

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σύνοψη.....	1
Περίληψη.....	2
Abstract.....	4
1 Εισαγωγή.....	6
2 Περιγραφή του Έργου.....	9
3 Γεωλογική Δομή Ευρύτερης Περιοχής.....	12
3.1 Γενικά στοιχεία.....	12
3.2 Ιόνια ζώνη.....	12
3.2.1 Γεωτεκτονική – στρωματογραφική εξέλιξη.....	12
3.2.2 Λιθοστρωματογραφικές ενότητες.....	13
3.3 Μορφολογικό ανάγλυφο.....	19
3.4 Υδρογραφικό δίκτυο.....	19
3.5 Υδρομετεωρολογικές συνθήκες.....	20
3.5.1 Θερμοκρασία αέρα.....	21
3.5.2 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.....	22
3.6 Παράγωγες διεργασίες αποδόμησης των σχηματισμών.....	23
3.7 Τεκτονικό καθεστώς.....	24
4 Σεισμικότητα – Σεισμική επικινδυνότητα.....	27
4.1 Γενικά στοιχεία.....	27
4.2 Σεισμική επικινδυνότητα.....	28
5 Τεχνικογεωλογική Συμπεριφορά Φλύσχη.....	32
5.1 Γενικά.....	32
5.2 Φλύσχης Δυτικής Ελλάδας.....	33
5.3 Φλύσχης Κεντρικής Ελλάδας.....	33
5.4 Φλύσχης Ανατολικής Ελλάδας.....	34
5.5 Ειδικότερα προβλήματα που παρουσιάστηκαν στο υπόγειο τμήμα κατά τη διάνοιξη της οδικής σήραγγας του Δρίσκου.....	35
6 Τεχνικογεωλογικές – Υδρογεωλογικές Συνθήκες των σχηματισμών της σιδηροδρομικής σήραγγας του Δρίσκου.....	38
6.1 Γενικά.....	38
6.2 Περιγραφή Γεωτεχνικής Έρευνας.....	38
6.3 Γεωτεχνική θεώρηση των επί μέρους λιθολογικών ενότητων.....	44
6.4 Υδρογεωλογική συμπεριφορά των σχηματισμών.....	52
6.5 Αστάθεια πρηνών στην περιοχή μελέτης.....	53
6.6 Αναμενόμενες τεχνικογεωλογικές συνθήκες κατά μήκος της σήραγγας.....	54
7 Στόμια Σιδηροδρομικής Σήραγγας Δρίσκου.....	59
7.1 Γενικά.....	59
7.2 Στόμιο εισόδου Χ.Θ. 73+893 (από Καλαμπάκα).....	59
7.3 Στόμιο εξόδου Χ.Θ. 79+985 (προς Ιωάννινα).....	63
7.4 Διαμόρφωση πρηνών εκσκαφής.....	65
7.5 Διαμόρφωση – αντιστήριξη μετώπου για διάτρηση της σήραγγας.....	65
8 Ευρωκώδικας 7.....	68

8.1	Γενικά.....	68
8.2	Το Σύστημα Ευρωκωδίκων και ο Ευρωκώδικας 7.....	68
8.3	Ευρωκώδικας 7 – Μέρος 1 : Γενικοί Κανόνες.....	70
8.4	Επιπτώσεις από την εισαγωγή του EN 1997-1 στο Γεωτεχνικό.....	71
8.5	Κεφάλαιο 1 Ευρωκώδικα 7 : Γενικά.....	72
8.6	Κεφάλαιο 2 Ευρωκώδικα 7: Αρχές Γεωτεχνικού.....	73
8.6.1	Χαρακτηριστικές τιμές και τιμές σχεδιασμού των δράσεων και των.....	73
9	Τιμές μηχανικών παραμέτρων των σχηματισμών της σήραγγας του Δρίσκου με βάση τον ευρωκώδικα 7.....	81
9.1	Γενικά στοιχεία.....	81
9.2	Τιμές γεωτεχνικού σχεδιασμού με βάση τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών.....	81
9.3	Αξιολόγηση εργαστηριακών δοκιμών βραχωδών σχηματισμών.....	81
9.3.1	Δοκιμές σε μονοαξονική θλίψη.....	82
9.3.2	Μέτρο ελαστικότητας E_t (εφαπτόμενο).....	86
9.3.3	Λόγος Poisson (ν).....	87
9.3.4	Διαστολή κατά την αστοχία.....	88
9.3.5	Δοκιμές διάτμησης σε φυσικές και τεχνητές ασυνέχειες.....	89
10	Εφαρμογή του προγράμματος Plaxis V9 Professional για την προσομοίωση των πρηνών των στομιών της σήραγγας.....	91
10.1	Γενικά στοιχεία – Περιγραφή προγράμματος.....	91
10.2	Εισαγωγή δεδομένων (Input).....	92
10.2.1	Γεωμετρική προσομοίωση.....	92
10.2.2	Προσομοίωση εδαφικού μέσου.....	96
10.2.3	Διακριτοποίηση μοντέλου προσομοίωσης.....	103
10.2.4	Αρχικές εντατικές συνθήκες.....	104
10.3	Υπολογισμοί (Calculations).....	106
10.4	Πρόγραμμα αποτελεσμάτων (output).....	112
10.5	Πρόγραμμα αποτελεσμάτων (curve).....	112
11	Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης.....	114
11.1	Γενικά στοιχεία.....	114
11.2	Αποτελέσματα αναλύσεων των πρηνών των στομιών εισόδου και εξόδου.....	117
11.2.1	Αναλύσεις πρηνούς στομιού εισόδου.....	117
11.2.2	Αναλύσεις πρηνούς στομιού εξόδου.....	145
11.2.3	Αναλύσεις πρηνούς εισόδου με αλλαγές στο μέτρο ελαστικότητας....	159
11.2.4	Ανάλυση πρηνούς εισόδου με αλλαγή στη γωνία τριβής.....	177
11.2.5	Αναλύσεις πλευρικών πρηνών εισόδου.....	180
11.2.6	Αναλύσεις πλευρικών πρηνών εξόδου.....	184
12	Συμπεράσματα.....	188
	Βιβλιογραφία.....	190
	Παράρτημα.....	192

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 3-1 : Θερμοκρασίες αέρα στο Μετεωρολογικό σταθμό Ιωαννίνων (Ε.Μ.Υ., 1978).....	21
Πίνακας 3-2 : Εποχιακές θερμοκρασίες αέρα στο Μ.Σ. Ιωαννίνων (Ε.Μ.Υ., 1978).....	21
Πίνακας 3-3 : Μέσα και μέγιστα μηνιαία ύψη ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στο σταθμό Ιωαννίνων (Ε.Μ.Υ. 1978).....	22
Πίνακας 3-4 : Εποχιακά ύψη ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στο Μετεωρολογικό σταθμό Ιωαννίνων (από καταγραφές της Ε.Μ.Υ., 1978).....	22
Πίνακας 4-1 : Κατάλογος σεισμών μεγέθους ≥ 5.5 της κλίμακας Richter για την περιοχή με συντεταγμένες 39.10° έως 40.10° γεωγραφικό πλάτος και 20.20° έως 21.40° γεωγραφικό μήκος.....	28
Πίνακας 8-1 : Τιμές παραμέτρου t_c της κατανομής Student.....	77
Πίνακας 9-1 : Ελάχιστος αριθμός δοκιμών για γεωτεχνικά έργα κατηγορίας 2 σύμφωνα με τον ευρωκώδικα 7	82
Πίνακας 9-2 : Μέση και τοπική τιμή μονοαξονικής αντοχής σύμφωνα με διερεύνηση τυχαίας μεταβολής	85
Πίνακας 9-3 : Μέση και τοπική τιμή μέτρου ελαστικότητας σύμφωνα με διερεύνηση τυχαίας μεταβολής	87
Πίνακας 9-4 : Τιμές διαστολής κατά την αστοχία σύμφωνα με τις εργαστηριακές δοκιμές.....	88
Πίνακας 9-5 : Μέγιστες και υπολειπόμενες τιμές για τον συντελεστή τριβής .	89
Πίνακας 9-6 : Μέση και τοπική τιμή συνοχής.....	89
Πίνακας 10-1 : Τιμές μηχανικών παραμέτρων που εισήχθησαν στο μοντέλο Mohr Coulomb για την προσομοίωση του πρηνούς του στομίου εισόδου....	101
Πίνακας 10-2 : Τιμές μηχανικών παραμέτρων που εισήχθησαν στο μοντέλο Jointed Rock για την προσομοίωση του πρηνούς του στομίου εισόδου.....	101
Πίνακας 10-3 : Τιμές μηχανικών παραμέτρων που εισήχθησαν στο μοντέλο Mohr Coulomb για την προσομοίωση του πρηνούς του στομίου εξόδου	101
Πίνακας 11-1 : Τιμές συνολικών μετακινήσεων του πρηνούς για κάθε φάση των αναλύσεων του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model.....	124
Πίνακας 11-2 : Τιμές συνολικών μετακινήσεων του πρηνούς για κάθε φάση των αναλύσεων του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model	132
Πίνακας 11-3 : Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3 ^{ης} φάσης της ανάλυσης 1 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model	141
Πίνακας 11-4 : Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3 ^{ης} φάσης της ανάλυσης 2 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model	142
Πίνακας 11-5 : Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3 ^{ης} φάσης της ανάλυσης 3 εισόδου με Jointed Rock Model.....	142
Πίνακας 11-6 : Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3 ^{ης} φάσης της ανάλυσης 4 εισόδου με Jointed Rock Model.....	142
Πίνακας 11-7 : Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3 ^{ης} φάσης της ανάλυσης 5 εισόδου με Jointed Rock Model.....	142
Πίνακας 11-8 : Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3 ^{ης} φάσης της ανάλυσης 1 εισόδου με Mohr Coulomb Model	143
Πίνακας 11-9 : Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3 ^{ης} φάσης της ανάλυσης 2 εισόδου με Mohr Coulomb Model	143

Πίνακας 11-10: Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3 ^{ης} φάσης της ανάλυσης 3 εισόδου με Mohr Coulomb Model.....	143
Πίνακας 11-11: Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3 ^{ης} φάσης της ανάλυσης 4 εισόδου με Mohr Coulomb Model.....	144
Πίνακας 11-12: Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3 ^{ης} φάσης της ανάλυσης 5 εισόδου με Mohr Coulomb Model.....	144
Πίνακας 11-13: Τιμές συντελεστών ασφαλείας για κάθε φάση εκσκαφής των αναλύσεων του πρανούς του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model	144
Πίνακας 11-14: Τιμές συντελεστών ασφαλείας για κάθε φάση εκσκαφής των αναλύσεων του πρανούς του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model.....	145
Πίνακας 11-15: Τιμές συνολικών μετακινήσεων του πρανούς για κάθε φάση των αναλύσεων του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model.....	153
Πίνακας 11-16: Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3 ^{ης} φάσης της ανάλυσης 1 εξόδου με Mohr Coulomb Model	157
Πίνακας 11-17: Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3 ^{ης} φάσης της ανάλυσης 2 εξόδου με Mohr Coulomb Model	158
Πίνακας 11-18: Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3 ^{ης} φάσης της ανάλυσης 3 εξόδου με Mohr Coulomb Model	158
Πίνακας 11-19: Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3 ^{ης} φάσης της ανάλυσης 4 εξόδου με Mohr Coulomb Model	158
Πίνακας 11-20: Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3 ^{ης} φάσης της ανάλυσης 5 εξόδου με Mohr Coulomb Model	158
Πίνακας 11-21: Τιμές συντελεστών ασφαλείας για κάθε φάση εκσκαφής των αναλύσεων του πρανούς του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model.....	159
Πίνακας 11-22: Τιμές συνολικών μετακινήσεων του πρανούς για κάθε φάση των αναλύσεων του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και μεταβαλλόμενο μέτρο ελαστικότητας.....	165
Πίνακας 11-23: Τιμές συνολικών μετακινήσεων του πρανούς για κάθε φάση των αναλύσεων του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model και μεταβαλλόμενο μέτρο ελαστικότητας.....	172
Πίνακας 11-24: Τιμές συντελεστών ασφαλείας για κάθε φάση εκσκαφής των αναλύσεων του πρανούς του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και μεταβαλλόμενο το μέτρο ελαστικότητας	176
Πίνακας 11-25: Τιμές συντελεστών ασφαλείας για κάθε φάση εκσκαφής των αναλύσεων του πρανούς του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model και μεταβαλλόμενο το μέτρο ελαστικότητας	176
Πίνακας 11-26: Τιμές συνολικών μετακινήσεων του πρανούς για κάθε φάση της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και μειωμένη γωνία τριβής	178
Πίνακας 11-27: Τιμές συντελεστών ασφαλείας για κάθε φάση εκσκαφής της ανάλυσης του πρανούς του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και μειωμένη γωνία τριβής	179
Πίνακας 11-28: Τιμές συνολικών μετακινήσεων των πλευρικών πρανών για κάθε φάση της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model	183
Πίνακας 11-29: Τιμές συνολικών μετακινήσεων των πλευρικών πρανών για κάθε φάση της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model	183
Πίνακας 11-30: Τιμές συντελεστών ασφαλείας για κάθε φάση εκσκαφής της ανάλυσης των πλευρικών του πρανούς του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model	183

Πίνακας 11-31: Τιμές συντελεστών ασφαλείας για κάθε φάση εκσκαφής της ανάλυσης των πλευρικών του πρηνούς του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model	183
Πίνακας 11-32: Τιμές συνολικών μετακινήσεων των πλευρικών πρηνών για κάθε φάση της ανάλυσης του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model.....	186
Πίνακας 11-33: Τιμές συντελεστών ασφαλείας για κάθε φάση εκσκαφής της ανάλυσης των πλευρικών του πρηνούς του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model	186

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 5-1 : Πτυχωμένος φλύσχη, με αυξημένη ή και χωρίς αποσάθρωση (Ρόζος, 2007).....	33
Εικόνα 5-2: Φλύσχη με αυξημένου πάχους ψαμμιτικές ενστρώσεις (Ρόζος, 2007).....	34
Εικόνα 5-3: Αποσαθρωμένος φλύσχη (Ρόζος, 2007).....	35
Εικόνα 6-1 : Φωτογραφία από γεώτρηση Σ34Κ-2.....	39
Εικόνα 6-2 : Φωτογραφία από γεώτρηση Σ34Κ-3.....	40
Εικόνα 6-3 : Φωτογραφία από γεώτρηση Σ34Κ-8.....	40
Εικόνα 6-4 : Φωτογραφία από γεώτρηση Σ34Κ-9.....	41
Εικόνα 6-5 : Φωτογραφία από γεώτρηση Σ34Κ-10.....	42
Εικόνα 6-6 : Φωτογραφία από γεώτρηση Σ34Κ-11.....	42
Εικόνα 6-7 : Υλικά επιχωματώσεων της Εγνατίας οδού στην περιοχή Βασιλικής.....	45
Εικόνα 6-8 : Υλικά του μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη που, στη συγκεκριμένη θέση, αποκτούν αυξημένο πάχος και εμφανίζουν ισχυρή διάβρωση.....	45
Εικόνα 6-9 : Αποψη των αλλουβιακών αποθέσεων που δομούν την πεδιάδα της Βασιλικής.....	46
Εικόνα 6-10 : Πλευρικά κορήματα σε ανάμιξη με υλικά αποσάθρωσης του φλύσχη, στην περιοχή του οικισμού της Βασιλικής.....	47
Εικόνα 6-11 : Υπολειμματικά υλικά παλαιάς αναβαθμίδας του Αράχθου στην περιοχή της εισόδου.....	47
Εικόνα 6-12: Φλύσχη με εναλλαγές ιλυολίθων και μικρού πάχους ψαμμιτών, με επικράτηση των πρώτων.....	48
Εικόνα 6-13: Φλύσχη με επικράτηση του μελανότεφρου ιλυολίθου.....	49
Εικόνα 6-14 : Χαρακτηριστική όψη της ψαμμιτικής φάσης του φλύσχη (φωτογραφία εκτός της στενής περιοχής μελέτης).....	50
Εικόνα 6-15 : Η ψαμμιτική φάση του φλύσχη σε όρυγμα για την κατασκευή cut & cover της Εγνατίας. Διακρίνεται η ισχυρή συγκρότηση του σχηματισμού, τόσο στα πρηνή, όσο και στα ευσταθή υπολείμματα πετρώματος μεταξύ διαδοχικών πασσάλων της ενδιάμεσης συστοιχίας.....	50
Εικόνα 6-16 : «Φέτα» ψαμμιτικού φλύσχη (1.00 x 6.00 x 0.40), που διατηρείται ευσταθής μεταξύ δύο πασσάλων της ενδιάμεσης συστοιχίας. Από το άνοιγμα στη βάση διακρίνεται το απέναντι διάζωμα της υπό κατασκευήν οδού.....	50
Εικόνα 6-17 : Η φάση του φλύσχη με επικράτηση των ψαμμιτών, στην επαφή της με την υπερκείμενη, κατεξοχήν ιλυολιθική φάση.....	51
Εικόνα 6-18 : Ασβεστολιθικό ράκος στα δυτικά πρηνή του Δρίσκου.....	52
Εικόνα 6-19 : Επιφανειακή θραύση πρηνούς στον ιλυολιθικό φλύσχη της ευρύτερης περιοχής εισόδου της σήραγγας. Ο ιδιαίτερα ευνοϊκός προσανατολισμός των ψαμμιτικών στρώσεων, έχει αποτρέψει την πλευρική επέκταση του φαινομένου, όχι όμως και την αστοχία του ενδιάμεσου ιλυολιθικού υλικού.....	54
Εικόνα 7-1 : Περιοχή δημιουργίας στομίου εισόδου της σιδηροδρομικής σήραγγας του Δρίσκου στη Χ.Θ. 73+893 (από Καλαμπάκα).....	62
Εικόνα 7-2 : Περιοχή δημιουργίας στομίου εξόδου της σιδηροδρομικής σήραγγας του Δρίσκου στη Χ.Θ. 79+985 (προς Ιωάννινα).....	64

Εικόνα 10-1 : Γραμμή εργαλείων και εντολών του προγράμματος εισαγωγής δεδομένων.....	92
Εικόνα 10-2 : Παράθυρο γενικών ρυθμίσεων του προγράμματος <i>Plaxis</i>	92
Εικόνα 10-3 : Παράδειγμα γενικών ρυθμίσεων για την προσομοίωση του πρανούς των στομίων	94
Εικόνα 10-4 : Παράθυρο εισαγωγής στοιχείων μοντέλου <i>Mohr Coulomb</i> και συνθηκών προσομοίωσης, καθώς και φυσικών χαρακτηριστικών	98
Εικόνα 10-5 : Παράθυρο εισαγωγής στοιχείων μοντέλου <i>Jointed Rock</i> και συνθηκών προσομοίωσης, καθώς και φυσικών χαρακτηριστικών	100
Εικόνα 10-6 : Παράθυρο εισαγωγής μηχανικών ιδιοτήτων του σχηματισμού που συναντάται στην είσοδο της σήραγγας	101
Εικόνα 10-7 : Παράθυρο εισαγωγής μηχανικών ιδιοτήτων αγκυρίου	102
Εικόνα 10-8 : Παράθυρο εισαγωγής μηχανικών ιδιοτήτων εκτοξευόμενου σκυροδέματος	103
Εικόνα 10-9 : Παράθυρο επιλογής τιμής ειδικού βάρους του νερού.....	105
Εικόνα 10-10 : Παράθυρο προβολής τιμής του συντελεστή ασφάλειας έναντι αστοχίας <i>SF</i> μετά από την εκτέλεση υπολογισμών.....	107
Εικόνα 10-11 : Παράδειγμα εισαγωγής της διαδικασίας <i>gravity loading</i> στο στάδιο των υπολογισμών	111
Εικόνα 10-12 : Παράθυρο εισαγωγής των κατασκευαστικών φάσεων στο υποπρόγραμμα των υπολογισμών	112

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 2-1 : Θέση της χάραξης της σιδηροδρομικής γραμμής στην ευρύτερη περιοχή Καλαμπάκας – Ιωαννίνων (Α.Δ.Κ, 2008)	9
Σχήμα 3-1 : Απόσπασμα Γεωλογικού χάρτη της περιοχής του έργου (Φύλλο Ιωάννινα και Φύλλο Πράμαντα, Ι.Γ.Μ.Ε., κλίμακα 1: 50.000)	15
Σχήμα 3-2 : Υπόμνημα των σχηματισμών του Γεωλογικού χάρτη του σχήματος 2-1 (Ι.Γ.Μ.Ε.).....	15
Σχήμα 3-3 : Υπόμνημα των σχηματισμών του Γεωλογικού χάρτη του σχήματος 2-1 (Ι.Γ.Μ.Ε.).....	16
Σχήμα 3-4 : Υπόμνημα των σχηματισμών του Γεωλογικού χάρτη του σχήματος 2-1 (Ι.Γ.Μ.Ε.).....	17
Σχήμα 3-5 : Υπόμνημα των σχηματισμών του Γεωλογικού χάρτη του σχήματος 2-1 (Ι.Γ.Μ.Ε.).....	18
Σχήμα 3-6 : Πορεία μέσης μηνιαίας, μέσης μέγιστης, μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας και μέσου θερμοκρασιακού εύρους, στο σταθμό Ιωαννίνων ...	21
Σχήμα 3-7 : Πορεία μέσου μηνιαίου ύψους ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και μέσου μεγίστου 24ώρου, στην περιοχή του σταθμού Ιωαννίνων	22
Σχήμα 4-1 : Διάκριση του ελληνικού χώρου σε κατηγορίες (III, II, I) ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας, σύμφωνα με την τροποποίηση του ΕΑΚ2000 το 2003	29
Σχήμα 6-1 : Απεικόνιση της θέσης των εκτελεσμένων γετρήσεων του Α΄ σταδίου, κατά μήκος της σήραγγας (γεωτεχνική μηκοτομή)	43
Σχήμα 6-2 : Υπόμνημα της γεωτεχνικής μηκοτομής του σχήματος 6-1	43
Σχήμα 8-1 : Επιλογή χαρακτηριστικών τιμών.....	77
Σχήμα 8-2 : Χαρακτηριστικές τιμές c_u για διάφορες περιπτώσεις σχεδιασμού	78
Σχήμα 8-3 : Διαδικασία για τον προσδιορισμό τιμών σχεδιασμού από αποτελέσματα δοκιμών	79
Σχήμα 9-1 : Μεταβολή μέσης αντοχής των δοκιμών της περιοχής επιρροής της σήραγγας σε σχέση με το βάθος της Κ/Σ (Α.Δ.Κ, 2008).....	84
Σχήμα 9-2 : Μεταβολή μέτρου ελαστικότητας συναρτήσει του βάθους Κ/Σ (Α.Δ.Κ, 2008)	86
Σχήμα 9-3 : Τιμές λόγου Poisson για κάθε γεώτρηση (Α.Δ.Κ, 2008).....	88
Σχήμα 10-1 : Σημεία υπολογισμού των τάσεων και κόμβοι που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων	93
Σχήμα 10-2 : Χαρακτηριστικές περιπτώσεις εφαρμογής των γεωυφασμάτων κατά τον σχεδιασμό μίας τομής με το πρόγραμμα Plaxis.....	94
Σχήμα 10-3 : Προβολή γεωμετρίας πρανούς του στομίου εισόδου της σήραγγας	95
Σχήμα 10-4 : Προβολή γεωμετρίας πρανούς του στομίου εξόδου της σήραγγας	95
Σχήμα 10-5 : Προβολή γεωμετρίας πλευρικών πρανών του στομίου εισόδου της σήραγγας	95
Σχήμα 10-6 : Προβολή γεωμετρίας πλευρικών πρανών του στομίου εξόδου της σήραγγας	95
Σχήμα 10-7 : Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων του ελαστικού – τέλεια πλαστικού μοντέλου κατά Mohr-Coulomb	96

Σχήμα 10-8: Προβολή παραθύρου εισαγωγής εδαφικού σχηματισμού στην προσομοίωση που χρησιμοποιήθηκε	97
Σχήμα 10-9 : Προβολή πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων της ανάλυσης 1 για την είσοδο.....	104
Σχήμα 10-10: Προβολή στάθμης υδροφόρου ορίζοντα στο κατώτερο σημείο της τομής για την είσοδο	105
Σχήμα 10-11: Παράδειγμα της 1 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς του στομίου εισόδου μέχρι την απαιτούμενη στάθμη, μαζί με τοποθέτηση αγκυρίων και εκτοξευόμενου σκυροδέματος.....	110
Σχήμα 10-12 : Παράδειγμα της 2 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς του στομίου εισόδου μέχρι την απαιτούμενη στάθμη, μαζί με τοποθέτηση αγκυρίων και εκτοξευόμενου σκυροδέματος.....	110
Σχήμα 10-13: Παράδειγμα της 3 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς του στομίου εισόδου μέχρι την απαιτούμενη στάθμη, μαζί με τοποθέτηση αγκυρίων και εκτοξευόμενου σκυροδέματος.....	111
Σχήμα 11-1: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 1 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model	117
Σχήμα 11-2: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 1 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model	118
Σχήμα 11-3: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 1 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model	118
Σχήμα 11-4: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 2 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model	119
Σχήμα 11-5: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 2 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model	119
Σχήμα 11-6: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 2 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model	119
Σχήμα 11-7: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 3 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model	120
Σχήμα 11-8: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 3 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model	120
Σχήμα 11-9: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 3 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model	121
Σχήμα 11-10: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 4 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model	121
Σχήμα 11-11: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 4 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model	122
Σχήμα 11-12: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 4 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model	122
Σχήμα 11-13: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 5 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model	123
Σχήμα 11-14: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 5 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model	123
Σχήμα 11-15: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 5 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model	123
Σχήμα 11-16: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 1 του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model	125
Σχήμα 11-17: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 1 του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model	125

Σχήμα 11-54: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης 3 του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model.....	149
Σχήμα 11-55: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης 3 του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model.....	149
Σχήμα 11-56: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης 4 του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model.....	150
Σχήμα 11-57: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης 4 του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model.....	150
Σχήμα 11-58: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης 4 του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model.....	151
Σχήμα 11-59: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης 5 του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model.....	151
Σχήμα 11-60: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης 5 του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model.....	152
Σχήμα 11-61: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης 5 του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model.....	152
Σχήμα 11-62: Διάγραμμα μετακινήσεων των κεφαλών αγκυριών που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε φάση εκσκαφής συναρτήσει των υπολογιστικών βημάτων του προγράμματος (ανάλυση 1 πρσανούς στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model).....	154
Σχήμα 11-63: Διάγραμμα μετακινήσεων των κεφαλών αγκυριών που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε φάση εκσκαφής συναρτήσει των υπολογιστικών βημάτων του προγράμματος (ανάλυση 4 πρσανούς στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model).....	154
Σχήμα 11-64: Διάγραμμα μετακινήσεων των κεφαλών αγκυριών που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε φάση εκσκαφής συναρτήσει των υπολογιστικών βημάτων του προγράμματος (ανάλυση 5 πρσανούς στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model).....	155
Σχήμα 11-65: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3 ^{ης} φάσης της ανάλυσης 1 του πρσανούς του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model	155
Σχήμα 11-66: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3 ^{ης} φάσης της ανάλυσης 2 του πρσανούς του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model	156
Σχήμα 11-67: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3 ^{ης} φάσης της ανάλυσης 3 του πρσανούς του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model	156
Σχήμα 11-68: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3 ^{ης} φάσης της ανάλυσης 4 του πρσανούς του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model	156
Σχήμα 11-69: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3 ^{ης} φάσης της ανάλυσης 5 του πρσανούς του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model	157
Σχήμα 11-70: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και μέτρο ελαστικότητας 850MPa	160
Σχήμα 11-71: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και μέτρο ελαστικότητας 850MPa	160

Σχήμα 11-102: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρानούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και γωνία τριβής 19 ⁰	177
Σχήμα 11-103: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρानούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και γωνία τριβής 19 ⁰	177
Σχήμα 11-104: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρानούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και γωνία τριβής 19 ⁰	178
Σχήμα 11-105: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3 ^{ης} φάσης της ανάλυσης πρानούς του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model και γωνία τριβής 19 ⁰	179
Σχήμα 11-106: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρानούς της ανάλυσης των πλευρικών πρानών του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model	180
Σχήμα 11-107: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρानούς της ανάλυσης των πλευρικών πρανών του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model	180
Σχήμα 11-108: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρानούς της ανάλυσης των πλευρικών πρανών του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model	181
Σχήμα 11-109: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρानούς της ανάλυσης των πλευρικών πρανών του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model	181
Σχήμα 11-110: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρानούς της ανάλυσης των πλευρικών πρανών του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model	182
Σχήμα 11-111: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρानούς της ανάλυσης των πλευρικών πρανών του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model	182
Σχήμα 11-112: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρानούς της ανάλυσης των πλευρικών πρανών του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model	184
Σχήμα 11-113: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρानούς της ανάλυσης των πλευρικών πρανών του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model	185
Σχήμα 11-114: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3 ^{ης} φάσης εκσκαφής του πρानούς της ανάλυσης των πλευρικών πρανών του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model	185

Σύνοψη

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι να αξιολογήσει μέσα από αποτελέσματα των διδιάστατων αναλύσεων με πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων τις καταλληλότερες μεθόδους ευστάθειας του πρανούς των δυο στομιών για την κατασκευή της νέας μονής σιδηροδρομικής σήραγγας του Δρίσκου. Στην περιοχή της εισόδου εντοπίζονται σχηματισμοί του φλύσχη με επικράτηση των ιλυολίθων, ενώ στην περιοχή της εξόδου εντοπίζονται σχηματισμοί του φλύσχη με επικράτηση αδρομερέστερων φάσεων, ενώ υπάρχει και μια ζώνη ισχυρής τεκτονικής καταπόνησης και κερματισμού.

Οι αναλύσεις αυτές έγιναν για την διερεύνηση της επίδρασης, τόσο του αριθμού, όσο και του μήκους των αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης, σε καθεμιά από τις τρεις φάσεις εκσκαφής, στην ευστάθειά του πρανούς των δυο στομιών της σήραγγας. Επιπλέον, έγινε μελέτη της επιρροής της χρήσης διαφορετικού μέτρου ελαστικότητας του εδαφικού σχηματισμού, στην ευστάθεια του πρανούς του στομίου εισόδου, καθώς και της μειωμένης γωνίας τριβής.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας του πρανούς των δυο στομιών, εισόδου και εξόδου, της υπό μελέτη σιδηροδρομικής γραμμής Καλαμπάκα – Ιωάννινα – Ηγουμενίτσα και συγκεκριμένα για το τμήμα Καλαμπάκα – Ιωάννινα. Η διερεύνηση πραγματοποιήθηκε με την διεξαγωγή διδιάστατων παραμετρικών αναλύσεων.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια αναλυτική εισαγωγή στο αντικείμενο της παρούσας εργασίας και στο σκοπό της διεξαγωγής της. Στα επόμενα τρία κεφάλαια περιγράφεται η θέση της χάραξης στην οποία θα κατασκευαστεί η νέα σιδηροδρομική γραμμή, η γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής, καθώς και σεισμικότητα της περιοχής, αντίστοιχα.

Το πέμπτο κεφάλαιο αναφέρεται στην τεχνικογεωλογική συμπεριφορά του φλύσχη και τα ειδικότερα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την διάνοιξη του υπόγειου τμήματος της οδικής σήραγγας του Δρίσκου. Στο έκτο κεφάλαιο παρατίθενται πληροφορίες για τις τεχνικογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, με βάση τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών της γεωτεχνικής μελέτης.

Στο επόμενο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας δίνονται πληροφορίες για τον τρόπο δημιουργίας των δυο στομιών της σήραγγας. Στα επόμενα δυο κεφάλαια γίνεται αναφορά στις γενικές αρχές και τους κανόνες του ευρωκώδικα 7, καθώς και στις τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού, οι οποίες υπολογίστηκαν στη μελέτη βασιζόμενες στον ευρωκώδικα, αντίστοιχα.

Στο ένατο κεφάλαιο δίνονται αναλυτικές πληροφορίες για το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων Plaxis 2D V9.0 Professional, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την αριθμητική προσομοίωση των πρανών των δυο στομιών. Επιπλέον, αναλύονται τα βήματα των παραμετρικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν για την εφαρμογή του συγκεκριμένου προγράμματος. Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτών των αναλύσεων. Στο συγκεκριμένο αναλυτικό τμήμα της εργασίας διερευνήθηκε η συμπεριφορά των πρανών στα μέτωπα των δυο στομιών, καθώς και των πλευρικών πρανών όπως αυτά διαμορφώνονται κατά την εκσκαφή τους.

Μελετήθηκε η επίδραση τόσο του αριθμού όσο και του μήκους των αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης, σε καθεμιά από τις τρεις φάσεις εκσκαφής, στην ευστάθειά του πρανούς των δυο στομιών της σήραγγας. Επιπλέον, έγινε μελέτη της επιρροής της χρήσης διαφορετικού μέτρου ελαστικότητας του εδαφικού σχηματισμού, στην

ευστάθεια του πρηνούς του στομίου εισόδου, καθώς και της μειωμένης γωνίας τριβής. Εκτός των άλλων μελετήθηκε και ο συντελεστής ασφάλειας κάθε φάσης εκσκαφής των πρηνών.

Abstract

The purpose of this thesis is the investigation of conditions of stability of the slope of the two openings, entry and exit of the railway line under study Kalambaka - Ioannina - Igoumenitsa namely section Kalambaka - Ioannina. The investigation carried out by conducting bivariate parametric analysis.

The first chapter gives a detailed introduction to the subject of this work and the purpose of conducting it. The next three chapters describe the location of the development which would construct new rail line, the geology of the region, and seismicity of the region, respectively.

The fifth chapter deals Engineering geological behavior of the flysch and the specific problems encountered during the excavation of the underground section of road tunnel Driskos. The sixth chapter provides information on the technical conditions prevailing in the region, based on laboratory test results of geotechnical study.

In the next chapter of this work are given information about how the creation of two orifices of the tunnel. The next two chapters refer to general principles and rules of Eurocode 7, and the values of design parameters are calculated in the study based on Eurocode respectively.

The ninth chapter provides detailed information on the finite element program Plaxis 2D V9.0 Professional, which was used for the numerical simulation of the slopes of the two orifices. Furthermore, analyzing the steps of the parametric analysis performed for the implementation of the program. The next section presents the results of these tests. In this section analytical work exploring the behavior of the banks in the fronts of the two openings and side slopes as they are formed during the excavation

We studied the effect of both the number and length of anchor bolt whole body in each of the three phases of excavation, the stability of the slope of the two orifices of the tunnel. Furthermore, we studied the influence of using different modulus of soil formation, the stability of the slope of the inlet and the reduced friction angle. Among others studied the safety factor for each phase of the excavation slopes.

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1 Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων» στη Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και αφορά στη διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας του πρσανούς των δυο στομιών (εισόδου και εξόδου), της υπό μελέτης σιδηροδρομικής σήραγγας του Δρίσκου.

Αναλυτικότερα στο ειδικό κομμάτι της εργασίας αυτής παρουσιάζονται η διαδικασία και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε προκειμένου να διερευνηθεί η απόκριση των εδαφικών σχηματισμών που επικρατούν στην περιοχή του Δρίσκου, κατά την εκσκαφή των πρσανών των δυο στομιών μέχρι την απαιτούμενη στάθμη για την κατασκευή της σήραγγας. Η ύπαρξη δεδομένων από ειδικές εργαστηριακές δοκιμές που είχαν εκτελεστεί από τον μελετητή του έργου για τους σχηματισμούς του Δρίσκου, συνέβαλε στον προσδιορισμό των μηχανικών τους ιδιοτήτων και τον προσδιορισμό των καταστατικών νόμων. Ο ακριβής προσδιορισμός των στοιχείων αυτών, σε συνδυασμό με τις υπολογιστικές δυνατότητες του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων Plaxis, κατέστησαν εφικτή τη διεξαγωγή μίας σειράς παραμετρικών διδιάστατων αναλύσεων με ελεγχόμενα αποτελέσματα. Η ψηφιοποίηση της γεωμετρίας των τομών πραγματοποιήθηκε με κύριο γνώμονα την ακριβή απεικόνιση των πραγματικών γεωλογικών σχηματισμών. Επιπλέον, η προσομοίωση διεξήχθη σε καθεστώς επίπεδης παραμόρφωσης.

Οι διατομές που επιλέχθηκαν για τις αναλύσεις θεωρούνται ως αντιπροσωπευτικές των συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή εισόδου που βρίσκεται στη Χ.Θ. 73+893 και τη περιοχή εξόδου στη Χ.Θ. 79+985 της χάραξης του τμήματος Καλαμπάκα – Ιωάννινα. Στην περιοχή της εισόδου εντοπίζονται σχηματισμοί του φλύσχη με επικράτηση των ιλυολίθων, ενώ στην περιοχή της εξόδου εντοπίζονται σχηματισμοί του φλύσχη με επικράτηση των αδρομερών και υπάρχει και μια ζώνη ισχυρής τεκτονικής καταπόνησης και κερματισμού.

Οι διδιάστατες αναλύσεις της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκαν με σκοπό τη διεξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την :

1. Επίδραση του αριθμού και του μήκους των αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης για την ευστάθειά του πρσανούς των δυο στομιών της σήραγγας.
2. Σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή των δυο καταστατικών νόμων Jointed Rock και Mohr Coulomb του προγράμματος Plaxis για την ευστάθεια του πρσανούς του στομιού εισόδου.

Μορφοποιήθηκε: Με αρίθμηση + Επίπεδο: 1 + Στυλ αρίθμησης: 1, 2, 3, ... + Έναρξη από: 1 + Στοιχισή: Αριστερά + Στοιχισή: 0,63 εκ. + Εσοχή: 1,27 εκ., Σηλοθέτες: Όχι κατά 1,27 εκ.

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή

3. Επίδραση των τιμών του μέτρου ελαστικότητας του εδαφικού σχηματισμού στην ευστάθεια του πρανούς του στομίου εισόδου.
4. Επιρροή των τιμών της γωνίας τριβής στην παραμόρφωση του πρανούς της εισόδου κατά τις διάφορες φάσεις εκσκαφής.

Κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκαν παραμετρικές αναλύσεις με διαφορετικό αριθμό και διαφορετικά μήκη αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης (8m, 10m, 12m, 14m) για καθεμιά από τις τρεις φάσεις εκσκαφής κάθε στομίου. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν πέντε διαφορετικές αναλύσεις ευστάθειας του πρανούς του στομίου εισόδου με κάθε ένα από τα καταστατικά μοντέλα Jointed Rock και Mohr-Coulomb. Για το στόμιο εξόδου της σήραγγας διεξήχθησαν οι ίδιες πέντε αναλύσεις με τη χρήση μόνο του μοντέλου Mohr-Coulomb.

Επιπλέον, εξετάστηκε η ευστάθεια των πλευρικών πρανών μέσω δυο αναλύσεων για τα πρανή της εισόδου (Jointed Rock και Mohr-Coulomb) και μέσω μιας ανάλυσης για τα πρανή της εξόδου με χρήση μόνο εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Εκτός από τις παραπάνω αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν και επιπλέον πέντε παραμετρικές αναλύσεις για το πρανές του στομίου εισόδου. Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν τέσσερις αναλύσεις με διαφορετικά μέτρα ελαστικότητας (850MPa, 2000MPa, 2500MPa, 3000MPa) με κάθε ένα από τα μοντέλα Jointed Rock και Mohr-Coulomb.

Η πέμπτη ανάλυση για το πρανές της εισόδου πραγματοποιήθηκε με γωνία εσωτερικής τριβής $\varphi=19^\circ$ χρησιμοποιώντας το μοντέλο Jointed Rock. Ο σκοπός εκτέλεσης αυτής της παραμετρικής ανάλυσης ήταν η διερεύνηση της συμπεριφοράς του αποσαθρωμένου φλύσχη κοντά στην επιφάνεια κατά τις διάφορες φάσεις εκσκαφής του στομίου εισόδου.

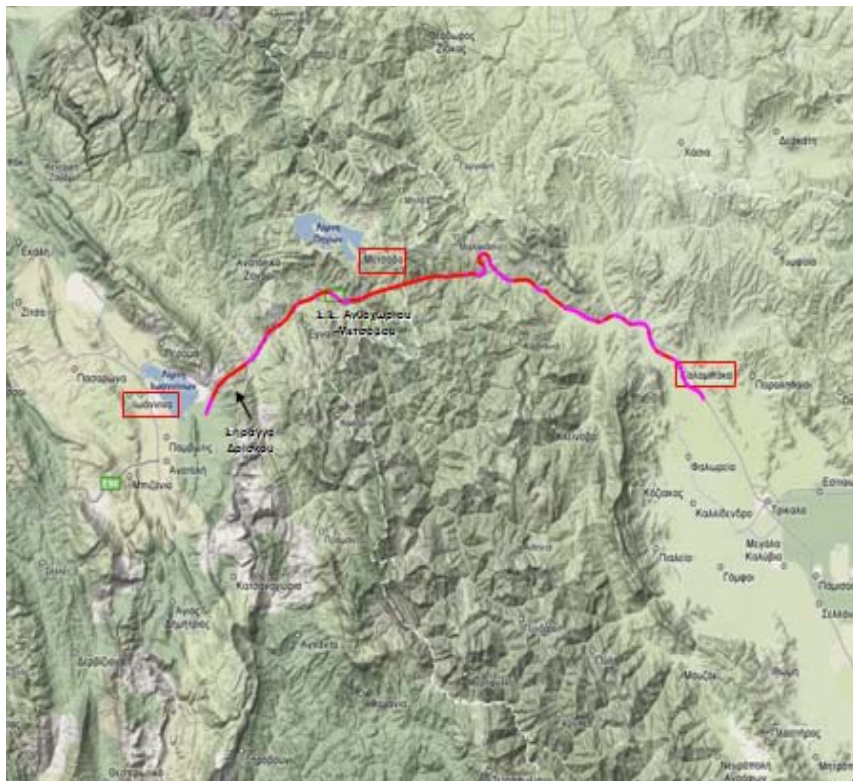
Κεφάλαιο 2

Περιγραφή του έργου

2 Περιγραφή του Έργου

Η χάραξη της σιδηροδρομικής γραμμής στο υπό μελέτη τμήμα, διέρχεται εγκάρσια (από ανατολικά προς τα δυτικά) από τον Άραχθο ποταμό, για να εισέλθει στον ορεινό όγκο του Δρίσκου και να καταλήξει στην πεδινή περιοχή νοτιοανατολικά της λίμνης των Ιωαννίνων. Η σιδηροδρομική γραμμή εισέρχεται στη σήραγγα μετά από τη γέφυρα του Άραχθου, η οποία προβλέπεται να καλύπτει και τις απαιτήσεις του μελλοντικού φράγματος Καλαρρύτικου της ΔΕΗ.

Στο σχήμα 2-1 που ακολουθεί δίνεται απόσπασμα από τον γεωφυσικό χάρτη της ευρύτερης περιοχής Καλαμπάκας - Ιωαννίνων, με τη θέση της χάραξης της σιδηροδρομικής γραμμής.



Σχήμα 2-1 : Θέση της χάραξης της σιδηροδρομικής γραμμής στην ευρύτερη περιοχή Καλαμπάκας – Ιωαννίνων (Α.Δ.Κ, 2008)

Η σήραγγα Δρίσκου έχει συνολικό μήκος 6,1km και βρίσκεται μεταξύ των Χ.Θ. 73+893 και 79+985 της χάραξης του τμήματος Καλαμπάκα – Ιωάννινα. Το μέγιστο πάχος υπερκειμένων είναι περίπου 408m και η μηκοτομική μορφολογία του είναι

Κεφάλαιο 2 – Περιγραφή του έργου

πρακτικά τριγωνική. Πρόκειται για σήραγγα μονής γραμμής (Σ34Κ), αρχικά σχεδιασμένη ως αμφικλινής, με παράλληλη σήραγγα διαφυγής (SRa13) σε απόσταση αξόνων 30m στα αριστερά της κατά τη φορά της χλιομέτρησης. Οι δύο σήραγγες συνδέονται ανά 500m με εγκάρσιες οδούς διαφυγής (ΕΟΔ). Η όρυξη της σήραγγας δεν επηρεάζει άλλες κατασκευές τόσο λόγω θέσης όσο και βάθους όρυξης (Α.Δ.Κ, 2008).

Ο άξονας της σήραγγας, σχεδόν στο σύνολο του τμήματος από την είσοδο έως την Χ.Θ. 76+900, είναι ευθύγραμμος, ακολουθεί καμπύλο τμήμα ($R=4000m$) έως την Χ.Θ. 79+060 και τελειώνει με ευθυγραμμία. Μηκοτομικά είναι αμφικλινής και η κατά μήκος κλίση της είναι ανηφορική 6,11‰ από την είσοδο έως την Χ.Θ. 76+900 περίπου και συνεχίζει με κλίση κατηφορική -16,95‰ έως την έξοδο.

Κεφάλαιο 3

Γεωλογική Δομή Ευρύτερης Περιοχής

3 Γεωλογική Δομή Ευρύτερης Περιοχής

3.1 Γενικά στοιχεία

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί περιγράφεται η γεωλογία της ευρύτερης περιοχής του έργου (Παντέκης, 2008). Η περιοχή της σήραγγας εντοπίζεται στο χώρο ανάπτυξης των ιζημάτων της Ιόνιας γεωτεκτονικής ζώνης, η οποία εκτείνεται κατά μήκος της δυτικής πλευράς της Ηπειρωτικής Ελλάδας, με διεύθυνση Β-N και περιλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα της Ηπείρου, την Ακαρνανία καθώς και τμήματα από τα Ιόνια νησιά και την βορειοδυτική Πελοπόννησο.

Σύμφωνα με απόψεις ερευνητών, η Αδριατικοϊόνιος ή Ιόνιος ζώνη πρέπει να είναι αυτόχθονη και αντιστοιχεί σε μια ηπειρωτική λεκάνη με ημιπελαγική - πελαγική ιζηματογένεση. Πάνω στη ζώνη αυτή επωθήθηκαν οι πιο εσωτερικές ζώνες (όπως αυτές του Γαβρόβου και της Πίνδου) υπό μορφή καλυμμάτων, και η αυτόχθονη ζώνη αποκαλύπτεται σαν τεκτονικό παράθυρο. Η αυτόχθονη πάντως προέλευση της ζώνης με μερικές μόνο επιπτεύσεις προς δυσμάς, αμφισβητούνται τελευταία.

3.2 Ιόνια ζώνη

3.2.1 Γεωτεκτονική – στρωματογραφική εξέλιξη

Η Ιόνια ζώνη αντιστοιχεί παλαιογεωγραφικά σε αύλακα. Κατά τις νεότερες απόψεις, χαρακτηρίζεται σαν μια λεκάνη με ημιπελαγική - πελαγική ιζηματογένεση που διακρίνεται σε τρεις περιοχές (I.F.P., 1966) : α) την εσωτερική, β) την αξονική, γ) την εξωτερική.

Σαν πρώτα αλπικά ιζήματα της ζώνης θεωρούνται οι εβαπορίτες (κοιτάσματα γύψου), Περμοτριάδικής ηλικίας, το συνολικό πάχος των οποίων υπολογίσθηκε με γεωτρήσεις γύρω στα 1500 m. Πάνω στις γύψους επίκειται μαύρος ασβεστόλιθος του ανώτερου Τριαδικού, ενώ στη συνέχεια αποθέτονται νηριτικοί ασβεστόλιθοι γνωστοί σαν ασβεστόλιθοι του Παντοκράτορα με πάχος γύρω στα 600 m.

Οι μάζες των εβαποριτών, πέρα από την κανονική τους στρωματογραφική θέση, έχουν ανέλθει διαπυρικά δια μέσου των ρηγμάτων και μέσα στα νεότερα στρώματα της ζώνης (Κρητιδικά και Ηωκαινικά), λόγω γεωθερμικής βαθμίδας και από τις υψηλές πιέσεις οι οποίες ασκούνται στο βάθος από τα υπερκείμενα πετρώματα, συνθήκες οι οποίες κάνουν τη γύψο πλαστική με ικανότητες ροής.

Κατά την περίοδο του άνω Λιάσιου η αξονική περιοχή της ζώνης, μεταπίπτει σε βαθύτερο χώρο ιζηματογένεσης, στον οποίο αποθέτονται κερατόλιθοι σε εναλλαγές με μαργαίικούς ασβεστόλιθους και έγχρωμους αργιλικούς σχιστόλιθους. Την ίδια περίοδο, στις δύο πλευρές της ζώνης (εσωτερική και εξωτερική) αποθέτονται

Κεφάλαιο 3 – Γεωλογική Δομή Ευρύτερης Περιοχής

κόκκινοι ασβεστόλιθοι με αμμωνίτες. Η διττή αυτή ιζηματογένεση διαρκεί όλο το μέσο Ιουρασικό, ενώ στο Μάλμιο γίνεται κοινή, σε όλο το πλάτος της ζώνης με την απόθεση πελαγικών ασβεστολίθων με ενστρώσεις κερατολίθων, που είναι γνωστοί σαν ασβεστόλιθοι Βίγλας, με συνολικό πάχος περίπου 400 m.

Η ιζηματογένεση συνεχίζεται αδιάκοπα προς τα πάνω, με λατυποπαγείς ασβεστόλιθους του ανωτέρου Κρητιδικού και Ηωκαινικούς λεπτοπλακώδεις ασβεστολίθους με πάχος περίπου 400 m. Τέλος αποτίθεται ο φλύσχη από το Πριαμπόνιο του Ηωκαίνου μέχρι το κάτω Μειόκαινο, οπότε και έλαβε χώρα η πτύχωση της ζώνης. Η μορφή των πτυχών συνήθως συνοδεύεται από διαρρήξεις στις πτέρυγες, κατά τρόπο ώστε να δημιουργούνται συνεχείς επωθήσεις ή επιπτεύσεις και να εμφανίζονται παραμορφωμένες πτυχωμένες μορφές. Το συνολικό πάχος του φλύσχη υπολογίζεται ότι ξεπερνά τα 2000 m, ενώ η σύσταση του, στα κατώτερα στρώματα είναι κυρίως ψαμμιτική - μαργαϊκή και εξελίσσεται προς τα πάνω σε εναλλαγές μαργών, μαργαϊκών ασβεστολίθων και κροκαλοπαγών.

3.2.2 Λιθοστρωματογραφικές ενότητες

Οι λιθοστρωματογραφικές ενότητες της Ιόνιας ζώνης που συμμετέχουν στη γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης, σύμφωνα με τις επιτόπιες παρατηρήσεις αλλά και τη διάρθρωση που δίνεται στο γεωλογικό χάρτη Ελλάδος κλίμακας 1:50.000 του ΙΓΜΕ (φύλλα «Ιωάννινα» και «Πράμαντα») (Σχήματα 3-1 έως 3-5), συνοψίζονται στη συνέχεια, με ανάστροφη χρονολογική σειρά.

•1) Τεταρογενείς αποθέσεις

- ⇒> Μανδύας αποσάθρωσης του φλύσχη με πάχη μικρά, που φθάνουν τοπικά τα 6 m.
- ⇒> Αλλουβιακές αποθέσεις, που συναντώνται στα ήπιας μορφολογίας τμήματα κοντά στη λίμνη των Ιωαννίνων με πάχος κυμαινόμενο, αλλά γενικά όχι ιδιαίτερα μεγάλο (μέχρι μερικές δεκάδες μέτρων).
- ⇒> Πλευρικά κορήματα σε ανάμιξη με υλικά αποσάθρωσης του φλύσχη, που αναπτύσσονται στην ευρύτερη περιοχή της εξόδου, με πάχη που φθάνουν τις λίγες δεκάδες μέτρων.
- ⇒> Υπολείμματα παλαιάς ποτάμιας αναβαθμίδας, που εμφανίζονται σημειακά ανάντη της εισόδου, με πρακτικά αμελητέο πάχος.

Μορφοποιήθηκε: Με αρίθμηση + Επίπεδο: 1 + Στυλ αρίθμησης: 1, 2, 3, ... + Έναρξη από: 1 + Στοιχισή: Αριστερά + Στοιχισή: 0,21 εκ. + Εσοχή: 0,85 εκ.

Μορφοποιήθηκε: Εσοχή: Αριστερά: 0,63 εκ., Προεξοχή: 0,63 εκ., Κουκκίδα + Επίπεδο: 1 + Στοιχισή: 0,63 εκ. + Σηλοθέτης μετά: 1,27 εκ. + Εσοχή: 1,27 εκ.

•2) Υπολείμματα των επωθημένων μαζών

Ογκόλιθοι μικρών διαστάσεων από τα ανθρακικά πετρώματα της Πίνδου, έως και ράκη που καλύπτουν επιφάνεια μερικών στρεμμάτων επάνω στον Ιόνιο φλύσχη, εντοπισμένα στην ευρύτερη περιοχή της εξόδου, κυρίως δε εκτός της χαρτογραφημένης επιφάνειας.

Μορφοποιήθηκε: Με αρίθμηση + Επίπεδο: 1 + Στυλ αρίθμησης: 1, 2, 3, ... + Έναρξη από: 1 + Στοιχισή: Αριστερά + Στοιχισή: 0,21 εκ. + Εσοχή: 0,85 εκ.

•3) Ιόνιος φλύσχος

Εναλλαγές μεταβαλλόμενου, αλλά συνήθως μικρού, πάχους από ιλυόλιθους που τοπικά μεταπίπτουν σε αργιλούχες μάργες και λεπτο-μεσόκοκκους ψαμμίτες που, τοπικά επίσης, εμφανίζονται ασβεστιτικοί. Στη μεγακλίμακα της περιοχής έρευνας, διαρθρώνονται σε δύο επάλληλες φάσεις, τα όρια των οποίων δεν είναι παντού ευδιάκριτα:

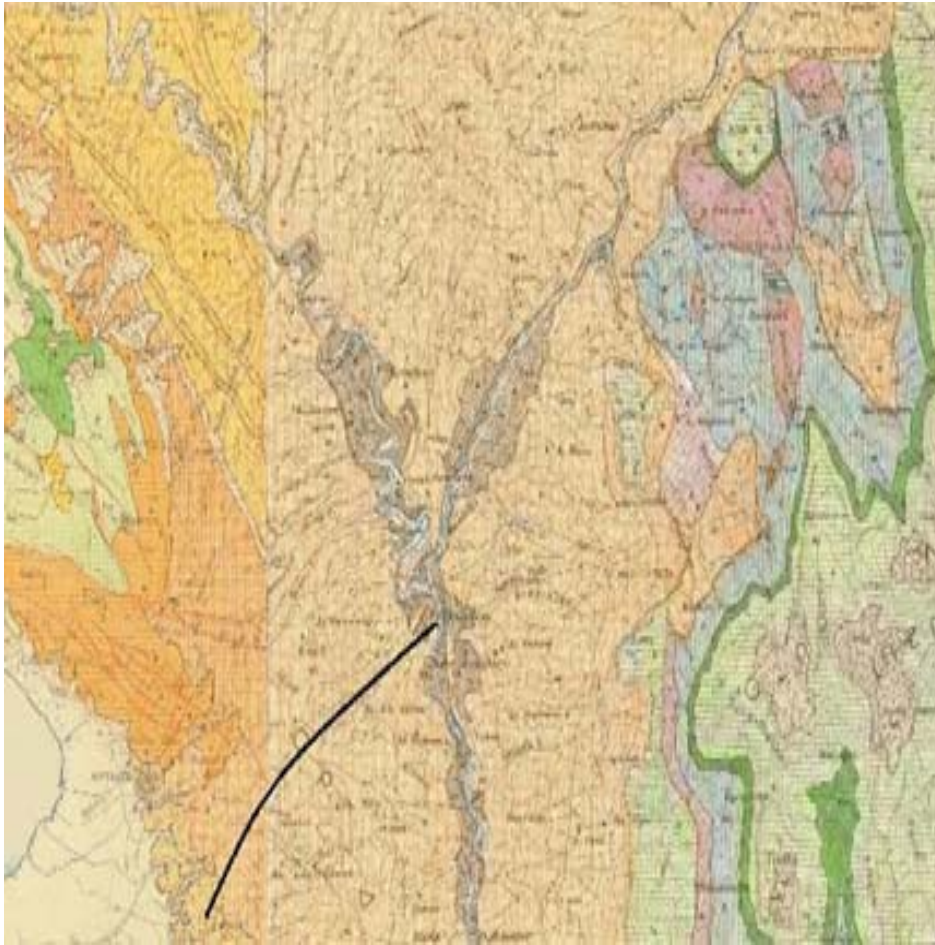
Μορφοποιήθηκε: Με αρίθμηση + Επίπεδο: 1 + Στυλ αρίθμησης: 1, 2, 3, ... + Έναρξη από: 1 + Στοιχισή: Αριστερά + Στοιχισή: 0,21 εκ. + Εσοχή: 0,85 εκ.

1. Σε σχηματισμούς με επικράτηση των λεπτομερών φάσεων (ιλυολίθων), που παρουσιάζουν ευρεία επιφανειακή εξάπλωση στο βόρειο και βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης και έχουν συναγόμενο πάχος μεγαλύτερο των 300 m και

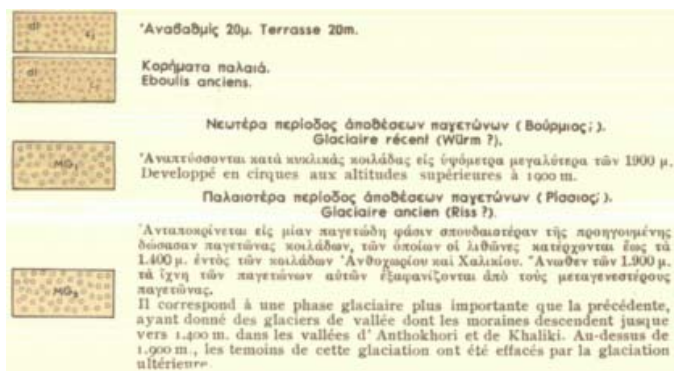
Μορφοποιήθηκε: Κουκκίδα + Επίπεδο: 1 + Στοιχισή: 0,63 εκ. + Εσοχή: 1,27 εκ., Στηλοθέτες: Όχι κατά 1,27 εκ.

2. Σε σχηματισμούς με επικράτηση των αδρομερών φάσεων (ψαμμιτών), με εξίσου ευρεία εξάπλωση στο νότιο και νοτιοδυτικό τμήμα και συναγόμενο πάχος μεγαλύτερο των 400 m.

Κεφάλαιο 3 – Γεωλογική Δομή Ευρύτερης Περιοχής

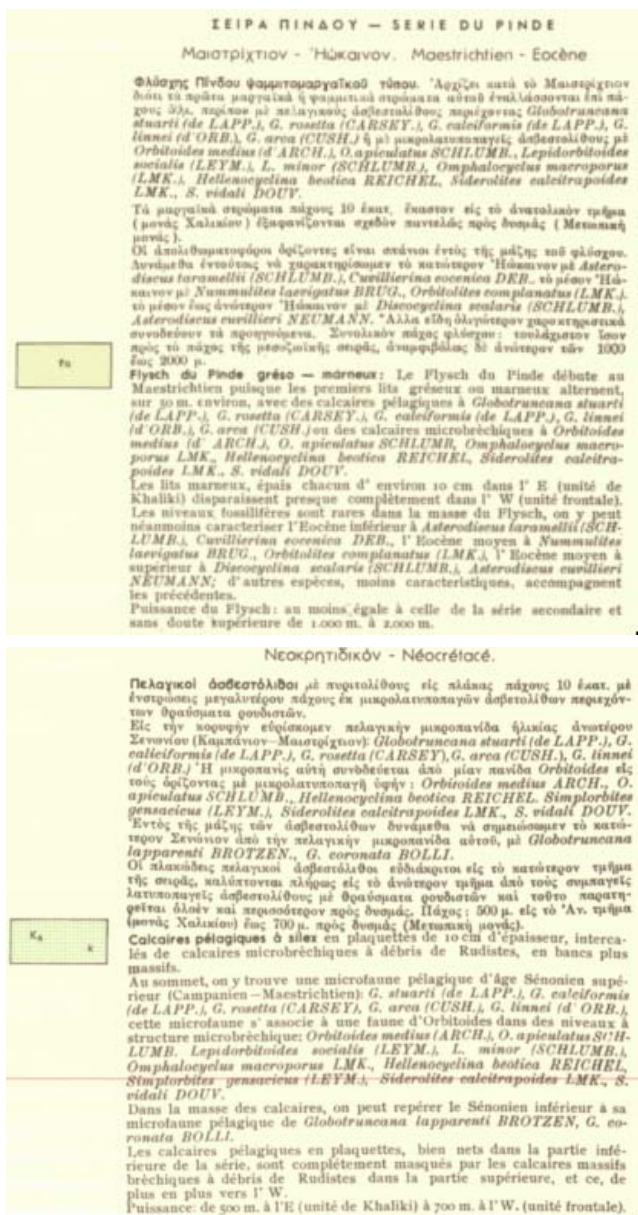


Σχήμα 3-1 : Απόσπασμα Γεωλογικού χάρτη της περιοχής του έργου (Φύλλο Ιωάννινα και Φύλλο Πράμαντα, Ι.Γ.Μ.Ε., κλίμακα 1: 50.000)



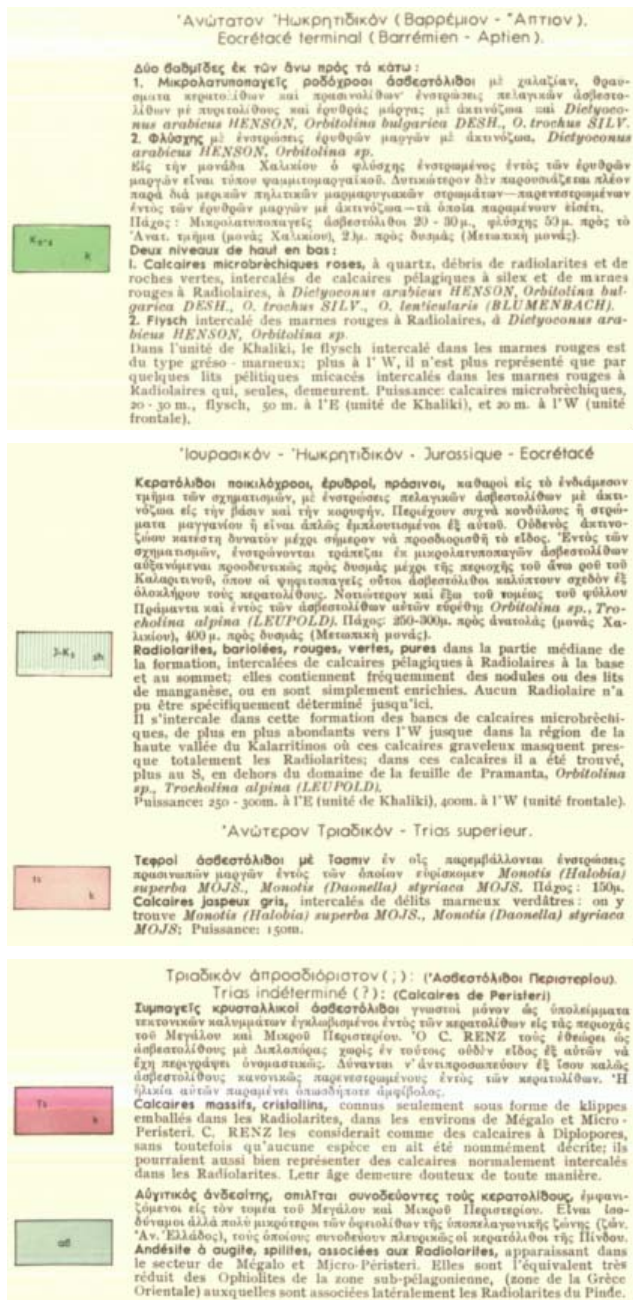
Σχήμα 3-2 : Υπόμνημα των σχηματισμών του Γεωλογικού χάρτη του σχήματος 2-1 (Ι.Γ.Μ.Ε.)

Κεφάλαιο 3 – Γεωλογική Δομή Ευρύτερης Περιοχής



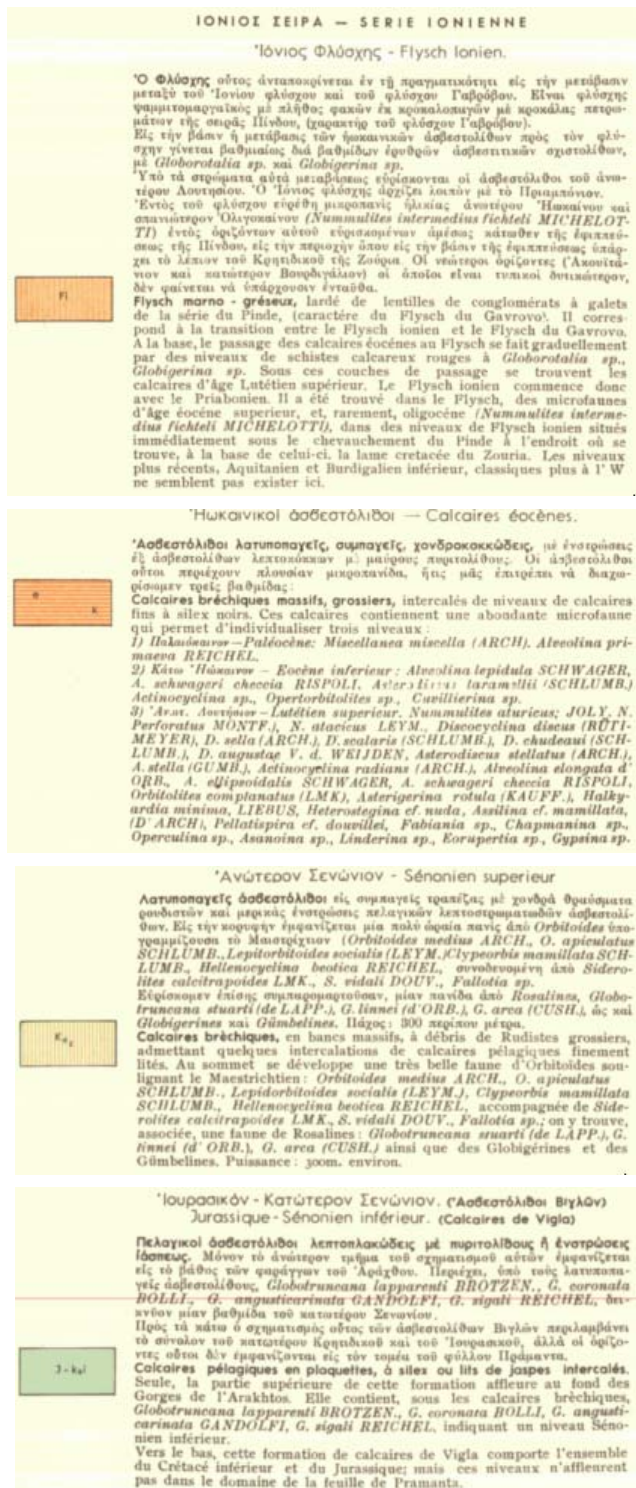
Σχήμα 3-3 : Υπόμνημα των σχηματισμών του Γεωλογικού χάρτη του σχήματος 2-1 (Ι.Γ.Μ.Ε.)

Κεφάλαιο 3 – Γεωλογική Δομή Ευρύτερης Περιοχής



Σχῆμα 3-4 : Υπόμνημα των σχηματισμῶν του Γεωλογικῆς χάρτης του σχήματος 2-1 (I.G.M.E.)

Κεφάλαιο 3 – Γεωλογική Δομή Ευρύτερης Περιοχής



Σχῆμα 3-5 : Υπόμνημα των σχηματισμῶν του Γεωλογικῆς χάρτη του σχήματος 2-1 (I.G.M.E.)

3.3 Μορφολογικό ανάγλυφο

Η χάραξη της σιδηροδρομικής γραμμής στο υπό μελέτη τμήμα, διέρχεται εγκάρσια (από ανατολικά προς τα δυτικά) του Άραχθου ποταμού, για να εισέλθει στον ορεινό όγκο του Δρίσκου και να καταλήξει στην πεδινή περιοχή νοτιοανατολικά της λίμνης των Ιωαννίνων. Η ευρύτερη ζώνη διέλευσης της χάραξης, με εξαίρεση τα λοφώδη τμήματα στην περιοχή της Βασιλικής κοντά στη λίμνη, παρουσιάζει ημιορεινή έως ορεινή μορφολογία με έντονο πολλές φορές ανάγλυφο και πλούσιο δίκτυο απορροής.

Σημειώνεται η παρουσία ισχυρών χαραδρώσεων και βαθιών ρεμάτων, συνέπεια της τεκτονικής προϊστορίας του χώρου, αλλά και της λιθολογικής σύστασης των σχηματισμών που τη δομούν (εναλλαγές ευαποσάθρωτων λιθολογικών τύπων όπως οι ιλυόλιθοι, αργιλικό σχιστόλιθοι, κλπ, με σκληρότερους και συνεκτικότερους τύπους πετρωμάτων, όπως οι ψαμμίτες ποικίλης διαγένεσης).

Το σημαντικότερο τεκτονικό γεγονός που συνέβαλε στη διαμόρφωση του πολυσχιδούς ανάγλυφου του φλύσχη, είναι η επώθηση από ανατολικά προς τα δυτικά των σχηματισμών της Πίνδου πάνω στο φλύσχη της Ιονίου, που εκδηλώνεται αμέσως ανατολικά του Αράχθου. Υπολείμματά της εντοπίζονται μέχρι και τα δυτικά πρηνή του Δρίσκου με τη μορφή ασβεστολιθικών ρακών. Οι ισχυρές ωθήσεις που τη συνόδευσαν, προκάλεσαν την συχνά έντονη πτύχωση του γηγενούς φλύσχη, τη δημιουργία αναστροφών ρηγμάτων, καθώς και το επακόλουθο σύστημα κατακόρυφων ρηγμάτων αποτόνωσης, μετά την καθυσύχασση του κύριου τεκτονικού γεγονότος.

Η αποσάθρωση και διάβρωση του καταπονημένου φλύσχη και η διαφορετική απόκριση σε αυτές των επιμέρους λιθολογικών μονάδων του, σχημάτισαν το σημερινό έντονο εδαφικό ανάγλυφο και καθοδήγησαν την εξέλιξη των κύριων υδρογραφικών συστημάτων.

3.4 Υδρογραφικό δίκτυο

Το κύριο υδρογραφικό σύστημα της περιοχής αποτελούν: ο Διπόταμος, που διέρχεται ΒΔ του μετώπου εισόδου με γενική διεύθυνση ΒΔ/κή – ΝΑ/κή και χαρακτηρίζεται από ισχυρούς μαιανδρισμούς, αλλά και ο Άραχθος που με διεύθυνση σχεδόν Β-Ν, διαμορφώνεται μεταξύ των βουνών Λάκμος (Περιστέρι) από ανατολικά και Δρίσκος από δυτικά. Στον Άραχθο, λίγο βορειότερα της εισόδου και στην περιοχή Χάνι Μπαλντούμα, συμβάλλει τόσο ο Διπόταμος, όσο και ο Μετσοβίτικος, που με

Κεφάλαιο 3 – Γεωλογική Δομή Ευρύτερης Περιοχής

διεύθυνση ΒΑ/κή – ΝΔ/κή έρχεται από την περιοχή Μικρού και Μεγάλου Περιστερίου. Ο Άραχθος ποταμός έχει ευρεία κοίτη πλημμύρας, καθώς η κατείσδυση είναι μειωμένη έως μηδενική λόγω των υποκείμενων στεγανών σχηματισμών του φλύσχη. Ο όγκος των νερών που ρέουν επιφανειακά και των πλημμυρικών παροχών είναι ιδιαίτερα μεγάλος (υπάρχουν αντιπλημμυρικά αναχώματα σε αρκετές θέσεις), ενώ το πλάτος της κοίτης του σε πολλά σημεία φτάνει και τα 200 m, δημιουργώντας τοπικά χαρακτηριστικές μαιανδρικές μορφές.

Τα δευτερεύοντα ρέματα από την πλευρά του Δρίσκου, συμβάλλουν προς τα μεγαλύτερης τάξης ρέματα σχεδόν εγκάρσια (με διεύθυνση Δ/κή-Α/κή έως ελαφρά ΝΔ/κή – ΒΑ/κή) και για το λόγο αυτό το υδρογραφικό δίκτυο του Διπόταμου αλλά και του Αράχθου, χαρακτηρίζεται ως ορθογωνικού τύπου. Αντίστοιχου τύπου υδρογραφικό δίκτυο υπάρχει και στη δυτική παρειά του Δρίσκου όπου, στην κλειστή λεκάνη στο ΝΑ/κό άκρο της λίμνης των Ιωαννίνων, συμβάλλουν εγκάρσια με διευθύνσεις σχεδόν Α-Δ οι αντίστοιχοι δευτερεύοντες κλάδοι. Σημειώνεται ότι, οι κυριότεροι υδρογραφικοί άξονες του υδρογραφικού δικτύου ακολουθούν κατά κανόνα τις μείζονες τεκτονικές γραμμές που διαμορφώνονται στην περιοχή.

3.5 Υδρομετεωρολογικές συνθήκες

Οι υδρομετεωρολογικές συνθήκες (θερμοκρασία αέρα, ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, υγρασία αέρα, κλπ) επηρεάζουν ισχυρά σε βάθος χρόνου τους χαρακτήρες των γεωλογικών ενοτήτων μιας περιοχής, αλλά και παρεμβαίνουν στη διαμόρφωση της σχέσης εδάφους θεμελίωσης-κατασκευής.

Παρακάτω γίνεται αναφορά στη διαχρονική πορεία των βασικών μετεωρολογικών παραμέτρων της περιοχής της Ηπείρου, όπως προκύπτει από τις καταγραφές του μετεωρολογικού σταθμού Ιωαννίνων, που αναφέρονται στην έκδοση της Ε.Μ.Υ. (1978), «Κλιματικά στοιχεία του Ελληνικού Δικτύου (περίοδος 1930-1975)». Η θέση του σταθμού ορίζεται από τις συντεταγμένες 20° 51' / 39° 40', και έχει απόλυτο υψόμετρο 483 m.

Με δεδομένο το γεγονός ότι στο μεγαλύτερο τμήμα της χάραξης, το ανάγλυφο είναι εντονότερο και το υψόμετρο μεγαλύτερο, το μικροκλίμα επιμέρους περιοχών με ιδιαιτερότητες στο ανάγλυφο και τη χλωρίδα, μπορεί να αποκλίνει αισθητά από τις ενδεικτικές κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Επομένως, τα τοπικά δεδομένα θα πρέπει να αναμένονται γενικά δυσμενέστερα από αυτά που καταγράφονται στο Μ.Σ. Ιωαννίνων.

Κεφάλαιο 3 – Γεωλογική Δομή Ευρύτερης Περιοχής

3.5.1 Θερμοκρασία αέρα

Με βάση τις καταγραφές, το θερμοκρασιακό καθεστώς στην περιοχή του σταθμού Ιωαννίνων, παρουσιάζεται στον Πίνακα 3-1, ενώ η εποχιακή διακύμανση της θερμοκρασίας στον Πίνακα 3-2.

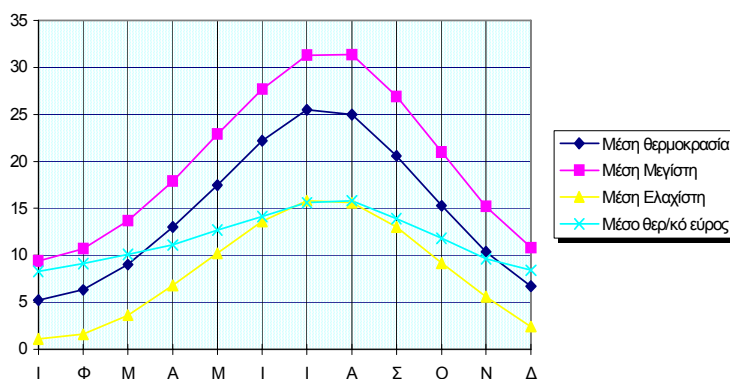
Πίνακας 3-1 : Θερμοκρασίες αέρα στο Μετεωρολογικό σταθμό Ιωαννίνων (Ε.Μ.Υ., 1978)

Θερμοκρασία σε °C	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	ΕΤΗΣΙ Α
Μέση θερμοκρασία	5.2	6.3	9.0	13.0	17.5	22.2	25.5	25.0	20.6	15.3	10.4	6.7	14.7
Μέση Μεγίστη	9.4	10.7	13.7	17.9	22.9	27.7	31.3	31.4	26.9	21.0	15.2	10.8	19.9
Μέση Ελαχίστη	1.1	1.6	3.6	6.8	10.2	13.6	15.8	15.6	13.0	9.2	5.6	2.4	8.2
Μέσο θερ/κό εύρος	8.3	9.1	10.1	11.1	12.7	14.1	15.6	15.8	13.9	11.8	9.6	8.4	11.7

Πίνακας 3-2 : Εποχιακές θερμοκρασίες αέρα στο Μ.Σ. Ιωαννίνων (Ε.Μ.Υ., 1978)

Θερμοκρασία °C	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
Μέση θερμοκρασία	6.1	13.2	24.2	15.4
Μέση Μεγίστη	10.3	18.2	30.1	21.0
Μέση Ελαχίστη	1.7	6.9	15.0	9.3

Παρατηρείται ότι η μέση μηνιαία θερμοκρασία κυμαίνεται από 5.2 - 25.5° C, ενώ το μέγιστο ημερήσιο εύρος διακύμανσης, όπως συνάγεται από τα στοιχεία της έκδοσης, πλησιάζει τους 30° C. Αυξημένες επίσης είναι οι εποχιακές θερμοκρασιακές διαφορές, όπως δείχνουν τα στοιχεία του Πίνακα 3-2. Στο Σχήμα 3-6 αποτυπώνεται η ετήσια πορεία της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας του αέρα στην περιοχή του σταθμού.



Σχήμα 3-6 : Πορεία μέσης μηνιαίας, μέσης μέγιστης, μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας και μέσου θερμοκρασιακού εύρους, στο σταθμό Ιωαννίνων

Κεφάλαιο 3 – Γεωλογική Δομή Ευρύτερης Περιοχής

3.5.2 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

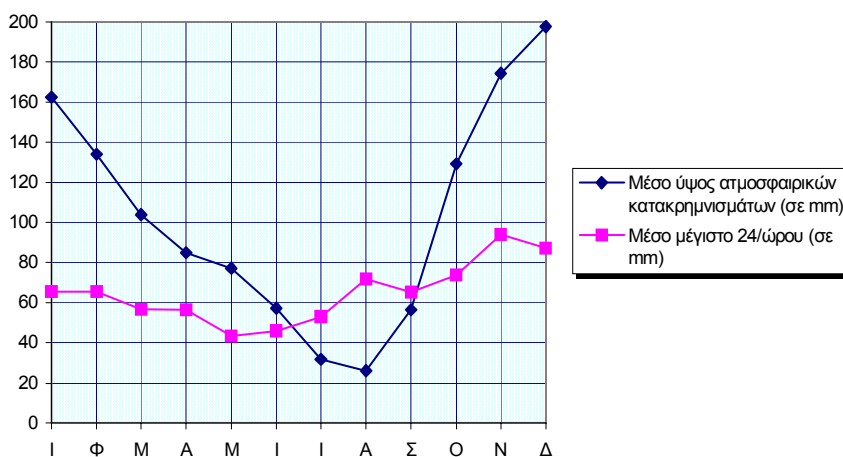
Στους Πίνακες 3-3 και 3-4 δίνονται τα μέσα μηνιαία και τα εποχιακά ύψη ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στο σταθμό, ενώ στο Σχήμα 3-7 παρουσιάζεται η ετήσια πορεία των μέσων μηνιαίων τιμών αυτών, καθώς και το μέσο μέγιστο 24ώρου σε mm.

Πίνακας 3-3 : Μέσα και μέγιστα μηνιαία ύψη ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στο σταθμό Ιωαννίνων (Ε.Μ.Υ. 1978)

	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	ΕΤΗΣΙΑ
Μέσο ύψος ατμ/κών κατακρημνισμάτων (σε mm)	162.6	134.0	104.1	85.0	77.3	57.4	31.8	26.2	56.6	129.3	174.3	197.7	1236.3
Μέσο μέγιστο 24/ώρου (σε mm)	65.6	65.6	56.8	56.6	43.5	46.0	53.2	72.0	65.4	74.0	94.0	87.3	94.0

Πίνακας 3-4 : Εποχιακά ύψη ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στο Μετεωρολογικό σταθμό Ιωαννίνων (από καταγραφές της Ε.Μ.Υ., 1978)

Παράμετροι	Χειμώνας	Ανοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
Μέσο ύψος ατμ/κών κατακρ/των (σε mm)	164.8	88.8	38.5	120.1
Μέσο μέγιστο 24/ώρου (σε mm)	72.8	52.3	57.1	77.8



Σχήμα 3-7 : Πορεία μέσου μηνιαίου ύψους ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και μέσου μέγιστου 24ώρου, στην περιοχή του σταθμού Ιωαννίνων

Κεφάλαιο 3 – Γεωλογική Δομή Ευρύτερης Περιοχής

Σημειώνεται ακόμη ότι σχετική υγρασία στην ίδια περίοδο κυμαίνεται με μέσες τιμές μεταξύ από 51-81% (καλοκαίρι 51-59% και χειμώνας 75-81%), ενώ η μέση ετήσια τιμή της φθάνει το 67%.

3.6 Παράγωγες διεργασίες αποδόμησης των σχηματισμών

Τα ενδεχόμενα προβλήματα για το έργο, προκύπτουν κατ' εξοχήν από το συνδυασμό της φυσικής κατάστασης της βραχομάζας (κερματισμός, αποσάθρωση κλπ), των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και των θερμοκρασιακών μεταβολών.

Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα επιδρούν με πολλαπλό τρόπο :

1) ⇒ ενεργοποιώντας διαβρωτικές διεργασίες στους σχηματισμούς των πρανών,

2) ⇒ δημιουργώντας συγκεντρώσεις νερού σε εδαφικές ασυνέχειες, αυξάνοντας τοπικά την πίεση πόρων και λιπαίνοντας τις διεπιφάνειες μεταξύ περατών και αδιαπέρατων σχηματισμών,

3) ⇒ αυξάνοντας το βάρος των ασταθών μαζών

4) ⇒ ευνοώντας, σε συνδυασμό με την υψηλή υγρασία που διατηρείται σε ετήσια βάση, τη γρήγορη ανάπτυξη της βλάστησης.

Οι βροχοπτώσεις, συνήθως διαρκείς και δυνατές, επηρεάζουν άμεσα τα φυσικά και τεχνητά πρανή που αποτελούνται από χαλαρά εδαφικά υλικά (υλικά αποσάθρωσης του φλύσχη, κορήματα, κλπ.) διαβρώνοντας την επιφανειακή στοιβάδα τους. Παράλληλα, η εναλλαγή υγρής και ξηράς περιόδου, δηλαδή ύγρανσης και ξήρανσης υλικών με αυξημένο πρωτογενές και δευτερογενές πορώδες, σε συνδυασμό με τις ημερήσιες και εποχικές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, έχει σαν συνέπεια τη χαλάρωση της συνοχής των πετρωμάτων και την αποσάθρωση των υλικών τους, λόγω διόγκωσης και συρρίκνωσης των ορυκτολογικών συστατικών τους με επαναλαμβανόμενο ρυθμό.

Το κλίμα της περιοχής μελέτης είναι πολύ ψυχρό κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, με θερμοκρασίες που παρουσιάζουν απότομες διακυμάνσεις μεταξύ ημέρας και νύχτας ή από τη μια ημέρα στην επόμενη. Οι συστολοδιαστολές που προκαλούνται επιτείνουν την αποσάθρωση πετρωμάτων με μικρή θερμοχωρητικότητα (όπως είναι οι ιλυολιθικής ή μαργαϊκής σύστασης σχηματισμοί, που έχουν μεγάλη συμμετοχή στη γεωλογική δομή της περιοχής), και διευκολύνουν τη μηχανική διάβρωσή τους από τις βροχοπτώσεις.

Μορφοποιήθηκε: Εσοχή: Αριστερά: 0 εκ., Πρώτη γραμμή: 1 εκ., Κουκκίδα + Επίπεδο: 1 + Στοιχισή: 0,63 εκ. + Στηλοθέτης μετά: 1,27 εκ. + Εσοχή: 1,27 εκ.

Κεφάλαιο 3 – Γεωλογική Δομή Ευρύτερης Περιοχής

Λόγω των σχετικά μεγάλων υψομέτρων της περιοχής και των χαμηλών θερμοκρασιών κατά τους χειμερινούς μήνες, προκαλείται συχνά παγετός. Η διαστολή του σωρευμένου στις εδαφικές ασυνέχειες νερού ασκεί εφελκυστικές τάσεις στα πετρώματα και συνεισφέρει δραστικά στη μηχανική αποδόμησή τους. Αντίστοιχη είναι και η δράση του ριζικού συστήματος της πλούσιας βλάστησης που αναπτύσσεται στην περιοχή.

Για την πλειονότητα των σχηματισμών που δομούν την περιοχή και χαρακτηρίζονται σαν ευκολοδιάβρωτοι, η συνδυασμένη διαδοχική επίδραση της θερμικής αποσάθρωσης και της μηχανικής διάβρωσης, προκαλεί σε βάθος απώλεια της συνοχής τους και σε συνδυασμό με την υδραυλική επιβάρυνση των χαλαρωμένων πλέον μαζών, προκαλεί την εκδήλωση αστοχιών όπως ερπυσμών κυρίως αλλά και ολισθήσεων.

Οι επιδράσεις αυτές επικεντρώνονται στα παραεπιφανειακά τμήματα των γεωλογικών σχηματισμών και προκειμένου για το υπό μελέτη έργο σήραγγας, ενδιαφέρουν κυρίως τα επιφανειακά οδικά έργα πρόσβασης/διαφυγής. Η ισχυρή δράση των αποσαθρωτικών - διαβρωτικών παραγόντων που σχετίζονται με τις ιδιάζουσες κλιματολογικές συνθήκες, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στην κατασκευή και προστασία των τεχνικών έργων τους (πρανή ορυγμάτων και επιχώματα).

Εντούτοις, σε τεκτονικά καταπονημένες βραχόμαζες με πλούσιο δίκτυο διαρρήξεων, όπως στην περιοχή που μελετάται, η δράση των υδρομετεωρολογικών παραγόντων είναι δυνατό να επεκτείνεται αισθητά σε βάθος. Το γεγονός ενδιαφέρει τόσο τις περιοχές των μετώπων της σήραγγας, όσο και τα γειτονικά προς την επιφάνεια υπόγεια τμήματά της.

3.7 Τεκτονικό καθεστώς

Η ακραία πτύχωση της Ιόνιας ζώνης έγινε στο κάτω Μειόκαινο, με την ονομαζόμενη Στυριακή φάση πτυχώσεων. Τα στρώματα της ζώνης υπέστησαν έντονη λεπίωση με τα στρώματα της γύψου να κατέχουν ρόλο «λιπαντικού» το οποίο διευκόλυνε τις εσωτερικές ολισθήσεις. Η τελική τριτογενής πτύχωση συνοδεύτηκε από διαρρήξεις των πτυχών στις πτέρυγες και δημιούργησε επάλληλες επωθήσεις ή εφιππεύσεις με παραμορφωμένες πτυχοειδείς μορφές.

Χαρακτηριστικό τεκτονικό γνώρισμα της ευρύτερης περιοχής είναι μία σειρά από επάλληλα μεγασύγκλινα και μεγαντίκλινα, με βασική αξονική διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ που, λόγω της τελικής τεκτονικής δράσης, διαμορφώνουν τεκτονικές επαφές με τη μορφή ρηγμάτων, και σπανιότερα εφιππεύουν προς τα δυτικά. Τόσο οι μεγαπτυχές αυτές όσο και οι πτυχές μικρότερης κλίμακας συνήθως είναι ασύμμετρες με σταθερή

Κεφάλαιο 3 – Γεωλογική Δομή Ευρύτερης Περιοχής

απόκλιση προς Δ-ΝΔ. Οι κυριότερες τεκτονικές μορφές στην ευρύτερη περιοχή (μεγασύγκλινα και μεγαντίκλινα) είναι οι παρακάτω:

1. το μεγάλο σύγκλινο Ηπείρου - Ακαρνανίας το οποίο δέχεται κυρίως την επώθηση του τεκτονικού καλύμματος της Πίνδου, και

2. το μεγαντίκλινο του Αράχθου,

που ανήκουν στην εσωτερική Ιόνια ζώνη.

Η περιοχή του Δρίσκου εντοπίζεται νότια του μεγαντίκλινου του όρους Μιτισκέλι και βόρεια του συγκλίνου του Ελληνικού.

Την τεκτονική δομή της Ιόνιας ζώνης συμπληρώνουν μεγάλα εγκάρσια ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης, τα οποία με γενική διεύθυνση ΒΔ/κή – ΝΑ/κή ή ΒΑ/κή – ΝΔ/κή σχηματίστηκαν αρχικά στη διάρκεια της τελικής πύχωσης κάθετα ή κατά μήκος των αξόνων των μεγαπτυχών. Τα πρώτα, είναι είτε ρήγματα ανάστροφα (της συμπίεσης), είτε ρήγματα κανονικά (μεταγενέστερα), τα οποία και προκάλεσαν το σχηματισμό των μεγάλων τάφρων - λεκανών στο χώρο Ηπείρου - Δυτικής Στερεάς.

Μορφοποιήθηκε: Κουκκίδα +
Επίπεδο: 1 + Στοιχισή: 0,63 εκ. +
Εσοχή: 1,27 εκ., Σηλοθέτες: Όχι κατά
1,27 εκ.

Κεφάλαιο 4

Σεισμικότητα - Σεισμική επικινδυνότητα

4 Σεισμικότητα – Σεισμική επικινδυνότητα

4.1 Γενικά στοιχεία

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην σεισμικότητα και τη σεισμική επικινδυνότητα της περιοχής του έργου.

Η δυναμική φόρτιση που επιφέρουν οι σεισμοί (ιδιαίτερα οι αβαθείς και σχετικά μεγάλου μεγέθους) στους γεωλογικούς σχηματισμούς, εκτός από τις άμεσες επιπτώσεις στις κατασκευές, προκαλεί συχνά και την εκδήλωση δευτερογενών φαινομένων (εδαφικές διαρρήξεις, κατολισθήσεις, καταπτώσεις, ρευστοποιήσεις κλπ.) που ενδιαφέρουν εξίσου από γεωτεχνικής πλευράς.

Η ευρύτερη περιοχή των Ιωαννίνων βρίσκεται κάτω από ένα σύγχρονο εφελκυστικό σεισμοτεκτονικό καθεστώς, ανήκει σε ζώνη μέτριας γενικά σεισμικής επικινδυνότητας, δεν έχει δε πληγεί από πολύ μεγάλο σεισμό. Κάποια επεισόδια σημαντικού μεγέθους φαίνεται να έχουν σημειωθεί μετά το 1800. Στοιχεία της σεισμικής δραστηριότητας στην ευρύτερη περιοχή του έργου αναζητήθηκαν τόσο βιβλιογραφικά, όσο και στη βάση δεδομένων του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου Αθηνών. Καταγράφηκαν και παρουσιάζονται στο Παράρτημα Ι αυτής της εργασίας όλα τα επεισόδια (221 τον αριθμό) μεγέθους μεγαλύτερου των 4.5 R, τα οποία εκδηλώθηκαν από τις προϊστορικές περιόδους μέχρι το Δεκέμβριο 2007, σε μια περιοχή ακτίνας περίπου 55 χλμ. γύρω από το χώρο έρευνας, δηλαδή μεταξύ των συντεταγμένων 39.10° έως 40.10° γεωγραφικό πλάτος και 20.20° έως 21.40° γεωγραφικό μήκος. Μεταξύ αυτών, επιλέχθηκαν και συνοψίζονται στον πίνακα 3-1 τα συμβάντα με μέγεθος > 5.5 R.

Σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα (Πίνακας 4-1), το μέγιστο μέγεθος σεισμού που αναφέρεται για την περιοχή είναι 7.0 βαθμοί της κλίμακας Richter και εκδηλώθηκε στις 20 Φεβρουαρίου του 1743. Η ακρίβεια του μεγέθους πάντως ελέγχεται καθώς αυτό δεν έχει προκύψει από ενόργανες καταγραφές, αλλά έχει συναχθεί έμμεσα από την έκταση των ζημιών που αναφέρονται. Κατά την περίοδο των ενόργανων καταγραφών (μετά το 1900), ο μεγαλύτερος σεισμός που μνημονεύεται είναι εκείνος της 1^{ης} Απριλίου 1967 (6.4 R).

Η μέγιστη ένταση κατά Mercalli στην ευρύτερη περιοχή Ιωαννίνων από στοιχεία του ΥΧΟΠ (1983) είναι VI. Από την ίδια πηγή διαπιστώνεται ότι στην περιοχή Ιωαννίνων το μέγιστο πιθανό ετήσιο μέγεθος είναι 4.6 R, το ετήσιο μέγεθος με 90% πιθανότητα να μη γίνει υπέρβασή του σε ένα χρόνο 5.8 R, το μέγεθος με 90% πιθανότητα να μη γίνει υπέρβασή του στα επόμενα 50 χρόνια 6.7 R, η μέγιστη επιτάχυνση με 90% πιθανότητα να μη γίνει υπέρβασή της τα επόμενα 25 χρόνια ανέρχεται στο 120, ενώ η κατηγορία σεισμικής επικινδυνότητας με βάση μόνο

Κεφάλαιο 4 – Σεισμικότητα – Σεισμική επικινδυνότητα

σεισμολογικά κριτήρια είναι η II. Τέλος, τα σεισμικά επίκεντρα στην ευρεία περιοχή του νομού Ιωαννίνων κατανέμονται κατά κύριο λόγο στη σεισμοτεκτονική ευθυγράμμιση Ιωάννινα - Παραμυθιά - Παξοί, κατά διεύθυνση ΑΒΑ/κή - ΔΝΔ/κή.

Πίνακας 4-1: Κατάλογος σεισμών μεγέθους ≥ 5.5 της κλίμακας Richter για την περιοχή με συντεταγμένες 39.10° έως 40.10° γεωγραφικό πλάτος και 20.20° έως 21.40° γεωγραφικό μήκος.

ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	ΗΜΕΡΑ	ΩΡΑ	ΛΕΠΤΟ	δ/ΛΕΠΤΟ	ΓΕΩΓΡ. ΠΛΑΤΟΣ	ΓΕΩΓΡ. ΜΗΚΟΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ
968		22	0	0	0	39.3	20.3	6.5
1514	ΜΑΙ	0	0	0	0	39.2	21.4	6.0
1544	ΑΠΡ	21	0	0	0	39.5	21.5	6.4
1740	ΑΠΡ	0	0	0	0	39.7	20.8	6.2
1743	ΦΕΒΡ	20	0	0	0	39.2	20.2	6.8
1786	ΙΟΥΝ	4	0	0	0	39.2	20.3	7.0
1809	ΙΑΝ	4	0	0	0	39.6	20.3	6.3
1813	ΜΑΙ	10	13	0	0	39.6	20.7	6.2
1823	ΔΕΚ	19	0	0	0	39.5	20.3	6.3
1833	ΙΑΝ	9	0	0	100	39.4	21.3	6.0
1854	ΣΕΠΤ	30	1	30	0	39.8	20.2	6.5
1858	ΦΕΒΡ	4	0	0	100	39.7	20.7	6.0
1867	ΔΕΚ	27	0	0	0	39.6	20.8	6.2
1872	ΑΠΡ	11	20	0	0	39.7	20.2	6.1
1895	ΜΑΙ	13	0	0	0	39.4	20.6	6.3
1898	ΙΟΥΝ	31	5	39	0	39.7	20.8	6.3
1915	ΑΥΓ	19	6	42	16	39.2	20.3	6.1
1915	ΙΟΥΝ	4	17	22	2	39.1	21.3	5.8
1917	ΑΠΡ	26	13	14	18	39.8	20.4	5.6
1919	ΝΟΕ	22	23	41	6	40.1	20.7	6.3
1920	ΟΚΤ	21	18	57	48	39.6	20.3	5.8
1921	ΙΟΥΝ	26	3	40	38	39.3	21.0	5.7
1924	ΟΚΤ	13	9	44	10	39.3	20.7	5.5
1960	ΝΟΕ	5	20	20	48	39.1	20.6	5.7
1960	ΝΟΕ	11	5	31	32	39.1	20.8	5.6
1967	ΦΕΒΡ	9	14	8	18	39.9	20.3	5.8
1967	ΑΠΡ	1	7	9	2	39.5	21.3	6.4
1969	ΟΚΤ	13	0	32	55	39.7	20.6	5.5
1969	ΟΚΤ	13	1	2	31	39.8	20.6	5.8
1979	ΝΟΕ	6	5	26	16	39.5	20.3	5.5
1981	ΜΑΡΤ	10	15	16	18	39.3	20.7	5.6
1981	ΙΟΥΛ	3	21	42	56	39.5	20.7	5.5
1990	ΙΟΥΝ	16	2	16	20	39.3	20.6	6.0
1996	ΑΥΓ	5	22	46	43	40.1	20.7	5.7

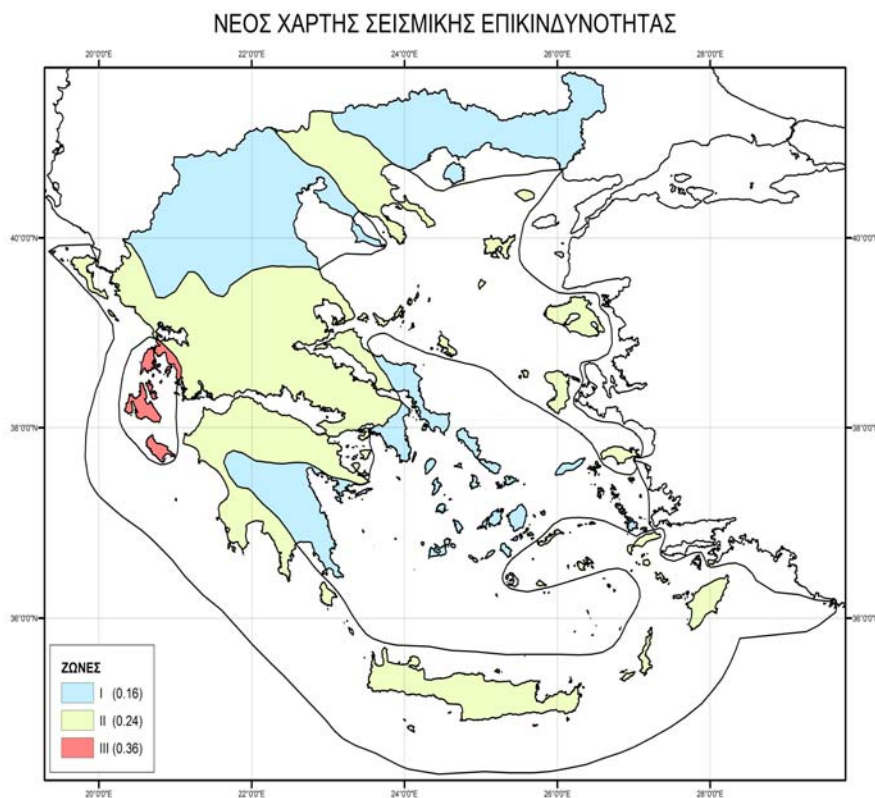
4.2 Σεισμική επικινδυνότητα

Αναφορικά με τις σεισμικές δράσεις σχεδιασμού, ο αναθεωρημένος αντισεισμικός κανονισμός (Ε.Α.Κ., 2000) (ΦΕΚ 1154/12-8-2003) κατατάσσει τις οικιστικές ζώνες (Σχήμα 4-1) της περιοχής στις κατηγορίες I και II σεισμικής επικινδυνότητας, με σεισμική επιτάχυνση εδάφους $A = a \times g$, όπου :

Κεφάλαιο 4 – Σεισμικότητα – Σεισμική επικινδυνότητα

- ο συντελεστής οριζόντιας συνιστώσας $\alpha=0.16$ (κατηγορία I), για τη ζώνη Ιωαννίνων (δυτικά του Δρίσκου),
- ενώ ο συντελεστής οριζόντιας συνιστώσας $\alpha=0.24$ (κατηγορία II) για τη ζώνη Πράμαντα (ανατολικά του Δρίσκου).

Μορφοποιήθηκε: Εσοχή: Αριστερά: 0 εκ., Πρώτη γραμμή: 1 εκ., Κουκκίδα + Επίπεδο: 1 + Στοιχισή: 1,37 εκ. + Σηλοθέτης μετά: 2,01 εκ. + Εσοχή: 2,01 εκ.



Σχήμα 4-1 : Διάκριση του ελληνικού χώρου σε κατηγορίες (III, II, I) ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας, σύμφωνα με την τροποποίηση του ΕΑΚ2000 το 2003

Συμπερασματικά, το καθεστώς σεισμικής δράσης δεν είναι ενιαίο σε όλη την έκταση της περιοχής, ενώ οι εντάσεις που έχουν εκδηλωθεί είναι κατά κανόνα μέτριες. Είναι όμως δεδομένο ότι ορισμένοι κατά καιρούς μέτριοι ή και σχετικά μεγάλοι μεγέθους σεισμοί προκάλεσαν αυξημένες εντάσεις και αντίστοιχες ζημιές. Οι ιστορικές καταγραφές αναφέρουν εννέα καταστροφές της πόλης των Ιωαννίνων.

Σύμφωνα με το Νέο Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ, 2000), οι εδαφικοί και βραχώδεις σχηματισμοί κατατάσσονται σε πέντε (5) κύριες κατηγορίες σεισμικής επικινδυνότητας:

Κεφάλαιο 4 – Σεισμικότητα – Σεισμική επικινδυνότητα

- Κατηγορία εδαφών Α: Βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί που αναπτύσσονται σε μεγάλη έκταση και βάθος και δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση.
Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλυσαργλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70m.
Στρώσεις πολύ σκληρής, προσυμπιεσμένης αργίλου, πάχους μικρότερου των 70m.
- Κατηγορία εδαφών Β: Έντονα αποσαθρωμένοι βραχώδεις σχηματισμοί ή εδάφη, που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη υλικά.
Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας και με πάχος μεγαλύτερο των 5m, ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70m.
Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70m.
- Κατηγορία εδαφών Γ: Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικά πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5m, ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70m.
Ιλυσαργλικά εδάφη μικρής αντοχής σε πάχος μεγαλύτερο των 5m.
- Κατηγορία εδαφών Δ: Έδαφος με μαλακές αργίλους, υψηλού δείκτη πλαστικότητας ($I_p > 50\%$), συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10m.
- Κατηγορία εδαφών Χ: Χαλαρά λεπτόκοκκα αμμοίλυδη εδάφη, υπό τον υδάτινο ορίζοντα, που ενδέχεται να ρευστοποιηθούν (εκτός αν ειδική μελέτη αποκλείσει τέτοιο κίνδυνο, ή γίνει βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων).
Εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα.
Απότομες κλιθείς, καλυπτόμενες με προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων.
Χαλαρά κοκκώδη ή μαλακά ιλυσαργλικά εδάφη, εφόσον έχει αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνα από άποψη δυναμικής συμπίκνωσης ή απώλειας αντοχής.
Πρόσφατες χαλαρές επιχωματώσεις (μπάζα), οργανικά εδάφη.
Εδάφη κατηγορίας Γ με επικίνδυνα μεγάλη κλίση.

Στη βάση του πίνακα, οι σχηματισμοί που ενδιαφέρουν το έργο της σήραγγας κατατάσσονται ως εξής:

⇒ Στην κατηγορία Α, οι υγιείς φάσεις και των δύο ενότητων του φλύσχη.

⇒ Στην κατηγορία Β, οι σχηματισμοί κορημάτων – αποσαθρωμάτων, καθώς και οι τοπικά αναπτυσσόμενες ζώνες αποσάθρωσης του φλύσχη.

⇒ Στην κατηγορία Χ, τα αποσαθρώματα και οι ζώνες ισχυρού κερματισμού ή και μυλονιτίωσης που βρίσκονται κοντά σε μεγάλες τεκτονικές γραμμές, οι χαλαρές και ασυμπύκνωτες επιχωματώσεις, όπως και οι μανδύες αποσάθρωσης με ικανοποιητικό πάχος, ιδιαίτερα όταν συναντώνται σε πρηνή με αυξημένη κλίση.

Μορφοποιήθηκε: Εσοχή: Αριστερά: 0 εκ., Πρώτη γραμμή: 1 εκ., Κουκκίδα + Επίπεδο: 1 + Στοιχισή: 0 εκ. + Στηλοθέτης μετά: 0,63 εκ. + Εσοχή: 0,63 εκ.

Κεφάλαιο 5

Τεχνικογεωλογική Συμπεριφορά Φλύσχη – Ειδικότερα προβλήματα που εμφανίστηκαν στο υπόγειο τμήμα κατά τη διάνοιξη της οδικής σήραγγας Δρίσκου

5 Τεχνικογεωλογική Συμπεριφορά Φλύσχη

5.1 Γενικά

Τα ιζήματα του φλύσχη παρουσιάζουν μεγάλη γεωγραφική εξάπλωση κυρίως στη Δυτική και Κεντρική Ελλάδα, όπου καταλαμβάνουν εκτεταμένες περιοχές (Ρόζος, 2007). Αποτελούν κυκλοθεματική απόθεση και συνίστανται από εναλλαγές αργιλικών σχιστολίθων, ιλυολίθων, ψαμμιτών και κροκαλοπαγών με επικράτηση κατά περιοχές της μιας ή της άλλης φάσης. Η σύσταση, σε συνδυασμό με την τεκτονική καταπόνηση (τελική φάση αλπικής πτύχωσης) και τις ειδικές κλιματολογικές συνθήκες στην Κεντρική και στη Δυτική Ελλάδα ευνοούν την ανάπτυξη παχύ μανδύα αποσάθρωσης και κατά συνέπεια την εκδήλωση συχνών κατολισθήσεων σε τεχνητά αλλά και φυσικά πρανή. Χαρακτηρίζονται ως οι πλέον επιρρεπείς σχηματισμοί για αστοχίες πρανών μαζί με τα νεογενή ιζήματα. Παρουσιάζουν αυξημένη ταχύτητα επιμηκών σεισμικών κυμάτων που φθάνει τα 1400 – 4700 m/sec.

Στις σήραγγες είναι ασταθής και παραμορφούμενος σχηματισμός, λόγω του λεπτοστρωματώδους χαρακτήρα του και του αργιλικού του υλικού. Η υποστήριξη πρέπει να είναι άμεση και συνεχής.

Μεγάλο πρόβλημα ο φλύσξης παρουσιάζει και στις φυσικές κλιείς ή στα πρανή εκσκαφών των τεχνικών έργων. Είναι ασταθής και επιρρεπής για κατολίσθηση λόγω, των αργιλικών – ιλυολιθικών ενστρώσεων και σε ένα βαθμό του λεπτοστρωματώδους χαρακτήρα του (Μαρίνος, 2009).

Οι κατολισθήσεις αφορούν είτε αυτή την ίδια τη μάζα του, είτε τον χαλαρωμένο ή αποσασθρωμένο επιφανειακό του τμήμα. Οι μάζες που μπορεί να κατολισθαίνουν είναι ορισμένες φορές σχετικά μεγάλες και δημιουργούν απειλή για κατοικημένους χώρους, κυρίως στα ορεινά (υψηλές βροχοπτώσεις – υποβάθμιση της συμπεριφοράς του πετρώματος λόγω του νερού). Επίσης μπορεί να απειλούν τεχνικά έργα όπως π.χ. φράγματα, δρόμους κλπ, όχι μόνο από αστάθεια των τεχνητών πρανών που κατασκευάστηκαν για αυτά και για τα οποία μπορούν να ληφθούν ευκολότερα τα απαραίτητα προστατευτικά μέτρα, αλλά και από κινητοποίηση ευρύτερης γεωμάζας από πολύ ψηλότερα υψόμετρα. Στους δρόμους πάντως πάνω σε φλύσχη τα προβλήματα κατολισθήσεων είναι σχεδόν μόνιμα κυρίως στις βροχερές περιόδους.

Τέλος σε μικρομεσαίες κατασκευές ειδικά προβλήματα δεν υπάρχουν. Προσοχή χρειάζεται μόνο αν αυτές γίνονται σε πρανή με αξιόλογες κλίσεις ή σε πρανή που παρουσιάζουν ήδη φαινόμενα κατολισθήσεων.

5.2 Φλύσχης Δυτικής Ελλάδας

Πρόκειται για ιζήματα με μέτρια έως ισχυρή πτύχωση και τοπικά μονοκλινικές δομές (Εικόνα 5-1) που έχουν υποστεί έντονες συνήθως μορφολογικές συνθήκες, αποτελούμενα από ψαμμίτες, ιλυολίθους, ιλυούχους ψαμμίτες, αργιλομάργες και ψηφιδοκροκαλοπαγή σε εναλλαγές (κυκλοθεματική απόθεση), με επικράτηση συνήθως της μιας ή της άλλης φάσης κατά περιοχή. Καλύπτονται συχνά από παχύ μανδύα αποσάθρωσης (1-5m), ενώ η αργιολιλυώδης φάση, λόγω της έντονης επίδρασης των αποσάθρωτικών – διαβρωτικών παραγόντων, διευκολύνει τη δημιουργία επιφανειών “αδυναμίας” στα πρανή.

Οι ψαμμιτικοί ορίζοντες είναι συνεκτικοί έως μέτρια συνεκτικοί και συχνά ισχυρά κερματισμένοι. Τα ψηφιδοκροκαλοπαγή αποτελούνται από ψηφίδες και κροκάλες μεγέθους μέχρι 15 cm, με ασβεστοψαμμιτική ή αργιλομαργαϊκή συνδετική ύλη που προσδίδει αντίστοιχα ισχυρή ή ασθενή συνεκτικότητα στο πέτρωμα. Οι παραπάνω συνθήκες, δικαιολογούν το μεγάλο εύρος τιμών στα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά και την ευρεία κύμανση της περατότητας, αλλά και ευνοούν συχνά την εκδήλωση κατολισθητικών κινήσεων, που περιορίζονται στα υλικά του μανδύα αποσάθρωσης και τα ανώτερα στρώματα (ζώνη κερματισμού). Το πάχος των ιζημάτων αυτών στη Δυτική Ελλάδα είναι μεγάλο και φθάνει μέχρι και 4500m (Ρόζος,2007).



Εικόνα 5-1 : Πτυχωμένοι φλύσχη, με αυξημένη ή και χωρίς αποσάθρωση (Ρόζος, 2007)

5.3 Φλύσχης Κεντρικής Ελλάδας

Αποτελείται από ψαμμίτες και ιλυολίθους, ενώ τα ψηφιδοκροκαλοπαγή εμφανίζονται σπάνια ή λείπουν εντελώς (Εικόνα 5-2). Πρόκειται για ιζήματα έντονα πτυχωμένα και καταπονημένα από την τεκτονική των λεπίων και επιπτεύσεων που μερικές φορές έχει προκαλέσει τη δυναμική τους μεταμόρφωση. Οι ψαμμίτες είναι συνήθως λεπτόκοκκοι-μεσόκοκκοι, ισχυρά συνεκτικοί και ισχυρά κερματισμένοι, με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζονται από αυξημένη δευτερογενή περατότητα και υψηλή

Κεφάλαιο 5 – Τεχνικογεωλογική Συμπεριφορά Φλύσχη – Ειδικότερα προβλήματα που εμφανίστηκαν στο υπόγειο τμήμα κατά τη διάνοξη της οδικής σήραγγας Δρίσκου

αναμενόμενη φέρουσα ικανότητα. Οι ιλυόλιθοι αναπτύσσονται σε παχείς ορίζοντες, που συχνά εμφανίζουν αυξημένη συνεκτικότητα. Στις θέσεις χαμηλής συνοχής, η δράση των αποσασθρωτικών και διαβρωτικών παραγόντων είναι έντονη, με αποτέλεσμα τη δημιουργία παχύ μανδύα αποσάθρωσης.

Στα ιζήματα του φλύσχη αυτού, η λιθολογική σύσταση, η έντονη τεκτονική καταπόνηση, η διακύμανση του συντελεστή υδροπερατότητας, η έντονη μορφολογία, οι βροχοπτώσεις, οι υποσκαφές και η γεωμετρία των στρωμάτων και των πραινών, ευνοούν τη συχνή εκδήλωση αστοχιών (όπως περιστροφικές ή μεταθετικές ολισθήσεις και ερπυσμοί), που πλήττουν το οδικό δίκτυο και τους οικισμούς, με σοβαρές τις περισσότερες φορές επιπτώσεις. Το συνολικό ορατό πάχος φθάνει τις αρκετές εκατοντάδες μέτρα (Ρόζος, 2007).



Εικόνα 5-2: Φλύσχη με αυξημένου πάχους ψαμμιτικές ενστρώσεις (Ρόζος, 2007)

5.4 Φλύσχη Ανατολικής Ελλάδας

Πρόκειται για κυκλοθεματικές αποθέσεις ποικίλων λιθολογικών τύπων όπως ιλυόλιθοι, ψαμμίτες, κλπ., δηλαδή ιζήματα τεφροκίτρινου έως σκουρότεφρου χρώματος, πτυχωμένα και τεκτονικά καταπονημένα, που τοπικά εμφανίζονται εξαλλοιωμένα με λευκότεφρου χρώματος θεμελιώδη μάζα, όπου δεν διακρίνεται στρώση. Γενικά είναι πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί, με μέτρια γεωμηχανική συμπεριφορά, που παρουσιάζουν ευρείες διακυμάνσεις από μονότονη εναλλαγή των δυο φάσεων με στρώσεις πάχους από 2-5 cm έως επικράτηση της μίας ή της άλλης τοπικά, κυρίως όμως των ιλυολίθων, που συνήθως εμφανίζονται με χιλιοστομετρική στρώση και είναι εύθρυπτοι. Έτσι δικαιολογείται το μεγάλο εύρος τιμών στα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά και τοπικά ευνοείται η δημιουργία μανδύα αποσάθρωσης αυξημένου πάχους (Εικόνα 5-3).

Κεφάλαιο 5 – Τεχνικογεωλογική Συμπεριφορά Φλύσχη – Ειδικότερα προβλήματα που εμφανίστηκαν στο υπόγειο τμήμα κατά τη διάνοιξη της οδικής σήραγγας Δρίσκου

Οι εν γένει λιθοστρωματογραφικές και κλιματολογικές συνθήκες, αλλά και η ισχυρή κατά θέσεις τεκτονική καταπόνηση, σε συνδυασμό με τις μορφολογικές συνθήκες και τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, είναι δυνατό να ευνοήσουν τοπικά την εκδήλωση αστοχιών. Το συνολικό πάχος του σχηματισμού είναι αρκετές εκατοντάδες μέτρα (Ρόζος, 2007).



Εικόνα 5-3: Αποσαθρωμένος φλύσχος (Ρόζος, 2007)

5.5 Ειδικότερα προβλήματα που παρουσιάστηκαν στο υπόγειο τμήμα κατά τη διάνοιξη της οδικής σήραγγας του Δρίσκου (Σήραγγα Δρίσκου Εγνατίας)

Σ' αυτό το σημείο γίνεται αναφορά στα προβλήματα που παρουσιάστηκαν στο υπόγειο τμήμα της οδικής σήραγγας του Δρίσκου κατά τη διάνοιξη της, επειδή η νέα σιδηροδρομική σήραγγα του Δρίσκου βρίσκεται πολύ κοντά στην οδική σήραγγα καθώς επίσης θα διασχίσει ίδιους σχηματισμούς κατά τη διάνοιξη της.

Στη σήραγγα του Δρίσκου παρουσιάστηκαν ορισμένα προβλήματα εξαιτίας των εκτεταμένων συγκλίσεων που παρατηρήθηκαν σε συγκεκριμένα τμήματα αυτής (Παπαδοπούλου, 2009). Για την διάνοιξή της πραγματοποιήθηκαν τρεις μελέτες εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης. Ειδικά για τη διάνοιξη εντός του ασθενούς φλύσχη, προτάθηκε η τοποθέτηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος, πάχους 25cm και αγκυριών Swellex σε κάνναβο 1x1, ενώ δεν κρίθηκε απαραίτητη η τοποθέτηση δοκών προπορείας. Ως κρίσιμο όριο παραμόρφωσης θεωρήθηκε το 1%.

Στο τμήμα διάνοιξης που βρίσκεται κοντά στο δυτικό μέτωπο ξεκίνησε η ανάπτυξη συγκλίσεων μεγαλύτερων από τα αποδεκτά όρια και σε συνδυασμό με τις ρωγματώσεις που παρουσιάστηκαν στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κρίθηκε ότι τα μέτρα άμεσης υποστήριξης που χρησιμοποιήθηκαν στα συγκεκριμένα τμήματα ήταν ανεπαρκή.

Κεφάλαιο 5 – Τεχνικογεωλογική Συμπεριφορά Φλύσχη – Ειδικότερα προβλήματα που εμφανίστηκαν στο υπόγειο τμήμα κατά τη διάνοιξη της οδικής σήραγγας Δρίσκου

Τον Οκτώβριο του 2000 παρουσιάστηκαν προβλήματα υπερφόρτισης, του κελύφους της άμεσης υποστήριξης σε ορισμένα τμήματα της σήραγγας και μεγάλων συγκλίσεων σε ορισμένα άλλα.

Προτάθηκε η εφαρμογή επιπλέον αγκυρίων και η διάνοιξη επιπλέον αποστραγγιστικών οπών. Η δημιουργία του προβλήματος οφειλόταν στην υπερεκτίμηση των γεωτεχνικών παραμέτρων του γεωυλικού από τη μελέτη και στον έντονο κερματισμό του γεωυλικού λόγω παρουσίας ρηγμάτων.

Στα τμήματα που παρατηρήθηκαν οι μεγάλες συγκλίσεις, αυτές δε συνοδεύονταν από αστοχία του κελύφους. Μία πιθανή εξήγηση που δόθηκε ήταν ότι οι μετακινήσεις οφείλονταν στη μη ύπαρξη αναστρόφου τόξου με αποτέλεσμα το κέλυφος της άμεσης υποστήριξης να μη λειτουργεί, όπως έχει σχεδιαστεί. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος προτάθηκε η εκσκαφή της βαθμίδας με σκοπό τη δημιουργία πλήρους δακτυλίου.

Παράλληλα, διατυπώθηκε έντονη αμφιβολία για την αποτελεσματικότητα των τσιμεντενέσεων που προτάθηκε ως μέτρο θεραπείας για τα τμήματα που παρατηρήθηκαν εκτεταμένες αστοχίες, η οποία οφείλεται στη φύση του γεωυλικού.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα συγκλίσεων και υπερφόρτισης του κελύφους άμεσης υποστήριξης παρουσιάστηκε σε συγκεκριμένα τμήματα της σήραγγας, δηλαδή από τη Χ.Θ.8+500-8+800 για τον αριστερό κλάδο και Χ.Θ.8+700-8+800 για το δεξιό κλάδο.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος είχαν ήδη τοποθετηθεί στο τμήμα που είχε υποστεί ζημιές, προεντεταμένα καλώδια συνολικού μήκους 18m, ελεύθερου μήκους 12m και φέρουσας ικανότητας 400KN. Μία λύση που προτάθηκε ήταν η καταστροφή της υποστήριξης του πληγέντος τμήματος της σήραγγας και κατασκευή νέου κελύφους, με μεγάλη αντοχή και ακαμψία, αλλά η συγκεκριμένη πρόταση θα προκαλούσε πολύ μεγάλο οικονομικό και χρονικό κόστος και προτάθηκε μία εναλλακτική μέθοδος αποκατάστασης, με εκσκαφή δίχως προβλήματα της κάτω ημιδιατομής του αριστερού κλάδου και την κατασκευή του προσωρινού αναστρόφου τόξου πολύ κοντά στο μέτωπο εκσκαφής, η τοποθέτηση πλέγματος για την προστασία των εργαζομένων, καθώς και η τοποθέτηση δύο προεντεταμένων αγκυρίων στην οροφή της άνω ημιδιατομής.

Κεφάλαιο 6

*Τεχνικογεωλογικές – Υδρογεωλογικές Συνθήκες των
σχηματισμών της σιδηροδρομικής σήραγγας του Δρίσκου*

6 Τεχνικογεωλογικές – Υδρογεωλογικές Συνθήκες των σχηματισμών της σιδηροδρομικής σήραγγας του Δρίσκου

6.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί γίνεται περιγραφή της γεωτεχνικής έρευνας που πραγματοποιήθηκε κατά τη προμελέτη του έργου (Εδαφομηχανική, 2008). Επιπλέον, αναφέρονται τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης.

6.2 Περιγραφή Γεωτεχνικής Έρευνας

Η γεωτεχνική έρευνα που εκτελέστηκε περιλαμβάνει ερευνητικές δειγματοληπτικές γεωτρήσεις σε πυκνότητα που επιτρέπει το δύσβατο της περιοχής και οι κλιματολογικές συνθήκες την περίοδο εκτέλεσης και βάθος ώστε να καλύπτουν περιοχή κάτω από την προβλεπόμενη στάθμη της χάραξης. Για τους λόγους αυτούς η έρευνα χωρίστηκε σε δύο στάδια:

4)ο A' στάδιο: περιλαμβάνει τις γεωτρήσεις Σ34Κ-2 (65m), Σ34Κ-3 (95m), Σ34Κ-8 (210m), Σ34Κ-9 (150m), Σ34Κ-10 (71m) και Σ34Κ-11 (35m). Οι γεωτρήσεις αυτές κατανέμονται στις ακραίες περιοχές της σήραγγας καλύπτοντας μήκος περίπου 800m στην περιοχή εισόδου και 2.500m στην περιοχή εξόδου δηλαδή σύνολο 3.300m από τα 6.100m της σήραγγας

2)ο B' στάδιο: περιλαμβάνει τις μελλοντικές γεωτρήσεις Σ34Κ-4, Σ34Κ-5, Σ34Κ-6, και Σ34Κ-7 που θα καλύπτουν το κεντρικό τμήμα της σήραγγας και ενδεχομένως την Σ34Κ-1 στην είσοδο, εφόσον οι συνθήκες επιτρέψουν την εκεί πρόσβαση

Με δεδομένη τη δυσκολία πρόσβασης και γενικότερα εκτέλεσης του προγράμματος οι γεωτρήσεις εμφανίζονται με μέση πυκνότητα 1/550m στις ακραίες περιοχές και 1/700m στο κεντρικό τμήμα.

Σημειώνεται εξ αρχής ότι, οι αποστάσεις αυτές είναι μεγάλες για να είναι εφικτή η σύνδεση των αποτελεσμάτων κάθε γεώτρησης, εφόσον δεν διαπιστώνεται σαφής διαχωρισμός στρώσεων αλλά διακυμάνσεις τιμών σε περίπου ενιαίο σχηματισμό. Συνεπώς, εφόσον ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται ως εναλλαγές λεπτών στρώσεων ιλυολίθου και φαρμίτη, με πάχη της τάξης του μέτρου ή και λιγότερο, τα αποτελέσματα θα πρέπει να θεωρούνται ότι αποδίδουν τη διασπορά της τιμής του μετρούμενου χαρακτηριστικού στον ίδιο σχηματισμό.

Μορφοποιήθηκε: Εσοχή: Αριστερά: 0 εκ., Πρώτη γραμμή: 1 εκ., Κουκκίδα + Επίπεδο: 1 + Στοιχισή: 1,63 εκ. + Σηλοθέτης μετά: 2,27 εκ. + Εσοχή: 2,27 εκ.

Γεώτρηση Σ34K-2 (τμήμα 18.0 – 26.0 m)

Συστήματα διακλάσεων : 1 πρωτεύον (κλίση 0°) – επιφάνειες λείες, επίπεδες, χωρίς πλήρωση – 2 δευτερεύοντα (κλίσεις 45° & 60°) – επιφάνειες ομαλές, κυματοειδείς έως κλιμακωτές, χωρίς πλήρωση, 2 ομάδες σποραδικών διακλάσεων (κλίσεις 30° & 90°).

Άνοιγμα διακλάσεων : 0.1 – 0.5 mm, χωρίς πληρωτικό υλικό

Εξαλλοίωση : ελαφρά έως πολύ ελαφρά

Ζώνες κερματισμού : Μεταξύ 23.60 – 25.20



Εικόνα 6-1 : Φωτογραφία από γεώτρηση Σ34K-2

Γεώτρηση Σ34K-3 (τμήμα 82.0 – 90.0 m)

Συστήματα διακλάσεων : 4 συστήματα, πολλαπλές τυχαίες διακλάσεις (ζώνη ισχυρού κερματισμού). Επιφάνειες τραχείες, κυματοειδείς. Εμμονή των συστηματικών διακλάσεων μέτρια έως μεγάλη.

Άνοιγμα διακλάσεων : >5 mm, πληρωτικό υλικό κατεχοχόν από θραύσματα πετρώματος, με πολύ περιορισμένη παρουσία λεπτομερών

Εξαλλοίωση : μέτρια έως κατά θέσεις ισχυρή

Ζώνες κερματισμού : Το σύνολο του τμήματος αναφοράς εντάσσεται σε ζώνη κερματισμού

Κεφάλαιο 6 – Τεχνικογεωλογικές – Υδρογεωλογικές Συνθήκες των σχηματισμών της σιδηροδρομικής σήραγγας του Δρίσκου



Εικόνα 6-2 : Φωτογραφία από γεώτρηση Σ34K-3

Γεώτρηση Σ34K-8 (τμήμα 190.0 – 198.0 m)

Συστήματα διακλάσεων : 3 κύρια συστήματα (0° , 60° , 90°), ελάχιστες τυχαίες διακλάσεις. Επιφάνειες ελαφρά τραχείες μέχρι τραχείες, κυματοειδείς έως κατά θέσεις ανώμαλες.

Άνοιγμα διακλάσεων : 0.1-1.0 mm, χωρίς πληρωτικό υλικό

Εξαλλοίωση : πολύ μικρή έως μικρή

Ζώνες κερματισμού : 193.50 – 193.70



Εικόνα 6-3 : Φωτογραφία από γεώτρηση Σ34K-8

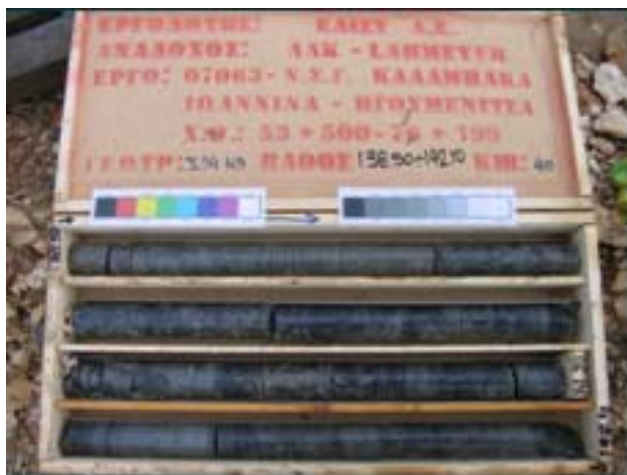
Γεώτρηση Σ34K-9 (τμήμα 131.0 – 139.0 m)

Συστήματα διακλάσεων : 1 κύριο σύστημα (0°), με επιφάνειες επίπεδες έως ελαφρά κυματοειδείς και λείες, δύο δευτερεύοντα (70° , 50°) με επιφάνειες κυματοειδείς, ελαφρά τραχείες.

Ανοιγμα διακλάσεων : 0.5-1.0 mm, χωρίς υλικό πλήρωσης

Εξαλλοίωση : πολύ μικρή έως μικρή

Ζώνες κερματισμού : Δεν συναντώνται στο τμήμα αναφοράς



Εικόνα 6-4 : Φωτογραφία από γεώτρηση Σ34K-9

Γεώτρηση Σ34K-10 (τμήμα 39.0 – 47.0 m)

Συστήματα διακλάσεων : 3 συστήματα (0° , 60° , 80°), με επιφάνειες κυματοειδείς και ελαφρά τραχείες έως τραχείες.

Ανοιγμα διακλάσεων : >5.0 mm, αργιλικό-αργιλοαμμώδες πληρωτικό υλικό

Εξαλλοίωση : πολύ ισχυρή, σε μεγάλα τμήματα πέτρωμα αποσυντεθειμένο

Ζώνες κερματισμού : Σχεδόν ολόκληρο το τμήμα (μετά τα 40.0 m) συνιστά ζώνη κερματισμού και εξαλλοίωσης.

Κεφάλαιο 6 – Τεχνικογεωλογικές – Υδρογεωλογικές Συνθήκες των σχηματισμών της σιδηροδρομικής σήραγγας του Δρίσκου



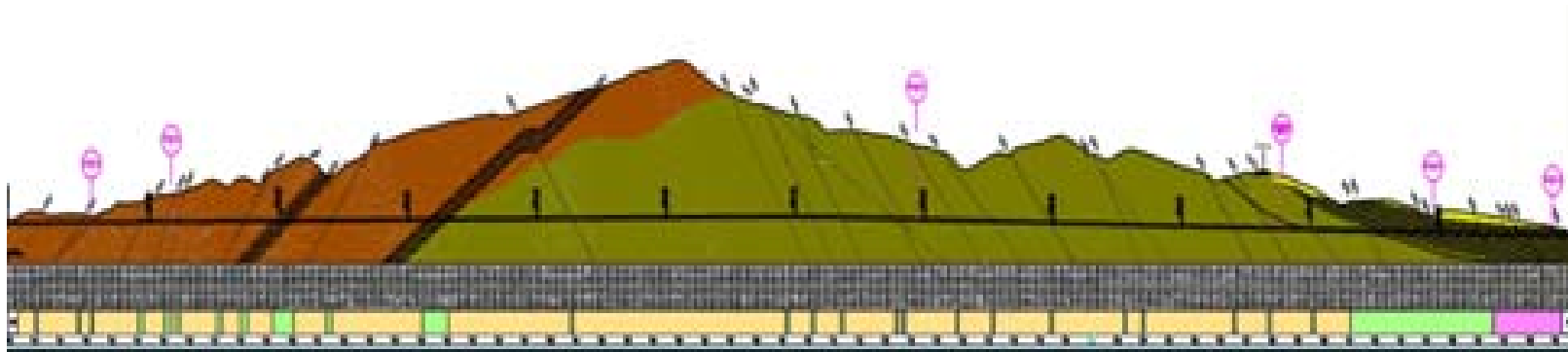
Εικόνα 6-5 : Φωτογραφία από γεώτρηση Σ34K-10

Η γεώτρηση Σ34K-11 (Εικόνα 6-6) διέτρησε κατεχοχρήν εδαφικά υλικά, τα οποία δεν είναι επιδεκτικά στο να παρουσιάζουν ασυνέχειες.



Εικόνα 6-6 : Φωτογραφία από γεώτρηση Σ34K-11

Στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 6-1, 6-2) φαίνονται οι θέσεις των εκτελεσμένων γεωτρήσεων του Α' σταδίου, καθ' όλο το μήκος της σήραγγας. Αριστερά του σχήματος βρίσκεται η είσοδος της σήραγγας (γεωτρήσεις Σ34K-2, Σ34K-3), ενώ δεξιά απεικονίζεται η έξοδος της σιδηροδρομικής σήραγγας του Δρίσκου (γεωτρήσεις Σ34K-8, Σ34K-9, Σ34K-10, Σ34K-11).



Σχήμα 6-1 : Απεικόνιση της θέσης των εκτελεσμένων γετρήσεων του Α' σταδίου, κατά μήκος της σήραγγας (γεωτεχνική μηκοτομή)



Πρόσφατες επιχωματώσεις



Πλευρικά κορήματα σε ανάμιξη με υλικά αποσάθρωσης του φλύσχη



Υλικά ποτάμιας αναβαθμίδας



Σχηματισμοί του φλύσχη με επικράτηση των λεπτομερών (ιλυολίθων)



Σχηματισμοί του φλύσχη με επικράτηση των αδρομερών (ψαμμιτών)



Μείζονες διαρρήξεις (ρήγματα)



Κατολισθήσεις



Ζώνη ισχυρής τεκτονικής καταπόνησης και κερματισμού

Σχήμα 6-2 : Υπόμνημα της γεωτεχνικής μηκοτομής του σχήματος 6-1

6.3 Γεωτεχνική θεώρηση των επί μέρους λιθολογικών ενοτήτων

Οι τεχνικογεωλογικοί τύποι που περιλαμβάνονται στο χάρτη, είναι οι ακόλουθοι:

- ⇒ Πρόσφατες επιχωματώσεις
- ⇒ Μανδύας αποσάθρωσης σχηματισμών του φλύσχη
- ⇒ Αλλουβιακές αποθέσεις
- ⇒ Πλευρικά κορήματα σε ανάμιξη με υλικά αποσάθρωσης του φλύσχη
- ⇒ Υλικά ποτάμιας αναβαθμίδας
- ⇒ Σχηματισμοί του φλύσχη με επικράτηση των ιλουλίθων
- ⇒ Σχηματισμοί του φλύσχη με επικράτηση των ψαμμιτών
- ⇒ Ράκη επωθημένων ασβεστολιθικών σωμάτων

Μορφοποιήθηκε: Κουκκίδα +
Επίπεδο: 1 + Στοιχισή: 0,63 εκ. +
Εσοχή: 1,27 εκ.

Για κάθε ένα από αυτούς, δίνονται σε γενικές γραμμές η περιγραφή, η φυσική κατάσταση, η τεχνικογεωλογική συμπεριφορά από πλευράς συνεκτικότητας, υδροπερατότητας, κλπ.

Πρόσφατες επιχωματώσεις

Υλικά που έχουν προκύψει κυρίως από την εκσκαπτική δραστηριότητα στο φλύσχη της Ιονίου για τη διάνοιξη της Εγνατίας οδού, αλλά και αλλόχθονα υλικά που ενσωματώθηκαν στην κατασκευή του οδικού έργου (μεταβατικά ή κοινά επιχώματα, υλικά οδοστρωσίας, κλπ.). Πρόκειται για χαλαρό σχηματισμό με μεγάλο πάχος (>5 m) στους αποθεσιοθαλάμους και συμπυκνωμένο με μεγάλη επιμήκη ανάπτυξη και μικρότερο πάχος στις θέσεις που χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση τμημάτων της οδού (Εικόνα 6-7). Τα αυτόχθονα αποτελούνται από αργιλοϊλυώδη λεπτομερή του φλύσχη με άμμο σε ανάμιξη με αδρομερή στοιχεία ποικίλου μεγέθους, προερχόμενα από τις ψαμμιτικές κυρίως φάσεις, ενώ τα αλλόχθονα είναι συνήθως ασβεστολιθικής σύστασης.

Κεφάλαιο 6 – Τεχνικογεωλογικές – Υδρογεωλογικές Συνθήκες των σχηματισμών της σιδηροδρομικής σήραγγας του Δρίσκου



Εικόνα 6-7 : Υλικά επιχωματώσεων της Εγνατίας οδού στην περιοχή Βασιλικής

Μανδύας αποσάθρωσης σχηματισμών του φλύσχη

Μικτά υλικά τεφροκάστανου χρώματος από αμμοϊλυώδη έως αργιλοαμμώδη λεπτομερή υλικά, καθώς και θραύσματα, κυρίως ψαμμιτικά, ποικίλου μεγέθους.

Πρόκειται για χαλαρό σχηματισμό στο σύνολό του, με μέτρια έως υψηλή υδροπερατότητα και μειωμένη γεωμηχανική συμπεριφορά. Το πάχος του μανδύα κυμαίνεται από 0.5 m μέχρι και μεγαλύτερο των 4 m τοπικά (Εικόνα 6-8). Στο χάρτη έχουν διαχωριστεί μόνο οι περιοχές όπου ο μανδύας εκτιμάται ότι έχει πάχος μεγαλύτερο των 2 m.



Εικόνα 6-8 : Υλικά του μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη που, στη συγκεκριμένη θέση, αποκτούν αυξημένο πάχος και εμφανίζουν ισχυρή διάβρωση

Αλλουβιακές αποθέσεις

Αποτελούνται από ερυθροκάστανες έως τεφροκάστανες αργιλοίλυες έως ιλυώδεις αργίλους (Εικόνα 6-9), με κυμαινόμενο ποσοστό λεπτόκοκκων συνήθως άμμων, καθώς και ψηφίδων ή και χαλίκων φλυσικής προέλευσης. Πρόκειται για υλικά με μέτρια έως κακή τοπικά κοκκομετρική διαβάθμιση (επικρατούν τα λεπτομερή), είναι ασθενώς έως μέτρια συνεκτικά, και χαμηλής έως μέτριας υδροπερατότητας. Συναντώνται στα ομαλά τμήματα (δυτικό άκρο του οικισμού της Βασιλικής), δεν παρουσιάζουν σημαντικά γεωτεχνικά προβλήματα, αλλά και δεν εμπλέκονται ουσιαστικά με το εξεταζόμενο έργο σήραγγας, παρά μόνον οριακά, στο μετά την έξοδο ανοικτό όρυγμα. Το συνολικό πάχος τους είναι κυμαινόμενο, αλλά όχι γενικά μεγάλο, φθάνει δε τις λίγες δεκάδες μέτρων.



Εικόνα 6-9 : Άποψη των αλλουβιακών αποθέσεων που δομούν την πεδιάδα της Βασιλικής

Πλευρικά κορήματα σε ανάμιξη με υλικά αποσάθρωσης του φλύσχη

Αποτελούνται από γωνιώδη ακανόνιστα έως πεπλατυσμένα τεμάχια φλυσικής προέλευσης (ψαμμικά κυρίως, αλλά και ιλυολιθικά) και ποικίλου μεγέθους (έως 30 cm), ψηφίδες, χάλικες, καθώς και καστανέρυθρες ιλυώδεις αργίλους έως αργιλοίλυες ή και αμμοίλυες (προϊόντα αποσάθρωσης του φλύσχη) σε ανάμιξη. Κατά θέσεις στη μάζα των κορημάτων, έχουν διασωθεί ολόκληρα τεμάχια μεγέθους μέχρι και 2 m του μητρικού πετρώματος, τα οποία διατηρούν στοιχεία της αρχικής δομής (Εικόνα 6-10). Εμφανίζουν μέση έως και τοπικά υψηλή υδατοπερατότητα, η οποία μειώνεται σημαντικά στις θέσεις όπου επικρατούν τα λεπτομερή.

Σχηματισμός χαλαρός ή και τοπικά ημισυνεκτικός (όπου αυξάνει το ποσοστό των αργιλικών αποσαθρωμάτων), με συμπεριφορά που ελέγχεται σε σημαντικό

Κεφάλαιο 6 – Τεχνικογεωλογικές – Υδρογεωλογικές Συνθήκες των σχηματισμών της σιδηροδρομικής σήραγγας του Δρίσκου

βαθμό από την κοκκομετρική διαβάθμιση και από την εκάστοτε αναλογία αδρομερών – λεπτομερών λιθολογικών μονάδων. Το πάχος του φθάνει τις λίγες δεκάδες μέτρων. Εντοπίζονται παραεπιφανειακά στην περιοχή της εξόδου της σήραγγας.



Εικόνα 6-10 : Πλευρικά κορήματα σε ανάμιξη με υλικά αποσάθρωσης του φλύσχη, στην περιοχή του οικισμού της Βασιλικής

Υλικά ποτάμιας αναβαθμίδας

Μικρό σε έκταση και πάχος, υπόλειμμα παλαιάς αναβαθμίδας του Αράχθου, ανάντη της εισόδου, αποτελείται κυρίως από αδρομερή στοιχεία (κροκάλες) κερατολιθικής, ανθρακικής και σπανιότερα ψαμμιτικής προέλευσης, και από λίγα λεπτομερή (Εικόνα 6-11). Σχηματισμός ημισυνεκτικός μέτριας έως υψηλής περατότητας, με μέτρια γεωμηχανική συμπεριφορά δεν απασχολεί, λόγω θέσης και μεγέθους, το υπό μελέτη έργο.



Εικόνα 6-11 : Υπολειμματικά υλικά παλαιάς αναβαθμίδας του Αράχθου στην περιοχή της εισόδου

Σχηματισμοί του φλύσχη με επικράτηση των ιλυολίθων

Ιόνιος φλύσχη, σε εναλλαγές πάχους 1 έως 20 cm καστανοπράσινου, καστανότεφρου ή και τεφρού έως τεφρομέλανος χρώματος ιλυολίθων και ψαμμιτών (Εικόνα 6-12), με επικράτηση των πρώτων. Οι ψαμμίτες, που τοπικά μεταπίπτουν σε ασβεστιτικούς και αποκτούν αυξημένη σκληρότητα, έχουν ποσοστό συμμετοχής που δεν ξεπερνά το 30% έως τοπικά το 40% και το πάχος των στρώσεών τους είναι 5-8 και σπανιότερα 10-15 cm. Είναι συνήθως λεπτόκοκκοι - μεσόκοκκοι, ισχυρά συνεκτικοί και κερματισμένοι, με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζονται από αυξημένη δευτερογενή περατότητα και ικανοποιητική αναμενόμενη φέρουσα ικανότητα.



Εικόνα 6-12: Φλύσχη με εναλλαγές ιλυολίθων και μικρού πάχους ψαμμιτών, με επικράτηση των πρώτων

Οι ιλυόλιθοι που επικρατούν στο σχηματισμό, είναι συνήθως εύθρυπτοι, αναπτύσσονται σε ενστρώσεις πάχους χιλιοστομετρικού έως 15 cm, μεταπίπτουν τοπικά σε αργιλούχες μάργες, και είναι πρακτικά στεγανοί στο σύνολό τους. Κατά θέσεις αποκτούν μελανότεφρο χρώμα και επικρατούν πλήρως της ψαμμιτικής φάσης, που περιορίζεται σε πολύ λεπτές και αραιές παρεμβολές (Εικόνα 6-13).

Η φάση αυτή του Ιόνιου φλύσχη αποτελεί μαλακό βραχώδη σχηματισμό, με εν γένει μονοκλινική δομή στο κεντρικό τμήμα του έργου, αλλά και με έντονη πτύχωση έως στολίδωση, ιδίως στο τεκτονικά καταπονημένο ΒΑ άκρο. Αποτέλεσμα του τεκτονισμού είναι ο σχηματισμός μανδύα αποσάθρωσης και ζώνης κερματισμού ποικίλου, αλλά γενικά αυξημένου πάχους. Κατά θέσεις, το υγιές πέτρωμα διατηρεί ευσταθή σχεδόν κατακόρυφα τεχνητά πρηνή ύψους άνω των 6 m. Όμως, τοπικοί παράγοντες, όπως η τεκτονική καταπόνηση, η έντονη εδαφική μορφολογία, καθώς και η επίδραση των μετεωρικών φαινομένων, περιορίζουν την ευστάθεια στα πρηνή και ευνοούν την εκδήλωση κατολισθητικών κινήσεων που συνήθως πλήττουν, πέρα από τα αποσθάρματα, και τη ζώνη κερματισμού. Το πάχος τους είναι της τάξης

Κεφάλαιο 6 – Τεχνικογεωλογικές – Υδρογεωλογικές Συνθήκες των σχηματισμών της σιδηροδρομικής σήραγγας του Δρίσκου

αρκετών δεκάδων έως μερικών εκατοντάδων μέτρων. Στην περιοχή της σήραγγας ο σχηματισμός αυτός καλύπτει μήκος έως 1,7Km από το στόμιο εισόδου.



Εικόνα 6-13: Φλύσχη με επικράτηση του μελανότεφρου ιλυολίθου

Σχηματισμοί του φλύσχη με επικράτηση των ψαμμιτών

Εναλλαγές λεπτοστρωματωδών έως μεσοστρωματωδών, τεφρών έως καστανότεφρων ψαμμιτών και αραιότερων ενστρώσεων τεφρών έως τεφροκίτρινων ιλυολίθων. Οι ψαμμίτες μετέχουν με ποσοστό περί το 60% ή και μεγαλύτερο, είναι γενικά λεπτόκοκκοι έως μεσόκοκκοι αυξημένης συνήθως διαγένεσης, ιδιαίτερα ανθεκτικοί, σε πυκνές ενστρώσεις πάχους από 5-30cm ή και σπανιότερα σε πάγκους μέχρι 3m (Εικόνες 6-14 έως 6-17). Οι ιλυόλιθοι, αντίθετα, εμφανίζονται με τη μορφή παρεμβολών της τάξης των 2-10 cm, σε χιλιοστομετρικές στρώσεις, αποτελούν δε μαλακό σχηματισμό. Η φάση αυτή του φλύσχη διαπιστώθηκε ότι δεν αναπτύσσει γενικά μανδύα αποσάθρωσης, ή σχηματίζει μανδύα μικρού πάχους.

Παρουσιάζουν γενικά ικανοποιητική γεωμηχανική συμπεριφορά και σχετικά αυξημένη δευτερογενή περατότητα. που συνδέεται ευθέως με την ανάπτυξη των συστημάτων ασυνεχειών της βραχομάζας και το βαθμό πλήρωσής τους. Το πάχος τους φαίνεται να κυμαίνεται από αρκετές δεκάδες έως μερικές εκατοντάδες μέτρα. Στην περιοχή της σήραγγας ο σχηματισμός αυτός καλύπτει μήκος έως 1,7Km από το στόμιο εισόδου.

Κεφάλαιο 6 – Τεχνικογεωλογικές – Υδρογεωλογικές Συνθήκες των σχηματισμών της σιδηροδρομικής σήραγγας του Δρίσκου



Εικόνα 6-14 : Χαρακτηριστική όψη της ψαμμιτικής φάσης του φλύσχη (φωτογραφία εκτός της στενής περιοχής μελέτης)



Εικόνα 6-15 : Η ψαμμιτική φάση του φλύσχη σε όρυγμα για την κατασκευή cut & cover της Εγνατίας. Διακρίνεται η ισχυρή συγκρότηση του σχηματισμού, τόσο στα πρανή, όσο και στα ευσταθή υπολείμματα πετρώματος μεταξύ διαδοχικών πασσάλων της ενδιάμεσης συστοιχίας



Εικόνα 6-16 : «Φέτα» ψαμμιτικού φλύσχη (1.00 x 6.00 x 0.40), που διατηρείται ευσταθής μεταξύ δύο πασσάλων της ενδιάμεσης συστοιχίας. Από το άνοιγμα στη βάση διακρίνεται το απέναντι διάζωμα της υπό κατασκευήν οδού

Κεφάλαιο 6 – Τεχνικογεωλογικές – Υδρογεωλογικές Συνθήκες των σχηματισμών της σιδηροδρομικής σήραγγας του Δρίσκου



Εικόνα 6-17 : Η φάση του φλύσχη με επικράτηση των ψαμμιτών, στην επαφή της με την υπερκείμενη, κατεξοχήν ιλυολιθική φάση

Σχηματισμοί του φλύσχη με επικράτηση των αδρομερών: Ζώνη ισχυρής τεκτονικής καταπόνησης και κερματισμού: Πρόκειται για τον ίδιο σχηματισμό στον οποίο, εξαιτίας έντονου τεκτονισμού στην περιοχή της εξόδου και σε μήκος περίπου 1,1Km μετά τη Χ.Θ. 78+900, έχει αναπτυχθεί τοπικά μεγάλο πάχους ζώνη κερματισμού.

Ράκη επωθημένων ασβεστολιθικών σωμάτων

Πρόκειται για μικρών διαστάσεων σώματα ανθρακικών πετρωμάτων ανοικτότεφρου χρώματος της ζώνης Πίνδου. Το μεγαλύτερο που συναντάται στη ζώνη του έργου είναι περίπου 50 m³, άλλα όμως σημαντικά μεγαλύτερα τεμάχια, βρίσκονται διάσπαρτα στο ΝΑ τμήμα, εκτός της χαρτογραφημένης περιοχής. Αποτελούν υπολειμματικά ράκη της επώθησης της ζώνης Πίνδου επάνω στο φλύσχη της Ιονίου (Εικόνα 6-18).



Εικόνα 6-18 : Ασβεστολιθικό ράκος στα δυτικά πρηνή του Δρίσκου

6.4 Υδρογεωλογική συμπεριφορά των σχηματισμών

Από υδρογεωλογικής πλευράς, οι σχηματισμοί που δομούν την περιοχή είναι δυνατόν να διακριθούν στις εξής ενότητες:

Υδροφόροι σχηματισμοί

Σ' αυτούς εντάσσονται οι χαλαροί σχηματισμοί του μανδύα αποσάθρωσης, τα πλευρικά κορήματα σε ανάμιξη με υλικά αποσάθρωσης του φλύσχη, καθώς και τα υλικά της αναβαθμίδας.

Από αυτά, τα πλευρικά κορήματα παρουσιάζουν την υψηλότερη υδροπερατότητα στην έκταση των εμφανίσεών τους, ενώ έχουν και σημαντική επιφανειακή εξάπλωση σε θέσεις που ενδέχεται να επηρεάζουν έμμεσα το υπόγειο έργο. Καθώς δε επικάθονται σε στεγανούς σχηματισμούς του φλύσχη, μπορούν να υδροφορούν εποχιακά, εάν η μορφολογία του υποβάθρου το επιτρέπει.

Αυξημένη υδροπερατότητα παρουσιάζουν ενίοτε και τα υλικά του μανδύα αποσάθρωσης το οποία όμως δεν εμπλέκονται με καμία θέση του έργου. Σε θέσεις αυξημένου πάχους και περιορισμένων δυνατοτήτων αποστράγγισής του, ο μανδύας διαμορφώνει εποχιακές εκροές ή και μικροπηγές, δύο από τις οποίες εντοπίστηκαν και σημειώθηκαν στο γεωλογικό χάρτη.

Πρακτικά στεγανοί σχηματισμοί

Στους σχηματισμούς αυτούς κατατάσσονται εν γένει οι κυκλοθεματικές εναλλαγές των ιζημάτων του φλύσχη, ιδίως δε της ανώτερης φάσης, όπου επικρατούν οι ιλυόλιθοι. Οι ψαμμιτικές παρεμβολές εμφανίζουν μεταβαλλόμενο

ρυθμό απόθεσης, με αποτέλεσμα αλλού να παρουσιάζουν πυκνότερη ανάπτυξη και αλλού αραιότερη.

Αντίθετα, στην περίπτωση του κατώτερου (ψαμμιτικού) φλύσχη, οι ψαμμιτικές ενστρώσεις είναι πυκνές και προδιαγράφουν έντονη ανισοτροπία και ανομοιογένεια από υδρογεωλογικής πλευράς. Εδώ είναι δυνατή η δημιουργία επικρεμάμενων οριζόντων με γενικά όχι σημαντική υδροφορία, στις θέσεις όπου οι αδρομερείς οριζόντες παρουσιάζουν αυξημένη συμμετοχή, η τεκτονική δημιουργεί συγκλινικές μορφές, αλλά και η κατείσδυση εκτείνεται σε μεγαλύτερο βάθος μέσω του δευτερογενούς πορώδους του πετρώματος. Τέτοιες θέσεις είναι πιθανό να συναντηθούν στο προς την έξοδο τμήμα της σήραγγας, μετά το 76° χλμ, ιδίως δε στα τελευταία 1000 m της διαδρομής του έργου, όπου το πυκνό δίκτυο μικρών και μεγαλύτερων ρηγμάτων φαίνεται να έχει προκαλέσει εκτετασμένο κερματισμό και να έχει δημιουργήσει προνομιακές διόδους για την κατείσδυση του νερού.

Στην περιοχή των εδαφικών σχηματισμών (γεώτρηση Σ34K-11) εκτελέστηκαν δοκιμές MAAG. Από αυτές προέκυψε ότι η υδροπερατότητα των εδαφικών σχηματισμών είναι της τάξης του $10^{-6} \div 10^{-5}$ cm/s και συνεπώς χαρακτηρίζονται ως «πολύ μικρής διαπερατότητας» σχηματισμοί.

Στις περιοχές των βραχωδών εκτελέστηκαν δοκιμές Lugeon σε διάφορα βάθη. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι σχηματισμοί αυτοί χαρακτηρίζονται με συντελεστή διαπερατότητας της τάξης του 10^{-5} cm/s και 10^{-6} cm/s στη γεώτρηση Σ34K-10 (κερματισμένη ζώνη). Συνεπώς και αυτοί χαρακτηρίζονται ως «πολύ μικρής διαπερατότητας» σχηματισμοί.

6.5 Αστάθεια πρανών στην περιοχή μελέτης

Στην περιοχή μελέτης εντοπίστηκαν αραιές μεν γενικά, κατεχοχόν δε επιφανειακές αστοχίες πρανών με τη μορφή παλαιών και πρόσφατων κατολισθητικών φαινομένων (Εικόνα 6-19). Τα φαινόμενα επηρεάζουν κυρίως την επιφανειακή χαλαρωμένη και αποσαθρωμένη ζώνη και είναι κατά κανόνα επιπεδόμορφες αστοχίες μικρού βάθους σε περιοχές με υψηλές κλίσεις αναγλύφου και χαλαρά επιφανειακά υλικά (μανδύα αποσάθρωσης).

Η πυκνή μέσου ύψους βλάστηση που χαρακτηρίζει τον ορεινό όγκο του Δρίσκου, έχει πιθανότατα συνεισφέρει τόσο στην αποτροπή κάποιων αστοχιών, όσο και στη γρήγορη επούλωση και απόκρυψη άλλων. Με γνώμονα, πάντως, το τεκτονικό ιστορικό της περιοχής, το βαθμό της επιφανειακής αποσάθρωσης του φλύσχη, τις δυσμενείς μετεωρολογικές και υδρολογικές συνθήκες που επικρατούν,

Κεφάλαιο 6 – Τεχνικογεωλογικές – Υδρογεωλογικές Συνθήκες των σχηματισμών της σιδηροδρομικής σήραγγας του Δρίσκου

και τη συχνά απότομη εδαφική μορφολογία, το πλήθος και η έκταση των εμφανών θραύσεων χαρακτηρίζονται ως μικρά. Θεωρείται, έτσι, ότι η ευρύτερη περιοχή μελέτης είναι σήμερα ακόμη γεωμορφολογικά ενεργή και ως εκ τούτου επιρρεπής στην εκδήλωση ασταθειών, ιδιαίτερα σε θέσεις συνδυασμού των παραγόντων που τις ευνοούν, και ανθρώπινων επεμβάσεων. Η παρατήρηση αυτή θα είναι σκόπιμο να συνεκτιμηθεί κυρίως για την εξασφάλιση του επιφανειακού οδικού δικτύου.



Εικόνα 6-19 : Επιφανειακή θραύση πρσανούς στον ιλυολιθικό φλύσχη της ευρύτερης περιοχής εισόδου της σήραγγας. Ο ιδιαίτερα ευνοϊκός προσανατολισμός των ψαμμικών στρώσεων, έχει αποτρέψει την πλευρική επέκταση του φαινομένου, όχι όμως και την αστοχία του ενδιάμεσου ιλυολιθικού υλικού

6.6 Αναμενόμενες τεχνικογεωλογικές συνθήκες κατά μήκος της σήραγγας

Σ' αυτό το σημείο επιδιώκεται μια γενική σκιαγράφηση της φύσης και της έκτασης των τεχνικογεωλογικών προβλημάτων που εκτιμάται ότι θα συναντήσουν τα έργα στην περιοχή του Δρίσκου.

Τμήμα 1^ο – χ.θ. 73+893 έως χ.θ. ~74+240

Το τμήμα αυτό χαρακτηρίζεται από σχετικά χαμηλά υπερκείμενα (17 έως 25 κατά μέγιστο m), τα οποία επιπλέον αποσβένονται πλευρικά, ιδίως προς τα ΒΔ, καθώς η χάραξη παραλληλίζεται με το μικρό ύβωμα που διατρέχει το τμήμα. Η μορφολογία προσφέρεται εν γένει για τη διάνοιξη του έργου σε cut & cover (με επιφύλαξη, πάντως, του μεγάλου όγκου εκσκαφών που θα προκύψουν).

Υπ' αυτή την προοπτική, η διαμόρφωση των πρσανών της εκσκαφής δεν αναμένεται να συναντήσει ουσιώδη προβλήματα. Οι επιφανειακές κατατάξεις

βραχομάζας χαρακτηρίσαν μεν το φλύσχη ως μάλλον πτωχής ποιότητας πέτρωμα, με υψηλές όμως για την κατηγορία αυτή τιμές του SMR (35 έως 41, με άνω όριο κατηγορίας το 40). Το ίδιο ισχύει για τις τιμές του δείκτη GSI (30 έως 37). Η ποιότητα, εξ άλλου, του πετρώματος δείχνει, σύμφωνα με τα στοιχεία της γεώτρησης Σ34Κ-2, να βελτιώνεται με το βάθος (αντίστοιχο RMR=50 στη στάθμη του έργου).

Αστοχίες σφήνας είναι μεν δυνητικά πιθανές και στα δύο πρानή, μπορούν όμως να ελεγχθούν σχετικά εύκολα με διατήρηση της γενικής κλίσης στην περιοχή των 45-50° και, πάντως, δεν προβληματίζουν σοβαρά με δεδομένο τον προσωρινό χαρακτήρα της εκσκαφής.

Οι συνθήκες δεν εμφανίζονται δυσμενείς και για την περίπτωση που θα επιλεγεί υπόγεια διάνοιξη της σήραγγας. Η ποιότητα του πετρώματος είναι αρκετά καλή ώστε να μην επιβαρύνει δυσανάλογα τα μέτρα υποστύλωσης, ενώ η μόνη ειδική δυσκολία που μπορεί να επισημανθεί, συνδέεται με τις πιθανά αυξημένες εισροές νερού εξαιτίας των μικρών υπερκειμένων, της χαλάρωσης του πετρώματος στην επιφανειακή του στοιβάδα, και της απρόσφορης (παρακατακόρυφης) διάταξης των στρώσεων.

Τμήμα 2° – χ.θ. ~74+240 έως χ.θ. ~75+600

Στο τμήμα αυτό το υπόγειο έργο εντάσσεται σε φλύσχη με σχετική επικράτηση των ιλυολίθων, ο οποίος σχηματίζει μια εκτεταμένη διπλή πτύχωση με διαδοχή συγκλίνου-αντικλίνου-συγκλίνου, αλλά και πολλές τοπικές πτυχώσεις έως στολιδώσεις. Ένα σημαντικό πλήθος ρηγμάτων, ορθών, οριζόντιας μετατόπισης, και ανάστροφων, διατρέχει το σχηματισμό και έχει προκαλέσει τοπικό κερματισμό που, στη γειτονιά των ανάστροφων ρηγμάτων, εμφανίζεται ισχυρότερος και περισσότερο εκτεταμένος.

Το πέτρωμα καθαυτό παρουσιάζεται αρκετά συμπαγές και ανθεκτικό στους βαθύτερους πυρήνες της γεώτρησης Σ34Κ-3, τόσο κατά την ψαμμιτική, όσο και κατά την ιλυολιθική του φάση οι οποίες εναλλάσσονται σε λεπτές στρώσεις. Ωστόσο οι επιφανειακές εκδηλώσεις του διαπιστώνονται ευπρόσβλητες στις ατμοσφαιρικές επιρροές, εύθρυπτες και επιρρεπείς σε αποσάθρωση, γεγονός που συμβαδίζει με την αυξημένη συμμετοχή του ιλυόλιθου. Με βάση αυτή την παρατήρηση, πιστεύεται ότι ειδικά στο διάστημα μέχρι περίπου τη χ.θ. 75+000, όπου τα υπερκείμενα είναι συγκριτικά χαμηλότερα, οι ευάριθμες ζώνες κερματισμού θα έχουν επηρεαστεί έντονα από το κατεισδύον νερό, και είναι πιθανό να παρουσιάζονται έως και εδαφοποιημένες.

Κεφάλαιο 6 – Τεχνικογεωλογικές – Υδρογεωλογικές Συνθήκες των σχηματισμών της σιδηροδρομικής σήραγγας του Δρίσκου

Με γνώμονα την υδατοστεγανή υφή του φλύσχη, δεν πιθανολογείται η παρουσία μόνιμου υδροφόρου. Νερό ενδέχεται να εμφανίζεται ως υγρασία στο πέτρωμα, στάγδην, ή σε μικρές απορροές, κατεισδύοντας διαμέσου των ζωνών κερματισμού και του δικτύου διακλάσεων, ή και να εισρεύσει σε περιορισμένες ποσότητες και παροχές εάν το έργο συμβεί να διατρήσει θύλακες που έχουν σχηματιστεί και παραμένει σε τοπικές αναδιπλώσεις του φλύσχη. Η πιθανότητα τέτοιων συμβάντων είναι ασφαλώς αυξημένη στα κατώτερα τμήματα των συγκλίνων.

Τμήμα 3° – χ.θ. ~75+600 έως χ.θ. ~79+100

Η σήραγγα παραμένει στους σχηματισμούς του φλύσχη, ο οποίος όμως μεταβαίνει σταδιακά στη φάση επικράτησης του ψαμμίτη. Το πέτρωμα αποκτά ισχυρότερη συγκρότηση, αυξημένη ψαθυρότητα και μειωμένη ευπάθεια στις αποσαθρωτικές διεργασίες, στοιχεία που διαπιστώνονται τόσο στους πυρήνες των γεωτρήσεων Σ34Κ-8 και Σ34Κ-9, όσο και (κυρίως) επιφανειακά. Κατά το πρώτο τουλάχιστον χιλιόμετρο, στο διάστημα των υψηλών υπερκειμένων, η τεκτονική καταπόνηση είναι εμφανώς περιορισμένη. Εφεξής, και μέχρι το τέλος του τμήματος αυξάνει, εκδηλώνεται όμως με ρήγματα εφελκυστικά ή οριζόντιας μετατόπισης, που προκαλούν μικρότερη διατάραξη σε σύγκριση με τα θλιπτικά (ανάστροφα) του 1^{ου} τμήματος.

Η πτύχωση του σχηματισμού αποσβένεται γρήγορα και, μετά το 77^ο χλμ, ο φλύσχος παρουσιάζεται ουσιαστικά μονοκλινής, με παραοριζόντια στρώση. Η διάταξη αυτή της στρώσης μειώνει τις πιθανότητες να συναντηθούν θύλακες νερού, αλλά και δυσχεραίνει συγκριτικά τις διάχυτες κατεισδύσεις, οι οποίες θα έπρεπε λογικά να αναμένονται αυξημένες σε περιβάλλον υπεροχής του (ψαθυρού) ψαμμίτη. Έτσι, η παρουσία νερού πιθανολογείται κατεξοχήν γύρω από τις ζώνες ρηγμάτων.

Τμήμα 4° – χ.θ. ~79+100 έως χ.θ. 79+985

Το τελευταίο χιλιόμετρο της σήραγγας θα διανοιχθεί στον ίδιο με το 3^ο τμήμα (ψαμμικό, κατ' επικράτηση) φλύσχη. Η ιδιαιτερότητα για την οποία κρίθηκε σκόπιμος ο διαχωρισμός του, ανάγεται στο πυκνό δίκτυο ρηγμάτων που το διατρέχει, πιθανόν πολύ πυκνότερο από αυτό που μπόρεσε να διαπιστωθεί επιφανειακά ή να υποθεθεί από έμμεσες ενδείξεις, καθώς η ευρεία εξάπλωση των τεταρτογενών σχηματισμών δεν επιτρέπει την παρατήρηση.

Κεφάλαιο 6 – Τεχνικογεωλογικές – Υδρογεωλογικές Συνθήκες των σχηματισμών της σιδηροδρομικής σήραγγας του Δρίσκου

Σαφή απόδειξη του ότι η περιοχή έχει υποστεί ισχυρό τεκτονισμό (η οποία εδραιώνεται παραπέρα από τα ευρήματα των γεωτρήσεων Σ34Κ-10 και Σ343Κ-11), αποτελεί καθαυτή η παρουσία μεγάλων μαζών από κορήματα.

Στο τμήμα αυτό πρέπει να αναμένεται πολύ πτωχή ποιότητα της βραχώμαζας, μέχρι εδαφοποίησης του υλικού όπως στη γεώτρηση Σ34Κ-11, καθώς και αυξημένες κατεισδύσεις νερού δια μέσου του κερματισμένου φλύσχη. Σημειώνεται εν προκειμένω ότι, σε απόσταση 150-200 m ανατολικά του στομίου εξόδου υπάρχουν, διανοιγμένες στο φλύσχη και στην απόληξη ενός υδρογραφικού άξονα, δύο υδρογεωτρήσεις. Δεν έγινε δυνατό να συλλεχθούν στοιχεία για το βάθος άντλησης και τη δυναμικότητά τους, πιστεύεται όμως ότι τοποθετήθηκαν εκεί για να αξιοποιήσουν το νερό που συρρέει και σωρεύεται στη μάζα του υποκείμενου κερματισμένου πετρώματος κινούμενο υπόγεια, καθώς η ήπια και ανοικτή λεκάνη του ρέματος δεν παρέχει ενδείξεις επιφανειακής απορροής.

Κεφάλαιο 7

Στόμια Σιδηροδρομικής Σήραγγας Δρίσκου

7 Στόμια Σιδηροδρομικής Σήραγγας Δρίσκου

7.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί περιγράφονται τα τμήματα στις περιοχές εισόδου και εξόδου της σήραγγας του Δρίσκου, όπου λόγω του μικρού ύψους υπερκειμένων, η κατασκευή της σήραγγας θα γίνει με τη μέθοδο της ανοικτής εκσκαφής (Cut and Cover). Επιπλέον, γίνεται αναφορά στον τρόπο διαμόρφωσης των πρηνών εκσκαφής, καθώς και στις μεθόδους αντιστήριξης του μετώπου για τη διάνοιξη της σήραγγας.

7.2 Στόμιο εισόδου Χ.Θ. 73+893 (από Καλαμπάκα)

Όπως είναι γνωστό το τμήμα εισόδου των σιδηροδρόμων αποτελεί λεπτό σημείο και θα πρέπει να κατασκευάζεται με προσοχή. Η είσοδος της νέας σιδηροδρομικής σήραγγας του Δρίσκου (Εικόνα 7-1) προβλέπεται στη συνέχεια της γέφυρας διέλευσης του ποταμού Άραχθου και γεφύρωσης της μελλοντικής λίμνης του φράγματος Καλαρρύτικου της ΔΕΗ (Α.Δ.Κ, 2008). Επί μήκους ~260m (Χ.Θ. 73+893 ÷ 74+250) η σήραγγα ορύσσεται σε επίμηκες ύβωμα, στο οποίο το υπερκείμενο κυμαίνεται μεταξύ 10 και 35m (μέσο 25m) περίπου από Κ.Σ. Συγκεκριμένα, μετά τη Χ.Θ. 73+960 το υπερκείμενο αυξάνει σε 30÷35m, στη συνέχεια από την Χ.Θ. 74+060 έως την 74+100 μειώνεται εκ νέου σε 25m και στη συνέχεια αυξάνει σταδιακά.

Προκειμένου να εξασφαλιστεί το απαιτούμενο πάχος υπερκειμένων για την ασφαλή υπόγεια όρυξη έχουμε:

- στάθμη στέψης διατομής εκσκαφής από Κ.Σ. $\sim 4,7+3,0+0,5 \approx +8,5\text{m}$
- ελάχιστο απαιτούμενο πάχος υπερκειμένων $\sim 1 \times \text{διάμετρο} \approx 2 \times 4,7+2 \times 0,5 \approx 10,5\text{m}$
- ελάχιστο ύψος επιφάνειας εδάφους από Κ.Σ. $\sim 8,5+10,5=19\text{m}$

Συνεπώς η θέση του μετώπου προσβολής με υπόγεια διάνοιξη τοποθετείται στην Χ.Θ. 73+930 όπου το αντίστοιχο ύψος είναι $0,5 \times (15,35+23,33)=19,34\text{m}$.

Οι διαθέσιμες επιλογές για την κατασκευή της σήραγγας στο υπόψη τμήμα είναι οι εξής:

- **1)** Κατασκευή σε Cut-and-Cover του τμήματος από Χ.Θ. 73+893 ÷ 73+930 (μήκους 37m) και στη συνέχεια με υπόγεια διάτρηση, αντιμετωπίζοντας το τμήμα από Χ.Θ. 74+050 ÷ 74+100 (μήκους 50m) με προενίσχυση του μετώπου και αυξημένα μέτρα αντιστήριξης.

Μορφοποιήθηκε: Κουκκίδα + Επίπεδο: 1 + Στοιχίση: 0,63 εκ. + Εσοχή: 1,27 εκ.

Μορφοποιήθηκε: Εσοχή: Αριστερά: 0,63 εκ., Πρώτη γραμμή: 0 εκ., Με αριθμηση + Επίπεδο: 1 + Στυλ αριθμησης: 1, 2, 3, ... + Έναρξη από: 1 + Στοιχίση: Αριστερά + Στοιχίση: 0,63 εκ. + Εσοχή: 1,27 εκ.

Κεφάλαιο 7 – Στόμια Σιδηροδρομικής Σήραγγας Δρίσκου

•2) Κατασκευή σε Cut-and-Cover του τμήματος από Χ.Θ. 73+893 ÷ 74+250 (μήκους 257m), και στη συνέχεια υπόγεια διάτρηση, με προσωρινή διέλευση του SR13a μέσα από το χώρο της εκσκαφής Cut-and-Cover, εφόσον έχει επιλεγεί η προηγούμενη κατασκευή του για χρήση εργοταξιακή. Σημειώνεται ότι, αν και θεωρείται χρήσιμη, ωστόσο δεν θα απαιτείται η χρήση του SR13a για τις ανάγκες του εργοταξίου, εφόσον διαμορφωθεί κατάλληλα υφιστάμενη αγροτική οδός, με τις επιφυλάξεις του ιδιοκτησιακού καθεστώτος.

Σημειώνεται ότι η μετατροπή σε ανοικτή γραμμή στο τμήμα αυτό δεν επιτρέπεται λόγω του απαράδεκτου περιβαλλοντικά ύψους των πρανών του ορύγματος και της αλλαγής της γεωμορφολογίας (πρακτικά αποκοπή της κορυφογραμμής του υβώματος).

Από τις παραπάνω επιλογές, προτιμάται η πρώτη για λόγους ευχέρειας. Συγκεκριμένα:

81) Δεν επιβαρύνεται το ήδη θετικό ισοζύγιο χωματισμών με μεγάλες πρόσθετες ποσότητες, σημαντικό μέρος των οποίων θα απαιτούσε μόνιμη απόθεση.

92) Το τμήμα του Cut-and-Cover που θα παραμείνει ως ανοικτή εκσκαφή καθ' όλη τη διάρκεια της κατασκευής του υπόγειου έργου, θα χρησιμοποιηθεί ως εργοταξιακός χώρος. Για το σκοπό αυτό η εκσκαφή για τα δύο στόμια (κύρια σήραγγα και παράλληλη σήραγγα διαφυγής) γίνεται ενιαία, οπότε διατίθεται χώρος έκτασης περίπου 2στρ. που επιτρέπει την αρχική ανάπτυξη εργοταξίου. Για αυξημένες απαιτήσεις κατά τη διάρκεια του έργου, ο χώρος αυτός θα μεγαλώσει με την προσθήκη της πλατείας που προβλέπεται για την κατασκευή χώρου στάθμευσης, προσγείωσης και κτιρίων υποστήριξης της σήραγγας. Η πλατεία αυτή θα διαμορφωθεί με αντιστήριξη και επίχωση με κατάλληλα υλικά από τα προϊόντα εκσκαφής του ορύγματος ή της σήραγγας. Για περαιτέρω απαιτήσεις θα πρέπει να γίνει κατάληψη χώρου στη στενή περιοχή του στομίου.

103) Επιτρέπει την ανεξάρτητη πρακτικά κατασκευή του SR13a και συνεπώς την εξασφάλιση εξαρχής οδού πρόσβασης στο χώρο του εργοταξίου ανεξάρτητα από τη δυνατότητα διαμόρφωσης και χρήσης του υφιστάμενου αγροτικού δρόμου.

Σε ότι αφορά στα διαμορφούμενα πρανή ισχύουν τα παρακάτω:

1. Η εκσκαφή γίνεται σε φλύσχη που συνίσταται από ιλυόλιθο με συμμετοχή, σε ποσοστό περί τα 30%, ψαμμιτικών πάγκων, πάχους περί τα 0,2÷0,5m, σταθερού προσανατολισμού και κλίσης
2. Ο προσανατολισμός των ψαμμιτικών πάγκων είναι ευνοϊκός για τα πλευρικά πρανή δεδομένου ότι η παράταξή τους σχηματίζει γωνία περίπου 60° με τον άξονα

Μορφοποιήθηκε: Εσοχή: Αριστερά: 0,63 εκ., Πρώτη γραμμή: 0 εκ., Με αριθμηση + Επίπεδο: 1 + Στυλ αριθμησης: 1, 2, 3, ... + Έναρξη από: 1 + Στοιχισι: Αριστερά + Στοιχισι: 0,63 εκ. + Εσοχή: 1,27 εκ.

Κεφάλαιο 7 – Στόμια Σιδηροδρομικής Σήραγγας Δρίσκου

της σήραγγας, ενώ βυθίζονται με μεγάλη κλίση (~70° έως παρακατακόρυφα), όπως προκύπτει και από τα αποκαλυμμένα πλευρικά πρηνή του υβώματος

3. Τα φυσικά πλευρικά πρηνή του υβώματος εμφανίζονται με ευσταθείς κλίσεις 1:1 και χαρακτηρίζονται ως βραχώδη. Το πρηνές στο «μέτωπο» του υβώματος προς την πλευρά του Άραχθου ποταμού, όπου και οι εκσκαφές για την κατασκευή του Cut-and-Cover, εμφανίζει αστοχίες που συνδέονται με το μανδύα αποσάθρωσης και τον προσανατολισμό των ψαμμιτικών πάγκων.

4. Το πρηνές του μετώπου προσβολής της σήραγγας με υπόγεια διάτρηση θα πρέπει να θεωρηθεί ότι διαμορφώνεται περίπου παράλληλα με τους ψαμμιτικούς πάγκους και συνεπώς θα απαιτήσει συστηματικά μέτρα αντιστήριξης (κυρίως έναντι ανατροπής) και προστασίας (έναντι αποκολλήσεων).

5. Το δάπεδο εκσκαφής διαμορφώνεται οριζόντιο στη στάθμη +549,40 με μεταβλητό πάχος στρώσης εξυγίανσης από 0,6 έως 1,1m. Η εκσκαφή αυτή είναι χαμηλότερα από την απαιτούμενη στάθμη εκσκαφής στην περιοχή των κτιρίων. Ωστόσο είναι σκόπιμο να διατηρηθεί αυτή η στάθμη γενικής εκσκαφής και να εξυγιανθεί αντίστοιχα η στρώση έδρασης των εγκαταστάσεων κλπ.

Κεφάλαιο 7 – Στόμια Σιδηροδρομικής Σήραγγας Δρίσκου



Εικόνα 7-1 : Περιοχή δημιουργίας στομίου εισόδου της σιδηροδρομικής σήραγγας του Δρίσκου στη Χ.Θ. 73+893 (από Καλαμπάκα) (Α.Δ.Κ, 2008)

40.17.3 Στόμιο εξόδου Χ.Θ. 79+985 (προς Ιωάννινα)

Το στόμιο εξόδου (Εικόνα 7-2) προβλέπεται σε πρηνή ήπιας κλίσης ($10-15^\circ$) τα οποία επιφανειακά καλύπτονται από αλλούβια. Το πάχος αυτών εκτιμάται περί τα 5m. Για τους σχηματισμούς αυτούς και τις κλίσεις αυτές δεν απαιτείται η κατασκευή πρόσθετων έργων. Προκειμένου να εξασφαλιστεί επαρκές υπερκείμενο για τη λειτουργία της εκσκαφής ως διάτρηση σε συνεχές μέσον, θα πρέπει να διαμορφωθεί προσωρινό μέτωπο περί τη Χ.Θ. 79+920 δηλαδή σε μήκος 65m ($79.985-79.920=65\text{m}$). Συνεπώς η διάνοιξη της σήραγγας θα γίνει στο μήκος αυτό με ανοικτή εκσκαφή και επανεπίχωση για την εναρμόνιση με το περιβάλλον.

Το δάπεδο εκσκαφής, λόγω της μεγάλης μηκοτομικής κλίσης (διαφορά στάθμης $\Delta H_{\max} \approx 1,0\text{m}$) δεν είναι πρόσφορο να διαμορφωθεί οριζόντια στη χαμηλότερη στάθμη λόγω της επιβάρυνσης με εκσκαφές και πάχη στρώσεων εξυγίανσης. Για το λόγο αυτό το δάπεδο εκσκαφής διαμορφώνεται :

- **4.** οριζόντιο στην περίοδο λειτουργίας του εργοταξίου περί την υψηλότερη στάθμη +517,34 (από την Χ.Θ. 79+920). Η στάθμη αυτή συμφωνεί ικανοποιητικά με την απαιτούμενη στάθμη εκσκαφής στην περιοχή των κτιρίων (+517,75) οπότε δεν αυξάνεται αισθητά το, εκεί απαιτούμενο, πάχος της στρώσης εξυγίανσης για την έδραση των εγκαταστάσεων. Τα πλευρικά πρηνή έχουν διεύθυνση κλίσης κάθετη προς τους άξονες των σηράγγων, οπότε, προκειμένου να είναι δυνατή η μετέπειτα εκβάθυνση έως την απαιτούμενη στάθμη για την κατασκευή του φορέα, ο πόδας των πλευρικών πρηνών σχεδιάζεται σε απόσταση 1,06m στη Χ.Θ. 79+920, οπότε είναι δυνατή η επέκτασή τους έως τη στάθμη εκσκαφής για τη θεμελίωση των φορέων στην επόμενη φάση
- στη φάση κατασκευής του φορέα του Cut-and-Cover διαμορφώνονται τάφροι κατά μήκος των αξόνων των δύο σηράγγων και σε επαρκές πλάτος ώστε να μπορεί να σκυροδετηθεί ο φορέας. Τα δάπεδα αυτών των τάφρων διαμορφώνονται με κλίση ώστε να ακολουθούν την κλίση του άξονα της κεντρικής σήραγγας με στάθμες από +516,28 (Χ.Θ. 79+985) έως +517,34 (Χ.Θ. 79+920). Η κλίση αυτή είναι ευνοϊκή και για την αποχέτευση των νερών που παροχετεύονται στην προέκταση της εκσκαφής για την συνέχεια της Σ/Γ σε ανοικτή χάραξη.

Μορφοποιήθηκε: Κουκκίδα +
Επίπεδο: 1 + Στοιχίση: 0,63 εκ. +
Εσοχή: 1,27 εκ.

Κεφάλαιο 7 – Στόμια Σιδηροδρομικής Σήραγγας Δρίσκου



Εικόνα 7-2 : Περιοχή δημιουργίας στομίου εξόδου της σιδηροδρομικής σήραγγας του Δρίσκου στη Χ.Θ. 79+985 (προς Ιωάννινα) (Α.Δ.Κ, 2008)

Σχόλιο [u1]: Τα σχέδια αυτά να τα βάλεις landscape σε μια σελίδα μόνα τους

10.27.4 Διαμόρφωση πρανών εκσκαφής

Με βάση τα παραπάνω επιλέχθηκε η εξής διαμόρφωση της εκσκαφής:

i. ➤ Τα πλευρικά πρανή διαμορφώνονται με κλίση 1:1 και με αναβαθμό πλάτους 3,5m ανά 10m ύψους πρανούς. Ο αναβαθμός διαμορφώνεται με ελαφρά κλίση προς το μέτωπο του πρανούς (~4%), σφραγίζεται με αργιλικό υλικό ή σκυρόδεμα και διαμορφώνεται τάφος αποχέτευσης

ii. ➤ Το πρανές του μετώπου διαμορφώνεται με κλίση 4:1, χωρίς αναβαθμό, αντιστηρίζεται με ηλώσεις και επενδύεται με ινωπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Διαμορφώνεται επενδεδυμένη τάφος οφρύος για την αποχέτευση των όμβριων και αφήνονται οπές αποστράγγισης στην επένδυση

iii. ➤ Στους πόδες των πλευρικών πρανών διαμορφώνονται επενδεδυμένες τάφοι με μηκοτομική κλίση $\geq 2\%$ προς την είσοδο, για την απαγωγή των νερών του εργοταξίου σε όλη τη διάρκεια της διάρτησης και την αποφυγή απόπλυσης του πόδα των πρανών.

iv. ➤ Σε περιπτώσεις όπου δεν επενδύεται το πρανές του μετώπου σε όλη του την επιφάνεια ή εκτιμάται ότι υπάρχει κίνδυνος καταπτώσεων από τα φυσικά πρανή πάνω από το όρυγμα, το στόμιο εισόδου της υπόγειας διάτρησης προστατεύεται με προ-τόξο ενδεικτικού μήκους 5m, συνήθως κατασκευασμένο με μεταλλικά πλαίσια, διάτρητη λαμαρίνα και κάλυψη από ινωπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Αυτό το προ-τόξο, που έχει σκοπό την προστασία του χώρου εργασίας από καταπτώσεις, εφόσον απαιτείται, εγκαθίσταται αμέσως μετά την ολοκλήρωση της ανοιχτής εκσκαφής του πρανούς του μετώπου. Η στέψη του προ-τόξου στερεώνεται σε κατάλληλη εγκοπή που διαμορφώνεται στο μέτωπο. Στο συγκεκριμένο στόμιο, λόγω της γεωμορφολογίας (ήπια φυσικά πρανή) υιοθετείται η επένδυση του συνόλου του μετώπου και πλευρικά των πρανών σε μια λωρίδα πλάτους 5m, συνεπώς δεν προβλέπεται η κατασκευή προ-τόξου.

10.37.5 Διαμόρφωση – αντιστήριξη μετώπου για διάτρηση της σήραγγας

Είναι γνωστό ότι για την εξασφάλιση συνθηκών υπόγειας κατασκευής των σήραγγων, απαιτείται υπερκείμενο πάχους 1+2 διαμέτρων. Για το μεταβατικό τμήμα από την κατασκευή με ανοιχτή εκσκαφή έως την όρυξη με συνθήκες υπόγειας κατασκευής, εφαρμόζονται τεχνικές ενίσχυσης του υπερκείμενου της σήραγγας

Μορφοποιήθηκε: Εσοχή: Αριστερά: 0 εκ., Πρώτη γραμμή: 0 εκ., Κουκκίδα + Επίπεδο: 6 + Στοιχισή: 1,86 εκ. + Στηλοθέτης μετά: 5,9 εκ. + Εσοχή: 6,1 εκ., Στηλοθέτες: 2,5 εκ., Στηλοθέτης λίστας + Όχι κατά 5,9 εκ.

Κεφάλαιο 7 – Στόμια Σιδηροδρομικής Σήραγγας Δρίσκου

πετρώματος. Η ενίσχυση αυτή συνδυάζεται με σύστημα προ-ενίσχυσης του μετώπου της σήραγγας αποτελούμενο από ηλώσεις που διατάσσονται περιμετρικά της διατομής για να διευκολύνουν τους πρώτους κύκλους υπόγειας εκσκαφής.

Η διαμόρφωση, προστασία και αντιστήριξη του μετώπου έχει τα παρακάτω στοιχεία:

- διαμόρφωση του πρανούς με κλίση 4:1 στο ανώτερο τμήμα του και κατακόρυφο στο υπόλοιπο από στάθμη σε ύψος μισής διαμέτρου από την οροφή
- επένδυση όλης της επιφάνειας του πρανούς με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, οπλισμένο με χαλύβδινες ίνες, και τοποθετούνται διάτρητοι σωλήνες αποστράγγισης από PVC Ø50 μήκους 6m, σε ενδεικτικό κάρναβο 4,5×4,5m² επενδεδυμένοι με γεωύφασμα και με ανωφερή ελαφρά κλίση (~5°)
- ήλωση του μετώπου, εκτός της διατομής, σε μια ζώνη πλάτους ±1,5×διάμετρο από τον άξονα κάθε σήραγγας με ηλώσεις ολόσωμης πάκτωσης, μήκους 8m, σε κάρναβο 1,5×1,5m² με κλίση ανωφερική 1:20 από την οριζόντιο
- ήλωση του υπόλοιπου μετώπου του πρανούς με ηλώσεις ολόσωμης πάκτωσης, μήκους 8m, σε κάρναβο 2×2m²
- η διάταξη ηλώσεων προσαρμόζεται στην περίμετρο της εκσκαφής με μια σειρά οριζόντιων ηλώσεων, ολόσωμης πάκτωσης, μήκους 14m, σε τόξο πάνω από την οροφή της σήραγγας
- επένδυση των πλευρικών πρανών σε μια ζώνη έως απόσταση 5m από το πρανές του μετώπου, με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, οπλισμένο με χαλύβδινες ίνες

Μορφοποιήθηκε: Κουκκίδα +
Επίπεδο: 1 + Στοιχισή: 0,63 εκ. +
Εσοχή: 1,27 εκ.

Κεφάλαιο 8

Ευρωκώδικας 7

418_ Ευρωκώδικας 7

41.18.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια συνοπτική αναφορά στο σύστημα των Ευρωκωδίκων και ειδικότερα στον Ευρωκώδικα 7. Πιο συγκεκριμένα καταγράφονται οι γενικοί κανόνες που διέπουν τον Ευρωκώδικα 7, καθώς και οι αρχές γεωτεχνικού σχεδιασμού των διάφορων τεχνικών έργων, οι οποίες αναγράφονται στο τεύχος “Σημειώσεις για τον Ευρωκώδικα 7 (EN 1997)”, το οποίο εκδόθηκε από το τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδος τον Οκτώβριο του 2009 από τους Αναγνωστόπουλο, Καββαδά, και Παπαδόπουλο.

Σχόλιο [u2]: Αυτή την παράγραφο θα σου πρότεινα να την καθιερώσεις σε όλα τα κεφάλαια. Μια εισαγωγική ή Γενική παράγραφο.

41.28.2 Το Σύστημα Ευρωκωδίκων και ο Ευρωκώδικας 7

Στο πλαίσιο εναρμόνισης των μεθόδων σχεδιασμού τεχνικών έργων στις Χώρες- Μέλη της Ε.Ε., η Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων αποφάσισε την ανάπτυξη του προγράμματος των Δομικών Ευρωκωδίκων. Με βάση σχετική συμφωνία, από το 1989 η CEN ανέλαβε την προετοιμασία και την έκδοση των Ευρωκωδίκων με σκοπό να θεσπισθούν μελλοντικά ως Ευρωπαϊκά Πρότυπα (EN).

Οι Δομικοί Ευρωκώδικες είναι κώδικες σχεδιασμού κτιρίων και λοιπών έργων μέσω οριακών καταστάσεων, σε συνδυασμό με τη μεθοδολογία των επιμέρους συντελεστών. Σήμερα, το σύστημα των Δομικών Ευρωκωδίκων περιέχει δέκα (10) Πρότυπα (EN), τα EN 1990 έως EN 1999, καθένα από τα οποία αποτελείται από περισσότερα του ενός Μέρη, πλην του EN 1990: «Αρχές Δομικού Σχεδιασμού» που αποτελείται από ένα μόνον Μέρος, και είναι τα εξής :

EN 1990 Ευρωκώδικας 0: Αρχές Δομικού Σχεδιασμού

EN 1991 Ευρωκώδικας 1: Δράσεις επί των κατασκευών

EN 1992 Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα

EN 1993 Ευρωκώδικας 3: Σχεδιασμός χαλύβδινων κατασκευών

EN 1994 Ευρωκώδικας 4: Σχεδιασμός συμμείκτων κατασκευών από
χάλυβα και σκυρόδεμα

EN 1995 Ευρωκώδικας 5: Σχεδιασμός ξύλινων κατασκευών

EN 1996 Ευρωκώδικας 6: Σχεδιασμός κατασκευών από λιθοδομή

Κεφάλαιο 8 – Ευρωκώδικας 7

EN 1997 Ευρωκώδικας 7: Γεωτεχνικός σχεδιασμός

EN 1998 Ευρωκώδικας 8: Σχεδιασμός αντισεισμικών κατασκευών

EN 1999 Ευρωκώδικας 9: Σχεδιασμός κατασκευών από κράματα

αλουμινίου

Ενώ οι Ευρωκώδικες γενικώς αναφέρονται σε κατασκευές από συγκεκριμένο υλικό (π.χ. ο EN 1992 σε κατασκευές από σκυρόδεμα, ο EN 1993 σε κατασκευές από χάλυβα), οι Ευρωκώδικες EN 1990, EN 1991, EN 1997 και EN 1998 αφορούν όλους τους τύπους κατασκευών, ανεξαρτήτως υλικού κατασκευής.

Ειδικότερα, ο Ευρωκώδικας 7 (EN 1997) πρέπει να χρησιμοποιείται σε όλα τα

προβλήματα έργων που περιλαμβάνουν ή επηρεάζονται από το έδαφος. Με βάση τον Ευρωκώδικα 7 υπολογίζονται τόσο οι γεωτεχνικές δράσεις επί των κατασκευών, όσο και οι προκαλούμενες αντιστάσεις του εδάφους. Ο Ευρωκώδικας 7 αποτελείται από δύο μέρη:

α) EN 1997-1: Ευρωκώδικας 7 – Γεωτεχνικός Σχεδιασμός – Μέρος 1: Γενικοί

Κανόνες (CEN 2004)

β) EN 1997-2: Ευρωκώδικας 7 – Γεωτεχνικός Σχεδιασμός – Μέρος 2: Γεωτεχνικές Έρευνες και Δοκιμές (CEN 2007)

Η δομή του Ευρωκώδικα 7 συνδέεται ισχυρά με το κείμενο του EN 1990 και ιδιαίτερα με το Κεφάλαιο 6 (Έλεγχος με τη μέθοδο των επιμέρους συντελεστών), προκειμένου να επιτευχθεί ένας τρόπος ελέγχου θεμάτων αλληλεπίδρασης εδάφους – κατασκευής, ο οποίος θα είναι συμβατός με όλους τους Δομικούς Ευρωκώδικες.

Τα περιεχόμενα του Ευρωκώδικα 7 ικανοποιούν δύο προϋποθέσεις:

α) Εναρμόνιση του τρόπου μελέτης των γεωτεχνικών έργων στην Ε.Ε. με τη σύνταξη ενός ενιαίου κώδικα σχεδιασμού, ο οποίος θα αντικαθιστούσε τους μέχρι σήμερα χρησιμοποιούμενους κώδικες ή μεθοδολογίες σχεδιασμού στις διάφορες χώρες μέλη της Ε.Ε. και

β) Εναρμόνιση του γεωτεχνικού με τον δομικό σχεδιασμό των έργων του Μηχανικού σύμφωνα με το σύστημα των Ευρωκωδίκων.

Η τελευταία αυτή προϋπόθεση επιτεύχθηκε με την θέσπιση και στην γεωτεχνική της μεθοδολογίας των «οριακών καταστάσεων» ως βάση για τον σχεδιασμό των έργων. Είναι λοιπόν αναγκαίο να γίνουν κατανοητές από τους Γεωτεχνικούς Μηχανικούς, που θα εφαρμόσουν τον νέο Κώδικα EC7 στις μελέτες, οι νέες (για την Γεωτεχνική) έννοιες που εισάγονται όπως : οριακές καταστάσεις

Κεφάλαιο 8 – Ευρωκώδικας 7

αστοχίας / λειτουργικότητας, επιμέρους συντελεστές, χαρακτηριστικές τιμές και τιμές σχεδιασμού δράσεων / παραμέτρων κ.λπ.

Διευκρινίζεται ότι ο Ευρωκώδικας 7 δεν απαιτεί καμία τροποποίηση των έως σήμερα χρησιμοποιούμενων υπολογιστικών προσομοιωμάτων (υπολογιστικών μεθόδων), διαφοροποιείται όμως στον τρόπο εφαρμογής τους στη μελέτη των θεμελιώσεων και των λοιπών γεωτεχνικών έργων, διότι εισάγει στην Γεωτεχνική την μεθοδολογία σχεδιασμού μέσω των οριακών καταστάσεων.

Πάντως, σήμερα υφίσταται μικρή εμπειρία στις χώρες της Ε. Ε. από πρακτικές εφαρμογές γεωτεχνικών μεθοδολογιών που βασίζονται στους επιμέρους συντελεστές (αντί του έως τώρα χρησιμοποιούμενου ενιαίου συντελεστή ασφαλείας), και γι' αυτό απαιτείται κάποιο εύλογο διάστημα για την εξοικείωση και προσαρμογή των Μηχανικών στην εφαρμογή του Ευρωκώδικα 7.

41-38.3 Ευρωκώδικας 7 – Μέρος 1 : Γενικοί Κανόνες

Το κείμενο του Ευρωκώδικα 7 με τα Παραρτήματα του (Α – Θ) θεσπίσθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN) την 23 Απριλίου 2004 και δημοσιεύθηκε την 24 Νοεμβρίου 2004.

Ο Ευρωκώδικας 7 – Μέρος 1 (EN 1997-1) είναι ένα συνοπτικό κείμενο (118 σελίδες) το οποίο εστιάζεται κυρίως στις αρχές (principles) του γεωτεχνικού σχεδιασμού των έργων του Μηχανικού. Αποτελεί ουσιαστικά ένα πλαίσιο κανόνων για την εναρμόνιση των μεθόδων σχεδιασμού στις χώρες της Ε. Ε. και δεν αποτελεί ένα εγχειρίδιο σχεδιασμού. Καλύπτει επίσης την εκτέλεση και τον έλεγχο των κατασκευών, ως προς το σκέλος ότι οι κατασκευές είναι σύμφωνες προς τις παραδοχές των κανόνων σχεδιασμού που περιέχει.

Τέσσερις είναι οι κύριες απαιτήσεις που θα πρέπει να καλύπτει ένας Κώδικας Γεωτεχνικής Μηχανικής κατά το σχεδιασμό ενός «συνήθους γεωτεχνικού έργου»:

- Εκτίμηση των φορτίων και επιλογή των αντιπροσωπευτικών τους τιμών
- Επιλογή αντιπροσωπευτικών τιμών των εδαφικών παραμέτρων
- Επιλογή μιας αποδεκτής μεθόδου αναλύσεως του προβλήματος
- Επιλογή του αποδεκτού βαθμού ασφαλείας

Έτσι και ο Ευρωκώδικας 7-1 θα πρέπει να δίνει απαντήσεις και στις τέσσερις ανωτέρω απαιτήσεις, ικανοποιώντας επί πλέον τις απαιτήσεις των Ευρωκωδίκων 1990 και 1991 (Βάσεις Σχεδιασμού, Δράσεις), οι οποίες ισχύουν και χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τους λοιπούς Δομικούς Ευρωκώδικες (Structural Eurocodes), άρα και με τον EC7. Επιπλέον, ο Ευρωκώδικας 7-1 θα πρέπει να

Κεφάλαιο 8 – Ευρωκώδικας 7

«εξομαλύνει» τυχόν διαφορές που υφίστανται μέχρι σήμερα ως προς την φιλοσοφία σχεδιασμού, μεταξύ των κανονισμών γεωτεχνικής που ισχύουν στις διάφορες χώρες της Ε. Ε.

Παρόλο που ο EC7 βασίζεται στη μεθοδολογία των οριακών καταστάσεων, η οποία περιλαμβάνει υπολογισμούς με τη χρήση επί μέρους συντελεστών για τις τιμές σχεδιασμού των δράσεων και των ιδιοτήτων του εδαφικού υλικού, δεν περιλαμβάνει τα αναλυτικά προσομοιώματα που πρέπει να χρησιμοποιούνται τους υπολογισμούς (σε αντίθεση με τους λοιπούς Ευρωκώδικες). Ο EC7 περιλαμβάνει μόνο τι ανισότητες οι οποίες θα πρέπει να ικανοποιούνται κατά τους ελέγχους επάρκειας.

Η χρήση του EC7-1 βασίζεται σε ορισμένες παραδοχές και προϋποθέσεις, από τις κυριότερες των οποίων είναι η προϋπόθεση ότι: «οι γεωτεχνικές κατασκευές σχεδιάζονται από προσωπικό που έχει την κατάλληλη εξειδίκευση (qualified personnel) αλλά και εμπειρία».

11.48.4 **Επιπτώσεις από την εισαγωγή του EN 1997-1 στο Γεωτεχνικό Σχεδιασμό**

Ο Ευρωκώδικας 7 :

- Εισάγει και στην Γεωτεχνική τον σχεδιασμό μέσω της μεθοδολογίας των οριακών καταστάσεων, δηλαδή τους υπολογισμούς μέσω τιμών σχεδιασμού οι οποίες προκύπτουν από τις χαρακτηριστικές τιμές με επιβολή των επιμέρους συντελεστών. Οι επιμέρους συντελεστές αντικαθιστούν τον παλαιότερα χρησιμοποιούμενο ενιαίο συντελεστή ασφαλείας. Συνεπώς εισάγονται αρκετές νέες έννοιες για τους Γεωτεχνικούς Μηχανικούς.

- Διευκρινίζει τη διαφορά μεταξύ δράσεων και αντιστάσεων κατά το γεωτεχνικό σχεδιασμό σύνθετων έργων. Η διαφορά αυτή δεν είναι πάντοτε προφανής. Για παράδειγμα, η δύναμη αγκύρωσης ενός τοίχου αντιστηρίξεως ή πρανούς αποτελεί ευνοϊκή δράση και όχι αντίσταση. Η επιλογή αυτή έχει σημαντική επιρροή στους υπολογισμούς αφού οι επιμέρους συντελεστές δράσεων και αντιστάσεων είναι διαφορετικοί.

- Εξασφαλίζει ένα ενιαίο τρόπο μελέτης των γεωτεχνικών έργων με τα λοιπά έργα του Μηχανικού (ως προς τη χρήση της ανάλυσης μέσω Οριακών Καταστάσεων), αφού όλες οι μελέτες είναι πλέον σύμφωνες προς το σύστημα των Δομικών Ευρωκωδίκων.

Κεφάλαιο 8 – Ευρωκώδικας 7

- Εναρμονίζει τον τρόπο μελέτης των γεωτεχνικών έργων στην Ε. Ε. (ως προς τη χρήση της ανάλυσης μέσω Οριακών Καταστάσεων). Σημειώνεται ότι η εναρμόνιση δεν επιτυγχάνεται στις μεθόδους ανάλυσης των γεωτεχνικών έργων (αφού είναι δυνατή η χρήση οποιασδήποτε διεθνώς αποδεκτής μεθόδου ανάλυσης) ούτε στον βαθμό ασφαλείας (αφού αφήνει το δικαίωμα σε κάθε χώρα να επιλέξει τον επιθυμητό βαθμό ασφαλείας των γεωτεχνικών έργων μέσω των Εθνικών Προσαρτημάτων).

- Επιβάλλει τη σύνταξη Εκθέσεων Γεωτεχνικού Σχεδιασμού μετά το πέρας των υπολογισμών. Σημειώνεται ότι, σε ορισμένες περιπτώσεις, ο όγκος των υπολογισμών «αυξάνει», αφού ο Ευρωκώδικας επιβάλλει την ανάλυση όλων των πιθανών οριακών καταστάσεων τόσο κατά την αστοχία όσο και σε φάση λειτουργίας των έργων. Η «αύξηση» αυτή είναι θεωρητική, αφού και με την συμβατική μέθοδο ανάλυσης, οι ανωτέρω έλεγχοι θα έπρεπε να εκτελούνται.

Επιπλέον :

- Ουδεμία αλλαγή απαιτείται στις μέχρι σήμερα εφαρμοζόμενες μεθόδους γεωτεχνικών αναλύσεων, αφού κατά τον Ευρωκώδικα 7 μπορεί να χρησιμοποιείται οποιαδήποτε διεθνώς αποδεκτή μέθοδος ανάλυσης.

- Οι τιμές των εδαφικών παραμέτρων που έως τώρα χρησιμοποιούνται στις αναλύσεις με την συμβατική μέθοδο (ενιαίος συντελεστής ασφαλείας) αποτελούν επαρκώς συντηρητικές εκτιμήσεις κατά τον Ευρωκώδικα 7 και συνεπώς μπορούν να λαμβάνονται ως χαρακτηριστικές τιμές.

- Κατά την εφαρμογή του Ευρωκώδικα 7 δίνεται έμφαση στην επιλογή των χαρακτηριστικών τιμών των εδαφικών παραμέτρων και τις τιμές των επιμέρους συντελεστών, ενώ δεν πρέπει να υποβαθμίζονται άλλοι εξίσου σημαντικοί παράγοντες όπως η κατανόηση του πραγματικού μηχανισμού αστοχίας, και το αντίστοιχο γεωτεχνικό προσομοίωμα της εδαφικής στρωματογραφίας.

- Σήμερα υπάρχει μικρή εμπειρία από εφαρμογές των μεθοδολογιών σχεδιασμού γεωτεχνικών έργων μέσω οριακών καταστάσεων, στις περισσότερες χώρες – μέλη της Ε.Ε. με αποτέλεσμα να υπάρχουν διαφορετικές απόψεις ως προς τον ακριβή τρόπο εκτέλεσης κάποιων ελέγχων, τόσο στην οριακή κατάσταση αστοχίας, όσο και στην οριακή κατάσταση λειτουργίας.

11.58.5 Κεφάλαιο 1 Ευρωκώδικα 7 : Γενικά

Τα κεφάλαια του Ευρωκώδικα 7-1, όπως και των λοιπών Ευρωκωδίκων, περιλαμβάνουν άρθρα τα οποία διακρίνονται σε δύο κατηγορίες : «Αρχές», P, (Principles) και «Κανόνες Εφαρμογής», A, (Application rules).

Κεφάλαιο 8 – Ευρωκώδικας 7

(α) Οι Αρχές (P) περιλαμβάνουν:

– γενικές αναφορές και ορισμούς για τους οποίους δεν υπάρχει εναλλακτική δυνατότητα. Συνεπώς, οι Αρχές είναι υποχρεωτικής εφαρμογής.

– απαιτήσεις και αναλυτικά προσομοιώματα για τα οποία δεν επιτρέπεται εναλλακτική θεώρηση εκτός εάν τούτο αναφέρεται ρητώς.

(β) Οι Κανόνες Εφαρμογής:

– αποτελούν παραδείγματα γενικώς παραδεκτών κανόνων οι οποίοι ακολουθούν τις Αρχές του EC7 και ικανοποιούν τις απαιτήσεις τους.

Επιτρέπεται η χρήση εναλλακτικών Κανόνων Εφαρμογής (πέραν αυτών του EC7) υπό την προϋπόθεση ότι είναι σύμφωνοι προς τις Αρχές του EC7 και ότι εξασφαλίζουν: α) τον αυτό βαθμό ασφαλείας ως προς τη δημιουργία κάποιας οριακής κατάστασης και β) βεβαιότητα ότι δε θα γίνει υπέρβαση τυχόν οριακής κατάστασης λειτουργικότητας.

44-68.6 Κεφάλαιο 2 Ευρωκώδικα 7: Αρχές Γεωτεχνικού

44-6-18.6.1 Χαρακτηριστικές τιμές και τιμές σχεδιασμού των δράσεων και των εδαφικών ιδιοτήτων

Κατά τους ελέγχους των έργων έναντι των οριακών καταστάσεων, τα μεγέθη των δράσεων (actions), F , και των εδαφικών ιδιοτήτων (material properties), X , υπεισέρχονται στους υπολογισμούς με τις λεγόμενες τιμές σχεδιασμού (design values).

Οι τιμές σχεδιασμού των δράσεων (F_d) και των ιδιοτήτων των υλικών (X_d) υπολογίζονται από τις αντίστοιχες χαρακτηριστικές τιμές (characteristic values), F_k , X_k , μέσω των σχέσεων (α) και (β), αντιστοίχως :

$$\text{Για τις δράσεις: } F_d = F_{rep} \cdot \gamma_F, \quad \text{όπου } F_{rep} = \Psi \cdot F_k \quad (\alpha)$$

όπου: F_{rep} = αντιπροσωπευτική τιμή της δράσης

F_k = χαρακτηριστική τιμή της δράσης

Ψ = συντελεστής συνδυασμού των δράσεων (καθορίζεται στον Ευρωκώδικα EN 1990 - ίσος με την μονάδα για τους συνήθεις συνδυασμούς δράσεων)

γ_F = επιμέρους συντελεστής για τις δράσεις

Κεφάλαιο 8 – Ευρωκώδικας 7

Για τις ιδιότητες: $X_d = X_k / \gamma_M$ (ή με απευθείας εκτίμηση) (β)

όπου: X_k = χαρακτηριστική τιμή εδαφικής παραμέτρου X

γ_M = επιμέρους συντελεστής για τις εδαφικές παραμέτρους (ιδιότητες)

Οι επιμέρους συντελεστές δράσεων και εδαφικών παραμέτρων δεν αποσκοπούν να περιλάβουν τον βαθμό αβεβαιότητας (ή πιθανό σφάλμα) κατά τον προσδιορισμό των αντιστοίχων παραμέτρων, γιατί τούτο έχει ήδη ληφθεί υπ' όψη κατά τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών τιμών. Αντίθετα, οι επιμέρους συντελεστές περιλαμβάνουν:

α) Ένα μέσο πιθανό σφάλμα που εισάγεται λόγω της αναλυτικής προσομοίωσης του φυσικού προβλήματος, δηλαδή το πιθανό σφάλμα της χρησιμοποιούμενης αναλυτικής μεθόδου προσομοίωσης.

β) Ένα πρόσθετο περιθώριο ασφαλείας ως προς την κατάσταση αστοχίας. Το περιθώριο αυτό ουσιαστικώς έχει επιλεγεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε γενικά τα αποτελέσματα της μεθόδου του Ευρωκώδικα να μην αποκλίνουν σημαντικά από αντίστοιχα αποτελέσματα της παλαιότερης συμβατικής μεθοδολογίας, δηλαδή αυτής με χρήση ενός ενιαίου συντελεστή ασφαλείας, με το σκεπτικό ότι η χρήση του ενιαίου συντελεστή ασφαλείας έδινε ικανοποιητική ασφάλεια στα έργα.

Σημειώνεται ότι οι δύο μεθοδολογίες (του παλαιότερου ενιαίου συντελεστή ασφαλείας και των επιμέρους συντελεστών κατά τον EC7) δεν δίνουν τα ίδια ακριβώς αποτελέσματα σε όλες τις περιπτώσεις έργων, παρά τις προσπάθειες για την κατά το δυνατόν προσέγγιση των δύο μεθοδολογιών.

Οι μέχρι σήμερα χρησιμοποιούμενες τιμές των ιδιοτήτων των εδαφικών υλικών αποτελούν υποκειμενικές, αλλά «συντηρητικά επιλεγμένες εκτιμήσεις» των μεγεθών αυτών και περιλαμβάνουν κατά την εκτίμηση του μελετητή:

- την τυχαία μεταβλητότητα του εδάφους, σε σχέση με τις τιμές που μετρήθηκαν στις γεωτεχνικές δοκιμές.
- τη διατάραξη κατά την δειγματοληψία
- τις ατέλειες των εργαστηριακών δοκιμών
- το είδος και την σημασία του εκτελούμενου έργου
- την προσωπική εμπειρία του μηχανικού για τον συγκεκριμένο τύπο εδάφους και έργου.

Η επιλογή των τιμών των ιδιοτήτων των εδαφικών υλικών γίνεται με υποκειμενικά κριτήρια και συχνά αποτελεί «τέχνη» και όχι μόνο επιστήμη.

Κεφάλαιο 8 – Ευρωκώδικας 7

Για τον περιορισμό της υποκειμενικότητας στην επιλογή των τιμών των ιδιοτήτων των υλικών (αλλά και των φορτίσεων), οι Ευρωκώδικες εισάγουν την έννοια της χαρακτηριστικής τιμής (X_k), η οποία κατά τον Ευρωκώδικα 7-1 «πρέπει να επιλέγεται ως συντηρητική εκτίμηση (cautious estimate) της μέσης τιμής της παραμέτρου (X), η οποία επηρεάζει την εμφάνιση της οριακής κατάστασης».

Η έκταση της ζώνης του εδάφους που επηρεάζει τη συμπεριφορά του γεωτεχνικού έργου σε μια οριακή κατάσταση είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερη από το μέγεθος του εδαφικού δείγματος της εργαστηριακής δοκιμής ή την έκταση της ζώνης του εδάφους που επηρεάζεται κατά την επιτόπου δοκιμή. Επομένως η τιμή της παραμέτρου που διέπει τη συμπεριφορά του γεωτεχνικού έργου είναι συνήθως μια μέση τιμή της παραμέτρου η οποία καλύπτει μεγάλη επιφάνεια ή όγκο του εδάφους. Συνεπώς, η χαρακτηριστική τιμή θα πρέπει να είναι μια συντηρητική εκτίμηση της ανωτέρω μέσης τιμής της εδαφικής παραμέτρου και όχι μια συντηρητική εκτίμηση κάποιας «τοπικής» τιμής της εδαφικής παραμέτρου όπως συνήθως γίνεται.

Έτσι, τόσο η χαρακτηριστική τιμή X_k (κατά τον EC7), όσον και η συντηρητικά επιλεγμένη τιμή κατά τον παραδοσιακό τρόπο υπολογισμού, θεωρούνται ότι είναι ισοδύναμες στην πράξη.

Επειδή κατά την εκτίμηση της χαρακτηριστικής τιμής, για συγκεκριμένη οριακή κατάσταση, θα πρέπει να συνεκτιμάται και ο όγκος του εδάφους που διέπεται από αυτή, η χαρακτηριστική τιμή μιας παραμέτρου X , ενός συγκεκριμένου εδαφικού στρώματος (π.χ. η γωνία ϕ') μπορεί να έχει διαφορετική τιμή για διαφορετικούς μηχανισμούς αστοχίας. Π.χ.:

1. Στην περίπτωση ενός πρανούς του οποίου ελέγχεται η ευστάθεια έναντι διατμητικής αστοχίας κατά μήκος ενός κύκλου ολισθήσεως, η χαρακτηριστική τιμή (X_k) προκύπτει ως συντηρητική μέση τιμή της αντοχής κατά το μήκος της επιφάνειας ολισθήσεως.

2. Αντίθετα, η αστοχία ενός μεμονωμένου πασσάλου επηρεάζει ένα πολύ μικρότερο όγκο εδάφους, ιδιαίτερος στην περίπτωση πασσάλων αιχμής. Πράγματι, εάν ο πάσσαλος εδράζεται σε μία τοπική ζώνη «αδυναμίας» του εδαφικού σχηματισμού, η συντηρητική μέση τιμή της αντοχής στη ζώνη αυτή (X_k) είναι κατά πολύ μικρότερη από αυτήν που πρέπει να εφαρμοσθεί κατ την ανάλυση της ευστάθειας του πρανούς.

Ο Ευρωκώδικας 7-1 προσπαθώντας να ποσοτικοποιήσει τη «συντηρητικότητα» κατά τον προσδιορισμό της χαρακτηριστικής τιμής, αναφέρει ως σύσταση ότι, όπου τα διαθέσιμα στοιχεία είναι επαρκή για την εφαρμογή στατιστικών μεθόδων, «η χαρακτηριστική τιμή μιας παραμέτρου, η οποία διέπει την οριακή

Μορφοποιήθηκε: Κουκκίδα +
Επίπεδο: 1 + Στοιχίση: 0,63 εκ. +
Εσοχή: 1,27 εκ., Στηλοθέτες: Όχι κατά
1,27 εκ.

Κεφάλαιο 8 – Ευρωκώδικας 7

κατάσταση που εξετάζεται, θα πρέπει να προσδιορίζεται έτσι ώστε η εκτιμώμενη πιθανότητα εμφάνισης μιας δυσμενέστερης τιμής της παραμέτρου να μην υπερβαίνει το 5%».

Η χαρακτηριστική τιμή (X_k) λοιπόν επιλέγεται ως συντηρητική (cautious) εκτίμηση της μέσης τιμής της παραμέτρου (X), η οποία επηρεάζει τη δημιουργία μιας οριακής κατάστασης.

Όπως αναφέρουν οι Frank et al. (2004), η κάθε μία λέξη της ανωτέρω παραγράφου έχει ιδιαίτερη σημασία: η λέξη «επιλέγεται» υπονοεί σαφώς την «κρίση του μηχανικού» κατά τη συγκεκριμένη διαδικασία. Η φράση «συντηρητική εκτίμηση» επισημαίνει το γεγονός ότι απαιτείται κάποια συντηρητική προσέγγιση κατά την επιλογή. Τέλος, η φράση «οριακή κατάσταση» δίνει έμφαση στο γεγονός ότι η χαρακτηριστική τιμή που επιλέγεται πρέπει να σχετίζεται με τον αναμενόμενο μηχανισμό αστοχίας.

Στην περίπτωση που επιθυμείται να γίνει χρήση στατιστικών μεθόδων κατά την εκτίμηση της X_k , ο Orr (2008) παραθέτει το ακόλουθο παράδειγμα:

Σε σχετικά ομοιογενή εδαφικό σχηματισμό έχουν μετρηθεί τιμές αστράγγιστης διατμητικής αντοχής (c_u) για ένα βάθος εδάφους περί τα 12m (Σχήμα 8-1):

$$C_u : 27, 42, 47, 31, 53, 38, 29, 49, 35, 54 \text{ kPa}$$

Η μέση τιμή των αντοχών c_u είναι $X_m = 40.5 \text{ kPa}$ και η τυπική απόκλιση είναι $S_d = 10 \text{ kPa}$. Η ζητούμενη χαρακτηριστική τιμή (X_k) της c_u αποτελεί τη συντηρητική εκτίμηση της μέσης τιμής (X_m). Η ζητούμενη στατιστική εκτίμηση της, που διέπει τη συγκεκριμένη οριακή κατάσταση, μπορεί να εκτιμηθεί θεωρώντας ότι η μέση τιμή του δείγματος ακολουθεί τη στατιστική κατανομή Student (n μεταβλητών) κατά τη σχέση:

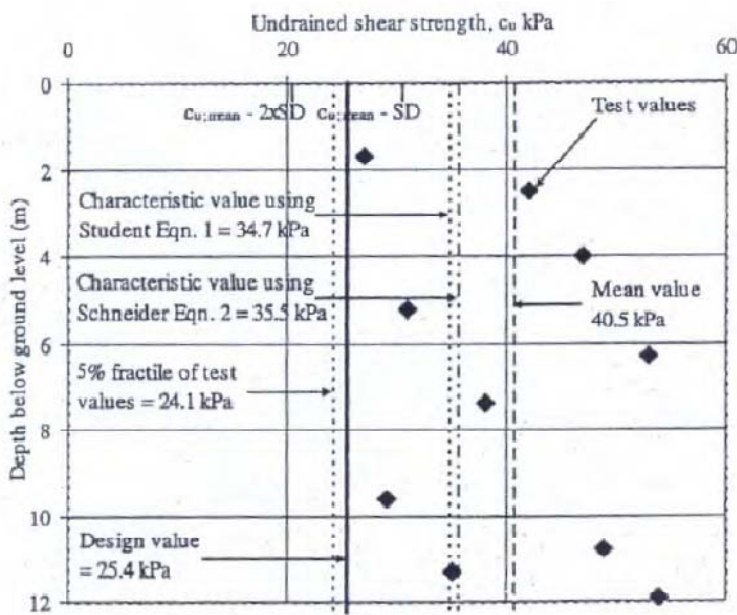
$$X_k = X_m * \left(1 - \frac{t_c}{\sqrt{n}} \frac{S_d}{X_m}\right)$$

όπου n είναι ο αριθμός των δειγμάτων και t_c στατιστική παράμετρος για πιθανότητα (αξιοπιστία) 95%. Οι τιμές της παραμέτρου t_c της κατανομής Student δίνονται από τον κατωτέρω πίνακα (Πίνακας 8-1):

Κεφάλαιο 8 – Ευρωκώδικας 7

Πίνακας 8-1 : Τιμές παραμέτρου t_c της κατανομής Student

N	3	4	5	6	10	15	20	40	∞
t_c	2,35	2,15	2,02	1,95	1,83	1,78	1,73	1,68	1,64
t_c / \sqrt{n}	1,36	1,08	0,90	0,80	0,58	0,46	0,39	0,27	0



Μορφοποιήθηκε: Γραμματοσειρά: (Προεπιλεγμένη) Calibri, 11 pt, Έντονα, Πλάγια, Διαγραμμάτωση από 12 pt

Σχήμα 8-1: Επιλογή χαρακτηριστικών τιμών

Με βάση τα ανωτέρω, για $n = 10$ προκύπτει $X_k = 34.7$ kPa. Σημειώνεται ότι για $n < 3$, η στατιστική εκτίμηση δεν είναι αξιόπιστη.

Μία χρήσιμη προσεγγιστική σχέση για τις συνήθεις περιπτώσεις (Org, 2008, Schneider, 1997) είναι η εξής (προκύπτει από την ανωτέρω σχέση για $n = 14$) :

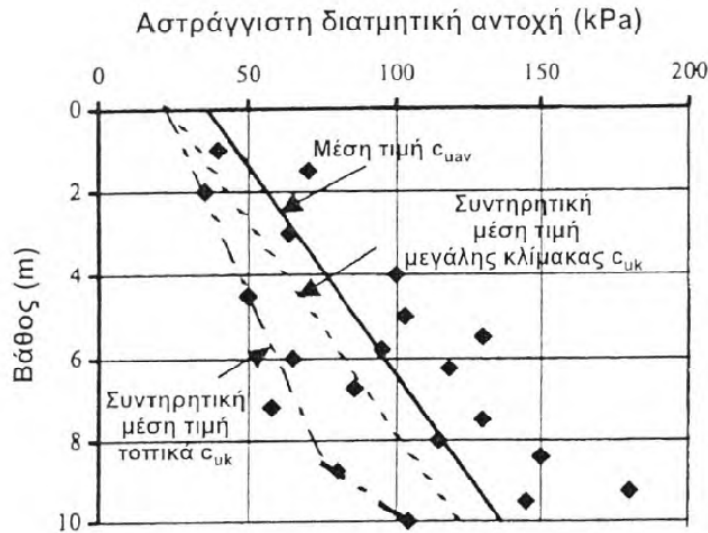
$$X_k = X_m - 0.5 S_d$$

από την οποία προκύπτει ότι : $X_k = 35.5$ kPa.

Συγκριτικά αναφέρεται ότι η «τοπική» τιμή της X με πιθανότητα υπέρβασης ίση προς 5%, λαμβάνεται από τη σχέση $X_k = X_m - 1.64 S_d$, οπότε $X_k = 24.1$ kPa. Η τελευταία τιμή θεωρείται εξαιρετικά συντηρητική ως χαρακτηριστική τιμή και μάλιστα μικρότερη και από την ελάχιστη μετρηθείσα τιμή $c_u = 27$ kPa (Σχήμα 8-2). Μια τέτοια

Κεφάλαιο 8 – Ευρωκώδικας 7

όμως προσέγγιση μπορεί να γίνει δεκτή ως χαρακτηριστική τιμή για την περίπτωση οριακής κατάστασης που λαμβάνει χώρα τοπικά μέσα σε μικρό εδαφικό όγκο, για τον οποίο μάλιστα έχουμε πολύ μικρό αριθμό δοκιμών.



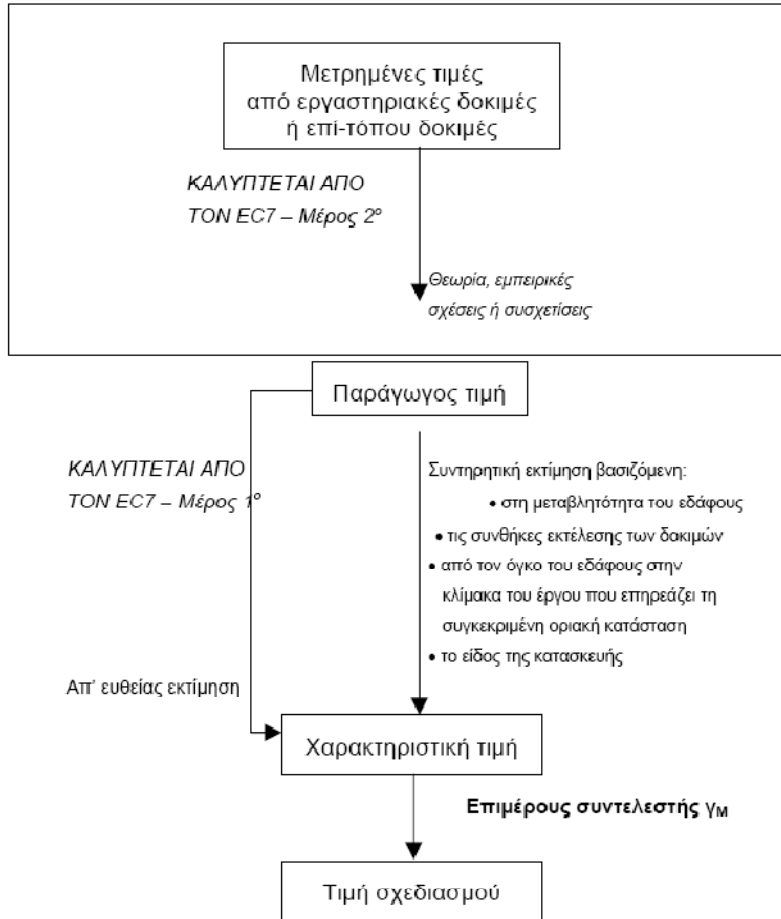
Σχήμα 8-2 : Χαρακτηριστικές τιμές c_u για διάφορες περιπτώσεις σχεδιασμού

Σημειώνεται ότι η θεώρηση αυτή ισχύει και για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών τιμών των παραμέτρων που υπεισέρχονται στους ελέγχους των οριακών καταστάσεων λειτουργίας.

Πολλές γεωτεχνικές δοκιμές, κυρίως επί τόπου δοκιμές, δεν προσδιορίζουν απ' ευθείας βασικές γεωτεχνικές παραμέτρους π.χ. ϕ' , c_u , E κ.λπ. Έτσι οι παράμετροι αυτοί θα πρέπει να «παραχθούν» (εκτιμηθούν) με βάσει θεωρητικές ή εμπειρικές συσχετίσεις, από τα αποτελέσματα των ανωτέρω δοκιμών.

Ο όρος «παράγωγες τιμές» καθιερώθηκε από τον EC7 προκειμένου να δοθεί «κύρος» στις εκτιμήσεις των βασικών γεωτεχνικών παραμέτρων που απαιτούν οι υπολογισμοί, από τα αποτελέσματα των επί τόπου ή ακόμα και εργαστηριακών δοκιμών. Οπότε οι παράγωγες τιμές χρησιμοποιούνται ως «δεδομένο» (input) για τον προσδιορισμό των αντίστοιχων χαρακτηριστικών τιμών κατά τον EC7-1 και στη συνέχεια των τιμών σχεδιασμού με τη βοήθεια κατάλληλου επιμέρους συντελεστή γ_M (Frank, 2007). Στο Σχήμα 8-3 παρουσιάζεται παραστατικά η ανωτέρω διαδικασία.

Μορφοποιήθηκε: Γραμματοσειρά: (Προεπιλεγμένη) Arial, 11 pt



Μορφοποιήθηκε: Γραμματοσειρά: (Προεπιλεγμένη) Arial, 11 pt

Σχήμα 8-3 : Διαδικασία για τον προσδιορισμό τιμών σχεδιασμού από αποτελέσματα δοκιμών

Κεφάλαιο 9

*Τιμές μηχανικών παραμέτρων των σχηματισμών της σήραγγας
του Δρίσκου με βάση τον ευρωκώδικα 7*

429 Τιμές μηχανικών παραμέτρων των σχηματισμών της σήραγγας του Δρίσκου με βάση τον ευρωκώδικα 7

42.19.1 Γενικά στοιχεία

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τιμές των μηχανικών παραμέτρων των σχηματισμών που θα συναντήσει η υπό μελέτη σιδηροδρομική σήραγγα του Δρίσκου, τόσο κατά την εκσκαφή του στομίου εισόδου, όσο και κατά την εκσκαφή του στομίου εξόδου. Οι τιμές αυτές προέκυψαν με βάση τις διάφορες εργαστηριακές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν κατά τη γεωτεχνική μελέτη (Α.Δ.Κ, 2008) και οι οποίες συμφωνούν με τις αρχές σχεδιασμού του Ευρωκώδικα 7.

42.29.2 Τιμές γεωτεχνικού σχεδιασμού με βάση τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών

Για την επιλογή των χαρακτηριστικών τιμών των φυσικών και μηχανικών παραμέτρων για κάθε σχηματισμό της συγκεκριμένης εργασίας, έγινε προσπάθεια για ερμηνεία των αποτελεσμάτων και αξιολόγηση τυχόν σημαντικών αποκλίσεων μεταξύ των παραμέτρων που προήλθαν από τα διάφορα είδη δοκιμών. Τα αποτελέσματα αυτά προέρχονται από τη γεωτεχνική μελέτη του έργου. Αποτελέσματα που παρουσίαζαν σημαντική απόκλιση από το μεγαλύτερο μέρος των άλλων αποτελεσμάτων, εξετάστηκαν ώστε να διαπιστωθεί εάν αντιπροσωπεύουν διαφορετικές συνθήκες και κατά συνέπεια να επιβάλλουν την αναθεώρηση του ενιαίου του σχηματισμού και τον διαχωρισμό στρώσεων ή ενοτήτων.

Σε περιπτώσεις στις οποίες εκτιμάται ότι η αστοχία θα συμβεί στο ασθενέστερο υλικό, το κατώτατο όριο τιμών χαρακτηριστικών παραμέτρων για τα υλικά που επηρεάζουν την αστοχία, προσδιορίζεται με βάση στατιστικές μεθόδους κατά τις οποίες επιλέγεται μια πιθανότητα μη υπέρβασης ίση με 5% (τοπική εκτίμηση). Στις περιπτώσεις που τόσο η αντοχή όσο και η παραμόρφωση δεν καθορίζονται από το ασθενέστερο υλικό που υπάρχει, τότε χρησιμοποιούνται οι τιμές του μέσου όρου με την αντίστοιχη πιθανότητα μη υπέρβασης (συνολικές εκτιμήσεις).

42.39.3 Αξιολόγηση εργαστηριακών δοκιμών βραχωδών σχηματισμών

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα-7 ENV 1997-2 για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων π.χ. των δοκιμών αντοχής πρέπει:

Κεφάλαιο 9 – Τιμές μηχανικών παραμέτρων των σχηματισμών της σήραγγας του Δρίσκου με βάση τον Ευρωκώδικα 7

- 4.2. να συγκρίνονται τα αποτελέσματα με καθιερωμένες βάσεις δεδομένων ώστε να μπορούν να απαλειφθούν εξαιρετικές (ανώμαλες) τιμές,
- 4.2. να εξετάζονται συσχετίσεις με αποτελέσματα κατατάξεων,
- 2.2. τα αποτελέσματα να ομαδοποιούνται ανά γεωλογική ενότητα και να αναλύονται με τη χρήση στατιστικών μεθόδων

Λόγω της μεταβλητότητας των χαρακτηριστικών των πετρωμάτων, απαιτείται ένας ελάχιστος αριθμός δοκιμών για τη δημιουργία αντιπροσωπευτικού δείγματος ανά είδος σχηματισμού. Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 7 ENV 1997-2 (Πίνακας 9-1) ο ελάχιστος αυτός αριθμός για τις δοκιμές σε μονοαξονική ή τριαξονική θλίψη και Brazilian είναι:

Πίνακας 9-1 : Ελάχιστος αριθμός δοκιμών για γεωτεχνικά έργα κατηγορίας 2 (η οποία περιλαμβάνει έργα με μετρίου μεγέθους συνέπειες) σύμφωνα με τον ευρωκώδικα 7

Ελάχιστος αριθμός δοκιμών για γεωτεχνικά έργα κατηγορίας 2	συγκρίσιμη εμπειρία		
	καμία	μέτρια	εκτενής
συντελεστής διακύμανσης χαρακτηριστικής αντοχής [C_V]			
$C_V \geq 50\%$	6	4	2
$50\% \geq C_V \geq 20\%$	3	2	1
$20\% \geq C_V$	2	1	0*

* ισχύει μόνο για ομοιογενή πετρώματα και με εκτεταμένη εμπειρία από γειτονικές περιοχές

Ο παραπάνω πίνακας είναι ενδεικτικός των ελάχιστων τιμών δεδομένου ότι, οι σήραγγες σε κερματισμένο πέτρωμα είναι κατηγορίας 3. Σε κάθε περίπτωση το σύνολο των δοκιμών στην περίπτωση μας είναι σαφώς ανώτερο των παραπάνω ορίων και συνεπώς, εφόσον δεν προέκυψε ανάγκη διαχωρισμού περισσότερων ενότητων, οι παραπάνω απαιτήσεις υπερκαλύπτονται.

42.3.19.3.1 Δοκιμές σε μονοαξονική θλίψη

42.3.1.19.3.1.1 Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (σ_{ci})

Αρχικά διερευνήθηκε η διασπορά των αποτελεσμάτων των δοκιμών σε σχέση με τη θέση δειγματοληψίας, προκειμένου να διαπιστωθεί τυχόν συσχέτιση με κάποια χαρακτηριστικά τα οποία να διαφοροποιούν γεωτεχνικές στρώσεις στην περιοχή της σήραγγας.

Μορφοποιήθηκε: Κουκκίδα +
Επίπεδο: 1 + Στοιχίση: 0,63 εκ. +
Εσοχή: 1,27 εκ.

Κεφάλαιο 9 – Τιμές μηχανικών παραμέτρων των σχηματισμών της σήραγγας του Δρίσκου με βάση τον Ευρωκώδικα 7

Εξετάζοντας το σύνολο των αποτελεσμάτων των δοκιμών παρατηρήθηκε ότι δεν υφίσταται εμφανής συσχέτιση της αντοχής με το βάθος δειγματοληψίας σε κάθε γεώτρηση.

Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε ότι στην περίπτωση των γεωτρήσεων K-2 και K-3 η αντοχή εμφάνιζε διακύμανση ανεξάρτητα του βάθους, στην K-8 μια μείωση, αλλά με μεγάλη διασπορά τιμών, ενώ στις υπόλοιπες δεν διαφαίνονταν σημαντικές τάσεις.

Με βάση τα παραπάνω, το σύνολο των αποτελεσμάτων, συμπεριλαμβάνοντας και τα αποτελέσματα επί των εδαφικών δοκιμών στην K-10, εξετάστηκε θεωρώντας ότι προέρχεται από τον ίδιο πληθυσμό. Η στατιστική επεξεργασία του συνόλου των δοκιμών έδωσε τα εξής αποτελέσματα:

1. αναμενόμενη τιμή $E[\sigma_c]=27$ MPa
2. τυπική απόκλιση αναμενόμενης τιμής $\sigma[E(\sigma_c)]=3,6$ MPa

Αντίστοιχα η στατιστική επεξεργασία των δοκιμών στην περιοχή επιρροής της διατομής της σήραγγας έδωσε:

- 1. αναμενόμενη τιμή $E[\sigma_c]= 21$ MPa
- 2. τυπική απόκλιση αναμενόμενης τιμής $\sigma[E(\sigma_c)]=4,3$ MPa

Ως περιοχή επιρροής της διατομής θεωρείται η ζώνη επιρροής που οριοθετήθηκε από 20m πάνω έως 10m κάτω από τη στάθμη της κεφαλής σιδηροτροχιάς (K/Σ). Το εύρος της ζώνης αυτής έχει κυρίως σημασία για την ταξινόμηση μεταβολών κατά μήκος της χάραξης.

42.3.1.1.19.3.1.1.1 Διερεύνηση τάσης μεταβολής

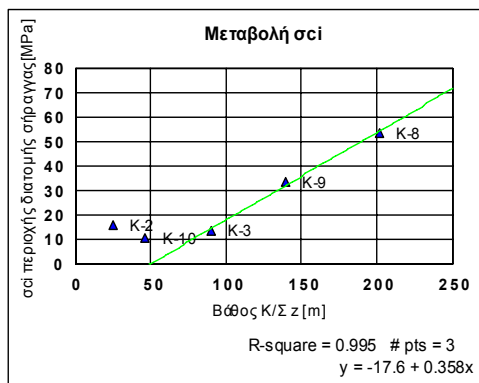
Σε ότι αφορά τη μέση αντοχή ανά γεώτρηση, παρατηρήθηκε αυξητική τάση, τόσο κατά την οριζόντια έννοια κατά τη μετακίνηση από τα στόμια προς το εσωτερικό της σήραγγας, όσο και σε σχέση με το βάθος διάτρησης.

Η εικόνα αυτή προϊδεάζει για μια ενιαία βελτίωση της αντοχής προς το εσωτερικό του ορεινού όγκου. Για τη διερεύνηση μιας τέτοιας συσχέτισης εξετάστηκε η μεταβολή της μέσης αντοχής των δοκιμών της περιοχής επιρροής της σήραγγας σε σχέση με το βάθος της K/Σ (Σχήμα 9-1), δεδομένου ότι μηκοτομικά η μορφή του ορεινού όγκου του Δρίσκου εμφανίζεται γενικά τριγωνική.

Μορφοποιήθηκε: Με αρίθμηση + Επίπεδο: 1 + Στυλ αρίθμησης: 1, 2, 3, ... + Έναρξη από: 1 + Στοιχισμός: Αριστερά + Στοιχισμός: 0,63 εκ. + Εσοχή: 1,27 εκ.

Μορφοποιήθηκε: Με αρίθμηση + Επίπεδο: 1 + Στυλ αρίθμησης: 1, 2, 3, ... + Έναρξη από: 1 + Στοιχισμός: Αριστερά + Στοιχισμός: 0,63 εκ. + Εσοχή: 1,27 εκ.

Κεφάλαιο 9 – Τιμές μηχανικών παραμέτρων των σχηματισμών της σήραγγας του Δρίσκου με βάση τον Ευρωκώδικα 7



Σχήμα 9-1 : Μεταβολή μέσης αντοχής των δοκιμίων της περιοχής επιρροής της σήραγγας σε σχέση με το βάθος της Κ/Σ (Α.Δ.Κ, 2008)

Σημειώνεται ότι στο παραπάνω διάγραμμα η μέση τιμή στη γεώτρηση K-10 συμπεριλαμβάνει και τα αποτελέσματα των εδαφικών δοκιμίων, προκειμένου να παρέχεται η συνολική εικόνα με την υποβάθμιση στις περιοχές των κατακερματισμένων ζωνών, χωρίς να συμμετέχει στον καθορισμό της τάσης για τις μη κατακερματισμένες ζώνες. Παρατηρείται ότι έως το βάθος των 90m η αντοχή παρουσιάζεται κυμαινόμενη περί την τιμή των 13 MPa. Για τα επόμενα βάθη εμφανίζεται μια αυξητική τάση με γραμμική μεταβολή. Προκειμένου να γίνει ασφαλής εκτίμηση με βάση αυτήν τη τάση, αξιολογήθηκαν οι αποκλίσεις από την τάση στο σύνολο των αποτελεσμάτων των γεωτρήσεων K-3, K-8 και K-9.

Με βάση την στατιστική επεξεργασία που έγινε, προκύπτει για τον σχηματισμό, ότι πρόκειται για συχνές εναλλαγές στρώσεων με διαφορετικά μηχανικά χαρακτηριστικά. Σύμφωνα με τις κατευθύνσεις του Ευρωκώδικα, εφόσον απαιτείται η τοπική εκτίμηση σε αυτήν την περιοχή θα χρησιμοποιείται η μέτρηση στην υπόψη περιοχή (εφόσον είναι διαθέσιμη). Σε ότι αφορά τη συμπεριφορά του πετρώματος σε μεγάλους όγκους, πάλι σύμφωνα με τις οδηγίες του Ευρωκώδικα θα χρησιμοποιείται μια προσεκτική επιλογή της μέσης τιμής, εν προκειμένω η $E[\sigma_{ci}]_{95\%}$.

Συνεπώς, σε επίπεδο σημαντικότητας 95% μπορεί να εκτιμηθεί η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη από τη συσχέτιση $\sigma_{ci} = -20 + 0,358z$ για την περιοχή $90m \leq z \leq 200m$. Δεδομένου ότι δεν διατίθενται στοιχεία για βάθη μεγαλύτερα των 200m θα πρέπει να τεθεί άνω όριο στα 200m έως ότου αποκτηθούν στοιχεία από τις βαθιές γεωτρήσεις. Για τον ίδιο λόγο, επειδή τα στοιχεία για τα χαμηλά βάθη εμφανίζουν απόκλιση, κρίθηκε σκόπιμη η εκτίμηση της τιμής στα μικρότερα βάθη να γίνεται δίνοντας περισσότερο βάρος στις χαμηλές μετρήσεις, τροποποιώντας ελαφρά τη συσχέτιση ώστε να εμφανίζει μια συνέχεια στις εκτιμήσεις μεταξύ των διαφόρων βαθών. Συνοψίζοντας τα παραπάνω, η μέση αντοχή σε μονοαξονική θλίψη του άρρηκτου

Κεφάλαιο 9 – Τιμές μηχανικών παραμέτρων των σχηματισμών της σήραγγας του Δρίσκου με βάση τον Ευρωκώδικα 7

πετρώματος μπορεί με ασφάλεια 95% να εκτιμηθεί, με συσχέτιση ως προς το βάθος z της Κ/Σ, ως εξής:

- $z < 90\text{m}$ $\sigma_{ci} = 9 \text{ MPa}$
- $90\text{m} \leq z \leq 200\text{m}$ $\sigma_{ci} = -22,5 + 0,358z \text{ [MPa]}$
- $z > 200\text{m}$ $\sigma_{ci} = 49 \text{ MPa}$

Μορφοποιήθηκε: Κουκκίδα + Επίπεδο: 1 + Στοιχισή: 0,63 εκ. + Εσοχή: 1,27 εκ.

12.3.1.1.29.3.1.1.2 Διερεύνηση τυχαίας μεταβολής

Η αποδοχή τάσης μεταβολής δεν επιτρέπει την τοπική εκτίμηση στο ζητούμενο επίπεδο σημαντικότητας 95%. Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα αλλά και για τον καθορισμό τιμών αντοχής με γενική εφαρμογή για υπολογισμούς ελέγχου επάρκειας, ανεξάρτητα από τη θέση, εξετάστηκε η κατανομή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη στο σύνολο των αποτελεσμάτων.

Σε ότι αφορά τη χαρακτηριστική τιμή της αντοχής, σύμφωνα με τις οδηγίες του Ευρωκώδικα 7, ορίζεται ανάλογα με την περίπτωση ως τοπική ($\sigma_{ci95\%}$) ή μέση ($E[\sigma_{ci}95\%]$). Οι χαρακτηριστικές αυτές τιμές χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς όταν, ανάλογα με τη φύση του προβλήματος, το αποτέλεσμα εξαρτάται από τη συνολική συμπεριφορά της βραχομάζας (π.χ. πιέσεις στην επένδυση) ή από τοπική συμπεριφορά (π.χ. κίνδυνος κατάπτωσης όγκου).

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 9-2) φαίνεται η μέση και η τοπική τιμή της μονοαξονικής αντοχής.

Πίνακας 9-2 : Μέση και τοπική τιμή μονοαξονικής αντοχής σύμφωνα με διερεύνηση τυχαίας μεταβολής

Παράμετρος		Τιμές σ_{ci} σε MPa
Τοπική τιμή στο 95% μη υπέρβασης	$\sigma_{ci95\%}$	3,7
Αναμενόμενη μέση τιμή στο 95 % μη υπέρβασης	$E[\sigma_{ci}95\%]$	24,7

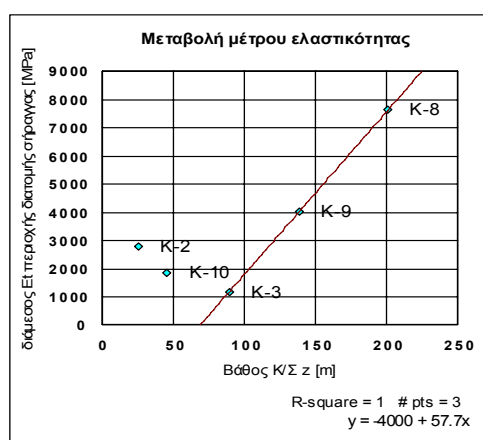
Κεφάλαιο 9 – Τιμές μηχανικών παραμέτρων των σχηματισμών της σήραγγας του Δρίσκου με βάση τον Ευρωκώδικα 7

42.3.29.3.2 Μέτρο ελαστικότητας E_t (εφαπτόμενο)

42.3.2.19.3.2.1 Διερεύνηση τάσης μεταβολής

Με βάση τα συμπεράσματα από την τάση μεταβολής στην περίπτωση της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη, εξετάστηκε το ενδεχόμενο ύπαρξης ανάλογης τάσης και στην περίπτωση του μέτρου ελαστικότητας. Το μέτρο ελαστικότητας μετρήθηκε σε 21 δείγματα και υπολογίστηκε γραφικά σε άλλα 44.

Δεδομένου ότι το μέτρο ελαστικότητας προκύπτει ως λόγος μεγεθών, για το λόγο αυτό επιλέχθηκε η διάμεση τιμή αντί της μέσης (Σχήμα 9-2).



Σχήμα 9-2 : Μεταβολή μέτρου ελαστικότητας συναρτήσει του βάθους Κ/Σ (Α.Δ.Κ., 2008)

Παρατηρείται μια ανάλογη εικόνα με εκείνη της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη. Ωστόσο παρατηρείται ότι σε μικρά βάθη εμφανίζονται και υψηλές τιμές (γεώτρηση Σ34Κ-2). Τα δεδομένα δεν είναι επαρκή για να αξιολογηθούν αυτές οι τιμές και επιλέγεται να εκτιμηθεί η περιοχή $z < 90m$ από τη μέση τιμή των δύο άλλων.

Σε επίπεδο σημαντικότητας 95% μπορεί να εκτιμηθεί το μέτρο ελαστικότητας από τη συσχέτιση $E_t = -3500 + 57.75z$ για την περιοχή $90m \leq z \leq 200m$. Δεδομένου ότι δεν διατίθενται στοιχεία για βάθη μεγαλύτερα των 200m θα πρέπει να τεθεί άνω όριο στα 200m έως ότου αποκτηθούν στοιχεία από τις βαθιές γεωτρήσεις που προβλέπονται στο γεωτεχνικό ερευνητικό πρόγραμμα

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, το μέτρο ελαστικότητας του άρρηκτου πετρώματος μπορεί με ασφάλεια να εκτιμηθεί, με συσχέτιση ως προς το βάθος z της Κ/Σ, ως εξής:

Κεφάλαιο 9 – Τιμές μηχανικών παραμέτρων των σχηματισμών της σήραγγας του Δρίσκου με βάση τον Ευρωκώδικα 7

- $z < 90\text{m}$ $E_i = 1700 \text{ MPa}$
- $90\text{m} \leq z \leq 200\text{m}$ $E_i = -3500 + 57,75z$
- $z > 200\text{m}$ $E_i = 8000 \text{ MPa}$

Μορφοποιήθηκε: Κουκκίδα +
Επίπεδο: 1 + Στοιχίση: 0,63 εκ. +
Εσοχή: 1,27 εκ.

42.3.2.29.3.2.2 Διερεύνηση τυχαιάς μεταβολής

Όπως και στην περίπτωση της αντοχής σ_{ci} εξετάστηκαν και άλλες συσχετίσεις προκειμένου να καθοριστούν χαρακτηριστικές τιμές του μέτρου ελαστικότητας με συσχέτιση ή γενική εφαρμογή, χωρίς δηλαδή την παραδοχή τάσης μεταβολής, στο σύνολο των μετρήσεων.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 9-3) φαίνεται η μέση και η τοπική τιμή του μέτρου ελαστικότητας.

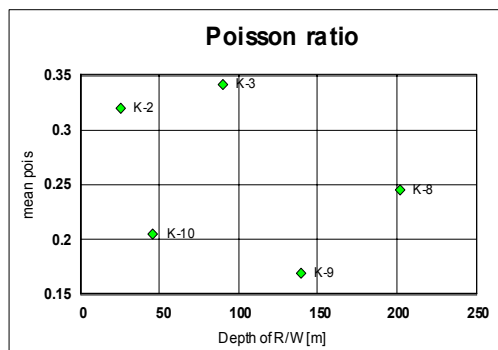
Πίνακας 9-3 : Μέση και τοπική τιμή μέτρου ελαστικότητας σύμφωνα με διερεύνηση τυχαιάς μεταβολής

Παράμετρος		Τιμές E_i σε MPa
Τοπική τιμή στο 95% μη υπέρβασης	$E_{t95\%}$	840
Αναμενόμενη μέση τιμή στο 95 % μη υπέρβασης	$E[E_i]_{95\%}$	3820

42.3.39.3.3 Λόγος Poisson (ν)

Ο λόγος Poisson δεν διαπιστώθηκε να έχει κάποια συσχέτιση με τη θέση ή άλλο χαρακτηριστικό του πετρώματος. Ενδεικτικά δίνεται στο επόμενο διάγραμμα (Σχήμα 9-3) η διασπορά των μέσων τιμών σε σχέση με το βάθος της χάραξης για τις διάφορες γεωτρήσεις.

Κεφάλαιο 9 – Τιμές μηχανικών παραμέτρων των σχηματισμών της σήραγγας του Δρίσκου με βάση τον Ευρωκώδικα 7



Σχήμα 9-3 : Τιμές λόγου Poisson για κάθε γεώτρηση (Α.Δ.Κ, 2008)

Η μέση τιμή που προέκυψε από τις μετρήσεις είναι $\nu=0,28$, ωστόσο, δεδομένου ότι πρόκειται για λόγο τιμών, εκτιμήθηκε και η μέση τιμή του άρρηκτου πετρώματος βάσει του αρμονικού μέσου που προκύπτει ως $\nu=0,25$.

12.3.49.3.4 Διαστολή κατά την αστοχία

Για τον υπολογισμό της τιμής της διαστολής εκτελέστηκαν δοκιμές με πρέσα εφοδιασμένη με σερβομηχανισμό, ώστε να απορροφά το περίσσειμα ελαστικής ενέργειας του συστήματος πρέσα + δοκίμιο και να αποφεύγεται η διάλυση του δοκιμίου.

Από τα στοιχεία του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 9-4) προκύπτει ότι η μέση τιμή θα κυμαίνεται σε επίπεδο σημαντικότητας 95% μεταξύ των τιμών $E[\psi]=4,5^\circ \div 8,0^\circ$ και στα πλαίσια της ακρίβειας των υπολογισμών μπορεί να υιοθετηθεί η μέση τιμή, δηλαδή $\psi=6^\circ$.

Πίνακας 9-4 : Τιμές διαστολής κατά την αστοχία σύμφωνα με τις εργαστηριακές δοκιμές

Γεώτρηση	Γωνία διαστολής ψ (°)
K-2	6,5
	2,5
K-3	4,7
	10,2
	6,7
K-8	6,0
	7,2

Κεφάλαιο 9 – Τιμές μηχανικών παραμέτρων των σχηματισμών της σήραγγας του Δρίσκου με βάση τον Ευρωκώδικα 7

42.3.59.3.5 Δοκιμές διάτμησης σε φυσικές και τεχνητές ασυνέχειες

Μορφοποιήθηκε: Ελληνικά

42.3.5.19.3.5.1 Συντελεστής τριβής επιφάνειας ασυνεχειών - Συνοχή

Μορφοποιήθηκε: Ελληνικά

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών για την διατμητική αντοχή του σχηματισμού μας προέκυψαν οι παρακάτω τιμές για τον συντελεστή τριβής των ασυνεχειών και τη συνοχή, οι οποίες παρουσιάζονται στους δυο επόμενους πίνακες αντίστοιχα (Πίνακας 9-5 και Πίνακας 9-6).

Πίνακας 9-5 : Μέγιστες και υπολειπόμενες τιμές για τον συντελεστή τριβής

Παράμετρος		Μέγιστη	Υπολειπόμενη
Τοπική τιμή στο 95% μη υπέρβασης	$\tan\varphi_{95\%}$	0,488 ($\varphi=26^{\circ}$)	0,245 ($\varphi=13,8$)
Αναμενόμενη μέση τιμή στο 95 % μη υπέρβασης	$E[\tan\varphi]_{95\%}$	0,785 ($\varphi=38,1^{\circ}$)	0,382 ($\varphi=20,9$)

Πίνακας 9-6 : Μέση και τοπική τιμή συνοχής

Παράμετρος		Τιμές c σε MPa
Τοπική τιμή στο 95% μη υπέρβασης	$c_{95\%}$	0,02
Αναμενόμενη μέση τιμή στο 95 % μη υπέρβασης	$E[c]_{95\%}$	0,055

Κεφάλαιο 10

Εφαρμογή του προγράμματος Plaxis V8 Professional για την προσομοίωση των πρανών των στομίων της σήραγγας

1310 Εφαρμογή του προγράμματος Plaxis V9 Professional για την προσομοίωση των πρικών των στομών της σήραγγας

13.110.1 Γενικά στοιχεία – Περιγραφή προγράμματος

Το Plaxis είναι ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιείται για την επίλυση γεωτεχνικών προβλημάτων, πραγματοποιώντας διδιάστατες αναλύσεις παραμορφώσεων και τάσεων συνεχούς μέσου. Στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε η διαθέσιμη έκδοση Plaxis V9 Professional στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας- Υδρογεωλογίας της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών.

Η χρήση του σε γεωτεχνικά προβλήματα απαιτεί αναπτυγμένα καταστατικά μοντέλα για την προσομοίωση της γραμμικής ή μη, της εξαρτημένης από το χρόνο ή της ανισότροπης συμπεριφοράς του εδάφους ή του βράχου. Επιπλέον, επειδή το έδαφος είναι ένα πολυφασικό υλικό απαιτούνται ειδικές διαδικασίες προκειμένου να υπολογιστούν οι αστράγγιστες ή οι αποστραγγιζόμενες συνθήκες του εδάφους.

Τα γεωτεχνικά προβλήματα που προσομοιώνονται με το πρόγραμμα Plaxis είναι προβλήματα επιβολής φορτίσεων με τη χρήση επιχωμάτων, αστοχίες θεμελιώσεων, ευστάθεια πρικών, διάνοιξη σηράγγων, επιφανειακές εκσκαφές με ή χωρίς αντιστήριξη.

Το πρόγραμμα αποτελείται από τέσσερα υποπρογράμματα που αφορούν στην: i) εισαγωγή δεδομένων (**Input**), 

ii) εκτέλεση υπολογισμών (**Calculations**), 

iii) παρουσίαση αποτελεσμάτων (**Output**), 

iv) παραγωγή διαγραμμάτων (**Curves**). 

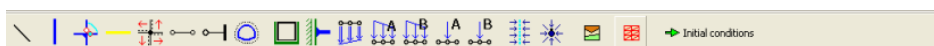
Το πρόγραμμα Plaxis είναι εξοπλισμένο με πολλά εργαλεία ώστε να μπορεί να επεξεργαστεί μεγάλο αριθμό από πολύπλοκες γεωτεχνικές κατασκευές. Για την προσομοίωση ενός γεωτεχνικού προβλήματος τα βασικά γεωμετρικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι οι γραμμές, τα σημεία και τα τμήματα (clusters) συγκεκριμένης εδαφικής στρώσης. Το κάθε τμήμα έχει τις ίδιες ιδιότητες σε όλη την έκτασή του. Η βασική διαφορά ανάμεσα στα παραπάνω γεωμετρικά στοιχεία είναι ότι οι γραμμές και τα σημεία επιλέγονται από τον χρήστη, ενώ τα τμήματα από το ίδιο το πρόγραμμα.

Κεφάλαιο 10 – Εφαρμογή του προγράμματος Plaxis για την προσομοίωση των πρανών των στομιών της σήραγγας

13.210.2 Εισαγωγή δεδομένων (Input)

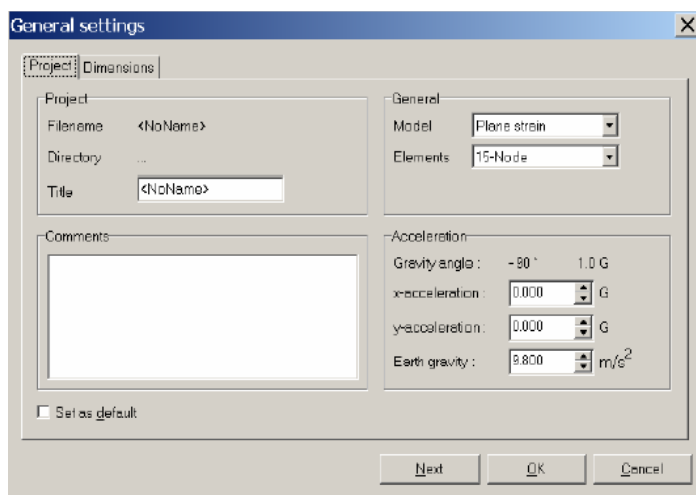
13.2.110.2.1 Γεωμετρική προσομοίωση

Το υποπρόγραμμα εισαγωγής δεδομένων περιέχει διάφορα εργαλεία και εντολές παρέχοντας την δυνατότητα δημιουργίας του επιθυμητού μοντέλου προσομοίωσης. Μέσω της γραμμής εντολών (toolbar) που βρίσκεται στην άνω πλευρά (Εικόνα 10-1) του παραθύρου γίνεται η εισαγωγή των επιμέρους αντικειμένων της γεωμετρίας.



Εικόνα 10-1 : Γραμμή εργαλείων και εντολών του προγράμματος εισαγωγής δεδομένων

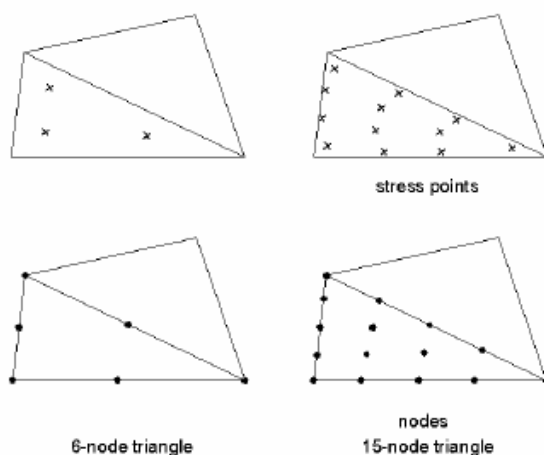
Αρχικά, για τη δημιουργία ενός προβλήματος εμφανίζεται ένα μικρό παράθυρο με το οποίο γίνεται η οριοθέτηση του, μέσω της εντολής 'Γενικές ρυθμίσεις' (General Settings). Το συγκεκριμένο παράθυρο εντολών αποτελείται από δυο "φύλλα" ρυθμίσεων (Εικόνα 10-2). Με το πρώτο, που αφορά στη δημιουργία του σχεδίου (Project) γίνεται η εισαγωγή του τίτλου του σχεδίου, του βασικού τύπου προσομοιώματος (μοντέλο επίπεδης παραμόρφωσης ή αξισυμμετρικό), του τύπου των πεπερασμένων στοιχείων, ενώ με το δεύτερο, που αφορά στην επιλογή των διαστάσεων (Dimensions) γίνεται η επιλογή των μονάδων μέτρησης και των διαστάσεων της τομής.



Εικόνα 10-2 : Παράθυρο γενικών ρυθμίσεων του προγράμματος Plaxis

Κεφάλαιο 10 – Εφαρμογή του προγράμματος Plaxis για την προσομοίωση των πρανών των στομιών της σήραγγας

Το πρόγραμμα Plaxis V8 δίνει την δυνατότητα χρήσης 6-κομβων ή 15-κομβων τριγωνικών στοιχείων. Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκαν τα 15-κομβια τριγωνικά στοιχεία, γιατί μας ενδιέφεραν κυρίως οι παραμορφώσεις και επιπλέον με την χρήση αυτών των στοιχείων έχουμε καλύτερη προσέγγιση της in situ γεωμάζας. Το 15-κομβο στοιχείο αποτελείται από 15 κόμβους, από τους οποίους οι 12 βρίσκονται περιμετρικά του τριγώνου και οι υπόλοιποι 3 εσωτερικά αυτού (Σχήμα 10-1). Οι τάσεις υπολογίζονται εσωτερικά του τριγωνικού στοιχείου σε 12 σημεία τα οποία δε συμπίπτουν με τους κόμβους.

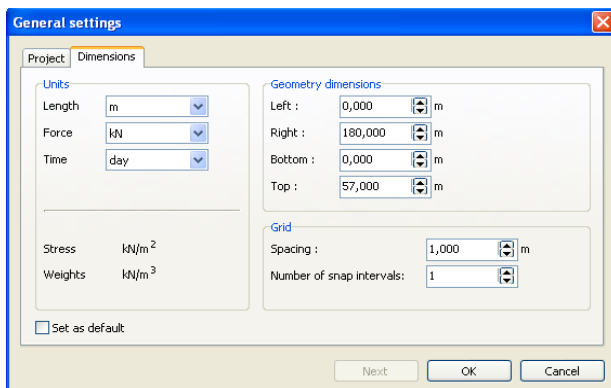


Σχήμα 10-1 : Σημεία υπολογισμού των τάσεων και κόμβοι που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων

Κατά τη δημιουργία της γεωμετρίας μιας προσομοίωσης, απαιτείται να καθοριστούν τα όρια διαχωρισμού των εδαφικών στρώσεων, το οποίο γίνεται μεταφέροντας τον κέρσορα στην γραμμή εργαλείων και πατώντας το κουμπί γραμμή (geometry line), τα στοιχεία της κατασκευής, καθώς και τα φορτία εάν υπάρχουν. Το γεωμετρικό μοντέλο δε θα πρέπει να αποτελείται μόνο από τις κατασκευές που πραγματοποιούνται στο πρώτο στάδιο, αλλά και αυτές που συμβαίνουν σε κάθε κατασκευαστική φάση του προβλήματος.

Ειδικά για το θέμα αυτής της διπλωματικής εργασίας, αρχικά καθορίστηκαν τα όρια της τομής (Εικόνα 10-3) με συντεταγμένες x και y , λόγω της διδιάστατης ανάλυσης.

Κεφάλαιο 10 – Εφαρμογή του προγράμματος Plaxis για την προσομοίωση των πρηνών των στομιών της σήραγγας



Εικόνα 10-3: Παράδειγμα γενικών ρυθμίσεων για την προσομοίωση του πρηνούς των στομιών

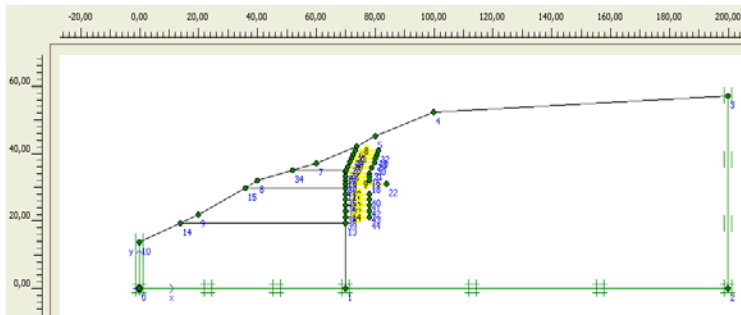
Στη συνέχεια η τομή χωρίστηκε σε επιμέρους τμήματα (clusters), τα οποία αναπαριστούν τις τρεις φάσεις εκσκαφής, με την εντολή γραμμές (geometry lines) πατώντας στο αντίστοιχο εικονίδιο της γραμμής εργαλείων. Επιπλέον, εισήχθησαν αγκύρια για κάθε φάση εκσκαφής μέσω του εικονιδίου των γεωφασμάτων (geogrids), τα οποία απεικονίζονται με κίτρινη γραμμή. Το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων Plaxis χρησιμοποιεί γεωφάσμα για την προσομοίωση αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης.

Στο σχήμα 10-2 απεικονίζονται οι διάφορες περιπτώσεις χρήσης των γεωφασμάτων. Ενώ στα σχήματα 10-3, 10-4, 10-5, 10-6 φαίνεται η γεωμετρία των τομών που δημιουργήθηκαν για τις διάφορες αναλύσεις.



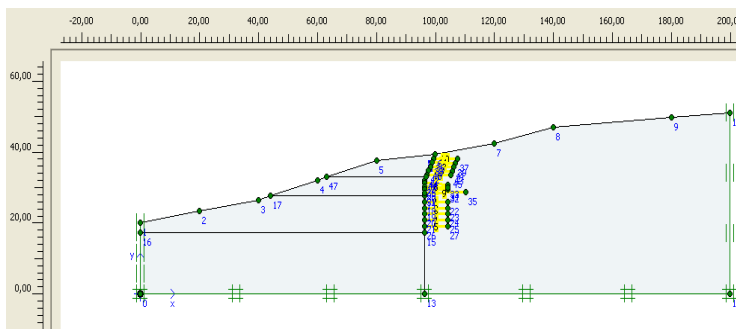
Σχήμα 10-2 : Χαρακτηριστικές περιπτώσεις εφαρμογής των γεωφασμάτων κατά τον σχεδιασμό μίας τομής με το πρόγραμμα Plaxis

Κεφάλαιο 10 – Εφαρμογή του προγράμματος Plaxis για την προσομοίωση των πρανών των στομιών της σήραγγας

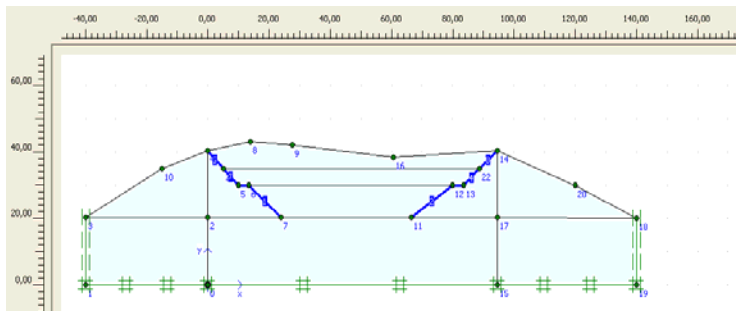


Σχήμα 10-3 : Προβολή γεωμετρίας πρανούς του στομίου εισόδου της σήραγγας

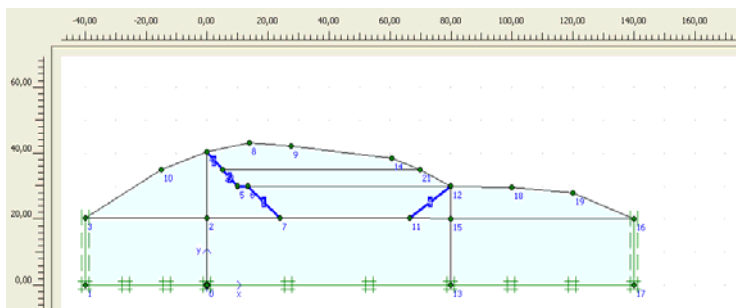
Σχόλιο [u3]: Είναι OK. Μην αλλάξεις το layout.



Σχήμα 10-4 : Προβολή γεωμετρίας πρανούς του στομίου εξόδου της σήραγγας



Σχήμα 10-5 : Προβολή γεωμετρίας πλευρικών πρανών του στομίου εισόδου της σήραγγας



Σχήμα 10-6 : Προβολή γεωμετρίας πλευρικών πρανών του στομίου εξόδου της σήραγγας

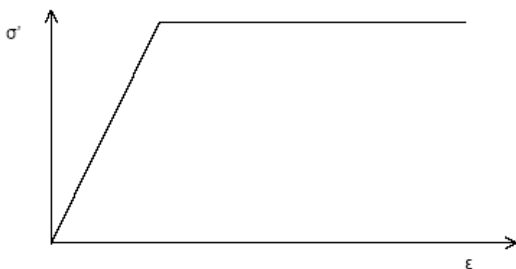
Κεφάλαιο 10 – Εφαρμογή του προγράμματος Plaxis για την προσομοίωση των πρανών των στομιών της σήραγγας

13.2.2.10.2.2 Προσομοίωση εδαφικού μέσου

13.2.2.110.2.2.1 Μοντέλο Mohr-Coulomb

Η προσομοίωση ενός εδαφικού μέσου μπορεί να γίνει με τη χρήση διάφορων καταστατικών νόμων. Από τα οποία το πιο γνωστό είναι αυτό του ελαστικού – τέλεια πλαστικού εδάφους κατά Mohr-Coulomb (Σχήμα 10-7). Ο νόμος αυτός χρησιμοποιήθηκε και στη συγκεκριμένη εργασία σε κάποιες αναλύσεις για να περιγράψει τη συμπεριφορά του φλύσχη που επικρατεί στα δύο στόμια της σήραγγας. Αυτό το μοντέλο θεωρείται από τα πιο εύκολα στη χρήση, καθώς για την εφαρμογή του απαιτούνται μόνο πέντε βασικές μηχανικές παράμετροι. Οι παράμετροι αυτές, προκύπτουν από τις εργαστηριακές δοκιμές και είναι το μέτρο ελαστικότητας E (Young's modulus), ο λόγος Poisson ν (Poisson's ratio), η συνοχή c (cohesion), η γωνία εσωτερικής τριβής ϕ (friction angle) και η γωνία διασταλτικότητας ψ (dilatancy angle). Οι δύο πρώτες παράμετροι αποτελούν ελαστικές σταθερές, ενώ η συνοχή c και η γωνία εσωτερικής τριβής ϕ αποτελούν παράμετροι διαμηκτικής αντοχής κατά Mohr-Coulomb.

Σχόλιο [u4]: Όχι μεγάλες προτάσεις. Αυτό είναι δυο προτάσεις σε μία.



Σχήμα 10-7 : Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων του ελαστικού – τέλεια πλαστικού μοντέλου κατά Mohr-Coulomb

Το διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων του παραπάνω σχήματος χωρίζεται σε δύο τμήματα. Το πρώτο τμήμα απεικονίζει τη γραμμικώς ελαστική συμπεριφορά του υλικού, ενώ το δεύτερο τμήμα δείχνει τη συνεχή ανάπτυξη παραμορφώσεων υπό συνθήκες σταθερών τάσεων, όταν το υλικό φθάσει σε κατάσταση οριακής ισορροπίας ακολουθώντας το κριτήριο αστοχίας κατά Mohr-Coulomb. Στην περίπτωση της ελαστικής συμπεριφοράς οι παραμορφώσεις είναι ανάλογες των μεταβολών των τάσεων και ισχύει ο νόμος του Hooke.

Εκτός από τον καθορισμό των πέντε παραμέτρων κατά την προσομοίωση του εδαφικού μέσου, χρειάζεται να οριστούν οι συνθήκες αποστράγγισης (στραγγιζόμενες ή αστράγγιστες) του σχηματισμού, τα φυσικά χαρακτηριστικά του, όπως φαινόμενη πυκνότητα (γ_{sat} και γ_{unsat}) και συντελεστές διαπερατότητας (k_x και k_y). Επίσης

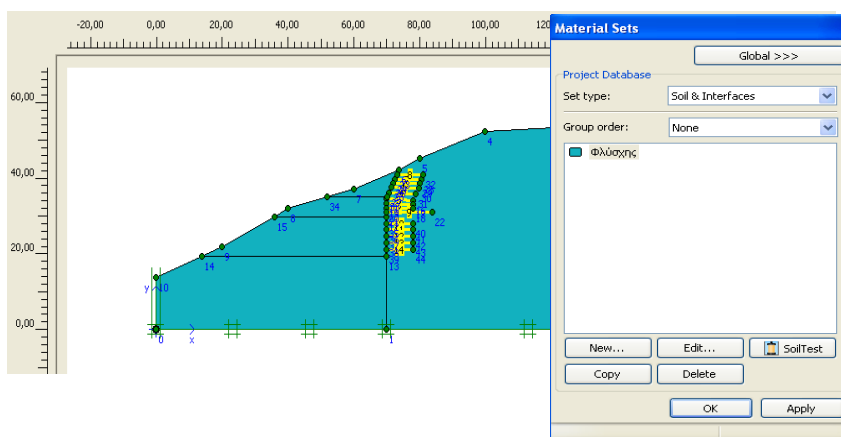
Κεφάλαιο 10 – Εφαρμογή του προγράμματος Plaxis για την προσομοίωση των πρανών των στομιών της σήραγγας

χρειάζεται να καθοριστούν το μέτρο διάτμησης G και το οιδιμετρικό μέτρο ελαστικότητας E_{oed} , τα οποία υπολογίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα μέσω των τύπων που συνδέει αυτές τις παραμέτρους με το μέτρο ελαστικότητας E και το λόγο Poisson ν . Οι τύποι αυτοί είναι οι εξής :

$$G = E / 2(1+\nu) \quad \text{και} \quad E_{oed} = (1-\nu) E / (1-2\nu) (1+\nu)$$

Με το πρόγραμμα Plaxis παρέχεται η δυνατότητα υπολογισμού της μεταβολής του μέτρου ελαστικότητας E και της συνοχής c ως συνάρτηση του βάθους (E_{inc} και $C_{increment}$ αντίστοιχα) με τη χρήση του advanced από το παράθυρο εισαγωγής των παραμέτρων.

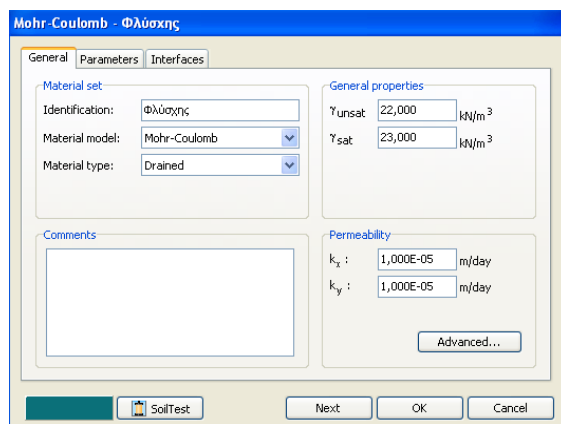
Για την παρούσα εργασία, έγινε εισαγωγή των ιδιοτήτων του φλύσχη (soil), των αγκυριών (geotextile) και του εκτοξευόμενου σκυροδέματος (plate) μέσω του εικονιδίου (material sets) της γραμμής εργαλείων (Σχήμα 10-8).



Σχήμα 10-8: Προβολή παραθύρου εισαγωγής εδαφικού σχηματισμού στην προσομοίωση που χρησιμοποιήθηκε

Σ' όλες τις αναλύσεις θεωρήθηκε ότι για τον σχηματισμό μας έχουμε στραγγιζόμενες συνθήκες (drained conditions) (Εικόνα 10-4) λόγω απουσίας νερού. Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα τοποθετήθηκε πάνω στο κατώτερο όριο της τομής.

Κεφάλαιο 10 – Εφαρμογή του προγράμματος Plaxis για την προσομοίωση των πρηνών των στομιών της σήραγγας



Εικόνα 10-4 : Παράθυρο εισαγωγής στοιχείων μοντέλου Mohr Coulomb και συνθηκών προσομοίωσης, καθώς και φυσικών χαρακτηριστικών

13.2.2.210.2.2.2 Μοντέλο Jointed Rock

Η προσομοίωση ενός κατακερματισμένου σχηματισμού μπορεί να γίνει και με τη χρήση του μοντέλου Jointed Rock. Αυτό έγινε και στη συγκεκριμένη εργασία στις αναλύσεις ευστάθειας των πρηνών της εισόδου της σήραγγας, το οποίο είναι ένα ανισότροπο ελαστικό – τέλεια πλαστικό μοντέλο. Χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που απαιτείται η προσομοίωση της συμπεριφοράς ενός σχηματισμού, ο οποίος έχει κάποια στρώση ή/και ασυνέχειες, οι οποίες προκαλούν την ανισοτροπία. Το μοντέλο αυτό μπορεί να λάβει υπόψη του μέχρι τρεις οικογένειες ασυνεχειών, από τις οποίες η πρώτη οικογένεια θεωρείται ότι συμπίπτει με την διεύθυνση της ελαστικής ανισοτροπίας.

Σχόλιο [u5]: Τρεις προτάσεις σε μία

Για την εφαρμογή του απαιτούνται οι πέντε βασικές μηχανικές παράμετροι που χρησιμοποιούνται και στο μοντέλο Mohr-Coulomb. Αυτές είναι το μέτρο ελαστικότητας E (Young's modulus), ο λόγος Poisson ν (Poisson's ratio), η συνοχή c (cohesion), η γωνία εσωτερικής τριβής ϕ (friction angle) και η γωνία διασταλτικότητας ψ (dilatancy angle). Εκτός όμως από αυτές τις παραμέτρους απαιτείται και η γνώση του αριθμού των οικογενειών των ασυνεχειών, καθώς και οι διευθύνσεις μέγιστης κλίσης και οι γωνίες κλίσης τους.

Πιο συγκεκριμένα οι παράμετροι που χρειάζονται για την εφαρμογή του μοντέλου Jointed Rock είναι οι εξής :

Κεφάλαιο 10 – Εφαρμογή του προγράμματος Plaxis για την προσομοίωση των πρανών των στομιών της σήραγγας

Ελαστικοί παράμετροι όπως στο μοντέλο Mohr-Coulomb

E_1 : μέτρο ελαστικότητας του άρρηκτου πετρώματος [kN/m²]

ν_1 : λόγος Poisson του άρρηκτου πετρώματος [-]

Ελαστικοί παράμετροι ανισοτροπίας 1^{ης} ασυνέχειας του πετρώματος (π.χ. στρώσης)

E_2 : μέτρο ελαστικότητας 1^{ης} ασυνέχειας του πετρώματος [kN/m²]

G_2 : μέτρο διάτμησης 1^{ης} ασυνέχειας του πετρώματος [kN/m²]

ν_2 : λόγος Poisson 1^{ης} ασυνέχειας του πετρώματος [-]

Παράμετροι διατμητικής αντοχής ασυνεχειών του πετρώματος (i=1,2,3)

c_i : συνοχή [kN/m²]

ϕ_i : γωνία εσωτερικής τριβής [°]

ψ_i : διασταλτικότητα [°]

$\sigma_{t,i}$: εφελκυστική αντοχή [kN/m²]

Προσδιορισμός αριθμού και διεύθυνσης ασυνεχειών (i=1,2,3)

n : αριθμός ασυνεχειών (1 ≤ n ≤ 3)

$\alpha_{1,i}$: γωνία κλίσης [°]

$\alpha_{2,i}$: διεύθυνση μέγιστης κλίσης [°]

Στην περίπτωση της ελαστικής συμπεριφοράς του πετρώματος οι παραμορφώσεις είναι ανάλογες των μεταβολών των τάσεων, με αποτέλεσμα οι ελαστικές παράμετροι E_1 και ν_1 να προκύπτουν με βάση τον νόμο του Hooke. Ωστόσο, όταν έχουμε ανισοτροπία λόγω της στρώσης, το μέτρο ελαστικότητας κάθετα σ' αυτή είναι συνήθως μικρότερο. Γενικά, η ελαστική ακαμψία κατά την διεύθυνση της ανισοτροπίας καθορίζεται από τις παραμέτρους E_2 και ν_2 .

Η τιμή του μέτρου διάτμησης κατά τη διεύθυνση της στρώσης είναι επίσης μικρότερο από το μέτρο διάτμησης σε οποιαδήποτε άλλη διεύθυνση. Η διατμητική ακαμψία κατά τη διεύθυνση της στρώσης μπορεί να προσδιοριστεί από το ελαστικό μέτρο διάτμησης G_2 . Αυτό όμως το μέτρο διάτμησης είναι μια παράμετρος, η οποία

Κεφάλαιο 10 – Εφαρμογή του προγράμματος Plaxis για την προσομοίωση των πρηνών των στομιών της σήραγγας

δεν σχετίζεται με το μέτρο ελαστικότητας μέσω του λόγου Poisson, σύμφωνα με το νόμο του Hooke της ελαστικής συμπεριφοράς. Εάν η ελαστική συμπεριφορά του πετρώματος είναι και ιστροπική, τότε οι παράμετροι E_2 και ν_2 μπορούν να θεωρηθούν ίσες με τις παραμέτρους E_1 και ν_1 , ενώ το μέτρο διάτμησης G_2 μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο $(1/2 E_1)/(1+ \nu_1)$.

Επειδή στη προσομοίωση της παρούσας εργασίας η συμπεριφορά του πετρώματος θεωρήθηκε ιστροπική, το μέτρο ελαστικότητας E_2 και ο λόγος Poisson ν_2 της στρώσης θεωρήθηκε ότι ισούται με το μέτρο ελαστικότητας E_1 και το λόγο Poisson ν_1 του άρρηκτου πετρώματος.

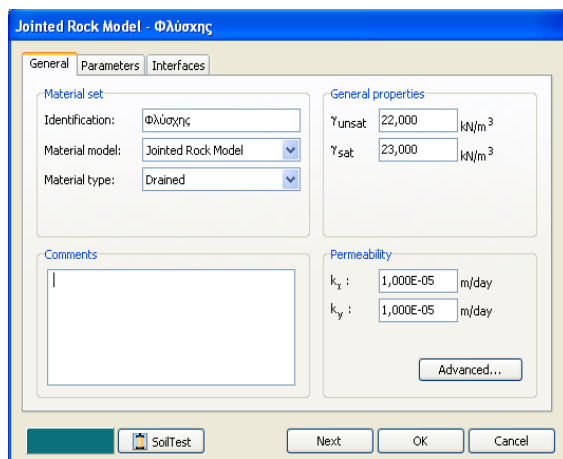
Σύμφωνα με τη γεωτεχνική μελέτη (Α.Δ.Κ., 2008), στο πρηνές της εισόδου υπάρχουν τρεις οικογένειες ασυνεχειών, από τις οποίες η μια είναι η στρώση. Οι τιμές των παραμέτρων διατμητικής αντοχής c , ϕ και ψ της στρώσης θεωρήθηκαν ίσες με τις τιμές των παραμέτρων διατμητικής αντοχής των άλλων δυο οικογενειών ασυνέχειας καθώς πρόκειται για ενιαίο σχηματισμό. Επιπλέον, οι τιμές της γωνίας κλίσης $\alpha_{1,i}$ που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε οικογένεια ασυνεχειών είναι οι εξής :

1^η οικογένεια ασυνεχειών (στρώση) : $\alpha_{1,1} = 86^\circ$

2^η οικογένεια ασυνεχειών : $\alpha_{1,2} = 40^\circ$

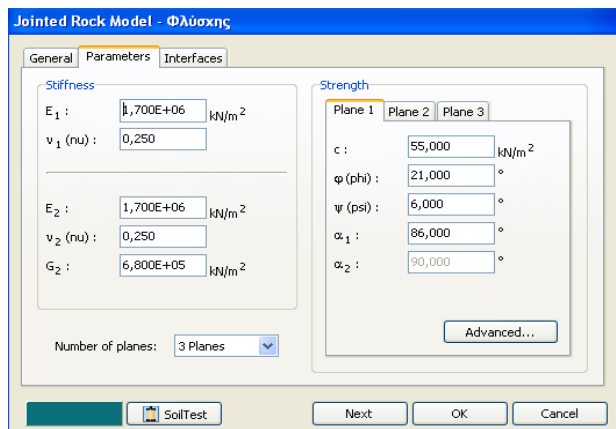
3^η οικογένεια ασυνεχειών : $\alpha_{1,3} = 26^\circ$

Στις παρακάτω δυο εικόνες (Εικόνες 10-5, 10-6) φαίνονται το παράθυρο εισαγωγής του μοντέλου Jointed Rock, των συνθηκών προσομοίωσης και των φυσικών χαρακτηριστικών. Επιπλέον, δίνεται το παράθυρο εισαγωγής μηχανικών ιδιοτήτων του σχηματισμού που συναντάται στην είσοδο της σήραγγας αντίστοιχα.



Εικόνα 10-5: Παράθυρο εισαγωγής στοιχείων μοντέλου Jointed Rock και συνθηκών προσομοίωσης, καθώς και φυσικών χαρακτηριστικών

Κεφάλαιο 10 – Εφαρμογή του προγράμματος Plaxis για την προσομοίωση των πρηνών των στομιών της σήραγγας



Εικόνα 10-6 : Παράθυρο εισαγωγής μηχανικών ιδιοτήτων του σχηματισμού που συναντάται στην είσοδο της σήραγγας

Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακες 10-1 έως 10-3) δίνονται οι τιμές των μηχανικών παραμέτρων του σχηματισμού που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τόσο για την προσομοίωση του πρηνούς της εισόδου της σήραγγας, όσο και για τη προσομοίωση του πρηνούς της εξόδου.

Πίνακας 10-1: Τιμές μηχανικών παραμέτρων που εισήχθησαν στο μοντέλο Mohr Coulomb για την προσομοίωση του πρηνούς του στομίου εισόδου

γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{unsat} (kN/m ³)	k_x (m/day)	k_y (m/day)	E_{ref} (kN/m ²)	ν	C_{ref} (kN/m ²)	ϕ	ψ
23	22	10^{-5}	10^{-5}	$1700 \cdot 10^3$	0,25	55	21	6

Πίνακας 10-2: Τιμές μηχανικών παραμέτρων που εισήχθησαν στο μοντέλο Jointed Rock για την προσομοίωση του πρηνούς του στομίου εισόδου

γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{unsat} (kN/m ³)	k_x (m/day)	k_y (m/day)	E_1 (kN/m ²)	ν_1	E_2 (kN/m ²)	ν_2	C_{ref} (kN/m ²)	ϕ	ψ
23	22	10^{-5}	10^{-5}	$1700 \cdot 10^3$	0,25	$1700 \cdot 10^3$	0,25	55	21	6

Πίνακας 10-3: Τιμές μηχανικών παραμέτρων που εισήχθησαν στο μοντέλο Mohr Coulomb για την προσομοίωση του πρηνούς του στομίου εξόδου

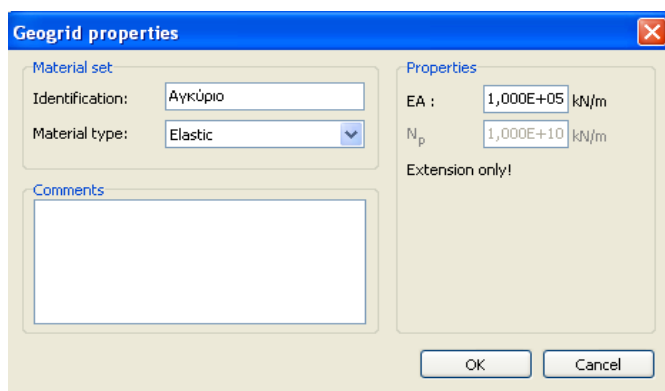
γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{unsat} (kN/m ³)	k_x (m/day)	k_y (m/day)	E_{ref} (kN/m ²)	ν	C_{ref} (kN/m ²)	ϕ	ψ
21	20	10^{-5}	10^{-5}	$33 \cdot 10^3$	0,25	93	10,8	6

Σχόλιο [υ6]: 10^{-5} ή 10^{-5} όχι 10^{-5}

Κεφάλαιο 10 – Εφαρμογή του προγράμματος Plaxis για την προσομοίωση των πρανών των στομιών της σήραγγας

Προκειμένου να γίνει η προσομοίωση των αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης που απαιτούνται για την ευστάθεια των πρανών σε κάθε φάση εκσκαφής χρησιμοποιήθηκε η προσομοίωση γεωυφάσματος. Το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων Plaxis χρησιμοποιεί γεωύφασμα για την προσομοίωση αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης. Το γεωύφασμα γενικά λειτουργεί ως ελαστικό μέσο και δεν υποβάλλεται σε θλιπτικές τάσεις, παρά μόνο σε διατμητικές και κυρίως εφελκυστικές. Αρχικά έγινε εισαγωγή, στο παράθυρο των μηχανικών ιδιοτήτων (Εικόνα 10-7), του τύπου του υλικού και της τιμής δυστένειας του EA (δηλαδή του μέτρου ελαστικότητας του επί την επιφάνεια διατομής του). Για τον έλεγχο ευστάθειας του πρανούς της εισόδου εισήχθησαν στις παραμετρικές αναλύσεις δυο είδη αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης. Το ένα είδος αγκυρίων θεωρήθηκε ότι είναι συρματόσχοινα διαμέτρου 45mm (τρία των 15mm), με μέτρο ελαστικότητας 200.000MPa και φέρουσα ικανότητα 600kN, ενώ το άλλο ότι είναι διαμέτρου 60mm, με μέτρο ελαστικότητας 200.000MPa και φέρουσα ικανότητα 800kN. Για τον έλεγχο ευστάθειας του πρανούς του στομίου εξόδου χρησιμοποιήθηκε ένα είδος αγκυρίων. Στις αναλύσεις του πρανούς του στομίου εξόδου τα αγκύρια που εισήχθησαν, θεωρήθηκε ότι είναι συρματόσχοινα διαμέτρου 30mm, με μέτρο ελαστικότητας 200.000MPa και φέρουσα ικανότητα 400kN.

Σχόλιο [u7]: Να βάλεις κάπου μια παράγραφο για τον τρόπο με το οποίο το plaxis προσομοιώνει τα διάφορα αγκύρια.

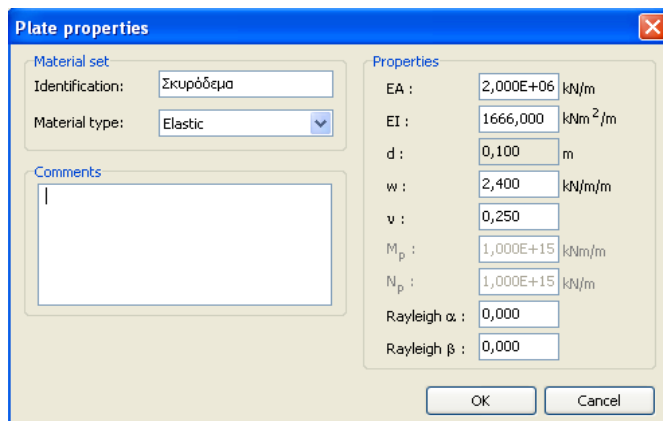


Εικόνα 10-7 : Παράθυρο εισαγωγής μηχανικών ιδιοτήτων αγκυρίου

Επιπλέον, έγινε χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε κάθε φάση εκσκαφής, προσομοιώνοντάς το με παχιά μπλε γραμμή κάνοντας κλικ πάνω στο αντίστοιχο εικονίδιο από τη γραμμή εργαλείων. Οι παράμετροι του σκυροδέματος που απαιτούνται για τη προσομοίωση του φαίνονται στην Εικόνα 10-8. Οι σημαντικότερες όμως παράμετροι είναι η καμπτική δυσκαμψία EI και αξονική δυσκαμψία EA. Γνωρίζοντας τις δυο αυτές παραμέτρους μπορεί να υπολογιστεί το πάχος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος από τη παρακάτω σχέση :

Κεφάλαιο 10 – Εφαρμογή του προγράμματος Plaxis για την προσομοίωση των πρηνών των στομιών της σήραγγας

$$d_{eq} = \sqrt{12 \left(\frac{EI}{EA} \right)}$$



Εικόνα 10-8 : Παράθυρο εισαγωγής μηχανικών ιδιοτήτων εκτοξευόμενου σκυροδέματος

Στις παραμετρικές αναλύσεις των δυο πρηνών (εισόδου και εξόδου), καθώς και των πλευρικών αυτών πρηνών, το πάχος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος θεωρήθηκε ίσο με $d=0,10\text{m}$, με μέτρο ελαστικότητας $E=20.000\text{MPa}$ και οπλισμένο με ίνες 40kg/m^3 .

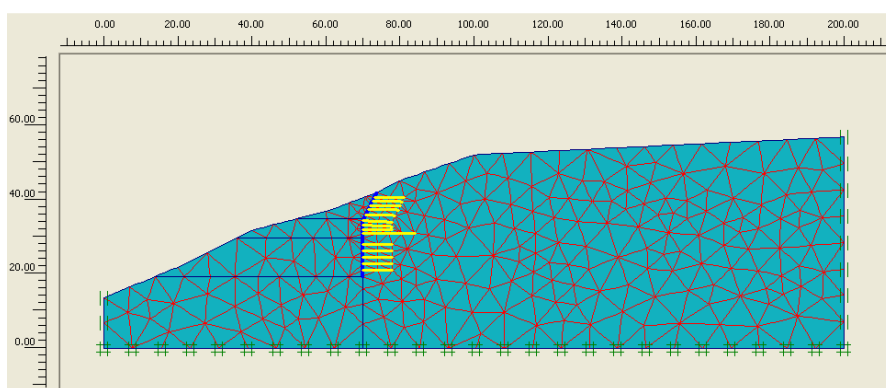
10.2.3 Διακριτοποίηση μοντέλου προσομοίωσης

Με τη ολοκλήρωση της γεωμετρικής προσομοίωσης και τον καθορισμό των μηχανικών παραμέτρων όλων των υλικών, παράγεται το πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων ενεργοποιώντας την εντολή παραγωγής πλέγματος (generate mesh). Το σύνολο των πεπερασμένων στοιχείων καλείται διακριτοποίηση και γίνεται αυτόματα από το πρόγραμμα Plaxis. Για την επιλογή της επιθυμητής πυκνότητας του πλέγματος υπάρχουν πέντε επίπεδα, πολύ χονδρό πλέγμα (very coarse), χονδρό (coarse), μεσαίο (medium), λεπτό (fine) και πολύ λεπτό (very fine). Πέρα από την αρχική επιλογή της πυκνότητας, το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας τοπικά λεπτότερου πλέγματος (refinement) για μεγαλύτερη ακρίβεια, σε περιοχές όπου υπάρχει συγκέντρωση μεγάλων τάσεων ή ενδέχεται να εμφανιστούν σημαντικές παραμορφώσεις. Ο χρήστης, με τη βοήθεια του κέρσορα μπορεί να επισημάνει το στοιχείο στο οποίο επιθυμεί να κάνει περαιτέρω διακριτοποίηση, πατώντας στις εντολές refine cluster, refine line ή refine around point από το μενού

Κεφάλαιο 10 – Εφαρμογή του προγράμματος Plaxis για την προσομοίωση των πρανών των στομιών της σήραγγας

παραγωγής πλέγματος, ανάλογα με το αν η διακριτοποίηση αναφέρεται σε περιοχή, γραμμή ή γωνία, ή απλό σημείο αντίστοιχα.

Σ' αυτή τη διπλωματική εργασία, επιλέχτηκε λεπτός κάνναβος για την παραγωγή πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων. Με την επιλογή αυτή τα στοιχεία που δημιουργήθηκαν στα κεντρικά τμήματα δε διέφεραν πολύ από τα μικρού μεγέθους στοιχεία που προέκυψαν στην περιοχή αποσφήνωσης της εδαφικής ζώνης. Στο σχήμα 10-9 που ακολουθεί φαίνεται το παραγόμενο πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων.



Σχήμα 10-9 : Προβολή πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων της ανάλυσης 1 για το πρανές του στομίου είσοδο

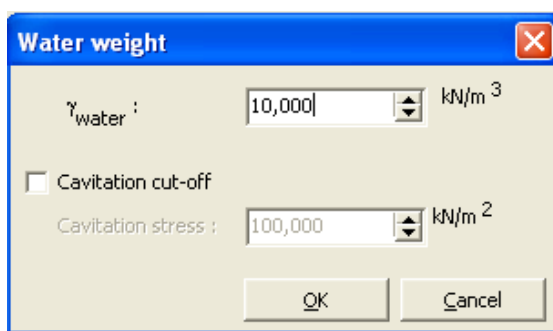
13.2.410.2.4 Αρχικές εντατικές συνθήκες

Εφόσον, δημιουργηθεί το γεωμετρικό μοντέλο του προβλήματος και γίνει η διακριτοποίηση του, στη συνέχεια καθορίζεται το αρχικό εντατικό πεδίο (initial conditions). Αυτό πραγματοποιείται με την επιλογή δύο διαφορετικών εντολών. Αρχικά, πρέπει να καθοριστούν οι συνθήκες της πίεσης του νερού (water pressure generation) και να παραχθεί το αρχικό πεδίο υδατικών πιέσεων. Κατόπιν, χρειάζεται να καθορισθεί το αρχικό πεδίο των ενεργών και ολικών τάσεων (initial stresses) που προέρχεται από το ίδιο βάρος των γεωλογικών σχηματισμών, μέσω του συντελεστή ουδέτερης ωθήσεως K_0 , ο οποίος συνδέει τις ενεργές οριζόντιες και κατακόρυφες τάσεις ($K_0 = \sigma'_{h,0} / \sigma'_{v,0}$). Πριν από τον σχεδιασμό της στάθμης του νερού εμφανίζεται ένα μικρό παράθυρο (Εικόνα 10-9) προκειμένου να ορισθεί το ειδικό βάρος του νερού, το οποίο ορίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα σε 10 kN/m^3 .

Για να γίνει ο καθορισμός της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα (αν υπάρχει), ο χρήστης ενεργοποιεί αρχικά το εικονίδιο της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα

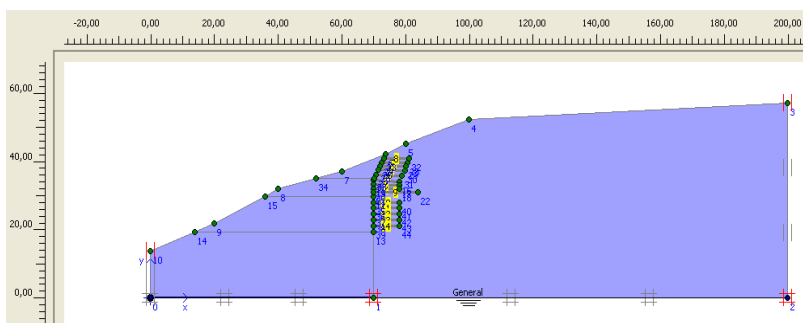
Κεφάλαιο 10 – Εφαρμογή του προγράμματος Plaxis για την προσομοίωση των πρανών των στομιών της σήραγγας

(phreatic level) και στη συνέχεια σχεδιάζει το επίπεδο της στάθμης των υπόγειων υδάτων με τη βοήθεια του δείκτη του κέρσορα. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει υπόγειο νερό, η γραμμή της στάθμης σχεδιάζεται πάνω στο κατώτερο όριο της τομής. Στις περιπτώσεις που η πίεση του νερού των πόρων δεν οφείλεται εξ' ολοκλήρου στο ίδιο βάρος υπό υδροστατικές συνθήκες υπάρχουν και άλλες επιλογές που προσφέρει το πρόγραμμα προκειμένου να καθοριστεί το αρχικό υδροστατικό πεδίο, οι οποίες αντιπροσωπεύουν καλύτερα την πραγματικότητα. Αυτές όμως απαιτούν περισσότερα στοιχεία και είναι αρκετά χρονοβόρες.



Εικόνα 10-9: Παράθυρο επιλογής τιμής ειδικού βάρους του νερού

Ειδικά, για την εργασία αυτήν θεωρήθηκε ότι δεν υπάρχει υπόγειο νερό, επομένως, η γραμμή της στάθμης σχεδιάστηκε πάνω στο κατώτερο όριο της τομής μας (Σχήμα 10-10).



Σχήμα 10-10: Προβολή στάθμης υδροφόρου ορίζοντα στο κατώτερο σημείο της τομής για την είσοδο

Αφού εκτελεστούν τα παραπάνω βήματα σε πρώτη φάση, μετά επιλέγεται η εντολή αρχικές τάσεις (initial stresses) κάνοντας κλικ πάνω στο αντίστοιχο εικονίδιο. Προτού εμφανιστεί το παράθυρο των ενεργών τάσεων, το πρόγραμμα πάντα ανοίγει αυτόματα ένα άλλο μικρότερο παράθυρο στο οποίο παρουσιάζει την κατανομή του πίεσεων των πόρων. Αυτό το παράθυρο απομακρύνεται από την οθόνη πατώντας το

Κεφάλαιο 10 – Εφαρμογή του προγράμματος Plaxis για την προσομοίωση των πρανών των στομιών της σήραγγας

κουμπί update στην πάνω δεξιά πλευρά. Στην συνέχεια γίνεται απενεργοποίηση των τμημάτων (clusters) πατώντας πάνω σε αυτά, προκειμένου να εισαχθούν μετά, κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των διάφορων κατασκευαστικών φάσεων. Τέλος, προτού γίνει αποθήκευση όλων των ρυθμίσεων που γίνονται κατά την εισαγωγή δεδομένων και ακολουθήσουν οι υπολογισμοί, γίνεται επιλογή της εντολής παραγωγή αρχικών τάσεων (generate initial stresses), όπου εμφανίζονται οι τιμές του συντελεστή K_0 για κάθε εδαφικό σχηματισμό της προσομοίωσης, οι οποίες υπολογίζονται από τον τύπο του Jacky $K_0 = 1 - \eta\mu\phi$ και καταχωρούνται κατά το στάδιο εισαγωγής των δεδομένων για κάθε έναν από αυτούς.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν επιλέχτηκε η εντολή αρχικές τάσεις (initial stresses), όπως γίνεται τις περισσότερες φορές προκειμένου να υπολογιστούν οι προϋπάρχουσες τάσεις πριν γίνει οποιαδήποτε αλλαγή στην γεωμετρία. Σ' αυτήν την προσομοίωση η επιφάνεια του εδάφους δεν είναι οριζόντια, αλλά κεκλιμένη. Γι' αυτό το λόγο έγινε αποθήκευση όλων των ρυθμίσεων που έγιναν κατά την εισαγωγή δεδομένων και στη συνέχεια επιλέχτηκε η εντολή για να αρχίσουν οι υπολογισμοί (calculate) κάνοντας κλικ πάνω στο αντίστοιχο εικονίδιο.

Η διαδικασία κατά την οποία δεν επιλέγεται ο υπολογισμός των αρχικών τάσεων σ' αυτήν τη φάση ονομάζεται gravity loading και σ' αυτήν την περίπτωση η τιμή των αρχικών τάσεων θεωρείται πως είναι μηδέν στο στάδιο αυτό. Ο υπολογισμός των αρχικών τάσεων γίνεται στην επόμενη φάση, δηλαδή στη φάση των υπολογισμών, όπως έγινε και στη δική μας περίπτωση.

13.310.3 Υπολογισμοί (Calculations)

Το επόμενο βήμα μετά τον σχεδιασμό του γεωμετρικού μοντέλου της προσομοίωσης είναι η εκτέλεση των υπολογισμών. Για την έναρξη αυτού του σταδίου απαιτείται ο καθορισμός του τύπου υπολογισμού (calculation type), η εισαγωγή των κατασκευαστικών φάσεων (phases) και η ενεργοποίηση των τμημάτων της κατασκευής που απενεργοποιήθηκαν, εφόσον η επιφάνεια του εδάφους ήταν οριζόντια, κατά τη διάρκεια του προηγούμενου σταδίου. Ο χρήστης έχει να επιλέξει ανάμεσα σε τρεις τύπους υπολογισμού για κάθε φάση, την πλαστική ανάλυση (plastic analysis), τη στερεοποίηση (consolidation analysis) και την ανάλυση που αφορά στον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας (phi/c reduction).

Με την επιλογή της εντολής phi/c reduction ως τύπου υπολογισμού, υπολογίζεται η βαθμιαία απομείωση της γωνίας εσωτερικής τριβής ϕ και της συνοχής c , με ενιαίο συντελεστή, μέχρι να εμφανιστεί μηχανισμός γενικής αστοχίας. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με βάση τον παρακάτω τύπο :

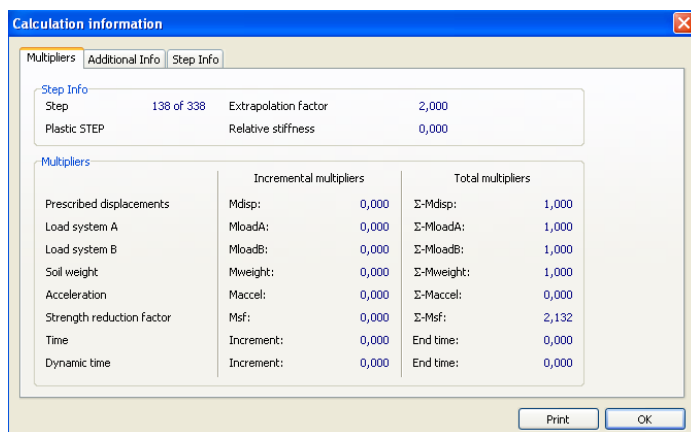
Κεφάλαιο 10 – Εφαρμογή του προγράμματος Plaxis για την προσομοίωση των πρηνών των στομιών της σήραγγας

$$\Sigma Msf = \tan \varphi_{input} / \tan \varphi_{reduced} = c_{input} / c_{reduced}$$

όπου :

φ_{input} και c_{input} : οι τιμές της εσωτερικής τριβής και συνοχής του εδαφικού σχηματισμού αντίστοιχα που καταχωρήθηκαν στο στάδιο εισαγωγής δεδομένων.

Η τιμή του ολικού πολλαπλασιαστή (total multiplier) ΣMsf που ορίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα σε 1, αυξάνεται συνεχώς κατά τη διάρκεια του υπολογισμού του μέχρι την αστοχία, με βήματα (steps), ότι τιμές των οποίων, καθορίζονται από τον χρήστη ή το ίδιο το πρόγραμμα. Εάν, ολοκληρωθούν όλα τα βήματα και δεν εμφανιστεί μηχανισμός γενικής αστοχίας, τότε πρέπει να προστεθούν και άλλα. Η τελική τιμή του ΣMsf στο τελευταίο βήμα που θεωρείται ως συντελεστής ασφάλειας έναντι αστοχίας SF, εμφανίζεται στο παράθυρο των γενικών πληροφοριών των υπολογισμών πατώντας την εντολή calculations info.



Εικόνα 10-10: Παράθυρο προβολής τιμής του συντελεστή ασφάλειας έναντι αστοχίας SF μετά από την εκτέλεση υπολογισμών

Η αρχική φάση (initial phase) με τον αριθμό 0 που εμφανίζεται στο παράθυρο των υπολογισμών, αντιστοιχεί στο αρχικό εντατικό πεδίο που είχε παραχθεί στο στάδιο της εισαγωγής δεδομένων, μέσω του συντελεστή K_0 , εφόσον η επιφάνεια των εδαφικών στρώσεων της προσομοίωσης είναι οριζόντια. Σε αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή η επιφάνεια του εδάφους είναι κεκλιμένη, ο χρήστης απαιτείται να κάνει gravity loading σ' αυτή τη φάση προκειμένου να υπολογιστούν οι αρχικές τάσεις. Προκειμένου να προσθέσει την πρώτη φάση, ο χρήστης πρέπει να επιλέξει την εντολή next και στη συνέχεια να καθορίσει τις διάφορες παραμέτρους (parameters) της. Με τον ίδιο τρόπο εισάγονται όλες οι κατασκευαστικές φάσεις του προβλήματος.

Κεφάλαιο 10 – Εφαρμογή του προγράμματος Plaxis για την προσομοίωση των πρηνών των στομιών της σήραγγας

Αμέσως μετά, είναι απαραίτητη η ενεργοποίηση των στοιχείων ή τμημάτων του γεωμετρικού μοντέλου που θεωρούνται ότι κατασκευάζονται σε κάθε φάση, τα οποία είχαν απενεργοποιηθεί στο στάδιο εισαγωγής των δεδομένων. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια ενός παραθύρου που ανοίγει πατώντας την εντολή define, το οποίο απεικονίζει το βασικό επίπεδο σχεδίασης x,y του προβλήματος. Έπειτα, μπορούν να αρχίσουν οι υπολογισμοί, μετακινώντας τον κέρσορα στην εντολή calculations, εφόσον όμως ο χρήστης επιλέξει, εάν βέβαια επιθυμεί, κάποια αντιπροσωπευτικά σημεία σε διάφορα επίπεδα (select points for curves). Με αυτόν τον τρόπο θα έχει τη δυνατότητα, μετά το πέρας των υπολογισμών, να εξάγει και να αξιοποιήσει διαγράμματα ανάπτυξης των παραμορφώσεων συναρτήσει του βαθμού ολοκλήρωσης της κάθε φάσης στην οποία αυτά αναφέρονται. Εάν, όμως δεν επιλέξει σημεία και αρχίσουν οι υπολογισμοί, δε θα έχει ποτέ ξανά αυτήν τη δυνατότητα.

Μετά τη ολοκλήρωση των εκάστοτε υπολογισμών, ο χρόνος τερματισμού των οποίων ποικίλει ανάλογα με το πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων που έχει επιλεγεί και των δυνατοτήτων του υπολογιστή, η κάθε φάση εμφανίζεται “μαρκαρισμένη” με πράσινο χρώμα, εάν έχει ολοκληρωθεί επιτυχώς, ενώ σε αντίθετη περίπτωση παρουσιάζεται μήνυμα με κόκκινα γράμματα που αναφέρει τους λόγους για τους οποίους δεν επετεύχθη η επίλυσή της.

Για τη παρούσα διπλωματική εργασία έγιναν παραμετρικές αναλύσεις με διαφορετικό αριθμό και διαφορετικά μήκη αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης (8m, 10m, 12m, 14m) για καθεμιά από τις τρεις φάσεις εκσκαφής κάθε στομίου. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν πέντε διαφορετικές αναλύσεις ευστάθειας του πρηνούς του στομίου εισόδου με κάθε ένα από τα καταστατικά μοντέλα Jointed Rock και Mohr-Coulomb. Για το στόμιο εξόδου της σήραγγας έγιναν οι ίδιες πέντε αναλύσεις με τη χρήση μόνο του μοντέλου Mohr-Coulomb. Επιπλέον, εξετάστηκε η ευστάθεια των πλαϊνών πρηνών μέσω δυο αναλύσεων για τα πρηνή της εισόδου (Jointed Rock και Mohr-Coulomb) και μέσω μιας ανάλυσης για τα πρηνή της εξόδου με χρήση μόνο εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 0,10m.

Εκτός από τις παραπάνω αναλύσεις έγιναν και επιπλέον πέντε παραμετρικές αναλύσεις για το πρηνές του στομίου εισόδου. Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν τέσσερις αναλύσεις με διαφορετικά μέτρα ελαστικότητας (850MPa, 2000MPa, 2500MPa, 3000MPa) με κάθε ένα από τα μοντέλα Jointed Rock και Mohr-Coulomb. Ο λόγος που έγιναν αυτές οι αναλύσεις ήταν επειδή τα εργαστηριακά αποτελέσματα της γεώτρησης Σ32Κ-2 που πραγματοποιήθηκε στην είσοδο, εμφάνισαν ότι η τιμή του μέτρου ελαστικότητας ισούται περίπου με 3000MPa. Ωστόσο επειδή τα δεδομένα δεν ήταν επαρκή για να αξιολογηθεί αυτή η τιμή επιλέχθηκε ο μέσος όρος των τιμών του μέτρου ελαστικότητας από τις γεωτρήσεις

Κεφάλαιο 10 – Εφαρμογή του προγράμματος Plaxis για την προσομοίωση των πρηνών των στομιών της σήραγγας

Σ32K-3 και Σ32K-10 (1700MPa), που κατέδειξε ότι ήταν αναγκαία η χρήση των ανωτέρω τιμών για το μέτρο ελαστικότητας. Στην περίπτωση πετρώματος με ανοικτές ασυνέχειες (για τα μικρά βάθη, λόγω των χαμηλών πιέσεων), ο Jaeger έχει δείξει (Jaeger, 1979) ότι το μέτρο ελαστικότητάς του συνδέεται με εκείνο του άρρηκτου πετρώματος με τη σχέση $E_{eff}=2\nu E_i$ ($E_{eff}=2 \times 0,25 \times 1700=850$ MPa). Για αυτόν τον λόγο έγινε η ανάλυση με μέτρο ελαστικότητας 850 MPa.

Επιπλέον, έγινε μία ανάλυση για το πρηνές της εισόδου με γωνία εσωτερικής τριβής $\phi=19^\circ$ χρησιμοποιώντας το μοντέλο Jointed Rock. Ο σκοπός εκτέλεσης αυτής της παραμετρικής ανάλυσης ήταν η διερεύνηση της συμπεριφοράς του αποσαθρωμένου φλύσχη κοντά στην επιφάνεια κατά τις διάφορες φάσεις εκσκαφής του στομιού εισόδου. Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών έδειξαν ότι η γωνία εσωτερικής τριβής ϕ ισούται με 21° σύμφωνα με τον ευρωκώδικα 7, ωστόσο ο ευρωκώδικας είναι μία σειρά από τυποποιημένους κανόνες, οι οποίοι όμως δεν εξετάζουν τις διαφορετικές τιμές που μπορεί να έχει η γωνία τριβής κοντά στην επιφάνεια όπου υπάρχει αποσάθρωση.

Οι φάσεις που ορίστηκαν σε κάθε παραμετρική ανάλυση αυτής της εργασίας ήταν τρεις:

- 1-❖ στην πρώτη φάση θεωρήθηκε ότι γίνεται εκσκαφή του φυσικού εδάφους μέχρι την απαιτούμενη στάθμη και αντιστήριξη με αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Σχήμα 10-11),
- 2-❖ στη δεύτερη φάση θεωρήθηκε ότι γίνεται εκσκαφή του φυσικού εδάφους μέχρι την απαιτούμενη στάθμη και τοποθετούνται τα αγκύρια πλήρους πάκτωσης και το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για αντιστήριξη (Σχήμα 10-12),
- 3-❖ η τρίτη φάση λήφθηκε υπόψιν σαν φάση εκσκαφής για την διάνοιξη μετέπειτα της σήραγγας. Στη φάση αυτή τοποθετήθηκαν αγκύρια και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Σχήμα 10-13).

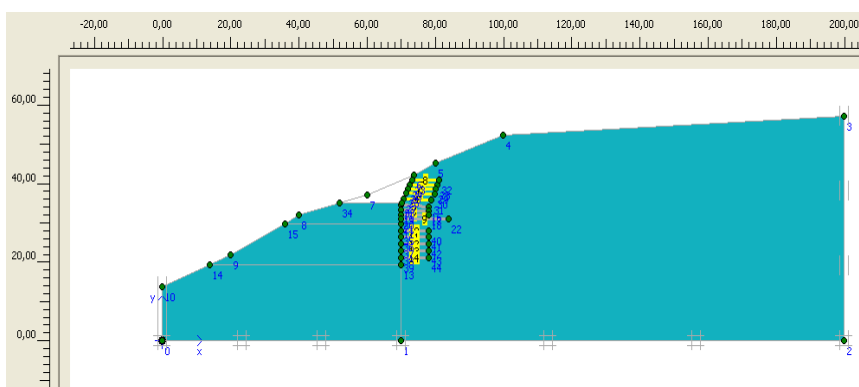
Για καθεμιά από τις παραπάνω φάσεις εκσκαφής χρησιμοποιήθηκε σαν τύπος υπολογισμού η πλαστική ανάλυση (plastic analysis), εφόσον δεν εμφανίζεται το φαινόμενο της στερεοποίησης στις αναλύσεις μας, ώστε να μας ενδιαφέρει ο υπολογισμός της απομείωσης της υπερπίεσης των πόρων σε σχέση με το χρόνο. Επιπλέον, επιλέχθηκε η εντολή delete intermediate steps για όλες τις φάσεις, για εξοικονόμηση χώρου στο σκληρό δίσκο, με αποτέλεσμα να διαγράφονται όλα τα ενδιάμεσα βήματα, που δεν χρησιμεύουν σε κάτι, εκτός των τελευταίων, μετά την επιτυχή ολοκλήρωση της εκάστοτε φάσης. Για την επίλυση των φάσεων όλων των αναλύσεων ο αριθμός βημάτων (additional steps) θεωρήθηκε 250, τιμή που

Μορφοποιήθηκε: Κουκκίδα +
Επίπεδο: 1 + Στοίχιση: 0,63 εκ. +
Εσοχή: 1,27 εκ., Στηλοθέτες: Όχι κατά
1,27 εκ.

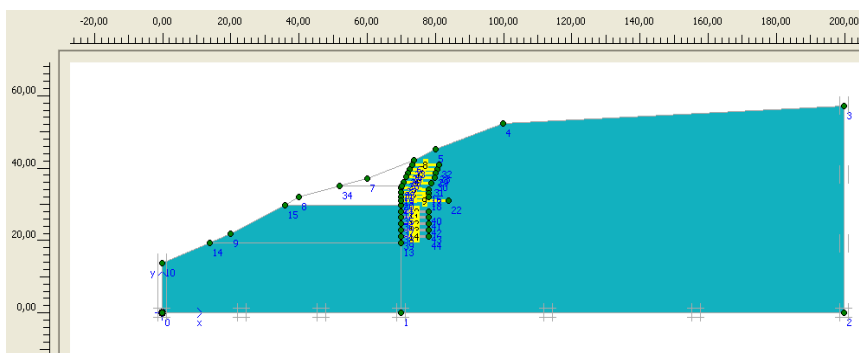
Κεφάλαιο 10 – Εφαρμογή του προγράμματος Plaxis για την προσομοίωση των πρανών των στομιών της σήραγγας

προεπιλέγει το ίδιο το πρόγραμμα. Κατόπιν, επιλέχθηκε η εντολή define για να εμφανιστεί το παράθυρο με το βασικό επίπεδο σχεδίασης x,y του προβλήματος, ώστε να απενεργοποιηθούν τα διάφορα τμήματα (clusters) του πρανούς, ανάλογα με τη φάση στην οποία αυτά αναφέρονταν.

Μετά την ολοκλήρωση των παραπάνω τριών φάσεων, ορίστηκαν επιπλέον τρεις φάσεις προκειμένου να υπολογιστούν οι συντελεστές ασφαλείας για καθεμιά από αυτές. Για τον υπολογισμό των συντελεστών ασφαλείας επιλέχθηκε η εντολή phi/c reduction. Από το παράθυρο των παραμέτρων ενεργοποιήθηκε η εντολή reset displacements to zero, προκειμένου να μηδενιστούν οι παραμορφώσεις που είχαν εμφανιστεί έως τότε. Σε ορισμένες περιπτώσεις που δεν επαρκούσαν τα 100 βήματα που είχε προεπιλέξει το πρόγραμμα, προστέθηκαν κάποια επιπλέον.

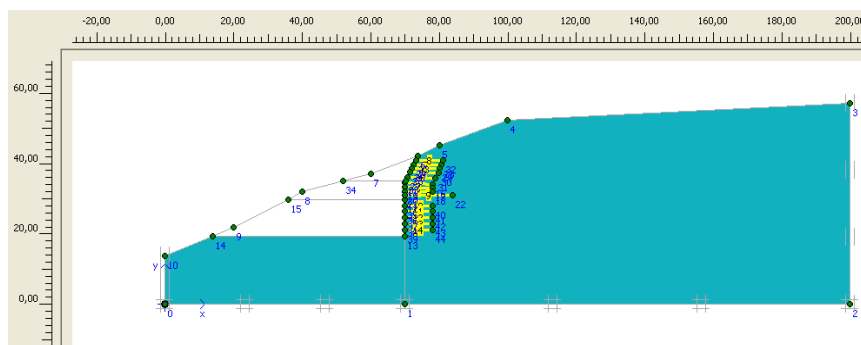


Σχήμα 10-11: Παράδειγμα της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς του στομίου εισόδου μέχρι την απαιτούμενη στάθμη, μαζί με τοποθέτηση αγκυριών και εκτοξευόμενου σκυροδέματος



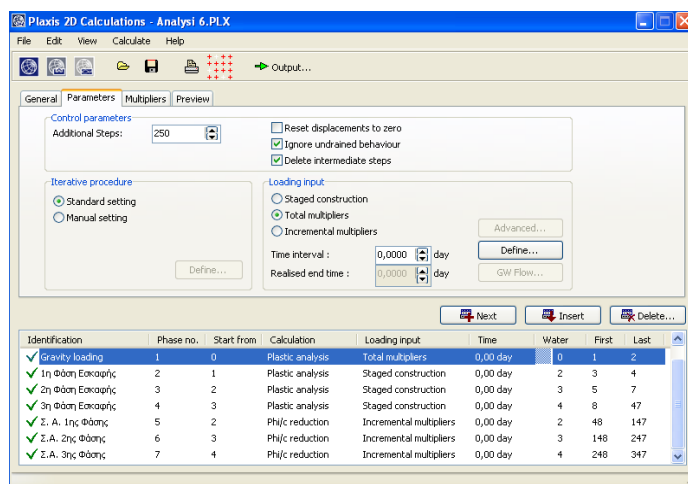
Σχήμα 10-12 : Παράδειγμα της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς του στομίου εισόδου μέχρι την απαιτούμενη στάθμη, μαζί με τοποθέτηση αγκυριών και εκτοξευόμενου σκυροδέματος

Κεφάλαιο 10 – Εφαρμογή του προγράμματος Plaxis για την προσομοίωση των πρηνών των στομιών της σήραγγας



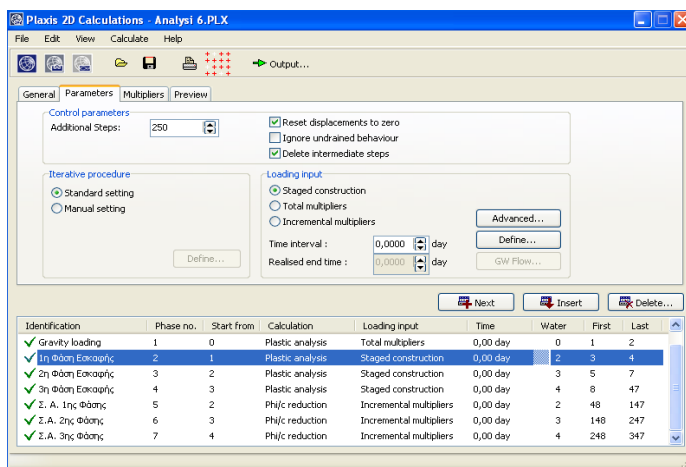
Σχήμα 10-13: Παράδειγμα της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρηνούς του στομιού εισόδου μέχρι την απαιτούμενη στάθμη, μαζί με τοποθέτηση αγκυριών και εκτοξευόμενου σκυροδέματος

Στις δυο παρακάτω εικόνες (Εικόνες 10-11, 10-12) φαίνονται οι εντολές που επιλέχθηκαν στο στάδιο των υπολογισμών για την εισαγωγή και τον υπολογισμό των αρχικών τάσεων μέσω της εντολής gravity loading και για την εισαγωγή των κατασκευαστικών φάσεων και των συντελεστών ασφαλείας.



Εικόνα 10-11: Παράδειγμα εισαγωγής της διαδικασίας gravity loading στο στάδιο των υπολογισμών

Κεφάλαιο 10 – Εφαρμογή του προγράμματος Plaxis για την προσομοίωση των πρανών των στομιών της σήραγγας



Εικόνα 10-12: Παράθυρο εισαγωγής των κατασκευαστικών φάσεων στο υποπρόγραμμα των υπολογισμών

13-410.4 Πρόγραμμα αποτελεσμάτων (output)

Μετά το τέλος των υπολογισμών, υπάρχει δυνατότητα επισκόπησης των αποτελεσμάτων των αναλύσεων μέσω του προγράμματος output. Το πρόγραμμα αυτό ανοίγει επιλέγοντας την εντολή output από την γραμμή εργαλείων και παρουσιάζει, μέσω της ενεργοποίησης διαφόρων εντολών, διαγράμματα διαφόρων μεγεθών όπως των οριζόντιων ή κατακόρυφων μετατοπίσεων, των τάσεων, της υπερπίεσης του νερού των πόρων, κ.α. για κάθε μία φάση των υπολογισμών.

Για την παρουσίαση των ανωτέρω μεγεθών το πρόγραμμα χρησιμοποιεί χρωματικές διαβαθμίσεις (shadings) ή διανύσματα αν πρόκειται για μετατοπίσεις. Επίσης, υπάρχει δυνατότητα επισκόπησης των τιμών των μεγεθών μέσω πινάκων που εμφανίζονται πατώντας την αντίστοιχη εντολή.

13-510.5 Πρόγραμμα αποτελεσμάτων (curve)

Το πρόγραμμα αυτό ανοίγει επιλέγοντας την εντολή curve από την γραμμή εργαλείων και δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να κατασκευάσει διάφορα διαγράμματα βασισμένα στα αποτελέσματα των αναλύσεων. Μέσω της ενεργοποίησης διαφόρων εντολών, μπορούν να δημιουργηθούν διαγράμματα διάφορων μεγεθών, π.χ. μετακινήσεων συναρτήσει των υπολογιστικών βημάτων, υπερπίεσης του νερού των πόρων σε συνάρτηση με το χρόνο κλπ.

Κεφάλαιο 11

Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

4411 Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

44.111.1 Γενικά στοιχεία

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης των δυο πρηνών των στομιών, εισόδου και εξόδου της νέας μονής σιδηροδρομικής σήραγγας του Δρίσκου, καθώς και των πλευρικών πρηνών που διαμορφώθηκαν εκατέρωθεν της χάραξης. Αρχικά, παρατίθενται τα διαγράμματα των συνολικών μετακινήσεων (κατακόρυφων και οριζόντιων) των παραμετρικών αναλύσεων (πέντε αναλύσεις με το μοντέλο Jointed Rock και πέντε με το μοντέλο Mohr-Coulomb) με μεταβαλλόμενο τον αριθμό και το μήκος των αγκυρίων των τριών φάσεων εκσκαφής του στομιού εισόδου. Στη συνέχεια, παρατίθενται συγκεντρωτικοί πίνακες με τις τιμές των μετακινήσεων των παραμετρικών αναλύσεων που εκτελέστηκαν.

Πιο συγκεκριμένα οι πέντε αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά μήκος της τομής του πρηνούς του στομιού εισόδου είναι οι εξής :

Ανάλυση 1

- 1-1^η φάση εκσκαφής : 5 αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης μήκους 8m
- 2-2^η φάση εκσκαφής : 3 αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης μήκους 8m και 1 αγκύριο ολόσωμης πάκτωσης 14m
- 3-3^η φάση εκσκαφής : 5 αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης μήκους 8m

Μορφοποιήθηκε: Κουκκίδα + Επίπεδο: 1 + Στοιχισή: 0,63 εκ. + Εσοχή: 1,27 εκ., Σηλοθέτες: Όχι κατά 1,27 εκ.

Ανάλυση 2

- 1-1^η φάση εκσκαφής : 3 αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης μήκους 10m
- 2-2^η φάση εκσκαφής : 3 αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης μήκους 10m και 1 αγκύριο ολόσωμης πάκτωσης μήκους 14m
- 3-3^η φάση εκσκαφής : 5 αγκύρια μήκους 10m

Μορφοποιήθηκε: Κουκκίδα + Επίπεδο: 1 + Στοιχισή: 0,63 εκ. + Εσοχή: 1,27 εκ., Σηλοθέτες: Όχι κατά 1,27 εκ.

Ανάλυση 3

- 1-1^η φάση εκσκαφής : 3 αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης μήκους 12m
- 1-2^η φάση εκσκαφής : 2 αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης μήκους 10m και 1 αγκύριο ολόσωμης πάκτωσης μήκους 14m
- 2-3^η φάση εκσκαφής : 5 αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης μήκους 10m

Μορφοποιήθηκε: Κουκκίδα + Επίπεδο: 1 + Στοιχισή: 0,63 εκ. + Εσοχή: 1,27 εκ., Σηλοθέτες: Όχι κατά 1,27 εκ.

Ανάλυση 4

- 1. 1^η φάση εκσκαφής : 3 αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης μήκους 12m
- 2. 2^η φάση εκσκαφής : 2 αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης μήκους 10m και 1 αγκύριο ολόσωμης πάκτωσης μήκους 14m
- 3. 3^η φάση εκσκαφής : 3 αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης μήκους 12m

Μορφοποιήθηκε: Κουκκίδα + Επίπεδο: 1 + Στοιχίση: 0,63 εκ. + Εσοχή: 1,27 εκ., Στηλοθέτες: Όχι κατά 1,27 εκ.

Ανάλυση 5

- 1. 1^η φάση εκσκαφής : 2 αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης μήκους 14m
- 2. 2^η φάση εκσκαφής : 2 αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης μήκους 10m και 1 αγκύριο ολόσωμης πάκτωσης μήκους 14m
- 3. 3^η φάση εκσκαφής : 2 αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης μήκους 14m

Μορφοποιήθηκε: Κουκκίδα + Επίπεδο: 1 + Στοιχίση: 0,63 εκ. + Εσοχή: 1,27 εκ., Στηλοθέτες: Όχι κατά 1,27 εκ.

Επιπλέον, δίνονται διαγράμματα στα οποία απεικονίζεται η εξέλιξη των μετακινήσεων κάποιων προεπιλεγμένων σημείων τοποθετημένων στις κεφαλές των αγκυρίων. Τα αγκύρια αυτά χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε φάση εκσκαφής για την αντιστήριξη του πρανούς. Συγκεκριμένα απεικονίζονται οι μετακινήσεις συναρτήσεως των υπολογιστικών βημάτων που χρειάστηκε να κάνει το πρόγραμμα μέχρι να φτάσει τις τιμές αυτών των μετακινήσεων. Τα σημεία αυτά επιλέχτηκαν πριν την εκτέλεση των υπολογισμών για τον έλεγχο ευστάθειας του πρανούς του στομίου εισόδου. Ο σκοπός της δημιουργίας των προαναφερθέντων διαγραμμάτων είναι η σύγκριση του μεγέθους των μετακινήσεων του πρανούς του στομίου εισόδου ανάλογα με το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε (Jointed Rock ή Mohr-Coulomb), καθώς και η σύγκριση των μετακινήσεων του πρανούς της σήραγγας.

Στη συνέχεια παρατίθενται σχήματα που απεικονίζουν τις μετακινήσεις του τοίχου αντιστήριξης, λόγω των ωθήσεων του εδάφους κατά την τρίτη φάση εκσκαφής του πρανούς, όπου θα διανοιχθεί αργότερα η σήραγγα. Επιπλέον, στα σχήματα αυτά παρουσιάζονται οι τιμές της αξονικής και της τέμνουσας δύναμης που εμφανίζονται στα αγκύρια και πως αυτές κατανέμονται κατά μήκος του τοίχους αντιστήριξης. Κατόπιν, δίνονται κάποιοι πίνακες με καταγεγραμμένες τις τιμές των αξονικών φορτίων και των συνολικών μετακινήσεων των αγκυρίων της τελευταίας φάσης εκσκαφής. Τέλος, παρατίθενται οι πίνακες με καταγεγραμμένες τις τιμές των συντελεστών ασφαλείας που προέκυψαν για κάθε μία φάση εκσκαφής.

Για το πρανές του στομίου εξόδου πραγματοποιήθηκαν οι ίδιες πέντε παραμετρικές αναλύσεις με μεταβαλλόμενο τον αριθμό και τα μήκος των αγκυρίων

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

των τριών φάσεων εκσκαφής, όπως έγινε και για το πρανές του στομίου εισόδου. Επιπλέον, δίνονται τα διαγράμματα των μετακινήσεων που προέκυψαν από κάθε ανάλυση, καθώς και οι συγκεντρωτικοί πίνακες με τις τιμές των μετακινήσεων. Στη συνέχεια, παρατίθενται τα διαγράμματα που απεικονίζουν την εξέλιξη των μετακινήσεων κάποιων προεπιλεγμένων σημείων τοποθετημένων στις κεφαλές των αγκυρίων, κάθε φάσης εκσκαφής. Κατόπιν, παρατίθενται σχήματα που απεικονίζουν τις μετακινήσεις του τοίχου αντιστήριξης, λόγω των ωθήσεων του εδάφους κατά την τρίτη φάση εκσκαφής του πρανούς, όπου θα διανοιχθεί αργότερα η σήραγγα. Επιπλέον, δίνονται πίνακες με καταγεγραμμένες τις τιμές των αξονικών φορτίων και των συνολικών μετακινήσεων των αγκυρίων της τελευταίας φάσης εκσκαφής. Τέλος, παρατίθενται οι πίνακες με καταγεγραμμένες τις τιμές των συντελεστών ασφαλείας που προέκυψαν για κάθε μία φάση εκσκαφής.

Παράλληλα, δίνονται τα διαγράμματα των συνολικών μετακινήσεων των αναλύσεων με μεταβαλλόμενο το μέτρο ελαστικότητας και τη γωνία τριβής για το πρανές του στομίου εισόδου. Σ' αυτές τις αναλύσεις, έγινε εισαγωγή των εξής αγκυρίων σε κάθε φάση εκσκαφής:

1. 1^η φάση εκσκαφής : 5 αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης μήκους 8m
2. 2^η φάση εκσκαφής : 3 αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης μήκους 8m και 1 αγκύριο ολόσωμης πάκτωσης 14m
3. 3^η φάση εκσκαφής : 5 αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης μήκους 8m

Εκτός, από τα διαγράμματα παρατίθενται και πίνακες με τις τιμές των μετακινήσεων για καθεμιά από τις προαναφερθείσες αναλύσεις. Επιπλέον, δίνονται τα σχήματα που απεικονίζουν τις μετακινήσεις του τοίχου αντιστήριξης, λόγω των ωθήσεων του εδάφους κατά την τρίτη φάση εκσκαφής των πρανών, όπου θα διανοιχθεί αργότερα η σήραγγα. Δίνονται, επίσης οι πίνακες με τις τιμές των συντελεστών ασφαλείας που προέκυψαν για κάθε μία φάση εκσκαφής.

Τέλος, δίνονται τα διαγράμματα των διανυσμάτων των συνολικών μετακινήσεων των αναλύσεων που έγιναν για τον έλεγχο ευστάθειας των πλευρικών πρανών των δυο στομίων. Επιπλέον, παρατίθενται πίνακες με τις τιμές των μετακινήσεων μετά από καθεμιά από τις παραμετρικές αναλύσεις που εκτελέστηκαν. Δίνονται, επίσης οι πίνακες με τις τιμές των συντελεστών ασφαλείας που προέκυψαν για κάθε μία φάση εκσκαφής. Σ' αυτές τις αναλύσεις, έγινε εισαγωγή των εξής αγκυρίων σε κάθε φάση εκσκαφής:

4. 1^η φάση εκσκαφής : 5 αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης μήκους 8m

Μορφοποιήθηκε: Κουκκίδα + Επίπεδο: 1 + Στοιχίση: 0,63 εκ. + Εσοχή: 1,27 εκ., Στηλοθέτες: Όχι κατά 1,27 εκ.

Μορφοποιήθηκε: Κουκκίδα + Επίπεδο: 1 + Στοιχίση: 0,63 εκ. + Εσοχή: 1,27 εκ., Στηλοθέτες: Όχι κατά 1,27 εκ.

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

5-2^η φάση εκσκαφής : 3 αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης μήκους 8m και 1 αγκύριο ολόσωμης πάκτωσης 14m

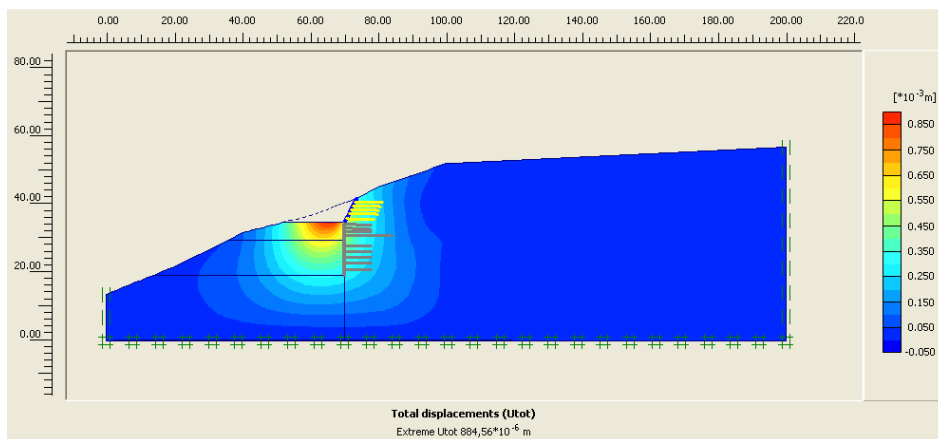
6-3^η φάση εκσκαφής : 5 αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης μήκους 8m

14.2.11.2 Αποτελέσματα αναλύσεων των πρανών των στομίων εισόδου και εξόδου

14.2.11.2.1 Αναλύσεις πρανούς στομίου εισόδου

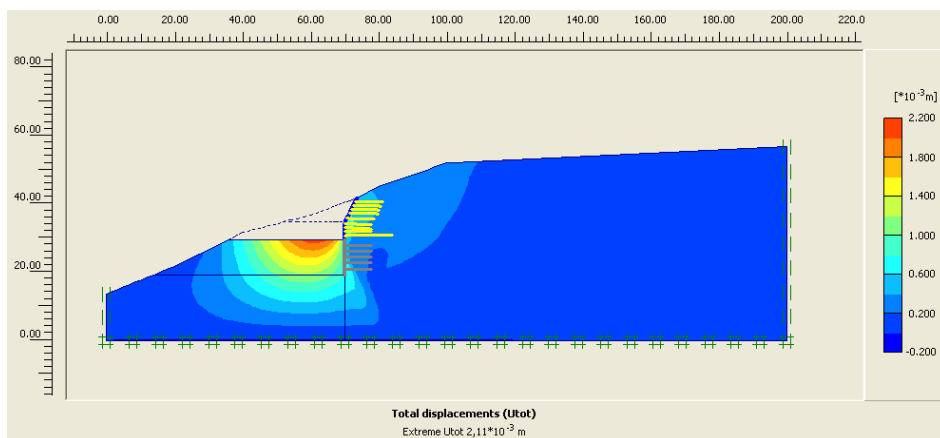
Στα πρώτα τρία σχήματα που ακολουθούν (Σχήμα 11-1 έως 11-3), φαίνονται οι συνολικές μετακινήσεις του πρανούς του στομίου εισόδου κατά την εκσκαφή των τριών φάσεων. Γι' αυτήν την ανάλυση, η προσομοίωση της εκσκαφής του στομίου εισόδου πραγματοποιήθηκε επιλέγοντας το μοντέλο Jointed Rock. Σ' αυτήν την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν :

- i. πέντε αγκύρια πλήρους πάκτωσης των 8m στην πρώτη φάση εκσκαφής,
- ii. τρία αγκύρια των 8m και ένα αγκύριο των 14m στη δεύτερη φάση εκσκαφής,
- iii. πέντε αγκύρια των 8m στην τρίτη φάση εκσκαφής και
- iv. εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για κάθε φάση.

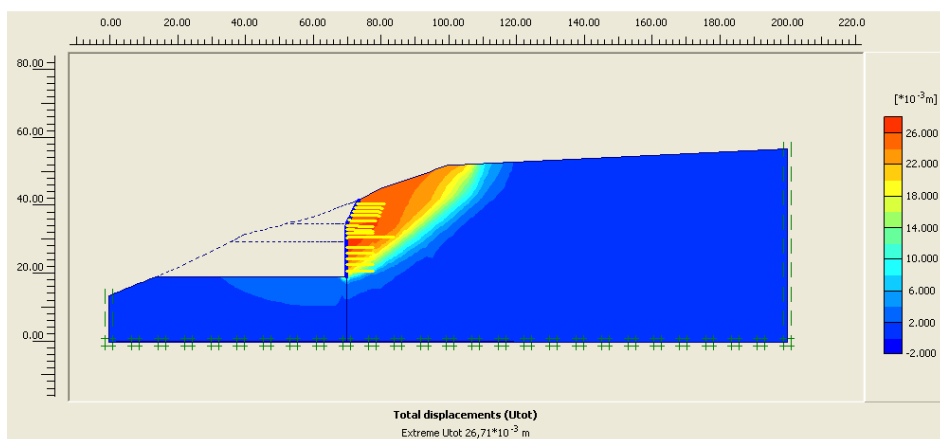


Σχήμα 11-1: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 1 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-2: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 1 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model



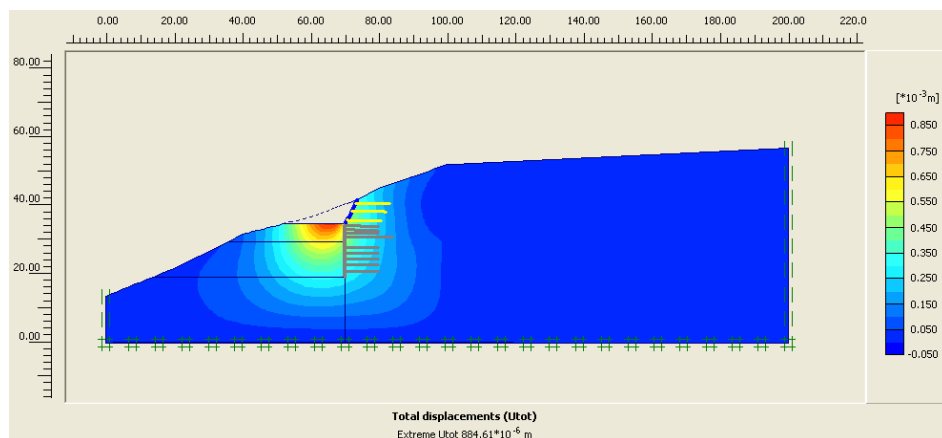
Σχήμα 11-3: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 1 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model

Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $0,885 \cdot 10^{-3}$ m και $2,1 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $26,7 \cdot 10^{-3}$ m.

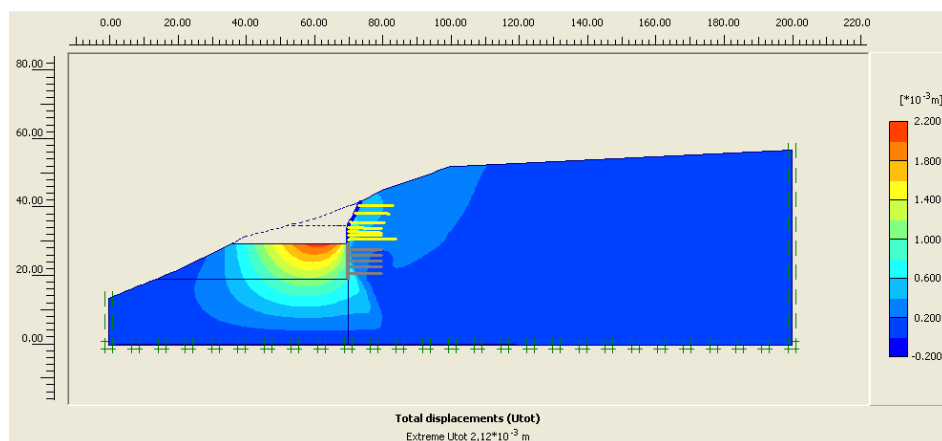
Στα επόμενα τρία σχήματα που ακολουθούν (Σχήμα 11-4 έως 11-6), φαίνονται οι συνολικές μετακινήσεις του πρανούς του στομίου εισόδου κατά την εκσκαφή των τριών φάσεων. Σ' αυτήν την ανάλυση επιλέχθηκε το μοντέλο Jointed Rock και χρησιμοποιήθηκαν :

- i. τρία αγκύρια πλήρους πάκτωσης των 10m στην πρώτη φάση εκσκαφής,
- ii. τρία αγκύρια των 10m και ένα αγκύριο των 14m στη δεύτερη φάση εκσκαφής,
- iii. πέντε αγκύρια των 10m στην τρίτη φάση εκσκαφής και
- iv. εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για κάθε φάση.

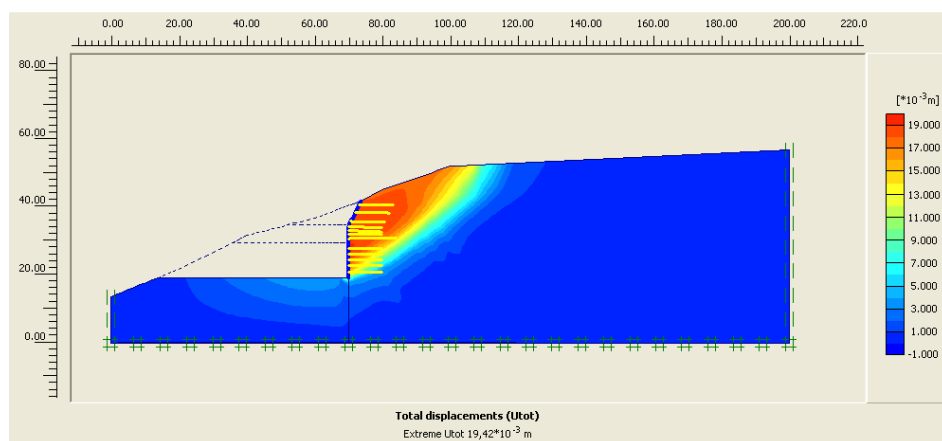
Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-4: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης 2 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model



Σχήμα 11-5: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης 2 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model



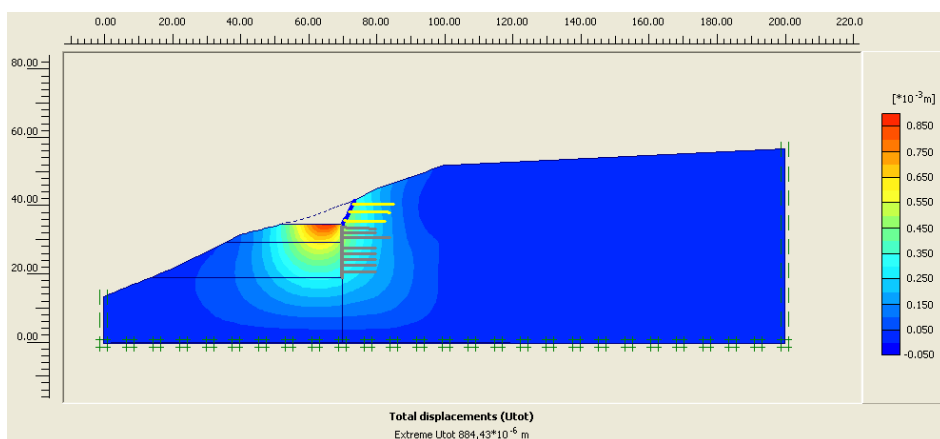
Σχήμα 11-6: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης 2 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

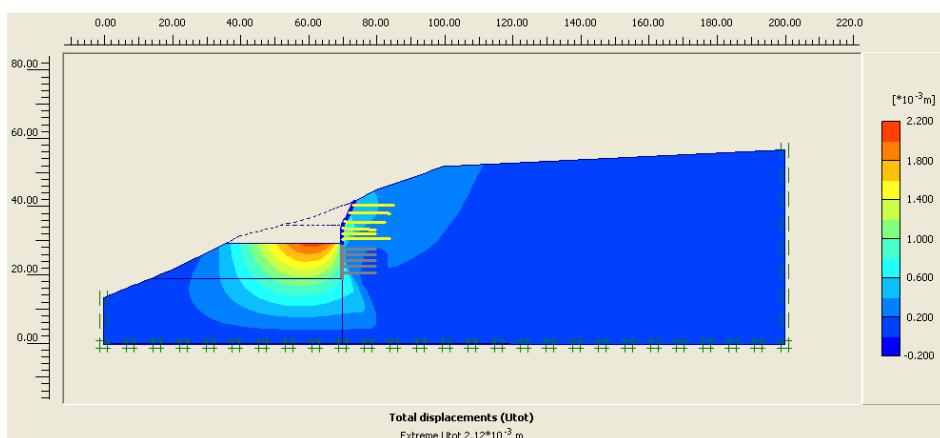
Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $0,885 \cdot 10^{-3}$ m και $2,1 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $19,4 \cdot 10^{-3}$ m.

Στα τρία παρακάτω σχήματα (Σχήμα 11-7 έως 11-9), απεικονίζονται οι συνολικές μετακινήσεις του πρανούς του στομίου εισόδου κατά την εκσκαφή των τριών φάσεων. Σ' αυτήν την ανάλυση επιλέχθηκε το μοντέλο Jointed Rock και χρησιμοποιήθηκαν :

- i. τρία αγκύρια πλήρους πάκτωσης των 12m στην πρώτη φάση εκσκαφής,
- ii. δυο αγκύρια των 10m και ένα αγκύριο των 14m στη δεύτερη φάση εκσκαφής
- iii. πέντε αγκύρια των 10m στην τρίτη φάση εκσκαφής και
- iv. εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για κάθε φάση.

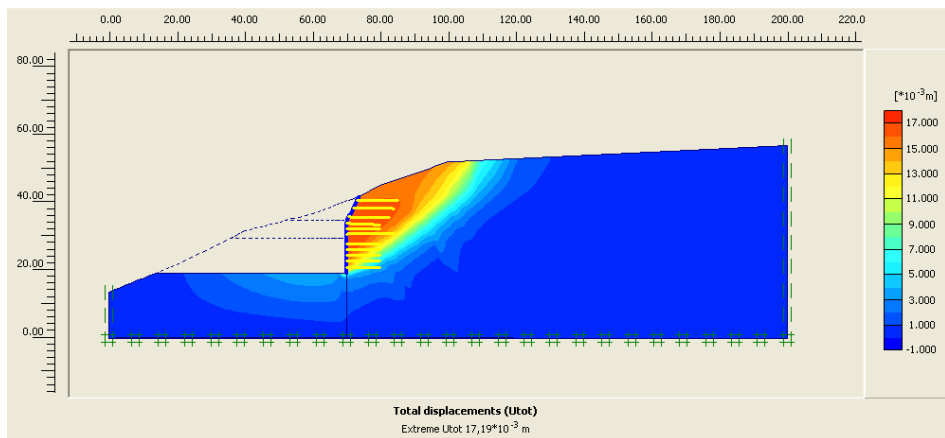


Σχήμα 11-7: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 3 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model



Σχήμα 11-8: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 3 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

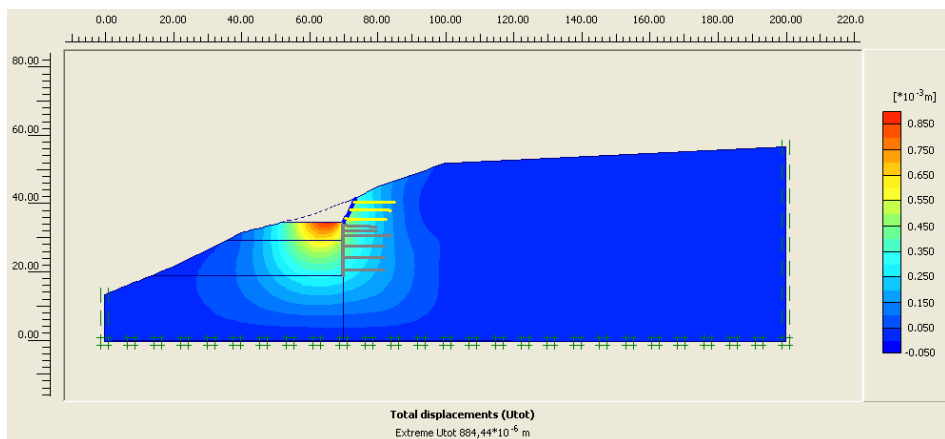


Σχήμα 11-9: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 3 του στομίου εισόδου με *Jointed Rock Model*

Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $0,884 \cdot 10^{-3}$ m και $2,1 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $17,2 \cdot 10^{-3}$ m.

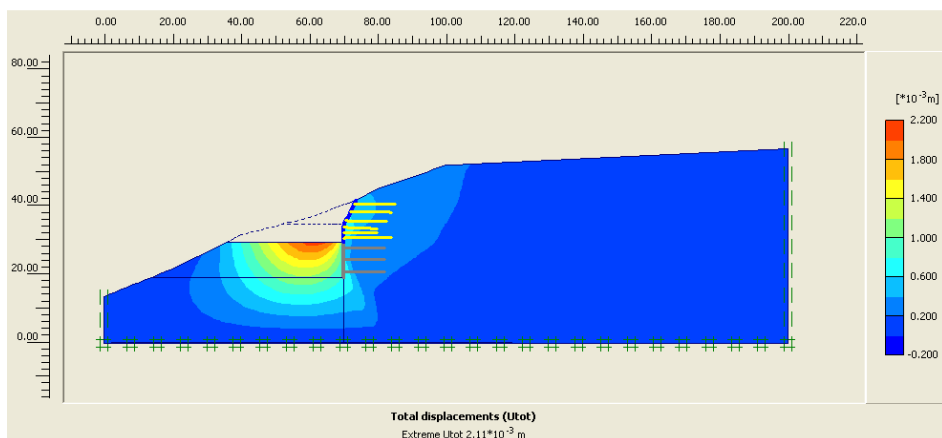
Στα επόμενα τρία σχήματα που ακολουθούν (Σχήμα 11-10 έως 11-12), φαίνονται οι συνολικές μετακινήσεις του πρανούς του στομίου εισόδου κατά την εκσκαφή των τριών φάσεων. Σ' αυτήν την ανάλυση επιλέχθηκε πάλι το μοντέλο *Jointed Rock* και χρησιμοποιήθηκαν :

- i. τρία αγκύρια πλήρους πάκτωσης των 12m στην πρώτη φάση εκσκαφής,
- ii. δυο αγκύρια των 10m και ένα αγκύριο των 14m στη δεύτερη φάση εκσκαφής,
- iii. τρία αγκύρια των 12m στην τρίτη φάση εκσκαφής και
- iv. εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για καθεμιά από τις προαναφερθείσες φάσεις.

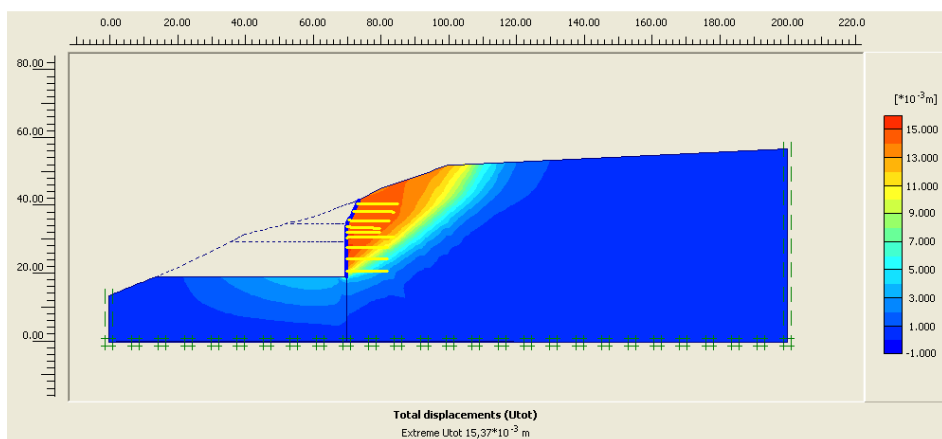


Σχήμα 11-10: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 4 του στομίου εισόδου με *Jointed Rock Model*

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-11: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης 4 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model



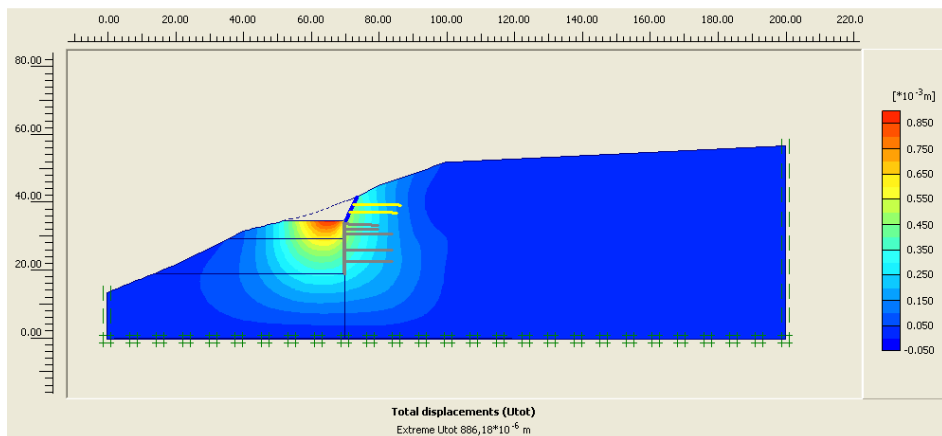
Σχήμα 11-12: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης 4 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model

Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $0,885 \cdot 10^{-3}$ m και $2,1 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $15,4 \cdot 10^{-3}$ m.

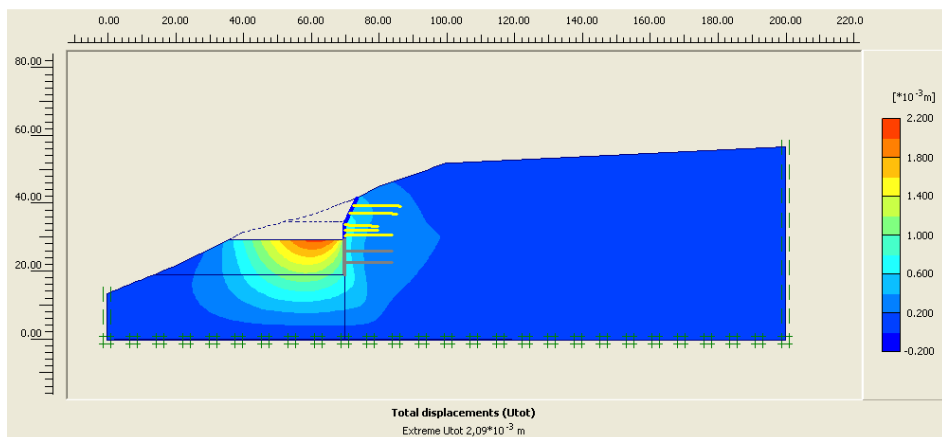
Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 11-13 έως 11-15), απεικονίζονται οι μετακινήσεις της προσομοίωσης του πρσανούς του στομίου εισόδου, στην οποία επιλέχθηκε σαν μοντέλο το Jointed Rock και χρησιμοποιήθηκαν :

- i. δυο αγκύρια πλήρους πάκτωσης των 14m στην πρώτη φάση εκσκαφής,
- ii. δυο αγκύρια των 10m και ένα αγκύριο των 14m στη δεύτερη φάση εκσκαφής,
- iii. δυο αγκύρια των 14m στην τρίτη φάση εκσκαφής και
- iv. εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για καθεμιά από τις παραπάνω φάσεις.

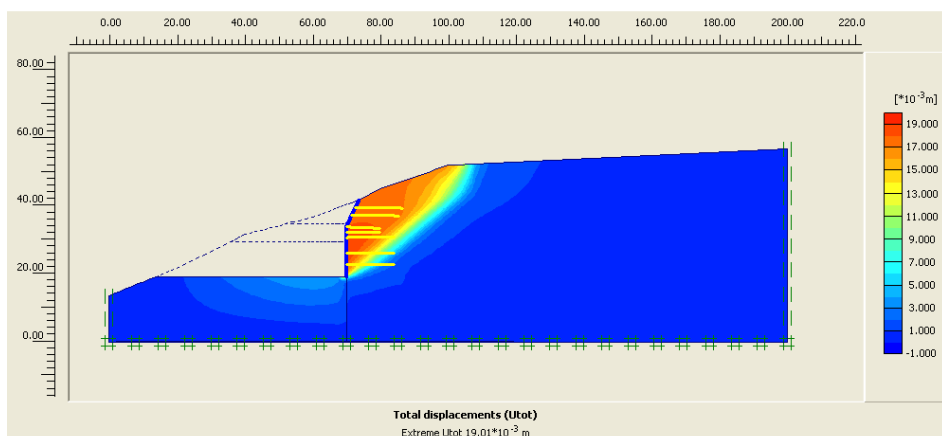
Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-13: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης 5 του στομίου εισόδου με *Jointed Rock Model*



Σχήμα 11-14: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης 5 του στομίου εισόδου με *Jointed Rock Model*



Σχήμα 11-15: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης 5 του στομίου εισόδου με *Jointed Rock Model*

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $0,886 \cdot 10^{-3}$ m και $2,1 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $19 \cdot 10^{-3}$ m.

Από τα παραπάνω διαγράμματα των πέντε αναλύσεων προσομοίωσης του πρσανούς του στομίου εισόδου διαπιστώνεται ότι στην 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής εμφανίζεται ανύψωση (διόγκωση) του εδάφους κάτω από την εκσκαφή. Η διόγκωση όμως που παρουσιάζεται στην 2^η φάση είναι μεγαλύτερη από αυτή της 1^{ης} φάσης. Σε καμία όμως από τις προαναφερθείσες φάσεις δεν φαίνεται να εμφανίζεται πλευρική μετατόπιση του πρσανούς. Αυτό φαίνεται να συμβαίνει στην 3^η φάση εκσκαφής, επειδή το ύψος εκσκαφής αυξήθηκε.

Στον παρακάτω πίνακα 11-1 δίνονται συγκεντρωτικά οι τιμές των μετατοπίσεων για κάθε μία φάση εκσκαφής των αναλύσεων προσομοίωσης που έγιναν για το πρσάνες της εισόδου.

Πίνακας 11-1: Τιμές συνολικών μετακινήσεων του πρσανούς για κάθε φάση των αναλύσεων του στομίου εισόδου με *Jointed Rock Model*

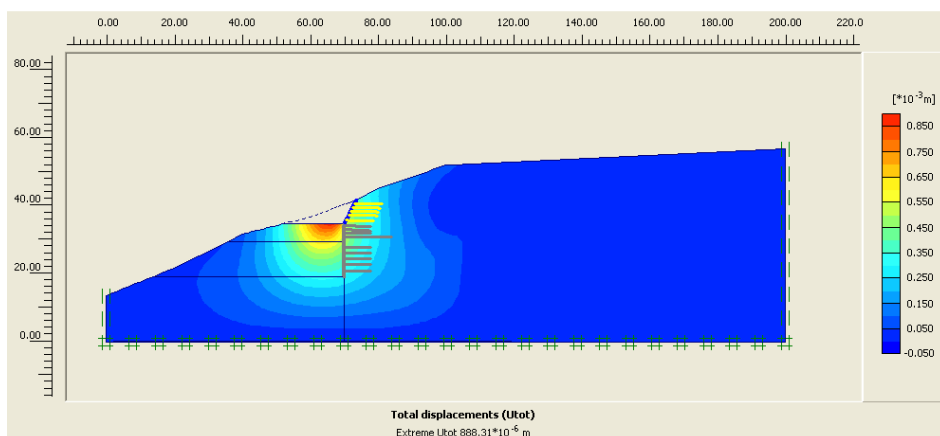
Αναλύσεις εισόδου	Μετακινήσεις 1 ^{ης} φάσης	Μετακινήσεις 2 ^{ης} φάσης	Μετακινήσεις 3 ^{ης} φάσης
Ανάλυση 1	$0,885 \cdot 10^{-3}$ m	$2,2 \cdot 10^{-3}$ m	$26,7 \cdot 10^{-3}$ m
Ανάλυση 2	$0,885 \cdot 10^{-3}$ m	$2,1 \cdot 10^{-3}$ m	$19,4 \cdot 10^{-3}$ m
Ανάλυση 3	$0,884 \cdot 10^{-3}$ m	$2,1 \cdot 10^{-3}$ m	$17,1 \cdot 10^{-3}$ m
Ανάλυση 4	$0,884 \cdot 10^{-3}$ m	$2,1 \cdot 10^{-3}$ m	$15,4 \cdot 10^{-3}$ m
Ανάλυση 5	$0,886 \cdot 10^{-3}$ m	$2,1 \cdot 10^{-3}$ m	$19,0 \cdot 10^{-3}$ m

Παρατηρείται ότι στις αναλύσεις προσομοίωσης του πρσανούς του στομίου της εισόδου οι μετακινήσεις της 2^{ης} και 3^{ης} φάσης εκσκαφής είναι μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές της 1^{ης} φάσης εκσκαφής. Πράγμα το οποίο είναι λογικό, αφού αυξάνοντας τον αριθμό των φάσεων, μειώνεται η ευστάθεια του πρσανούς του στομίου.

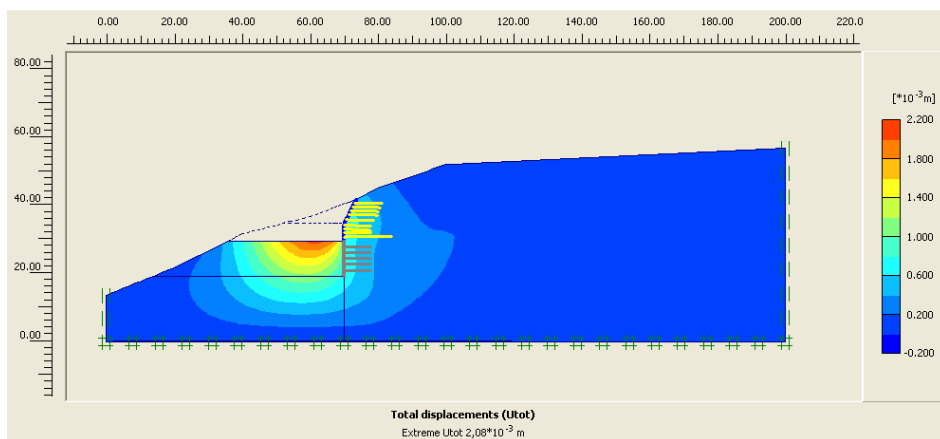
Στα επόμενα τρία σχήματα (Σχήμα 11-16 έως 11-18), φαίνονται οι συνολικές μετακινήσεις του πρσανούς του στομίου εισόδου κατά την εκσκαφή των τριών φάσεων. Εδώ, σε αντίθεση με τις προηγούμενες πέντε αναλύσεις, επιλέχθηκε το μοντέλο Mohr Coulomb και χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια ακριβώς μέτρα αντιστήριξης του πρσανούς όπως και στην πρώτη ανάλυση του πρσανούς του στομίου εισόδου, στην οποία χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο *Jointed Rock*. Δηλαδή, χρησιμοποιήθηκαν :

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

- a) πέντε αγκύρια πλήρους πάκτωσης των 8m στην πρώτη φάση εκσκαφής,
- b) τρία αγκύρια των 8m και ένα αγκύριο των 14m στη δεύτερη φάση εκσκαφής,
- c) πέντε αγκύρια των 8m στην τρίτη φάση εκσκαφής και
- d) εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για κάθε μια από τις προαναφερθείσες φάσεις.

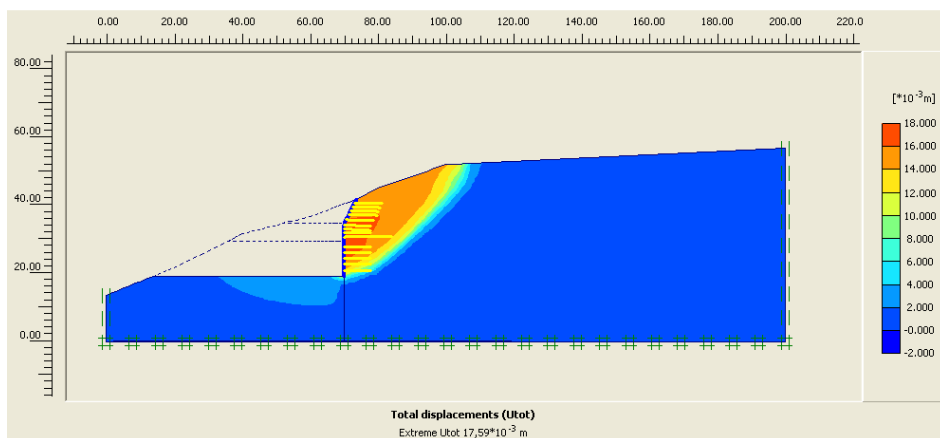


Σχήμα 11-16: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 1 του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model



Σχήμα 11-17: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 1 του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

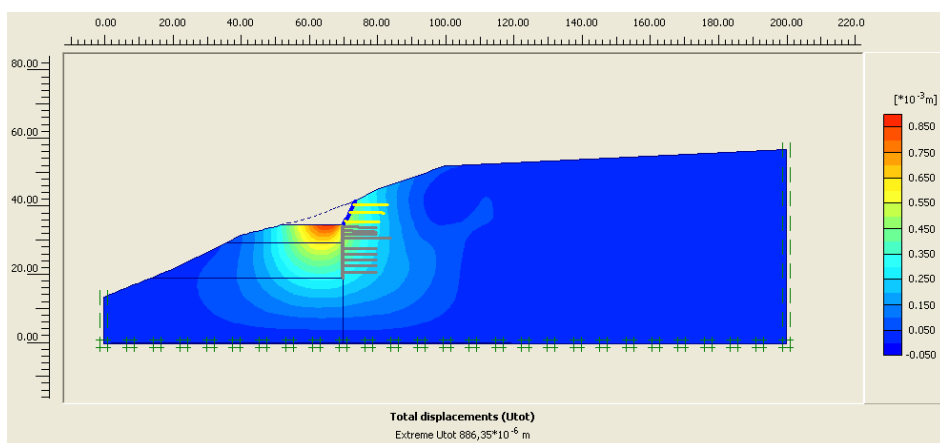


Σχήμα 11-18: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 1 του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model

Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $0,888 \cdot 10^{-3}$ m και $2,1 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $17,6 \cdot 10^{-3}$ m.

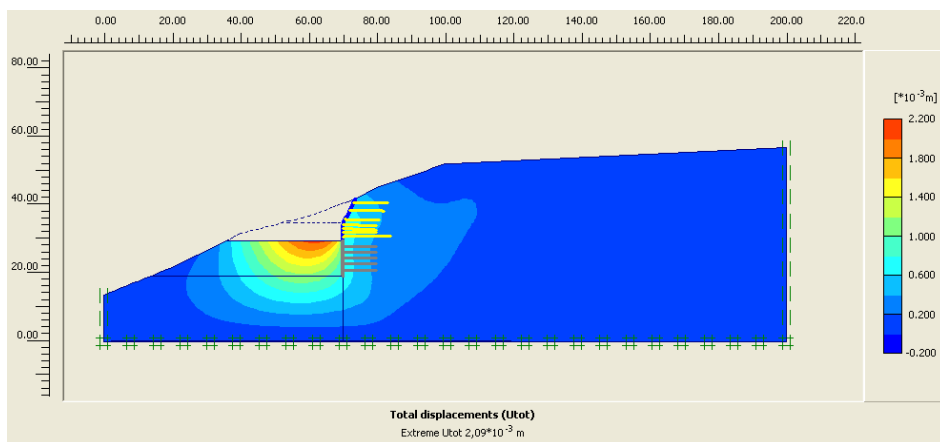
Στα τρία σχήματα που ακολουθούν (Σχήμα 11-19 έως 11-21), απεικονίζονται οι συνολικές μετακινήσεις του πρανούς του στομίου εισόδου κατά την εκσκαφή των τριών φάσεων. Σ' αυτήν την ανάλυση επιλέχθηκε το μοντέλο Mohr Coulomb και χρησιμοποιήθηκαν :

- i. τρία αγκύρια πλήρους πάκτωσης των 10m στην πρώτη φάση εκσκαφής,
- ii. τρία αγκύρια των 10m και ένα αγκύριο των 14m στη δεύτερη φάση εκσκαφής
- iii. πέντε αγκύρια των 10m στην τρίτη φάση εκσκαφής και
- iv. εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για κάθε φάση.

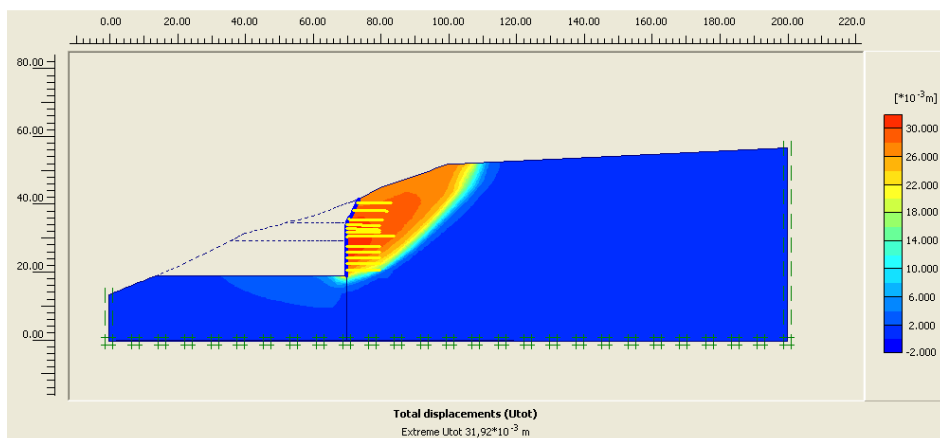


Σχήμα 11-19: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 2 του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-20: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 2 του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model



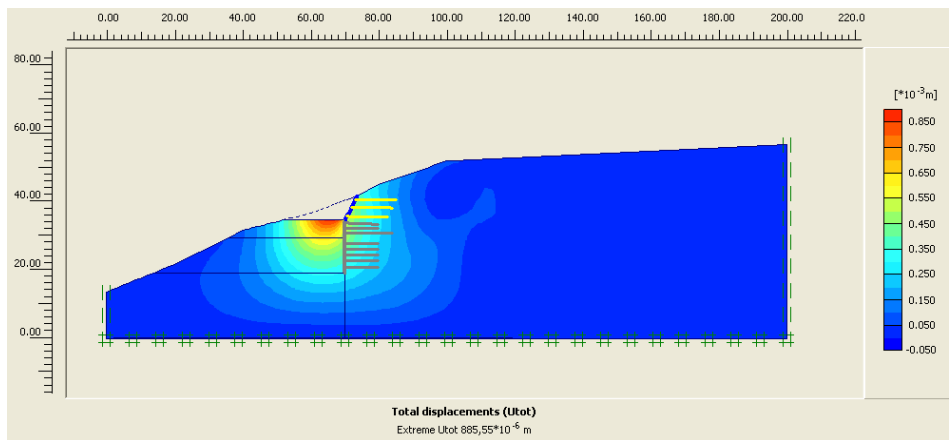
Σχήμα 11-21: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 2 του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model

Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $0,886 \cdot 10^{-3}$ m και $2,1 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $31,9 \cdot 10^{-3}$ m.

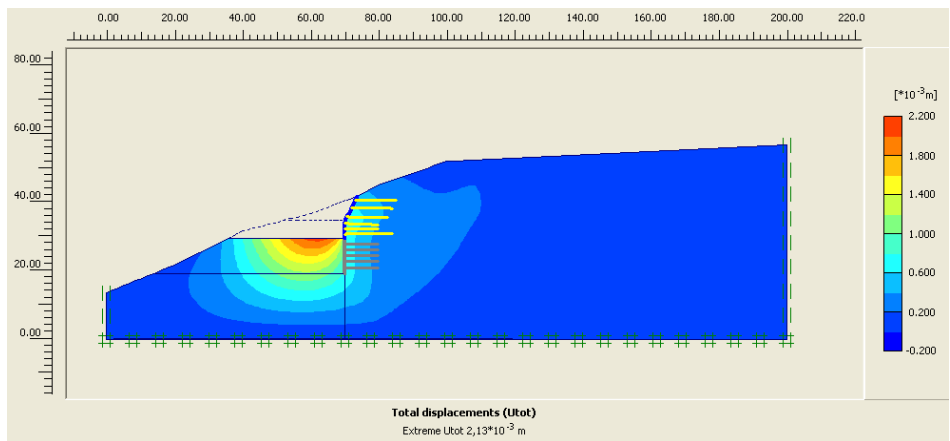
Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 11-22 έως 11-24), απεικονίζονται οι μετακινήσεις της προσομοίωσης του πρανούς του στομίου εισόδου κατά την εκσκαφή των τριών φάσεων. Σ' αυτήν την ανάλυση επιλέχθηκε το μοντέλο Mohr Coulomb και χρησιμοποιήθηκαν :

- i. τρία αγκύρια πλήρους πάκτωσης των 12m στην πρώτη φάση εκσκαφής,
- ii. δυο αγκύρια των 10m και ένα αγκύριο των 14m στη δεύτερη φάση εκσκαφής
- iii. πέντε αγκύρια των 10m στην τρίτη φάση εκσκαφής και
- iv. εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για κάθε φάση.

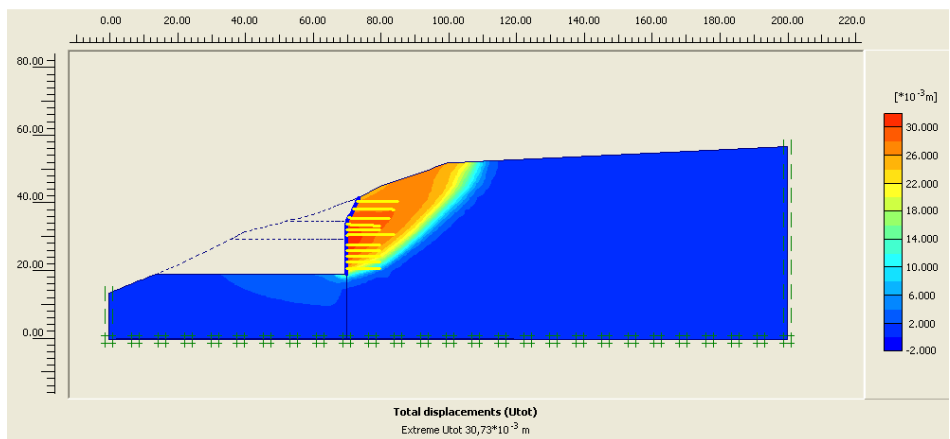
Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-22: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πριανούς της ανάλυσης 3 του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model



Σχήμα 11-23: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πριανούς της ανάλυσης 3 του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model

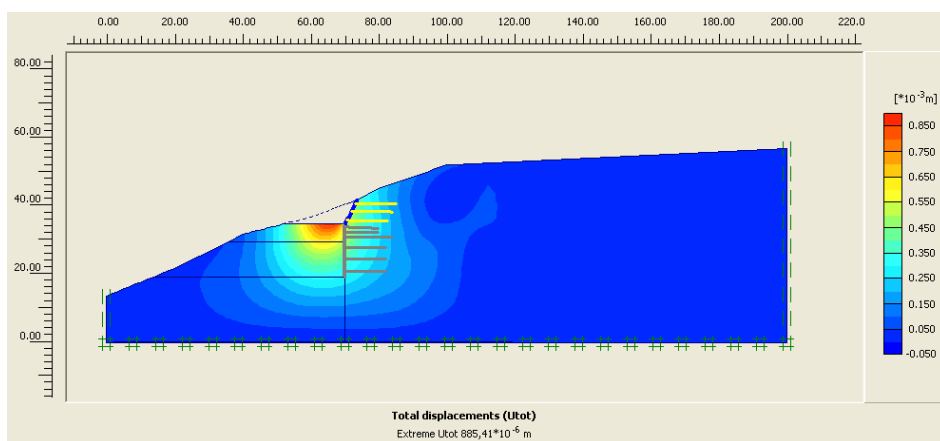


Σχήμα 11-24: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πριανούς της ανάλυσης 3 του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model

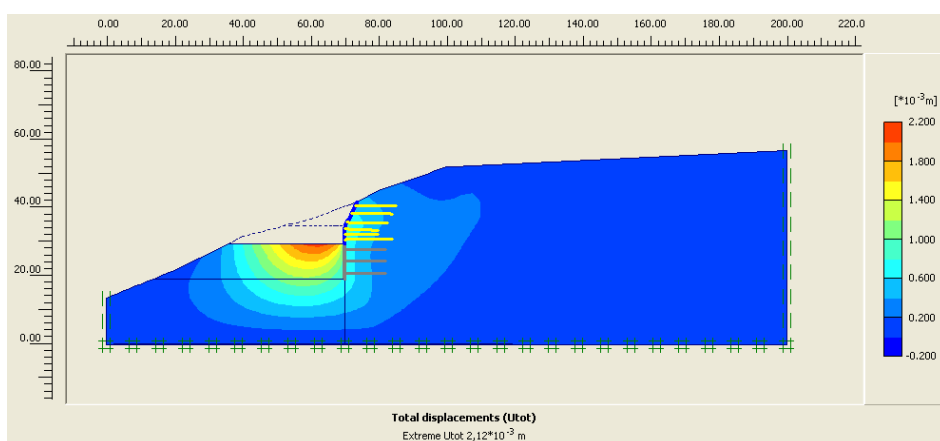
Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $0,885 \cdot 10^{-3}$ m και $2,1 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $30,7 \cdot 10^{-3}$ m.

Τα επόμενα σχήματα της προσομοίωσης του πρηνούς του στομίου εισόδου (Σχήμα 11-25 έως 11-27) προέκυψαν, επιλέγοντας το μοντέλο Mohr Coulomb και χρησιμοποιώντας τα ίδια ακριβώς μέτρα αντιστήριξης με αυτά της αντίστοιχης τέταρτης ανάλυσης που αναφέρθηκε προηγουμένως, στην οποία χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Jointed Rock.

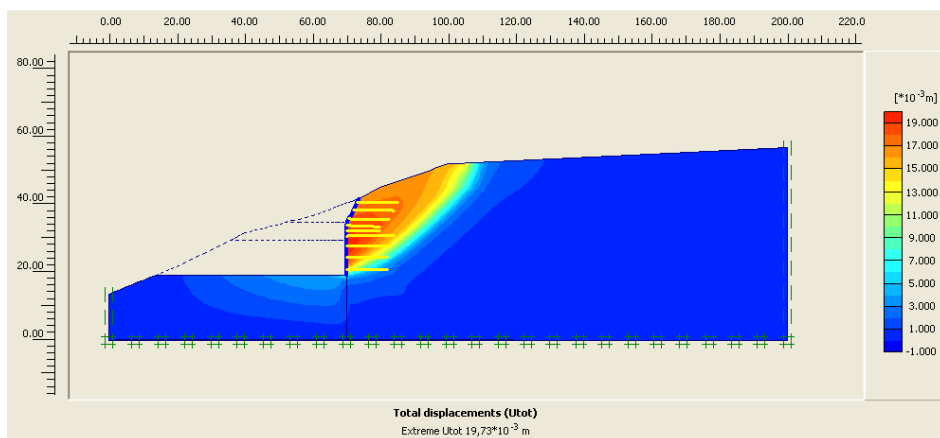


Σχήμα 11-25: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρηνούς της ανάλυσης 4 του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model



Σχήμα 11-26: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρηνούς της ανάλυσης 4 του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model

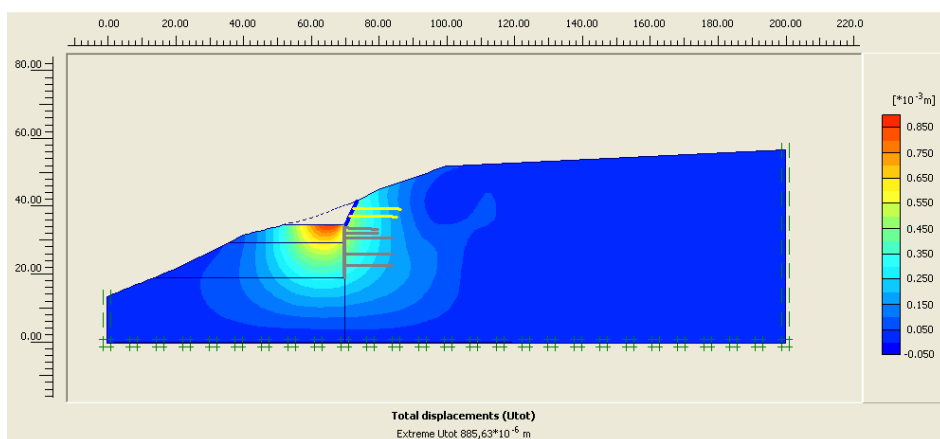
Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-27: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 4 του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model

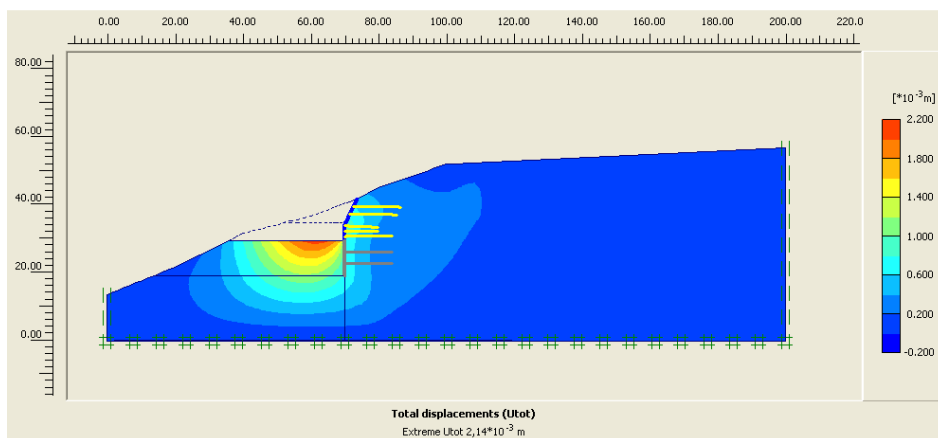
Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $0,885 \cdot 10^{-3}$ m και $2,1 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $19,7 \cdot 10^{-3}$ m.

Τα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 11-28 έως 11-30) απεικονίζουν της μετακινήσεις της προσομοίωσης του πρανούς του στομίου εισόδου, κατά την εκτέλεση της οποίας επιλέχθηκε το μοντέλο Mohr Coulomb και χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια ακριβώς μέτρα αντιστήριξης με αυτά της πέμπτης ανάλυσης που προαναφέρθηκε, στην οποία χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Jointed Rock.

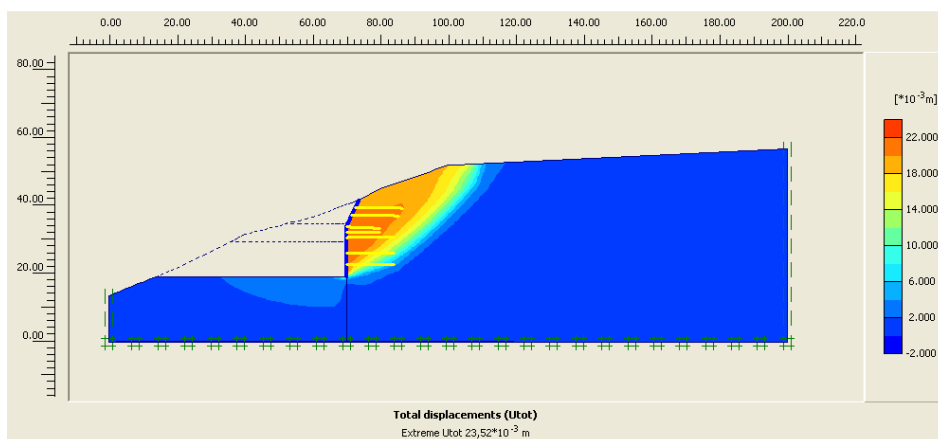


Σχήμα 11-28: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 5 του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-29: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 5 του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model



Σχήμα 11-30: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 5 του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model

Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $0,886 \cdot 10^{-3}$ m και $2,1 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $23,5 \cdot 10^{-3}$ m.

Από τις παραπάνω αναλύσεις προσομοίωσης του πρανούς του στομίου της εισόδου, στις οποίες χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Mohr Coulomb διαπιστώνεται ότι στην 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής εμφανίζεται επίσης διόγκωση του εδάφους κάτω από την εκσκαφή, όπως και με το μοντέλο Jointed Rock. Η διόγκωση όμως που παρουσιάζεται στην 2^η φάση είναι μεγαλύτερη από αυτή της 1^{ης} φάσης. Σε καμία όμως από τις προαναφερθείσες φάσεις δεν φαίνεται να εμφανίζεται πλευρική παραμόρφωση του πρανούς. Αυτό φαίνεται να συμβαίνει στην 3^η φάση εκσκαφής, λόγω του μεγαλύτερου ύψους εκσκαφής.

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των αναλύσεων που έγιναν με τα δυο μοντέλα διαπιστώνεται ότι οι μετακινήσεις των δυο πρώτων φάσεων εκσκαφής κυμαίνονται μεταξύ των ίδιων τιμών. Από τη σύγκριση των τιμών των μετακινήσεων της τρίτης φάσης εκσκαφής των αναλύσεων 1 και 5 των δυο μοντέλων παρατηρείται ότι στο μοντέλο Jointed Rock οι μετακινήσεις μειώνονται $7,7 \cdot 10^3$ m, με τη μείωση του αριθμού των αγκυρίων και αύξηση του μήκους τους. Αντίθετα, στις αναλύσεις 1 και 5 που έγιναν με το μοντέλο Mohr Coulomb διαπιστώνεται ότι οι τιμές των μετακινήσεων αυξήθηκαν κατά $6 \cdot 10^3$ m σε σύγκριση με το μοντέλο Jointed Rock.

Στον παρακάτω πίνακα 11-2 δίνονται συγκεντρωτικά οι τιμές των μετατοπίσεων για κάθε μία φάση εκσκαφής των αναλύσεων προσομοίωσης που έγιναν για το πραινός της εισόδου.

Πίνακας 11-2: Τιμές συνολικών μετακινήσεων του πραινός για κάθε φάση των αναλύσεων του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model

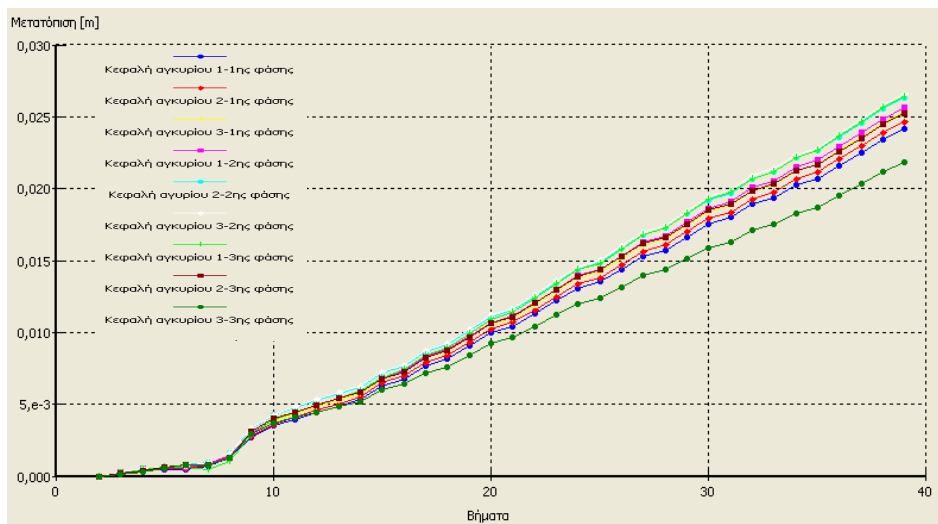
Αναλύσεις εισόδου	Μετακινήσεις 1 ^{ης} φάσης	Μετακινήσεις 2 ^{ης} φάσης	Μετακινήσεις 3 ^{ης} φάσης
Ανάλυση 1	$0,888 \cdot 10^{-3}$ m	$2,1 \cdot 10^{-3}$ m	$17,6 \cdot 10^{-3}$ m
Ανάλυση 2	$0,886 \cdot 10^{-3}$ m	$2,1 \cdot 10^{-3}$ m	$31,9 \cdot 10^{-3}$ m
Ανάλυση 3	$0,885 \cdot 10^{-3}$ m	$2,1 \cdot 10^{-3}$ m	$30,7 \cdot 10^{-3}$ m
Ανάλυση 4	$0,885 \cdot 10^{-3}$ m	$2,1 \cdot 10^{-3}$ m	$19,7 \cdot 10^{-3}$ m
Ανάλυση 5	$0,885 \cdot 10^{-3}$ m	$2,1 \cdot 10^{-3}$ m	$23,5 \cdot 10^{-3}$ m

Παρατηρείται ότι στις αναλύσεις προσομοίωσης του πραινός του στομίου της εισόδου οι μετακινήσεις της 2^{ης} και 3^{ης} φάσης εκσκαφής είναι μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές της 1^{ης} φάσης εκσκαφής. Πράγμα το οποίο είναι λογικό, αφού αυξάνοντας τον αριθμό των φάσεων, μειώνεται η ευστάθεια του πραινός του στομίου.

Συγκρίνοντας όμως τα αποτελέσματα των δυο μοντέλων αναλύσεων (Jointed Rock και Mohr Coulomb) μεταξύ τους, παρατηρείται ότι καθώς μειώνεται ο αριθμός των αγκυρίων, αυξάνοντας όμως το μήκος τους, οι συνολικές μετακινήσεις του πραινός μειώθηκαν στην πέμπτη ανάλυση στην οποία επιλέχθηκε το μοντέλο Jointed Rock, σε σχέση με την πρώτη ανάλυση. Αντίθετως όμως, στην πέμπτη ανάλυση στην οποία επιλέχθηκε το μοντέλο Mohr Coulomb οι συνολικές μετακινήσεις αυξήθηκαν.

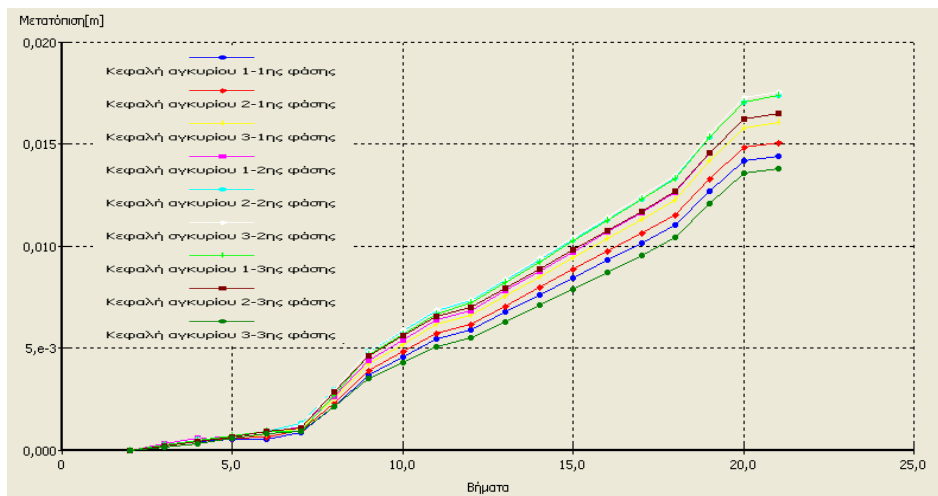
Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Στα επόμενα διαγράμματα (Σχήμα 11-31 έως 11-36) παρουσιάζεται ο ρυθμός εξέλιξης των μετακινήσεων του πρανούς του στομίου εισόδου σε κάθε φάση εκσκαφής. Πιο συγκεκριμένα απεικονίζονται οι μετακινήσεις κάποιων προεπιλεγμένων σημείων τοποθετημένων στις κεφαλές των αγκυριών που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε φάση εκσκαφής για την αντιστήριξη του πρανούς. Οι μετακινήσεις αυτές είναι συναρτήσεις των υπολογιστικών βημάτων που χρειάστηκε να κάνει το πρόγραμμα μέχρι να φτάσει τις τιμές αυτών των μετακινήσεων. Τα σημεία αυτά επιλέχτηκαν πριν την εκτέλεση των υπολογισμών για τον έλεγχο ευστάθειας του πρανούς του στομίου εισόδου.



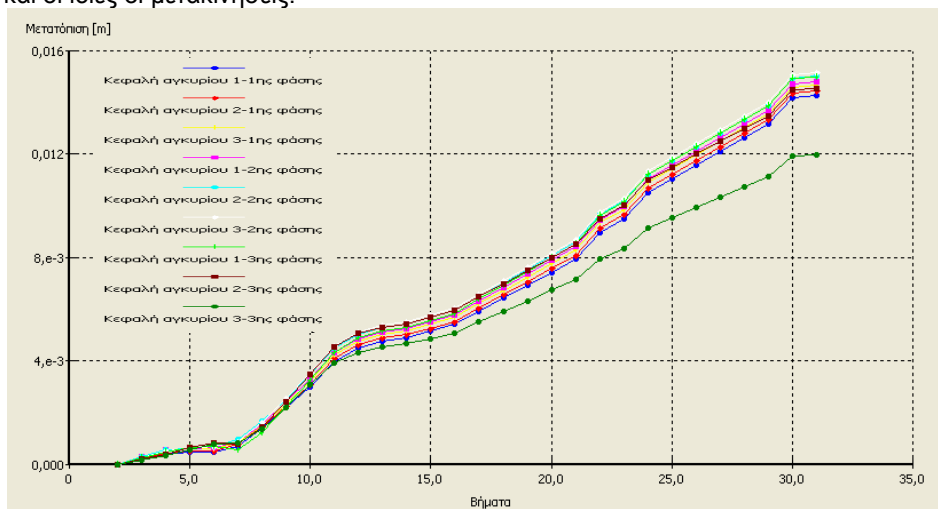
Σχήμα 11-31: Διάγραμμα μετακινήσεων των κεφαλών αγκυριών που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε φάση εκσκαφής συναρτήσει των υπολογιστικών βημάτων του προγράμματος (ανάλυση 1 πρανούς στομίου εισόδου με *Jointed Rock Model*)

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



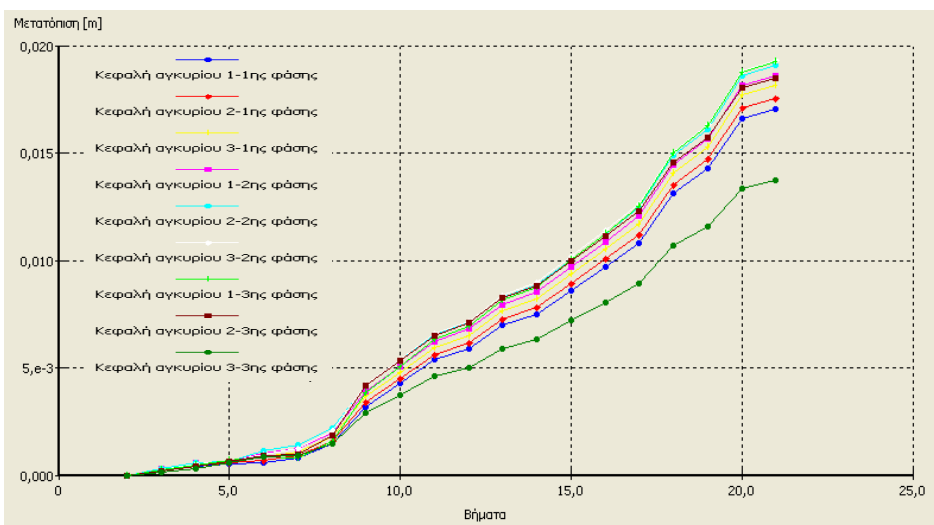
Σχήμα 11-32: Διάγραμμα μετακινήσεων των κεφαλών αγκυριών που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε φάση εκσκαφής συναρτήσει των υπολογιστικών βημάτων του προγράμματος (ανάλυση 1 πρηνούς στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model)

Παρατηρώντας τα δυο παραπάνω διαγράμματα είναι εμφανές ότι υπάρχει μια κατακόρυφη αύξηση των μετακινήσεων μετά το έβδομο υπολογιστικό βήμα στο οποίο αρχίζει η εκσκαφή της 3^{ης} φάσης. Επιπλέον, φαίνεται ότι το τελευταίο αγκύριο της 3^{ης} φάσης εκσκαφής, καθώς και το πρώτο αγκύριο της 1^{ης} φάσης παρουσιάζουν τις μικρότερες μετακινήσεις σε σχέση με τα υπόλοιπα αγκύρια. Συγκρίνοντας τις δύο αναλύσεις φαίνεται ότι στο μοντέλο Mohr Coulomb μειώθηκαν τα υπολογιστικά βήματα που χρειάστηκε το πρόγραμμα για να φτάσει τις τελικές μετακινήσεις, καθώς και οι ίδιες οι μετακινήσεις.



Σχήμα 11-33: Διάγραμμα μετακινήσεων των κεφαλών αγκυριών που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε φάση εκσκαφής συναρτήσει των υπολογιστικών βημάτων του προγράμματος (ανάλυση 4 πρηνούς στομίου εισόδου με Jointed Rock Model)

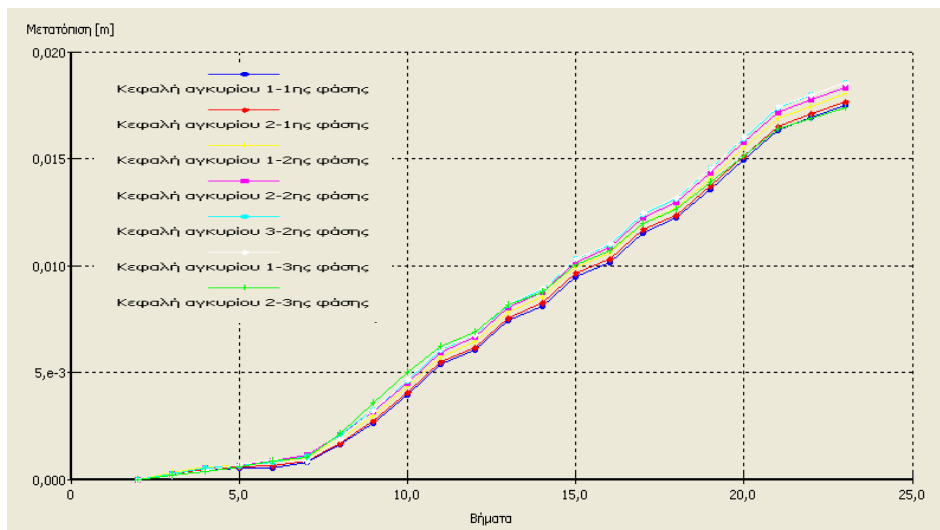
Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



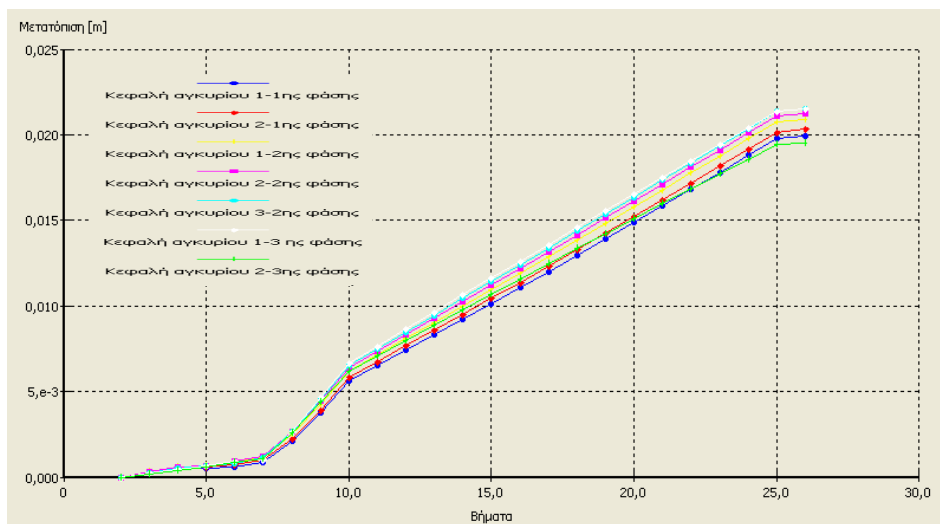
Σχήμα 11-34: Διάγραμμα μετακινήσεων των κεφαλών αγκυρίων που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε φάση εκσκαφής συναρτήσει των υπολογιστικών βημάτων του προγράμματος (ανάλυση 4 πρηνούς στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model)

Όπως και στα προηγούμενα διαγράμματα, έτσι και στα δυο παραπάνω σχήματα 11-33 και 11-34 παρατηρείται μια κατακόρυφη αύξηση των μετακινήσεων μετά το έβδομο υπολογιστικό βήμα στο οποίο αρχίζει η εκσκαφή της 3^{ης} φάσης. Επίσης, το αγκύριο που εμφανίζει τις μικρότερες μετακινήσεις είναι το τελευταίο της 3^{ης} φάσης εκσκαφής, καθώς και το πρώτο της 1^{ης} φάσης εκσκαφής. Στο διάγραμμα της ανάλυσης στην οποία χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Mohr Coulomb, είναι εμφανής η μείωση των υπολογιστικών βημάτων και η αύξηση των τελικών μετακινήσεων των αγκυρίων.

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-35: Διάγραμμα μετακινήσεων των κεφαλών αγκυρίων που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε φάση εκσκαφής συναρτήσει των υπολογιστικών βημάτων του προγράμματος (ανάλυση 5 πρανούς στομίου εισόδου με Jointed Rock Model)



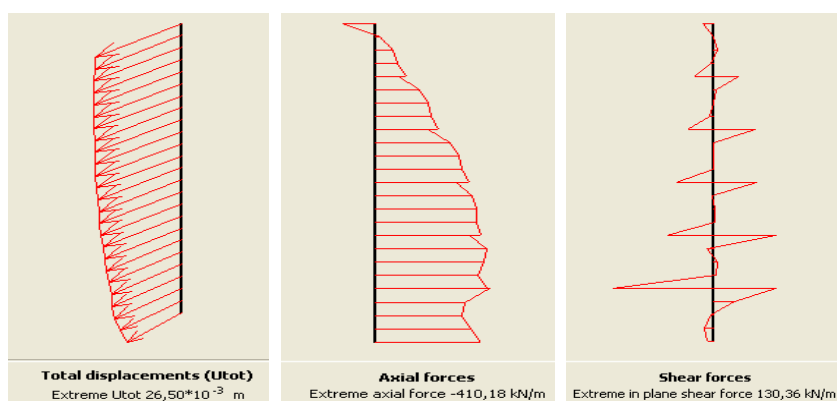
Σχήμα 11-36: Διάγραμμα μετακινήσεων των κεφαλών αγκυρίων που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε φάση εκσκαφής συναρτήσει των υπολογιστικών βημάτων του προγράμματος (ανάλυση 5 πρανούς στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model)

Στα δυο παραπάνω σχήματα φαίνεται μια κατακόρυφη αύξηση των μετακινήσεων των αγκυρίων από το έβδομο υπολογιστικό βήμα και μετά. Παρατηρείται ότι δεν υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις στο εύρος των μετακινήσεων των αγκυρίων (υπάρχει ταύτιση των γραμμών των αγκυρίων), γι' αυτό και δεν είναι αρκετά εμφανές ποιο αγκύριο παρουσιάζει τις μικρότερες μετακινήσεις σε σύγκριση με τα υπόλοιπα. Στο διάγραμμα της ανάλυσης στην οποία χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Mohr Coulomb, είναι πλέον ευδιάκριτη η αύξηση των τελικών μετακινήσεων

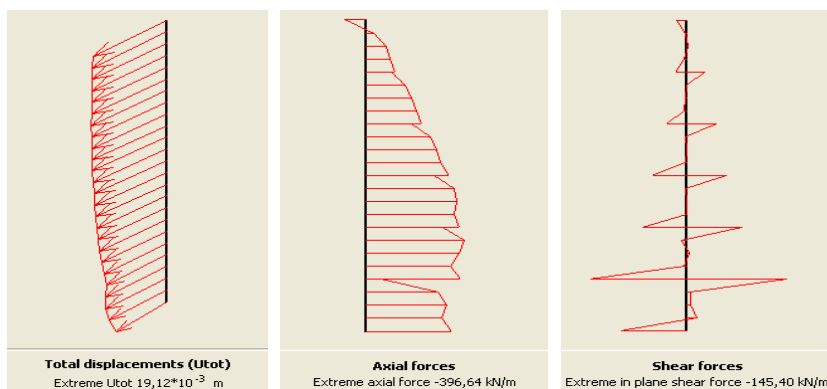
Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

και των υπολογιστικών βημάτων, σε σχέση με το διάγραμμα της ανάλυσης στην οποία επιλέχθηκε το μοντέλο Jointed Rock.

Τα επόμενα σχήματα (Σχήμα 11-37 έως 11-46) απεικονίζουν τις συνολικές μετακινήσεις του τοίχου αντιστήριξης του πρανούς του στομίου εισόδου, που εμφανίζονται στην 3^η φάση εκσκαφής. Επιπλέον, δίνουν μια εικόνα των εμφανιζόμενων αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων και πως αυτές κατανέμονται στον τοίχο.

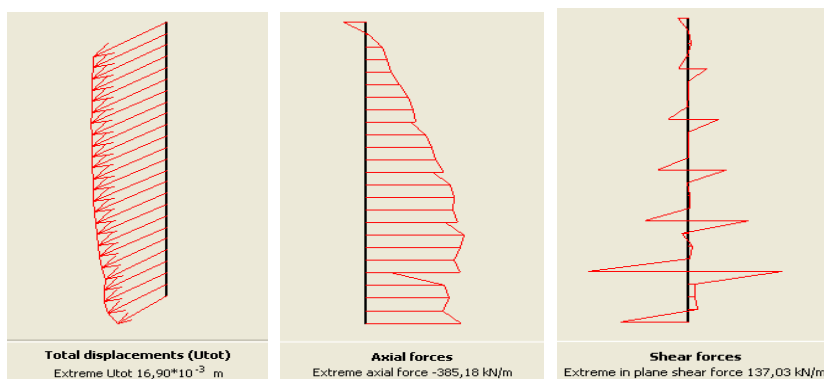


Σχήμα 11-37: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 1 του πρανούς του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model

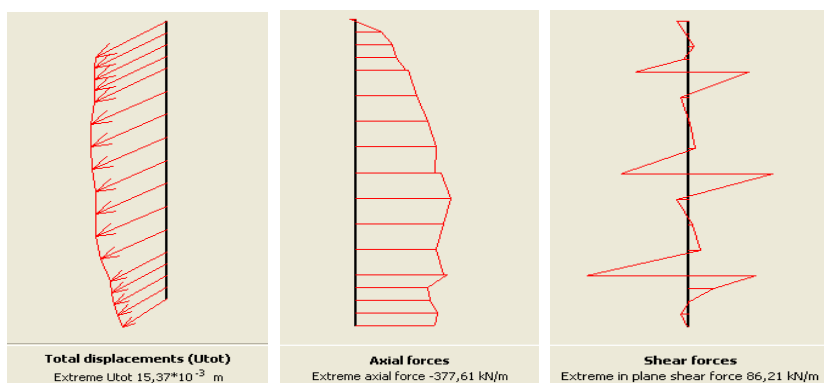


Σχήμα 11-38: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 2 του πρανούς του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model

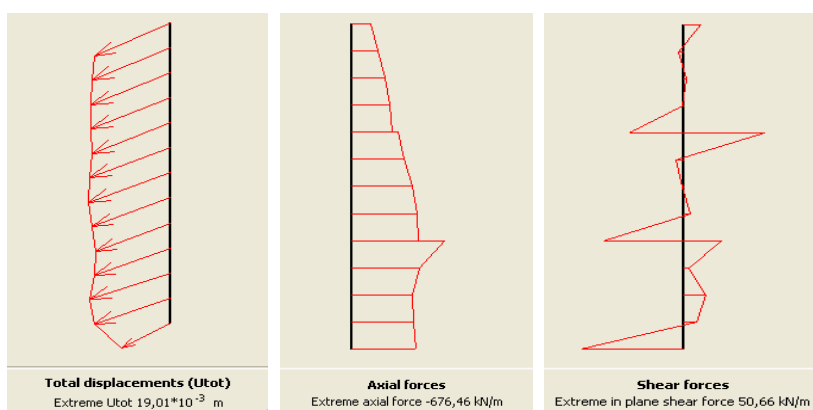
Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-39: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 3 του πρηνούς του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model



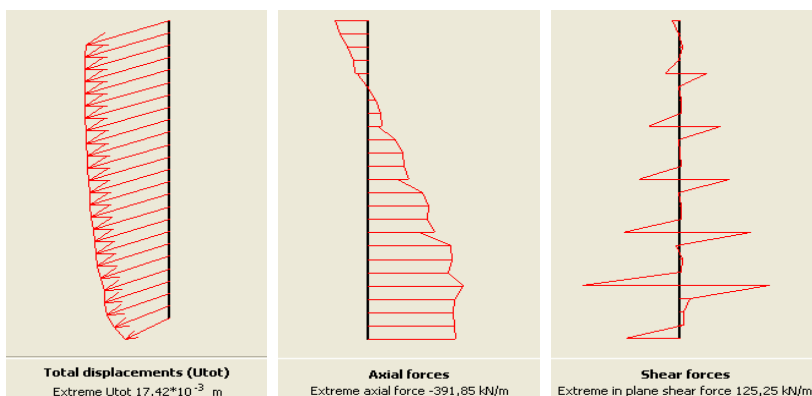
Σχήμα 11-40: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 4 του πρηνούς του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model



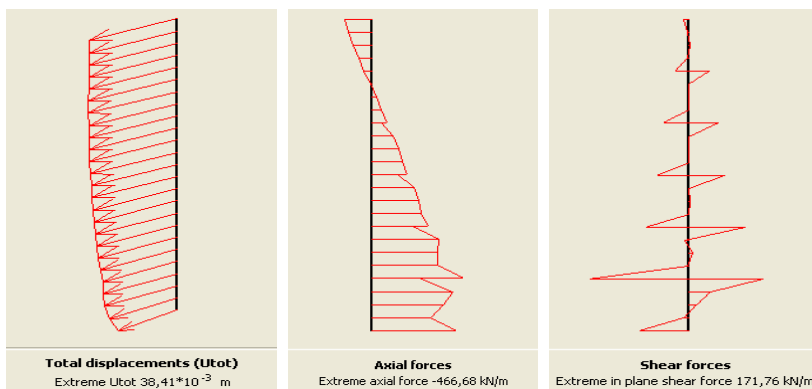
Σχήμα 11-41: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 5 του πρηνούς του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Στα παραπάνω σχήματα των πέντε αναλύσεων προσομοίωσης του πρανούς του στομίου εισόδου διακρίνεται μια μείωση στην τιμή των αξονικών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης στις αναλύσεις 2 και 3 σε σχέση με τις τιμές της πρώτης ανάλυσης, ενώ αύξηση παρατηρείται για τις τέμνουσες δυνάμεις των ίδιων αναλύσεων. Αντίθετα, στην τέταρτη ανάλυση φαίνεται πως αραιώθηκε η κατανομή των τεμνουσών και μειώθηκαν οι αξονικές δυνάμεις, ενώ στην πέμπτη ανάλυση αυξήθηκαν οι αξονικές δυνάμεις και μειώθηκαν οι τέμνουσες.

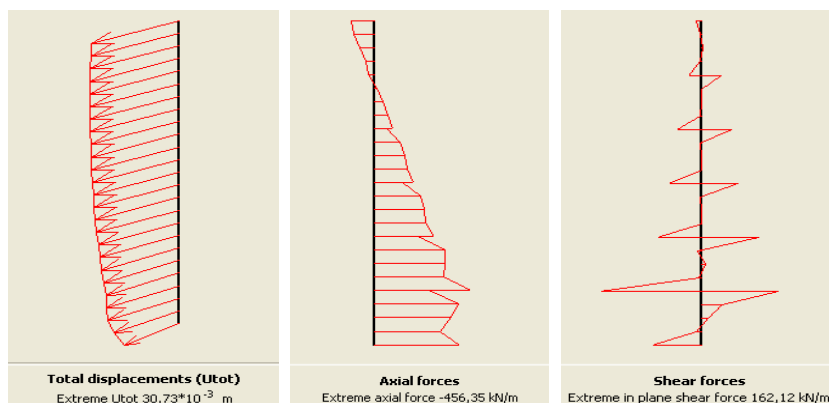


Σχήμα 11-42: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 1 του πρανούς του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model

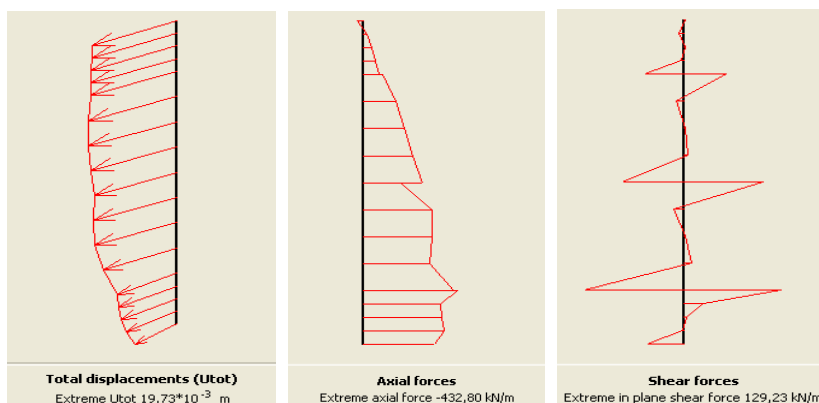


Σχήμα 11-43: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 2 του πρανούς του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model

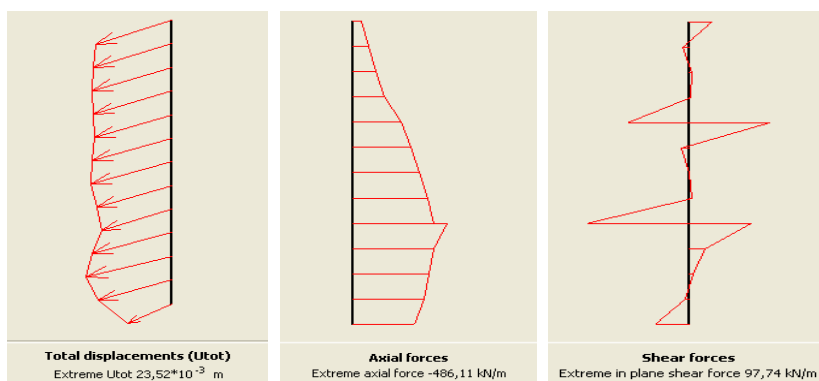
Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-44: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 3 του πρανούς του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model



Σχήμα 11-45: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 4^{ης} φάσης της ανάλυσης 4 του πρανούς του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model



Σχήμα 11-46: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 5^{ης} φάσης της ανάλυσης 5 του πρανούς του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Με βάση τα πέντε παραπάνω σχήματα (Σχήματα 11-42 έως 11-46) παρατηρείται μια αύξηση των αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων των αναλύσεων 2, 3 και 4 σε σύγκριση με τιμές της πρώτης ανάλυσης. Αντίθετα, στην πέμπτη ανάλυση φαίνεται να αυξάνονται οι αξονικές δυνάμεις, ενώ φαίνεται να αραιώνουν και να μειώνονται οι τέμνουσες. Συγκρίνοντας τις τιμές των δυο σχημάτων 11-41 και 11-46 διακρίνεται ότι και στις δυο αναλύσεις, οι οποίες έγιναν με διαφορετικά μοντέλα, παρατηρείται αύξηση των αξονικών δυνάμεων και μείωση των τεμνουσών σε σχέση με τιμές των αντίστοιχων πρώτων αναλύσεων κάθε μοντέλου.

Για την ολοκληρωμένη παρουσίαση των αποτελεσμάτων κρίθηκε αναγκαία η προσπάθεια ελέγχου της φέρουσας ικανότητας των αγκυρίων που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες αναλύσεις. Οι τιμές των αξονικών φορτίων των αγκυρίων της τρίτης φάσης εκσκαφής των αναλύσεων προσομοίωσης του πρηνούς του στομίου εισόδου, στις οποίες χρησιμοποιήθηκε διαφορετικός αριθμός και μήκη αγκυρίων, παρουσιάζονται συγκεντρωμένες στους παρακάτω πίνακες (Πίνακες 11-3 έως 11-7). Ο έλεγχος της φέρουσας ικανότητας των αγκυρίων έγινε θεωρώντας συντελεστή ασφαλείας 1,2 (στατική φόρτιση).

Στις αναλύσεις προσομοίωσης που έγιναν για το πρηνές του στομίου εισόδου χρησιμοποιήθηκαν δυο είδη αγκυρίων. Το ένα είδος αγκυρίων θεωρήθηκε ότι αποτελείται από συρματόσχοινα διαμέτρου 45mm (τρία των 15mm) με φέρουσα ικανότητα 600kN, ενώ το άλλο ότι αποτελείται από συρματόσχοινα διαμέτρου 60mm (τέσσερα των 15mm) με φέρουσα ικανότητα 800kN.

Πιο συγκεκριμένα, στις αναλύσεις 1 και 4 του πρηνούς του στομίου εισόδου, στις οποίες θεωρήθηκε ως καταστατικό μοντέλο το Jointed Rock Model, χρησιμοποιήθηκαν αγκύρια διαμέτρου 60mm με φέρουσα ικανότητα 800kN, ενώ στις υπόλοιπες τρεις αναλύσεις της εισόδου έγινε χρήση αγκυρίων διαμέτρου 45mm με φέρουσα ικανότητα 600kN. Επιπλέον, σ' όλες τις αναλύσεις του πρηνούς του στομίου εισόδου, οι οποίες έγιναν με το μοντέλο Mohr Coulomb, χρησιμοποιήθηκαν αγκύρια διαμέτρου 60mm με φέρουσα ικανότητα 800kN.

Πίνακας 11-3: Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 1 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model

3 ^η φάση εκσκαφής	1 ^ο αγκύριο	2 ^ο αγκύριο	3 ^ο αγκύριο	4 ^ο αγκύριο	5 ^ο αγκύριο
Αξονικό φορτίο (KN)	183,1	226,4	298,5	414,6	606,2
Συνολική μετατόπιση (*10 ⁻³ m)	26,4	26,0	25,2	23,9	21,8

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Πίνακας 11-4: Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 2 του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model

3 ^η φάση εκσκαφής	1 ^ο αγκύριο	2 ^ο αγκύριο	3 ^ο αγκύριο	4 ^ο αγκύριο	5 ^ο αγκύριο
Αξονικό φορτίο (KN)	183,0	271,4	337,6	341,1	417,9
Συνολική μετατόπιση (*10 ⁻³ m)	19,1	18,9	18,3	17,3	15,6

Πίνακας 11-5: Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 3 εισόδου με Jointed Rock Model

3 ^η φάση εκσκαφής	1 ^ο αγκύριο	2 ^ο αγκύριο	3 ^ο αγκύριο	4 ^ο αγκύριο	5 ^ο αγκύριο
Αξονικό φορτίο (KN)	174,3	217,5	280,6	313,5	383,5
Συνολική μετατόπιση (*10 ⁻³ m)	16,8	16,7	16,3	15,5	14,1

Πίνακας 11-6: Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 4 εισόδου με Jointed Rock Model

3 ^η φάση εκσκαφής	1 ^ο αγκύριο	2 ^ο αγκύριο	3 ^ο αγκύριο
Αξονικό φορτίο (KN)	280,5	465,5	596,3
Συνολική μετατόπιση (*10 ⁻³ m)	15,1	14,5	12,0

Πίνακας 11-7: Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 5 εισόδου με Jointed Rock Model

3 ^η φάση εκσκαφής	1 ^ο αγκύριο	2 ^ο αγκύριο
Αξονικό φορτίο (KN)	436,1	489,1
Συνολική μετατόπιση (*10 ⁻³ m)	18,6	17,4

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Από τους πέντε παραπάνω πίνακες φαίνεται ότι τα μεγαλύτερα αξονικά φορτία εμφανίζονται στο πέμπτο αγκύριο της 3^{ης} φάσης της πρώτης ανάλυσης, στο τρίτο αγκύριο της τέταρτης ανάλυσης, καθώς και στο δεύτερο αγκύριο της πέμπτης ανάλυσης. Ωστόσο, δεν παρατηρείται να ξεπερνά την φέρουσα ικανότητα του κανένα από τα αγκύρια.

Στους Πίνακες 11-8 έως 11-12 δίνονται οι τιμές των αξονικών φορτίων και των συνολικών μετακινήσεων των αγκυρίων της τρίτης φάσης εκσκαφής, των αναλύσεων του πρηνούς του στομίου εισόδου, στις οποίες έγινε χρήση του μοντέλου Mohr Coulomb.

Πίνακας 11-8: Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 1 εισόδου με Mohr Coulomb Model

3 ^η φάση εκσκαφής	1 ^ο αγκύριο	2 ^ο αγκύριο	3 ^ο αγκύριο	4 ^ο αγκύριο	5 ^ο αγκύριο
Αξονικό φορτίο (KN)	185,1	177,6	228,1	357,5	546,8
Συνολική μετατόπιση (*10⁻³ m)	17,4	17,1	16,4	15,5	13,8

Πίνακας 11-9: Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 2 εισόδου με Mohr Coulomb Model

3 ^η φάση εκσκαφής	1 ^ο αγκύριο	2 ^ο αγκύριο	3 ^ο αγκύριο	4 ^ο αγκύριο	5 ^ο αγκύριο
Αξονικό φορτίο (KN)	225,6	244,7	313,1	431,6	608,1
Συνολική μετατόπιση (*10⁻³ m)	31,5	31,2	30,4	29,0	27,1

Πίνακας 11-10: Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 3 εισόδου με Mohr Coulomb Model

3 ^η φάση εκσκαφής	1 ^ο αγκύριο	2 ^ο αγκύριο	3 ^ο αγκύριο	4 ^ο αγκύριο	5 ^ο αγκύριο
Αξονικό φορτίο (KN)	189,3	213,1	298,8	408,1	560,1
Συνολική μετατόπιση (*10⁻³ m)	30,6	30,4	29,5	27,9	25,3

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Πίνακας 11-11: Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 4 εισόδου με Mohr Coulomb Model

3 ^η φάση εκσκαφής	1 ^ο αγκύριο	2 ^ο αγκύριο	3 ^ο αγκύριο
Αξονικό φορτίο (KN)	292,0	500,4	643,8
Συνολική μετατόπιση (*10 ⁻³ m)	19,3	18,5	13,7

Πίνακας 11-12: Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 5 εισόδου με Mohr Coulomb Model

3 ^η φάση εκσκαφής	1 ^ο αγκύριο	2 ^ο αγκύριο
Αξονικό φορτίο (KN)	497,6	660,8
Συνολική μετατόπιση (*10 ⁻³ m)	21,7	19,5

Από τους προηγούμενους πέντε πίνακες φαίνεται ότι τα μεγαλύτερα αξονικά φορτία εμφανίζονται στο πέμπτο αγκύριο της τρίτης φάσης της δεύτερης ανάλυσης, στο τρίτο αγκύριο της τέταρτης ανάλυσης, καθώς και στο δεύτερο αγκύριο της πέμπτης ανάλυσης. Ωστόσο, και εδώ δεν παρατηρείται να ξεπερνά την φέρουσα ικανότητα του κανένα από τα αγκύρια.

Στον Πίνακα 11-13 δίνονται οι συντελεστές ασφαλείας για τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πρανές του στομίου εισόδου με το μοντέλο Jointed Rock.

Πίνακας 11-13: Τιμές συντελεστών ασφαλείας για κάθε φάση εκσκαφής των αναλύσεων του πρανούς του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model

Αναλύσεις εισόδου με Jointed Rock Model	Συντελεστής ασφαλείας 1 ^{ης} φάσης	Συντελεστής ασφαλείας 2 ^{ης} φάσης	Συντελεστής ασφαλείας 3 ^{ης} φάσης
Ανάλυση 1	1,9	1,6	1,0
Ανάλυση 2	1,9	1,6	1,1
Ανάλυση 3	1,9	1,6	1,1
Ανάλυση 4	1,9	1,6	1,1
Ανάλυση 5	2	1,7	1,1

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Από τον προηγούμενο πίνακα φαίνεται ότι αυξήθηκαν οι συντελεστές ασφαλείας και των τριών φάσεων εκσκαφής καθώς μεταβαίνουμε από την πρώτη στην πέμπτη ανάλυση. Με δεδομένο ότι οι συντελεστές ασφαλείας της 3^{ης} φάσης εκσκαφής των παραπάνω αναλύσεων είναι ίδιοι προκύπτει το εξής συμπέρασμα, ότι τα μέτρα αντιστήριξης της πέμπτης ανάλυσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ευστάθεια του πρανούς, εφόσον και οι τιμές των μετακινήσεων που μελετήθηκαν προηγουμένως, έδειξαν ότι μειώθηκαν στην ανάλυση αυτή.

Στον Πίνακα 11-14 δίνονται οι συντελεστές ασφαλείας για τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πρανές του στομίου εισόδου με το μοντέλο Mohr Coulomb.

Πίνακας 11-14: Τιμές συντελεστών ασφαλείας για κάθε φάση εκσκαφής των αναλύσεων του πρανούς του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model

Αναλύσεις εισόδου με Mohr Coulomb Model	Συντελεστής ασφαλείας 1 ^{ης} φάσης	Συντελεστής ασφαλείας 2 ^{ης} φάσης	Συντελεστής ασφαλείας 3 ^{ης} φάσης
Ανάλυση 1	2,0	1,6	1,0
Ανάλυση 2	1,9	1,5	1,0
Ανάλυση 3	1,8	1,5	1,0
Ανάλυση 4	1,9	1,5	1,1
Ανάλυση 5	1,9	1,5	1,1

Με βάση τον παραπάνω πίνακα προκύπτει το ίδιο ακριβώς συμπέρασμα με πριν. Διαπιστώνεται δηλαδή ότι, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα μέτρα αντιστήριξης της πέμπτης ανάλυσης για την ευστάθεια του πρανούς. Ωστόσο, οι τιμές των μετακινήσεων της αντίστοιχης φάσης εκσκαφής των αναλύσεων που έγιναν με το μοντέλο Mohr Coulomb φάνηκε ότι αυξήθηκαν ελάχιστα. Γι' αυτό το λόγο η αύξηση αυτή μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα.

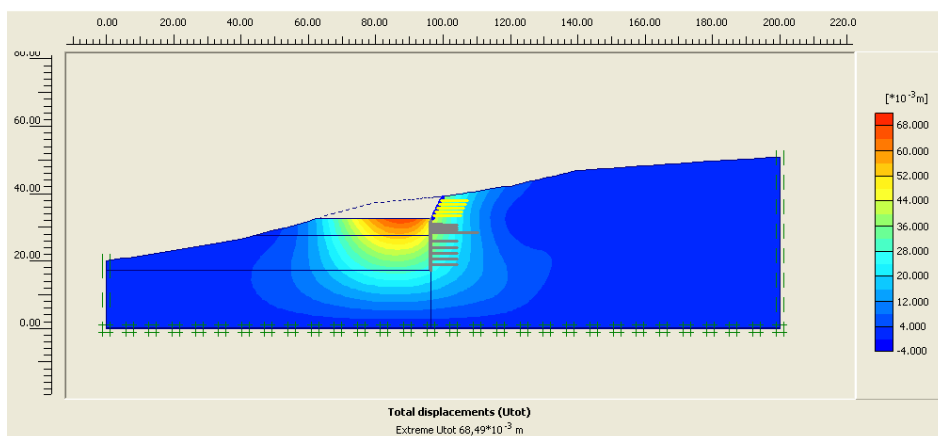
11.2.2.2 Αναλύσεις πρανούς στομίου εξόδου

Στα πρώτα τρία σχήματα που ακολουθούν (Σχήμα 11-47 έως 11-49), φαίνονται οι συνολικές μετακινήσεις του πρανούς του στομίου εξόδου κατά την εκσκαφή των τριών φάσεων. Γι' αυτήν την ανάλυση, η προσομοίωση της εκσκαφής του στομίου εξόδου πραγματοποιήθηκε επιλέγοντας το μοντέλο Mohr Coulomb. Σ' αυτήν την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν :

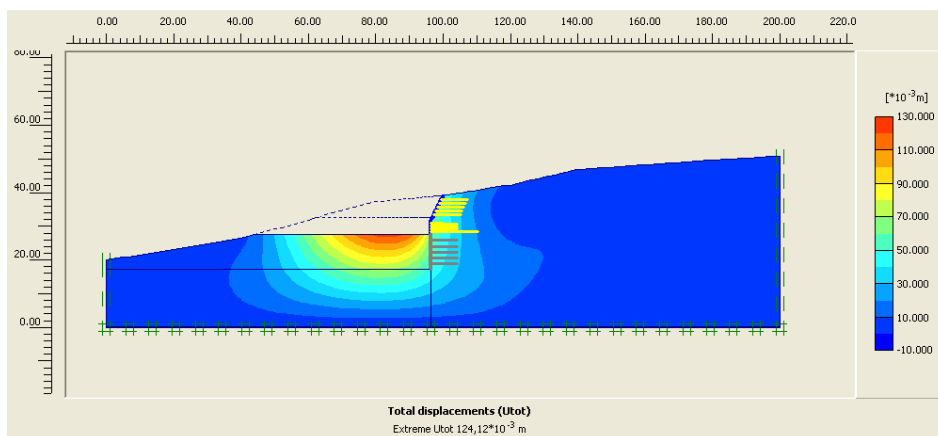
- i. πέντε αγκύρια πλήρους πάκτωσης των 8m στην πρώτη φάση εκσκαφής,

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

- ii. τρία αγκύρια των 8m και ένα αγκύριο των 14m στη δεύτερη φάση εκσκαφής
- iii. πέντε αγκύρια των 8m στην τρίτη φάση εκσκαφής,
- iv. καθώς και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για κάθε φάση.

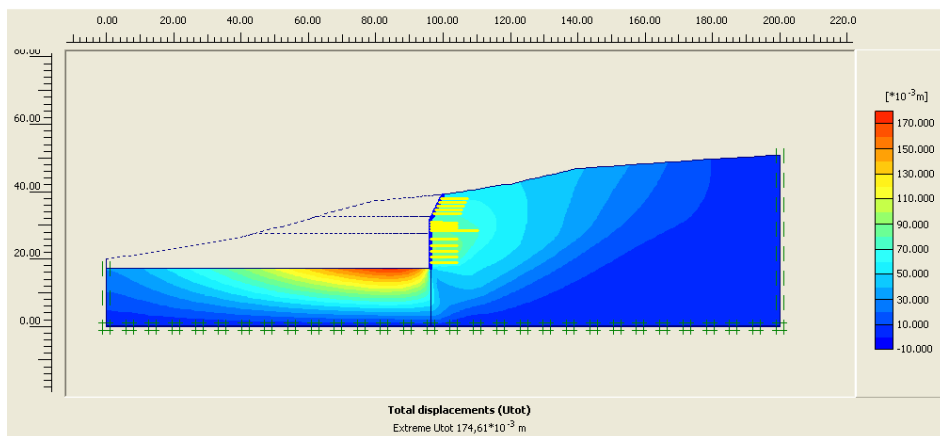


Σχήμα 11-47: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 1 του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model



Σχήμα 11-48: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 1 του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

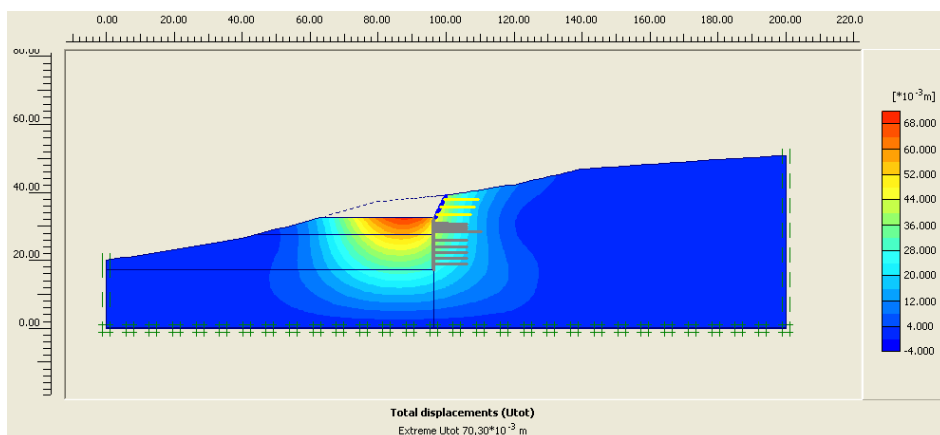


Σχήμα 11-49: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 1 του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model

Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $68 \cdot 10^{-3}$ m και $124 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $175 \cdot 10^{-3}$ m.

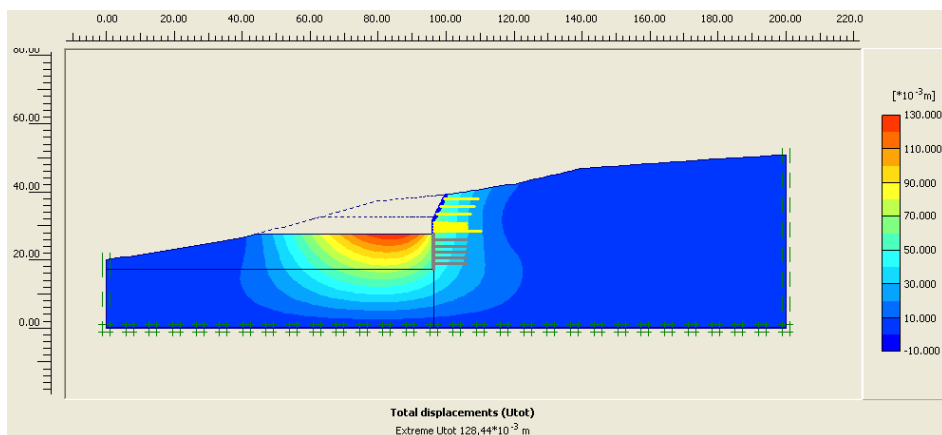
Τα τρία επόμενα σχήματα (Σχήμα 11-50 έως 11-52) απεικονίζουν τις συνολικές μετακινήσεις του πρανούς του στομίου εξόδου κατά την εκσκαφή των τριών φάσεων. Και αυτή η προσομοίωση εκσκαφής του στομίου εξόδου πραγματοποιήθηκε επιλέγοντας το μοντέλο Mohr Coulomb, αλλά σ' αυτήν την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν :

- i. τρία αγκύρια πλήρους πάκτωσης των 10m στην πρώτη φάση εκσκαφής,
- ii. τρία αγκύρια των 10m και ένα αγκύριο των 14m στη δεύτερη φάση εκσκαφής,
- iii. πέντε αγκύρια των 10m στην τρίτη φάση εκσκαφής και
- iv. εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για κάθε φάση.

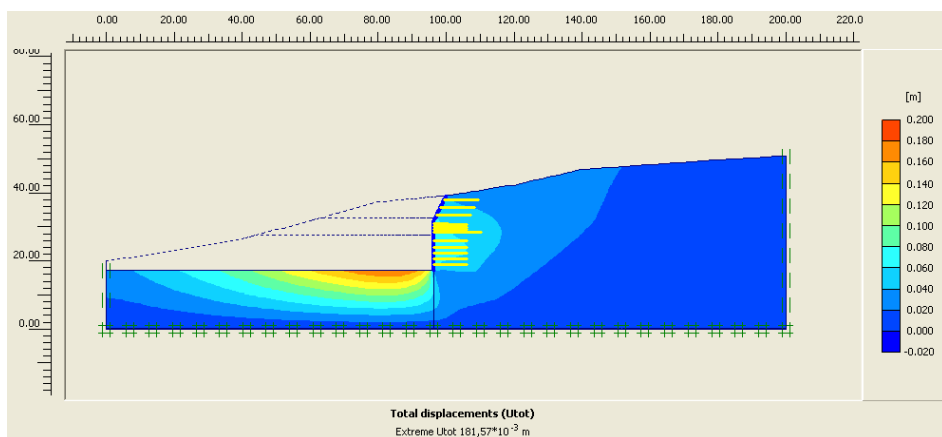


Σχήμα 11-50: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης 2 του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-51: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης 2 του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model

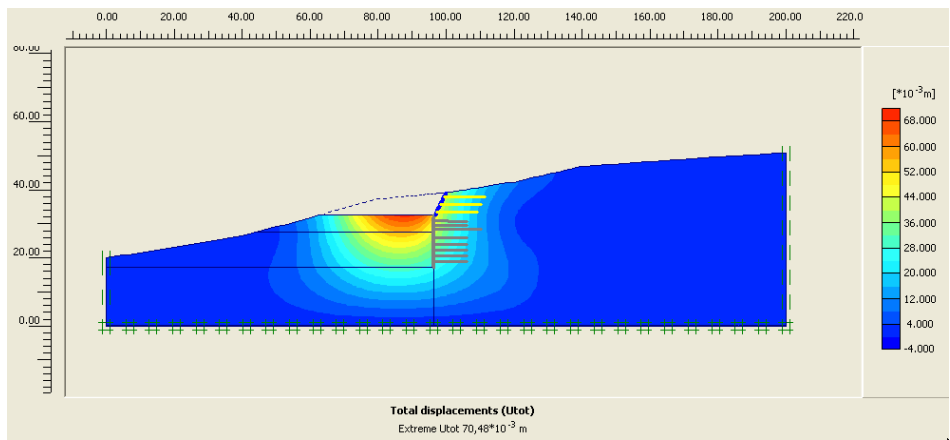


Σχήμα 11-52: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης 2 του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model

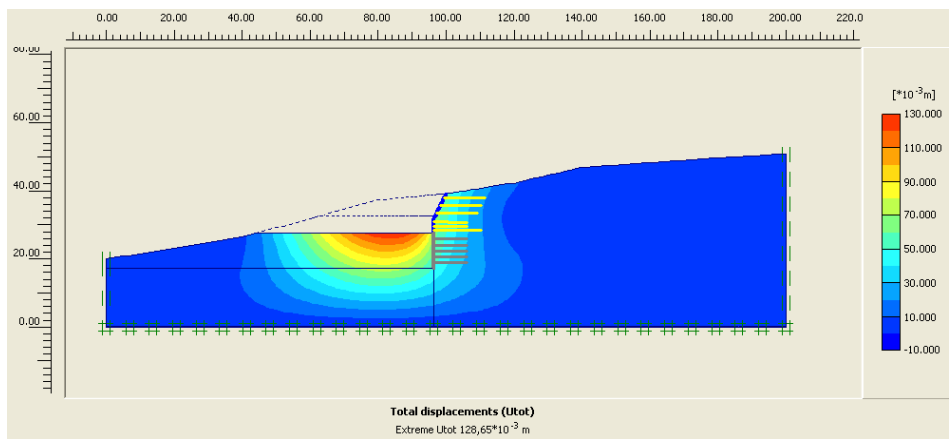
Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $70 \cdot 10^{-3}$ m και $128 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $182 \cdot 10^{-3}$ m.

Στα σχήματα που ακολουθούν (Σχήμα 11-53 έως 11-55) φαίνονται οι συνολικές μετακινήσεις που έδωσε το πρόγραμμα για την ανάλυση προσομοίωσης των τριών φάσεων εκσκαφής του πρσανούς του στομίου εξόδου με το ίδιο μοντέλο αλλά με τη χρήση α) τριών αγκυριών πλήρους πάκτωσης των 12m στην πρώτη φάση εκσκαφής, β) δυο αγκυριών των 10m και ένα αγκύριο των 14m στη δεύτερη φάση εκσκαφής, γ) πέντε αγκυριών των 10m στην τρίτη φάση εκσκαφής και δ) εκτοξευόμενου σκυροδέματος για κάθε φάση.

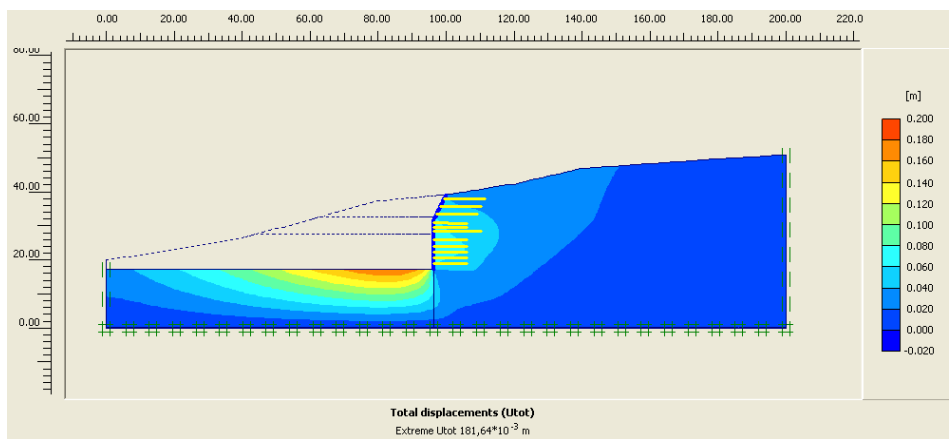
Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-53: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πριανούς της ανάλυσης 3 του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model



Σχήμα 11-54: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πριανούς της ανάλυσης 3 του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model



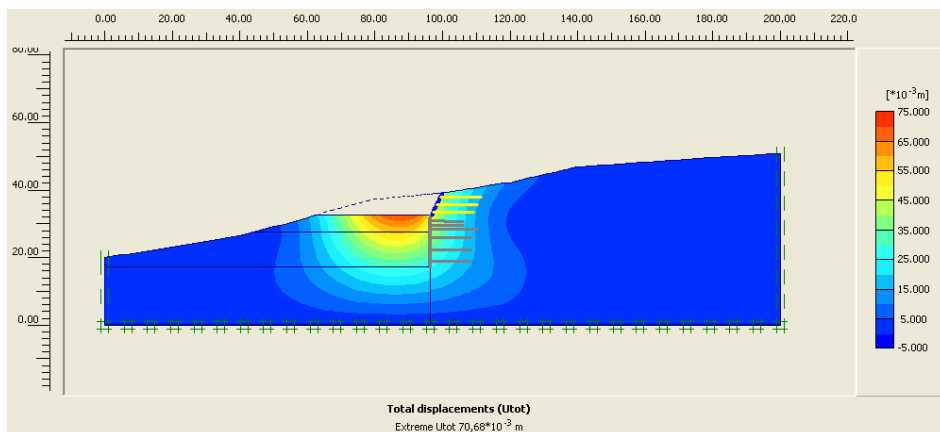
Σχήμα 11-55: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πριανούς της ανάλυσης 3 του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

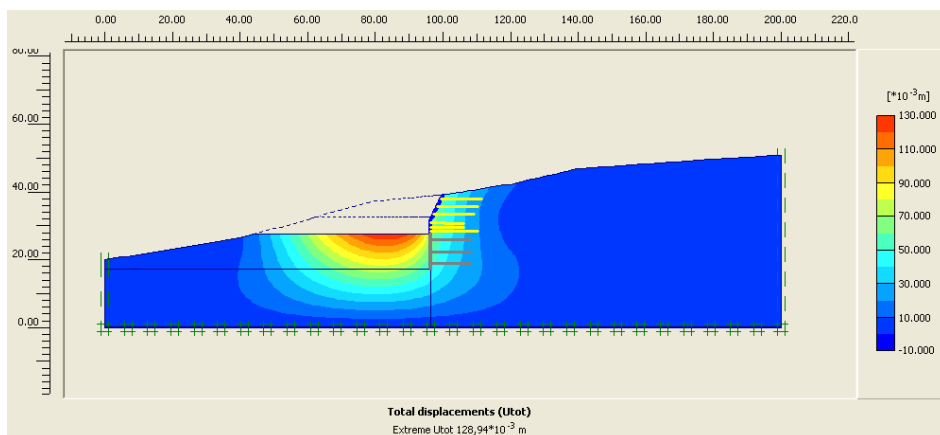
Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $70 \cdot 10^{-3}$ m και $128 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $182 \cdot 10^{-3}$ m.

Στα τρία επόμενα σχήματα (Σχήμα 11-56 έως 11-58), φαίνονται οι συνολικές μετακινήσεις του πρσανούς του στομίου εξόδου κατά την εκσκαφή των τριών φάσεων. Γι' αυτήν την ανάλυση, η προσομοίωση της εκσκαφής του στομίου εξόδου πραγματοποιήθηκε επιλέγοντας επίσης το μοντέλο Mohr Coulomb και χρησιμοποιώντας :

- i. τρία αγκύρια πλήρους πάκτωσης των 12m στην πρώτη φάση εκσκαφής,
- ii. δυο αγκύρια των 10m και ένα αγκύριο των 14m στη δεύτερη φάση εκσκαφής,
- iii. τρία αγκύρια των 12m στην τρίτη φάση εκσκαφής και
- iv. εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για κάθε φάση.

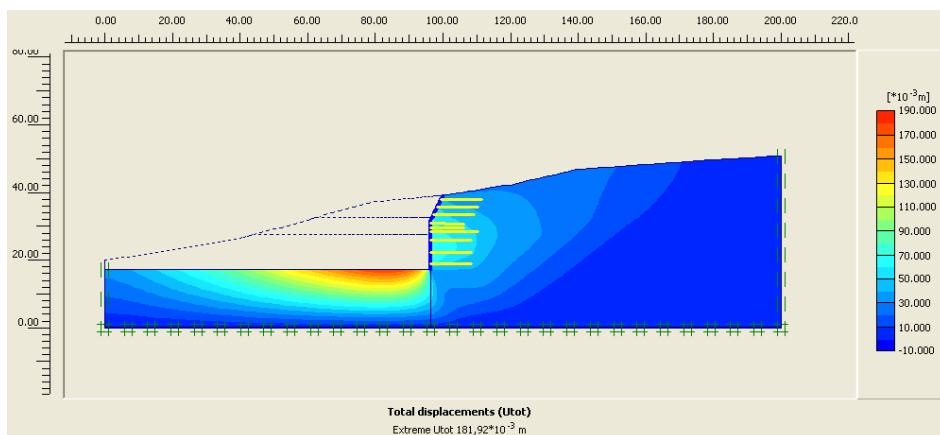


Σχήμα 11-56: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης 4 του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model



Σχήμα 11-57: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης 4 του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

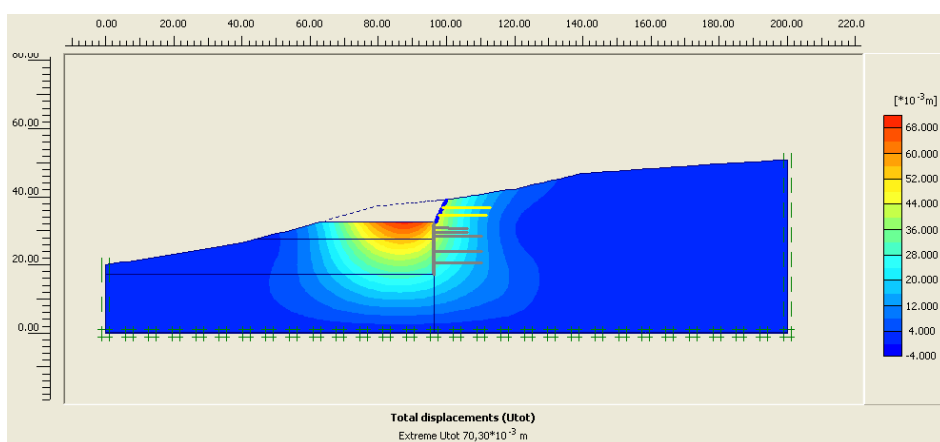


Σχήμα 11-58: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης 4 του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model

Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $71 \cdot 10^{-3}$ m και $129 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $182 \cdot 10^{-3}$ m.

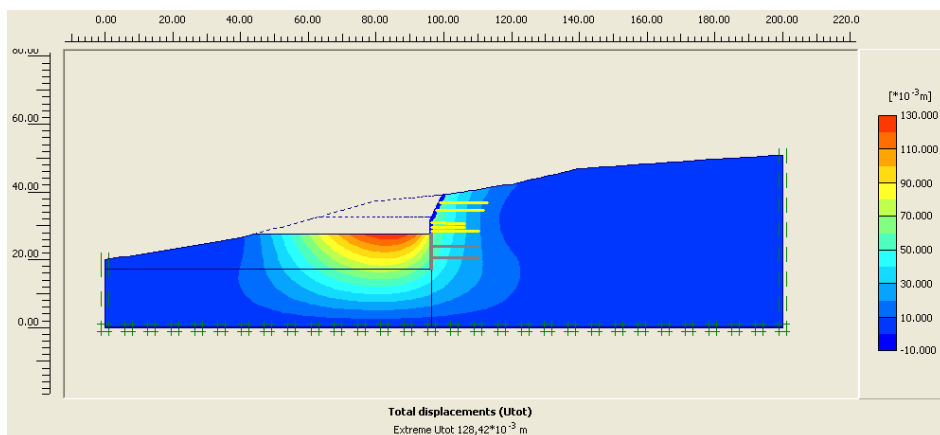
Τα επόμενα τρία σχήματα (Σχήμα 11-59 έως 11-61) δείχνουν τις μετακινήσεις του πρσανούς του στομίου εξόδου, κατά την ανάλυση προσομοίωσης του οπίου χρησιμοποιήθηκε επίσης το μοντέλο Mohr Coulomb. Για την προσομοίωση των μέτρων αντιστήριξης χρησιμοποιήθηκαν :

- i. δυο αγκύρια πλήρους πάκτωσης των 14m στην πρώτη φάση εκσκαφής,
- ii. δυο αγκύρια των 10m και ένα αγκύριο των 14m στη δεύτερη φάση εκσκαφής
- iii. δυο αγκύρια των 14 m στην τρίτη φάση εκσκαφής και
- iv. εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για κάθε φάση.

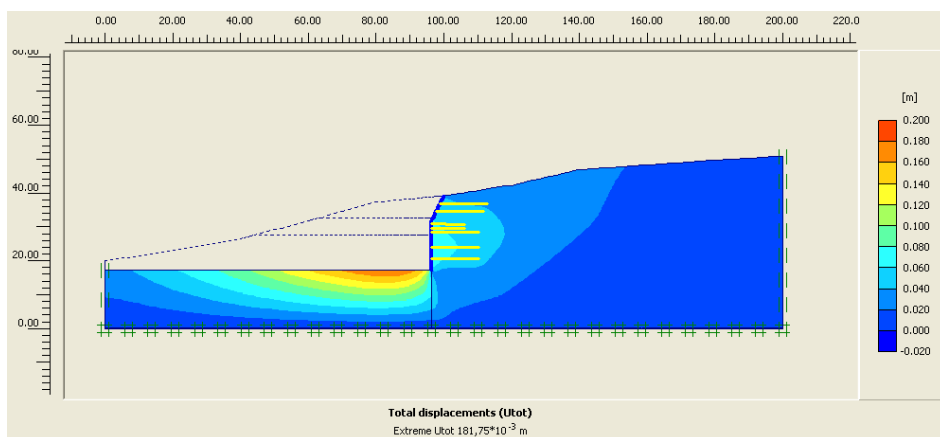


Σχήμα 11-59: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης 5 του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-60: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης 5 του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model



Σχήμα 11-61: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης 5 του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model

Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $70 \cdot 10^{-3}$ m και $128 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $182 \cdot 10^{-3}$ m.

Παρατηρώντας τα σχήματα των πέντε παραπάνω αναλύσεων που έγιναν για το πρανές του στομίου εξόδου φαίνεται ότι εμφανίζεται ανύψωση του δαπέδου στη βάση του πρσανούς μετά την εκσκαφή και στις τρεις φάσεις. Σ' αυτές τις αναλύσεις δεν παρατηρείται πλευρική παραμόρφωση του πρσανούς, όπως διαπιστώθηκε στα σχήματα των αναλύσεων για το στόμιο της εισόδου. Επιπλέον, παρατηρείται αύξηση των τιμών των μετακινήσεων μεταβαίνοντας από την πρώτη στην τρίτη φάση εκσκαφής.

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Στον παρακάτω πίνακα 11-15 δίνονται συγκεντρωτικά οι τιμές των μετατοπίσεων για καθεμιά φάση εκσκαφής των αναλύσεων προσομοίωσης που έγιναν για το πραινός της εξόδου.

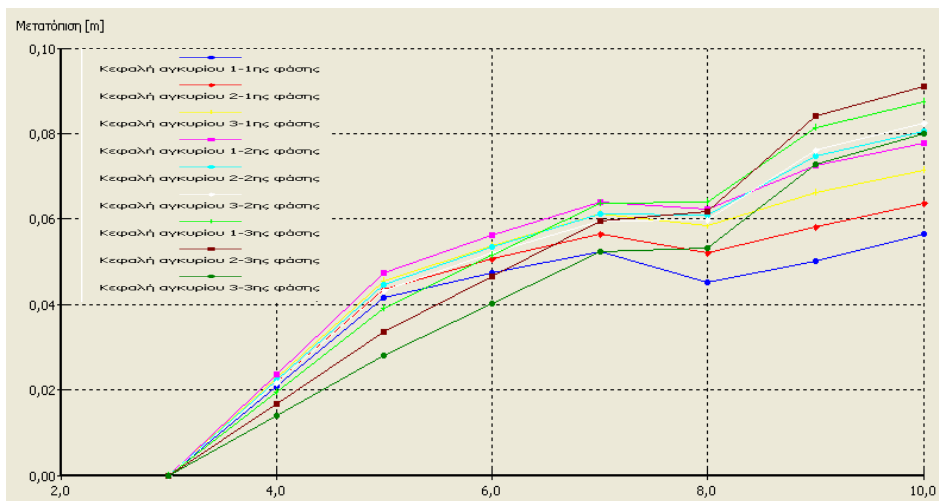
Πίνακας 11-15: Τιμές συνολικών μετακινήσεων του πραινούς για κάθε φάση των αναλύσεων του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model

Αναλύσεις εξόδου	Μετακινήσεις 1 ^{ης} φάσης	Μετακινήσεις 2 ^{ης} φάσης	Μετακινήσεις 3 ^{ης} φάσης
Ανάλυση 1	$68 * 10^{-3}$ m	$124 * 10^{-3}$ m	$175 * 10^{-3}$ m
Ανάλυση 2	$70 * 10^{-3}$ m	$128 * 10^{-3}$ m	$182 * 10^{-3}$ m
Ανάλυση 3	$70 * 10^{-3}$ m	$128 * 10^{-3}$ m	$182 * 10^{-3}$ m
Ανάλυση 4	$71 * 10^{-3}$ m	$129 * 10^{-3}$ m	$182 * 10^{-3}$ m
Ανάλυση 5	$70 * 10^{-3}$ m	$128 * 10^{-3}$ m	$182 * 10^{-3}$ m

Παρατηρείται ότι οι τελικές συνολικές μετακινήσεις αυξήθηκαν σε σχέση με αυτές την δυο πρώτων φάσεων εκσκαφής. Επίσης, διακρίνεται μια ομοιομορφία στις τιμές της 3^{ης} φάσης εκσκαφής των αναλύσεων 2 έως 5.

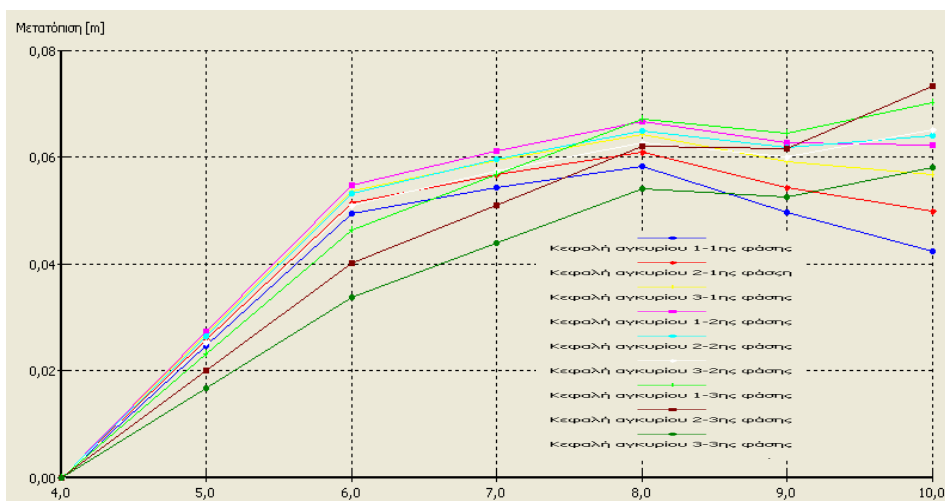
Στα επόμενα διαγράμματα (Σχήμα 11-62 έως 11-64) παρουσιάζεται ο ρυθμός εξέλιξης των μετακινήσεων του πραινούς του στομίου εξόδου σε κάθε φάση εκσκαφής. Πιο συγκεκριμένα απεικονίζονται οι μετακινήσεις κάποιων προεπιλεγμένων σημείων τοποθετημένων στις κεφαλές των αγκυρίων που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε φάση εκσκαφής για την αντιστήριξη του πραινούς. Οι μετακινήσεις αυτές είναι συναρτήσεως των υπολογιστικών βημάτων που χρειάστηκε να κάνει το πρόγραμμα μέχρι να φτάσει τις τιμές αυτών των μετακινήσεων. Τα σημεία αυτά επιλέχτηκαν πριν την εκτέλεση των υπολογισμών για τον έλεγχο ευστάθειας του πραινούς του στομίου εξόδου.

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



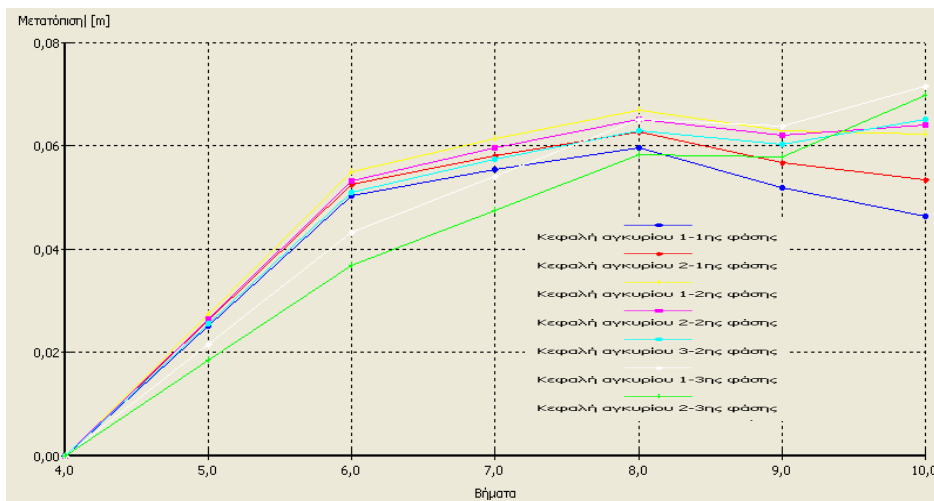
Σχήμα 11-62: Διάγραμμα μετακινήσεων των κεφαλών αγκυριών που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε φάση εκσκαφής συναρτήσει των υπολογιστικών βημάτων του προγράμματος (ανάλυση 1 πρηνούς στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model)

Στην αρχή του παραπάνω διαγράμματος φαίνεται ότι οι μετακινήσεις του τρίτου αγκυρίου της 3^{ης} φάσης εκσκαφής εμφανίζουν την μικρότερη τιμή σε σύγκριση με τα άλλα αγκύρια των τριών φάσεων εκσκαφής. Ωστόσο, από το έβδομο υπολογιστικό βήμα το αγκύριο αυτό παρουσιάζει να έχει μεγαλύτερη μετακίνηση και από τα τρία αγκύρια της 1^{ης} φάσης εκσκαφής. Μετά το έβδομο υπολογιστικό βήμα φαίνεται να εμφανίζει τις μικρότερες μετακινήσεις το πρώτο αγκύριο της 1^{ης} φάσης εκσκαφής.



Σχήμα 11-63: Διάγραμμα μετακινήσεων των κεφαλών αγκυριών που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε φάση εκσκαφής συναρτήσει των υπολογιστικών βημάτων του προγράμματος (ανάλυση 4 πρηνούς στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model)

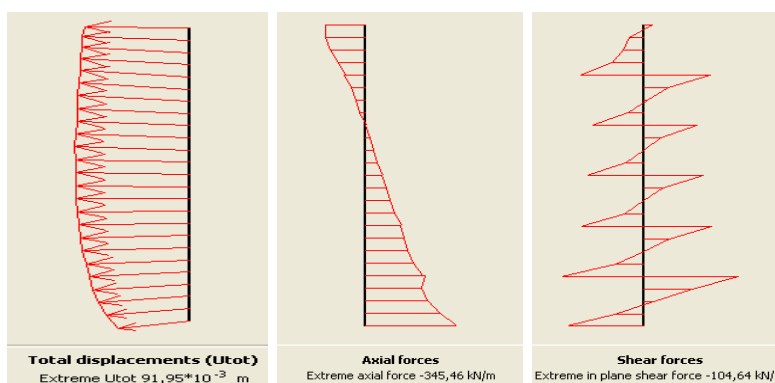
Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-64: Διάγραμμα μετακινήσεων των κεφαλών αγκυρίων που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε φάση εκσκαφής συναρτήσει των υπολογιστικών βημάτων του προγράμματος (ανάλυση 5 πρανούς στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model)

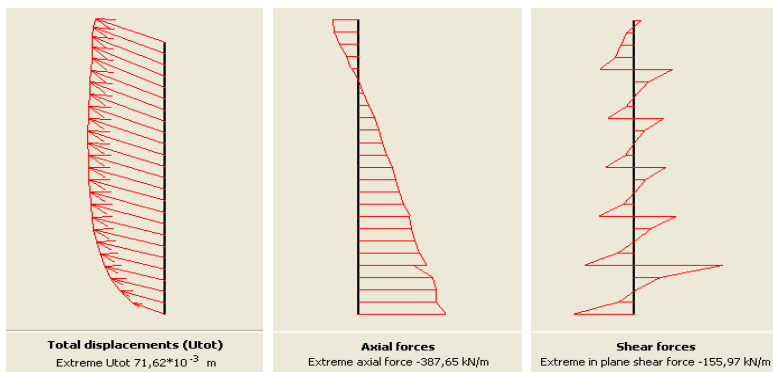
Τα δυο παραπάνω διαγράμματα των αγκυρίων παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά όσον αφορά στις μετακινήσεις. Αρχικά, φαίνεται ότι οι μετακινήσεις του τελευταίου αγκυρίου της 3^{ης} φάσης εκσκαφής είναι οι μικρότερες. Ωστόσο, μετά από το όγδοο υπολογιστικό βήμα είναι εμφανής η αύξηση των μετακινήσεων αυτού του αγκυρίου και κυρίως μετά το ένατο βήμα, καθώς και η μείωση των μετακινήσεων του πρώτου αγκυρίου της 1^{ης} φάσης εκσκαφής.

Τα επόμενα σχήματα (Σχήμα 11-65 έως 11-69) απεικονίζουν τις συνολικές μετακινήσεις του τοίχου αντιστήριξης του πρανούς του στομίου εξόδου, που εμφανίζονται στην 3^η φάση εκσκαφής. Επιπλέον, δίνουν μια εικόνα των εμφανιζόμενων αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων και πως αυτές κατανέμονται στον τοίχο.

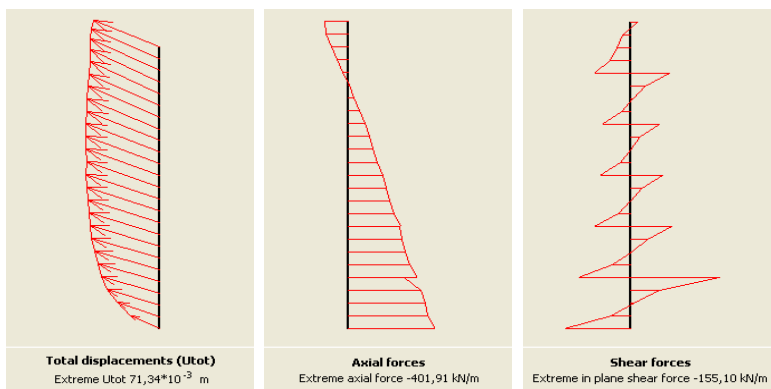


Σχήμα 11-65: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 1 του πρανούς του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model

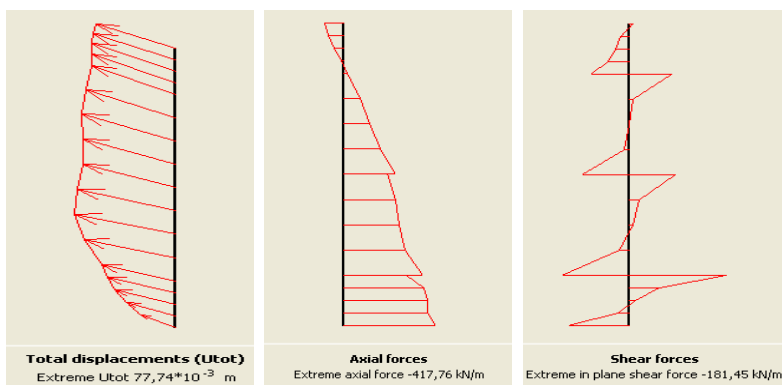
Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-66: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 2 του πρσανούς του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model

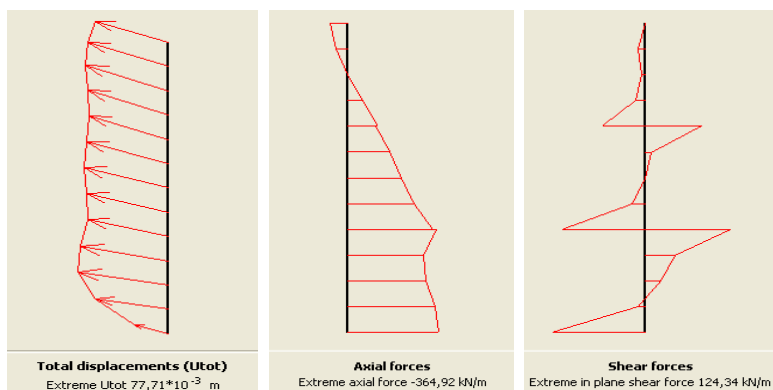


Σχήμα 11-67: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 3 του πρσανούς του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model



Σχήμα 11-68: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 4 του πρσανούς του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-69: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 5 του πρανούς του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model

Στα παραπάνω σχήματα των αναλύσεων προσομοίωσης του πρανούς του στομίου εξόδου παρατηρείται αύξηση στην τιμή των αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης.

Στους επόμενους πίνακες (Πίνακες 11-16 και 11-20) δίνονται οι τιμές των αξονικών φορτίων των αγκυρίων της τρίτης φάσης εκσκαφής των αναλύσεων προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκαν για το πρανές της εξόδου. Για τον έλεγχο της ευστάθειας του πρανούς του στομίου εξόδου χρησιμοποιήθηκε ένα είδος αγκυρίων. Στις αναλύσεις αυτές τα αγκύρια που εισήχθησαν, θεωρήθηκε ότι αποτελούνται από συρματόσχοινα διαμέτρου 30mm με φέρουσα ικανότητα 400kN.

Πίνακας 11-16: Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 1 εξόδου με Mohr Coulomb Model

3 ^η φάση εκσκαφής	1 ^ο αγκύριο	2 ^ο αγκύριο	3 ^ο αγκύριο	4 ^ο αγκύριο	5 ^ο αγκύριο
Αξονικό φορτίο (KN)	158,2	123,8	128,3	156,3	250,8
Συνολική μετατόπιση ($\cdot 10^{-3} \text{ m}$)	87,5	90,6	91,2	88,3	80,0

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Πίνακας 11-17: Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 2 εξόδου με Mohr Coulomb Model

3 ^η φάση εκσκαφής	1 ^ο αγκύριο	2 ^ο αγκύριο	3 ^ο αγκύριο	4 ^ο αγκύριο	5 ^ο αγκύριο
Αξονικό φορτίο (KN)	136,9	105,0	116,1	171,5	239,2
Συνολική μετατόπιση (*10 ⁻³ m)	69,7	71,1	70,4	66,7	58,1

Πίνακας 11-18: Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 3 εξόδου με Mohr Coulomb Model

3 ^η φάση εκσκαφής	1 ^ο αγκύριο	2 ^ο αγκύριο	3 ^ο αγκύριο	4 ^ο αγκύριο	5 ^ο αγκύριο
Αξονικό φορτίο (KN)	137,5	105,2	116,5	173,2	242,3
Συνολική μετατόπιση (*10 ⁻³ m)	69,6	70,9	70,1	66,4	57,8

Πίνακας 11-19: Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 4 εξόδου με Mohr Coulomb Model

3 ^η φάση εκσκαφής	1 ^ο αγκύριο	2 ^ο αγκύριο	3 ^ο αγκύριο
Αξονικό φορτίο (KN)	154,8	234,8	295,7
Συνολική μετατόπιση (*10 ⁻³ m)	70,9	74,1	59,9

Πίνακας 11-20: Τιμές αξονικών φορτίων και συνολικών μετακινήσεων αγκυρίων 3^{ης} φάσης της ανάλυσης 5 εξόδου με Mohr Coulomb Model

3 ^η φάση εκσκαφής	1 ^ο αγκύριο	2 ^ο αγκύριο
Αξονικό φορτίο (KN)	183,6	375,1
Συνολική μετατόπιση (*10 ⁻³ m)	71,7	70,2

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Από τους πέντε παραπάνω πίνακες φαίνεται ότι τα μεγαλύτερα αξονικά φορτία (που εμφανίζονται πάντως σημαντικά μειωμένα σε σχέση με τις προηγούμενες αναλύσεις) εμφανίζονται στο πέμπτο αγκύριο της τρίτης φάσης της πρώτης ανάλυσης, στο τρίτο αγκύριο της τέταρτης ανάλυσης, καθώς και στο δεύτερο αγκύριο της πέμπτης ανάλυσης. Παρόλα αυτά, δεν παρατηρείται να ξεπερνά την φέρουσα ικανότητα του κανένα από τα αγκύρια. Συγκρίνοντας τις τιμές των αξονικών φορτίων των αγκυρίων που χρησιμοποιήθηκαν, τόσο για την ευστάθεια του πρανούς του στομίου εισόδου, όσο και για την ευστάθεια του πρανούς του στομίου εξόδου, είναι εμφανές ότι τα αγκύρια των αναλύσεων της εισόδου αναλαμβάνουν μεγαλύτερα αξονικά φορτία.

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 11-21) δίνονται οι τιμές των συντελεστών ασφαλείας για κάθε μία φάση εκσκαφής των αναλύσεων προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκαν για το πρανές της εξόδου.

Πίνακας 11-21: Τιμές συντελεστών ασφαλείας για κάθε φάση εκσκαφής των αναλύσεων του πρανούς του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model

Αναλύσεις εξόδου	Συντελεστής ασφαλείας 1 ^{ης} φάσης	Συντελεστής ασφαλείας 2 ^{ης} φάσης	Συντελεστής ασφαλείας 3 ^{ης} φάσης
Ανάλυση 1	2,6	2,1	1,1
Ανάλυση 2	2,7	2,1	1,2
Ανάλυση 3	2,7	2,1	1,2
Ανάλυση 4	2,7	2,1	1,2
Ανάλυση 5	2,7	2,2	1,2

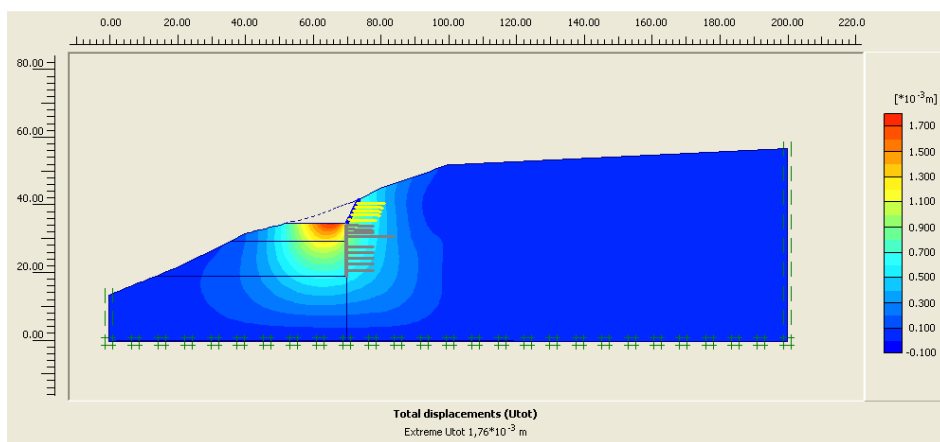
Από τον προηγούμενο πίνακα διαπιστώνεται ότι οι τιμές του συντελεστή ασφαλείας και των τριών φάσεων εκσκαφής αυξάνονται από την 1^η στην 5^η ανάλυση. Γι' αυτό το λόγο όπως αναφέρθηκε και για τις αναλύσεις ευστάθειας του πρανούς του στομίου εισόδου, έτσι και εδώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα μέτρα αντιστήριξης της πέμπτης ανάλυσης για την ευστάθεια του πρανούς, έναντι της πρώτης.

4.2.311.2.3 Αναλύσεις πρανούς στομίου εισόδου με αλλαγές στο μέτρο ελαστικότητας

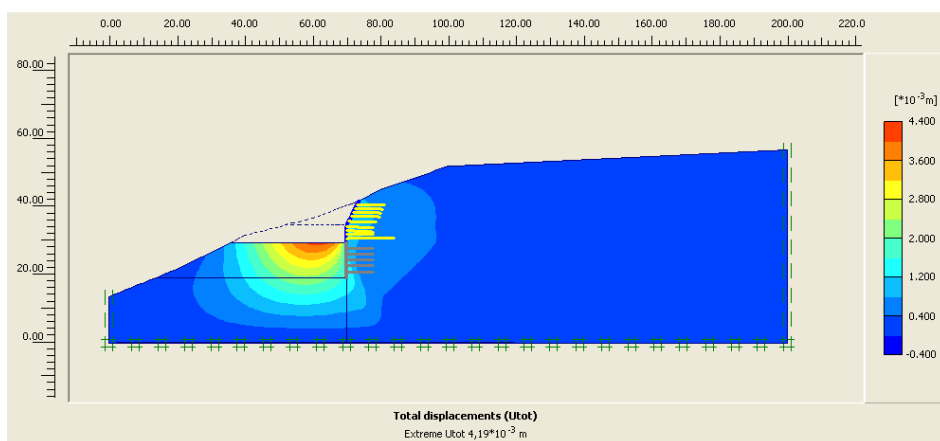
Στα πρώτα δώδεκα σχήματα (Σχήμα 11-70 έως 11-81) που ακολουθούν, απεικονίζονται οι συνολικές μετακινήσεις των αναλύσεων προσομοίωσης του πρανούς του στομίου εισόδου με διαφορετικά μέτρα ελαστικότητας. Σ' όλες αυτές τις αναλύσεις προσομοίωσης επιλέχθηκε σαν καταστατικό μοντέλο το Jointed Rock

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Model. Επιπλέον, τα μέτρα αντιστήριξης που χρησιμοποιήθηκαν είναι ίδια με αυτά της πρώτης ανάλυσης προσομοίωσης του πρανούς του στομίου εισόδου. Τα πρώτα τρία σχήματα (Σχήμα 10-70 έως 10-72) δείχνουν τις μετακινήσεις του πρανούς του στομίου με μέτρο ελαστικότητας 850MPa, ενώ τα επόμενα τρία (Σχήμα 10-73 έως 10-75) απεικονίζουν τις μετακινήσεις του πρανούς του στομίου με μέτρο ελαστικότητας 2000MPa. Τα σχήματα 10-76 έως 10-78 δείχνουν τις μετακινήσεις του πρανούς του στομίου με μέτρο ελαστικότητας 2500MPa, ενώ τα 10-79 έως 10-81 δείχνουν τις μετακινήσεις του πρανούς του στομίου με μέτρο ελαστικότητας 3000 MPa.

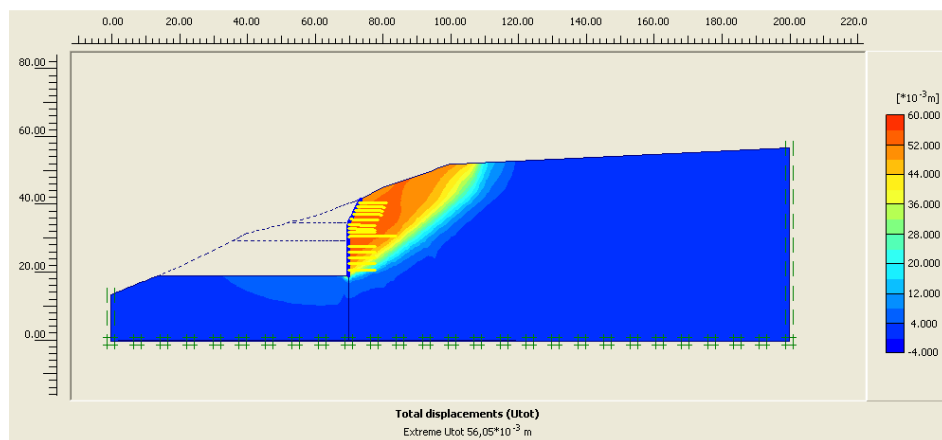


Σχήμα 11-70: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και μέτρο ελαστικότητας 850MPa



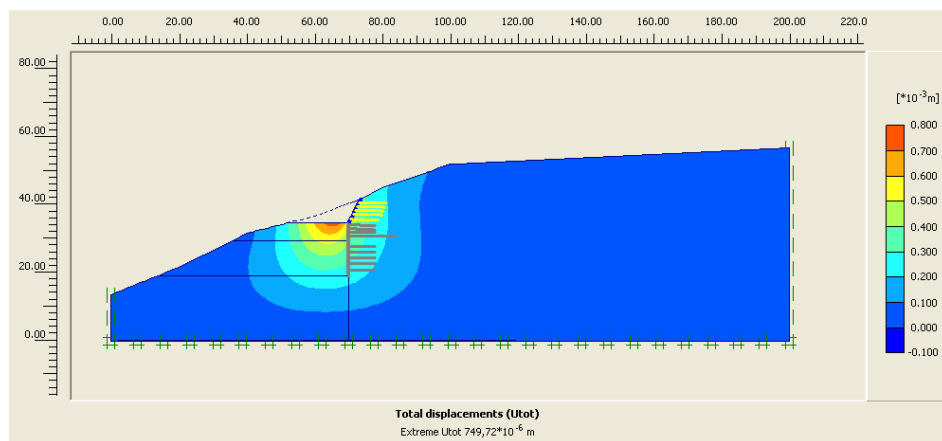
Σχήμα 11-71: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και μέτρο ελαστικότητας 850MPa

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



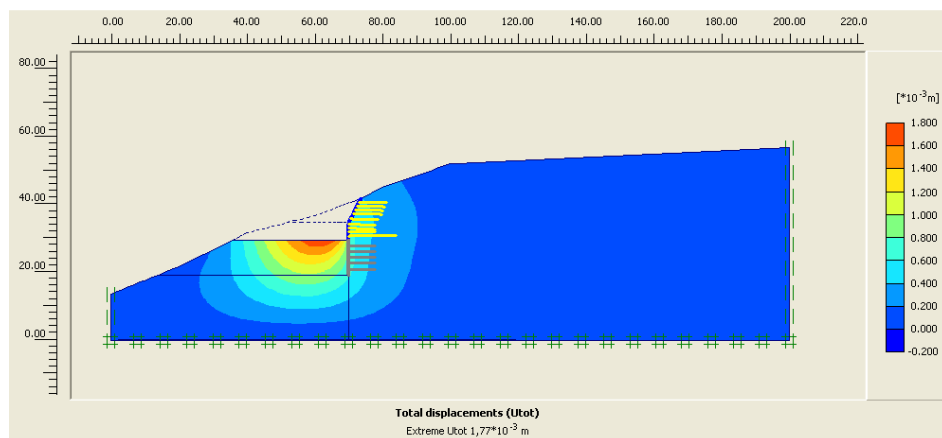
Σχήμα 11-72: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με *Jointed Rock Model* και μέτρο ελαστικότητας 850MPa

Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $1,8 \cdot 10^{-3}$ m και $4,2 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $56,1 \cdot 10^{-3}$ m.

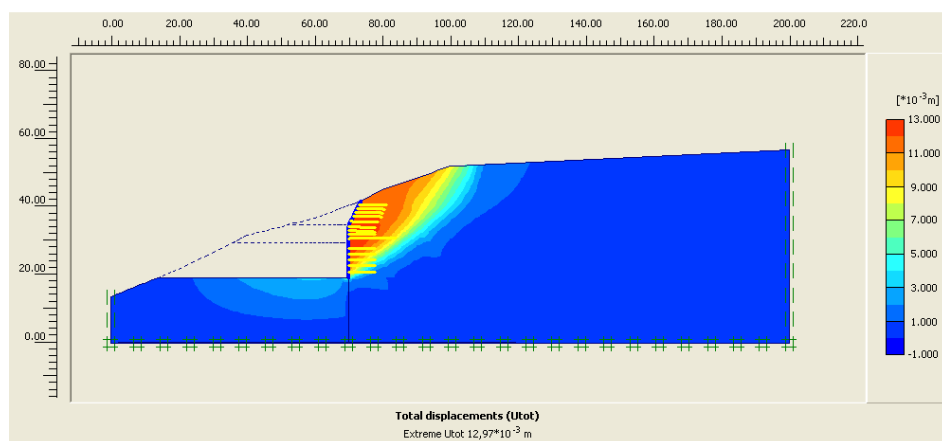


Σχήμα 11-73: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με *Jointed Rock Model* και μέτρο ελαστικότητας 2000MPa

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



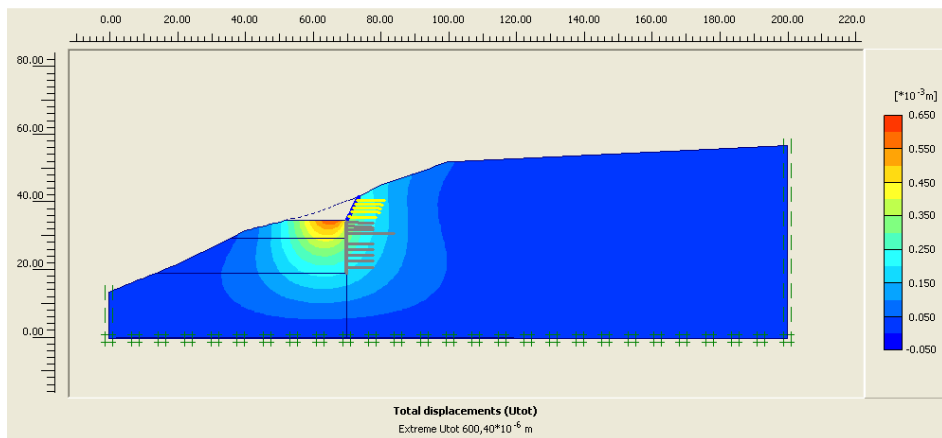
Σχήμα 11-74: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και μέτρο ελαστικότητας 2000MPa



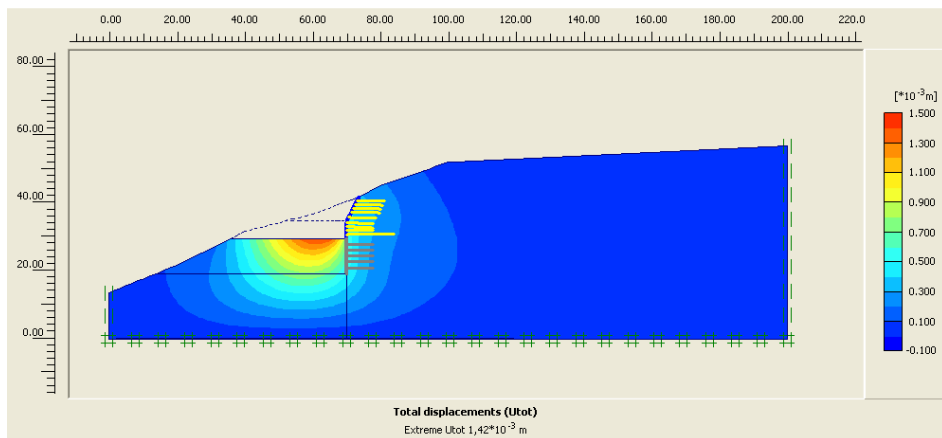
Σχήμα 11-75: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και μέτρο ελαστικότητας 2000MPa

Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $0,750 \cdot 10^{-3}$ m και $1,8 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $12,9 \cdot 10^{-3}$ m.

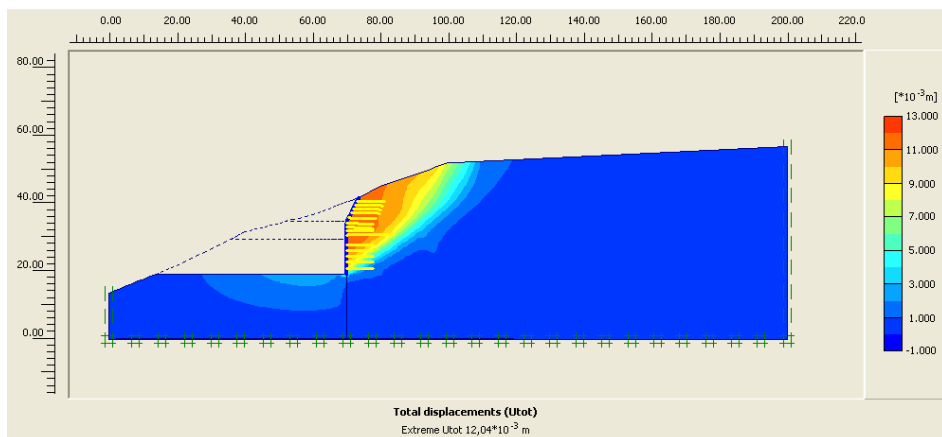
Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-76: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και μέτρο ελαστικότητας 2500MPa



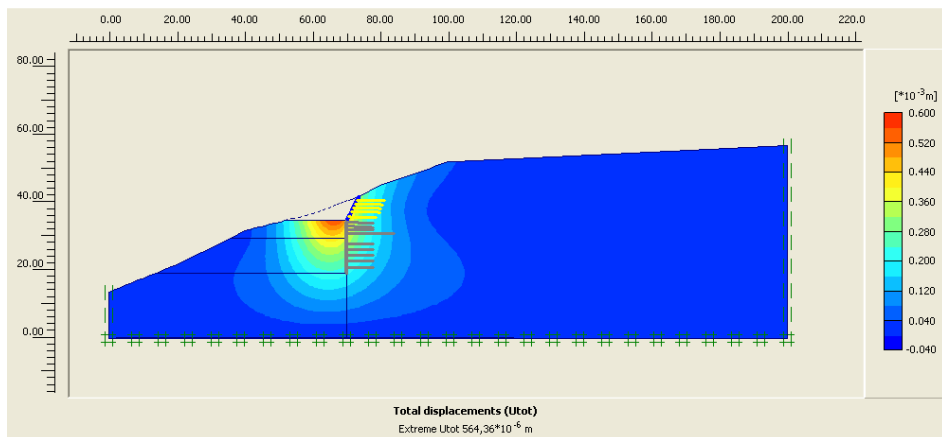
Σχήμα 11-77: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και μέτρο ελαστικότητας 2500MPa



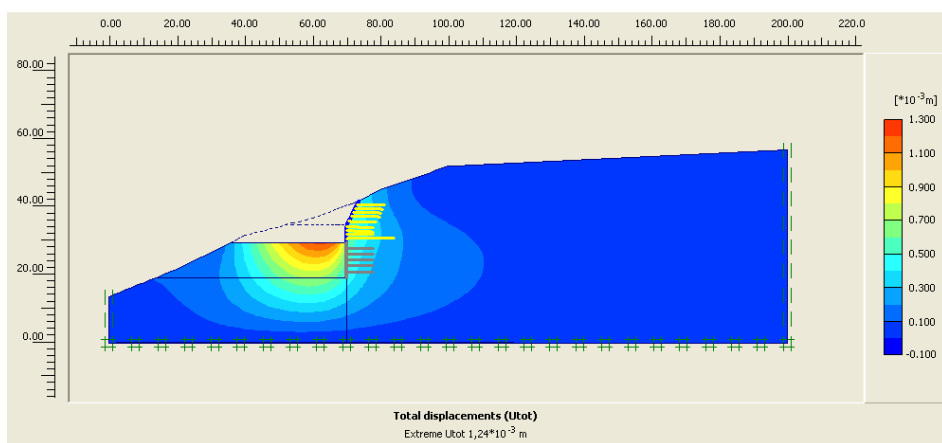
Σχήμα 11-78 : Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και μέτρο ελαστικότητας 2500MPa

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $0,600 \cdot 10^{-3}$ m και $1,4 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $12 \cdot 10^{-3}$ m.

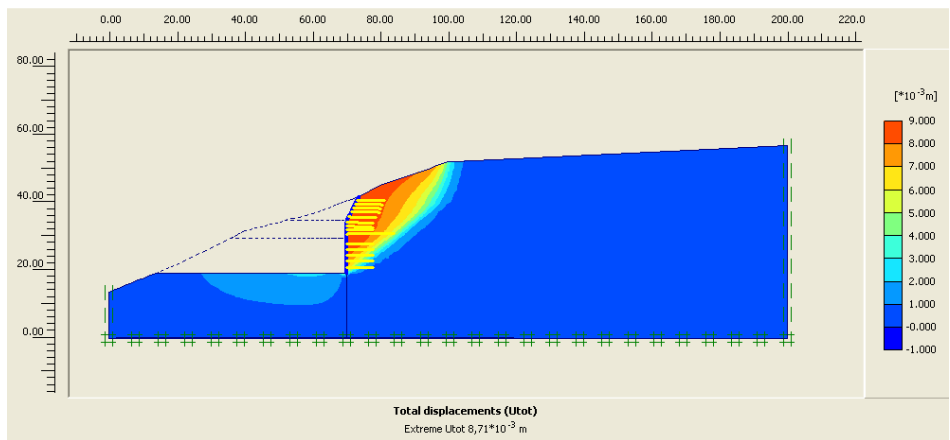


Σχήμα 11-79: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και μέτρο ελαστικότητας 3000MPa



Σχήμα 11-80: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και μέτρο ελαστικότητας 3000MPa

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-81: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και μέτρο ελαστικότητας 3000MPa

Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $0,564 \cdot 10^{-3}$ m και $1,2 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $8,7 \cdot 10^{-3}$ m.

Από τις παραπάνω αναλύσεις προσομοίωσης του πρσανούς του στομίου της εισόδου με διαφορετικό μέτρο ελαστικότητας, στις οποίες χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Jointed Rock διαπιστώνεται ότι στην 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής εμφανίζεται διόγκωση του εδάφους κάτω από την εκσκαφή. Η διόγκωση όμως που παρουσιάζεται στην 2^η φάση είναι μεγαλύτερη από αυτή της 1^{ης} φάσης. Αντίθετα, στην 3^η φάση εκσκαφής εμφανίζεται πλευρική μετατόπιση του πρσανούς, λόγω του μεγαλύτερου ύψους εκσκαφής. Η βασική όμως παρατήρηση είναι ότι όσο αυξάνεται το μέτρο ελαστικότητας, μειώνονται οι μετακινήσεις και των τριών φάσεων εκσκαφής.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 11-22) δίνονται συγκεντρωτικά οι τιμές των μετατοπίσεων για κάθε μία φάση εκσκαφής των αναλύσεων προσομοίωσης που έγιναν για το πρσανές της εισόδου με μεταβαλλόμενο το μέτρο ελαστικότητας.

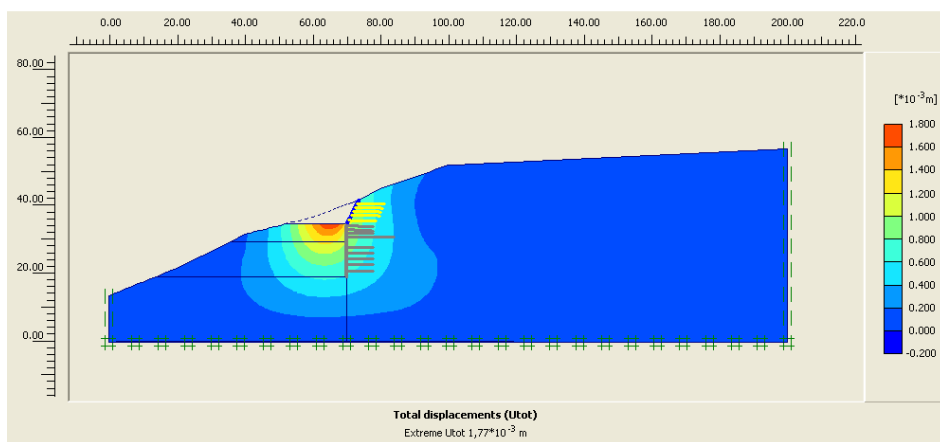
Πίνακας 11-22: Τιμές συνολικών μετακινήσεων του πρσανούς για κάθε φάση των αναλύσεων του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και μεταβαλλόμενο μέτρο ελαστικότητας

Αναλύσεις με διαφορετικό E	Μετακινήσεις 1 ^{ης} φάσης	Μετακινήσεις 2 ^{ης} φάσης	Μετακινήσεις 3 ^{ης} φάσης
Ανάλυση με 850	$1,8 \cdot 10^{-3}$ m	$4,1 \cdot 10^{-3}$ m	$56,1 \cdot 10^{-3}$ m
Ανάλυση με 2000	$0,750 \cdot 10^{-3}$ m	$1,77 \cdot 10^{-3}$ m	$12,9 \cdot 10^{-3}$ m
Ανάλυση με 2500	$0,600 \cdot 10^{-3}$ m	$1,4 \cdot 10^{-3}$ m	$12,0 \cdot 10^{-3}$ m
Ανάλυση με 3000	$0,564 \cdot 10^{-3}$ m	$1,2 \cdot 10^{-3}$ m	$8,7 \cdot 10^{-3}$ m

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

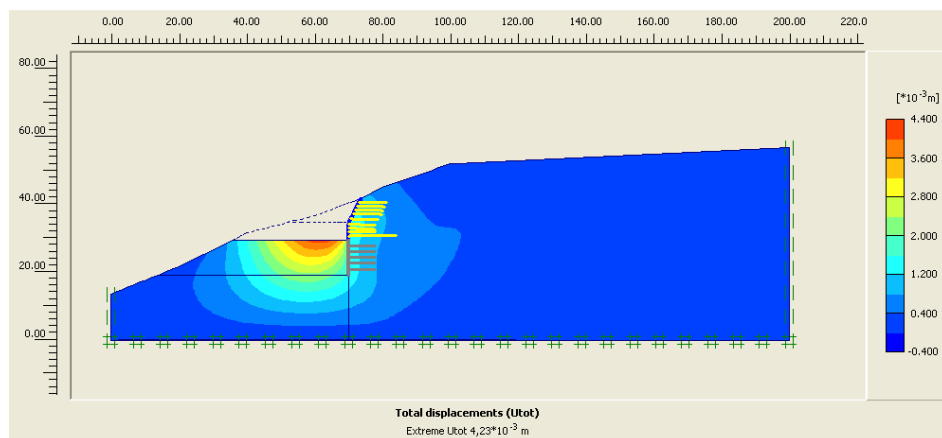
Στον παραπάνω πίνακα διακρίνεται μια μείωση των μετακινήσεων κάθε φάσης εκσκαφής, καθώς μεταβαίνουμε από την πρώτη στην τέταρτη ανάλυση. Παρατηρείται δηλαδή μείωση των μετακινήσεων, καθώς αυξάνεται το μέτρο ελαστικότητας του σχηματισμού της εισόδου της σήραγγας.

Στα επόμενα δώδεκα σχήματα (Σχήμα 11-82 έως 11-93) που ακολουθούν, φαίνονται οι συνολικές μετακινήσεις των αναλύσεων προσομοίωσης του πρσανούς του στομίου εισόδου με διαφορετικά μέτρα ελαστικότητας. Σ' αυτές τις αναλύσεις προσομοίωσης επιλέχθηκε σαν καταστατικό μοντέλο το Mohr Coulomb Model. Επιπλέον, τα μέτρα αντιστήριξης που χρησιμοποιήθηκαν είναι ίδια με αυτά της πρώτης ανάλυσης προσομοίωσης του πρσανούς του στομίου εισόδου. Τα πρώτα τρία σχήματα (Σχήματα 11-82 έως 11-84) δείχνουν τις μετακινήσεις του πρσανούς του στομίου με μέτρο ελαστικότητας 850MPa, ενώ τα επόμενα τρία (Σχήματα 11-85 έως 11-87) απεικονίζουν τις μετακινήσεις του πρσανούς του στομίου με μέτρο ελαστικότητας 2000MPa. Τα σχήματα 10-88 έως 10-90 δείχνουν τις μετακινήσεις του πρσανούς του στομίου με μέτρο ελαστικότητας 2500MPa, ενώ τα σχήματα 11-91 έως 11-93 δείχνουν τις μετακινήσεις του πρσανούς του στομίου με μέτρο ελαστικότητας 3000 MPa.

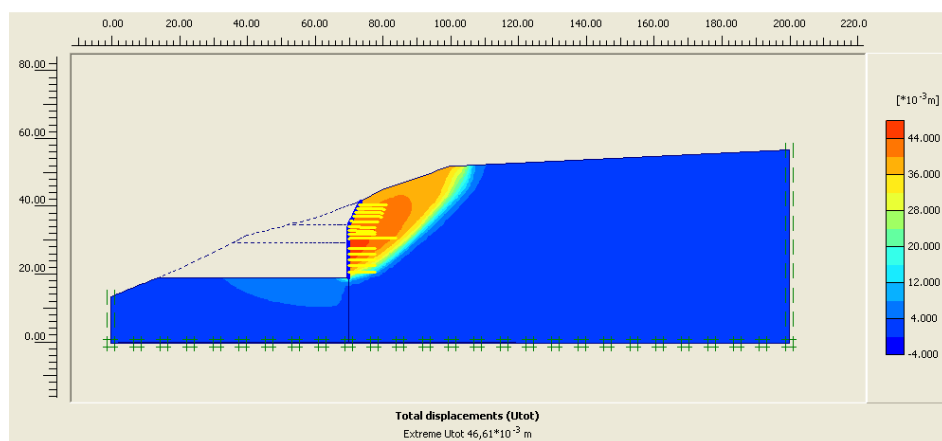


Σχήμα 11-82: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model και μέτρο ελαστικότητας 850MPa

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



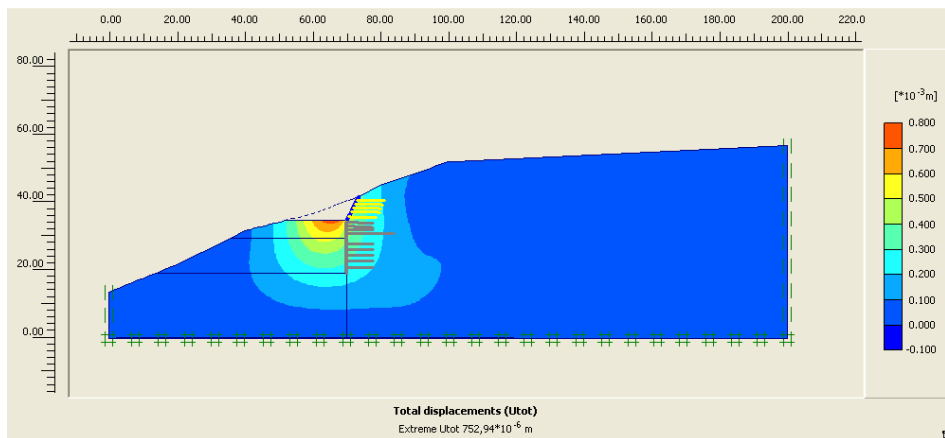
Σχήμα 11-83: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model και μέτρο ελαστικότητας 850MPa



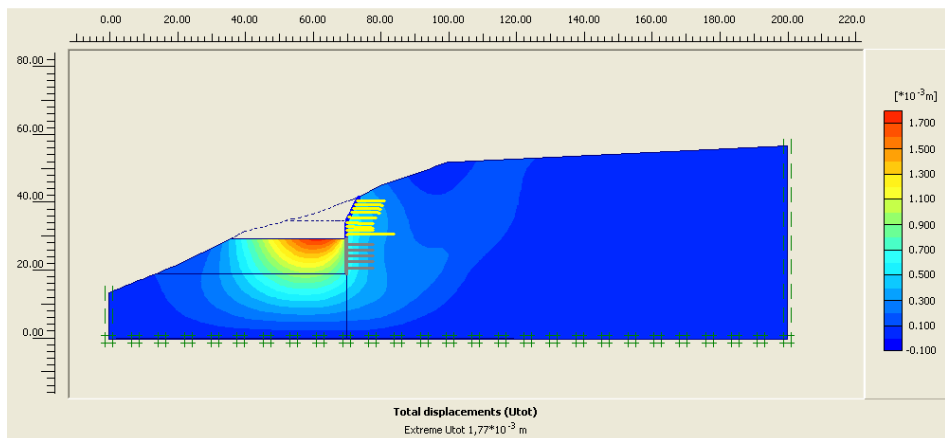
Σχήμα 11-84: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model και μέτρο ελαστικότητας 850MPa

Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $1,8 \cdot 10^{-3}$ m και $4,2 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $46,6 \cdot 10^{-3}$ m.

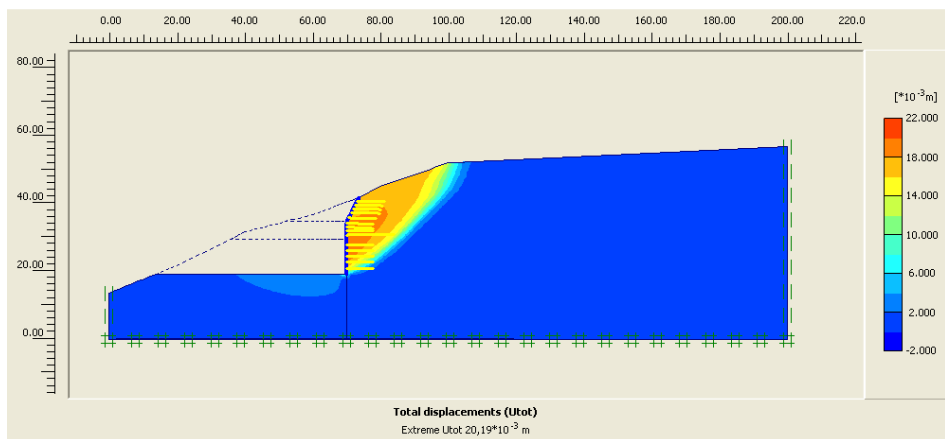
Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-85: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model και μέτρο ελαστικότητας 2000MPa



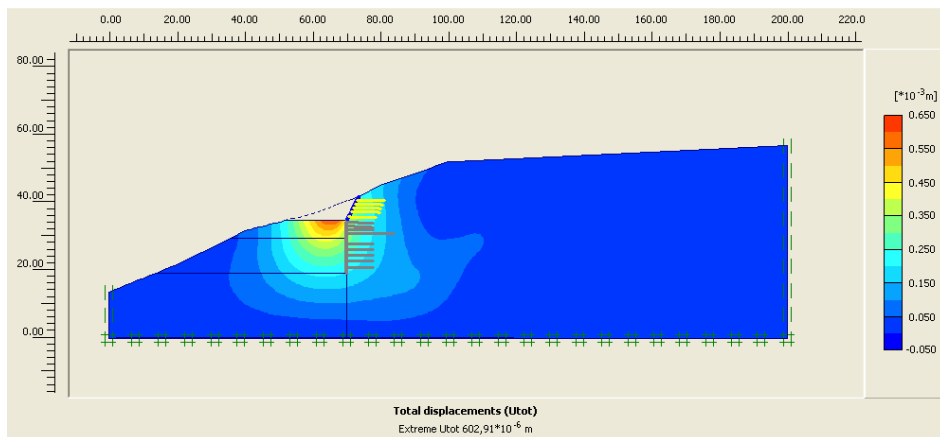
Σχήμα 11-86: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model και μέτρο ελαστικότητας 2000MPa



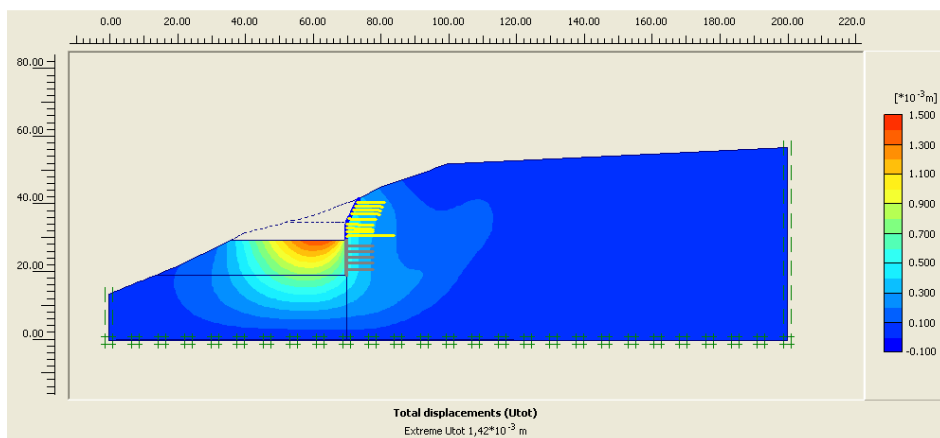
Σχήμα 11-87: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model και μέτρο ελαστικότητας 2000MPa

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $0,753 \cdot 10^{-3}$ m και $1,8 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $20,1 \cdot 10^{-3}$ m.

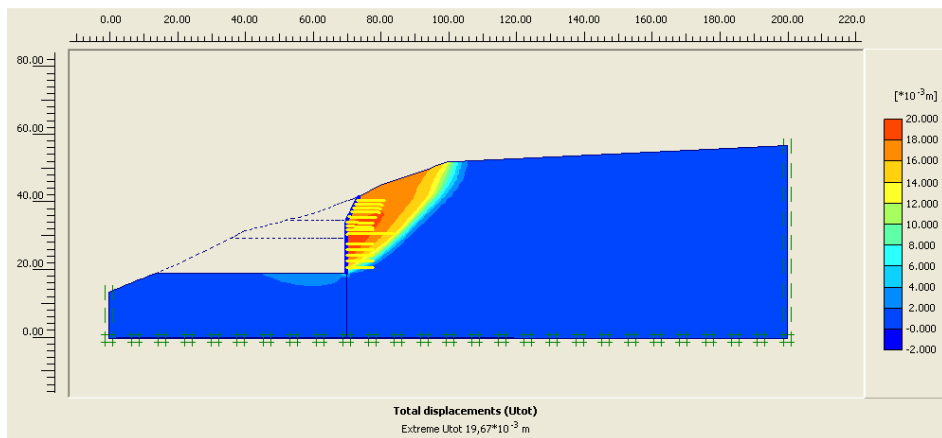


Σχήμα 11-88: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model και μέτρο ελαστικότητας 2500MPa



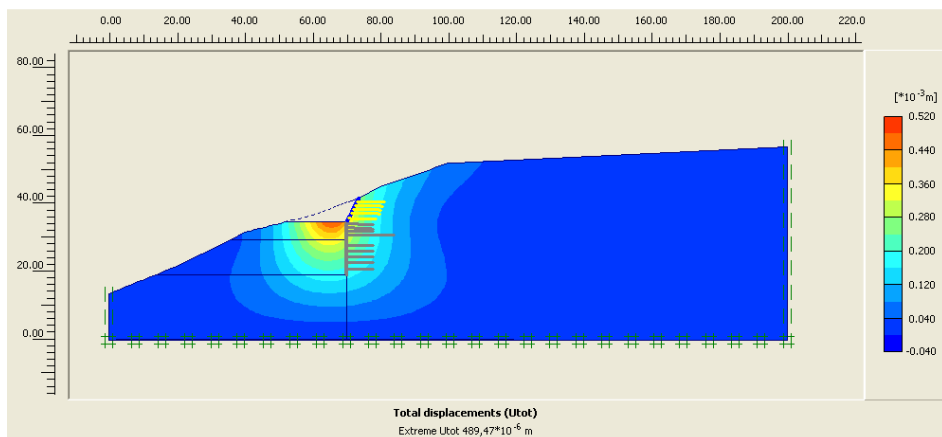
Σχήμα 11-89: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model και μέτρο ελαστικότητας 2500MPa

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



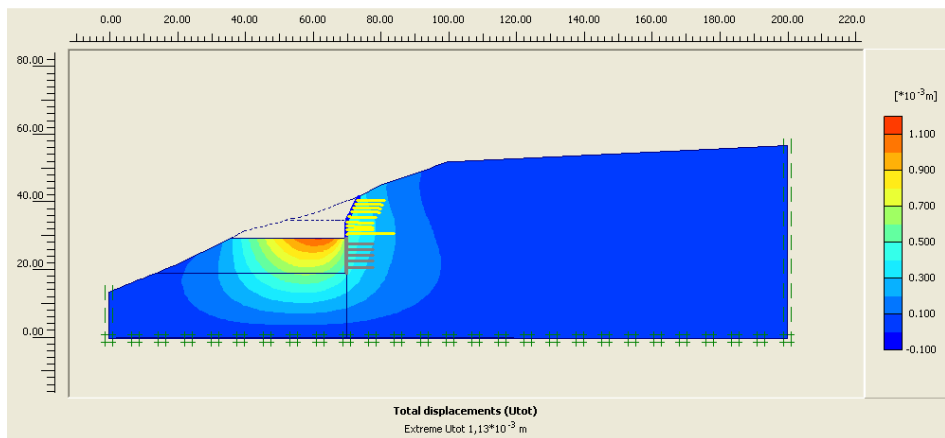
Σχήμα 11-90: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model και μέτρο ελαστικότητας 2500MPa

Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $0,603 \cdot 10^{-3}$ m και $1,4 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $19,7 \cdot 10^{-3}$ m.

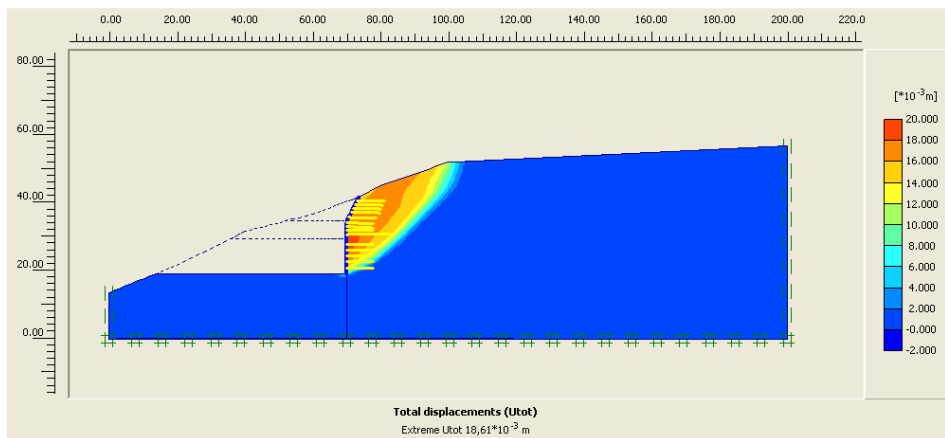


Σχήμα 11-91: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model και μέτρο ελαστικότητας 3000MPa

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-92: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model και μέτρο ελαστικότητας 3000MPa



Σχήμα 11-93: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model και μέτρο ελαστικότητας 3000MPa

Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $0,489 \cdot 10^{-3}$ m και $1,1 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $18,6 \cdot 10^{-3}$ m.

Από τις προηγούμενες αναλύσεις προσομοίωσης του πρανούς του στομίου της εισόδου, στις οποίες χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Mohr Coulomb διαπιστώνεται ότι στην 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής εμφανίζεται ανύψωση του εδάφους κάτω από την εκσκαφή. Η διόγκωση όμως που παρουσιάζεται στην 2^η φάση είναι μεγαλύτερη από αυτή της 1^{ης} φάσης. Σε καμία όμως από τις προαναφερθείσες φάσεις δεν φαίνεται να εμφανίζεται πλευρική παραμόρφωση του πρανούς. Αυτό φαίνεται να συμβαίνει στην 3^η φάση εκσκαφής, λόγω του μεγαλύτερου ύψους εκσκαφής. Συγκρίνοντας τα

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

αποτελέσματα των αναλύσεων που έγιναν με τα δυο μοντέλα διαπιστώνεται ότι οι μετακινήσεις των τριών φάσεων εκσκαφής μειώνονται, όσο αυξάνεται το μέτρο ελαστικότητας.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 11-23) δίνονται οι τιμές των μετατοπίσεων για κάθε μία φάση εκσκαφής των αναλύσεων προσομοίωσης που έγιναν για το πρανός της εισόδου με μεταβαλλόμενο το μέτρο ελαστικότητας (μοντέλο Mohr Coulomb).

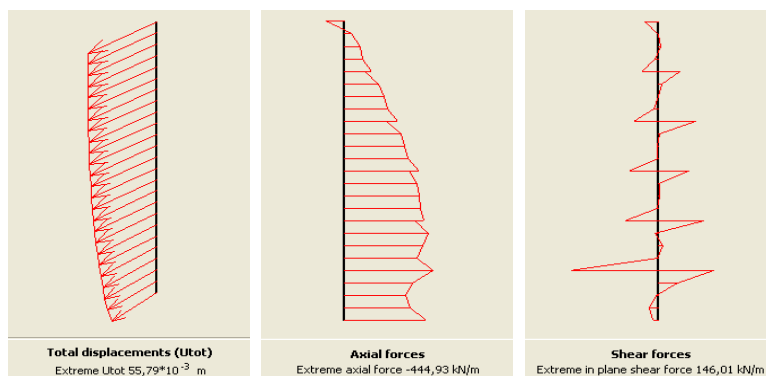
Πίνακας 11-23: Τιμές συνολικών μετακινήσεων του πρανούς για κάθε φάση των αναλύσεων του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model και μεταβαλλόμενο μέτρο ελαστικότητας

Αναλύσεις με διαφορετικό E	Μετακινήσεις 1 ^{ης} φάσης	Μετακινήσεις 2 ^{ης} φάσης	Μετακινήσεις 3 ^{ης} φάσης
Ανάλυση με 850	$1,77 * 10^{-3} \text{ m}$	$4,2 * 10^{-3} \text{ m}$	$46,6 * 10^{-3} \text{ m}$
Ανάλυση με 2000	$0,753 * 10^{-3} \text{ m}$	$1,8 * 10^{-3} \text{ m}$	$20,2 * 10^{-3} \text{ m}$
Ανάλυση με 2500	$0,603 * 10^{-3} \text{ m}$	$1,4 * 10^{-3} \text{ m}$	$19,7 * 10^{-3} \text{ m}$
Ανάλυση με 3000	$0,489 * 10^{-3} \text{ m}$	$1,1 * 10^{-3} \text{ m}$	$18,6 * 10^{-3} \text{ m}$

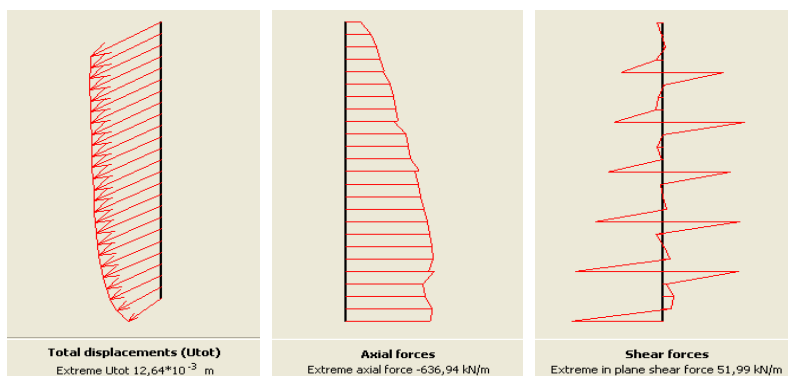
Στον παραπάνω πίνακα διακρίνεται μια μείωση των μετακινήσεων κάθε φάσης εκσκαφής, καθώς μεταβαίνουμε από την πρώτη στην τέταρτη ανάλυση. Παρατηρείται δηλαδή μείωση των μετακινήσεων, καθώς αυξάνεται το μέτρο ελαστικότητας του σχηματισμού της εισόδου της σήραγγας. Αυτό διαπιστώθηκε ότι συμβαίνει και στο μοντέλο προσομοίωσης Jointed Rock.

Τα επόμενα σχήματα (Σχήμα 11-94 έως 11-101) απεικονίζουν τις συνολικές μετακινήσεις του τοίχου αντιστήριξης του πρανούς του στομίου εισόδου (με μεταβαλλόμενο το μέτρο ελαστικότητας), που εμφανίζονται στην 3^η φάση εκσκαφής. Επιπλέον, δίνουν μια εικόνα των εμφανιζόμενων αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων και πως αυτές κατανέμονται στον τοίχο.

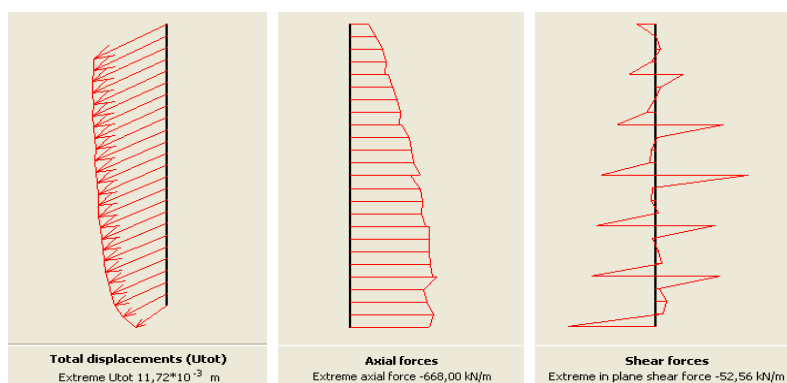
Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-94: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3^{ης} φάσης της ανάλυσης του πρανούς του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και μέτρο ελαστικότητας 850 MPa



Σχήμα 11-95: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3^{ης} φάσης της ανάλυσης του πρανούς του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και μέτρο ελαστικότητας 2000 MPa



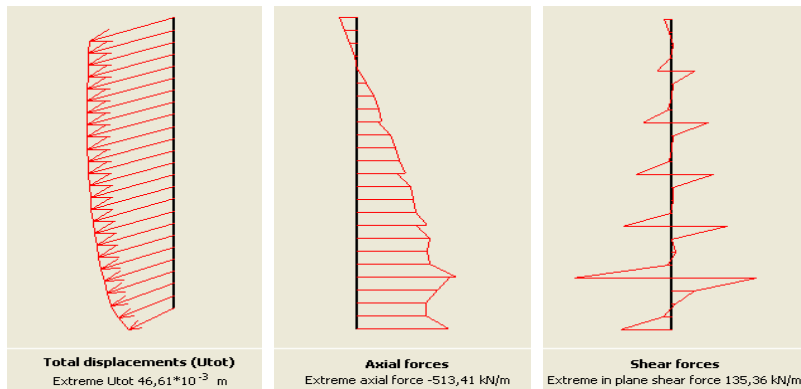
Σχήμα 11-96: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3^{ης} φάσης της ανάλυσης του πρανούς του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και μέτρο ελαστικότητας 2500 MPa

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



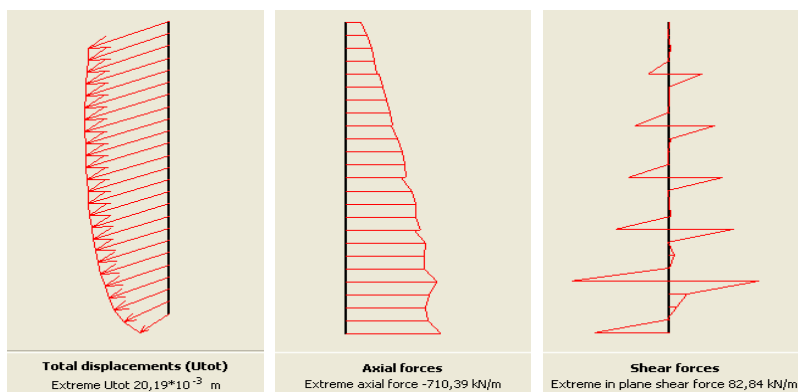
Σχήμα 11-97: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3^{ης} φάσης της ανάλυσης πρανούς του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και μέτρο ελαστικότητας 3000 MPa

Στα παραπάνω σχήματα των αναλύσεων προσομοίωσης του πρανούς με το μοντέλο Jointed Rock και αυξανόμενο το μέτρο ελαστικότητας, παρατηρείται μείωση των συνολικών μετακινήσεων του τοίχους αντιστήριξης. Ωστόσο, αυξάνονται οι αξονικές δυνάμεις, ενώ μειώνονται οι τέμνουσες.

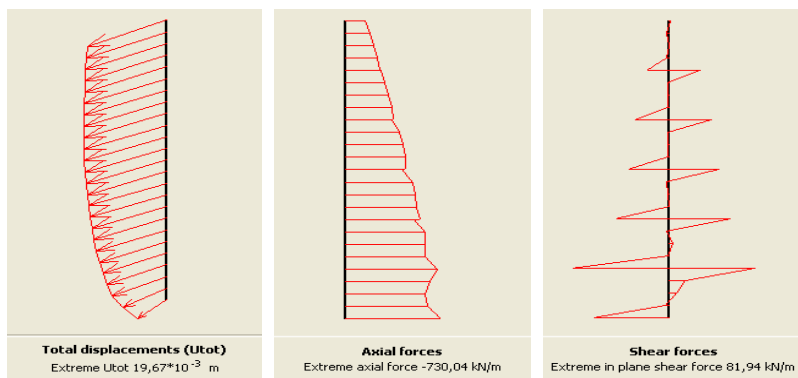


Σχήμα 11-98: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3^{ης} φάσης της ανάλυσης πρανούς του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model και μέτρο ελαστικότητας 850 MPa

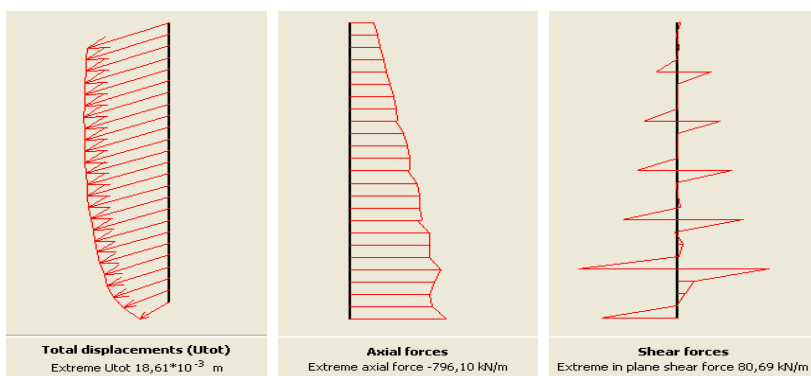
Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-99: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3^{ης} φάσης της ανάλυσης πρανούς του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model και μέτρο ελαστικότητας 2000 MPa



Σχήμα 11-100: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3^{ης} φάσης της ανάλυσης πρανούς του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model και μέτρο ελαστικότητας 2500 MPa



Σχήμα 11-101: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3^{ης} φάσης της ανάλυσης πρανούς του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model και μέτρο ελαστικότητας 3000 MPa

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Όπως παρατηρήθηκε στα σχήματα των αναλύσεων προσομοίωσης του πρανούς με το μοντέλο Jointed Rock Model, έτσι και στα προηγούμενα σχήματα των αναλύσεων προσομοίωσης του πρανούς με το μοντέλο Mohr Coulomb διακρίνεται μείωση των συνολικών μετακινήσεων του τοίχους αντιστήριξης. Ωστόσο, αυξάνονται οι αξονικές δυνάμεις, ενώ μειώνονται οι τέμνουσες.

Στους επόμενους πίνακες (Πίνακες 11-24 και 11-25) δίνονται οι τιμές των συντελεστών ασφαλείας για κάθε μία φάση εκσκαφής των αναλύσεων προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκαν για το πρανές της εισόδου με μεταβαλλόμενο το μέτρο ελαστικότητας.

Πίνακας 11-24: Τιμές συντελεστών ασφαλείας για κάθε φάση εκσκαφής των αναλύσεων του πρανούς του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και μεταβαλλόμενο το μέτρο ελαστικότητας

Αναλύσεις με διαφορετικό E με Jointed Rock Model	Συντελεστής ασφαλείας 1 ^{ης} φάσης	Συντελεστής ασφαλείας 2 ^{ης} φάσης	Συντελεστής ασφαλείας 3 ^{ης} φάσης
Ανάλυση με 850	1,9	1,6	1,1
Ανάλυση με 2000	2,2	1,7	1,2
Ανάλυση με 2500	2,2	1,8	1,2
Ανάλυση με 3000	2,2	1,7	1,2

Πίνακας 11-25: Τιμές συντελεστών ασφαλείας για κάθε φάση εκσκαφής των αναλύσεων του πρανούς του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model και μεταβαλλόμενο το μέτρο ελαστικότητας

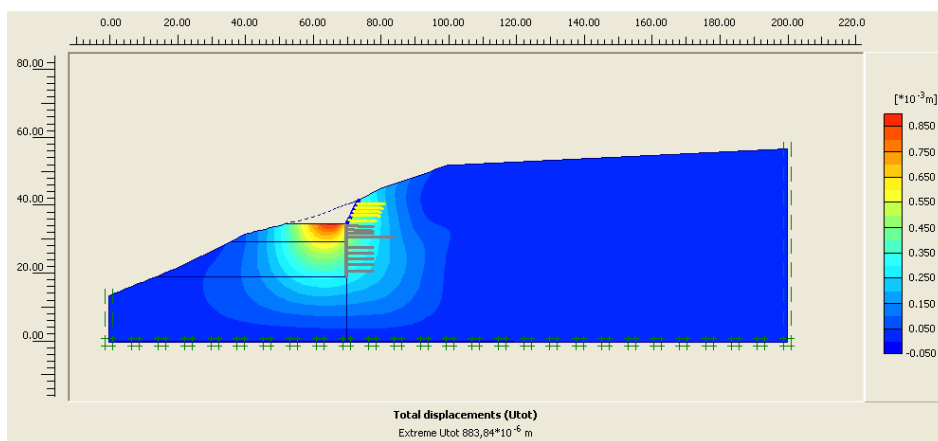
Αναλύσεις με διαφορετικό E με Mohr Coulomb Model	Συντελεστής ασφαλείας 1 ^{ης} φάσης	Συντελεστής ασφαλείας 2 ^{ης} φάσης	Συντελεστής ασφαλείας 3 ^{ης} φάσης
Ανάλυση με 850	2,0	1,6	1,1
Ανάλυση με 2000	2,1	1,6	1,1
Ανάλυση με 2500	2,1	1,7	1,1
Ανάλυση με 3000	2,1	1,7	1,2

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

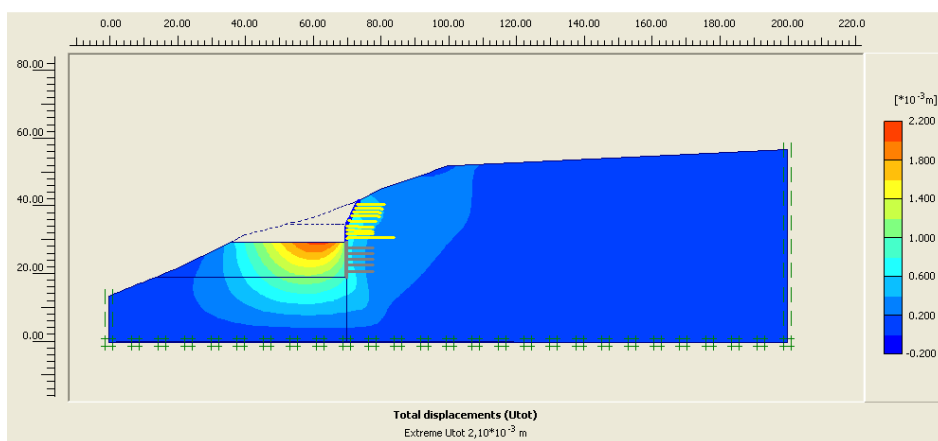
Από τους προηγούμενους πίνακες προκύπτει ότι οι συντελεστές ασφαλείας αυξάνονται καθώς αυξάνεται το μέτρο ελαστικότητας του σχηματισμού του πρανούς του στομίου εισόδου. Αυτό ισχύει για τις αναλύσεις και των δυο μοντέλων (Jointed Rock και Mohr Coulomb).

14.2.411.2.4 Ανάλυση πρανούς στομίου εισόδου με αλλαγή στη γωνία τριβής

Τα τρία σχήματα (Σχήμα 11-102 έως 11-104) που ακολουθούν, απεικονίζουν τις μετακινήσεις της προσομοίωσης του πρανούς του στομίου εισόδου, στην οποία χρησιμοποιήθηκε γωνία τριβής 19° και τα ίδια μέτρα αντιστήριξης με αυτά της αντίστοιχης πρώτης ανάλυσης προσομοίωσης του πρανούς του στομίου εισόδου.

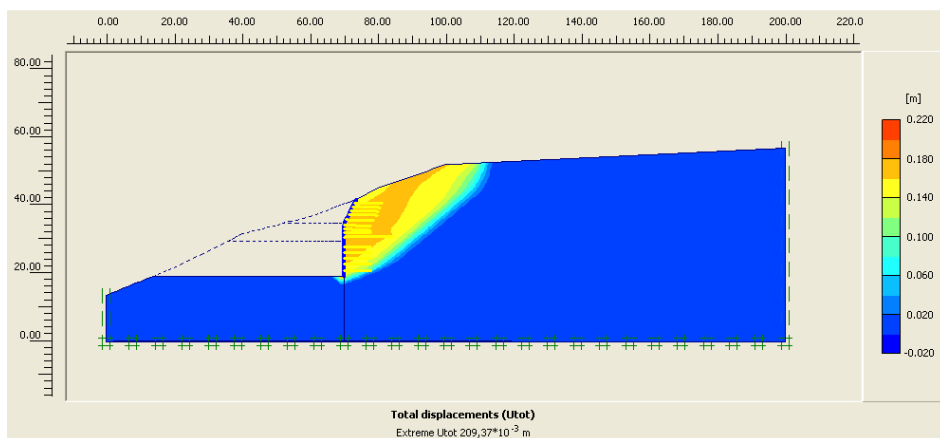


Σχήμα 11-102: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και γωνία τριβής 19°



Σχήμα 11-103: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και γωνία τριβής 19°

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-104: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρανούς της ανάλυσης του στομίου εισόδου με *Jointed Rock Model* και γωνία τριβής 19^ο

Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $0,884 \cdot 10^{-3}$ m και $2,1 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $210 \cdot 10^{-3}$ m.

Μελετώντας τα τρία προηγούμενα σχήματα φαίνεται ότι οι μετακινήσεις της 3^{ης} φάσης εκσκαφής που προκύπτουν από τις αναλύσεις με γωνία τριβής 19^ο είναι μεγαλύτερες από τις μετακινήσεις των αναλύσεων, στις οποίες χρησιμοποιήθηκε γωνία τριβής 21^ο. Στις παραπάνω αναλύσεις παρατηρήθηκε ανύψωση του δαπέδου του πρανούς στην 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής. Ενώ στην 3^η φάση παρατηρήθηκε πλευρική μετακίνηση του πρανούς του στομίου. Επιπλέον, οι μετακινήσεις της 3^{ης} φάσης εκσκαφής της ανάλυσης με μειωμένη γωνία τριβής εμφανίζουν τιμές πολύ μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες τιμές των μετακινήσεων των άλλων αναλύσεων που έγιναν για το πρανές του στομίου εισόδου.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 11-26) δίνονται οι τιμές των μετατοπίσεων για κάθε μία φάση εκσκαφής της ανάλυσης προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε για το πρανές της εισόδου με μειωμένη γωνία τριβής.

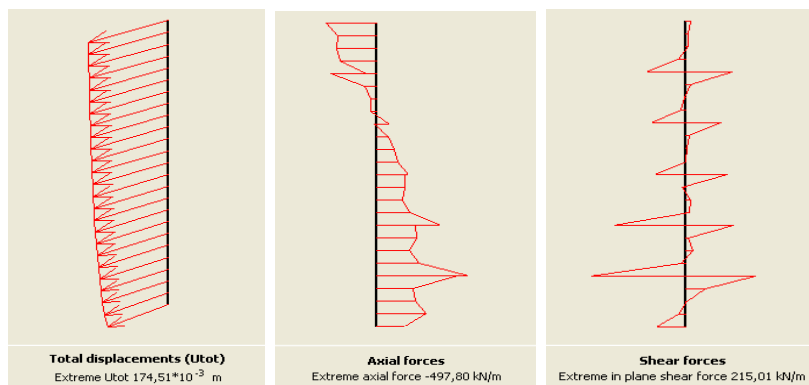
Πίνακας 11-26: Τιμές συνολικών μετακινήσεων του πρανούς για κάθε φάση της ανάλυσης του στομίου εισόδου με *Jointed Rock Model* και μειωμένη γωνία τριβής

Ανάλυση με $\varphi=19^{\circ}$	Μετακινήσεις 1 ^{ης} φάσης	Μετακινήσεις 2 ^{ης} φάσης	Μετακινήσεις 3 ^{ης} φάσης
	$0,884 \cdot 10^{-3}$ m	$2,1 \cdot 10^{-3}$ m	$210 \cdot 10^{-3}$ m

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Στον προηγούμενο πίνακα παρατηρείται αύξηση των τελικών μετακινήσεων του πρσανούς, σε σύγκριση με τις μετακινήσεις των άλλων φάσεων εκσκαφής.

Το επόμενο σχήμα (Σχήμα 11-105) απεικονίζει τις συνολικές μετακινήσεις του τοίχου αντιστήριξης του πρσανούς του στομίου εισόδου (με γωνία τριβής 19°) που εμφανίζονται στην τρίτη φάση εκσκαφής. Επιπλέον, δίνουν μια εικόνα των εμφανιζόμενων αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων και πως αυτές κατανέμονται στον τοίχο.



Σχήμα 11-105: Διαγράμματα συνολικών μετακινήσεων, αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίζονται στον τοίχο αντιστήριξης της 3^{ης} φάσης της ανάλυσης πρσανούς του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model και γωνία τριβής 19°

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 11-27) δίνονται οι τιμές των συντελεστών ασφαλείας για κάθε μία φάση εκσκαφής της ανάλυσης προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε για το πρσανές της εισόδου με μειωμένη γωνία τριβής.

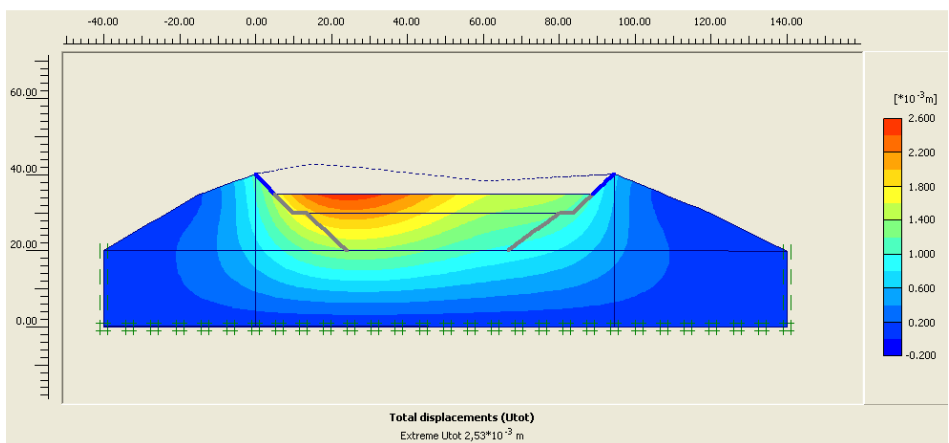
Πίνακας 11-27: Τιμές συντελεστών ασφαλείας για κάθε φάση εκσκαφής της ανάλυσης του πρσανούς του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model και μειωμένη γωνία τριβής

Ανάλυση με $\phi=19^{\circ}$	Μετακινήσεις 1 ^{ης} φάσης	Μετακινήσεις 2 ^{ης} φάσης	Μετακινήσεις 3 ^{ης} φάσης
	1,8	1,5	1,1

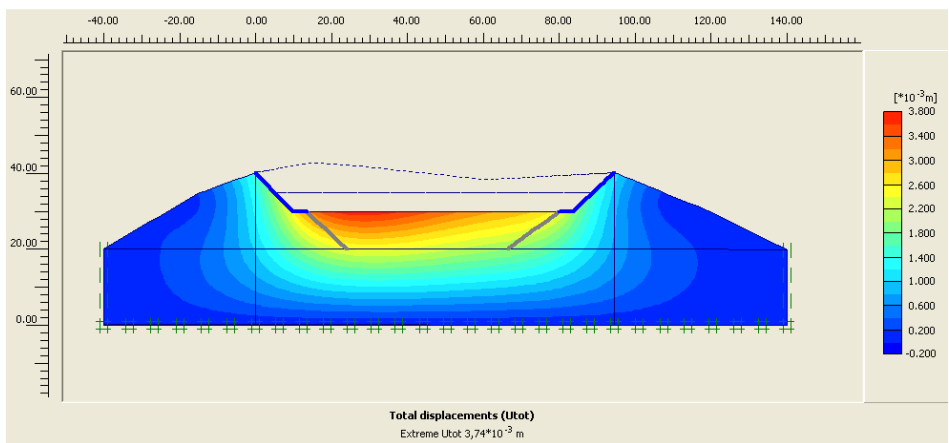
Από τον προηγούμενο πίνακα προκύπτει ότι οι τιμές των συντελεστών ασφαλείας, όσον αφορά την ευστάθεια του πρσανούς του στομίου εισόδου με γωνία τριβής 19° , είναι παρόμοιες με αυτές της ανάλυσης με γωνία τριβής 21° .

11.2.5 Αναλύσεις πλευρικών πρηνών στομίου εισόδου

Στα έξι σχήματα (Σχήμα 11-106 έως 11-111) που ακολουθούν, φαίνονται οι συνολικές μετακινήσεις των πλευρικών πρηνών του πρηνούς του στομίου εισόδου κατά την εκσκαφή των τριών φάσεων. Στις πρώτες τρεις αναλύσεις (Σχήμα 11-106 έως 11-108) επιλέχθηκε το μοντέλο Jointed Rock για την προσομοίωση, ενώ στις επόμενες τρεις (Σχήμα 11-109 έως 11-111) επιλέχθηκε το μοντέλο Mohr Coulomb.

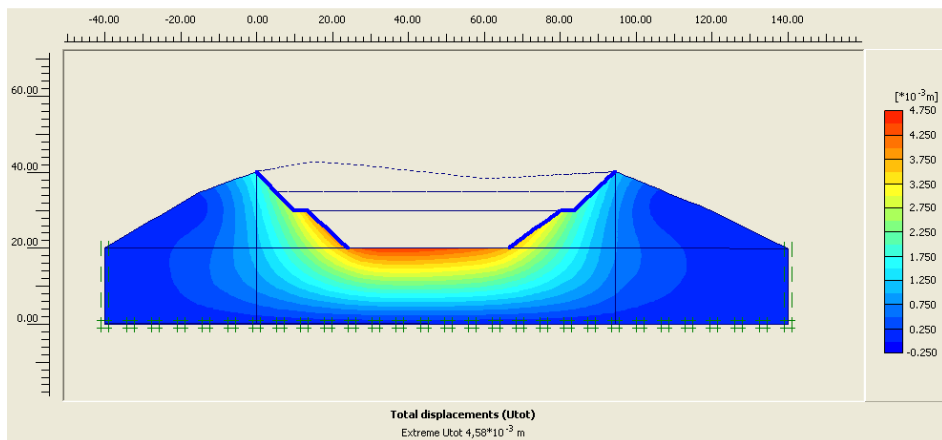


Σχήμα 11-106: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρηνούς της ανάλυσης των πλευρικών πρηνών του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model



Σχήμα 11-107: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρηνούς της ανάλυσης των πλευρικών πρηνών του στομίου εισόδου με Jointed Rock Model

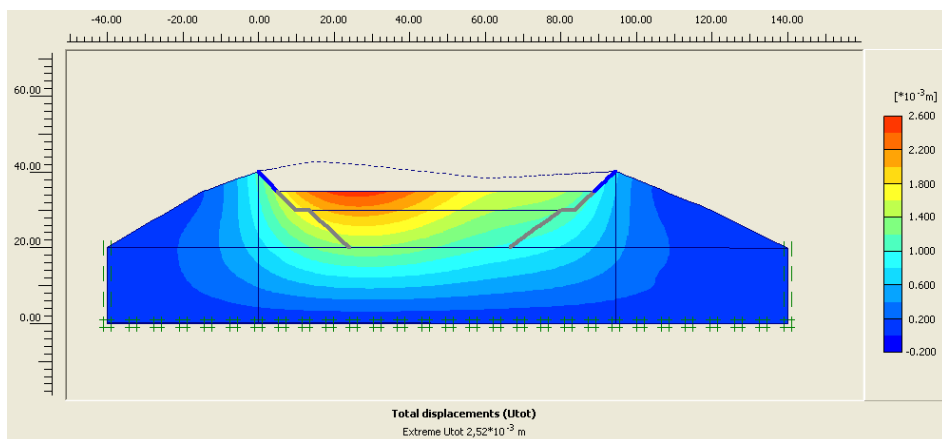
Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-108: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης των πλευρικών πρσανών του στομίου εισόδου με *Jointed Rock Model*

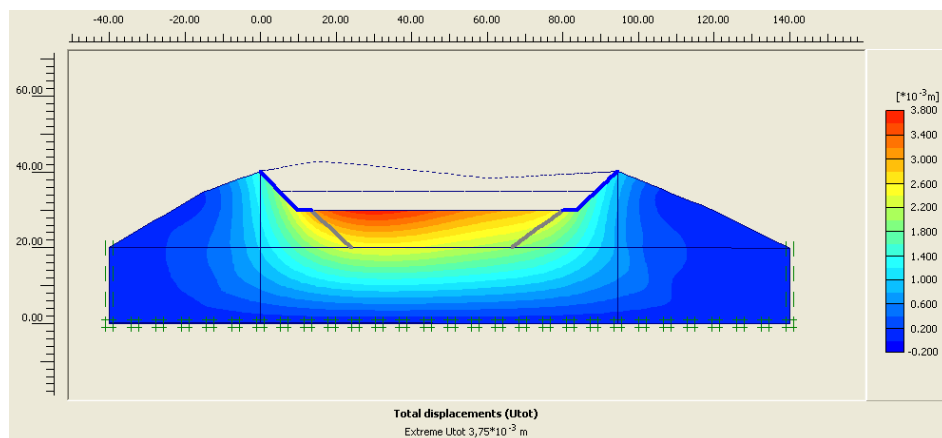
Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $2,5 \cdot 10^{-3}$ m και $3,7 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $4,6 \cdot 10^{-3}$ m.

Στις αναλύσεις προσομοίωσης των πλευρικών πρσανών του στομίου εισόδου διαπιστώνεται μια διόγκωση του εδάφους στην αριστερή πλευρά μετά την εκσκαφή της 1^{ης} και της 2^{ης} φάσης. Οι μετακινήσεις της 2^{ης} φάσης εκσκαφής είναι μεγαλύτερες από αυτές της 1^{ης} φάσης. Στην 3^η φάση μετά την εκσκαφή διαπιστώνεται μια διόγκωση του εδάφους στο κεντρικό κομμάτι.

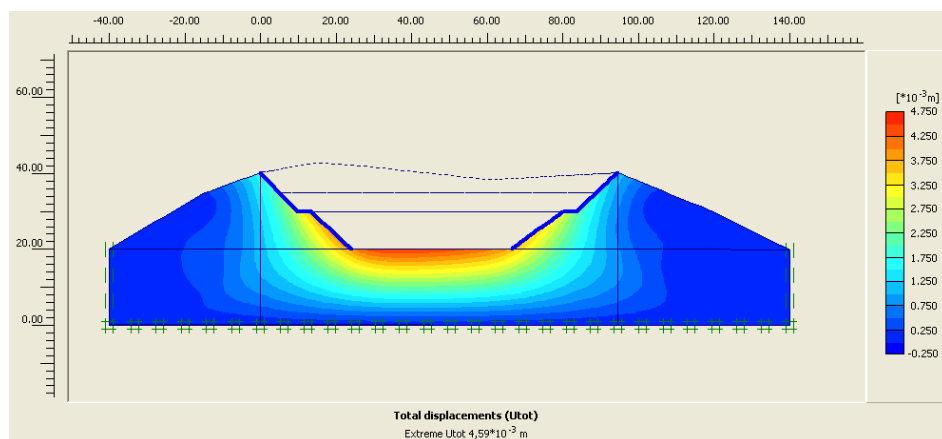


Σχήμα 11-109: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης των πλευρικών πρσανών του στομίου εισόδου με *Mohr Coulomb Model*

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-110: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης των πλευρικών πρσανών του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model



Σχήμα 11-111: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης των πλευρικών πρσανών του στομίου εισόδου με Mohr Coulomb Model

Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $2,5 \cdot 10^{-3}$ m και $3,8 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $4,6 \cdot 10^{-3}$ m.

Στις παραπάνω αναλύσεις παρατηρούνται τα ίδια ακριβώς πράγματα μ' αυτά που παρατηρήθηκαν στις αναλύσεις των πλευρικών πρσανών με το μοντέλο Jointed Rock. Επίσης, οι τιμές των μετακινήσεων είναι παρόμοιες.

Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακες 11-28 και 11-29) δίνονται συγκεντρωτικά οι τιμές των μετακινήσεων για κάθε μία φάση εκσκαφής των αναλύσεων προσομοίωσης που έγιναν για τα πλευρικά πρσανή του στομίου εισόδου.

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Πίνακας 11-28: Τιμές συνολικών μετακινήσεων των πλευρικών πρανών για κάθε φάση της ανάλυσης του στομίου εισόδου με *Jointed Rock Model*

Ανάλυση πλαϊνών πρανών εισόδου	Μετακινήσεις 1 ^{ης} φάσης	Μετακινήσεις 2 ^{ης} φάσης	Μετακινήσεις 3 ^{ης} φάσης
	$2,5 * 10^{-3}$ m	$3,7 * 10^{-3}$ m	$4,6 * 10^{-3}$ m

Πίνακας 11-29: Τιμές συνολικών μετακινήσεων των πλευρικών πρανών για κάθε φάση της ανάλυσης του στομίου εισόδου με *Mohr Coulomb Model*

Ανάλυση πλαϊνών πρανών εισόδου	Μετακινήσεις 1 ^{ης} φάσης	Μετακινήσεις 2 ^{ης} φάσης	Μετακινήσεις 3 ^{ης} φάσης
	$2,5 * 10^{-3}$ m	$3,8 * 10^{-3}$ m	$4,6 * 10^{-3}$ m

Στους παραπάνω δυο πίνακες παρατηρείται ότι οι τιμές των συνολικών μετακινήσεων των πλευρικών του στομίου εισόδου είναι ίδιες, είτε επιλέγεται το μοντέλο *Jointed Rock* για την προσομοίωση των πλευρικών πρανών της σήραγγας, είτε το μοντέλο *Mohr Coulomb*.

Στους επόμενους πίνακες (Πίνακες 11-30 και 11-31) δίνονται οι τιμές των συντελεστών ασφαλείας για κάθε μία φάση εκσκαφής των αναλύσεων προσομοίωσης που έγιναν για τα πλευρικά πρανά του στομίου εισόδου.

Πίνακας 11-30: Τιμές συντελεστών ασφαλείας για κάθε φάση εκσκαφής της ανάλυσης των πλευρικών του πρανούς του στομίου εισόδου με *Jointed Rock Model*

Ανάλυση πλαϊνών εισόδου με <i>Jointed Rock Model</i>	Συντελεστής ασφαλείας 1 ^{ης} φάσης	Συντελεστής ασφαλείας 2 ^{ης} φάσης	Συντελεστής ασφαλείας 3 ^{ης} φάσης
	2,1	2,1	2,0

Πίνακας 11-31: Τιμές συντελεστών ασφαλείας για κάθε φάση εκσκαφής της ανάλυσης των πλευρικών του πρανούς του στομίου εισόδου με *Mohr Coulomb Model*

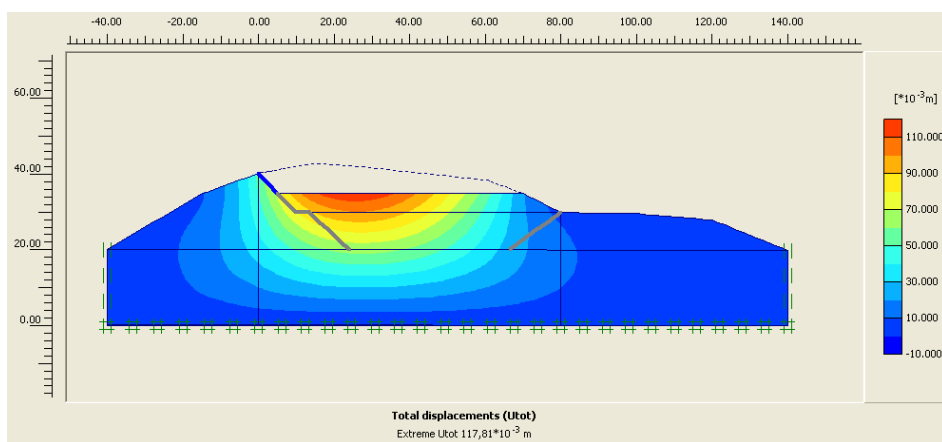
Ανάλυση πλαϊνών εισόδου με <i>Mohr Coulomb Model</i>	Συντελεστής ασφαλείας 1 ^{ης} φάσης	Συντελεστής ασφαλείας 2 ^{ης} φάσης	Συντελεστής ασφαλείας 3 ^{ης} φάσης
	2,0	1,9	1,7

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Παρατηρώντας τους παραπάνω δυο πίνακες είναι εμφανής η αύξηση των τιμών των συντελεστών ασφαλείας για την ευστάθεια των πλευρικών πρηνών, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές των προηγούμενων αναλύσεων. Επίσης, συγκρίνοντας τους συντελεστές ασφαλείας των δυο μοντέλων για τα πλευρικά πρηνή της εισόδου, διαπιστώνεται ότι προκύπτει μεγαλύτερος συντελεστής ασφαλείας με το μοντέλο Jointed Rock.

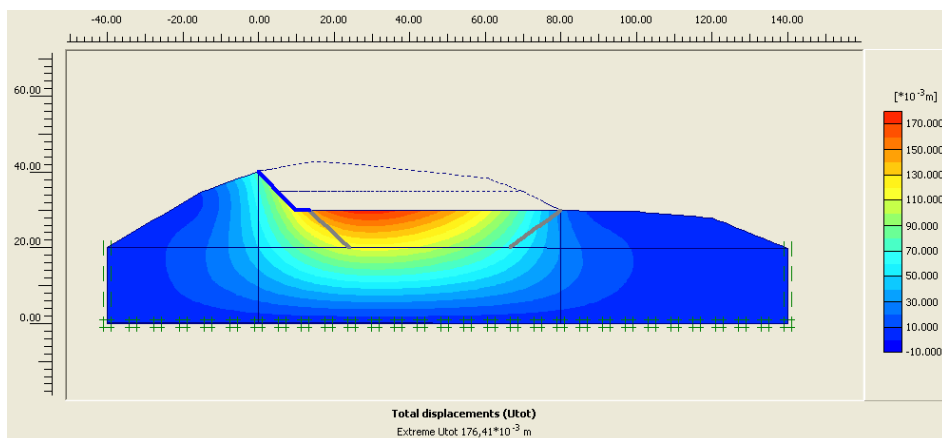
11.2.6 Αναλύσεις πλευρικών πρηνών στομίου εξόδου

Στα τρία επόμενα σχήματα (Σχήμα 11-112 έως 11-114) που ακολουθούν, φαίνονται οι συνολικές μετακινήσεις των πλευρικών πρηνών του πρηνούς του στομίου εξόδου κατά την εκσκαφή των τριών φάσεων. Στις αναλύσεις αυτές χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση το μοντέλο Mohr Coulomb.

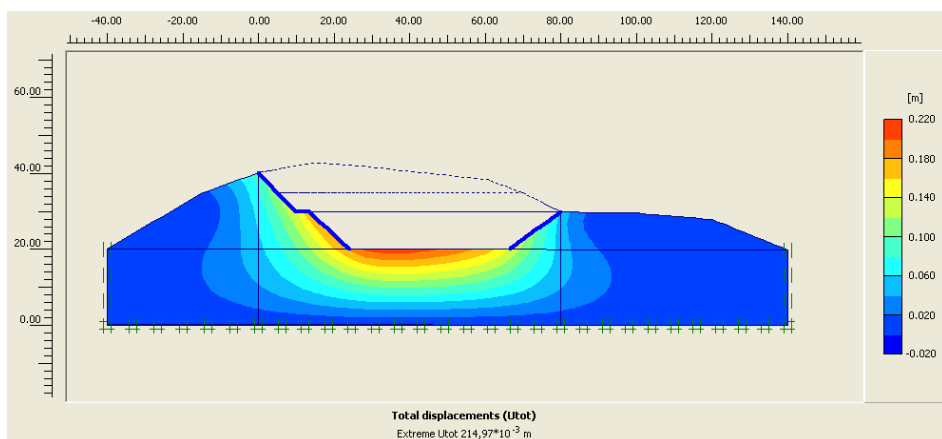


Σχήμα 11-112: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 1^{ης} φάσης εκσκαφής του πρηνούς της ανάλυσης των πλευρικών πρηνών του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης



Σχήμα 11-113: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 2^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης των πλευρικών πρσανών του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model



Σχήμα 11-114: Προβολή συνολικών μετακινήσεων της 3^{ης} φάσης εκσκαφής του πρσανούς της ανάλυσης των πλευρικών πρσανών του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model

Οι τιμές των μέγιστων μετακινήσεων για την 1^η και τη 2^η φάση εκσκαφής είναι $117 \cdot 10^{-3}$ m και $176 \cdot 10^{-3}$ m αντίστοιχα, ενώ για την 3^η φάση εκσκαφής είναι $215 \cdot 10^{-3}$ m.

Στις αναλύσεις των πλευρικών πρσανών του στομίου εξόδου παρατηρείται ανύψωση του εδάφους στην αριστερή πλευρά μετά την εκσκαφή της 1^{ης} και της 2^{ης} φάσης. Μόνο που οι μετακινήσεις της 2^{ης} φάσης εκσκαφής είναι μεγαλύτερες. Στην 3^η μετά την εκσκαφή διαπιστώνεται μια διόγκωση του εδάφους στο κεντρικό κομμάτι της εκσκαφής.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 11-32) δίνονται οι τιμές των μετατοπίσεων για κάθε μία φάση εκσκαφής της ανάλυσης προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε για τα πλευρικά πρσανή της εξόδου.

Κεφάλαιο 11 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Πίνακας 11-32: Τιμές συνολικών μετακινήσεων των πλευρικών πρανών για κάθε φάση της ανάλυσης του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model

Ανάλυση πλαινών πρανών εξόδου	Μετακινήσεις 1 ^{ης} φάσης	Μετακινήσεις 2 ^{ης} φάσης	Μετακινήσεις 3 ^{ης} φάσης
	118 * 10 ⁻³ m	176 * 10 ⁻³ m	215 * 10 ⁻³ m

Στον προηγούμενο πίνακα παρατηρείται αύξηση των τελικών μετακινήσεων των πλευρικών πρανών, σε σύγκριση με τις μετακινήσεις των άλλων φάσεων εκσκαφής.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 11-33) δίνονται οι τιμές των συντελεστών ασφαλείας για κάθε μία φάση εκσκαφής της ανάλυσης προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε για τα πλευρικά πρανά της εξόδου.

Πίνακας 11-33: Τιμές συντελεστών ασφαλείας για κάθε φάση εκσκαφής της ανάλυσης των πλευρικών του πρανούς του στομίου εξόδου με Mohr Coulomb Model

Ανάλυση πλαινών εξόδου	Συντελεστής ασφαλείας 1 ^{ης} φάσης	Συντελεστής ασφαλείας 2 ^{ης} φάσης	Συντελεστής ασφαλείας 3 ^{ης} φάσης
	2,1	2,2	1,9

Παρατηρώντας τον παραπάνω πίνακα είναι εμφανής η αύξηση των τιμών των συντελεστών ασφαλείας για την ευστάθεια των πλευρικών πρανών της εξόδου, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές των προηγούμενων αναλύσεων για το στόμιο εξόδου.

Κεφάλαιο 12

Συμπεράσματα

4512 Συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας τις παραμετρικές αναλύσεις και τους σχετικούς σχολιασμούς που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι δυνατόν να εξαχθούν τα ακόλουθα γενικά συμπεράσματα.

Από τα διαγράμματα των συνολικών μετακινήσεων (κατακόρυφες και οριζόντιες) που μορφώθηκαν με βάση τα πρηνή των δυο στομιών της νέας σιδηροδρομικής σήραγγας του Δρίσκου, διαπιστώνεται ότι η ευστάθεια των πρηνών κατά την εκσκαφή τους είναι μεγαλύτερη όταν μειώνεται ο αριθμός των αγκυρίων και αυξάνεται το μήκος τους. Οι τιμές των μετακινήσεων που προέκυψαν για τις τελικές αναλύσεις των πρηνών των δυο στομιών, εισόδου και εξόδου, στις οποίες έγινε χρήση δυο αγκυρίων των 14m σε κάθε φάση εκσκαφής, ήταν μειωμένες σε σύγκριση με αυτές των πρώτων αναλύσεων των αντίστοιχων πρηνών των δυο στομιών. Αυτό παρατηρήθηκε στις αναλύσεις του πρηνούς του στομίου εισόδου τόσο για το μοντέλο Jointed Rock, όσο και για το μοντέλο Mohr Coulomb.

Αυτό συμφέρει και από οικονομική άποψη καθώς η χρήση λιγότερων σε αριθμό αγκυρίων μειώνει τα έξοδα διάνοιξης επιπλέον διατηρημάτων. Επίσης μειώνονται οι ενδιάμεσες φάσεις διαμόρφωσης κατάλληλου αναβαθμού για τη προσέγγιση των μηχανημάτων διάτρησης.

Επίσης, παρατηρήθηκε ότι οι τιμές των συνολικών μετακινήσεων των πλευρικών πρηνών του στομίου εισόδου είναι ίδιες, είτε επιλέγεται το μοντέλο Jointed Rock για την προσομοίωση των πλευρικών πρηνών της σήραγγας, είτε το μοντέλο Mohr Coulomb. Αυτό συμβαίνει επειδή στο μοντέλο Jointed Rock θεωρήθηκε ότι έχουμε τρεις οικογένειες ασυνεχειών. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν αλλάζουν οι τιμές των μετακινήσεων συγκρίνοντας τις με αυτές του μοντέλου Mohr Coulomb, κάτι που συνέβαινε εάν είχαμε μια οικογένεια ασυνεχειών.

Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι μειώθηκαν οι τιμές των μετακινήσεων στις τρεις φάσεις εκσκαφής και στα δυο μοντέλα προσομοίωσης (Jointed Rock και Mohr Coulomb) του πρηνούς της εισόδου, καθώς αυξανόταν το μέτρο ελαστικότητας του σχηματισμού. Αντίθετα, οι μετακινήσεις της τελευταίας φάσης εκσκαφής της ανάλυσης με μειωμένη γωνία τριβής εμφάνισαν τιμή πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη τιμή των μετακινήσεων της ανάλυσης (όπου χρησιμοποιήθηκε ίδιος αριθμός και μήκος αγκυρίων σε κάθε φάση εκσκαφής) που έγινε για το πρηνές του στομίου εισόδου, λόγω των μειωμένης ποιότητας μηχανικού χαρακτηριστικού.

Συγκρίνοντας τις τιμές των μετακινήσεων του πρηνούς του στομίου εισόδου (των δυο καταστατικών μοντέλων) με τις αντίστοιχες τιμές των αναλύσεων του πρηνούς του στομίου εξόδου, στις οποίες έγινε χρήση διαφορετικού μήκους και

Κεφάλαιο 12 – Συμπεράσματα

αριθμού αγκυρών, διαπιστώθηκε ότι οι τιμές του πρανούς της εξόδου είναι μεγαλύτερες από αυτές του πρανούς της εισόδου.

Εξετάζοντας τα διαγράμματα του τοίχου αντιστήριξης της 3^{ης} φάσης εκσκαφής των αναλύσεων της εισόδου παρατηρήθηκαν αυξομειώσεις στις τιμές των αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων, τόσο για το μοντέλο Jointed Rock, όσο και για το μοντέλο Mohr Coulomb. Αντίθετα όμως με την είσοδο, στα διαγράμματα της εξόδου διαπιστώθηκε αύξηση των αξονικών και τεμνουσών δυνάμεων που εμφανίστηκαν στον τοίχο αντιστήριξης στην 3^η φάση εκσκαφής. Στις αναλύσεις της εισόδου με αυξανόμενο το μέτρο ελαστικότητας παρατηρήθηκε μείωση των συνολικών μετακινήσεων του τοίχου αντιστήριξης, ενώ αύξηση των τιμών παρουσιάστηκε για τις αξονικές και τέμνουσες δυνάμεις. Αυτό συνέβη τόσο στις αναλύσεις όπου χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Jointed Rock, όσο και στις αναλύσεις στις οποίες έγινε χρήση του μοντέλου Mohr Coulomb.

Από τον έλεγχο φέρουσας ικανότητας των αγκυρών, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην 3^η φάση εκσκαφής στις αναλύσεις των δυο στομίων, διαπιστώθηκε πως δεν υπερβαίνουν την τιμή της φέρουσας ικανότητάς τους.

Όσον αναφορά στους συντελεστές ασφαλείας της τελικής φάσης εκσκαφής, με βάση τις αναλύσεις που έγιναν, προκύπτει ότι εφόσον αυτοί παραμένουν ίδιοι και στις πέντε παραμετρικές αναλύσεις των δυο στομίων μπορεί να γίνει χρήση των προτεινόμενων μέτρων αντιστήριξης της πέμπτης ανάλυσης για την ευστάθεια του πρανούς, εφόσον και οι τιμές των μετακινήσεων, έδειξαν ότι μειώθηκαν στην ανάλυση αυτή. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι αυξήθηκαν οι τιμές των συντελεστών ασφαλείας έναντι της ευστάθειας των πλευρικών πρανών, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές των προηγούμενων αναλύσεων. Με βάση τη σύγκριση των συντελεστών ασφαλείας των δυο μοντέλων για τα πλευρικά πρανά της εισόδου, διαπιστώθηκε ότι προκύπτει μεγαλύτερος συντελεστής ασφαλείας με το μοντέλο Jointed Rock. Επίσης, οι τιμές των συντελεστών ασφαλείας έναντι ευστάθειας του πρανούς του στομίου εξόδου είναι μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές του προέκυψαν για το πρανές του στομίου εισόδου.

Συμπερασματικά γίνεται αντιληπτό ότι μπορεί να γίνει χρήση λιγότερων και μεγαλύτερου μήκους αγκυρών στα πρανά και των δυο στομίων, κάτι που συμφέρει και από οικονομική πλευρά, εφόσον φάνηκε ότι οι συντελεστές ασφαλείας δεν αλλάζουν. Επίσης, μειώνονται οι τελικές μετακινήσεις καθώς βελτιώνεται το μέτρο ελαστικότητας του σχηματισμού της εισόδου, ενώ αυτές αυξάνονται όταν κάποιο από τα μηχανικά χαρακτηριστικά του σχηματισμού εμφανίζει μειωμένη τιμή.

Σχόλιο [u9]: Αυτό καλό είναι.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΑΔΚ (2008) : Μελέτες σηράγγων: Σήραγγα Δρίσκου. Οριστική γεωλογική μελέτη (Ι.Παντέκης) Μελέτη Χάραξης για τη Νέα σιδηροδρομική Γραμμή Καλαμπάκα – Ιωάννινα – Ηγουμενίτσα. Τμήμα Καλαμπάκα – Ιωάννινα, από Χ.Θ. 53+500 έως 76+199 (Β΄ φάση). ΕΔΙΣΥ Α.Ε.

Αναγνωστόπουλος Α., Καββαδάς Μ., Παπαδόπουλος Β. (2009) : Σημειώσεις για τον Ευρωκώδικα 7 (EN 1997)

Εδαφομηχανική (2008) : Γεωτεχνικές μελέτες σηράγγων: Σήραγγα Δρίσκου. Παρουσίαση & Αξιολόγηση αποτελεσμάτων γεωτεχνικής έρευνας. Μελέτη Χάραξης για τη Νέα σιδηροδρομική Γραμμή Καλαμπάκα – Ιωάννινα – Ηγουμενίτσα. Τμήμα Καλαμπάκα – Ιωάννινα, από Χ.Θ. 53+500 έως 76+199 (Β΄ φάση). ΕΔΙΣΥ Α.Ε.

EN 1990 (2001) : Eurocode – Basis of structural design και Προσωρινές συστάσεις 2007

EN 1997-1 (2003) : Eurocode 7 Geotechnical design – Part 1: General rules και Προσωρινές συστάσεις 2007

EN 1997-2 (2000) : Eurocode 7 Geotechnical design – Part 2: Design assisted by laboratory testing

EN 1997-3 (2000) : Eurocode 7 Geotechnical design – Part 3: Design assisted by field testing

Jaeger J.C (1979) : Rock mechanics & Engineering. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.

Manual Plaxis : Plaxis 2D Professional Version 9

Marinos V., Fortsakis P. & Proutzopoulos G. (2006) : Estimation of rock mass properties of heavily sheared flysch using data from tunnelling construction. IAEG. Geol. Soc. London

Μαρίνος Π. (2009) : Τεχνική γεωλογία υπογείων έργων, ΕΜΠ

Μπουλαμάτση Σ. (2010) : Μεταπτυχιακή εργασία - Διερεύνηση της λειτουργίας ήλων πλήρους πάκτωσης με αριθμητικές μεθόδους

Παπαδοπούλου Κ. (2009) : Διπλωματική εργασία - Συμπεριφορά πετρωμάτων κατά τη διάνοιξη της σήραγγας Δρίσκου

Παπαζάχος Β., Παπαζάχου Κ., (1989): “Οι Σεισμοί της Ελλάδας”, Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Ζήτη.

Ρόζος Δ. (2007) : Μέθοδοι βελτίωσης – αντιστήριξης εδάφους – υπεδάφους, ΕΜΠ

Vardakastanis D. & Karlaftis A. (1999) : Contribution to the physical and probabilistic sense of indices. 9th Int. ISRM Cong. on Rock Mech. Balkema

Φορτσάκης Π. (2011) : Προφορική επικοινωνία

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1 : Κατάλογος σεισμών μεγέθους ≥ 4.5 της κλίμακας Richter για την περιοχή με συντεταγμένες 39.10° έως 40.10° βόρειο γεωγραφικό πλάτος και 20.20° έως 21.40° ανατολικό γεωγραφικό μήκος, για την περίοδο 900 – Δεκ 2007

ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	ΗΜΕΡΑ	ΩΡΑ	ΛΕΠΤΟ	δ/ΛΕΠΤΟ	ΓΕΩΓΡ. ΠΛΑΤΟΣ	ΓΕΩΓΡ. ΜΗΚΟΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ
968		22	0	0	0	39.3	20.3	6.5
1514	ΜΑΙ	0	0	0	0	39.2	21.4	6.0
1544	ΑΠΡ	21	0	0	0	39.5	21.5	6.4
1740	ΑΠΡ	0	0	0	0	39.7	20.8	6.2
1743	ΦΕΒΡ	20	0	0	0	39.2	20.2	6.8
1786	ΙΟΥΝ	4	0	0	0	39.2	20.3	7.0
1809	ΙΑΝ	4	0	0	0	39.6	20.3	6.3
1813	ΜΑΙ	10	13	0	0	39.6	20.7	6.2
1823	ΔΕΚ	19	0	0	0	39.5	20.3	6.3
1833	ΙΑΝ	9	0	0	100	39.4	21.3	6.0
1854	ΣΕΠΤ	30	1	30	0	39.8	20.2	6.5
1858	ΦΕΒΡ	4	0	0	100	39.7	20.7	6.0
1867	ΔΕΚ	27	0	0	0	39.6	20.8	6.2
1872	ΑΠΡ	11	20	0	0	39.7	20.2	6.1
1895	ΜΑΙ	13	0	0	0	39.4	20.6	6.3
1898	ΙΟΥΝ	31	5	39	0	39.7	20.8	6.3
1915	ΑΥΓ	19	6	42	16	39.2	20.3	6.1
1915	ΙΟΥΝ	4	17	22	2	39.1	21.3	5.8
1917	ΑΠΡ	26	13	14	18	39.8	20.4	5.6
1918	ΙΟΥΛ	4	11	25	54	39.7	20.5	5.4
1918	ΙΟΥΛ	5	15	41	27	39.7	20.5	5.4
1918	ΙΟΥΛ	9	14	1	21	39.5	20.5	5.1
1919	ΝΟΕ	22	23	41	6	40.1	20.7	6.3
1919	ΔΕΚ	22	23	56	10	40.1	20.7	4.9
1920	ΑΥΓ	16	14	43	30	39.7	20.8	5.1
1920	ΟΚΤ	21	18	57	48	39.6	20.3	5.8
1920	ΟΚΤ	26	0	3	2	39.6	20.3	4.9
1920	ΟΚΤ	29	4	36	1	39.6	20.3	5.1
1921	ΙΟΥΝ	26	3	40	38	39.3	21.0	5.7
1924	ΦΕΒΡ	11	6	20	35	39.7	20.7	4.9
1924	ΟΚΤ	13	9	44	10	39.3	20.7	5.5
1927	ΙΟΥΛ	28	6	49	30	39.3	21.0	5.0
1932	ΙΟΥΛ	3	11	42	39	39.7	20.3	4.9
1935	ΜΑΙ	2	12	37	30	39.2	20.5	4.9
1935	ΑΥΓ	3	17	35	22	39.5	20.2	5.2
1936	ΑΠΡ	15	16	3	7	39.5	20.5	5.4
1936	ΑΠΡ	16	13	59	37	39.5	20.5	4.9
1950	ΜΑΙ	9	0	54	35	39.7	21.0	4.5
1951	ΑΥΓ	22	14	14	48	39.8	20.2	4.5
1953	ΙΑΝ	29	21	59	28	39.4	20.6	4.6
1953	ΑΠΡ	8	11	50	7	39.9	20.6	4.7
1954	ΟΚΤ	4	19	52	55	39.7	20.6	4.6
1955	ΙΟΥΝ	6	10	7	55	40.0	20.5	4.5
1958	ΙΑΝ	4	9	52	36	39.4	20.3	4.6
1960	ΦΕΒΡ	23	7	18	6	39.1	20.7	4.6
1960	ΝΟΕ	5	20	20	48	39.1	20.6	5.7
1960	ΝΟΕ	11	5	31	32	39.1	20.8	5.6
1960	ΝΟΕ	1	13	24	6	39.7	20.8	4.5
1962	ΑΠΡ	10	0	22	28	39.6	20.8	4.6

ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	ΗΜΕΡΑ	ΩΡΑ	ΛΕΠΤΟ	δ/ΛΕΠΤΟ	ΓΕΩΓΡ. ΠΛΑΤΟΣ	ΓΕΩΓΡ. ΜΗΚΟΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ
1962	ΣΕΠΤ	29	6	21	20	39.5	20.5	4.5
1963	ΜΑΡΤ	17	14	17	25	39.3	20.9	5.0
1963	ΑΠΡ	6	19	30	38	39.2	20.8	4.8
1963	ΙΟΥΛ	13	7	39	14	39.6	20.8	4.5
1965	ΜΑΡΤ	14	6	4	49	39.9	20.2	4.6
1965	ΜΑΙ	13	21	9	17	39.2	20.7	4.5
1965	ΔΕΚ	31	22	43	20	39.1	20.9	4.6
1966	ΙΑΝ	17	8	39	43	40.1	20.6	4.5
1966	ΦΕΒΡ	14	13	45	34	40.1	21.0	4.7
1966	ΜΑΡΤ	14	14	8	41	39.1	21.4	4.6
1966	ΑΥΓ	17	8	19	57	39.6	20.5	4.5
1966	ΟΚΤ	28	15	42	18	39.2	21.1	4.5
1966	ΝΟΕ	9	15	12	28	39.2	20.5	5.1
1967	ΦΕΒΡ	9	14	8	18	39.9	20.3	5.8
1967	ΦΕΒΡ	10	22	48	33	39.9	20.2	4.6
1967	ΦΕΒΡ	27	6	27	12	40.0	20.2	4.8
1967	ΜΑΡΤ	7	20	35	49	40.0	20.5	4.5
1967	ΑΠΡ	1	7	9	2	39.5	21.3	6.4
1967	ΜΑΙ	1	8	15	47	39.7	21.4	4.6
1967	ΜΑΙ	1	9	47	40	39.5	21.2	4.6
1967	ΜΑΙ	1	9	50	8	39.5	21.3	5.3
1967	ΜΑΙ	1	10	19	45	39.9	20.4	4.5
1967	ΜΑΙ	1	14	38	2	39.4	21.3	4.6
1967	ΜΑΙ	2	1	27	20	39.6	21.2	4.6
1967	ΜΑΙ	2	8	11	56	39.4	21.3	4.6
1967	ΜΑΙ	2	9	56	20	39.4	21.1	4.6
1967	ΜΑΙ	2	15	21	12	39.8	20.5	4.5
1967	ΜΑΙ	2	19	29	27	39.7	21.3	4.5
1967	ΜΑΙ	3	18	41	47	39.5	21.3	5.0
1967	ΜΑΙ	4	13	31	8	39.6	21.3	4.8
1967	ΜΑΙ	4	17	11	3	39.8	21.1	4.5
1967	ΜΑΙ	5	6	26	38	39.6	21.3	4.7
1967	ΜΑΙ	5	14	50	3	39.4	21.2	4.6
1967	ΜΑΙ	5	15	58	36	39.7	21.1	4.5
1967	ΜΑΙ	5	20	18	32	39.6	21.3	4.5
1967	ΜΑΙ	9	8	0	47	39.7	21.4	4.6
1967	ΙΟΥΝ	7	9	34	48	39.4	21.0	4.5
1967	ΙΟΥΝ	12	18	12	47	39.1	21.3	4.8
1967	ΣΕΠΤ	8	9	51	43	39.1	21.4	4.5
1967	ΣΕΠΤ	27	19	25	12	40.1	20.7	4.5
1967	ΝΟΕ	26	3	24	57	39.4	20.5	4.8
1967	ΔΕΚ	2	23	7	18	39.3	20.3	4.5
1968	ΙΑΝ	5	0	30	17	39.9	20.3	4.5
1968	ΜΑΡΤ	28	16	37	47	39.5	20.4	5.0
1968	ΑΠΡ	25	4	27	29	39.1	20.2	4.5
1968	ΙΟΥΝ	28	14	24	9	39.7	20.4	4.5
1969	ΙΑΝ	31	15	34	28	39.1	20.4	4.6
1969	ΦΕΒΡ	9	9	28	38	39.2	20.4	4.5
1969	ΜΑΡΤ	25	8	39	36	39.6	20.3	4.6
1969	ΟΚΤ	12	12	45	35	39.8	20.3	4.5
1969	ΟΚΤ	12	13	34	20	39.8	20.5	5.3
1969	ΟΚΤ	12	14	6	47	40.0	20.8	4.5
1969	ΟΚΤ	13	0	32	55	39.7	20.6	5.5

ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	ΗΜΕΡΑ	ΩΡΑ	ΛΕΠΤΟ	δ/ΛΕΠΤΟ	ΓΕΩΓΡ. ΠΛΑΤΟΣ	ΓΕΩΓΡ. ΜΗΚΟΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ
1969	ΟΚΤ	13	1	2	31	39.8	20.6	5.8
1969	ΟΚΤ	13	12	17	40	39.9	20.3	4.5
1969	ΟΚΤ	16	22	55	34	39.8	20.4	4.5
1969	ΟΚΤ	27	8	42	19	39.8	20.4	4.6
1969	ΟΚΤ	29	15	26	55	39.7	20.5	4.6
1969	ΝΟΕ	16	9	33	41	40.1	21.0	4.6
1969	ΝΟΕ	17	0	49	42	40.1	21.0	4.6
1970	ΦΕΒΡ	9	2	4	17	39.9	20.6	4.6
1970	ΦΕΒΡ	17	0	16	28	39.3	21.0	4.7
1970	ΜΑΡΤ	23	20	56	4	39.1	20.5	4.9
1970	ΙΟΥΝ	19	22	26	59	39.3	20.5	4.6
1970	ΣΕΠΤ	27	15	56	34	39.3	20.2	4.7
1970	ΟΚΤ	13	19	57	36	39.8	20.7	4.7
1971	ΙΑΝ	27	16	5	43	39.7	20.4	4.6
1971	ΔΕΚ	29	23	27	28	39.2	21.0	4.5
1972	ΑΠΡ	8	1	34	7	39.6	20.9	4.5
1972	ΑΥΓ	9	4	2	1	39.2	20.5	4.5
1972	ΝΟΕ	24	3	48	36	39.3	20.4	5.3
1973	ΦΕΒΡ	26	22	23	12	39.8	20.3	4.7
1973	ΦΕΒΡ	28	12	51	50	39.8	20.4	4.6
1973	ΑΠΡ	8	4	12	52	39.8	20.5	4.5
1973	ΑΥΓ	6	1	11	11	39.8	20.5	4.5
1974	ΔΕΚ	20	15	9	31	39.6	20.5	5.0
1974	ΔΕΚ	20	16	2	3	39.6	20.5	4.5
1975	ΔΕΚ	16	8	8	27	39.4	20.4	4.5
1976	ΦΕΒΡ	2	12	13	1	39.7	20.7	4.5
1976	ΜΑΙ	13	0	44	13	39.7	20.4	4.5
1976	ΙΟΥΝ	11	18	26	14	39.5	20.5	4.5
1976	ΣΕΠΤ	27	22	53	23	39.3	20.4	4.5
1977	ΜΑΡΤ	14	8	46	55	39.5	20.5	4.7
1977	ΟΚΤ	7	12	42	56	39.2	20.9	4.6
1979	ΦΕΒΡ	27	14	3	8	39.7	20.6	4.5
1979	ΙΟΥΝ	1	21	3	32	39.2	20.5	4.7
1979	ΟΚΤ	4	9	19	32	39.4	20.3	4.5
1979	ΝΟΕ	2	5	30	33	39.5	20.2	4.9
1979	ΝΟΕ	6	5	26	16	39.5	20.3	5.5
1979	ΝΟΕ	6	15	19	43	39.5	20.3	4.5
1979	ΝΟΕ	8	4	30	19	39.5	20.4	4.6
1979	ΝΟΕ	8	10	7	48	39.5	20.3	4.5
1979	ΝΟΕ	11	1	18	6	39.4	20.3	5.1
1980	ΙΑΝ	10	19	36	41	39.6	20.5	4.5
1980	ΙΟΥΝ	12	2	48	37	40.1	20.5	4.6
1980	ΙΟΥΛ	12	12	14	33	39.4	20.4	4.6
1980	ΝΟΕ	11	22	51	21	39.3	20.5	4.6
1981	ΜΑΡΤ	10	15	16	18	39.3	20.7	5.6
1981	ΜΑΡΤ	22	4	45	7	39.3	20.6	4.5
1981	ΜΑΙ	1	4	53	48	39.7	20.4	4.5
1981	ΙΟΥΝ	21	18	49	11	39.3	20.6	4.6
1981	ΙΟΥΛ	2	8	41	40	39.6	20.7	4.6
1981	ΙΟΥΛ	3	21	42	56	39.5	20.7	5.5
1981	ΙΟΥΛ	25	3	21	41	39.4	20.7	4.7
1981	ΑΥΓ	22	2	46	7	40.0	20.2	4.6
1981	ΔΕΚ	20	22	40	12	39.3	20.8	4.6

ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	ΗΜΕΡΑ	ΩΡΑ	ΛΕΠΤΟ	δ/ΛΕΠΤΟ	ΓΕΩΓΡ. ΠΛΑΤΟΣ	ΓΕΩΓΡ. ΜΗΚΟΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ
1981	ΔΕΚ	21	5	18	18	39.3	20.7	4.6
1982	ΜΑΙ	16	7	50	58	39.7	20.4	4.5
1982	ΑΥΓ	4	22	38	53	39.7	20.6	5.1
1982	ΑΥΓ	4	22	51	16	39.7	20.7	4.5
1982	ΑΥΓ	18	14	10	10	39.7	20.7	4.5
1982	ΑΥΓ	22	9	28	27	39.4	20.5	4.6
1982	ΑΥΓ	22	23	0	37	39.4	20.5	4.5
1982	ΑΥΓ	29	3	52	14	39.7	20.6	4.5
1983	ΜΑΡΤ	8	15	31	22	39.7	20.3	4.6
1984	ΜΑΡΤ	11	21	19	58	39.2	20.6	4.5
1984	ΜΑΡΤ	11	23	28	20	39.2	20.6	4.5
1984	ΜΑΡΤ	12	2	29	58	39.2	20.6	4.8
1984	ΜΑΙ	21	9	53	46	39.9	20.3	4.5
1984	ΙΟΥΛ	11	3	15	43	39.3	20.3	4.5
1984	ΣΕΠΤ	4	1	6	3	39.4	20.5	4.6
1984	ΝΟΕ	18	14	47	41	39.7	20.6	4.7
1984	ΔΕΚ	5	11	45	42	39.2	20.8	4.5
1984	ΔΕΚ	20	12	23	9	39.4	20.5	4.5
1985	ΑΠΡ	16	0	40	26	39.7	20.7	4.7
1985	ΑΠΡ	16	12	46	46	39.8	20.7	4.7
1985	ΜΑΙ	11	7	30	1	39.2	20.8	4.5
1985	ΑΥΓ	31	6	33	14	39.1	20.6	4.5
1986	ΑΠΡ	12	16	57	35	39.4	20.6	4.6
1986	ΟΚΤ	18	15	13	47	39.7	20.4	4.5
1987	ΜΑΡΤ	8	17	38	36	39.4	20.7	4.6
1987	ΜΑΡΤ	8	17	42	21	39.4	20.7	5.0
1988	ΑΠΡ	3	8	56	40	39.3	20.6	4.6
1988	ΔΕΚ	14	9	45	5	39.7	20.4	5.1
1989	ΜΑΙ	7	13	40	47	39.7	20.3	4.5
1989	ΣΕΠΤ	19	7	57	8	39.4	21.3	5.2
1990	ΙΟΥΝ	16	2	16	20	39.3	20.6	6.0
1990	ΙΟΥΝ	29	18	58	12	39.2	20.5	4.5
1990	ΙΟΥΛ	29	21	31	56	39.7	20.4	4.6
1990	ΑΥΓ	4	7	29	24	39.2	20.5	4.9
1991	ΜΑΡΤ	15	13	30	21	39.2	20.6	4.9
1991	ΜΑΡΤ	17	19	22	12	39.2	20.6	4.8
1991	ΜΑΡΤ	19	2	37	6	39.2	20.5	4.5
1991	ΜΑΡΤ	19	2	51	28	39.3	20.5	4.6
1991	ΙΟΥΝ	24	1	36	36	39.2	20.5	4.5
1991	ΙΟΥΛ	21	15	3	56	39.6	21.1	4.8
1993	ΔΕΚ	3	7	15	50	39.3	20.8	4.6
1993	ΜΑΙ	30	23	48	30	39.3	20.5	4.8
1993	ΜΑΙ	31	0	0	49	39.3	20.5	4.9
1993	ΙΟΥΝ	13	23	26	41	39.3	20.5	5.3
1994	ΦΕΒΡ	3	18	52	53	39.8	20.7	4.9
1994	ΑΠΡ	14	23	1	34	39.1	21.0	4.5
1995	ΙΟΥΝ	5	5	20	20	39.4	20.2	4.7
1996	ΜΑΙ	2	18	8	56	39.4	20.5	4.5
1996	ΙΟΥΛ	26	18	55	50	40.1	20.6	5.3
1996	ΙΟΥΛ	28	1	12	5	40.0	20.7	4.5
1996	ΑΥΓ	4	10	8	49	40.0	20.7	4.5
1996	ΑΥΓ	5	22	46	43	40.1	20.7	5.7
1996	ΑΥΓ	5	23	58	46	40.0	20.7	4.7

ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	ΗΜΕΡΑ	ΩΡΑ	ΛΕΠΤΟ	δ/ΛΕΠΤΟ	ΓΕΩΓΡ. ΠΛΑΤΟΣ	ΓΕΩΓΡ. ΜΗΚΟΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ
1996	ΑΥΓ	11	7	57	17	40.1	20.7	4.8
1996	ΑΥΓ	20	1	26	50	40.0	20.7	5.3
1996	ΝΟΕ	14	3	3	37	40.0	20.7	4.7
1996	ΔΕΚ	3	18	5	10	40.0	20.2	4.6
1998	ΦΕΒΡ	2	5	55	51	39.7	20.7	4.5
1999	ΝΟΕ	2	3	42	48	39.8	20.6	4.5
1999	ΝΟΕ	24	3	38	54	39.6	20.6	5.0
2001	ΦΕΒΡ	14	6	36	26	39.3	20.4	4.5
2001	ΑΠΡ	9	17	38	41	40.1	20.4	5.3
2002	ΟΚΤ	8	4	40	47	40.0	20.4	4.5
2004	ΦΕΒ	11	0	52	30.0	35.94	29.22	4.5
2006	ΑΠΡ	15	21	15	11.4	37.64	21	4.8
2007	ΑΥΓ	31	20	52	42.1	36.73	26.25	4.7
2007	ΟΚΤ	27	5	29	39	37.72	21.3	4.8
2007	ΟΚΤ	28	12	3	18.7	35.52	26.96	4.6