



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΒΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΛΟΓΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

Διπλωματική Εργασία

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ
ΑΠΟΤΟΝΩΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Χαβέλας Βασίλειος

A.M : 07116044

Επιβλέπων : Νομικός Παύλος , Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 26/10/2023

Νομικός Παύλος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Μπενάρδος Ανδρέας , Καθηγητής Ε.Μ.Π

Ζευγώλης Ιωάννης , Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ , ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της παρούσας διπλωματικής , τον κύριο Παύλο Νομικό, για την ανάθεση του θέματος καθώς και για όλη τη βοήθεια , τις συμβουλές και την καθοδήγηση που μου προσέφερε καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης αυτής. Τον ευχαριστώ παράλληλα για την υπομονή που έδειξε καθώς και για το χρόνο που αφιέρωσε για τη μελέτη και διόρθωση της εργασίας.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για όλη την υποστήριξη και κατανόηση που έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια. Ένα μεγάλο ευχαριστώ στην Παναγιώτα Πλιακούρα για την κατανόηση και την υπομονή της όλο αυτό το διάστημα καθώς και για όλα τα χρόνια που είναι στο πλευρό μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω το σύντροφο και φίλο , Άρη Φούφα , για τη στήριξη του σε όλες τις δύσκολες στιγμές αλλά και για τις αμέτρητες ώρες που περάσαμε δίπλα - δίπλα τόσο στη σχολή όσο και στο δρόμο.

Τέλος , δε θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω την οργάνωση μου , την Αριστερή Συσπείρωση , που πλέον αποτελεί μια οικογένεια για μένα , για όλα αυτά που με έμαθε και συνεχίζει να με μαθαίνει όλα αυτά τα χρόνια. Ένα ακόμα μεγαλύτερο ευχαριστώ οφείλω στο σχήμα μου , τον Αριστερό Χώρο Μεταλλειολόγων Μεταλλουργών. Ευχαριστώ όλους τους μεγαλύτερους συντρόφους και το έτος μου , που ήταν αυτοί που μου έδειξαν ότι υπάρχει κι ένας άλλος δρόμος , αυτός της συλλογικής πάλης , κόντρα στον ατομικό δρόμο καθώς και για τις στιγμές που περάσαμε όλα αυτά τα χρόνια μαζί τόσο στη σχολή όσο και στις πορείες . Επίσης να ευχαριστήσω και τους μικρότερους συντρόφους που καθημερινά μου υπενθύμιζαν το λόγο για τον οποίο αξίζει να παλεύουμε και για το πείσμα που δείχνουν και συνεχίζουν σε μία αγωνιστική τροχιά στις πιο δύσκολες συνθήκες.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα υπόγεια έργα , από την αρχαιότητα κιόλας , αποτελούσαν σημαντικό κομμάτι τόσο στην αξιοποίηση υπόγειων εκμεταλλεύσεων όσο και στην εξυπηρέτηση θρησκευτικών και τελετουργικών σκοπών. Παρότι μετά την πτώση της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας περιορίστηκε σημαντικά η διάνοιξη σπηραγγων δε σταμάτησε να αποτελεί σημαντικό κομμάτι στο πλαίσιο στρατιωτικών επιχειρήσεων. Ωστόσο , η χρονική περίοδος που αποτέλεσε κόμβο για τη διάνοιξη σπηραγγων υπήρξε η βιομηχανική επανάσταση για να διευκολυνθεί η μεταφορά εμπορευμάτων σε περιοχές ορεινών όγκων και μετέπειτα κι η μεταφορά των ίδιων των ανθρώπων.(Αλέξανδρος Ι. Σοφιανός,2018) Η ραγδαία αυτή αύξηση της κατασκευής σιδηροδρομικών έργων και σπηραγγων δημιούργησε την ανάγκη για κατανόηση και μελέτη όρων όπως : οι ιδιότητες των βραχομαζών , οι γεωλογικές συνθήκες και οι υποστηρίξεις των υπογείων έργων.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής διερευνώνται οι μέθοδοι εκτίμησης της αποτόνωσης κατά τη δισδιάστατη αριθμητική προσομοίωση της διάνοιξης σπηραγγων. Για αυτή τη διερεύνηση αντλήθηκαν στοιχεία από τη σήραγγα της Αγίας Κυριακής στην Ε.Ο. Άρτας - Τρικάλων για τις σπηραγγολογικές κατηγορίες βραχομάζας II και III. Για το σχεδιασμό των δύο διατομών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα AUTOCAD και στη συνέχεια το RS2 για την προσομοίωση της διάνοιξης και υποστήριξης σπηραγγων. Αναγκαία ήταν και η χρήση του προγράμματος RocSupport για τη δημιουργία των καμπυλών σύγκλισης – αποτόνωσης , ώστε να υπολογιστεί ο βαθμός αποτόνωσης για τρεις διαφορετικές μεθόδους , αυτές των : Panet , Chern και Vlachopoulou. Μέσα από προσομοιώσεις για διαφορετικά βάθη σήραγγας , διαφορετικών τύπων βραχομάζας αλλά και διαφορετικών βαθμών αποτόνωσης έγινε σύγκριση των μοντέλων που σχεδιάστηκαν και αντλήθηκαν σημαντικά αποτελέσματα ως προς τη χρήση της εκάστοτε μεθόδου.

ABSTRACT

The underground works, since ancient times were an important part of both the exploitation of underground farms and the service of religious and ritual purposes. Although the use of tunnels was considerably reduced after the fall of the Roman Empire, they did not cease to be an important part of military operations. However , the time period that was a hub for tunneling was the industrial revolution to facilitate the transport of goods in mountainous areas and later the transport of people themselves.(Alexander I. Sofianos,2018). This rapid increase in the construction of railways and tunnels created the need for understanding and studying terms such as : the properties of rock masses , geological conditions and supports for underground works.

In the context of this work, the methods of estimating the displacement during the two-dimensional numerical simulation of tunneling are investigated. For this investigation, data from the Agia Kyriaki tunnel on the Arta - Trikala highway were taken for the rock mass categories II and III. The AUTOCAD program was used for the design of the two cross-sections and then RS2 for the simulation of tunneling and support. It was also necessary to use the RocSupport program to generate the convergence-displacement curves , in order to calculate the degree of displacement for three different methods , those of : Panet , Chern and Vlachopoulos. Through simulations for different tunnel depths , different types of rock masses and different degrees of detachment, the models designed were compared and important results were obtained in terms of the use of each method.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	7
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	10
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	12
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	12
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
1.1 Σκοπός της εργασίας.....	15
1.2 Διάρθρωση της εργασίας.....	15
1.3 Περιγραφή της βραχομάζας.....	15
1.3.1 Μηχανική αντοχή του πετρώματος	16
1.4 Σύστημα ταξινόμησης βραχομάζας RMR (Bienawski).....	17
1.5 Παράμετροι παραμορφωσιμότητας.....	17
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : ΣΗΡΑΓΓΑ ΑΓΙΑΣ ΚΥΡΙΑΚΗΣ	19
2.1 Γενικά στοιχεία σήραγγας.....	19
2.2 Γεωλογικά – Γεωτεχνικά στοιχεία μελέτης	20
2.2.1 Γεωλογικές συνθήκες	20
2.2.2 Μεταλλικές αποθέσεις	20
2.2.3 Αλπικοί σχηματισμοί ζώνης Πίνδου.....	20
2.3 Γεωτεχνικές παράμετροι.....	21
2.3.1 Ταξινόμηση βραχομάζας.....	21
2.3.2 Σηραγγολογικές κατηγορίες	22
2.4 Μέτρα άμεσης υποστήριξης	24
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	26
3.1 Καμπύλες σύγκλισης - αποτόνωσης.....	26
3.1.1 Μέθοδος Panet.....	28
3.1.2 Μέθοδος Chern.....	32
3.1.3 Χρησιμότητα καμπυλών Chern – Panet.....	33

4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ RS2 ΚΑΙ ROCSUPPORT.....	35
4.1	Υπολογιστικό πρόγραμμα RS2	35
4.1.1	Ιστορικά στοιχεία	35
4.2	Αναλυτικός σχεδιασμός μοντέλου προσομοίωσης.....	36
4.2.1	Ρυθμίσεις μοντέλου – Project settings	36
4.2.2	Ορισμός εξωτερικών ορίων μοντέλου (Boundaries)	37
4.2.3	Ιδιότητες των υλικών	37
4.2.4	Εγκατάσταση πλέγματος.....	39
4.2.5	Προσθήκη αγκυρίων , μέτρων άμεσης υποστήριξης σήραγγας και επένδυσης 40	
4.2.6	Επαγόμενα φορτία και βαθμός αποτόνωσης.....	44
4.3	Υπολογισμός δεδομένων των μοντέλων.....	47
4.4	Βασικές έννοιες	47
4.5	Πρόγραμμα RocSupport.....	48
4.5.1	Στοιχεία προγράμματος	48
4.5.2	Στάδια εντολών στο RocSupport	49
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	53
5.1	Σηραγγολογική κατηγορία βραχομάζας II	53
5.2	Αποτελέσματα βραχομάζας II από το RocSupport.....	56
5.3	Σηραγγολογική κατηγορία βραχομάζας III	61
5.4	Αποτελέσματα βραχομάζας III από το RocSupport.....	63
6	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ	69
6.1	Αποτελέσματα σηραγγολογικής κατηγορίας II	69
6.1.1	Αποτελέσματα μέθοδος Panet 50 m(Αβαθής σήραγγα).....	69
6.1.2	Αποτελέσματα μέθοδος Panet 100 m.....	72
6.1.3	Αποτελέσματα μέθοδος Panet 200 m.....	74
6.1.4	Αποτελέσματα μέθοδος Panet 500 m.....	77
6.1.5	Αποτελέσματα μέθοδος Chern 50 m(Αβαθής σήραγγα)	80
6.1.6	Αποτελέσματα μέθοδος Chern 100 m	82
6.1.7	Αποτελέσματα μέθοδος Chern 200 m	85
6.1.8	Αποτελέσματα μέθοδος Chern 500 m	87
6.1.9	Αποτελέσματα μέθοδος Vlachorouliou για αβαθή σήραγγα(50m).....	90
6.1.10	Αποτελέσματα μέθοδος Vlachorouliou για σήραγγα 100m.....	93

6.1.11	Αποτελέσματα μέθοδος Vlachorouliou για σήραγγα 200m.....	96
6.1.12	Αποτελέσματα μέθοδος Vlachorouliou για σήραγγα 500m.....	98
6.2	Αποτελέσματα σηραγγολογικής κατηγορίας III	102
6.2.1	Αποτελέσματα μέθοδος Panet 50 m(Αβαθής σήραγγα).....	102
6.2.2	Αποτελέσματα μέθοδος Panet 100 m.....	103
6.2.3	Αποτελέσματα μέθοδος Panet 200 m.....	104
6.2.4	Αποτελέσματα μέθοδος Panet 500 m.....	105
6.2.5	Αποτελέσματα μέθοδος Chern 50 m(Αβαθής σήραγγα)	107
6.2.6	Αποτελέσματα μέθοδος Chern 100 m	108
6.2.7	Αποτελέσματα μέθοδος Chern 200 m	110
6.2.8	Αποτελέσματα μέθοδος Chern 500 m	111
6.2.9	Αποτελέσματα μέθοδος Vlachorouliou 50 m(Αβαθής σήραγγα).....	112
6.2.10	Αποτελέσματα μέθοδος Vlachorouliou 100 m.....	113
6.2.11	Αποτελέσματα μέθοδος Vlachorouliou 200 m.....	115
6.2.12	Αποτελέσματα μέθοδος Vlachorouliou 500 m.....	116
6.3	Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ των δύο κατηγοριών.....	118
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	126
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	127

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2-1 Οριζοντιογραφία σήραγγας Αγίας Κυριακής(Γ. Ντουνιάς κ.α , 2006)	19
Εικόνα 2-2 Τυπική διατομή σήραγγας (Γ. Ντουνιάς, 2006)	20
Εικόνα 3-1 Καμπύλες σύγκλισης-αποτόνωσης και καμπύλες Panet (Μ.Καββαδάς , 2007).....	26
Εικόνα 3-2 Τυπικές μορφές καμπυλών Panet κατά μήκος του άξονα της σήραγγας για φιάφορες τιμές του συντελεστή υπερφόρτισης (Μ. Καββαδάς,2007)	27
Εικόνα 3-3 Υπολογισμός ξ (Μ . Καββαδάς , 2007)	28
Εικόνα 3-4 Συντελεστές λ κατά Panet (Μ. Καββαδάς , 2007).....	29
Εικόνα 3-5 Τυπικές μορφές των καμπύλων Panet σε ανυποστήρικτη σήραγγα για διάφορες τιμές του συντελεστή υπερφόρτισης N_s . (Μ. Καββαδάς ,2007)	30
Εικόνα 3-6 Καμπύλες σύγκλισης-αποτόνωσης και καμπύλες Panet σε σήραγγα υποστηριζόμενη με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα(Μ. Καββαδάς ,2007).....	31
Εικόνα 3-7 Συντελεστής λ κατά Chern	33
4-1 Επιλογή σταδίων στο πρόγραμμα.....	37
Εικόνα 4-2 Προσδιορισμός Unit Weight	38
Εικόνα 4-3 Προσδιορισμός λόγου Poisson και Youngs Modulus	39
Εικόνα 4-4 Εγκατάσταση πλέγματος.....	39
Εικόνα 4-5 Προσθήκη αγκυρίων	40
Εικόνα 4-6 Αρχικό στάδιο μοντέλου(Initial)	40
Εικόνα 4-7 Στάδιο 3 Α φάση εκσκαφής	41
Εικόνα 4-8 Στάδιο 5 Τοποθετημένα αγκύρια	41
Εικόνα 4-10 Στάδιο 1 με ανενεργά τα μέτρα υποστήριξης.....	42
Εικόνα 4-9 Πίνακας εντολών ιδιοτήτων επένδυσης σήραγγας.....	42
Εικόνα 4-11 Στάδιο 3 Ενεργοποίηση μέτρων υποστήριξης στην Α φάση εκσκαφής.....	43
Εικόνα 4-12 Στάδιο 5 Πλήρως ενεργοποιημένα μέτρα υποστήριξης	43
Εικόνα 4-13 Κατανεμημένο φορτίο καταπόνησης για βάθος σήραγγας 200m.....	44
Εικόνα 4-14 Στάδια προσθήκης συντελεστή αποτόνωσης	45
Εικόνα 4-15 Αρχικό στάδιο μοντέλου με προσδιορισμένες όλες τις ιδιότητες.....	45
Εικόνα 4-16 Στάδιο 2 (πρώτη αποτόνωση) μοντέλου με προσδιορισμένες όλες τις ιδιότητες	46
Εικόνα 4-17 Στάδιο 3 Α φάση εκσκαφής.....	46
Εικόνα 4-18 Στάδιο 4(δεύτερη αποτόνωση)	47
Εικόνα 4-19 Ορισμός παραμέτρων σήραγγας	49
Εικόνα 4-20Υπολογισμός In-Situ Stress	50
Εικόνα 4-21 Ορισμός παραμέτρων υποστήριξης σήραγγας	50
Εικόνα 4-22 Επιλογή μεθόδου εκτίμησης της αποτόνωσης	51
Εικόνα 4-23 Καμπύλη σύγκλισης – αποτόνωσης στο Excel από το RocSupport.....	51
Εικόνα 4-24 Υπολογισμός συντελεστή αποτόνωσης λ από καμπύλη στο Excel.....	52
Εικόνα 5-1 Μετρητά υποστήριξη για shraggologik;h kathgor;ia II.....	53
Εικόνα 6-1 Stage2 Πρώτη αποτόνωση Panet 50m	69
Εικόνα 6-2 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 50m.....	70
Εικόνα 6-3 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 50m	70
Εικόνα 6-4 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 50 m	71
Εικόνα 6-5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 50m.....	71
Εικόνα 6-6 Stage 2 Πρώτη αποτόνωση Panet 100m	72
Εικόνα 6-7 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 100m.....	72
Εικόνα 6-8 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 100m	73
Εικόνα 6-9 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 100m.....	73
Εικόνα 6-10 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 100m	74
Εικόνα 6-11 Stage 2 Πρώτη αποτόνωση Panet 200m.....	74
Εικόνα 6-12 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 200m	75
Εικόνα 6-13 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 200m ..	75
Εικόνα 6-14 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 200m.....	76
Εικόνα 6-15 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 200m	76
Εικόνα 6-16 Stage 2 Πρώτη αποτόνωση Panet 500m.....	77
Εικόνα 6-17 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 500m	77
Εικόνα 6-18 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 500m ..	78
Εικόνα 6-19 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 500m.....	78
Εικόνα 6-20 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 200m	79
Εικόνα 6-21 Stage 5 Ροπή κάμψης στο σκυρόδεμα Panet 500m.....	79

Εικόνα 6-22 Stage 2 Πρώτη αποτόνωση Chern 50m	Σχήμα 6.21 Stage 2 Πρώτη αποτόνωση Chern 50m.....	80
Εικόνα 6-23 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 50m.....		80
Εικόνα 6-24 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 50m ...		81
Εικόνα 6-25 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 50m		81
Εικόνα 6-26 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 50m		82
Εικόνα 6-27 Stage 2 Πρώτη αποτόνωση Chern 100m.....		82
Εικόνα 6-28 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 100m.....		83
Εικόνα 6-29 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 100m .		83
Εικόνα 6-30 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 100m.....		84
Εικόνα 6-31 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 100m		84
Εικόνα 6-32 Stage 2 Πρώτη αποτόνωση Chern 200m		85
Εικόνα 6-33 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 200m.....		85
Εικόνα 6-34 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 200m .		86
Εικόνα 6-35 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 200m.....		86
Εικόνα 6-36 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 200m		87
Εικόνα 6-37 Stage 2 Πρώτη αποτόνωση Chern 500m		87
Εικόνα 6-38 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 500m.....		88
Εικόνα 6-39 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 500m .		88
Εικόνα 6-40 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 500m.....		89
Εικόνα 6-41 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 500m		89
Εικόνα 6-42 Stage 2 Πρώτη αποτόνωση Vlachopoulos 50m		90
Εικόνα 6-43 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 50m		90
Εικόνα 6-44 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 50m.....		91
Εικόνα 6-45 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 50m.....		91
Εικόνα 6-46 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 50m		92
Εικόνα 6-47 Stage 2 Πρώτη αποτόνωση Vlachopoulos 100m.....		93
Εικόνα 6-48 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 100m.....		93
Εικόνα 6-49 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 100m.....		94
Εικόνα 6-50 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 100m.....		94
Εικόνα 6-51 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 50m		95
Εικόνα 6-52 Stage 2 Πρώτη αποτόνωση Vlachopoulos 200m.....		96
Εικόνα 6-53 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 200m.....		96
Εικόνα 6-54 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 200m.....		97
Εικόνα 6-55 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 200m.....		97
Εικόνα 6-56 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 200m.....		98
Εικόνα 6-57 Stage 2 Πρώτη αποτόνωση Vlachopoulos 500m.....		98
Εικόνα 6-58 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 500m.....		99
Εικόνα 6-59 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 500m.....		99
Εικόνα 6-60 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 500m.....		100
Εικόνα 6-61 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 500m.....		100
Εικόνα 6-62 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 50m.....		102
Εικόνα 6-63 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 50m.....		102
Εικόνα 6-64 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 100m.....		103
Εικόνα 6-65 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 100m		103
Εικόνα 6-66 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 200m.....		104
Εικόνα 6-67 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 200m		105
Εικόνα 6-68 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 500m.....		105
Εικόνα 6-69 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 500m		106
Εικόνα 6-70 Stage 5 Ροπή κάμψης Panet 500m		106
Εικόνα 6-71 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 50m		107
Εικόνα 6-72 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 50m.....		107

Εικόνα 6-73 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 100m.....	108
Εικόνα 6-74 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 100m.....	109
Εικόνα 6-75 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 200m.....	110
Εικόνα 6-76 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 200m.....	110
Εικόνα 6-77 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 500m.....	111
Εικόνα 6-78 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 500m.....	111
Εικόνα 6-79 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 50m.....	112
Εικόνα 6-80 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 50m	112
Εικόνα 6-81 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 100m.....	113
Εικόνα 6-82 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 100m.....	114
Εικόνα 6-83 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 200m.....	115
Εικόνα 6-84 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 200m.....	115
Εικόνα 6-85 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 500m.....	116
Εικόνα 6-86 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 500m.....	116

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1-1 Κατηγορίες πετρωμάτων με βάση την αντοχή(κατά ISMR,1981)(Μ. Καββαδάς,2007).....	16
Πίνακας 1-2 Κατηγορία βραχομάζας ανάλογα με την τιμή του δείκτη RMR (Μ. Καββαδάς,2012)	17
Πίνακας 1-3 Λόγος Poisson ανάλογα με τον τύπο της βραχομάζας (Μ. Καββαδάς ,2012).....	18
Πίνακας 2-1 Ταξινόμηση βραχομάζας(Γ.Ντουνιάς, Δέβε.Β, Ντάλης Δ. ,Μαντζιάρας Π. ,2006)...	21
Πίνακας 2-2Σηραγγολογικές κατηγορίες βραχομάζας(Γ.Ντουνιάς, Δέβε.Β, Ντάλης Δ. ,Μαντζιάρας Π. ,2006)	22
Πίνακας 3-1 Ενδεικτικές τιμές συντελεστή αποτόνωσης(Μ. Καββαδάς,2007)	32
Πίνακας 5-1Υπολογισμός συντελεστή αποτόνωσης για κατηγορία βραχομάζας II με τη μέθοδο του Panet.....	54
Πίνακας 5-2Υπολογισμός συντελεστή αποτόνωσης για κατηγορία βραχομάζας II με τη μέθοδο του Chern.....	55
Πίνακας 5-3Υπολογισμός συντελεστή αποτόνωσης για κατηγορία βραχομάζας II με τη μέθοδο του Vlachoroulou	55
Πίνακας 5-4 Αποτελέσματα βραχομάζας II για H = 50m.....	56
Πίνακας 5-5 Αποτελέσματα βραχομάζας II για H = 100m.....	57
Πίνακας 5-6 Αποτελέσματα βραχομάζας II για H = 200m.....	57
Πίνακας 5-7 Αποτελέσματα βραχομάζας II για H = 500m.....	59
Πίνακας 5-8 Υπολογισμός συντελεστή αποτόνωσης για κατηγορία βραχομάζας III με τη μέθοδο του Panet.....	62
Πίνακας 5-9 Υπολογισμός συντελεστή αποτόνωσης για κατηγορία βραχομάζας III με τη μέθοδο του Vlachoroulou	62
Πίνακας 5-10 Υπολογισμός συντελεστή αποτόνωσης για κατηγορία βραχομάζας III με τη μέθοδο του Chern.....	62
Πίνακας 5-11 Αποτελέσματα βραχομάζας III για H = 50m.....	63
Πίνακας 5-12 Αποτελέσματα βραχομάζας III για H = 100m.....	64
Πίνακας 5-13 Αποτελέσματα βραχομάζας III για H = 200m.....	65
Πίνακας 5-14 Αποτελέσματα βραχομάζας III για H = 500m.....	66

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 5-1 Συγκριτική απεικόνιση Wall displacement with support(mm) ως προς το βάθος H(m) ανά μέθοδο για βραχομάζα II	60
Διάγραμμα 5-2 Συγκριτική απεικόνιση Initial Wall displacement (mm) ως προς το βάθος H(m) ανά μέθοδο για βραχομάζα II.....	61

Διάγραμμα 5-3 Συγκριτική απεικόνιση Wall displacement with support(mm) ως προς το βάθος H(m) ανά μέθοδο για βραχομάζα III	68
Διάγραμμα 5-4 Συγκριτική απεικόνιση Initial Wall displacement (mm) ως προς το βάθος H(m) ανά μέθοδο για βραχομάζα II.....	68
Διάγραμμα 6-1 Συγκριτική απεικόνιση μέγιστης αξονικής δύναμης σε σχέση με το βάθος για τη μέθοδο Panet.....	118
Διάγραμμα 6-2 Συγκριτική απεικόνιση μέγιστης διατμητικής δύναμης σε σχέση με το βάθος για τη μέθοδο Panet.....	119
Διάγραμμα 6-3 Συγκριτική απεικόνιση μέγιστης ροπής κάμψης σε σχέση με το βάθος για τη μέθοδο Panet.....	119
Διάγραμμα 6-4 Συγκριτική απεικόνιση μέγιστης αξονικής δύναμης σε σχέση με το βάθος για τη μέθοδο Vlachoroulou	120
Διάγραμμα 6-5 Συγκριτική απεικόνιση μέγιστης διατμητικής δύναμης σε σχέση με το βάθος για τη μέθοδο Vlachoroulou.....	120
Διάγραμμα 6-6 Συγκριτική απεικόνιση μέγιστης ροπής κάμψης σε σχέση με το βάθος για τη μέθοδο Vlachoroulou	121
Διάγραμμα 6-7 Συγκριτική απεικόνιση μέγιστης διατμητικής δύναμης σε σχέση με το βάθος για τη μέθοδο Chern.....	122
Διάγραμμα 6-8 Συγκριτική απεικόνιση μέγιστης αξονικής δύναμης σε σχέση με το βάθος για τη μέθοδο Chern.....	122
Διάγραμμα 6-9 Συγκριτική απεικόνιση μέγιστης ροπής κάμψης σε σχέση με το βάθος για τη μέθοδο Chern.....	123
Διάγραμμα 6-10 Συγκριτική απεικόνιση ροπών κάμψεων μεταξύ των μεθόδων για σπαραγγολογική κατηγορία II.....	123
Διάγραμμα 6-11 Συγκριτική απεικόνιση ροπών κάμψεων μεταξύ των μεθόδων για σπαραγγολογική κατηγορία III	124
Διάγραμμα 6-12 Συγκριτική απεικόνιση αξονικών δυνάμεων μεταξύ των μεθόδων για σπαραγγολογική κατηγορία III	124

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπός της εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των μεθόδων εκτίμησης της αποτόνωσης κατά τη διδιάστατη αριθμητική προσομοίωση της διάνοιξης σήραγγων. Στην εργασία αυτή θα δημιουργηθούν οι καμπύλες σύγκλισης – αποτόνωσης μέσω του προγράμματος RocSupport χρησιμοποιώντας τις μεθόδους των Panet ,Chern και Vlachoroulou.

Αφού χρησιμοποιήθηκαν διάφορα στοιχεία (βάθος σήραγγας , διαφορετικές σπραγγολογικές κατηγορίες βραχομάζας) υπολογίστηκαν οι βαθμοί αποτόνωσης και προέκυψαν τα μοντέλα προσομοίωσης μέσω του προγράμματος RS2 της RocScience αντλώντας χρήσιμα συμπεράσματα για την κάθε μέθοδο.

1.2 Διάρθρωση της εργασίας

Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται μία σύντομη περιγραφή της διπλωματικής εργασίας καθώς κι η παρουσίαση της διάρθρωσης αυτής και αναφορά σε κάποια γενικά στοιχεία και ορολογίες.

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται μια σειρά στοιχείων για την σήραγγα της Αγίας Κυριακής όπως οι γεωλογικές συνθήκες , η ταξινόμηση της βραχομάζας , οι σπραγγολογικές κατηγορίες καθώς και τα μέτρα υποστήριξης αυτών.

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται αναφορά στις μεθόδους Panet , Chern και Vlachoroulou , οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία και τα αποτελέσματα των οποίων θα συγκριθούν στο τέλος.

Στο Κεφάλαιο 4 περιγράφεται η λειτουργία των προγραμμάτων RS2 και RocSupport που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία και την προσομοίωση των μοντέλων.

Στο Κεφάλαιο 5 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν μέσα από τη μελέτη των καμπυλών σύγκλισης αποτόνωσης που δημιουργήθηκαν με το πρόγραμμα RocSupport.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το σχεδιασμό των μοντέλων μέσω του προγράμματος RS2.

1.3 Περιγραφή της βραχομάζας

Πολύ σπάνιο φαινόμενο αποτελεί να είναι η βραχομάζα συνεχής ομογενής και ισότροπη. Αντιθέτως τις περισσότερες φορές είναι ρηγματωμένη διασχίζεται από ποικίλα συστήματα ασυνεχειών , παρουσιάζει μεταβλητό βαθμό αποσάθρωσης κι έχει ανισότροπη συμπεριφορά. Η μηχανική αντοχή του πετρώματος , ο δείκτης κερματισμού της βραχομάζας (RQD) , οι ασυνέχειες και η παρουσία υπόγειου νερού αποτελούν τις παραμέτρους με βάση τις οποίες κατατάσσεται σε κατηγορίες η βραχομάζα.(Μ.Καββαδάς ,2012)

1.3.1 Μηχανική αντοχή του πετρώματος

Μέσω της αντοχής (σ_{ci}) που προκύπτει κατά τη δοκιμή μοναξονικής θλίψης (uniaxial compression strength) σε κυλινδρικά δοκίμια του "συμπαγούς" πετρώματος εκφράζεται η μηχανική αντοχή του πετρώματος από το οποίο δομείται η βραχομάζα .
(Μ.Καββαδάς ,2012) Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζονται οι κατηγορίες των πετρωμάτων με βάση την αντοχή τους.

Πίνακας 1-1 Κατηγορίες πετρωμάτων με βάση την αντοχή(κατά ISMR,1981)(Μ.Καββαδάς,2007)

Αντοχή σ_{ci} (MPa)	Κατηγορία πετρώματος	Περιγραφή
>250	Εξαιρετικά ισχυρό	Δε θραύεται με γεωλογικό σφυρί
100-250	Πολύ ισχυρό	Θραύεται μετά από αρκετούς κτύπους με γεωλογικό σφυρί
50-100	Ισχυρό	Θραύεται με περισσότερους από ένα κτύπους από γεωλογικό σφυρί
25-50	Μετρίως ισχυρό	Δε χαράσσεται με μαχαίρι
5-25	Ασθενές	Δύσκολα χαράσσεται με μαχαίρι
1-5	Πολύ ασθενές	Χαράσσεται εύκολα με μαχαίρι
0.25-1	Εξαιρετικά ασθενές	Χαράσσεται με το νύχι

1.4 Σύστημα ταξινόμησης βραχομάζας RMR (Bienawski)

Ο Bieniawski πρότεινε το σύστημα RMR (Rock Mass Rating) το 1976, το 1979 του έδωσε την τελική του μορφή έως το 1989 όπου και παρουσιάστηκε. Το άθροισμα έξι παραμέτρων [αντοχή του συμπαγούς πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη, ο δείκτης κερματισμού της βραχομάζας(RQD) , η απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών , η κατάσταση των επιφανειών των ασυνεχειών , η παρουσία υπόγειου νερού και ο προσανατολισμός των ασυνεχειών] αποτελεί την τιμή του δείκτη RMR. Ο πίνακας 1.2 παρουσιάζει την κατηγορία της βραχομάζας ανάλογα με την τιμή του δείκτη RMR. (Μ.Καββαδάς ,2012)

Πίνακας 1-2 Κατηγορία βραχομάζας ανάλογα με την τιμή του δείκτη RMR (Μ. Καββαδάς,2012)

Κατηγορία βραχομάζας	Τιμές του δείκτη RMR
Πολύ καλή – I	81-100
Καλή - II	61-80
Μέτρια – III	41-60
Πτωχή - IV	21-40
Πολύ πτωχή – V	0-20

1.5 Παράμετροι παραμορφωσιμότητας

Το μέτρο ελαστικότητας της βραχομάζας μπορεί να εκτιμηθεί από την εμπειρική σχέση

$$E = \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \text{alog} \left[\frac{RMR - 10}{40} \right]$$

Όπου :

- σ_{ci} είναι η μονοαξονική αντοχή του πετρώματος
- RMR είναι ο δείκτης Bieniawski

Ο Hoek το 1997 τροποποίησε την εμπειρική σχέση Serafim and Pereira(1983) και προέκυψε η συγκεκριμένη. Με βάση τον πίνακα 1.3 μπορεί να εκτιμηθεί κατά προσέγγιση ο λόγος του Poisson.

Πίνακας 1-3 Λόγος Poisson ανάλογα με τον τύπο της βραχομάζας (Μ. Καββαδάς ,2012)

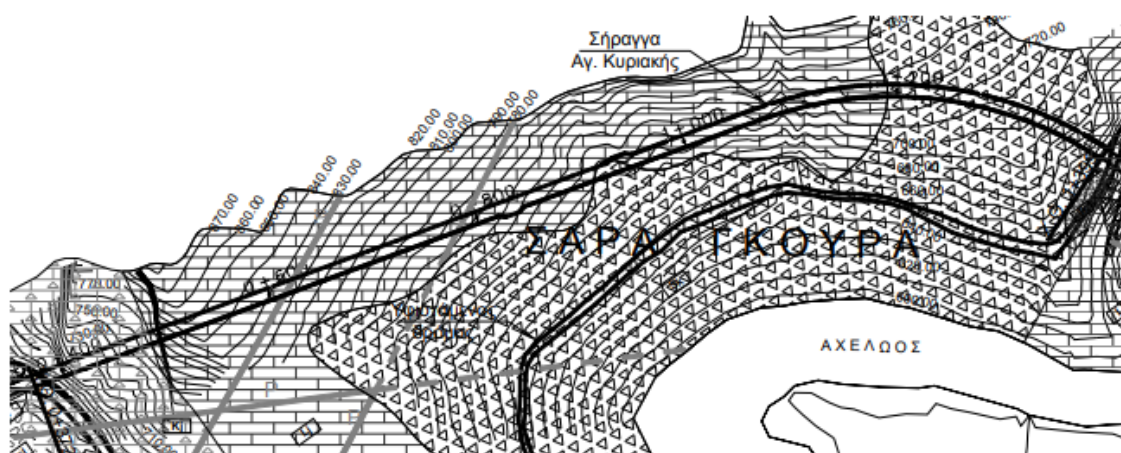
Τύπος βραχομάζας	Λόγος Poisson
Τεμαχώδης με καλή αλληλεμπλοκή των κόκκων χωρίς διαταραχή	0.20-0.25
Τεμαχώδης ελαφρώς διαταραγμένη	0.30-0.35
Διαταραγμένη , πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια	0.35-0.40
Πολύ διαταραγμένη με γωνιώδη και στρογγυλεμένα τεμάχια	0.30-0.35
Τελείως εξαλλοιωμένη βραχομάζα	0.25-0.30

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΣΗΡΑΓΓΑ ΑΓΙΑΣ ΚΥΡΙΑΚΗΣ

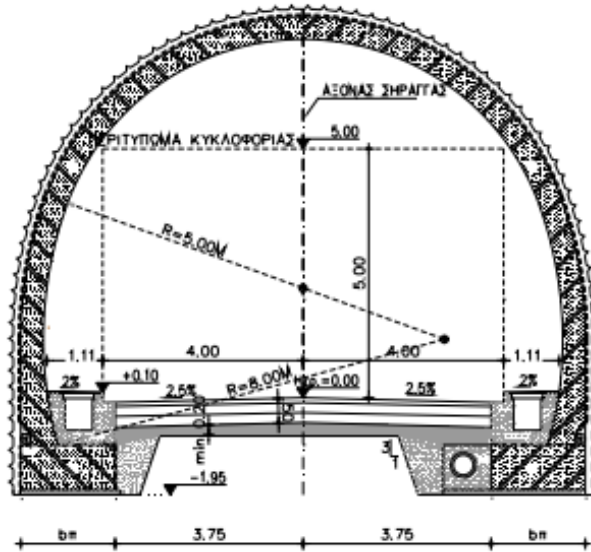
2.1 Γενικά στοιχεία σήραγγας

Η ανάγκη για τη διάνοιξη της σήραγγας της Αγίας Κυριακής προέκυψε όταν χρειάστηκε η Εθνική Οδός Άρτας – Τρικάλων να παρακάμψει ένα κομμάτι ασταθών κορημάτων στην περιοχή του Αχελώου ποταμού. Η σήραγγα αυτή εκτείνεται σε ένα μήκος 1027 m. Η σήραγγα αυτή εκτείνεται από τη Χ.Θ. 0+372 μέχρι τη Χ.Θ. 1+399 του τμήματος Αγίας Κυριακής έως Σήραγγα Παχτουρίου της Εθνικής Οδού Άρτας – Τρικάλων.

Στόχος της διάνοιξης της συγκεκριμένης σήραγγας αποτέλεσε η ανάγκη για βελτίωση της Ε.Ο. Άρτας – Τρικάλων στην περιοχή της Σάρα Γκούρα λόγω των έντονων προβλημάτων των εδαφικών ασταθειών που παρουσιάζει η συγκεκριμένη περιοχή.



Εικόνα 2-1 Οριζοντιογραφία σήραγγας Αγίας Κυριακής(Γ. Ντουνιάς κ.α , 2006)



Εικόνα 2-2 Τυπική διατομή σήραγγας (Γ. Ντουνιάς, 2006)

2.2 Γεωλογικά – Γεωτεχνικά στοιχεία μελέτης

2.2.1 Γεωλογικές συνθήκες

Στο σημείο της περιοχής της Ε.Ο. Άρτας – Τρικάλων όπου έχει διανοιχθεί η σήραγγα της Αγίας Κυριακής συναντώνται οι αλπικοί σχηματισμοί της ζώνης Γαβρόβου – Τρίπολης. Χαρακτηριστική είναι κι η επιφανειακή ανάπτυξη μεταλλικών αποθέσεων χαλαρή δομής. (Ντουνιάς Γ. ,Δέβε.Β. ,Ντάλης Δ. ,Μαντζιάρας Π. ,2006)

2.2.2 Μεταλλικές αποθέσεις

Οι νεότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί που έχουν δημιουργηθεί αποτελούν τις μεταλλικές αποθέσεις κι έχουν προκύψει κυρίως από υλικά προερχόμενα από κατολισθητικές κι ερπυστικές κινήσεις που έχουν προέλθει από σχηματισμούς του υποβάθρου με τα επικρατέστερα να είναι :

- Τα κολλούβια φλύσχη
- Τα ασβεστολιθικά κορρήματα
- Τις ποτάμιες αλλουβιακές αποθέσεις

2.2.3 Αλπικοί σχηματισμοί ζώνης Πίνδου

Κατά κύριο λόγο αποτελούνται από :

- Άνω κρητιδικούς ασβεστόλιθους
- Ιζήματα πρώτου φλύσχη
- Άνω ιουρασικούς ασβεστόλιθους
- Ιουρασικούς κερατόλιθους
- Κάτω ιουρασικούς ασβεστόλιθους

2.3 Γεωτεχνικές παράμετροι

2.3.1 Ταξινόμηση βραχομάζας

Λόγω της έλλειψης στοιχείων ερευνών , όπως γεωτρήσεων και εργαστηριακών δοκιμών , στην περιοχή όπου χαράχθηκε η σήραγγα οι κατηγορίες ταξινόμησης της βραχομάζας πραγματοποιήθηκαν με βάση στοιχεία που συλλέχθηκαν κατά την επιφανειακή γεωλογική χαρτογράφηση.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η βαθμονόμηση της βραχομάζας που έγινε με βάση τα κριτήρια RMR₈₉ (Bienawski 1989) . Όσον αφορά το GSI η βαθμονόμηση έγινε βάσει του τύπου $GSI = RMR'89 - 5$ [GSI (1)] αλλά και απευθείας με χρήση του σχετικού πίνακα του κριτηρίου των Hoek & Brown [GSI (2)]. (Ντουνιάς Γ. ,Δέβε.Β. ,Ντάλης Δ. ,Μαντζιάρας Π. ,2006)

Πίνακας 2-1 Ταξινόμηση βραχομάζας(Γ.Ντουνιάς, Δέβε.Β, Ντάλης Δ. ,Μαντζιάρας Π. ,2006)

Σχηματισμός	RMR ₈₉	GSI (1)	GSI (2)
Πράσινοι κερατόλιθοι	52-70	47-65	40-70
Κόκκινοι κερατόλιθοι	35-55	30-50	30-45
Ασβεστόλιθοι	47-70	42-65	40-70

2.3.2 Σηραγγολογικές κατηγορίες

Οι σηραγγολογικές κατηγορίες που προέκυψαν με βάση την ταξινόμηση της βραχομάζας από τον παραπάνω πίνακα είναι τέσσερις. Αυτή η κατάταξη προέκυψε εφόσον λήφθηκαν ως χαρακτηριστικές τιμές παραμέτρων της κάθε κατηγορίας οι χαμηλότερες που αντιστοιχούν στο εκτιμώμενο εύρος της εκάστοτε κατηγορίας, έχοντας ως συνέπεια τη χρησιμοποίηση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων για τις συγκεκριμένες τιμές να μπορούν να θεωρηθούν ότι ισχύουν για όλο το εύρος των χαρακτηριστικών τιμών της κάθε κατηγορίας. (Ντουνιάς Γ., Δέβε.Β., Ντάλης Δ., Μαντζιάρας Π., 2006)

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας των τεσσάρων σηραγγολογικών κατηγοριών.

Πίνακας 2-2 Σηραγγολογικές κατηγορίες βραχομάζας (Γ.Ντουνιάς, Δέβε.Β, Ντάλης Δ., Μαντζιάρας Π., 2006)

Σηραγγολογική κατηγορία	I	II	III	IV
Δομή πετρώματος	Blocky έως Very Blocky	Very Blocky έως blocky/ Disturbed	Blocky έως Disturbed	Desintegrated
Ασυνέχειες κατά GSI	Very έως Good Good	Good	Fair	Fair έως Poor
GSI	60 - 70	45 - 50	30 - 45	20 - 30
Βαθμονόμηση Bienawski ⁸⁹	65 - 75	50 - 65	35 - 50	25 - 35
σ_c (MPa) πυρήνα άθικτου πετρώματος	>60	45 - 60	30 - 45	20 - 30
RQD %	40 - 80	25 - 50	0 - 30	0 - 10
Χαρακτηριστικές τιμές για τους υπολογισμούς	$\sigma_c = 60$ MPa GSI = 60 mi = 12	$\sigma_c = 45$ MPa GSI = 45 mi = 10	$\sigma_c = 30$ MPa GSI = 30 mi = 10	$\sigma_c = 20$ MPa GSI = 20 mi = 9

Σηραγγολογική κατηγορία	I	II	III	IV

Σηραγγολογική κατηγορία I : Χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής αποτελούν οι πράσινοι κερατόλιθοι ή υγείς ασβεστόλιθοι , έως ελαφρά κερματισμένοι. Στην κατηγορία αυτή παρατηρείται συμπαγής βραχομάζα με τραχείες και κλειστές ασυνέχειες χωρίς να παρουσιάζονται υλικά πλήρωσης ή επιφάνειες συγκολλημένες με ασβεστικό υλικό. (Ντουνιάς Γ. ,Δέβε.Β. ,Ντάλης Δ. ,Μαντζιάρας Π. ,2006)

Σηραγγολογική κατηγορία II : Στη συγκεκριμένη κατηγορία , η οποία θα μελετηθεί στην παρούσα διπλωματική , περιλαμβάνονται κερατόλιθοι (με ή χωρίς ιλυολιθικές ενστρώσεις) , ελαφρά λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι έως ελαφρά κερματισμένοι . Χαρακτηριστικό της βραχομάζας αυτής της κατηγορίας αποτελεί το γεγονός ότι είναι ελαφρά χαλαρωμένη με κυματοειδείς ασυνέχειες , με ελαφρά αποσαθρωμένες επιφάνειες χωρίς να παρατηρείται ύπαρξη υλικών πλήρωσης. (Ντουνιάς Γ. ,Δέβε.Β. ,Ντάλης Δ. ,Μαντζιάρας Π. ,2006)

Σηραγγολογική κατηγορία III : Άλλη μία κατηγορία , η οποία θα αποτελέσει κριτήριο μελέτης στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι η σηραγγολογική κατηγορία III . Η συγκεκριμένη κατηγορία περιλαμβάνει κερατόλιθους τόσο με όσο και χωρίς ιλυολιθικές ενστρώσεις καθώς και λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους μέτρια έως έντονα κερματισμένους. Η βραχομάζα της σηραγγολογικής κατηγορίας III είναι μέτρια έως έντονα χαλαρωμένη και παρουσιάζει λείες ασυνέχειες με μέτρια αποσαθρωμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες. (Ντουνιάς Γ. ,Δέβε.Β. ,Ντάλης Δ. ,Μαντζιάρας Π. ,2006)

Σηραγγολογική κατηγορία IV : Η σηραγγολογική κατηγορία IV χαρακτηρίζεται από την παρουσία είτε κατακερματισμένων κερατόλιθων με ιλυολιθικές εντρώσεις είτε κατακερματισμένων ασβεστόλιθων. Η βραχομάζα αυτής της κατηγορίας , η οποία

περιλαμβάνει μυλωνιτωμένες ζώνες και ζώνες ρηγμάτων σημαντικού εύρους είναι έντονα διαταραγμένη και πλήρως χαλαρωμένη. Χαρακτηριστικό της κατηγορίας IV αποτελούν οι λείες ασυνέχειες με εντελώς εξαλλοιωμένες επιφάνειες, με παρουσία διατμήσεων και πληρωμένων με συμπαγή αργιλοαμμώδη υλικά. (Ντουνιάς Γ., Δέβε.Β., Ντάλης Δ., Μαντζιάρας Π., 2006)

2.4 Μέτρα άμεσης υποστήριξης

Παρακάτω περιγράφονται τα μέτρα υποστήριξης για την κάθε σηραγγολογική κατηγορία (Ντουνιάς Γ., Δέβε.Β., Ντάλης Δ., Μαντζιάρας Π., 2006) :

Σηραγγολογική κατηγορία I :

- Πάχος εκτοξευόμενου σκυροδέματος με μεταλλικές ίνες 40 kg/m^3 : 7 cm χωρίς Μ.Ι.
- Προσεγγιστικός κάρναβος αγκυρίων (m x m σήραγγας) 1.75 x 2.0 μόνο στο θόλο
- Μήκος αγκυρίων : 4 m

Σηραγγολογική κατηγορία II:

- Πάχος εκτοξευόμενου σκυροδέματος με μεταλλικές ίνες 40 kg/m^3 : 12 cm
- Προσεγγιστικός κάρναβος αγκυρίων (m x m σήραγγας) 1.25 x 1.75
- Μήκος αγκυρίων : 5 m

Σηραγγολογική κατηγορία III:

- Πάχος εκτοξευόμενου σκυροδέματος με μεταλλικές ίνες 40 kg/m^3 : 17 cm
- Προσεγγιστικός κάρναβος αγκυρίων (m x m σήραγγας) 1.5 x 1.25
- Μήκος αγκυρίων : 6 m
- a) Δικτυωτά πλαίσια .τριγωνικής διατομής ,εμβαδού χάλυβα 36.32 cm^2 , ανά 1.5 m
- b) Spiling με ράβδους $\Phi 25$, S500 ανά 0.5 m , μήκους 6 m στις 90° της οροφής

Σηραγγολογική κατηγορία IV:

- Πάχος εκτοξευόμενου σκυροδέματος με μεταλλικές ίνες 40 kg/m^3 : 22 cm
- a) Πλάισια μορφοχάλυβα τύπου IPB – 160 ανά 1 m
- b) Δύο ζεύγη αυτοδιατρυόμενων αγκυρίων , μήκους 6 m σε κάθε πόδα πλαισίου

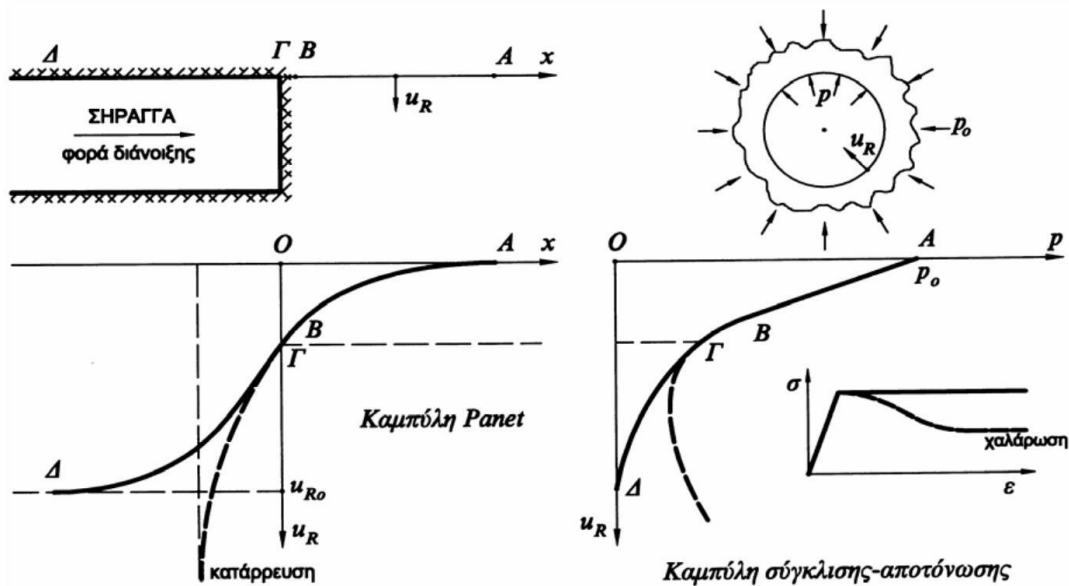
- c) Forepoling , με κοιλοδοκούς $\Phi 114 / 0.40$ m στις 130° της οροφής
- d) Κάλυψη μετώπου Α φάσης εκσκαφής με 5 cm εκτοξευόμενο σκυρόδεμα
- e) Εκτέλεση τσιμεντενέσεων σταθεροποίησης χαμηλής πίεσης στην περίμετρο της διατομής και επί του μετώπου εκσκαφής

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

3.1 Καμπύλες σύγκλισης - αποτόνωσης

Οι καμπύλες σύγκλισης – αποτόνωσης αποτέλεσαν σημαντικό κομμάτι στην υλοποίηση της διπλωματικής εργασίας καθώς μας παρείχαν βασικές παραμέτρους , όπως ο βαθμός αποτόνωσης , οι οποίες ήταν απαραίτητες για το σχεδιασμό των μοντέλων μέσω του προγράμματος RS2 και τη σύγκριση αυτών.

Κατά τη διαδικασία διάνοιξης μίας σήραγγας ,οι μετακινήσεις του εδάφους ξεκινούν σε θέσεις πολύ μπροστά από το μέτωπο διάνοιξης , δηλαδή σε σημείο όπου το μέτωπο εκσκαφής της σήραγγας δεν έχει φτάσει ακόμα σε κάποια συγκεκριμένη θέση. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται μία τέτοιου είδους καμπύλη (ΑΒΓΔ) , όπου φαίνεται η εξέλιξη της σύγκλισης για ανυποστήρικτη σήραग्γα σε διάγραμμα $x - u_R$, με την παράμετρο u_R να αποτελεί τη σύγκλιση της οροφής της σήραγγας και την παράμετρο x την απόσταση από το μέτωπο εκσκαφής. (Μ.Καββαδάς,2007)

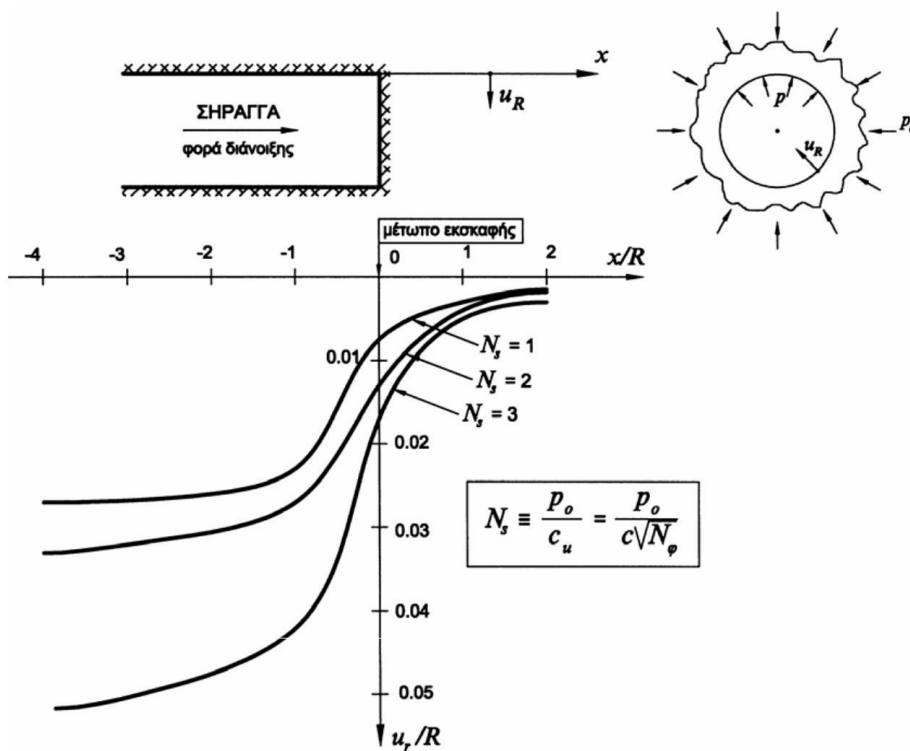


Εικόνα 3-1 Καμπύλες σύγκλισης-αποτόνωσης και καμπύλες Panet (Μ.Καββαδάς , 2007)

Καθώς στην εικόνα 3.1 παρουσιάζεται η καμπύλη σύγκλισης – αποτόνωσης και η καμπύλη Panet μπορούν να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα. Για κάθε θέση x στον άξονα της σήραγγας αντιστοιχεί μία τιμή της σύγκλισης του τοιχώματος. Για την

εκάστοτε τιμή u_R μέσω της καμπύλης σύγκλισης αποτόνωσης υπολογίζεται η τιμή της ισοδύναμης εσωτερικής πίεσης (p), η οποία και είναι μικρότερη της αρχικής γεωστατικής πίεσης (p_o). Η συσχέτιση της σύγκλισης (u_R) του τοιχώματος της σήραγγας με την απόσταση (x) συμβάλει στην εκτίμηση της σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας που έχει πραγματοποιηθεί πριν από την εφαρμογή της προσωρινής υποστήριξης. Ο υπολογισμός της σύγκλισης της βραχομάζας προτού εφαρμοστούν τα μέτρα υποστήριξης συντελεί τόσο στην αποτόνωση της βραχομάζας όσο και στη μείωση των πιέσεων που θα ασκηθούν επί των μέτρων υποστήριξης. (Μ.Καββαδάς,2007)

Για το υπολογισμό της σύγκλισης $u_R(x)$ του τοιχώματος σε μία ανυποστήρικτη σήραγγα σε απόσταση $x < 0$ πίσω από το μέτωπο της εκσκαφής (το οποίο βρίσκεται στη θέση $x = 0$) χρησιμοποιούνται τρισδιάστατες ή αξονοσυμμετρικές αριθμητικές αναλύσεις της περιοχής του μετώπου εκσκαφής. Με βάση αυτές τις αναλύσεις γίνεται ο υπολογισμός της μετακίνησης του τοιχώματος (u_R) σε συνάρτηση με την αξονική απόσταση (x) από το μέτωπο, δημιουργώντας μία σχέση της μορφής $u_R = f(x)$. Χαρακτηριστικές τέτοιες σχέσεις αποτελούν του Panet (1995) και του Chern(1999) οι οποίες και θα αναλυθούν παρακάτω. (Μ.Καββαδάς,2007)



Εικόνα 3-2 Τυπικές μορφές καμπυλών Panet κατά μήκος του άξονα της σήραγγας για διάφορες τιμές του συντελεστή υπερφόρτισης (Μ. Καββαδάς,2007)

3.1.1 Μέθοδος Panet

1. Για τη μέθοδο του Panet σε περίπτωση όπου δεν υπάρχει πλαστική ζώνη γύρω από τη σήραγγα

Σύμφωνα με αυτήν τη μέθοδο η προσέγγιση αποτελεσμάτων των αξονοσυμμετρικών αναλύσεων στην περιοχή του μετώπου των σηράγγων σε ελαστικό έδαφος δίνει :

$$U_R(x) / U_{R\infty} = \{ 1 - 0.75 [1 / 1 - 4/3(x/R)]^2 \}$$

Όπου :

- R = η ακτίνα της σήραγγας
- $u_R(x)$ = σύγκλιση του τοιχώματος ανυποστήρικτης σήραγγας σε απόσταση ($x < 0$) πίσω από το μέτωπο της εκσκαφής, που βρίσκεται στη θέση $x = 0$
- $u_{R\infty}$ = η τελική σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας σε μεγάλη απόσταση ($x = -\infty$) πίσω από το μέτωπο εκσκαφής

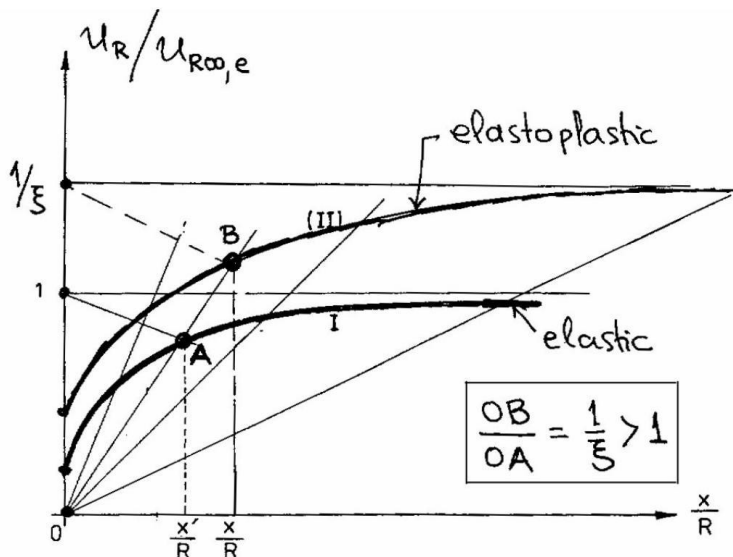
Αποτέλεσμα μονοδιάστατων αναλύσεων σε ελαστική βραχόμαζα :

$$\lambda = u_R / u_{R\infty}$$

2. Για τη μέθοδο του Panet σε περίπτωση όπου υπάρχει πλαστική ζώνη γύρω από τη σήραγγα

Θεωρείται ότι η ελαστοπλαστική καμπύλη μετακινήσεων είναι ομοιόθετη της ελαστικής ως προς την αρχή των αξόνων με λόγο ομοιθεσίας :

$$OB/OA = 1/\xi = u_{R\infty} / u_{R\infty,e}$$

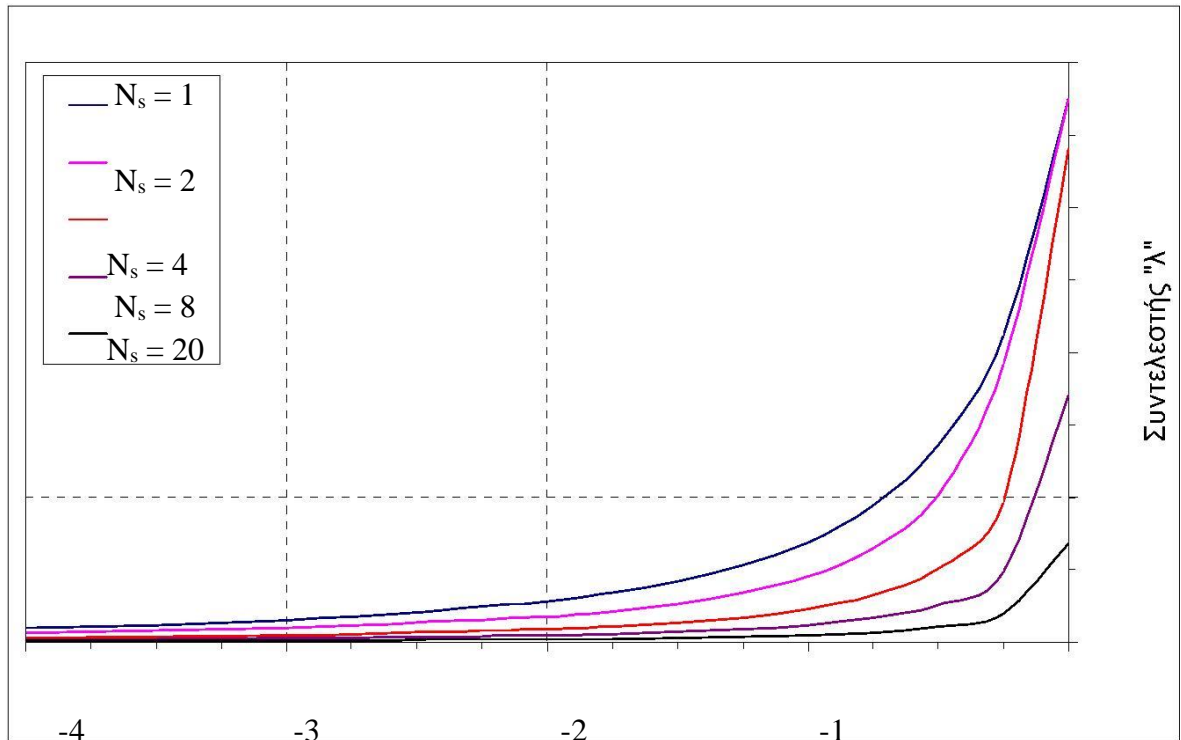


Εικόνα 3-3 Υπολογισμός ξ (Μ. Καββαδάς, 2007)

Συνδυάζοντας αυτό σε σχέση με τη σχέση Panet :

$$U_R(x) / U_{R\infty} = 1 - 0.75 [1 / 1 - 4/3(x/R) \xi]^2$$

προκύπτει η ζητούμενη σχέση : $\lambda = f(x/R , N_s , k, K)$, η οποία φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα για $k=3$ και $K=11$



Εικόνα 3-4 Συντελεστές λ κατά Panet (Μ. Καββαδάς , 2007)

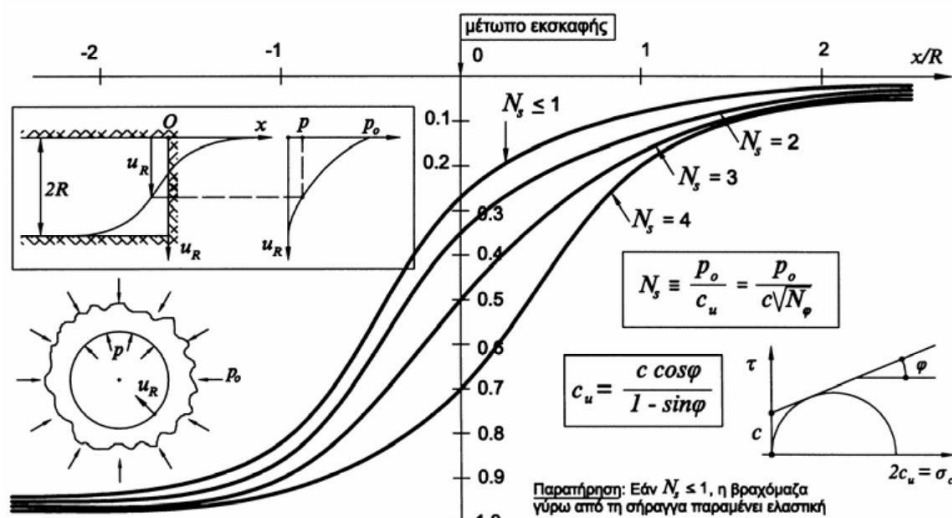
Η εικόνα 3.6 παρουσιάζει τις αντίστοιχες καμπύλες σε διατομή σήραγγας που έχει τοποθετηθεί εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για υποστήριξη. Η καμπύλη $x-uR$ ακολουθεί τη διαδρομή ΑΓΔΕ και η τελική σύγκλιση (uRE) είναι μικρότερη από την αντίστοιχη σύγκλιση της ανυποστήρικτης διατομής (uRO).

Αντιστοίχως, στην προσωρινή υποστήριξη ασκείται πίεση (pE) κατά την τελική κατάσταση ισορροπίας (κατάσταση E). Εάν (Δ) είναι η κατάσταση τη στιγμή που τοποθετούνται τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης(σε απόσταση $x\Delta$ πίσω από το μέτωπο διάνοιξης της σήραγγας), τότε στο σημείο Δ αντιστοιχεί μια τιμή της σύγκλισης ($uR\Delta$) και μια ισοδύναμη εσωτερική πίεση ($p\Delta$). Η παρακάτω σχέση ορίζει το βαθμό αποτόνωσης(deconfinement ratio) των εδαφικών τάσεων όταν τοποθετούνται τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης.

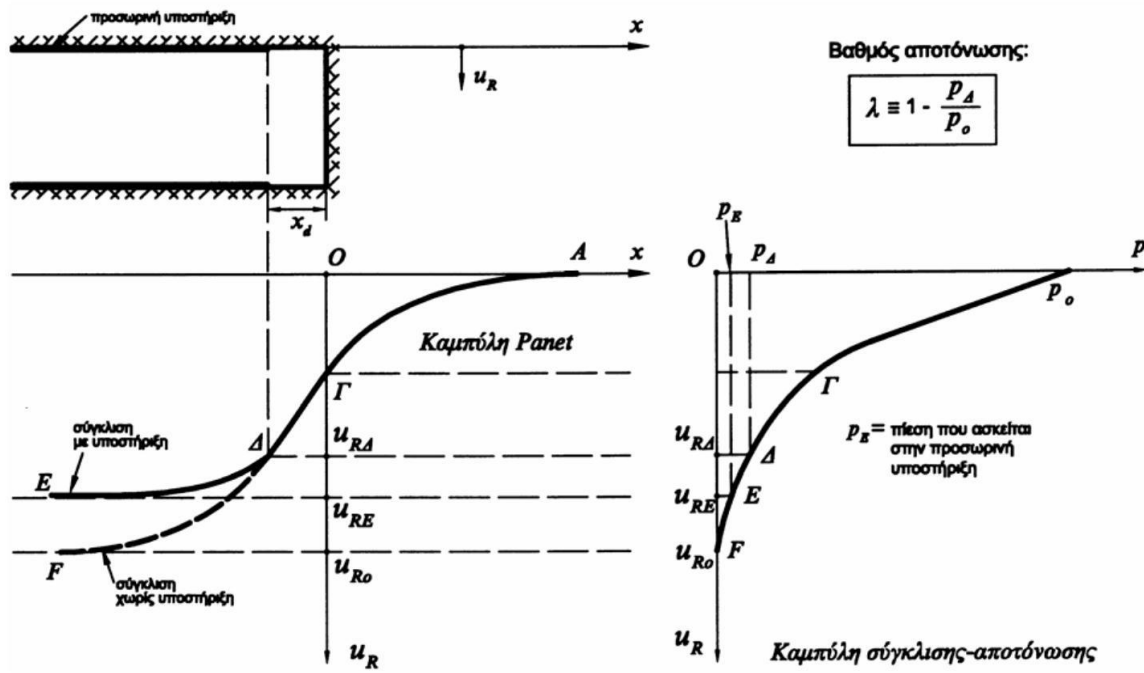
$$\lambda = 1 - p_{\Delta} / p_0$$

- $P(0)$ είναι η αρχική γεωστατική πίεση
- $P(\Delta)$ είναι η ισοδύναμη εσωτερική πίεση που αντιστοιχεί στη θέση τοποθέτησης των μέτρων προσωρινής υποστήριξης

Ο βαθμός αποτόνωσης παραμένει σε κάθε περίπτωση μικρότερος της μονάδας.
(Μ.Καββαδάς,2007)



Εικόνα 3-5 Τυπικές μορφές των καμπύλων Panet σε ανυποστήρικτη σήραγγα για διάφορες τιμές του συντελεστή υπερφόρτισης N_s . (Μ. Καββαδάς, 2007)



Εικόνα 3-6 Καμπύλες σύγκλισης-αποτόνωσης και καμπύλες Panet σε σήραγγα υποστηριζόμενη με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Μ. Καββαδάς, 2007)

Στην εικόνα 3.6 παρουσιάζεται η συσχέτιση μεταξύ του βαθμού αποτόνωσης (λ) και της θέσης τοποθέτησης των μέτρων προσωρινής υποστήριξης (καμπύλες Panet).

Για διάφορες αποστάσεις πίσω από το μέτωπο εκσκαφής προκύπτουν μέσω των καμπυλών Panet οι ενδεικτικές τιμές που παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1

Πίνακας 3-1 Ενδεικτικές τιμές συντελεστή αποτόνωσης(M. Καββαδάς,2007)

Απόσταση (x) από το μέτωπο εκσκαφής	Συντελεστής αποτόνωσης λ για			
	N _s < 1	N _s = 2	N _s = 3	N _s = 4
0	0.27	0.39	0.52	0.67
R/2	0.69	0.80	0.84	0.89
R	0.82	0.86	0.88	0.92
2R	0.90	0.92	0.93	0.94

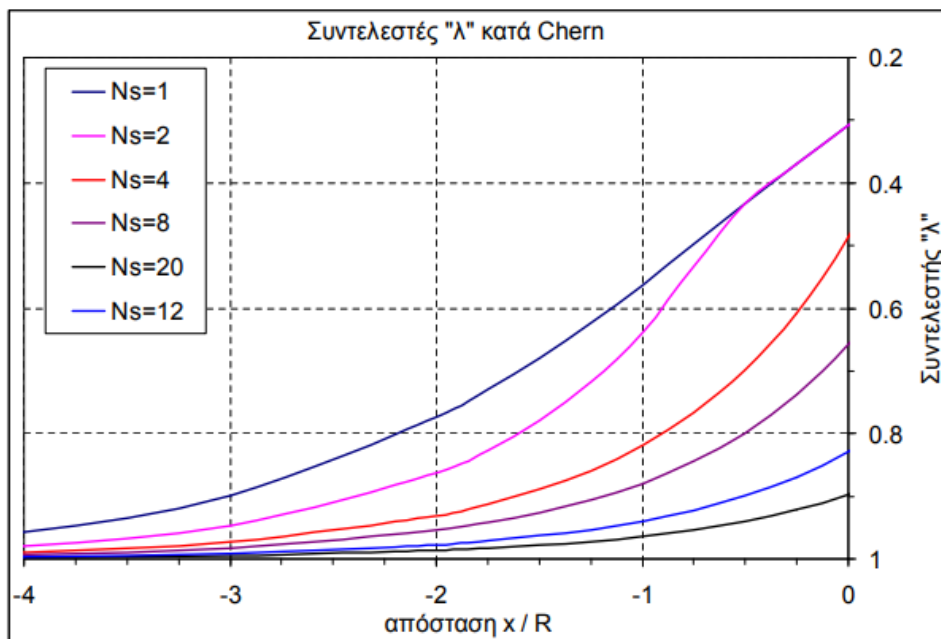
Από τον πίνακα 3.1 αντλούμε κάποια χρήσιμα συμπεράσματα. Αρχικά όταν η απόσταση ισούται με τη διάμετρο της σήραγγας παρατηρείται σχεδόν πλήρης φόρτιση των εσωτερικών τάσεων. Ενδεικτικό είναι από τον πίνακα το γεγονός ότι όσο αυξάνεται ο συντελεστής υπερφόρτισης τόσο αυξάνουν οι γεωστατικές πιέσεις p₀ σε σχέση με την αντοχή της βραχομάζας.

3.1.2 Μέθοδος Chern

1.Για τη μέθοδο του Chern σε περίπτωση όπου δεν υπάρχει πλαστική ζώνη γύρω από τη σήραγγα

$$\lambda = U_R / U_{R\infty}$$

$$\text{Άρα : } \lambda = [1 + \exp(0.91 x/R)]^{-1.7}$$



Εικόνα 3-7 Συντελεστής λ κατά Chern

3.1.3 Χρησιμότητα καμπυλών Chern – Panet

Οι καμπύλες Chern και Panet σε συνδυασμό με τις καμπύλες σύγκλισης – αποτόνωσης μιας ανυποστήρικτης διατομής παρέχουν τη δυνατότητα για εκτίμηση της σύγκλισης του τοιχώματος σε οποιαδήποτε θέση (x) του άξονα της σήραγγας. Για να επιτευχθεί αυτό απαιτούνται τα εξής τέσσερα στάδια :

- 1) Υπολογισμός του συντελεστή υπερφόρτισης (N_s)
- 2) Από την καμπύλη του σχήματος 3.5 υπολογίζεται ο βαθμός αποτόνωσης (λ) για την τιμή (x) και έπειτα η ισοδύναμη εσωτερική πίεση $p = p_0(1-\lambda)$
- 3) Υπολογισμός της καμπύλης σύγκλισης – αποτόνωσης με βάση τις ελαστικές παραμέτρους (E, ν) και τις παραμέτρους αντοχής (c, ϕ) του εδάφους
- 4) Η σύγκλιση διατομής (U_R) υπολογίζεται από την καμπύλη σύγκλισης – αποτόνωσης για την τιμή της πίεσης p , όπως υπολογίστηκε στο στάδιο 2. (Μ.Καββαδάς, 2007)

Οι καμπύλες Chern και Panet αξιοποιούνται ώστε να γίνει ο υπολογισμός της εσωτερικής πίεσης (p) η οποία αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη απόσταση (x) τοποθέτησης των μέτρων προσωρινής υποστήριξης. Σε μετέπειτα στάδιο πραγματοποιείται η προσομοίωση της διάνοιξης της σήραγγας σε δύο φάσεις.

Πρώτη φάση : Αρχικά μειώνεται η εσωτερική πίεση από (p_0) σε (p) και προκύπτει η σύγκλιση της διατομής η οποία και αντιστοιχεί στη μετακίνηση του τοιχώματος πριν τοποθετηθούν τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης.

Δεύτερη φάση : Αφότου τοποθετηθούν τα μέτρα της προσωρινής υποστήριξης , (όπως αγκύρια , εκτοξευόμενο σκυρόδεμα) , η εσωτερική πίεση μειώνεται από (p) σε 0 με αποτέλεσμα να προκαλείται περαιτέρω σύγκλιση του τοιχώματος και φορτίζονται τα νέα μέτρα προσωρινής υποστήριξης. Με βάση τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι όσο πιο μετά τοποθετούνται τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης τόσο μικρότερο φορτίο αναλαμβάνουν και άρα τόσο μεγαλύτερη θα είναι η συνολική σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας. (Μ. Καββαδάς ,2007)

Προκειμένου να σχεδιαστεί ο κατάλληλος χρονοισμός για την εγκατάσταση άκαμπτης υποστήριξης είναι σημαντικό να προσδιοριστεί το διαμήκες προφίλ κλεισίματος της σήραγγας. Ένα τμήμα των μέγιστων ακτινικών μετατοπίσεων στο όριο της σήραγγας θα πραγματοποιηθεί πριν το μέτωπο της σήραγγας προχωρήσει πέρα από ένα συγκεκριμένο σημείο. Το όριο της σήραγγας θα συνεχίσει να μετατοπίζεται προς τα μέσα όσο η σήραγγα προχωρά πέρα από αυτό το σημείο. Αυτό το διαμήκες προφίλ μετατόπισης σε σχέση με την απόσταση από το μέτωπο της σήραγγας μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τρισδιάστατα μοντέλα για σύνθετες γεωμετρικές συνθήκες ή με αξονικά συμμετρικά μοντέλα για ομοιόμορφη διατομή σήραγγας. Αυτό το προφίλ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δημιουργία της σχέσης σύγκλισης – αποτόνωσης για μοντελοποίηση 2D ή για αναλυτικές λύσεις(όπως Carranza-Torres και Fairhurst,2000) .(Hoek ,2008)

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ RS2 ΚΑΙ ROCSUPPORT

Στα προηγούμενα κεφάλαια αναλύθηκαν οι μέθοδοι οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική καθώς και κάποια χαρακτηριστικά της σήραγγας , η οποία μελετήθηκε. Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά το υπολογιστικό πρόγραμμα RS2 , το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση και σχεδιασμό της διάνοιξης της σήραγγας. Επίσης , παρουσιάζονται αναλυτικά τα βήματα που εκτελέστηκαν για τη δημιουργία των αριθμητικών μοντέλων.

4.1 Υπολογιστικό πρόγραμμα RS2

Το RS2 είναι ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ένα ευρύ φάσμα μηχανικών έργων , όπως ο σχεδιασμός υπόγειων εκσκαφών , η διάνοιξη μίας σήραγγας , η ευστάθεια πρανών και άλλα.

Ορισμένα από τα ζητήματα τα οποία θα μπορούσαν να επιλυθούν μέσω του RS2 είναι τα παρακάτω :

- Διάνοιξη εκσκαφής σε φάσεις
- Επίδραση στοιχείων υποστήριξης , όπως αγκύρια , εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κ.α.
- Ελαστική ή πλαστική συμπεριφορά υλικών
- Προβλήματα επίπεδης παραμόρφωσης
- Προβλήματα παρουσίας ασυνεχειών στη γεωμάζα

4.1.1 Ιστορικά στοιχεία

1992 : Αρχική έκδοση του προγράμματος Phases, που αναπτύχθηκε από την Rock Engineering Group στο Πανεπιστήμιο του Τορόντο. Το Phases ήταν ένα υβριδικό πρόγραμμα οριακών στοιχείων - πεπερασμένων στοιχείων για την προσομοίωση υπόγειων εκσκαφών σε βραχομάζες. Το Phases είναι ένα αρκτικόλεξο για το «Plastic Hybrid Analysis of Stress for Estimation of Support». Η ανάπτυξη των εκδόσεων 1 και 2 συνεχίστηκε μεταξύ 1992 και 1996 (Introduction RS2)

1996 : Η Rocscience αγόρασε τα δικαιώματα για το Phases από το Πανεπιστήμιο του Τορόντο και ανέπτυξε μια νέα έκδοση του λογισμικού και άλλαξε το όνομα σε Phase2. Η έκδοση 3 κυκλοφόρησε το 1997. Το πρόγραμμα είχε έναν εντελώς νέο αλγόριθμο πεπερασμένων στοιχείων χωρίς την υποστήριξη οριακών στοιχείων. Αυτός ο αλγόριθμος πεπερασμένων στοιχείων αποτέλεσε τη βάση για νεότερες εκδόσεις του Phase2. Προστέθηκαν νέα μοντέλα υποστήριξης και βελτιώσεις διεπαφών. Το πρόγραμμα ήταν ακόμα σχεδιασμένο για εκσκαφές σε βραχώδη γεωυλικά, αλλά τώρα είχε καλύτερη υποστήριξη για επιφανειακές εκσκαφές (π.χ. εξόρυξη ανοιχτού

ορύγματος). Η έκδοση 3 λειτουργούσε ακόμα σε περιβάλλον DOS (Introduction RS2).

1998-1999: Πραγματοποιήθηκε πλήρης επανεγγραφή της διεπαφής χρήστη για τη μετακίνηση του προγράμματος σε μια πλατφόρμα που βασίζεται στα Windows 95 (Win32). Το 1999, κυκλοφόρησε το Phase2 v4 για Windows (Introduction RS2).

2001: Κυκλοφόρησε η έκδοση v5. Μια πλήρης ενημέρωση στο περιβάλλον εργασίας χρήστη, προσθήκη πίεσης πόρων και ενεργών τάσεων για τον υπολογισμό της αστοχίας, νέα μοντέλα υποστήριξης, μεταβολή των ιδιοτήτων των υλικών σε στάδια, κ.λπ. Προοριζόταν να ξεκινήσει την ώθηση προς ένα γενικό εργαλείο γεωτεχνικής μοντελοποίησης τόσο για πετρώματα όσο και για εδάφη (Introduction RS2).

2014 RS2 (Phase 2 v9.0): Κυκλοφόρησε το RS2, το όνομα του οποίου είναι ένα αρκτικόλεξο για το "Rock and Soil 2-Dimensional". Η υπολογιστική βάση έχει αναβαθμιστεί πλήρως ώστε να περιλαμβάνει πλήρως συζευγμένη επίλυση κατά τη θεωρία Biot (Biot Theory, υδρομηχανική σύζευξη για ενοποιημένη ανάλυση), δυνατότητες δυναμικής ανάλυσης, παροδική ανάλυση ροής υπόγειων υδάτων και πολλά άλλα. Το RS2 αποτελεί ένα εργαλείο γενικού σκοπού γεωτεχνικής μοντελοποίησης ικανό να αναλύει τόσο δομές εδάφους όσο και βράχου (Introduction RS2).

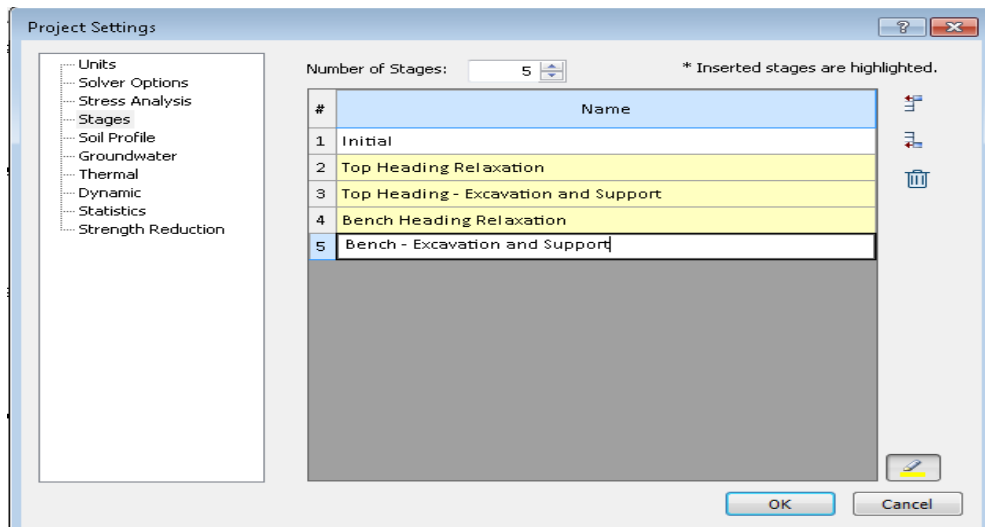
4.2 Αναλυτικός σχεδιασμός μοντέλου προσομοίωσης

Αρχικά, μετά το άνοιγμα του προγράμματος RS2 πραγματοποιούνται μια σειρά από ενέργειες για τη δημιουργία του μοντέλου, οι οποίες και θα αναλυθούν παρακάτω. Στην παρούσα διπλωματική θα μελετηθούν οι αξονικές και διατμητικές δυνάμεις στο σκυρόδεμα καθώς και οι ροπές κάμψης για κάθε βαθμό αποτόνωσης που έχει προκύψει για διαφορετικά βάθη της σήραγγας με τη χρήση των τριών διαφορετικών μεθόδων του Panet, Chern, Vlachopoulou.

4.2.1 Ρυθμίσεις μοντέλου – Project settings

Σε πρώτη φάση το βήμα που πρέπει να γίνει για τη δημιουργία του μοντέλου είναι ο ορισμός των σταδίων του μοντέλου στον πίνακα των ρυθμίσεων. Στην παρούσα διπλωματική θα χρησιμοποιηθούν πέντε στάδια όπως παρουσιάζονται στην εικόνα 4.1 παρακάτω.

Επιλέγεται: **Analysis → Project Settings → Stages**



4-1 Επιλογή σταδίων στο πρόγραμμα

4.2.2 Ορισμός εξωτερικών ορίων μοντέλου (Boundaries)

Αρχικά γίνεται η προσθήκη του εξωτερικού ορίου μέσω της εντολής :

Boundaries → **Add external**

Τοποθετούνται οι συντεταγμένες (coordinates) με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία. Στην παρούσα διπλωματική αυτές είναι :

- Αριστερό πάνω όριο → -50 , 50
- Δεξιό πάνω όριο → 50 , 50
- Αριστερό κάτω όριο → -50 , -25
- Δεξιό κάτω όριο → 50 , -25

Στη συνέχεια επιλέγεται η ενέργεια :

Boundaries→ **Add excavation** , όπου και ορίζεται το όριο της εκσκαφής

Έπειτα η επόμενη εντολή είναι η εξής :

Boundaries→ **Add stage** , όπου και ορίζεται το στάδιο της πρώτης εκσκαφής

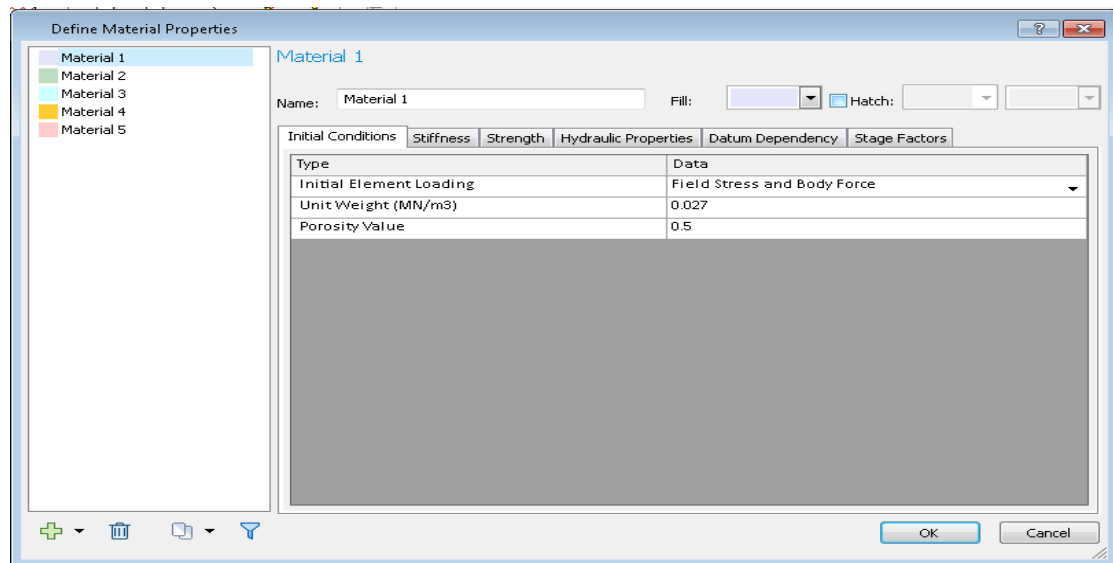
4.2.3 Ιδιότητες των υλικών

Από το μενού γίνεται η επιλογή :

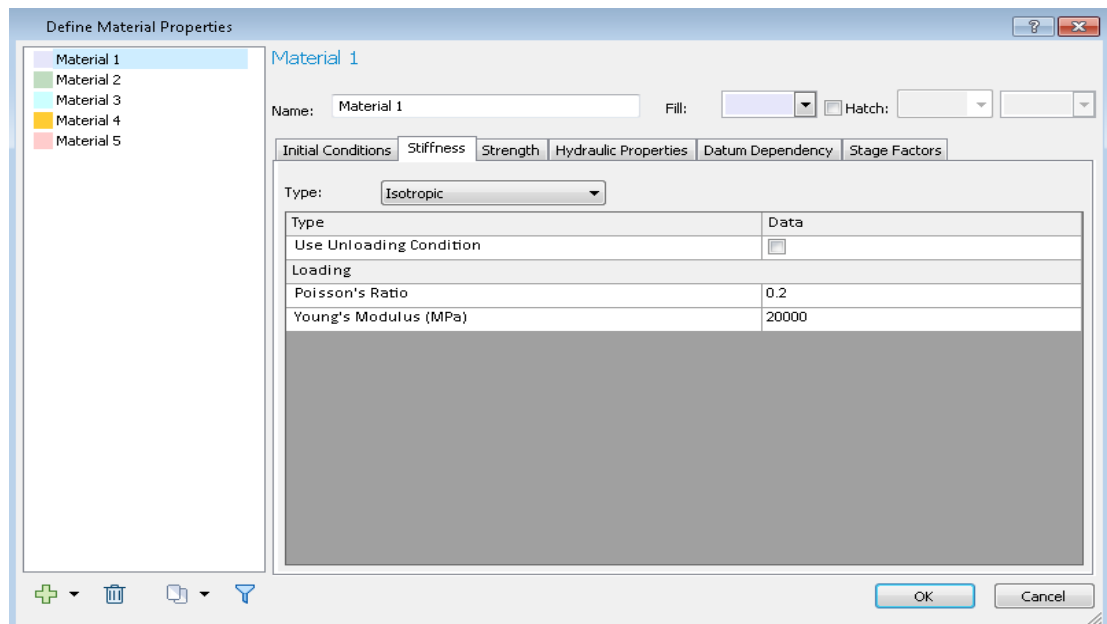
Properties→ **DefineMaterials**

Ο καθορισμός των ιδιοτήτων των υλικών της γεωμάζας γύρω από τη σήραγγα η οποία θα μοντελοποιηθεί αποτελεί σημαντικό κομμάτι. Κάποιες ιδιότητες των οποίων οι τιμές θα μας απασχολήσουν παρατίθενται παρακάτω :

- Poisson's Ratio → ν , Λόγος Poisson
- Young's Modulus → Esoil, το μέτρο του Young για το έδαφος
- Material Type → Plastic or Elastic, Τύπος υλικού



Εικόνα 4-2 Προσδιορισμός Unit Weight



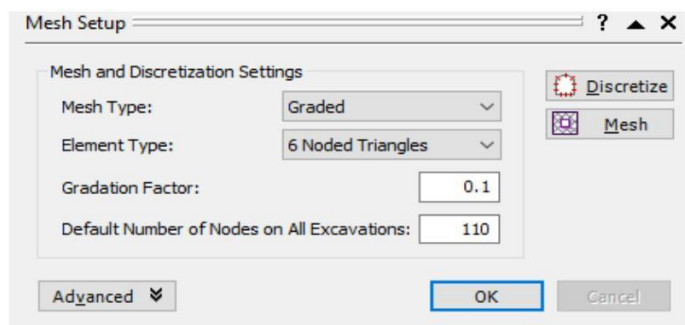
Εικόνα 4-3 Προσδιορισμός λόγου Poisson και Youngs Modulus

Στις παραπάνω εικόνες φαίνονται ενδεικτικά οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στα μοντέλα της παρούσας διπλωματικής, με το **Unit Weight (Μοναδιαίο βάρος) = 0.027 MN/m³**, το **λόγο Poisson = 0.2** και το **Young's Modulus(Μέτρο του Young) = 20000 MPa**.

4.2.4 Εγκατάσταση πλέγματος

Η εντολή είναι: **Mesh**→**MeshSetup**

Στο πρόγραμμα μας επιλέγεται αυτόματα η διακριτοποίηση στο εξωτερικό όριο, ανάλογα με την απόσταση από τα όρια εκσκαφής. Η διακριτοποίηση στην επιφάνεια του εδάφους είναι πιο λεπτομερής κοντά στο πάνω μέρος του μοντέλου και μεταβαίνει σταδιακά σε πιο αδρομερή προς τα αριστερά και δεξιά άκρα του μοντέλου. Η διακριτοποίηση κατά μήκος των αριστερών, δεξιών και κάτω άκρων του εξωτερικού ορίου, είναι πολύ πιο χονδροειδής από ότι κατά μήκος του άνω άκρου κοντά στις επαφές (Tutorials RS2, 2023).

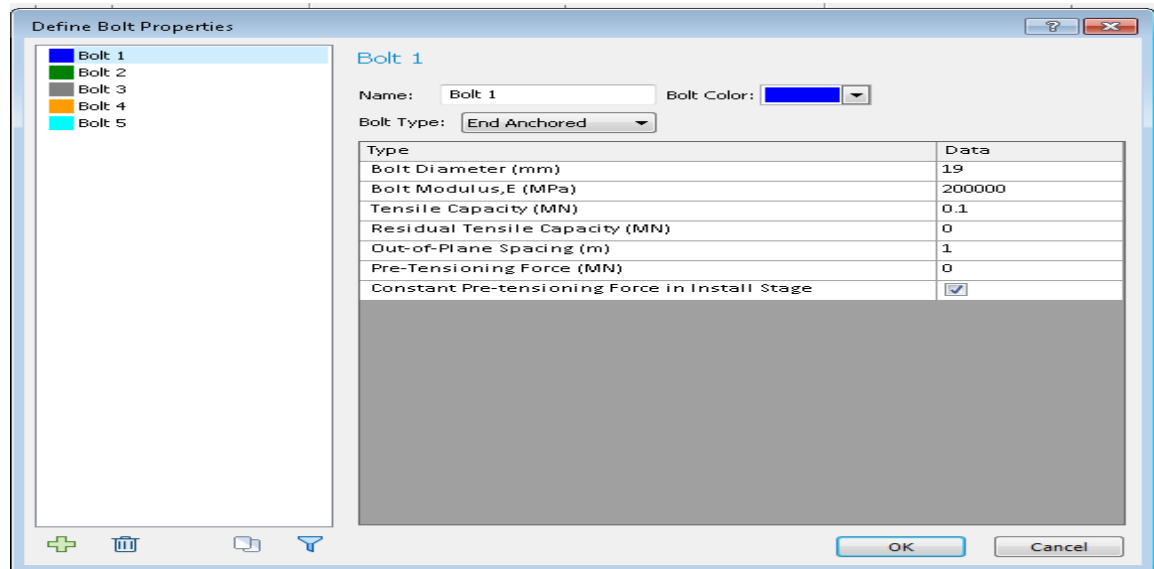


Εικόνα 4-4 Εγκατάσταση πλέγματος

4.2.5 Προσθήκη αγκυρίων , μέτρων άμεσης υποστήριξης σήραγγας και επένδυσης

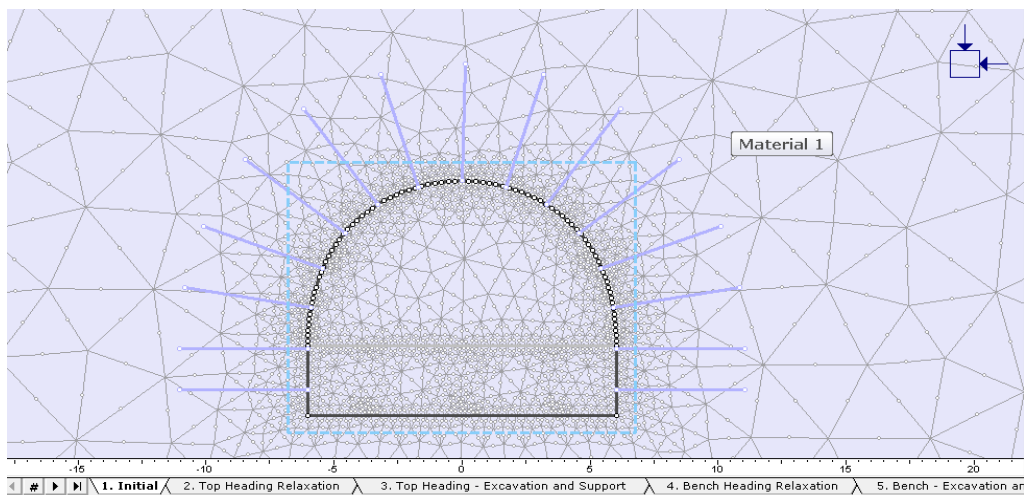
Η επόμενη εντολή που εκτελείται είναι :

Properties → Define Bolts

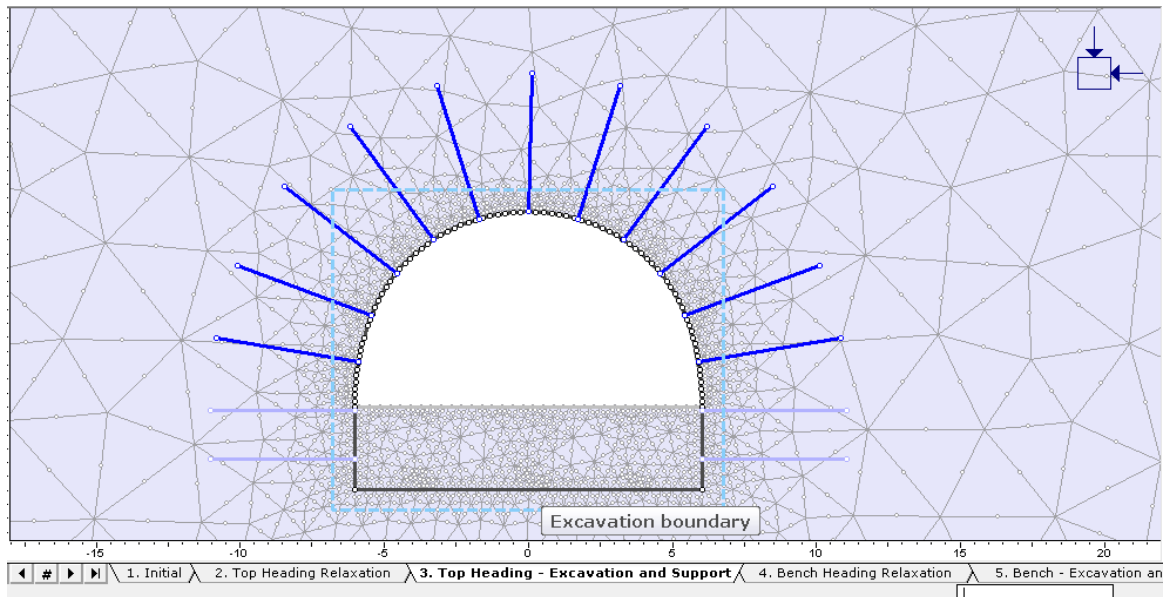


Εικόνα 4-5 Προσθήκη αγκυρίων

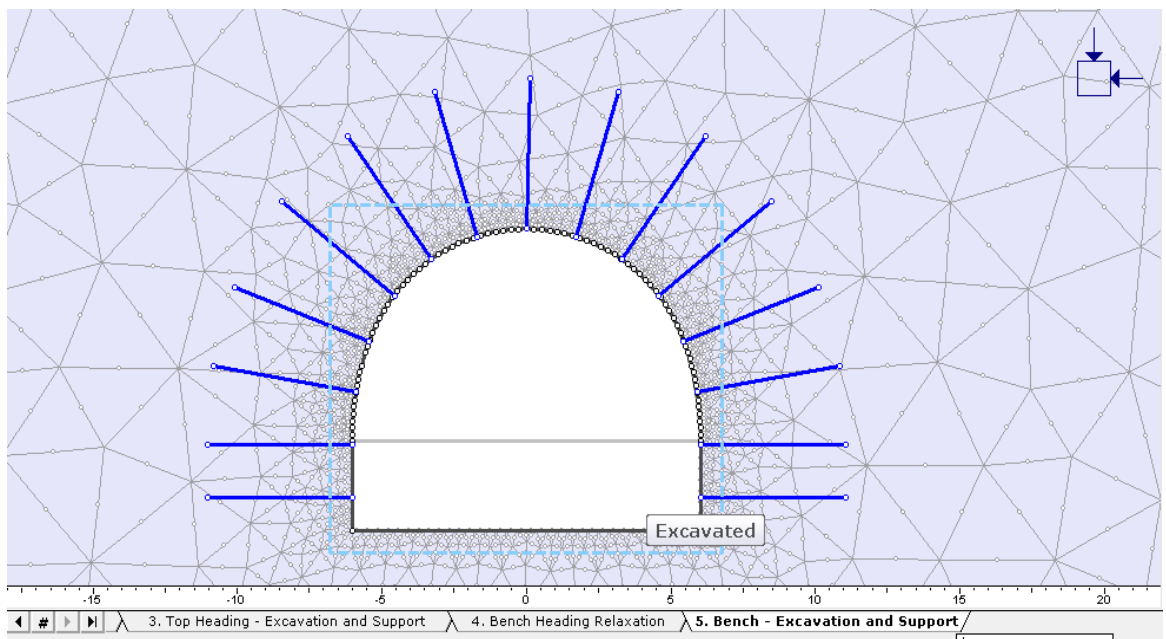
Στο στάδιο 1 (Initial) και στο στάδιο 2 (Top Heading Relaxation) αφαιρούμε τα αγκύρια και σε πρώτη φάση τοποθετούνται στο στάδιο 3 (Top Heading – Excavation and Support) στην Ά φάση εκσκαφής μέσω της εντολής **Support → Add Bolts** , όπου και καθορίζονται οι παράμετροι αυτών. Στη συνέχεια στο στάδιο 5 (Bench – Excavation and Support) προστίθενται και τα υπόλοιπα αγκύρια.



Εικόνα 4-6 Αρχικό στάδιο μοντέλου(Initial)



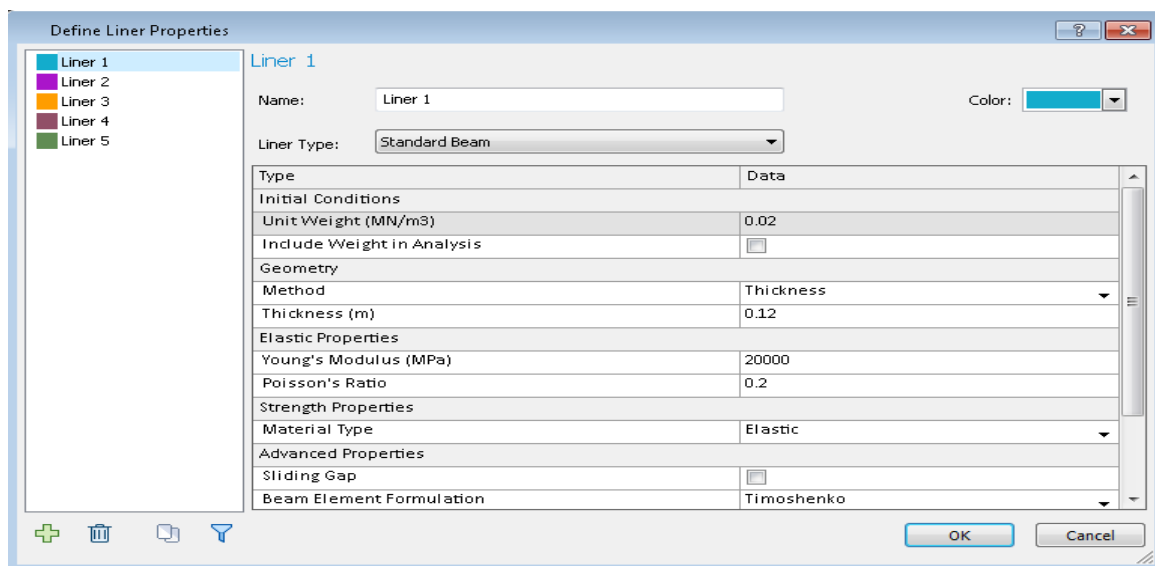
Εικόνα 4-7 Στάδιο 3 Ά φάση εκσκαφής



Εικόνα 4-8 Στάδιο 5 Τοποθετημένα αγκύρια

Στο επόμενο βήμα ακολουθείται η εντολή :

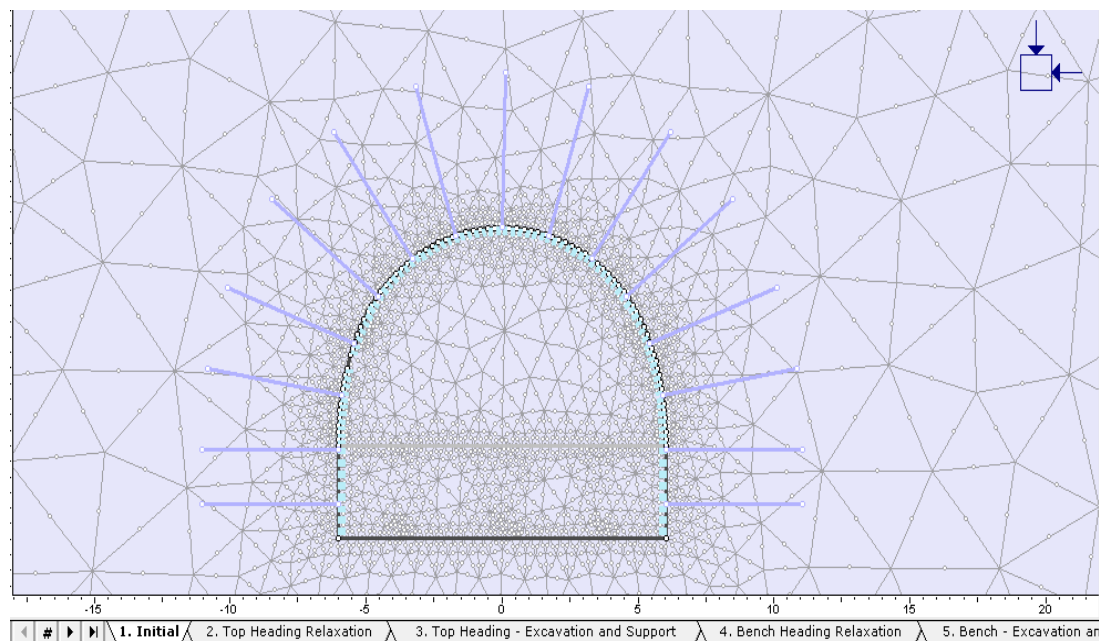
Properties → Define Liners



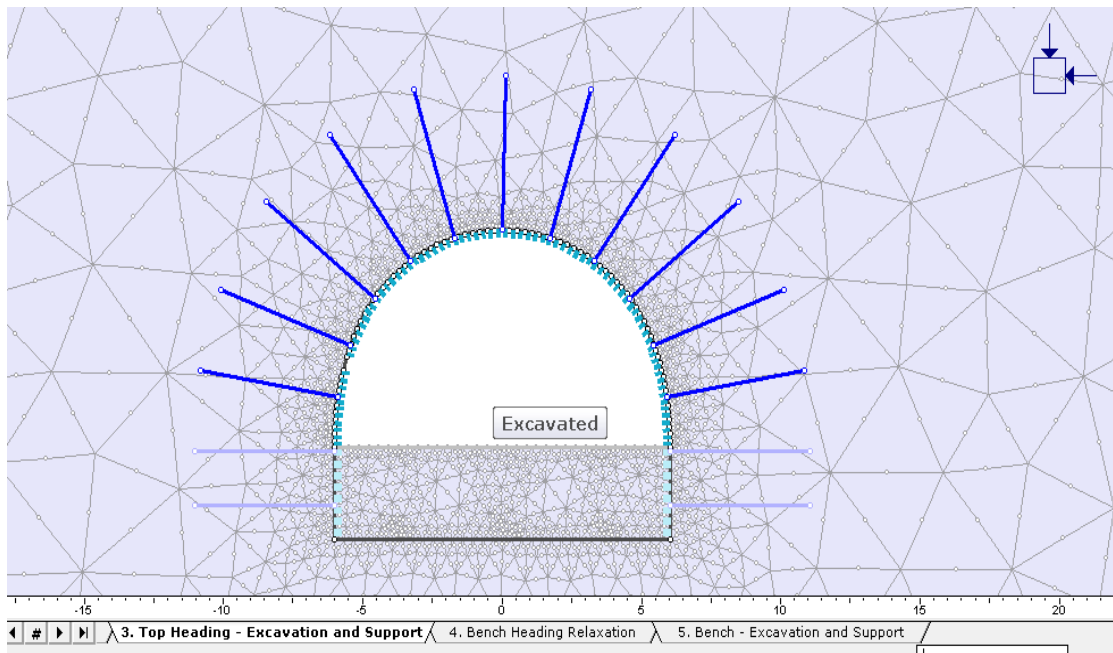
Εικόνα 4-9 Πίνακας εντολών ιδιοτήτων επένδυσης σήραγγας

Στην εικόνα 4.9 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι τιμές των ιδιοτήτων που θα χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη της σπαραγγολογικής κατηγορίας Π με χαρακτηριστικές τιμές το **πάχος (Thickness) των δοκών υποστήριξης να είναι 12mm** , το λόγο **Poisson $\nu = 0.2$** και το **Young's Modulus (Μέτρο του Young) = 20000 MPa**.

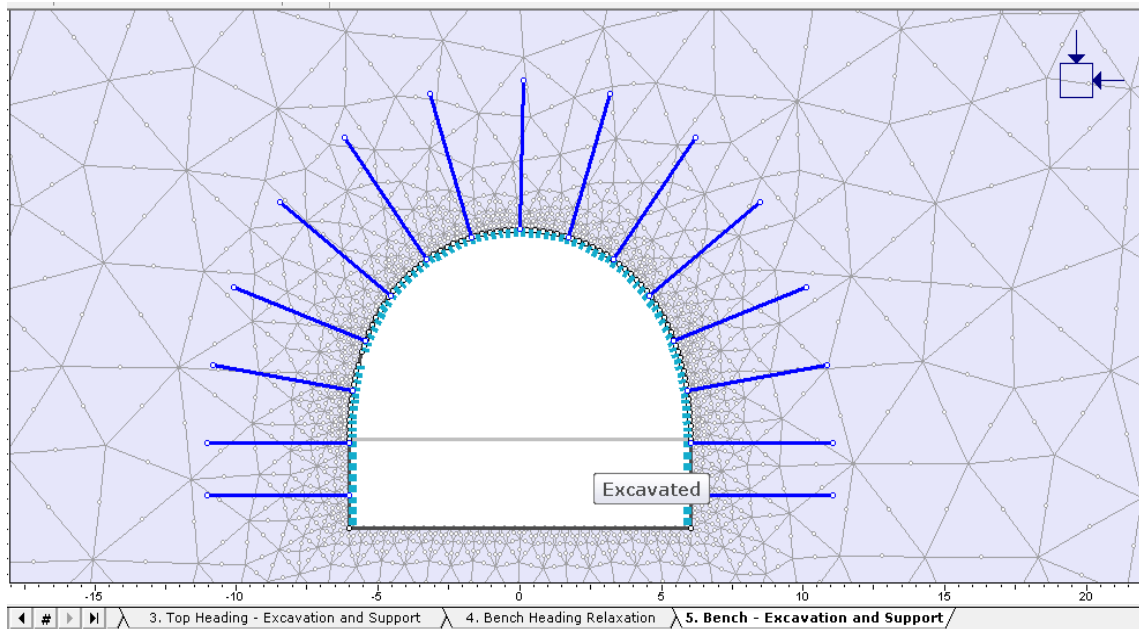
Στη συνέχεια φαίνονται στα σχήματα η τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης ανά στάδιο.



Εικόνα 4-10 Στάδιο 1 με ανενεργά τα μέτρα υποστήριξης



Εικόνα 4-11 Στάδιο 3 Ενεργοποίηση μέτρων υποστήριξης στην Α φάση εκσκαφής

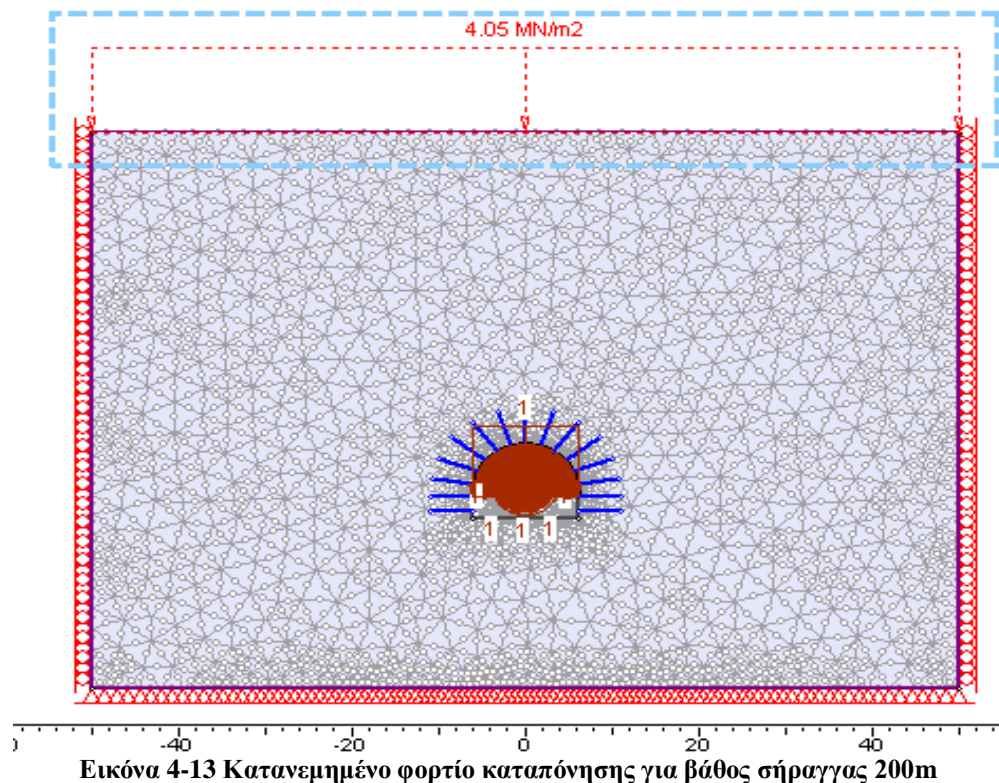


Εικόνα 4-12 Στάδιο 5 Πλήρως ενεργοποιημένα μέτρα υποστήριξης

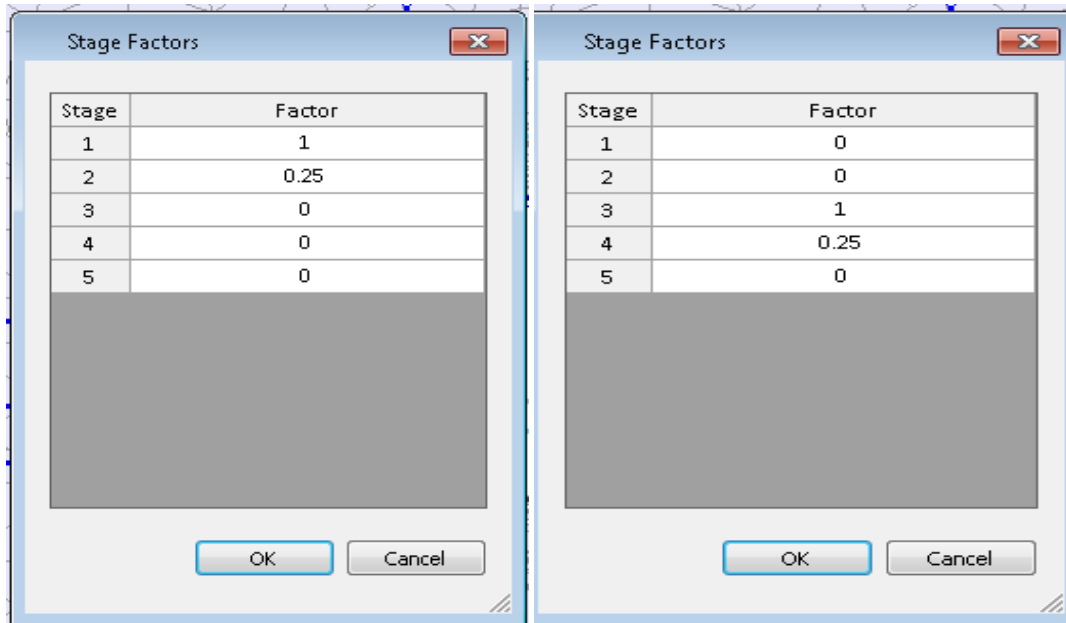
Σε πρώιμες εκδόσεις του προγράμματος RS2, η υποστήριξη Liner χρησιμοποιήθηκε κυρίως για να μοντελοποιήσει τις επενδύσεις σήραγγας, όπως ψεκάσμος σε σκυρόδεμα ή σκυρόδεμα. Με κάθε νέα έκδοση του προγράμματος, οι δυνατότητες του μοντέλου υποστήριξης Liner επεκτάθηκαν ώστε να συμπεριλάβουν τύπους υποστήριξης που δεν είναι απαραίτητα liners, αλλά μπορούν να μοντελοποιηθούν χρησιμοποιώντας τις ίδιες γενικές διαδικασίες. Επομένως, ο όρος Liner Support στο RS2 είναι πολλαπλών χρήσεων και τώρα καλύπτει μια μεγάλη ποικιλία τύπων γεωτεχνικής υποστήριξης (Tutorial RS2).

4.2.6 Επαγόμενα φορτία και βαθμός αποτόνωσης

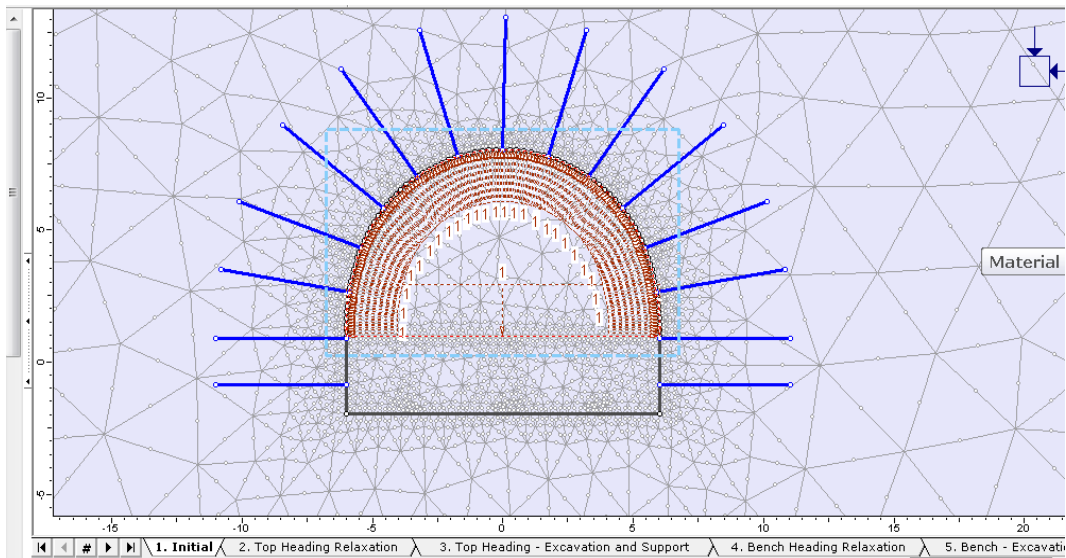
Το τελευταίο στάδιο σχεδιασμού του μοντέλου είναι η προσθήκη των φορτίων όπου γίνεται σε δύο στάδια. Αρχικά προστίθεται στο μοντέλο το καταναμημένο φορτίο καταπόνησης μέσω της εντολής **Loading** → **Distributed Loads** → **Add Uniform Load**. Για παράδειγμα για βάθος σήραγγας 200 m αντιστοιχεί φορτίο ίσο με 4.05 MN/m^2 (150×0.027) όπως φαίνεται στην εικόνα 4.13.



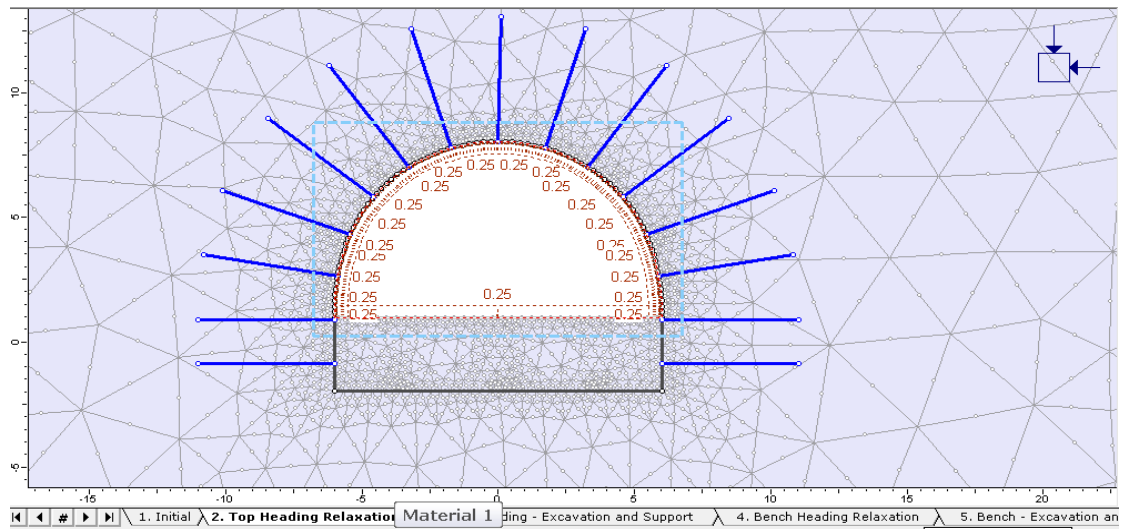
Στη συνέχεια προστίθεται το επαγόμενο φορτίο καταπόνησης μέσω της εντολής : **Loading** → **Induced Loads** → **Add Induced Stress Load** στα βήματα που θα παρουσιαστούν παρακάτω καθώς και ο βαθμός αποτόνωσης. Ενδεικτικά για βαθμό αποτόνωσης $\lambda = 0.25$ έχουμε :



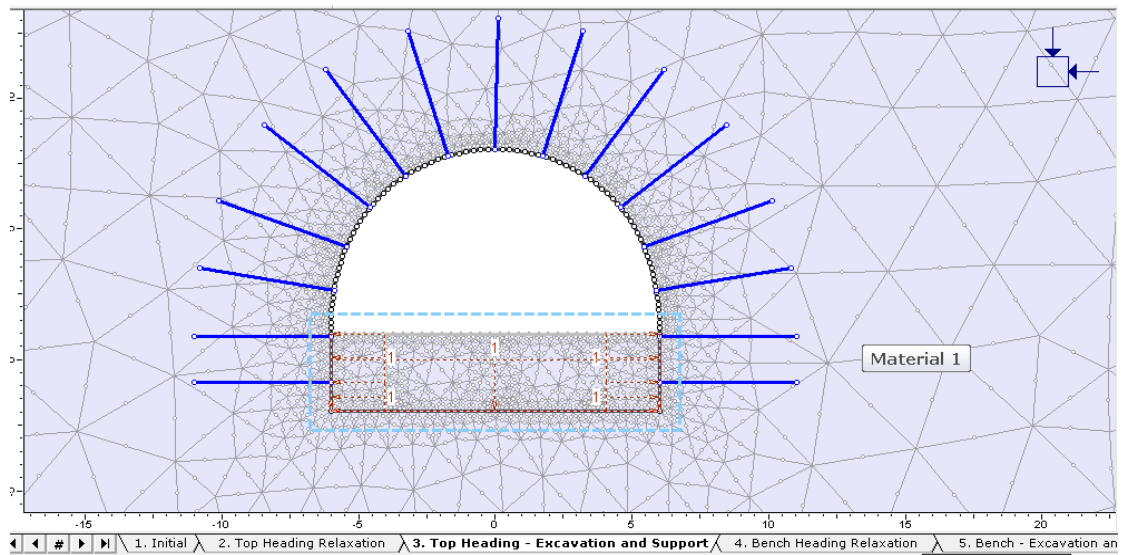
Εικόνα 4-14 Στάδια προσθήκης συντελεστή αποτόνωσης



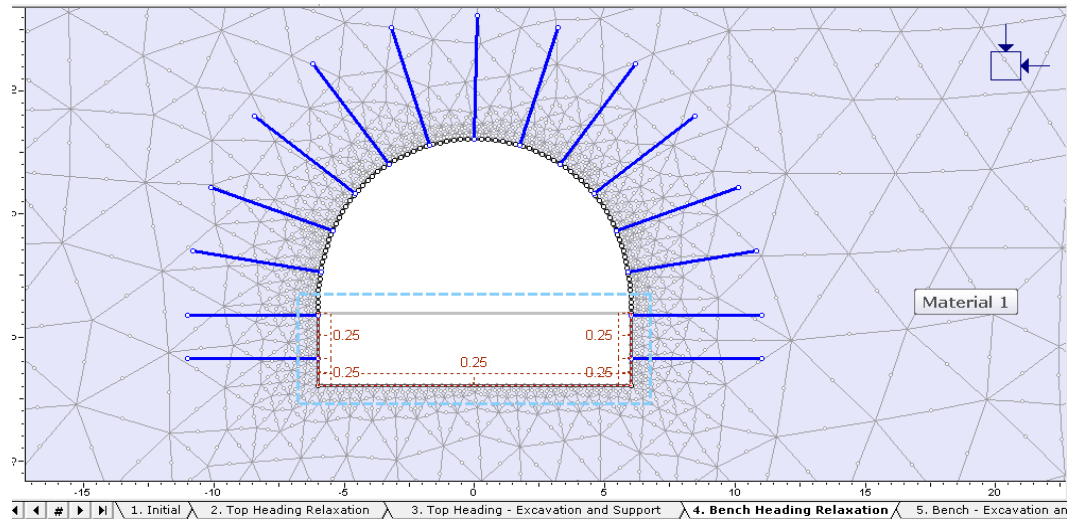
Εικόνα 4-15 Αρχικό στάδιο μοντέλου με προσδιορισμένες όλες τις ιδιότητες



Εικόνα 4-16 Στάδιο 2 (πρώτη αποτόνωση) μοντέλου με προσδιορισμένες όλες τις ιδιότητες



Εικόνα 4-17 Στάδιο 3 Α φάση εκσκαφής



Εικόνα 4-18 Στάδιο 4(δεύτερη αποτόνωση)

4.3 Υπολογισμός δεδομένων των μοντέλων

Τα αποτελέσματα για τα μοντέλα RS2 υπολογίζονται από την εντολή **Compute** από τη γραμμή εργαλείων ή μέσω της εντολής **Analysis→Compute**. Μέσω αυτής της εντολής πραγματοποιείται ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων για το εκάστοτε μοντέλο.

Το πρόγραμμα RS2 αποτελείται από 3 ενότητες προγράμματος:

- MODEL
- COMPUTE
- INTERPRET

Για να οπτικοποιηθούν και να ερμηνευτούν τα αποτελέσματα ανάλυσης RS2 χρησιμοποιείται η μονάδα επεξεργασίας INTERPRET. Τα περιγράμματα δεδομένων μπορούν να προβληθούν (π.χ. μετατόπιση, συντελεστής αντοχής) και τα αποτελέσματα μπορούν να εμφανιστούν στο μοντέλο ή σε διαγράμματα (Tutorial RS2). Αρχικά πρέπει να τρέξει το μοντέλο με το COMPUTE, ώστε να υπάρξει η δυνατότητα να εμφανιστούν τα αποτελέσματα στο INTERPRET. Οπότε επιλέγεται η εντολή Compute για να τρέξουν τα αρχεία και να γίνει η τασική ανάλυση και έπειτα επιλέγεται η εντολή Interpret για να διαβαστούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν (Χαλαστάνης, 2015).

4.4 Βασικές έννοιες

Unit Weight (Μοναδιαίο βάρος) : Το μοναδιαίο βάρος ενός υλικού στο πλαίσιο διαλόγου Define Material Properties, λειτουργεί σε συνδυασμό με την αρχική

φόρτιση στοιχείου και ισχύει μόνο εάν το Body Force περιλαμβάνεται στην αρχική φόρτιση στοιχείου. Δηλαδή, το μοναδιαίο βάρος είναι ενεργοποιημένο μόνο εάν το Initial Element Loading είναι είτε Field Stress & Body Force ή Body Force Only (Tutorial RS2)

Poisson's Ratio και Young's Modulus (MPa) : Ένα ιστροπικό υλικό σημαίνει ότι οι ιδιότητες του υλικού δεν ποικίλλουν ανάλογα με την κατεύθυνση. Οι ελαστικές ιδιότητες ενός ιστροπικού υλικού καθορίζονται από μία μόνο τιμή του Young's Modulus και μία τιμή Poisson's Ratio. Ως λόγος Poisson ορίζεται ο λόγος της πλευρικής προς την εγκάρσια παραμόρφωση. Μπορεί να υπολογιστεί μέσω εργαστηριακών δοκιμών. Για ένα ιστροπικό υλικό μπορούμε να ορίσουμε μια υπολειμματική τιμή του Young's Modulus (E_{Soil}) επιλέγοντας το Young's Modulus (υπόλοιπο) πλαίσιο ελέγχου. Αυτή η επιλογή ενεργοποιείται μόνο εάν ο τύπος υλικού = πλαστικό και το κριτήριο αστοχίας = Mohr-Coulomb, Hoek-Brown ή Drucker-Prager (Tutorial RS2).

Ελαστικό υλικό : Εάν επιλέξουμε Material Type = Ελαστικό, τότε οι παράμετροι κριτηρίου αστοχίας που εισάγουμε θα χρησιμοποιηθούν μόνο για τον υπολογισμό και τη γραφική παράσταση του συντελεστή αντοχής εντός του υλικού. Αν και ένα ελαστικό υλικό δεν μπορεί να "αστοχήσει", η περιβάλλουσα αστοχίας επιτρέπει τον υπολογισμό ενός βαθμού υπέρτασης (Tutorial RS2).

Ιδιότητες σκυροδέματος : Αρχικά πρέπει να αναφερθεί ότι ο όρος σκυρόδεμα το οποίο αποτελεί στοιχείο μιας επένδυσης οπλισμένου σκυροδέματος δε σημαίνει απαραίτητα ότι πρέπει να είναι σκυρόδεμα. Αυτός ο όρος χρησιμοποιήθηκε για ευκολία και μπορεί να αντιπροσωπεύει σκυρόδεμα καθώς και κάθε άλλο υλικό που περιβάλλει την ενίσχυση. Παρακάτω αναφέρονται βασικές ιδιότητες του σκυροδέματος :

- Thickness (t)
- Young's Modulus (E_c)
- Poisson's Ratio (ν)
- Compressive Strength
- Tensile Strength

4.5 Πρόγραμμα RocSupport

4.5.1 Στοιχεία προγράμματος

Το πρόγραμμα RocSupport είναι ένας πρόγραμμα για την εκτίμηση της παραμόρφωσης των σηράγγων και την απεικόνιση της αλληλεπίδρασης της σήραγγας με διάφορα συστήματα υποστήριξης. Η μέθοδος ανάλυσης που χρησιμοποιείται στο

RocSupport αναφέρεται ως ανάλυση σύγκλισης – αποτόνωσης. Αυτή η μέθοδος ανάλυσης βασίζεται στην έννοια μιας “καμπύλης αντίδρασης εδάφους” ή “χαρακτηριστικής γραμμής “ που λαμβάνεται από την αναλυτική λύση για μια σήραγγα σε μια ελαστοπλαστική βραχώδη μάζα.

4.5.2 Στάδια εντολών στο RocSupport

Ορισμός παραμέτρων σήραγγας :

Αρχικά στο πρώτο βήμα ακολουθείται από τη γραμμή εργαλείων η εντολή :

Analysis → Define Tunnel Parameters

Tunnel and Rock Parameters

General

Tunnel Radius (m): 3

In-Situ Stress (MPa): 1.35

Elastic Properties

Young's Modulus of Rock Mass (MPa): 6138

Poisson Ratio of Rock Mass: 0.3

Peak Strength Properties

Dilation Angle (°): 0

Intact Compressive Strength (MPa): 45

Define Peak Strength Parameters As: GSI, mi, D mb, s, a

GSI: 45 mi: 10 D: 0

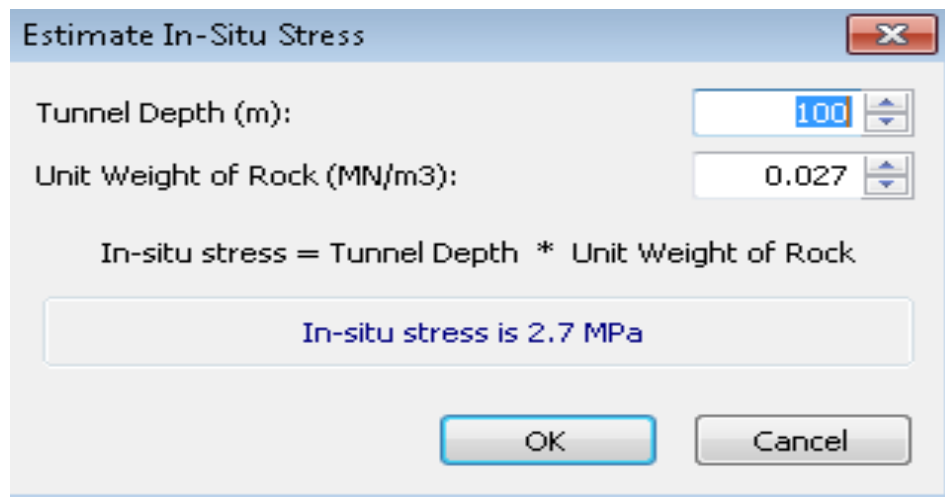
Residual Strength Properties

mb: 1 s: 0.0001 a: 0.5

Apply Close

Εικόνα 4-19 Ορισμός παραμέτρων σήραγγας

Στη συνέχεια πατώντας υπολογισμός δίπλα από την παράμετρο In-Situ Stress εμφανίζεται το παράθυρο όπου φαίνεται στην εικόνα 4.20 μέσω του οποίου υπολογίζεται η συγκεκριμένη τιμή της παραμέτρου ανάλογα το βάθος και το μοναδιαίο βάρος.

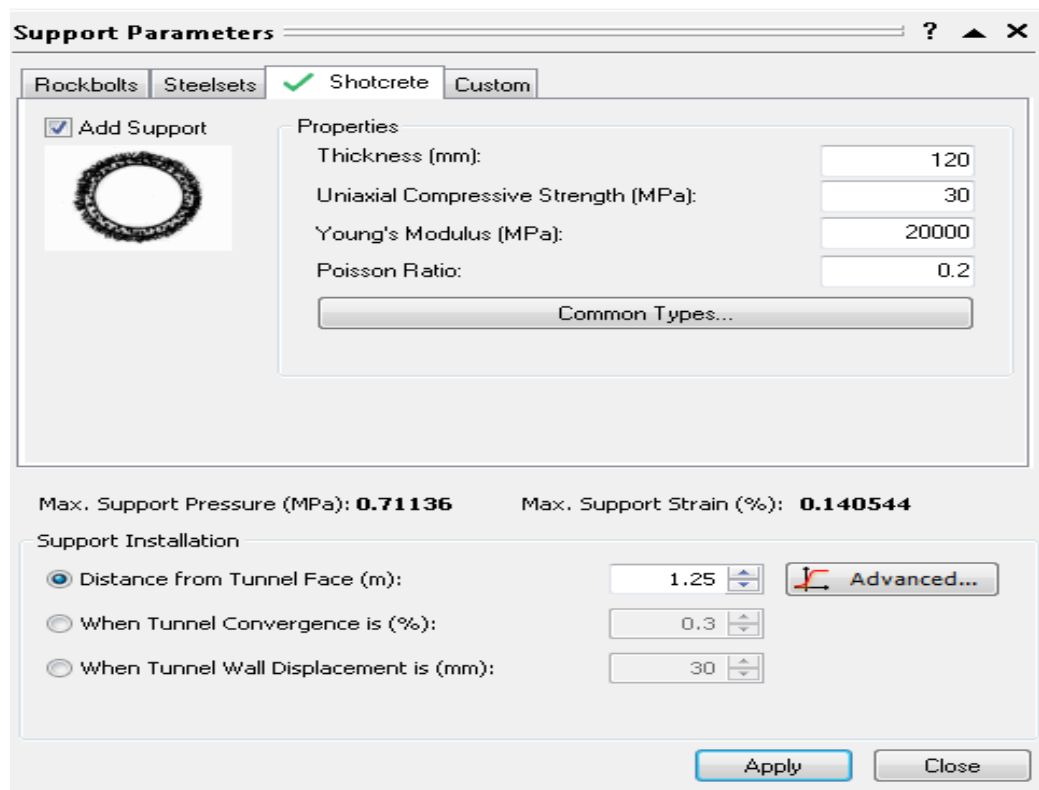


Εικόνα 4-20 Υπολογισμός In-Situ Stress

Προσθήκη μέτρων υποστήριξης :

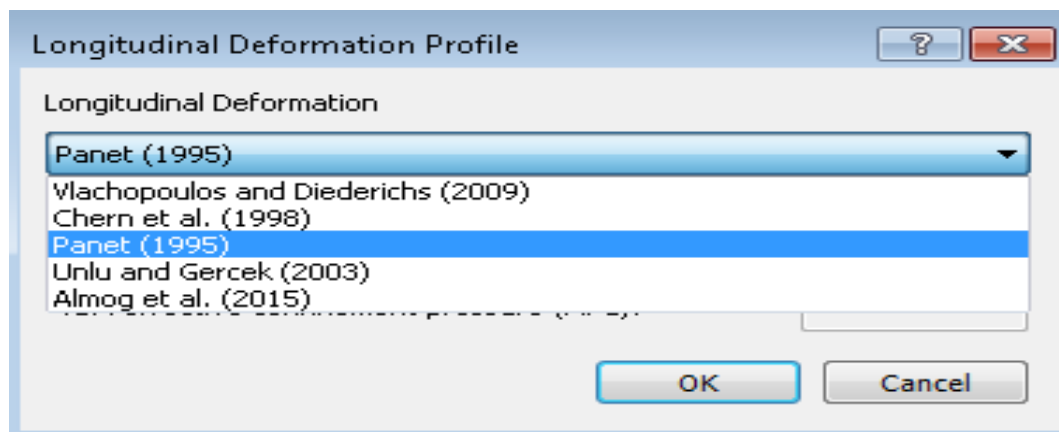
Το επόμενο βήμα είναι ο προσδιορισμός των μέτρων υποστήριξης της σήραγγας μέσω της εντολής :

Analysis→Add Support



Εικόνα 4-21 Ορισμός παραμέτρων υποστήριξης σήραγγας

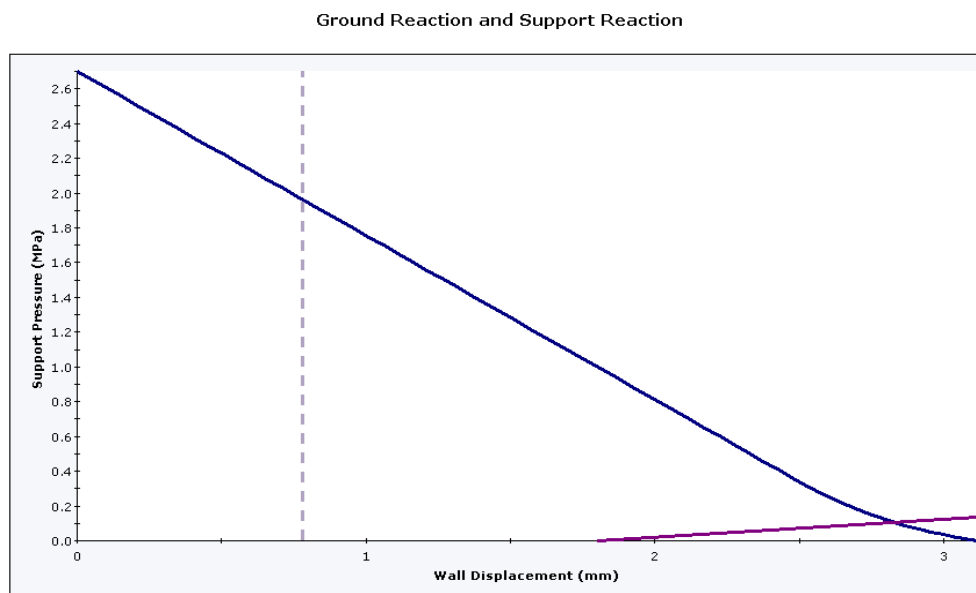
Στη συνέχεια επιλέγοντας την εντολή **Advanced** δίνεται η επιλογή στο χρήστη να διαλέξει τη μέθοδο εκτίμησης της αποτόνωσης που θα χρησιμοποιηθεί όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 4.22.



Εικόνα 4-22 Επιλογή μεθόδου εκτίμησης της αποτόνωσης

Στην παρούσα διπλωματική διερευνήθηκαν οι τρεις πρώτες μέθοδοι όπως φαίνονται στην εικόνα 4.22 αυτές των Vlachopoulos , Chern και Panet.

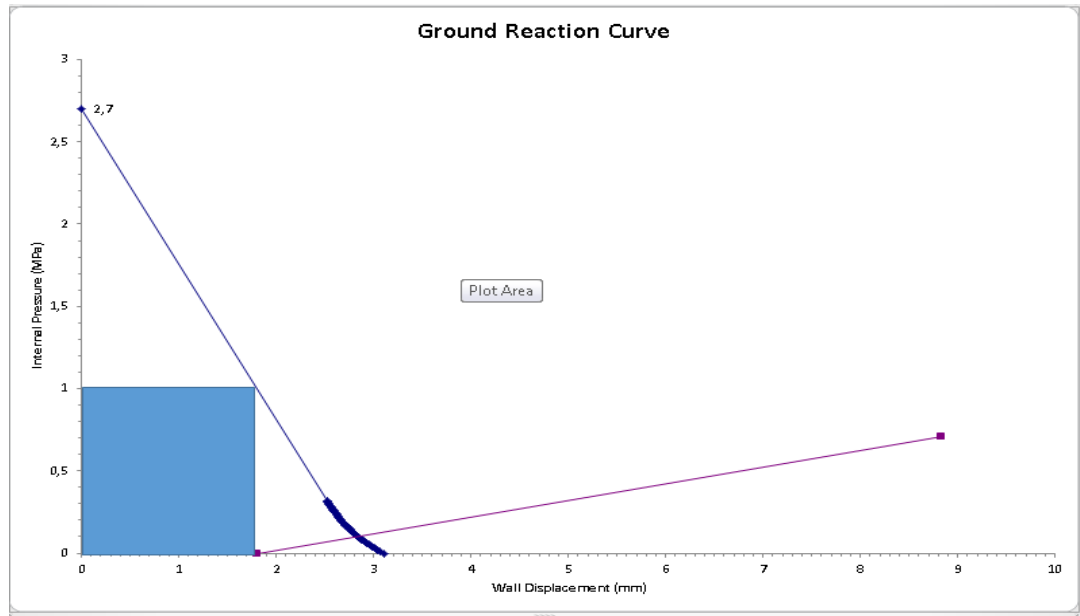
Εφόσον έχουν οριστεί όλες οι παραπάνω τιμές παραμέτρων προκύπτει η καμπύλη (όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 4.23) βάσει της οποίας θα υπολογιστεί ο βαθμός αποτόνωσης λ.



Εικόνα 4-23 Καμπύλη σύγκλισης – αποτόνωσης στο Excel από το RocSupport

Μετά το σχεδιασμό της καμπύλης ακολουθείται η εξής εντολή :

Edit → Export Graph to Excel



Εικόνα 4-24 Υπολογισμός συντελεστή αποτόνωσης λ από καμπύλη στο Excel

Ο συντελεστής αποτόνωσης (λ) υπολογίζεται τραβώντας 1 κάθετη γραμμή από το σημείο του άξονα x στο οποίο ξεκινάει η ευθεία αντίδρασης της υποστήριξης, η οποία τέμνει την χαρακτηριστική καμπύλη του πετρώματος κι έπειτα άλλη 1 κάθετη γραμμή ως προς την πίεση στήριξης (1MPa) . Αφού βρήκαμε ότι το αποτέλεσμα είναι 1.MPa, διαιρώντας το με την αρχική πίεση στήριξης (2.7MPa), βρίσκουμε το συντελεστή αποτόνωσης ($\lambda = 1 - P_i / P_0$).

Στη συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε:

$P_i = 1$, $P_0 = 2.7$, άρα $\lambda = 0.63$ με :

- P_0 : τάση πεδίου
- P_i : εσωτερική τάση

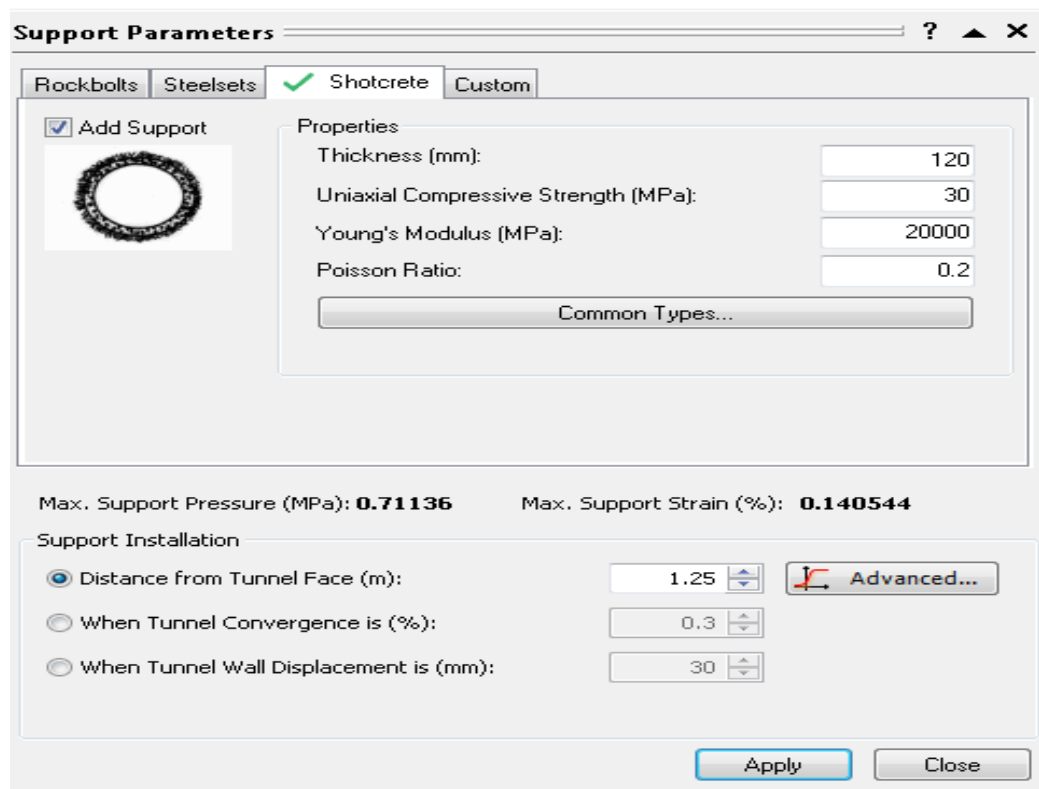
5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν τόσο από τις καμπύλες που δημιουργήθηκαν από το RocSupport όσο και των μοντέλων που σχεδιάστηκαν στη συνέχεια με τη χρήση του προγράμματος RS2.

5.1 Σηραγγολογική κατηγορία βραχομάζας II

Για την υποστήριξη στη συγκεκριμένη κατηγορία βραχομάζας θεωρήθηκαν σταθερές οι παρακάτω τιμές :

- Το πάχος του σκυροδέματος $t = 120 \text{ mm}$
- Ο Λόγος Poisson $\nu = 0.2$
- Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος ίση με 30 MPa
- Το μέτρο ελαστικότητας ίσο με 20000 MPa
- Βήμα προχώρησης ίσο με 1.25 m



Εικόνα 5-1 Μέτρα υποστήριξης για σηραγγολογική κατηγορία II

Για τις δοκιμές στο RocSupport στην κατηγορία II χρησιμοποιήθηκαν οι εξής παράμετροι :

- Ακτίνα σήραγγας : 5m
- GSI : 45
- m_i : 10
- σ_c : 45 MPa
- Βάθος σήραγγας : 50/100/200/500 m

Υπολογισμός In-Situ Stress για κάθε βάθος της σήραγγας

Όπως παρουσιάστηκε στην εικόνα 4.20 για τον υπολογισμό της In – Situ Stress έχουμε :

$$\text{In – Situ Stress(MPa)} = \text{Dunnel Depth(m)} \times \text{Unit Weight of Rock(MN/m}^3\text{)}$$

Άρα προκύπτει ότι :

- Για 50 m : 1.35 MPa
- Για 100 m : 2.7 MPa
- Για 200 m : 5.4 MPa
- Για 500 m : 13.5 MPa

Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες υπολογισμού του συντελεστή αποτόνωσης (λ) για τη σηραγγολογική κατηγορία βραχομάζας II και για τις τρεις μεθόδους ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν με βάση τις καμπύλες που δημιουργήθηκαν στο RocSupport.

Πίνακας 5-1Υπολογισμός συντελεστή αποτόνωσης για κατηγορία βραχομάζας II με τη μέθοδο του Panet

	50 m	100 m	200 m	500 m
P_0	1.35	2.7	5.4	13.5
P_i	0.585	1	1.3	1.2
P_i / P_0	0.43	0.37	0.24	0.09
λ	0.57	0.63	0.76	0.91

Πίνακας 5-2Υπολογισμός συντελεστή αποτόνωσης για κατηγορία βραχομάζας II με τη μέθοδο του Chern

	50 m	100 m	200 m	500 m
P₀	1.35	2.7	5.4	13.5
P_i	0.83	1.62	2.75	3.5
P_i / P₀	0.62	0.6	0.5	0.26
λ	0.38	0.4	0.5	0.74

Πίνακας 5-3Υπολογισμός συντελεστή αποτόνωσης για κατηγορία βραχομάζας II με τη μέθοδο του Vlachoroulou

	50 m	100 m	200 m	500 m
P₀	1.35	2.7	5.4	13.5
P_i	0.665	1.27	2.1	2.9
P_i / P₀	0.49	0.47	0.39	0.21
λ	0.51	0.53	0.61	0.79

Από τους παραπάνω πίνακες γίνεται αντιληπτό ότι για κάθε μεγαλύτερο βάθος εκσκαφής που πραγματοποιείται τόσο αυξάνεται ο συντελεστής αποτόνωσης. Επίσης παρατηρούμε ότι η μέθοδος του Panet είναι αυτή που δίνει τους μεγαλύτερους συντελεστές αποτόνωσης για όλα τα βάθη με δεύτερη σε σειρά να είναι η μέθοδος του Vlachoroulou και τη μέθοδο του Chern να δίνει του μικρότερους συντελεστές.

5.2 Αποτελέσματα βραχομάζας II από το RocSupport

Πίνακας 5-4 Αποτελέσματα βραχομάζας II για H = 50m

	Panet	Chern	Vlachopoulos
GSI	45	45	45
σ_c	45	45	45
mi	10	10	10
H(m)	50	50	50
Critical pressure	0.05	0.05	0.05
Wall displacement up with no support(mm)	1.44	1.44	1.44
Wall displacement up with support(mm)	1.37	1.34	1.36
Initial wall displacement(mm)	0.83	0.53	0.73
Mobilized support pressure(Mpa)	0.05	0.08	0.06
Wall displacement (deformation at the tunnel face)(mm)	0.36	0.44	0.41
Max support pressure(MPa)	0.711	0.711	0.711
Max support strain %	0.141	0.141	0.141

Πίνακας 5-5 Αποτελέσματα βραχομάζας II για H = 100m

	Panet	Chern	Vlachopoulos
GSI	45	45	45
σ_c	45	45	45
mi	10	10	10
H(m)	100	100	100
Critical pressure(MPa)	0.32	0.32	0.32
Wall displacement up with no support(mm)	3.12	3.12	3.12
Wall displacement up with support(mm)	2.83	2.73	2.79
Initial wall displacement(mm)	1.8	1.15	1.53
Mobilized support pressure(Mpa)	0.1	0.16	0.13
Wall displacement (deformation at the tunnel face)(mm)	0.78	0.96	0.88
Max support pressure(MPa)	0.711	0.711	0.711
Max support strain %	0.141	0.141	0.141

Πίνακας 5-6 Αποτελέσματα βραχομάζας II για H = 200m

	Panet	Chern	Vlachopoulos
--	--------------	--------------	---------------------

	Panet	Chern	Vlachopoulos
GSI	45	45	45
σ_c	45	45	45
mi	10	10	10
H(m)	200	200	200
Critical pressure(MPa)	1.14	1.14	1.14
Wall displacement up with no support(mm)	7.47	7.47	7.47
Wall displacement up with support(mm)	6.32	5.93	6.1
Initial wall displacement(mm)	4.32	2.76	3.47
Mobilized support pressure(Mpa)	0.2	0.32	0.27
Wall displacement (deformation at the tunnel face)(mm)	1.87	2.3	2.07
Max support pressure(MPa)	0.711	0.711	0.711
Max support strain %	0.141	0.141	0.141

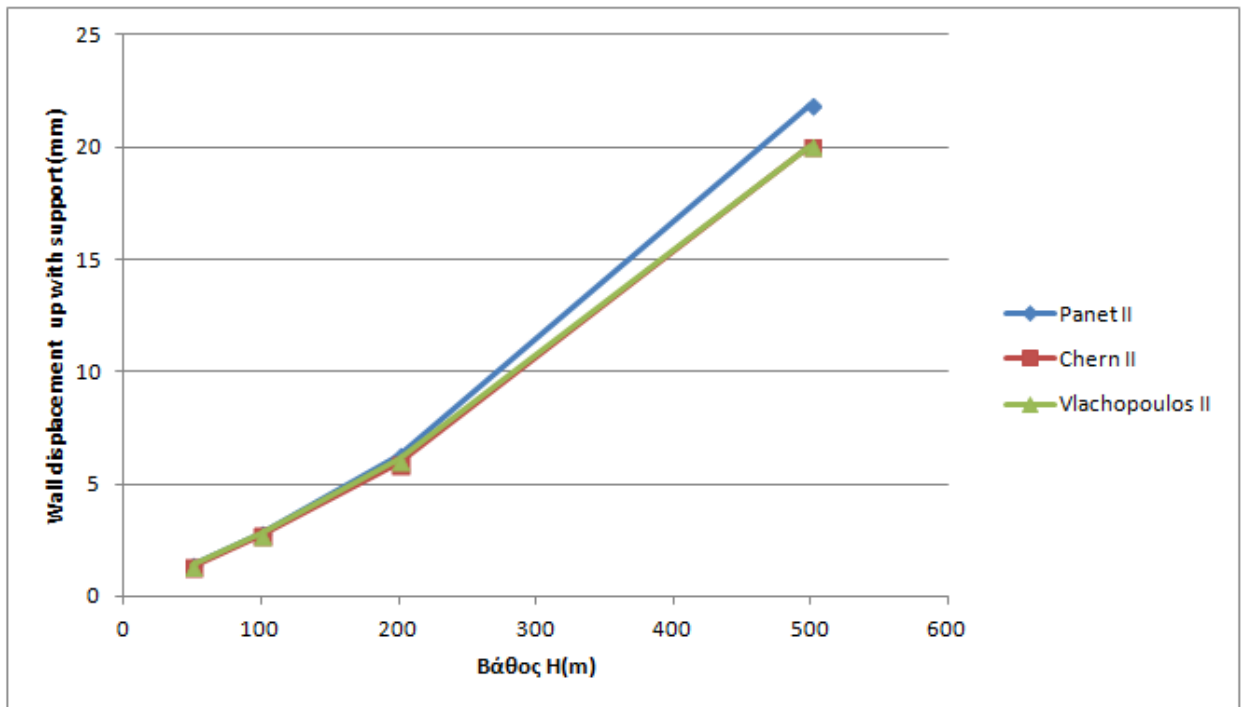
Πίνακας 5-7 Αποτελέσματα βραχομάζας II για H = 500m

	Panet	Chern	Vlachopoulos
GSI	45	45	45
σ_c	45	45	45
mi	10	10	10
H(m)	500	500	500
Critical pressure(MPa)	4.83	4.83	4.83
Wall displacement up with no support(mm)	29.46	29.46	29.46
Wall displacement up with support(mm)	21.84	20.05	20.05
Initial wall displacement(mm)	17.03	10.88	12.08
Mobilized support pressure(Mpa)	0.49	0.71	0.71
Wall displacement (deformation at the tunnel face)(mm)	7.37	9.07	7.66
Max support pressure(MPa)	0.711	0.711	0.711
Max support strain %	0.141	0.141	0.141

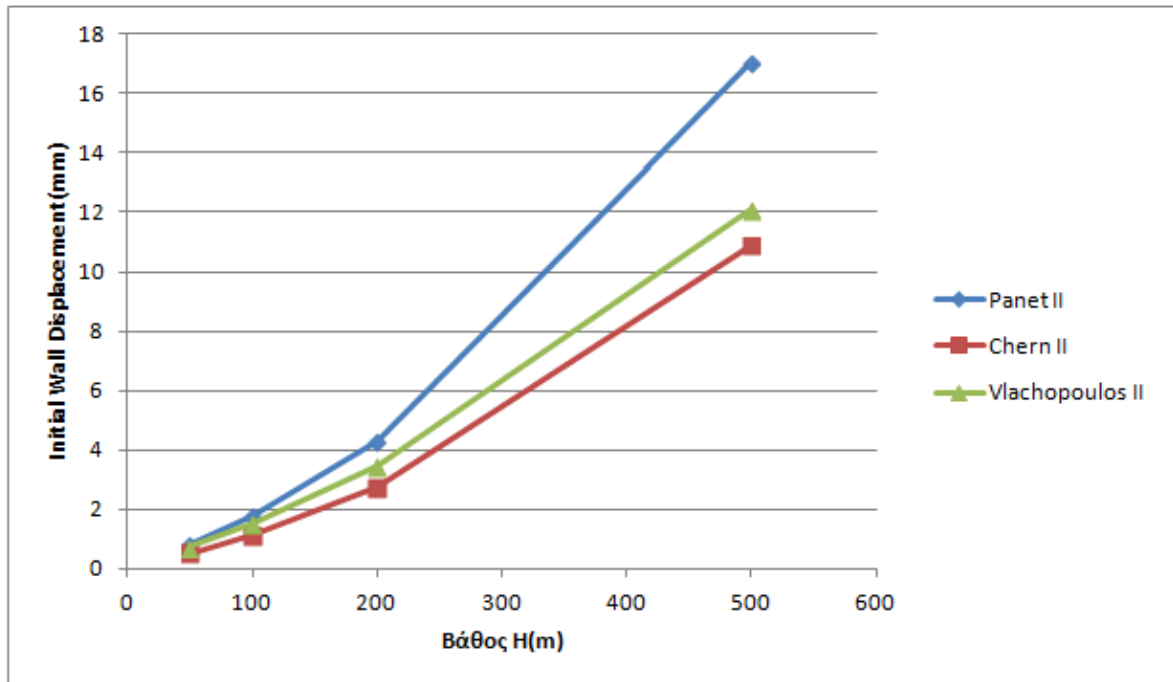
Οι παραπάνω πίνακες μας βοηθάνε να αντλήσουμε κάποια χρήσιμα συμπεράσματα συγκρίνοντας κάποιες τιμές μεταξύ των μεθόδων. Αρχικά, παρατηρούμε ότι ανεξαρτήτως του βάθους η μέθοδος του Panet δίνει τόσο τη μεγαλύτερη αρχική μετατόπιση όσο και τη μεγαλύτερη μετατόπιση αφότου έχουν τοποθετηθεί τα μέτρα υποστήριξης. Τις μικρότερες τιμές δίνει η μέθοδος του Chern ενώ στο ενδιάμεσο βρίσκονται οι τιμές από τη μέθοδο του Vlachoroulou. Επίσης, αντιστρόφως ανάλογα είναι τα αποτελέσματα των τιμών για τη μετατόπιση στην αρχή της σήραγγας όπου τις μεγαλύτερες τιμές δίνει η μέθοδος του Chern , με τις μικρότερες να τις

παρουσιάζει αυτή του Panet. Από τους πίνακες γίνεται αντιληπτό ότι κι η πίεση υποστήριξης (Mobilized Support Pressure) παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές στη μέθοδο του Chern και τις μικρότερες σε αυτή του Panet.

Παρακάτω παρατίθενται κάποια διαγράμματα στα οποία συγκρίνονται γραφικά οι παραπάνω τιμές ανά μέθοδο.



Διάγραμμα 5-1 Συγκριτική απεικόνιση Wall displacement with support(mm) ως προς το βάθος H(m) ανά μέθοδο για βραχομάζα II



Διάγραμμα 5-2 Συγκριτική απεικόνιση Initial Wall displacement (mm) ως προς το βάθος H(m) ανά μέθοδο για βραχομάζα II

5.3 Σηραγγολογική κατηγορία βραχομάζας III

Για την υποστήριξη στη συγκεκριμένη κατηγορία βραχομάζας θεωρήθηκαν σταθερές οι παρακάτω τιμές :

- Το πάχος του σκυροδέματος $t = 170 \text{ mm}$
- Ο Λόγος Poisson $\nu = 0.2$
- Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος ίση με 30 MPa
- Το μέτρο ελαστικότητας ίσο με 20000 MPa
- Βήμα προχώρησης ίσο με 1.5 m

Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες υπολογισμού του συντελεστή αποτόνωσης (λ) για τη σηραγγολογική κατηγορία βραχομάζας II και για τις τρεις μεθόδους ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν με βάση τις καμπύλες που δημιουργήθηκαν στο RocSupport.

Πίνακας 5-8 Υπολογισμός συντελεστή αποτόνωσης για κατηγορία βραχομάζας III με τη μέθοδο του Panet

	50 m	100 m	200 m	500 m
P₀	1.35	2.7	5.4	13.5
P_i	0.3	0.29	0.3	0.4
P_i / P₀	0.22	0.11	0.05	0.03
λ	0.78	0.89	0.95	0.97

Πίνακας 5-9 Υπολογισμός συντελεστή αποτόνωσης για κατηγορία βραχομάζας III με τη μέθοδο του Vlachoroulou

	50 m	100 m	200 m	500 m
P₀	1.35	2.7	5.4	13.5
P_i	0.5	0.68	0.8	1.8
P_i / P₀	0.37	0.25	0.15	0.11
λ	0.63	0.75	0.85	0.89

Πίνακας 5-10 Υπολογισμός συντελεστή αποτόνωσης για κατηγορία βραχομάζας III με τη μέθοδο του Chern

	50 m	100 m	200 m	500 m
P₀	1.35	2.7	5.4	13.5

	50 m	100 m	200 m	500 m
P_i	0.7	1.05	1	1.2
P_i / P_0	0.52	0.39	0.19	0.09
λ	0.48	0.61	0.81	0.91

Από τους παραπάνω πίνακες γίνεται αντιληπτό ότι για κάθε μεγαλύτερο βάθος εκσκαφής που πραγματοποιείται τόσο αυξάνεται ο συντελεστής αποτόνωσης. Επίσης παρατηρούμε ότι η μέθοδος του Panet είναι αυτή που δίνει τους μεγαλύτερους συντελεστές αποτόνωσης για όλα τα βάθη με δεύτερη σε σειρά να είναι η μέθοδος του Vlachopoulos και τη μέθοδο του Chern να δίνει του μικρότερους συντελεστές.

5.4 Αποτελέσματα βραχομάζας III από το RocSupport

Πίνακας 5-11 Αποτελέσματα βραχομάζας III για H = 50m

	Panet	Chern	Vlachopoulos
GSI	30	30	30
σ_c	30	30	30
mi	10	10	10
H(m)	50	50	50
Critical pressure	0.13	0.24	0.24
Wall displacement up with no support(mm)	6.6	6.6	6.6

	Panet	Chern	Vlachopoulos
Wall displacement up with support(mm)	4.96	4.31	4.63
Initial wall displacement(mm)	4.07	2.52	3.34
Mobilized support pressure(Mpa)	0.13	0.26	0.19
Wall displacement (deformation at the tunnel face)(mm)	1.65	2.03	1.84
Max support pressure(MPa)	1.003	1.003	1.003
Max support strain %	0.139	0.139	0.139

Πίνακας 5-12 Αποτελέσματα βραχομάζας III για H = 100m

	Panet	Chern	Vlachopoulos
GSI	30	30	30
σ_c	30	30	30
mi	10	10	10
H(m)	100	100	100
Critical pressure	0.73	0.73	0.73
Wall displacement up with no support(mm)	17.04	17.04	17.04
Wall displacement up with	11.8	9.43	10.25

	Panet	Chern	Vlachopoulos
support(mm)			
Initial wall displacement(mm)	10.52	6.51	8.02
Mobilized support pressure(Mpa)	0.19	0.42	0.32
Wall displacement (deformation at the tunnel face)(mm)	4.26	5.24	4.6
Max support pressure(MPa)	1.003	1.003	1.003
Max support strain %	0.139	0.139	0.139

Πίνακας 5-13 Αποτελέσματα βραχομάζας ΙΙΙ για H = 200m

	Panet	Chern	Vlachopoulos
GSI	30	30	30
σ_c	30	30	30
mi	10	10	10
H(m)	200	200	200
Critical pressure	2.05	2.05	2.05
Wall displacement up with no support(mm)	51.11	51.11	51.11

	Panet	Chern	Vlachopoulos
Wall displacement up with support(mm)	33.31	24.12	25.48
Initial wall displacement(mm)	31.55	19.52	21.46
Mobilized support pressure(Mpa)	0.25	0.66	0.58
Wall displacement (deformation at the tunnel face)(mm)	12.78	15.73	13.01
Max support pressure(MPa)	1.003	1.003	1.003
Max support strain %	0.139	0.139	0.139

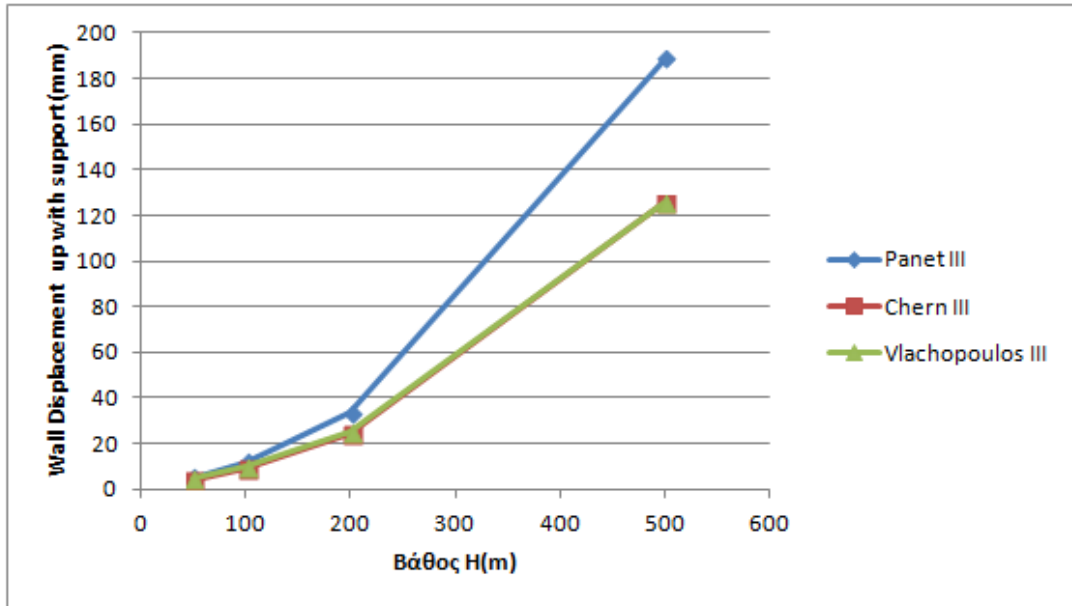
Πίνακας 5-14 Αποτελέσματα βραχομάζας III για H = 500m

	Panet	Chern	Vlachopoulos
GSI	30	30	30
σ_c	30	30	30
mi	10	10	10
H(m)	500	500	500
Critical pressure	7.11	7.11	7.11
Wall displacement up with no support(mm)	301.5	301.5	301.5

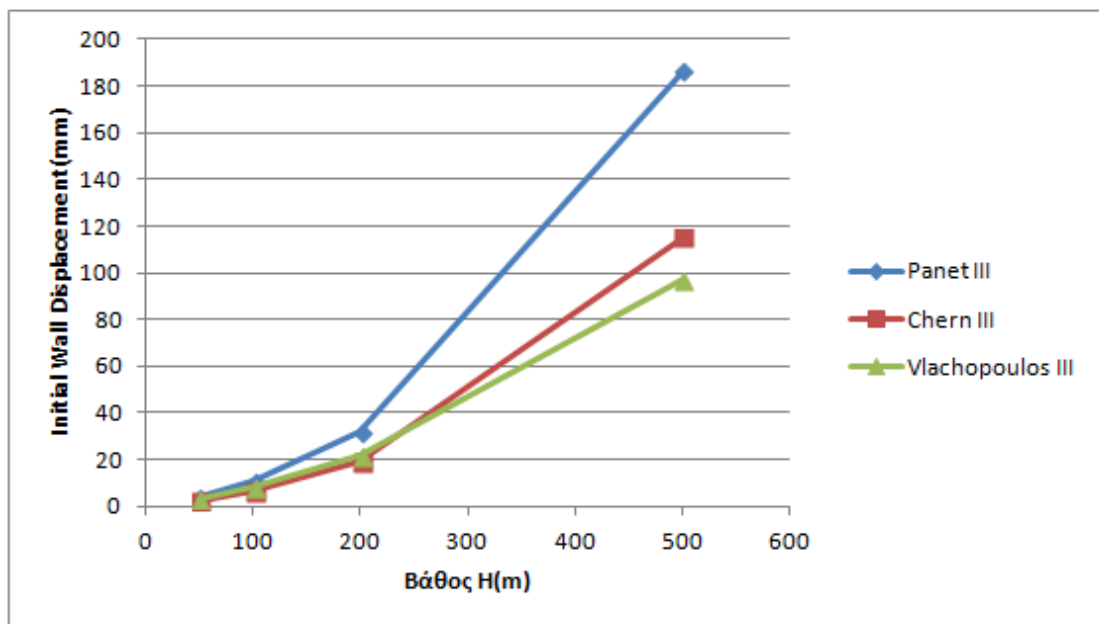
	Panet	Chern	Vlachopoulos
Wall displacement up with support(mm)	188.48	125.6	125.6
Initial wall displacement(mm)	186.13	115.18	96.73
Mobilized support pressure(Mpa)	0.34	1	1
Wall displacement (deformation at the tunnel face)(mm)	75.37	92.8	63.86
Max support pressure(MPa)	1.003	1.003	1.003
Max support strain %	0.139	0.139	0.139

Οι παραπάνω πίνακες μας βοηθάνε να αντλήσουμε κάποια χρήσιμα συμπεράσματα συγκρίνοντας κάποιες τιμές μεταξύ των μεθόδων. Αρχικά, παρατηρούμε ότι ανεξαρτήτως του βάθους η μέθοδος του Panet δίνει τόσο τη μεγαλύτερη αρχική μετατόπιση όσο και τη μεγαλύτερη μετατόπιση αφότου έχουν τοποθετηθεί τα μέτρα υποστήριξης. Τις μικρότερες τιμές δίνει η μέθοδος του Chern ενώ στο ενδιάμεσο βρίσκονται οι τιμές από τη μέθοδο του Vlachopoulos. Επίσης, αντιστρόφως ανάλογα είναι τα αποτελέσματα των τιμών για τη μετατόπιση στην αρχή της σήραγγας όπου τις μεγαλύτερες τιμές δίνει η μέθοδος του Chern , με τις μικρότερες να τις παρουσιάζει αυτή του Panet. Από τους πίνακες γίνεται αντιληπτό ότι κι η πίεση υποστήριξης (Mobilized Support Pressure) παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές στη μέθοδο του Chern και τις μικρότερες σε αυτή του Panet.

Παρακάτω παρατίθενται κάποια διαγράμματα στα οποία συγκρίνονται γραφικά οι παραπάνω τιμές ανά μέθοδο.



Διάγραμμα 5-3 Συγκριτική απεικόνιση Wall displacement with support(mm) ως προς το βάθος H(m) ανά μέθοδο για βραχομάζα III



Διάγραμμα 5-4 Συγκριτική απεικόνιση Initial Wall displacement (mm) ως προς το βάθος H(m) ανά μέθοδο για βραχομάζα II

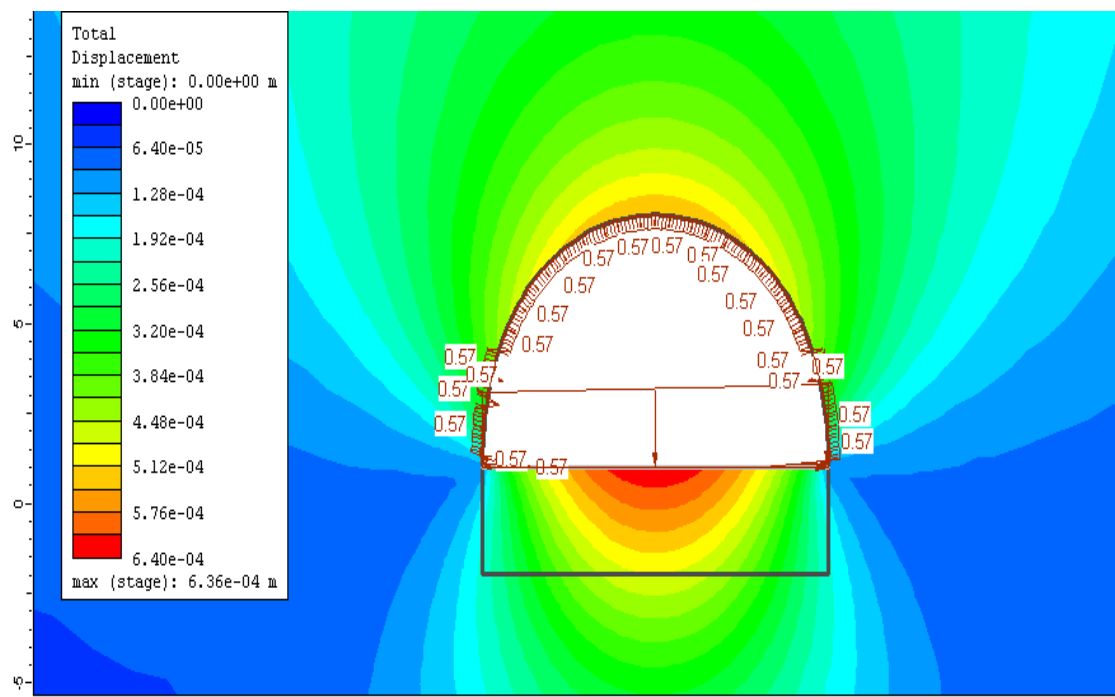
6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα όλων των αριθμητικών αναλύσεων που έγιναν στα μοντέλα που σχεδιάστηκαν. Τα αποτελέσματα αυτά θα συγκριθούν ανά μέθοδο για την εκάστοτε σηραγγολογική κατηγορία βραχομάζας. Συνολικά σχεδιάστηκαν 24 διαφορετικά μοντέλα , 12 για την κάθε μία από τις δύο διαφορετικές κατηγορίες που μελετήθηκαν. Στην κάθε κατηγορία πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός μοντέλων με βάση το συντελεστή αποτόνωσης που υπολογίστηκε για τις τρεις διαφορετικές μεθόδους εκτίμησης της αποτόνωσης, αυτές των Panet, Chern , Vlachorouli , για τέσσερα διαφορετικά βάθη σήραγγας 50 , 100 , 200 και 500 μέτρα.

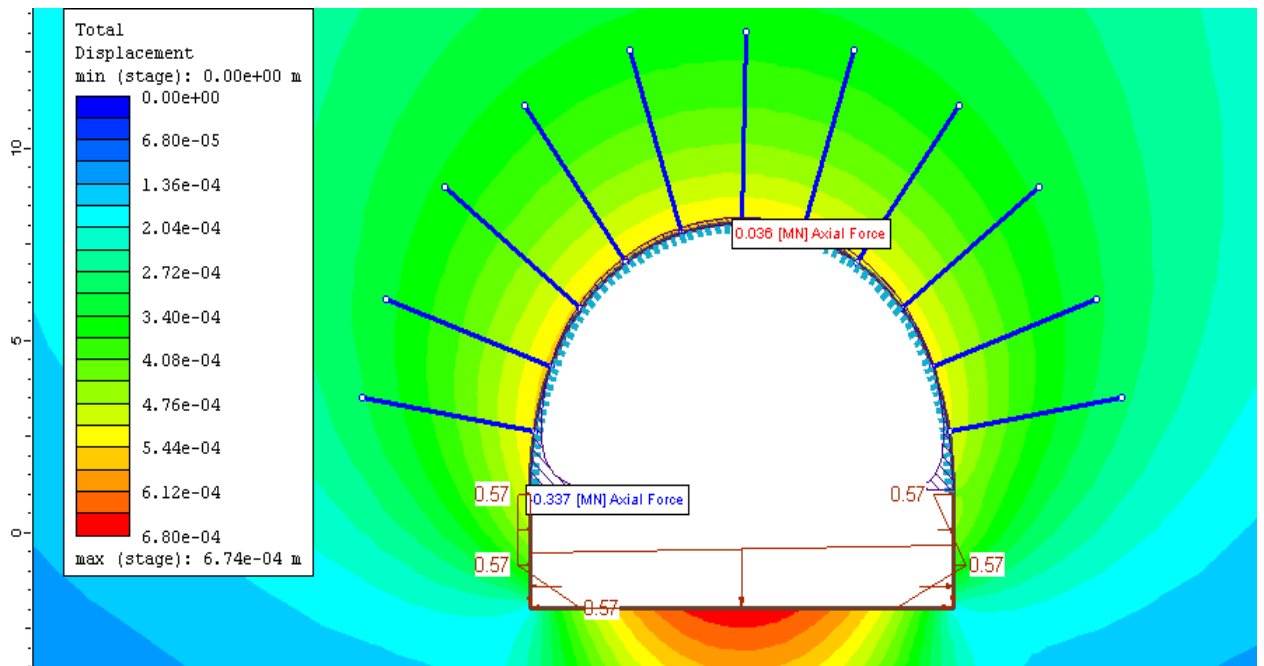
6.1 Αποτελέσματα σηραγγολογικής κατηγορίας II

Σε αυτό το κομμάτι παρατίθενται τα μοντέλα για το στάδιο 2 , όπου γίνεται η πρώτη αποτόνωση , για το στάδιο 4 , όπου γίνεται η δεύτερη αποτόνωση και για το τελικό στάδιο εκσκαφής όπου και θα συγκριθούν οι αξονικές και τέμνουσες δυνάμεις καθώς και οι ροπές κάμψης στην επένδυση της σήραγγας.

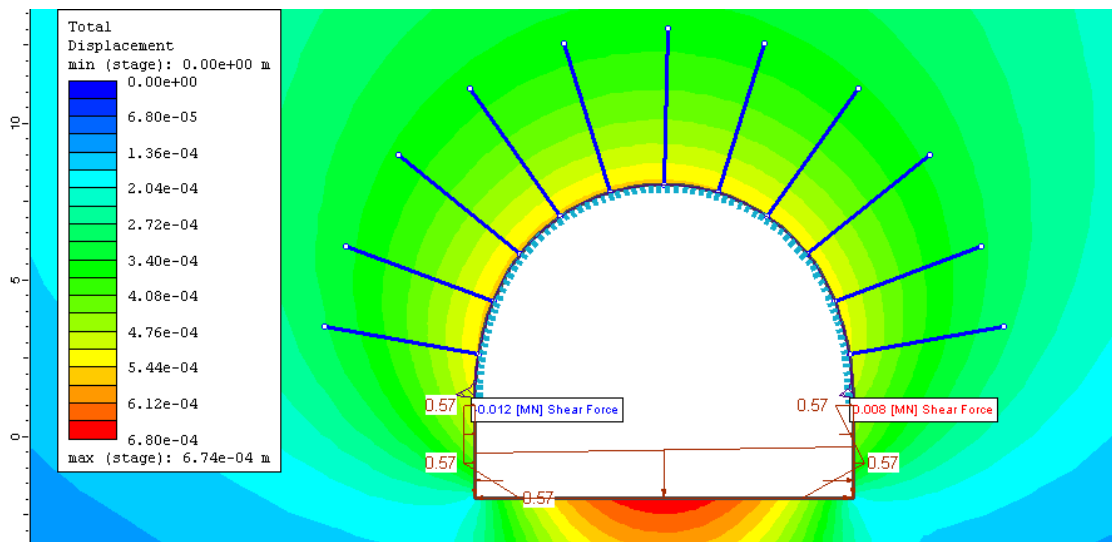
6.1.1 Αποτελέσματα μέθοδος Panet 50 m(Αβαθής σήραγγα)



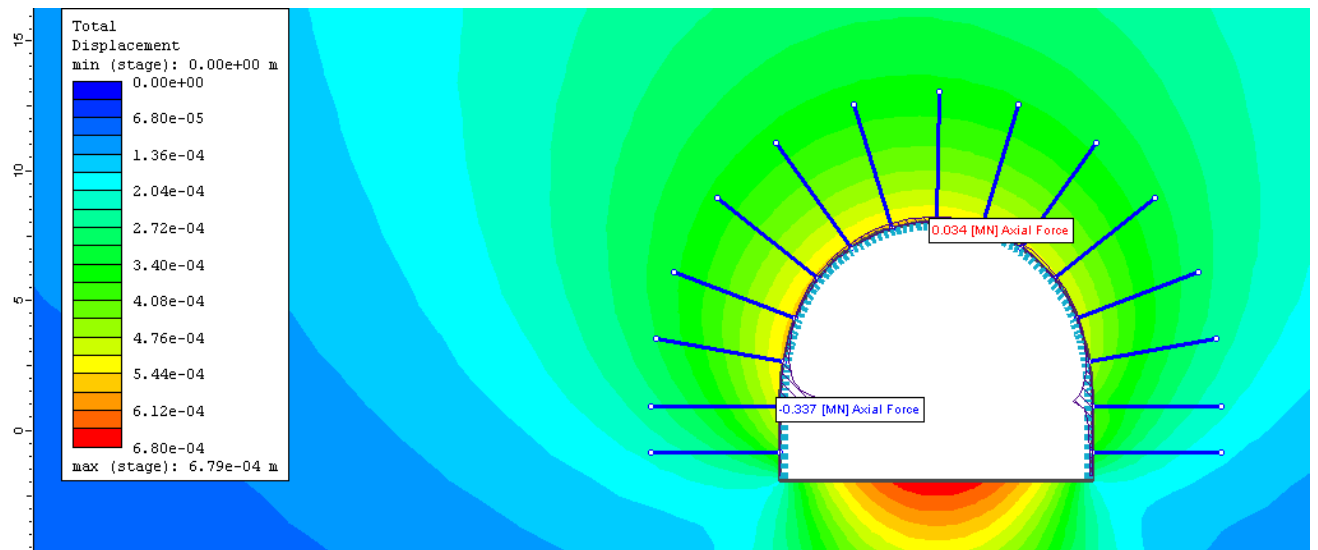
Εικόνα 6-1 Stage2 Πρώτη αποτόνωση Panet 50m



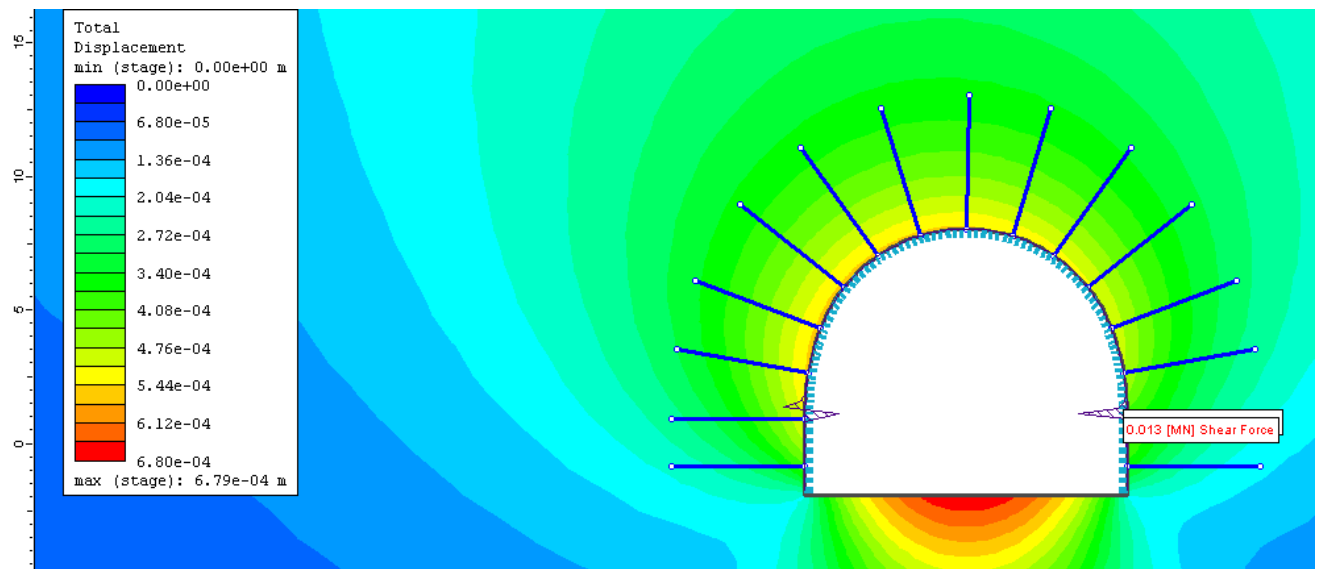
Εικόνα 6-2 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 50m



Εικόνα 6-3 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 50m



Εικόνα 6-4 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 50 m

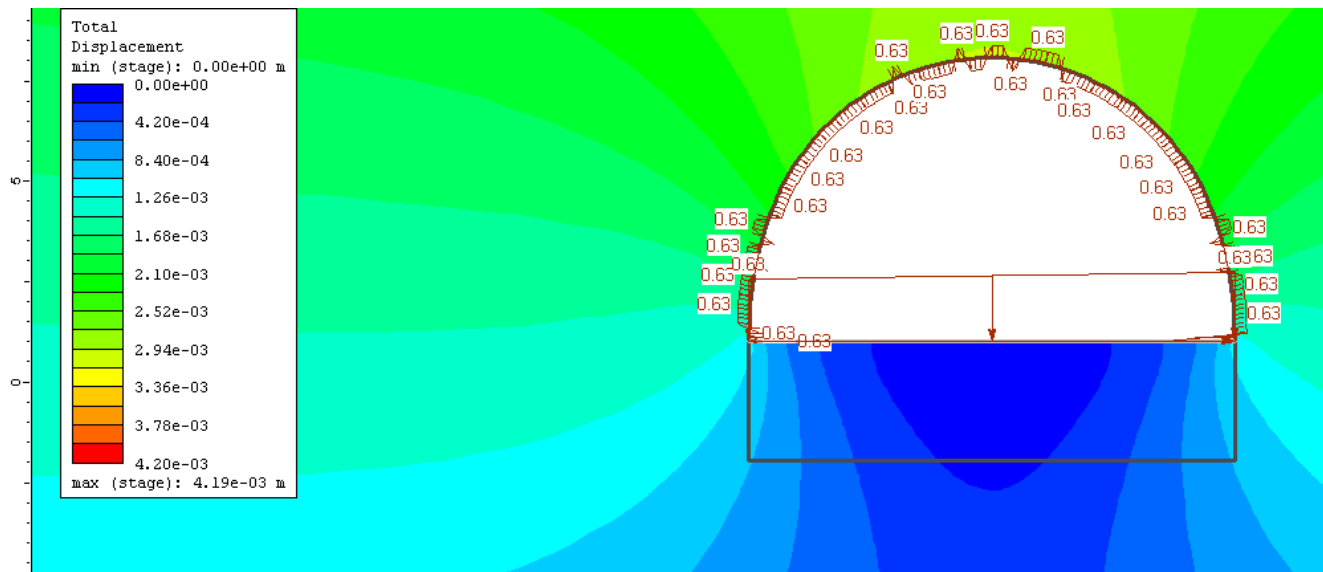


Εικόνα 6-5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 50m

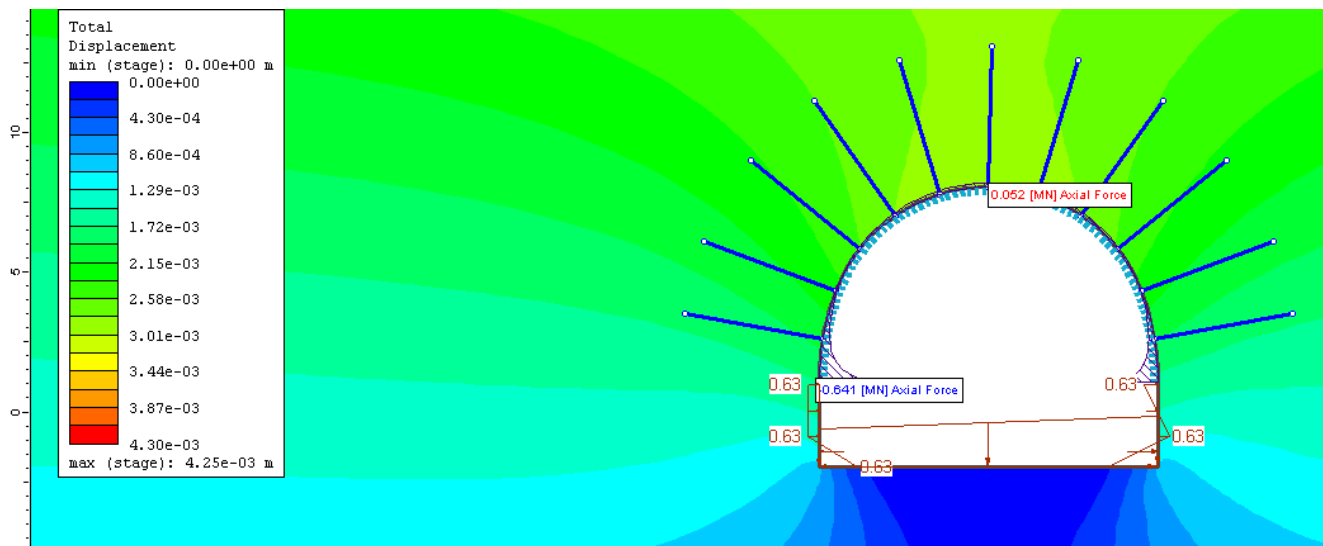
Παίρνοντας τις τιμές με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή προκύπτει ότι :

- Η μέγιστη αξονική δύναμη για αβαθή σήραγγα με τη μέθοδο του Panet είναι 0.337 MN
- Η μέγιστη διατμητική δύναμη για αβαθή σήραγγα με τη μέθοδο του Panet είναι 0.017 MN
- Η μέγιστη ροπή κάμψης για αβαθή σήραγγα με τη μέθοδο του Panet είναι 0.003 MN

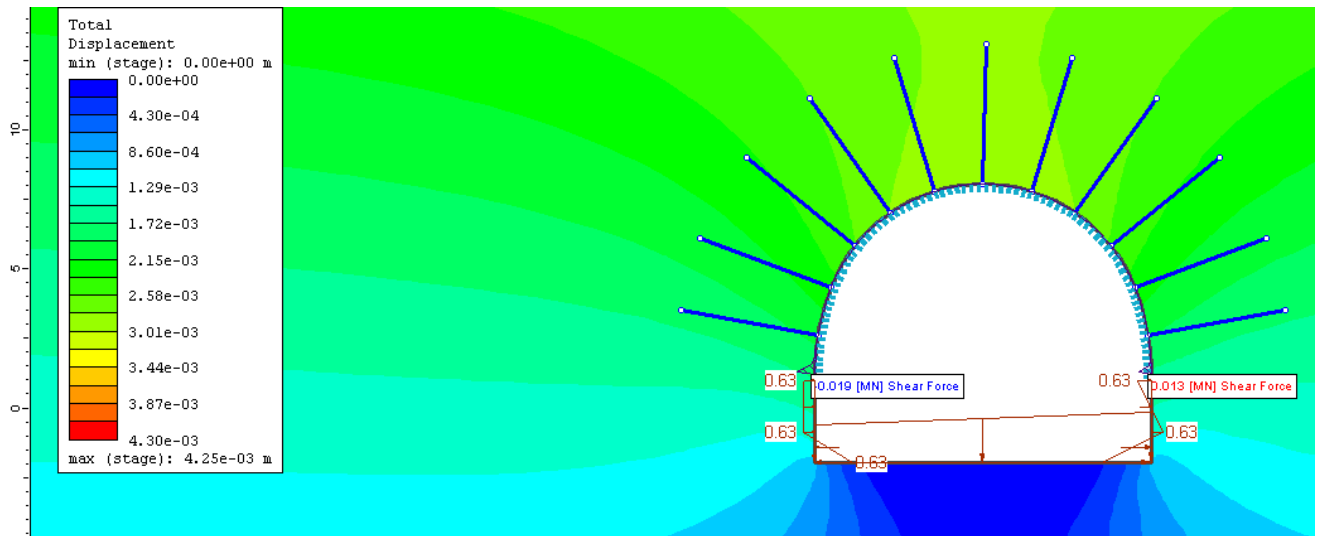
6.1.2 Αποτελέσματα μέθοδος Panet 100 m



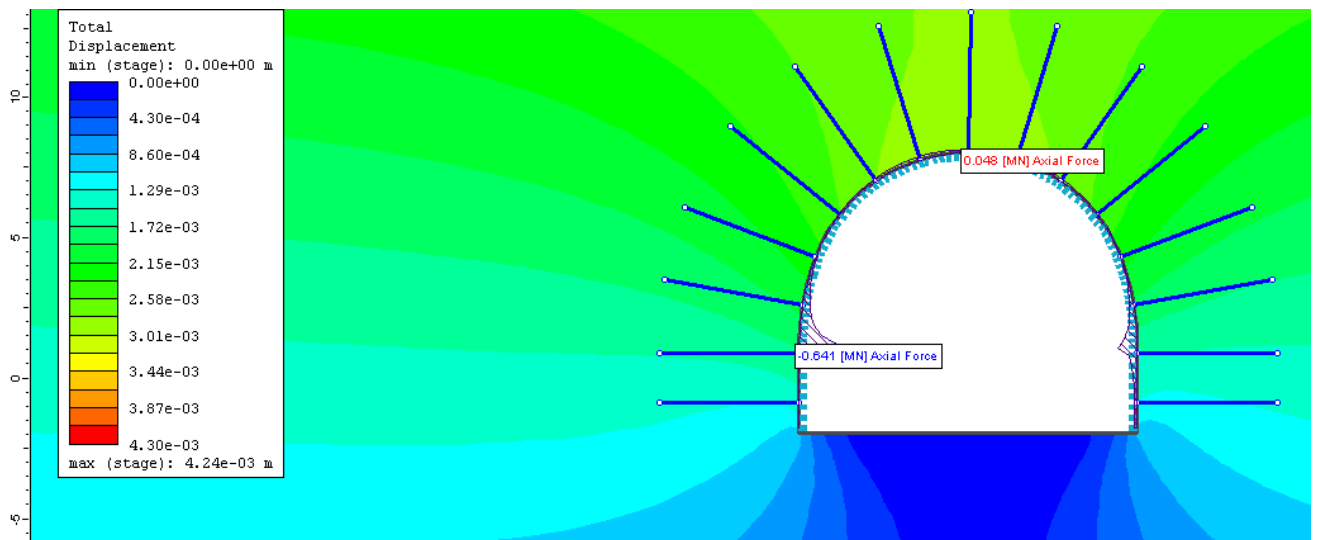
Εικόνα 6-6 Stage 2 Πρώτη αποτόνωση Panet 100m



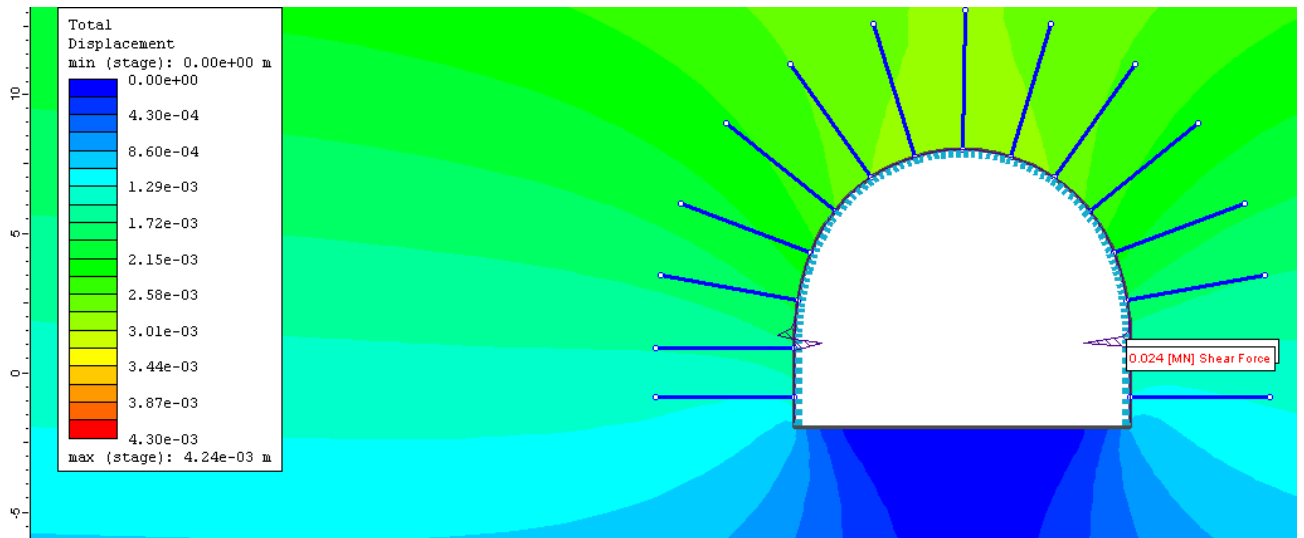
Εικόνα 6-7 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 100m



Εικόνα 6-8 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 100m



Εικόνα 6-9 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 100m

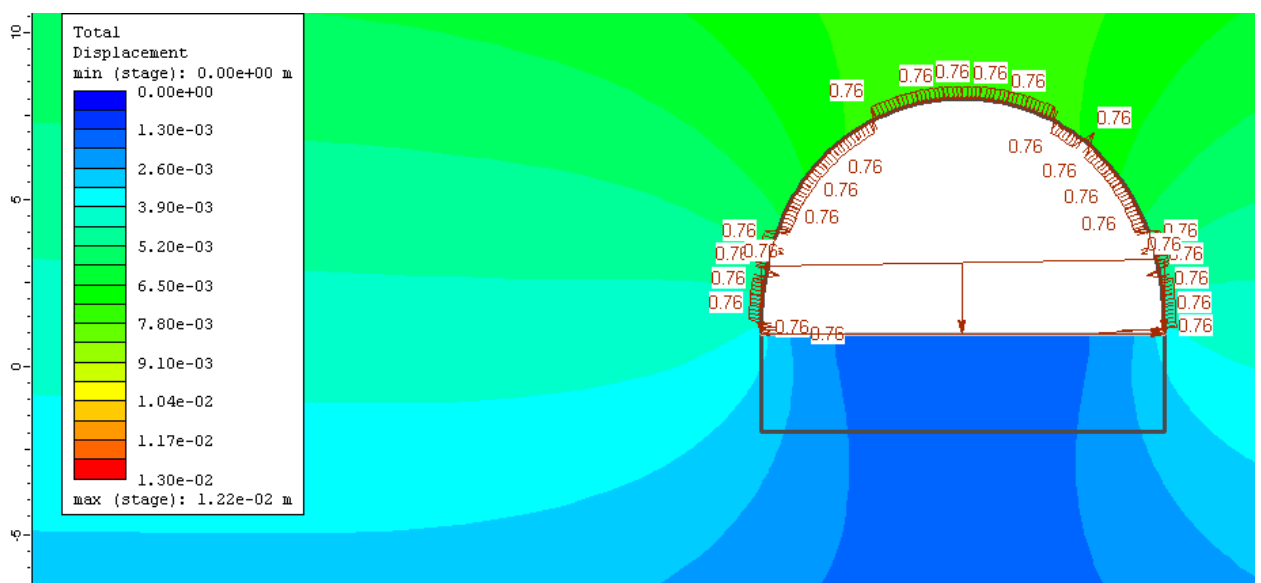


Εικόνα 6-10 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 100m

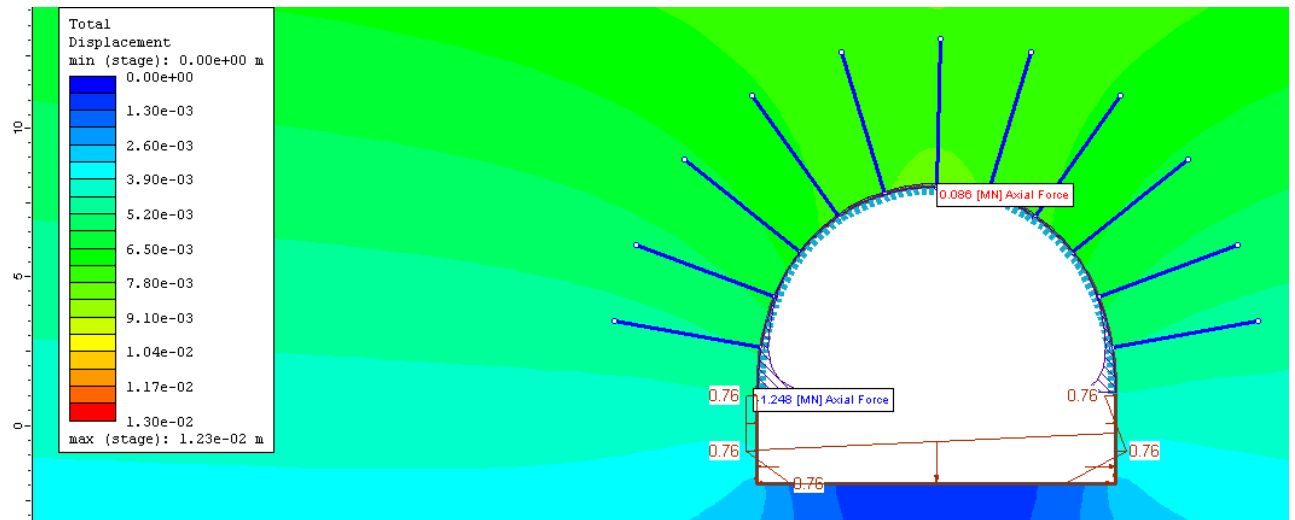
Παίρνοντας τις τιμές με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή προκύπτει ότι :

- Η μέγιστη αξονική δύναμη για σήραγγα $H = 100$ m με τη μέθοδο του Panet είναι 0.641 MN
- Η μέγιστη διατμητική δύναμη για σήραγγα $H = 100$ m με τη μέθοδο του Panet είναι 0.034 MN
- Η μέγιστη ροπή κάμψης για σήραγγα $H = 100$ m με τη μέθοδο του Panet είναι 0.005 MN

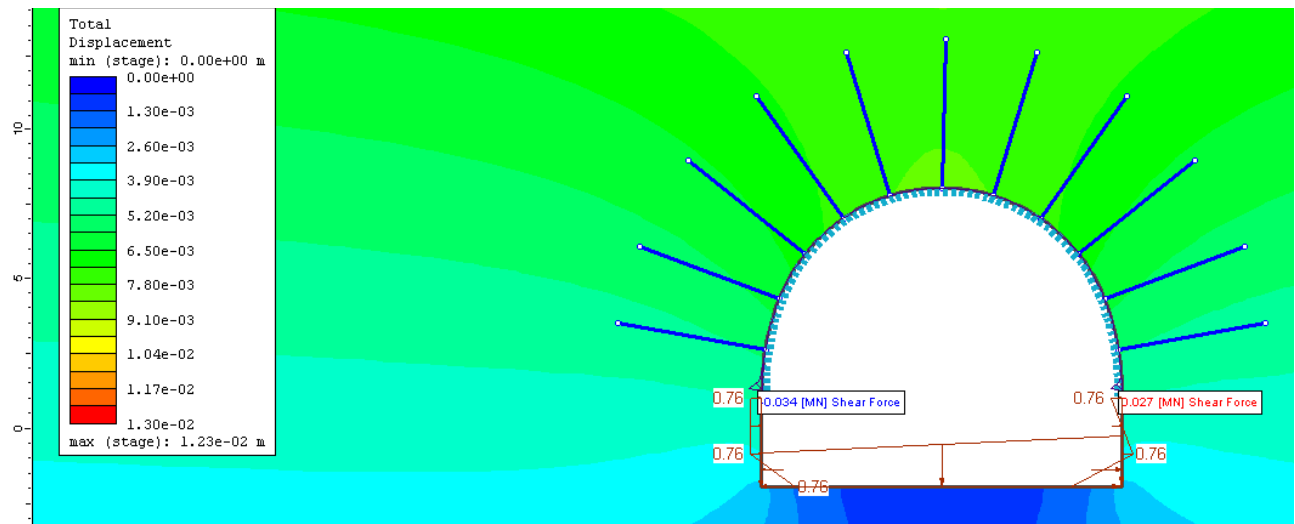
6.1.3 Αποτελέσματα μέθοδος Panet 200 m



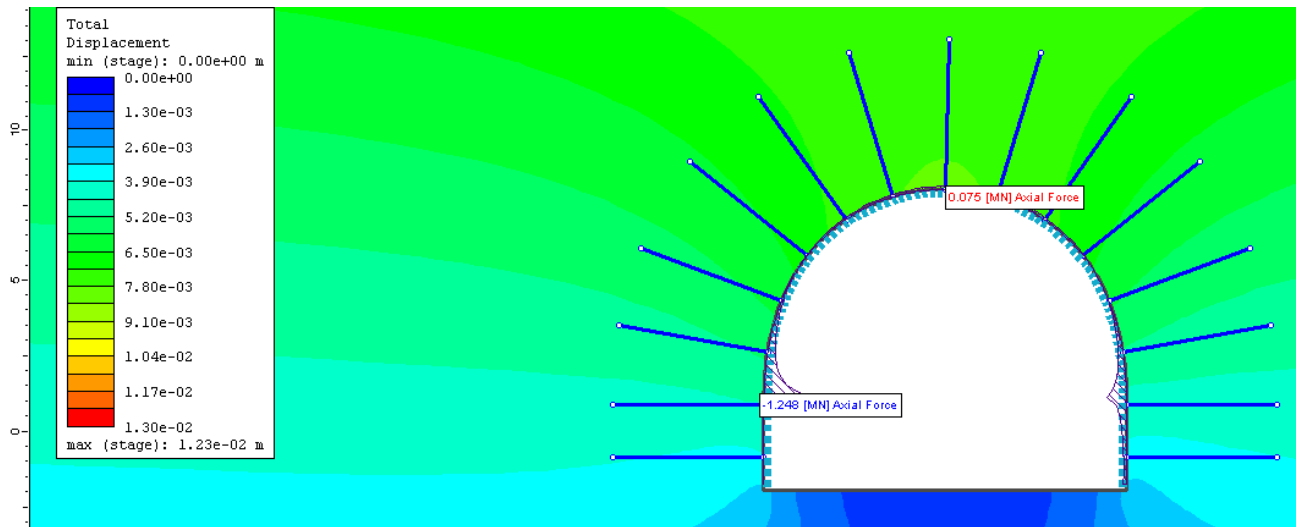
Εικόνα 6-11 Stage 2 Πρώτη αποτόνωση Panet 200m



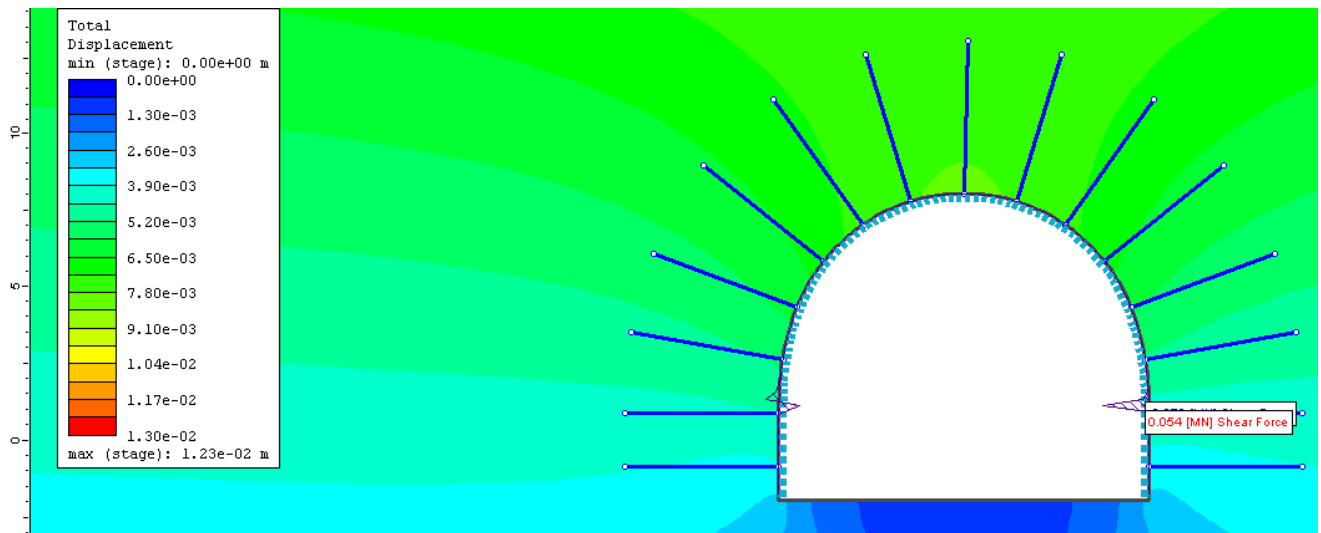
Εικόνα 6-12 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 200m



Εικόνα 6-13 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 200m



Εικόνα 6-14 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 200m

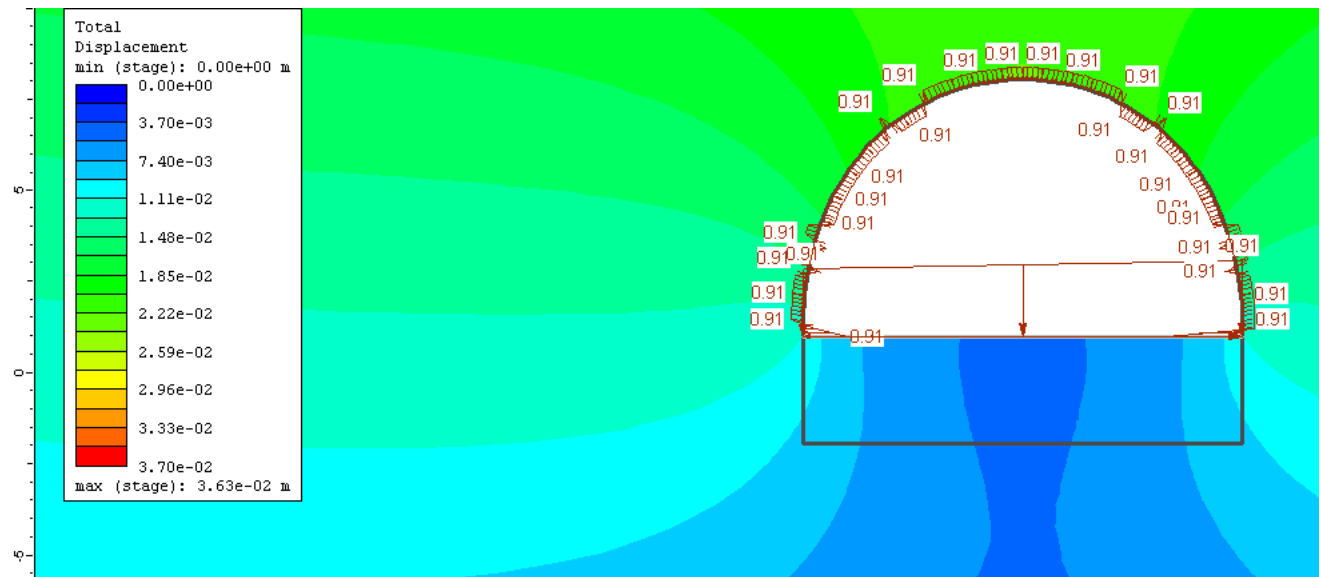


Εικόνα 6-15 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 200m

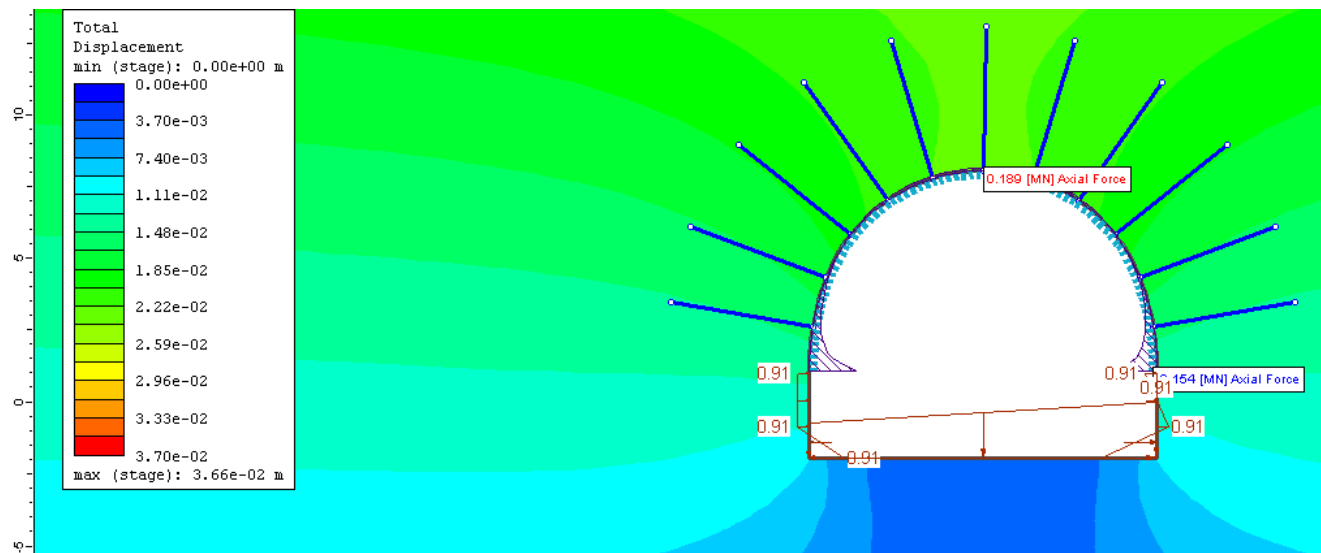
Πάιρνοντας τις τιμές με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή προκύπτει ότι :

- Η μέγιστη αξονική δύναμη για σήραγγα $H = 200$ m με τη μέθοδο του Panet είναι 1.248 MN
- Η μέγιστη διατμητική δύναμη για σήραγγα $H = 200$ m με τη μέθοδο του Panet είναι 0.078 MN
- Η μέγιστη ροπή κάμψης για σήραγγα $H = 200$ m με τη μέθοδο του Panet είναι 0.011 MN

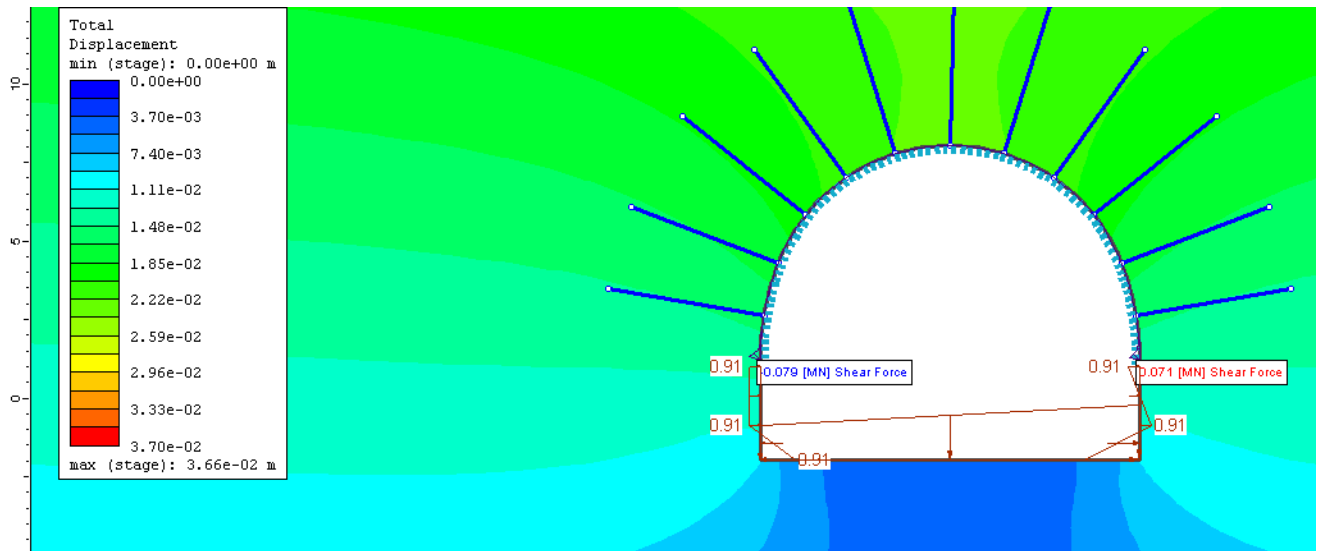
6.1.4 Αποτελέσματα μέθοδος Panet 500 m



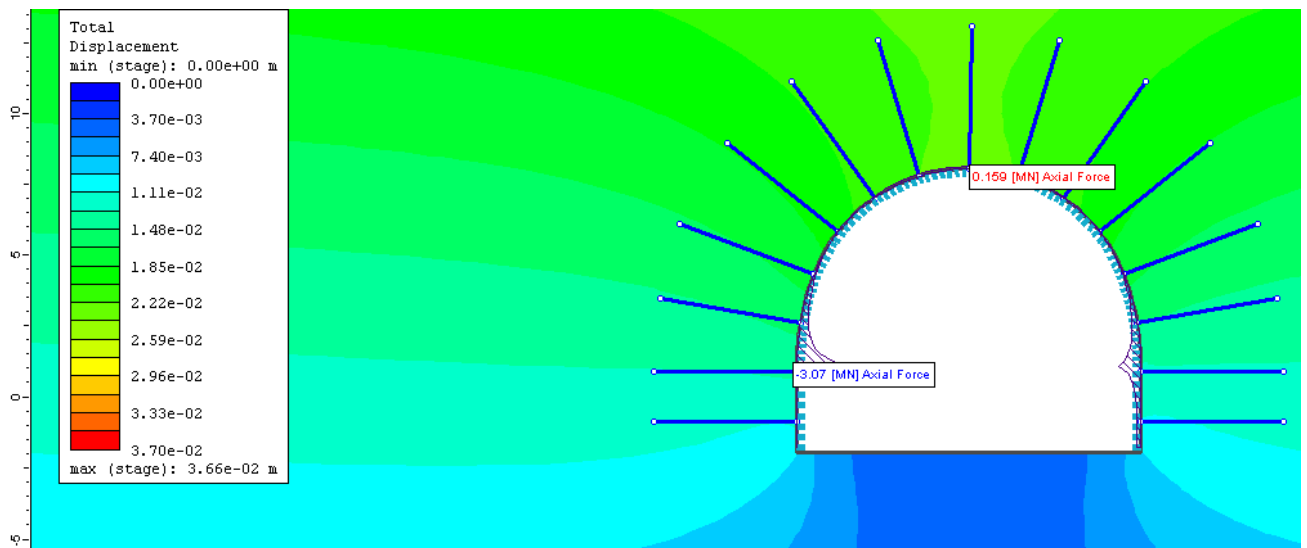
Εικόνα 6-16 Stage 2 Πρώτη αποτόνωση Panet 500m



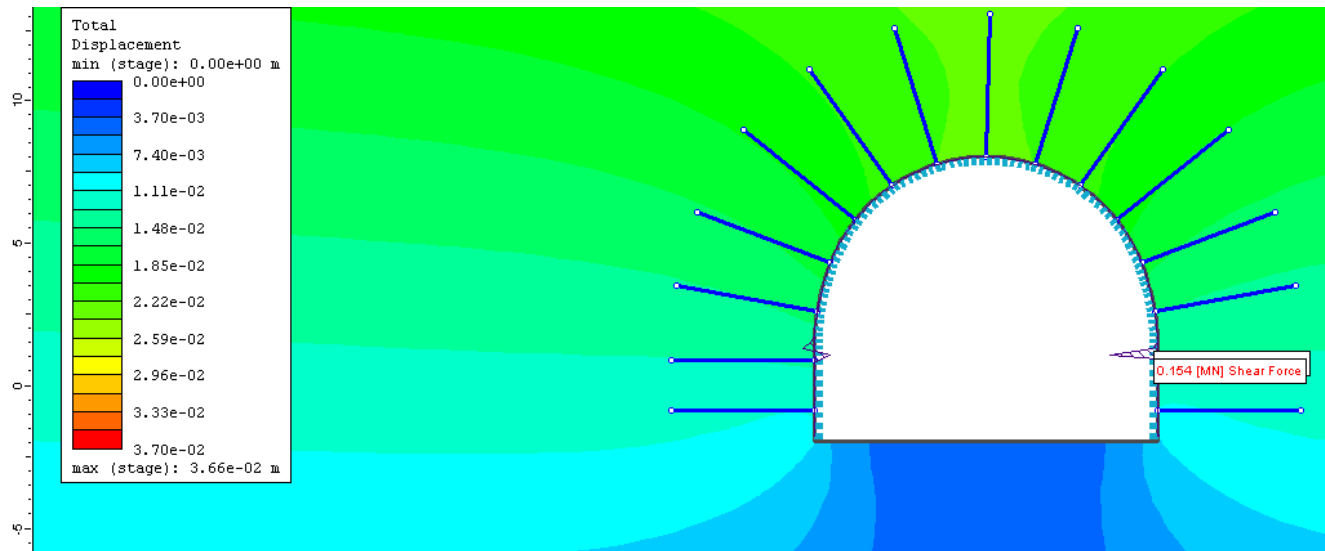
Εικόνα 6-17 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 500m



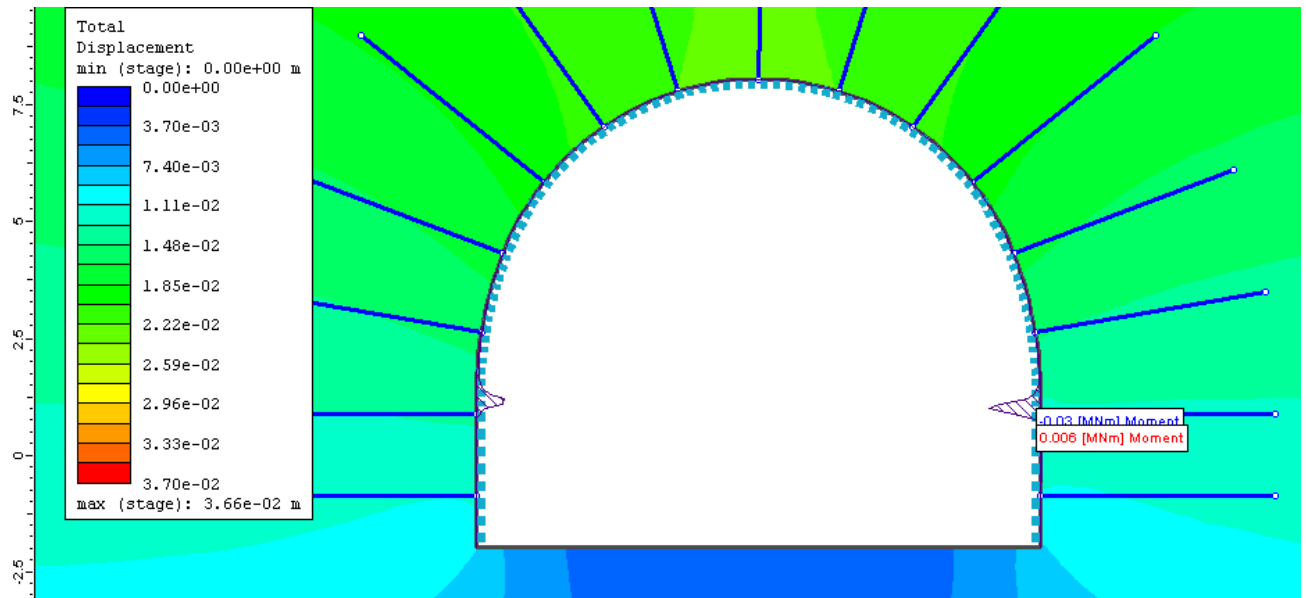
Εικόνα 6-18 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 500m



Εικόνα 6-19 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 500m



Εικόνα 6-20 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 200m

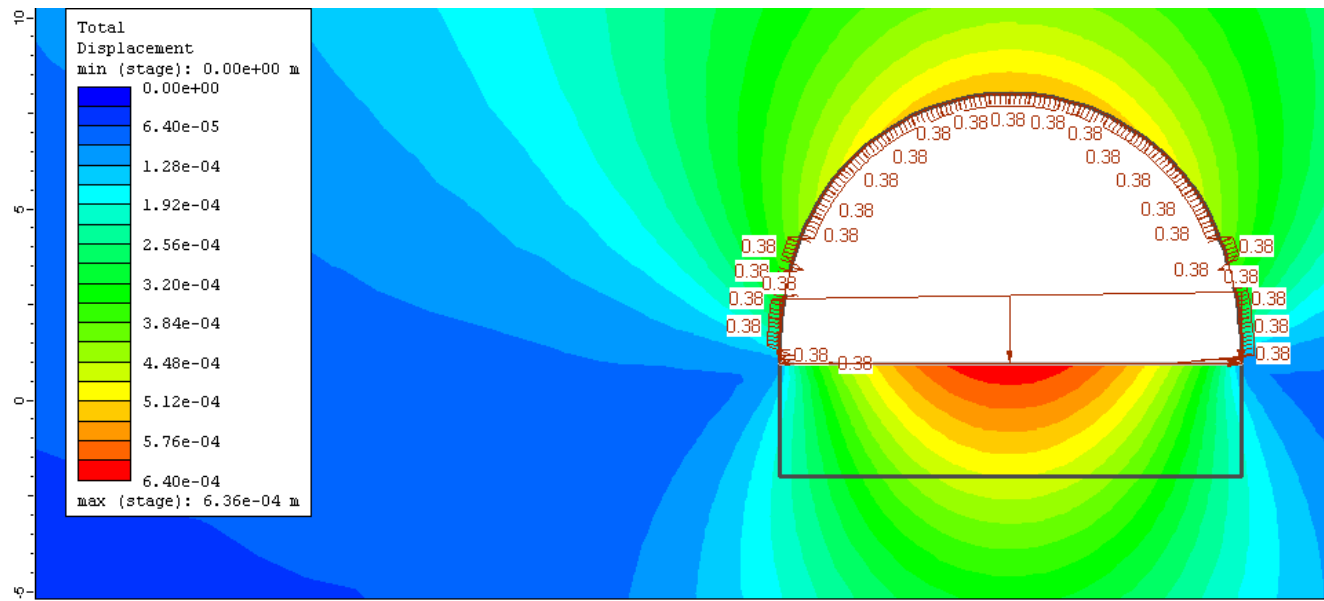


Εικόνα 6-21 Stage 5 Ροπή κάμψης στο σκυρόδεμα Panet 500m

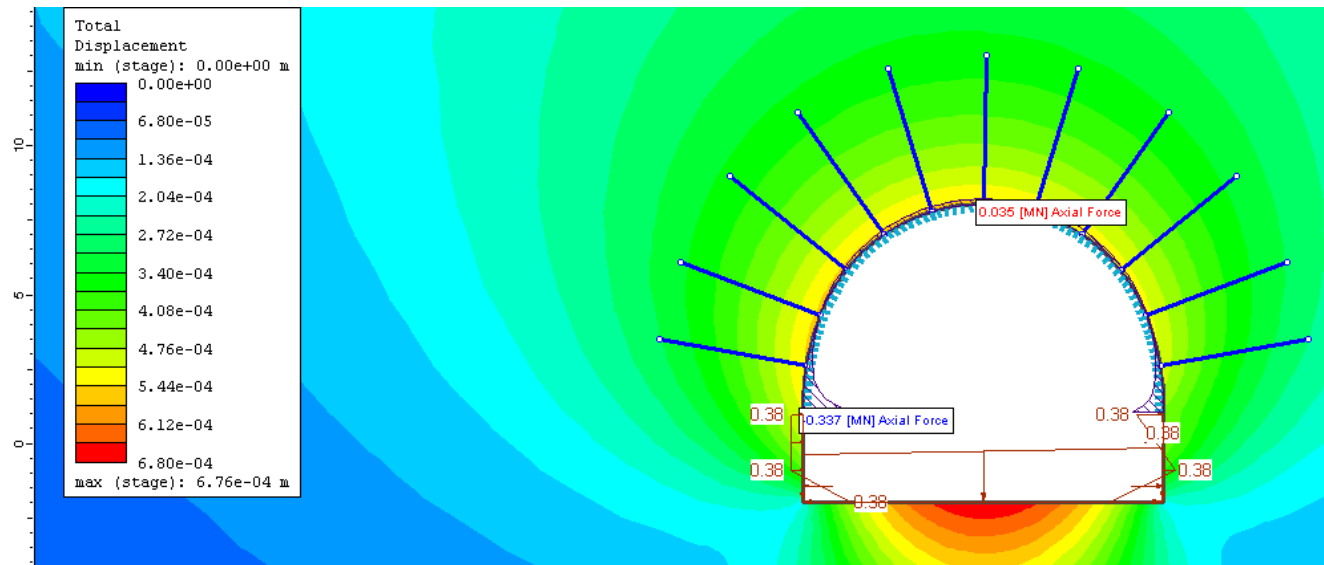
Παίρνοντας τις τιμές με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή προκύπτει ότι :

- Η μέγιστη αξονική δύναμη για σήραγγα $H = 500$ m με τη μέθοδο του Panet είναι 3.07 MN
- Η μέγιστη διατμητική δύναμη για σήραγγα $H = 500$ m με τη μέθοδο του Panet είναι 0.228 MN
- Η μέγιστη ροπή κάμψης για σήραγγα $H = 500$ m με τη μέθοδο του Panet είναι 0.03 MN

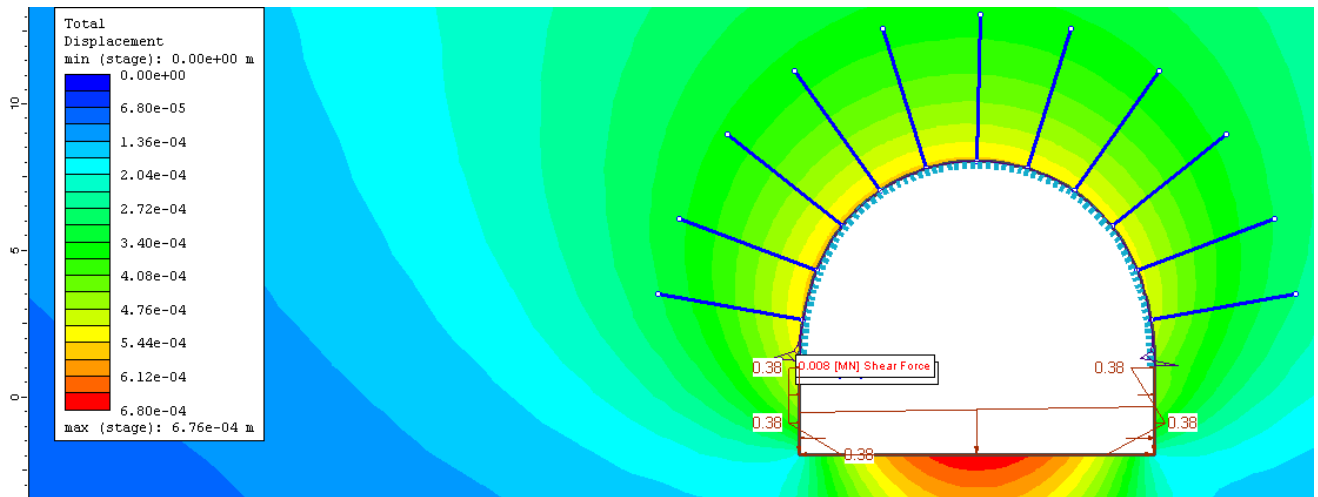
6.1.5 Αποτελέσματα μέθοδος Chern 50 m(Αβαθής σήραγγα)



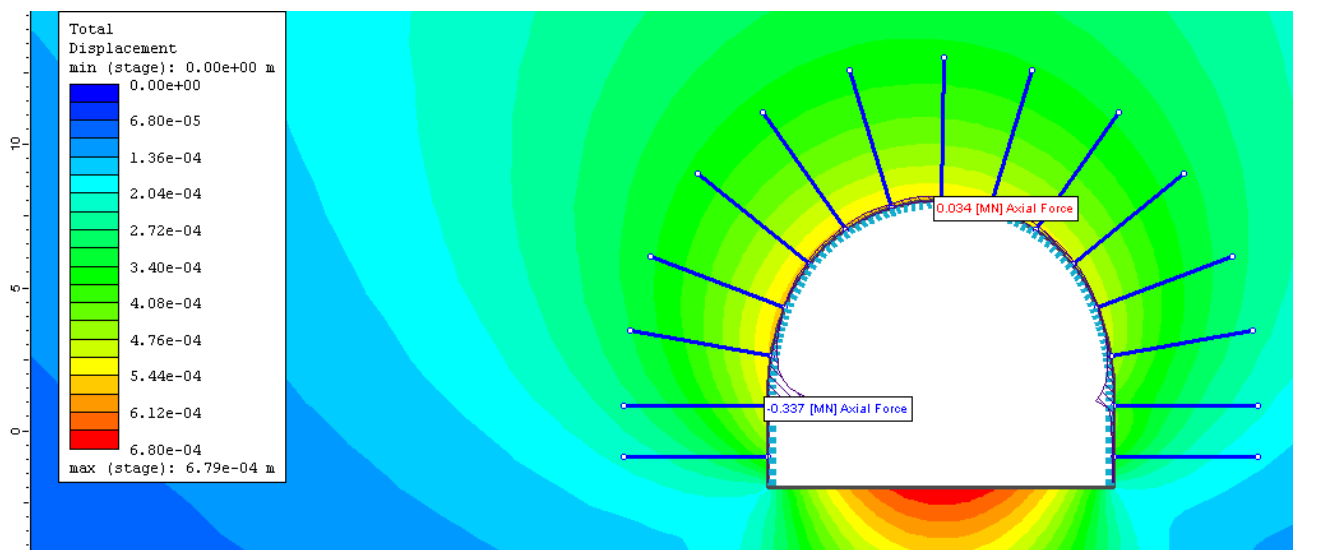
Εικόνα 6-22 Stage 2 Πρώτη αποτόνωση Chern 50m Σχήμα 6.21 Stage 2 Πρώτη αποτόνωση Chern 50m



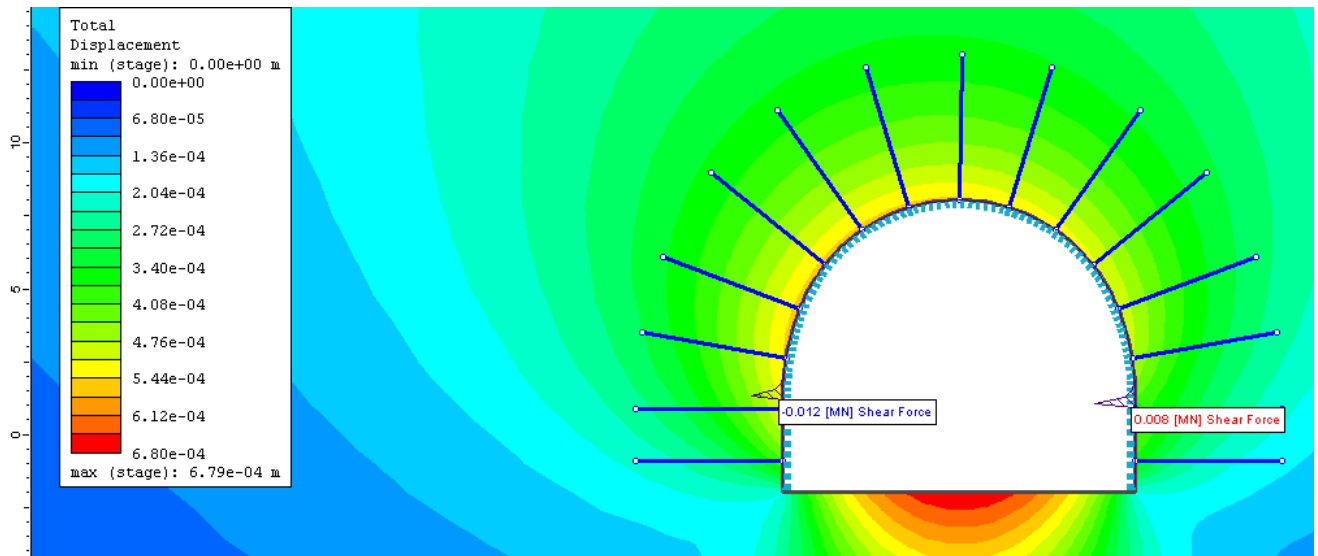
Εικόνα 6-23 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 50m



Εικόνα 6-24 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 50m



Εικόνα 6-25 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 50m

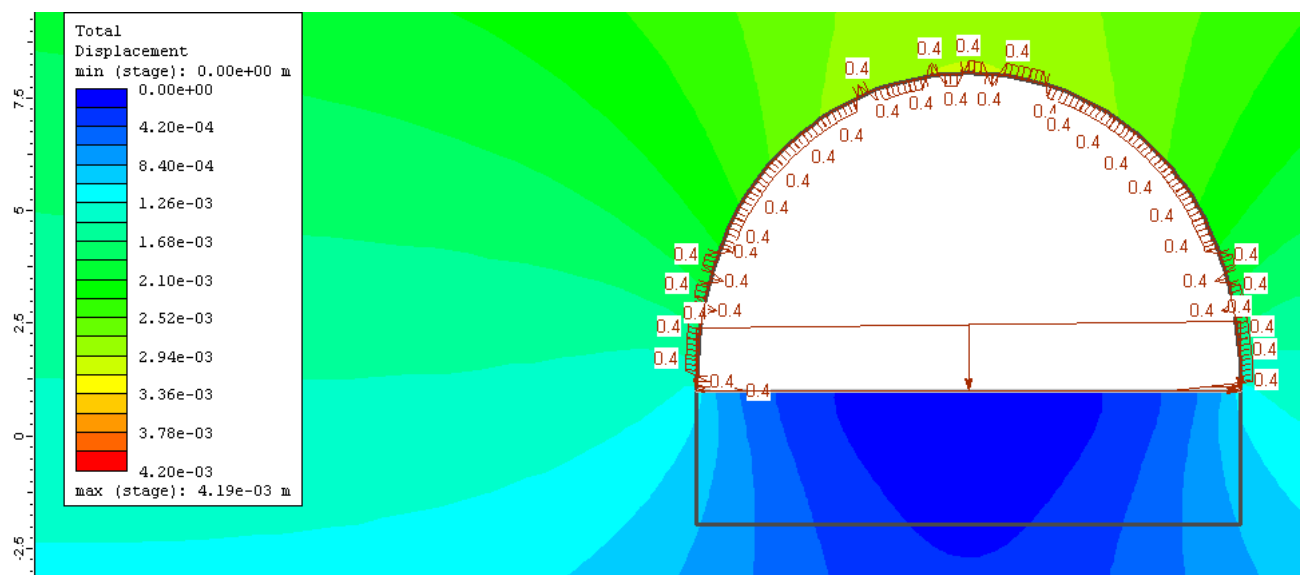


Εικόνα 6-26 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 50m

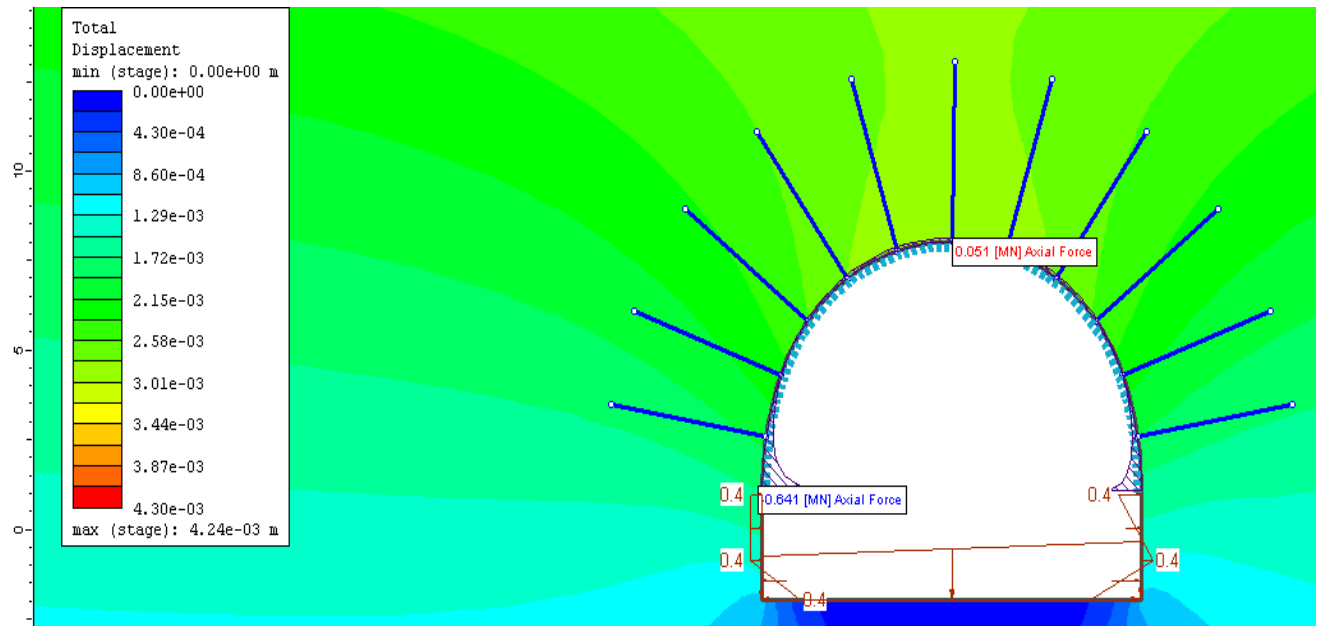
Παίρνοντας τις τιμές με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή προκύπτει ότι :

- Η μέγιστη αξονική δύναμη για αβαθή σήραγγα $H = 50$ m με τη μέθοδο του Chern είναι 0.337MN
- Η μέγιστη διατμητική δύναμη για αβαθή σήραγγα $H = 50$ m με τη μέθοδο του Chern είναι 0.012 MN
- Η μέγιστη ροπή κάμψης για αβαθή σήραγγα $H = 50$ m με τη μέθοδο του Chern είναι 0.002 MN

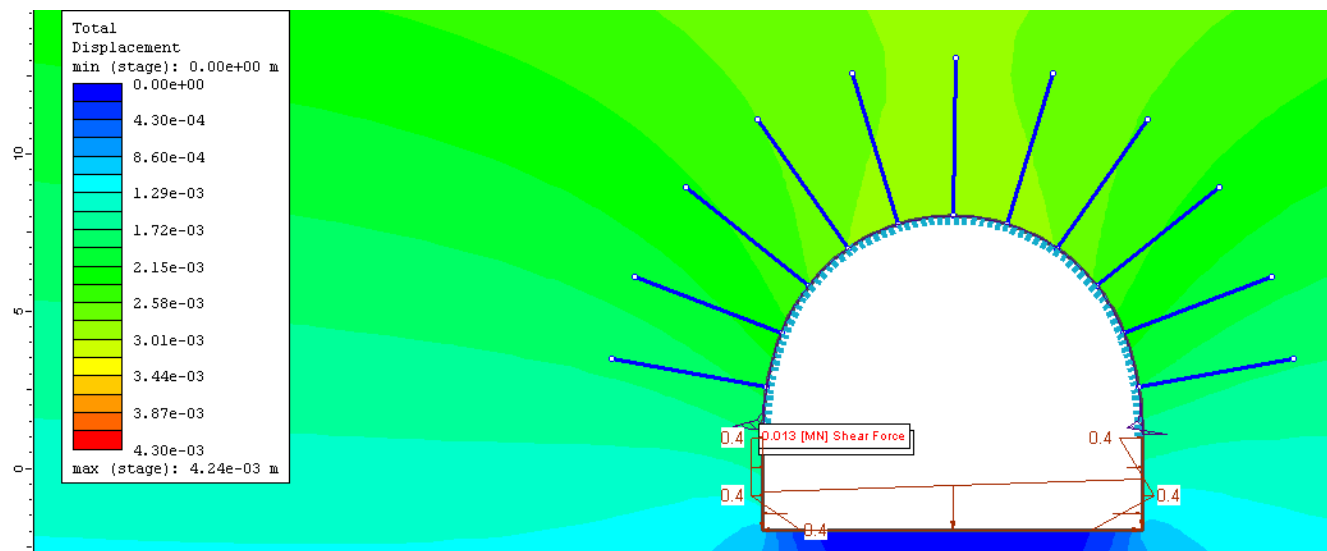
6.1.6 Αποτελέσματα μέθοδος Chern 100 m



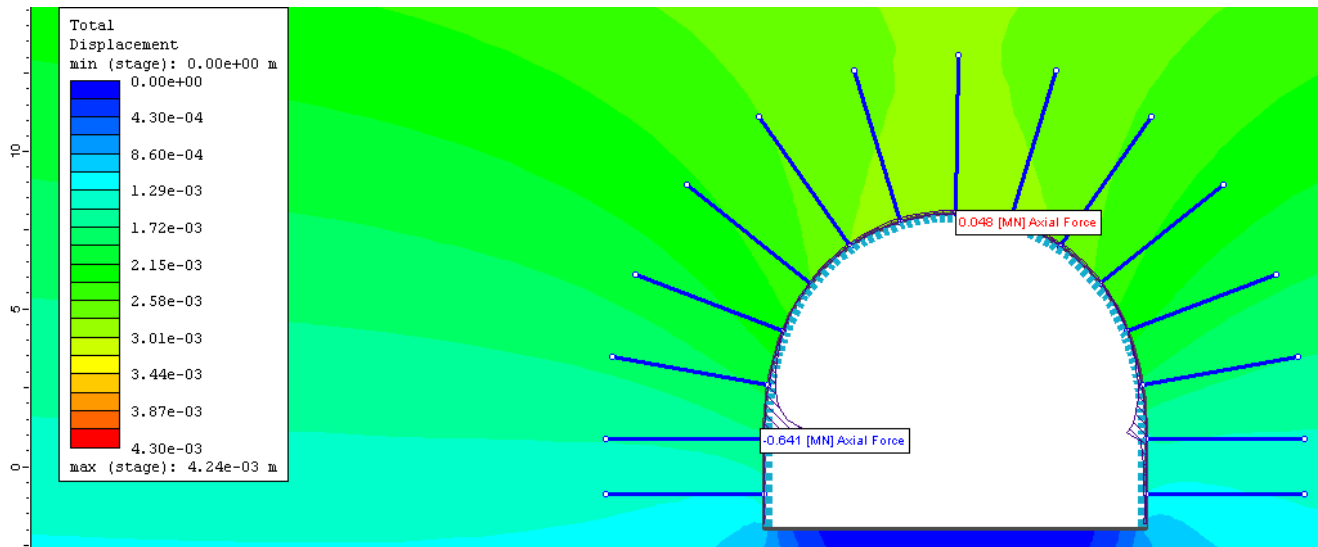
Εικόνα 6-27 Stage 2 Πρώτη αποτόνωση Chern 100m



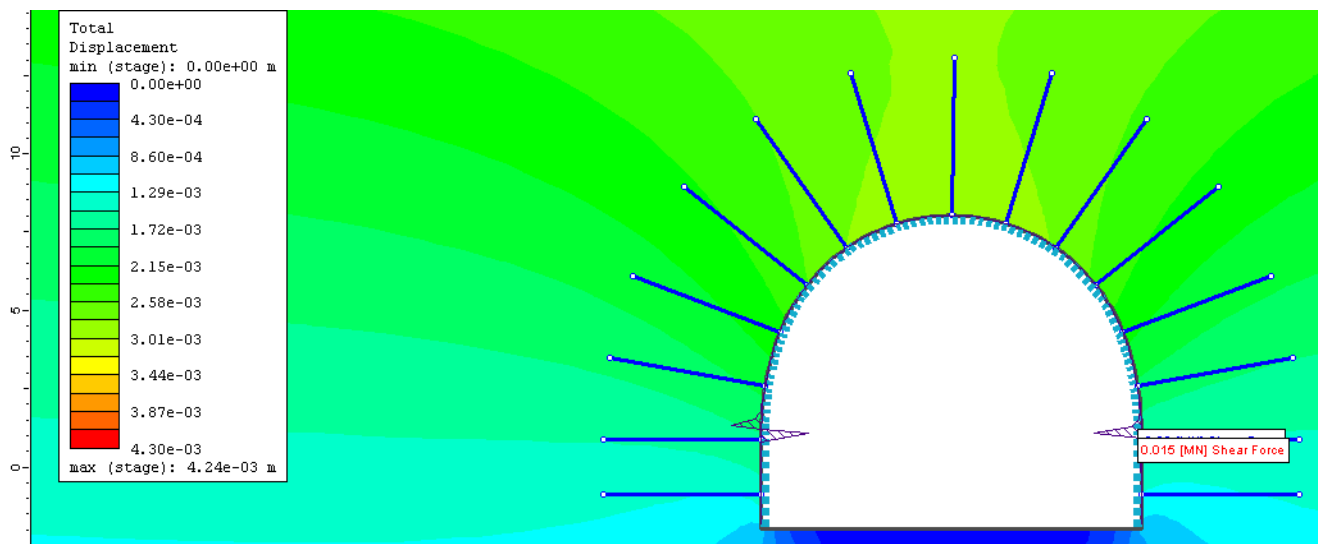
Εικόνα 6-28 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 100m



Εικόνα 6-29 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 100m



Εικόνα 6-30 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 100m

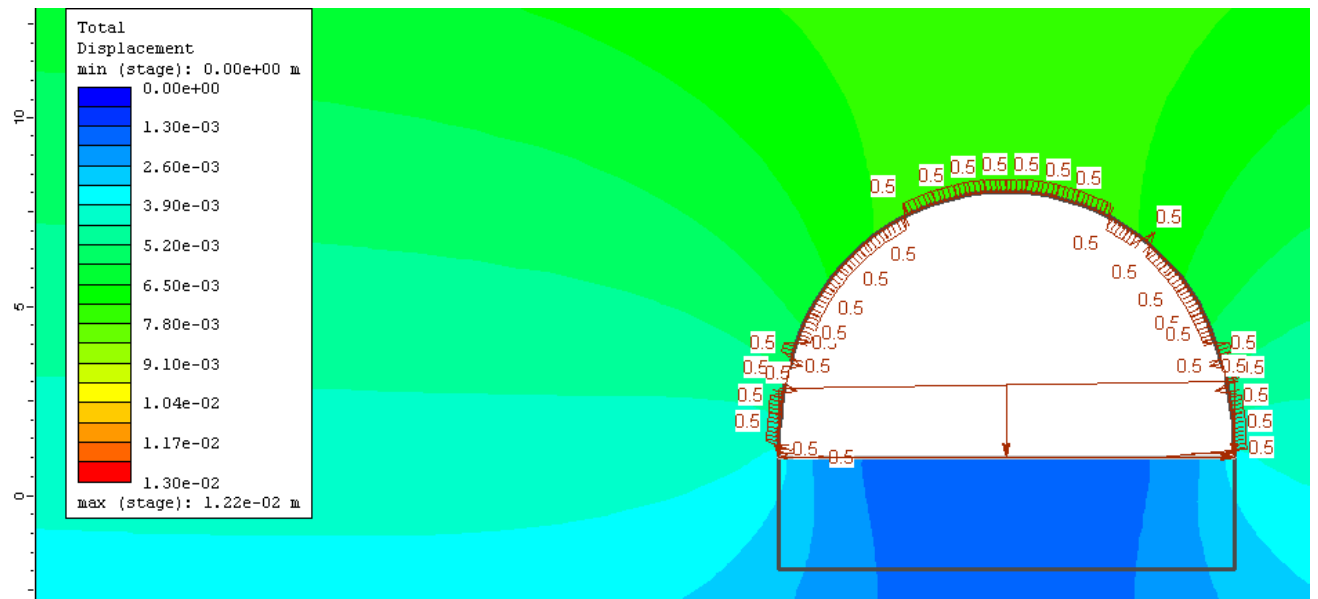


Εικόνα 6-31 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 100m

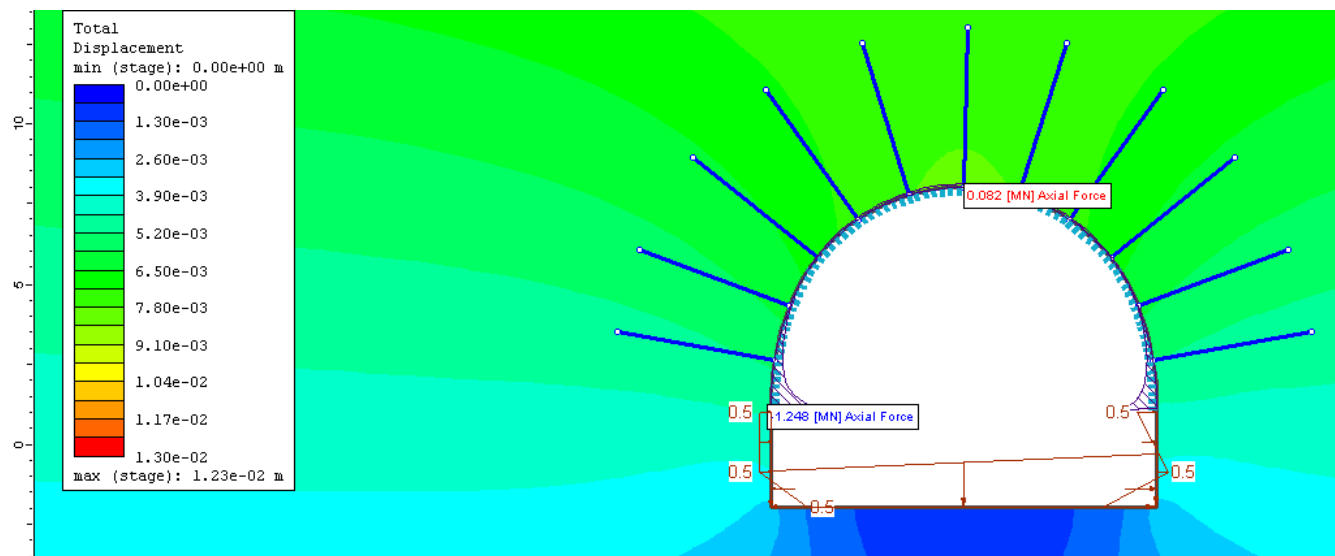
Παίρνοντας τις τιμές με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή προκύπτει ότι :

- Η μέγιστη αξονική δύναμη για σήραγγα $H = 100$ m με τη μέθοδο του Chern είναι 0.641 MN
- Η μέγιστη διατμητική δύναμη για σήραγγα $H = 100$ m με τη μέθοδο του Chern είναι 0.02MN
- Η μέγιστη ροπή κάμψης για σήραγγα $H = 100$ m με τη μέθοδο του Chern είναι 0.004 MN

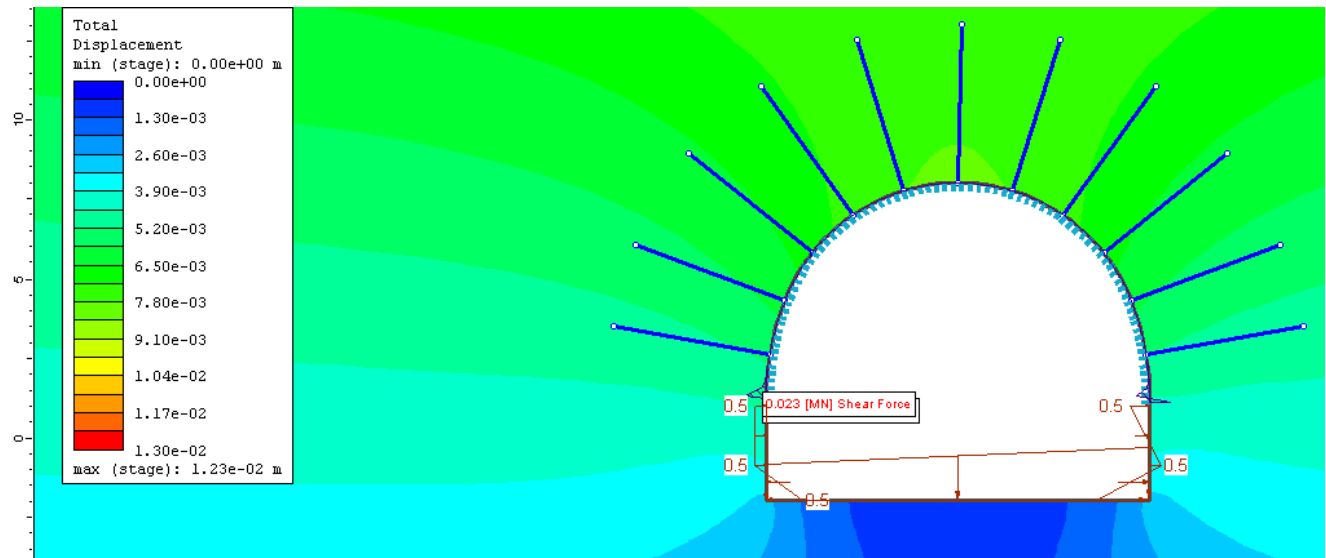
6.1.7 Αποτελέσματα μέθοδος Chern 200 m



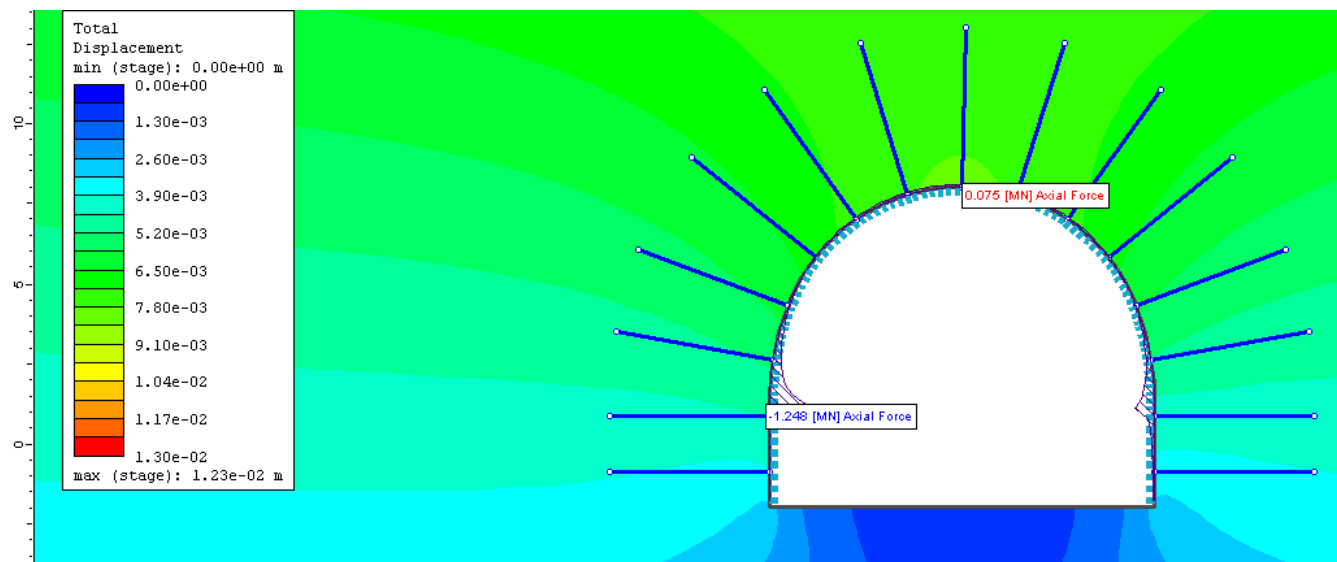
Εικόνα 6-32 Stage 2 Πρώτη αποτόνωση Chern 200m



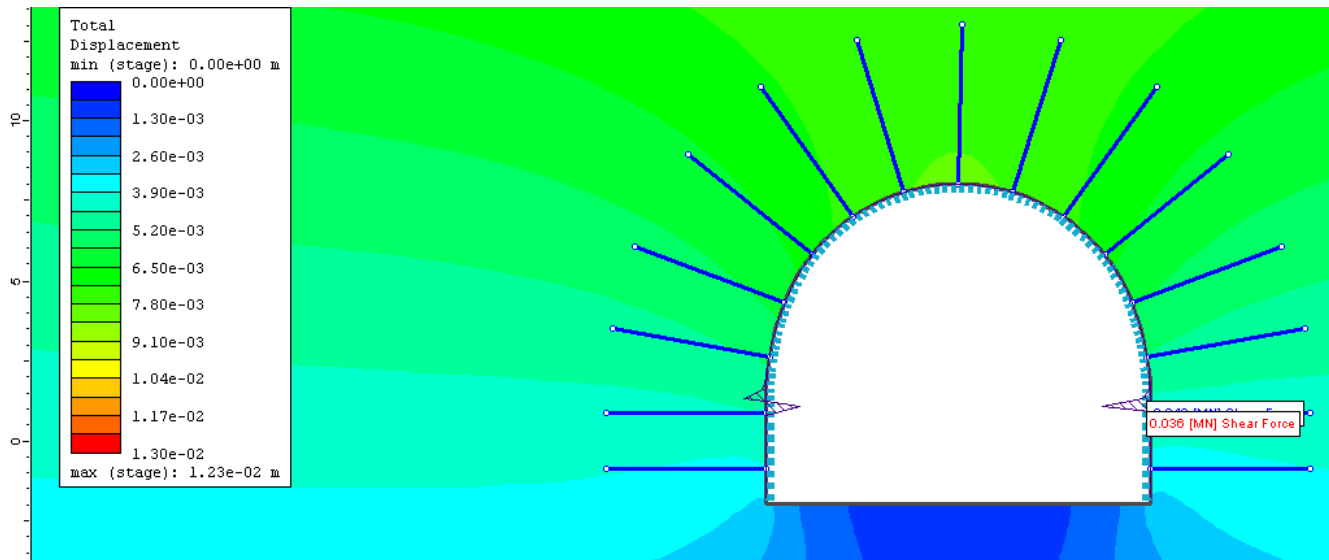
Εικόνα 6-33 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 200m



Εικόνα 6-34 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 200m



Εικόνα 6-35 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 200m

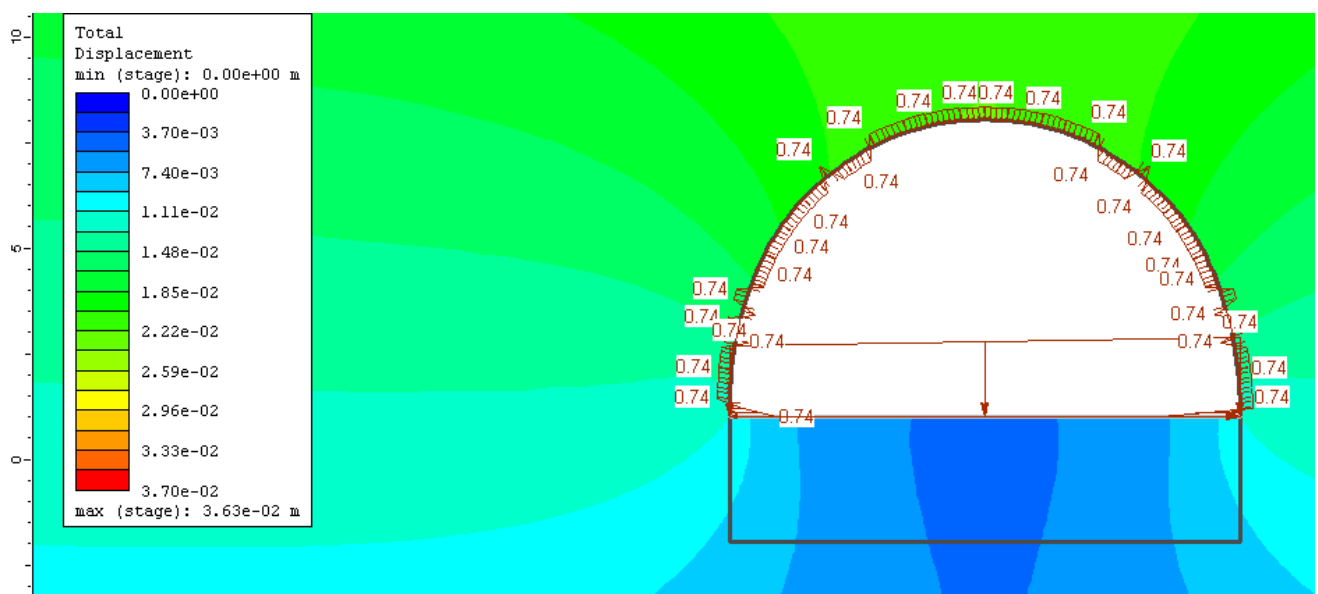


Εικόνα 6-36 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 200m

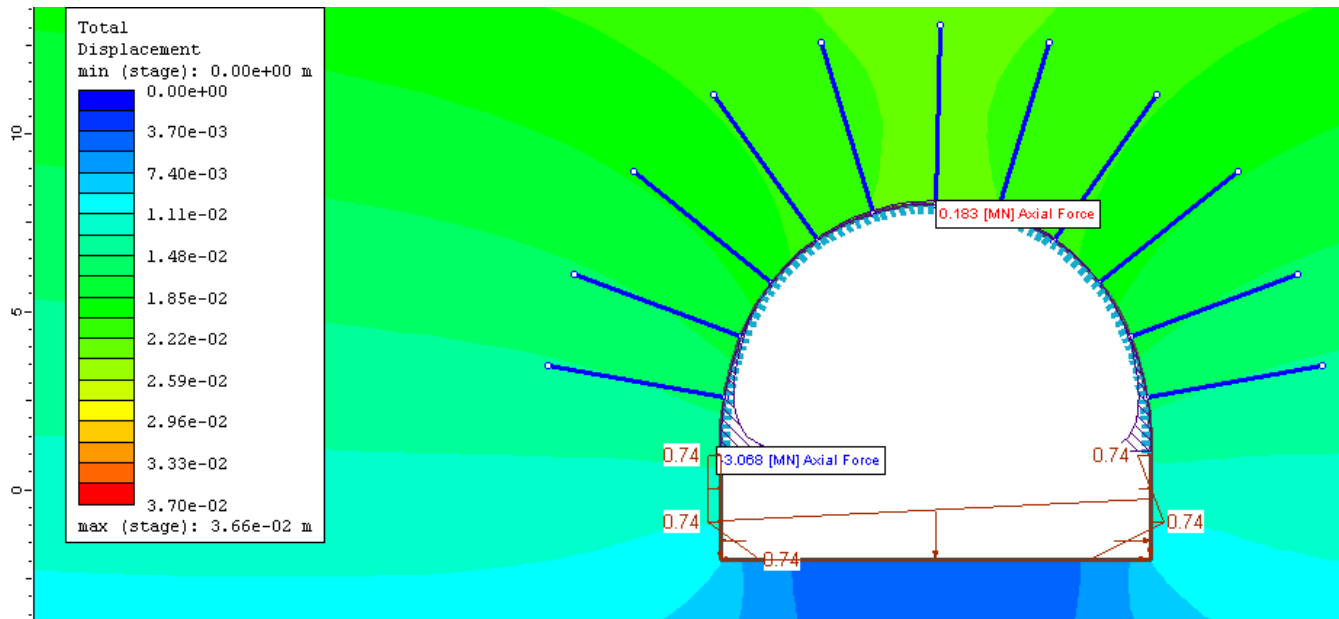
Παίρνοντας τις τιμές με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή προκύπτει ότι :

- Η μέγιστη αξονική δύναμη για σήραγγα $H = 200$ m με τη μέθοδο του Chern είναι 1.248 MN
- Η μέγιστη διατμητική δύναμη για σήραγγα $H = 200$ m με τη μέθοδο του Chern είναι 0.049 MN
- Η μέγιστη ροπή κάμψης για σήραγγα $H = 200$ m με τη μέθοδο του Chern είναι 0.007 MN

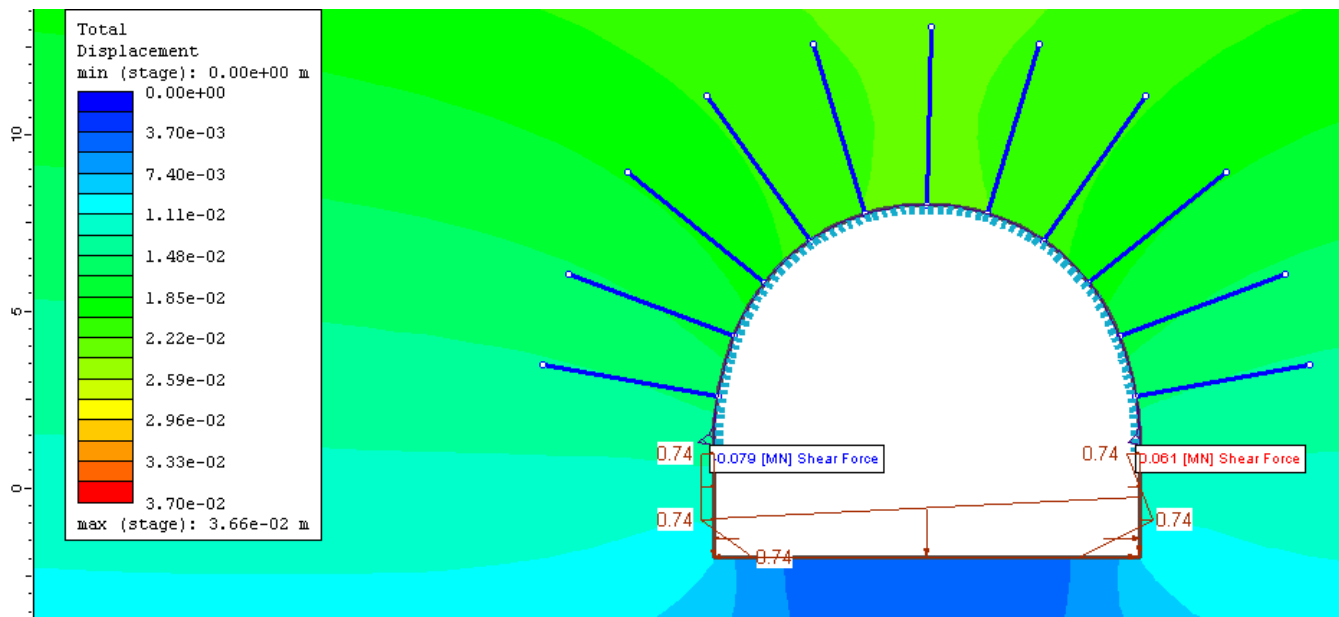
6.1.8 Αποτελέσματα μέθοδος Chern 500 m



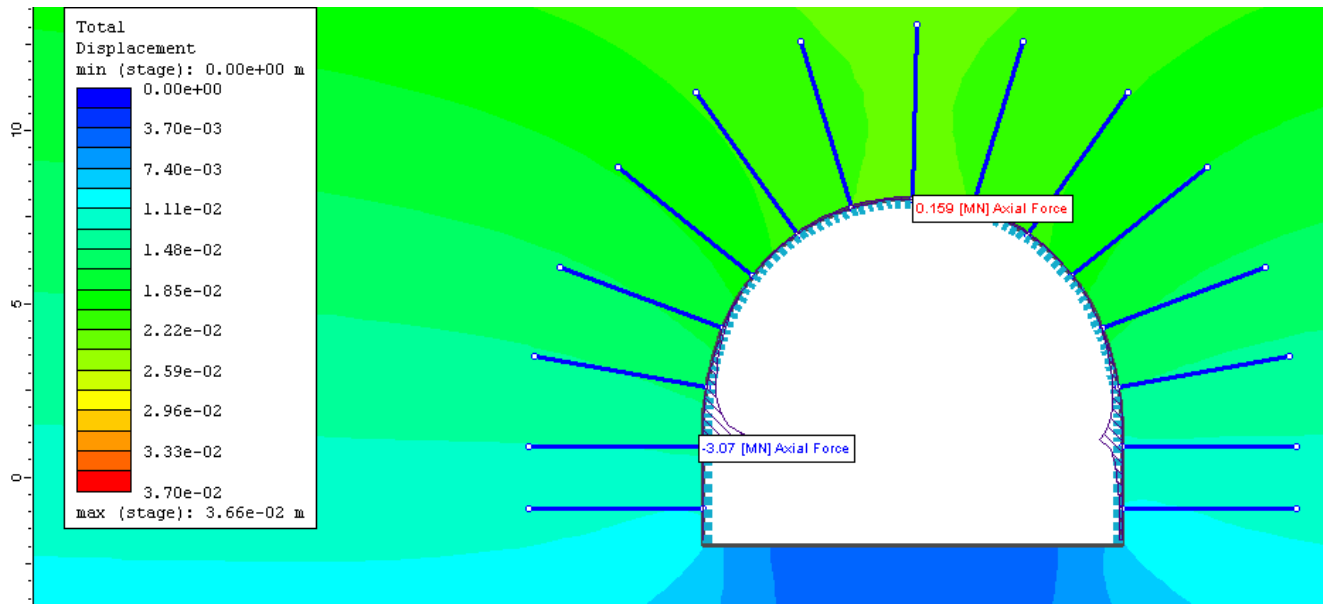
Εικόνα 6-37 Stage 2 Πρώτη αποτόνωση Chern 500m



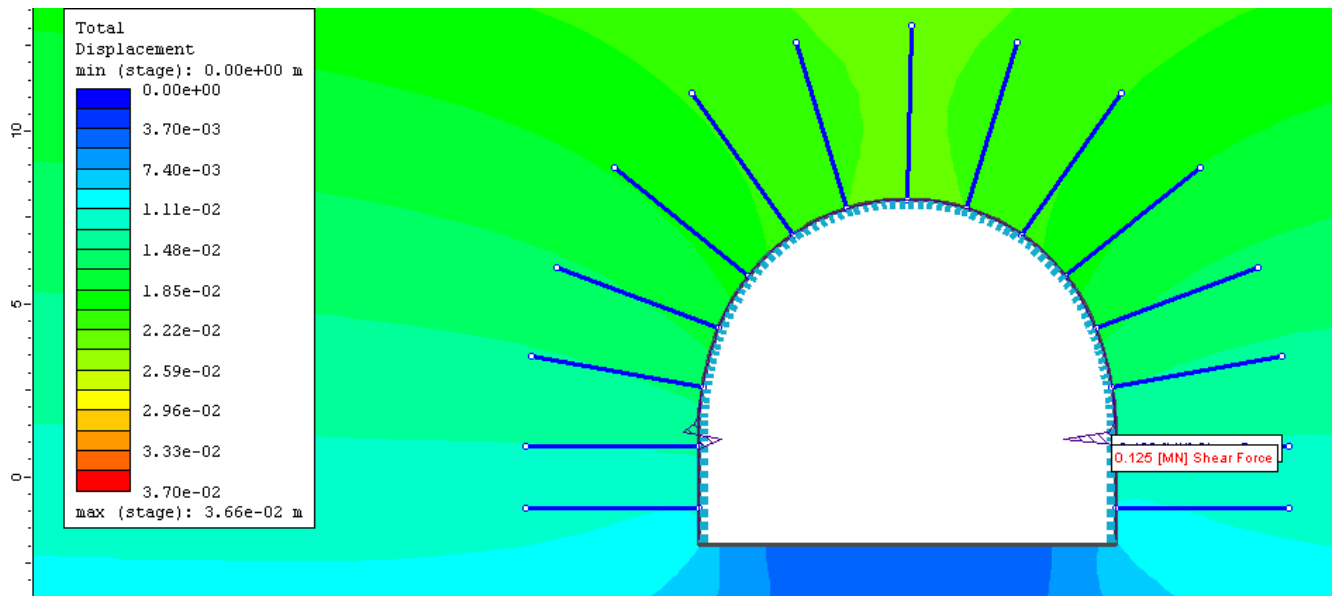
Εικόνα 6-38 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 500m



Εικόνα 6-39 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 500m



Εικόνα 6-40 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 500m

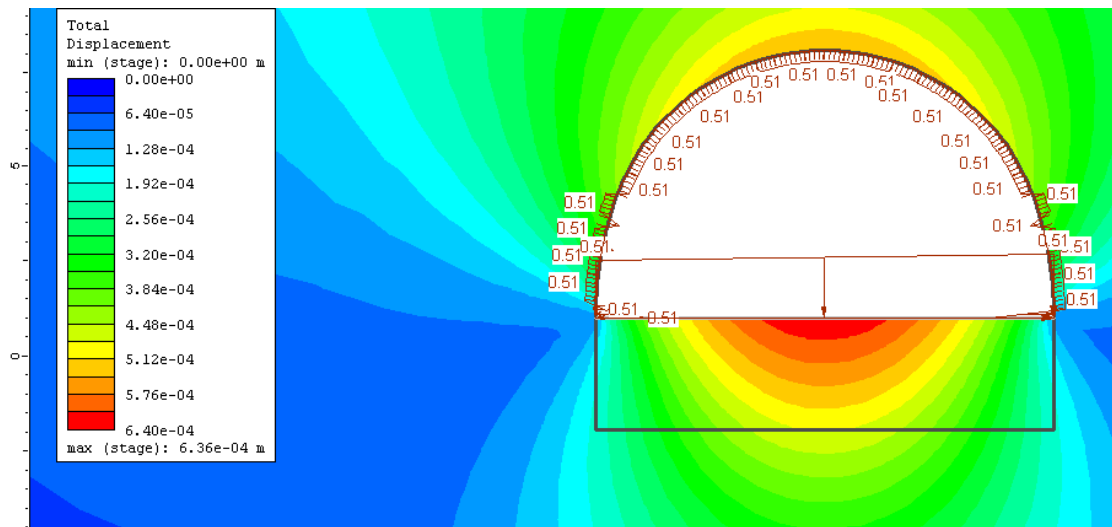


Εικόνα 6-41 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 500m

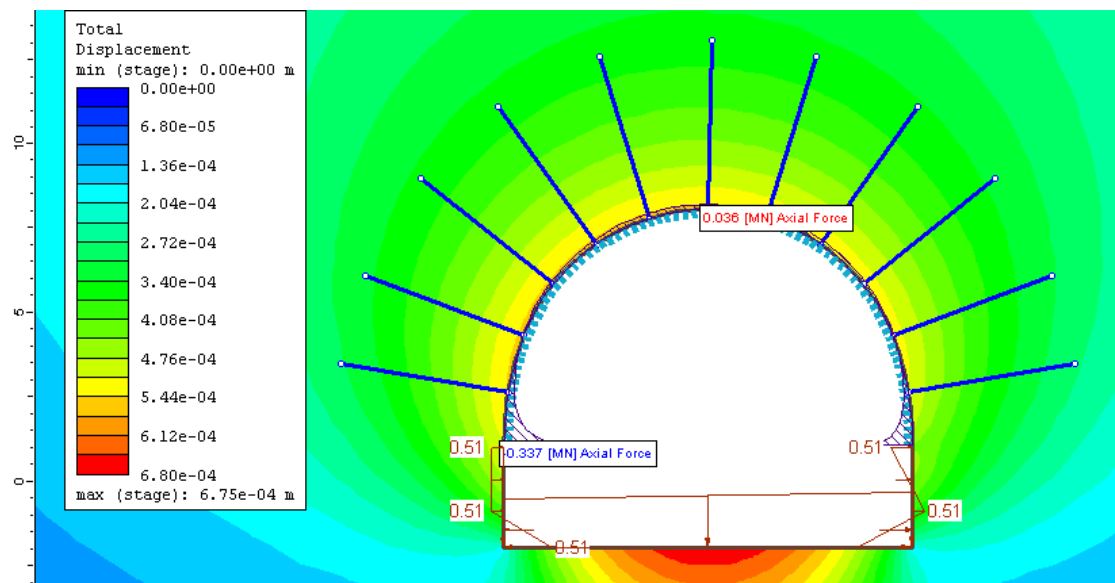
Παίρνοντας τις τιμές με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή προκύπτει ότι :

- Η μέγιστη αξονική δύναμη για σήραγγα $H = 500$ m με τη μέθοδο του Chern είναι 3.07 MN
- Η μέγιστη διατμητική δύναμη για σήραγγα $H = 500$ m με τη μέθοδο του Chern είναι 0.182 MN
- Η μέγιστη ροπή κάμψης για σήραγγα $H = 500$ m με τη μέθοδο του Chern είναι 0.025 MN

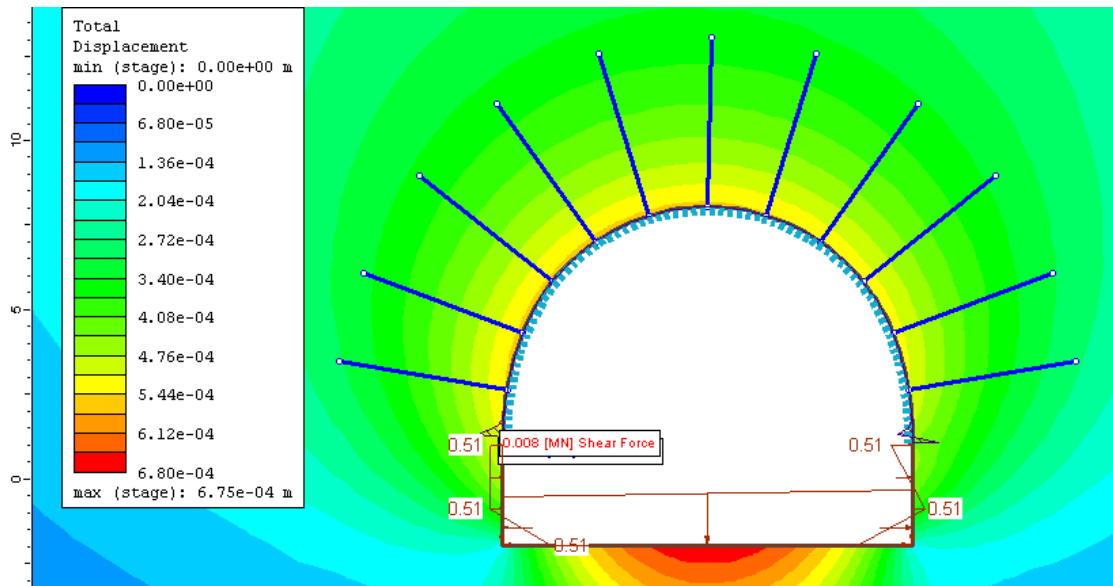
6.1.9 Αποτελέσματα μέθοδος Vlachopoulos για αβαθή σήραγγα(50m)



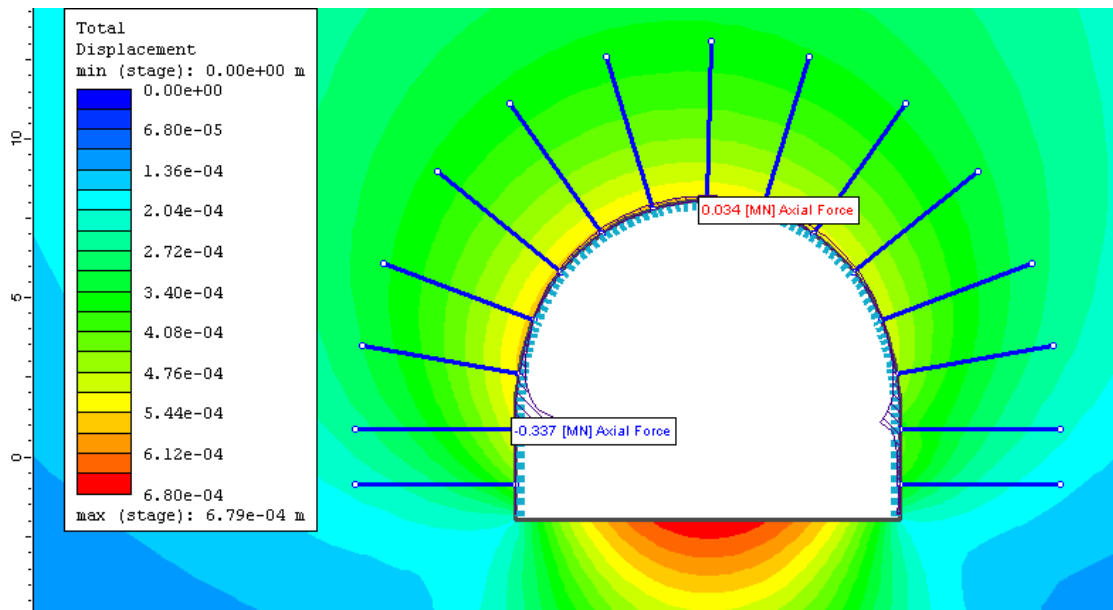
Εικόνα 6-42 Stage 2 Πρώτη αποτόνωση Vlachopoulos 50m



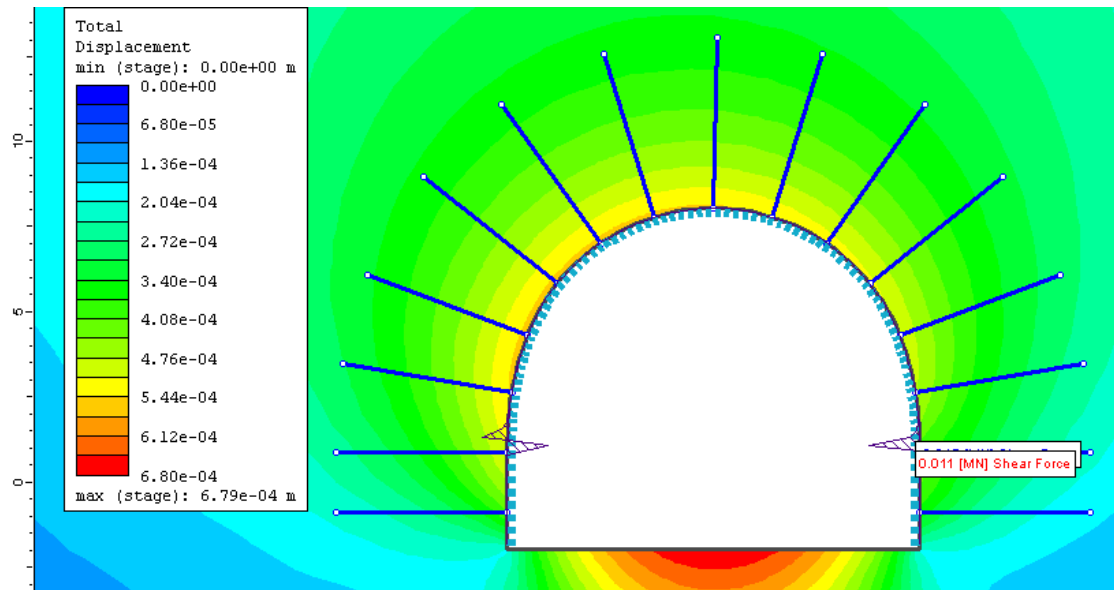
Εικόνα 6-43 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 50m



Εικόνα 6-44 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 50m



Εικόνα 6-45 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 50m

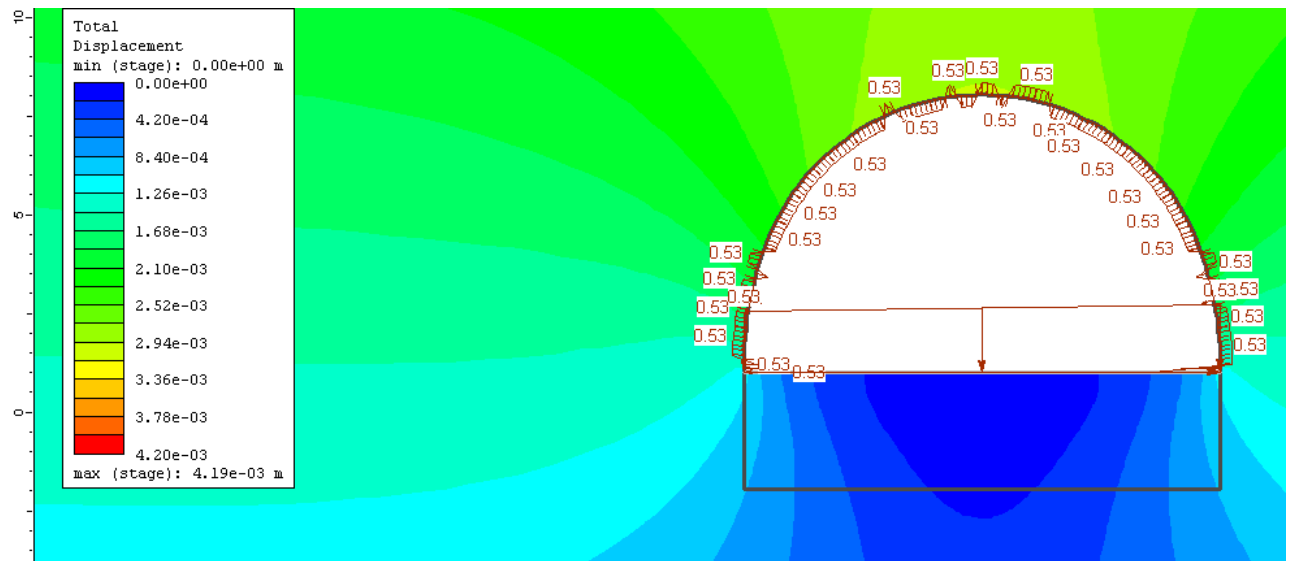


Εικόνα 6-46 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 50m

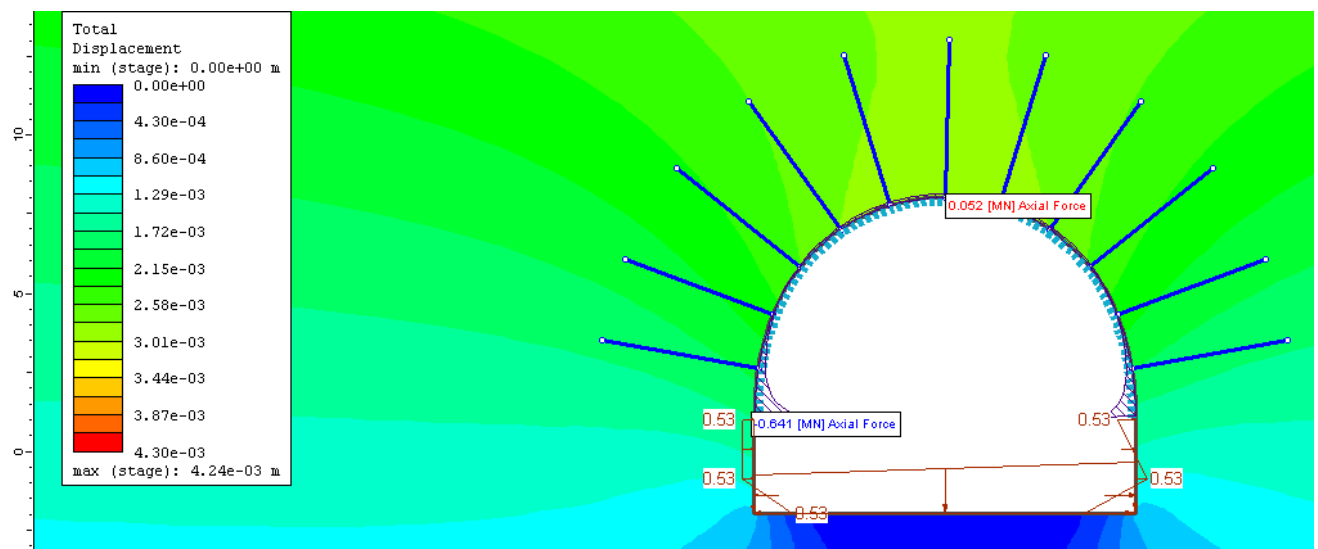
Παίρνοντας τις τιμές με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή προκύπτει ότι :

- Η μέγιστη αξονική δύναμη για αβαθή σήραγγα $H = 50$ m με τη μέθοδο του Vlachopoulos είναι 0.337 MN
- Η μέγιστη διατμητική δύναμη για αβαθή σήραγγα $H = 50$ m με τη μέθοδο του Vlachopoulos είναι 0.015 MN
- Η μέγιστη ροπή κάμψης για αβαθή σήραγγα $H = 50$ m με τη μέθοδο του Vlachopoulos είναι 0.002 MN

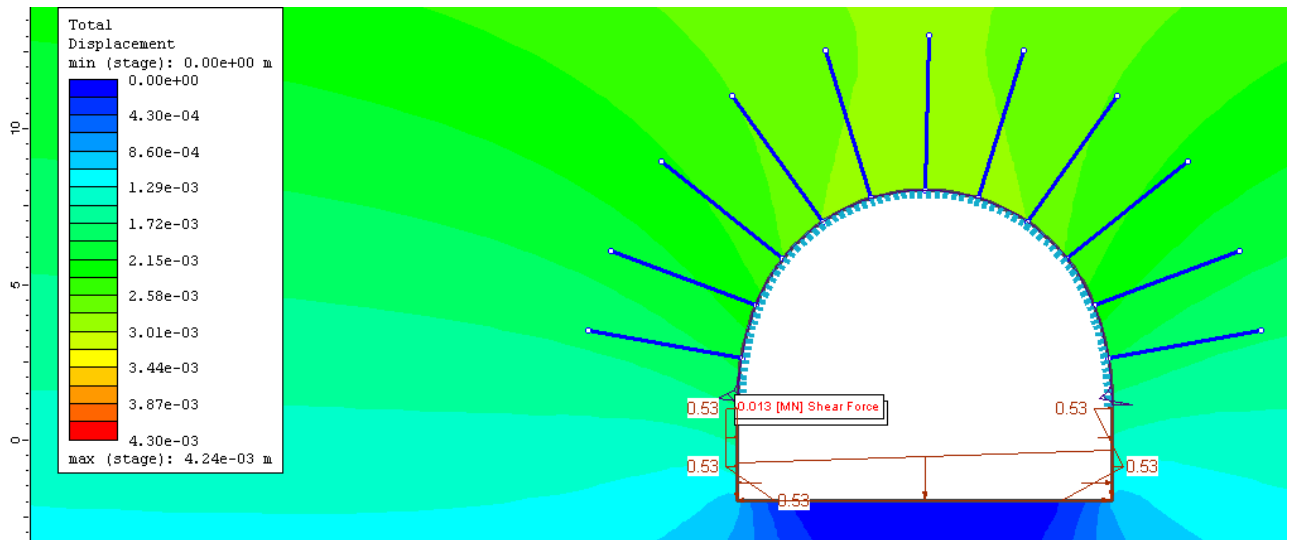
6.1.10 Αποτελέσματα μέθοδος Vlachoroulou για σήραγγα 100m



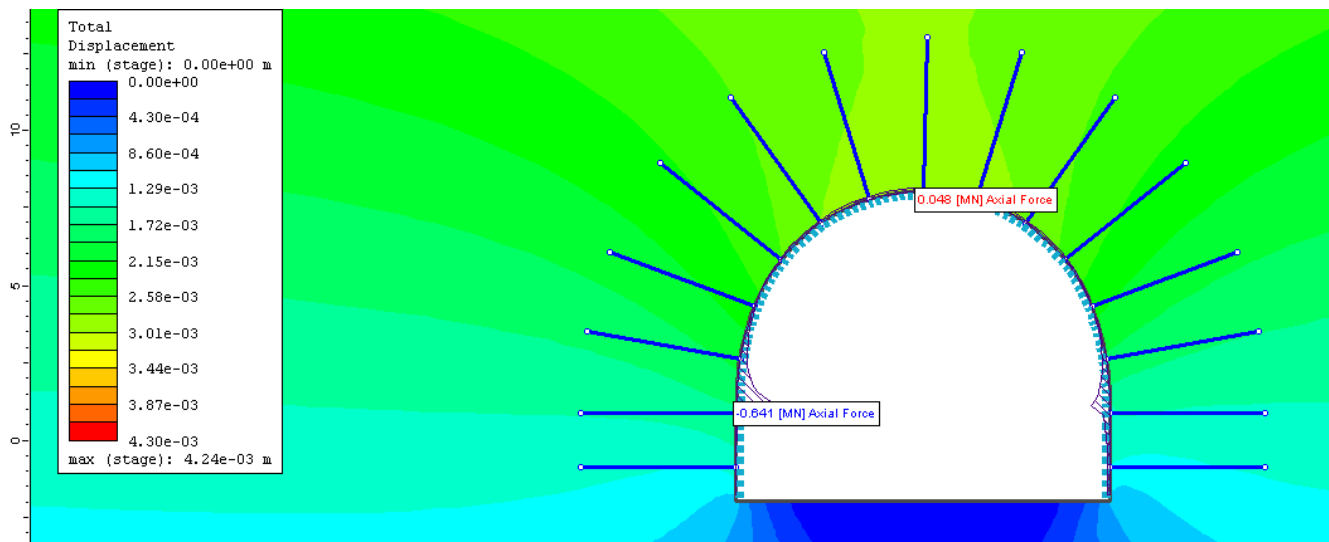
Εικόνα 6-47 Stage 2 Πρώτη αποτόνωση Vlachoroulou 100m



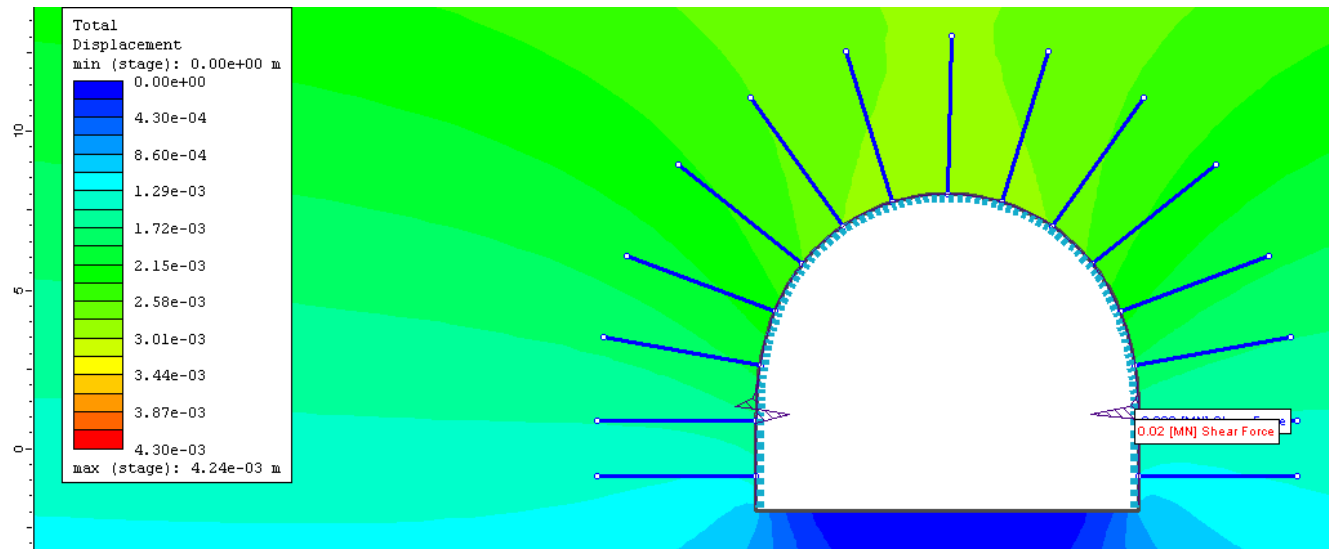
Εικόνα 6-48 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachoroulou 100m



Εικόνα 6-49 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 100m



Εικόνα 6-50 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 100m

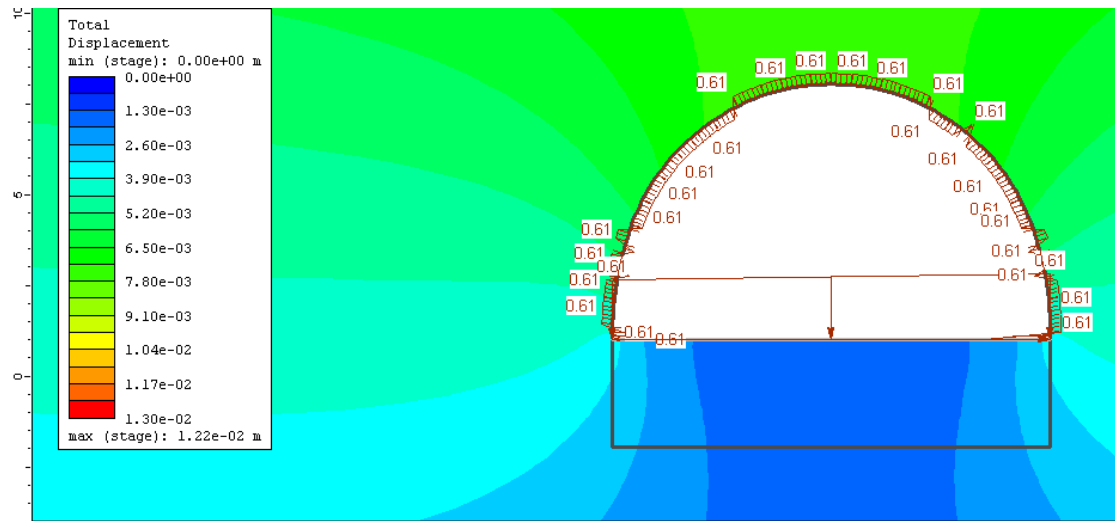


Εικόνα 6-51 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 50m

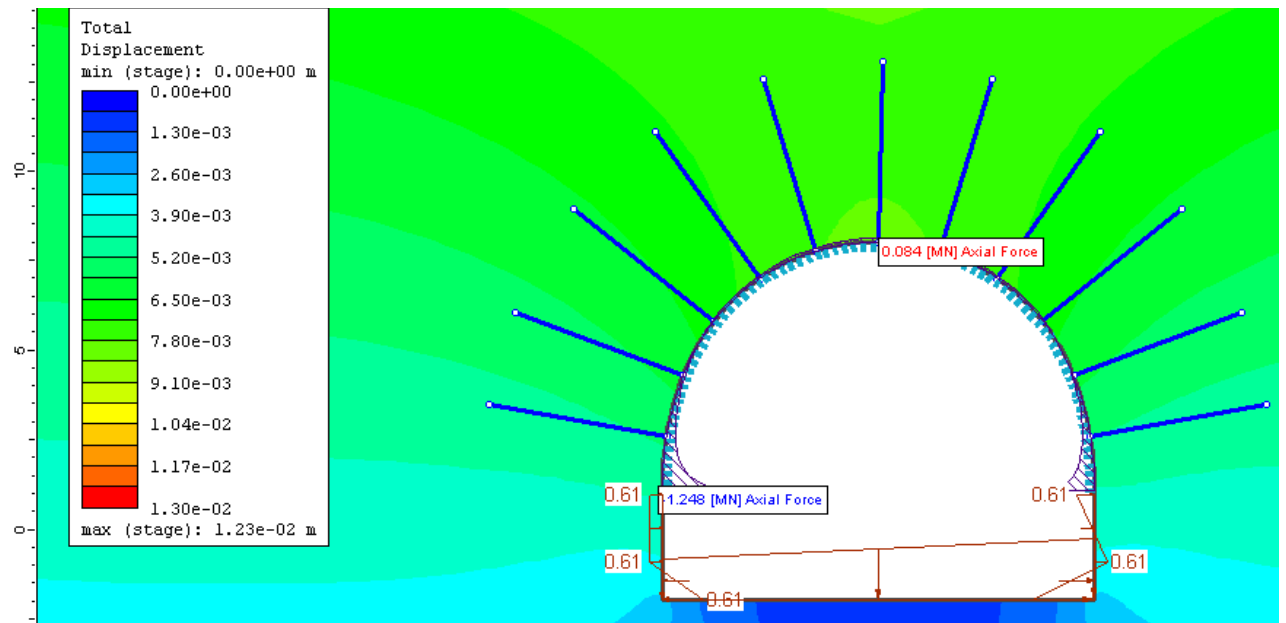
Παίρνοντας τις τιμές με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή προκύπτει ότι :

- Η μέγιστη αξονική δύναμη για σήραγγα $H = 100$ m με τη μέθοδο του Vlachopoulos είναι 0.641 MN
- Η μέγιστη διατμητική δύναμη για σήραγγα $H = 100$ m με τη μέθοδο του Vlachopoulos είναι 0.028 MN
- Η μέγιστη ροπή κάμψης για σήραγγα $H = 100$ m με τη μέθοδο του Vlachopoulos είναι 0.004 MN

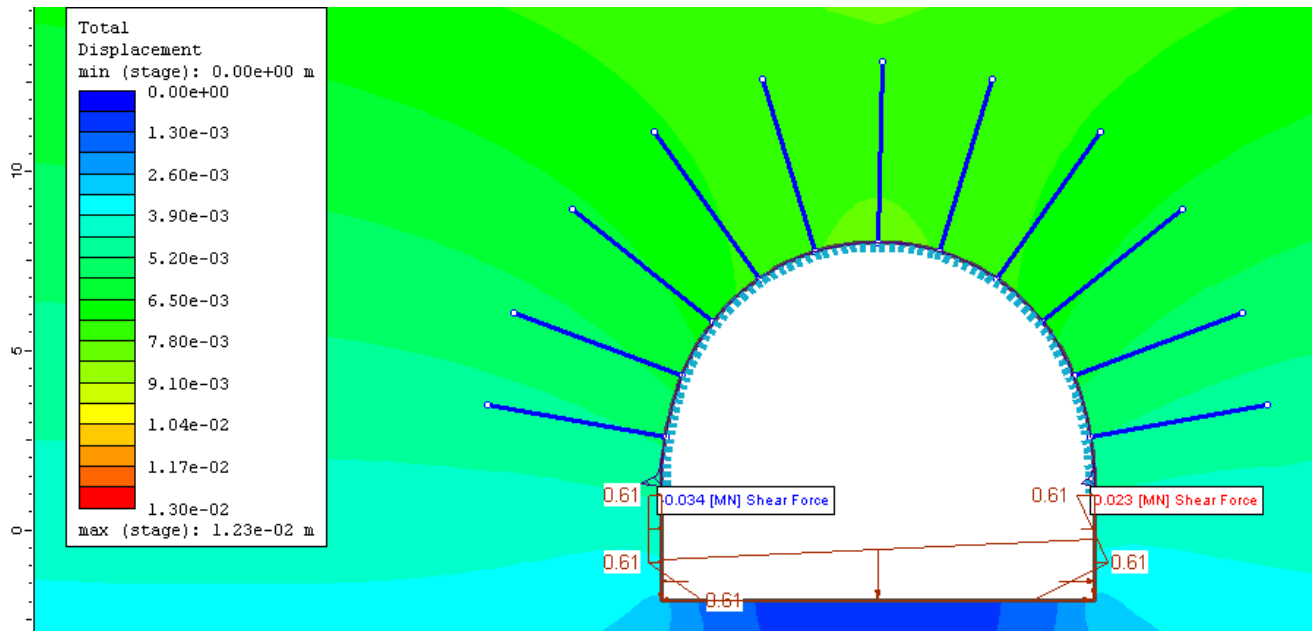
6.1.11 Αποτελέσματα μέθοδος Vlachoroulou για σήραγγα 200m



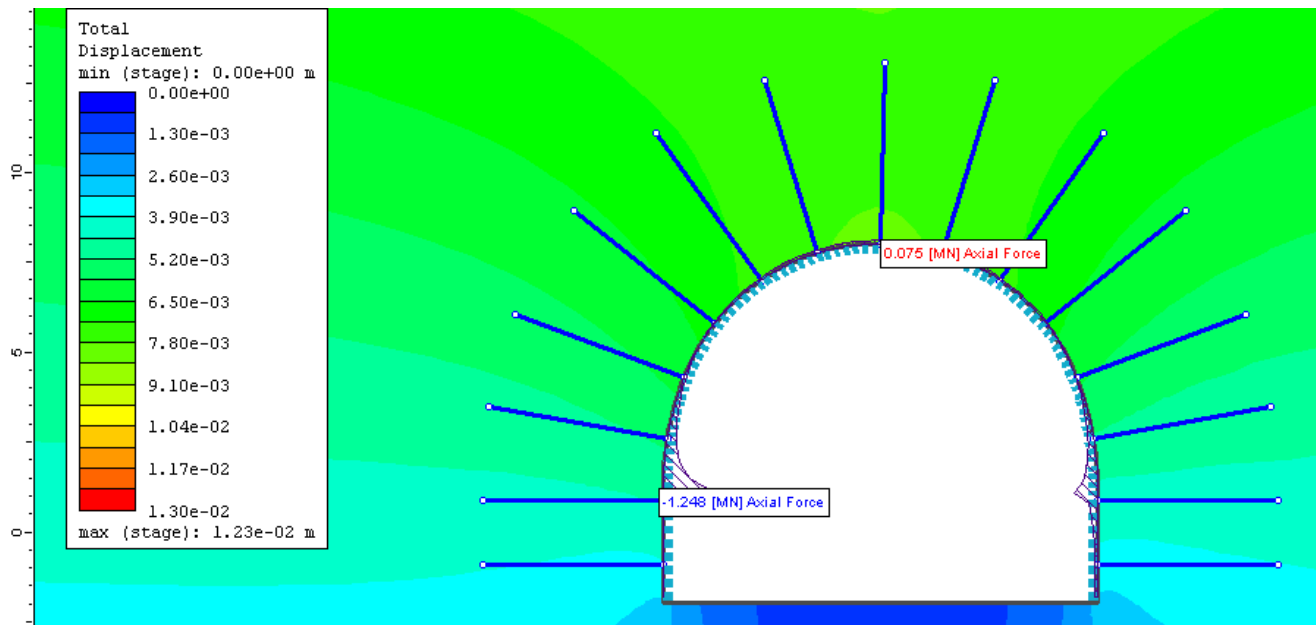
Εικόνα 6-52 Stage 2 Πρώτη αποτόνωση Vlachoroulos 200m



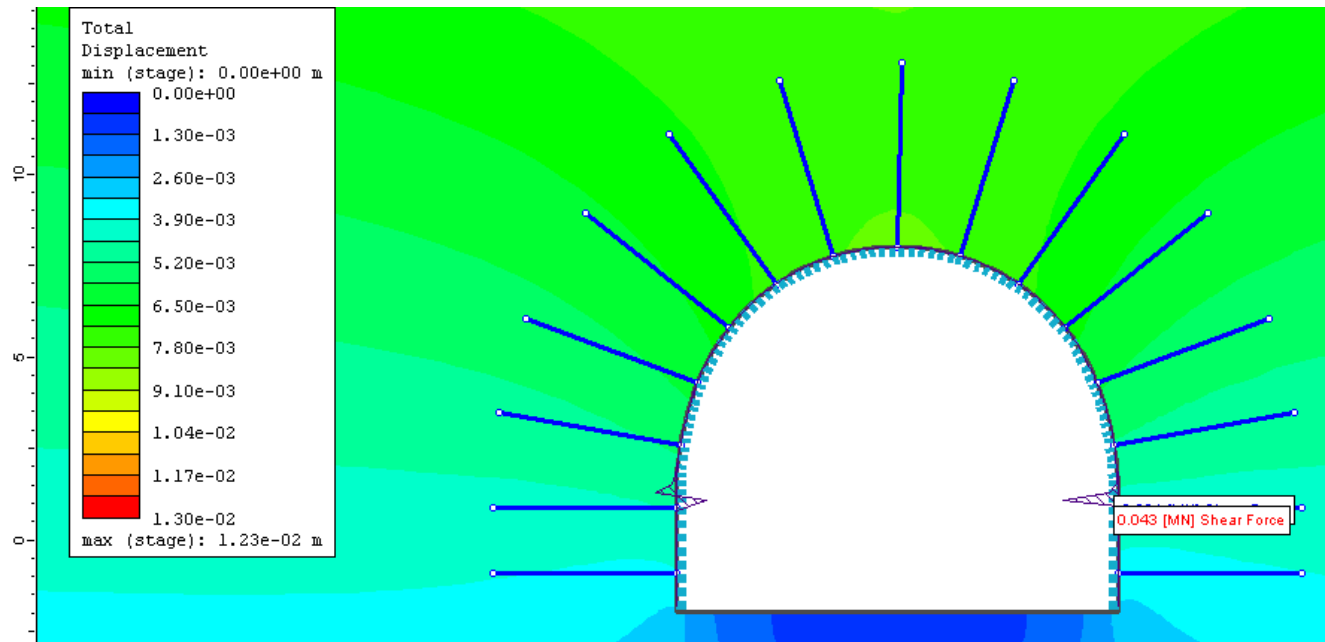
Εικόνα 6-53 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachoroulos 200m



Εικόνα 6-54 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 200m



Εικόνα 6-55 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 200m

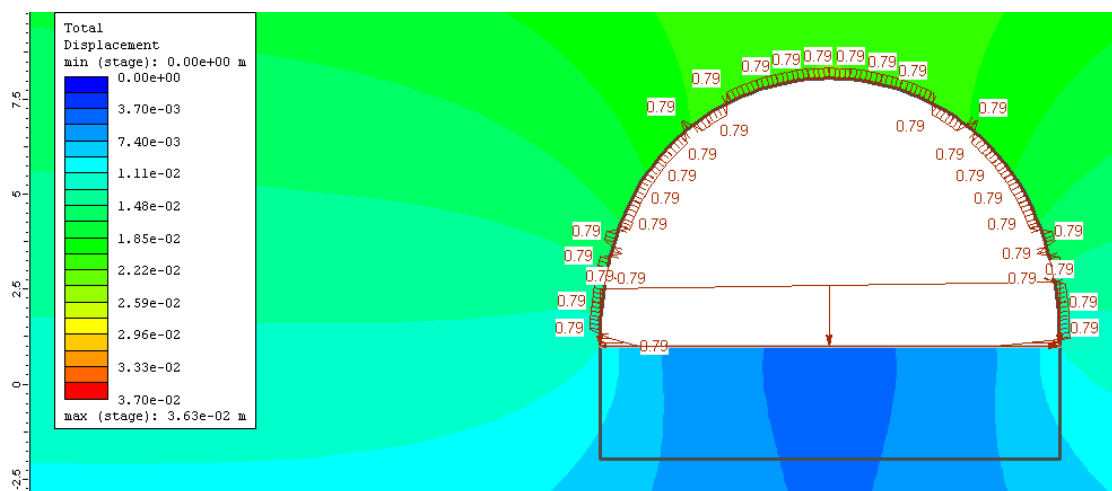


Εικόνα 6-56 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 200m

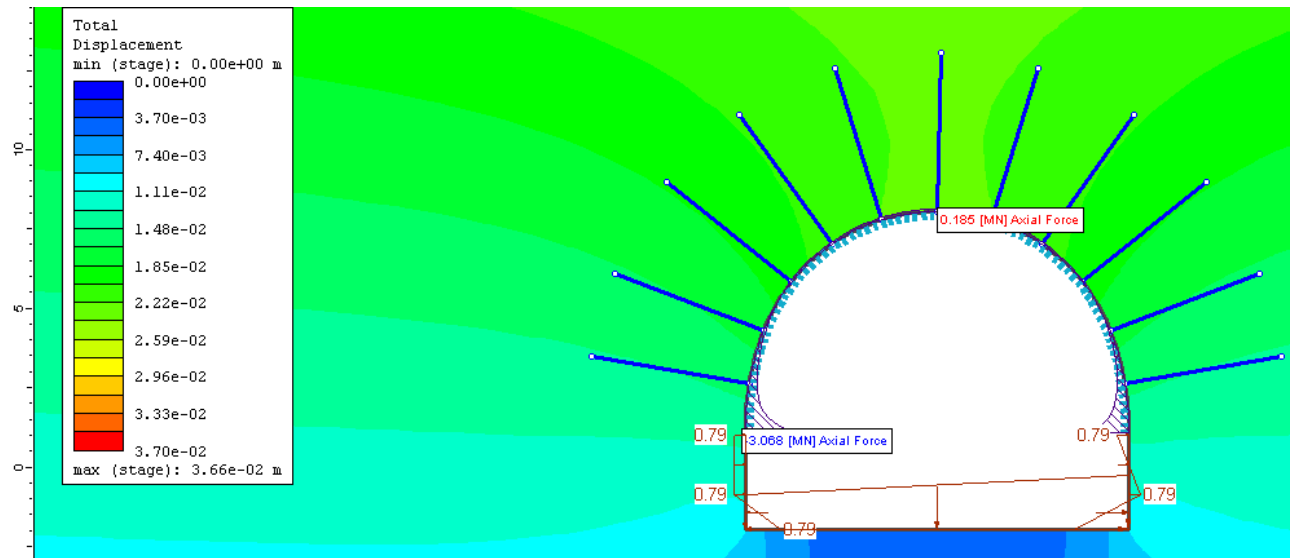
Παίρνοντας τις τιμές με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή προκύπτει ότι :

- Η μέγιστη αξονική δύναμη για σήραγγα $H = 200$ m με τη μέθοδο του Vlachopoulos είναι 1.248 MN
- Η μέγιστη διατμητική δύναμη για σήραγγα $H = 200$ m με τη μέθοδο του Vlachopoulos είναι 0.061 MN
- Η μέγιστη ροπή κάμψης για σήραγγα $H = 200$ m με τη μέθοδο του Vlachopoulos είναι 0.009 MN

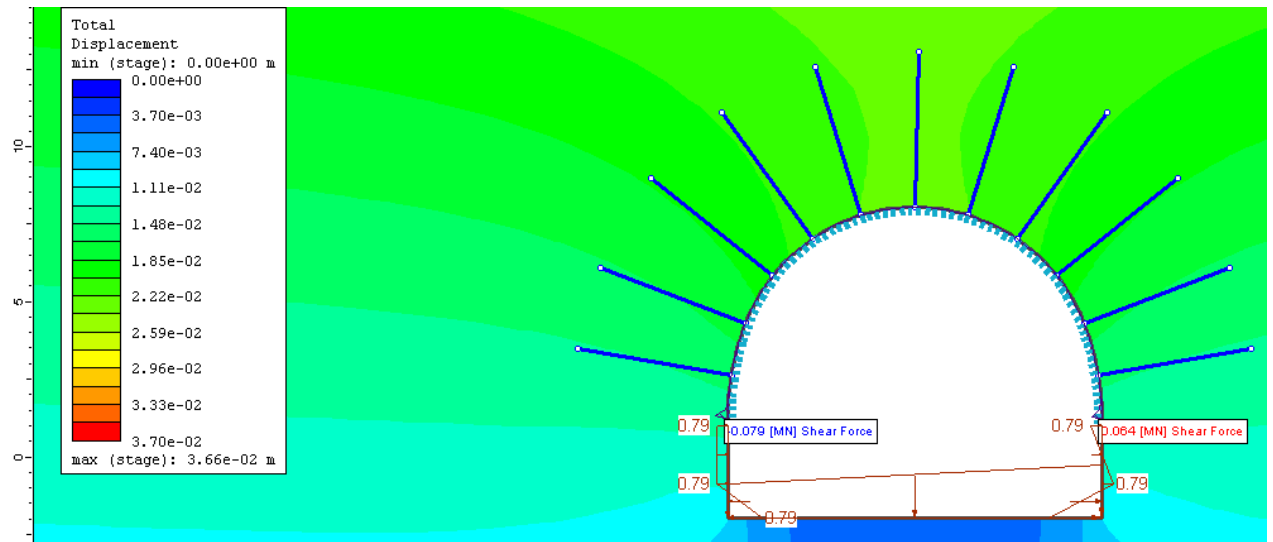
6.1.12 Αποτελέσματα μέθοδος Vlachopoulos για σήραγγα 500m



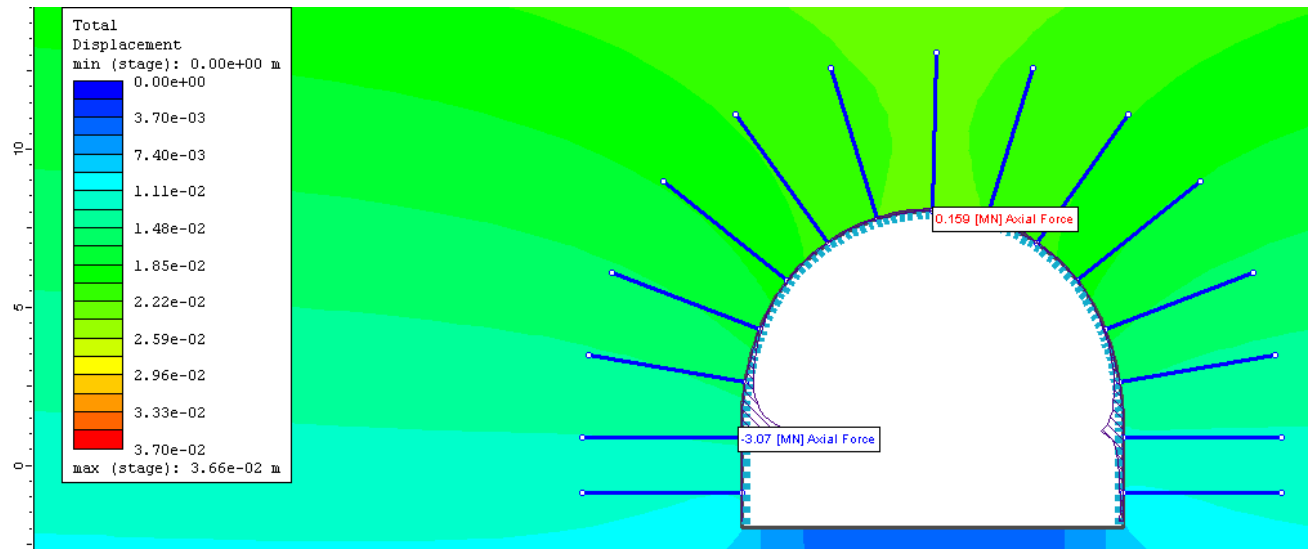
Εικόνα 6-57 Stage 2 Πρώτη αποτόνωση Vlachopoulos 500m



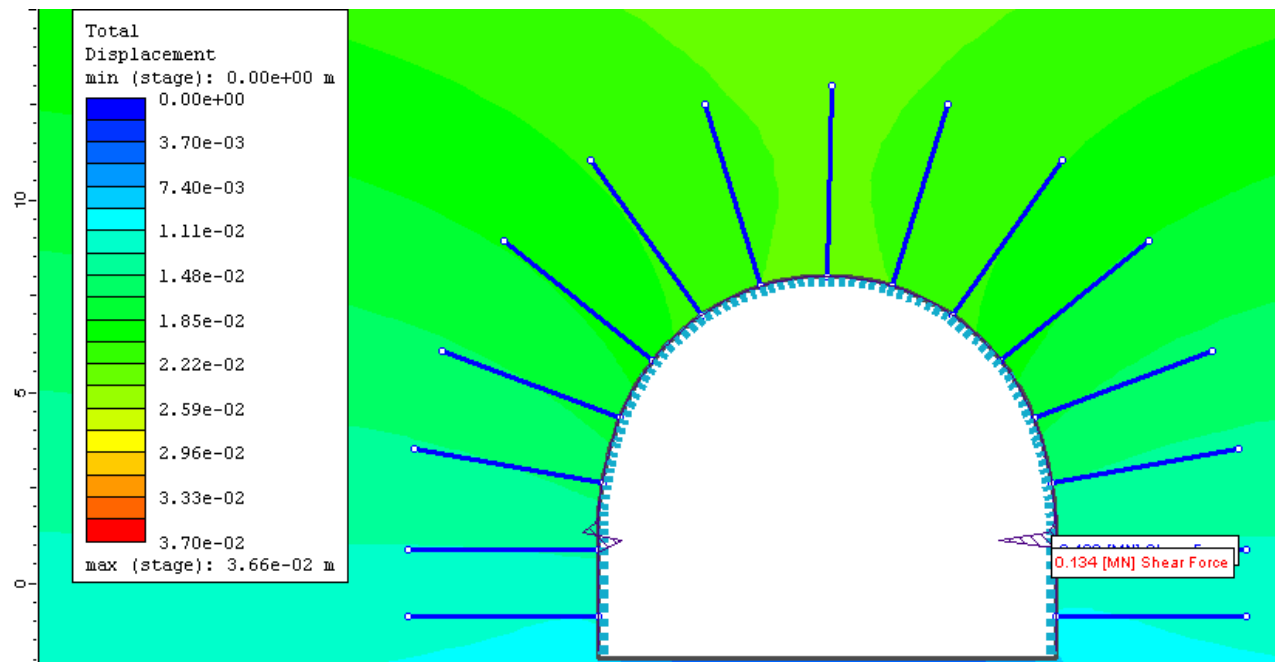
Εικόνα 6-58 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 500m



Εικόνα 6-59 Stage 4 Δεύτερη αποτόνωση και διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 500m



Εικόνα 6-60 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 500m



Εικόνα 6-61 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 500m

Παίρνοντας τις τιμές με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή προκύπτει ότι :

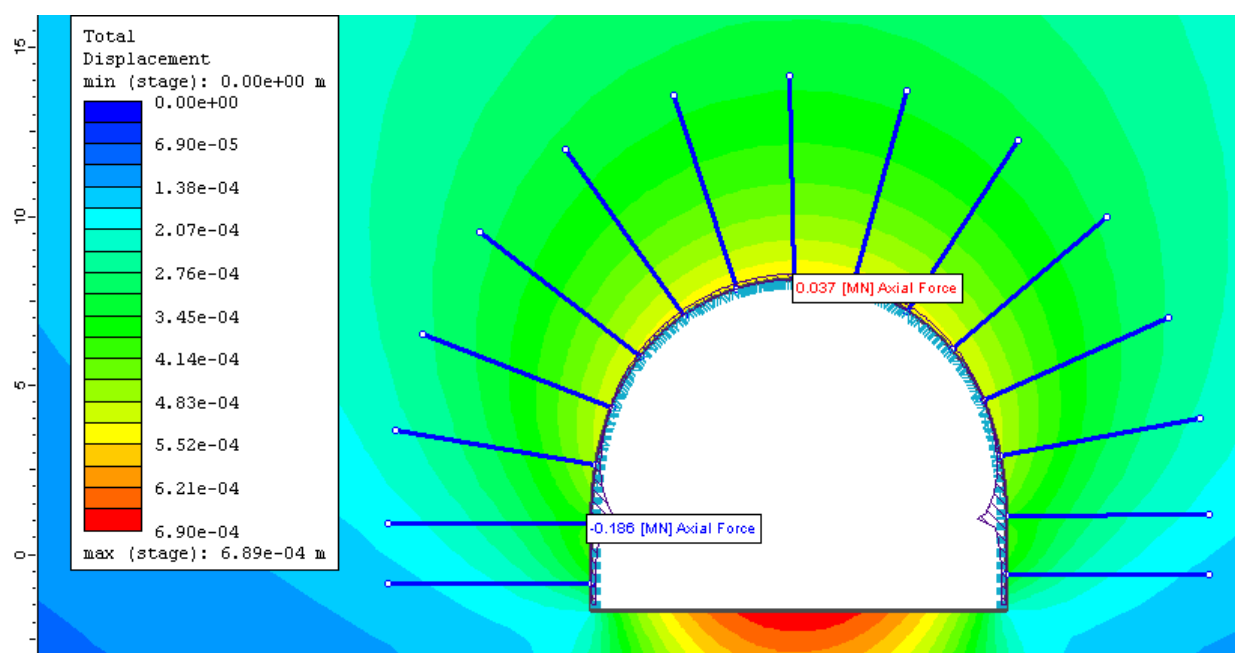
- Η μέγιστη αξονική δύναμη για σήραγγα $H = 500$ m με τη μέθοδο του Vlachopoulos είναι 3.07 MN
- Η μέγιστη διατμητική δύναμη για σήραγγα $H = 500$ m με τη μέθοδο του Vlachopoulos είναι 0.196 MN
- Η μέγιστη ροπή κάμψης για σήραγγα $H = 500$ m με τη μέθοδο του Vlachopoulos είναι 0.027 MN

Αναλύοντας τις τιμές των αξονικών και διατμητικών δυνάμεων καθώς και των ροπών κάμψης που υπολογίστηκαν με βάση τα μοντέλα στο RS2 για τη σηραγγολογική κατηγορία II παρατηρούμε ότι το βάθος της εκσκαφής επηρεάζει τις τιμές αυτών. Αρχικά οι τιμές αυτές αυξάνονται όσο αυξάνεται και το βάθος εκσκαφής. Πιο συγκεκριμένα για όλες τις παραπάνω τιμές η μέθοδος του Panet δίνει τις μεγαλύτερες τιμές ακολουθούμενη από τη μέθοδο του Vlachorouliou με τη μέθοδο του Chern να δίνει τις μικρότερες τιμές.

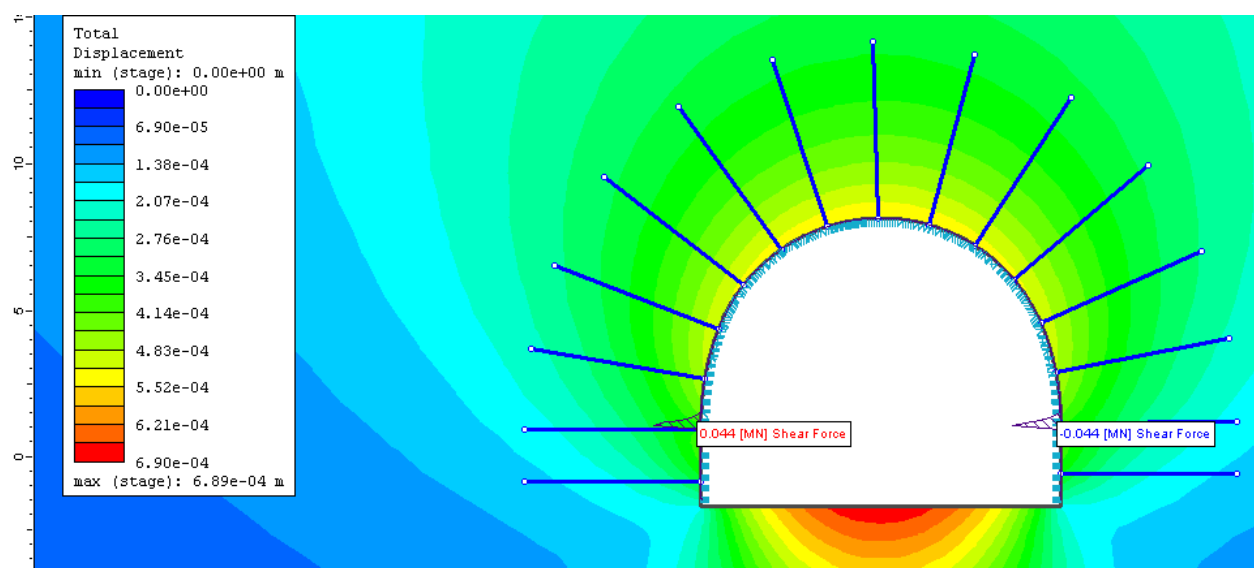
6.2 Αποτελέσματα σφραγολογικής κατηγορίας III

Σε αντίστοιχο πλαίσιο θα κινηθούμε και σε αυτήν την ενότητα ώστε μετά να γίνει η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των δύο διαφορετικών σφραγολογικών κατηγοριών βραχομάζας.

6.2.1 Αποτελέσματα μέθοδος Panet 50 m(Αβαθής σήραγγα)



Εικόνα 6-62 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 50m

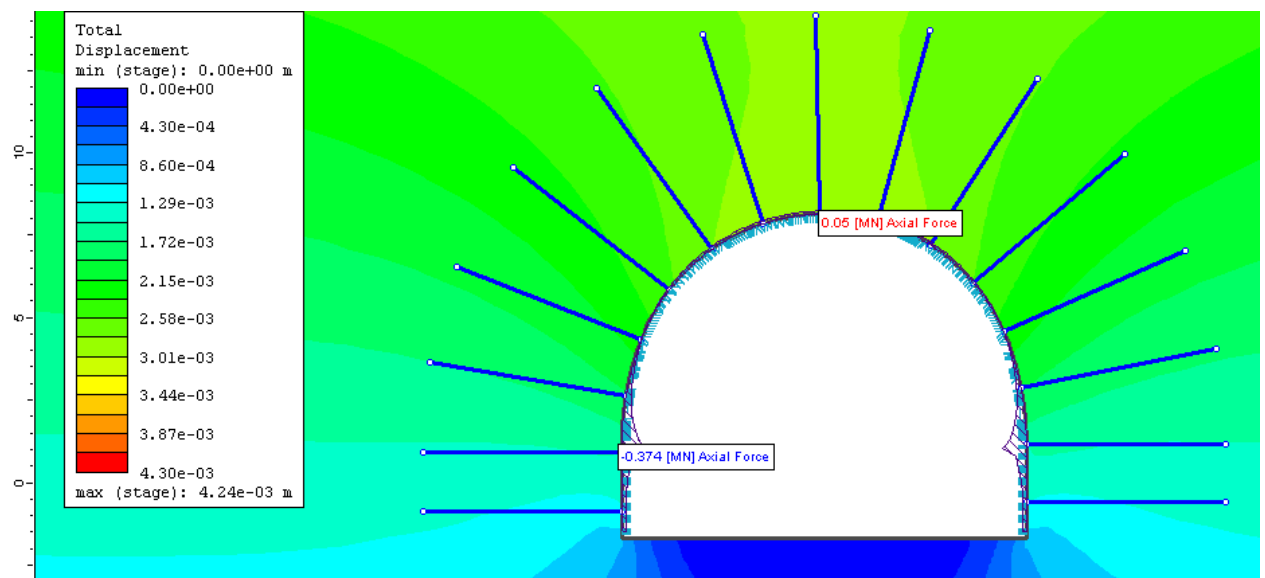


Εικόνα 6-63 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 50m

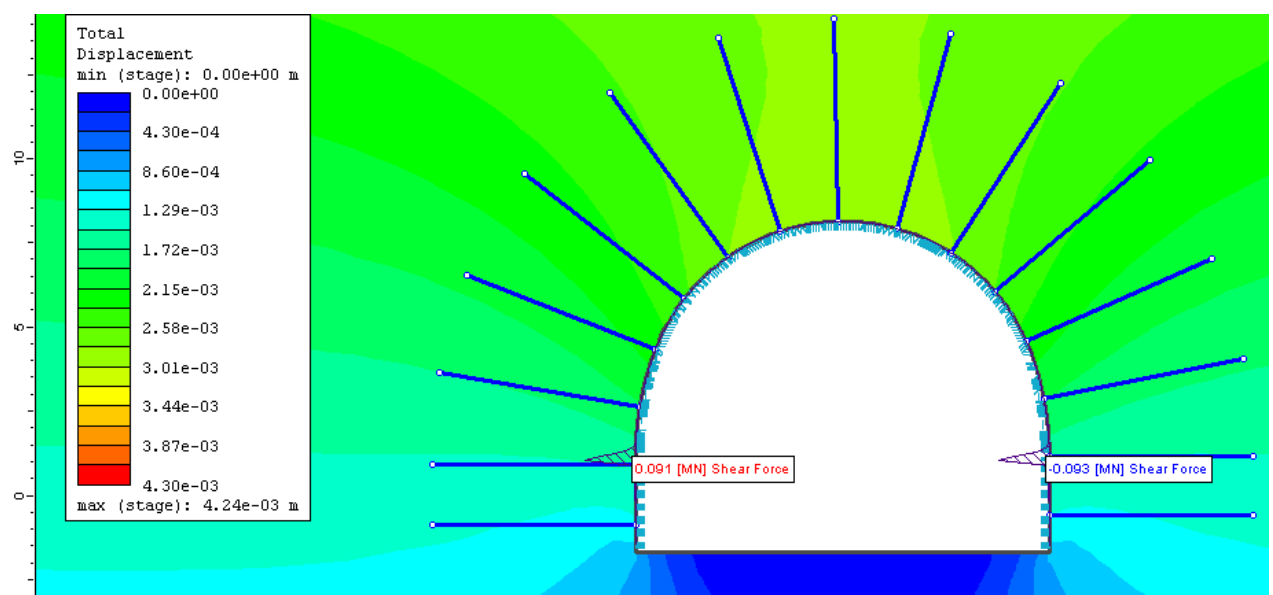
Παίρνοντας τις τιμές με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή προκύπτει ότι :

- Η μέγιστη αξονική δύναμη για αβαθή σήραγγα $H = 50$ m με τη μέθοδο του Panet είναι 0.186 MN
- Η μέγιστη διατμητική δύναμη για αβαθή σήραγγα $H = 50$ m με τη μέθοδο του Panet είναι 0.044 MN
- Η μέγιστη ροπή κάμψης για αβαθή σήραγγα $H = 50$ m με τη μέθοδο του Panet είναι 0.009 MN

6.2.2 Αποτελέσματα μέθοδος Panet 100 m



Εικόνα 6-64 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 100m

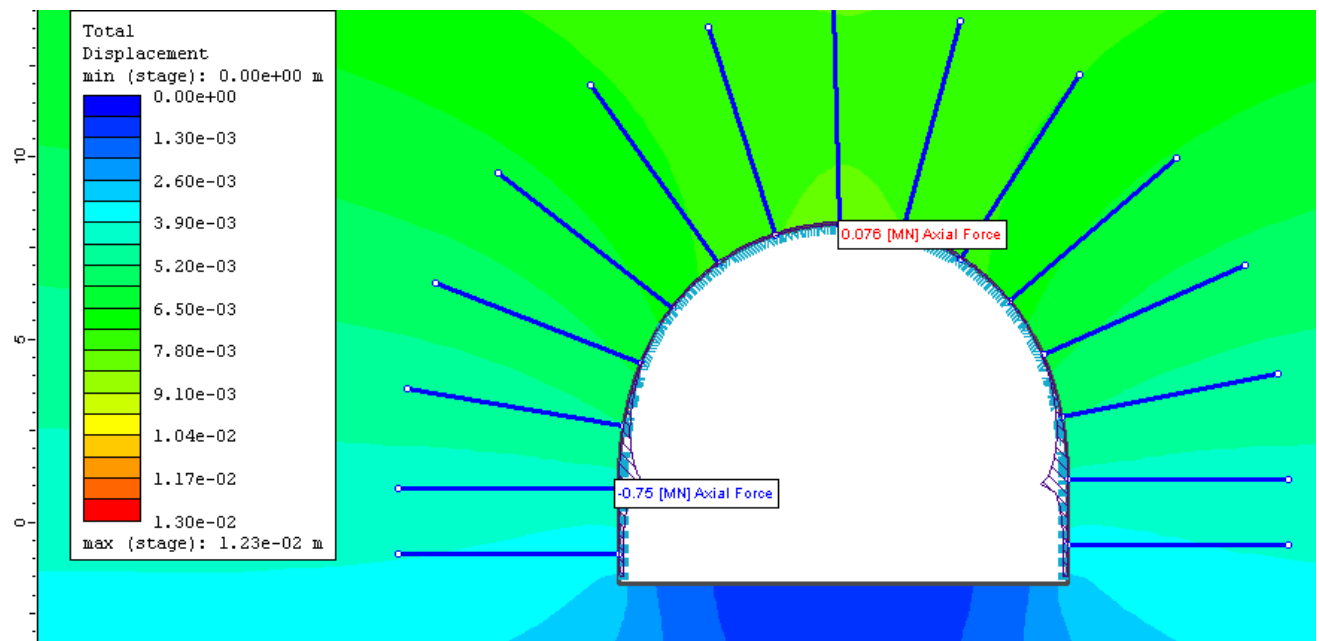


Εικόνα 6-65 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 100m

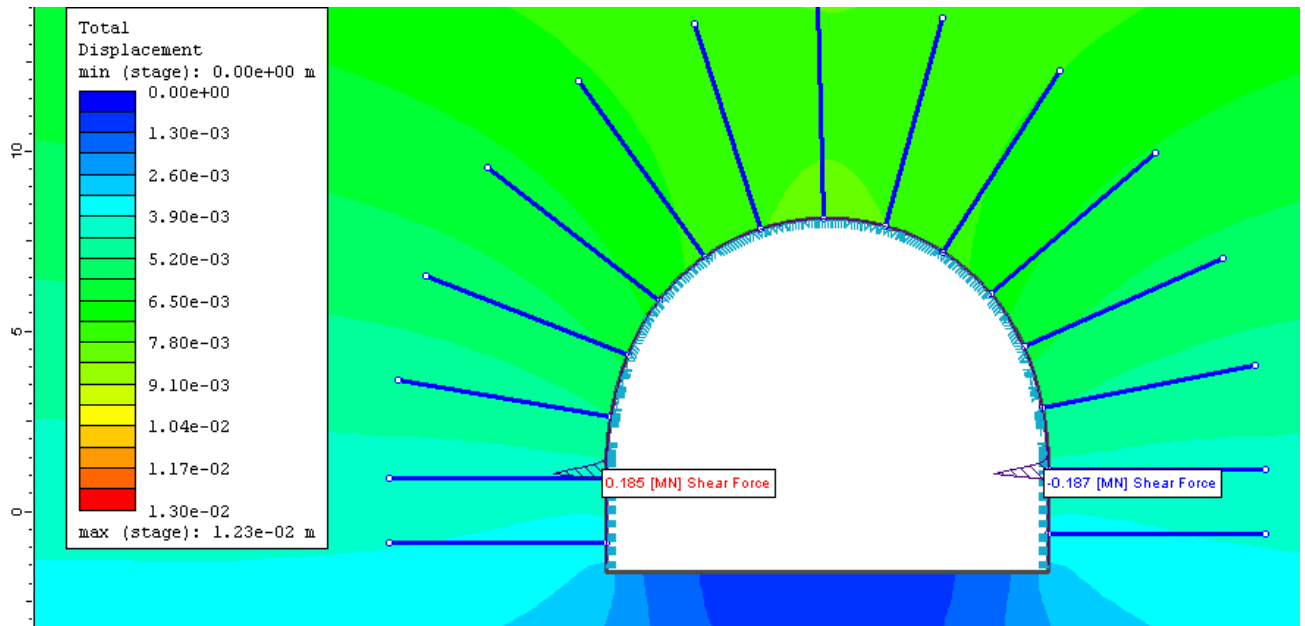
Παίρνοντας τις τιμές με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή προκύπτει ότι :

- Η μέγιστη αξονική δύναμη για σήραγγα $H = 100$ m με τη μέθοδο του Panet είναι 0.374MN
- Η μέγιστη διατμητική δύναμη για σήραγγα $H = 100$ m με τη μέθοδο του Panet είναι 0.093 MN
- Η μέγιστη ροπή κάμψης για σήραγγα $H = 100$ m με τη μέθοδο του Panet είναι 0.017 MN

6.2.3 Αποτελέσματα μέθοδος Panet 200 m



Εικόνα 6-66 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 200m

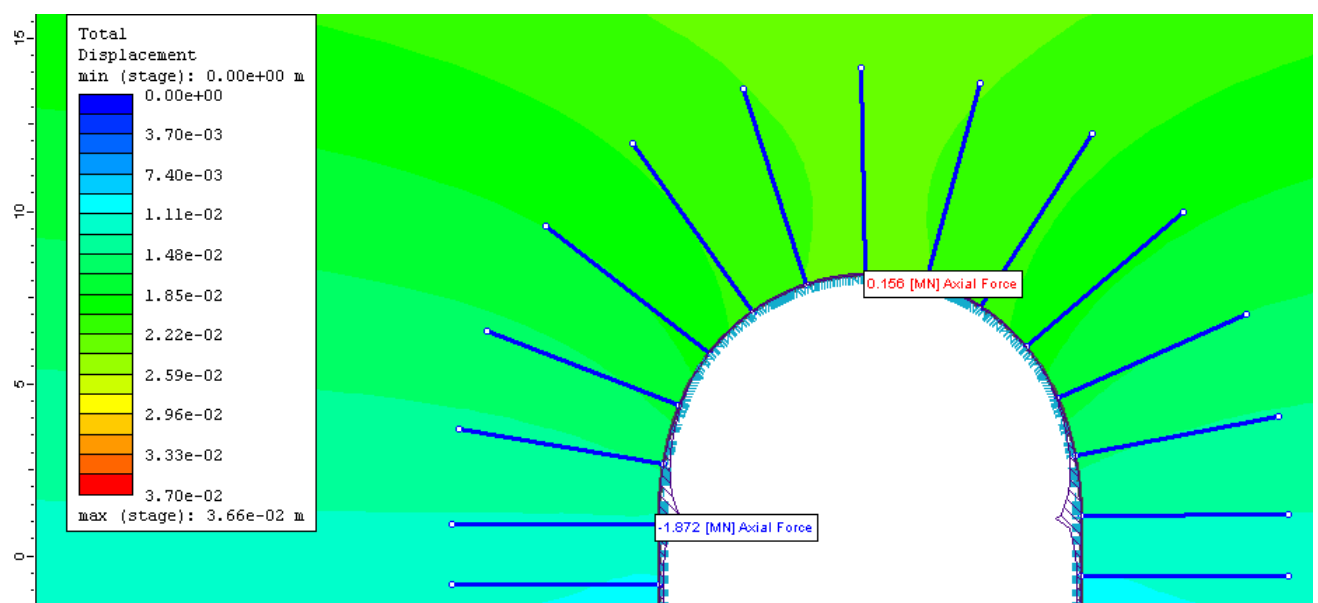


Εικόνα 6-67 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 200m

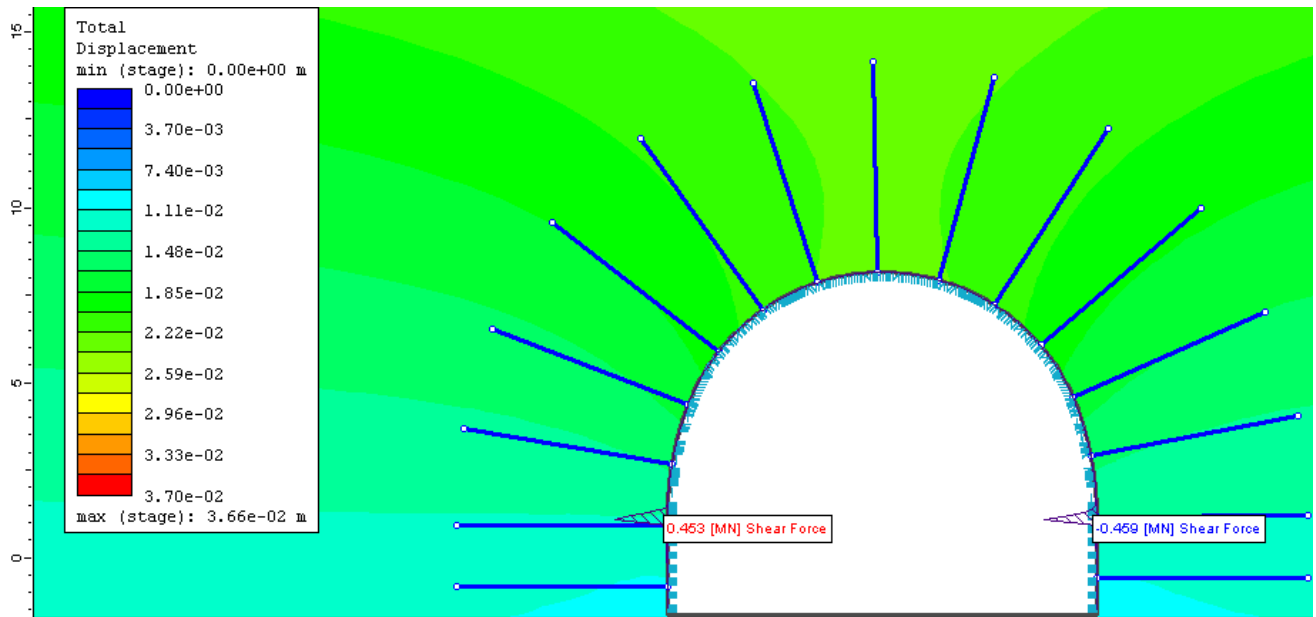
Παίρνοντας τις τιμές με την μεγαλύτερη **απόλυτη τιμή** προκύπτει ότι :

- Η μέγιστη αξονική δύναμη για σήραγγα $H = 200$ m με τη μέθοδο του Panet είναι 0.75MN
- Η μέγιστη διατμητική δύναμη για σήραγγα $H = 200$ m με τη μέθοδο του Panet είναι 0.187 MN
- Η μέγιστη ροπή κάμψης για σήραγγα $H = 200$ m με τη μέθοδο του Panet είναι 0.032 MN

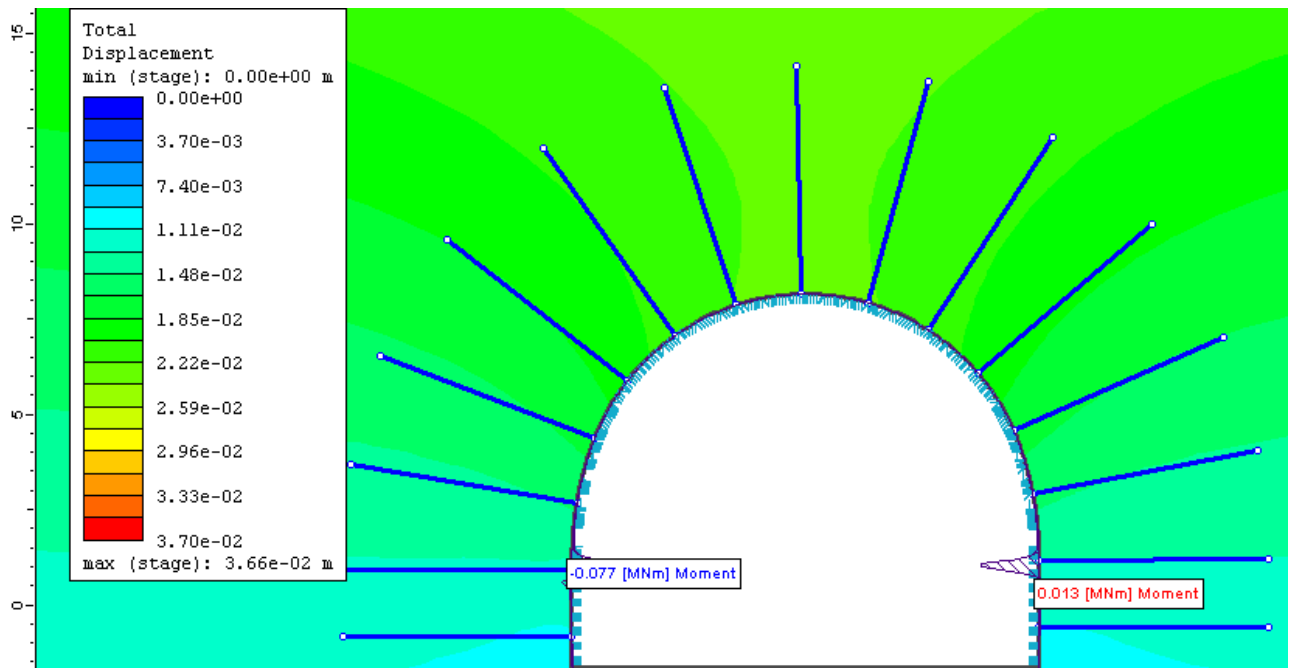
6.2.4 Αποτελέσματα μέθοδος Panet 500 m



Εικόνα 6-68 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 500m



Εικόνα 6-69 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Panet 500m

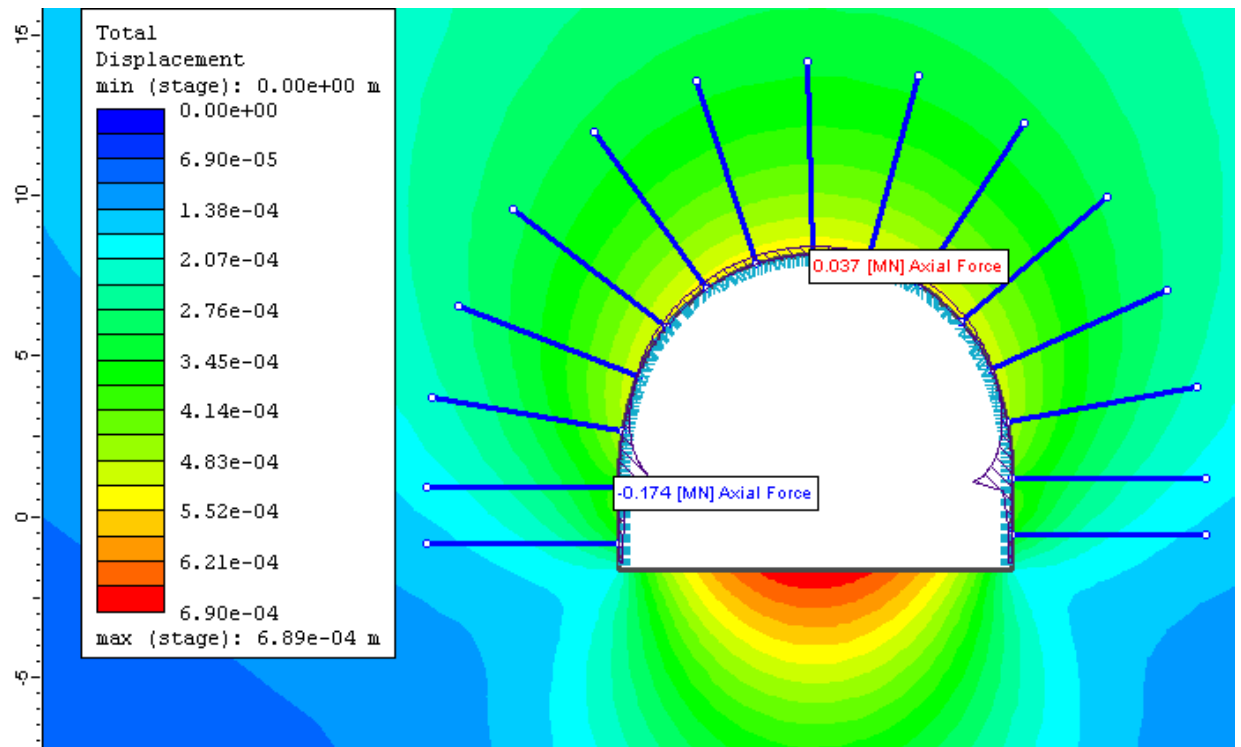


Εικόνα 6-70 Stage 5 Ροπή κάμψης Panet 500m

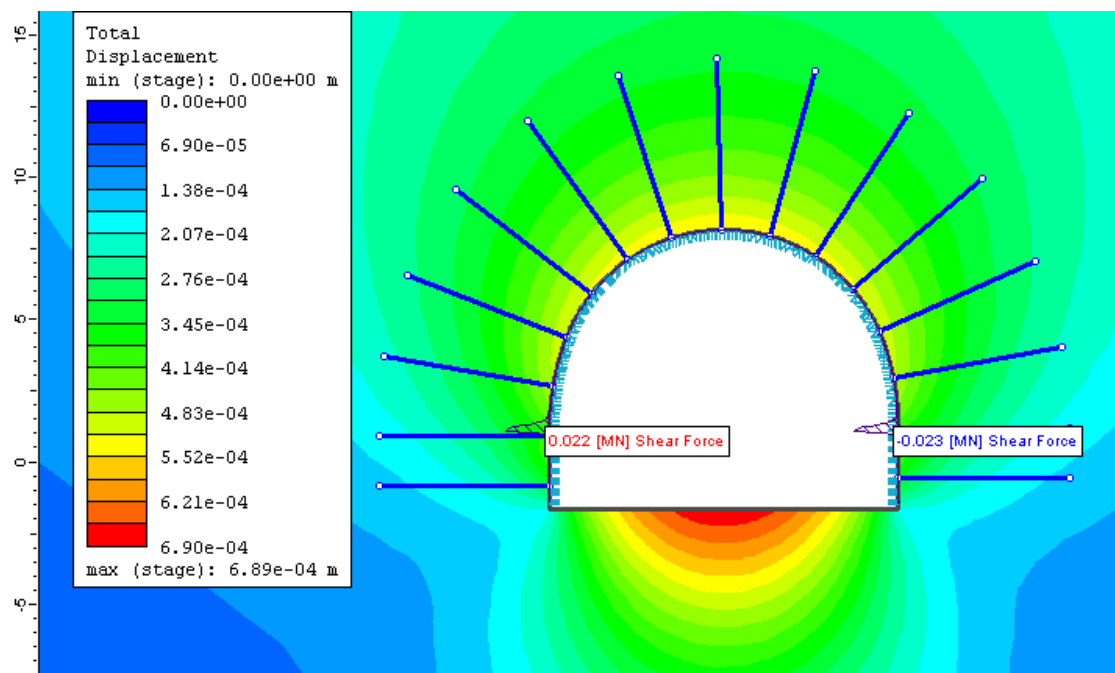
Παίρνοντας τις τιμές με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή προκύπτει ότι :

- Η μέγιστη αξονική δύναμη για σήραγγα $H = 500$ m με τη μέθοδο του Panet είναι 1.872 MN
- Η μέγιστη διατμητική δύναμη για σήραγγα $H = 500$ m με τη μέθοδο του Panet είναι 0.459 MN
- Η μέγιστη ροπή κάμψης για σήραγγα $H = 500$ m με τη μέθοδο του Panet είναι 0.077 MN

6.2.5 Αποτελέσματα μέθοδος Chern 50 m(Αβαθής σήραγγα)



Εικόνα 6-71 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 50m

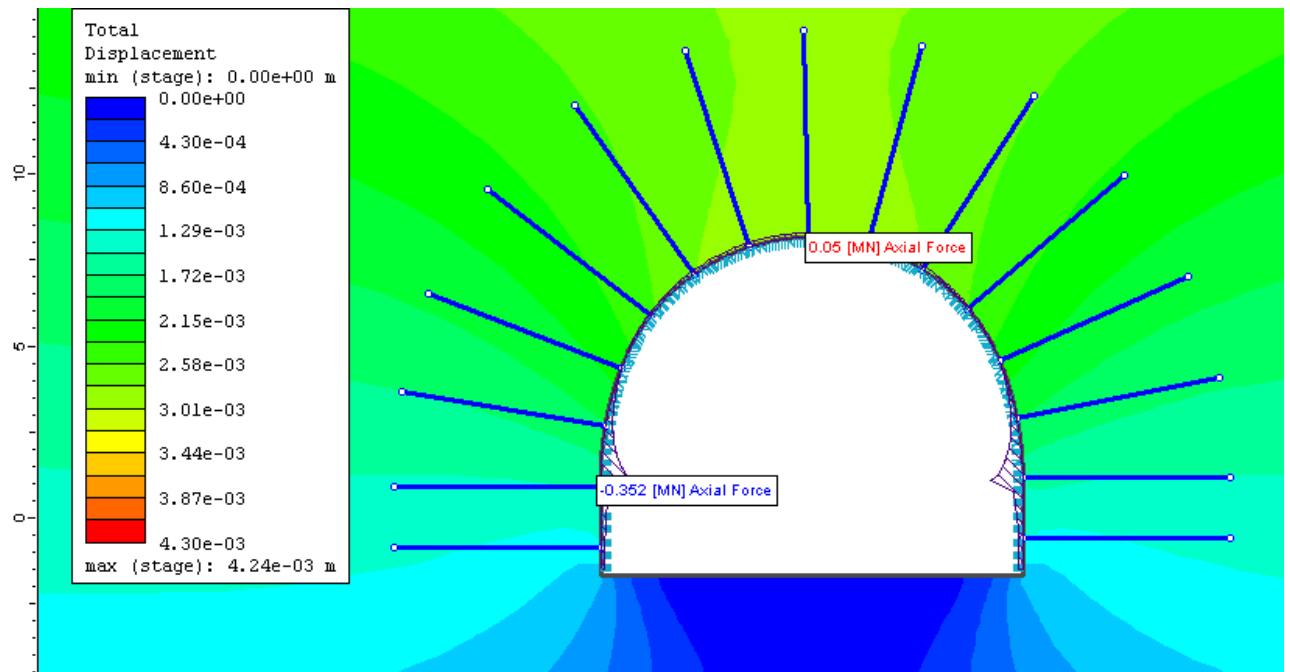


Εικόνα 6-72 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 50m

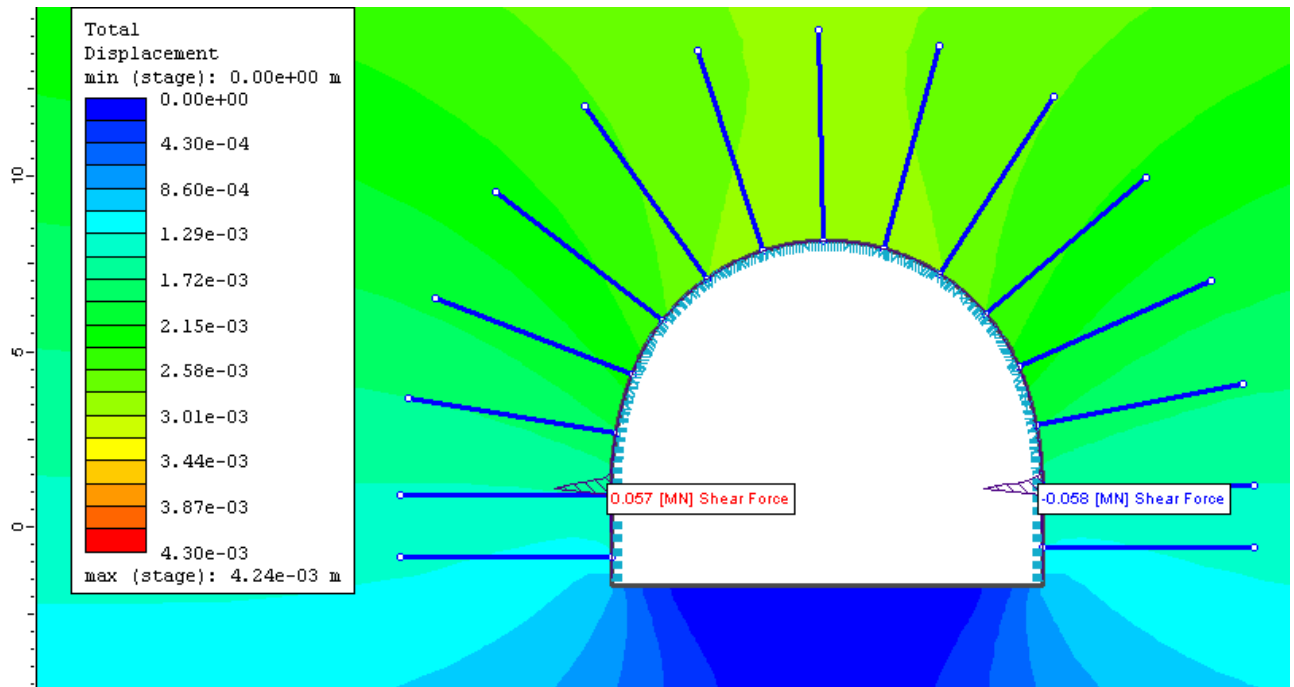
Παίρνοντας τις τιμές με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή προκύπτει ότι :

- Η μέγιστη αξονική δύναμη για αβαθή σήραγγα $H = 50$ m με τη μέθοδο του Chern είναι 0.174MN
- Η μέγιστη διατμητική δύναμη για αβαθή σήραγγα $H = 50$ m με τη μέθοδο του Chern είναι 0.023 MN
- Η μέγιστη ροπή κάμψης για αβαθή σήραγγα $H = 50$ m με τη μέθοδο του Chern είναι 0.006 MN

6.2.6 Αποτελέσματα μέθοδος Chern 100 m



Εικόνα 6-73 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 100m

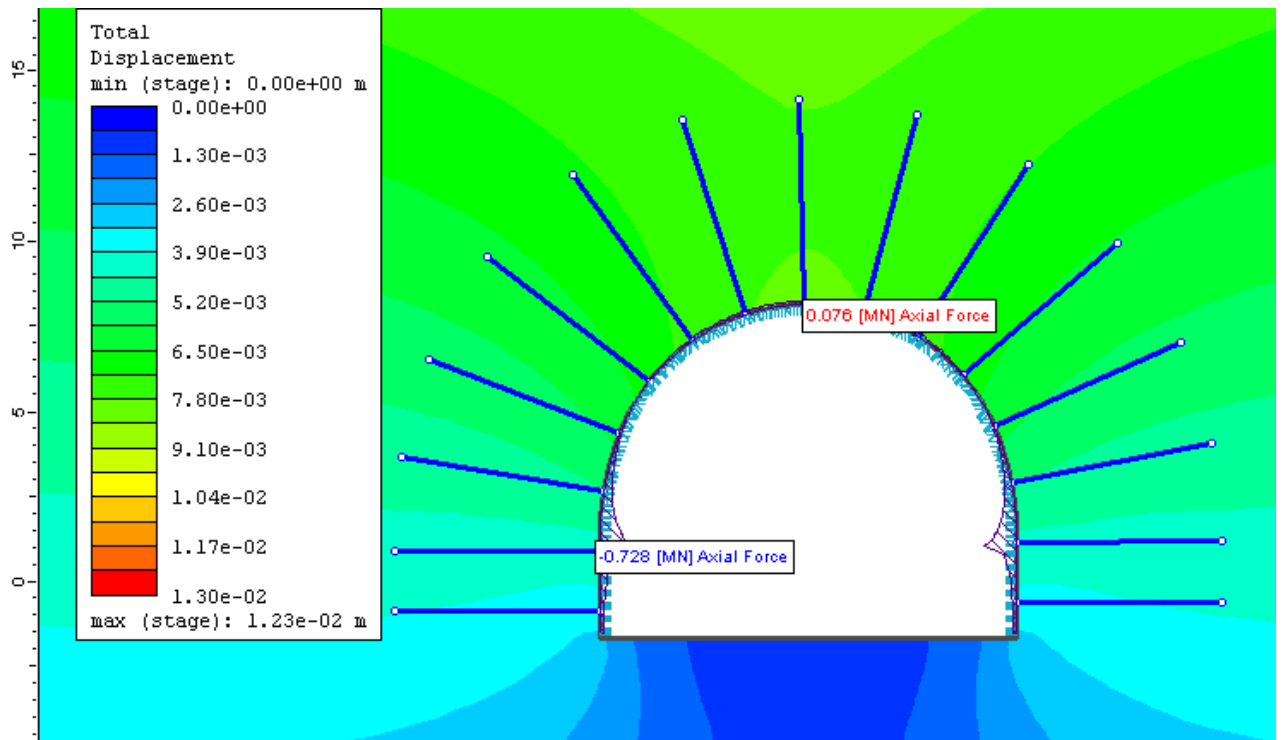


Εικόνα 6-74 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 100m

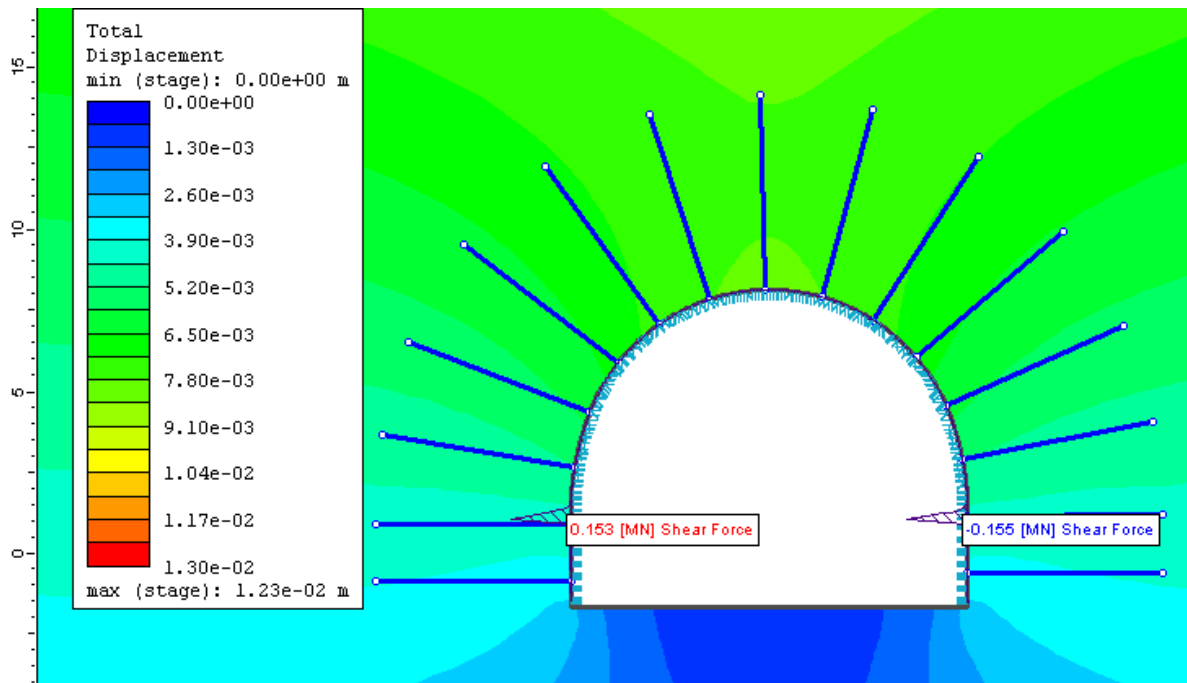
Παίρνοντας τις τιμές με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή προκύπτει ότι :

- Η μέγιστη αξονική δύναμη για σήραγγα $H = 100$ m με τη μέθοδο του Chern είναι 0.352MN
- Η μέγιστη διατμητική δύναμη για σήραγγα $H = 100$ m με τη μέθοδο του Chern είναι 0.058 MN
- Η μέγιστη ροπή κάμψης για σήραγγα $H = 100$ m με τη μέθοδο του Chern είναι 0.012 MN

6.2.7 Αποτελέσματα μέθοδος Chern 200 m



Εικόνα 6-75 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 200m

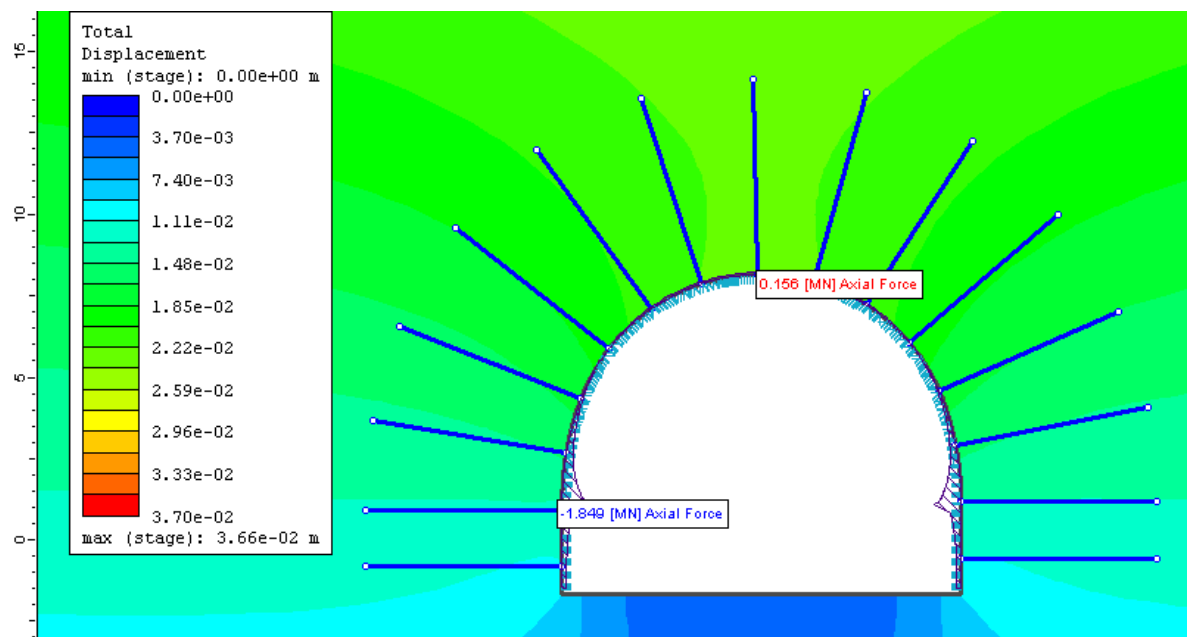


Εικόνα 6-76 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 200m

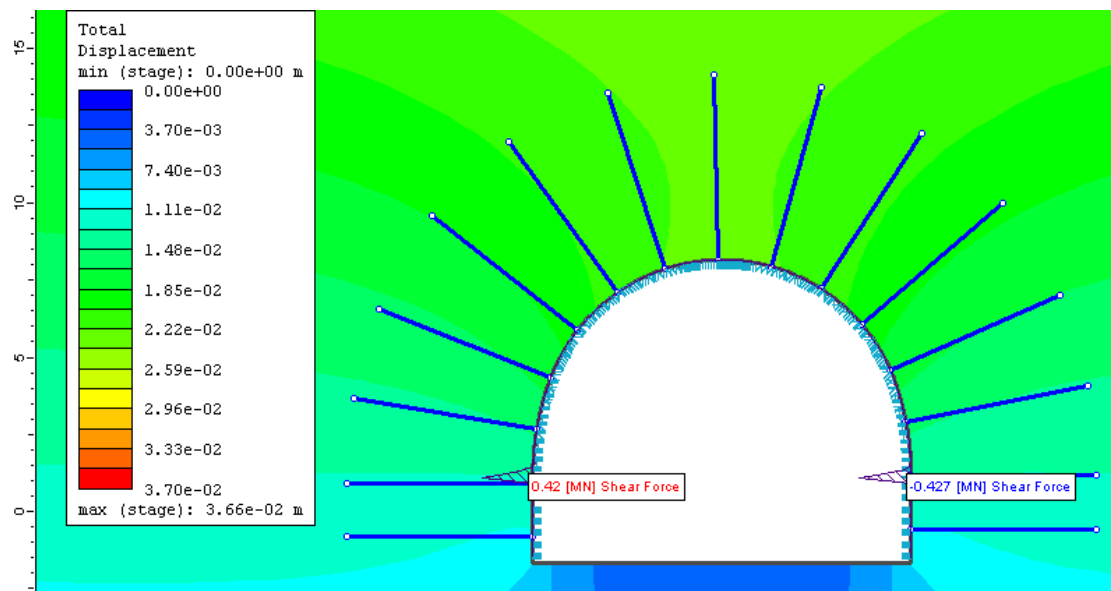
Παίρνοντας τις τιμές με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή προκύπτει ότι :

- Η μέγιστη αξονική δύναμη για σήραγγα $H = 200$ m με τη μέθοδο του Chern είναι 0.728MN
- Η μέγιστη διατμητική δύναμη για σήραγγα $H = 200$ m με τη μέθοδο του Chern είναι 0.155 MN
- Η μέγιστη ροπή κάμψης για σήραγγα $H = 200$ m με τη μέθοδο του Chern είναι 0.028 MN

6.2.8 Αποτελέσματα μέθοδος Chern 500 m



Εικόνα 6-77 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 500m

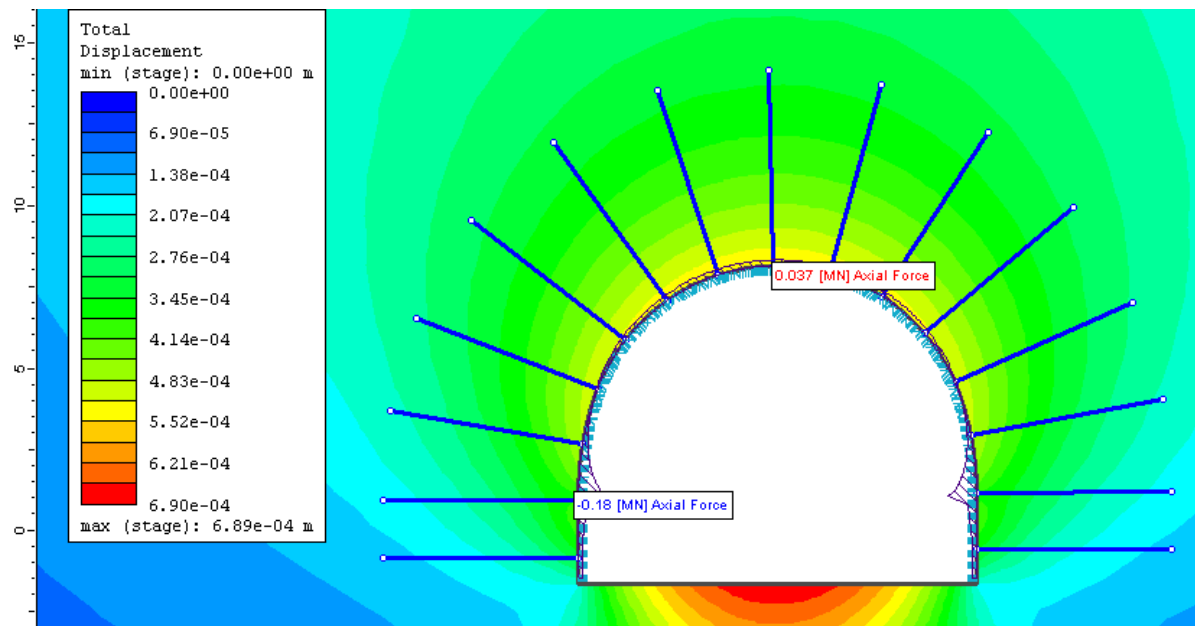


Εικόνα 6-78 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Chern 500m

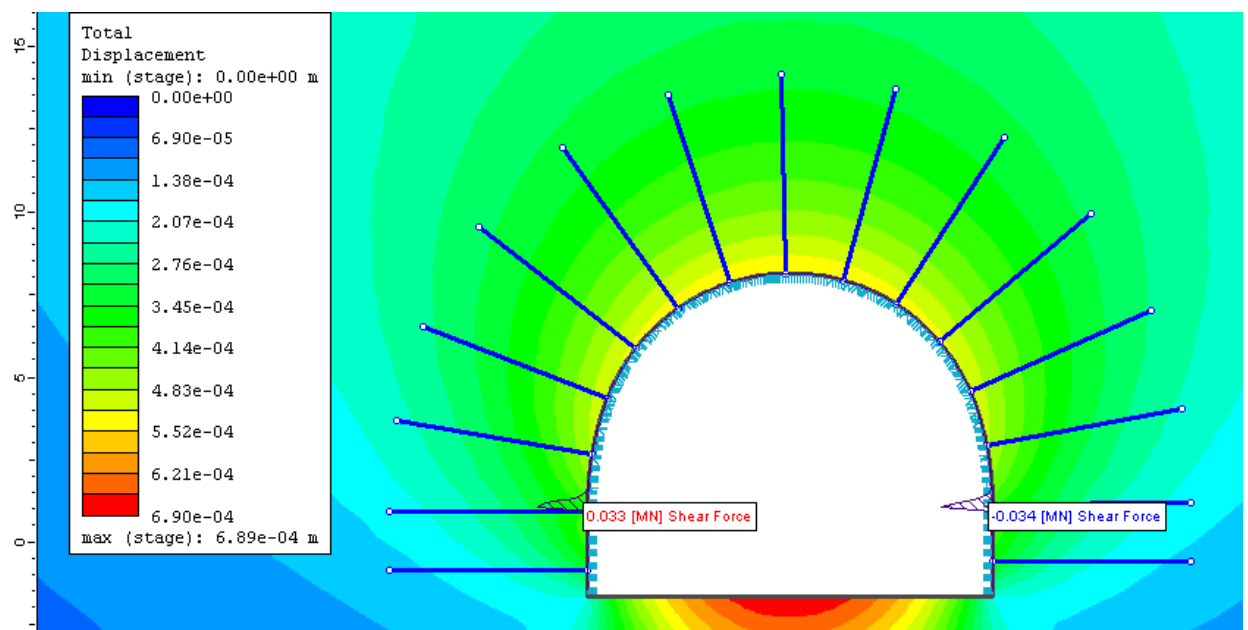
Παίρνοντας τις τιμές με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή προκύπτει ότι :

- Η μέγιστη αξονική δύναμη για σήραγγα $H = 500$ m με τη μέθοδο του Chern είναι 1.849MN
- Η μέγιστη διατμητική δύναμη για σήραγγα $H = 500$ m με τη μέθοδο του Chern είναι 0.427 MN
- Η μέγιστη ροπή κάμψης για σήραγγα $H = 500$ m με τη μέθοδο του Chern είναι 0.073 MN

6.2.9 Αποτελέσματα μέθοδος Vlachopoulos 50 m(Αβαθής σήραγγα)



Εικόνα 6-79 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 50m

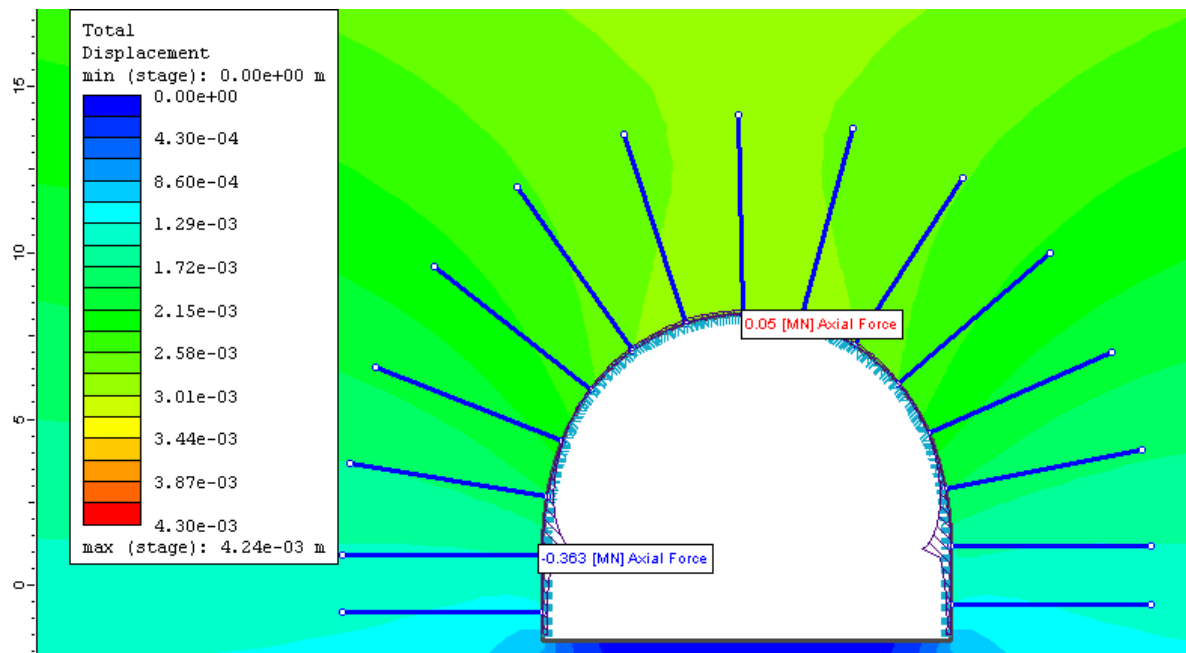


Εικόνα 6-80 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 50m

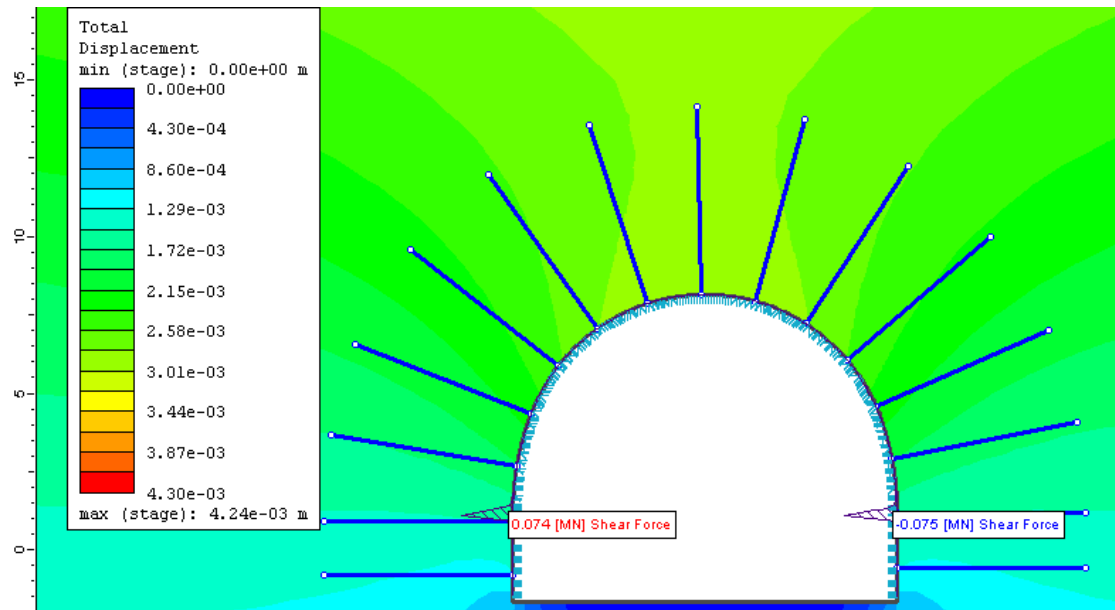
Παίρνοντας τις τιμές με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή προκύπτει ότι :

- Η μέγιστη αξονική δύναμη για αβαθή σήραγγα $H = 50$ m με τη μέθοδο του Vlachoroulou είναι 0.18MN
- Η μέγιστη διατμητική δύναμη για αβαθή σήραγγα $H = 50$ m με τη μέθοδο του Vlachoroulou είναι 0.034 MN
- Η μέγιστη ροπή κάμψης για αβαθή σήραγγα $H = 50$ m με τη μέθοδο του Vlachoroulou είναι 0.007 MN

6.2.10 Αποτελέσματα μέθοδος Vlachoroulos 100 m



Εικόνα 6-81 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachoroulos 100m

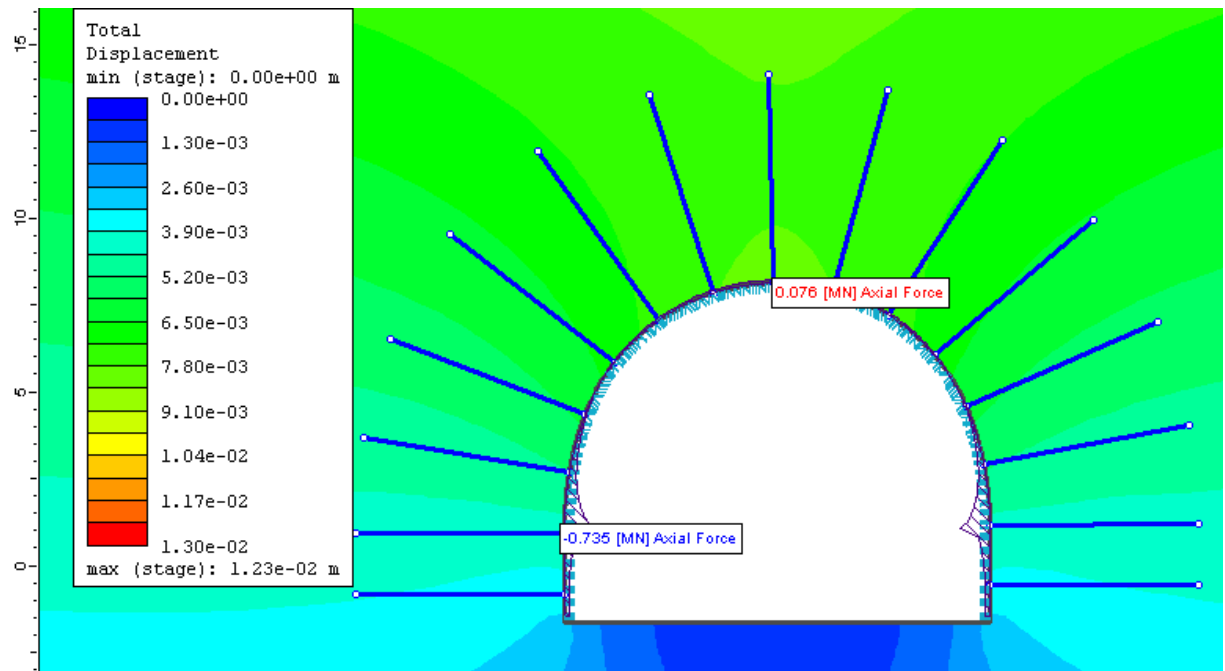


Εικόνα 6-82 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 100m

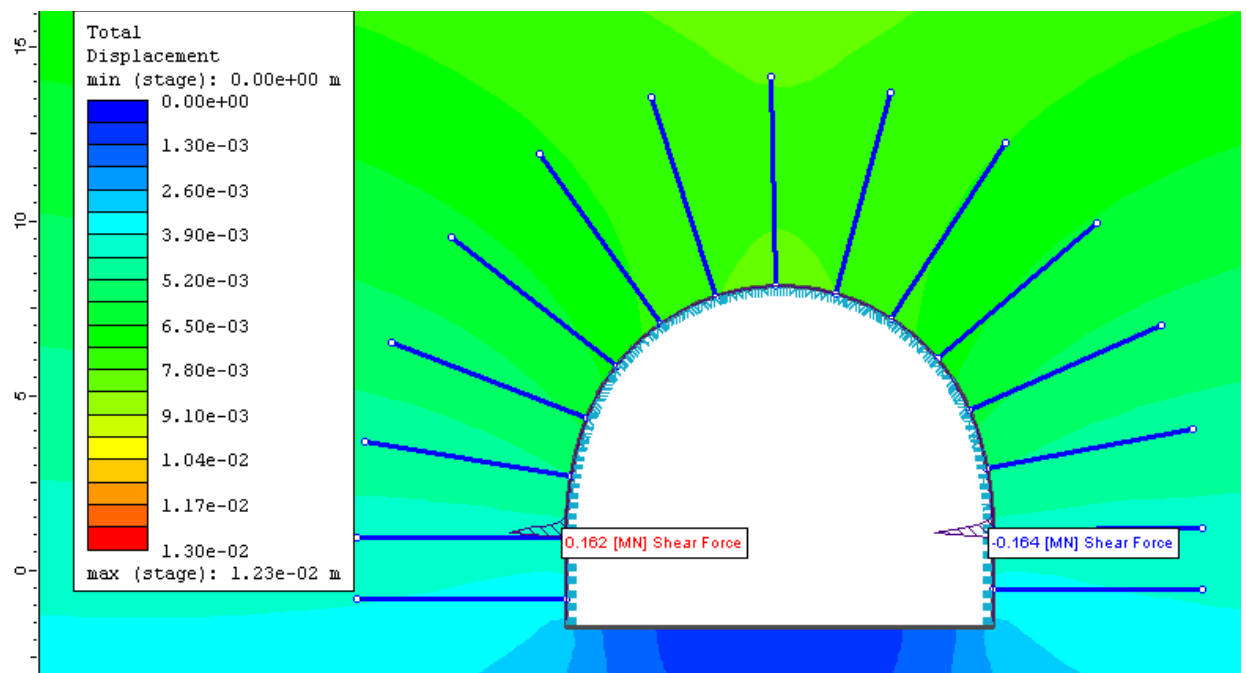
Παίρνοντας τις τιμές με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή προκύπτει ότι :

- Η μέγιστη αξονική δύναμη για σήραγγα $H = 100$ m με τη μέθοδο του Vlachopoulos είναι 0.363MN
- Η μέγιστη διατμητική δύναμη για σήραγγα $H = 100$ m με τη μέθοδο του Vlachopoulos είναι 0.075 MN
- Η μέγιστη ροπή κάμψης για σήραγγα $H = 100$ m με τη μέθοδο του Vlachopoulos είναι 0.014 MN

6.2.11 Αποτελέσματα μέθοδος Vlachopoulos 200 m



Εικόνα 6-83 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 200m



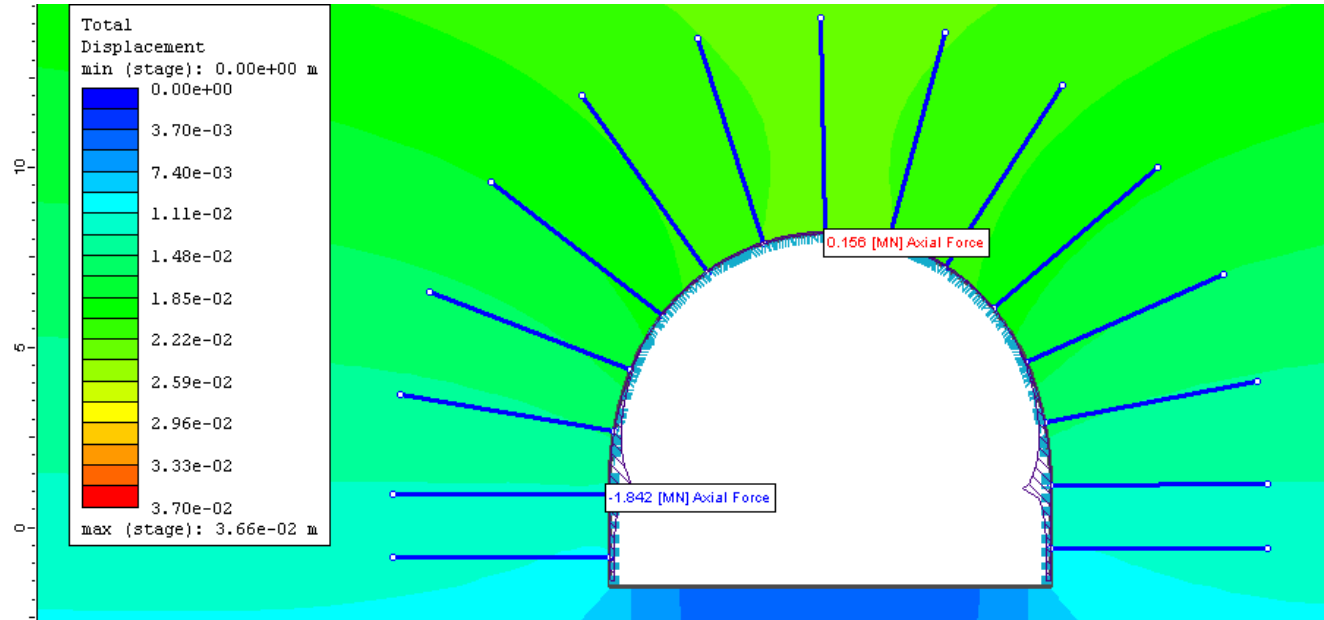
Εικόνα 6-84 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 200m

Παίρνοντας τις τιμές με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή προκύπτει ότι :

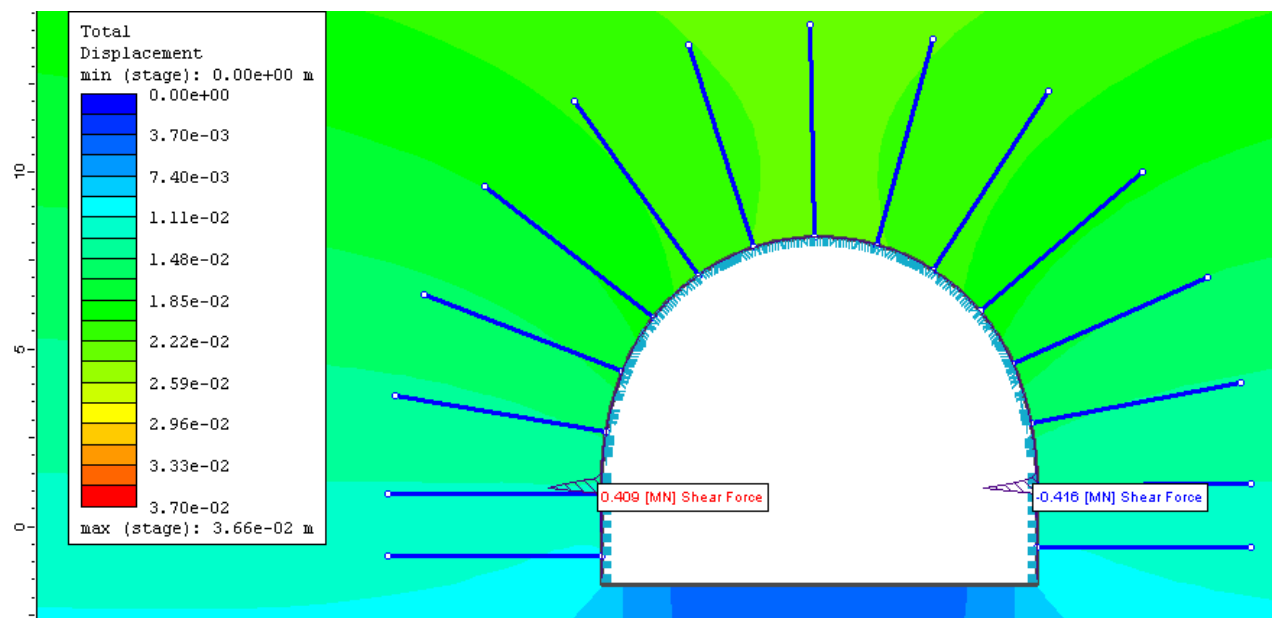
- Η μέγιστη αξονική δύναμη για σήραγγα $H = 200$ m με τη μέθοδο του Vlachopoulos είναι 0.735MN
- Η μέγιστη διατμητική δύναμη για σήραγγα $H = 200$ m με τη μέθοδο του Vlachopoulos είναι 0.164 MN

- Η μέγιστη ροπή κάμψης για σήραγγα $H = 200$ m με τη μέθοδο του Vlachopoulos είναι 0.029 MN

6.2.12 Αποτελέσματα μέθοδος Vlachopoulos 500 m



Εικόνα 6-85 Stage 5 Αξονική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 500m



Εικόνα 6-86 Stage 5 Διατμητική δύναμη στο σκυρόδεμα Vlachopoulos 500m

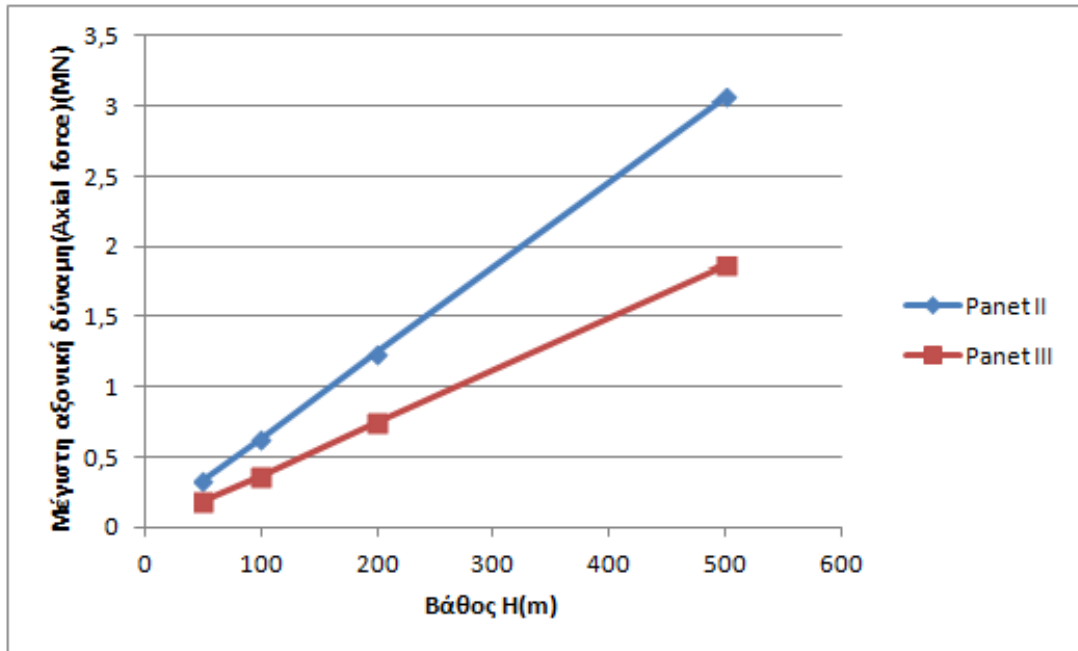
Παίρνοντας τις τιμές με την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή προκύπτει ότι :

- Η μέγιστη αξονική δύναμη για σήραγγα $H = 500$ m με τη μέθοδο του Vlachoroulou είναι 1.842 MN
- Η μέγιστη διατμητική δύναμη για σήραγγα $H = 500$ m με τη μέθοδο του Vlachoroulou είναι 0.416 MN
- Η μέγιστη ροπή κάμψης για σήραγγα $H = 500$ m με τη μέθοδο του Vlachoroulou είναι 0.072 MN

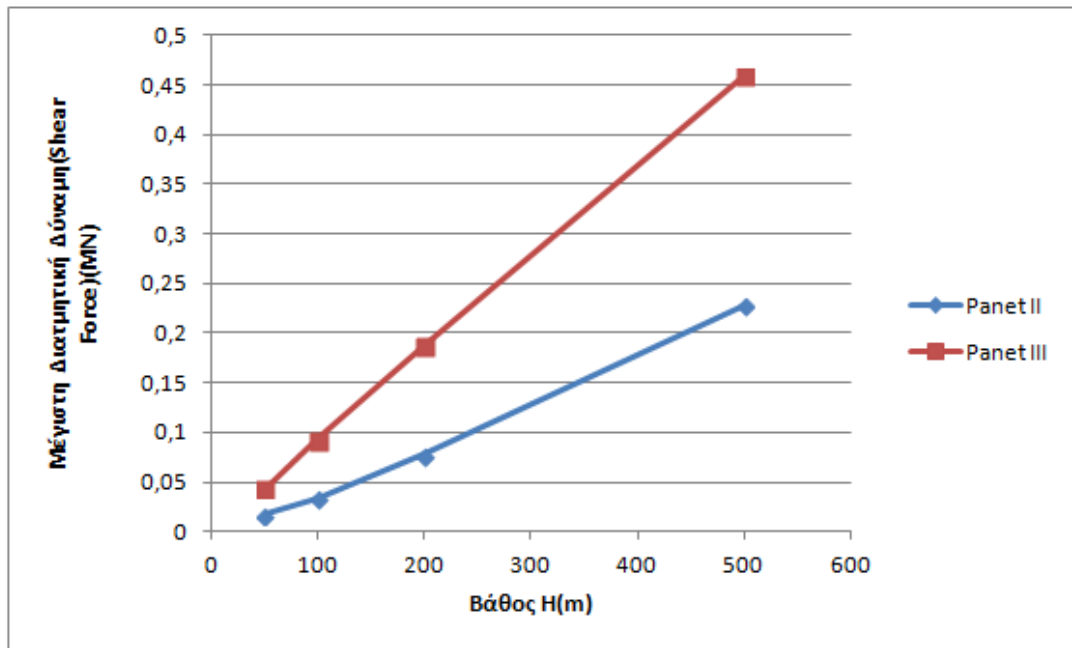
Αναλύοντας τις τιμές των αξονικών και διατμητικών δυνάμεων καθώς και των ροπών κάμψης που υπολογίστηκαν με βάση τα μοντέλα στο RS2 για τη σηραγγολογική κατηγορία III παρατηρούμε και εδώ ότι το βάθος της εκσκαφής επηρεάζει τις τιμές αυτών. Αρχικά οι τιμές αυτές αυξάνονται όσο αυξάνεται και το βάθος εκσκαφής. Πιο συγκεκριμένα για όλες τις παραπάνω τιμές η μέθοδος του Panet δίνει τις μεγαλύτερες τιμές ακολουθούμενη από τη μέθοδο του Vlachoroulou με τη μέθοδο του Chern να δίνει τις μικρότερες τιμές.

6.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ των δύο κατηγοριών

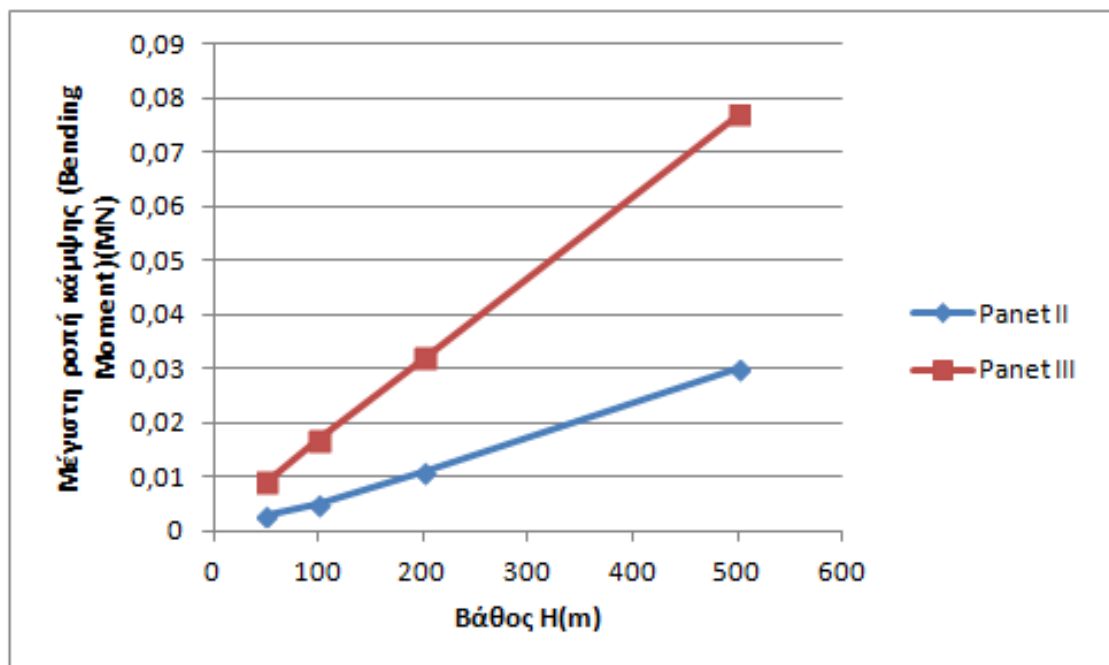
Σε αυτήν την ενότητα θα παρουσιαστούν διαγράμματα μέσα από τα οποία θα συγκριθούν η μέγιστη αξονική δύναμη και η διατμητική δύναμη καθώς και η μέγιστη ροπή κάμψης μεταξύ των δύο κατηγοριών για κάθε μέθοδο ξεχωριστά.



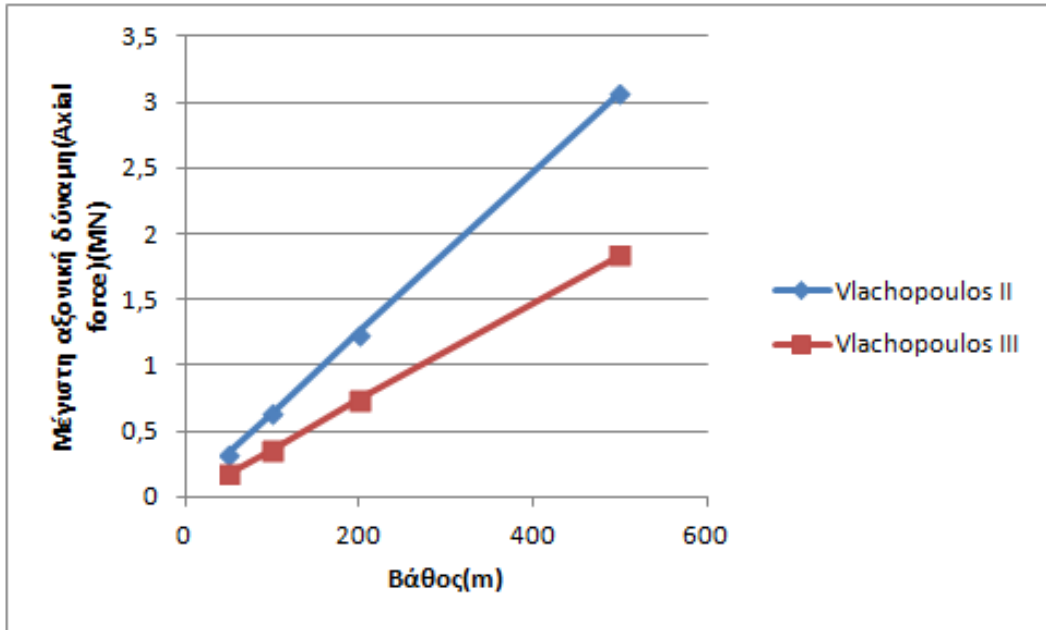
Διάγραμμα 6-1 Συγκριτική απεικόνιση μέγιστης αξονικής δύναμης σε σχέση με το βάθος για τη μέθοδο Panet



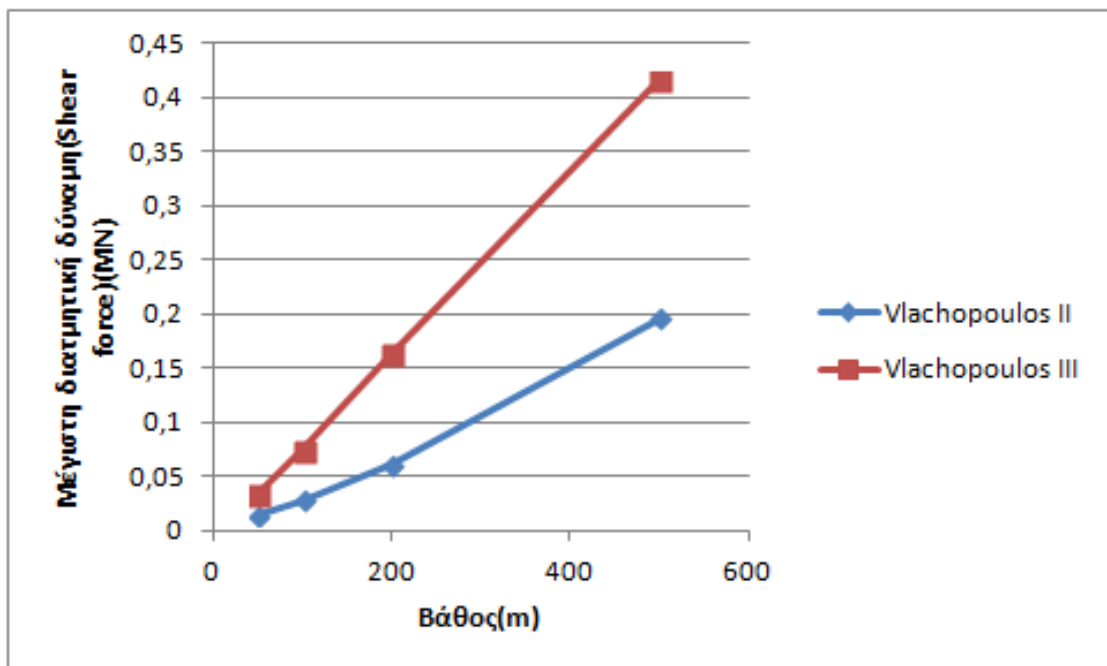
Διάγραμμα 6-2 Συγκριτική απεικόνιση μέγιστης διατμητικής δύναμης σε σχέση με το βάθος για τη μέθοδο Panet



Διάγραμμα 6-3 Συγκριτική απεικόνιση μέγιστης ροπής κάμψης σε σχέση με το βάθος για τη μέθοδο Panet

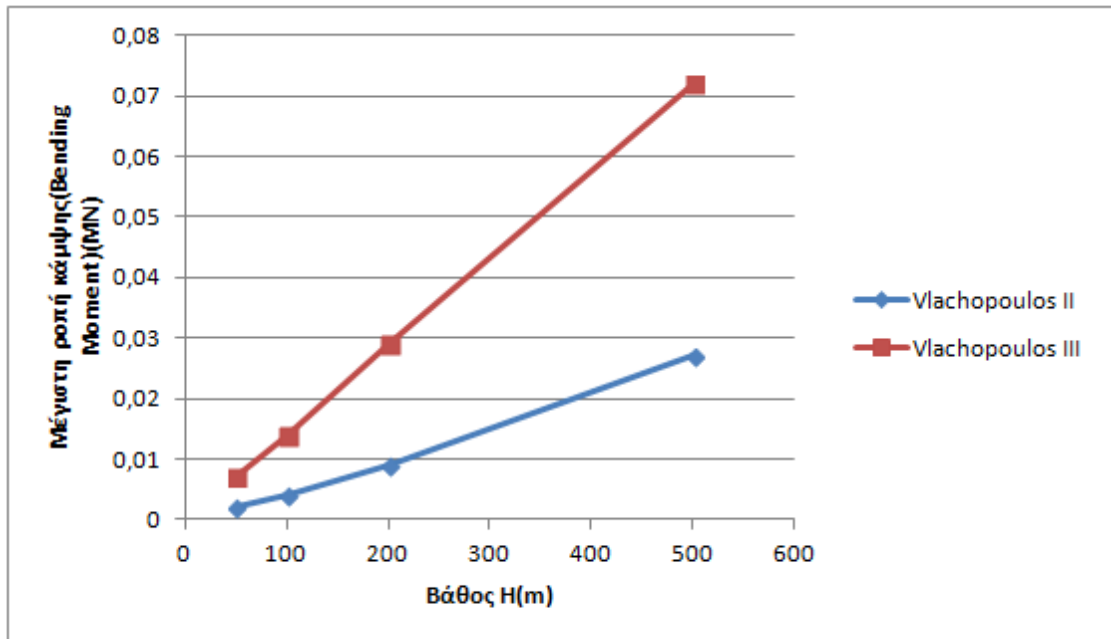


Διάγραμμα 6-4 Συγκριτική απεικόνιση μέγιστης αξονικής δύναμης σε σχέση με το βάθος για τη μέθοδο Vlachopoulos

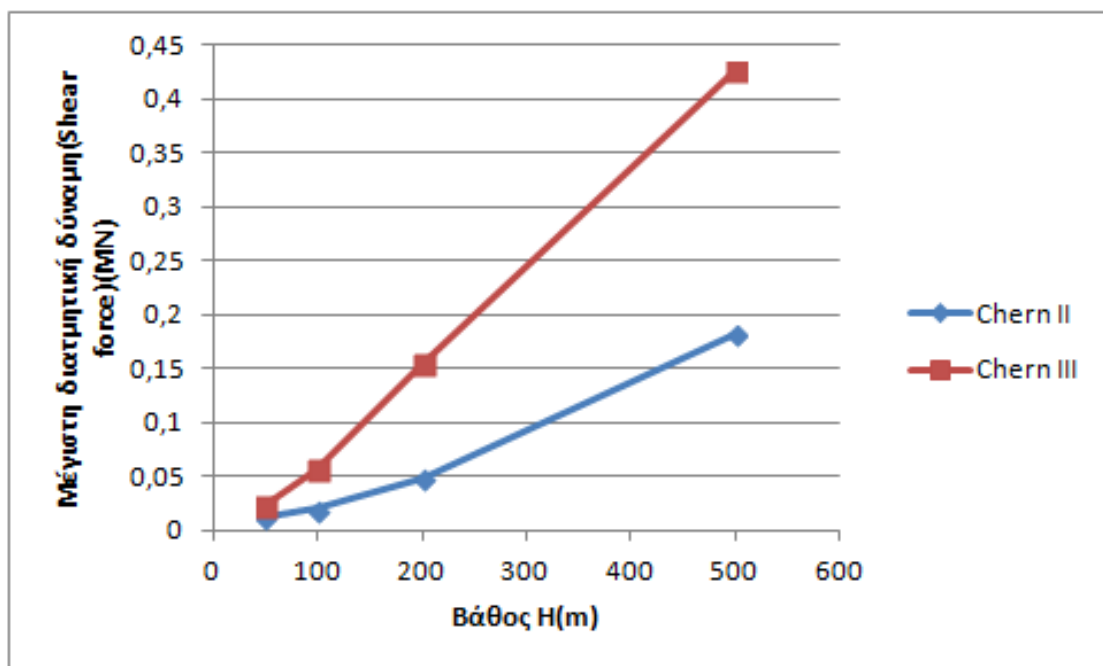


I

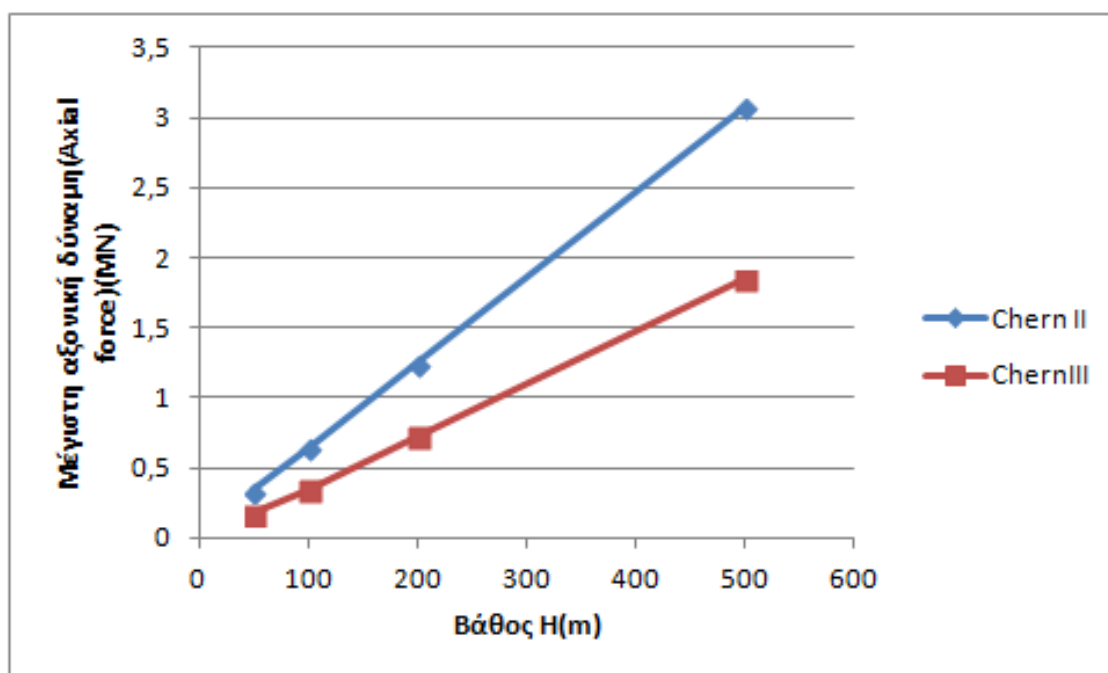
Διάγραμμα 6-5 Συγκριτική απεικόνιση μέγιστης διατμητικής δύναμης σε σχέση με το βάθος για τη μέθοδο Vlachopoulos



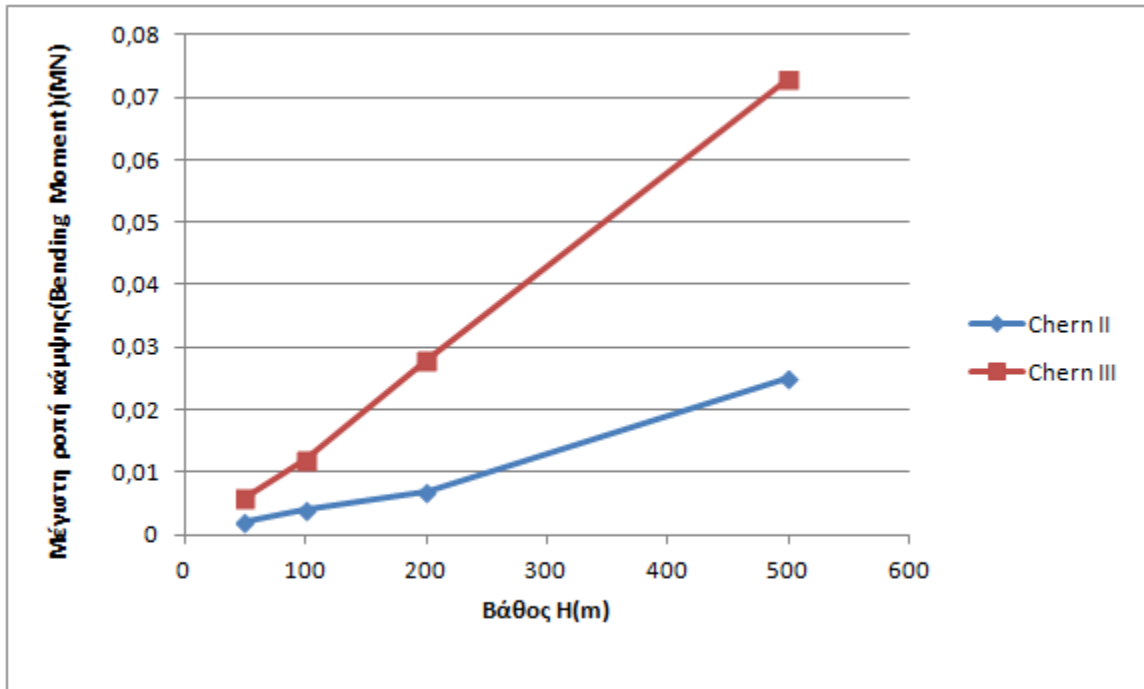
Διάγραμμα 6-6 Συγκριτική απεικόνιση μέγιστης ροπής κάμψης σε σχέση με το βάθος για τη μέθοδο Vlachopoulos



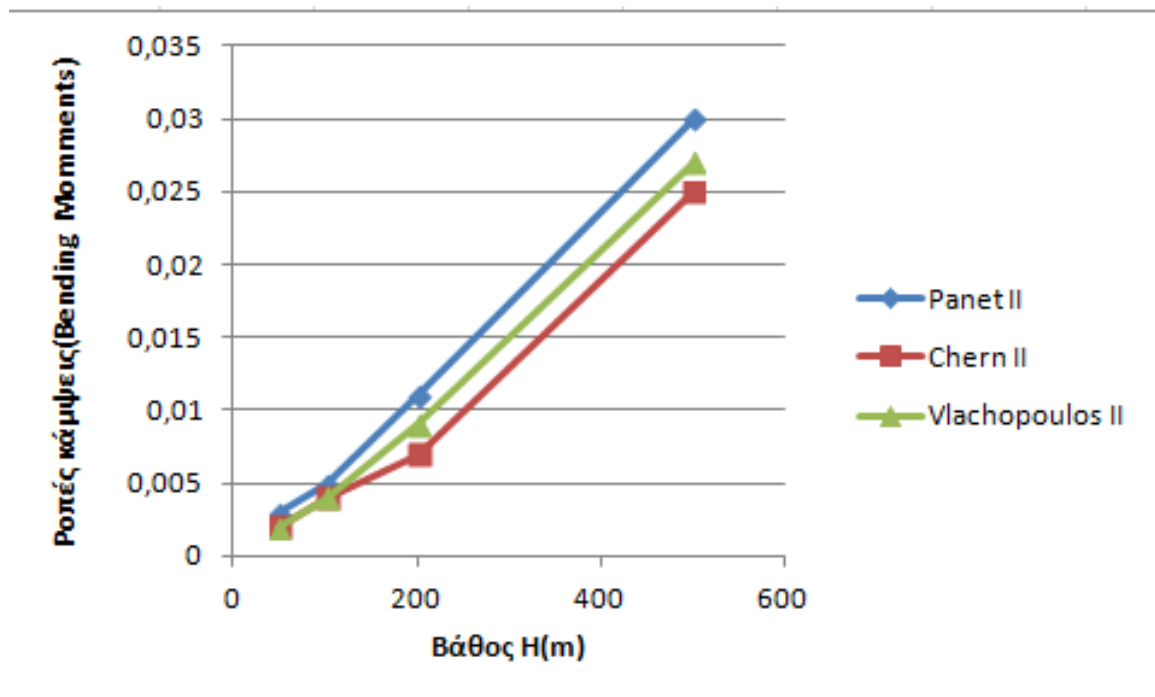
Διάγραμμα 6-7 Συγκριτική απεικόνιση μέγιστης διατμητικής δύναμης σε σχέση με το βάθος για τη μέθοδο Chern



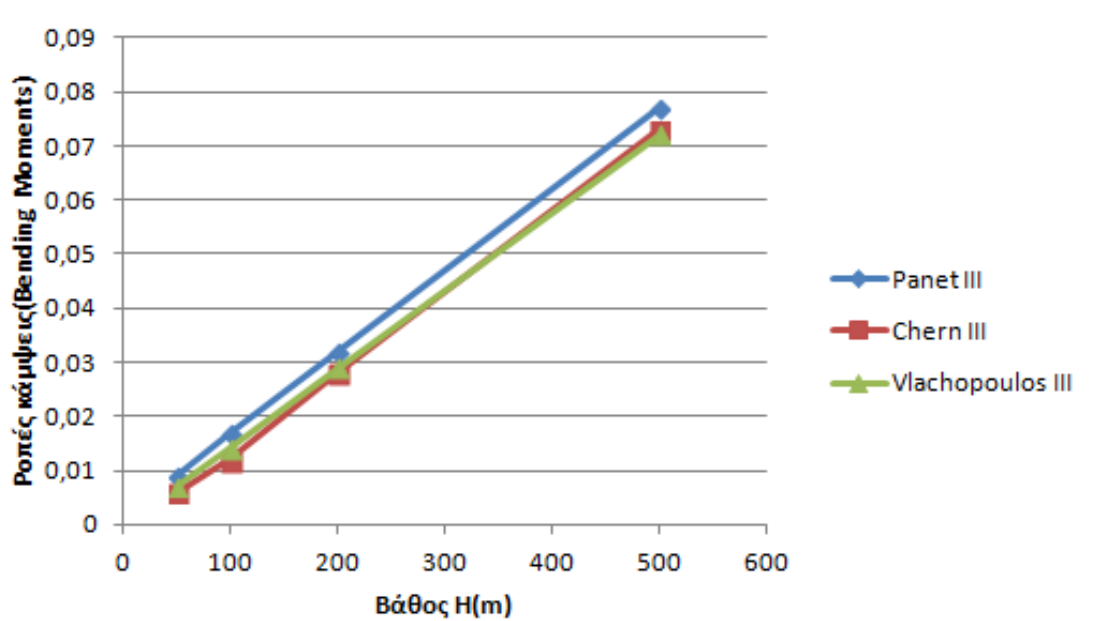
Διάγραμμα 6-8 Συγκριτική απεικόνιση μέγιστης αξονικής δύναμης σε σχέση με το βάθος για τη μέθοδο Chern



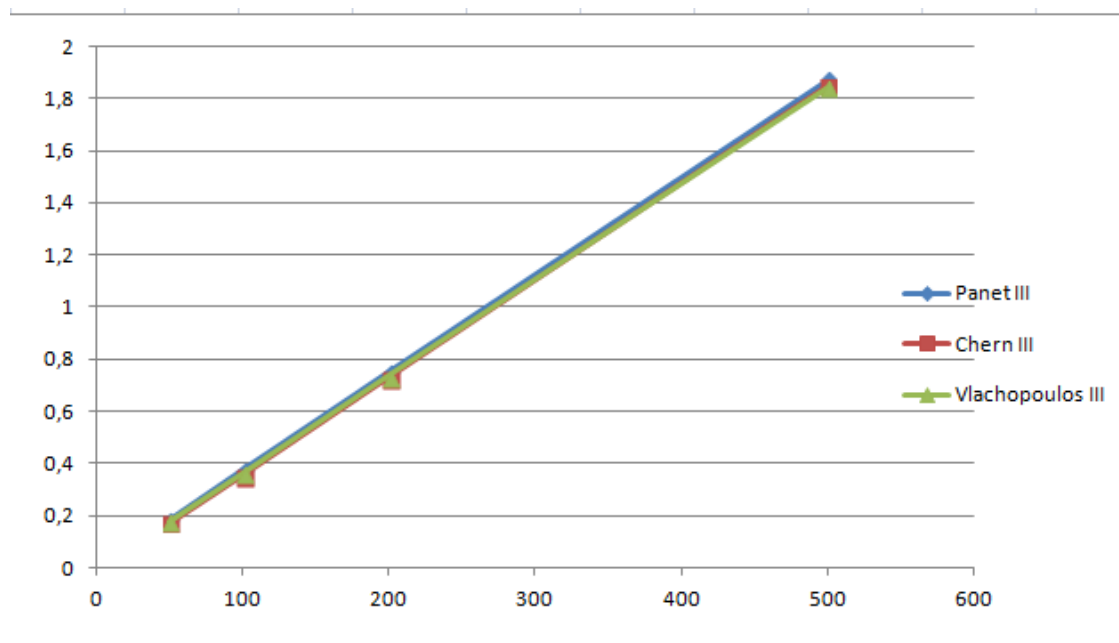
Διάγραμμα 6-9 Συγκριτική απεικόνιση μέγιστης ροπής κάμψης σε σχέση με το βάθος για τη μέθοδο Chern



Διάγραμμα 6-10 Συγκριτική απεικόνιση ροπών κάμψεων μεταξύ των μεθόδων για σηραγγολογική κατηγορία II



Διάγραμμα 6-11 Συγκριτική απεικόνιση ροπών κάμψεων μεταξύ των μεθόδων για σηραγγολογική κατηγορία III



Διάγραμμα 6-12 Συγκριτική απεικόνιση αξονικών δυνάμεων μεταξύ των μεθόδων για σηραγγολογική κατηγορία III

Από τα παραπάνω διαγράμματα συμπεραίνουμε ότι ανεξάρτητα της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό η μέγιστη αξονική δύναμη παρουσιάζεται μεγαλύτερη στην σφραγγολογική κατηγορία II ,ενώ αντίθετα η μέγιστη διατμητική δύναμη δίνει τη μεγαλύτερη τιμή για τη σφραγγολογική κατηγορία III. Αντίστοιχα τις μέγιστες τιμές ως προς την ροπή κάμψης δίνει η σφραγγολογική κατηγορία III έναντι της κατηγορίας II.

Επιπλέον τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την ανάλυση μέσω της μεθόδου του Panet παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη τιμή για τη μέγιστη διατμητική δύναμη ακολουθούμενη από τη μέθοδο του Vlachopoulou ενώ τη χαμηλότερη τιμή δίνει η μέθοδος του Chern και για τις δύο κατηγορίες που μελετήθηκαν. Το ίδιο συμβαίνει και για τις μέγιστες τιμές αξονικής δύναμης στην κατηγορία III. Όσον αφορά τη μέγιστη ροπή κάμψης η μέθοδος του Panet προσφέρει τις μεγαλύτερες τιμές ακολουθούμενη από τη μέθοδο του Vlachopoulou , με τις μικρότερες τιμές να τις δίνει η μέθοδος του Chern με κάποιες μικρές εξαιρέσεις.

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από το πρόγραμμα RS2 και τους πίνακες και τα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν μπορούμε να καταλήξουμε σε κάποια χρήσιμα συμπεράσματα ως προς τη συμπεριφορά της βραχομάζας.

Αρχικά τόσο οι αξονικές όσο και οι διατμητικές δυνάμεις καθώς και οι ροπές κάμψης εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το βάθος εκσκαφής αλλά και από τον τύπο της βραχομάζας και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτής.

Γενικά είναι αντιληπτό από τους υπολογισμούς που έγιναν ότι όσο αυξάνεται το βάθος εκσκαφής τόσο αυξάνονται και οι αξονικές και οι διατμητικές δυνάμεις και οι ροπές κάμψης και για τις δύο σφραγολογικές κατηγορίες που μελετήθηκαν.

Επιπλέον χρήσιμα συμπεράσματα εξάχθηκαν συγκρίνοντας και τις τιμές μεταξύ των δύο διαφορετικών κατηγοριών. Είναι φανερό ότι οι τιμές των διατμητικών δυνάμεων και των ροπών κάμψης που παρουσιάζει η σφραγολογική κατηγορία III είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες της κατηγορίας II ,ενώ αντίθετα μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζουν οι αξονικές δυνάμεις στην κατηγορία II συμπεραίνοντας ότι τα χαρακτηριστικά κι οι ιδιότητες κάθε κατηγορίας διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη μελέτη μίας εκσκαφής.

Επίσης η σύγκριση μεταξύ των μεθόδων εκτίμησης της αποτόνωσης δίνουν σημαντικές πληροφορίες. Αρχικά και στις δύο διαφορετικές κατηγορίες παρατηρούμε ότι η μέθοδος του Panet δίνει τις μεγαλύτερες τιμές για το συντελεστή αποτόνωσης ενώ του Chern τις μικρότερες με τις τιμές του Vlachorouliou να βρίσκονται στο ενδιάμεσο. Όσον αφορά τη σύγκριση των δύο κατηγοριών η σφραγολογική κατηγορία II είναι που δίνει χαμηλότερους συντελεστές αποτόνωσης σε σχέση με την κατηγορία III.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Διάνοιξη σήραγγων, Αλέξανδρος Ι. Σοφιανός, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- 2) Σημειώσεις σχεδιασμού υπογείων έργων Μ. Καββαδάς Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο ,2012
- 3) Ντουνιάς Γ., Δέδε Β., Ντάλης Δ., Μαντζιάρας Π. (2006), "Μελέτη και Κατασκευή της Σήραγγας Αγίας Κυριακής στην Ε.Ο. Άρτας – Τρικάλων", 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Ξάνθη 2006, 31/5-2/6.
- 4) Διπλωματική εργασία Μεθοδολογία κατασκευής σήραγγας Αγίας Κυριακής Δασκάλου Εύα Μαρία
- 5) Bieniawski, Z. T. (1989), "Engineering rock mass classifications", John Wiley & Sons
- 6) Χαλαστάνης Γ. (2016), «Αριθμητική Προσομοίωση της Μηχανικής Συμπεριφοράς της Βραχώμαζας σε Υπόγειες Εκμεταλλεύσεις Θαλάμων και Στύλων», Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- 7) Rocscience (2023), RS2 2023Q User's Manual – Tutorials RS2 2023.
- 8) Vlachopoulos, Nicholas & Diederichs, Mark. (2009). Improved Longitudinal Displacement Profiles for Convergence Confinement Analysis of Deep Tunnel. Rock Mechanics and Rock Engineering. 42. 131-146. 10.1007/s00603-009-0176-4.
- 9) Rocscience(2023),RocSupport Overview