μήκος δια-πολιτειακών αυτοκινητοδρόμων και σε κύριες οδικές αρτηρίες έχουν προτεραιότητα σε σχέση με πρηνή σε δρόμους που εξυπηρετούν μικρότερο όγκο οχημάτων. Σε αυτοκινητοδρόμους της ίδιας κατηγορίας, τα πρηνή κατατάσσονται με φθίνουσα βαθμολόγηση, έτσι ώστε τα πρηνή μεγαλύτερης διακινδύνευσης να έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα για αποκατάσταση.

Καθώς οι διαθέσιμοι οικονομικοί πόροι, που αξιοποιούνται για την αποκατάσταση, είναι περιορισμένοι, η μείωση των ασταθών πρηνών περιλαμβάνει μία ανάλυση κόστους ωφελειών. Η ανάλυση διαχωρίζει το αναμενόμενο κυκλοφοριακό κόστος ως αποτέλεσμα της αστοχίας του πρηνούς και το κόστος συντήρησης μίας χρονικής περιόδου 20 ετών με το μόνιμο κόστος αποκατάστασης. Μόνο τα πρηνή που ο συντελεστής κόστους-οφέλους είναι μεγαλύτερος από μονάδα, ερευνώνται για εφαρμογή μέτρων αντιμετώπισης.

4.3. Ελβετικές Μεθοδολογίες (FEDRO, 2009)

A. Γενικά

Η επικινδυνότητα από φυσικά αίτια, όπως χιονοστιβάδες, καταπτώσεις βράχων και ογκολίθων, οι ροές, οι πλημμύρες και κατολισθήσεις, είναι μία διαρκής απειλή για τμήματα του οδικού δικτύου της Ελβετίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι πρόσφατες καταπτώσεις βράχων στον αυτοκινητόδρομο N2 στο Gotthard το 2005.

Η Ελβετική Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Οδοποιίας (FEDRO, 2009), σε μια προσπάθεια αξιολόγησης των φυσικών κινδύνων που απειλούν την ασφάλεια και λειτουργία των εθνικών οδών της Ελβετίας, δημιούργησε μία μεθοδολογική διαδικασία, σύμφωνα με την οποία, οι φυσικοί αυτοί κίνδυνοι θα αξιολογούνται με βάση ενιαία και διαφανή κριτήρια, τα αποτελέσματα θα συγκρίνονται ανάμεσα σε διάφορες περιοχές και θα επιτυγχάνεται η συνεπής διαχείριση της προστασίας έναντι φυσικών κινδύνων.

Περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών της διαδικασίας αυτής γίνεται παρακάτω, με αναφορά μόνο στην προσέγγιση που πραγματοποιείται στην περίπτωση καταπτώσεων βράχων και ογκολίθων.

Στόχοι ανάλυσης διακινδύνευσης

- Αναγνώριση των τμημάτων του εθνικού οδικού δικτύου που επηρεάζονται από φυσική επικινδυνότητα στο σύνολο του εθνικού οδικού δικτύου.
- Προσδιορισμός του τύπου, της έντασης και της πιθανότητας εμφάνισης επικίνδυνων διαδικασιών.
- Προσδιορισμός των επιπτώσεων (ζημιές) και της διακινδύνευσης που προέρχονται από αυτή για τους χρήστες και τους λοιπούς φορείς εκμετάλλευσης του οδικού δικτύου.
- Ενσωμάτωση των αποτελεσμάτων αυτών σε λογικές ευρείας διαχείρισης της διακινδύνευσης, ώστε να είναι συγκρίσιμα με άλλους κινδύνους.
- Καθορισμός της ανάγκης ανάληψης δράσεων, από τη σύγκριση της υφιστάμενης διακινδύνευσης με τα κριτήρια της ανάλυσης.
- Ορισμός προτεραιοτήτων για το σχεδιασμό των απαραίτητων μέτρων.
- Αξιολόγηση της βέλτιστης λύσης, ή του συνδυασμού μέτρων με βάση αναλύσεις κόστους – οφέλους.
- Προτεραιότητα και υιοθέτηση οικονομικά αποδεκτών μέτρων.
- Τα παραδοτέα, τα ψηφιακά δεδομένα ιδίως, θα πρέπει να είναι συμβατά με τις υπόλοιπες εφαρμογές της FEDRO, ώστε να είναι δυνατόν να προσπελαστούν, εμπλουτιστούν και επεκταθούν.
- Τα παραδοτέα θα πρέπει να είναι εύχρηστα για τους χρήστες και τους φορείς λήψεων αποφάσεων, ως προς την κατανόηση και την διαχείρισή τους.

Φιλοσοφία

- **Ανάλυση διακινδύνευσης (Risk analysis) – τι μπορεί να συμβεί;**

Η ανάλυση διακινδύνευσης αποτελείται από την ανάλυση της επικινδυνότητας, της έκθεσης στον κίνδυνο και τον υπολογισμό της πραγματικής διακινδύνευσης.

- **Εκτίμηση διακινδύνευσης (Risk evaluation) – τι επιτρέπεται να συμβεί;**

Καταδεικνύει κατά πόσο η προσδιορισμένη διακινδύνευση είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από τα όρια που έχουν τεθεί και κατά πόσο τα μέτρα προστασίας είναι ανεπαρκή.

- ο **Σχεδιασμός και εκτίμηση των μέτρων (Planning and evaluation of measures) – τι πρέπει να γίνει;**

Καταδεικνύει τα μέτρα και τα μέσα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το μετριασμό της διακινδύνευσης και τη βέλτιστη δέσμη μέτρων, μέσω των οποίων θα επιτευχθεί ο επιθυμητός βαθμός προστασίας.

B. Η έννοια της διακινδύνευσης

Γενικά με τον όρο διακινδύνευση περιγράφεται η πιθανότητα ώστε να συμβεί μία ανεπιθύμητη συνέπεια (π.χ. ζημιά). Διακινδύνευση παρουσιάζεται όταν αντικείμενα εκτίθενται σε επικίνδυνες δυνάμεις και υπόκεινται σε πιθανή ζημιά, εξαιτίας της τρωτότητάς τους. Οι συσχετίσεις αυτές μπορούν να εκφραστούν με την ακόλουθη έκφραση:

$$\text{Διακινδύνευση (R)} = \text{Εύρος Ζημιάς (E)} \times \text{Πιθανότητα Ζημιάς (p_D)}$$

εκφραζόμενο ως (στατιστική) μονάδα προσδοκίας ζημιάς ανά έτος ή μονάδα προσδοκίας ζημιάς ανά συμβάν.

Το εύρος της ζημιάς εξαρτάται από:

- Τον αριθμό των ατόμων, τον αριθμό και την αξία των αντικειμένων που εκτίθενται σε επικίνδυνο συμβάν την στιγμή εκδήλωσης του συμβάντος.
- Τις φυσικές επιπτώσεις (π.χ. ένταση) του συμβάντος
- Την τρωτότητα των εμπλεκόμενων ατόμων, αντικειμένων, ή ενός συστήματος στο συμβάν.

Η πιθανότητα ζημιάς εξαρτάται από:

- Την πιθανότητα εμφάνισης του επικίνδυνου συμβάντος
- Την πιθανότητα άνθρωποι ή πολύτιμα αντικείμενα να βρίσκονται ανά πάσα στιγμή στην επικίνδυνη ζώνη.

Προφίλ ζημιών

Άμεσες:

- Άνθρωποι ενδέχεται να σκοτωθούν/τραυματιστούν ως επακόλουθο ενός φυσικού συμβάντος.
- Αντικείμενα εντός της επικίνδυνης ζώνης (π.χ. κτίρια, υποδομές όπως δρόμοι και σιδηροδρομικές γραμμές, δίκτυα κοινής ωφέλειας, χώροι πρασίνου), καλύπτονται με υλικά (συντρίμμια), καταστρέφονται μερικώς ή ολικά εξαιτίας φυσικών συμβάντων. Η ζημιά γενικά αντιστοιχεί στο (χρηματικό) κόστος που απαιτείται για την αποκατάσταση του αντικειμένου στην αρχική κατάσταση, πριν την εκδήλωση του φαινομένου.

Οι άμεσες ζημιές μπορούν συνήθως να ποσοτικοποιηθούν απευθείας σε νομισματικές μονάδες.

Έμμεσες (επακόλουθες ζημιές):

- Περιλαμβάνονται, μεταξύ άλλων, το κόστος που προκύπτει από τη διακοπή λειτουργίας ή τις απώλειες εσόδων.
- Περιβαλλοντικές καταστροφές, π.χ. επικίνδυνα για το περιβάλλον υλικά διαχέονται λόγω διαρροής ενός βυτιοφόρου οχήματος.
- Εκτός των ήδη αναφερθέντων ζημιών, η αξία των οποίων μπορεί να αποδοθεί ως ένα βαθμό ποσοτικά, είναι δυνατόν να επηρεαστούν και αντικείμενα, η χρηματική αξία των οποίων δεν μπορεί εύκολα να αποδοθεί. Η περίπτωση αυτή αφορά κυρίως στα πολιτιστικά αγαθά (π.χ. μνημεία), που δεν δύνανται αντικατάστασης, μερικής ή ολικής, σε περίπτωση καταστροφής

Η ζημιά μπορεί να διαχωριστεί επίσης στις ακόλουθες ενότητες:

- **Άνθρωποι:** Περιλαμβάνει το σύνολο των ατόμων που χρησιμοποιούν την οδό ή δευτερεύουσες εγκαταστάσεις. Τραυματισμοί δεν λαμβάνονται υπόψη χωριστά².
- **Αντικείμενα:** Περιλαμβάνει την οδική αρτηρία και τα συναφή τεχνικά έργα, καθώς και όλες τις δευτερεύουσες εγκαταστάσεις που εμπίπτουν στην αρμοδιότητα της FEDRO. Άλλες ζημιές σε αντικείμενα και οχήματα ή και μεταφερόμενα εμπορεύματα δεν λαμβάνονται υπόψη.
- **Διαθεσιμότητα:** Όταν τμήματα του οδικού δικτύου κλείνουν, ως μέτρο προφύλαξης πριν ή μετά την εκδήλωση ενός φυσικού φαινομένου, το οδικό δίκτυο παύει να είναι διαθέσιμο για τους χρήστες. Δευτερογενείς ζημιές είναι το κόστος των παρακάμψεων.

Γ. Διαδικασία (γενικά)

Η ανάλυση διακινδύνευσης, αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα:

1. *Στόχοι, όρια του συστήματος και προπαρασκευαστικές εργασίες:* Ορισμός των στόχων της ανάλυσης διακινδύνευσης, ορισμός των ορίων του συστήματος που θα αξιολογηθεί.
2. *Ανάλυση επικινδυνότητας:* Αναγνώριση της διακινδύνευσης (ορισμός των σχετικών σεναρίων και της πιθανότητάς τους να συμβούν) και ανάλυση επιπτώσεων (προσδιορισμός του τύπου, του βαθμού και των φυσικών επιπτώσεων της διαδικασίας).
3. *Ανάλυση έκθεσης (σε κίνδυνο):* Προσδιορισμός του τύπου και της θέσης των απειλούμενων αντικειμένων, καθώς επίσης και της χρονολογικής και γεωγραφικής τους παρουσίας.

² Το επακόλουθο κόστος που προκύπτει από τον τραυματισμό ανθρώπων από ένα ατύχημα μπορεί να είναι πολύ υψηλό. Εντούτοις, δεν υπάρχουν εμπειρικές τιμές για τον προσδιορισμό του αριθμού και της οπτικής των τραυματισμών στον τομέα της φυσικής επικινδυνότητας, επομένως, απλουστευτικά περιλαμβάνονται μόνο τα θανατηφόρα συμβάντα.

4. *Ανάλυση συνεπειών*: Προσδιορισμός της ευπάθειας σε ζημιές (τρωτότητα) και του μεγέθους της ζημιάς για ένα αντικείμενο, ανάλογα με τη ένταση της διαδικασίας.
5. *Υπολογισμός της διακινδύνευσης και παρουσίαση*: Υπολογισμοί των σχετικών δεικτών διακινδύνευσης και παρουσίασή τους υπό μορφή πινάκων, χαρτών και διαγραμμάτων.

Γ.1 Στόχοι, όρια του συστήματος και προπαρασκευαστικές εργασίες

Πρέπει να προσδιοριστούν τα ακόλουθα:

- Ποια είναι τα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν;
- Ποιοι εμπλέκονται;
- Ποιος είναι ο σκοπός της ανάλυσης διακινδύνευσης;
- Ποιο είναι το περιεχόμενο και ποια τα συγκεκριμένα γεωγραφικά όρια της αξιολόγησης;
- Τι πηγές πληροφόρησης είναι διαθέσιμες;
- Τελικά αποτελέσματα αναμένονται;

Περίμετρος

Τα ακριβή όρια της περιμέτρου για την ανάλυση εξαρτάται από τις αντίστοιχες απαιτήσεις και πρέπει να ορίζονται εκ των προτέρων. Μπορεί να διασπαστεί σε δύο επιμέρους τμήματα:

Περίμετρος πιθανών ζημιών:

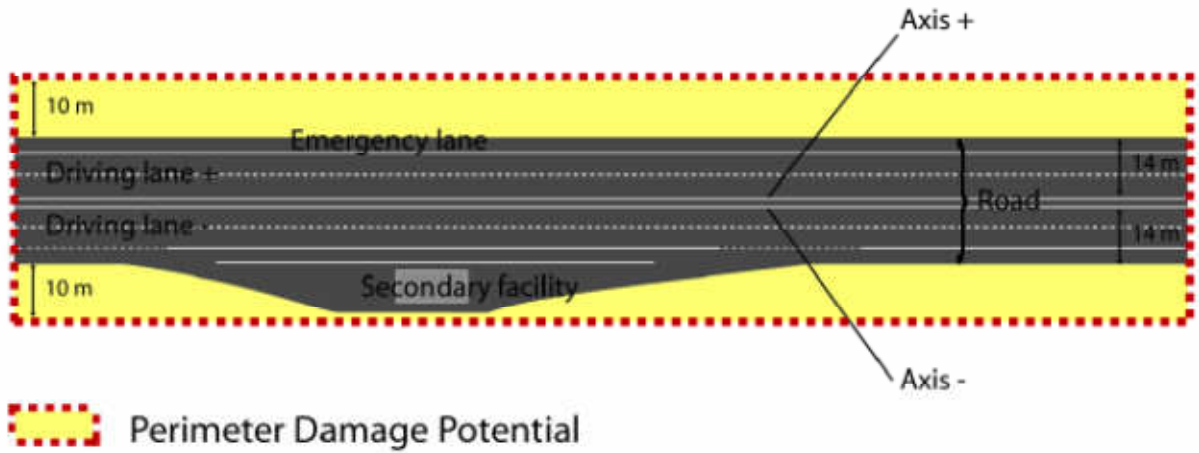
Γενικά περιλαμβάνει μία λωρίδα 10μ εκατέρωθεν του αντικειμένου προς το πρηνές και την πεδιάδα, ωστόσο μπορεί να επεκταθεί (π.χ. για την αξιολόγηση της επίπτωσης των προστατευτικών κατασκευών, κλπ), όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1. Αποτελεί επιμέρους τμήμα της περιμέτρου της ανάλυσης επικινδυνότητας (βλ. παρακάτω). Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι φυσικές διαδικασίες κινδύνου μπορούν να επεκταθούν πέραν από το επικίνδυνο για καταστροφή αντικείμενο (αγωγός νερού πάνω από την οροφή της στοάς), να επηρεάσουν απευθείας το αντικείμενο (καταστροφή οδού), ή να συμβούν κάτω από το αντικείμενο (ροή νερού ή χιονοστιβάδα κάτω από γέφυρα) που οδηγεί σε αστοχίες στα δομικά στοιχεία της κατασκευής (πυλώνες γεφυρών, τοίχοι αντιστήριξης, στέγη γαλαριών κτλ). Η ευρύτερη αυτή περιοχή περιλαμβάνεται συνεπώς στην εν δυνάμει περίμετρο πιθανών ζημιών και πρέπει να εξεταστεί εάν το αντικείμενο επηρεάζεται από τις φυσικές αυτές διεργασίες.

Περίμετρος ανάλυσης επικινδυνότητας:

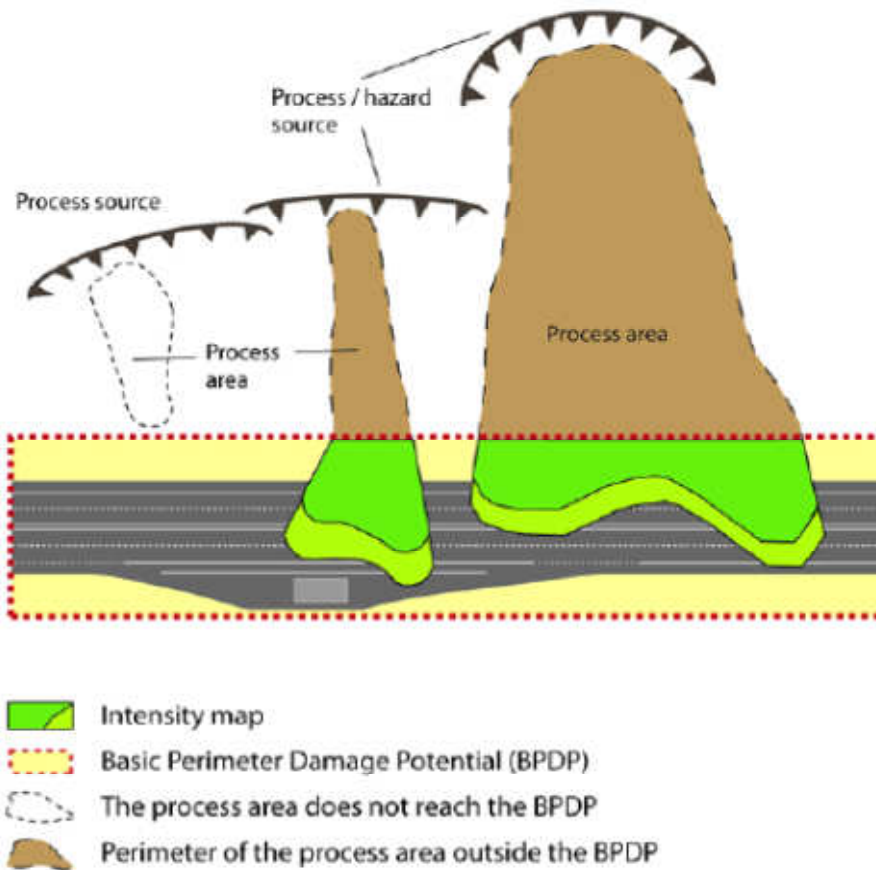
Περιλαμβάνει όλες τις πηγές εκείνες που μπορούν να επηρεάσουν το υπό ανάλυση τμήμα της οδού (πχ περίμετρο πιθανών ζημιών). Εντός αυτής (σχήμα 4.2) περιλαμβάνονται πηγές που επηρεάζουν την περίμετρο πιθανών ζημιών και πηγές

4. Συστήματα ταξινόμησης διακινδύνευσης βραχοπτώσεων

που δεν την επηρεάζουν. Πηγές που εξετάστηκαν αλλά δεν σχετίζονται πρέπει να καταγράφονται.



Σχήμα 4.1. Περίμετρος πιθανών ζημιών (FEDRO, 2009)



Σχήμα 4.2. Περίμετρος ανάλυσης επικινδυνότητας (FEDRO, 2009)

Γ.2. Ανάλυση επικινδυνότητας (Hazard analysis)

Ο προσδιορισμός της επικινδυνότητας και η ανάλυση επιπτώσεων πρέπει να πραγματοποιείται σε σχέση με την πηγή προέλευσης της επικινδυνότητας. Ως πηγή θεωρείται μία περιοχή με ενιαία «προδιάθεση» για δημιουργία επικινδυνότητας. Για καταπτώσεις βράχων, ογκολίθων, βραχωδών τεμαχίων και «χιονοστιβάδες» βράχων ακολουθούνται τα εξής:

Περίοδος επαναφοράς στην ανάλυση επικινδυνότητας

Τα πιθανά μεγέθη των γεγονότων κατηγοριοποιούνται σε περιόδους επαναφοράς για συγκεκριμένες χρονικές περιόδους. Τα βασικά σενάρια (που είναι γνωστά ως σενάρια δημιουργίας επικινδυνότητας) διατυπώνονται ανά πηγή για τις ακόλουθες περιόδους επαναφοράς (πίνακας 4.3).

Πίνακας 4.3. Περίοδος επαναφοράς στην ανάλυση επικινδυνότητας (FEDRO, 2009)

| Περιγραφή πιθανότητας | Περιγραφή συχνότητας | Περίοδος επαναφοράς/χρόνο |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Πολύ υψηλή | Πολύ συχνή | έως 10 έτη |
| Υψηλή | Συχνή | >10 έως 30 έτη |
| Μέτρια | Σπάνια | >30 έως 100 έτη |
| Χαμηλή | Πολύ σπάνια | >100 έως 300 έτη |
| Πολύ χαμηλή | Εξαιρετικά σπάνια | >300 έτη |

Η εκτίμηση της επικινδυνότητας περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- ✓ Συλλογή, μελέτη και ανάλυση των υφιστάμενων πληροφοριών (έγγραφα, χάρτες επικινδυνότητας, σχέδια υφιστάμενων κατασκευών, κτλ)
- ✓ Ανάλυση των ιστορικά καταγεγραμμένων γεγονότων (πληροφορίες για τα γεγονότα, τα αίτιά τους και τις επιπτώσεις τους)
- ✓ Γεωλογική, γεωμορφολογική, υδρογεωλογική ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης (χαρτογράφηση των φαινομένων (βλ. παρακάτω), ανάλυση προδιάθεσης, διαχωρισμός των διαφορετικών ομογενών περιοχών με κοινά χαρακτηριστικά (πηγές βραχόπτωσης), προσδιορισμός της περιοχής έναρξης, μετακίνησης και απόληξης της κατάπτωσης)
- ✓ Διατύπωση των βασικών σεναρίων – γνωστά ως σενάρια σχηματισμού επικινδυνότητας (τα πιθανά μεγέθη του γεγονότος κατατάσσονται σε σενάρια, ανάλογα και με την υφιστάμενη κατάσταση και τα υφιστάμενα μέτρα προστασίας)
- ✓ Αξιολόγηση των υφιστάμενων μέτρων προστασίας και αναλύσεις τρωτότητας
- ✓ Ανάλυση επιπτώσεων
- ✓ Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης επιπτώσεων: χάρτες έντασης.

Ακρίβεια θέσης της ανάλυσης των επιπτώσεων

Η ανάλυση των επιπτώσεων πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις ειδικές συνθήκες στην περιοχή της πιθανή ζημιάς (π.χ. δρόμος). Η οδός (μία εθνική οδός τεσσάρων

λωρίδων έχει πλάτος περίπου 25μ), πρέπει να ληφθεί υπόψη ως στοιχείο που επηρεάζει τη διαδικασία.

Το επίπεδο λεπτομέρειας για την ανάλυση επιπτώσεων πρέπει να είναι τόσο ακριβές ώστε να είναι εφικτό να οριστεί εάν όλο το πλάτος της οδού, μόνο το πλάτος των λωρίδων ή μόνο η εξωτερική πλευρά της οδού (λωρίδα έκτακτης ανάγκης) επηρεάζεται.

Κατά την ανάλυση επιπτώσεων πρέπει να γίνει διάκριση κατά πόσο η διαδικασία του φαινομένου:

- Διέρχεται πάνω από το δρόμο (γαλαρία ή οροφή στομίου σήραγγας) και συνεπώς δεν επηρεάζει το ίδιο το δρόμο
- Επηρεάζει αυτόν καθεαυτό τον δρόμο
- Διέρχεται κάτω από το δρόμο (κάτω από γέφυρα)
- Συνδυασμένη δράση των φαινομένων πάνω ή/και κάτω από το δρόμο

Οι περιοχές επιπτώσεων των διαφόρων πηγών δύνανται να επικαλύπτονται.

Αξιολόγηση των επιπτώσεων των μέτρων προστασίας

Πρέπει να συναξιολογείται η επίπτωση των μέτρων προστασίας ακολουθώντας τις κατάλληλες προδιαγραφές.

Στην διαδικασία αυτά αξιολογούνται τα μέτρα εκείνα που έχουν σαφώς ευδιάκριτη και αναγνωρίσιμη επίδραση στην διαδικασία. Προσωρινά μέτρα, όπως η ενεργοποίηση ελεγχόμενων καταπτώσεων, το ξεσκάρωμα και ο καθαρισμός ασταθών βράχων, μέτρα που επηρεάζουν το δυναμικό της ζημιάς ή την ευαισθησία της ζημιάς, δεν αξιολογούνται στο στάδιο της ανάλυσης επικινδυνότητας.

Η επίδραση των υφιστάμενων μέτρων προστασίας πρέπει να καταγράφεται και τεκμηριώνεται πλήρως και διαφανώς σε κάθε περίοδο επαναφοράς.

Γ.3 Χαρτογράφηση των φαινομένων

Η χαρτογράφηση των φαινομένων είναι μία βασική πηγή πληροφόρησης που πρέπει να παρέχεται κατά των προσδιορισμό της επικινδυνότητας για τις μετακινήσεις μαζών (καταπτώσεις βράχων). Αποκαλύπτονται στοιχεία για παλαιότερα συμβάντα και γεωλογικά, γεωμορφολογικά και υδρολογικά γεγονότα. Περιλαμβάνει επίσης ανθρωπογενείς παρεμβάσεις που μπορεί να επιδράσουν στην ανάπτυξη των διεργασιών (εφαρμόζεται κυρίως στα κατασκευές προστασίας). Η χαρτογράφηση αυτή χρησιμοποιείται στα ακόλουθα:

- Ανάλυση αναγλύφου: παρατήρηση και ερμηνεία της δομής του αναγλύφου (“δείκτες”)
- Προσδιορισμός και εκτίμηση των πιθανών διαδικασιών (προδιάθεση, μηχανισμοί εκδήλωσης, επιδράσεις)

- Έλεγχος της αξιολόγησης της επικινδυνότητας και διαφάνειας της μεθόδου.

Η περίμετρος της χαρτογράφησης ορίζεται από την περίμετρο της αξιολόγησης επικινδυνότητας.

Το βάθος της ανάλυσης εξαρτάται από τα προβλήματα που ελέγχονται.

Η χαρτογράφηση των φαινομένων είναι κατά βάση χαρτογράφηση πεδίου. Η ερμηνεία αεροφωτογραφιών, τοπογραφικών μοντέλων και άλλων στοιχείων - όταν αυτά δίνονται – μπορούν να ενσωματωθούν στην παρουσίαση της χαρτογράφησης. Από την χαρτογράφηση παράγονται χάρτες με τους κατάλληλους συμβολισμούς και έκθεση παρουσίασης και ερμηνείας των αποτελεσμάτων.

Γ.4 Διαδικασία καταπτώσεων βράχων

Εισαγωγή και στόχος

Για να εκτιμηθεί η επικινδυνότητα των καταπτώσεων, οι αρχικές ζώνες πρέπει να αναλύονται σε πηγές διαδικασιών με την ίδια προδιάθεση, η μοντελοποίηση των βραχοπτώσεων πρέπει να διενεργείται για κάθε πηγή διαδικασιών και τα αποτελέσματα της ανάλυσης επιπτώσεων πρέπει να παρουσιάζονται για κάθε πηγή σε σχέση με κάθε σενάριο.

Περίμετρος

Κατανομή της περιμέτρου σε αναλογία με το κεφάλαιο Γ.1.

Περιεχόμενα – Βήματα

Αναγνώριση επικινδυνότητας

1. Συλλογή, προβολή και ανάλυση των υφιστάμενων πηγών πληροφόρησης
2. Ανάλυση των ιστορικών γεγονότων
3. Γεωλογική – γεωμορφολογική – υδρογεωλογική ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης
 - i. Χαρτογράφηση φαινομένων
 - ii. Έρευνα ανάλυσης ασυνεχειών
 - iii. Ανάλυση προδιάθεσης (λειτουργία, μηχανισμοί ενεργοποίησης, επιδράσεις)
 - iv. Διαχωρισμός των αρχικών ζωνών σε ομοιογενείς περιοχές με ομοιόμορφη προδιάθεση (γνωστές και ως πηγές διαδικασίας – process sources)
 - v. Χαρτογραφική αναπαράσταση της προδιάθεσης των πηγών διαδικασίας σε κατάλληλη μορφή.
 - vi. Αξιολόγηση των περιοχών διέλευσης και εναπόθεσης (τραχύτητα, απόσβεση, δασικές εκτάσεις)
4. Διατύπωση των βασικών σεναρίων (γνωστά ως σενάρια σχεδιασμού επικινδυνότητας – scenarios of hazard formation)
5. Αξιολόγηση των υφιστάμενων μέτρων προστασίας

Ανάλυση επιπτώσεων

6. Πιθανότητα και μέγεθος πιθανών γεγονότων

- i. Τα διάφορα σενάρια καταπτώσεων πρέπει να εξετάζονται για κάθε πηγή διαδικασίας κατά μήκος τυπικών διατομών. Οι δείκτες “ενέργεια πτώσης” και “ύψος αναπήδησης” πρέπει να είναι διαθέσιμοι για το σύνολο του προφίλ ή τουλάχιστον για τα ακόλουθα σημεία:
 - Επίπεδο του οδοστρώματος ή άλλα πιθανές στοιχεία
 - Επίπεδο των υφιστάμενων προστατευτικών κατασκευών
 - Θέσεις στο ανάγλυφο, κατάλληλες για την εγκατάσταση μέτρων προστασίας.
- ii. Σε συγκεκριμένες θέσεις, η μοντελοποίηση της πτώσης από μία πηγή διαδικασίας μπορεί να παραληφθεί (πχ σε απλές περιπτώσεις, όπως μικρές, περισσότερο ή λιγότερο ομοιογενείς ζώνες διέλευσης ή απόθεσης).
- iii. Η επίδραση της φυτοκάλυψης / βλάστησης πρέπει να ληφθεί υπόψη.
- iv. Οι προστατευτικές κατασκευές πρέπει να ληφθούν υπόψη.
- v. Οι υπολογισμοί πρέπει να ελέγχονται για ρεαλισμό
- vi. Οι ακόλουθες παράμετροι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην περίμετρο πιθανών βλαβών:
 - Μέγεθος τεμάχους (πχ το σχετικό μέγεθος τεμάχους στην πηγή διαδικασίας)
 - Χωρική πιθανότητα εμφάνισης
 - Ενέργεια πτώσης (με διευκρίνιση του στατιστικού δείκτη μοντελοποίησης που χρησιμοποιήθηκε, πχ με διάστημα εμπιστοσύνης 90%. Ο στατιστικός δείκτης που χρησιμοποιείται εξαρτάται από το μοντέλο)

7. Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Ταξινόμηση έντασης

Ως ένταση νοείται η κινητική ενέργεια των πίπτοντων τεμαχών.

Με βάση την εμπειρία από ιστορικά γεγονότα κατά μήκος των οδών διέλευσης, η ενέργεια μπορεί να υπερβεί κατά πολύ τα 300 kJ κατά την διάρκεια ενός γεγονότος. Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι η έκταση της ζημιάς των υποδομών που έχουν πληγεί σε μεγάλο βαθμό εξαρτάται από το αν εμφανίζεται μια τιμή των 300 kJ ή τιμές 10 έως 100 φορές υψηλότερες. Για το λόγο αυτό, η ενέργεια ενός γεγονότος σε kJ είναι επίσης ένα σημαντικό χαρακτηριστικό που πρέπει να καταγράφεται μαζί με την κατάταξή του σε κατηγορία (πίνακας 4.4). Η πληροφορία αυτή είναι επίσης χρήσιμη κατά την διαστασιολόγηση των πιθανών μέτρων προστασίας.

Πίνακας 4.4. Ταξινόμηση έντασης (FEDRO, 2009)

| Διαδικασία επικινδυνότητας | Χαμηλή ένταση | Μέτρια ένταση | Υψηλή ένταση |
|--|---------------|-----------------|--------------|
| Καταπτώσεις Βράχων <50cm Ογκολίθων >50cm | E < 30kJ | 30 < E < 300 kJ | E > 300 kJ |
| Χιονοστιβάδα βράχων και κατολισθήσεις βράχων (100 – 100.000 m ³) | ----- | ----- | E > 300 kJ |

*E = κινητική ενέργεια

Πιθανότητα γεωγραφική εμφάνιση

Η πιθανότητα γεωγραφικής εμφάνισης μπορεί να υπολογιστεί ως εξής (βλ. σχήμα 4.3):

$$p_{po} = \frac{ET \times (\text{Διάμετρος τεμάχους, } m)}{(\text{Πλάτος επηρεαζόμενης περιοχής, } m)}$$

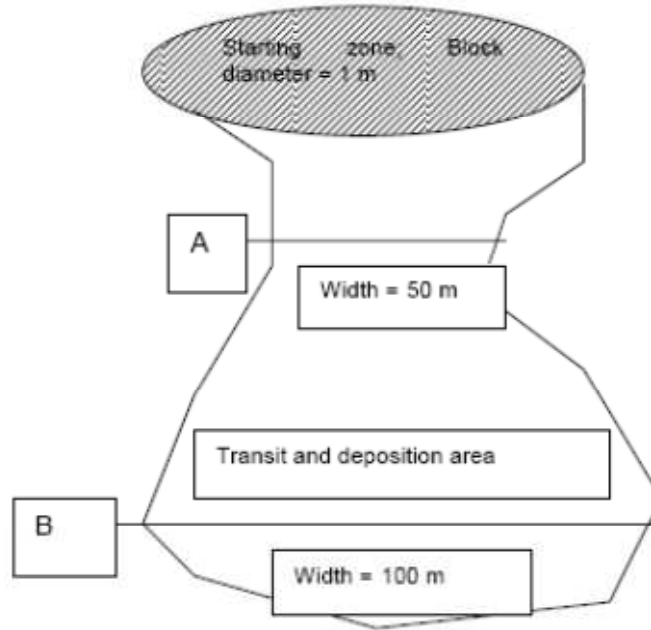
Όπου ET = τύπος συμβάντος

ET = 1 για μεμονωμένες καταπτώσεις βράχων και τεμαχών

ET = 5 για πολλαπλές ταυτόχρονες καταπτώσεις

ET = 10 για μικρές χιονοστιβάδες βράχων

ET = 20 έως 50 για χιονοστιβάδες βράχων



Σχήμα 4.3. Παραγωγή της πιθανότητας γεωγραφικής εμφάνισης: $P_{pro} = 1/50$ στην περίπτωση A και $1/100$ στην περίπτωση B, αγνοώντας την παράμετρο του τύπου του γεγονότος (FEDRO, 2009).

Γ.5. Ανάλυση έκθεσης (σε διακινδύνευση)

Προφίλ ζημιάς

Τα προφίλ ζημιάς πρέπει να καθορίζονται. Πρόκειται για μία αρχική εκτίμηση της διακινδύνευσης που πρέπει ή όχι να συμπεριληφθεί. Η συσχέτιση των σεναρίων εμφάνισης ζημιών που σχετίζονται με την εκτίμηση της διακινδύνευσης, με την αντίστοιχη μεθοδολογία (δηλαδή το σχετικό προφίλ ζημιάς), παρουσιάζονται, για το δρόμο και τις δευτερεύουσες εγκαταστάσεις, στα σχήματα 4.4 και 4.5.

Περιοχή οδού

A. Άμεση πρόσκρουση: Άνθρωποι στην οδό κυκλοφορίας επηρεάζονται άμεσα από την διαδικασία και σκοτώνονται, ως αποτέλεσμα τραυματισμού (μόνο θανατηφόρα συμβάντα – δεν λαμβάνονται υπόψη τραυματισμοί).

B. Σύγκρουση οχημάτων: Μετά από ένα φυσικό γεγονός, οι άνθρωποι βιώνουν τραυματισμό ή ζημιά του οχήματος, από τη σύγκρουσή του με κάποιο όχημα έκτακτης ανάγκης, με αποθέσεις βράχων επί του οδοστρώματος ή με τμήματα κατεστραμμένων κατασκευών, ή λόγω σύγκρουσης με άλλο όχημα, εξαιτίας της ζημιάς στα κατασκευαστικά στοιχεία της οδού (μόνο θανατηφόρα συμβάντα).

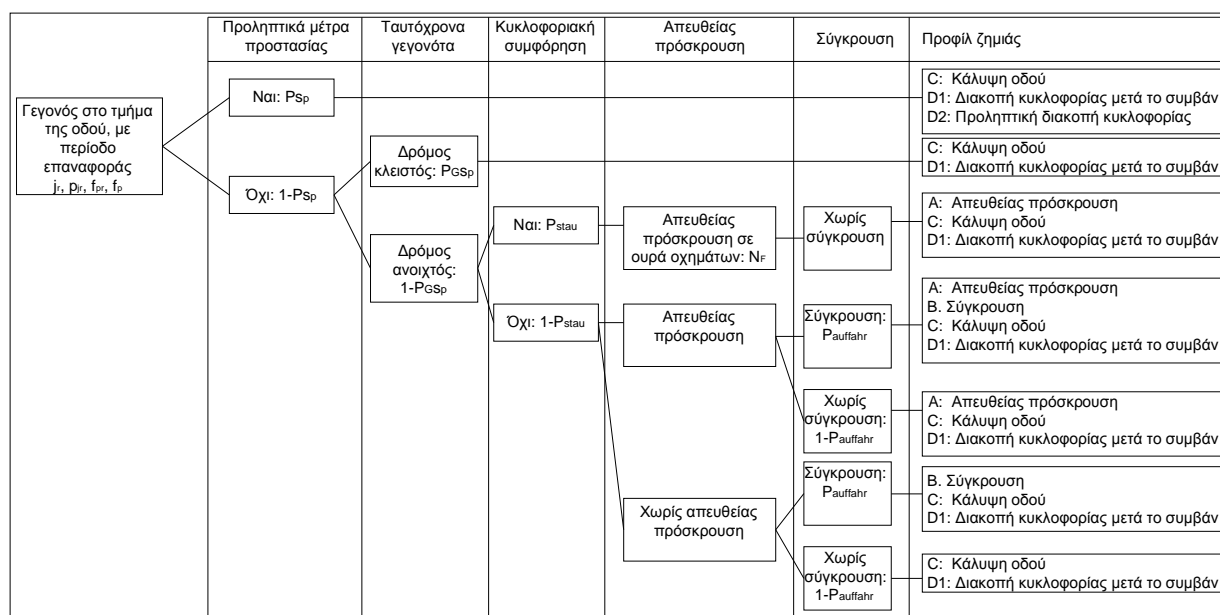
C. Κάλυψη: Μία οδός κυκλοφορίας καλύπτεται από τα υλικά των καταπτώσεων ή καταστρέφεται ως φυσικό αποτέλεσμα του συμβάντος, με συνέπεια το κόστος καθαρισμού και αποκατάστασης.

4. Συστήματα ταξινόμησης διακινδύνευσης βραχοπτώσεων

D. Διαθεσιμότητα: ένα τμήμα της οδού ενδέχεται να μην είναι διαθέσιμο προς χρήση για τους εξής λόγους:

D₁. Διακοπή κυκλοφορίας μετά από ένα συμβάν για τις εργασίες καθαρισμού και αποκατάστασης, ή λόγω της συνεχιζόμενης ύπαρξης του κινδύνου, που έχει ως αποτέλεσμα κόστος για τη μη διαθεσιμότητα της οδού (κόστος παράκαμψης)

D₂. Προληπτική διακοπή λειτουργίας μίας οδού κυκλοφορίας εξαιτίας του επικείμενου κινδύνου, που έχει ως αποτέλεσμα κόστος για τη μη διαθεσιμότητα της οδού (κόστος παράκαμψης).

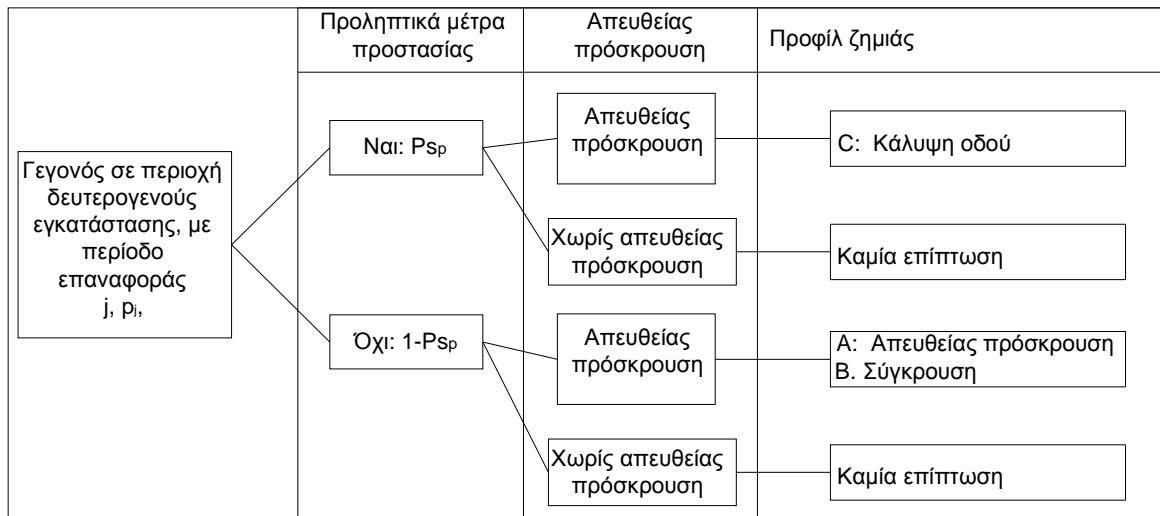


Σχήμα 4.4. Σχετικά σενάρια για συμβάντα επί της περιοχής της οδού (FEDRO, 2009)

Δευτερεύουσες εγκαταστάσεις

A. *Άμεση πρόσκρουση:* Άνθρωποι σε δευτερεύουσες εγκαταστάσεις επηρεάζονται άμεσα από τη διαδικασία, με αποτέλεσμα τραυματισμούς (θανατηφόρα γεγονότα μόνο)

B. *Κάλυψη:* Μία δευτερεύουσα εγκατάσταση καλύπτεται από τα υλικά της κατάπτωσης ή καταστρέφεται μερικώς ή ολοσχερώς, με αποτέλεσμα κόστος αποκατάστασης ή καθαρισμού.



Σχήμα 4.5. Σχετικά σενάρια για συμβάντα σε δευτερεύουσες εγκαταστάσεις (FEDRO, 2009)

Ερμηνεία παραμέτρων

P_j = πιθανότητα εμφάνισης του γεγονότος στο σενάριο j

Η τιμή προκύπτει από την περίοδο επαναφοράς του σεναρίου.

Η πιθανότητα P_j του σεναρίου με περίοδο επαναφοράς j είναι η πιθανότητα ώστε ακόμα και αν η τιμή της περιόδου επαναφοράς j επιτευχθεί ή ακόμα ξεπεραστεί, αυτή της περιόδου επαναφοράς $j+1$ δεν θα επιτευχθεί. Έτσι, η πιθανότητα P_j του σεναρίου j περιγράφεται ως εξής και σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα:

$$P_j, h_j = f_j \quad \rho_j = h_j - h_{j+1}$$

| Περιγραφή πιθανότητας | Περιγραφή συχνότητας | Περίοδος επαναφοράς/χρόνο | ρ_j |
|-----------------------|----------------------|---------------------------|--|
| Πολύ υψηλή | Πολύ συχνή | >0 έως 10 έτη | $= \frac{1}{j} - \frac{1}{30}$ |
| Υψηλή | Συχνή | >10 έως 30 έτη | $= \frac{1}{30} - \frac{1}{100} = 0,02$ |
| Μέτρια | Σπάνια | >30 έως 100 έτη | $\frac{1}{100} - \frac{1}{300} = 0,0067$ |
| Χαμηλή | Πολύ σπάνια | >100 έως 300 έτη | $\frac{1}{300} = 0,0033$ |
| Πολύ χαμηλή | Εξαιρετικά σπάνια | >300 έτη | * θεωρητική περίπτωση, δεν υπολογίζεται |

R_F = συντελεστής οδού

Οι φυσικές διεργασίες κινδύνου δεν επηρεάζουν πάντα το σύνολο του πλάτους της οδού. Ανάλογα την κατάσταση, σταματούν στην λωρίδα έκτακτης ανάγκης ή στο μέσο της οδού. Έτσι, προκύπτουν οι ακόλουθες επιδράσεις (πίνακας 4.5):

Πίνακας 4.5. Τρόποι επιρροής του εκάστοτε προφίλ ζημιάς (FEDRO, 2009)

| Προφίλ ζημιάς στην περιοχή της οδού | Περιοχή επιρροής | Τρόπος επιρροής |
|--|------------------------|---|
| Α. Άμεση πρόσκρουση | Σύνολο οδού | Όλη η Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία (Α.Δ.Τ.) επηρεάζεται |
| | Μία λωρίδα κυκλοφορίας | Φυσιολογικές συνθήκες: Α.Δ.Τ. στη λωρίδα Κυκλοφοριακή συμφόρηση: τα άτομα που επηρεάζονται πρέπει να μειωθούν στα μισά, σύμφωνα με τα παρακάτω $N_{Estau} = (\rho_{max} \times g)/1000$ |
| | Λ.Ε.Α. | Όχι άμεση πρόσκρουση |
| Β. Σύγκρουση | Σύνολο οδού | Πιθανότητα σύγκρουσης, σύμφωνα με τα παρακάτω |
| | Μία λωρίδα κυκλοφορίας | Πιθανότητα σύγκρουσης μισή, σύμφωνα με τα παρακάτω |
| | Λ.Ε.Α. | Χωρίς σύγκρουση |
| C. Κάλυψη οδού | Σύνολο οδού | Μέγεθος ζημιάς |
| | Μία λωρίδα κυκλοφορίας | Μέγεθος ζημιάς μισό από |
| | Λ.Ε.Α. | Μέγεθος ζημιάς 1/4 |
| D ₁ . Διαθεσιμότητα-διακοπή λειτουργίας μετά από συμβάν | Σύνολο οδού | Πρόσθετη παράκαμψη και μήκος |
| | Μία λωρίδα κυκλοφορίας | Εναλλάσσοντας λωρίδες προκύπτει πρόσθετος χρόνος |
| | Λ.Ε.Α. | Η διαθεσιμότητα δεν επηρεάζεται αρνητικά |
| D ₂ . Διαθεσιμότητα-προληπτική διακοπή λειτουργίας | | Δεν επηρεάζει |

f_p = συντελεστής θέσης

Μια φυσική διαδικασία κινδύνου μπορεί να πραγματοποιηθεί δίπλα στο δρόμο, επί του δρόμου, πάνω από δρόμο(π.χ. οροφή γαλαρίας) και κάτω από τον δρόμο (π.χ. γέφυρες)

Η θέση επηρεάζει το προφίλ ζημιάς ως εξής (πίνακας 4.6):

Πίνακας 4.6. Επίδραση θέσης (FEDRO, 2009)

| Θέση φυσικής διαδικασίας επικινδυνότητας ως προς τον δρόμο | Συνάφεια με τα ακόλουθα προφίλ ζημιάς |
|--|--|
| Εγγύς του δρόμου | Τα προφίλ A, B, C, D ₁ δεν σχετίζονται Προφίλ D ₂ : η συνάφεια πρέπει να προσδιορίζεται για το συγκεκριμένο αντικείμενο |
| Επί του δρόμου | Σε αναλογία με την παρούσα μεθοδολογία |
| Ανάντι του δρόμου | Προφίλ A, B, D ₁ : σχετίζονται μόνο όταν η κατασκευή μπορεί να καταρρεύσει Προφίλ C: σχετίζεται όταν η κατασκευή υπόκειται σε βλάβες ή όταν μπορεί να καταρρεύσει Προφίλ D ₂ : η συνάφεια πρέπει να προσδιορίζεται για το συγκεκριμένο αντικείμενο |
| Κατάντι του δρόμου | Προφίλ A, B, D ₁ : σχετίζονται μόνο όταν η κατασκευή μπορεί να καταρρεύσει Προφίλ C: σχετίζεται όταν η κατασκευή υπόκειται σε βλάβες ή όταν μπορεί να καταρρεύσει Προφίλ D ₂ : η συνάφεια πρέπει να προσδιορίζεται για το συγκεκριμένο αντικείμενο |

P_{cl}: προληπτική διακοπή λειτουργίας οδού (πιθανότητα διακοπής κυκλοφορίας p_{cl})

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, ένα τμήμα της οδού κλείνει προληπτικά πριν από την διαδικασία επικινδυνότητας, ή οι άνθρωποι είναι σε θέση να εκκενώσουν τις δευτερεύουσες εγκαταστάσεις την κατάλληλη στιγμή. Για διαδικασίες με δυνατότητα αυτόματου συστήματος παρακολούθησης ή/και κατευθυνόμενες από τον καιρό διεργασίες (ροή χιονιού, νερού και συντριμμιών), η πιθανότητα διακοπής κυκλοφορίας πρέπει να καθορίζεται για κάθε διαδικασία και κάθε σενάριο. Η ακόλουθη κατάταξη πρέπει να ακολουθείται:

| Πιθανότητα διακοπής κυκλοφορίας οδού (p _{cl}) | Το κλείσιμο της οδού είναι: |
|---|-----------------------------|
| 0,9 | Σχετικά σίγουρο |
| 0,5 | Πιθανό |
| 0,1 | Σχετικά απίθανο |
| 0 | Απίθανο |

p_{scl}: διακοπή λειτουργίας οδού ως αποτέλεσμα ταυτόχρονων γεγονότων

Ένα τμήμα του αυτοκινητοδρόμου είναι ήδη ή εξακολουθεί να παραμένει κλειστό για επικείμενα γεγονότα, ως αποτέλεσμα του ίδιου τύπου αρχικού γεγονότος, ή επειδή μία δευτερεύουσα εγκατάσταση έχει ήδη επηρεαστεί από μία διαδικασία του ίδιου γεγονότος που αναμένεται να επηρεάσει την ίδια δευτερεύουσα εγκατάσταση. Ο αριθμός των επικίνδυνων περιοχών (n) μεταξύ των εξόδων δύο αυτοκινητοδρόμων που μπορούν να προκληθούν από το ίδιο μετεωρολογικό γεγονός επίσης λαμβάνεται υπόψη για κάθε σενάριο. Η πιθανότητα υπολογίζεται ως εξής:

$$P_{scl} = a \times (1 - 1/n)$$

Όπου α: μειωτικός συντελεστής που λαμβάνεται συνήθως ίσος με 0.75

n: ο αριθμός των πηγών διαδικασιών μεταξύ των εξόδων δύο αυτοκινητοδρόμων που μπορούν να προκληθούν από το ίδιο μετεωρολογικό γεγονός και φτάνουν μέχρι την οδό.

Για τις διαδικασίες καταπτώσεων βράχων θεωρείται $p_{sci} = 0$.

Διαφοροποίηση μεταξύ των καταστάσεων έκθεσης

Οι διάφορες καταστάσεις έκθεσης πρέπει να φιλτράρονται ως προς την διακινδύνευση των ανθρωπίνων απωλειών.

Η πιθανότητα για τις διάφορες καταστάσεις έκθεσης p_{Exp} μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

Κυκλοφοριακή συμφόρηση:

$$p_{traffic\ jam} = \left(\frac{\text{πλήθος κυκλ. συμφορ. ανά έτος}}{365} \right) \times \left(\frac{\text{μέση διάρκεια συμφόρησης (h)}}{24} \right)$$

Φυσιολογικές συνθήκες:

$$P_{Norm} = 1 - p_{traffic\ jam}$$

Αντικείμενα σε διακινδύνευση

Τύποι αντικειμένων:

Γενικά υπάρχουν τρεις κατηγορίες αντικειμένων που επηρεάζονται από μία φυσική επικινδυνότητα.

| Τύπος αντικειμένου | Τύπος ζημιάς |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">- Άνθρωποι που βρίσκονται στην επηρεαζόμενη ζώνη κατά το γεγονός ή που κατευθύνονταν προς αυτή- Άνθρωποι που βρίσκονται στις δευτερεύουσες εγκαταστάσεις κατά τη διάρκεια του γεγονότος | <ul style="list-style-type: none">- Θάνατος |
| <ul style="list-style-type: none">- Δρόμος και συναφείς κατασκευές | <ul style="list-style-type: none">- Κόστος καθαρισμού και αποκατάστασης- Κόστος ως αποτέλεσμα διακοπής κυκλοφορίας (παρακάμψεις) εξαιτίας του γεγονότος ή των προληπτικών μέτρων |
| <ul style="list-style-type: none">- Δευτερογενείς εγκαταστάσεις | <ul style="list-style-type: none">- Κόστος καθαρισμού και αποκατάστασης |

Πλήθος και πιθανότητα παρουσίας ανθρώπων στην διακινδύνευση

Απευθείας πρόσκρουση

Ο αριθμός των οχημάτων που επηρεάζονται (N_V) μπορεί να υπολογιστεί με βάση την μέση ημερήσια κυκλοφορία (ADT). Η κατάλληλη εποχιακή ADT για το εποχιακό περιστατικό πρέπει να επιλέγεται. Για καταπτώσεις βράχων και ογκολίθων η περίοδος Ιανουάριος μέχρι Δεκέμβριος λαμβάνεται υπόψη.

Ο αριθμός των οχημάτων (N_V) που βρίσκονται στην περιοχή υπολογίζονται ως εξής:

Φυσιολογικές συνθήκες:

$$N_{FNorm} = (ADT \times g) / v \times 24.000$$

Κυκλοφοριακή συμφόρηση

$$N_{F traffic jam} = (\rho_{max} \times g) / 1.000$$

Όπου

g (m) = μήκος του επικίνδυνου τμήματος της οδού, ανά ζώνη έντασης (σύμφωνα με χάρτη έντασης φαινομένων)

v (km/h) = μέγιστη ταχύτητα

ADT = μέση ημερήσια κυκλοφορία

ρ_{max} = μέγιστη πυκνότητα οχημάτων σε περίπτωση κυκλοφοριακής συμφόρησης
= 140 οχήματα/km ανά λωρίδα

Ο αριθμός των ανθρώπων σε διακινδύνευση (N_p) υπολογίζεται ως εξής, θεωρώντας ένα μέσο επίπεδο κατάληψης β :

$$N_p = N_F \times \beta$$

Όπου,

N_p : το πλήθος των ατόμων που επηρεάζονται

N_F : το πλήθος των οχημάτων που επηρεάζονται

β : μέσο επίπεδο κατάληψης = 1.76

Άμεση πρόσκρουση σε δευτερογενείς εγκαταστάσεις

Το πλήθος των ατόμων N_p και η χρονική στιγμή παρουσίας T_p των ατόμων που βρίσκονται στην δευτερεύουσα εγκατάσταση μεταξύ 6:00 και 22:00 πρέπει να προσδιορίζονται για κάθε αντικείμενο.

Σύγκρουση στο δρόμο

Οι ακόλουθοι εξωτερικοί παράγοντες επηρεάζουν την ικανότητα ενός οχήματος να αποφύγει ή να συγκρουστεί με τμήμα της κατεστραμμένης οδού:

Ορατότητα, ταχύτητα, καμπυλότητα και ακτίνα καμπυλότητας στο συγκεκριμένο τμήμα της οδού, πυκνότητα κυκλοφορίας.

Μια μέση τιμή της πιθανότητας να συμβεί μία σύγκρουση θεωρείται ίση με 15%, ανεξαρτήτως του τμήματος του δρόμου. Για την εκτίμηση της πιθανότητας p_{collis} σε συγκεκριμένο τμήμα της οδού, γίνεται η ακόλουθη κατηγοριοποίηση:

| Περιγραφή της πιθανότητας της σύγκρουσης | Όρια κατηγορίας | Τιμή που χρησιμοποιείται στην ανάλυση κινδύνου |
|--|-----------------|--|
| Συχνή | > 0.2 | 0.25 |
| Μέτρια | 0.1 έως 0.2 | 0.15 |
| Απίθανη | < 0.1 | 0.05 |

Τοποθεσία και μέγεθος των σταθερών αντικειμένων

Θεωρούνται τα εξής:

- Οδοί, συμπεριλαμβανομένων ραμπών και δευτερευόντων οδών
- Γέφυρες
- Γαλαρίες
- Σήραγγες (μαζί με τα στόμια)
- Δευτερεύουσες εγκαταστάσεις (περιοχές εξυπηρέτησης, χώροι στάθμευσης, σταθμοί αστυνομίας, κτλ)

Ο καθοριστικός παράγοντας είναι η θέση και το μέγεθος των αντικειμένων αυτών.

Αξία των σταθερών αντικειμένων

Καθορίζεται από έρευνες

Επακόλουθο κόστος της διακοπής κυκλοφορίας

Η διαθεσιμότητα ενός δρόμου ή ενός τμήματος του δρόμου για την οδική κυκλοφορία είναι η κύρια λειτουργία του. Αν δεν διατίθεται, προκύπτουν δαπάνες ως επακόλουθο της εκτροπής. Πρόκειται για έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες για την λήψη μέτρων προστασίας.

Το κόστος που προκύπτει από τις διακοπές, μπορεί να εκτιμηθεί με ένα γενικό κόστος κυκλοφοριακής συμφόρησης. Το κόστος κυκλοφοριακής συμφόρησης μπορεί να αναλυθεί σε απώλεια χρόνου και υψηλό λειτουργικό κόστος, ατυχήματα και περιβαλλοντικό κόστος. Η μη διαθεσιμότητα της οδού δεν αναπαριστάται με ακρίβεια με αυτή τη μέθοδο, αλλά παρέχει ένα κατ'εκτίμηση νούμερο.

Αποτέλεσμα ή ανάλυση συνεπειών

Διακινδύνευση απώλειας ζωής

Άμεση πρόσκρουση στο δρόμο

Σύμφωνα με μεθοδολογίες που έχουν δημοσιευτεί τα τελευταία χρόνια, για να πραγματοποιηθεί η ανάλυση κινδύνου, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες τιμές για την θνησιμότητα που βασίζονται σε παραδοχές και απλοποιήσεις. Συχνά οι τιμές αυτές διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Επίσης, εν μέρει, δέχονται διαφορετικές αρχικές συνθήκες (παραδοχές) και διαφορετικά προφίλ ζημιάς. Συνεπώς είναι εξαιρετικά δύσκολο να προκύψει ένα ακριβές μέγεθος για την ευαισθησία των ανθρώπων και των οχημάτων που επηρεάζονται από μία άμεση πρόσκρουση.

Σύγκρουση στο δρόμο

Για το σενάριο της σύγκρουσης, γίνεται δεκτό ότι η θνησιμότητα, ανεξάρτητα της διαδικασίας και της έντασης, είναι η ίδια με το μέσο όρο θνησιμότητα των τροχαίων των αυτοκινητοδρόμων. Η τιμή αυτή λαμβάνεται ίση με 0.0066 (στην Ελβετία).

Άμεση πρόσκρουση στις δευτερογενείς εγκαταστάσεις

Για αυτό το σενάριο ατυχήματος, γενικά εφαρμόζονται οι ίδιες αρχές για την τρωτότητα σε ζημιά με την “άμεση πρόσκρουση σε δρόμο”. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι οι άνθρωποι, στις δευτερογενείς εγκαταστάσεις, χρησιμοποιούν τόσο τους εξωτερικούς όσο και τους εσωτερικούς χώρους της εγκατάστασης. Χρησιμοποιούνται τιμές κατ’αποκοπήν.

Διακινδύνευση ιδιοκτησίας

Χρησιμοποιούνται, όπως και στα προηγούμενα, τιμές κατ’ αποκοπήν.

Κάλυψη: Κόστος καθαρισμού και αποκατάστασης

Και σε αυτή τη περίπτωση, δεν υπάρχουν επαρκή, επιστημονικά παραδεκτά, στοιχεία για την ποσοτικοποίηση του σεναρίου. Ωστόσο, ο βαθμός αβεβαιότητας είναι σχετικά μικρότερος, συγκρινόμενος με την θνησιμότητα, μιας και υπάρχουν μερικά εμπειρικά στοιχεία, τα οποία όμως δεν έχουν εκτιμηθεί μέχρι στιγμής.

Διαθεσιμότητα: κόστος ως αποτέλεσμα της διακοπής κυκλοφορίας

Όπως έχει αναφερθεί, το προφίλ κινδύνου για την διαθεσιμότητα, πρέπει να τεθεί σε όρους νομισματικών μονάδων, χρησιμοποιώντας το γενικό κόστος της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Η τρωτότητα (πιθανότητα βλαβών) αποτελείται από τα εξής:

- Διάρκεια διακοπής κυκλοφορίας
- Πρόσθετος χρόνος οδήγησης, λόγω της παράκαμψης
- Κόστος για κάθε πρόσθετη ώρα οδήγησης ανά όχημα (πχ γενικό κόστος από την κυκλοφοριακή συμφόρηση)

Διάρκεια διακοπής κυκλοφορίας

Διακρίνονται δύο περιπτώσεις:

- Προληπτική διακοπή κυκλοφορίας
- Διακοπή κυκλοφορίας μετά το γεγονός

Προληπτική διακοπή κυκλοφορίας

Η διάρκεια της διακοπής d_{CLprec} (σε μέρες) και η συχνότητα διακοπής f_{CL} πρέπει να εκτιμώνται. Εάν δεν υπάρχουν περισσότερα ακριβή στοιχεία, χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα:

| Πιθανότητα διακοπής κυκλοφορίας P_{CL} | Η διακοπή κυκλοφορίας είναι: | Απαραίτητη συχνότητα διακοπής f_{CL} | Μέση διάρκεια διακοπής, ανά διακοπή d_{CLprec} (days) |
|--|------------------------------|--|---|
| 0,9 | Σχετικά πιθανή | 4 | Υπολογίζεται για κάθε αντικείμενο |
| 0,5 | Πιθανή | 2 | |
| 0,1 | Σχετικά απίθανη | 1 | |

Διακοπή κυκλοφορίας μετά το γεγονός

Η διάρκεια της διακοπής d_{CLE} μπορεί να περιγραφεί ανάλογα με την ένταση του γεγονότος και βασίζεται στην ποιοτική περιγραφή των κατηγοριών έντασης:

| Ένταση γεγονότος | Μέση διάρκεια διακοπής | Τιμή για την d_{CLE} (days) |
|------------------|------------------------|-------------------------------|
| 1 (ασθενές) | 1 h | 1/24 |
| 2 (μέτρια) | 1 ημέρα | 1 |
| 3 (ισχυρό) | 1 εβδομάδα | 7 |

Πρόσθετος χρόνος οδήγησης λόγω παράκαμψης

Εάν υπάρχουν πιθανές παρακάμψεις, ο πραγματικός πρόσθετος χρόνος που απαιτείται για τη μετακίνηση από το Α στο Β πρέπει να καθοριστεί. Οι πιο λογικές διαδρομές πρέπει να επιλεγούν για αυτό τον υπολογισμό. Πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη, τα ακόλουθα:

1. Εξακρίβωση εάν οι λωρίδες οδήγησης και στις δύο κατευθύνσεις επηρεάζονται.
2. Εάν μόνο μία λωρίδα ή μία κατεύθυνση έχει επηρεαστεί, η ελεύθερη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παρακαμπτήριο. Η πρόσθετη επιβάρυνση σε χρόνο είναι 15 λεπτά.
3. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι και οι πιθανές παρακαμπτήριες οδοί μπορεί να κλείσουν. Συνεπώς πρέπει να υπολογιστούν τρεις παρακαμπτήριες, με πιθανότητα $p_{detour1...3}$, όπου για κάθε διαδικασία και σενάριο, θα πρέπει $\sum_1^3 p_{detour i} = 1$
4. Οι παρακάμψεις ορίζονται με βάση το εθνικό οδικό δίκτυο και την αντίστοιχη Υπηρεσία.
5. Υπολογισμός του πρόσθετου χρόνου οδήγησης (d_{detour}) λόγω παράκαμψης, ανά διαδρομή.
6. Εάν ο πρόσθετος χρόνος είναι μεγαλύτερος από τον αναμενόμενο χρόνο διακοπής της κυκλοφορίας, τότε λαμβάνεται ίσος με τον τελευταίο.
7. Εάν η περιοχή γίνει πλέον απροσπέλαστη, χωρίς πιθανές παρακάμψεις, τότε θεωρείται χρόνος 8.3h κυκλοφοριακής συμφόρησης για κάθε μέρα διακοπής κυκλοφορίας (χωρίς να χρησιμοποιούνται άλλου είδους μέσα μεταφοράς).

8. Υπολογισμός μέσου πρόσθετου χρόνου οδήγησης λόγω παράκαμψης:

$$\sum_1^3 (d_{detour1\dots3} \times p_{detour1\dots3})$$

Γενικό κόστος κυκλοφοριακής συμφόρησης

Αποτελείται από:

- Απώλεια χρόνου για τους χρήστες
- Λειτουργικό κόστος ως επακόλουθο της αλλαγής των οδηγικών συνθηκών
- Περιβαλλοντικό κόστος ως αποτέλεσμα της διάνυσης μεγαλύτερων αποστάσεων

Το λειτουργικό, το περιβαλλοντικό και το κόστος ατυχήματος, αθροιστικά είναι περίπου το 10% από το συνολικό κόστος του χρόνου.

Υπολογισμός Διακινδύνευσης (Γενικά)

Υπολογισμός διακινδύνευσης:

Διακινδύνευση για το αντικείμενο i του σεναρίου j ($R_{i,j}$) :

$$R_{i,j} = P_{\psi_{i,j}} \times S_{i,j}$$

$P_{\psi_{i,j}}$: πιθανότητα ζημιάς για το αντικείμενο i , βάση του σεναρίου j

$S_{i,j}$: εύρος ζημιάς για το αντικείμενο i , βάση του σεναρίου j

με:

$$P_{\psi_{i,j}} = p_j \times p_{i,j}$$

$$S_{i,j} = A_i \times v_{i,j}$$

p_j : πιθανότητα του σεναρίου j

$p_{i,j}$: πιθανότητα ένα αντικείμενο να εκτεθεί στο σενάριο j

A_i : αξία του αντικειμένου i

$v_{i,j}$: τρωτότητα σε ζημιά για το αντικείμενο i , για το σενάριο j

Διακινδύνευση σεναρίου j $R_j = \sum_j R_{i,j}$

Συνολική Διακινδύνευση $R_j = \sum_j R_j$

4.4. Quantitative Risk Assessment – Corominas & Mova, 2008 (QRA)

Γενικά

Το σύστημα ποσοτικής ανάλυσης διακινδύνευσης QRA αποτελεί ένα βασικό εργαλείο για την διαχείριση της επικινδυνότητας μίας κατάπτωσης και για το σχεδιασμό των μέτρων μείωσης της διακινδύνευσης. Για τον προσδιορισμό του επιπέδου της επικινδυνότητας απαιτούνται (Corominas & Mova, 2008):

- Ο προσδιορισμός των πιθανών σημείων αποκόλλησης βράχων
- Η εύρεση της κατανομής του όγκου των τεμαχών βράχου που αποκολλώνται
- Ο προσδιορισμός της συχνότητας των γεγονότων κατάπτωσης
- Η διεξαγωγή αναλύσεων τροχιάς των βράχων που αποκολλώνται με ένα τρισδιάστατο αριθμητικό μοντέλο

Με τη μέθοδο QRA εκτιμάται η διακινδύνευση για τους ανθρώπους που ταξιδεύουν στον αυτοκινητόδρομο και αξιολογείται η ανεκτικότητα της συγκεκριμένης διακινδύνευσης έναντι των ανεκτών κριτηρίων διακινδύνευσης, θεωρώντας μόνο άμεση σύγκρουση των οχημάτων με τα καταπίπτοντα τεμάχια (Pina, 2008).

Διαδικασία εφαρμογής QRA

Η διαδικασία εφαρμογής της μεθόδου αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα (Corominas & Mova, 2008):

1. Ανάλυση της επικινδυνότητας βραχοπτώσεων με τον καθορισμό της σχέσης μεταξύ συχνότητας – μεγέθους βραχοπτώσεων
2. Εκτίμηση της πιθανότητας να συγκρουστούν τα υλικά της κατάπτωσης με κτίρια και ανθρώπους.
3. Προσδιορισμός της τρωτότητας των, εκτιθέμενων σε επικινδυνότητα, στοιχείων
4. Ανάλυση της αποτελεσματικότητας των μέτρων προστασίας από τα καταπίπτοντα βραχώδη τεμάχια και υπολογισμός της παραμένουσας επικινδυνότητας των τεμαχών που είναι ικανά να υπερπηδήσουν τα εμπόδια – μέτρα προστασίας

Στη συνέχεια υπολογίζεται η αξία της ετήσιας απώλειας της ιδιοκτησίας, $R_{(prop)}$ και η ετήσια πιθανότητα απώλειας ζωής (loss of life probability), $P_{(LOL)}$ από τις εξισώσεις:

$$R_{(prop)} = P_{(L)} \times P_{(T:L)} \times P_{(S:T)} \times V_{(prop:S)} \times E$$

$$R_{(LOL)} = P_{(L)} \times P_{(T:L)} \times P_{(S:T)} \times V_{(D:T)}$$

Όπου

$P_{(L)}$ Η συχνότητα ενός γεγονότος βραχοπτώσης δεδομένου μεγέθους

$P_{(T:L)}$ η πιθανότητα τα υλικά μίας βραχοπτώσης να φτάσουν το στοιχείο που βρίσκεται σε κίνδυνο

$P_{(S:T)}$ η χωροχρονική πιθανότητα του στοιχείου που βρίσκεται σε κίνδυνο

$V_{(prop:S)}$ η τρωτότητα ενός στοιχείου σε κίνδυνο σε σχέση με το γεγονός της βραχόπτωσης

E το στοιχείο σε κίνδυνο (πχ η αξία ή η καθαρά παρούσα αξία (NPV) της ιδιοκτησίας)

$V_{(D:T)}$ η τρωτότητα ενός ατόμου σε σχέση με το γεγονός της βραχόπτωσης

Στη συνέχεια προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά της επικινδυνότητας.

Προσδιορισμός των σημείων αποκόλλησης των τεμαχών

Ο προσδιορισμός των πιθανών σημείων αποκόλλησης μπορεί να βασιστεί σε δύο δείκτες αστάθειας:

α. Την παρουσία επικρεμάμενων όγκων

β. Την παρουσία μαζών βράχων που στηρίζονται σε δυσμενώς προσανατολισμένες ασυνέχειες, οι οποίες τέμνουν το μέτωπο του πρηνούς

Οι ζώνες, που περιλαμβάνουν τα παραπάνω σημεία, χαρτογραφούνται και θεωρούνται ως σημεία εκκίνησης των βραχοπτώσεων στις αναλύσεις τροχιάς.

Μέγεθος των γεγονότων

Οι αναλύσεις συχνότητας – μεγέθους αποτελούν μία συχνή προσέγγιση για τον χαρακτηρισμό της παρουσίας φυσικών φαινομένων επικινδυνότητας όπως είναι οι σεισμοί, οι πλημμύρες και οι χιονοπτώσεις.

Το μέγεθος μίας βραχόπτωσης εκφράζεται συχνά μέσω του όγκου της αποκολλημένης μάζας. Ωστόσο, η δριμύτητα των φαινομένων των βραχοπτώσεων ορίζεται καλύτερα από την έντασή τους. Η μέγιστη ταχύτητα μετατόπισης και η κινητική ενέργεια είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες της έντασης των βραχοπτώσεων. Η κινητική ενέργεια είναι η θεμελιώδης παράμετρος για τον σχεδιασμό των μέτρων προστασίας.

Ωστόσο, αναλύσεις (Corominas & Moya, 2008) έδειξαν ότι το μέγεθος των τεμαχών που φτάνουν μέχρι τον πόδα του πρηνούς είναι συχνά αισθητά μικρότερο από αυτό που έχουν τα τεμάχια στην περιοχή αποκόλλησης. Αυτό, προφανώς, οφείλεται στην επίδραση που έχει το έδαφος στα τεμάχια, όταν τα τελευταία τεμαχίζονται σε μικρότερα τεμάχια κατά την πτώση και την κρούση τους με το έδαφος. Μόνο ένα μικρό ποσοστό των τεμαχών αυτών είναι σε θέση να φτάσουν μέχρι τον πόδα του πρηνούς (που συνήθως αποτελείται από κορήματα).

Διάφορες εκφράσεις έχουν δοθεί για τον προσδιορισμό του διορθωμένου όγκου (V_c). Κατά Corominas & Moya, 2008, εκφράζεται βάση του όγκου του αποκολλώμενου

τεμάχους στο μέτωπο του πρσανούς (V_r) σε σχέση με τον όγκο του τεμάχους που μετρείται στον πόδα του (V_s), σύμφωνα με τον τύπο:

$$V_c = \frac{4V_s + V_r}{5}$$

Η έκφραση αυτή εφαρμόζεται για την δημιουργία μίας νέας ογκομετρικής κατανομής για τα τεμάχη των βράχων, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις αναλύσεις τροχιάς.

Η σχέση συχνότητας – μεγέθους προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της συχνότητας των γεγονότων βραχοπτώσεων με το ποσοστό κάθε μεγέθους των τεμαχών που προέκυψαν από τη διορθωμένη ογκομετρική κατανομή. Ωστόσο, η πιθανότητα αποκόλλησης ενός πολύ μεγάλου ογκολίθου που ενδέχεται να προκαλέσει μία χιονοστιβάδα βράχων, αν και είναι πολύ μικρή, δεν πρέπει να αγνοηθεί.

Εκτίμηση Συχνότητας

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για την ποσοτική εκτίμηση της συχνότητας των καταπτώσεων. Ιστορικά δεδομένα, συστήματα βαθμολόγησης αστάθειας πρσανούς, γεωμορφολογικά στοιχεία, σχέσεις μεταξύ γεγονότων υποβοήθησης εκδήλωσης του φαινομένου (πχ βροχοπτώσεις, σεισμοί), κρίση ειδικών και έμπειρων επιστημόνων, προσομοίωση κύριας μεταβλητής, πιθανολογικές μέθοδοι ή συνδυασμός αυτών.

Στην περίπτωση των βραχοπτώσεων, ο προσδιορισμός της συχνότητας συνήθως βασίζεται σε πιθανολογικές προσεγγίσεις. Σχέσεις μεγέθους και σωρευτικής συχνότητας προκύπτουν από την καταγραφή ιστορικών δεδομένων σε οδούς κυκλοφορίας.

Εκτίμηση διακινδύνευσης

Τρωτότητα

Τρωτότητα νοείται ο βαθμός της απώλειας ενός στοιχείου εντός της ζώνης που επηρεάζεται από την κατολίσθηση. Η βασική μορφή βλάβης μπορεί να είναι είτε κατασκευαστική, είτε σωματική είτε λειτουργική. Δύο βασικοί παράγοντες εκτιμούν την αντοχή και την τρωτότητα που παράγεται από την βραχοπτώση: η ένταση της επίπτωσής της και η φύση του στοιχείου (κατασκευή ή άνθρωπος). Η τρωτότητα επιδέχεται τιμές μεταξύ 0 (καμία απώλεια) και 1 (πχ θάνατος).

Διακινδύνευση βραχοπτώσης στον πόδα πρσανούς κορημάτων, χωρίς μέτρα προστασίας

Προσδιορίζεται η πιθανότητα κατά την οποία ένα καταπίπτον τέμαχος, δεδομένης έντασης, θα φτάσει μέχρι τον πόδα του πρσανούς και θα πλήξει είτε κατασκευή είτε άνθρωπο.

Τόσο η ένταση όσο και η απόσταση μετακίνησης του τεμάχου, μπορούν να προσδιοριστούν από τις αναλύσεις τροχιάς ενός μεμονωμένου τεμάχου βράχου. Η προσομοίωση πραγματοποιείται για διάφορες διαστάσεις του τεμάχου, ανάλογα με την ογκομετρική κατανομή. Η κινητική ενέργεια υπολογίζεται κατά μήκος μίας γραμμής (που αποκαλείται όριο ανάπτυξης). Η γραμμή αυτή πρακτικά συμπίπτει με το ανώτερο όριο που οριοθετεί την οικιστική ζώνη.

Διακινδύνευση της ιδιοκτησίας

Η διακινδύνευση εντός μίας κατοικημένης περιοχής, εξαιτίας μία κατάπτωσης βράχων, όπου δεν έχουν ληφθεί μέτρα προστασίας, εκτιμάται σύμφωνα με την εξίσωση που ήδη αναφέρθηκε:

$$R_{(prop)} = P_{(L)} \times P_{(T:L)} \times P_{(S:T)} \times V_{(prop:S)} \times E$$

στην οποία η παράμετρος E (το στοιχείο σε κίνδυνο) δεν λαμβάνεται υπόψη. Έτσι, η πιθανή ετήσια απώλεια της ιδιοκτησίας (R_U) δίνεται από την σχέση:

$$R_{(U)} = P_{(R)} \times P_{(T:R)} \times P_{(S:T)} \times V_{(prop:S)}$$

Όπου

$R_{(U)}$ η αξία της ετήσιας απώλειας της ιδιοκτησίας, για πρηνή χωρίς προστασία

$P_{(R)}$ η συχνότητα εμφάνισης ενός γεγονότος βραχοπτώσεως, δεδομένου όγκου

$P_{(T:R)}$ η πιθανότητα να φτάσει η βραχοπτώση το όριο ανάπτυξης

$P_{(S:T)}$ η χωροχρονική πιθανότητα των εκτιθέμενων κτιρίων

$V_{(prop:S)}$ η τρωτότητα των κτιρίων που εκτίθενται σε κίνδυνο

Η $P_{(R)}$ συνήθως προσδιορίζεται στα σημεία αποκόλλησης και δίνεται για ένα εύρος όγκου βραχοπτώσεων (πχ $<1m^3$, $1-5m^3$, $>5m^3$), πολλαπλασιάζοντας τη συχνότητα που προκύπτει από τις ιστορικές καταγραφές με τον συντελεστή βαρύτητας κάθε μεγέθους όπως προκύπτει από την κατανομή συχνοτήτων για κάθε όγκο. Έτσι, η προηγούμενη σχέση μετατρέπεται στην ακόλουθη:

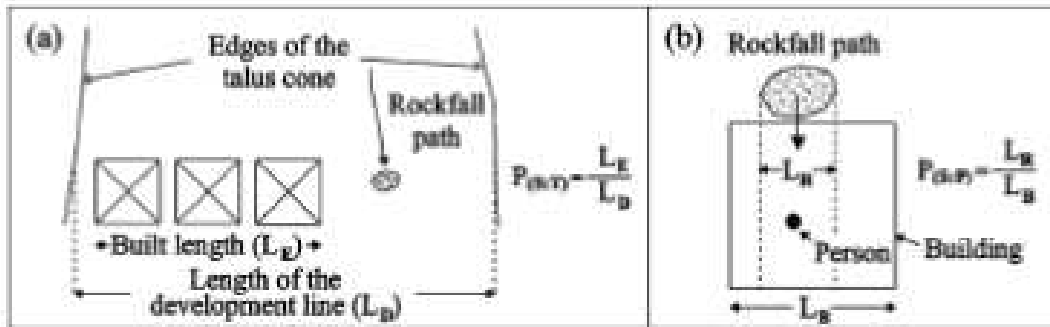
$$R_{(U)} = \sum_{i=1}^k (P_{(R)t} \times P_{(T:R)} \times P_{(S:T)} \times V_{(prop:S)t})$$

όπου k το πλήθος των βαθμίδων του όγκου που θεωρήθηκαν.

Συντηρητικά εκτιμάται ότι όλα τα τεμάχη, ανεξαρτήτως μεγέθους, είναι ικανά να φτάσουν το όριο ανάπτυξης ($P_{(T:R)}=1$). Η εκτίμηση αυτή είναι συντηρητική, καθώς τα ιστορικά στοιχεία περιλαμβάνουν τα γεγονότα εκείνα που η κατάπτωση έφτασε στον πόδα του πρηνούς, χωρίς να ξεπέρασαν απαραίτητα το όριο ανάπτυξης.

Η $P_{(S:T)}$ είναι η χωροχρονική πιθανότητα ενός στοιχείου που βρίσκεται σε διακινδύνευση. Στην περίπτωση των κτιρίων, ορίζεται ως ο λόγος μεταξύ του μήκους

που καταλαμβάνουν τα κτίρια και του μήκους της γραμμής ανάπτυξης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 4.6.α (Corominas & Moya, 2008).



Σχήμα 4.6. Γεωμετρικές σχέσεις που ορίζονται μεταξύ $P_{(S:T)}$ και $P_{(S:P)}$ (Corominas & Moya, 2008)

Διακινδύνευση που αφορά ανθρώπους

Για να υπάρξει επίδραση σε ανθρώπους, θα πρέπει το άτομο και το τμήμαχος βράχου να συμπέσουν τόσο χωρικά, όσο και χρονικά.

- Ατομική διακινδύνευση ($P_{(ILOL)}$)
Αφορά ένα άτομο που βρίσκεται εντός ενός κτιρίου. Θεωρείται πως για κάθε γεγονός βραχοπτώσεως, μόνο ένα τμήμαχος μπορεί να φτάσει το όριο ανάπτυξης. Η ατομική διακινδύνευση προκύπτει από τη σχέση:

$$P_{(ILOL)} = P_{(R)} \times P_{(T:R)} \times P_{(S:T)} \times P_{(T:P)} \times P_{(S:P)} \times V_{(D:T)}$$

Όπου,

$P_{(S:T)}$ η χωροχρονική πιθανότητα του συγκεκριμένου κτιρίου που βρίσκεται σε κίνδυνο

$P_{(T:P)}$ η χρονική πιθανότητα ενός ανθρώπου να βρίσκεται στο κτίριο

$P_{(S:P)}$ η χωρική πιθανότητα ενός ανθρώπου να βρίσκεται στην τροχιά του καταπίπτοντος βράχου, όταν αυτός συγκρούεται με το κτίριο

$V_{(D:T)}$ η τρωτότητα του ατόμου

Οι $P_{(R)}$ και $P_{(T:R)}$ όπως προηγουμένως.

Η $P_{(S:T)}$ εκφράζεται ως το μήκος του κτιρίου (L_B) προς το μήκος της γραμμής ανάπτυξης (L_D), δηλαδή

$$P_{(S:T)1} = L_B / L_D$$

Η ατομική διακινδύνευση εξαρτάται από το μέγεθος του καταπίπτοντος βράχου. Όσο μεγαλύτερο το μέγεθος του τεμάχου, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα της σύγκρουσης. Η θεώρηση αυτή λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της $P_{(S:P)}$, που λαμβάνεται από τη γεωμετρική σχέση του παραπάνω σχήματος (β). Η σύγκρουση θα πραγματοποιηθεί εάν το άτομο βρίσκεται στην τροχιά του βράχου, σε ένα εύρος πλάτους L_R , όσο το μέγεθος

του τεμάχους. Το άτομο θεωρείται ως ένα σημείο που βρίσκεται σε τυχαία θέση κατά μήκος της εκτιθέμενης πλευράς του κτιρίου L_B . Συνεπώς, θα ισχύει

$$P_{(S:P)1} = L_R/L_B$$

Για διάφορα μεγέθη καταπιπτόντων τεμαχίων προκύπτουν διαφορετικές τιμές για την πιθανότητα $P_{(S:P)}$. Συνεπώς θα ισχύει

$$P_{(LOL)} = \sum_{i=1}^k (P_{(R)i} \times P_{(T:R)} \times P_{(S:T)} \times P_{(T:P)} \times P_{(S:P)i} \times V_{(D:T)})$$

όπου k το πλήθος των βαθμίδων του όγκου που θεωρήθηκαν.

Η χρονική πιθανότητα ενός ανθρώπου να βρίσκεται στο κτίριο $P_{(T:P)}$ ορίζεται θεωρώντας διάφορα σενάρια της παραμονής του ατόμου στο κτίριο.

- Κοινωνική διακινδύνευση

Αφορά την ετήσια πιθανότητα να σκοτωθούν, εξαιτίας των βραχοπτώσεων, ένα ή περισσότερα άτομα που βρίσκονται εντός κτιρίων. Εάν δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία, γίνονται υποθέσεις όπως πχ: (α) για μία ιδιοκτησία 100m² θα βρίσκονται 2 άτομα εάν πρόκειται για αποθήκες, εργοστάσια ή συνεργεία και 3 άτομα εάν πρόκειται για σπίτια και διαμερίσματα, (β) κάθε ιδιοκτησία θεωρείται ότι έχει 10m εκτιθέμενη, στην βραχόπτωση, πλευρά. Υπολογίζεται η πιθανότητα απώλειας της ζωής των ατόμων που βρίσκονται εντός του κτιρίου ($P_{(LOL:B)}$), εκτιμώντας την πιθανότητα μία κατάπτωση να επηρεάσει το κτίριο και το πλήθος των ατόμων που συνήθως βρίσκονται εντός αυτού.

Σε ένα κτίριο που διαμένουν τρία άτομα, η βραχόπτωση ενδέχεται να σκοτώσει ένα, δύο ή και τα τρία άτομα, θεωρώντας ότι το κτίριο δεν θα καταρρεύσει από την σύγκρουση. Προκύπτει:

$$P_{(LOL:B)} = (3 \times P_{(K)} \times (1 - P_{(K)})^2) + (3 \times P_{(K)}^2 \times (1 - P_{(K)})) + P_{(K)}^3$$

Η πιθανότητα $P_{(K)}$ αντιστοιχεί στο γινόμενο του $P_{(T:P)}$ με το $P_{(S:P)}$ και της τρωτότητας $V_{(D:T)}$, που αντικατοπτρίζει την πιθανότητα μία επίπτωση να παράγει απώλεια μίας συγκεκριμένης ζωής, με την προϋπόθεση ότι ένα τέμαχος συγκρούεται με ένα σπίτι. Ο πρώτος όρος της εξίσωσης αντιστοιχεί στην πιθανότητα απώλειας ζωής καθενός από τα τρία άτομα, ο δεύτερος στην πιθανότητα απώλειας ζωής δύο εκ των τριών και ο τρίτος όρος και των τριών ατόμων.

Εάν στο κτίριο βρίσκονται δύο άτομα, η σχέση μετατρέπεται ως εξής:

$$P_{(LOL:B)} = (2 \times P_{(K)} \times (1 - P_{(K)})^2) + P_{(K)}^3$$

Η ετήσια πιθανότητα απώλειας τουλάχιστον μίας ζωής δίνεται από τη σχέση:

$$P_{(LOL)} = P_{(R)} \times P_{(T:R)} \times P_{(S:T)} \times P_{(LOL:B)}$$

Για όλο το εύρος του μεγέθους των τεμαχίων, θα ισχύει:

$$P_{(LOL)} = \sum_{i=1}^k P_{(R)i} \times P_{(T:R)} \times P_{(S:T)} \times P_{(LOL:B)i}$$

Η μέθοδος QRA στην περίπτωση οδικής αρτηρίας

Γενικά

Κατά Pina, 2008, το Μοντέλο Δεσμευμένων Επιπτώσεων (Τρωτότητας) (Conditional Consequence (Vulnerability) Model) αποτελείται από τον υπολογισμό της κατανομής της πιθανότητας του πλήθους και της δριμύτητας των απωλειών για κάθε συγκεκριμένη επικινδυνότητα, η οποία αντιπροσωπεύει τον όγκο των εναπομεινάντων τεμαχών βράχων στο οδόστρωμα.

Με τη μέθοδο QRA προσδιορίζεται η διακινδύνευση των ατόμων που κινούνται σε μία οδική αρτηρία και εκτιμάται η ανεκτικότητα της διακινδύνευσης έναντι αποδεκτών κριτηρίων.

Όλες οι μέθοδοι εκτίμησης της διακινδύνευσης βασίζονται στη γενική σχέση (Varnes, 1984):

$$R = (H \times V) \times E = R_s \times E$$

η οποία διαφοροποιείται ανά τους μελετητές.

Στην παραπάνω σχέση ορίζονται τα ακόλουθα:

Φυσική επικινδυνότητα (H) είναι η πιθανότητα εμφάνισης, εντός συγκεκριμένης χρονικής περιόδου και σε συγκεκριμένη περιοχή, ενός επιβλαβούς φαινομένου.

Στοιχείο σε διακινδύνευση (E) είναι ο πληθυσμός, οι ιδιοκτησίες, οι οικονομικές δραστηριότητες, οι δημόσιες υπηρεσίες, που βρίσκονται στην επικίνδυνη περιοχή.

Τρωτότητα (V) είναι ο βαθμός της απώλειας ενός δεδομένου στοιχείου ή μίας ομάδας στοιχείων που βρίσκονται σε κίνδυνο εξαιτίας της εμφάνισης ενός φυσικού φαινομένου, δοσμένου μεγέθους. Εκφράζεται στην κλίμακα από 0 (καμία βλάβη) έως 1 (ολική απώλεια).

Ειδική διακινδύνευση (R_s) είναι ο αναμενόμενος βαθμός απωλειών, εξαιτίας ενός συγκεκριμένου φυσικού φαινομένου. Προκύπτει από το γινόμενο H x V.

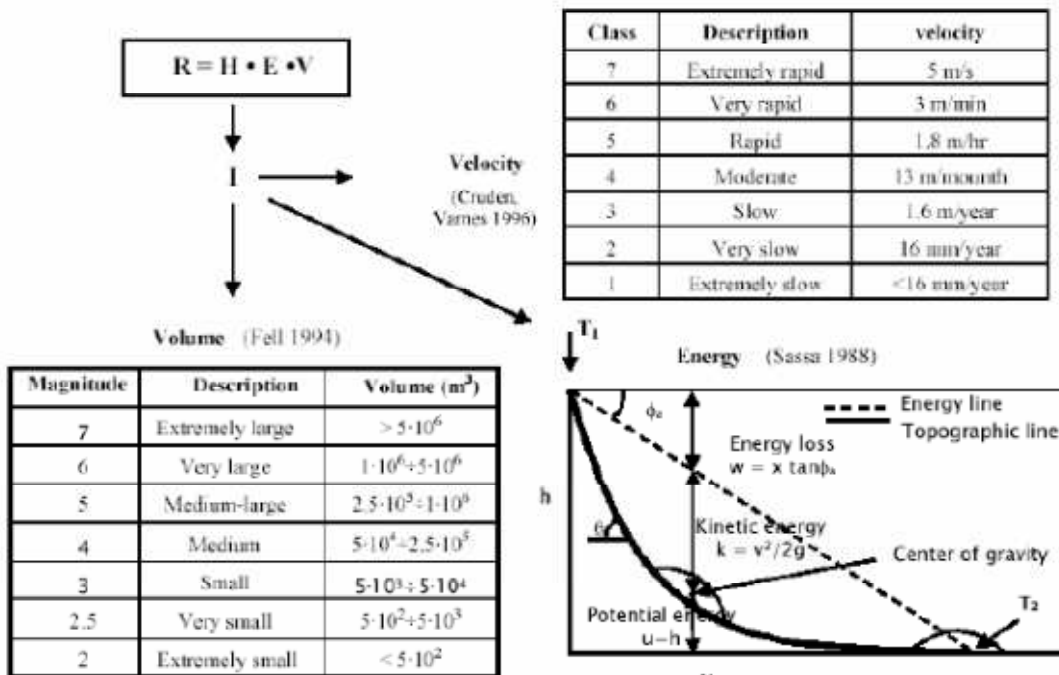
Συνολική διακινδύνευση (R) είναι το αναμενόμενο πλήθος απώλειας ανθρώπινων ζών, τραυματισμών, ζημιάς σε ιδιοκτησίες ή διακοπή οικονομικής δραστηριότητας, εξαιτίας ενός συγκεκριμένου φυσικού φαινομένου. Συνεπώς είναι το γινόμενο R_s x E.

Παράγοντες διακινδύνευσης

Ένταση

Ο προσδιορισμός της έντασης ενός φυσικού φαινομένου, σε δεδομένη χρονική περίοδο και δεδομένη περιοχή, αποτελεί μία εξαιρετικά δύσκολη διεργασία και σχετίζεται αυστηρά με το ιστορικό των καταπτώσεων ή το δυναμικό της ασταθούς περιοχής. Ο παράγοντας αυτός εξαρτάται από την ταχύτητα της μετακινούμενης μάζας, τον όγκο της ασταθούς μάζας και την κινητική ενέργεια της κατάπτωσης.

Παραδείγματα των προσπαθειών διάφορων μελετητών να προσδιορίσουν την ένταση μίας κατάπτωσης φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα (Pina, 2008).



Σχήμα 4.7. Διαφορετικοί ορισμοί της έντασης της κατολίσθησης (Pina, 2008)

Ανάλυση επικινδυνότητας

Πρόκειται για τη διαδικασία ταυτοποίησης και χαρακτηρισμού των πιθανών καταπτώσεων, καθώς και την εκτίμηση των αντίστοιχων συχνοτήτων εμφάνισης. Για την πραγματοποίησή της ανάλυσης επικινδυνότητας, πρέπει να γίνουν τα ακόλουθα:

- Χαρακτηρισμός επικινδυνότητας κατάπτωσης. Απαιτείται η πλήρη γνώση όλων των διεργασιών και της σχέσης τους με τα γεωμορφολογικά, γεωλογικά, υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά, τους μηχανισμούς αστοχίας, τις κλιματικές συνθήκες και την βλάστηση. Σκοπός είναι η κατηγοριοποίηση των πιθανών τύπων κατάπτωσης, η εκτίμηση του φυσικού εύρους κάθε πιθανής μετακίνησης, ο προσδιορισμός των πιθανών γεγονότων που εκκινούν το φαινόμενο, εκτίμηση της απόστασης που θα φτάσει η μετακίνηση, της τροχιάς που θα ακολουθηθεί, της ταχύτητας της και τέλος η αναγνώριση πιθανών πρόδρομων, της κατάπτωσης, φαινομένων.

- Ανάλυση συχνότητας. Εκφράζεται σε όρους: (α) πλήθους καταπτώσεων συγκεκριμένων χαρακτηριστικών ανά έτος, (β) πιθανότητας ενός πρηνούς να αστοχήσει σε συγκεκριμένη περίοδο, (γ) πιθανότητας να υπερνικηθούν οι δυνάμεις που αντιστέκονται στη μετακίνηση, πχ θεωρώντας την ετήσια πιθανότητα μία κρίσιμη πίεση πόρων να ξεπεραστεί.

Για τον προσδιορισμό της συχνότητας χρησιμοποιούνται στοιχεία από ιστορικά δεδομένα, εμπειρικές μεθόδους, γεωμορφολογικά στοιχεία που σχετίζονται με τα ιστορικά δεδομένα, σχέσεις της συχνότητας και της έντασης των φαινομένων με άλλα φυσικά αίτια (πχ βροχοπτώσεις, σεισμοί), απευθείας εκτίμηση από ειδικούς, προσομοίωση της κύριας μεταβλητής, εφαρμογή πιθανολογικών μεθόδων που αφορούν την αβεβαιότητα της γεωμετρίας του πρηνούς, της διατμητικής αντοχής, του μηχανισμού αστοχίας και των πιέσεων πόρων. Ο συνδυασμός μερικών εκ των ανωτέρω μεθόδων κρίνεται δόκιμος, εάν είναι εφικτός.

- Ανάλυση επιπτώσεων. Περιλαμβάνει: (α) την αναγνώριση και ποσοτικοποίηση των στοιχείων σε διακινδύνευση, περιλαμβανομένων των ιδιοκτησιών και των ανθρώπων, (β) την εκτίμηση των χωρικών και χρονικών πιθανοτήτων των στοιχείων σε κίνδυνο – $P_{S:T}$, (γ) την εκτίμηση της τρωτότητας των στοιχείων σε κίνδυνο, με όρους ζημιάς ιδιοκτησιών – $V_{prop:T}$ – και απώλειες ζωής/τραυματισμούς – $V_{D:T}$ – .

- Στοιχεία σε διακινδύνευση. Περιλαμβάνει πληθυσμό, κτίρια, κατασκευές, υποδομές, οχήματα, περιβαλλοντικά στοιχεία και οικονομικές δραστηριότητες που επηρεάζονται από την επικινδυνότητα.
- Πιθανότητα της κατάπτωσης να φτάσει στο στοιχείο σε διακινδύνευση ($P_{T:L}$). Εξαρτάται από τη σχετική θέση του αντικειμένου ως προς την πηγή του φαινομένου. Δέχεται τιμές μεταξύ 0 και 1. Για κτίρια εντός της πηγής της κατάπτωσης ισούται με 1. Για κτίρια ή άτομα που βρίσκονται κάτω από την πηγή, αλλά εντός της επικίνδυνης ζώνης, προσδιορίζεται με βάση την απόσταση μετακίνησης της βραχοπτώσεως και το στοιχείο σε διακινδύνευση. Για οχήματα ή άτομα εντός αυτών, ή άτομα που κινούνται πεζά στην επικίνδυνη περιοχή εκτός της απόστασης που διανύει η μετακίνηση, λαμβάνεται υπόψη και η πορεία του οχήματος ή του ατόμου. Το κατά πόσο το όχημα ή το άτομο βρίσκεται ή όχι στην περιοχή εκδήλωσης της κατολίσθησης αναλύεται στην χωροχρονική πιθανότητα ($P_{S:T}$).
- Χωροχρονική πιθανότητα. Είναι η πιθανότητα ένα στοιχείο να βρίσκεται εντός της επηρεαζόμενης, από τη επικινδυνότητα, ζώνη, τη στιγμή εμφάνισης της επικινδυνότητας. Δέχεται τιμές μεταξύ 0 και 1. Για κτίρια που βρίσκονται στην περιοχή εκδήλωσης του φαινομένου ισούται με 1. Για ένα όχημα που κινείται εντός της επικίνδυνης ζώνης προσδιορίζεται από ποσοστό του χρόνου που θα βρίσκεται εντός της ζώνης κατά τη διάρκεια ενός έτους. Για όλα τα οχήματα που διέρχονται εντός της επικίνδυνης ζώνης, προσδιορίζεται από το ποσοστό του χρόνου που ένα όχημα βρίσκεται εντός αυτής κατά τη διάρκεια ενός έτους. Όταν οι πιθανές ολισθήσεις είναι περισσότερες (πχ πολλαπλές καταπτώσεις), ο υπολογισμός είναι περισσότερο

δυσχερής. Για άτομα εντός κτιρίων, η πιθανότητα προκύπτει από το ποσοστό του χρόνου στο οποίο βρίσκονται εντός του κτιρίου. Η πιθανότητα ενδέχεται να ποικίλει μεταξύ των ατόμων. Στην περίπτωση των ατόμων εντός οχημάτων, η πιθανότητα ενδέχεται να μεταβάλλεται αν θεωρηθεί ότι επιβαίνουν περισσότερα του ενός άτομα.

- ο Τρωτότητα ($V_{prop:T}$) and ($V_{D:T}$). Ορίζεται ως ο βαθμός απώλειας (ή ζημιάς) ενός στοιχείου ή μίας ομάδας στοιχείων εντός της ζώνης που επηρεάζεται από τη επικινδυνότητα. Πρόκειται για μία πιθανότητα υπό όρους. Για ιδιοκτησίες, εκφράζεται σε κλίμακα μεταξύ 0 (καμία ζημιά) και 1 (ολική απώλεια). Για ανθρώπους είναι συνήθως η πιθανότητα (μεταξύ 0 και 1) ώστε ένας άνθρωπος, που βρίσκεται εντός της επικίνδυνης ζώνης, χάσει τη ζωή του. Ενδέχεται να περιλαμβάνει και την πιθανότητα τραυματισμού.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την τρωτότητα ιδιοκτησιών περιλαμβάνουν τον όγκο της κατάπτωσης σε σχέση με το στοιχείο που βρίσκεται σε διακινδύνευση, τη θέση του στοιχείου, το μέγεθος της μετακίνησης της κατάπτωσης και την ταχύτητα της μετακίνησης.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν κυρίως την τρωτότητα των ανθρώπων είναι η ταχύτητα της κατάπτωσης (σε μία ακαριαία κατάπτωση, οι απώλειες ζωών είναι πιο πιθανές), ο όγκος της κατάπτωσης, αν τα άτομα βρίσκονται εντός ή εκτός των κτιρίων και των οχημάτων και τέλος εάν βρίσκονται εντός κάποιου κτιρίου, αυτό θα καταρρεύσει ή όχι.

Προσδιορισμός διακινδύνευσης

Υπολογισμός διακινδύνευσης

Το επίπεδο της διακινδύνευσης υπολογίζεται ως μία πιθανολογική εξίσωση.

Υπολογίζεται η αξία της ετήσιας απώλειας της ιδιοκτησίας, $R_{(prop)}$ και η ετήσια πιθανότητα απώλειας ζωής (loss of life probability), $P_{(LOL)}$ από τις εξισώσεις:

$$R_{(prop)} = P_{(L)} \times P_{(T:L)} \times P_{(S:T)} \times V_{(prop:S)} \times E$$

$$R_{(LOL)} = P_{(L)} \times P_{(T:L)} \times P_{(S:T)} \times V_{(D:T)}$$

Όπου

$P_{(L)}$ Η συχνότητα ενός γεγονότος βραχόπτωσης δεδομένου μεγέθους

$P_{(T:L)}$ Η πιθανότητα τα υλικά μίας βραχόπτωσης να φτάσουν το στοιχείο που βρίσκεται σε κίνδυνο

$P_{(S:T)}$ Η χωροχρονική πιθανότητα του στοιχείου που βρίσκεται σε κίνδυνο

$V_{(prop:S)}$ Η τρωτότητα ενός στοιχείου σε κίνδυνο σε σχέση με το γεγονός της βραχόπτωσης

E το στοιχείο σε κίνδυνο (πχ η αξία ή η καθαρά παρούσα αξία (NPV) της ιδιοκτησίας)

$V_{(D:T)}$ η τρωτότητα ενός ατόμου σε σχέση με το γεγονός της βραχοπτώσεως

Ποιοτική εκτίμηση διακινδύνευσης

Η ποιοτική εκτίμηση διακινδύνευσης χρησιμοποιεί δείκτες που περιγράφουν την συχνότητα μίας κατάπτωσης και των επιπτώσεών της. Χρήσιμα εργαλεία αποτελούν τα συστήματα βαθμολόγησης διακινδύνευσης.

Εκτίμηση διακινδύνευσης

Διαδικασία εκτίμησης διακινδύνευσης

Στην εκτίμηση της διακινδύνευσης συγκρίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης διακινδύνευσης με αξίες, κρίσεις και κριτήρια ανεκτικότητας διακινδύνευσης, ώστε να προσδιοριστεί εάν ο βαθμός της διακινδύνευσης είναι αρκετά χαμηλός για να είναι ανεκτός.

Η διαδικασία αυτή περιέχει την εξέταση παραγόντων όπως:

- Απώλεια οικονομική ή ιδιοκτησίας: ετήσιο κόστος διακινδύνευσης, οικονομική δυνατότητα, επίδραση στη φήμη εταιριών, για οδικά δίκτυα και σιδηροδρόμους, έμμεσα κόστη (απώλεια πρόσβασης) και αναλογία κόστους ωφελειών όταν λαμβάνονται υπόψη μέτρα προστασίας.
- Απώλεια ζωής: μοναδιαία διακινδύνευση ζωής, κοινωνική διακινδύνευση (συχνότητα σε σχέση με το πλήθος των θανάτων), ετήσιο δυναμικό απώλειας ζώων.

Κριτήρια αποδοχής διακινδύνευσης

Αποδεκτή διακινδύνευση είναι η διακινδύνευση που είναι διατεθειμένος να αποδεχτεί όποιος επηρεάζεται. Περαιτέρω μέτρα προστασίας δεν είναι απαραίτητο να παρθούν σε αυτή την περίπτωση, εκτός εάν έχουν χαμηλό κόστος.

Ανεκτή διακινδύνευση είναι το εύρος της διακινδύνευσης που μπορεί να ανεχθεί η κοινωνία για να έχει συγκεκριμένα οφέλη. Πρόκειται για ένα εύρος διακινδύνευσης που δεν είναι δυνατό να αγνοηθεί και πρέπει να αναθεωρείται διαρκώς και να μειώνεται, εάν είναι εφικτό.

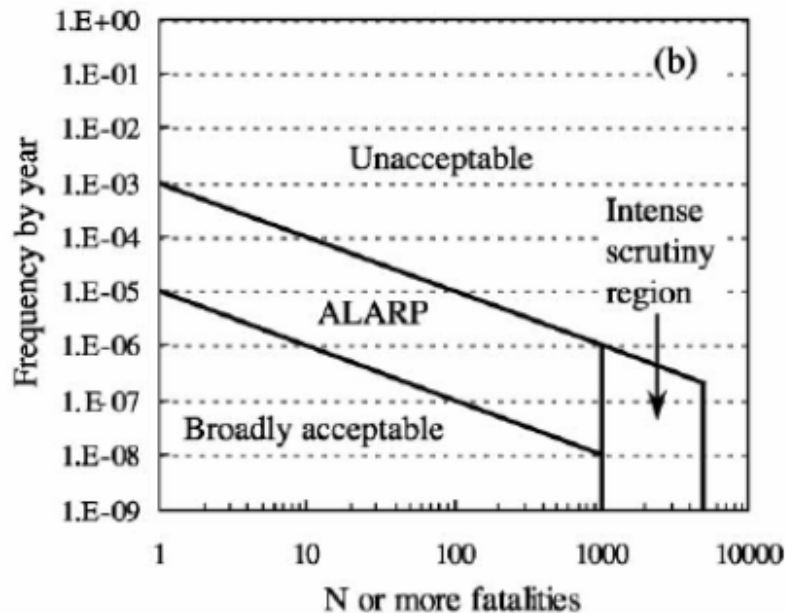
Δεν υπάρχουν κοινώς αποδεκτά κριτήρια για τα αποδεκτά επίπεδα της ατομικής ή της κοινωνικής διακινδύνευσης. Ωστόσο, παρακάτω δίνεται παράδειγμα σύμφωνα με την Australian Geomechanics Society (AGS, 2000).

- Ατομική διακινδύνευση: Σύμφωνα με την AGS, τα αποδεκτά όρια φαίνονται στο παρακάτω σχήμα. Ωστόσο (Pina, 2008) προτείνεται το αποδεκτό επίπεδο να βρίσκεται μία τάξη μεγέθους χαμηλότερα.

Πίνακας 4.7. Προτεινόμενη αποδεκτή διακινδύνευση κατά AGS, 2000

| Κατάσταση | Προτεινόμενη αποδεκτή διακινδύνευση για απώλεια ζωής |
|-------------------------------|--|
| Υπάρχοντα ορύγματα | 10^{-4} /έτος για το άτομο που βρίσκεται κυρίως σε κίνδυνο |
| | 10^{-5} /έτος τις μέσης διακινδύνευσης των ατόμων |
| Νέα (προς κατασκευή) ορύγματα | 10^{-5} /έτος για το άτομο που βρίσκεται κυρίως σε κίνδυνο |
| | 10^{-6} /έτος τις μέσης διακινδύνευσης των ατόμων |

- Κοινωνική διακινδύνευση: Η εφαρμογή της κοινωνική διακινδύνευσης με κριτήρια ζών αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα ότι η κοινωνία είναι λιγότερο ανεκτική σε γεγονότα κατά τα οποία μεγάλο πλήθος ζών χάνεται από ένα μοναδικό γεγονός. Αντίθετα εάν το ίδιο πλήθος απωλειών ζωής συμβεί σε πολλά και ανεξάρτητα μεταξύ τους γεγονότα, η ανεκτικότητα της κοινωνίας είναι μεγαλύτερη. Παράδειγμα σωρευτικών καμπυλών συχνότητας – πλήθους απωλειών ζών φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 4.8. Κριτήρια αποδεκτής κοινωνικής διακινδύνευσης (Pina, 2008)

Πρόκειται για μία γραφική απεικόνιση του πλήθους των απωλειών ζωής (N) σε σχέση με τη σωρευτική συχνότητα (F) N ή περισσότερων απωλειών ζωής σε λογαριθμική κλίμακα. Μία τέτοια καμπύλη παρέχει πληροφορίες για το πλήρες εύρος αξιόπιστων σεναρίων θνησιμότητας και της αντίστοιχης πιθανότητας εμφάνισης.

Το κατά πόσο τέτοιου είδους ποσοτικά κριτήρια γίνονται αποδεκτά εξαρτάται σε κάθε περίπτωση από τη χώρα που συμβαίνει η κατάπτωση και το νομικό της σύστημα.

– Διαδικασία εφαρμογής Μοντέλου Δεσμευμένων Επιπτώσεων (Τρωτότητας)

Σκοπός είναι η ποσοτική εκτίμηση της πιθανότητας των επιπτώσεων για ένα όχημα που κινείται κατά μήκος της οδικής αρτηρίας που επηρεάζεται από την βραχοπτώση.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση εκτιμάται η κατανομή της δεσμευμένης πιθανότητας των επιπτώσεων εάν μία μάζα συγκεκριμένου μεγέθους παραμένει στο οδόστρωμα. Για την εκτίμηση της διακινδύνευσης, και όχι μόνο της επικινδυνότητας, πρέπει οι επιπτώσεις να συνδεθούν με κάθε διακεκριμένη ομάδα χαρακτηριστικών της βραχοπτώσης και στην συνέχεια να συνδεθούν με την πιθανότητα της κάθε διακεκριμένης ομάδας χαρακτηριστικών.

Το μοντέλο περιλαμβάνει τον υπολογισμό της κατανομής της πιθανότητας του πλήθους και της δριμύτητας των απωλειών για κάθε διακεκριμένη επικινδυνότητα, που αντιπροσωπεύει τον όγκο της κατάπτωσης βράχων που βρίσκεται στο οδόστρωμα. Τα στοιχεία που εξετάζεται ότι βρίσκονται σε διακινδύνευση ή είναι τρωτά στοιχεία, είναι τα οχήματα που κινούνται κατά μήκος της οδού, με χαρακτηριστικά όπως αξία, διαστάσεις, τοποθεσία, κτλ.

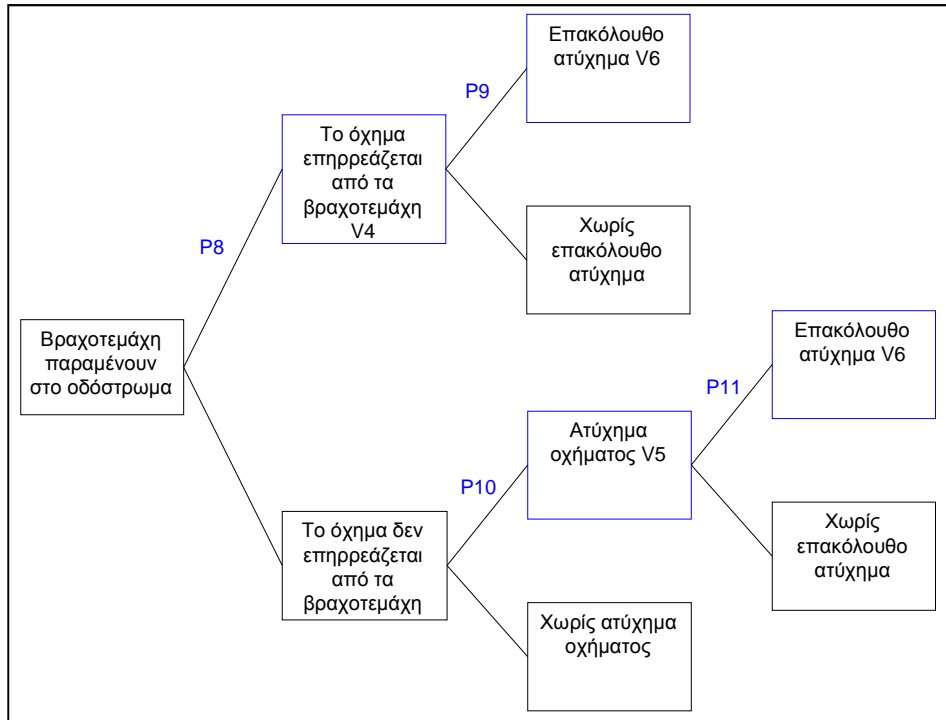
Η κατανομή της δεσμευμένης πιθανότητας εάν μία μάζα συγκεκριμένου μεγέθους παραμένει στο οδόστρωμα, προσδιορίζεται ως εξής:

$$p[C/M_R] = \sum_{\forall V_i} p[C/V_i, M_R] \times P[V_i/M_R]$$

Όπου:

- $p[C/M_R]$ η κατανομή της δεσμευμένης πιθανότητα της επίπτωσης C εάν υπολείμματα βράχων μεγέθους M_R παραμένουν στο οδόστρωμα
- $p[C/V_i, M_R]$ η κατανομή της δεσμευμένης πιθανότητας της επίπτωσης C εάν τα υπολείμματα βράχων μεγέθους M_R που παραμένουν στο οδόστρωμα προκαλούν το γεγονός V_i .
- $P[V_i/M_R]$ η δεσμευμένη πιθανότητα ότι τα υπολείμματα βράχων μεγέθους M_R που παραμένουν στο οδόστρωμα, προκαλούν το γεγονός V_i
- V_4 το γεγονός κατά το οποίο ένα όχημα συγκρούεται με τα υπολείμματα βράχων που παραμένουν στο οδόστρωμα.
- V_5 το γεγονός κατά το οποίο ένα όχημα δεν συγκρούεται με τα υπολείμματα βράχων που παραμένουν στο οδόστρωμα, αλλά συμβαίνει ατύχημα παρόλα αυτά (πχ λόγω των ελιγμών)
- V_6 το γεγονός ενός επακόλουθου ατυχήματος εξαιτίας των γεγονότων V_4 και V_5 .

Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται ένα διάγραμμα ροής των επιπτώσεων της ύπαρξης υπολειμμάτων βράχων στο οδόστρωμα (Pina, 2008).



Σχήμα 4.9. Διάγραμμα ροής των συνεπειών (Pina, 2008)

Στη συνέχεια εκτιμώνται:

- ✓ Η πιθανότητα (P8) ένα όχημα να συγκρουστεί με τα υπολείμματα βράχων που παραμένουν στο οδόστρωμα
 - ✓ Η πιθανότητα (P9) να συμβεί ένα επακόλουθο ατύχημα, μετά τη σύγκρουση ενός οχήματος με τα υπολείμματα βράχων που παραμένουν στο οδόστρωμα
 - ✓ Η πιθανότητα (P10) να συμβεί ένα ατύχημα εξαιτίας της παρουσίας υπολειμμάτων βράχων στο οδόστρωμα, αλλά χωρίς άμεση σύγκρουση με αυτά
 - ✓ Η πιθανότητα (P11) να συμβεί ένα επακόλουθο ατύχημα μετά το ατύχημα που συνέβη εξαιτίας της παρουσίας υπολειμμάτων βράχων στο οδόστρωμα, αλλά χωρίς άμεση σύγκρουση με αυτά.
- ✓ **Διαδικασία εφαρμογής μεθόδου QRA**

Σε αυτή τη φάση σκοπός είναι η ποσοτική εκτίμηση της διακινδύνευσης της βραχοπτώσης (χρησιμοποιώντας ένα σύστημα βαθμολόγησης, πχ το RHRS) και της διακινδύνευσης των ατόμων που κινούνται στην οδική αρτηρία, υιοθετώντας τη μέθοδο QRA.

Πριν λοιπόν την εφαρμογή της μεθόδου, προηγείται η ποιοτική κατάταξη του πρηνούς (πίνακας 4.8). Στην ποιοτική ανάλυση της διακινδύνευσης, χρησιμοποιούνται δείκτες για να περιγράψουν την συχνότητα της κατάρπτωσης, καθώς και τις συνέπειες. Είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν διάφορα εργαλεία, όπως τα συστήματα βαθμολόγησης της διακινδύνευσης.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, η προσέγγιση αυτή μπορεί να υιοθετηθεί για μία πρώτη προσέγγιση, έναν αρχικό διαχωρισμό της διακινδύνευσης μιας δοσμένης περιοχής,

4. Συστήματα ταξινόμησης διακινδύνευσης βραχοπτώσεων

ώστε να δοθεί έμφαση στις περιοχές εκείνες που επιδέχονται λεπτομερή εκτίμηση της διακινδύνευσης. Η ποιοτική ανάλυση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την εξέταση κατά πόσο μία επικινδυνότητα ενέχει σημαντική διακινδύνευση για απώλεια ζωής και κατά πόσο πρέπει να ληφθούν μέτρα μείωσής της, χωρίς την διεξαγωγή ποσοτικής ανάλυσης.

Οι συνέπειες ενσωματώνουν την τρωτότητα και την αξία του αντικειμένου που βρίσκεται σε διακινδύνευση. Συνδυάζοντας την πιθανότητα με τις συνέπειες προκύπτει ένας πίνακας διακινδύνευσης που χωρίζεται σε 5 κατηγορίες, από πολύ χαμηλής επικινδυνότητας, μέχρι πολύ υψηλής διακινδύνευσης (πίνακας 4.9).

Πίνακας 4.8. Ποιοτική κατάταξη της πιθανότητας κατάπτωσης και των συνεπειών στους πόρους (Pina, 2008)

| Ποιοτική κατάταξη της πιθανότητα της κατάπτωσης | | |
|--|----------------------|---|
| Επίπεδο | Χαρακτηρισμός | Περιγραφή |
| A | Σχεδόν βέβαιη | Το γεγονός αναμένεται να συμβεί |
| B | Πολύ πιθανή | Το γεγονός θα πραγματοποιηθεί, κατά πάσα πιθανότητα, κάτω από δυσμενείς συνθήκες |
| C | Πιθανή | Το γεγονός μάλλον θα πραγματοποιηθεί, κάτω από δυσμενείς συνθήκες |
| D | Λίγο πιθανή | Το γεγονός μάλλον θα πραγματοποιηθεί, κάτω από εξαιρετικά δυσμενείς συνθήκες |
| E | Σπάνια | Το γεγονός θεωρείται εφικτό, μόνο κάτω από εξαιρετικές καταστάσεις |
| F | Μη πραγματοποιήσιμη | Το γεγονός θεωρείται ανέφικτο |
| Ποιοτική κατάταξη των συνεπειών στους πόρους | | |
| 1 | Καταστροφικές | Οι πόροι καταστρέφονται ολοσχερώς ή θα συμβούν μεγάλης κλίμακας καταστροφές που απαιτούν πολλές εργασίες αντιστήριξης |
| 2 | Μεγάλες | Ευρείες καταστροφές των πόρων ή υπερβαίνουν τα όρια, απαιτώντας σημαντική αντιστήριξη/σταθεροποίηση |
| 3 | Μέτριες | Ενδιάμεσες βλάβες σε τμήμα των πόρων ή σημαντικό τμήμα απαιτεί μεγάλης κλίμακας σταθεροποίηση |
| 4 | Μικρές | Περιορισμένες βλάβες ή κάποιο τμήμα των πόρων απαιτεί κάποια αποκατάσταση |
| 5 | Ασήμαντες | Μικρές βλάβες |

Πίνακας 4.9. Ποιοτική ανάλυση διακινδύνευσης – κατηγορίες διακινδύνευσης (Pina, 2008)

| Πιθανότητα | Συνέπειες στους πόρους | | | | |
|---------------------|------------------------|---------|---------|--------|-----------|
| | Καταστροφικές | Μεγάλες | Μέτριες | Μικρές | Ασήμαντες |
| Σχεδόν βέβαιη | VH | VH | H | H | H |
| Πολύ πιθανή | VH | H | H | M | L-M |
| Πιθανή | H | H | M | L-M | VL-L |
| Λίγο πιθανή | M-H | M | L-M | VL-L | VL |
| Σπάνια | M-L | L-M | VL-L | VL | VL |
| Μη πραγματοποιήσιμη | VL | VL | VL | VL | VL |

*VH: πολύ υψηλή, H: υψηλή, M: ενδιάμεση, L: χαμηλή, VL: πολύ χαμηλή

Τα παραπάνω έχουν σχεδιαστεί για διακινδύνευση ιδιοκτησιών και επιδέχονται πολλών παραλλαγών (AGS, 2000).

Έτσι, μετά την βαθμολόγηση της διακινδύνευσης των πρηνών να αστοχήσουν και να προκληθεί μία βραχώπτωση, ακολουθεί η μέθοδος QRA, όπου γίνονται τα εξής:

- i. Εκτίμηση ολικής διακινδύνευσης
- ii. Ανάλυση Συχνότητας
Από τα καταγεγραμμένα γεγονότα βραχοπτώσεων προκύπτει η συχνότητά τους, βάση του τύπου:

$$F_i = \frac{n_i}{\Delta t}$$

Όπου:

- i η κατηγορία κάθε τύπου βραχώπτωσης
- F_i η συχνότητα κάθε τύπου βραχώπτωσης
- n_i το πλήθος κάθε τύπου βραχώπτωσης, όπως έχει καταγραφεί
- Δt η περίοδος καταγραφής του κάθε τύπου βραχώπτωσης

- iii. Ανάλυση συνεπειών

Υπολογίζεται, για κάθε τύπο βραχώπτωσης, η χωροχρονική πιθανότητα ($P_{(S:T)}$) των οχημάτων και η τρωτότητα ($V_{(D:T)}$) των ατόμων εντός των οχημάτων, με σκοπό τον προσδιορισμό της διακινδύνευσης.

Η πιθανότητα του οχήματος να βρίσκεται στο τμήμα της οδού όπου πραγματοποιείται η βραχώπτωση είναι:

$$P_{(S:T)} = \frac{N_V}{24} \times \frac{L}{1000} \times \frac{1}{V_V}$$

Όπου:

- N_V ο μέσος αριθμός οχημάτων ανά ημέρα
- L το μέσο μήκος ενός οχήματος (m)
- V_V η ταχύτητα του οχήματος (km/h)

Σύμφωνα με διάφορες δημοσιεύσεις, η τρωτότητα για άτομα εντός οχημάτων είναι ίση με 0.3 (Pina, 2008 – thesis).

Η ετήσια πιθανότητα ($P_{(LOL)}$) ενός ατόμου να χάσει τη ζωή του, οδηγώντας το συγκεκριμένο δρόμο είναι:

$$P_{(LOL)} = \sum_i \{P_{(LOL)}\}_i = \sum_i \left\{ \left(1 - (1 - P_{(S:T)})^{N_R} \right) \times V_{(D:T)} \right\}_i$$

Όπου i η κατηγορία κάθε τύπου βραχώπτωσης.

2. Εκτίμηση μέσης διακινδύνευσης Για την εκτίμηση της μέσης διακινδύνευσης, χρησιμοποιείται η κανονικοποιημένη συχνότητα, σύμφωνα με τον τύπο:

$$F_i = \frac{n_i}{\Delta t \times L_r}$$

Όπου L_r το μήκος της υπό εξέταση οδού.

4. Συστήματα ταξινόμησης διακινδύνευσης βραχοπτώσεων

Στη συνέχεια εκτιμάται η ετήσια πιθανότητα ($P_{(LOL)}$) ενός ατόμου να χάσει τη ζωή του, οδηγώντας το συγκεκριμένο δρόμο, αντίστοιχα με την προηγούμενη περίπτωση.

Σημειώνεται ότι στη περίπτωση της πιθανότητας της μέσης διακινδύνευσης αναμένονται μικρότερες τιμές, σε σχέση με την ολική διακινδύνευση, καθώς η τιμή της συχνότητας θα είναι μικρότερη.

5. Σύγκριση συστημάτων ταξινόμησης

Σύμφωνα με όσα παρουσιάστηκαν αναλυτικά στα προηγούμενα κεφάλαια, είναι δυνατή η αξιολόγηση και σύγκριση των διαφορετικών μεθόδων μεταξύ τους, όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια.

5.1. Σύγκριση συστημάτων ταξινόμησης επικινδυνότητας

Μέθοδος RHRS, Pierson, 1991

Η μέθοδος αυτή αποτελεί τη βάση των περισσότερων συστημάτων εκτίμησης επικινδυνότητας.

- Αποτελεί μία προσέγγιση που οδηγεί σε άμεση και σχετικά εύκολη βαθμολόγηση της επικινδυνότητας του πρανούς.
- Κατά τη βαθμολόγηση, αξιολογούνται αρκετά γεωλογικά και γεωμετρικά στοιχεία, τα οποία είναι κρίσιμα για το επίπεδο της επικινδυνότητας βραχόπτωσης.
- Οι παράμετροι που αξιολογούνται, χωρίζονται σε τέσσερις περιοχές βαθμολόγησης (3, 9, 27 και 81), ακολουθώντας μία εκθετική αύξηση της μορφής $y=3^x$. Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται για την ευκολότερη διακριτοποίηση μεταξύ των πρανών χαμηλής και υψηλής επικινδυνότητας.
- Ωστόσο, ο παραπάνω διαχωρισμός δυσχεραίνει τις αναλύσεις ευαισθησίας, όταν αυτές κρίνεται σκόπιμο να πραγματοποιηθούν, καθώς εάν οι αναλύσεις αυτές πραγματοποιηθούν σε όλο το εύρος της παραμέτρου που εξετάζεται, θα αποδίδουν συγκεκριμένο αποτέλεσμα, το ίδιο για οποιαδήποτε παράμετρο.
- Το αποτέλεσμα της βαθμολόγησης δεν ερμηνεύεται. Για παράδειγμα δεν αναλύεται τι σημαίνει βαθμολογία επικινδυνότητας ίση με 300.

Μέθοδος NHI-RHRS, Pierson&Vickle, 1993

Πρόκειται για μία μικρή παραλλαγή της αρχικής μεθόδου RHRS.

- Η μοναδική διαφοροποίησή της είναι ότι προτείνεται να χρησιμοποιείται αναλυτική βαθμολόγηση (με εύρος 1-100) σε πέντε παραμέτρους, αντί για 3, 9, 27, 81 που προτείνεται στην αρχική RHRS.
- Η διαφοροποίηση αυτή παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία και μεγαλύτερη ακρίβεια στην βαθμολόγηση των πέντε αυτών παραμέτρων.
- Ωστόσο, όταν υπάρχει μεγάλο ποσοστό αβεβαιότητας κατά την εκτίμηση μίας παραμέτρου, ενδέχεται, κατά τις αναλύσεις ευαισθησίας, να προκύψει μεγαλύτερο εύρος μεταξύ ελάχιστης και μέγιστης τιμής επικινδυνότητας.
- Συνεπώς, αφενώς απαιτείται μεγαλύτερη προσοχή κατά την εκτίμηση των παραμέτρων και αφετέρου είναι απαραίτητη η εμπειρία του μελετητή.

Μέθοδος TRHRS, Vanderwater et al., 2008

Ως μέθοδος, βασίζεται στην αρχική RHRS, ωστόσο περιέχει αρκετές διαφοροποιήσεις:

- Χρησιμοποιεί βαθμολόγηση 1-100, ωστόσο η βαρύτητα κάθε παραμέτρου δεν είναι ισοδύναμη, όπως συμβαίνει στο RHRS, ιδιαίτερα κατά την βαθμολόγηση του γεωλογικού χαρακτήρα.
- Όσον αφορά τον γεωλογικό χαρακτήρα, περιλαμβάνει περισσότερα στοιχεία και περιπτώσεις, σε σχέση με τις προηγούμενες μεθόδους. Έτσι είναι δυνατό να γίνει περισσότερο ευδιάκριτη η επίδραση της γεωλογίας κατά την βαθμολόγηση.
- Ωστόσο, ως μέθοδος, επειδή περιλαμβάνει περισσότερα στοιχεία, είναι περισσότερη σύνθετη και κατ'επέκταση απαιτεί πληρέστατη γνώση της περιοχής.

Μέθοδος CRHRS, Santi et al., 2009

Αποτελεί μία αξιόπιστη και ευρέως αποδεκτή μέθοδο βαθμολόγησης της επικινδυνότητας.

- Βασίζεται στην αρχική μέθοδο RHRS, η οποία εμπλουτίζεται με περισσότερες παραμέτρους, τόσο για τη γεωμετρία του πρσανούς, όσο και για τις κλιματικές και γεωλογικές συνθήκες.
- Απαιτεί πολύ καλή γνώση της περιοχής που εξετάζεται, καθώς περιλαμβάνει 19 παραμέτρους.
- Ιδιαίτερα όσον αφορά τις γεωλογικές συνθήκες, γίνεται διαχωρισμός, ανάλογα με το πέτρωμα, σε ιζηματογενές, κρυσταλλικό και χαοτικής δομής πέτρωμα, δίνοντας έτσι την δυνατότητα περισσότερο στοχευμένης εκτίμησης των χαρακτηριστικών τους.
- Περιλαμβάνει και αυτή τέσσερις περιοχές βαθμολόγησης (3, 9, 27, 81), με τα αντίστοιχα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που αυτή διαθέτει.
- Ωστόσο, παρέχει τη δυνατότητα, ύστερα από στατιστική επεξεργασία μεγάλου δείγματος, να αποδώσει διαφορετικό συντελεστή βαρύτητας σε κάθε παράμετρο και εν τέλει να παραλείψει κάποιες από αυτές κατά την εκτίμηση της επικινδυνότητας.
- Στην βιβλιογραφία, αναφέρεται χαρακτηρισμός της επικινδυνότητας, ανάλογα τον γεωλογικό χαρακτήρα και την τελική βαθμολόγηση, ως χαμηλή, μέτρια, υψηλή. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στον μελετητή να αντιληφθεί ευκολότερα το επίπεδο επικινδυνότητας.
- Στη μέθοδο, εκτιμάται επίσης και η διακινδύνευση της βραχύπτωσης. Ωστόσο, δεν είναι ιδιαίτερα λεπτομερής και υστερεί φυσικά σε σχέση με τις μεθόδους στις οποίες εκτιμάται αποκλειστικά η διακινδύνευση.
- Παρόλα αυτά, είναι μία ενδεικτική και εύκολη προσέγγιση του επιπέδου της διακινδύνευσης.

Μέθοδος FRHI, Singh, 2004

Το σύστημα FRHI σχεδιάστηκε για ευσταθή τεχνικά ορύγματα, με σκοπό τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας για τους εργάτες που βρίσκονται σε άμεση γειννίαση με την εκσκαφή.

- Συνεπώς, δεν σχετίζεται άμεσα με την επικινδυνότητα μίας οδικής αρτηρίας.
- Επίσης, προϋποθέτει την ευστάθεια του ορύγματος και εξετάζει τις πτώσεις βραχωδών τεμαχίων.
- Δεν αναφέρεται σε φυσικά πρηνή, παρά μόνο σε ορύγματα
- Παρόλα αυτά, η εφαρμογή του είναι σχετικά απλή.
- Τέλος, περιλαμβάνει την παράμετρο της μεθόδου εκσκαφής του μετώπου του πρηνούς (και συνεπώς της διατάραξης του) που αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την δημιουργία ρωγμών, περαιτέρω διάβρωσης και κατ'επέκταση, για την ενεργοποίηση βραχοπτώσεων.

Σύστημα ταξινόμησης επικινδυνότητας κατά Marinós *et al.*, 2008

Αφορά σε μία μέθοδο που εκτιμά το επίπεδο επικινδυνότητας σε μία γενική περίπτωση και όχι αποκλειστικά σε αυτοκινητοδρόμους.

- Περιέχει πληθώρα γεωλογικών παραμέτρων που πρέπει να αξιολογηθούν. Αποτελείται δηλαδή από μία αρκετά λεπτομερή αξιολόγηση των γεωλογικών συνθηκών που υπάρχουν στο πρηνές που εξετάζεται.
- Το γεγονός αυτό, απαιτεί την ενδελεχή έρευνα των γεωλογικών χαρακτηριστικών της περιοχής που μελετάται, με τα όποια προβλήματα αυτό συνεπάγεται.
- Ερμηνεύει το αποτέλεσμα της βαθμολόγησης ποιοτικά, δίνοντας άμεσα πληροφορίες για το επίπεδο της επικινδυνότητας.
- Καθώς εκτιμά την διακινδύνευση στην γενική της περίπτωση και όχι αποκλειστικά σε αυτοκινητοδρόμους, αδυνατεί να εκτιμήσει παραμέτρους όπως η μέση κυκλοφορία οχημάτων, η ταχύτητά τους, ο αριθμός επιβαινόντων κ.α.

Ελβετική μέθοδος, βασισμένη στις αναλύσεις τροχιάς, Abbruzzese *et al.*, 2009

Όπως γίνεται αντιληπτό, η μέθοδος απαιτεί χρήση 2D ή 3D προγραμμάτων προσομοίωσης τροχιάς.

- Βασίζεται στις Ελβετικές μεθοδολογίες (FEDRO, 2009) και αποτελεί ένα αξιόπιστο εργαλείο.
- Δεν διαθέτει μεγάλη ευελιξία στα όρια ενέργειας
- Το αποτέλεσμα εξαρτάται σημαντικά από τη μεθοδολογία που θα χρησιμοποιηθεί, για την εκτίμηση της επικινδυνότητας.
- Απαιτείται η καλή γνώση του τοπογραφικού υποβάθρου (πολύ καλά τοπογραφικά στοιχεία)

5.2. Σύγκριση συστημάτων ταξινόμησης διακινδύνευσης

WSDOT, 2010

Πρόκειται για μία μέθοδο εκτίμησης της διακινδύνευσης, που βασίζεται, ως δομή, στην αντίστοιχη προσέγγιση της εκτίμησης της επικινδυνότητας κατά RHRS.

- Περιέχει, δηλαδή, σε αντιστοιχία με την RHRS τέσσερις περιοχές βαθμολόγησης των παραμέτρων που εξετάζονται (3, 9, 27, 81), με τα αντίστοιχα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που διαθέτει.
- Δίνει τη δυνατότητα αξιολόγησης τόσο εδαφικών όσο και βραχωδών πρανών.
- Απαιτεί ωστόσο στοιχεία οικονομικής φύσεως (ετήσιο κόστος συντήρησης ανά έτος) και συνεπώς θα πρέπει να προσαρμόζεται συνεχώς στα διαρκώς μεταβαλλόμενα οικονομικά δεδομένα, τόσο στην χρονική περίοδο που εξετάζεται, όσο και στην χώρα που εφαρμόζεται.

Ελβετικές προδιαγραφές FEDRO, 2009

Πρόκειται για την βασικότερη πιθανοτική μέθοδο εκτίμησης της διακινδύνευσης.

- Είναι μία εξαιρετικά λεπτομερής μέθοδος εκτίμησης της διακινδύνευσης. Καλύπτει μεγάλο πλήθος περιπτώσεων.
- Βασίζεται σε σενάρια, αναλύοντας το καθένα από αυτά, χρησιμοποιώντας παραμέτρους όπως η πιθανότητα εμφάνισης της επικινδυνότητας, η πιθανότητα ενός αντικειμένου να εκτεθεί στην επικινδυνότητα και η τρωτότητα.
- Εξετάζει αναλυτικά της κυκλοφοριακές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή
- Δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης της διακινδύνευσης όχι μόνο σε άτομα και οχήματα, αλλά και σε δευτερογενείς εγκαταστάσεις
- Δύναται να εξετάσει και την επίδραση της ύπαρξης ή μη, παρακαμπτηρίων οδών, καθώς και τις συνέπειες της διοχέτευσης της κυκλοφορίας από τις παρακαμπτηρίους.

QRA, Corominas, 2008

Η συγκεκριμένη μέθοδος, ως τεχνική χρησιμοποιείται από διάφορες επιστήμες, όχι μόνο για την ανάλυση της διακινδύνευσης των καταπτώσεων.

- Αποτελεί μία πιθανολογική προσέγγιση της διακινδύνευσης.
- Εξαρτάται άμεσα από τη συχνότητα των βραχοπτώσεων και συνεπώς είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε αυτή την παράμετρο.
- Αναπτύχθηκε κυρίως για πληθυσμούς και έτσι δεν περιλαμβάνει πολλά στοιχεία για την κυκλοφορία των οχημάτων.

5.3. Γενικός σχολιασμός

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, οι μέθοδοι εκτίμησης της επικινδυνότητας βασίζονται, σε μεγάλο βαθμό, στη μέθοδο RHRS (Pierson, 1991). Αποδίδεται δηλαδή στο πρανεές μία βαθμολογία, η οποία εξαρτάται από ένα πλήθος παραμέτρων που περιγράφουν το πρανεές. Η βαθμολογία αυτή είναι ενδεικτική του επιπέδου της επικινδυνότητας του πρανούς. Εναλλακτικά, χρησιμοποιείται η συσχέτιση συχνότητας – ενέργειας για να εκτιμηθεί το επίπεδο της επικινδυνότητας.

Από την άλλη, η εκτίμηση της διακινδύνευσης διαφοροποιείται από την αντίστοιχη της επικινδυνότητας, καθώς ακολουθείται συνήθως μία πιθανολογική προσέγγιση της. Η εκτίμηση της διακινδύνευσης έρχεται να συμπληρώσει την εκτίμηση της επικινδυνότητας, την οποία και χρησιμοποιεί ως βάση για τους περαιτέρω υπολογισμούς. Χρησιμοποιούνται διάφορα σενάρια εμφάνισης ενός γεγονότος, που δεν εξαρτώνται τόσο από τα χαρακτηριστικά του πρανούς, αλλά από τις ιδιαίτερες συνθήκες (πχ. κυκλοφορία οχημάτων, περίοδος επαναφοράς του φαινομένου) της περιοχής που εξετάζεται. Φυσικά, υπάρχουν και μέθοδοι (WSDOT, 2010) που ακολουθούν τη λογική του RHRS, εκτιμώντας όμως την διακινδύνευση.

Συνεπώς, είναι εμφανές ότι δεν μπορεί να γίνει απευθείας σύγκριση του επιπέδου της επικινδυνότητας με το αντίστοιχο της διακινδύνευσης, καθώς αποτελούν δύο διαφορετικές προσεγγίσεις, που αποσκοπούν σε διαφορετικά συμπεράσματα. Ωστόσο, καθώς το επίπεδο της επικινδυνότητας χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς της διακινδύνευσης, θα πρέπει τα συμπεράσματα να “κινούνται” σε κοινή κατεύθυνση.

Κατά την εκτίμηση της επικινδυνότητας, σε διάφορες μεθόδους προτείνονται μέτρα προστασίας και ενέργειες που θα μειώσουν το επίπεδο της επικινδυνότητας (πχ FRHI, Marinis). Ωστόσο, οι μελετητές σημειώνουν ότι πρόκειται για ενδεικτικά μέτρα προστασίας και η επιλογή τους θα πρέπει να καθορίζεται από τις ιδιαίτερες επί τόπου συνθήκες.

Η μέθοδος εκτίμησης της επικινδυνότητας που βασίζεται στην ενέργεια, όπως επίσης και οι πιθανολογικές εκτιμήσεις της διακινδύνευσης, μπορούν να κατευθύνουν την λήψη αποφάσεων για τα κατάλληλα μέτρα προστασίας, επιλέγοντας διαφορετικά σενάρια, που οδηγούν στα αντίστοιχα αποτελέσματα. Εάν το αποτέλεσμα της εκτίμησης, για συγκεκριμένα μέτρα προστασίας, οδηγούν πχ σε διακινδύνευση μικρότερη της μέγιστης αποδεκτής τιμής, τότε δύνανται να εφαρμοστούν. Εάν όχι, σχεδιάζεται εναλλακτικό σενάριο.

Όσον αφορά στην επιλογή της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της επικινδυνότητας μίας βραχύπτωσης σε μία οδό, πρέπει να τονιστεί ότι η μέθοδος FRHI χρησιμοποιείται κυρίως για την προστασία των εργατών σε ένα εργοτάξιο, ενώ η μέθοδος κατά Marinis *et al.*, 2008, αφορά στην γενική περίπτωση μίας βραχύπτωσης, χωρίς να εισάγει τα χαρακτηριστικά της οδικής αρτηρίας (πλάτος οδού, κυκλοφορία και ταχύτητα οχημάτων, κτλ).

Αντίθετα, οι μέθοδοι RHRS, NHI-RHRS, TRHRS, CRHRS αφορούν την περίπτωση οδών. Η αρχική μέθοδος RHRS, που είναι και η βάση όλων των υπόλοιπων, διαφοροποιείται από την NHI-RHRS μόνο στην ευαισθησία μερικών παραμέτρων της, μία διαφοροποίηση που αξίζει προσοχής και διερεύνησης. Η μέθοδος TRHRS, είναι αρκετά αναλυτική, ωστόσο απαιτεί πληθώρα στοιχείων και επισταμένη επί τόπου διερεύνηση και παρατήρηση. Η CRHRS, είναι εξαιρετικά διαδεδομένη, με βασικό της πλεονέκτημα την επιπρόσθετη, άμεση εκτίμηση της διακινδύνευσης με την εισαγωγή τριών επιπλέον παραμέτρων. Τέλος, οι μέθοδοι που βασίζονται στις αναλύσεις τροχιάς, χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο, συνδυαζόμενες με δισδιάστατα και τρισδιάστατα μοντέλα προσομοίωσης.

Για την εκτίμηση της διακινδύνευσης, σημειώνεται ότι η μέθοδος WSDOT δεν είναι ιδιαίτερα λεπτομερής, σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους. Τόσο οι ελβετικές μεθοδολογίες, όσο και η μεθοδολογία QRA εκτιμάται ότι, με κατάλληλη επιλογή σεναρίων, δύνανται να εκτιμήσουν το επίπεδο διακινδύνευσης σε ικανοποιητικό βαθμό. Επειδή όμως δεν υπάρχουν αρκετές βιβλιογραφικές αναφορές για εφαρμογή της μεθόδου QRA για την περίπτωση οδών, οι ελβετικές μεθοδολογίες πλεονεκτούν σημαντικά, καθώς έχουν σχεδιαστεί για αυτόν ακριβώς τον σκοπό, ενώ έχουν εφαρμοστεί (και συνεπώς ελεγχθεί) σε πολλές περιπτώσεις του ελβετικού οδικού δικτύου.

Στην παρούσα εργασία, εξετάζεται η περίπτωση των Τεμπών. Όπως θα αναλυθεί στα επόμενα κεφάλαια, επιλέχθηκαν δύο πρανή, στα οποία γίνεται εκτίμηση της επικινδυνότητας και της διακινδύνευσης βραχοπτώσεων.

Καθώς πρόκειται για οδική αρτηρία (E.O.), οι μέθοδοι FRHI και Marinos δεν θα χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της επικινδυνότητας. Μπορούν ωστόσο να χρησιμοποιηθούν οι μέθοδοι RHRS και NHI-RHRS, όπου θα εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για την ευαισθησία συγκεκριμένων παραμέτρων, καθώς και οι μέθοδοι TRHRS και CRHRS. Ωστόσο, καθώς δεν υπάρχει πληθώρα δεδομένων από την υπό εξέταση περιοχή, επιλέγεται να μην χρησιμοποιηθεί η μέθοδος TRHRS. Για την εκτίμηση της επικινδυνότητας, χρησιμοποιείται επίσης και μία μέθοδος βασισμένη σε αναλύσεις τροχιάς, σε συνδυασμό με δισδιάστατο μοντέλο προσομοίωσης.

Τέλος, για την εκτίμηση της διακινδύνευσης, θα χρησιμοποιηθούν τόσο οι ελβετικοί κανονισμοί, όσο και η μέθοδος QRA, ενώ η απλοποιητική μέθοδος WSDOT επιλέγεται να μην χρησιμοποιηθεί.

6. Η περιοχή των Τεμπών

6.1. Γενικά στοιχεία

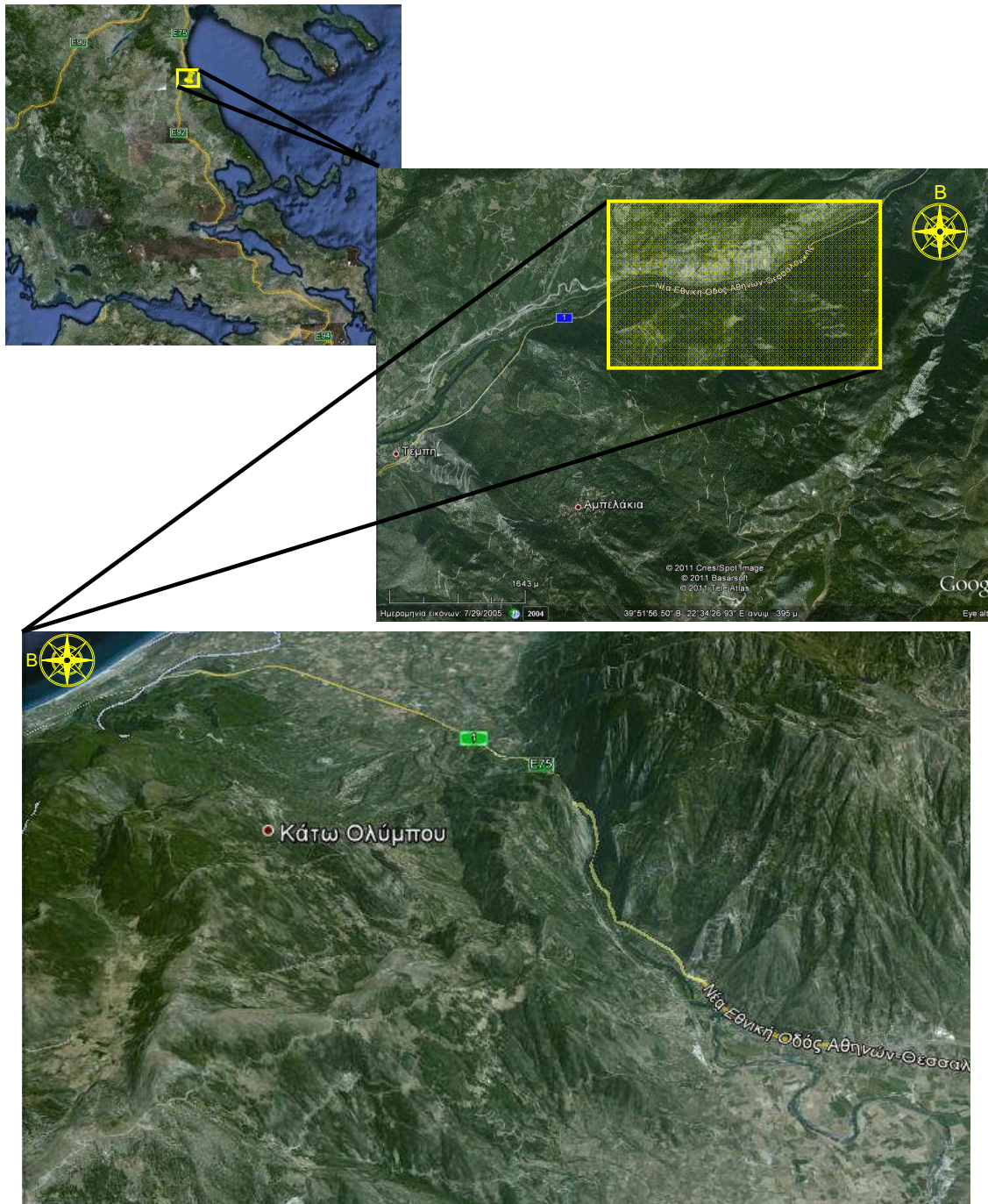
Η κοιλάδα των Τεμπών έχει διαμορφωθεί ως μία ρηξιγενής ζώνη με διεύθυνση ΒΑ/κή – ΝΔ/κή κατά μήκος του Πηνειού ποταμού, που διατρέχει την περιοχή και εκφορτίζει τις επιφανειακές απορροές του Θεσσαλικού κάμπου προς τη θάλασσα (εικόνα 6.1). Οι δευτερεύοντες υδρογραφικοί άξονες έχουν διεύθυνση σχεδόν κάθετη στον κύριο άξονα του Πηνειού.

Τα ύψη στα οποία αναπτύσσεται το φυσικό ανάγλυφο των κλιτύων κυμαίνονται από 10 έως 350m με μορφολογικές κλίσεις που κυμαίνονται από 20° έως 75° περίπου (εικόνα 6.2). Η εθνική οδός (ΠΑΘΕ) κινείται γενικά σε υψόμετρα που κυμαίνονται από 13 έως 50m στο απότομο δεξιό (ανατολικό) πρηνές, όπου αναπτύσσονται ακόμα και αρνητικές κλίσεις (Γκαζέτας et al., 2010 – Πόρισμα ΤΕΕ).

Σύμφωνα με το χάρτη του ΙΓΜΕ (1987) – φύλλο Ραψάνη και λοιπά διαθέσιμα στοιχεία, η περιοχή αποτελείται από τεφρούς έως μελανότεφρους κρυσταλλικούς ασβεστολίθους Μεσοζωικής έως και Ηωκαινικής ηλικίας, πτυχωμένους και έντονα διερρηγμένους, με εμφανή τα ίχνη της καρστικής διεργασίας που έχουν υποστεί. Στους ασβεστολίθους αυτούς, που εντάσσονται στο τεκτονικό παράθυρο της ενότητας Όσσας – Ολύμπου και εμφανίζονται λεπτοστρωματώδεις ή και με ατελή στρώση, κατά θέσεις και κυρίως στα ανώτερα μέλη τους εντοπίζονται παρεμβολές φυλλιτών, που όμως συχνά παίρνουν τη μορφή ενστρώσεων πάχους μέχρι και 50m.

Οι ασβεστόλιθοι παρουσιάζουν μικρή και γενικώς αντίρροπη κλίση ως προς το πρηνές, ενώ σύστημα μειζόνων διαρρήξεων διατέμνει τα ασβεστολιθικά στρώματα σχεδόν παράλληλα με το πρηνές διαμορφώνοντας μικρού εύρους αναβαθμούς (κλιμακωτή διάταξη πρηνούς). Τα ρήγματα είναι σχεδόν κατακόρυφα, έχουν κατά κανόνα διεύθυνση ΒΑ/κή - ΝΔ/κή έως Α/κή – Δ/κή, παρατηρούνται όμως και ρήγματα, που τέμνουν εγκάρσια τα προηγούμενα, έχουν δηλαδή διεύθυνση ΒΔ/κή – ΝΑ/κή. Εκτιμάται ότι αυτά είναι τα ρήγματα που έχουν παίξει ενεργό ρόλο στην διαμόρφωση του σημερινού αναγλύφου, αλλά και στις συνθήκες ευστάθειας. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι ενδείξεις περί ύπαρξης ενεργών και πιθανώς ενεργών ρηγμάτων υπάρχουν στην ευρύτερη περιοχή της ζώνης διέλευσης της χάραξης, σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα και μελέτες διαφόρων φορέων (Γκαζέτας et al., 2010 – Πόρισμα ΤΕΕ).

Πάνω στη σειρά των ασβεστολίθων έχουν επωθηθεί κατά το Ηώκαινο οι σχηματισμοί της ενότητας των Αμπελακίων, αποτελούμενοι κυρίως από μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους, αμφιβολιτικούς σχιστολίθους, αμφιβολίτες, γνευσίους και μάρμαρα. Οι σχηματισμοί αυτοί εμφανίζονται τοπικά στις κλιτύες του νότιου τμήματος της κοιλάδας.



Εικόνα 6.1. Δορυφορικές φωτογραφίες της υπό εξέταση περιοχής. Στην τελευταία φωτογραφία παρουσιάζεται προοπτικά (πηγή: Google Earth)

Όσον αφορά το εδαφικό υλικό των ρωγμών αναφέρεται ότι από τις ορυκτολογικές αναλύσεις και τις δοκιμές εδαφομηχανικής, προέκυψαν τα εξής (Τσιαμπάος, 2010):

(α) παρουσία φυτικών υλών, ριζών κλπ.

(β) το εδαφικό υλικό είναι κυρίως κοκκώδους σύστασης (αργιλώδης άμμος με χάλικες), μη διογκούμενο, αποτελούμενο κατά 80% από ασβεστίτικο υλικό.

(γ) η αντοχή του φαίνεται να είναι προς τις συνήθεις κατώτερες τιμές άμμου, με γωνία διατμητικής αντοχής που αντιστοιχεί σε 37° για την εφαπτομένη στην αρχή (μηδενικές ως μικρές τάσεις) και στις 30° για την τέμνουσα στα 300 kPa.

(δ) λόγω της παρουσίας κλάσματος αργιλοίλου, η διαπερατότητα εκτιμάται ότι είναι χαμηλή, τάξης μεγέθους μικρότερη από αυτή της άμμου.



Εικόνα 6.2. Άποψη της περιοχής που εξετάζεται (Τσιαμπάος, 2010)

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία (Πόρισμα ΤΕΕ 2010, ΥΠΕΧΩΔΕ 2006) το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης της περιοχής είναι της τάξης των 1800-2000mm, ενώ σε περιπτώσεις έντονων βροχοπτώσεων, ξεπερνά τα 400mm μηνιαίως.

6.2. Μηχανισμός των καταπτώσεων

Στο μεγαλύτερο τμήμα της οδού, από την είσοδο στην κοιλάδα των Τεμπών έως την περιοχή της Αγίας Παρασκευής, υπάρχει άμεσος κίνδυνος εκδήλωσης καταπτώσεων βράχων.

Τα συστήματα των ασυνεχειών της βραχώμαζας διατάσσονται παράλληλα, υποπαράλληλα αλλά και κάθετα στο πρηνές διαμορφώνοντας στύλους (λιθοκολώνες) ή πλάκες βραχώμαζας ύψους πολλών μέτρων και δεκάδων τόνων, οι οποίες τοπικά βρίσκονται σε κατάσταση οριακής ισορροπία.

Η διατμητική αντοχή των ασυνεχειών του ασβεστολίθου οφείλεται πρωτίστως στις αδιάρρηκτες γέφυρες υγιούς βραχώδους υλικού που αναπτύσσονται κατά μήκος των επιφανειών και στην τραχύτητα των ασυνεχειών. Δευτερευόντως, διατμητική αντοχή –σαφώς πολύ μικρότερη – μπορεί να παρέχει τυχόν εδαφικό υλικό πλήρωσης των ρωγμών.

Ως γενεσιουργό αίτιο εκδήλωσης των καταπτώσεων θεωρείται κυρίως η σταδιακή απομείωση της διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών λόγω της διαβρωτικής δράσης του νερού κατά μήκος των διακλάσεων (σε περιόδους παρατεταμένων και έντονων βροχοπτώσεων), της δυναμικής φόρτισης της βραχώμαζας (σεισμικές και τεχνητές δονήσεις, εκρήξεις κ.α.), της σταδιακής αύξησης του ανοίγματος των ασυνεχειών και των ρωγμών της βραχώμαζας από την διείσδυση του ριζικού συστήματος των θάμνων και δένδρων ενταυτών, της απότομης αύξησης της υδροστατικής πίεσης του νερού των ρωγμών, λόγω έντονης βροχόπτωσης (Τσιαμπάος, 2010).

Σημειώνεται πως στην περιοχή κατασκευάζονται οι σήραγγες των Τεμπών T1 και T2, μήκους 2 και 6km αντίστοιχα, καθώς και η σήραγγα του Πλαταμώνα, μήκους 3km, ωστόσο δεν υπάρχουν σαφείς ενδείξεις για το ενδεχόμενο να επηρεάζουν (και σε τι βαθμό) την ευστάθεια των βραχωδών πρηνών (Μπαλικτζής, 2010).

6.3. Ιστορικό καταπτώσεων

Τα προβλήματα αστάθειας των βραχωδών πρηνών, που επηρεάζουν την ασφαλή κυκλοφορία της οδού στην κοιλάδα των Τεμπών, έχουν απασχολήσει κατά καιρούς τις υπηρεσίες του αρμόδιου Υπουργείου (τέως ΥΠΕΧΩΔΕ), το Ι.Γ.Μ.Ε και άλλους αρμόδιους φορείς.

Από τα διαθέσιμα στοιχεία, προέκυψε ο παρακάτω πίνακας, στον οποίο περιλαμβάνονται τα στοιχεία που έχουν συλλεχθεί, κατά κύριο λόγο, από την ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟ Α.Ε. και αφορούν στα καταγεγραμμένα γεγονότα καταπτώσεων από το 1997 και μετά.

Πίνακας 6.1. Ιστορικό καταγεγραμμένων συμβάντων αποκολλήσεων βράχων στην κοιλάδα των Τεμπών με χρονολογική σειρά (Γκαζέτας *et al.*, 2010 – Πόρισμα ΤΕΕ)

| Ημερομηνία | Χ.Θ. | Σχόλια |
|------------|---------|--|
| 11/8/1997 | 390+000 | Όχημα προσέκρουσε σε βράχια που υπήρχαν πάνω στο οδόστρωμα λόγω κατολίσθησης, συνέπειας της βροχόπτωσης, με αποτέλεσμα να υποστεί σοβαρές υλικές ζημιές |
| 22/11/1998 | 385+390 | Διαδοχικές πτώσεις λίθων από τους παρακείμενους βράχους στο οδόστρωμα. Το περιπολικό του δικτύου έλαβε μέτρα και απομάκρυνε τους λίθους. Όχημα της 3ης ΔΕΚΕ δηλώθηκε ότι θα περιπολεί εντός της κοιλάδας των Τεμπών από αρμόδιους της ΔΕΚΕ |
| Απρ-99 | 390+250 | Κατολίσθηση ανάντη πρανούς |
| 10/9/1999 | 375+000 | Διερχόμενο όχημα προσέκρουσε σε βράχο που είχε πέσει στο οδόστρωμα με αποτέλεσμα πρόκληση υλικών ζημιών |
| 27/4/2000 | 387+200 | Όχημα κινούμενο προς Θεσσαλονίκη υπέστη υλικές ζημιές λόγω πτώσης βράχου |
| 13/7/2000 | 390+250 | Ατύχημα με υλικές ζημιές πρόκλησης καθιζήσεως. Η συντήρηση προέβη σε συνεχείς συμπληρώσεις με ασφαλτόμιγμα χωρίς την άρση των αιτίων που προκαλούσαν την καθίζηση |
| 26/7/2001 | 387+500 | Από άγνωστη αιτία αποκολλήθηκαν μικρές πέτρες και κατέπεσαν στο αριστερό τμήμα οχήματος με αποτέλεσμα να υποστεί υλικές ζημιές |
| 6/9/2001 | 385+500 | Εντός της κοιλάδας των Τεμπών και σε τμήμα 100μ περίπου στην Χ.Θ. 385+500 παρουσιάστηκαν ζυμώματα τα οποία δεν οφείλονταν στις ασφαλτικές στρώσεις, αλλά στην αστάθεια των εδαφικών στρώσεων στην περιοχή και στην ύπαρξη πηγαίων και όχι επιφανειακών νερών |
| 24/12/2002 | 390+000 | Πριν την διασταύρωση με Ομολιό υπέπεσαν εντός του οδοστρώματος βράχια και πέτρες με αποτέλεσμα το διερχόμενο όχημα να υποστεί υλικές ζημιές |
| 3/1/2004 | 385+000 | Υλικές ζημιές οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων στο οδόστρωμα |
| 15/4/2005 | 389+000 | Πτώση βράχων και υλικές ζημιές οχήματος |
| 18/4/2005 | 382+000 | Εκτροπή οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων |
| 6/8/2005 | 386+000 | Πτώση βράχων χωρίς να προκληθούν ζημιές |
| 30/1/2006 | 389+950 | Πρόκληση ζημιάς σε ελαστικό φορτηγού εξαιτίας πτώσης βράχων |
| 24/2/2006 | 389+700 | Πρόκληση ζημιάς σε ελαστικό αυτοκινήτου εξαιτίας πτώσης βράχων |
| 20/8/2006 | 387+700 | Πρόκληση ζημιάς σε ελαστικό αυτοκινήτου εξαιτίας πτώσης βράχων |
| 22/12/2006 | 382+800 | Πτώση βράχων και υλικές ζημιές οχήματος |
| 22/12/2006 | 382+500 | Πρόκληση ζημιάς σε ελαστικό αυτοκινήτου εξαιτίας πτώσης βράχων |

Περιστατικά βραχοπτώσεων πριν την έναρξη διανοίξης των σηράγγων στην κοιλάδα των Τεμπών

Πίνακας 6.1. Συνέχεια

| Ημερομηνία | Χ.Θ. | Σχόλια | |
|------------|---------|---|---|
| 26/3/2007 | 387+200 | Προσωρινή διακοπή της κυκλοφορίας εξαιτίας της πτώσης μεγάλου όγκου βράχων. Λόγω της κατάπτωσης των βράχων προκλήθηκε δυσχέρεια στην κυκλοφορία η οποία διεξαγόταν εκ περιτροπής από το ένα ρεύμα | Περιστατικά βραχοπτώσεων πριν την έναρξη διάνοιξης των σηράγγων στην κοιλάδα των Τεμπών |
| 25/5/2007 | 389+800 | Υλικές ζημιές οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων στο οδόστρωμα | |
| 22/10/2007 | 387+500 | Υλικές ζημιές οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων στο οδόστρωμα | |
| 31/10/2007 | 388+200 | Υλικές ζημιές οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων στο οδόστρωμα | |
| 23/2/2008 | 387+000 | Πτώση βράχων και υλικές ζημιές σε δύο διερχόμενα οχήματα | |
| 1/3/2008 | 386+000 | Υλικές ζημιές οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων στο οδόστρωμα | |
| 6/3/2008 | 387+000 | Υλικές ζημιές οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων στο οδόστρωμα | |
| 7/3/2008 | 387+000 | Υλικές ζημιές οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων στο οδόστρωμα | |
| 21/5/2008 | 387+300 | Πτώση βράχων και υλικές ζημιές σε δύο διερχόμενα οχήματα | |
| 3/8/2008 | 387+000 | Υλικές ζημιές οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων στο οδόστρωμα | |
| 27/10/2008 | 387+600 | Υλικές ζημιές οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων στο οδόστρωμα | |
| 23/1/2009 | 390+000 | Υλικές ζημιές οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων στο οδόστρωμα | |
| 24/1/2009 | 387+000 | Υλικές ζημιές οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων στο οδόστρωμα | |
| 25/10/2009 | 388+000 | Υλικές ζημιές οχήματος εξαιτίας πτώσης βράχων στο οδόστρωμα | |
| 15/12/2009 | 386+000 | Πρόκληση σύγκρουσης δύο οχημάτων εξαιτίας πτώσης βράχων | |
| 16/12/2009 | 386+100 | Πτώση βράχων χωρίς να προκληθούν υλικές ζημιές | |
| 17/12/2009 | 386+200 | Πτώση βράχων συνολικού όγκου 300m ³ , από ύψος 80m. Το μεγαλύτερο τμήμα είχε όγκο 20m ³ . Το συμβάν αυτό οδήγησε στον θάνατο του Διευθυντή του έργου διάνοιξης των σηράγγων, Ιταλού μηχανικού Σέρτζιο Σιάνι, επικεφαλής βμελούς συνεργείου της κοινοπραξίας που είχε μεταβεί στην περιοχή για αυτοψία | |

Όσον αφορά το τελευταίο, θανατηφόρο γεγονός, αναφέρονται τα εξής (Τσιαμπάος, 2010):

Το απόγευμα της 15^{ης} και 16^{ης} Δεκεμβρίου 2009 εκδηλώθηκαν καταπτώσεις βράχων στο τμήμα από Χ.Θ. 386+150 έως Χ.Θ. 386+200 της Ε.Ο. Αθήνας – Θεσσαλονίκης, στην κοιλάδα των Τεμπών, που προκάλεσαν, η μεν πρώτη σύγκρουση δυο οχημάτων, η δε δεύτερη εκτροπή φορτηγού οχήματος, μόνον με υλικές ζημιές, με αποτέλεσμα, μετά και το δεύτερο περιστατικό, να απαγορευθεί η κυκλοφορία της οδού.

Την επομένη το πρωί, 17/12/2009, εκδηλώθηκε κατάπτωση μεγάλων τεμαχών ασβεστολίθου, συνολικού όγκου 300m³ (800 tn) που αποκολλήθηκαν από το πρανές, από ύψος 80m περίπου. Το μεγαλύτερο βραχοτέμαχος είχε όγκο 20m³ (εικόνα 6.3). Το συμβάν αυτό οδήγησε στον θάνατο του Διευθυντή του έργου διάνοιξης των σηράγγων, Ιταλού μηχανικού Σέρτζιο Σιάνι, επικεφαλής βμελούς συνεργείου της κοινοπραξίας που είχε μεταβεί στην περιοχή για αυτοψία.



Εικόνα 6.3. Το θανατηφόρο γεγονός στις 17/9/2009 (Τσιαμπάος, 2010)

Στη συνέχεια του παρόντος, θα προσδιοριστεί η επικινδυνότητα και η διακινδύνευση σε δύο χαρακτηριστικές θέσεις, που εκτιμώνται ως επίφοβες για καταπτώσεις, εξαιτίας της γεωμετρίας του αναγλύφου τους, της γεωλογίας τους και το αντίστοιχο ιστορικό καταπτώσεων.

Πρόκειται για τις θέσεις:

1. Χ.Θ. 386+200 – 386+300, με κρίσιμη διατομή στη Χ.Θ. 386+215
2. Χ.Θ. 387+060 – 387+160, με κρίσιμη διατομή στη Χ.Θ. 387+130

7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρανών

7.1. Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης των πρανών μεταξύ Χ.Θ. 386+200 – Χ.Θ. 386+300 (με δυσχερέστερη διατομή στη θέση Χ.Θ. 386+215) και μεταξύ Χ.Θ. 387+060 – Χ.Θ. 387+160 (με δυσχερέστερη διατομή στη θέση Χ.Θ. 387+130).

Για την βαθμολόγηση της επικινδυνότητας χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι RHRS, NHI-RHRS και CRHRS. Από την τελευταία μέθοδο προκύπτει και βαθμολογία της διακινδύνευσης του πρανούς.

Για την βαθμολόγηση της διακινδύνευσης χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία των Ελβετικών κανονισμών (FEDRO), καθώς και η μέθοδος QRA.

Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις ανάλυσης τροχιάς με τη χρήση του προγράμματος Rocfall της Rocscience Inc., με σκοπό την εκτίμηση της μέγιστης κινητικής ενέργειας των τεμαχίων. Στη συνέχεια, με βάση τα αποτελέσματα αυτά και τις ελβετικές μεθοδολογίες, εκτιμώνται τα επίπεδα της επικινδυνότητας.

Τα απαραίτητα στοιχεία για τους υπολογισμούς προέρχονται από τη μελέτη σταθεροποίησης πρανών στην κοιλάδα των Τεμπών (Ο.Κ.,2008) και του πορίσματος της επιτροπής εμπειρογνομόνων του ΤΕΕ (2010) για τις καταπτώσεις στα Τέμπη.

Σημειώνεται ότι για τη βαθμολόγηση της επικινδυνότητας δεν δίνονται στοιχεία χαρακτηρισμού της (πχ ως υψηλή, μέτρια, χαμηλή), παρά μόνο στη μέθοδο CRHRS στην οποία μάλιστα χαρακτηρίζονται μόνο τα πρανή με κρυσταλλικά και χαοτικής δομή πετρώματα.

Επίσης, κάθε μέθοδος διαθέτει διαφορετικές μέγιστες και ελάχιστες τιμές, ανάλογα με τις παραμέτρους που βαθμολογούνται και η τελική βαθμολόγηση δίνεται με τη μορφή καθαρού αριθμού. Ωστόσο είναι δυνατόν να δοθεί και ως % ποσοστό επί της μέγιστης τιμής της μεθόδου.

Μετατρέποντας την τελική βαθμολόγηση σε % ποσοστό, είναι δυνατή η ταξινόμηση της επικινδυνότητας, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα κάθε μεθόδου με τον πίνακα 7.1, ο οποίος έχει προκύψει από τη μέθοδο CRHRS, με αναγωγή σε % ποσοστά.

7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρανών

Πίνακας 7.1. Κατάταξη βαθμολόγησης επικινδυνότητας σύμφωνα με τη μέθοδο CRHRS. Οι τιμές αντιστοιχούν σε % ποσοστό της μέγιστης τιμής (από Russell et al., 2008)

| Κατάταξη βαθμολόγησης επικινδυνότητας | | | |
|---|----------------|-----------------|---------|
| 1. Ορύγματα με κρυσταλλικό πέτρωμα | | | |
| Βαθμολογία επικινδυνότητας | 0.00% - 37.70% | 37.71% - 48.00% | ≥48.01% |
| Κατάταξη | Χαμηλή | Μέτρια | Υψηλή |
| Κωδικοποίηση | 3 | 2 | 1 |
| 2. Συνολικά πρανή με κρυσταλλικό πέτρωμα | | | |
| Βαθμολογία επικινδυνότητας | 0% - 48.00% | 48.01% - 54.80% | ≥54.81% |
| Κατάταξη | Χαμηλή | Μέτρια | Υψηλή |
| Κωδικοποίηση | 3 | 2 | 1 |
| 3. Πρανή με πέτρωμα χαοτικής δομής | | | |
| Βαθμολογία επικινδυνότητας | 0% - 30.80% | 30.81% - 41.10% | ≥41.11% |
| Κατάταξη | Χαμηλή | Μέτρια | Υψηλή |
| Κωδικοποίηση | 3 | 2 | 1 |

7.2. Βαθμολόγηση Επικινδυνότητας

7.2.1. Χ.Θ. 386+200 – Χ.Θ. 386+300 (διατομή: Χ.Θ. 386+215)

Πρόκειται για το πρηνές που φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα 7.1.



Εικόνα 7.1. Άποψη του πρηνούς στην Χ.Θ. 386+215.

Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία για την διατομή που εξετάζεται, καθώς και εύλογες παραδοχές που έγιναν, υιοθετούνται τα εξής χαρακτηριστικά:

- ✓ Πρόκειται για ένα πρηνές ύψους περίπου 90m, με μέση γωνία 60° , με αρκετές ανώμαλες επιφάνειες, νότιο-ανατολικού προσανατολισμού,
- ✓ Το πλάτος της οδού είναι της τάξης των 8.2m,
- ✓ Δεν υπάρχει βραχοπαγίδα, ενώ καταπτώσεις εκτιμάται ότι μπορούν να έχουν ως αφετηρία οποιοδήποτε σημείο καθ' όλο το ύψος του πρηνούς,
- ✓ Αποτελείται από λεπτοστρωματώδη κρυσταλλικό ασβεστόλιθο, ελαφρώς ρωγματωμένο,
- ✓ Παρουσιάζονται 3-4 οικογένειες ασυνεχειών, με δυσμενή, ως προς την ευστάθεια, προσανατολισμό, επίπεδων επιφανειών, με άνοιγμα έως και 10cm και εμμόνη μεγαλύτερη από 3m. Κατά θέσεις, είναι πληρωμένες με αργιλικό υλικό,
- ✓ Παρατηρούνται σπάνια βραχοπτώσεις, με τον όγκο των καταπτώσεων να είναι συνήθως $1-2m^3$, ενώ έχει παρατηρηθεί και η περίπτωση όγκου βραχόπτωσης έως και $40m^3$.

7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρανών

- ✓ Στην περιοχή εκτιμάται ότι το μέγιστο μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης είναι της τάξης των 400mm ενώ το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης είναι της τάξης των 1800-2000mm, η θερμοκρασία πέφτει υπό του μηδενός για περίπου 40 ημέρες το χρόνο, ενώ τουλάχιστον 6 ημέρες τον χρόνο παρουσιάζονται υψηλές στάθμες υετού.
- ✓ Εκτιμάται ότι από την περιοχή διέρχονται καθημερινά 21500 οχήματα, με ταχύτητα της τάξης των 70km/h.

7.2.1.1. Μέθοδος RHRS

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | | |
|--|-------------|--|---|--|---|--|
| | | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 | |
| Ύψος πρανούς | | 25 ft (≈7.6 m) | 50 ft (≈15.2 m) | 75 ft (≈22.9 m) | 100 ft (≈30.5 m) | |
| Αποτελεσματικότητα τάφρου | | Καλή συγκράτηση | Μέτρια συγκράτηση | Περιορισμένη συγκράτηση | Καθόλου συγκράτηση | |
| Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR) | | 25% του χρόνου | 50% του χρόνου | 75% του χρόνου | 100% του χρόνου | |
| Απόσταση αντίδρασης, ως ποσοστό της ελάχιστης τιμής σχεδιασμού (DSD) | | Επαρκής οπτική απόσταση, 100% χαμηλής τιμής σχεδιασμού | Μέτρια οπτική απόσταση, 80% χαμηλής τιμής σχεδιασμού | Περιορισμένη οπτική απόσταση, 60% χαμηλής τιμής σχεδιασμού | Πολύ περιορισμένη οπτική απόσταση, 40% χαμηλής τιμής σχεδιασμού | |
| Συνολικό πλάτος δρόμου | | 44 ft (≈13.4 m) | 36 ft (≈11.0 m) | 28 ft (≈8.5 m) | 20 ft (≈6.1 m) | |
| Γεωλογικός χαρακτήρας | Περίπτωση 1 | Δομή βραχώμαζας | Ασυνεχείς διακλάσεις, ευμενής προσανατολισμός | Ασυνεχείς διακλάσεις, τυχαίος προσανατολισμός | Ασυνεχείς διακλάσεις, δυσμενής προσανατολισμός | Συνεχείς διακλάσεις, δυσμενής προσανατολισμός |
| | | Τραχύτητα | Τραχεία, ανώμαλη | Κυματοειδής | Επίπεδη | Αργιλικό υλικό πλήρωσης – ολισθηρές επιφάνειες |
| | Περίπτωση 2 | Δομή βραχώμαζας | Ελαφρά διαφορική διάβρωση | Περιστασιακή διαφορική διάβρωση | Σημαντική διαφορική διάβρωση | Εκτεταμένη διαφορική διάβρωση |
| | | Διαφορά στο ρυθμό διάβρωσης | Μικρή διαφορά | Μέτρια διαφορά | Μεγάλη διαφορά | Υπερβολικά μεγάλη διαφορά |
| Μέγεθος τεμαχίων / Ποσότητα επισφαλών τεμαχίων | | 1ft (≈0.30 m) / 3 yd ³ (≈2.3 m ³) | 2ft (≈0.61 m) / 6 yd ³ (≈4.6 m ³) | 3ft (≈0.91 m) / 9 yd ³ (≈6.9 m ³) | 4ft (≈1.22 m) / 12 yd ³ (≈9.2 m ³) | |
| Κλίμα και παρουσία νερού στο πρανές | | Χαμηλές έως μέτριες βροχοπτώσεις. Καθόλου περίοδοι παγετού-Καθόλου νερό στο πρανές | Μέτριες βροχοπτώσεις ή μικροί περίοδοι παγετού ή περιστασιακή παρουσία νερού στο πρανές | Υψηλές βροχοπτώσεις ή μεγάλοι περίοδοι παγετού ή συνεχής παρουσία νερού στο πρανές | Υψηλές βροχοπτώσεις και μεγάλοι περίοδοι παγετού ή συνεχής παρουσία νερού στο πρανές και μεγάλοι περίοδοι παγετού | |
| Ιστορικό καταπτώσεων | | Ελάχιστες καταπτώσεις | Περιστασιακές καταπτώσεις | Πολλές καταπτώσεις | Συνεχείς καταπτώσεις | |
| Συνολική Βαθμολογία | | | | 468 | | |

Αναλυτικά:

- Κατηγορία: Ύψος Πρανούς
Λαμβάνεται υπόψη το ύψος από το οδόστρωμα μέχρι το υψηλότερο σημείο από το οποίο αναμένεται κατάπτωση. Στην περίπτωση αυτή, θεωρείται ίσο με 90m. Συνεπώς, η βαθμολογία αυτής της κατηγορίας είναι ίση με 81.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|--------------|-------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Ύψος πρανούς | 25 ft (≈7.6 m) | 50 ft (≈15.2 m) | 75 ft (≈22.9 m) | 100 ft (≈30.5 m) |

- Κατηγορία: Αποτελεσματικότητα τάφρου
Καθώς δεν υπάρχει βραχοπαγίδα στην περιοχή που εξετάζεται, επιλέγεται βαθμολογία κατηγορίας ίση με 81.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|---------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Αποτελεσματικότητα τάφρου | Καλή συγκράτηση | Μέτρια συγκράτηση | Περιορισμένη συγκράτηση | Καθόλου συγκράτηση |

- Κατηγορία: Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR)
Προκύπτει από τον ακόλουθο τύπο:

$$AVR = \frac{ADT \text{ (οχήματα/ημέρα)} \times \text{μήκος πρανούς (km)} / 24 \text{ (ώρες/ημέρα)}}{\text{Όριο ταχύτητας (km/ώρα)}} \times 100\%$$

Όπου:

ADT: μέση ημερήσια κυκλοφορία οχημάτων = 21500 οχήματα/ημέρα

Μήκος πρανούς = 0.1 km

Όριο ταχύτητας = 70 km/h

Προκύπτει AVR = 128% και συνεπώς η βαθμολογία της κατηγορίας είναι ίση με 81.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|--|-------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR) | 25% του χρόνου | 50% του χρόνου | 75% του χρόνου | 100% του χρόνου |

- Κατηγορία: Απόσταση αντίδρασης, ως ποσοστό της ελάχιστης τιμής σχεδιασμού (DSD)
Προκύπτει από τον ακόλουθο τύπο:

$$DSD(\%) = \frac{\text{Πραγματική απόσταση ()} \times 100\%}{\text{Απόσταση απόφασης ()}}$$

7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρανών

Η απόφαση απόστασης σύμφωνα με τον Πίνακα 3.3, για ταχύτητα οχήματος ίση με 70km/h είναι ίση με 200m. Όσον αφορά την πραγματική απόσταση, παρατηρείται ότι στο συγκεκριμένο τμήμα της οδού, που εξετάζεται, η καμπυλότητα είναι ελάχιστη. Συνεπώς, η πραγματική απόσταση θα είναι σε κάθε περίπτωση μεγαλύτερη ή ίση με 200m, δηλαδή η οπτική απόσταση είναι επαρκής. Συνεπώς, προκύπτει DSD = 100% και συνεπώς η βαθμολογία της κατηγορίας ισούται με 3.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|--|--|--|--|---|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Απόσταση αντίδρασης, ως ποσοστό της ελάχιστης τιμής σχεδιασμού (DSD) | Επαρκής οπτική απόσταση, 100% χαμηλής τιμής σχεδιασμού | Μέτρια οπτική απόσταση, 80% χαμηλής τιμής σχεδιασμού | Περιορισμένη οπτική απόσταση, 60% χαμηλής τιμής σχεδιασμού | Πολύ περιορισμένη οπτική απόσταση, 40% χαμηλής τιμής σχεδιασμού |

- Κατηγορία: Συνολικό πλάτος δρόμου
Το πλάτος του δρόμου στην συγκεκριμένη θέση είναι ίσο με 8.2m. Συνεπώς η βαθμολογία της κατηγορίας ισούται με 27.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|------------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Συνολικό πλάτος δρόμου | 44 ft (≈13.4 m) | 36 ft (≈11.0 m) | 28 ft (≈8.5 m) | 20 ft (≈6.1 m) |

- Γεωλογικός χαρακτήρας: Πρόκειται για την περίπτωση 1, όπου η βραχόμαζα ελέγχεται από τις ασυνέχειες
- Κατηγορία: Δομή βραχόμαζας
Παρουσιάζονται κυρίαρχες ομάδες ασυνεχειών με δυσμενή προσανατολισμό και μήκος μεγαλύτερο από 3m. Βαθμολογία κατηγορίας: 81
- Κατηγορία: Τραχύτητα
Παρουσιάζονται Επίπεδες επιφάνειες των ασυνεχειών, χωρίς κυματισμό. Βαθμολογία κατηγορίας: 27

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | | |
|-----------------------|-------------|-------------------------|---|---|--|---|
| | | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 | |
| Γεωλογικός χαρακτήρας | Περίπτωση 1 | Δομή βραχόμαζας | Ασυνεχείς διακλάσεις, ευμενής προσανατολισμός | Ασυνεχείς διακλάσεις, τυχαίος προσανατολισμός | Ασυνεχείς διακλάσεις, δυσμενής προσανατολισμός | Συνεχείς διακλάσεις, δυσμενής προσανατολισμός |
| | | Τραχύτητα | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| | | Τραχεία, ανώμαλη | Κυματοειδής | Επίπεδη | Αργιλικό υλικό πλήρωσης – Ολισθηρές επιφάνειες | |

- Κατηγορία: Μέγεθος τεμαχών / Ποσότητα επισφαλών τεμαχών
Σύμφωνα με τις υφιστάμενες μελέτες, στην διατομή ελέγχου έχουν παρατηρηθεί καταπτώσεις της τάξης του 1.0 – 2.0m³, ενώ αναφέρεται και η ακραία περίπτωση των 40m³. Σε πρώτη φάση εκτιμάται ποσότητα

7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρανών

καταπτώσεων ίση με 2.0m³, ενώ θα ακολουθήσει ανάλυση ευαισθησίας της παραμέτρου. Συνεπώς, για την κατηγορία, η βαθμολογία ισούται με 3.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|---|---|--|--|---|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Μέγεθος τεμαχίων / Ποσότητα επισφαλών τεμαχίων | 1ft (≈0.30 m) /3 yd3 (≈2.3 m ³) | 2ft (≈0.61 m) / 6 yd3 (≈4.6 m ³) | 3ft (≈0.91 m)/9 yd3 (≈6.9 m ³) | 4ft (≈1.22 m) / 12 yd3 (≈9.2 m ³) |

- Κατηγορία: Κλίμα και παρουσία νερού στο πρανές
Από τα διαθέσιμα στοιχεία, εκτιμάται ότι η μέγιστη μηνιαία βροχόπτωση στη περιοχή μελέτης ισούται με 400mm, ενώ η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι της τάξης των 1800 – 2000mm (υψηλή βροχόπτωση) Επίσης, θεωρούνται μεγάλες περίοδοι παγετού. Συνεπώς, ανήκει στην τέταρτη κατηγορία (βαθμολογία = 81).

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|--|--|---|--|---|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Κλίμα και παρουσία νερού στο πρανές | Χαμηλές έως μέτριες βροχοπτώσεις. Καθόλου περίοδοι παγετού-Καθόλου νερό στο πρανές | Μέτριες βροχοπτώσεις ή μικροί περίοδοι παγετού ή περιστασιακή παρουσία νερού στο πρανές | Υψηλές βροχοπτώσεις ή μεγάλοι περίοδοι παγετού ή συνεχής παρουσία νερού στο πρανές | Υψηλές βροχοπτώσεις και μεγάλοι περίοδοι παγετού ή συνεχής παρουσία νερού στο πρανές και μεγάλοι περίοδοι παγετού |

- Κατηγορία: Ιστορικό καταπτώσεων
Από τα διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία, εκτιμάται ότι δεν παρουσιάζονται συχνά καταπτώσεις. Ωστόσο, τα διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία δεν κρίνονται κατ'ανάγκη πλήρη. Σε αυτή την περίπτωση, επιλέγεται η κατηγορία «ελάχιστες καταπτώσεις», με βαθμολογία ίση με 3.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|-----------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|----------------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Ιστορικό καταπτώσεων | Ελάχιστες καταπτώσεις | Περιστασιακές καταπτώσεις | Πολλές καταπτώσεις | Συνεχείς καταπτώσεις |

Αθροίζοντας την βαθμολογία των παραπάνω κατηγοριών, προκύπτει η συνολική βαθμολογία του πρανούς, έναντι της επικινδυνότητας, όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

| | |
|--|---------------|
| Συνολική Βαθμολογία | 468 |
| Συνολική Βαθμολογία (%) ως προς max | 57,78% |

Σε αντιστοιχία με τη μέθοδο CRHRS, **η επικινδυνότητα του πρανούς χαρακτηρίζεται ως υψηλή.**

7.2.1.2. Μέθοδος NHI – RHRS

Η ουσιαστική διαφοροποίηση της μεθόδου αυτής, σε σχέση με την αρχική RHRS είναι ότι οι κατηγορίες:

- Ύψος πρανούς,
- Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR – Μέση διακινδύνευση οχήματος),
- Απόσταση αντίδρασης, ως ποσοστό της ελάχιστης τιμής σχεδιασμού (DSD),
- Πλάτος δρόμου και
- Ποσότητα τεμαχίων/μέγεθος τεμάχους,

είναι δυνατό να λάβουν τιμές βαθμολογίας μεταξύ 1 και 100.

Με τις υπόλοιπες κατηγορίες να διατηρούν την βαθμολογία που επιλέχθηκε στο κεφάλαιο 7.2.1.1., η βαθμολόγηση κατά NHI – RHRS θα προκύψει από τη νέα βαθμολογία που θα λάβουν οι παραπάνω κατηγορίες, όπως αναλύεται παρακάτω.

Η βαθμολογία των παραμέτρων αυτών προκύπτει βάση του πίνακα 7.2 που ακολουθεί.

Πίνακας 7.2. Βοηθητικοί πίνακες βαθμολόγησης κατά NHI-RHRS (Pierson & Vickle, 1993)

| ΥΨΟΣ ΠΡΑΝΟΥΣ | | | | | |
|--------------|-------|------------|-----|-------|------------|
| ft | m | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | ft | m | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ |
| 9 | 2,74 | 1 | 58 | 17,68 | 13 |
| 10 | 3,05 | 2 | 59 | 17,98 | 13 |
| 11 | 3,35 | 2 | 60 | 18,29 | 14 |
| 12 | 3,66 | 2 | 61 | 18,59 | 15 |
| 13 | 3,96 | 2 | 62 | 18,90 | 15 |
| 14 | 4,27 | 2 | 63 | 19,20 | 16 |
| 15 | 4,57 | 2 | 64 | 19,51 | 17 |
| 16 | 4,88 | 2 | 65 | 19,81 | 17 |
| 17 | 5,18 | 2 | 66 | 20,12 | 18 |
| 18 | 5,49 | 2 | 67 | 20,42 | 19 |
| 19 | 5,79 | 2 | 68 | 20,73 | 20 |
| 20 | 6,10 | 2 | 69 | 21,03 | 21 |
| 21 | 6,40 | 3 | 70 | 21,34 | 22 |
| 22 | 6,71 | 3 | 71 | 21,64 | 23 |
| 23 | 7,01 | 3 | 72 | 21,95 | 24 |
| 24 | 7,32 | 3 | 73 | 22,25 | 25 |
| 25 | 7,62 | 3 | 74 | 22,56 | 26 |
| 26 | 7,92 | 3 | 75 | 22,86 | 27 |
| 27 | 8,23 | 3 | 76 | 23,16 | 28 |
| 28 | 8,53 | 3 | 77 | 23,47 | 29 |
| 29 | 8,84 | 4 | 78 | 23,77 | 31 |
| 30 | 9,14 | 4 | 79 | 24,08 | 32 |
| 31 | 9,45 | 4 | 80 | 24,38 | 34 |
| 32 | 9,75 | 4 | 81 | 24,69 | 35 |
| 33 | 10,06 | 4 | 82 | 24,99 | 37 |
| 34 | 10,36 | 4 | 83 | 25,30 | 38 |
| 35 | 10,67 | 5 | 84 | 25,60 | 40 |
| 36 | 10,97 | 5 | 85 | 25,91 | 42 |
| 37 | 11,28 | 5 | 86 | 26,21 | 44 |
| 38 | 11,58 | 5 | 87 | 26,52 | 46 |
| 39 | 11,89 | 6 | 88 | 26,82 | 48 |
| 40 | 12,19 | 6 | 89 | 27,13 | 50 |
| 41 | 12,50 | 6 | 90 | 27,43 | 52 |
| 42 | 12,80 | 6 | 91 | 27,74 | 55 |
| 43 | 13,11 | 7 | 92 | 28,04 | 57 |
| 44 | 13,41 | 7 | 93 | 28,35 | 60 |
| 45 | 13,72 | 7 | 94 | 28,65 | 60 |
| 46 | 14,02 | 8 | 95 | 28,96 | 62 |
| 47 | 14,33 | 8 | 96 | 29,26 | 65 |
| 48 | 14,63 | 8 | 97 | 29,57 | 71 |
| 49 | 14,94 | 9 | 98 | 29,87 | 74 |
| 50 | 15,24 | 9 | 99 | 30,18 | 78 |
| 51 | 15,54 | 9 | 100 | 30,48 | 81 |
| 52 | 15,85 | 10 | 101 | 30,78 | 85 |
| 53 | 16,15 | 10 | 102 | 31,09 | 88 |
| 54 | 16,46 | 11 | 103 | 31,39 | 92 |
| 55 | 16,76 | 11 | 104 | 31,70 | 97 |
| 56 | 17,07 | 12 | 105 | 32,00 | 100 |
| 57 | 17,37 | 12 | | | |

| ΜΕΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ | | | |
|-----------------------------|------------|-----|------------|
| % | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | % | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ |
| 9 | 1 | 58 | 13 |
| 10 | 2 | 59 | 13 |
| 11 | 2 | 60 | 14 |
| 12 | 2 | 61 | 15 |
| 13 | 2 | 62 | 15 |
| 14 | 2 | 63 | 16 |
| 15 | 2 | 64 | 17 |
| 16 | 2 | 65 | 17 |
| 17 | 2 | 66 | 18 |
| 18 | 2 | 67 | 19 |
| 19 | 2 | 68 | 20 |
| 20 | 2 | 69 | 21 |
| 21 | 3 | 70 | 22 |
| 22 | 3 | 71 | 23 |
| 23 | 3 | 72 | 24 |
| 24 | 3 | 73 | 25 |
| 25 | 3 | 74 | 26 |
| 26 | 3 | 75 | 27 |
| 27 | 3 | 76 | 28 |
| 28 | 3 | 77 | 29 |
| 29 | 4 | 78 | 31 |
| 30 | 4 | 79 | 32 |
| 31 | 4 | 80 | 34 |
| 32 | 4 | 81 | 35 |
| 33 | 4 | 82 | 37 |
| 34 | 4 | 83 | 38 |
| 35 | 5 | 84 | 40 |
| 36 | 5 | 85 | 42 |
| 37 | 5 | 86 | 44 |
| 38 | 5 | 87 | 46 |
| 39 | 6 | 88 | 48 |
| 40 | 6 | 89 | 50 |
| 41 | 6 | 90 | 52 |
| 42 | 6 | 91 | 55 |
| 43 | 7 | 92 | 57 |
| 44 | 7 | 93 | 60 |
| 45 | 7 | 94 | 60 |
| 46 | 8 | 95 | 62 |
| 47 | 8 | 96 | 65 |
| 48 | 8 | 97 | 71 |
| 49 | 9 | 98 | 74 |
| 50 | 9 | 99 | 78 |
| 51 | 9 | 100 | 81 |
| 52 | 10 | 101 | 85 |
| 53 | 10 | 102 | 88 |
| 54 | 11 | 103 | 92 |
| 55 | 11 | 104 | 97 |
| 56 | 12 | 105 | 100 |
| 57 | 12 | | |

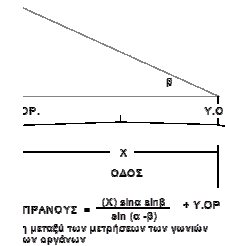
| ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΝΤΙΑΡΑΞΗΣ | | | |
|------------------------------|------------|-----|------------|
| % | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | % | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ |
| 36 | 100 | 75 | 12 |
| 37 | 96 | 76 | 11 |
| 38 | 90 | 77 | 11 |
| 39 | 86 | 78 | 10 |
| 40 | 81 | 79 | 10 |
| 41 | 77 | 80 | 9 |
| 42 | 73 | 81 | 9 |
| 43 | 69 | 82 | 8 |
| 44 | 65 | 83 | 8 |
| 45 | 62 | 84 | 7 |
| 46 | 58 | 85 | 7 |
| 47 | 55 | 86 | 6 |
| 48 | 52 | 87 | 6 |
| 49 | 49 | 88 | 6 |
| 50 | 47 | 89 | 5 |
| 51 | 44 | 90 | 5 |
| 52 | 42 | 91 | 5 |
| 53 | 40 | 92 | 5 |
| 54 | 38 | 93 | 4 |
| 55 | 36 | 94 | 4 |
| 56 | 34 | 95 | 4 |
| 57 | 32 | 96 | 4 |
| 58 | 30 | 97 | 4 |
| 59 | 29 | 98 | 3 |
| 60 | 27 | 99 | 3 |
| 61 | 26 | 100 | 3 |
| 62 | 24 | 101 | 3 |
| 63 | 23 | 102 | 3 |
| 64 | 22 | 103 | 3 |
| 65 | 21 | 104 | 2 |
| 66 | 19 | 105 | 2 |
| 67 | 18 | 106 | 2 |
| 68 | 17 | 107 | 2 |
| 69 | 16 | 108 | 2 |
| 70 | 16 | 109 | 2 |
| 71 | 15 | 110 | 2 |
| 72 | 14 | 111 | 2 |
| 73 | 13 | 112 | 2 |
| 74 | 13 | 113 | 1 |

| ΠΛΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΥ | | |
|---------------|------|------------|
| ft | m | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ |
| 18 | 5,5 | 100 |
| 19 | 5,8 | 93 |
| 20 | 6,1 | 81 |
| 21 | 6,4 | 71 |
| 22 | 6,7 | 62 |
| 23 | 7,0 | 54 |
| 24 | 7,3 | 47 |
| 25 | 7,6 | 41 |
| 26 | 7,9 | 36 |
| 27 | 8,2 | 31 |
| 28 | 8,5 | 27 |
| 29 | 8,8 | 24 |
| 30 | 9,1 | 21 |
| 31 | 9,4 | 18 |
| 32 | 9,8 | 16 |
| 33 | 10,1 | 14 |
| 34 | 10,4 | 12 |
| 35 | 10,7 | 10 |
| 36 | 11,0 | 9 |
| 37 | 11,3 | 8 |
| 38 | 11,6 | 7 |
| 39 | 11,9 | 6 |
| 40 | 12,2 | 5 |
| 41 | 12,5 | 5 |
| 42 | 12,8 | 4 |
| 43 | 13,1 | 3 |
| 44 | 13,4 | 3 |
| 45 | 13,7 | 3 |
| 46 | 14,0 | 2 |
| 47 | 14,3 | 2 |
| 48 | 14,6 | 2 |
| 49 | 14,9 | 2 |
| 50 | 15,2 | 1 |

| ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΤΕΜΑΧΩΝ | | |
|------------------|------|------------|
| yd³ | m³ | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ |
| 1 | 0,76 | 1 |
| 1,5 | 1,15 | 2 |
| 2 | 1,53 | 2 |
| 2,5 | 1,91 | 2 |
| 3 | 2,29 | 3 |
| 3,5 | 2,68 | 4 |
| 4 | 3,06 | 4 |
| 4,5 | 3,44 | 5 |
| 5 | 3,82 | 6 |
| 5,5 | 4,21 | 7 |
| 6 | 4,59 | 9 |
| 6,5 | 4,97 | 11 |
| 7 | 5,35 | 13 |
| 7,5 | 5,73 | 16 |
| 8 | 6,12 | 19 |
| 8,5 | 6,50 | 22 |
| 9 | 6,88 | 27 |
| 9,5 | 7,26 | 32 |
| 10 | 7,65 | 39 |
| 10,5 | 8,03 | 47 |
| 11 | 8,41 | 56 |
| 11,5 | 8,79 | 67 |
| 12 | 9,17 | 81 |
| 12,5 | 9,56 | 97 |
| 13 | 9,94 | 100 |

| ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟΦΑΞΗΣ | | | |
|-------------------|--------|----------|--------|
| ft | m | miles/hr | km/hr |
| 300 | 91,44 | 20 | 32,19 |
| 375 | 114,30 | 25 | 40,23 |
| 450 | 137,16 | 30 | 48,28 |
| 525 | 160,02 | 35 | 56,33 |
| 600 | 182,88 | 40 | 64,37 |
| 675 | 205,74 | 45 | 72,42 |
| 750 | 228,60 | 50 | 80,47 |
| 825 | 251,46 | 55 | 88,51 |
| 1000 | 304,80 | 60 | 96,56 |
| 1015 | 309,37 | 65 | 104,61 |

| ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΕΜΑΧΟΥΣ | | |
|------------------|------|------------|
| ft | m | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ |
| 0,5 | 0,15 | 2 |
| 1 | 0,30 | 3 |
| 1,5 | 0,46 | 5 |
| 2 | 0,61 | 9 |
| 2,5 | 0,76 | 16 |
| 3 | 0,91 | 27 |
| 3,5 | 1,07 | 47 |
| 4 | 1,22 | 81 |
| 4,5 | 1,37 | 100 |



$$AVR = \frac{ADT (\sigma\chi\eta\mu\alpha\tau\alpha/\eta\mu\epsilon\rho\alpha) \times \mu\eta\kappa\omicron\varsigma \text{ πρηνούς (μ\iota\lambda\iota\alpha)} \times 24 (\acute{\omega}\rho\epsilon\varsigma/\eta\mu\epsilon\rho\alpha)}{\text{Όριο ταχύτητας (μ\iota\lambda\iota\alpha/\acute{\omega}\rho\alpha)} \times 100\%}$$

7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρανών

- Κατηγορία: Ύψος Πρανούς
Θεωρήθηκε ότι το ύψος του πρανούς είναι ίσο με 90m. Μέγιστη τιμή της μεθόδου είναι τα 32.00m. Συνεπώς, λαμβάνει βαθμολογία ίση με **100**.
- Κατηγορία: Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR – Μέση διακινδύνευση οχήματος)
Υπολογίστηκε, σύμφωνα με τα προηγούμενα, ίση με 128%. Συνεπώς, λαμβάνει βαθμολογία ίση με **100**.
- Κατηγορία: Απόσταση αντίδρασης, ως ποσοστό της ελάχιστης τιμής σχεδιασμού (DSD)
Υπολογίστηκε, σύμφωνα με τα προηγούμενα, ίση με 100%. Συνεπώς, λαμβάνει βαθμολογία ίση με **3**.
- Κατηγορία: Συνολικό πλάτος δρόμου
Το πλάτος του δρόμου στην συγκεκριμένη θέση είναι ίσο με 8.2m. Συνεπώς η βαθμολογία της κατηγορίας ισούται με **31**.
- Κατηγορία: Μέγεθος τεμαχίων / Ποσότητα επισφαλών τεμαχιών
Με βάση τα παραπάνω, για ποσότητα καταπτώσεων ίση με 2.0m³, λαμβάνεται βαθμολογίας παραμέτρου ίση **2**.

Αθροίζοντας την βαθμολογία των παραπάνω κατηγοριών, προκύπτει η συνολική βαθμολογία του πρανούς, έναντι της επικινδυνότητας, όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

| | |
|--|---------------|
| Συνολική Βαθμολογία | 509 |
| Συνολική Βαθμολογία (%) ως προς max | 56,24% |

Σε αντιστοιχία με τη μέθοδο CRHRS, **η επικινδυνότητα του πρανούς χαρακτηρίζεται ως υψηλή.**

7.2.1.3. Μέθοδος CRHS

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|---|---------------------------------------|---|---|--|
| | | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 | |
| ΠΡΑΝΕΣ | Ύψος πρηνούς | 7,5-15μ | 15-23μ | 23-30μ | >30μ | |
| | Συχνότητα Βραχοπτώσεων | >2 χρόνια | 1-2 χρόνια | ετήσια/ εποχιακά | Κατά τη διάρκεια του έτους/ σοβαρά γεγονότα | |
| | Μέση βαθμολογία γωνίας πρηνούς | 0-2 | 2-4 | 4-8 | >8 | |
| | Χαρακτηριστικά αποκόλλησης | Μηδενικά (απαλό πρηνές) | Χαμηλά (<0,6μ ανωμαλία εδάφους) | Μέτρια (0,6- 1,8μ ανωμαλία εδάφους) | Υψηλά (>1,8μ ανωμαλία εδάφους) | |
| | Συγκράτηση βραχοπαγίδας | 95-100% (κλάση 1) | 94-65% (κλάση 2) | 30-64% (κλάση 3) | <30% (κλάση 4) ≥ Μεγάλα χαρακτηριστικά αποκόλλησης | |
| ΚΛΙΜΑ | Ετήσια βροχόπτωση | <250mm | 250-500mm | 500-900mm | >900 | |
| | Ετήσιοι κύκλοι ψύξης-απόψυξης | 1-5 | 6-10 | 11-15 | >16 | |
| | Ροή/παρουσία νερού | Στεγνό | ύφυγρο | στάγδην | ροή | |
| | Προσανατολισμός πρηνούς | N | E,W,NE,NW | SE, SW | S | |
| ΓΕΩΛΟΓΙΑ | ΙΖΗΜΑΤΟΓΕ ΝΕΣ | Βαθμός τεμαχισμού | 0-0,3m | 0,3-0,6m | 0,6-1,2m | >1,2m |
| | | Δείκτης χαλάρωσης | 6 | 5 | 3-4 | 1-2 |
| | | Βαθμός διαστρωμάτωσης | 1-2 ασθενείς διαστρώσεις <15cm | 1-2 ασθενείς διαστρώσεις >15cm | >2 ασθενείς διαστρώσεις <15cm | >2 ασθενείς διαστρώσεις >15cm |
| | ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ | Χαρακτηριστικά πετρώματος | Ομογενές/ συμπαγές | Μικρές ρωγμές/ ισχυρές φλέβες | Σχιστότητα/ ζώνες διάτμησης <15cm | Ασθενής πιγματίτης/ μαρμαρυγίες/ ζώνες διάτμησης >15cm |
| | | Βαθμός ύπαρξης προεξεχόντων τεμαχίων | 0-0,3m | 0,3-0,6m | 0,6-1,2m | >1,2m |
| | | Βαθμός αποσάθρωσης | Υγιές | Ελαφρά αποσάθρωση | Μέτρια αποσαθρωμένο | Τελείως αποσαθρωμένο |
| | ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ | Μέγεθος τεμάχους/όγκος | <0,3m / <0,75m ³ | 0,3-0,6 / 0,75-2,3m ³ | 0,6-1,5m / 2,3-7,6m ³ | >1,5m / >7,6m ³ |
| | | Πλήθος οικογενειών | 1 | 1 και τυχαίες | 2 | >2 |
| | | Εμμόνη/προσανατολισμός | <3m ευμενώς | >3m ευμενώς | <3m δυσμενώς | >3m δυσμενώς |
| | | Άνοιγμα | Κλειστές | 0,1-1,00mm | 1,0-5,0mm | >5,0mm |
| | | Κατάσταση αποσάθρωσης | Υγιές | Ελαφρά αποσάθρωση | Κοκκώδες υλικό | Αργιλικό υλικό πλήρωσης |
| | | Τριβή | Τραχείες | Κυματοειδείς | Επίπεδες | Λείες |
| | ΧΑΟΤΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ | Μέγεθος τεμάχους (x3) | <0.3m | 0,3-0,6m | 0,6-1,5m | >1,5m |
| | | Σχήμα τεμάχους (x3) | Γωνιώδες | Τεμαχισμένο | Τεμαχισμένο έως γωνιώδες | Αποστρογγυλεμέν ο |
| | | Φυτοκάλυψη (x3) | Πλήρης φυτοκάλυψη | Σποραδική φυτοκάλυψη | Απομονωμένα φυτά | Τίποτα |
| | Συνολική βαθμολογία επικινδυνότητας | | ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣ= 828 | | ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ = 780 | |
| | ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ | Απόσταση αντίδρασης, ως ποσοστό της ελάχιστης τιμής σχεδιασμού (DSD) | >80% | 60-80% | 40-60% | <40% |
| | | Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR) | 0-24% | 25-49% | 50-74% | 75-100% |
| Πλήθος ατυχημάτων | | 0-2 | 3-5 | 6-8 | 9 και πάνω | |
| Συνολική βαθμολογία διακινδύνευσης | | ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣ= 915 | | ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ= 867 | | |

Για τη χιλιομετρική θέση που εξετάζεται, το πρανές θα θεωρηθεί ότι αποτελείται είτε από κρυσταλλικό πέτρωμα (λόγω του κρυσταλλικού χαρακτήρα του σχηματισμού) είτε ως ιζηματογενές (ασβεστόλιθος).

Συνεπώς, θα προκύψουν δύο διαφορετικές βαθμολογίες, οι οποίες και θα συγκριθούν μεταξύ τους.

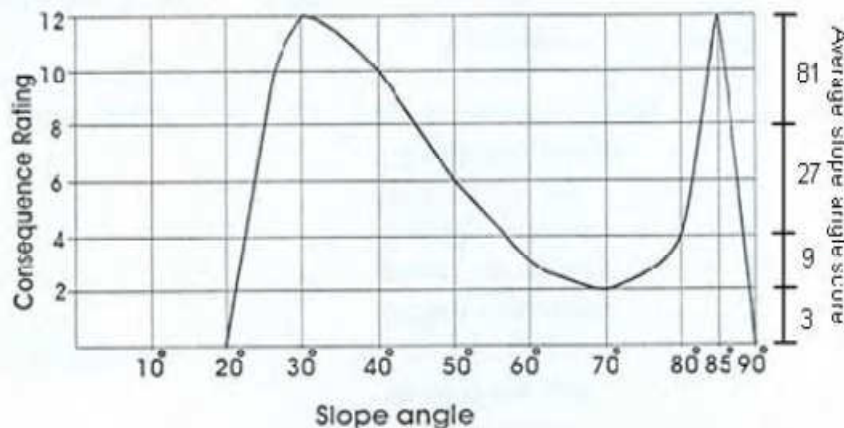
- Κατηγορία: Ύψος Πρανούς
Λαμβάνεται υπόψη το συνολικό ύψος του πρανούς, μέχρι το μέγιστο πιθανό σημείο αποκόλλησης τεμαχών. Στην περίπτωση αυτή, εκτιμάται ίσο με 90m. Συνεπώς, η βαθμολογία αυτής της κατηγορίας είναι ίση με 81.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|--------------|-------------------------|----------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Ύψος πρανούς | 7,5-15μ | 15-23μ | 23-30μ | >30μ |

- Κατηγορία: Συχνότητα βραχοπτώσεων
Στην εν λόγω περιοχή έχουν καταγραφεί ελάχιστα γεγονότα καταπτώσεων, σύμφωνα με το καταγεγραμμένο ιστορικό, αν και τα υπάρχοντα στοιχεία δεν κρίνονται επαρκή. Σε κάθε περίπτωση ωστόσο εκτιμάται ότι η συχνότητα των βραχοπτώσεων είναι μικρότερη από ένα επεισόδιο ανά δύο έτη. Συνεπώς, η βαθμολογία αυτής της κατηγορίας είναι ίση με 3.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|------------------------|-------------------------|------------|---------------------|--|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Συχνότητα Βραχοπτώσεων | >2 χρόνια | 1-2 χρόνια | ετήσια/ εποχιακά | Κατά τη διάρκεια του έτους/ σοβαρά γεγονότα |

- Κατηγορία: Μέση βαθμολογία γωνίας πρανούς
Από τις διατομές των αντίστοιχων μελετών, εκτιμάται μέση γωνία πρανούς ίση με 60°. Από τα ακόλουθο διάγραμμα, η μέση βαθμολογία της γωνίας του πρανού προκύπτει ίση με 3. Συνεπώς ανήκει στην δεύτερη κατηγορία βαθμολόγησης επικινδυνότητας. Άρα, η βαθμολογία της κατηγορίας είναι ίση με 9.



7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρανών

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|-------------------------------|-------------------------|----------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Μέση βαθμολογία γωνίας πρανού | 0-2 | 2-4 | 4-8 | >8 |

- Κατηγορία: Χαρακτηριστικά αποκόλλησης
Από τις διατομές των αντίστοιχων μελετών υπολογίστηκε ότι παρουσιάζονται ανωμαλίες του εδάφους έως και 3.6m. Συνεπώς, η βαθμολογία αυτής της κατηγορίας είναι ίση με 81.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|----------------------------|-------------------------|---------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Χαρακτηριστικά αποκόλλησης | Μηδενικά (απαλό πρανές) | Χαμηλά (<0.6μ ανωμαλία εδάφους) | Μέτρια (0,6-1,8μ ανωμαλία εδάφους) | Υψηλά (>1,8μ ανωμαλία εδάφους) |

- Κατηγορία: Συγκράτηση βραχοπαγίδας
Καθώς δεν υπάρχει βραχοπαγίδα στην περιοχή που εξετάζεται, επιλέγεται βαθμολογία κατηγορίας ίση με 81.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|-------------------------|-------------------------|------------------|------------------|--|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Συγκράτηση βραχοπαγίδας | 95-100% (κλάση 1) | 94-65% (κλάση 2) | 30-64% (κλάση 3) | <30% (κλάση 4)≥ Μεγάλα χαρακτηριστικά αποκόλλησης |

- Κατηγορία: Ετήσια βροχόπτωση
Από τα διαθέσιμα στοιχεία, στην περιοχή η ετήσια βροχόπτωση είναι της τάξης των 1800-2000mm. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας είναι ίση με 81.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|-------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Ετήσια βροχόπτωση | <250mm | 250-500mm | 500-900mm | >900 |

- Κατηγορία: Ετήσιοι κύκλοι ψύξης – απόψυξης
Θεωρείται ότι στην περιοχή μελέτης παρουσιάζονται κατά μέσο όρο 6 ημέρες ανά μήνα με ύψος βροχόπτωσης μεγαλύτερο από 0.25mm που αντιστοιχούν στο 20% των ημερών του μήνα. Επίσης εκτιμάται ότι για 40 ημέρες το χρόνο στην περιοχή παρουσιάζονται θερμοκρασίες κάτω από 0°C. Συνεπώς, οι ετήσιοι κύκλοι ψύξης θα είναι $40 \times 20\% = 8$. Άρα, η βαθμολογία της κατηγορίας είναι ίση με 9.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|-------------------------------|-------------------------|----------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Ετήσιοι κύκλοι ψύξης-απόψυξης | 1-5 | 6-10 | 11-15 | >16 |

7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρανών

- Κατηγορία: Ροή – Παρουσία νερού
Βάση του πορίσματος του ΤΕΕ, 2010, ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται ως ύφυγρος. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας θα είναι ίση με 9.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|--------------------|-------------------------|----------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Ροή/παρουσία νερού | Στεγνό | ύφυγρο | στάγδην | ροή |

- Κατηγορία: Προσανατολισμός πρανούς
Ο προσανατολισμός του πρανούς είναι Νοτιοανατολικός (SE). Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας θα είναι ίση με 27.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Προσανατολισμός πρανούς | N | E,W,NE,NW | SE, SW | S |

- Κατηγορία: Μέγεθος/ όγκος τεμάχους.
Λαμβάνεται υπόψη τιμή ίση με 2m³, όπως και στα προηγούμενα συστήματα κατάταξης. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας θα είναι ίση με 9.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Μέγεθος τεμάχους/όγκος | <0,3m / <0,75m ³ | 0,3-0,6 / 0,75-2,3m ³ | 0,6-1,5m / 2,3-7,6m ³ | >1,5m / >7,6m ³ |

- Κατηγορία: Πλήθος οικογενειών ασυνεχειών.
Εκτιμάται ότι υπάρχουν 3-4 κύριες οικογένειες ασυνεχειών. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας θα είναι ίση με 81.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|--------------------|-------------------------|---------------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Πλήθος οικογενειών | 1 | 1 και τυχαίες | 2 | >2 |

- Κατηγορία: Εμμονή/προσανατολισμός.
Ο προσανατολισμός των ασυνεχειών είναι δυσμενής για την ευστάθεια του πρανούς, ενώ παρουσιάζουν εμμονή μεγαλύτερη από 3m. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας θα είναι ίση με 81.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|------------------------|-------------------------|-------------|--------------|--------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Εμμονή/προσανατολισμός | <3m ευμενώς | >3m ευμενώς | <3m δυσμενώς | >3m δυσμενώς |

7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρανών

- Κατηγορία: Άνοιγμα ασυνεχειών
Οι ασυνέχειες είναι ανοιχτές, με άνοιγμα της τάξης των 10cm. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας είναι ίση με 81.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|----------|-------------------------|------------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Άνοιγμα | Κλειστές | 0,1-1,00mm | 1,0-5,0mm | >5,0mm |

- Κατηγορία: Κατάσταση αποσάθρωσης ασυνεχειών
Οι ασυνέχειες είναι πληρωμένες με αργιλώδη άμμο, που προέρχεται από την αποσάθρωση των ασβεστολίθων. Για λόγους συντηρητικού σχεδιασμού, θεωρείται ότι αστοχία θα συμβεί πιθανότερα όταν επικρατεί το λεπτομερές κλάσμα. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας είναι ίση με 81.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|-----------------------|-------------------------|-------------------|----------------|-------------------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Κατάσταση αποσάθρωσης | Υγιές | Ελαφρά αποσάθρωση | Κοκκώδες υλικό | Αργιλικό υλικό πλήρωσης |

- Κατηγορία: Τριβή ασυνεχειών
Η επιφάνεια των ασυνεχειών εκτιμάται ότι είναι επίπεδη. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας είναι ίση με 27.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|----------|-------------------------|--------------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Τριβή | Τραχείες | Κυματοειδείς | επίπεδες | Λείες |

A. Ιζηματογενές πέτρωμα

- Κατηγορία: Βαθμός τεμαχισμού
Δεν παρουσιάζεται σημαντική ποικιλία στην λιθολογία. Συνεπώς ο βαθμός τεμαχισμού είναι της τάξης 0 – 0.3m και η βαθμολογία της κατηγορίας θα είναι ίση με 3

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|-------------------|-------------------------|----------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Βαθμός τεμαχισμού | 0-0,3m | 0,3-0,6m | 0,6-1,2m | >1,2m |

- Κατηγορία: Δείκτης χαλάρωσης
Δεν παρουσιάζεται διαχωρισμός, καθώς πρόκειται για συμπαγή σχηματισμό. Συνεπώς, η βαθμολόγηση του Δείκτης χαλάρωσης είναι ίση με 6 και της κατηγορίας ίση με 3.

7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρανών

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|-------------------|-------------------------|----------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Δείκτης χαλάρωσης | 6 | 5 | 3-4 | 1-2 |

- Κατηγορία: Βαθμός διαστρωμάτωσης
Εκτιμάται πως παρουσιάζονται περισσότερες από δύο ασθενείς διαστρώσεις, πάχους μεγαλύτερου των 15cm. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας θα είναι ίση με 81.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Βαθμός διαστρωμάτωσης | 1-2 ασθενείς διαστρώσεις <15cm | 1-2 ασθενείς διαστρώσεις >15cm | >2 ασθενείς διαστρώσεις <15cm | >2 ασθενείς διαστρώσεις >15cm |

B. Κρυσταλλικό πέτρωμα

- Κατηγορία: Χαρακτηριστικά πετρώματος
Εκτιμάται ότι στον σχηματισμό επικρατούν οι μικρές ρωγμές. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας θα είναι ίση με 9.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|---------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------------------|--|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Χαρακτηριστικά πετρώματος | Ομογενές/συμπαγές | Μικρές ρωγμές/ισχυρές φλέβες | Σχιστότητα/ζώνες διάτμησης <15cm | Ασθενής πιγματίτης/μαρμαρυγίες/ζώνες διάτμησης >15cm |

- Κατηγορία: Βαθμός ύπαρξης προεξοχόντων τεμαχίων
Στην περιοχή δεν παρουσιάζονται επικρεμάμενοι όγκοι, συνεπώς, ο βαθμός προεξοχής είναι της τάξης των 0 – 0.3m. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας θα είναι ίση με 3.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|--------------------------------------|-------------------------|----------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Βαθμός ύπαρξης προεξοχόντων τεμαχίων | 0-0,3m | 0,3-0,6m | 0,6-1,2m | >1,2m |

- Κατηγορία: Βαθμός αποσάθρωσης
Εκτιμάται ότι ο σχηματισμός είναι ελαφρώς εξαλλοιωμένος. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας θα είναι ίση με 27.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|--------------------|-------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Βαθμός αποσάθρωσης | Υγιές | Ελαφρά αποσάθρωση | Μέτρια αποσάθρωμένο | Τελείως αποσάθρωμένο |

Αθροίζοντας την βαθμολογία των παραπάνω κατηγοριών, προκύπτει η συνολική βαθμολογία του πρανούς, έναντι της επικινδυνότητας, όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

A. Ιζηματογενές πέτρωμα

| | |
|--|---------------|
| Συνολική Βαθμολογία | 828 |
| Συνολική Βαθμολογία (%) ως προς max | 56,79% |

Στη μέθοδο CRHRS δεν δίνει κατάταξη της επικινδυνότητας για ιζηματογενές πέτρωμα.

B. Κρυσταλλικό πέτρωμα

| | |
|--|---------------|
| Συνολική Βαθμολογία | 780 |
| Συνολική Βαθμολογία (%) ως προς max | 53,50% |

Σύμφωνα με τη μέθοδο CRHRS, για το συνολικό πρανές, **η επικινδυνότητα χαρακτηρίζεται ως μέτρια (οριακά υψηλή).**

Στην συνέχεια, η μέθοδος συνεχίζεται με σκοπό την βαθμολογία της διακινδύνευσης του πρανούς. Βαθμολογούνται επιπρόσθετα των ανωτέρω, οι εξής παράμετροι, που αφορούν στην κυκλοφορία των οχημάτων.

- Κατηγορία: Απόσταση αντίδρασης, ως ποσοστό της ελάχιστης τιμής σχεδιασμού (DSD)
Σε αντιστοιχία με τις προηγούμενες μεθόδους, η ποσοστιαία απόσταση αντίδρασης υπολογίστηκε ίση με 100%. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας θα είναι ίση με 3.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|--|-------------------------|----------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Απόσταση αντίδρασης, ως ποσοστό της ελάχιστης τιμής σχεδιασμού (DSD) | >80% | 60-80% | 40-60% | <40% |

- Κατηγορία: Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR)
Σε αντιστοιχία με τις προηγούμενες μεθόδους, η μέση διακινδύνευση οχήματος υπολογίστηκε ίση με 128%. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας θα είναι ίση με 81.

7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρανών

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|--|-------------------------|----------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR) | 0-24% | 25-49% | 50-74% | 75-100% |

- Κατηγορία: Πλήθος ατυχημάτων
Αν και δεν υπάρχουν πολλά ιστορικά στοιχεία για ατυχήματα που οφείλονται σε καταπτώσεις, ωστόσο θεωρείται βέβαιο ότι δεν υπάρχουν περισσότερα του ενός ατυχήματα ανά έτος στην περιοχή ελέγχου. Συνεπώς η βαθμολογία της κατηγορίας είναι ίση με 3.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|-------------------|-------------------------|----------|-----------|------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Πλήθος ατυχημάτων | 0-2 | 3-5 | 6-8 | 9 και πάνω |

Αθροίζοντας τα παραπάνω με τη συνολική βαθμολογία επικινδυνότητας, προκύπτει η συνολική βαθμολογία της διακινδύνευσης, όπως φαίνεται παρακάτω.

A. Ιζηματογενές πέτρωμα

| | |
|--|---------------|
| Συνολική Βαθμολογία Διακινδύνευσης | 915 |
| Συνολική Βαθμολογία (%) ως προς max | 53,79% |

B. Κρυσταλλικό πέτρωμα

| | |
|--|---------------|
| Συνολική Βαθμολογία Διακινδύνευσης | 867 |
| Συνολική Βαθμολογία (%) ως προς max | 50,97% |

7.2.1.4. Αναλύσεις ευαισθησίας

Μέθοδος RHRS

Για τη μέθοδο RHRS, στην περιοχή ελέγχου, εξετάζεται η ευαισθησία των εξής παραμέτρων, που κρίνονται περισσότερο ευαίσθητες σε μεταβολές, που είτε είναι ιδιαίτερα κρίσιμες ως προς τις επιπτώσεις των βραχοπτώσεων, είτε αποτελούν συνδυασμό πολλών παραγόντων και συνεπώς εμπεριέχουν μεγάλο ποσοστό αβεβαιότητας:

- Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR)
- Μέγεθος τεμαχών / ποσότητα επισφαλών τεμαχών

Ανάλυση ευαισθησίας μπορεί να γίνει και για την παράμετρο της συχνότητας καταπτώσεων. Καθώς τα διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία είναι ελάχιστα, στην ανάλυση

ευαισθησίας θα χρησιμοποιηθεί το εύρος της βαθμολογίας, σε αντιστοιχία με την παράμετρο Μέγεθος τεμαχών/Ποσότητα επισφαλών τεμαχίων. Θα έδινε συνεπώς τα ίδια αποτελέσματα. Για το λόγο αυτό δεν έγινε ανάλυση ευαισθησίας για τη συχνότητα καταπτώσεων. Επίσης, κατά Pierson (1991) η ελάχιστη βαθμολογία χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία.

Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR)

Η μέση διακινδύνευση οχήματος (AVR) υπολογίζεται βάση του τύπου:

$$AVR = \frac{ADT \text{ (οχήματα/ημέρα)} \times \text{μήκος πρानούς (km)}/24 \text{ (ώρες/ημέρα)}}{\text{Όριο ταχύτητας (km/ώρα)}} \times 100\%$$

Εξαρτάται δηλαδή από τη μέση κυκλοφορία οχημάτων (ADT), το μήκος του πρानούς (L) και το όριο ταχύτητας (V). Εξετάζεται η επίδραση των παραμέτρων αυτών στη βαθμολόγηση του AVR.

Στον αρχικό υπολογισμό του AVR (=128%) παρουσιάζεται ήδη μέγιστη βαθμολόγηση (81).

| Μεταβολή Παραμέτρου | Νέα τιμή AVR | Νέα βαθμολογία AVR | Νέα βαθμολογία πρानούς |
|---|--------------|--------------------|------------------------|
| Μεταβολή παραμέτρου Μέσης Κυκλοφορίας οχημάτων (ADT) | | | |
| <i>Μετά από υπολογισμούς, βρέθηκε ότι απαιτείται μεταβολή της ADT μεγαλύτερη του 30% της αρχικής τιμής. Συνεπώς η βαθμολογία της AVR δεν είναι ευαίσθητη ως προς την παράμετρο ADT.</i> | | | |
| Μεταβολή παραμέτρου Μήκους πρानούς (L) | | | |
| Μείωση L κατά 10% | >100% | KAMIA METABOLH | KAMIA METABOLH |
| Μείωση L κατά 20% | >100% | KAMIA METABOLH | KAMIA METABOLH |
| Μείωση L κατά 30% | >100% | KAMIA METABOLH | KAMIA METABOLH |
| <i>Μετά από υπολογισμούς, βρέθηκε ότι απαιτείται μεταβολή του μήκους του πρανούς κατά 40%, για να μεταβληθεί η τιμή της AVR. Συνεπώς η βαθμολογία της AVR δεν είναι ευαίσθητη ως προς την παράμετρο L</i> | | | |
| Μεταβολή παραμέτρου Όριο ταχύτητας οχημάτων (V) | | | |
| Αύξηση V <170% | >100% | KAMIA METABOLH | KAMIA METABOLH |
| <i>Συνεπώς η βαθμολογία της AVR δεν είναι ευαίσθητη ως προς την παράμετρο του ορίου ταχύτητας (πρέπει από 70km/h να γίνει 120km/h για να υπάρξει μεταβολή – αύξηση 170%)</i> | | | |
| Συνδυασμός παραμέτρων | | | |
| ADT (-20%) L (-20%) V (+10%) | 74% | 27 | 414 – 51,11% |
| ADT (-20%) L (-20%) V (+20%) | 68% | 27 | 414 – 51,11% |
| <i>Οποιοσδήποτε άλλος συνδυασμός μεταβολής των τριών παραμέτρων έως και 20% δεν οδηγεί μεταβολή στην AVR, όπως υπολογίστηκε στο παρόν.</i> | | | |

Μέγεθος τεμαχών / ποσότητα επισφαλών τεμαχίων

Στους αρχικούς υπολογισμούς εκτιμήθηκε ποσότητα ίση με 2m³. Ωστόσο, στη βιβλιογραφία, αναφέρονται και τιμές μεγαλύτερες της τάξης των 40m³. Συνεπώς εξετάζεται όλο το εύρος της βαθμολογίας.

| Νέα τιμή ποσότητας επισφαλών τεμαχίων | Νέα βαθμολογία πρανούς |
|---------------------------------------|------------------------|
| 5m ³ | 474-58,52% |
| 7m ³ | 492 - 60,74% |
| >10m ³ | 546 - 67,41% |

Από τα παραπάνω, φαίνεται ότι μικρή μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου (μείωση μέσης ημερήσιας κυκλοφορίας οχημάτων, αύξηση ταχύτητας) σε μικρότερο μελετώμενο τμήμα της οδού οδηγεί σε μείωση των επιπέδων επικινδυνότητας. Αντιθέτως, όπως είναι φυσικό, αύξηση του όγκου των επισφαλών τεμαχίων οδηγεί σε αύξηση των επιπέδων επικινδυνότητας.

Για τη μέθοδο RHRS, το εύρος της συνολικής βαθμολογίας κυμαίνεται μεταξύ **414 (51,11%)** και **546 (67,41%)**. Η παράμετρος της ποσότητας των επισφαλών τεμαχίων είναι κρισιμότερη, καθώς μεταβάλλεται σε όλο το εύρος βαθμολόγησης. Σε αντιστοιχία με τη μέθοδο CRHRS, **η επικινδυνότητα του πρανούς χαρακτηρίζεται ως υψηλή.**

Μέθοδος NHI – RHRS

Στη μέθοδο NHI-RHRS εξετάζεται η ευαισθησία των πέντε (5) παραμέτρων που δέχονται βαθμολογία 1-100:

- Ύψος πρανούς,
- Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR)
- Απόσταση αντίδρασης, ως ποσοστό της ελάχιστης τιμής σχεδιασμού (DSD),
- Πλάτος δρόμου και
- Ποσότητα τεμαχίων/μέγεθος τεμάχους,

Το ιστορικό καταπτώσεων, όπως και στη μέθοδο RHRS, δεν κρίνεται σκόπιμο να εξεταστεί.

Ύψος πρανούς

Αρχικά έχει επιλεγεί ύψος πρανούς ίσο με 90m. Για να υπάρξει μεταβολή στη βαθμολογία θα πρέπει το ύψος του πρανούς να είναι μικρότερο από 32m, **δηλαδή μεταβολή της τάξης του 65%**. Συνεπώς, **η παράμετρος “ύψος πρανούς” δεν είναι ευαίσθητη στην συγκεκριμένη περίπτωση.**

Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR)

Σε αντιστοιχία με τη μέθοδο RHRS, εξετάζεται η επίδραση στη βαθμολογία της AVR των παραμέτρων που την συνθέτουν (ADT, μήκος πρανούς, ταχύτητα οχήματος).

Στον αρχικό υπολογισμό του AVR (=128%) παρουσιάζεται ήδη μέγιστη βαθμολόγηση (100).

7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρανών

| Μεταβολή Παραμέτρου | Νέα τιμή AVR | Νέα βαθμολογία AVR | Νέα βαθμολογία πρανούς |
|---|--------------|--------------------|------------------------|
| Μεταβολή παραμέτρου Μέσης Κυκλοφορίας οχημάτων (ADT) | | | |
| Μείωση ADT κατά 10% | >105% | KAMIA METABOLH | KAMIA METABOLH |
| Μείωση ADT κατά 20% | 102% | 88 | 497 - 54,92% |
| Μείωση ADT κατά 30% | 90% | 52 | 461 - 50,94% |
| <i>Συνεπώς η βαθμολογία της AVR είναι ευαίσθητη ως προς την παράμετρο ADT.</i> | | | |
| Μεταβολή παραμέτρου Μήκους πρανούς (L) | | | |
| Μείωση L κατά 10% | >105% | KAMIA METABOLH | KAMIA METABOLH |
| Μείωση L κατά 20% | 102% | 88 | 497 - 54,92% |
| Μείωση L κατά 30% | 89% | 50 | 459 - 50,72% |
| <i>Συνεπώς η βαθμολογία της AVR είναι ευαίσθητη ως προς την παράμετρο L</i> | | | |
| Μεταβολή παραμέτρου Όριο ταχύτητας οχημάτων (V) | | | |
| Αύξηση V κατά 10% | >100% | KAMIA METABOLH | KAMIA METABOLH |
| Αύξηση V κατά 20% | >100% | KAMIA METABOLH | KAMIA METABOLH |
| Αύξηση V κατά 30% | 98% | 74 | 507 - 56,02% |
| <i>Συνεπώς η βαθμολογία της AVR είναι σχετικά ευαίσθητη ως προς την παράμετρο του ορίου ταχύτητας</i> | | | |
| Συνδυασμός παραμέτρων | | | |
| ADT (-10%) L (-10%) V (+10%) | 94% | 60 | 469 - 51,82% |
| ADT (-20%) L (-10%) V (+10%) | 84% | 40 | 449 - 49,61% |
| ADT (-10%) L (-20%) V (+10%) | 83% | 38 | 447 - 49,39% |
| ADT (-10%) L (-10%) V (+20%) | 86% | 44 | 453 - 50,06% |
| ADT (-20%) L (-20%) V (+10%) | 74% | 26 | 435 - 58,07% |
| ADT (-10%) L (-20%) V (+20%) | 77% | 29 | 438 - 48,40% |
| ADT (-20%) L (-10%) V (+20%) | 76% | 28 | 437 - 48,29% |
| ADT (-20%) L (-20%) V (+20%) | 68% | 20 | 429 - 47,40% |

Απόσταση αντίδρασης, ως ποσοστό της ελάχιστης τιμής σχεδιασμού (DSD),

| Μεταβολή %DSD | Νέα τιμή %DSD | Νέα βαθμολογία %DSD | Νέα βαθμολογία πρανούς |
|----------------------|---------------|---------------------|------------------------|
| Μείωση %DSD κατά 10% | 112% | 5 | 511-56,46% |
| Μείωση %DSD κατά 20% | 100% | 9 | 515-56,91% |
| Μείωση %DSD κατά 30% | 87.5% | 16 | 522-57,68% |

Πλάτος δρόμου

Αρχικά το πλάτος της οδού, βάση των διατομών, θεωρήθηκε ίσο με 8.2m.

| Μεταβολή πλάτους | Νέα τιμή πλάτους | Νέα βαθμολογία πλάτους | Νέα βαθμολογία πρανούς |
|------------------|------------------|------------------------|------------------------|
| Μείωση κατά 10% | 7.4m | 45 | 523-57,79% |
| Μείωση κατά 20% | 6.6m | 65 | 543-60,00% |
| Μείωση κατά 30% | 5.7m | 95 | 573-63,31% |
| Αύξηση κατά 10% | 9.0m | 22 | 500-55,25% |
| Αύξηση κατά 20% | 9.8m | 16 | 494-54,59% |
| Αύξηση κατά 30% | 10.7m | 10 | 488-53,92% |

Ποσότητα τεμαχών/μέγεθος τεμάχους

Αρχικά εκτιμήθηκε ποσότητα ίση με 2m³. Ωστόσο, στην βιβλιογραφία, αναφέρονται τιμές της τάξης των 40m³. Συνεπώς, εξετάζεται όλο το εύρος της πιθανής βαθμολόγησης.

| Νέα τιμή ποσότητας τεμαχών | Νέα βαθμολογία πρανούς |
|----------------------------|------------------------|
| 5m ³ | 513-56,69% |
| 7m ³ | 536-59,23% |
| 10m ³ | 607-67,07% |

Από τα παραπάνω, φαίνεται ότι η βελτίωση των συνθηκών κυκλοφορίας οδηγεί σε ελαχιστοποίηση της επικινδυνότητας, ενώ μέγιστη τιμή παρατηρείται σε αυξημένους όγκους τεμαχών. Η μεταβολή των υπόλοιπων παραμέτρων, οδηγεί σε ενδιάμεσα αποτελέσματα.

Συνεπώς, για τη μέθοδο NHI-RHRS, το εύρος της συνολικής βαθμολογίας κυμαίνεται μεταξύ **429 (47,40%)** και **607 (67,07%)**. Η επικινδυνότητα χαρακτηρίζεται ως **υψηλή**, με μεγάλη διασπορά, ανάλογα με την ευαισθησία των παραμέτρων και ιδιαιτέρως του μεγέθους των τεμαχών της κατάπτωσης, που εκτιμάται για όλο το εύρος της βαθμολογίας.

Μέθοδος CRHRS

Ιζηματογενές πρανές

Συχνότητα βραχοπτώσεων

Αρχικά θεωρήθηκε ότι η συχνότητα βραχοπτώσεων είναι μικρότερη από ένα γεγονός ανά δύο έτη (συχνότητα >2).

| Νέα τιμή συχνότητας βραχοπτώσεων | Νέα βαθμολογία πρανούς |
|----------------------------------|------------------------|
| 1/2 έτη | 834 - 57,20% |
| 1/1 έτη | 852 - 58,44% |
| 2/έτος | 852 - 58,44% |
| 3/έτος | 852 - 58,44% |
| 4/έτος | 852 - 58,44% |

Μέση βαθμολογία γωνίας πρανούς

Αρχικά θεωρήθηκε γωνία πρανούς ίση με 60°.

| Μεταβολή γωνίας πρανούς | Νέα τιμή γωνίας πρανούς | Νέα βαθμολογία πρανούς |
|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Αύξηση κατά 10% | 66° | ΚΑΜΜΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ |
| Αύξηση κατά 20% | 72° | ΚΑΜΜΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ |
| Αύξηση κατά 30% | 78° | ΚΑΜΜΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ |
| Μείωση κατά 10% | 54° | 846 - 58,02% |
| Μείωση κατά 20% | 48° | 846 - 58,02% |
| Μείωση κατά 30% | 42° | 900 - 61,73% |

Μέγεθος τεμάχους/όγκος

Αρχικά εκτιμήθηκε ποσότητα ίση με 2m³. Ωστόσο, έχουν αναφερθεί τιμές της τάξης ακόμα και των 40m³. Συνεπώς, εξετάζεται όλο το εύρος της βαθμολόγησης.

| Νέα τιμή όγκου τεμαχών | Νέα βαθμολογία πρανούς |
|------------------------|------------------------|
| 0.5m ³ | 822 - 56,38% |
| 5m ³ | 846 - 58,02% |
| 8m ³ | 900 - 61,73% |

Δείκτης χαλάρωσης

Αρχική τιμή παραμέτρου ίση με 6. Καθώς δεν υπάρχουν διαθέσιμα εργαστηριακά στοιχεία, εξετάζεται όλο το εύρος της βαθμολόγησης.

| Νέα τιμή δείκτη χαλάρωσης | Νέα βαθμολογία πρανούς |
|---------------------------|------------------------|
| 5 | 834 - 57,20% |
| 3 | 852 - 58,44% |
| 1 | 906 - 62,14% |

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι το επίπεδο της επικινδυνότητας αυξάνεται περισσότερο με τη μεταβολή του δείκτη χαλάρωσης, που περιέχει μεγάλη αβεβαιότητα και ελέγχεται σε όλο το φάσμα της βαθμολόγησης, ενώ ελάχιστη τιμή παρατηρείται όταν θεωρείται μικρότερος όγκος τεμαχών.

Συνεπώς, για την περίπτωση του ιζηματογενούς πρανούς, για τη μέθοδο CRHRS, το εύρος της συνολικής βαθμολογίας κυμαίνεται μεταξύ **822 (56,38%)** και **906 (62,14%)**. Η μεγάλη απόκλιση στη μέγιστη τιμή οφείλεται στην απουσία στοιχείων για τον δείκτη χαλάρωσης. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, **δεν υπάρχει χαρακτηρισμός της επικινδυνότητας για ιζηματογενή πετρώματα**, συνεπώς παρατίθεται απλά η αντίστοιχη βαθμολογία.

Κρυσταλλικό πρανές

Συχνότητα βραχοπτώσεων

Αρχικά θεωρήθηκε ότι η συχνότητα βραχοπτώσεων είναι ίση με ένα γεγονός ανά έτος (1/1 έτος).

| Νέα τιμή συχνότητας βραχοπτώσεων | Νέα βαθμολογία πρανούς |
|----------------------------------|------------------------|
| 1/2 έτη | 786 - 53,91% |
| 1/1 έτη | 804 - 55,14% |
| 2/έτος | 804 - 55,14% |
| 3/έτος | 804 - 55,14% |
| 4/έτος | 804 - 55,14% |

Μέση βαθμολογίας γωνίας πρανούς

Αρχικά θεωρήθηκε γωνία πρανούς ίση με 60°.

| Μεταβολή γωνίας πρανούς | Νέα τιμή γωνίας πρανούς | Νέα βαθμολογία πρανούς |
|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Αύξηση κατά 10% | 66° | ΚΑΜΜΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ |
| Αύξηση κατά 20% | 72° | ΚΑΜΜΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ |
| Αύξηση κατά 30% | 78° | ΚΑΜΜΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ |
| Μείωση κατά 10% | 54° | 798 - 54,73% |
| Μείωση κατά 20% | 48° | 798 - 54,73% |
| Μείωση κατά 30% | 42° | 852 - 58,44% |

Μέγεθος τεμάχους/όγκος

Αρχικά εκτιμήθηκε ποσότητα ίση με 2m³. Ωστόσο, έχουν αναφερθεί τιμές της τάξης ακόμα και των 40m³. Συνεπώς, εξετάζεται όλο το εύρος της βαθμολόγησης.

| Νέα τιμή όγκου τεμαχών | Νέα βαθμολογία πρανούς |
|------------------------|------------------------|
| 0.5m ³ | 774 - 53,09% |
| 5m ³ | 798 - 54,73% |
| 8m ³ | 852- 58,44% |

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι το επίπεδο της επικινδυνότητας μεγιστοποιείται και ελαχιστοποιείται από την επίδραση του μεγέθους των τεμαχών, καταδεικνύοντας τη σημασία και την επίδραση της παραμέτρου στα επίπεδα της επικινδυνότητας.

Συνεπώς, για την περίπτωση του κρυσταλλικού πρανούς, για τη μέθοδο CRHRS, το εύρος της συνολικής βαθμολογίας κυμαίνεται μεταξύ **774 (53,09%)** και **852 (58,44%)**. Η επικινδυνότητα χαρακτηρίζεται ως μέτρια έως οριακά υψηλή.

Ανάλυση ευαισθησίας στην βαθμολογία της διακινδύνευσης δεν πραγματοποιήθηκε, καθώς δεν υπάρχει μέτρο σύγκρισης με τις προηγούμενες μεθόδους. Επιπρόσθετα, δεν αναφέρεται στη βιβλιογραφία χαρακτηρισμός της διακινδύνευσης (χαμηλή, μέτρια, υψηλή) για τη μέθοδο CRHRS. **Υπενθυμίζεται ότι για την περίπτωση του ιζηματογενούς η διακινδύνευση υπολογίστηκε ίση με 915, ενώ για την περίπτωση του κρυσταλλικού πετρώματος, η διακινδύνευση ισούται με 867.**

7.2.2. Χ.Θ. 387+060 – Χ.Θ. 387+160 (διατομή: Χ.Θ. 387+130)

Πρόκειται για το πρανές που φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα



Εικόνα 7.2. Άποψη του πρανούς στην Χ.Θ. 387+130.

Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία για την διατομή που εξετάζεται, καθώς και εύλογες παραδοχές που έγιναν, υιοθετούνται τα εξής χαρακτηριστικά:

- ✓ Πρόκειται για ένα πρανές ύψους περίπου 55m, με μέση γωνία 70° , με αρκετές ανώμαλες επιφάνειες, νότιο-ανατολικού προσανατολισμού,
- ✓ Δεν υπάρχει βραχοπαγίδα, ενώ καταπτώσεις εκτιμάται ότι μπορούν να έχουν ως αφετηρία οποιοδήποτε σημείο καθ' όλο το ύψος του πρανούς, εκτός από τα τελευταία 5m,
- ✓ Αποτελείται από λεπτοστρωματώδη κρυσταλλικό ασβεστόλιθο, ελαφρώς ρωγματωμένο,
- ✓ Παρουσιάζονται περισσότερες των 2 οικογένειες ασυνεχειών, με δυσμενή, ως προς την ευστάθεια, προσανατολισμό, επίπεδων επιφανειών, με άνοιγμα έως και 10cm και εμμόνη μεγαλύτερη από 3m, πληρωμένες με αργιλικό υλικό,
- ✓ Παρατηρούνται σπάνια βραχοπτώσεις, με τον όγκο των καταπτώσεων να είναι συνήθως $1-3m^3$,
- ✓ Στην περιοχή εκτιμάται ότι το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης είναι της τάξης των 400mm, η θερμοκρασία πέφτει υπό του μηδενός για περίπου 40 ημέρες το χρόνο, ενώ τουλάχιστον 6 ημέρες τον χρόνο παρουσιάζονται υψηλές στάθμες υετού.

7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρανών

- ✓ Εκτιμάται ότι από την περιοχή διέρχονται καθημερινά 21500 οχήματα, με ταχύτητα της τάξης των 70km/h.

7.2.2.1. Μέθοδος RHRS

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | | |
|--|-------------|--|---|--|---|--|
| | | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 | |
| Ύψος πρανούς | | 25 ft (≈7.6 m) | 50 ft (≈15.2 m) | 75 ft (≈22.9 m) | 100 ft (≈30.5 m) | |
| Αποτελεσματικότητα τάφρου | | Καλή συγκράτηση | Μέτρια συγκράτηση | Περιορισμένη συγκράτηση | Καθόλου συγκράτηση | |
| Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR) | | 25% του χρόνου | 50% του χρόνου | 75% του χρόνου | 100% του χρόνου | |
| Απόσταση αντίδρασης, ως ποσοστό της ελάχιστης τιμής σχεδιασμού (DSD) | | Επαρκής οπτική απόσταση, 100% χαμηλής τιμής σχεδιασμού | Μέτρια οπτική απόσταση, 80% χαμηλής τιμής σχεδιασμού | Περιορισμένη οπτική απόσταση, 60% χαμηλής τιμής σχεδιασμού | Πολύ περιορισμένη οπτική απόσταση, 40% χαμηλής τιμής σχεδιασμού | |
| Συνολικό πλάτος δρόμου | | 44 ft (≈13.4 m) | 36 ft (≈11.0 m) | 28 ft (≈8.5 m) | 20 ft (≈6.1 m) | |
| Γεωλογικός χαρακτήρας | Περίπτωση 1 | Δομή βραχώμαζας | Ασυνεχείς διακλάσεις, ευμενής προσανατολισμός | Ασυνεχείς διακλάσεις, τυχαίος προσανατολισμός | Ασυνεχείς διακλάσεις, δυσμενής προσανατολισμός | Συνεχείς διακλάσεις, δυσμενής προσανατολισμός |
| | | Τραχύτητα | Τραχεία, ανώμαλη | Κυματοειδής | Επίπεδη | Αργιλικό υλικό πλήρωσης – ολισθηρές επιφάνειες |
| | Περίπτωση 2 | Δομή βραχώμαζας | Ελαφρά διαφορική διάβρωση | Περιστασιακή διαφορική διάβρωση | Σημαντική διαφορική διάβρωση | Εκτεταμένη διαφορική διάβρωση |
| | | Διαφορά στο ρυθμό διάβρωσης | Μικρή διαφορά | Μέτρια διαφορά | Μεγάλη διαφορά | Υπερβολικά μεγάλη διαφορά |
| Μέγεθος τεμαχίων / Ποσότητα επισφαλών τεμαχίων | | 1ft (≈0.30 m) / 3 yd3 (≈2.3 m³) | 2ft (≈0.61 m) / 6 yd3 (≈4.6 m³) | 3ft (≈0.91 m) / 9 yd3 (≈6.9 m³) | 4ft (≈1.22 m) / 12 yd3 (≈9.2 m³) | |
| Κλίμα και παρουσία νερού στο πρανές | | Χαμηλές έως μέτριες βροχοπτώσεις. Καθόλου περίοδοι παγετού-Καθόλου νερό στο πρανές | Μέτριες βροχοπτώσεις ή μικροί περίοδοι παγετού ή περιστασιακή παρουσία νερού στο πρανές | Υψηλές βροχοπτώσεις ή μεγάλοι περίοδοι παγετού ή συνεχής παρουσία νερού στο πρανές | Υψηλές βροχοπτώσεις και μεγάλοι περίοδοι παγετού ή συνεχής παρουσία νερού στο πρανές και μεγάλοι περίοδοι παγετού | |
| Ιστορικό καταπτώσεων | | Ελάχιστες καταπτώσεις | Περιστασιακές καταπτώσεις | Πολλές καταπτώσεις | Συνεχείς καταπτώσεις | |
| Συνολική Βαθμολογία | | | | 510 | | |

Αναλυτικά:

- Κατηγορία: Ύψος Πρανούς
Λαμβάνεται υπόψη το ύψος από το οδόστρωμα μέχρι το υψηλότερο σημείο από το οποίο αναμένεται κατάπτωση. Στην περίπτωση αυτή, θεωρείται ίσο με 50m. Συνεπώς, η βαθμολογία αυτής της κατηγορίας είναι ίση με 81.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|--------------|-------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Ύψος πρανούς | 25 ft (≈7.6 m) | 50 ft (≈15.2 m) | 75 ft (≈22.9 m) | 100 ft (≈30.5 m) |

- Κατηγορία: Αποτελεσματικότητα τάφρου
Καθώς δεν υπάρχει βραχοπαγίδα στην περιοχή που εξετάζεται, επιλέγεται βαθμολογία κατηγορίας ίση με 81.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|---------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Αποτελεσματικότητα τάφρου | Καλή συγκράτηση | Μέτρια συγκράτηση | Περιορισμένη συγκράτηση | Καθόλου συγκράτηση |

- Κατηγορία: Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR)
Προκύπτει από τον ακόλουθο τύπο:

$$AVR = \frac{ADT \text{ (οχήματα/ημέρα)} \times \text{μήκος πρανούς (km)} / 24 \text{ (ώρες/ημέρα)}}{\text{Όριο ταχύτητας (km/ώρα)}} \times 100\%$$

Όπου:

ADT: μέση ημερήσια κυκλοφορία οχημάτων = 21500 οχήματα/ημέρα

Μήκος πρανούς = 0.1 km

Όριο ταχύτητας = 70 km/h

Προκύπτει AVR = 128% και συνεπώς η βαθμολογία της κατηγορίας είναι ίση με 81.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|--|-------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR) | 25% του χρόνου | 50% του χρόνου | 75% του χρόνου | 100% του χρόνου |

- Κατηγορία: Απόσταση αντίδρασης, ως ποσοστό της ελάχιστης τιμής σχεδιασμού (DSD)
Προκύπτει από τον ακόλουθο τύπο:

$$DSD(\%) = \frac{\text{Πραγματική απόσταση ()} \times 100\%}{\text{Απόσταση απόφασης ()}}$$

7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρανών

Η απόφαση απόστασης σύμφωνα με τον πίνακα 3.3, για ταχύτητα οχήματος ίση με 70km/h είναι ίση με 200m. Όσον αφορά την πραγματική απόσταση, παρατηρείται ότι στο συγκεκριμένο τμήμα της οδού, που εξετάζεται, η καμπυλότητα είναι ελάχιστη. Συνεπώς, η πραγματική απόσταση θα είναι σε κάθε περίπτωση μεγαλύτερη ή ίση με 200m, δηλαδή η οπτική απόσταση είναι επαρκής. Συνεπώς, προκύπτει DSD = 100% και συνεπώς η βαθμολογία της κατηγορίας ισούται με 3.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|--|--|--|--|---|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Απόσταση αντίδρασης, ως ποσοστό της ελάχιστης τιμής σχεδιασμού (DSD) | Επαρκής οπτική απόσταση, 100% χαμηλής τιμής σχεδιασμού | Μέτρια οπτική απόσταση, 80% χαμηλής τιμής σχεδιασμού | Περιορισμένη οπτική απόσταση, 60% χαμηλής τιμής σχεδιασμού | Πολύ περιορισμένη οπτική απόσταση, 40% χαμηλής τιμής σχεδιασμού |

- Κατηγορία: Συνολικό πλάτος δρόμου
Το πλάτος του δρόμου στην συγκεκριμένη θέση είναι ίσο με 10,4m. Συνεπώς η βαθμολογία της κατηγορίας ισούται με 9.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|------------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Συνολικό πλάτος δρόμου | 44 ft (≈13.4 m) | 36 ft (≈11.0 m) | 28 ft (≈8.5 m) | 20 ft (≈6.1 m) |

- Γεωλογικός χαρακτήρας: Πρόκειται για την περίπτωση 1, όπου η βραχώμαζα ελέγχεται από τις ασυνέχειες
- Κατηγορία: Δομή βραχώμαζας
Παρουσιάζονται κυρίαρχες ομάδες ασυνεχειών με δυσμενή προσανατολισμό και μήκος μεγαλύτερο από 3m. Βαθμολογία κατηγορίας: 81
- Κατηγορία: Τραχύτητα
Εμφανίζεται αργιλικό υλικό πλήρωσης. Βαθμολογία κατηγορίας: 81

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | | | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|-----------------------|-------------|-----------------|---|---|--|--|
| | | | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Γεωλογικός χαρακτήρας | Περίπτωση 1 | Δομή βραχώμαζας | Ασυνεχείς διακλάσεις, ευμενής προσανατολισμός | Ασυνεχείς διακλάσεις, τυχαίος προσανατολισμός | Ασυνεχείς διακλάσεις, δυσμενής προσανατολισμός | Συνεχείς διακλάσεις, δυσμενής προσανατολισμός |
| | | Τραχύτητα | Τραχεία, ανώμαλη | Κυματοειδής | Επίπεδη | Αργιλικό υλικό πλήρωσης – ολισθηρές επιφάνειες |

- Κατηγορία: Μέγεθος τεμαχών / Ποσότητα επισφαλών τεμαχιών
Σύμφωνα με τις υφιστάμενες μελέτες, στην διατομή ελέγχου έχουν παρατηρηθεί καταπτώσεις της τάξης του 1.0 – 3.0m³. Συντηρητικά, επιλέγεται η δεύτερη κατηγορία. Συνεπώς, για την κατηγορία, η βαθμολογία ισούται με 9.

7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρανών

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|---|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Μέγεθος τεμαχίων / Ποσότητα επισφαλών τεμαχίων | 1ft (≈0.30 m) / 3 yd3 (≈2.3 m³) | 2ft (≈0.61 m) / 6 yd3 (≈4.6 m³) | 3ft (≈0.91 m) / 9 yd3 (≈6.9 m³) | 4ft (≈1.22 m) / 12 yd3 (≈9.2 m³) |

- Κατηγορία: Κλίμα και παρουσία νερού στο πρανές
- Από τα διαθέσιμα στοιχεία, εκτιμάται ότι η μέγιστη μηνιαία βροχόπτωση στη περιοχή μελέτης ισούται με 400mm, ενώ η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι της τάξης των 1800 – 2000mm (υψηλή βροχόπτωση) Επίσης, θεωρούνται μεγάλες περίοδοι παγετού. Συνεπώς, ανήκει στην τέταρτη κατηγορία (βαθμολογία = 81).

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|--|--|---|--|---|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Κλίμα και παρουσία νερού στο πρανές | Χαμηλές έως μέτριες βροχοπτώσεις. Καθόλου περίοδοι παγετού-Καθόλου νερό στο πρανές | Μέτριες βροχοπτώσεις ή μικροί περίοδοι παγετού ή περιστασιακή παρουσία νερού στο πρανές | Υψηλές βροχοπτώσεις ή μεγάλοι περίοδοι παγετού ή συνεχής παρουσία νερού στο πρανές | Υψηλές βροχοπτώσεις και μεγάλοι περίοδοι παγετού ή συνεχής παρουσία νερού στο πρανές και μεγάλοι περίοδοι παγετού |

- Κατηγορία: Ιστορικό καταπτώσεων
Έχουν καταχωρηθεί στην ευρύτερη περιοχή 5 περιστατικά καταπτώσεων τα τελευταία 13 χρόνια. Συνεπώς, καταπτώσεις παρατηρούνται σπάνια και δεν αποτελούν διαρκές πρόβλημα. Επιλέγεται συντηρητικά η κατηγορία «ελάχιστες καταπτώσεις», με βαθμολογία ίση με 3.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|-----------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|----------------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Ιστορικό καταπτώσεων | Ελάχιστες καταπτώσεις | Περιστασιακές καταπτώσεις | Πολλές καταπτώσεις | Συνεχείς καταπτώσεις |

Αθροίζοντας την βαθμολογία των παραπάνω κατηγοριών, προκύπτει η συνολική βαθμολογία του πρανούς, έναντι της επικινδυνότητας, όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

| | |
|--|---------------|
| Συνολική Βαθμολογία | 510 |
| Συνολική Βαθμολογία (%) ως προς max | 62,96% |

Σε αντιστοιχία με τη μέθοδο CRHRS, **η επικινδυνότητα του πρανούς χαρακτηρίζεται ως υψηλή.**

7.2.2.2. Μέθοδος NHI – RHRS

Όπως και στο προηγούμενο πρανές που εξετάστηκε, βαθμολογούνται οι κάτωθι πέντε κατηγορίες, με τις υπόλοιπες να διατηρούν την βαθμολογία του από το σύστημα RHRS

- Κατηγορία: Ύψος Πρανούς
Θεωρήθηκε ότι το ύψος του πρανούς είναι ίσο με 50m. Μέγιστη τιμή της μεθόδου είναι τα 32.00m. Συνεπώς, λαμβάνει βαθμολογία ίση με **100**.
- Κατηγορία: Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR)
Υπολογίστηκε, σύμφωνα με τα προηγούμενα, ίση με 128%. Συνεπώς, λαμβάνει βαθμολογία ίση με **100**.
- Κατηγορία: Απόσταση αντίδρασης, ως ποσοστό της ελάχιστης τιμής σχεδιασμού (DSD)
Υπολογίστηκε, σύμφωνα με τα προηγούμενα, ίση με 100%. Συνεπώς, λαμβάνει βαθμολογία ίση με **3**.
- Κατηγορία: Συνολικό πλάτος δρόμου
Το πλάτος του δρόμου στην συγκεκριμένη θέση είναι ίσο με 10.4m. Συνεπώς η βαθμολογία της κατηγορίας ισούται με **12**.
- Κατηγορία: Μέγεθος τεμαχίων / Ποσότητα επισφαλών τεμαχίων
Με βάση τα παραπάνω, για ποσότητα καταπτώσεων ίση με 3.0m³, λαμβάνεται βαθμολογίας παραμέτρου ίση **4**.

Αθροίζοντας την βαθμολογία των παραπάνω κατηγοριών, προκύπτει η συνολική βαθμολογία του πρανούς, έναντι της επικινδυνότητας, όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

| | |
|--|---------------|
| Συνολική Βαθμολογία | 546 |
| Συνολική Βαθμολογία (%) ως προς max | 60,33% |

Σε αντιστοιχία με τη μέθοδο CRHRS, **η επικινδυνότητα του πρανούς χαρακτηρίζεται ως υψηλή.**

7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρανών

7.2.2.3. Μέθοδος CRHS

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | | |
|-------------------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|--|--|
| | | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 | |
| ΠΡΑΝΕΣ | Ύψος πρανούς | 7,5-15μ | 15-23μ | 23-30μ | >30μ | |
| | Συχνότητα Βραχοπτώσεων | >2 χρόνια | 1-2 χρόνια | ετήσια/ εποχιακά | Κατά τη διάρκεια του έτους/ σοβαρά γεγονότα | |
| | Μέση βαθμολογία γωνίας πρανούς | 0-2 | 2-4 | 4-8 | >8 | |
| | Χαρακτηριστικά αποκόλλησης | Μηδενικά (απαλό πρανές) | Χαμηλά (<0,6μ ανωμαλία εδάφους) | Μέτρια (0,6-1,8μ ανωμαλία εδάφους) | Υψηλά (>1,8μ ανωμαλία εδάφους) | |
| | Συγκράτηση βραχοπαγίδας | 95-100% (κλάση 1) | 94-65% (κλάση 2) | 30-64% (κλάση 3) | <30% (κλάση 4) ≥ Μεγάλα χαρακτηριστικά αποκόλλησης | |
| ΚΛΙΜΑ | Ετήσια βροχόπτωση | <250mm | 250-500mm | 500-900mm | >900 | |
| | Ετήσιοι κύκλοι ψύξης-απόψυξης | 1-5 | 6-10 | 11-15 | >16 | |
| | Ροή/παρουσία νερού | Στεγνό | ύφυγρο | στάγδην | ροή | |
| | Προσανατολισμός πρανούς | N | E,W,NE,NW | SE, SW | S | |
| ΓΕΩΛΟΓΙΑ | ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣ | Βαθμός τεμαχισμού | 0-0,3m | 0,3-0,6m | 0,6-1,2m | >1,2m |
| | | Δείκτης χαλάρωσης | 6 | 5 | 3-4 | 1-2 |
| | | Βαθμός διαστρωμάτωσης | 1-2 ασθενείς διαστρώσεις <15cm | 1-2 ασθενείς διαστρώσεις >15cm | >2 ασθενείς διαστρώσεις <15cm | >2 ασθενείς διαστρώσεις >15cm |
| | ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ | Χαρακτηριστικά πετρώματος | Ομογενές/συμπαγές | Μικρές ρωγμές/ισχυρές φλέβες | Σχιστότητα/ζώνες διάτμησης <15cm | Ασθενής πιγματίτης/μαρμαρυγίες/ζώνες διάτμησης >15cm |
| | | Βαθμός ύπαρξης προεξεχόντων τεμαχίων | 0-0,3m | 0,3-0,6m | 0,6-1,2m | >1,2m |
| | | Βαθμός αποσάθρωσης | Υγιές | Ελαφρά αποσάθρωση | Μέτρια αποσαθρωμένο | Τελείως αποσαθρωμένο |
| | ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ | Μέγεθος τεμάχους/όγκος | <0,3m / <0,75m ³ | 0,3-0,6 / 0,75-2,3m ³ | 0,6-1,5m / 2,3-7,6m ³ | >1,5m / >7,6m ³ |
| | | Πλήθος οικογενειών | 1 | 1 και τυχαίες | 2 | >2 |
| | | Εμμόνη/προσανατολισμός | <3m ευμενώς | >3m ευμενώς | <3m δυσμενώς | >3m δυσμενώς |
| | | Άνοιγμα | Κλειστές | 0,1-1,00mm | 1,0-5,0mm | >5,0mm |
| | | Κατάσταση αποσάθρωσης | Υγιές | Ελαφρά αποσάθρωση | Κοκκώδες υλικό | Αργιλικό υλικό πλήρωσης |
| | | Τριβή | Τραχείες | Κυματοειδείς | Επίπεδες | Λείες |
| | ΧΑΟΤΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ | Μέγεθος τεμάχους (x3) | <0.3m | 0,3-0,6m | 0,6-1,5m | >1,5m |
| | | Σχήμα τεμάχους (x3) | Γωνιώδες | Τεμαχισμένο | Τεμαχισμένο έως γωνιώδες | Αποστρογγυλεμένο |
| | | Φυτοκάλυψη (x3) | Πλήρης φυτοκάλυψη | Σποραδική φυτοκάλυψη | Απομονωμένα φυτά | Τίποτα |
| Συνολική βαθμολογία επικινδυνότητας | | ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣ= 846 | | ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ = 804 | | |
| ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ | Απόσταση αντίδρασης, ως ποσοστό της ελάχιστης τιμής σχεδιασμού (DSD) | >80% | 60-80% | 40-60% | <40% | |
| | Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR) | 0-24% | 25-49% | 50-74% | 75-100% | |
| | Πλήθος ατυχημάτων | 0-2 | 3-5 | 6-8 | 9 και πάνω | |
| Συνολική βαθμολογία διακινδύνευσης | | ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣ= 933 | | ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ= 891 | | |

7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρανών

Για τη χιλιομετρική θέση που εξετάζετε, το πρανές θα θεωρηθεί ότι αποτελείται είτε από κρυσταλλικό πέτρωμα (λόγω του κρυσταλλικού χαρακτήρα του σχηματισμού) είτε ως ιζηματογενές (ασβεστόλιθος). Συνεπώς, θα προκύψουν δύο διαφορετικές βαθμολογίες, οι οποίες και θα συγκριθούν μεταξύ τους.

- Κατηγορία: Ύψος Πρανούς
Λαμβάνεται υπόψη το συνολικό ύψος του πρανούς, μέχρι το μέγιστο πιθανό σημείο αποκόλλησης τεμαχών. Στην περίπτωση αυτή, θεωρείται ίσο με 55m. Συνεπώς, η βαθμολογία αυτής της κατηγορίας είναι ίση με 81.

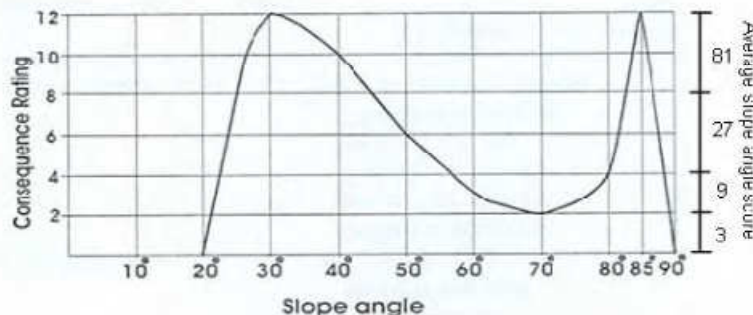
| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|--------------|-------------------------|----------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Ύψος πρανούς | 7,5-15μ | 15-23μ | 23-30μ | >30μ |

- Κατηγορία: Συχνότητα βραχοπτώσεων
Έχουν καταγραφεί 5 καταπτώσεις τα τελευταία 19 χρόνια, δηλαδή η συχνότητα των βραχοπτώσεων είναι σχεδόν μία στα τέσσερα χρόνια. Συνεπώς, η βαθμολογία αυτής της κατηγορίας είναι ίση με 3.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|------------------------|-------------------------|------------|---------------------|--|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Συχνότητα Βραχοπτώσεων | >2 χρόνια | 1-2 χρόνια | ετήσια/ εποχιακά | Κατά τη διάρκεια του έτους/ σοβαρά γεγονότα |

- Κατηγορία: Μέση βαθμολογία γωνίας πρανούς
Από τις διατομές των αντίστοιχων μελετών, εκτιμάται μέση γωνία πρανούς ίση με 70°. Από τα ακόλουθο διάγραμμα, η μέση βαθμολογία της γωνία του πρανούς προκύπτει ίση με 2. Συνεπώς, συντηρητικά επιλέγεται η δεύτερη κατηγορία βαθμολόγησης επικινδυνότητας. Άρα, η βαθμολογία της κατηγορίας είναι ίση με 9.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|--------------------------------|-------------------------|----------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Μέση βαθμολογία γωνίας πρανούς | 0-2 | 2-4 | 4-8 | >8 |



7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρανών

- Κατηγορία: Χαρακτηριστικά αποκόλλησης
Από τις υπάρχουσες διατομές εκτιμάται ότι παρουσιάζονται ανωμαλίες του εδάφους έως και 2,3m. Συνεπώς, η βαθμολογία αυτής της κατηγορίας είναι ίση με 81.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|----------------------------|-------------------------|---------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Χαρακτηριστικά αποκόλλησης | Μηδενικά (απαλό πρανές) | Χαμηλά (<0.6μ ανωμαλία εδάφους) | Μέτρια (0,6-1,8μ ανωμαλία εδάφους) | Υψηλά (>1,8μ ανωμαλία εδάφους) |

- Κατηγορία: Συγκράτηση βραχοπαγίδας
Καθώς δεν υπάρχει βραχοπαγίδα στην περιοχή που εξετάζεται, επιλέγεται βαθμολογία κατηγορίας ίση με 81.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|-------------------------|-------------------------|------------------|------------------|--|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Συγκράτηση βραχοπαγίδας | 95-100% (κλάση 1) | 94-65% (κλάση 2) | 30-64% (κλάση 3) | <30% (κλάση 4) ≥ Μεγάλα χαρακτηριστικά αποκόλλησης |

- Κατηγορία: Ετήσια βροχόπτωση
- Από τα διαθέσιμα στοιχεία, στην περιοχή η ετήσια βροχόπτωση είναι της τάξης των 1800-2000mm. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας είναι ίση με 81.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|-------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Ετήσια βροχόπτωση | <250mm | 250-500mm | 500-900mm | >900 |

- Κατηγορία: Ετήσιοι κύκλοι ψύξης – απόψυξης
Θεωρείται ότι στην περιοχή μελέτης παρουσιάζονται κατά μέσο όρο 6 ημέρες ανά μήνα με ύψος βροχόπτωσης μεγαλύτερο από 0.25mm που αντιστοιχούν στο 20% των ημερών του μήνα. Επίσης εκτιμάται ότι για 40 ημέρες το χρόνο στην περιοχή παρουσιάζονται θερμοκρασίες κάτω από 0°C. Συνεπώς, οι ετήσιοι κύκλοι ψύξης θα είναι $40 \times 20\% = 8$. Άρα, η βαθμολογία της κατηγορίας είναι ίση με 9.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|-------------------------------|-------------------------|----------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Ετήσιοι κύκλοι ψύξης-απόψυξης | 1-5 | 6-10 | 11-15 | >16 |

- Κατηγορία: Ροή – Παρουσία νερού
Βάση του πορίσματος του ΤΕΕ (2010), ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται ως ύφυγρος. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας θα είναι ίση με 9.

7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρανών

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|--------------------|-------------------------|----------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Ροή/παρουσία νερού | Στεγνό | ύφυγρο | στάγδην | ροή |

- Κατηγορία: Προσανατολισμός πρανούς
Ο προσανατολισμός του πρανούς είναι Νοτιοανατολικός (SE). Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας θα είναι ίση με 27.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|-------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Διεύθυνση πρανούς | N | E,W,NE,NW | SE, SW | S |

- Κατηγορία: Μέγεθος/ όγκος τεμάχους.
Λαμβάνεται υπόψη τιμή ίση με 3m³, όπως και στα προηγούμενα συστήματα κατάταξης. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας θα είναι ίση με 27.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Μέγεθος τεμάχους/όγκος | <0,3m / <0,75m ³ | 0,3-0,6 / 0,75-2,3m ³ | 0,6-1,5m / 2,3-7,6m ³ | >1,5m / >7,6m ³ |

- Κατηγορία: Πλήθος οικογενειών ασυνεχειών.
Εκτιμάται ότι υπάρχουν περισσότερες από 2 κύριες οικογένειες ασυνεχειών. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας θα είναι ίση με 81.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|--------------------|-------------------------|---------------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Πλήθος οικογενειών | 1 | 1 και τυχαίες | 2 | >2 |

- Κατηγορία: Εμμονή/προσανατολισμός.
Ο προσανατολισμός των ασυνεχειών είναι δυσμενής για την ευστάθεια του πρανούς, ενώ παρουσιάζουν εμμονή μεγαλύτερη από 3m. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας θα είναι ίση με 81.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|------------------------|-------------------------|-------------|--------------|--------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Εμμονή/προσανατολισμός | <3m ευμενώς | >3m ευμενώς | <3m δυσμενώς | >3m δυσμενώς |

- Κατηγορία: Άνοιγμα ασυνεχειών
Οι ασυνέχειες είναι ανοιχτές, με άνοιγμα της τάξης των 10cm. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας είναι ίση με 81.

7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρανών

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|----------|-------------------------|------------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Ανοιγμα | Κλειστές | 0,1-1,00mm | 1,0-5,0mm | >5,0mm |

- Κατηγορία: Κατάσταση αποσάθρωσης ασυνεχειών
Οι ασυνέχειες είναι πληρωμένες με αργιλώδη άμμο, που προέρχεται από την αποσάθρωση των ασβεστολίθων. Για λόγους συντηρητικού σχεδιασμού, θεωρείται ότι αστοχία θα συμβεί πιθανότερα όταν επικρατεί το λεπτομερές κλάσμα. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας είναι ίση με 81.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|-----------------------|-------------------------|-------------------|----------------|-------------------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Κατάσταση αποσάθρωσης | Υγιές | Ελαφρά αποσάθρωση | Κοκκώδες υλικό | Αργιλικό υλικό πλήρωσης |

- Κατηγορία: Τριβή ασυνεχειών
Η επιφάνεια των ασυνεχειών εκτιμάται ότι είναι επίπεδη. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας είναι ίση με 27.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|----------|-------------------------|--------------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Τριβή | Τραχείες | Κυματοειδείς | επίπεδες | Λείες |

A. Ιζηματογενές πέτρωμα

- Κατηγορία: Βαθμός τεμαχισμού
Δεν παρουσιάζεται σημαντική ποικιλία στην λιθολογία. Συνεπώς ο βαθμός τεμαχισμού είναι της τάξης 0 – 0.3m και η βαθμολογία της κατηγορίας θα είναι ίση με 3

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|-------------------|-------------------------|----------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Βαθμός τεμαχισμού | 0-0,3m | 0,3-0,6m | 0,6-1,2m | >1,2m |

- Κατηγορία: Δείκτης χαλάρωσης
Δεν παρουσιάζεται διαχωρισμός, καθώς πρόκειται για συμπαγή σχηματισμό. Συνεπώς, η βαθμολόγηση του Δείκτης χαλάρωσης είναι ίση με 6 και της κατηγορίας ίση με 3.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|-------------------|-------------------------|----------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Δείκτης χαλάρωσης | 6 | 5 | 3-4 | 1-2 |

7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρανών

- Κατηγορία: Βαθμός διαστρωμάτωσης
Εκτιμάται πως παρουσιάζονται περισσότερες από δύο ασθενείς διαστρώσεις, πάχους μεγαλύτερου των 15cm. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας θα είναι ίση με 81.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Βαθμός διαστρωμάτωσης | 1-2 ασθενείς διαστρώσεις <15cm | 1-2 ασθενείς διαστρώσεις >15cm | >2 ασθενείς διαστρώσεις <15cm | >2 ασθενείς διαστρώσεις >15cm |

B. Κρυσταλλικό πέτρωμα

- Κατηγορία: Χαρακτηριστικά πετρώματος
Εκτιμάται ότι στον σχηματισμό επικρατούν οι μικρές ρωγμές. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας θα είναι ίση με 9.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|---------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------------------|--|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Χαρακτηριστικά πετρώματος | Ομογενές/συμπαγές | Μικρές ρωγμές/ισχυρές φλέβες | Σχιστότητα/ζώνες διάτμησης <15cm | Ασθενής πιγματίτης/μαρμαρυγίες/ζώνες διάτμησης >15cm |

- Κατηγορία: Βαθμός ύπαρξης προεξοχόντων τεμαχών
Στην περιοχή παρουσιάζονται μικροί επικρεμάμενοι όγκοι, συνεπώς, θεωρείται ότι ο βαθμός προεξοχής είναι της τάξης των 0.3 – 0.6m. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας θα είναι ίση με 9.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|-------------------------------------|-------------------------|----------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Βαθμός ύπαρξης προεξοχόντων τεμαχών | 0-0,3m | 0,3-0,6m | 0,6-1,2m | >1,2m |

- Κατηγορία: Βαθμός αποσάθρωσης
Εκτιμάται ότι ο σχηματισμός είναι ελαφρώς εξαλλοιωμένος. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας θα είναι ίση με 27.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|--------------------|-------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Βαθμός αποσάθρωσης | Υγιές | Ελαφρά αποσάθρωση | Μέτρια αποσάθρωμένο | Τελείως αποσάθρωμένο |

Αθροίζοντας την βαθμολογία των παραπάνω κατηγοριών, προκύπτει η συνολική βαθμολογία του πρανούς, έναντι της επικινδυνότητας, όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

A. Ιζηματογενές πέτρωμα

| | |
|--|---------------|
| Συνολική Βαθμολογία | 846 |
| Συνολική Βαθμολογία (%) ως προς max | 58,02% |

Στη μέθοδο CRHRS δεν δίνει κατάταξη της επικινδυνότητας για ιζηματογενές πέτρωμα.

B. Κρυσταλλικό πέτρωμα

| | |
|--|---------------|
| Συνολική Βαθμολογία | 804 |
| Συνολική Βαθμολογία (%) ως προς max | 55,14% |

Σύμφωνα με τη μέθοδο CRHRS, για το όρυγμα, **η επικινδυνότητα χαρακτηρίζεται ως οριακά μέτρια έως υψηλή.**

Στην συνέχεια, η μέθοδος συνεχίζεται με σκοπό την βαθμολογία της διακινδύνευσης του πρανούς. Βαθμολογούνται επιπρόσθετα των ανωτέρω, οι εξής παράμετροι, που αφορούν στην κυκλοφορία των οχημάτων.

- Κατηγορία: Απόσταση αντίδρασης, ως ποσοστό της ελάχιστης τιμής σχεδιασμού (DSD)
Σε αντιστοιχία με τις προηγούμενες μεθόδους, η ποσοστιαία απόσταση αντίδρασης υπολογίστηκε ίση με 100%. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας θα είναι ίση με 3.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|--|-------------------------|----------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Απόσταση αντίδρασης, ως ποσοστό της ελάχιστης τιμής σχεδιασμού (DSD) | >80% | 60-80% | 40-60% | <40% |

- Κατηγορία: Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR)
Σε αντιστοιχία με τις προηγούμενες μεθόδους, η μέση διακινδύνευση οχήματος υπολογίστηκε ίση με 128%. Συνεπώς, η βαθμολογία της κατηγορίας θα είναι ίση με 81.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|--|-------------------------|----------|-----------|-----------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR) | 0-24% | 25-49% | 50-74% | 75-100% |

- Κατηγορία: Πλήθος ατυχημάτων
Αν και δεν υπάρχουν πολλά ιστορικά στοιχεία για ατυχήματα που οφείλονται σε καταπτώσεις, ωστόσο θεωρείται βέβαιο ότι δεν υπάρχουν περισσότερα του ενός ατυχήματα ανά έτος στην περιοχή ελέγχου. Συνεπώς η βαθμολογία της κατηγορίας είναι ίση με 3.

| ΚΡΙΤΗΡΙΑ | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | | | |
|-------------------|-------------------------|----------|-----------|------------|
| | Βαθμοί 3 | Βαθμοί 9 | Βαθμοί 27 | Βαθμοί 81 |
| Πλήθος ατυχημάτων | 0-2 | 3-5 | 6-8 | 9 και πάνω |

Αθροίζοντας τα παραπάνω με τη συνολική βαθμολογία επικινδυνότητας, προκύπτει η συνολική βαθμολογία της διακινδύνευσης, όπως φαίνεται παρακάτω.

A. Ιζηματογενές πέτρωμα

| | |
|--|---------------|
| Συνολική Βαθμολογία Διακινδύνευσης | 933 |
| Συνολική Βαθμολογία (%) ως προς max | 54,85% |

B. Κρυσταλλικό πέτρωμα

| | |
|--|---------------|
| Συνολική Βαθμολογία Διακινδύνευσης | 891 |
| Συνολική Βαθμολογία (%) ως προς max | 52,38% |

7.2.2.4. Αναλύσεις ευαισθησίας

Μέθοδος RHRS

Για τη μέθοδο RHRS, στην περιοχή ελέγχου, εξετάζεται η ευαισθησία των εξής παραμέτρων, που κρίνονται περισσότερο ευαίσθητες σε μεταβολές, που είτε είναι ιδιαίτερα κρίσιμες ως προς τις επιπτώσεις των βραχοπτώσεων, είτε αποτελούν συνδυασμό πολλών παραγόντων και συνεπώς εμπεριέχουν μεγάλο ποσοστό αβεβαιότητας:

- Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR)
- Μέγεθος τεμαχών / ποσότητα επισφαλών τεμαχών
- Ιστορικό καταπτώσεων

Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR)

Η μέση διακινδύνευση οχήματος (AVR) υπολογίζεται βάση του τύπου:

$$AVR = \frac{ADT \text{ (οχήματα/ημέρα)} \times \text{μήκος πρανούς (km)}/24 \text{ (ώρες/ημέρα)}}{\text{Όριο ταχύτητας (km/ώρα)}} \times 100\%$$

7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρανών

Εξαρτάται δηλαδή από τη μέση κυκλοφορία οχημάτων (ADT), το μήκος του πρανούς (L) και το όριο ταχύτητας (V). Εξετάζεται η επίδραση των παραμέτρων αυτών στη βαθμολόγηση του AVR.

Στον αρχικό υπολογισμό του AVR (=128%) παρουσιάζεται ήδη μέγιστη βαθμολόγηση (81).

| Μεταβολή Παραμέτρου | Νέα τιμή AVR | Νέα βαθμολογία AVR | Νέα βαθμολογία πρανούς |
|---|--------------|--------------------|------------------------|
| Μεταβολή παραμέτρου Μέσης Κυκλοφορίας οχημάτων (ADT) | | | |
| <i>Μετά από υπολογισμούς, βρέθηκε ότι απαιτείται μεταβολή της ADT μεγαλύτερη του 30% της αρχικής τιμής. Συνεπώς η βαθμολογία της AVR δεν είναι ευαίσθητη ως προς την παράμετρο ADT.</i> | | | |
| Μεταβολή παραμέτρου Μήκους πρανούς (L) | | | |
| <i>Μετά από υπολογισμούς, βρέθηκε ότι απαιτείται μεταβολή του μήκους του πρανούς κατά 40%, για να μεταβληθεί η τιμή της AVR. Συνεπώς η βαθμολογία της AVR δεν είναι ευαίσθητη ως προς την παράμετρο L</i> | | | |
| Μεταβολή παραμέτρου Όριο ταχύτητας οχημάτων (V) | | | |
| Αύξηση V <170% | >100% | KAMIA METABOLH | KAMIA METABOLH |
| <i>Συνεπώς η βαθμολογία της AVR δεν είναι ευαίσθητη ως προς την παράμετρο του ορίου ταχύτητας (πρέπει από 70km/h να γίνει 120km/h για να υπάρξει μεταβολή – αύξηση 170%)</i> | | | |
| Συνδυασμός παραμέτρων | | | |
| ADT (-20%) L (-20%) V (+10%) | 74% | 27 | 456 - 56,30% |
| ADT (-20%) L (-20%) V (+20%) | 68% | 27 | 456 - 56,30% |
| <i>Οποιοσδήποτε άλλος συνδυασμός μεταβολής των τριών παραμέτρων έως και 20% δεν οδηγεί μεταβολή στην AVR, όπως υπολογίστηκε στο παρόν.</i> | | | |

Μέγεθος τεμαχών / ποσότητα επισφαλών τεμαχών

Στους αρχικούς υπολογισμούς εκτιμήθηκε ποσότητα ίση με 3m³. Ωστόσο, αναφέρονται και μικρότερες τιμές (έστω 0,5-2,0m³).

- Ποσότητα 0,5- 2m³. Συνολική βαθμολογία 504 - 62,22%

Ιστορικό καταπτώσεων

Ανάλυση ευαισθησίας γίνεται και για την παράμετρο της συχνότητας καταπτώσεων. Καθώς τα διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία είναι ελάχιστα, στην ανάλυση ευαισθησίας θα χρησιμοποιηθεί όλο το εύρος της βαθμολογίας. Αρχικά θεωρήθηκε ότι παρουσιάζονται ελάχιστες καταπτώσεις

| Νέα τιμή συχνότητας καταπτώσεων | Νέα βαθμολογία πρανούς |
|---------------------------------|------------------------|
| Περιστασιακές καταπτώσεις | 516 - 63,70% |
| Πολλές καταπτώσεις | 534 - 65,93% |
| Συνεχείς καταπτώσεις | 588 - 72,59% |

Από τα παραπάνω, φαίνεται ότι μικρή μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου (μείωση μέσης ημερήσιας κυκλοφορίας οχημάτων, αύξηση ταχύτητας) σε μικρότερο μελετώμενο τμήμα της οδού οδηγεί σε μείωση των επιπέδων επικινδυνότητας.

Αντιθέτως, όπως είναι φυσικό, αύξηση του όγκου των επισφαλών τεμαχίων οδηγεί σε αύξηση των επιπέδων επικινδυνότητας.

Για τη μέθοδο RHRS, το εύρος της συνολικής βαθμολογίας κυμαίνεται μεταξύ **456 (56.30%)** και **588 (72,59%)**. Σε αντιστοιχία με τη μέθοδο CRHRS, **η επικινδυνότητα του πρανούς χαρακτηρίζεται υψηλή**. Η επίδραση της AVR και του ιστορικού των καταπτώσεων είναι προφανής, οδηγώντας σε μεγάλο εύρος τιμών.

Μέθοδος NHI – RHRS

Στη μέθοδο NHI-RHRS εξετάζεται η ευαισθησία των πέντε (5) παραμέτρων που δέχονται βαθμολογία 1-100:

- Ύψος πρανούς,
- Μέση διακινδύνευση οχήματος,
- Ποσοστιαία ποσότητα αντίδρασης,
- Πλάτος δρόμου και
- Ποσότητα τεμαχίων/μέγεθος τεμάχους,

Καθώς και το:

- Ιστορικό καταπτώσεων

Ύψος πρανούς

Αρχικά είχε επιλεγεί ύψος πρανούς ίσο με 50m.

| Μεταβολή Παραμέτρου | Νέα τιμή ύψους πρανούς | Νέα βαθμολογία ύψους πρανούς | Νέα βαθμολογία πρανούς |
|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Μείωση ύψους κατά 10% | 45m | KAMIA METABOLH | KAMIA METABOLH |
| Μείωση ύψους κατά 20% | 40m | KAMIA METABOLH | KAMIA METABOLH |
| Μείωση ύψους κατά 30% | 35m | KAMIA METABOLH | KAMIA METABOLH |
| Μείωση ύψους κατά 40% | 30m | 76 | 522 - 57,68% |

Απαιτείται δηλαδή μείωση της τάξης του 40% για να μειωθεί το επίπεδο της επικινδυνότητας. Επομένως, η παράμετρος δεν παρουσιάζει ευαισθησία.

Ποσοστό χρόνου παρουσίας αυτοκινήτου σε πιθανή κατάπτωση (AVR)

Σε αντιστοιχία με τη μέθοδο RHRS, εξετάζεται η επίδραση στη βαθμολογία της AVR των παραμέτρων που την συνθέτουν (ADT, μήκος πρανούς, ταχύτητα οχήματος).

Στον αρχικό υπολογισμό του AVR (=128%) παρουσιάζεται ήδη μέγιστη βαθμολόγηση (100).

7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρανών

| Μεταβολή Παραμέτρου | Νέα τιμή AVR | Νέα βαθμολογία AVR | Νέα βαθμολογία πρανούς |
|---|--------------|--------------------|------------------------|
| Μεταβολή παραμέτρου Μέσης Κυκλοφορίας οχημάτων (ADT) | | | |
| Μείωση ADT κατά 10% | >105% | ΚΑΜΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ | ΚΑΜΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ |
| Μείωση ADT κατά 20% | 102% | 88 | 534 - 59,01% |
| Μείωση ADT κατά 30% | 90% | 52 | 498 - 55,03% |
| <i>Συνεπώς η βαθμολογία της AVR είναι ευαίσθητη ως προς την παράμετρο ADT.</i> | | | |
| Μεταβολή παραμέτρου Μήκους πρανούς (L) | | | |
| Μείωση L κατά 10% | >105% | ΚΑΜΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ | ΚΑΜΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ |
| Μείωση L κατά 20% | 102% | 88 | 534 - 59,01% |
| Μείωση L κατά 30% | 89% | 52 | 498 - 55,03% |
| <i>Συνεπώς η βαθμολογία της AVR είναι ευαίσθητη ως προς την παράμετρο L</i> | | | |
| Μεταβολή παραμέτρου Όριο ταχύτητας οχημάτων (V) | | | |
| Αύξηση V κατά 10% | >100% | ΚΑΜΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ | ΚΑΜΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ |
| Αύξηση V κατά 20% | >100% | ΚΑΜΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ | ΚΑΜΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ |
| Αύξηση V κατά 30% | 98% | 74 | 520 - 57,46% |
| <i>Συνεπώς η βαθμολογία της AVR είναι σχετικά ευαίσθητη ως προς την παράμετρο του ορίου ταχύτητας</i> | | | |
| Συνδυασμός παραμέτρων | | | |
| ADT (-10%) L (-10%) V (+10%) | 94% | 60 | 506 - 55,91% |
| ADT (-20%) L (-10%) V (+10%) | 84% | 40 | 486 - 53,70% |
| ADT (-10%) L (-20%) V (+10%) | 83% | 38 | 484 - 53,48% |
| ADT (-10%) L (-10%) V (+20%) | 86% | 44 | 490 - 54,14% |
| ADT (-20%) L (-20%) V (+10%) | 74% | 26 | 472 - 52,15% |
| ADT (-10%) L (-20%) V (+20%) | 77% | 29 | 475 - 52,49% |
| ADT (-20%) L (-10%) V (+20%) | 76% | 28 | 474 - 52,38% |
| ADT (-20%) L (-20%) V (+20%) | 68% | 20 | 466 - 51,49% |

Μέγεθος τεμαχίων / ποσότητα επισφαλών τεμαχίων

| Μεταβολή %DSD | Νέα τιμή %DSD | Νέα βαθμολογία %DSD | Νέα βαθμολογία πρανούς |
|----------------------|---------------|---------------------|------------------------|
| Μείωση %DSD κατά 10% | 90% | 5 | 548 - 60,55% |
| Μείωση %DSD κατά 20% | 80% | 9 | 552 - 60,99% |
| Μείωση %DSD κατά 30% | 70% | 16 | 559 - 61,77% |

Πλάτος δρόμου

| Μεταβολή πλάτους | Νέα τιμή πλάτους | Νέα βαθμολογία πλάτους | Νέα βαθμολογία πρανούς |
|------------------|------------------|------------------------|------------------------|
| Μείωση κατά 10% | 9.4m | 18 | 552 - 60,99% |
| Μείωση κατά 20% | 8.3m | 30 | 564 - 62,32% |
| Μείωση κατά 30% | 7.3m | 47 | 581 - 64,20% |
| Αύξηση κατά 10% | 11.4m | 8 | 542 - 59,89% |
| Αύξηση κατά 20% | 12.5m | 5 | 539 - 59,56% |
| Αύξηση κατά 30% | 13.5m | 3 | 537 - 59,34% |

Ποσότητα τεμαχών/μέγεθος τεμάχους

Στους αρχικούς υπολογισμούς εκτιμήθηκε ποσότητα ίση με 3m³. Ωστόσο, αναφέρονται και μικρότερες τιμές (έστω 0,5m³).

- Ποσότητα 0,5m³. Συνολική βαθμολογία 543 - 60,00%

Ιστορικό καταπτώσεων

Ανάλυση ευαισθησίας γίνεται και για την παράμετρο της συχνότητας καταπτώσεων. Καθώς τα διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία είναι ελάχιστα, στην ανάλυση ευαισθησίας θα χρησιμοποιηθεί όλο το εύρος της βαθμολογίας. Αρχικά θεωρήθηκε ότι παρουσιάζονται περιστασιακές καταπτώσεις

| Νέα τιμή συχνότητας καταπτώσεων | Νέα βαθμολογία πρανούς |
|---------------------------------|------------------------|
| Περιστασιακές καταπτώσεις | 552 - 60,99% |
| Πολλές καταπτώσεις | 570 - 62,98% |
| Συνεχείς καταπτώσεις | 624 - 68,95% |

Από τα παραπάνω, φαίνεται ότι η βελτίωση των συνθηκών κυκλοφορίας οδηγεί σε ελαχιστοποίηση της επικινδυνότητας, ενώ μέγιστη τιμή παρατηρείται σε αυξημένους όγκους τεμαχών. Η μεταβολή των υπόλοιπων παραμέτρων, οδηγεί σε ενδιάμεσα αποτελέσματα.

Συνεπώς, για τη μέθοδο NHI-RHRS, το εύρος της συνολικής βαθμολογίας κυμαίνεται μεταξύ **466 - (51,49%)** και **624 - (68,95%)**. Η επικινδυνότητα χαρακτηρίζεται ως υψηλή, με μεγάλη διασπορά, ανάλογα με την ευαισθησία των παραμέτρων.

Μέθοδος CRHRS

Ιζηματογενές πρανές

Συχνότητα βραχοπτώσεων

Αρχικά θεωρήθηκε ότι η συχνότητα βραχοπτώσεων είναι ίση με ένα γεγονός ανά 4 έτη, (συχνότητα >2 έτη).

| Νέα τιμή συχνότητας βραχοπτώσεων | Νέα βαθμολογία πρανούς |
|----------------------------------|------------------------|
| 1/2 έτη | 852 - 58,44% |
| 1/1 έτος | 870 - 59,67% |
| 2/έτος | 870 - 59,67% |
| 3/έτος | 870 - 59,67% |
| 4/έτος | 870 - 59,67% |

Μέση βαθμολογία γωνίας πρανούς

Αρχικά θεωρήθηκε γωνία πρανούς ίση με 70°.

| Μεταβολή γωνίας πρανούς | Νέα τιμή γωνίας πρανούς | Νέα βαθμολογία πρανούς |
|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Αύξηση κατά 10% | 77° | KAMMIA ΜΕΤΑΒΟΛΗ |
| Αύξηση κατά 20% | 84° | 918 - 62,96% |
| Αύξηση κατά 30% | 90° | 840 - 57,61% |
| Μείωση κατά 10% | 63° | KAMMIA ΜΕΤΑΒΟΛΗ |
| Μείωση κατά 20% | 56° | KAMMIA ΜΕΤΑΒΟΛΗ |
| Μείωση κατά 30% | 49° | 864 - 59,26% |

Μέγεθος τεμάχους/όγκος

Στους αρχικούς υπολογισμούς εκτιμήθηκε ποσότητα ίση με 3m³. Ωστόσο, αναφέρονται και μικρότερες τιμές (έστω 0,5m³).

- 0,5m³ : Συνολική βαθμολογία 822 - 56,38%

Δείκτης χαλάρωσης

Αρχική τιμή παραμέτρου ίση με 6. Καθώς δεν υπάρχουν διαθέσιμα εργαστηριακά στοιχεία, εξετάζεται όλο το εύρος της βαθμολόγησης

| Νέα τιμή δείκτη χαλάρωσης | Νέα βαθμολογία πρανούς |
|---------------------------|------------------------|
| 5 | 852 - 58,44% |
| 3 | 870 - 59,27% |
| 1 | 924 - 63,37% |

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι το επίπεδο της επικινδυνότητας αυξάνεται περισσότερο με τη μεταβολή του δείκτη χαλάρωσης, που περιέχει μεγάλη αβεβαιότητα και ελέγχεται σε όλο το φάσμα της βαθμολόγησης, ενώ ελάχιστη τιμή παρατηρείται όταν θεωρείται μικρότερος όγκος τεμαχών.

Συνεπώς, για την περίπτωση του ιζηματογενούς πρανούς, για τη μέθοδο CRHRS, το εύρος της συνολικής βαθμολογίας κυμαίνεται μεταξύ **822 (56,38%)** και **924 (63,37%)**. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, δεν υπάρχει χαρακτηρισμός της επικινδυνότητας για ιζηματογενή πετρώματα.

Κρυσταλλικό πρανές

Συχνότητα βραχοπτώσεων

Αρχικά θεωρήθηκε ότι η συχνότητα βραχοπτώσεων είναι ίση με ένα γεγονός ανά έτος (1/1 έτος).

| Νέα τιμή συχνότητας βραχοπτώσεων | Νέα βαθμολογία πρανούς |
|----------------------------------|------------------------|
| 1/2 έτη | 810 - 55,56% |
| 1/1 έτος | 828 - 56,62% |
| 2/έτος | 828 - 56,62% |
| 3/έτος | 828 - 56,62% |
| 4/έτος | 828 - 56,62% |

Μέση βαθμολογία γωνίας πρανούς

Αρχικά θεωρήθηκε γωνία πρανούς ίση με 70°.

| Μεταβολή γωνίας πρανούς | Νέα τιμή γωνίας πρανούς | Νέα βαθμολογία πρανούς |
|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Αύξηση κατά 10% | 77° | ΚΑΜΜΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ |
| Αύξηση κατά 20% | 84° | 876 - 60,08% |
| Αύξηση κατά 30% | 90° | 798 - 54,73% |
| Μείωση κατά 10% | 63° | ΚΑΜΜΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ |
| Μείωση κατά 20% | 56° | ΚΑΜΜΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ |
| Μείωση κατά 30% | 49° | 822 - 56,38% |

Μέγεθος τεμάχους/όγκος

Στους αρχικούς υπολογισμούς εκτιμήθηκε ποσότητα ίση με 3m³. Ωστόσο, αναφέρονται και μικρότερες τιμές (έστω 0,5m³).

0,5m³ : Συνολική βαθμολογία 780 - 53,50%

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι το επίπεδο της επικινδυνότητας μεγιστοποιείται με τη μεταβολή της κλίσης του πρανούς και ελαχιστοποιείται με τη μείωση του όγκου του τεμάχους.

Συνεπώς, για την περίπτωση του κρυσταλλικού πρανούς, για τη μέθοδο CRHRS, το εύρος της συνολικής βαθμολογίας κυμαίνεται μεταξύ **780 (53,50%)** και **876 (60,08%)**. Η επικινδυνότητα χαρακτηρίζεται ως οριακά μέτρια έως υψηλή.

Ανάλυση ευαισθησίας στην βαθμολογία της διακινδύνευσης δεν πραγματοποιήθηκε, καθώς δεν υπάρχει μέτρο σύγκρισης με τις προηγούμενες μεθόδους. Επιπρόσθετα, δεν αναφέρεται στη βιβλιογραφία χαρακτηρισμός της διακινδύνευσης (χαμηλή, μέτρια, υψηλή) για τη μέθοδο CRHRS. Υπενθυμίζεται ότι για την περίπτωση του ιζηματογενούς η διακινδύνευση υπολογίστηκε ίση με 933, ενώ για την περίπτωση του κρυσταλλικού πετρώματος, η διακινδύνευση ισούται με 891.

7.2.3. Σύνοψη – συμπεράσματα βαθμολόγησης επικινδυνότητας

Σύμφωνα με τα παραπάνω, αξιολογήθηκαν δύο πρανή, σε διαφορετικές Χ.Θ., ως προς την επικινδυνότητα, με τρεις διαφορετικές μεθόδους βαθμολόγησης.

Σε κάθε μέθοδο έγινε ανάλυση ευαισθησίας στις παραμέτρους που κρίθηκαν ως περισσότερο ευαίσθητες και με μεγαλύτερο ποσοστό αβεβαιότητας για την βαθμολόγηση τους.

Έτσι, προέκυψε η βαθμολογία επικινδυνότητας του κάθε πρανούς με τις τρεις μεθόδους και προσεγγίστηκαν ανώτερα και κατώτερα όρια, με βάση τις αναλύσεις ευαισθησίας. Τα αποτελέσματα, φαίνονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα.

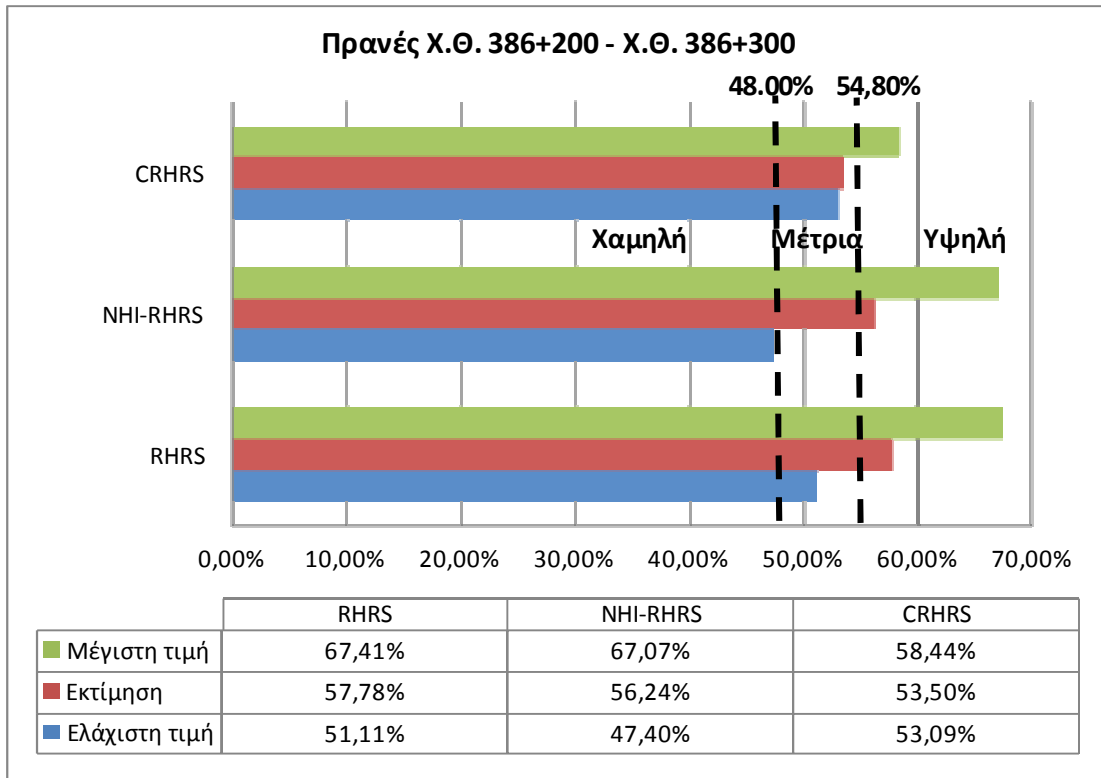
Πίνακας 7.3. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα βαθμολόγησης επικινδυνότητας³

| ΜΕΘΟΔΟΣ | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ | ΚΑΤΩ ΟΡΙΟ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑΣ | ΑΝΩ ΟΡΙΟ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑΣ | ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ |
|--|----------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------|
| <i>Χ.Θ. 386+200 – Χ.Θ. 386+300 (διατομή: Χ.Θ. 386+215)</i> | | | | |
| RHRS | 468 (57,78%) | (51,11%) | (67,41%) | ΥΨΗΛΗ |
| NHI-RHRS | 509 (56,24%) | (47,40%) | (67,07%) | ΥΨΗΛΗ |
| CRHRS | | | | |
| Ιζηματογενές | 828 (56,79%) | (56,38%) | (62,14%) | - |
| Κρυσταλλικό | 780(53,50%) | (53,09%) | (58,44%) | ΜΕΤΡΙΑ (οριακά ΥΨΗΛΗ) |
| <i>Χ.Θ. 387+060 – Χ.Θ. 387+160 (διατομή: Χ.Θ. 387+130)</i> | | | | |
| RHRS | 510(62,96%) | (56,30%) | (72,59%) | ΥΨΗΛΗ |
| NHI-RHRS | 546 (60,33%) | (51,49%) | (68,95%) | ΥΨΗΛΗ |
| CRHRS | | | | |
| Ιζηματογενές | 846 (58,02%) | (56,38%) | (63,37%) | - |
| Κρυσταλλικό | 804 (55,14%) | (53,50%) | (60,08%) | ΜΕΤΡΙΑ (οριακά ΥΨΗΛΗ) |

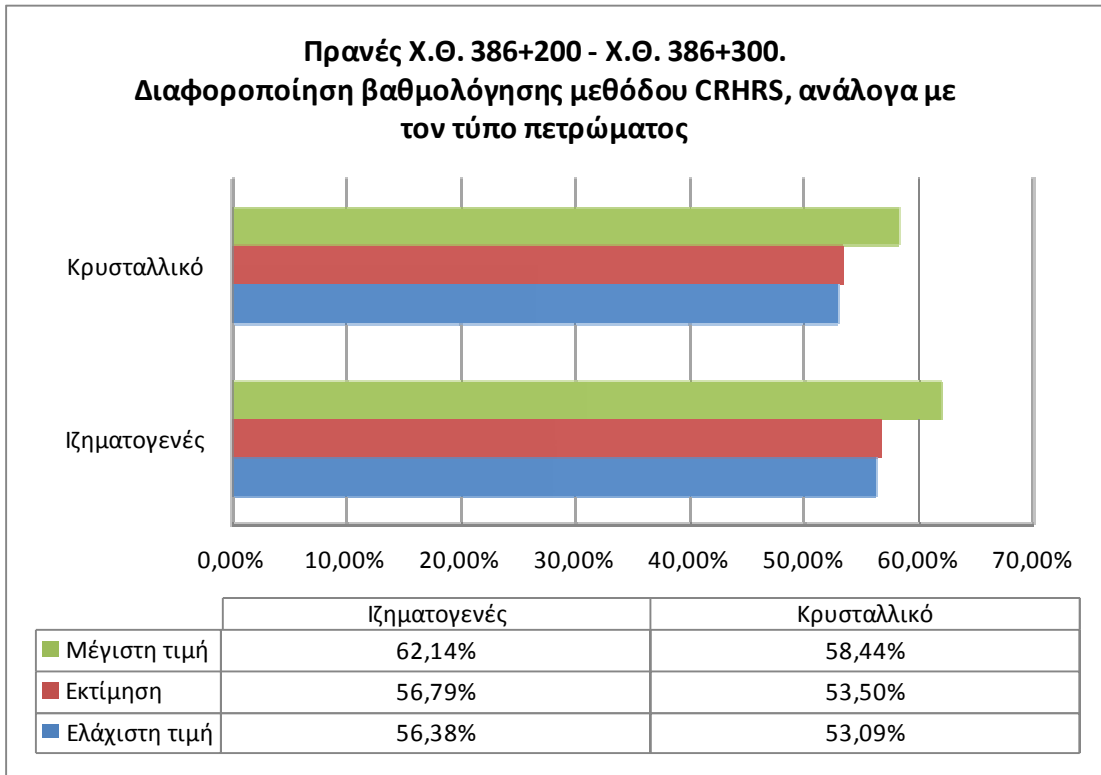
Με βάση τα αποτελέσματα αυτά, δημιουργήθηκαν και τα ακόλουθα συγκριτικά διαγράμματα.

³ Διευκρινίζονται τα εξής:

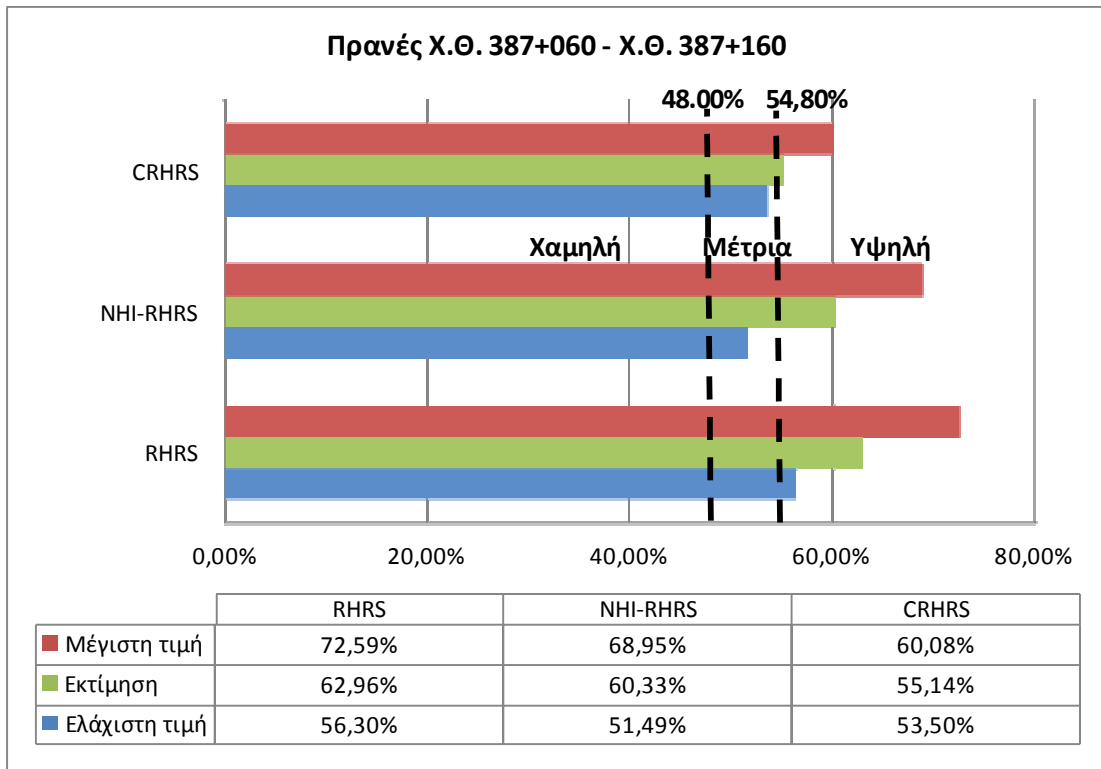
- ✓ Τα % ποσοστά αντιστοιχούν στην αναγωγή της βαθμολογίας ως προς τη μέγιστη τιμή έκαστης μεθόδου και χρησιμοποιούνται για την σύγκριση.
- ✓ Τα άνω και κάτω όρια βαθμολόγησης προέκυψαν από τις αναλύσεις ευαισθησίας.
- ✓ Η στήλη “ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ” αναφέρεται στην τιμή που υπολογίστηκε αρχικά, πριν τις αναλύσεις ευαισθησίας (εκτίμηση).
- ✓ Ο χαρακτηρισμός της επικινδυνότητας των τριών μεθόδων έγινε λαμβάνοντας υπόψη τα όρια που προτείνονται από τη μέθοδο CRHRS για **όρυγμα κρυσταλλικού πετρώματος** (βλ. πίνακα 7.1).
- ✓ Ο χαρακτηρισμός της επικινδυνότητας ορίζεται με βάση τη στήλη “ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ” (όχι από τα όρια που προκύπτουν από τις αναλύσεις ευαισθησίας).
- ✓ Η μέθοδος CRHRS δεν προβλέπει χαρακτηρισμό της επικινδυνότητας για ιζηματογενή πρανή. Για το λόγο αυτό δεν χαρακτηρίζονται και στο παρόν.



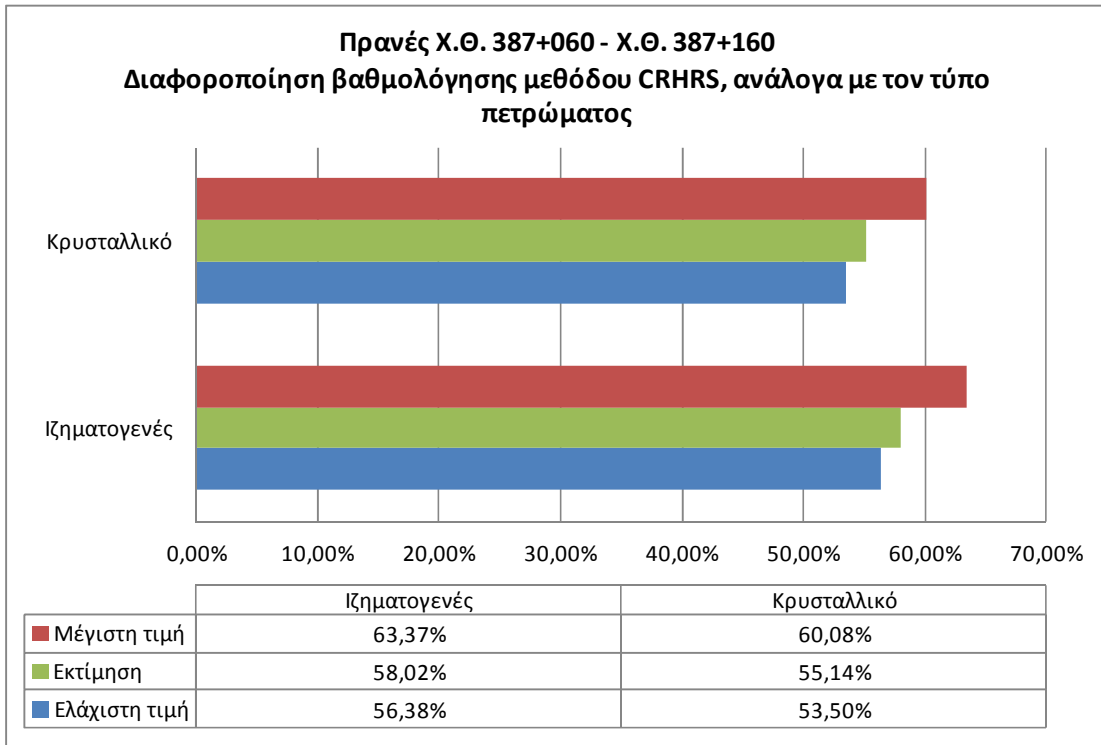
Σχήμα 7.1. Χ.Θ. 386+200 – 386+300. Συγκριτικό διάγραμμα της βαθμολογίας της επικινδυνότητας, όπως προέκυψε για τις τρεις μεθόδους. Φαίνονται και τα αντίστοιχα όρια του χαρακτηρισμού της επικινδυνότητας κατά CRHRS για όρυγμα κρυσταλλικού πετρώματος.



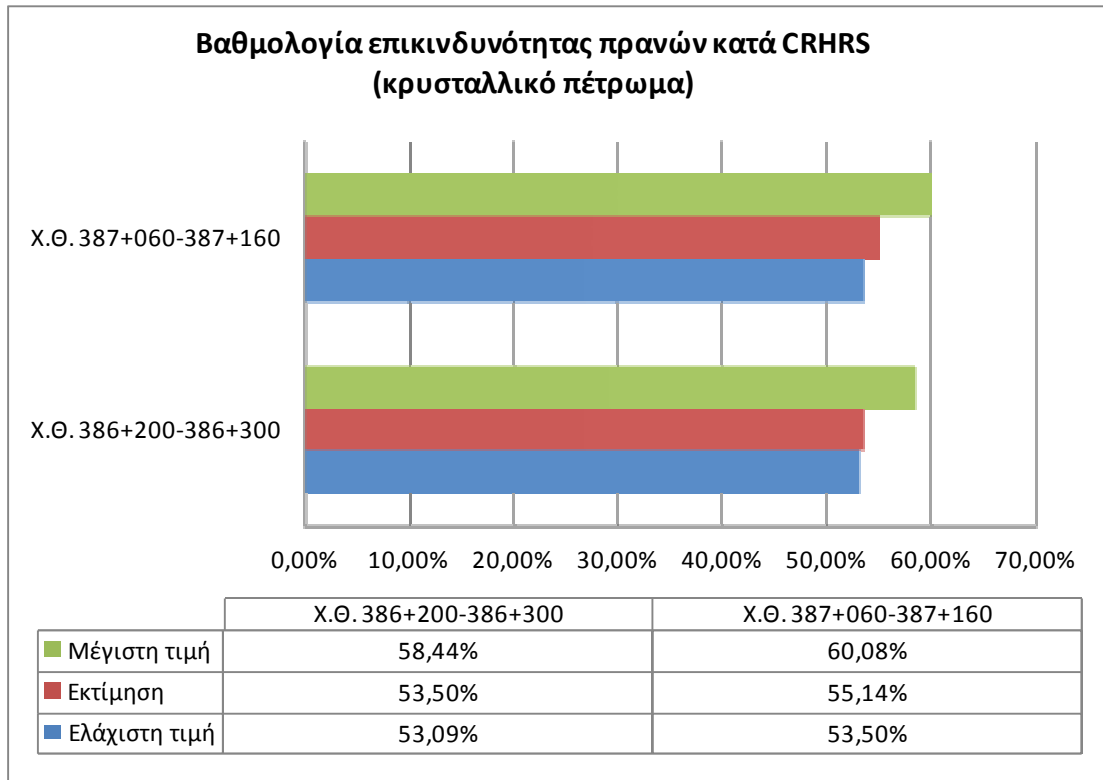
Σχήμα 7.2. Χ.Θ. 386+200 – 386+300. Συγκριτικό διάγραμμα της βαθμολογίας της επικινδυνότητας κατά CRHRS, ανάλογα με την θεώρηση κρυσταλλικού ή ιζηματογενούς πετρώματος.



Σχήμα 7.3. Χ.Θ. 387+060 – 387+160. Συγκριτικό διάγραμμα της βαθμολογίας της επικινδυνότητας, όπως προέκυψε για τις τρεις μεθόδους. Φαίνονται και τα αντίστοιχα όρια του χαρακτηρισμού της επικινδυνότητας κατά CRHRS για όρυγμα κρυσταλλικού πετρώματος.



Σχήμα 7.4. Χ.Θ. 387+060 – 387+160. Συγκριτικό διάγραμμα της βαθμολογίας της επικινδυνότητας κατά CRHRS, ανάλογα με την θεώρηση κρυσταλλικού ή ιζηματογενούς πετρώματος.



Σχήμα 7.5. Συγκριτικό διάγραμμα της βαθμολογίας της επικινδυνότητας κατά CRHRS, σε ορύγματα κρυσταλλικού πρανούς, στις δύο θέσεις ελέγχου. Φαίνονται και τα αντίστοιχα όρια του χαρακτηρισμού της επικινδυνότητας.

Από τα παραπάνω, σε συνδυασμό με την αναλυτική περιγραφή της επιλογής των παραμέτρων που αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- ✓ Οι δύο περιοχές των πρανών που μελετήθηκαν, διαθέτουν αρκετά κοινά γεωλογικά στοιχεία, η γεωμετρία τους δεν διαφέρει σε σημαντικό βαθμό, ενώ όπως είναι φυσικό παράμετροι όπως Μέση Κυκλοφορία Οχημάτων και ύψος βροχόπτωσης είναι κοινά και στις δύο περιπτώσεις. Επομένως, η συνολική τους βαθμολογία δεν αναμένεται να διαφοροποιηθεί σημαντικά, όπως άλλωστε προέκυψε και από την ανάλυση.
- ✓ Οι μέθοδοι RHRS και NHI-RHRS οδηγούν σε παρόμοια αποτελέσματα, τόσο μεταξύ τους, όσο και σε σχέση με τη μέθοδο CRHRS, θεωρώντας ότι εξετάζεται η περίπτωση ιζηματογενούς πετρώματος.
- ✓ Η θεώρηση κρυσταλλικού πετρώματος οδηγεί σε μικρότερες τιμές επικινδυνότητας. Συνεπώς αυτή η θεώρηση κρίνεται λιγότερο συντηρητική και ενδεχομένως λιγότερη αντιπροσωπευτική. Ωστόσο, στην παρούσα εργασία, για λόγους σύγκρισης με τις υπόλοιπες μεθόδους έγινε θεώρηση κρυσταλλικού πετρώματος.
- ✓ Και τα δύο πρανή που εξετάστηκαν διαθέτουν (οριακά μέτρια έως) υψηλή επικινδυνότητα. Το δεύτερο πρανές ωστόσο (X.Θ. 387+130) παρουσιάζει ελαφρώς υψηλότερες τιμές. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη γεωμετρία της διατομής (πλάτος οδού), στη διαφορετική θεώρηση της κατάστασης των ασυνεχειών και στον όγκο των επισφαλών για κατάπτωση τεμαχών.

- ✓ Η μέθοδος NHI-RHRS, αν και δίνει παρεμφερείς τιμές με τη μέθοδο RHRS, παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία στις παραμέτρους που βαθμολογούνται στην κλίμακα 1-100 και για αυτό παρουσιάζει συστηματικά μεγάλο εύρος μέγιστης και ελάχιστης τιμής.
- ✓ Παρά το μεγαλύτερο πλήθος των παραμέτρων που εξετάζονται, η μέθοδος CRHRS (ιζηματογενές πέτρωμα) οδηγεί εν γένει σε αντίστοιχες τιμές επικινδυνότητας, σε σχέση με τις υπόλοιπες δύο μεθόδους. Η όποια διαφοροποίηση οφείλεται στην αρνητική ή μη συνεισφορά των γεωλογικών χαρακτηριστικών.
- ✓ Η καλύτερη βαθμολόγηση του γεωλογικού περιβάλλοντος ωστόσο, δίνει συγκριτικό πλεονέκτημα στο CRHRS, σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους, καθώς μειώνεται το εύρος ελάχιστης και μέγιστης τιμής. Συνεπώς, οδηγεί σε ακριβέστερες βαθμολογήσεις. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη μικρότερη βαρύτητα που έχει η κάθε παράμετρος, ως προς το σύνολο των παραμέτρων (1 από 18, σε σχέση με 1 από 10 στην RHRS). Έτσι, εκτιμάται ότι η μέθοδος CRHRS, που προσαρμόζεται καλύτερα στο γεωλογικό περιβάλλον της εκάστοτε περιοχής μελέτης, είναι αντιπροσωπευτικότερη και επαρκέστερη.
- ✓ Όσον αφορά τις αναλύσεις ευαισθησίας φαίνεται ότι η βελτίωση των συνθηκών κυκλοφορίας επηρεάζει θετικά στη μείωση των επιπέδων της επικινδυνότητας, ενώ η αύξηση του όγκου των τεμαχών κατάπτωσης και της κλίσης του πρανούς επιδρούν αρνητικά.
- ✓ Στην ανάλυση κατά CRHRS πραγματοποιήθηκαν δύο προσεγγίσεις, μία θεωρώντας κρυσταλλικό σχηματισμό (εξαιτίας της κρυσταλλικής φύσης του σχηματισμού) και μία ως ιζηματογενές (ασβεστόλιθος).
 - Η θεώρηση ιζηματογενούς πρανούς οδηγεί σε παρεμφερή αποτελέσματα με τις προηγούμενες μεθόδους.
 - Η μέθοδος CRHRS συνεχίζει και σε εκτίμηση της διακινδύνευσης. Οι τιμές που προέκυψαν θα συγκριθούν στην συνέχεια με τα αποτελέσματα των μεθόδων QRA και FEDRO.

7.3. Βαθμολόγηση διακινδύνευσης

7.3.1. Γενικά

Βαθμολόγηση της διακινδύνευσης, για τα δύο πρανή που εξετάζονται, θα γίνει με βάση τις μεθόδους FEDRO (Ελβετικές μεθοδολογίες) και QRA (ποσοτική ανάλυση διακινδύνευσης).

Όπως έχει αναφερθεί κατά την θεωρητική περιγραφή των δύο μεθόδων, το αποτέλεσμα της κάθε ανάλυσης δίνεται υπό μορφή πιθανότητας. Στην συνέχεια αναφέρονται τα βήματα που ακολουθούνται σε κάθε μέθοδο, για την βαθμολόγηση της διακινδύνευσης του πρανούς.

7.3.1.1. Διαδικασία ανάλυσης κατά FEDRO

Σε κεφάλαιο που προηγήθηκε και αφορούσε το θεωρητικό υπόβαθρο της μεθόδου, αναλύθηκε η διαδικασία εκτίμησης της διακινδύνευσης στην γενική της μορφή. Στην συνέχεια, περιγράφεται η διαδικασία που θα ακολουθηθεί για τις περιπτώσεις που εξετάζονται, θεωρώντας το σενάριο απευθείας πρόσκρουσης ενός οχήματος με ένα τμήμα βραχώδους τεμάχους, υπό κανονικές συνθήκες κυκλοφορίας.

Κατά την διαδικασία ανάλυσης διακινδύνευσης κατά FEDRO, ακολουθούνται τα εξής βήματα:

- Αρχικά εκτιμάται το εύρος (μήκος από Χ.Θ. έως Χ.Θ.) της οδού, στο οποίο παρουσιάζεται η επικινδυνότητα που ελέγχεται (περίμετρος ανάλυσης επικινδυνότητας).
- Οι παράμετροι της γεωμετρίας του πρανούς σε σχέση με το επίπεδο της οδού, η γεωλογία, η τεκτονική, το σχήμα και το μέγεθος των καταπιπτόντων τεμαχών και η τροχιά των τεμαχών, περιγράφουν το δυναμικό της επικινδυνότητας της βραχόπτωσης. Εκφράζονται από το μέγεθος των τεμαχών και τη συχνότητα των βραχοπτώσεων.
- Επιλέγονται συγκεκριμένα σενάρια εμφάνισης γεγονότων κατάπτωσης, ορίζοντας την περίοδο επαναφοράς, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 7.4. Περίοδος επαναφοράς στην ανάλυση επικινδυνότητας (FEDRO, 2009)

| Περιγραφή πιθανότητας | Περιγραφή συχνότητας | Περίοδος επαναφοράς/χρόνο |
|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| Πολύ υψηλή | Πολύ συχνή | >0 έως 10 έτη |
| Υψηλή | Συχνή | >10 έως 30 έτη |
| Μέτρια | Σπάνια | >30 έως 100 έτη |
| Χαμηλή | Πολύ σπάνια | >100 έως 300 έτη |
| Πολύ χαμηλή | Εξαιρετικά σπάνια | >300 έτη |

- Για κάθε περίοδο επαναφοράς, εκτιμάται το πλήθος των γεγονότων κατάπτωσης, καθώς και ο όγκος ανά γεγονός και ο κρίσιμος όγκος.

- Ο όγκος ανά γεγονός αναφέρεται στον συνολικό όγκο του γεγονότος, σε m^3 (πχ ένα γεγονός $30m^3$, με μέσο μέγεθος τεμάχους ίσο με $2m^3$).
- Ο κρίσιμος όγκος αναφέρεται στο μέσο μέγεθος των τεμαχών της βραχύπτωσης, σε m^3 .
- Βασικός παράγοντας που προσδιορίζει τις τιμές των παραμέτρων αυτών είναι το ιστορικό καταγραφής βραχοπτώσεων. Σε περίπτωση που αυτό δεν υπάρχει, ή είναι ανεπαρκές, γίνονται κατάλληλες, λογικές εκτιμήσεις.
- Με βάση τον κρίσιμο όγκο των καταπτώσεων εκτιμάται το τμήμα εκείνο της οδού που επηρεάζεται από το γεγονός της δεκαετίας, της τριακονταετίας, κτλ.
- Στη συνέχεια επιλέγεται ανά περίπτωση, κατάλληλος συντελεστής μείωσης (F). Πρόκειται για έναν συντελεστή μείωσης που υιοθετείται για γεγονότα που δεν επηρεάζουν το σύνολο της οδού με την ίδια ένταση (π.χ. ένα μικρού μεγέθους καταπίπτον τέμαχος θα οδηγήσει σε μεγαλύτερη θνησιμότητα ακριβώς κάτω από το όρυγμα, παρά στην εξωτερική λωρίδα).
- Επιλέγεται κατάλληλος συντελεστής θνησιμότητας λ_A (με τιμή 0.0-1.0)
- Επιλέγεται το προφίλ της ζημιάς που θα εξετασθεί (απευθείας πρόσκρουση, σύγκρουση οχημάτων, κάλυψη οδού, διαθεσιμότητα).
- Υπολογίζεται η γεωγραφική πιθανότητα εμφάνισης (P_{po}) ως ο λόγος του μήκους του επηρεαζόμενου τμήματος της οδού προς το μήκος της ζώνης διακινδύνευσης για ένα γεγονός βραχύπτωσης.
- Υπολογίζεται η πιθανότητα παρουσίας σε κίνδυνο (N_{norm}). Για την περίπτωση της απευθείας πρόσκρουσης, ισούται με:
Φυσιολογικές συνθήκες:

$$N_{FNorm} = \frac{(ADT \times g)}{v \times 24.000}$$

Όπου

g (m) = μήκος του επικίνδυνου τμήματος της οδού, ανά ζώνη έντασης

v (km/h) = μέγιστη ταχύτητα των οχημάτων

ADT = μέση ημερήσια κυκλοφορία

- Υπολογίζεται η σχετική πιθανότητα εμφάνισης γεγονότος ανά έτος (h_E), ως ο λόγος του πλήθους των γεγονότων προς την περίοδο επαναφοράς.
- Υπολογίζεται η συχνότητα ατυχήματος ανά έτος. Για την περίπτωση της απευθείας πρόσκρουσης, υπό φυσιολογικές συνθήκες κυκλοφορίας θα είναι ίση με:

$$N_R = F \times N_{norm} \times h_E \times P_{po} \times L_{car}$$

Όπου F , N_{norm} , h_E , P_{po} όπως αναφέρθηκαν παραπάνω και L_{car} το μέσο μήκος οχήματος.

- Υπολογίζεται η διακινδύνευση της σύγκρουσης από τον τύπο:

$$R_C = N_R \times \lambda_A \times \beta$$

Όπου N_R , λ_A σύμφωνα με τα παραπάνω και β το μέσο πλήθος ατόμων ανά όχημα.

- Υπολογίζεται η συγκεντρωτική (συνολική) διακινδύνευση ($\sum R$) του κάθε σεναρίου, για το σύνολο των οχημάτων, ως το άθροισμα της διακινδύνευσης σύγκρουσης για τις περιόδους επαναφοράς που εξετάζονται.

- Για την ίδια περίοδο, υπολογίζεται η μεμονωμένη διακινδύνευση από τη σχέση:

$$(\Sigma R) \times (X) / (ADT) \times \beta$$

| | | |
|------|------------|--|
| Όπου | ΣR | η συγκεντρωτική διακινδύνευση |
| | X | ο μέσος αριθμός διελεύσεων ενός ατόμου ανά ημέρα |
| | ADT | η μέση ημερήσια κυκλοφορία οχημάτων |
| | β | το μέσο πλήθος ατόμων ανά όχημα |

7.3.1.2. Διαδικασία ανάλυσης κατά QRA

Κατά τη μέθοδο QRA, αρχικά κατατάσσεται ποιοτικά η κατηγορία του τύπου της κάθε βραχόπτωσης από τον πίνακα 4.8.

Στη συνέχεια, εκτιμάται η ολική διακινδύνευση της οδού. Για τον σκοπό αυτό, προσδιορίζεται η συχνότητα των καταπτώσεων για όλο το μήκος της οδού, με βάση τις ιστορικές καταγραφές, για την αντίστοιχη χρονική διάρκεια των καταγραφών, σύμφωνα με τον τύπο:

$$F_i = \frac{n_i}{\Delta t}$$

Όπου:

| | |
|------------|--|
| i | η κατηγορία κάθε τύπου βραχόπτωσης |
| F_i | η συχνότητα κάθε τύπου βραχόπτωσης |
| n_i | το πλήθος κάθε τύπου βραχόπτωσης, όπως έχει καταγραφεί |
| Δt | η περίοδος καταγραφής του κάθε τύπου βραχόπτωσης |

Στη συνέχεια, ακολουθεί η ανάλυση των συνεπειών. Υπολογίζεται, για κάθε τύπο βραχόπτωσης, η χωροχρονική πιθανότητα ($P_{(S:T)}$) των οχημάτων και η τρωτότητα ($V_{(D:T)}$) των ατόμων εντός των οχημάτων, με σκοπό τον προσδιορισμό της διακινδύνευσης.

Η πιθανότητα του οχήματος να βρίσκεται στο τμήμα της οδού όπου πραγματοποιείται η βραχόπτωση είναι:

$$P_{(S:T)} = \frac{N_V}{24} \times \frac{L}{1000} \times \frac{1}{V_V}$$

Όπου:

| | |
|-------|------------------------------------|
| N_V | ο μέσος αριθμός οχημάτων ανά ημέρα |
| L | το μέσο μήκος ενός οχήματος (m) |
| V_V | η ταχύτητα του οχήματος (km/h) |

Η τρωτότητα λαμβάνεται ίση με 0,3.

Η ετήσια πιθανότητα ($P_{(LOL)}$) ενός ατόμου να χάσει τη ζωή του, οδηγώντας στο συγκεκριμένο δρόμο είναι:

$$P_{(LOL)} = \sum_i \{P_{(LOL)}\}_i = \sum_i \left\{ \left(1 - (1 - P_{(S:T)})^{N_R} \right) \times V_{(D:T)} \right\}_i$$

Όπου i η κατηγορία κάθε τύπου βραχόπτωσης.

Ακολουθεί η εκτίμηση της μέσης διακινδύνευσης. Για την εκτίμηση της μέσης διακινδύνευσης, χρησιμοποιείται η κανονικοποιημένη συχνότητα, σύμφωνα με τον τύπο:

$$F_i = \frac{n_i}{\Delta t \times L_r}$$

Όπου L_r το μήκος της υπό εξέταση οδού.

Στη συνέχεια εκτιμάται η ετήσια πιθανότητα ($P_{(LOL)}$) ενός ατόμου να χάσει τη ζωή του, οδηγώντας το συγκεκριμένο δρόμο, αντίστοιχα με την προηγούμενη περίπτωση.

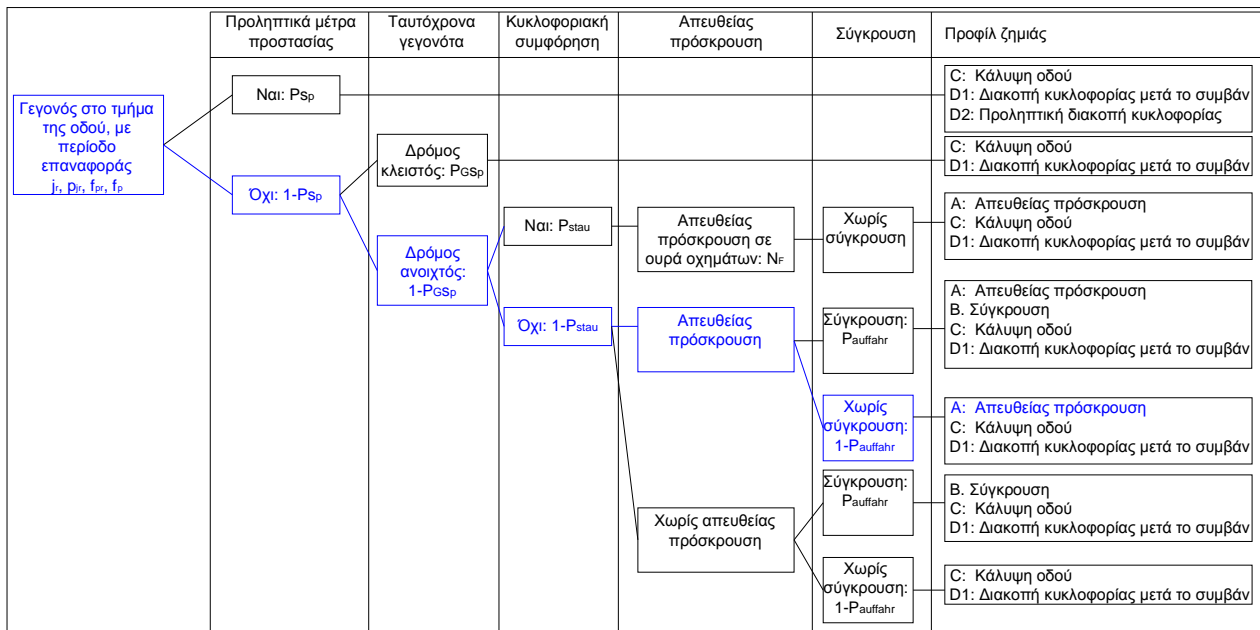
Σημειώνεται ότι στη περίπτωση της πιθανότητας της μέσης διακινδύνευσης αναμένονται μικρότερες τιμές, σε σχέση με την ολική διακινδύνευση, καθώς η τιμή της συχνότητας θα είναι μικρότερη.

Τέλος, υπολογίζεται κατ' αντιστοιχία, η μέση διακινδύνευση για το κάθε τμήμα της οδού ξεχωριστά.

7.3.2. Εκτίμηση διακινδύνευσης των περιοχών ελέγχου κατά FEDRO

7.3.2.1. FEDRO – Γενικά

Γίνεται εκτίμηση για το σενάριο που παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα απόφασης.



Σχήμα 7.6. Διάγραμμα απόφασης – εκτίμησης σεναρίου

Εξετάζεται δηλαδή η περίπτωση να συμβεί απευθείας σύγκρουση ενός οχήματος με ένα τέμαχος που έχει καταπέσει στο οδόστρωμα, χωρίς την επακόλουθη πρόκληση τροχαίου, σε συνθήκες φυσιολογικής κυκλοφορίας, σε δρόμο που δεν έχουν παρθεί προληπτικά μέτρα προστασίας, για διάφορες περιόδους επαναφοράς. Η περίπτωση αυτή εκτιμάται αντιπροσωπευτικότερη για την περιοχή που εξετάζεται.

Στην παρούσα εργασία, έγινε μία προσπάθεια να βρεθεί μία συσχέτιση μεταξύ του συνολικού όγκου κατάπτωσης, του κρίσιμου όγκου κάθε γεγονότος και του τμήματος της οδού που επηρεάζεται από το κάθε γεγονός.

Οι συσχετίσεις που προέκυψαν βασίστηκαν στην γεωλογία της περιοχής ενδιαφέροντος, στα διαθέσιμα στοιχεία περιστατικών βραχοπτώσεων, τόσο από την περιοχή των Τεμπών όσο και από παρόμοια περιστατικά.

Σημειώνεται πως ούτε ο συνολικός όγκος της κατάπτωσης, ούτε ο όγκος του κρίσιμου τεμάχους συμμετέχει άμεσα στους υπολογισμούς για την εκτίμηση της διακινδύνευσης. Συμμετέχει όμως έμμεσα, καθώς επηρεάζει το τμήμα της οδού που επηρεάζεται από την κατάπτωση.

Επειδή όμως η θεώρηση του επηρεαζόμενου τμήματος της οδού, προκύπτει από εκτίμηση που δεν αποδεικνύεται μαθηματικά, αλλά και ποικίλει ανάλογα με τον τρόπο

που διαχέεται η κατάπτωση στο οδόστρωμα, η παράμετρος αυτή θα διερευνηθεί στη συνέχεια, ως προς την ευαισθησία της.

Το αποτέλεσμα της εκτίμησης που περιγράφηκε παραπάνω, παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί. Στην περίπτωση ακραίων γεγονότων, έγινε διαχωρισμός σε γεγονότα βραχόπτωσης που προέρχονται από ελαφρά έως μέτρια κερματισμένη βραχώμαζα(που κατ' επέκταση κατά την πτώση δεν διαχωρίζεται σε μεγάλο αριθμό τεμαχών) και σε πολύ κερματισμένη βραχώμαζα (που διαχωρίζεται σε μεγάλο αριθμό τεμαχών κατά την πτώση). Επίσης, συσχετίζεται και η θνησιμότητα που προκύπτει από το γεγονός.

Πίνακας 7.5. Εκτίμηση συσχέτισης όγκου ανά γεγονός βραχόπτωσης με τον κρίσιμο όγκο, το επηρεαζόμενο μήκος οδού και την επακόλουθη θνησιμότητα.

| Όγκος ανά γεγονός (m ³) ↓ | Κρίσιμος όγκος (m ³) | Επηρεαζόμενο μήκος οδού (m) | Θνησιμότητα (ΛΑ) |
|---|----------------------------------|-----------------------------|------------------|
| 0,01 | 0,01 | 0,10 | 0,01 |
| 0,06 | 0,06 | 0,60 | 0,20 |
| 0,13 | 0,13 | 0,80 | 0,30 |
| 0,25 | 0,25 | 1,00 | 0,40 |
| 0,50 | 0,50 | 1,20 | 0,50 |
| 1,00 | 1,00 | 1,40 | 0,60 |
| 2,00 | 1,00 | 2,80 | 0,90 |
| 3,00 | 1,50 | 3,40 | 0,90 |
| 4,00 | 2,00 | 4,00 | 0,90 |
| 5,00 | 2,50 | 4,60 | 0,90 |
| 6,00 | 3,00 | 5,10 | 0,90 |
| 10,00 | 2,00 | 5,60 | 0,90 |
| 20,00 | 4,00 | 11,20 | 0,90 |
| 30,00 | 3,00 | 8,90 | 0,90 |
| 40,00 | 4,00 | 11,20 | 0,90 |
| 50,00 | 5,00 | 13,00 | 0,90 |
| 80,00 | 8,00 | 16,80 | 1,00 |
| ΘΕΩΡΗΣΗ ΕΛΑΦΡΑ ΕΩΣ ΜΕΤΡΙΑ ΚΕΡΜΑΤΙΣΜΕΝΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ | | | |
| 110,00 | 11,00 | 19,40 | 1,00 |
| 300,00 | 30,00 | 27,50 | 1,00 |
| 400,00 | 40,00 | 29,80 | 1,00 |
| ΘΕΩΡΗΣΗ ΠΟΛΥ ΚΕΡΜΑΤΙΣΜΕΝΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ | | | |
| 110,00 | 2,75 | 16,10 | 1,00 |
| 300,00 | 7,50 | 23,20 | 1,00 |
| 400,00 | 4,00 | 18,80 | 1,00 |

7.3.2.2. FEDRO, Χ.Θ. 386+200 – 386+300

Εκτιμήθηκε για διάρκεια σεναρίου 10, 30, 100, 300 και 500 έτη η διακινδύνευση σύγκρουσης και ακολούθως η συγκεντρωτική και η μεμονωμένη διακινδύνευση λαμβάνοντας υπόψη το σενάριο με και χωρίς τα 500 έτη αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα. Η επιλογή του όγκου των βραχοπτώσεων που αντιστοιχεί σε κάθε περίοδο επαναφοράς, επιλέχθηκε βάση της γεωλογίας και του ιστορικού καταπτώσεων στην περιοχή των Τεμπών, αλλά και σε διεθνείς έρευνες και προσεγγίσεις.

Πίνακας 7.6. Αποτέλεσμα υπολογισμών για το πρανές Χ.Θ. 386+200 – 386+300 και πρόσθετες παράμετροι υπολογισμού

| α/α | Χ.Θ. Αρχή (m) | Χ.Θ. Περας (m) | Μήκος (m) | Διάρκεια σεναρίου (χρόνια) | Γεγονότα | Όγκος ανά γεγονός (m ³) | Κρίσιμος όγκος (m ³) | Επηρεαζόμενο μήκος οδού (m) | Συντελεστής μείωσης F | Γεωγραφική Πιθανότητα εμφάνισης (P _{pro}) | Πιθανότητα παρουσίας σε κίνδυνο (N _{form}) | Σχετική πιθανότητα εμφάνισης γεγονότος ανά ετός (hE) | Συχνότητα ατυχήματος ανά έτος (απευθείας πρόσκρουση) | Θνησιμότητα (λA) | Διακινδύνευση σύγκρουσης | Συγκεντρωτική Διακινδύνευση | Μεμονωμένη Διακινδύνευση |
|-----|---------------|----------------|-----------|----------------------------|----------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------|---|--|--|--|------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 1 | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 1 | 1,20E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-01 | 6,14E-03 | 0,5 | 4,61E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 2,39E-03 | 0,6 | 2,15E-03 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 2,5 | 4,6 | 1 | 4,60E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 2,35E-03 | 0,9 | 3,18E-03 | 1,20E-02 | 1,49E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 3 | 8,1 | 1 | 8,10E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 1,38E-03 | 1 | 2,07E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 300 | 30 | 27,5 | 1 | 2,75E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 2,82E-03 | 1 | 4,22E-03 | 1,62E-02 | 2,01E-06 |

| | | |
|---|------------------|-------|
| Μέση κυκλοφορία οχημάτων πριν την διάνοιξη σήραγγας | ADT | 21500 |
| Μήκος οχήματος | L _{car} | 4 |
| β: μέσο πλήθος ατόμων ανά όχημα | β | 1,5 |
| Μέση ταχύτητα οχήματος | V _{car} | 70 |
| Μέσος αριθμός διελεύσεων 1 ατόμου ανά ημέρα | x | 4 |

7.3.2.3. FEDRO, Χ.Θ. 387+060 – 387+160

Σε αντιστοιχία με την προηγούμενη περίπτωση εκτιμήθηκε για διάρκεια σεναρίου 10, 30, 100, 300 και 500 έτη η διακινδύνευση σύγκρουσης και ακολούθως η συγκεντρωτική και η μεμονωμένη διακινδύνευση λαμβάνοντας υπόψη το σενάριο με και χωρίς τα 500 έτη αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα. Η επιλογή του όγκου των βραχοπτώσεων που αντιστοιχεί σε κάθε περίοδο επαναφοράς, επιλέχθηκε βάση της γεωλογίας και του ιστορικού καταπτώσεων στην περιοχή των Τεμπών, αλλά και σε διεθνείς έρευνες και προσεγγίσεις.

Πίνακας 7.7. Αποτέλεσμα υπολογισμών για το πρανές Χ.Θ. 387+060 – 387+160 και πρόσθετες παράμετροι υπολογισμού

| Τμήμα | | | | Γενικές Παράμετροι | | | | | | Ενδιάμεσοι υπολογισμοί | | Διακινδύνευση πριν τη λήψη μέτρων | | | | | |
|-------|---------------|----------------|-----------|----------------------------|----------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------|---|---|--|--|------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| α/α | Χ.Θ. Αρχή (m) | Χ.Θ. Περας (m) | Μήκος (m) | Διάρκεια σεναρίου (χρόνια) | Γεγονότα | Όγκος ανά γεγονός (m ³) | Κρίσιμος όγκος (m ³) | Επηρεαζόμενο μήκος οδού (m) | Συντελεστής μείωσης F | Γεωγραφική Πιθανότητα εμφάνισης (P _{pro}) | Πιθανότητα παρουσίας σε κίνδυνο (N _{nom}) | Σχετική πιθανότητα εμφάνισης γεγονότος ανά έτος (hE) | Συχνότητα ατυχήματος ανά έτος (απευθείας πρόσκρουση) | Θνησιμότητα (ΛΑ) | Διακινδύνευση σύγκρουσης | Συγκεντρωτική Διακινδύνευση | Μεμονωμένη Διακινδύνευση |
| 2 | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,28E+00 | 3,00E-01 | 2,15E-02 | 0,6 | 1,94E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,5 | 3,4 | 1 | 3,40E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 5,80E-03 | 0,9 | 7,83E-03 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 4 | 11,2 | 1 | 1,12E-01 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 5,73E-03 | 0,9 | 7,74E-03 | 3,90E-02 | 4,84E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 2,75 | 16,1 | 1 | 1,61E-01 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 2,75E-03 | 1 | 4,12E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 4 | 18,8 | 1 | 1,88E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 1,92E-03 | 1 | 2,89E-03 | 4,19E-02 | 5,20E-06 |

| | | |
|---|------------------|-------|
| Μέση κυκλοφορία οχημάτων πριν την διάνοιξη σήραγγας | ADT | 21500 |
| Μήκος οχήματος | L _{car} | 4 |
| β: μέσο πλήθος ατόμων ανά όχημα | β | 1,5 |
| Μέση ταχύτητα οχήματος | V _{car} | 70 |
| Μέσος αριθμός διελεύσεων 1 ατόμου ανά ημέρα | x | 4 |

7.3.2.4. FEDRO, Χ.Θ. 386+200 – 386+300, Αναλύσεις ευαισθησίας

Στο παρόν κεφάλαιο, διεξάγονται αναλύσεις ευαισθησίας στις εξής παραμέτρους:

- Ταχύτητα οχήματος
- Επηρεαζόμενο μήκος οδού
- Μέση ημερήσια κυκλοφορία οχημάτων
- Μέσο πλήθος ατόμων ανά όχημα

Όσον αφορά την ταχύτητα, αρχικά επιλέχθηκε τιμή ίση με 70km/h. Στην ανάλυση ευαισθησίας εξετάζονται επίπεδα ταχύτητας ίσης με 50, 60, 80 και 90km/h.

Για τις υπόλοιπες παραμέτρους, εξετάζονται εύρη τιμών $\pm 10\%$, $\pm 20\%$ και $\pm 30\%$, από τις αρχικές τιμές που φαίνονται στον πίνακα 7.6.

Στην συνέχεια, παρουσιάζονται πινακοποιημένα τα αποτελέσματα των ελέγχων στους πίνακες 7.8 έως 7.11.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ: ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Πίνακας 7.8. Αποτέλεσμα αναλύσεων ευαισθησία της παραμέτρου της ταχύτητας του οχήματος για το πρανές Χ.Θ. 386+200 – 386+300

| Τμήμα | | | Γενικές Παράμετροι | | | | | | | Ενδιάμεσοι υπολογισμοί | | Διακινδύνευση πριν τη λήψη μέτρων | | | | | |
|--------------|---------------|----------------|--------------------|----------------------------|----------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------|---|---|--|--|------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| α/α | Χ.Θ. Αρχή (m) | Χ.Θ. Περας (m) | Μήκος (m) | Διάρκεια σεναρίου (χρόνια) | Γεγονότα | Όγκος ανά γεγονός (m ³) | Κρίσιμος όγκος (m ³) | Επηρεαζόμενο μήκος οδού (m) | Συντελεστής μείωσης F | Γεωγραφική Πιθανότητα εμφάνισης (P _{pro}) | Πιθανότητα παρουσίας σε κίνδυνο (N _{nom}) | Σχετική πιθανότητα εμφάνισης γεγονότος ανά ετός (hE) | Συχνότητα ατυχήματος ανά έτος (απευθείας πρόσκρουση) | Ονησιμότητα (λA) | Διακινδύνευση σύγκρουσης | Συγκεντρωτική Διακινδύνευση | Μεμονωμένη Διακινδύνευση |
| με v= 50km/h | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 1 | 1,20E-02 | 1,79E+00 | 1,00E-01 | 8,60E-03 | 0,5 | 6,45E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,79E+00 | 3,33E-02 | 3,34E-03 | 0,6 | 3,01E-03 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 2,5 | 4,6 | 1 | 4,60E-02 | 1,79E+00 | 1,00E-02 | 3,30E-03 | 0,9 | 4,45E-03 | 1,68E-02 | 2,09E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 3 | 8,1 | 1 | 8,10E-02 | 1,79E+00 | 3,33E-03 | 1,94E-03 | 1 | 2,90E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 300 | 30 | 27,5 | 1 | 2,75E-01 | 1,79E+00 | 2,00E-03 | 3,94E-03 | 1 | 5,91E-03 | 2,27E-02 | 2,82E-06 |
| με v= 60km/h | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 1 | 1,20E-02 | 1,49E+00 | 1,00E-01 | 7,17E-03 | 0,5 | 5,38E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,49E+00 | 3,33E-02 | 2,79E-03 | 0,6 | 2,51E-03 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 2,5 | 4,6 | 1 | 4,60E-02 | 1,49E+00 | 1,00E-02 | 2,75E-03 | 0,9 | 3,71E-03 | 1,40E-02 | 1,74E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 3 | 8,1 | 1 | 8,10E-02 | 1,49E+00 | 3,33E-03 | 1,61E-03 | 1 | 2,42E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 300 | 30 | 27,5 | 1 | 2,75E-01 | 1,49E+00 | 2,00E-03 | 3,28E-03 | 1 | 4,93E-03 | 1,89E-02 | 2,35E-06 |
| με v= 70km/h | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 1 | 1,20E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-01 | 6,14E-03 | 0,5 | 4,61E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 2,39E-03 | 0,6 | 2,15E-03 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 2,5 | 4,6 | 1 | 4,60E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 2,35E-03 | 0,9 | 3,18E-03 | 1,20E-02 | 1,49E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 3 | 8,1 | 1 | 8,10E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 1,38E-03 | 1 | 2,07E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 300 | 30 | 27,5 | 1 | 2,75E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 2,82E-03 | 1 | 4,22E-03 | 1,62E-02 | 2,01E-06 |
| με v= 80km/h | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 1 | 1,20E-02 | 1,12E+00 | 1,00E-01 | 5,38E-03 | 0,5 | 4,03E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,12E+00 | 3,33E-02 | 2,09E-03 | 0,6 | 1,88E-03 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 2,5 | 4,6 | 1 | 4,60E-02 | 1,12E+00 | 1,00E-02 | 2,06E-03 | 0,9 | 2,78E-03 | 1,05E-02 | 1,30E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 3 | 8,1 | 1 | 8,10E-02 | 1,12E+00 | 3,33E-03 | 1,21E-03 | 1 | 1,81E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 300 | 30 | 27,5 | 1 | 2,75E-01 | 1,12E+00 | 2,00E-03 | 2,46E-03 | 1 | 3,70E-03 | 1,42E-02 | 1,76E-06 |
| με v= 90km/h | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 1 | 1,20E-02 | 9,95E-01 | 1,00E-01 | 4,78E-03 | 0,5 | 3,58E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 9,95E-01 | 3,33E-02 | 1,86E-03 | 0,6 | 1,67E-03 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 2,5 | 4,6 | 1 | 4,60E-02 | 9,95E-01 | 1,00E-02 | 1,83E-03 | 0,9 | 2,47E-03 | 9,34E-03 | 1,16E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 3 | 8,1 | 1 | 8,10E-02 | 9,95E-01 | 3,33E-03 | 1,08E-03 | 1 | 1,61E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 300 | 30 | 27,5 | 1 | 2,75E-01 | 9,95E-01 | 2,00E-03 | 2,19E-03 | 1 | 3,28E-03 | 1,26E-02 | 1,57E-06 |

ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ: ΕΠΗΡΕΑΖΟΜΕΝΟ ΜΗΚΟΣ ΟΔΟΥ

Πίνακας 7.9. Αποτέλεσμα αναλύσεων ευαισθησία της παραμέτρου: επηρεαζόμενο μήκος οδού για το πρανές Χ.Θ. 386+200 – 386+300

| a/a | Τμήμα | | | Γενικές Παράμετροι | | | | | | Ενδιάμεσοι υπολογισμοί | | Διακινδύνευση πριν τη λήψη μέτρων | | | | | |
|---------------------------------|---------------|----------------|-----------|----------------------------|----------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------|---|--|--|--|------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| | Χ.Θ. Αρχή (m) | Χ.Θ. Περας (m) | Μήκος (m) | Διάρκεια σεναρίου (χρόνια) | Γεγονότα | Όγκος ανά γεγονός (m ³) | Κρίσιμος όγκος (m ³) | Επηρεαζόμενο μήκος οδού (m) | Συντελεστής μείωσης F | Γεωγραφική πιθανότητα εμφάνισης (P _{pro}) | Πιθανότητα παρουσίας σε κίνδυνο(N _{nom}) | Σχετική πιθανότητα εμφάνισης γεγονότος ανά έτος (hE) | Συχνότητα ατυχήματος ανά έτος (απευθείας πρόσκρουση) | Θνησιμότητα (ΛΑ) | Διακινδύνευση σύγκρουσης | Συγκεντρωτική Διακινδύνευση | Μεμονωμένη Διακινδύνευση |
| +30% Επηρεαζόμενο μήκος οδού | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,65 | 1,56 | 1 | 1,56E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-01 | 7,99E-03 | 0,5 | 5,99E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 1,3 | 1,82 | 1 | 1,82E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 3,11E-03 | 0,6 | 2,80E-03 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 3,25 | 5,98 | 1 | 5,98E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 3,06E-03 | 0,9 | 4,13E-03 | 1,56E-02 | 1,94E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 3,9 | 10,53 | 1 | 1,05E-01 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 1,80E-03 | 1 | 2,70E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 39 | 35,75 | 1 | 3,58E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 3,66E-03 | 1 | 5,49E-03 | 2,11E-02 | 2,62E-06 |
| +20% Επηρεαζόμενο μήκος οδού | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,6 | 1,44 | 1 | 1,44E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-01 | 7,37E-03 | 0,5 | 5,53E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 1,2 | 1,68 | 1 | 1,68E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 2,87E-03 | 0,6 | 2,58E-03 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 3 | 5,52 | 1 | 5,52E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 2,83E-03 | 0,9 | 3,81E-03 | 1,44E-02 | 1,79E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 3,6 | 9,72 | 1 | 9,72E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 1,66E-03 | 1 | 2,49E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 36 | 33 | 1 | 3,30E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 3,38E-03 | 1 | 5,07E-03 | 1,95E-02 | 2,42E-06 |
| +10% Επηρεαζόμενο μήκος οδού | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,55 | 1,32 | 1 | 1,32E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-01 | 6,76E-03 | 0,5 | 5,07E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 1,1 | 1,54 | 1 | 1,54E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 2,63E-03 | 0,6 | 2,37E-03 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 2,75 | 5,06 | 1 | 5,06E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 2,59E-03 | 0,9 | 3,50E-03 | 1,32E-02 | 1,64E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 3,3 | 8,91 | 1 | 8,91E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 1,52E-03 | 1 | 2,28E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 33 | 30,25 | 1 | 3,03E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 3,10E-03 | 1 | 4,65E-03 | 1,79E-02 | 2,21E-06 |
| Αρχικό επηρεαζόμενο μήκος οδού | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 1 | 1,20E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-01 | 6,14E-03 | 0,5 | 4,61E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 1,4 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 2,39E-03 | 0,6 | 2,15E-03 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 2,5 | 4,6 | 1 | 4,60E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 2,35E-03 | 0,9 | 3,18E-03 | 1,20E-02 | 1,49E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 3 | 8,1 | 1 | 8,10E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 1,38E-03 | 1 | 2,07E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 300 | 30 | 27,5 | 1 | 2,75E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 2,82E-03 | 1 | 4,22E-03 | 1,62E-02 | 2,01E-06 |
| -10% Επηρεαζόμενο μήκος οδού | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,45 | 1,08 | 1 | 1,08E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-01 | 5,53E-03 | 0,5 | 4,15E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 0,9 | 1,26 | 1 | 1,26E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 2,15E-03 | 0,6 | 1,94E-03 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 2,25 | 4,14 | 1 | 4,14E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 2,12E-03 | 0,9 | 2,86E-03 | 1,08E-02 | 1,34E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 2,7 | 7,29 | 1 | 7,29E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 1,24E-03 | 1 | 1,87E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 27 | 24,75 | 1 | 2,48E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 2,53E-03 | 1 | 3,80E-03 | 1,46E-02 | 1,81E-06 |
| -20% Επηρεαζόμενο μήκος οδού | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,4 | 0,96 | 1 | 9,60E-03 | 1,28E+00 | 1,00E-01 | 4,91E-03 | 0,5 | 3,69E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 0,8 | 1,12 | 1 | 1,12E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 1,91E-03 | 0,6 | 1,72E-03 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 2 | 3,68 | 1 | 3,68E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 1,88E-03 | 0,9 | 2,54E-03 | 9,61E-03 | 1,19E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 2,4 | 6,48 | 1 | 6,48E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 1,11E-03 | 1 | 1,66E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 24 | 22 | 1 | 2,20E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 2,25E-03 | 1 | 3,38E-03 | 1,30E-02 | 1,61E-06 |
| -30% Επηρεαζόμενο μήκος οδού | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,35 | 0,84 | 1 | 8,40E-03 | 1,28E+00 | 1,00E-01 | 4,30E-03 | 0,5 | 3,23E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 0,7 | 0,98 | 1 | 9,80E-03 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 1,67E-03 | 0,6 | 1,51E-03 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 1,75 | 3,22 | 1 | 3,22E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 1,65E-03 | 0,9 | 2,23E-03 | 8,41E-03 | 1,04E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 2,1 | 5,67 | 1 | 5,67E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 9,68E-04 | 1 | 1,45E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 21 | 19,25 | 1 | 1,93E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 1,97E-03 | 1 | 2,96E-03 | 1,14E-02 | 1,41E-06 |

ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ: ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (ADT)

Πίνακας 7.10. Αποτέλεσμα αναλύσεων ευαισθησίας της παραμέτρου: Μέση κυκλοφορία οχημάτων για το πραινές Χ.Θ. 386+200 – 386+300

| Τμήμα | | | Γενικές Παράμετροι | | | | | | | Ενδιάμεσοι υπολογισμοί | | Διακινδύνευση πριν τη λήψη μέτρων | | | | | | | |
|-----------|---------------|----------------|--------------------|----------------------------|----------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------|---|---|--|--|------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|---------------|
| α/α | Χ.Θ. Αρχή (m) | Χ.Θ. Περας (m) | Μήκος (m) | Διάρκεια σεναρίου (χρόνια) | Γεγονότα | Όγκος ανά γεγονός (m ³) | Κρίσιμος όγκος (m ³) | Επηρεαζόμενο μήκος οδού (m) | Συντελεστής μείωσης F | Γεωγραφική πιθανότητα εμφάνισης (P _{pro}) | Πιθανότητα παρουσίας σε κίνδυνο(N _{norm}) | Σχετική πιθανότητα εμφάνισης γεγονότος ανά ετός (hE) | Συχνότητα ατυχήματος ανά έτος (απευθείας πρόσκρουση) | Θνησιμότητα (ΛΑ) | Διακινδύνευση σύγκρουσης | Συγκεντρωτική Διακινδύνευση | Μεμονωμένη Διακινδύνευση | | |
| +30% ADT | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 1 | 1,20E-02 | 1,66E+00 | 1,00E-01 | 7,99E-03 | 0,5 | 5,99E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,66E+00 | 3,33E-02 | 3,11E-03 | 0,6 | 2,80E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 2,5 | 4,6 | 1 | 4,60E-02 | 1,66E+00 | 1,00E-02 | 3,06E-03 | 0,9 | 4,13E-03 | | | 1,56E-02 | 1,49E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 3 | 8,1 | 1 | 8,10E-02 | 1,66E+00 | 3,33E-03 | 1,80E-03 | 1 | 2,70E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 300 | 30 | 27,5 | 1 | 2,75E-01 | 1,66E+00 | 2,00E-03 | 3,66E-03 | 1 | 5,49E-03 | | | 2,11E-02 | 2,01E-06 |
| +20% ADT | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 1 | 1,20E-02 | 1,54E+00 | 1,00E-01 | 7,37E-03 | 0,5 | 5,53E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,54E+00 | 3,33E-02 | 2,87E-03 | 0,6 | 2,58E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 2,5 | 4,6 | 1 | 4,60E-02 | 1,54E+00 | 1,00E-02 | 2,83E-03 | 0,9 | 3,81E-03 | | | 1,44E-02 | 1,49E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 3 | 8,1 | 1 | 8,10E-02 | 1,54E+00 | 3,33E-03 | 1,66E-03 | 1 | 2,49E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 300 | 30 | 27,5 | 1 | 2,75E-01 | 1,54E+00 | 2,00E-03 | 3,38E-03 | 1 | 5,07E-03 | | | 1,95E-02 | 2,01E-06 |
| +10% ADT | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 1 | 1,20E-02 | 1,41E+00 | 1,00E-01 | 6,76E-03 | 0,5 | 5,07E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,41E+00 | 3,33E-02 | 2,63E-03 | 0,6 | 2,37E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 2,5 | 4,6 | 1 | 4,60E-02 | 1,41E+00 | 1,00E-02 | 2,59E-03 | 0,9 | 3,50E-03 | | | 1,32E-02 | 1,49E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 3 | 8,1 | 1 | 8,10E-02 | 1,41E+00 | 3,33E-03 | 1,52E-03 | 1 | 2,28E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 300 | 30 | 27,5 | 1 | 2,75E-01 | 1,41E+00 | 2,00E-03 | 3,10E-03 | 1 | 4,65E-03 | | | 1,79E-02 | 2,01E-06 |
| ADT=21500 | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 1 | 1,20E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-01 | 6,14E-03 | 0,5 | 4,61E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 2,39E-03 | 0,6 | 2,15E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 2,5 | 4,6 | 1 | 4,60E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 2,35E-03 | 0,9 | 3,18E-03 | | | 1,20E-02 | 1,49E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 3 | 8,1 | 1 | 8,10E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 1,38E-03 | 1 | 2,07E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 300 | 30 | 27,5 | 1 | 2,75E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 2,82E-03 | 1 | 4,22E-03 | | | 1,62E-02 | 2,01E-06 |
| -10% ADT | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 1 | 1,20E-02 | 1,15E+00 | 1,00E-01 | 5,53E-03 | 0,5 | 4,15E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,15E+00 | 3,33E-02 | 2,15E-03 | 0,6 | 1,94E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 2,5 | 4,6 | 1 | 4,60E-02 | 1,15E+00 | 1,00E-02 | 2,12E-03 | 0,9 | 2,86E-03 | | | 1,08E-02 | 1,49E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 3 | 8,1 | 1 | 8,10E-02 | 1,15E+00 | 3,33E-03 | 1,24E-03 | 1 | 1,87E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 300 | 30 | 27,5 | 1 | 2,75E-01 | 1,15E+00 | 2,00E-03 | 2,53E-03 | 1 | 3,80E-03 | | | 1,46E-02 | 2,01E-06 |
| -20% ADT | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 1 | 1,20E-02 | 1,02E+00 | 1,00E-01 | 4,91E-03 | 0,5 | 3,69E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,02E+00 | 3,33E-02 | 1,91E-03 | 0,6 | 1,72E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 2,5 | 4,6 | 1 | 4,60E-02 | 1,02E+00 | 1,00E-02 | 1,88E-03 | 0,9 | 2,54E-03 | | | 9,61E-03 | 1,49E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 3 | 8,1 | 1 | 8,10E-02 | 1,02E+00 | 3,33E-03 | 1,11E-03 | 1 | 1,66E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 300 | 30 | 27,5 | 1 | 2,75E-01 | 1,02E+00 | 2,00E-03 | 2,25E-03 | 1 | 3,38E-03 | | | 1,30E-02 | 2,01E-06 |
| -30% ADT | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 1 | 1,20E-02 | 8,96E-01 | 1,00E-01 | 4,30E-03 | 0,5 | 3,23E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 8,96E-01 | 3,33E-02 | 1,67E-03 | 0,6 | 1,51E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 2,5 | 4,6 | 1 | 4,60E-02 | 8,96E-01 | 1,00E-02 | 1,65E-03 | 0,9 | 2,23E-03 | | | 8,41E-03 | 1,49E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 3 | 8,1 | 1 | 8,10E-02 | 8,96E-01 | 3,33E-03 | 9,68E-04 | 1 | 1,45E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 300 | 30 | 27,5 | 1 | 2,75E-01 | 8,96E-01 | 2,00E-03 | 1,97E-03 | 1 | 2,96E-03 | | | 1,14E-02 | 2,01E-06 |

Η μεμονωμένη διακινδύνευση προφανώς και δεν εξαρτάται από την παράμετρο της μέσης ημερήσιας κυκλοφορίας οχημάτων, αφού αφορά μεμονωμένα άτομα.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ: ΜΕΣΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΤΟΜΩΝ ΑΝΑ ΟΧΗΜΑ (β)

Πίνακας 7.11. Αποτέλεσμα αναλύσεων ευαισθησία της παραμέτρου: μέσο πλήθος ατόμων ανά όχημα για το πραινές Χ.Θ. 386+200 – 386+300

| Τμήμα | | | Γενικές Παράμετροι | | | | | | | Ενδιάμεσοι υπολογισμοί | | Διακινδύνευση πριν τη λήψη μέτρων | | | | | | | |
|--------|---------------|----------------|--------------------|----------------------------|----------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------|---|---|--|--|------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|---------------|
| α/α | Χ.Θ. Αρχή (m) | Χ.Θ. Περαι (m) | Μήκος (m) | Διάρκεια σεναρίου (χρόνια) | Γεγονότα | Όγκος ανά γεγονός (m ³) | Κρίσιμος όγκος (m ³) | Επηρεαζόμενο μήκος οδού (m) | Συντελεστής F | Γεωγραφική πιθανότητα εμφάνισης (P _{pro}) | Πιθανότητα παρουσίας σε κίνδυνο(N _{norm}) | Σχετική πιθανότητα εμφάνισης γεγονότος ανά έτος (hE) | Συχνότητα ατυχήματος ανά έτος (απευθείας πρόσκρουση) | Θνησιμότητα (ΛΑ) | Διακινδύνευση σύγκρουσης | Συγκεντρωτική Διακινδύνευση | Μεμονωμένη Διακινδύνευση | | |
| +30% β | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 1 | 1,20E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-01 | 6,14E-03 | 0,5 | 5,99E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 2,39E-03 | 0,6 | 2,80E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 2,5 | 4,6 | 1 | 4,60E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 2,35E-03 | 0,9 | 4,13E-03 | | | 1,56E-02 | 1,49E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 3 | 8,1 | 1 | 8,10E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 1,38E-03 | 1 | 2,70E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 300 | 30 | 27,5 | 1 | 2,75E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 2,82E-03 | 1 | 5,49E-03 | | | 2,11E-02 | 2,01E-06 |
| +20% β | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 1 | 1,20E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-01 | 6,14E-03 | 0,5 | 5,53E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 2,39E-03 | 0,6 | 2,58E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 2,5 | 4,6 | 1 | 4,60E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 2,35E-03 | 0,9 | 3,81E-03 | | | 1,44E-02 | 1,49E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 3 | 8,1 | 1 | 8,10E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 1,38E-03 | 1 | 2,49E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 300 | 30 | 27,5 | 1 | 2,75E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 2,82E-03 | 1 | 5,07E-03 | | | 1,95E-02 | 2,01E-06 |
| +10% β | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 1 | 1,20E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-01 | 6,14E-03 | 0,5 | 5,07E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 2,39E-03 | 0,6 | 2,37E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 2,5 | 4,6 | 1 | 4,60E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 2,35E-03 | 0,9 | 3,50E-03 | | | 1,32E-02 | 1,49E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 3 | 8,1 | 1 | 8,10E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 1,38E-03 | 1 | 2,28E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 300 | 30 | 27,5 | 1 | 2,75E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 2,82E-03 | 1 | 4,65E-03 | | | 1,79E-02 | 2,01E-06 |
| β=1,5 | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 1 | 1,20E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-01 | 6,14E-03 | 0,5 | 4,61E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 2,39E-03 | 0,6 | 2,15E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 2,5 | 4,6 | 1 | 4,60E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 2,35E-03 | 0,9 | 3,18E-03 | | | 1,20E-02 | 1,49E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 3 | 8,1 | 1 | 8,10E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 1,38E-03 | 1 | 2,07E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 300 | 30 | 27,5 | 1 | 2,75E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 2,82E-03 | 1 | 4,22E-03 | | | 1,62E-02 | 2,01E-06 |
| -10% β | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 1 | 1,20E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-01 | 6,14E-03 | 0,5 | 4,15E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 2,39E-03 | 0,6 | 1,94E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 2,5 | 4,6 | 1 | 4,60E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 2,35E-03 | 0,9 | 2,86E-03 | | | 1,08E-02 | 1,49E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 3 | 8,1 | 1 | 8,10E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 1,38E-03 | 1 | 1,87E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 300 | 30 | 27,5 | 1 | 2,75E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 2,82E-03 | 1 | 3,80E-03 | | | 1,46E-02 | 2,01E-06 |
| -20% β | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 1 | 1,20E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-01 | 6,14E-03 | 0,5 | 3,69E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 2,39E-03 | 0,6 | 1,72E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 2,5 | 4,6 | 1 | 4,60E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 2,35E-03 | 0,9 | 2,54E-03 | | | 9,61E-03 | 1,49E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 3 | 8,1 | 1 | 8,10E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 1,38E-03 | 1 | 1,66E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 300 | 30 | 27,5 | 1 | 2,75E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 2,82E-03 | 1 | 3,38E-03 | | | 1,30E-02 | 2,01E-06 |
| -30% β | 386200 | 386300 | 100 | 10 | 1 | 0,5 | 0,5 | 1,2 | 1 | 1,20E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-01 | 6,14E-03 | 0,5 | 3,23E-03 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 2,39E-03 | 0,6 | 1,51E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 5 | 2,5 | 4,6 | 1 | 4,60E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 2,35E-03 | 0,9 | 2,23E-03 | | | 8,41E-03 | 1,49E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 30 | 3 | 8,1 | 1 | 8,10E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 1,38E-03 | 1 | 1,45E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 300 | 30 | 27,5 | 1 | 2,75E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 2,82E-03 | 1 | 2,96E-03 | | | 1,14E-02 | 2,01E-06 |

Η μεμονωμένη διακινδύνευση προφανώς και δεν εξαρτάται από την παράμετρο του μέσου πλήθους ατόμων ανά όχημα, αφού αφορά μεμονωμένα άτομα.

7.3.2.5. FEDRO, Χ.Θ. 386+200 – 386+300 – Συγκεντρωτικά

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, προκύπτει ότι για το συγκεκριμένο πρτανές:

- Όσο μικρότερη είναι η ταχύτητα των οχημάτων, τόσο μεγαλύτερη είναι η αναμενόμενη διακινδύνευση.
- Όσο μεγαλύτερο είναι το επηρεαζόμενο μήκος της οδού (άρα κατ' επέκταση, το μέγεθος των τεμαχών), τόσο μεγαλύτερη είναι η αναμενόμενη διακινδύνευση.
- Όσο μεγαλύτερη είναι η μέση ημερήσια κυκλοφορία οχημάτων, τόσο μεγαλύτερη είναι η αναμενόμενη διακινδύνευση.
- Όσο περισσότερα άτομα επιβαίνουν ανά όχημα, τόσο μεγαλύτερη είναι η αναμενόμενη διακινδύνευση.
- Η μέση ημερήσια κυκλοφορία οχημάτων και το πλήθος των ατόμων ανά όχημα, δεν επηρεάζουν, όπως αναμενόταν, τη μεμονωμένη διακινδύνευση.
- Η διακινδύνευση σύγκρουσης για περίοδο 10 ετών και για περίοδο 500 ετών κυμαίνεται στα ίδια περίπου επίπεδα και εξαρτάται από τον κρίσιμο όγκο της κατάπτωσης (και συνεπώς από το επηρεαζόμενο μήκος της οδού), το πλήθος των γεγονότων για την εκάστοτε περίοδο επαναφοράς και το επίπεδο θνησιμότητας.
- Η διακινδύνευση σύγκρουσης επηρεάζεται περισσότερο από τις παραμέτρους που ορίζονται από την κυκλοφορία, δηλαδή από τη μέση ημερήσια κυκλοφορία και το πλήθος των ατόμων ανά όχημα
- Η συγκεντρωτική διακινδύνευση επηρεάζεται, στην ελάχιστη τιμή της το ίδιο από τις παραμέτρους του επηρεαζόμενου μήκους της οδού, της ADT και του πλήθους ατόμων ανά όχημα (μειώνεται με την αντίστοιχη μείωση της εκάστοτε παραμέτρου), ενώ η μέγιστη τιμή της συνδέεται με την ταχύτητα των οχημάτων (όσο πιο αργά κινούνται τα οχήματα, τόσο περισσότερο αυξάνεται η συγκεντρωτική διακινδύνευση)
- Η μεμονωμένη διακινδύνευση, στην ελάχιστη τιμή της εξαρτάται από την μείωση του επηρεαζόμενου μήκους της οδού (όσο μειώνεται το μήκος, μειώνεται περισσότερο και η μεμονωμένη διακινδύνευση), ενώ στη μέγιστη της από την μείωση της ταχύτητας των οχημάτων (όσο πιο αργά κινούνται τα οχήματα, τόσο περισσότερο αυξάνεται η μεμονωμένη διακινδύνευση)

Τα παραπάνω, φαίνονται και στους πίνακες 7.12 και 7.13, καθώς και στα σχήματα 7.7 έως 7.9:

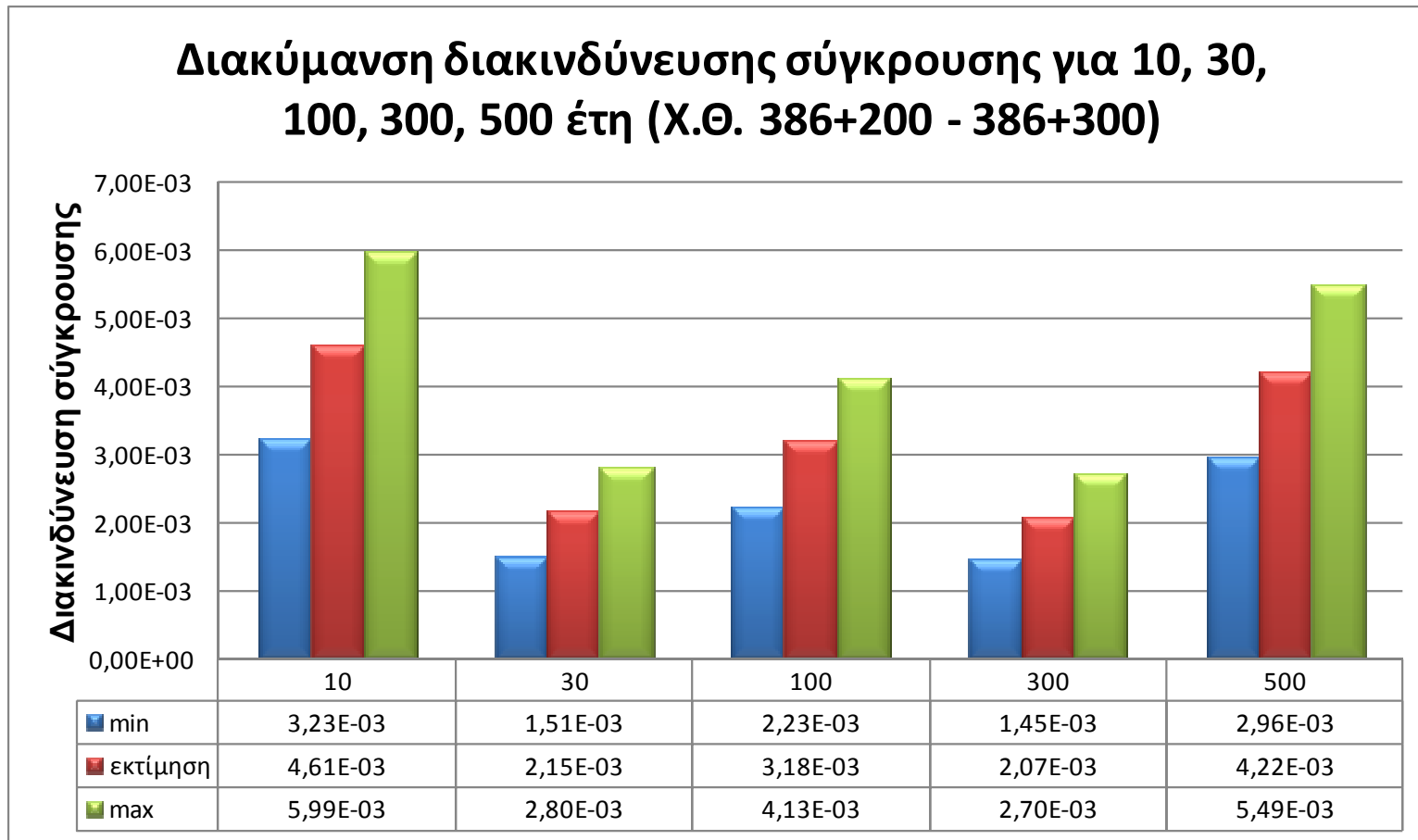
Πίνακας 7.12. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα διακινδύνευσης σύγκρουσης για το πρτανές Χ.Θ. 386+200 – 386+300.

| Διάρκεια σεναρίου (χρόνια) | Διακινδύνευση σύγκρουσης | | |
|-------------------------------|--------------------------|----------|----------|
| | min | εκτίμηση | max |
| 10 | 3,23E-03 | 4,61E-03 | 5,99E-03 |
| 30 | 1,51E-03 | 2,15E-03 | 2,80E-03 |
| 100 | 2,23E-03 | 3,18E-03 | 4,13E-03 |
| 300 | 1,45E-03 | 2,07E-03 | 2,70E-03 |
| 500 | 2,96E-03 | 4,22E-03 | 5,49E-03 |

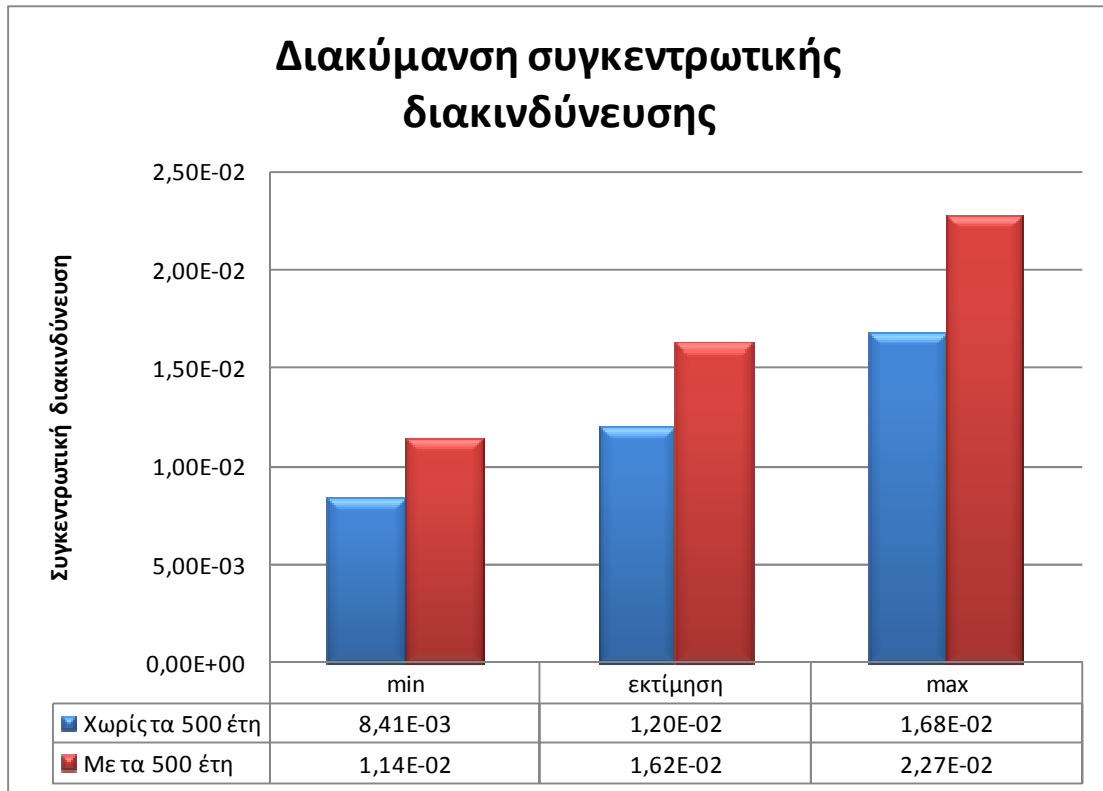
Πίνακας 7.13. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ανάλυσης συγκεντρωτικής και μεμονωμένης διακινδύνευσης για το πρανές Χ.Θ. 386+200 – 386+300.

| Συγκεντρωτική Διακινδύνευση | | Μεμονωμένη Διακινδύνευση | |
|-----------------------------|----------|--------------------------|----------|
| Χωρίς τα 500 έτη | | Χωρίς τα 500 έτη | |
| min | 8,41E-03 | min | 1,04E-06 |
| εκτίμηση | 1,20E-02 | εκτίμηση | 1,49E-06 |
| max | 1,68E-02 | max | 2,09E-06 |
| Με τα 500 έτη | | Με τα 500 έτη | |
| min | 1,14E-02 | min | 1,41E-06 |
| εκτίμηση | 1,62E-02 | εκτίμηση | 2,01E-06 |
| max | 2,27E-02 | max | 2,82E-06 |

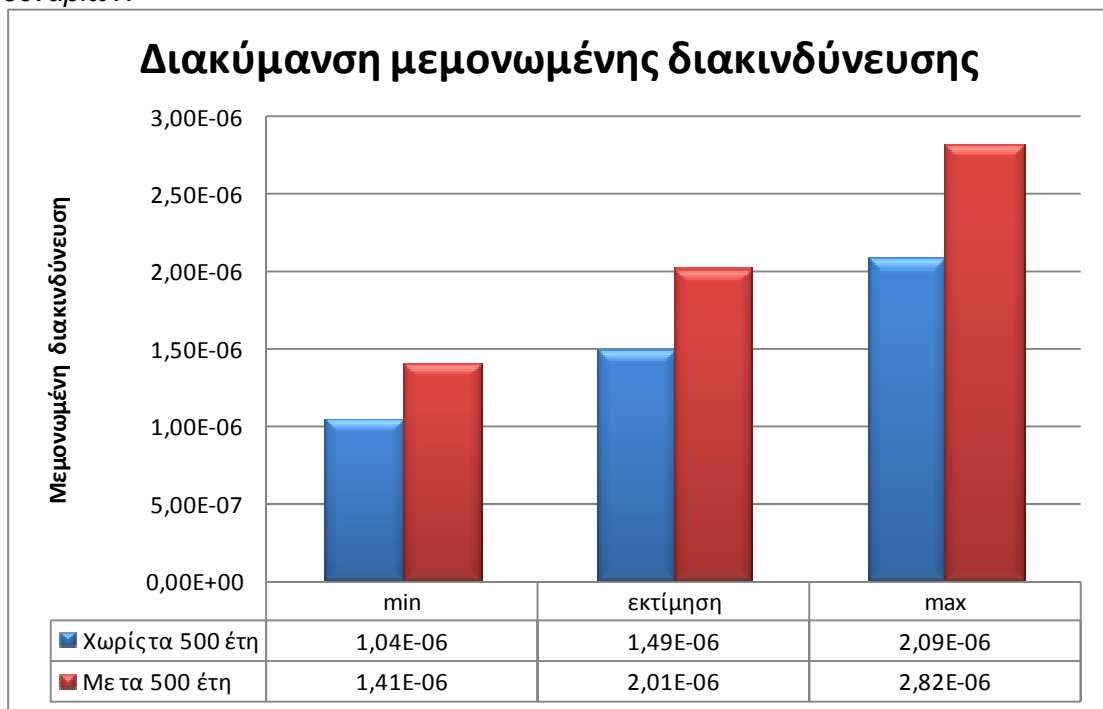
Σύμφωνα με την FEDRO, 2009, η μέγιστη αποδεκτή μεμονωμένη διακινδύνευση δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 1×10^{-5} . Όπως όμως αναφέρθηκε, στο παρόν εξετάζεται μόνο το σενάριο της απευθείας σύγκρουσης. Εάν ληφθούν υπόψη συνδυαστικά σενάρια, η διακινδύνευση θα αυξηθεί. Το επίπεδο της διακινδύνευσης εκτιμήθηκε της τάξης των 1.5×10^{-6} . Συνδυασμός φαινομένων ή/και θεώρηση μεγαλύτερων όγκων κατάρπτωσης βράχων ενδέχεται να οδηγήσει σε μη αποδεκτά επίπεδα διακινδύνευσης.



Σχήμα 7.7. Συγκεντρωτικό διάγραμμα της διακινδύνευσης σύγκρουσης των σεναρίων.



Σχήμα 7.8. Συγκεντρωτικό διάγραμμα της συγκεντρωτικής διακινδύνευσης των σεναρίων.



Σχήμα 7.9. Συγκεντρωτικό διάγραμμα της μεμονωμένης διακινδύνευσης των σεναρίων.

7.3.2.6. FEDRO, Χ.Θ. 387+060 – 387+160, Αναλύσεις ευαισθησίας

Σε αντιστοιχία με τα προηγούμενα, στο παρόν κεφάλαιο, διεξάγονται αναλύσεις ευαισθησίας στις εξής παραμέτρους:

- Ταχύτητα οχήματος
- Επηραζόμενο μήκος οδού
- Μέση ημερήσια κυκλοφορία οχημάτων
- Μέσο πλήθος ατόμων ανά όχημα

Όσον αφορά την ταχύτητα, αρχικά επιλέχθηκε τιμή ίση με 70km/h. Στην ανάλυση ευαισθησίας εξετάζονται επίπεδα ταχύτητας ίσης με 50, 60, 80 και 90km/h.

Για τις υπόλοιπες παραμέτρους, εξετάζονται εύρη τιμών $\pm 10\%$, $\pm 20\%$ και $\pm 30\%$, από τις αρχικές τιμές που φαίνονται στον πίνακα 7.7.

Στην συνέχεια, παρουσιάζονται πινακοποιημένα τα αποτελέσματα των ελέγχων στους πίνακες 7.14 έως 7.17.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ: ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Πίνακας 7.14. Αποτέλεσμα αναλύσεων ευαισθησία της παραμέτρου της ταχύτητας του οχήματος για το πραινές Χ.Θ. 387+060 – 387+160

| Τμήμα | | | | Γενικές Παράμετροι | | | | | | Ενδιάμεσοι υπολογισμοί | | Διακινδύνευση πριν τη λήψη μέτρων | | | | | |
|--------------|---------------|----------------|-----------|----------------------------|----------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------|---|---|--|--|------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| α/α | Χ.Θ. Αρχή (m) | Χ.Θ. Περας (m) | Μήκος (m) | Διάρκεια σεναρίου (χρόνια) | Γεγονότα | Όγκος ανά γεγονός (m ³) | Κρίσιμος όγκος (m ³) | Επηρεαζόμενο μήκος οδού (m) | Συντελεστής μείωσης F | Γεωγραφική Πιθανότητα εμφάνισης (P _{pro}) | Πιθανότητα παρουσίας σε κίνδυνο (N _{nom}) | Σχετική πιθανότητα εμφάνισης γεγονότος ανά ετός (hE) | Συχνότητα ατυχήματος ανά έτος (απευθείας πρόσκρουση) | Θνησιμότητα (λA) | Διακινδύνευση σύγκρουσης | Συγκεντρωτική Διακινδύνευση | Μεμονωμένη Διακινδύνευση |
| με v= 50km/h | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,79E+00 | 3,00E-01 | 3,01E-02 | 0,6 | 2,71E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,5 | 3,4 | 1 | 3,40E-02 | 1,79E+00 | 3,33E-02 | 8,12E-03 | 0,9 | 1,10E-02 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 4 | 11,2 | 1 | 1,12E-01 | 1,79E+00 | 1,00E-02 | 8,03E-03 | 0,9 | 1,08E-02 | 5,47E-02 | 6,78E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 2,75 | 16,1 | 1 | 1,61E-01 | 1,79E+00 | 3,33E-03 | 3,85E-03 | 1 | 5,77E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 4 | 18,8 | 1 | 1,88E-01 | 1,79E+00 | 2,00E-03 | 2,69E-03 | 1 | 4,04E-03 | 5,87E-02 | 7,28E-06 |
| με v= 60km/h | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,49E+00 | 3,00E-01 | 2,51E-02 | 0,6 | 2,26E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,5 | 3,4 | 1 | 3,40E-02 | 1,49E+00 | 3,33E-02 | 6,77E-03 | 0,9 | 9,14E-03 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 4 | 11,2 | 1 | 1,12E-01 | 1,49E+00 | 1,00E-02 | 6,69E-03 | 0,9 | 9,03E-03 | 4,56E-02 | 5,65E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 2,75 | 16,1 | 1 | 1,61E-01 | 1,49E+00 | 3,33E-03 | 3,21E-03 | 1 | 4,81E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 4 | 18,8 | 1 | 1,88E-01 | 1,49E+00 | 2,00E-03 | 2,25E-03 | 1 | 3,37E-03 | 4,89E-02 | 6,07E-06 |
| με v= 70km/h | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,28E+00 | 3,00E-01 | 2,15E-02 | 0,6 | 1,94E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,5 | 3,4 | 1 | 3,40E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 5,80E-03 | 0,9 | 7,83E-03 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 4 | 11,2 | 1 | 1,12E-01 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 5,73E-03 | 0,9 | 7,74E-03 | 3,90E-02 | 4,84E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 2,75 | 16,1 | 1 | 1,61E-01 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 2,75E-03 | 1 | 4,12E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 4 | 18,8 | 1 | 1,88E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 1,92E-03 | 1 | 2,89E-03 | 4,19E-02 | 5,20E-06 |
| με v= 80km/h | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,12E+00 | 3,00E-01 | 1,88E-02 | 0,6 | 1,69E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,5 | 3,4 | 1 | 3,40E-02 | 1,12E+00 | 3,33E-02 | 5,08E-03 | 0,9 | 6,85E-03 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 4 | 11,2 | 1 | 1,12E-01 | 1,12E+00 | 1,00E-02 | 5,02E-03 | 0,9 | 6,77E-03 | 3,42E-02 | 4,24E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 2,75 | 16,1 | 1 | 1,61E-01 | 1,12E+00 | 3,33E-03 | 2,40E-03 | 1 | 3,61E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 4 | 18,8 | 1 | 1,88E-01 | 1,12E+00 | 2,00E-03 | 1,68E-03 | 1 | 2,53E-03 | 3,67E-02 | 4,55E-06 |
| με v= 90km/h | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 9,95E-01 | 3,00E-01 | 1,67E-02 | 0,6 | 1,51E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,5 | 3,4 | 1 | 3,40E-02 | 9,95E-01 | 3,33E-02 | 4,51E-03 | 0,9 | 6,09E-03 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 4 | 11,2 | 1 | 1,12E-01 | 9,95E-01 | 1,00E-02 | 4,46E-03 | 0,9 | 6,02E-03 | 3,04E-02 | 3,77E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 2,75 | 16,1 | 1 | 1,61E-01 | 9,95E-01 | 3,33E-03 | 2,14E-03 | 1 | 3,21E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 4 | 18,8 | 1 | 1,88E-01 | 9,95E-01 | 2,00E-03 | 1,50E-03 | 1 | 2,25E-03 | 3,26E-02 | 4,04E-06 |

ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ: ΕΠΗΡΕΑΖΟΜΕΝΟ ΜΗΚΟΣ ΟΔΟΥ

Πίνακας 7.15. Αποτέλεσμα αναλύσεων ευαισθησία της παραμέτρου: επηρεαζόμενο μήκος οδού για το πραινές Χ.Θ. 387+060 – 387+160

| Τμήμα | | | Γενικές Παράμετροι | | | | | | | Ενδιάμεσοι υπολογισμοί | | Διακινδύνευση πριν τη λήψη μέτρων | | | | | | | |
|---------------------------------|---------------|----------------|--------------------|----------------------------|----------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------|---|---|--|--|------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|---------------|
| a/a | Χ.Θ. Αρχή (m) | Χ.Θ. Πέρασ (m) | Μήκος (m) | Διάρκεια σεναρίου (χρόνια) | Γεγονότα | Όγκος ανά γεγονός (m ³) | Κρίσιμος όγκος (m ³) | Επηρεαζόμενο μήκος οδού (m) | Συντελεστής μείωσης F | Γεωγραφική Πιθανότητα εμφάνισης (P _{pro}) | Πιθανότητα παρουσίας σε κίνδυνο (N _{nom}) | Σχετική πιθανότητα εμφάνισης γεγονότος ανά ετος (hE) | Συχνότητα ατυχήματος ανά έτος (απευθείας πρόσκρουση) | Θνησιμότητα (ΛΑ) | Διακινδύνευση σύγκρουσης | Συγκεντρωτική Διακινδύνευση | Μεμονωμένη Διακινδύνευση | | |
| +30% Επηρεαζόμενο μήκος οδού | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 1,3 | 1,82 | 1 | 1,82E-02 | 1,28E+00 | 3,00E-01 | 2,80E-02 | 0,6 | 2,52E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,95 | 4,42 | 1 | 4,42E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 7,54E-03 | 0,9 | 1,02E-02 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 5,2 | 14,56 | 1 | 1,46E-01 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 7,45E-03 | 0,9 | 1,01E-02 | | | 5,08E-02 | 6,30E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 3,575 | 20,93 | 1 | 2,09E-01 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 3,57E-03 | 1 | 5,36E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 5,2 | 24,44 | 1 | 2,44E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 2,50E-03 | 1 | 3,75E-03 | | | 5,45E-02 | 6,76E-06 |
| +20% Επηρεαζόμενο μήκος οδού | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 1,2 | 1,68 | 1 | 1,68E-02 | 1,28E+00 | 3,00E-01 | 2,58E-02 | 0,6 | 2,32E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,8 | 4,08 | 1 | 4,08E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 6,96E-03 | 0,9 | 9,40E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 4,8 | 13,44 | 1 | 1,34E-01 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 6,88E-03 | 0,9 | 9,29E-03 | | | 4,69E-02 | 5,81E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 3,3 | 19,32 | 1 | 1,93E-01 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 3,30E-03 | 1 | 4,95E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 4,8 | 22,56 | 1 | 2,26E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 2,31E-03 | 1 | 3,46E-03 | | | 5,03E-02 | 6,24E-06 |
| +10% Επηρεαζόμενο μήκος οδού | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 1,1 | 1,54 | 1 | 1,54E-02 | 1,28E+00 | 3,00E-01 | 2,37E-02 | 0,6 | 2,13E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,65 | 3,74 | 1 | 3,74E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 6,38E-03 | 0,9 | 8,62E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 4,4 | 12,32 | 1 | 1,23E-01 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 6,31E-03 | 0,9 | 8,51E-03 | | | 4,29E-02 | 5,33E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 3,025 | 17,71 | 1 | 1,77E-01 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 3,02E-03 | 1 | 4,53E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 4,4 | 20,68 | 1 | 2,07E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 2,12E-03 | 1 | 3,18E-03 | | | 4,61E-02 | 5,72E-06 |
| Αρχικό επηρεαζόμενο μήκος οδού | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,28E+00 | 3,00E-01 | 2,15E-02 | 0,6 | 1,94E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,5 | 3,4 | 1 | 3,40E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 5,80E-03 | 0,9 | 7,83E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 4 | 11,2 | 1 | 1,12E-01 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 5,73E-03 | 0,9 | 7,74E-03 | | | 3,90E-02 | 4,84E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 2,75 | 16,1 | 1 | 1,61E-01 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 2,75E-03 | 1 | 4,12E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 4 | 18,8 | 1 | 1,88E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 1,92E-03 | 1 | 2,89E-03 | | | 4,19E-02 | 5,20E-06 |
| -10% Επηρεαζόμενο μήκος οδού | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 0,9 | 1,26 | 1 | 1,26E-02 | 1,28E+00 | 3,00E-01 | 1,94E-02 | 0,6 | 1,74E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,35 | 3,06 | 1 | 3,06E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 5,22E-03 | 0,9 | 7,05E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 3,6 | 10,08 | 1 | 1,01E-01 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 5,16E-03 | 0,9 | 6,97E-03 | | | 3,51E-02 | 4,36E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 2,475 | 14,49 | 1 | 1,45E-01 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 2,47E-03 | 1 | 3,71E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 3,6 | 16,92 | 1 | 1,69E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 1,73E-03 | 1 | 2,60E-03 | | | 3,77E-02 | 4,68E-06 |
| -20% Επηρεαζόμενο μήκος οδού | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 0,8 | 1,12 | 1 | 1,12E-02 | 1,28E+00 | 3,00E-01 | 1,72E-02 | 0,6 | 1,55E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,2 | 2,72 | 1 | 2,72E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 4,64E-03 | 0,9 | 6,27E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 3,2 | 8,96 | 1 | 8,96E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 4,59E-03 | 0,9 | 6,19E-03 | | | 3,12E-02 | 3,87E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 2,2 | 12,88 | 1 | 1,29E-01 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 2,20E-03 | 1 | 3,30E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 3,2 | 15,04 | 1 | 1,50E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 1,54E-03 | 1 | 2,31E-03 | | | 3,35E-02 | 4,16E-06 |
| -30% Επηρεαζόμενο μήκος οδού | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 0,7 | 0,98 | 1 | 9,80E-03 | 1,28E+00 | 3,00E-01 | 1,51E-02 | 0,6 | 1,35E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,05 | 2,38 | 1 | 2,38E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 4,06E-03 | 0,9 | 5,48E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 2,8 | 7,84 | 1 | 7,84E-02 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 4,01E-03 | 0,9 | 5,42E-03 | | | 2,73E-02 | 3,39E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 1,925 | 11,27 | 1 | 1,13E-01 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 1,92E-03 | 1 | 2,88E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 2,8 | 13,16 | 1 | 1,32E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 1,35E-03 | 1 | 2,02E-03 | | | 2,94E-02 | 3,64E-06 |

ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ: ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (ADT)

Πίνακας 7.16. Αποτέλεσμα αναλύσεων ευαισθησία της παραμέτρου: Μέση κυκλοφορία οχημάτων για το πραινές Χ.Θ. 387+060 – 387+160

| Τμήμα | | | Γενικές Παράμετροι | | | | | | | Ενδιάμεσοι υπολογισμοί | | Διακινδύνευση πριν τη λήψη μέτρων | | | | | |
|------------|---------------|----------------|--------------------|----------------------------|----------|-------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|-----------------------|---|--|--|--|------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| α/α | Χ.Θ. Αρχή (m) | Χ.Θ. Περας (m) | Μήκος (m) | Διάρκεια σεναρίου (χρόνια) | Γεγονότα | Όγκος ανά γεγονός (m ³) | Κρίσιμος όγκος (m ³) | Επηρεασό μενο μήκος οδού (m) | Συντελεστής μείωσης F | Γεωγραφική Πιθανότητα εμφάνισης (P _{pro}) | Πιθανότητα παρουσίας σε κίνδυνο(N _{incom}) | Σχετική πιθανότητα εμφάνισης γεγονότος ανά ετός (hE) | Συχνότητα ατυχήματος ανά έτος (απευθείας πρόσκρουση) | Θνησιμότητα (ΛΑ) | Διακινδύνευση σύγκρουσης | Συγκεντρωτική Διακινδύνευση | Μεμονωμένη Διακινδύνευση |
| +30% ADT | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,66E+00 | 3,00E-01 | 2,80E-02 | 0,6 | 2,52E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,5 | 3,4 | 1 | 3,40E-02 | 1,66E+00 | 3,33E-02 | 7,54E-03 | 0,9 | 1,02E-02 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 4 | 11,2 | 1 | 1,12E-01 | 1,66E+00 | 1,00E-02 | 7,45E-03 | 0,9 | 1,01E-02 | 5,08E-02 | 4,84E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 2,75 | 16,1 | 1 | 1,61E-01 | 1,66E+00 | 3,33E-03 | 3,57E-03 | 1 | 5,36E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 4 | 18,8 | 1 | 1,88E-01 | 1,66E+00 | 2,00E-03 | 2,50E-03 | 1 | 3,75E-03 | 5,45E-02 | 5,20E-06 |
| +20% ADT | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,54E+00 | 3,00E-01 | 2,58E-02 | 0,6 | 2,32E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,5 | 3,4 | 1 | 3,40E-02 | 1,54E+00 | 3,33E-02 | 6,96E-03 | 0,9 | 9,40E-03 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 4 | 11,2 | 1 | 1,12E-01 | 1,54E+00 | 1,00E-02 | 6,88E-03 | 0,9 | 9,29E-03 | 4,69E-02 | 4,84E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 2,75 | 16,1 | 1 | 1,61E-01 | 1,54E+00 | 3,33E-03 | 3,30E-03 | 1 | 4,95E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 4 | 18,8 | 1 | 1,88E-01 | 1,54E+00 | 2,00E-03 | 2,31E-03 | 1 | 3,46E-03 | 5,03E-02 | 5,20E-06 |
| +10% ADT | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,41E+00 | 3,00E-01 | 2,37E-02 | 0,6 | 2,13E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,5 | 3,4 | 1 | 3,40E-02 | 1,41E+00 | 3,33E-02 | 6,38E-03 | 0,9 | 8,62E-03 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 4 | 11,2 | 1 | 1,12E-01 | 1,41E+00 | 1,00E-02 | 6,31E-03 | 0,9 | 8,51E-03 | 4,29E-02 | 4,84E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 2,75 | 16,1 | 1 | 1,61E-01 | 1,41E+00 | 3,33E-03 | 3,02E-03 | 1 | 4,53E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 4 | 18,8 | 1 | 1,88E-01 | 1,41E+00 | 2,00E-03 | 2,12E-03 | 1 | 3,18E-03 | 4,61E-02 | 5,20E-06 |
| ADT=215 00 | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,28E+00 | 3,00E-01 | 2,15E-02 | 0,6 | 1,94E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,5 | 3,4 | 1 | 3,40E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 5,80E-03 | 0,9 | 7,83E-03 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 4 | 11,2 | 1 | 1,12E-01 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 5,73E-03 | 0,9 | 7,74E-03 | 3,90E-02 | 4,84E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 2,75 | 16,1 | 1 | 1,61E-01 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 2,75E-03 | 1 | 4,12E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 4 | 18,8 | 1 | 1,88E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 1,92E-03 | 1 | 2,89E-03 | 4,19E-02 | 5,20E-06 |
| -10% ADT | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,15E+00 | 3,00E-01 | 1,94E-02 | 0,6 | 1,74E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,5 | 3,4 | 1 | 3,40E-02 | 1,15E+00 | 3,33E-02 | 5,22E-03 | 0,9 | 7,05E-03 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 4 | 11,2 | 1 | 1,12E-01 | 1,15E+00 | 1,00E-02 | 5,16E-03 | 0,9 | 6,97E-03 | 3,51E-02 | 4,84E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 2,75 | 16,1 | 1 | 1,61E-01 | 1,15E+00 | 3,33E-03 | 2,47E-03 | 1 | 3,71E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 4 | 18,8 | 1 | 1,88E-01 | 1,15E+00 | 2,00E-03 | 1,73E-03 | 1 | 2,60E-03 | 3,77E-02 | 5,20E-06 |
| -20% ADT | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,02E+00 | 3,00E-01 | 1,72E-02 | 0,6 | 1,55E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,5 | 3,4 | 1 | 3,40E-02 | 1,02E+00 | 3,33E-02 | 4,64E-03 | 0,9 | 6,27E-03 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 4 | 11,2 | 1 | 1,12E-01 | 1,02E+00 | 1,00E-02 | 4,59E-03 | 0,9 | 6,19E-03 | 3,12E-02 | 4,84E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 2,75 | 16,1 | 1 | 1,61E-01 | 1,02E+00 | 3,33E-03 | 2,20E-03 | 1 | 3,30E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 4 | 18,8 | 1 | 1,88E-01 | 1,02E+00 | 2,00E-03 | 1,54E-03 | 1 | 2,31E-03 | 3,35E-02 | 5,20E-06 |
| -30% ADT | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 8,96E-01 | 3,00E-01 | 1,51E-02 | 0,6 | 1,35E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,5 | 3,4 | 1 | 3,40E-02 | 8,96E-01 | 3,33E-02 | 4,06E-03 | 0,9 | 5,48E-03 | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 4 | 11,2 | 1 | 1,12E-01 | 8,96E-01 | 1,00E-02 | 4,01E-03 | 0,9 | 5,42E-03 | 2,73E-02 | 4,84E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 2,75 | 16,1 | 1 | 1,61E-01 | 8,96E-01 | 3,33E-03 | 1,92E-03 | 1 | 2,88E-03 | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 4 | 18,8 | 1 | 1,88E-01 | 8,96E-01 | 2,00E-03 | 1,35E-03 | 1 | 2,02E-03 | 2,94E-02 | 5,20E-06 |

Η μεμονωμένη διακινδύνευση προφανώς και δεν εξαρτάται από την παράμετρο της μέσης ημερήσιας κυκλοφορίας οχημάτων, αφού αφορά μεμονωμένα άτομα.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ: ΜΕΣΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΤΟΜΩΝ ΑΝΑ ΟΧΗΜΑ (β)

Πίνακας 7.17. Αποτέλεσμα αναλύσεων ευαισθησία της παραμέτρου: μέσο πλήθος ατόμων ανά όχημα για το πρανές Χ.Θ. 387+060 – 387+160

| α/α | Τμήμα | | | Γενικές Παράμετροι | | | | | | Ενδιάμεσοι υπολογισμοί | | Διακινδύνευση πριν τη λήψη μέτρων | | | | | | | |
|--------|---------------|----------------|-----------|----------------------------|----------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------|---|--|--|--|------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|---------------|
| | Χ.Θ. Αρχή (m) | Χ.Θ. Περας (m) | Μήκος (m) | Διάρκεια σεναρίου (χρόνια) | Γεγονότα | Όγκος ανά γεγονός (m ³) | Κρίσιμος όγκος (m ³) | Επηρεαζόμενο μήκος οδού (m) | Συντελεστής μείωσης F | Γεωγραφική πιθανότητα εμφάνισης (P _{pro}) | Πιθανότητα παρουσίας σε κίνδυνο (N _{norm}) | Σχετική πιθανότητα εμφάνισης γεγονότος ανά ετός (hE) | Συχνότητα ατυχήματος ανά έτος (απευθείας πρόσκρουση) | Ονησιμότητα (λA) | Διακινδύνευση σύγκρουσης | Συγκεντρωτική Διακινδύνευση | Μεμονωμένη Διακινδύνευση | | |
| +30% β | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,28E+00 | 3,00E-01 | 2,15E-02 | 0,6 | 2,52E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,5 | 3,4 | 1 | 3,40E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 5,80E-03 | 0,9 | 1,02E-02 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 4 | 11,2 | 1 | 1,12E-01 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 5,73E-03 | 0,9 | 1,01E-02 | | | 5,08E-02 | 4,84E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 2,75 | 16,1 | 1 | 1,61E-01 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 2,75E-03 | 1 | 5,36E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 4 | 18,8 | 1 | 1,88E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 1,92E-03 | 1 | 3,75E-03 | | | 5,45E-02 | 5,20E-06 |
| +20% β | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,28E+00 | 3,00E-01 | 2,15E-02 | 0,6 | 2,32E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,5 | 3,4 | 1 | 3,40E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 5,80E-03 | 0,9 | 9,40E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 4 | 11,2 | 1 | 1,12E-01 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 5,73E-03 | 0,9 | 9,29E-03 | | | 4,69E-02 | 4,84E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 2,75 | 16,1 | 1 | 1,61E-01 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 2,75E-03 | 1 | 4,95E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 4 | 18,8 | 1 | 1,88E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 1,92E-03 | 1 | 3,46E-03 | | | 5,03E-02 | 5,20E-06 |
| +10% β | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,28E+00 | 3,00E-01 | 2,15E-02 | 0,6 | 2,13E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,5 | 3,4 | 1 | 3,40E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 5,80E-03 | 0,9 | 8,62E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 4 | 11,2 | 1 | 1,12E-01 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 5,73E-03 | 0,9 | 8,51E-03 | | | 4,29E-02 | 4,84E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 2,75 | 16,1 | 1 | 1,61E-01 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 2,75E-03 | 1 | 4,53E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 4 | 18,8 | 1 | 1,88E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 1,92E-03 | 1 | 3,18E-03 | | | 4,61E-02 | 5,20E-06 |
| β=1,5 | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,28E+00 | 3,00E-01 | 2,15E-02 | 0,6 | 1,94E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,5 | 3,4 | 1 | 3,40E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 5,80E-03 | 0,9 | 7,83E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 4 | 11,2 | 1 | 1,12E-01 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 5,73E-03 | 0,9 | 7,74E-03 | | | 3,90E-02 | 4,84E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 2,75 | 16,1 | 1 | 1,61E-01 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 2,75E-03 | 1 | 4,12E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 4 | 18,8 | 1 | 1,88E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 1,92E-03 | 1 | 2,89E-03 | | | 4,19E-02 | 5,20E-06 |
| -10% β | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,28E+00 | 3,00E-01 | 2,15E-02 | 0,6 | 1,74E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,5 | 3,4 | 1 | 3,40E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 5,80E-03 | 0,9 | 7,05E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 4 | 11,2 | 1 | 1,12E-01 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 5,73E-03 | 0,9 | 6,97E-03 | | | 3,51E-02 | 4,84E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 2,75 | 16,1 | 1 | 1,61E-01 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 2,75E-03 | 1 | 3,71E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 4 | 18,8 | 1 | 1,88E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 1,92E-03 | 1 | 2,60E-03 | | | 3,77E-02 | 5,20E-06 |
| -20% β | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,28E+00 | 3,00E-01 | 2,15E-02 | 0,6 | 1,55E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,5 | 3,4 | 1 | 3,40E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 5,80E-03 | 0,9 | 6,27E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 4 | 11,2 | 1 | 1,12E-01 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 5,73E-03 | 0,9 | 6,19E-03 | | | 3,12E-02 | 4,84E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 2,75 | 16,1 | 1 | 1,61E-01 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 2,75E-03 | 1 | 3,30E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 4 | 18,8 | 1 | 1,88E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 1,92E-03 | 1 | 2,31E-03 | | | 3,35E-02 | 5,20E-06 |
| -30% β | 387060 | 387160 | 100 | 10 | 3 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,40E-02 | 1,28E+00 | 3,00E-01 | 2,15E-02 | 0,6 | 1,35E-02 | Χωρίς τα 500 έτη | Χωρίς τα 500 έτη | | |
| | | | 100 | 30 | 1 | 3 | 1,5 | 3,4 | 1 | 3,40E-02 | 1,28E+00 | 3,33E-02 | 5,80E-03 | 0,9 | 5,48E-03 | | | | |
| | | | 100 | 100 | 1 | 40 | 4 | 11,2 | 1 | 1,12E-01 | 1,28E+00 | 1,00E-02 | 5,73E-03 | 0,9 | 5,42E-03 | | | 2,73E-02 | 4,84E-06 |
| | | | 100 | 300 | 1 | 110 | 2,75 | 16,1 | 1 | 1,61E-01 | 1,28E+00 | 3,33E-03 | 2,75E-03 | 1 | 2,88E-03 | | | Με τα 500 έτη | Με τα 500 έτη |
| | | | 100 | 500 | 1 | 400 | 4 | 18,8 | 1 | 1,88E-01 | 1,28E+00 | 2,00E-03 | 1,92E-03 | 1 | 2,02E-03 | | | 2,94E-02 | 5,20E-06 |

Η μεμονωμένη διακινδύνευση προφανώς και δεν εξαρτάται από την παράμετρο του μέσου πλήθους ατόμων ανά όχημα, αφού αφορά μεμονωμένα άτομα.

7.3.2.7. FEDRO, Χ.Θ. 387+060 – 387+160 – Συγκεντρωτικά

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, προκύπτει ότι για το συγκεκριμένο πρανές:

- Όσο μικρότερη είναι η ταχύτητα των οχημάτων, τόσο μεγαλύτερη είναι η αναμενόμενη διακινδύνευση.
- Όσο μεγαλύτερο είναι το επηρεαζόμενο μήκος της οδού (άρα κατ' επέκταση, το μέγεθος των τεμαχίων), τόσο μεγαλύτερη είναι η αναμενόμενη διακινδύνευση.
- Όσο μεγαλύτερη είναι η μέση ημερήσια κυκλοφορία οχημάτων, τόσο μεγαλύτερη είναι η αναμενόμενη διακινδύνευση.
- Όσο περισσότερα άτομα επιβαίνουν ανά όχημα, τόσο μεγαλύτερη είναι η αναμενόμενη διακινδύνευση.
- Η μέση ημερήσια κυκλοφορία οχημάτων και το πλήθος των ατόμων ανά όχημα, δεν επηρεάζουν, όπως αναμενόταν, τη μεμονωμένη διακινδύνευση.
- Η διακινδύνευση σύγκρουσης για περίοδο 10 ετών είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες περιόδους επαναφοράς και εξαρτάται από τον κρίσιμο όγκο της κατάπτωσης (και συνεπώς από το επηρεαζόμενο μήκος της οδού), το πλήθος των γεγονότων για την περίοδο επαναφοράς και το επίπεδο θνησιμότητας.
- Η διακινδύνευση σύγκρουσης επηρεάζεται περισσότερο από τις παραμέτρους που ορίζονται από την κυκλοφορία, δηλαδή από τη μέση ημερήσια κυκλοφορία και το πλήθος των ατόμων ανά όχημα
- Η συγκεντρωτική διακινδύνευση επηρεάζεται, στην ελάχιστη τιμή της το ίδιο από τις παραμέτρους του επηρεαζόμενου μήκους της οδού, της ADT και του πλήθους ατόμων ανά όχημα (μειώνεται με την αντίστοιχη μείωση της εκάστοτε παραμέτρου), ενώ η μέγιστη τιμή της συνδέεται με την ταχύτητα των οχημάτων (όσο πιο αργά κινούνται τα οχήματα, τόσο περισσότερο αυξάνεται η συγκεντρωτική διακινδύνευση)
- Η μεμονωμένη διακινδύνευση, στην ελάχιστη τιμή της εξαρτάται από την μείωση του επηρεαζόμενου μήκους της οδού (όσο μειώνεται το μήκος, μειώνεται περισσότερο και η μεμονωμένη διακινδύνευση), ενώ στη μέγιστη της από την μείωση της ταχύτητας των οχημάτων (όσο πιο αργά κινούνται τα οχήματα, τόσο περισσότερο αυξάνεται η μεμονωμένη διακινδύνευση)

Τα παραπάνω, φαίνονται και στον πίνακα 7.18 και στα διαγράμματα 7.10 έως 7.12.

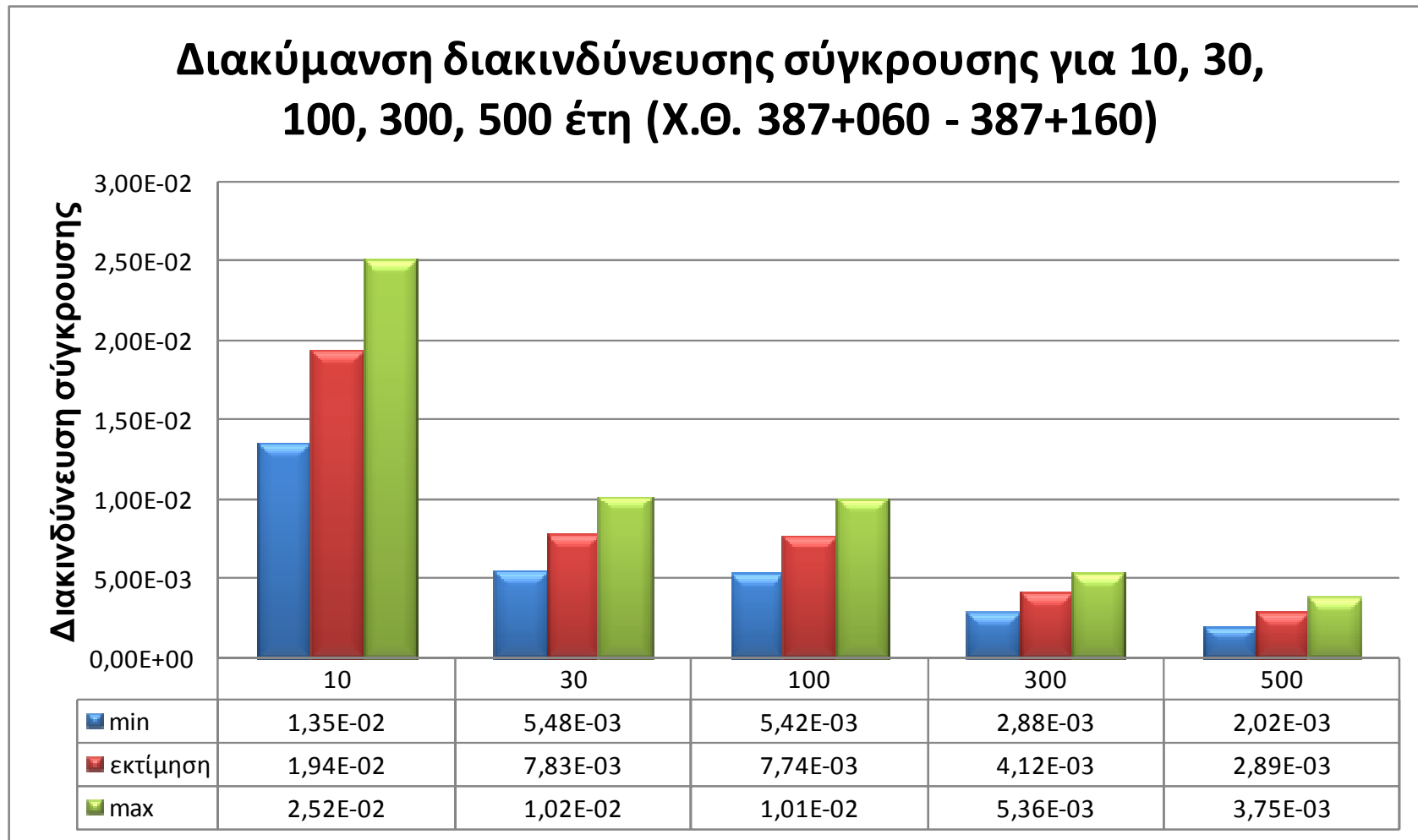
Πίνακας 7.18. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ανάλυσης διακινδύνευσης για το πρανές Χ.Θ. 387+060 – 387+160.

| Διάρκεια σεναρίου (χρόνια) | Διακινδύνευση σύγκρουσης | | |
|-------------------------------|--------------------------|----------|----------|
| | min | εκτίμηση | max |
| 10 | 1,35E-02 | 1,94E-02 | 2,52E-02 |
| 30 | 5,48E-03 | 7,83E-03 | 1,02E-02 |
| 100 | 5,42E-03 | 7,74E-03 | 1,01E-02 |
| 300 | 2,88E-03 | 4,12E-03 | 5,36E-03 |
| 500 | 2,02E-03 | 2,89E-03 | 3,75E-03 |

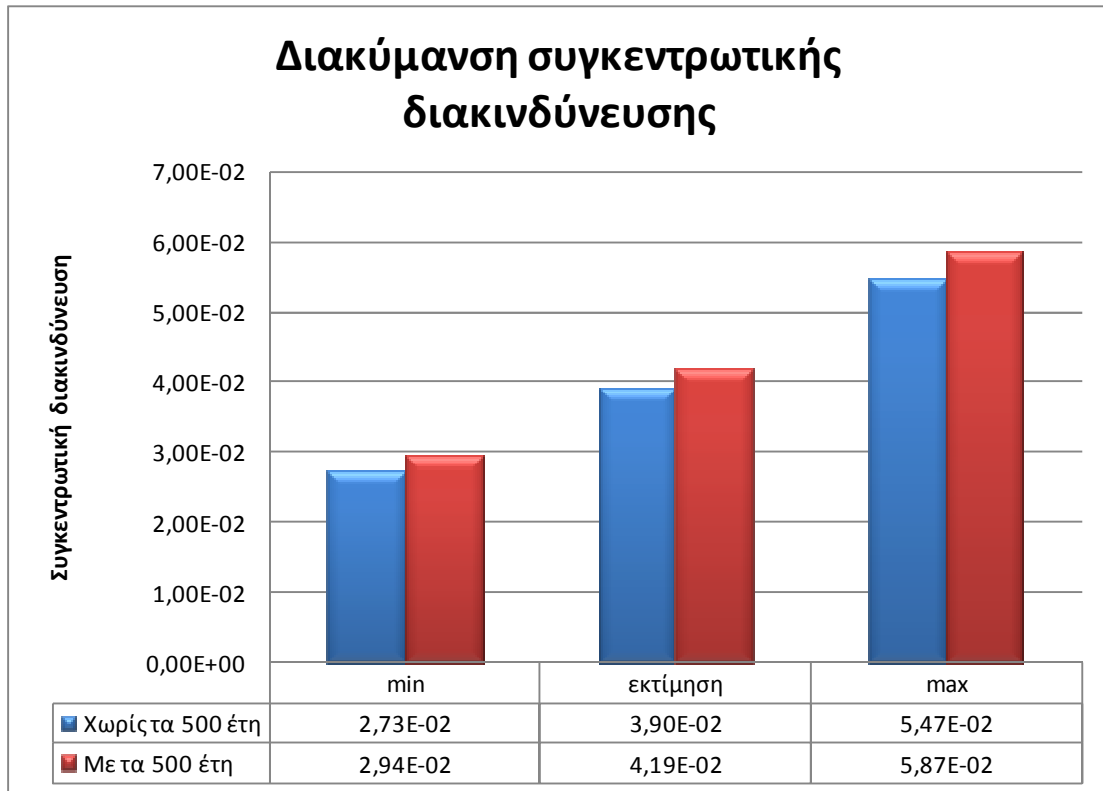
| Συγκεντρωτική Διακινδύνευση | |
|-----------------------------|----------|
| Χωρίς τα 500 έτη | |
| min | 2,73E-02 |
| εκτίμηση | 3,90E-02 |
| max | 5,47E-02 |
| Με τα 500 έτη | |
| min | 2,94E-02 |
| εκτίμηση | 4,19E-02 |
| max | 5,87E-02 |

| Μεμονωμένη Διακινδύνευση | |
|--------------------------|----------|
| Χωρίς τα 500 έτη | |
| min | 3,39E-06 |
| εκτίμηση | 4,84E-06 |
| max | 6,78E-06 |
| Με τα 500 έτη | |
| min | 3,64E-06 |
| εκτίμηση | 5,20E-06 |
| max | 7,28E-06 |

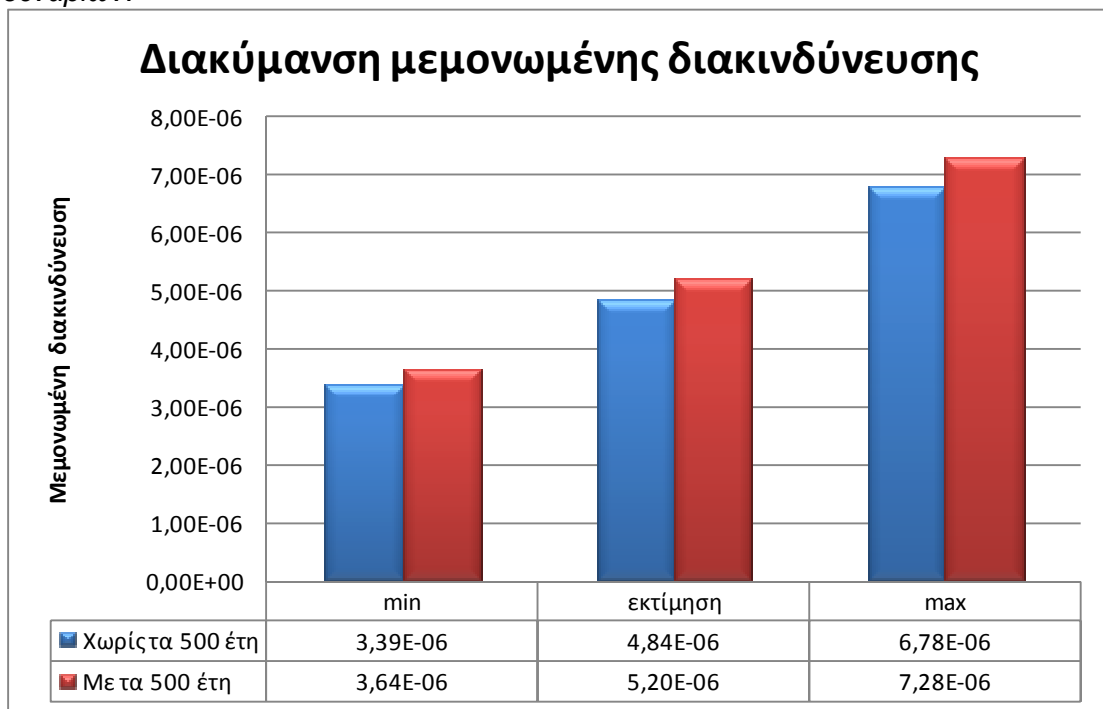
Σύμφωνα με την FEDRO, 2009, η μέγιστη αποδεκτή μεμονωμένη διακινδύνευση δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 1×10^{-5} . Όπως όμως αναφέρθηκε, στο παρόν εξετάζεται μόνο το σενάριο της απευθείας σύγκρουσης. Εάν ληφθούν υπόψη συνδυαστικά σενάρια, η διακινδύνευση θα αυξηθεί. Το επίπεδο της διακινδύνευσης εκτιμήθηκε της τάξης των 5.0×10^{-6} και δεν απέχει πολύ από το όριο των 1×10^{-5} της ελβετικής μεθοδολογίας. Συνδυασμός φαινομένων ή/και θεώρηση μεγαλύτερων όγκων κατάπτωσης βράχων ενδέχεται να οδηγήσει σε μη αποδεκτά επίπεδα διακινδύνευσης.



Σχήμα 7.10. Συγκεντρωτικό διάγραμμα της διακινδύνευσης σύγκρουσης των σεναρίων.



Σχήμα 7.11. Συγκεντρωτικό διάγραμμα της συγκεντρωτικής διακινδύνευσης των σεναρίων.



Σχήμα 7.12. Συγκεντρωτικό διάγραμμα της μεμονωμένης διακινδύνευσης των σεναρίων.

7.3.3. Εκτίμηση διακινδύνευσης των περιοχών ελέγχου κατά QRA

7.3.3.1. QRA – Εκτίμηση ολικής διακινδύνευσης οδού

Από την καταγραφή του ιστορικού καταπτώσεων, προκύπτει ότι για το σύνολο της οδού, έχουν καταγραφεί 31 περιστατικά καταπτώσεων σε 13 έτη. Θεωρώντας πως κινούνται ημερησίως 21500 οχήματα από την συγκεκριμένη οδική αρτηρία, με μέσο μήκος οχήματος τα 4m και ταχύτητα ίση με 70 km/h, η ολική διακινδύνευση υπολογίζεται στον παρακάτω πίνακα 7.19.

Πίνακας 7.19. Εκτίμηση ολικής διακινδύνευσης οδού

| 1. Εκτίμηση ολικής διακινδύνευσης οδού | | | |
|---|---|--|--------|
| 1α. Ανάλυση συχνότητας | | | |
| i (κατηγορία τύπου βραχόπτωσης) | n_i (το πλήθος κάθε τύπου βραχόπτωσης, όπως έχει καταγραφεί) | Δt (η περίοδος καταγραφής του κάθε τύπου βραχόπτωσης) | |
| B | 31 | 13 | |
| F_i (συχνότητα κάθε τύπου βραχόπτωσης) - N_R | $F_i = \frac{n_i}{\Delta t}$ | 2,385 | /έτος |
| | | 0,00653 | /ημέρα |
| 1β. Ανάλυση συνεπειών | | | |
| -Χωροχρονική πιθανότητα ($P_{(S:T)}$) των οχημάτων | | | |
| N_v (μέσος αριθμός οχημάτων/ημέρα) | L (μέσο μήκος οχήματος - m) | V_v (ταχύτητα οχήματος - km/h) | |
| 21500 | 4 | 70 | |
| $P_{(S:T)} = \frac{N_v}{24} \times \frac{L}{1000} \times \frac{1}{V_v}$ | | 0,051 | |
| -Τρωτότητα ατόμων εντός οχημάτων | | $V_{(D:T)} =$ | 0,3 |
| -Ετήσια πιθανότητα ($P_{(LOL)}$) ενός ατόμου να χάσει τη ζωή του, οδηγώντας το συγκεκριμένο δρόμο | | | |
| $P_{(LOL)} = \sum_i \{P_{(LOL)}\}_i = \sum_i \{ (1 - (1 - P_{(S:T)})^{N_R}) \times V_{(D:T)} \}_i$ | | 1,03E-04 | /έτος |

7.3.3.2. QRA – Εκτίμηση μέσης διακινδύνευσης οδού

Για τις ίδιες συνθήκες με την προηγούμενη περίπτωση, υπολογίζεται η μέση διακινδύνευση του συνόλου της οδού, για το συνολικό μήκος των 4.776 km, χρησιμοποιώντας την κανονικοποιημένη συχνότητα, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 7.20.

Πίνακας 7.20. Εκτίμηση μέσης διακινδύνευσης οδού

| 2. Εκτίμηση μέσης διακινδύνευσης οδού | | | |
|---|--|--|-------------------------------------|
| 2α. Ανάλυση συχνότητας | | | |
| i (κατηγορία τύπου βραχόπτωσης) | n _i (το πλήθος κάθε τύπου βραχόπτωσης, όπως έχει καταγραφεί) | Δt (η περίοδος καταγραφής του κάθε τύπου βραχόπτωσης) | L _r (Μήκος οδού - km) |
| A | 31 | 13 | 4,776 |
| F _i (συχνότητα κάθε τύπου βραχόπτωσης) - N _R | $F_i = \frac{n_i}{\Delta t \times L_r}$ | 0,49929 | /έτος |
| | | 0,00137 | /ημέρα |
| 2β. Ανάλυση συνεπειών | | | |
| -Χωροχρονική πιθανότητα (P _(S:T)) των οχημάτων | | | |
| N _v (μέσος αριθμός οχημάτων/ημέρα) | L (μέσο μήκος οχήματος - m) | V _v (ταχύτητα οχήματος - km/h) | |
| 21500 | 4 | 70 | |
| $P_{(S:T)} = \frac{N_v}{24} \times \frac{L}{1000} \times \frac{1}{V_v}$ | | 0,051 | |
| -Τρωτότητα ατόμων εντός οχημάτων | | V _(D:T) | 0,3 |
| -Ετήσια πιθανότητα (P _(LOL)) ενός ατόμου να χάσει τη ζωή του, οδηγώντας το συγκεκριμένο δρόμο | | | |
| $P_{(LOL)} = \sum_i \{P_{(LOL)}\}_i = \sum_i \{(1 - (1 - P_{(S:T)})^{N_R}) \times V_{(D:T)}\}_i$ | | 2,16E-05 | /έτος |

7.3.3.3. QRA – Εκτίμηση μέσης διακινδύνευσης τμήματος Χ.Θ. 386+200 – 386+300

Από τις ιστορικές καταγραφές, για το τμήμα της οδού που εξετάζεται έχουν παρουσιαστεί 5 γεγονότα. Για τα ίδια χαρακτηριστικά κυκλοφορίας, εκτιμάται η μέση διακινδύνευση του συγκεκριμένου τμήματος, όπως φαίνεται στον πίνακα 7.21.

Πίνακας 7.21. Εκτίμηση μέσης διακινδύνευσης τμήματος

| 3. Εκτίμηση μέσης διακινδύνευσης τμήματος μεταξύ Χ.Θ. 386+200 και 386+300 | | | |
|---|--|--|-------------------------------------|
| 3α. Ανάλυση συχνότητας | | | |
| i (κατηγορία τύπου βραχόπτωσης) | n _i (το πλήθος κάθε τύπου βραχόπτωσης, όπως έχει καταγραφεί) | Δt (η περίοδος καταγραφής του κάθε τύπου βραχόπτωσης) | L _r (Μήκος οδού - km) |
| B | 5 | 13 | 100 |
| F _i (συχνότητα κάθε τύπου βραχόπτωσης) - N _R | $F_i = \frac{n_i}{\Delta t \times L_r}$ | 0,00385 | /έτος |
| | | 0,00001054 | /ημέρα |
| 3β. Ανάλυση συνεπειών | | | |
| -Χωροχρονική πιθανότητα (P _(S:T)) των οχημάτων | | | |
| N _v (μέσος αριθμός οχημάτων/ημέρα) | L (μέσο μήκος οχήματος - m) | V _v (ταχύτητα οχήματος - km/h) | |
| 21500 | 4 | 70 | |
| $P_{(S:T)} = \frac{N_v}{24} \times \frac{L}{1000} \times \frac{1}{V_v}$ | | 0,051 | |
| -Τρωτότητα ατόμων εντός οχημάτων | | V _(D:T) | 0,3 |
| -Ετήσια πιθανότητα (P _(LOL)) ενός ατόμου να χάσει τη ζωή του, οδηγώντας το συγκεκριμένο δρόμο | | | |
| $P_{(LOL)} = \sum_i \{P_{(LOL)}\}_i = \sum_i \{(1 - (1 - P_{(S:T)})^{N_R}) \times V_{(D:T)}\}_i$ | | 1,66E-07 | /έτος |

7.3.3.4. QRA – Εκτίμηση μέσης διακινδύνευσης τμήματος Χ.Θ. 387+060 – 387+160

Αντίστοιχα, έχουν καταγραφεί 6 γεγονότα τα τελευταία 14 χρόνια. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 7.22:

Πίνακας 7.22. Εκτίμηση μέσης διακινδύνευσης τμήματος

| 3. Εκτίμηση μέσης διακινδύνευσης τμήματος μεταξύ Χ.Θ. 387+060 και 387+160 | | | |
|---|--|--|-------------------------------------|
| 3α. Ανάλυση συχνότητας | | | |
| i (κατηγορία τύπου βραχόπτωσης) | n _i (το πλήθος κάθε τύπου βραχόπτωσης, όπως έχει καταγραφεί) | Δt (η περίοδος καταγραφής του κάθε τύπου βραχόπτωσης) | L _r (Μήκος οδού - km) |
| B | 6 | 13 | 100 |
| F _i (συχνότητα κάθε τύπου βραχόπτωσης) - N _R | $F_i = \frac{n_i}{\Delta t \times L_r}$ | 0,00462 | /έτος |
| | | 0,00001 | /ημέρα |
| 3β. Ανάλυση συνεπειών | | | |
| -Χωροχρονική πιθανότητα (P _(S:T)) των οχημάτων | | | |
| N _v (μέσος αριθμός οχημάτων/ημέρα) | L (μέσο μήκος οχήματος - m) | V _v (ταχύτητα οχήματος - km/h) | |
| 21500 | 4 | 70 | |
| $P_{(S:T)} = \frac{N_v}{24} \times \frac{L}{1000} \times \frac{1}{V_v}$ | | 0,051 | |
| -Τρωτότητα ατόμων εντός οχημάτων | | V _(D:T) = | 0,3 |
| -Ετήσια πιθανότητα (P _(LOL)) ενός ατόμου να χάσει τη ζωή του, οδηγώντας το συγκεκριμένο δρόμο | | | |
| $P_{(LOL)} = \sum_i \{P_{(LOL)}\}_i = \sum_i \{ (1 - (1 - P_{(S:T)})^{N_R}) \times V_{(D:T)} \}_i$ | | 1,99E-07 | /έτος |

7.3.3.5. QRA – αναλύσεις ευαισθησίας

Σε αντιστοιχία με τα προηγούμενα, στο παρόν κεφάλαιο, διεξάγονται αναλύσεις ευαισθησίας στις εξής παραμέτρους:

- Συχνότητα βραχοπτώσεων
- Μέση ημερήσια κυκλοφορία οχημάτων
- Μέσο μήκος οχήματος
- Ταχύτητα οχήματος
- Τρωτότητα

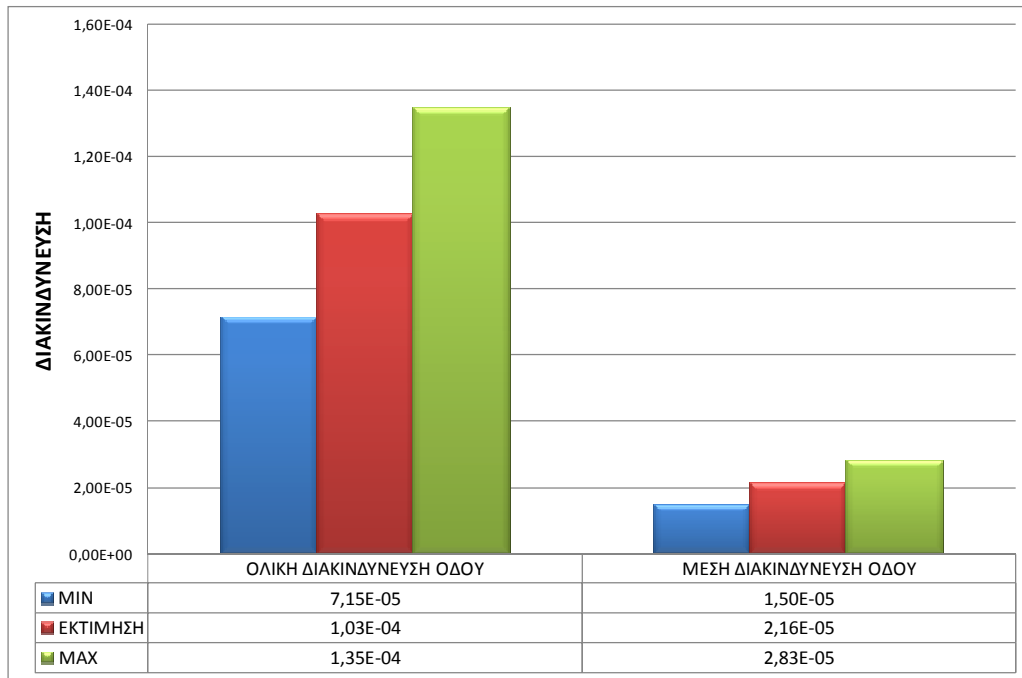
Όσον αφορά την ταχύτητα, αρχικά επιλέχθηκε τιμή ίση με 70km/h. Στην ανάλυση ευαισθησίας εξετάζονται επίπεδα ταχύτητας ίσης με 50, 60, 80 και 90km/h. Για τις υπόλοιπες παραμέτρους, εξετάζονται εύρη τιμών ±10%, ±20% και ±30%, από τις αρχικές τιμές.

Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ελέγχων στον πίνακα 7.23, καθώς και σχήματα 7.13 και 7.14.

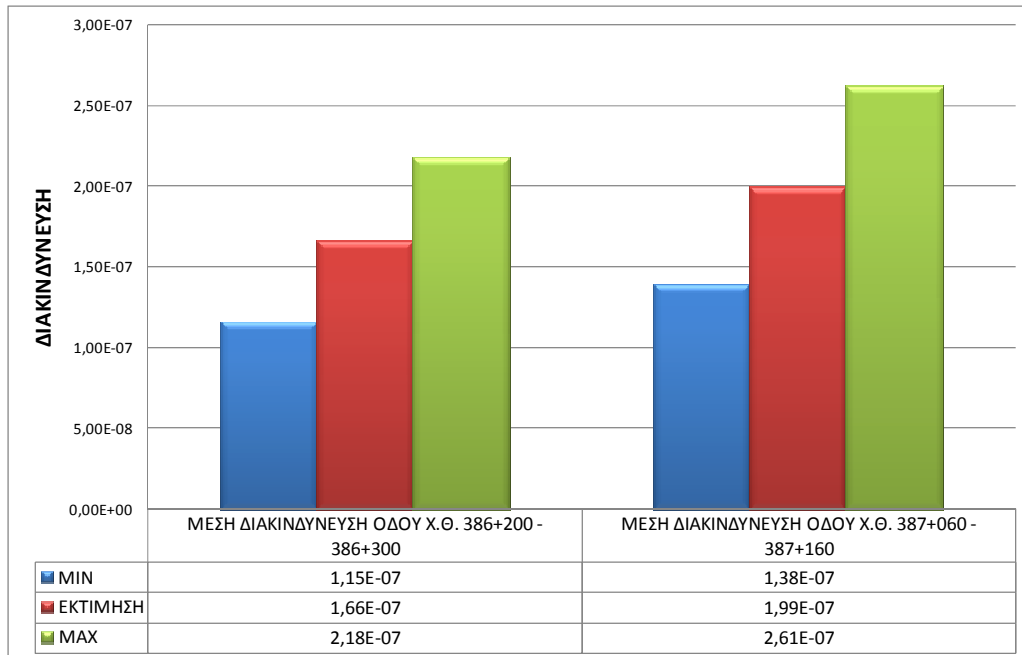
QRA – ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ**Πίνακας 7.23. Αποτελέσματα αναλύσεων ευαισθησίας μεθόδου QRA**

| ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ | +30% | +20% | +10% | 0,00653 | -10% | -20% | -30% |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| ΟΛΙΚΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΔΟΥ | 1,34E-04 | 1,24E-04 | 1,13E-04 | 1,03E-04 | 9,27E-05 | 8,24E-05 | 7,21E-05 |
| ΜΕΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΔΟΥ | 2,80E-05 | 2,59E-05 | 2,37E-05 | 2,16E-05 | 1,94E-05 | 1,73E-05 | 1,51E-05 |
| ΜΕΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΔΟΥ Χ.Θ. 386+200 - 386+300 | 2,16E-07 | 1,99E-07 | 1,83E-07 | 1,66E-07 | 1,50E-07 | 1,33E-07 | 1,16E-07 |
| ΜΕΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΔΟΥ Χ.Θ. 387+060 - 387+160 | 2,59E-07 | 2,39E-07 | 2,19E-07 | 1,99E-07 | 1,79E-07 | 1,59E-07 | 1,40E-07 |
| ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (ADT) | +30% ADT | +20% ADT | +10% ADT | 21500 | -10% ADT | -20% ADT | -30% ADT |
| ΟΛΙΚΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΔΟΥ | 1,35E-04 | 1,24E-04 | 1,14E-04 | 1,03E-04 | 9,24E-05 | 8,19E-05 | 7,15E-05 |
| ΜΕΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΔΟΥ | 2,83E-05 | 2,60E-05 | 2,38E-05 | 2,16E-05 | 1,94E-05 | 1,72E-05 | 1,50E-05 |
| ΜΕΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΔΟΥ Χ.Θ. 386+200 - 386+300 | 2,18E-07 | 2,00E-07 | 1,83E-07 | 1,66E-07 | 1,49E-07 | 1,32E-07 | 1,15E-07 |
| ΜΕΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΔΟΥ Χ.Θ. 387+060 - 387+160 | 2,61E-07 | 2,40E-07 | 2,20E-07 | 1,99E-07 | 1,79E-07 | 1,59E-07 | 1,38E-07 |
| ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΕΣΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ | +30% L | +20% L | +10% L | 4 | -10% L | -20% L | -30% L |
| ΟΛΙΚΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΔΟΥ | 1,35E-04 | 1,24E-04 | 1,14E-04 | 1,03E-04 | 9,24E-05 | 8,19E-05 | 7,15E-05 |
| ΜΕΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΔΟΥ | 2,83E-05 | 2,60E-05 | 2,38E-05 | 2,16E-05 | 1,94E-05 | 1,72E-05 | 1,50E-05 |
| ΜΕΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΔΟΥ Χ.Θ. 386+200 - 386+300 | 2,18E-07 | 2,00E-07 | 1,83E-07 | 1,66E-07 | 1,49E-07 | 1,32E-07 | 1,15E-07 |
| ΜΕΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΔΟΥ Χ.Θ. 387+060 - 387+160 | 2,61E-07 | 2,40E-07 | 2,20E-07 | 1,99E-07 | 1,79E-07 | 1,59E-07 | 1,38E-07 |
| ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | | |
| ΟΛΙΚΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΔΟΥ | 8,54E-05 | 9,34E-05 | 1,03E-04 | 1,15E-04 | 1,30E-04 | | |
| ΜΕΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΔΟΥ | 1,79E-05 | 1,96E-05 | 2,16E-05 | 2,40E-05 | 2,71E-05 | | |
| ΜΕΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΔΟΥ Χ.Θ. 386+200 - 386+300 | 1,38E-07 | 1,51E-07 | 1,66E-07 | 1,85E-07 | 2,09E-07 | | |
| ΜΕΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΔΟΥ Χ.Θ. 387+060 - 387+160 | 1,65E-07 | 1,81E-07 | 1,99E-07 | 2,22E-07 | 2,51E-07 | | |
| ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ | +30%V(D:T) | +20%V(D:T) | +10%V(D:T) | 0,3 | -10%V(D:T) | -20%V(D:T) | -30%V(D:T) |
| ΟΛΙΚΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΔΟΥ | 1,34E-04 | 1,24E-04 | 1,13E-04 | 1,03E-04 | 9,27E-05 | 8,24E-05 | 7,21E-05 |
| ΜΕΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΔΟΥ | 2,80E-05 | 2,59E-05 | 2,37E-05 | 2,16E-05 | 1,94E-05 | 1,73E-05 | 1,51E-05 |
| ΜΕΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΔΟΥ Χ.Θ. 386+200 - 386+300 | 2,16E-07 | 1,99E-07 | 1,83E-07 | 1,66E-07 | 1,50E-07 | 1,33E-07 | 1,16E-07 |
| ΜΕΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΔΟΥ Χ.Θ. 387+060 - 387+160 | 2,59E-07 | 2,39E-07 | 2,19E-07 | 1,99E-07 | 1,79E-07 | 1,59E-07 | 1,40E-07 |
| | MIN | ΕΚΤΙΜΗΣΗ | MAX | | | | |
| ΟΛΙΚΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΔΟΥ | 7,15E-05 | 1,03E-04 | 1,35E-04 | | | | |
| ΜΕΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΔΟΥ | 1,50E-05 | 2,16E-05 | 2,83E-05 | | | | |
| ΜΕΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΔΟΥ Χ.Θ. 386+200 - 386+300 | 1,15E-07 | 1,66E-07 | 2,18E-07 | | | | |
| ΜΕΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ ΟΔΟΥ Χ.Θ. 387+060 - 387+160 | 1,38E-07 | 1,99E-07 | 2,61E-07 | | | | |

7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρηνών



Σχήμα 7.13. Αποτελέσματα αναλύσεων ευαισθησίας για την ολική και τη μέση διακινδύνευση της οδού.



Σχήμα 7.14. Αποτελέσματα αναλύσεων ευαισθησίας για τη μέση διακινδύνευση οδού στα δύο τμήματα που μελετώνται.

7.3.3.6. QRA – Συμπεράσματα

Από τις παραπάνω αναλύσεις, συμπεραίνονται τα εξής:

- Ισοδύναμες μεταβολές των παραμέτρων:
 - ο Συχνότητα βραχοπτώσεων
 - ο Μέση ημερήσια κυκλοφορία οχημάτων
 - ο Μέσο μήκος οχήματος
 - ο Τρωτότηταοδηγούν σε παρεμφερείς μεταβολές της διακινδύνευσης. Η μεταβολή της ταχύτητας του οχήματος, επιφέρει μικρότερες μεταβολές της διακινδύνευσης.
- Επομένως, το ανώτερο και το κατώτερο όριο της διακινδύνευσης εξαρτάται από τις υπόλοιπες παραμέτρους, πλην της ταχύτητας.
- Αφού ισοδύναμες μεταβολές των παραμέτρων (πλην της ταχύτητας) οδηγούν σε ίδια επίπεδα διακινδύνευσης, αρκεί η ανάλυση ευαισθησίας μόνο μίας εξ αυτών.
- Οι δύο θέσεις που εξετάζονται διαθέτουν παρόμοια διακινδύνευση, σύμφωνα με τη μέθοδο QRA.

7.3.4. Σύγκριση αποτελεσμάτων FEDRO και QRA

Συγκρίνονται τα αποτελέσματα της εκτίμησης για τις δύο θέσεις, με τις δύο μεθόδους, προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα, που αφορά τη μεμονωμένη διακινδύνευση κατά FEDRO και τη μέση διακινδύνευση του κάθε τμήματος κατά QRA. Για να επιτευχθεί η σύγκριση, **απομονώθηκε, κατά τη μέθοδο FEDRO, μόνο το σενάριο με περίοδο επαναφοράς 10 ετών**, για να είναι συγκρίσιμο με τη χρονική διάρκεια που εξετάζονται τα πρανά κατά την μέθοδο QRA (13 έτη).

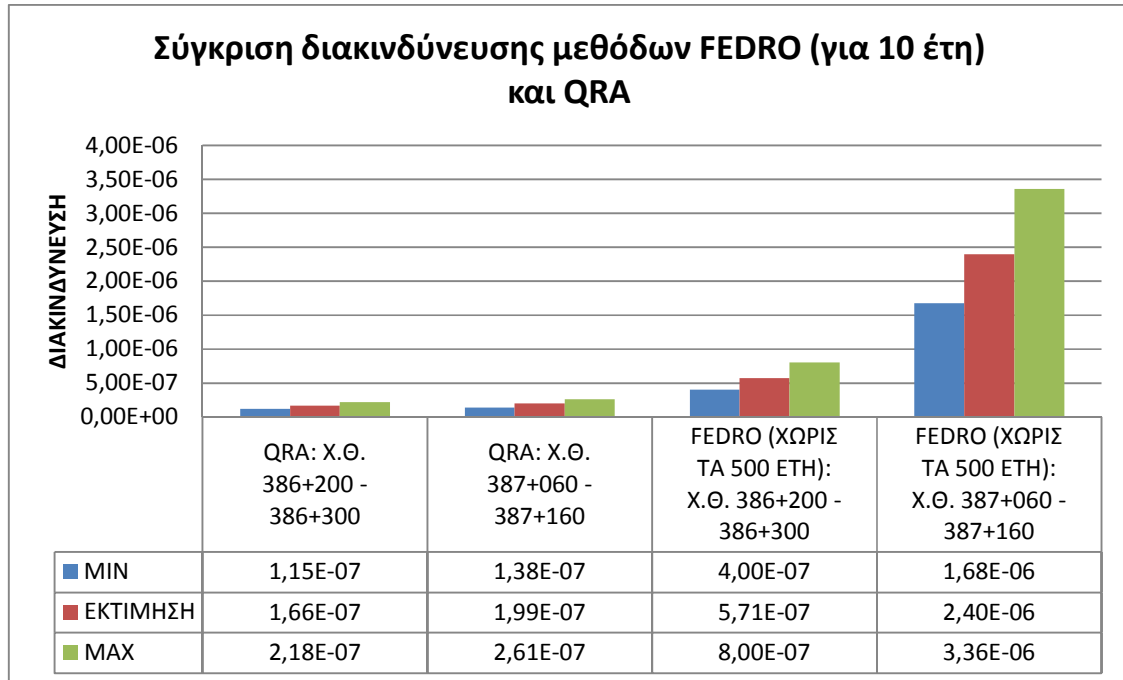
Από το παρακάτω διάγραμμα του σχήματος 7.15, φαίνονται τα ακόλουθα.

- Για το πρώτο πρανές (Χ.Θ. 386+200 – 386+300) οι δύο μέθοδοι οδηγούν σε ίδιας τάξης μεγέθους αποτελέσματα.
- Στο δεύτερο πρανές (Χ.Θ. 387+060 – 387+160) παρουσιάζεται σημαντική διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων.
- Η σημαντική αυτή διαφοροποίηση στο δεύτερο πρανές οφείλεται κατά κύριο λόγο στην μεγάλη βαρύτητα που φαίνεται να έχει η συχνότητα βραχοπτώσεων για τη δεδομένη περίοδο επαναφοράς στη μέθοδο FEDRO, με δεδομένο ότι στην περίπτωση που εξετάζεται, λαμβάνεται υπόψη αντίστοιχος μεγάλος (αναλογικά) όγκος κατάπτωσης.
- Ωστόσο, γενικότερες διαφοροποιήσεις των δύο μεθόδων, οφείλονται σε:
 - Στην απλοποιητική διαδικασία που ακολουθείται κατά τη μεθοδολογία QRA
 - Στις ασάφεια των παραδοχών που πραγματοποιούνται για κάποιες παραμέτρους (που βασίζονται ωστόσο σε λογικές υποθέσεις), κατά τη

7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης τρανών

μεθοδολογία της FEDRO (πχ θνησιμότητα, συνολικός όγκος κατάπτωσης ανά περίοδο επαναφοράς) και στη βαρύτητα που έχουν αυτές κατά τον υπολογισμό της διακινδύνευσης.

- Στο ανεπαρκές ιστορικό καταγραφής καταπτώσεων, με δεδομένο ότι ιδιαίτερα στη μεθοδολογία QRA, η συχνότητα των βραχοπτώσεων είναι καθοριστικός παράγοντας για την τελική τιμή της διακινδύνευσης.



Σχήμα 7.15. Επίπεδο μέση διακινδύνευσης τμήματος οδού κατά QRA και μεμονωμένης διακινδύνευσης κατά FEDRO.

7.4. Εκτίμηση επικινδυνότητας με βάση τον υπολογισμό της ενέργειας κατάπτωσης (με το Rocfall)

7.4.1. Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο θα εκτιμηθεί το επίπεδο της επικινδυνότητας των δύο πρανών που εξετάζονται, με τη χρήση του λογισμικού RocFall v. 4 της RocScience Inc.

Χρησιμοποιώντας το λογισμικό Rocfall, θα εκτιμηθεί η μέγιστη κινητική ενέργεια των καταπιπτόντων βραχοτεμαχών ($E_{κιν}^{max}$) σε κάθε πρανές και στη συνέχεια, με βάση την κινητική τους ενέργεια, θα προσδιοριστεί το εκάστοτε επίπεδο της επικινδυνότητας, βάση των αντίστοιχων οδηγιών των Ελβετικών Μεθοδολογιών, όπως παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3.8.

Το λογισμικό Rocfall της Rocscience Inc. είναι ένα πρόγραμμα στατιστικής ανάλυσης και αξιολόγησης της επικινδυνότητας των πρανών σε πτώσεις βράχων. Έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει την κινητική ενέργεια, την ταχύτητα και το ύψος αναπήδησης βράχων δυνητικής πτώσης, όπως επίσης και την τελική θέση των βραχοτεμαχών, ενώ παρέχει τη δυνατότητα του προσδιορισμού των απαιτούμενων διορθωτικών μέτρων ή και των μέτρων προστασίας..

Μία τυπική ανάλυση μέσω του λογισμικού Rocfall αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα (Rocscience, 2002):

- Καθορισμός γεωμετρίας πρανούς
- Ορισμός των υλικών από τα οποία αποτελείται το πρανές
- Εισαγωγή των αντίστοιχων υλικών στο κάθε τμήμα του πρανούς
- Καθορισμός των θέσεων εκκίνησης των βραχοτεμαχών (seeders)
- Προσομοίωση της τροχιάς και υπολογισμός των λοιπών παραμέτρων
- Γραφικές αναπαραστάσεις των αποτελεσμάτων

Το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα εισαγωγής των ακόλουθων μορφών (Βραχλιώτης, 2011):

- Φράχτες (barriers): Αποτελούν γραμμικά ίχνη, που στόχο έχουν να αποτελέσουν εμπόδιο στα βραχοτεμάχια που πέφτουν, ή να αποσβέσουν ποσοστό της κινητικής τους ενέργειας.
- Γεωμετρία πρανούς (slope geometry): Το πρανές μπορεί να αποτελείται από οποιοδήποτε αριθμό τμημάτων με ελάχιστο μήκος 0.001m. Υπάρχουν δυνατότητες επιλογής του υλικού για κάθε τμήμα του πρανούς, της γωνίας

τριβής, την τραχύτητα του πρανούς και τους συντελεστές της κατακόρυφης και εφαπτομενικής κρούσης.

- Σημεία εκκίνησης (seeders): Αποτελούν τα εργαλεία που καθορίζουν τις αρχικές συνθήκες (σημείο εκκίνησης των βραχοτεμαχίων, αρχική ταχύτητα, μάζα βραχοτεμαχίων). Υπάρχει δυνατότητα σημειακής ή γραμμικής αρχής, ανάλογα αν θεωρείται ότι όλα τα βραχοτεμαχία εκκινούν από το ίδιο σημείο ή από ένα σύνολο σημείων αντίστοιχα.
- Συλλέκτης δεδομένων (Data Collector): Δεν αποτελούν κάποια φυσική οντότητα, απλώς είναι κάποια γραμμικά ίχνη επί του πρανούς που καθορίζονται από το χρήστη και κατά μήκος των οποίων το πρόγραμμα υπολογίζει την ταχύτητα, την κινητική ενέργεια και τις θέσεις κάθε βραχοτεμαχίου κατά την οριζόντια και την κατακόρυφη διεύθυνση, όπως αυτό περνά από το συγκεκριμένο σημείο.
- Υπολογισμοί (calculations): Αφορούν τα αρχικά δεδομένα (την γωνιακή ταχύτητα, την γωνία τριβής, το συντελεστή κρούσης) που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς.
- Φίλτρα (filters): Η δυνατότητα φιλτραρίσματος επιτρέπει στο χρήστη να εκτελέσει στατιστική ανάλυση και γραφήματα κατανομής μόνο για συγκεκριμένα τμήματα του φαινομένου.
- Γραφικά (Graphs): Τα γραφήματα αφορούν ιστογράμματα του τελικού σημείου πτώσης των βραχοτεμαχίων, την περιβάλλουσα της κινητικής ενέργειας περιστροφής, την περιβάλλουσα του ύψους αναπήδησης, την περιβάλλουσα της ταχύτητας, την περιβάλλουσα της ταχύτητας περιστροφής, ιστογράμματα της κατάστασης των φρακτών και των συλλεκτών δεδομένων και τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης.
- Αποτελέσματα (Output): Τα αποτελέσματα αποδίδονται με διάφορους τρόπους (αρχεία Excel, εικόνες, σύνδεση με γραφικά πακέτα κλπ.)

Καθορισμός παραμέτρων

Οι παράμετροι που εξετάζονται είναι οι ακόλουθοι (Rocscience, 2003):

- Γωνιακή ταχύτητα
- Παράγοντας απομείωσης αναπήδησης
- Τραχύτητα πρανούς
- Γωνία τριβής
- Συντελεστές αναπήδησης πιπτόντων βραχωδών τεμαχίων

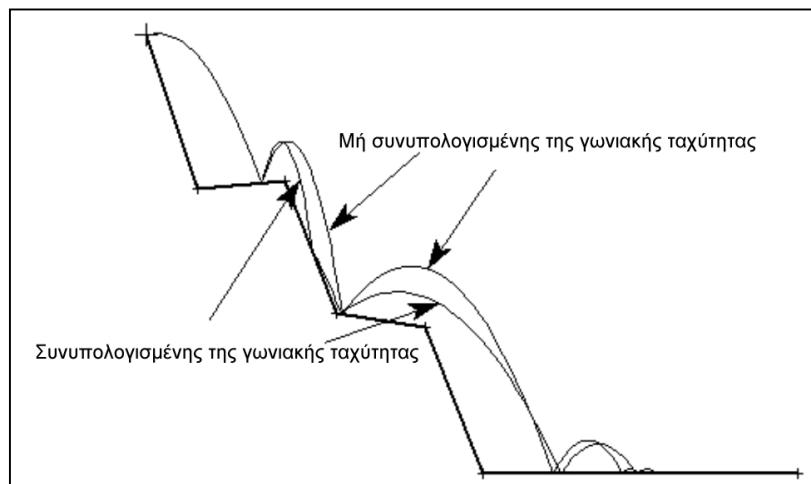
Η συνολική προσέγγιση του προγράμματος επιβάλλει την εξέταση των τεμαχίων ως αδιάστατα σημεία. Για το λόγο αυτό, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη ότι το σχήμα ή το

μέγεθός τους, καθώς και οι επιπτώσεις από τις διαφοροποιήσεις τους, προβλέπονται κατά προσέγγιση με την προσαρμογή των άλλων ιδιοτήτων.

Γωνιακή Ταχύτητα

Γενικά, συνιστάται να εξετάζεται η γωνιακή ταχύτητα, καθώς παρέχει μια πιο ρεαλιστική προσομοίωση της κίνησης. Ορίζεται η αρχική τιμή γενικά μηδενική, εφόσον δεν υπάρχει λόγος να γίνει αλλιώς, αφού η αρχική γωνιακή ταχύτητα για τα πετρώματα είναι συχνά μηδενική. Ως μέγεθος η γωνιακή ταχύτητα διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο στην κίνηση των υπό πτώση βράχων. Η στροφορμή που αποκτά το κινούμενο περιστροφικά σώμα, προκαλεί φαινόμενα γυροσκοπικής φύσεως. Σαν αποτέλεσμα η τροχιά ενός σώματος με μη μηδενική στροφορμή, είναι διαφοροποιημένη σχετικά με ένα σώμα που εκτελεί αμιγώς κίνηση ολίσθησης ή πτώσης.

Ένα παράδειγμα σύγκρισης δύο προσομοιώσεων (μία με υπολογισμό της γωνιακής ταχύτητας και μία που δεν εξετάζει το ενδεχόμενο γωνιακής ταχύτητας) μπορεί να αποδώσει τη διαφορά στα μεταξύ τους αποτελέσματα. Στο σχήμα που ακολουθεί, απεικονίζονται οι επιπτώσεις που έχει η εξέταση ή μη της γωνιακής ταχύτητας.



Σχήμα 7.16. Σύγκριση αποτελεσμάτων με και χωρίς υπολογισμό της γωνιακής ταχύτητας (Βραχλιώτης, 2011).

Και στις δύο περιπτώσεις η αρχική γωνιακή ταχύτητα ήταν μηδενική, αλλά στη μία περίπτωση επιτράπη στο βράχο να ξεκινήσει με κύλιση, ενώ στην άλλη περίπτωση, το αποτέλεσμα περιστροφής αγνοήθηκε. Σε γενικές γραμμές, η αρχική τιμή για την γωνιακή ταχύτητα είναι αρκετά μικρή και συχνά είναι μηδέν. Η μεγάλη πλειοψηφία των μοντέλων που έχουν εξεταστεί, έχουν αρχική γωνιακή ταχύτητα μηδέν (Rocscience, 2008).

Παράγοντας απομείωσης κατακόρυφου συντελεστή αναπήδησης R_N

Ο συντελεστής κατακόρυφης αναπήδησης R_N , χρησιμοποιείται από το Rocfall, σαν μέγεθος καθορισμού του ποσοστού της ενέργειας που χάνεται σε κάθε πρόσκρουση του

7. Βαθμολόγηση επικινδυνότητας και διακινδύνευσης πρανών

βράχου με το πρανές και αφορά μόνο την κάθετη στην επιφάνεια πρόσπτωσης συνιστώσα και θα περιγραφεί εκ των υστέρων. Η αναπήδηση και η τροχιά που θα ακολουθήσει αμέσως μετά την επαφή, βρίσκονται σε άμεση σχέση με την ενέργεια του σώματος που κινείται. Στις προσομοιώσεις με το Rocfall, μπορεί να χρησιμοποιείται απομειωμένος σύμφωνα με έναν συντελεστή. Ο συντελεστής αυτός μπορεί να εξαρτάται από την ταχύτητα των σωμάτων ή από την μάζα τους.

Γενικά,

- Για τις προσομοιώσεις με υψηλότερη ταχύτητα, μια τυπική προσέγγιση είναι η χρήση προκαθορισμένης τιμής με ή χωρίς επιλογή του απομειωμένου κατακόρυφου συντελεστή αναπήδησης και προσαρμογή των συντελεστών Coefficients of Restitution της τραχύτητας του πρανούς προς αναζήτηση των πιο ρεαλιστικών διαδρομών.
- Για τις προσομοιώσεις με χαμηλότερη ταχύτητα βράχων, καλύτερα αποτελέσματα δίνει ο πειραματισμός με τη ρύθμιση του R_N .

Η εξίσωση (Rocscience, 2003) του συντελεστή αναπήδησης που χρησιμοποιείται είναι:

$$R_{N(\text{scaled})} = R_N \times \text{scaling factor, και}$$

$$\text{scaling factor} = \frac{1}{1 + \left(\frac{V_{\text{ROCK}}}{K}\right)^2},$$

Όπου K ταχύτητα για τιμή 0.5 και V_{ROCK} ταχύτητα βραχοτεμάχους.

Η προκαθορισμένη τιμή της σταθεράς K (9.144 m/s) είναι το μετρικό ισοδύναμο των 30 ft/s, η οποία προέρχεται από εμπειρικές παρατηρήσεις.

Τραχύτητα Πρανούς

Η τραχύτητα του πρανούς (slope roughness) χρησιμοποιείται από το λογισμικό ως συντελεστής προσδιορισμού της διακύμανσης της κλίσης λόγω μεταβολών του αναγλύφου. Οι τυπικές τιμές της τραχύτητας είναι συνήθως πολύ μικρές. Κοινές χρησιμοποιούμενες τιμές για την τυπική απόκλιση της είναι 0, 2, 3, 5 μοίρες. Από τα έως τώρα δεδομένα δεν υπάρχουν τιμές μεγαλύτερες των 5 μοιρών.

Το μέγεθος της τραχύτητας χρησιμοποιείται από το μοντέλο για τις τοπικές διακυμάνσεις στη γεωμετρία. Λόγω της απλούστευσης που αναπόφευκτα υπεισέρχεται κατά τον σχεδιασμό του πρανούς, διακυμάνσεις του ανάγλυφου είναι δυνατόν να αγνοηθούν. Αυτό καλείται να διορθώσει ο συντελεστής τραχύτητας του πρανούς.

Γωνία Τριβής

Η γωνία τριβής, όπως χρησιμοποιείται στην ανάλυση με το RocFall, είναι η κρίσιμη εκείνη γωνία κλίσης του πρανούς, πάνω από την οποία τα βραχώδη τεμάχια αρχίζουν

να ολισθαίνουν. Επιλέγεται με βάση το σχήμα των τεμαχίων και τον τρόπο κυκλοφορίας τους. Σε γενικές γραμμές, οι χαμηλότερες τιμές δίνουν πιο συντηρητικές εκτιμήσεις.

Εάν το τμήμα είναι κεκλιμένη πλαγιά με κλίση πάνω από την οριακή τιμή, τα βραχοτεμάχια θα αρχίσουν την ολίσθηση. Εάν είναι μικρότερη από την τιμή αυτή και βρίσκονται ήδη σε κίνηση, θα σταματήσουν επί του τμήματος αυτού του πρανούς.

Αν τα βραχοτεμάχια είναι μεγάλες επίπεδες πλάκες, ο τρόπος κυκλοφορίας και κίνησής τους θα ερπυστικός. Έτσι η τιμή γωνίας τριβής θα είναι υψηλή. Αν αντίθετα όλα τα τεμάχια είναι σφαιρικά, θα τείνουν να είναι κυλιόμενα και όχι συρόμενα επί του πρανούς και η τιμή που εισάγεται θα είναι πολύ χαμηλότερη (σχεδόν μηδενική).

Για την ενδιάμεση περίπτωση κατά την οποία το σχήμα των βράχων είναι κάπου ανάμεσα στα δύο άκρα (η πιο συνηθισμένη κατάσταση), η τιμή θα είναι κάπου μεταξύ των δύο τιμών, ανάλογα με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των τεμαχίων.

Υπάρχουν δύο επιπλέον επιλογές που επηρεάζουν την γωνία τριβής:

1. Η επιλογή "Set friction angle to zero (rolling)" (ορισμός μηδενικής γωνίας τριβής) παρέχει ένα γρήγορο τρόπο για να δοκιμαστεί η «χείριστη περίπτωση», καθώς η ρύθμιση αυτή προβλέπει, κατ' ουσίαν μηδενική αντίσταση στην κίνηση, και συνήθως οδηγεί σε υπερβολικά μεγάλες αποστάσεις κίνησης των τεμαχίων.
2. Η επιλογή "Calculate friction angle from R_T " (Υπολογισμός γωνίας τριβής από R_T) παρέχει μια μέθοδο καθορισμού της γωνίας τριβής η οποία τη συνδυάζει με τη σταθερά της επαπτομενικής αναπήδησης.

$$\Gamma\omega\nu\acute{\iota}\alpha\ \tau\rho\iota\beta\acute{\eta}\varsigma = \frac{1 - R_t}{R_t}$$

Σημειώνεται ότι η εξίσωση δίνει τη γωνία τριβής σε ακτίνια, τα οποία στη συνέχεια πρέπει να μετατραπούν σε μοίρες.

Συντελεστές αναπήδησης R_N και R_T πιπτόντων βραχωδών τεμαχίων

Η επιλογή της κατάλληλης τιμής του κατακόρυφου (R_N) και επαπτομενικού (R_T) συντελεστή αναπήδησης πιπτόντων βραχωδών τεμαχίων, είναι σημαντική, διότι το αποτέλεσμα είναι συχνά πολύ ευαίσθητο στις μεταβολές των τιμών που χρησιμοποιούνται. Αν υπάρχει αβεβαιότητα για τις αξίες αυτές, προτείνεται η χρήση του πίνακα που συνοδεύει το πρόγραμμα και η προσαρμογή των συντελεστών ώστε οι διαδρομές των βράχων, οι ενέργειες και οι ταχύτητες να είναι όσο δυνατόν πλησιέστερα προς τις παρατηρήσεις καταπτώσεων του παρελθόντος.

Η επιλογή των τιμών για τον κατακόρυφο και τον επαπτομενικό συντελεστή αναπήδησης για κάθε υλικό του πρανούς, εμφανίζει την μεγαλύτερη δυσκολία. Κατά γενικό κανόνα, τα πιο σκληρά πετρώματα εμφανίζουν υψηλότερες τιμές από τα μαλακότερα. Επίσης, αναλογικά με το R_N αυξάνει και ο R_T .

7.4.2. Προσομοίωση για τη Χ.Θ. 386+200 – 386+300

Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία, σχεδιάστηκε η διατομή, περί τη Χ.Θ. 386+215 (κρίσιμη διατομή).

Στη συνέχεια, εισάχθηκαν τα χαρακτηριστικά της βραχώμαζας, θεωρώντας, βάση πινάκων, για τον προσδιορισμό των R_N και R_T ότι πρόκειται για βραχώδες (ασβεστολιθικό) υπόβαθρο, το οποίο αποτελείται από μεγάλους ογκολίθους (blocks):

Πυκνότητα βραχώμαζας: 2600kg/m³

$R_N = 0.35$ (τυπική απόκλιση: 0.04)

$R_T = 0.85$ (τυπική απόκλιση:0.04)

Γωνία τριβής = 37° (τυπική απόκλιση: 2°)

Ελάχιστη ταχύτητα αποκόλλησης: 0.1 m/sec

Επίσης, θεωρήθηκαν 100 διαστήματα δειγματοληψίας (Sampling intervals) και η στατιστική ανάλυση περιελάμβανε των έλεγχο 500 τεμαχών που αποκολλήθηκαν από το συγκεκριμένο πρανές.

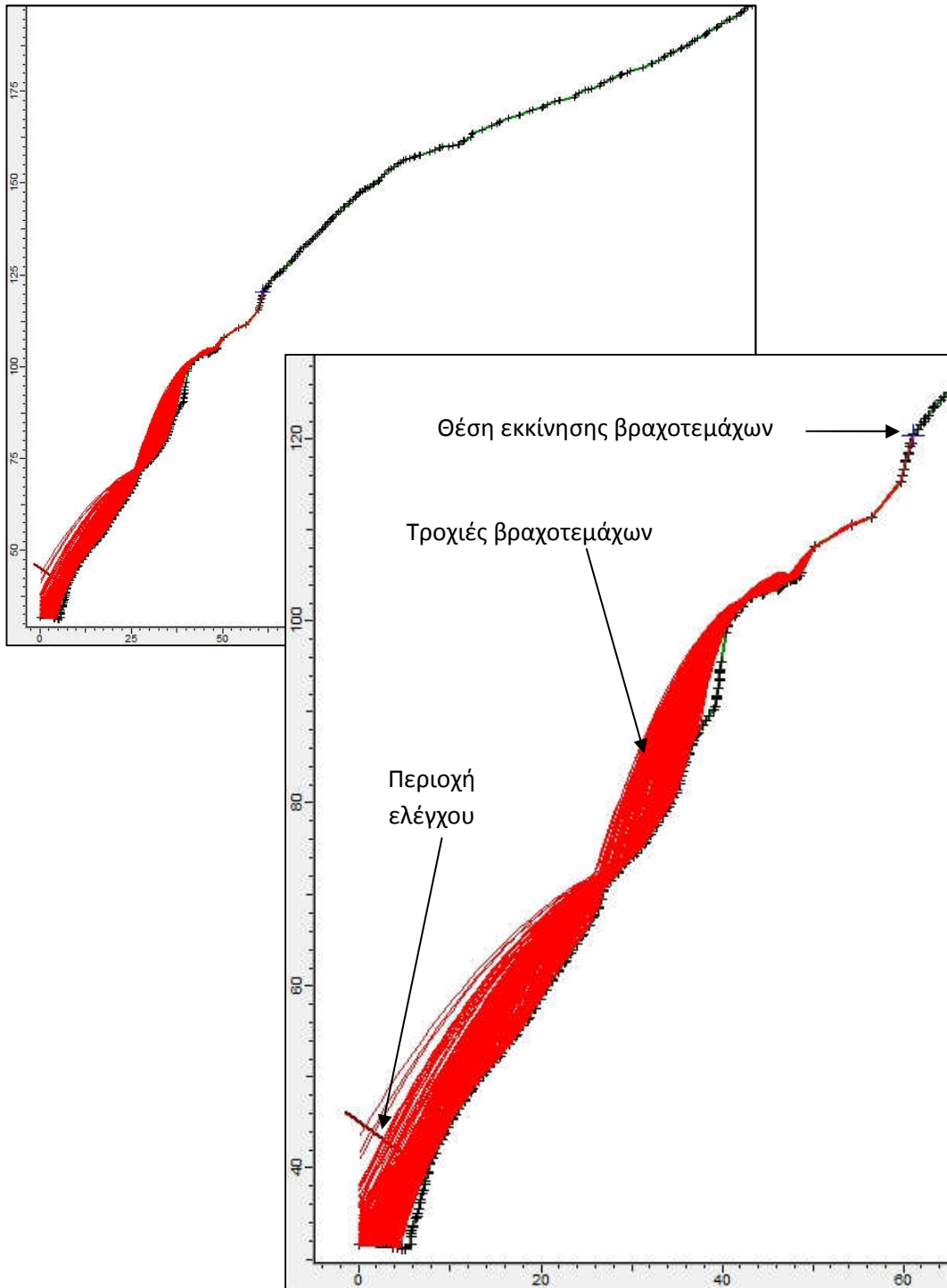
Επιπρόσθετα, εισάχθηκαν στοιχεία που αφορούν την οριζόντια, την κάθετη και την γωνιακή ταχύτητα, όπως φαίνεται στον πίνακα 7.24.

Σε αντιστοιχία με την κατάταξη της διακινδύνευσης κατά FEDRO που αναλύθηκε στο κεφάλαιο 7.3.2., διερευνήθηκαν 5 σενάρια για περίοδο επαναφοράς 10, 30, 100, 300 και 500 έτη. Ο αντίστοιχος συνολικός όγκος της βραχώπτωσης, όπως και ο κρίσιμος όγκος θεωρήθηκαν ανάλογα με την ανάλυση της διακινδύνευσης κατά FEDRO. Το **ύψος της θέσης** της αποκόλλησης των τεμαχών εκτιμήθηκε, από τα διαθέσιμα στοιχεία, **ίσο με 90m** (σχήμα 7.17).

Πίνακας 7.24. Δεδομένα εισαγωγής για τη Χ.Θ. 386+200 – 386+300

| Δεδομένα | | | | | |
|------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------|---------------------|
| Παράμετρος | Περίοδος επαναφοράς | Συνολικός όγκος (m ³) | Κρίσιμος Όγκος (m ³) | Πλήθος τεμαχών | Βάρος τεμαχούς (kg) |
| Σενάρια | 10 | 0,5 | 0,5 | 1 | 1300 |
| | 30 | 1 | 1 | 1 | 2600 |
| | 100 | 5 | 2,5 | 2 | 6500 |
| | 300 | 30 | 3 | 10 | 7800 |
| | 500 | 300 | 30 | 10 | 78000 |
| Ταχύτητα | Οριζόντια | | Κάθετη | | Γωνιακή |
| | Τιμή (m/sec) | Τυπική απόκλιση | Τιμή (m/sec) | Τυπική απόκλιση | Τιμή (rad/sec) |
| | 0.15 | 0.05 | 0 | 0 | 0.1 |

*Στον πίνακα θεωρήθηκε ότι ο συνολικός όγκος αποτελείται από ισομεγέθη τεμάχια, όπου το μέγεθος του καθενός ισούται με τον κρίσιμο όγκο, οπότε και προκύπτει το πλήθος των τεμαχών



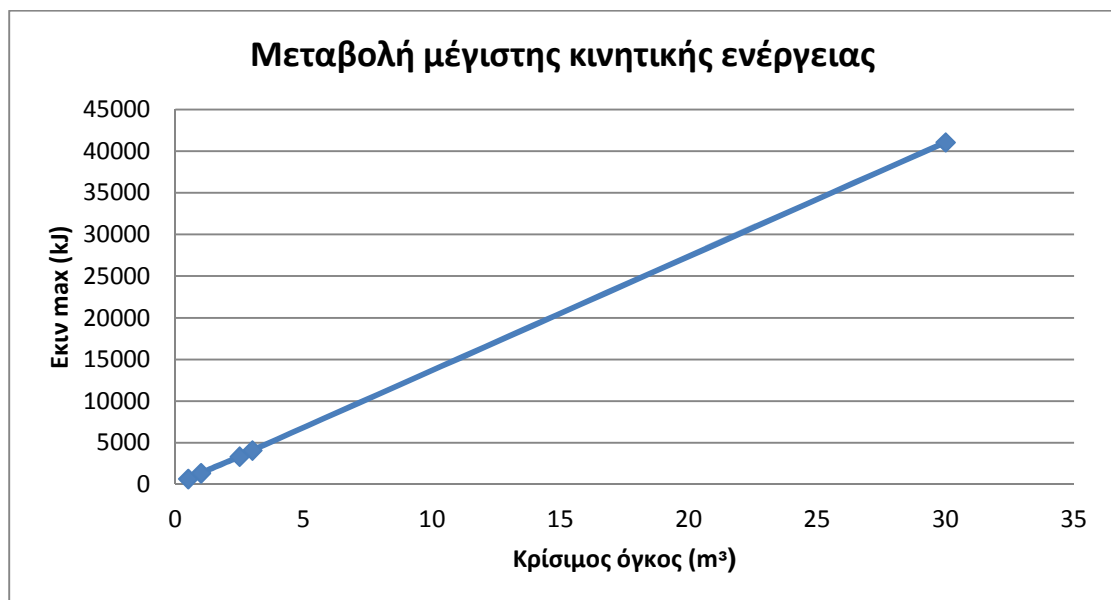
Σχήμα 7.17. Γεωμετρία και αποτέλεσμα προσομοίωσης για Χ.Θ. 386+200 – 386+300

Στον ακόλουθο πίνακα 7.25, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, δηλαδή η μέγιστη κινητική ενέργεια και το αντίστοιχο μέγιστο ύψος αναπήδησης για κάθε σενάριο.

Πίνακας 7.25. Αποτελέσματα προσομοίωσης για το πρηνές στη Χ.Θ. 386+200 – 386+300

| Παράμετρος | Περίοδος επαναφοράς | Συνολικός όγκος (m ³) | Όγκος τεμάχους (m ³) | Συνολικά τεμάχη | Βάρος τεμάχους (kg) | Μέγιστη κινητική ενέργεια (kJ) | Μέγιστο ύψος αναπήδησης (m) |
|------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------|---------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Σενάρια | 10 | 0,5 | 0,5 | 1 | 1300 | 684 | 18,8 |
| | 30 | 1 | 1 | 1 | 2600 | 1374 | 17,2 |
| | 100 | 5 | 2,5 | 2 | 6500 | 3354 | 19,1 |
| | 300 | 30 | 3 | 10 | 7800 | 4101 | 19,0 |
| | 500 | 300 | 30 | 10 | 78000 | 41078 | 17,5 |

Αγνοώντας το σενάριο με περίοδο επαναφοράς για τα 500 έτη, καθώς οδηγεί σε υπερβολικά μεγάλες τιμές, προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα του σχήματος 7.18.



Σχήμα 7.18. Μεταβολή της κινητικής ενέργειας για τα σενάρια με περίοδο επαναφοράς 10, 30, 100 και 300 έτη, για το πρηνές στη Χ.Θ. 386+200 – 386+300

7.4.3. Προσομοίωση για τη Χ.Θ. 387+060 – 387+160

Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία, σχεδιάστηκε η διατομή, περί τη Χ.Θ. 386+130 (κρίσιμη διατομή).

Στη συνέχεια, εισάχθηκαν τα χαρακτηριστικά της βραχώμαζας, θεωρώντας, βάση πινάκων, για τον προσδιορισμό των R_N και R_T ότι πρόκειται για βραχώδες (ασβεστολιθικό):

Πυκνότητα βραχώμαζας: 2600kg/m³

$R_N = 0.5$ (τυπική απόκλιση: 0.04)

$R_T = 0.95$ (τυπική απόκλιση:0.04)

Γωνία τριβής = 42° (τυπική απόκλιση: 2°)

Ελάχιστη ταχύτητα αποκόλλησης: 0.1 m/sec

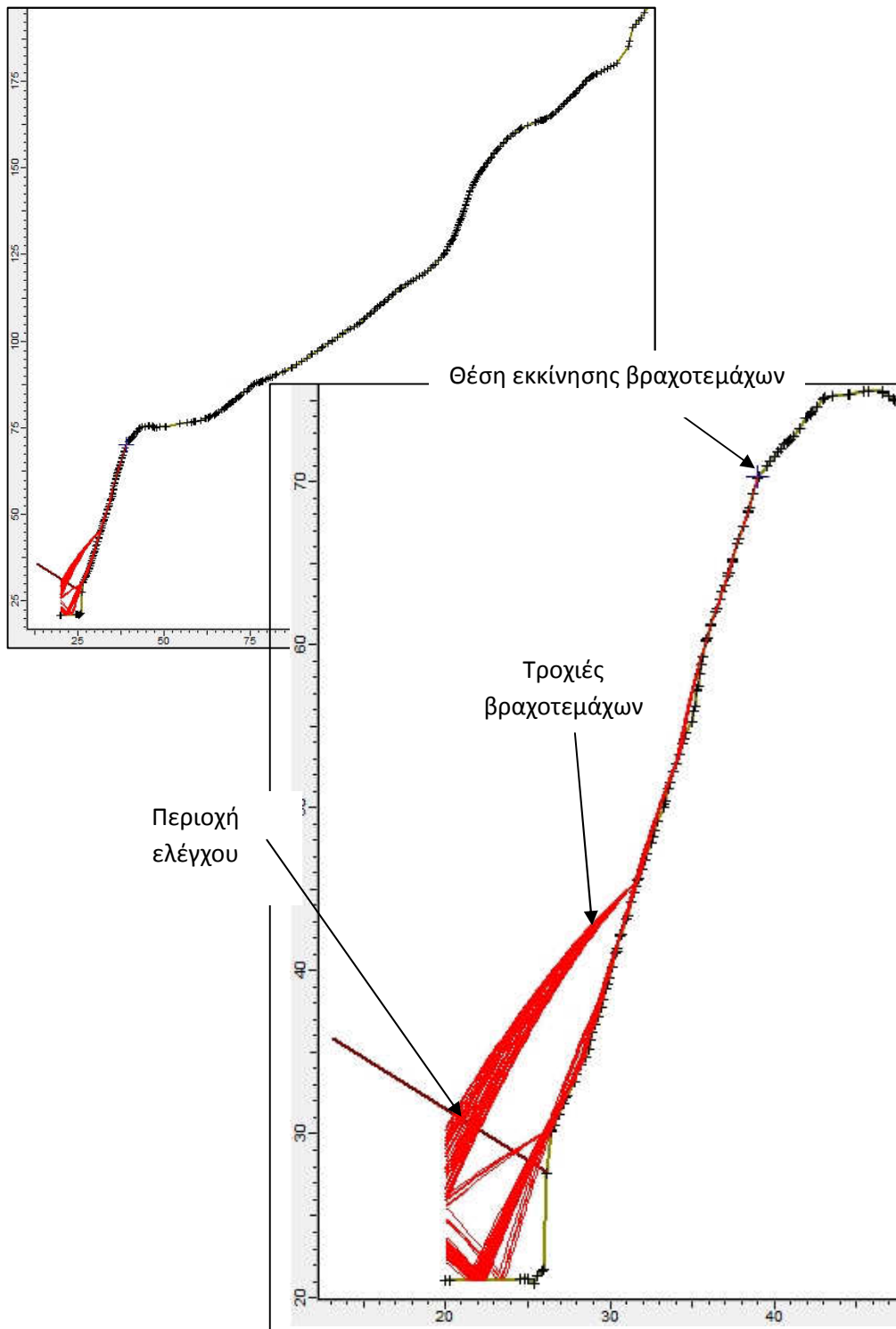
Επίσης, θεωρήθηκαν 100 διαστήματα δειγματοληψίας (Sampling intervals) και η στατιστική ανάλυση περιελάμβανε των έλεγχο 500 τεμαχών που αποκολλήθηκαν από το συγκεκριμένο πρανές.

Επιπρόσθετα, εισάχθηκαν στοιχεία που αφορούν την οριζόντια, την κάθετη και την γωνιακή ταχύτητα, όπως φαίνεται στον πίνακα 7.26.

Σε αντιστοιχία με την κατάταξη της διακινδύνευσης κατά FEDRO που αναλύθηκε στο κεφάλαιο 7.3.2., διερευνήθηκαν 5 σενάρια για περίοδο επαναφοράς 10, 30, 100, 300 και 500 έτη. Ο αντίστοιχος συνολικός όγκος της βραχώπτωσης, όπως και ο κρίσιμος όγκος θεωρήθηκαν ανάλογα με την ανάλυση της διακινδύνευσης κατά FEDRO. Το **ύψος της θέσης** της αποκόλλησης των τεμαχών εκτιμήθηκε, από τα διαθέσιμα στοιχεία, **ίσο με 55m** (σχήμα 7.19).

Πίνακας 7.26. Δεδομένα εισαγωγής για τη Χ.Θ 387+060 – 387+160

| Δεδομένα | | | | | |
|------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------|---------------------|
| Παράμετρος | Περίοδος επαναφοράς | Συνολικός όγκος (m ³) | Κρίσιμος Όγκος (m ³) | Πλήθος τεμαχων | Βάρος τεμάχους (kg) |
| Σενάρια | 10 | 1 | 1 | 1 | 2600 |
| | 30 | 3 | 1,5 | 2 | 3900 |
| | 100 | 40 | 4 | 10 | 10400 |
| | 300 | 110 | 2,75 | 40 | 7150 |
| | 500 | 400 | 4 | 100 | 10400 |
| Ταχύτητα | Οριζόντια | | Κάθετη | | Γωνιακή |
| | Τιμή (m/sec) | Τυπική απόκλιση | Τιμή (m/sec) | Τυπική απόκλιση | Τιμή (rad/sec) |
| | 0.15 | 0.05 | 0 | 0 | 0.1 |



Σχήμα 7.19. Γεωμετρία και αποτέλεσμα προσομοίωσης για Χ.Θ. 387+060 – 387+160

Στον ακόλουθο πίνακα 7.27, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, δηλαδή η μέγιστη κινητική ενέργεια και το αντίστοιχο μέγιστο ύψος αναπήδησης για κάθε σενάριο.

Πίνακας 7.27. Αποτελέσματα προσομοίωσης για το πρηνές στη Χ.Θ. 387+060 – 387+160

| Παράμετρος | Περίοδος επαναφοράς | Συνολικός όγκος (m ³) | Όγκος τεμάχους (m ³) | Συνολικά τεμάχη | Βάρος τεμάχους (kg) | Μέγιστη κινητική ενέργεια (kJ) | Μέγιστο ύψος αναπήδησης (m) |
|------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------|---------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Σενάρια | 10 | 1 | 1 | 1 | 2600 | 932 | 15,8 |
| | 30 | 3 | 1,5 | 2 | 3900 | 1356 | 15,9 |
| | 100 | 40 | 4 | 10 | 10400 | 3835 | 15,8 |
| | 300 | 110 | 2,75 | 40 | 7150 | 2534 | 15,8 |
| | 500 | 400 | 4 | 100 | 10400 | 3835 | 15,8 |

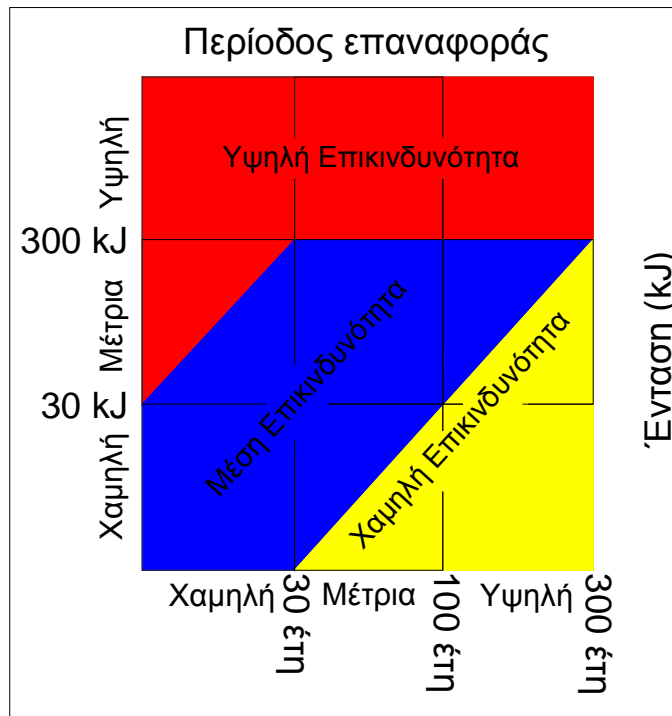
Αγνοώντας το σενάριο με περίοδο επαναφοράς για τα 500 έτη, για λόγους σύγκρισης με την προηγούμενη περιοχή ελέγχου, προκύπτει το διάγραμμα του σχήματος 7.20.



Σχήμα 7.20. Μεταβολή της κινητικής ενέργειας για τα σενάρια με περίοδο επαναφοράς 10, 30, 100 και 300 έτη, για το πρηνές στη Χ.Θ. 387+060 – 387+160

7.4.4. Εκτίμηση επικινδυνότητας

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία είναι δυνατό να εκτιμηθεί το επίπεδο επικινδυνότητας, σύμφωνα με το διάγραμμα των Ελβετικών Μεθοδολογιών, που φαίνεται στο σχήμα 7.21, για περίοδο επαναφοράς 10, 30, 100 και 300 έτη. Το σενάριο των 500 ετών δεν λαμβάνεται υπόψη στην παρούσα φάση.



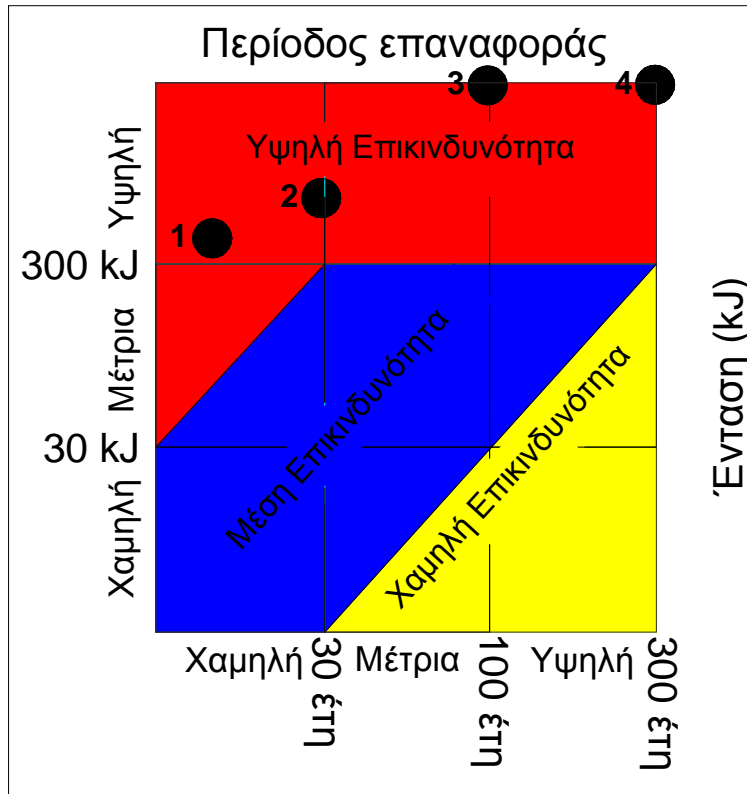
Σχήμα 7.21. Ελβετικό διάγραμμα έντασης – συχνότητας (Abbruzzese et al.,2009)

Χ.Θ. 386+200 – 386+300

Προέκυψαν τα μεγέθη του παρακάτω πίνακα:

| Παράμετρος | α/α | Περίοδος επαναφοράς | Μέγιστη κινητική ενέργεια (kJ) |
|------------|-----|---------------------|--------------------------------|
| Σενάρια | 1 | 10 | 684 |
| | 2 | 30 | 1374 |
| | 3 | 100 | 3354 |
| | 4 | 300 | 4101 |
| | 5 | 500 | 41078 |

Προβάλλοντας τα αποτελέσματα στο σχήμα 7.21, προκύπτει το ακόλουθο σχήμα 7.22:



Σχήμα 7.22. Εκτίμηση επικινδυνότητας για το πρανές της Χ.Θ. 386+200 – 386+300, βάση του διαγράμματος Έντασης – Περιόδου επαναφοράς

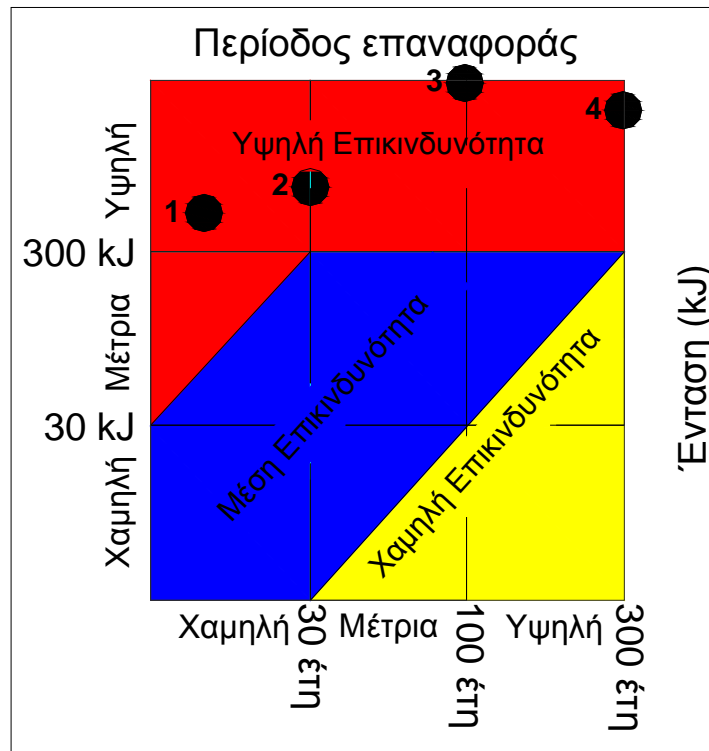
Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι για το πρανές της Χ.Θ. 386+200 – 386+300, σε κάθε σενάριο, το επίπεδο της διακινδύνευσης είναι ΥΨΗΛΟ.

Χ.Θ. 387+060 – 387+160

Προέκυψαν τα μεγέθη του παρακάτω πίνακα:

| Παράμετρος | α/α | Περίοδος επαναφοράς | Μέγιστη κινητική ενέργεια (kJ) |
|------------|-----|---------------------|--------------------------------|
| Σενάρια | 1 | 10 | 932 |
| | 2 | 30 | 1356 |
| | 3 | 100 | 3835 |
| | 4 | 300 | 2534 |
| | 5 | 500 | 3835 |

Προβάλλοντας τα αποτελέσματα στο σχήμα 7.21, προκύπτει το ακόλουθο σχήμα 7.23:



Σχήμα 7.23. Εκτίμηση επικινδυνότητας για το πρανές της Χ.Θ. 387+060 – 387+160, βάση του διαγράμματος Έντασης – Περιόδου επαναφοράς

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι για το πρανές της Χ.Θ. 387+060 – 387+160, σε κάθε σενάριο, το επίπεδο της διακινδύνευσης είναι ΥΨΗΛΟ.

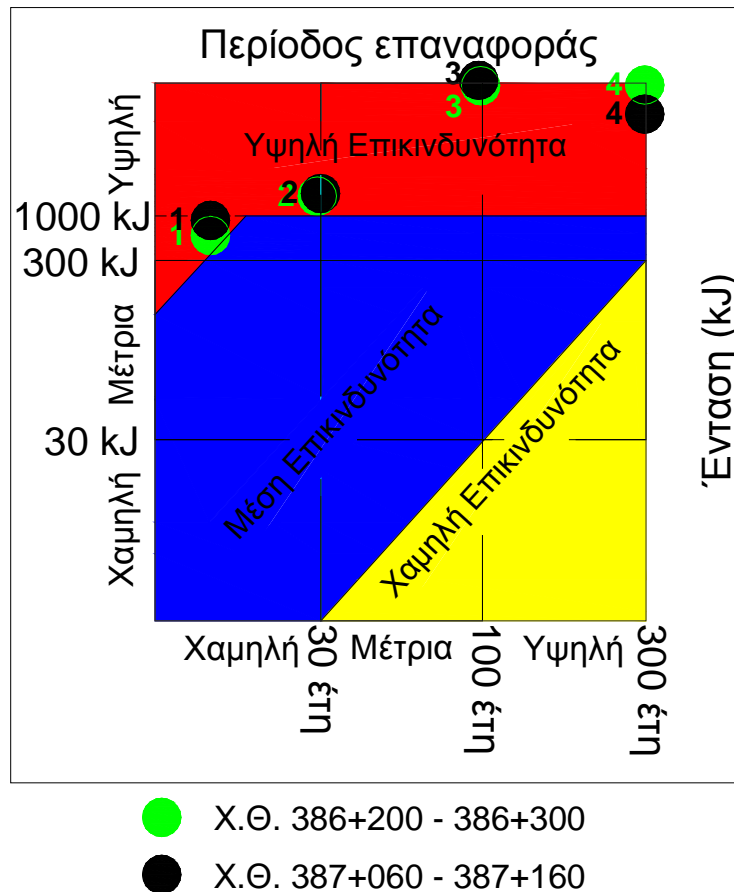
7.4.5. Συμπεράσματα – Σύγκριση με άλλες μεθόδους

Η μεθοδολογία εκτίμησης της επικινδυνότητας, με βάση της Ελβετικές Προδιαγραφές για τα διαγράμματα Έντασης – Συχνότητας και τις δισδιάστατες αναλύσεις προσομοίωσης τροχιάς οδήγησαν στο συμπέρασμα πως και τα δύο πρανή έχουν υψηλή επικινδυνότητα σε καταπτώσεις.

Ωστόσο, από τις βαθμολογήσεις επικινδυνότητας των πρανών που προηγήθηκαν (βλ. κεφάλαιο 7.2.3.), εκτιμήθηκε ότι τα δύο πρανή δεν απέχουν σημαντικά από το όριο μέτριας και υψηλής επικινδυνότητας.

Εάν γίνει μία απόπειρα συγκερασμού των αποτελεσμάτων των μεθοδολογιών αυτών, είναι δυνατό να προκύψει ένα νέο διάγραμμα, όπως αυτό που παρουσιάζεται στο διάγραμμα του σχήματος 7.24.

Για την κατασκευή του συγκεκριμένου διαγράμματος, διατηρήθηκε η αρχική φιλοσοφία σχεδιασμού του, λαμβάνοντας υπόψη πως για περίοδο επαναφοράς 13 ετών (όση δηλαδή ήταν η χρονοσειρά καταγραφής καταπτώσεων στις μεθόδους RHRS, NHI-RHRS και CRHRS) τα δύο πρανή διαθέτουν επικινδυνότητα οριακά μέτρια έως υψηλή.



Σχήμα 7.24. Τροποποίηση του διαγράμματος Έντασης – Συχνότητας κατάπτωσης. Στο σχήμα αποτυπώνονται και οι βαθμολογίες των δύο πρανών.

Προφανώς, η παραπάνω τροποποίηση δεν αποτελεί ακριβή αποτύπωση των ορίων διακινδύνευσης για ένα πρανές. Αποτελεί μία ποιοτική προσέγγιση συγκερασμού των διαφόρων μεθόδων εκτίμησης της διακινδύνευσης που παρουσιάστηκαν στην παρούσα εργασία και δεν είναι τίποτα άλλο από μία ιδέα για περαιτέρω έρευνα.

7.4.6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα εκτίμησης επικινδυνότητας και διακινδύνευσης

Σύμφωνα με τα όσα περιγράφηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, προέκυψαν τα παρακάτω στοιχεία (πίνακες 7.28 και 7.29) για την εκτίμηση της επικινδυνότητας και της διακινδύνευσης των δύο πρανών.

Χ.Θ. 386+200 – 386+300

Πίνακας 7.28. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα επικινδυνότητας και διακινδύνευσης για το πρανές Χ.Θ. 386+200 – 386+300.

| Εκτίμηση Επικινδυνότητας | | | | |
|--------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|---|
| Μέθοδος | Ελάχιστη Τιμή | Εκτίμηση | Μέγιστη Τιμή | Συνολικός χαρακτηρισμός Επικινδυνότητας |
| RHRS | 414 (51,11%) | 468 (57,78%) | 546 (67,41%) | ΥΨΗΛΗ |
| NHI-RHRS | 429 (47,40%) | 509 (56,24%) | 607 (67,07%) | ΥΨΗΛΗ |
| CRHRS (Ιζηματογενές) | 822 (56,38%) | 828 (56,79%) | 906 (62,14%) | - |
| CRHRS (κρυσταλλικό) | 774 (53,09%) | 780 (53,50%) | 852 (58,44%) | ΜΕΤΡΙΑ (οριακά ΥΨΗΛΗ) |
| Αναλύσεις τροχιάς | Μέγιστη κινητική ενέργεια (kJ) | | | ΥΨΗΛΗ |
| | Χωρίς τα 500 έτη | | Με τα 500 έτη | |
| | 684 – 4101 | | 684 – 41078 | |
| | Χαρακτηρισμός επικινδυνότητας | | | |
| | ΥΨΗΛΗ | ΥΨΗΛΗ | | |

| Εκτίμηση διακινδύνευσης | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--|
| Μέθοδος | Ελάχιστη Τιμή | Εκτίμηση | Μέγιστη Τιμή | Συνολικός χαρακτηρισμός Διακινδύνευσης |
| CRHRS (Ιζηματογενές) | 915 (53,79%) | | | - |
| CRHRS (κρυσταλλικό) | 867 (50,97%) | | | |
| FEDRO (μεμονωμένη διακινδύνευση) | Χωρίς τα 500 έτη | | | |
| | 1,04 x 10 ⁻⁶ | 1,49 x 10 ⁻⁶ | 2,09 x 10 ⁻⁶ | ΥΨΗΛΗ |
| | Με τα 500 έτη | | | |
| | 1,41 x 10 ⁻⁶ | 2,01 x 10 ⁻⁶ | 2,82 x 10 ⁻⁶ | ΥΨΗΛΗ |
| | Για 10 έτη | | | |
| | 1,15 x 10 ⁻⁷ | 1,66 x 10 ⁻⁷ | 2,18 x 10 ⁻⁷ | - |
| QRA | 4,00 x 10 ⁻⁷ | 5,71 x 10 ⁻⁷ | 8,00 x 10 ⁻⁷ | - |

Χ.Θ. 387+060 – 387+160

Πίνακας 7.29. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα επικινδυνότητας και διακινδύνευσης για το πρανές Χ.Θ. 387+060 – 387+160.

| Εκτίμηση Επικινδυνότητας | | | | |
|--------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|--|
| Μέθοδος | Ελάχιστη Τιμή | Εκτίμηση | Μέγιστη Τιμή | Συνολικός χαρακτηρισμός Επικινδυνότητας |
| RHRS | 456 (56,30%) | 510 (62,96%) | 588 (72,59%) | ΥΨΗΛΗ |
| NHI-RHRS | 466 (51,49%) | 546 (60,33%) | 624 (68,95%) | ΥΨΗΛΗ |
| CRHRS (Ιζηματογενές) | 822 (56,38%) | 846 (58,02%) | 924 (63,37%) | - |
| CRHRS (κρυσταλλικό) | 798 (54,73%) | 804 (55,14%) | 876 (60,08%) | (οριακά ΜΕΤΡΙΑ έως) ΥΨΗΛΗ |
| Αναλύσεις τροχιάς | Μέγιστη κινητική ενέργεια (kJ) | | | ΥΨΗΛΗ |
| | Χωρίς τα 500 έτη | | Με τα 500 έτη | |
| | 932 – 3835 | | 932 – 3835 | |
| | Χαρακτηρισμός επικινδυνότητας | | | |
| | ΥΨΗΛΗ | | ΥΨΗΛΗ | |

| Εκτίμηση διακινδύνευσης | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--|
| Μέθοδος | Ελάχιστη Τιμή | Εκτίμηση | Μέγιστη Τιμή | Συνολικός χαρακτηρισμός Διακινδύνευσης |
| CRHRS (Ιζηματογενές) | 933 (54,85%) | | | - |
| CRHRS (κρυσταλλικό) | 891 (52,38%) | | | |
| FEDRO (μεμονωμένη διακινδύνευση) | Χωρίς τα 500 έτη | | | |
| | $3,39 \times 10^{-6}$ | $4,84 \times 10^{-6}$ | $6,78 \times 10^{-6}$ | ΥΨΗΛΗ |
| | Με τα 500 έτη | | | |
| | $3,64 \times 10^{-6}$ | $5,02 \times 10^{-6}$ | $7,28 \times 10^{-6}$ | ΥΨΗΛΗ |
| | Για 10 έτη | | | |
| | $1,68 \times 10^{-6}$ | $2,40 \times 10^{-6}$ | $3,36 \times 10^{-6}$ | - |
| QRA | $1,38 \times 10^{-7}$ | $1,99 \times 10^{-7}$ | $2,61 \times 10^{-7}$ | - |

Από τα παραπάνω, συμπεραίνεται ότι και στα δύο πρανή, με βάση τα αποτελέσματα όλων των μεθόδων, η επικινδυνότητά τους χαρακτηρίζεται ως **(οριακά ΜΕΤΡΙΑ έως) ΥΨΗΛΗ**.

Όσον αφορά την διακινδύνευση, όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, εκτιμάται ότι η μέθοδος FEDRO είναι αναλυτικότερη και περισσότερο ακριβής.

Για το πρανές μεταξύ **Χ.Θ. 386+200 – 387+300** σύμφωνα με την ανάλυση κατά FEDRO, όπως αυτή ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία, για περίοδο 300 ετών (χωρίς να ληφθεί υπόψη το σενάριο με τα 500 έτη), η διακινδύνευση εκτιμήθηκε της τάξης του 1.50×10^{-6} .

Αντίστοιχα, για το πρανές μεταξύ Χ.Θ. **387+060 – 387+160**, η μεμονωμένη διακινδύνευση εκτιμήθηκε της τάξης των $5,0 \times 10^{-6}$.

Και στις δύο περιπτώσεις, η εκτιμώμενη διακινδύνευση είναι μικρότερη από το ανώτερο αποδεκτό όριο του 1.0×10^{-5} που προβλέπεται από τις ελβετικές μεθοδολογίες. Ωστόσο, όπως έχει τονιστεί, η διακινδύνευση εκτιμήθηκε μόνο για το σενάριο της απευθείας σύγκρουσης ενός οχήματος με ένα βραχώδες τμήμαχος, χωρίς να εξετάζονται πρόσθετα σενάρια. Εάν εκτιμηθεί η διακινδύνευση συνδυαστικών σεναρίων (πχ απευθείας σύγκρουση οχήματος με βράχο, επακόλουθο τροχαίο ατύχημα με όχημα που ακολουθεί, εναλλακτικά σενάρια μεγαλύτερου όγκου καταπτώσεων) η διακινδύνευση θα αυξηθεί και ενδέχεται να ξεπεράσει τα αποδεκτά όρια.

8. Συμπεράσματα

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία είχε διπλό σκοπό. Αφενός την βιβλιογραφική αναζήτηση, συλλογή στοιχείων, περιγραφή και σύγκριση των σημαντικότερων μεθόδων εκτίμησης της επικινδυνότητας και της διακινδύνευσης των καταπτώσεων βράχων σε οδικές αρτηρίες, αφετέρου δε την εφαρμογή των σημαντικότερων εξ αυτών στο τμήμα της Εθνικής Οδού Αθηνών – Θεσσαλονίκης που διέρχεται από την περιοχή της κοιλάδας των Τεμπών.

Όσον αφορά το **πρώτο σκέλος**, περιγράφηκαν και αναλύθηκαν διεξοδικά οι κύριες μέθοδοι εκτίμησης της επικινδυνότητας. Βασικότερη όλων, καθώς αποτελεί τη βάση για πλείστες παραλλαγές, είναι η μέθοδος RHRS (Pierson, 1991) που λαμβάνει υπόψη της παραμέτρους όπως η γεωμετρία της διατομής του πρηνούς, οι συνθήκες κυκλοφορίας, ο γεωλογικός χαρακτήρας της βραχώδους, το μέγεθος των επισφαλών προς αποκόλληση τεμαχίων, οι κλιματολογικές συνθήκες και το ιστορικό καταπτώσεων.

Στη μέθοδο αυτή βασίστηκαν αρκετές παραλλαγές. Βασικότερες είναι:

- Η NHI-RHRS (1993), που διαθέτει μεγαλύτερη ευαισθησία, σε σχέση με την αρχική μέθοδο, σε πέντε παραμέτρους και απαιτεί μεγαλύτερη εμπειρία του μελετητή και μεγαλύτερη γνώση των συνθηκών που επικρατούν στη περιοχή που εξετάζεται.
- Η TRHRS (2005), που εμπεριέχει σε μεγαλύτερο βαθμό την επίδραση της γεωλογίας.
- Η CRHRS (2009), που λαμβάνει υπόψη περισσότερες παραμέτρους και συνεπώς δεν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στην κακή εκτίμηση μίας εξ αυτών, ενώ παρέχει τη δυνατότητα χαρακτηρισμού της διακινδύνευσης σε χαμηλή, μέτρια και υψηλή. Επίσης, δύναται να οδηγήσει και σε (αρχική έστω) εκτίμηση της διακινδύνευσης.

Επιπρόσθετα, η μέθοδος FRHI (2004), παρέχει μία απλή προσέγγιση για την εκτίμηση της επικινδυνότητας σε ευσταθή ορύγματα, εξετάζοντας πιθανές πτώσεις πρηνών που θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια των εργατών που βρίσκονται σε άμεση γεινίαση με την εκσκαφή. Επίσης, κατά Marinos et al, 2008, δημιουργήθηκε ένα σύστημα εκτίμησης της επικινδυνότητας στη γενική περίπτωση μίας κατάπτωσης σε ένα βραχώδες πρηνές, το οποίο δεν είναι απαραίτητα οδικό.

Σύγχρονες μέθοδοι εκτίμησης της επικινδυνότητας βασίζονται στις αναλύσεις τροχιάς ενός καταπίπτοντος τεμάχους και στον προσδιορισμό της μέγιστης κινητικής ενέργειας που αυτό διαθέτει όταν φτάνει στο επίπεδο της οδού, με 2D ή 3D προγράμματα προσομοίωσης τροχιάς.

Η τελευταία αυτή μέθοδος, καθώς και οι μέθοδοι που βασίζονται στην RHRS, κρίνονται επαρκείς και ικανές να οδηγήσουν σε ασφαλή συμπεράσματα για το επίπεδο της επικινδυνότητας σε κατάπτωση, ενός βραχώδους πρηνούς που βρίσκεται σε μία οδική αρτηρία, καθώς εστιάζουν στις ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν σε μία οδό.

Με βάση τα αποτελέσματα της εκτίμησης της επικινδυνότητας, ο μελετητής μπορεί να αποφανθεί εάν σε ένα πρηνές μπορεί να παρουσιαστούν καταπτώσεις τέτοιου μεγέθους, που να οδηγήσουν σε απώλειες υλικές, οικονομικές ή ανθρώπινες. Για ένα τέτοιο πρηνές, ακολουθεί η εκτίμηση της διακινδύνευσής του.

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι εκτίμησης της διακινδύνευσης ενός βραχώδους πρηνούς σε οδική αρτηρία.

Μία απλουστευτική προσπάθεια έγινε από το WSDOT (2010), που βασίζεται στη λογική εκτίμησης της επικινδυνότητας κατά RHRS, ενώ διαθέτει τη δυνατότητα αξιολόγησης τόσο εδαφικών, όσο και βραχωδών πρηνών.

Μία πιο εμπειριστατωμένη μέθοδος υιοθετήθηκε από την Ελβετική υπηρεσία FEDRO (2009), που βασίζεται σε πιθανολογικές προσεγγίσεις, λογικά σενάρια και πλήθος περιπτώσεων πρόκλησης ενός ατυχήματος οφειλόμενου σε καταπτώσεις. Η μέθοδος αυτή είναι ευρέως αποδεκτή και εφαρμόζεται σε πλήθος περιοχών, μία εξ' αυτών και η κοιλάδα των Τεμπών. Επιπρόσθετα, η μέθοδος QRA (2008), οδηγεί επίσης σε εκτιμήσεις της διακινδύνευσης σε μία οδό, βασίζεται δε κυρίως στη συχνότητα των καταπτώσεων και στις κυκλοφοριακές συνθήκες του υπό εξέταση τμήματος της οδού.

Όλες οι παραπάνω μέθοδοι εκτίμησης της επικινδυνότητας και της διακινδύνευσης μίας κατάπτωσης σε μία οδική αρτηρία, παρέχουν τη δυνατότητα στους μηχανικούς να οδηγηθούν σε ασφαλή συμπεράσματα για την ανάγκη ή μη εφαρμογής κατάλληλων μέτρων προστασίας. Δεν αποτελούν ωστόσο εργαλεία επιλογής των μέτρων αυτών, παρά μόνο δίνουν τις κατευθύνσεις εκείνες πάνω στις οποίες θα βασιστούν οι μηχανικοί για τις αποφάσεις τους. Άλλωστε, διαφορετικά πρηνή, με ίδιο επίπεδο διακινδύνευσης ή/και επικινδυνότητας απαιτούν και διαφορετική προστασία, ανάλογα με τις ιδιαίτερες συνθήκες τις κάθε περιοχής.

Όσον αφορά το **δεύτερο σκέλος** της παρούσας εργασίας, εκτιμήθηκε το επίπεδο της επικινδυνότητας και της διακινδύνευσης σε δύο πρηνή, το πρώτο μεταξύ των Χ.Θ. 386+200 και 386+300 και το δεύτερο μεταξύ των Χ.Θ. 387+060 – 387+160. Τα δύο πρηνή επιλέχθηκε να εξεταστούν βάση των γεωλογικών και γεωμετρικών τους χαρακτηριστικών, καθώς και το ιστορικό καταπτώσεων στις συγκεκριμένες θέσεις, που τα καθιστά επίφοβα σε καταπτώσεις βραχοτεμαχών. Η επικινδυνότητά τους εκτιμήθηκε με τη βοήθεια των μεθόδων RHRS, NHI-RHRS, CRHRS, καθώς και με χρήση του προγράμματος Rocfall και εκτίμηση των επιπέδων της μέγιστης κινητικής ενέργειας. Η διακινδύνευσή τους εκτιμήθηκε με βάση τις μεθόδους FEDRO και QRA.

Για κάθε μέθοδο, μετά την εκτίμηση του επιπέδου της επικινδυνότητας ή της διακινδύνευσης, ακολούθησε ανάλυση ευαισθησίας, με σκοπό τον καθορισμό των ανώτερων και κατώτερων ορίων των αντίστοιχων εκτιμώμενων επιπέδων.

Για το πρηνές στη **Χ.Θ. 386+200 – 386+300**, η επικινδυνότητα, εκφρασμένη ως ποσοστό ανηγμένη σε κοινή μέγιστη βαθμολογία, εκτιμήθηκε μεταξύ 56% και 58% περίπου, σύμφωνα με τις μεθόδους RHRS, NHI-RHRS και CRHRS, θεωρώντας στην τελευταία μέθοδο ότι πρόκειται για ιζηματογενές πέτρωμα. Εάν κατά τη μέθοδο CRHRS γίνει θεώρηση κρυσταλλικού πετρώματος, τα αποτελέσματα είναι ελαφρώς χαμηλότερα. Σε κάθε περίπτωση, η επικινδυνότητα χαρακτηρίζεται ως μέτρια (οριακά υψηλή). Στα ίδια αποτελέσματα οδηγεί και η ανάλυση με χρήση του προγράμματος

Rocfall. Εκτιμήθηκε μέγιστη κινητική ενέργεια της τάξης των 700 – 4100 kJ, ανάλογα με τη περίοδο επαναφοράς και τον αντίστοιχο όγκο του καταπίπτοντος τεμάχους που θεωρήθηκε κάθε φορά (περίοδοι επαναφοράς 10, 30, 100 και 300 έτη). Για το σενάριο το 500 ετών, όπου θεωρήθηκε πολύ μεγάλος όγκος βραχόπτωσης, η ενέργεια υπολογίστηκε της τάξης των 41100kJ. Σε κάθε περίπτωση, η μέγιστη κινητική ενέργεια είναι μεγαλύτερη από τα 300kJ που προβλέπουν οι Ελβετικές προδιαγραφές ως όριο μεταξύ μέτριας και υψηλής επικινδυνότητας.

Στη συνέχεια εκτιμήθηκαν τα αντίστοιχα επίπεδα της διακινδύνευσης για το συγκεκριμένο πρυνές. Σύμφωνα με τη μέθοδο CRHRS, η διακινδύνευση κυμαίνεται μεταξύ 51-54%, που αντιστοιχεί σε πιθανότητα της τάξης $1,50 \times 10^{-6}$, σύμφωνα με τη μεθοδολογία της FEDRO, θεωρώντας μόνο το σενάριο της απευθείας πρόσκρουσης ενός βραχοτεμάχους σε ένα αυτοκίνητο, για περίοδο ελέγχου μέχρι 300 έτη. Ανάγοντας την πιθανότητα αυτή σε περίοδο επαναφοράς 10 ετών (της ίδιας τάξης μεγέθους δηλαδή με το διαθέσιμο ιστορικό καταπτώσεων) η αντίστοιχη πιθανότητα είναι της τάξης του $1,70 \times 10^{-7}$. Αντίστοιχα, σύμφωνα με τη μέθοδο QRA, η πιθανότητα ενός ατόμου να χάσει τη ζωή του, διερχόμενο από το συγκεκριμένο τμήμα της οδού είναι της τάξης του $5,70 \times 10^{-7}$. Η μεθοδολογία FEDRO δίνει συντηρητικότερα αποτελέσματα.

Συνεπώς, για το σενάριο των 300 ετών, εκτιμήθηκε, με βάση τη μεθοδολογία της FEDRO ότι η μεμονωμένη διακινδύνευση θανάτου είναι ίση με $1,50 \times 10^{-6}$ και αντιστοιχεί στην πιθανότητα ενός ατόμου να χάσει τη ζωή του διερχόμενο από τη Χ.Θ. 386+200 έως τη Χ.Θ. 386+300, κινούμενο με όχημα που συγκρούεται απευθείας με καταπίπτον βραχοτέμαχος.

Για το πρυνές στη **Χ.Θ. 387+060 – 387+160**, αντίστοιχα, η επικινδυνότητα εκτιμήθηκε μεταξύ 58% και 62% περίπου, σύμφωνα με τις μεθόδους RHRS, NHI-RHRS και CRHRS, θεωρώντας στην τελευταία μέθοδο ότι πρόκειται για ιζηματογενές πέτρωμα. Εάν κατά τη μέθοδο CRHRS γίνει θεώρηση κρυσταλλικού πετρώματος, τα αποτελέσματα είναι ελαφρώς χαμηλότερα. Σε κάθε περίπτωση, η επικινδυνότητα χαρακτηρίζεται ως (οριακά μέτρια έως) υψηλή. Κατά την ανάλυση με τη χρήση του προγράμματος Rocfall, η μέγιστη κινητική ενέργεια εκτιμήθηκε να κυμαίνεται μεταξύ 932 – 3835 kJ, ανάλογα με τη περίοδο επαναφοράς και τον αντίστοιχο όγκο του καταπίπτοντος τεμάχους που θεωρήθηκε κάθε φορά (περίοδοι επαναφοράς 10, 30, 100, 300 και 500 έτη). Και σε αυτή την περίπτωση, η μέγιστη κινητική ενέργεια είναι μεγαλύτερη από τα 300kJ που προβλέπουν οι Ελβετικές προδιαγραφές ως όριο μεταξύ μέτριας και υψηλής επικινδυνότητας.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα, με τα αντίστοιχα του προηγούμενου πρυνούς, παρατηρείται ότι η επικινδυνότητα στη Χ.Θ. 387+060 - 387+160 κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα.

Στη συνέχεια εκτιμήθηκαν τα αντίστοιχα επίπεδα της διακινδύνευσης για το συγκεκριμένο πρυνές. Σύμφωνα με τη μέθοδο CRHRS, η διακινδύνευση κυμαίνεται μεταξύ 53-55%, που αντιστοιχεί σε πιθανότητα της τάξης $5,00 \times 10^{-6}$, σύμφωνα με τη μεθοδολογία της FEDRO, θεωρώντας μόνο το σενάριο της απευθείας πρόσκρουσης ενός βραχοτεμάχους σε ένα αυτοκίνητο, για περίοδο ελέγχου μέχρι 300 έτη. Ανάγοντας την πιθανότητα αυτή σε περίοδο επαναφοράς 10 ετών, όπως και στην

προηγούμενη περίπτωση, η αντίστοιχη πιθανότητα είναι της τάξης του $2,50 \times 10^{-6}$. Αντίστοιχα, σύμφωνα με τη μέθοδο QRA, η πιθανότητα ενός ατόμου να χάσει τη ζωή του, διερχόμενο από το συγκεκριμένο τμήμα της οδού είναι της τάξης του $2,00 \times 10^{-7}$.

Αντίστοιχα με την προηγούμενη θέση που εξετάστηκε, **για το σενάριο των 300 ετών**, εκτιμήθηκε, με βάση τη μεθοδολογία της FEDRO ότι η μεμονωμένη διακινδύνευση θανάτου είναι ίση με $5,00 \times 10^{-6}$ και αντιστοιχεί στην πιθανότητα ενός ατόμου να χάσει τη ζωή του διερχόμενο από τη Χ.Θ. 387+060 έως τη Χ.Θ. 387+160, κινούμενο με όχημα που συγκρούεται απευθείας με καταπίπτον βραχοτέμαχος.

Και στις δύο περιπτώσεις, η εκτιμώμενη διακινδύνευση είναι μικρότερη από το ανώτερο αποδεκτό όριο του 1.0×10^{-5} που προβλέπεται από τις ελβετικές μεθοδολογίες. Ωστόσο, όπως έχει τονιστεί, η διακινδύνευση εκτιμήθηκε μόνο για το σενάριο της απευθείας σύγκρουσης ενός οχήματος με ένα βραχώδες τέμαχος, χωρίς να εξετάζονται πρόσθετα σενάρια. Εάν εκτιμηθεί η διακινδύνευση συνδυαστικών σεναρίων (πχ απευθείας σύγκρουση οχήματος με βράχο, επακόλουθο τροχαίο ατύχημα με όχημα που ακολουθεί, εναλλακτικά σενάρια μεγαλύτερου όγκου καταπτώσεων) η διακινδύνευση θα αυξηθεί και ενδέχεται να ξεπεράσει τα αποδεκτά όρια.

Συνεπώς, είναι απαραίτητη η λήψη μέτρων προστασίας από τις βραχοπτώσεις. Τέτοια ανάλογα μέτρα, είναι η καθαίρεση επισφαλών βράχων, η τοποθέτηση μεταλλικών φρακτών, η εφαρμογή αγκυρωμένων πλεγμάτων επί των πρανών, η κατασκευή στεγάστρων, επιβολή ειδικών συνθηκών κυκλοφορίας (ελάχιστη ταχύτητα, ικανή απόσταση οχημάτων, απαγόρευση στάθμευσης, κτλ), συστηματική ενόργανη παρακολούθηση και καθημερινή επιθεώρηση, διατήρηση σε καλή κατάσταση των εναλλακτικών οδικών λύσεων (Τσιαμπάος, 2010), όπως και έγινε σε σημαντικό βαθμό μετά το τραγικό γεγονός στις 17/12/2009. Φυσικά, η ολοκλήρωση της κατασκευής των σηράγγων, θα μειώσει σημαντικά τον όγκο διελεύσεων από το τμήμα αυτό της Ε.Ο., μειώνοντας πάρα πολύ τα αντίστοιχα επίπεδα διακινδύνευσης.

9. Βιβλιογραφία

Διεθνής Βιβλιογραφία

1. Abbruzzese, J.M., Sauthier, C., Labiouse, V., 2009, Considerations on Swiss methodologies for rock fall hazard mapping based on trajectory modeling, *Natural Hazards and Earth System Sciences (NHES)* 9, pp. 1095-1109
2. Australian Geomechanics Society (AGS), 2000, "Landslide risk management concepts and guidelines, Australian Geomechanics Society, Sub-committee of landslide risk management
3. Budetta, P., 2004, Assessment of Rockfall risk along roads, *Natural Hazards and Earth System Sciences (NHES)* 4, pp. 71–81
4. Bolin, H., Lide, C., Xuanming, P., Guanning, L., Xiaoting, C., Haogang, D., Tianci, L., 2009, Assessment of the risk of rockfalls in Wu Gorge, Three Gorges, China. *Landslides*, DOI 10.1007/s10346-009-0170-7, published online
5. Cain, S., 2004, "Rating Rockfall hazard in Tennessee", M.Sc thesis submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia
6. Chau, K., Wong, R.1, Liu, J., Lee, C, 2003, Rockfall Hazard Analysis for Hong Kong based on Rockfall inventory, *Rock Mech. Rock Engng.* 36), pp. 383–408
7. Corominas, J., Mova, J., 2008, A review of assessing landslide frequency for hazard zoning purposes. *Engineering Geology* 102, pp. 193–213
8. Federal Road Office (FEDRO), 2009, "Risk concept for natural hazards on national roads. Methodology for risk-based assessment, prevention and response to gravitative natural hazard on national roads", version 2009 V1.30, Confédération Suisse, ASTRA 89 001
9. Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z., 2008, Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning, *Engineering Geology* 102 pp. 85–98
10. FloodRiskNet Newsletter, 2003(2), pp. 6-8
11. Guzzetti, F., Reichenbach, P., Wieczorek, G, 2003, Rockfall hazard and risk assessment in the Yosemite Valley, California, USA , *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3, pp. 491–503
12. Hoek, E., 2006, Practical rock engineering .Available at Hoek's corner
13. Huang, S., Darrow, M., Calvin, P., 2009, Unstable Slope Management Program, Background Research and Program Inception, Phase I Final Report, Alaska Department of Transportation and Public Facilities, INE, Alaska
14. Koleini, M., Van Rooy, J.L., 2010, Falling Rock Hazard Index: a case study from the Marun Dam and power plant, south-western Iran, *Bull Eng Geol Environ* 70, pp. 279–290
15. Koukis, G., Tsiambaos, G., Sabatakakis, N., 1994, Slope movements in the Greek territory: A statistical approach, *Proceedings of the 7th International*

- Congress of the International Association of Engineering Geology, Lisboa, Portugal, 5-9 September 1994, Vol.7, pp. 4621 – 4628
16. Koukis, G., Tsiambaos, G., Sabatakakis, N., 1996, Landslides in Greece: Research evolution and quantitative analysis, Proceedings of 7th International symposium on landslides, Trondheim, Norway, 17-21 June, pp. 1935 – 1940
 17. Lainas, S., Koulouris, S., Vagenas, S., Depountis, N., Sabatakakis, N., Koukis, G., 2010, Earthquake-induced rockfalls in Santomeri village, Western Greece, Proceedings of the 12th International Congress, Patras, May, 2010, Bulletin of the Geological Society of Greece
 18. Marinos, P. and Rondoyanni, Th., 2005, The archaeological Site of Delphi, Greece: a Site Vulnerable to Earthquakes, Rockfalls and Landslides, “Landslides”, pp. 241-249.
 19. Marinos, P., Tsiambaos, G., Saroglou, H., Marinos, V., 2008, Rockfall hazard and risk for a high promontory: Monemvasia historical site, Greece, Proceedings of the 1st World Landslide Conference, Tokyo, Japan.
 20. Pantelidis, L, 2009, Rock slope stability assessment through rock mass classification systems, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 46, pp. 315–325
 21. Pierson, L., 1991. “The rockfall hazard rating system”. Oregon Department of Transportation
 22. Pierson, L., Vickle, R., 1993. “The rockfall hazard rating system. Participant’s Manual”. National Highway Institute, NHI course No.130220, FHWA SA-93-057
 23. Pina, L., 2008, Quantitative risk assessment of rockfall hazard in the Amalfi coastal road, Thesis, Universitat Politecnica de Catalunya. Departament d’Enginyeria del Terreny, Cartografica i Geofisica
 24. Rocscience, 2002, RocFall, Risk analyses of falling rocks on steep slopes, User’s Guide, Rocscience, Toronto
 25. Rocscience, 2003, Advanced Tutorial, article prepared for RocNews Fall (2003). Toronto, Ontario
 26. Russell, C., Santi, P, Higgins, J., 2008, “Modification and statistical analysis of the Colorado Rockfall hazard rating system”, Colorado Department of Transportation, DTD applied research and innovation branch, Report No. CDOT-2008-7
 27. Santi, M., Russell, C., Higgins, J., Spriet. J., 2009. Modification and statistical analysis of the Colorado Rockfall Hazard Rating System. Engineering Geology 104, pp. 55–65
 28. Saroglou, H., Marinos, V., Marinos, P., Tsiambaos, G., 2011, Rockfall hazard and risk assessment: an example from a high promontory at the historical site of Monemvasia, Greece, Natural Hazards and Earth System Sciences, Special Issue Geo-hydrological risk and town and country planning. – *Άρθρο υπό δημοσίευση*
 29. Singh, A., 2004, FRHI. A system to evaluate and mitigate Rockfall hazard in stable rock excavations. IE (I) Journal.CV, vol.85
 30. UNISDR, 2009. “Terminology on disaster risk reduction”. United Nations, Geneva

31. Vanderwater, C., Dunne, W., Mauldon, M., Drumm, E., Bateman, V., 2005. Classifying and assessing the geologic contribution to Rockfall hazard. Environmental & Engineering Geoscience, Vol XI, No2, pp. 141-154
32. Varnes, D.J., 1984. Landslide hazard zonation. A review of principles and practice. UNESCO, Paris
33. Washington State department of Transportation (WSDOT), 2010, "WSDOT's unstable slope management program"

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Βραχλιώτης, Σ., 2011. Προσομοίωση καταπτώσεων βράχων με υπολογιστικές μεθόδους σε συνθήκες στατικής φόρτισης. Εφαρμογή σε συγκεκριμένες θέσεις περιπτώσεων καταπτώσεων. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας, Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας και Γεωφυσικής, Τμήμα Γεωλογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Πατρών, (<http://nemertes.lis.upatras.gr/jsrui/handle/10889/4742>)
2. Γκαζέτας, Γ., Καβουνίδης, Σ., Ρόζος, Δ., Τσιαμπάος, Γ., 2010, Πόρισμα επιτροπής εμπειρογνομόνων για τις καταπτώσεις στα Τέμπη, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας
3. Ερευνητικό πρόγραμμα: "Γεωλογική-Γεωτεχνική Έρευνα και διατύπωση μέτρων στερέωσης ψηλών βραχωδών πρανών και υπερκείμενων τειχών Κάστρων και προστασίας υποκείμενων ιστορικών μνημείων, με εφαρμογή στο Κάστρο Μονεμβασίας. ΥΠ.ΠΟ. - Τομέας Γεωτεχνικής ΕΜΠ. 2010-2011."
4. Μπαλκτζής, Η., 2010, Η βραχώπωση της 17/12/09 στα Στενά των Τεμπών, σε σχέση με τις δονήσεις των ανατινάξεων διάνοιξης της νέας οδικής Σήραγγας, 6^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, ΤΕΕ, Βόλος
5. Ο.Κ., 2008, Μελέτη ευστάθειας πρανών στην κοιλάδα των Τεμπών, από Χ.Θ. 385+350 έως 390+350. Τεχνική Έκθεση, Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.
6. Τσαπάκης, Ι., 2005, Ευστάθεια βραχωδών πρανών – Το παράδειγμα της Μονεμβασίας, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Γεωτεχνικής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
7. Τσιαμπάος Γ., 2010, Βραχοπτώσεις Τεμπών 2009 – Πόρισμα Επιτροπής ΤΕΕ, Ειδική Ομιλία, 6^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής, Βόλος 2010
8. Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., 2006, Σχέδιο Διαχείρισης των λεκανών απορροής των ποταμών Αχελώου και Πηνειού Θεσσαλίας, (πηγή: <http://itia.ntua.gr>)
9. Χαραλάμπους, Σ., Καλογεράς, Ι., Στρατάκος, Ι., Σακελλαρίου, Μ., 2008, Μεθοδολογία τριδιάστατης ανάλυσης βραχοπτώσεων λόγω σεισμού. Εφαρμογή στο σεισμό της Λευκάδας 14/08/2003, M=6.2, 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Άρθρο 1892
10. Χαραλάμπους, Σ., Μάτζιαρης Β., Φερεντίνου, Μ., Σακελλαρίου, Μ., 2010, Τριδιάστατη Ανάλυση και Προσομοίωση Βραχοπτώσεων σε περιβάλλον GIS, για το Σχεδιασμό Προστατευτικών Μέτρων, 6^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, ΤΕΕ, Βόλος

Διαδίκτυο

1. <http://www.hse.gov.uk/risk/theory/alarplance.htm> (ημερομηνία επίσκεψης: 7/8/11)
2. http://www.rockscience.com/hoek/corner/Practical_Rock_Engineering.pdf (ημερομηνία επίσκεψης: 15/10/11)