

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΥΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΤΟΥ ΠΛΑΤΑΜΩΝΑ

ΧΑΤΖΗΑΓΓΕΛΟΥ Μ.¹, ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ Β.², ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ Γ.³, ΣΟΥΛΙΟΣ Γ.⁴, ΚΙΛΙΑΣ ΑΔ.⁵, ΜΑΝΩΛΑΚΟΣ Β.⁶

Σύνοψη

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στη διερεύνηση της ποιότητας της βραχομάζας όπου κατασκευάζεται η σιδηροδρομική σήραγγα του Πλαταμώνα. Περιγράφεται η γεωλογία της περιοχής όπως αποτυπώθηκε κατά τη διάνοιξη της σήραγγας και ταξινομείται ποιοτικά η βραχομάζα με εφαρμογή των μεθόδων RMR (Bieniawski, 1976) και GSI (Hoek, 1974, Hoek et al., 1998). Τέλος, τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων συγκρίνονται για όλους τους σχηματισμούς της περιοχής μελέτης και διατυπώνεται εμπειρική σχέση με ικανοποιητικό συντελεστή συσχέτισης.

Abstract

The present paper refers to the investigation of the rock mass at the area of the under construction railway tunnel of Platamon. The new railway line connects the northern boundaries of Greece with Athens. The height of the tunnel is 13m. The tunnel is 2666m long and consists the following parts: a) 2+430 – 3+818: Tunnel, b) 3+818 – 3+880: Cut and Cover, c) 3+880 – 4+345: Tunnel, d) 4+345 – 4+412: Cut and Cover, e) 4+412 – 5+096: Tunnel.

For the construction and the safe support of the tunnel, the rock mass was investigated using the RMR and GSI geomechanical methods. According to our investigation, the rockmass is generally characterized as poor to very poor. However, in some parts the quality could be characterized as good or intermediate. The results were compared and empirical relationships were established.

Key words; Σήραγγα (tunnel), ταξινόμηση βραχομάζας (rock mass classification), σήραγγα Πλαταμώνα (tunnel of Platamon)

Εισαγωγή

Η διάνοιξη της σήραγγας του Πλαταμώνα έγινε για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες μιας διπλής σιδηροδρομικής γραμμής υψηλής ταχύτητας με ηλεκτροκίνηση. Η σήραγγα είναι μονού κλάδου και διπλής κατεύθυνσης. Η χάραξη της νέας γραμμής ξεκινά από τα όρια των Νέων Πόρων και του Πλαταμώνα και κατευθύνεται βόρεια διασχίζοντας τον Πλαταμώνα (Εικ. 1). Το ύψος της σήραγγας είναι περίπου 13m. Η σήραγγα, η οποία έχει συνολικό μήκος 2666 m, ξεκινά από τη Χ.Θ. 2+430 του έργου και περιλαμβάνει τα παρακάτω τμήματα:

1. Χ.Θ. 2+430 - 3+818: Υπόγεια εκσκαφή μήκους 1.388m
2. Χ.Θ. 3+818 - 3+880: Cut and Cover (ανοικτό όρυγμα με επανεπίκωση) μήκους 62m
3. Χ.Θ. 3+880 - 4+345: Υπόγεια εκσκαφή μήκους 465m
4. Χ.Θ. 4+345 - 4+412: Cut and Cover μήκους 67m
5. Χ.Θ. 4+412 - 5+096: Υπόγεια εκσκαφή μήκους 684m

ROCK MASS QUALITY ALONG THE UNDER CONSTRUCTION TUNNEL OF PLATAMON

¹Msc.Γεωλόγος, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54006 Θεσσαλονίκη

²Αν. Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54006 Θεσσαλονίκη

³Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54006 Θεσσαλονίκη

⁴Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54006 Θεσσαλονίκη

⁵Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54006 Θεσσαλονίκη

⁶Γεωλόγος, ΕΡΓΑ ΟΣΕ Α.Ε., Καρόλου 27, Αθήνα

Γεωλογικά στοιχεία της περιοχής

Η περιοχή αποτελείται από οφειόλιθους επωθημένους στα Τριαδικό-ιουρασικά πετρώματα του ανθρακικού καλύμματος της Πελαγονικής καθώς και επικλυσηγενώς τοποθετημένους κρητιδικούς ασβεστόλιθους. Κατά την επώθηση, που έλαβε χώρα στο Άνω Ιουρασικό, σχηματίστηκε χαρακτηριστικό οφειολιθικό μίγμα (melange, Μουντράκης, 1985, ΙΓΜΕ, 1987). Η διάταξη των γεωλογικών σχηματισμών κατά μήκος της σήραγγας, δίδεται την γεωλογική τομή της Εικόνας 2.

Η σήραγγα, στην είσοδο της (Χ.Θ. 2+430) διαπερνά έναν έντονα τεκτονισμένο οφειολιθικό σχηματισμό αποτελούμενο, στη θέση αυτή, κυρίως από αμφιβολίτες. Από τη Χ.Θ. 2+550 μέχρι τη Χ.Θ. 2+800 περίπου, η σήραγγα διαπερνά παραποτάμιες αποθέσεις του Τεταρτογενούς, οι οποίες βρίσκονται σε τεκτονική επαφή με τους οφειόλιθους, του οποίους η σήραγγα συναντά εκ νέου στο τμήμα από Χ.Θ. 2+800 μέχρι 2+900 περίπου.

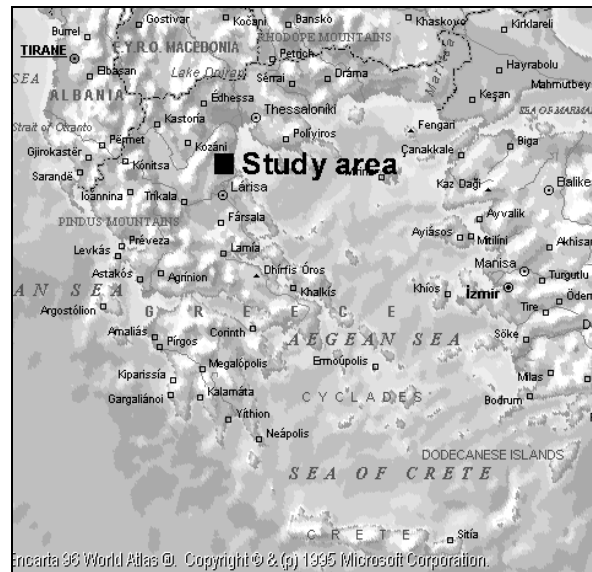
Στη συνέχεια, η σήραγγα διασχίζει, σε μήκος περίπου 100 m, γκριζούς – γκριζόλευκους λεπτοστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις κρητιδικούς ασβεστόλιθους, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι επάνω σε νεογενείς σχηματισμούς (Χ.Θ. 3+000 – Χ.Θ. 3+350).

Τα Νεογενή ιζήματα της περιοχής αποτελούνται από αποθέσεις ρηχής θάλασσας, οι οποίες αποτελούνται από στρώσεις πολύ στιφρών και σκληρών καστανών αμμωδών αργίλων και ιλύος με καστανοκίτρινες και τοπικά γκριζοπράσινες πυκνές αργιλωδείς άμμους με χάλικες και μικρά τεμάχια κρυσταλλικών ασβεστόλιθων και υπερβασικών πετρωμάτων. Ένας όγκος Κρητιδικού ασβεστόλιθου πιθανόν να ολίσθησε κατά το νεογενές από γειτονική περιοχή. Τα ιζήματα του Νεογενούς εμφανίζονται στις θέσεις από Χ.Θ. 2+950 μέχρι Χ.Θ. 3+450.

Από τα στοιχεία που έχουμε συλλέξει, είναι πιθανό ο παραπάνω σχηματισμός που χαρακτηρίστηκε ως «νεογενή ιζήματα» να μην είναι τίποτα άλλο παρά τεκτονικό λατυποπαγές των ασβεστόλιθων στην επαφή τους με τον οφειολιθικό σχηματισμό. Η διερεύνηση όμως αυτού του γεωλογικού προβλήματος αποτελεί ξεχωριστό θέμα, πέραν των ορίων και του στόχου της παρούσας έρευνας.

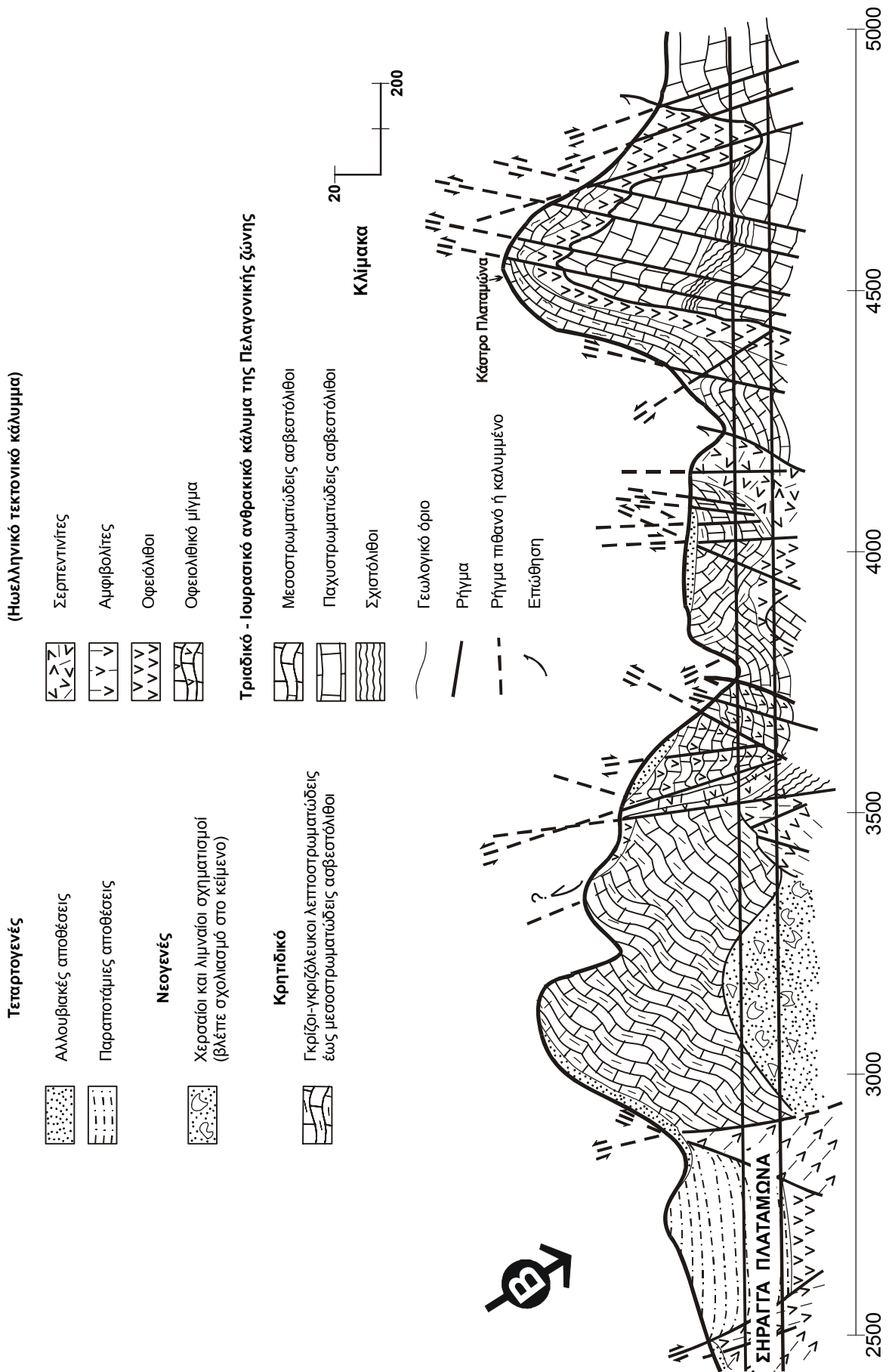
Μετά τα νεογενή ιζήματα η σήραγγα διαπερνά οφειόλιθους αντίστοιχους με αυτούς της Χ.Θ. 2+430. Στη συνέχεια, και μέχρι τη Χ.Θ. 3+750, οι οφειόλιθοι ανακατεύονται με ανθρακικά τριαδικο-ιουρασικά πετρώματα δίνοντας την εντύπωση ενός τεκτονικού μίγματος (melange) που σχηματίστηκε κατά την επώθηση των οφειόλιθων επάνω στο ανθρακικό κάλυμμα της Πελαγονικής.

Οι σχηματισμοί της Πελαγονικής αποτελούνται από εναλλαγές μαύρων και λευκών μαρμάρων με πλήθος τεκτονικών ασυνεχειών, γκριζόμαυρου χρώματος ασβεστόλιθους, λατυποπαγείς ασβεστόλιθους, καστανόλευκους κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, κατακερματισμένα τεμάχια μαρμάρων ανάμεσα στα οποία υπάρχει λεπτόκοκκο υλικό ανθρακικής σύστασης καθώς και λευκά έντονα αποσαθρωμένα μάρμαρα. Οι ανθρακικοί αυτοί σχηματισμοί παρουσιάζουν ποικίλες διευθύνσεις κλίσεως, έντονο τεκτονισμό και πτύχωση. Οι σχηματισμοί αυτοί είναι μεσοστρωματώδεις και κατά θέσεις παχυστρωματώδεις και αποτελούν τμήμα του Ανατολικού ανθρακικού καλύμματος. Η ηλικία τους τοποθετείται στο Τριαδικό-Ιουρασικό.



Εικ. Σφάλμα! Άγνωστη παράμετρος αλλαγής.. Γεωγραφική θέση της περιοχής
Fig. Σφάλμα! Άγνωστη παράμετρος αλλαγής.. Location of the study area

Υ Π Ο Μ Ν Η Μ Α



Εικ. Σφάλμα! Άγνωστη παράμετρος αλλαγής.. Γεωλογική τομή κατά μήκος της σήραγγας Πλαταμώνα

Fig. 2. Geological section along the tunnel of Platamon

Κατά την επίκλυση του Μ.-Α. Κρητιδικού, μαύροι και γκριζοί έως γκριζόλευκοι (λεπτοστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις) ασβεστόλιθοι τοποθετήθηκαν, σε ασυμφωνία, επάνω στα προϋπάρχοντα ανθρακικά πετρώματα (Χ.Θ. 3+850 – 4+100). Στο τμήμα από Χ.Θ. 4+100 μέχρι 4+200 η σήραγγα συναντά σερπεντινίτες του τεκτονικού καλύμματος. Τέλος, από Χ.Θ. 4+200 μέχρι την έξοδο της σήραγγας (Χ.Θ. 5000) η σήραγγα τριαδικούς μεσοστρωματώδεις ασβεστόλιθους, επωθημένους οφειόλιθους (Χ.Θ. 4+400 και Χ.Θ. 4+800) και τριαδικούς παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθους με ενστρώσεις σχιστολίθων. Επί των σχηματισμών αυτών, τοποθετούνται κρητιδικοί ασβεστόλιθοι.

Γεωμηχανική ταξινόμηση βραχομάζας κατά RMR (Bieniawski, 1976)

Για την ταξινόμηση της βραχομάζας κατά RMR χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω πληροφορίες: Η αντοχή του συμπαγούς πετρώματος, η παρουσία του υπογείου νερού, η ποιότητα του πετρώματος RQD και η κατάσταση των ασυνεχειών. Η κατάσταση των ασυνεχειών περιγράφεται με την απόσταση των ασυνεχειών, το μήκος τους, το άνοιγμά τους, την τραχύτητα των τοιχωμάτων τους, την αποσάθρωση των τοιχωμάτων και τη σκληρότητα του υλικού πλήρωσης.

Τα παραπάνω στοιχεία συλλέχθηκαν σε κάθε βήμα της εκσκαφής, με στόχο τη συστηματική ταξινόμηση της βραχομάζας κατά μήκος της σήραγγας. Από την αξιολόγηση των μετρήσεων πεδίου διαπιστώνεται ότι η ποιότητα της βραχομάζας, στο τμήμα από Χ.Θ.2+430 έως Χ.Θ.4+222, είναι φτωχή έως πολύ φτωχή με μερικές θέσεις μόνο μέτριας ποιότητας. Στις θέσεις αυτές συναντώνται οφειολιθικοί σχηματισμοί, χαλαρά ιζήματα του Τεταρτογενούς, ιζήματα του Νεογενούς, έντονα κατακερματισμένοι ασβεστόλιθοι της Πελαγονικής ζώνης ηλικίας Τριαδικού-Ιουρασικού, και γκριζος έως γκριζόλευκος ασβεστόλιθος του Κρητιδικού.

Από Χ.Θ.4+222 έως Χ.Θ.4+459 οι ασβεστόλιθοι της Πελαγονικής και οι οφειόλιθοι που συναντώνται χαρακτηρίζονται μέτριας έως φτωχής ποιότητας. Από Χ.Θ. 4+459 έως Χ.Θ. 4+696 συναντώνται παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι του Κρητιδικού, ενδιαστρώσεις σχιστολίθων. Η βραχομάζα σ' αυτή τη θέση χαρακτηρίζεται ως μέσης ποιότητας βραχομάζα με θέσεις καλής αλλά και φτωχής ποιότητας. Η φτωχή ποιότητα της βραχομάζας οφείλεται στην εμφάνιση των σχιστολιθικών σχηματισμών. Από Χ.Θ.4+696 έως Χ.Θ.4+782 η βραχομάζα είναι φτωχή και κατά θέσεις πολύ φτωχή εξαιτίας της επώθησης του οφειολιθικού σχηματισμού στον παχυστρωματώδη ασβεστόλιθο. Τέλος στις Χ.Θ.4+782 έως Χ.Θ.5+079 ξανασυναντάται ο παχυστρωματώδης ασβεστόλιθος του Κρητιδικού και γι' αυτό η βραχομάζα χαρακτηρίζεται μέσης έως καλής ποιότητας. Τέλος, από Χ.Θ.5+079 έως Χ.Θ. 5+096 οι ασβεστόλιθοι που εμφανίζονται είναι ισχυρά κερματισμένοι και η βραχομάζα χαρακτηρίζεται φτωχής έως πολύ φτωχής ποιότητας. Άρα, οι παραποτάμιες αποθέσεις του Τεταρτογενούς, οι χερσαίοι και λιμναίοι σχηματισμοί του Νεογενούς, οι σχιστόλιθοι και οι σχηματισμοί που συνιστούν το οφειολιθικό μίγμα (melange), απαιτούν πρόσθετα μέτρα υποστήριξης. Δευτερογενώς ευαίσθητοι σχηματισμοί είναι οι οφειολιθικοί σχηματισμοί, ο γκριζόχρωμος κρυσταλλικός ασβεστόλιθος του Κρητιδικού, και οι λεπτοστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι Τριαδικού-Ιουρασικού (Πίνακας 3).

Στο σύνολό της η ποιότητα της βραχομάζας χαρακτηρίζεται φτωχή έως πολύ φτωχή με τοπικές θέσεις καλής έως μέτριας ποιότητας.

Γεωτεχνική ταξινόμηση βραχομάζας σύμφωνα με τον Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής (GSI)

Η γεωτεχνική ταξινόμηση σύμφωνα με τον Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής (GSI, *Hoek et al, 1998*) στηρίζεται στην ποιοτική εκτίμηση του συνόλου της βραχομάζας κι όχι μόνο των μηχανικών χαρακτηριστικών της. Ο χαρακτηρισμός της βραχομάζας βασίζεται στην ταξινόμηση της δομής του πετρώματος, όσον αφορά τους όγκους που σχηματίζονται εξαιτίας των κατατμήσεων και των διακλάσεων, καθώς και την επιφανειακή κατάσταση των ασυνεχειών. Έτσι, γνωρίζοντας την κατά-

σταση των τοιχωμάτων των διακλάσεων και τη δομή της επιφάνειας δημιουργείται μια βάση για την περιγραφή μιας ευρείας σειράς τύπων βραχωδών μαζών από όπου μπορεί να εκτιμηθεί η τιμή του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής (*Hoek, 1994*).

Έναντι της μεθόδου RMR, η μέθοδος αυτή στηρίζεται περισσότερο στην γεωλογική παρατήρηση φαίνεται όμως να καταλήγει σε περισσότερο συντηρητικά αποτελέσματα. Έτσι, σύμφωνα με τη μελέτη των Hoek et al, 1998, για το σχιστόλιθο της περιοχής Αθηνών, η μέθοδος GSI έδωσε τιμές μικρότερες από τις τιμές που έδωσε η μέθοδος RMR.

Πίνακας 1. Τιμές ταξινόμησης κατά RMR και GSI κατά μήκος της σήραγγας (τιμές RMR: από αρχείο «ΕΡΓΟΣΕ»)

Table 1. RMR and GSI rock mass classification along the tunnel (RMR values: according to “ERGOSE Co” archives)

<i>X.θ. - X.θ.</i>	<i>RMR</i>	<i>GSI</i>	<i>X.θ. - X.θ.</i>	<i>RMR</i>	<i>GSI</i>
2+430-2+525	0-20	10-20	4+445-4+459	42-47	40-45
2+525-2+884	0-20	<10	4+459-4+464	40	35-40
2+884-2+930	35-38	30-35	4+464-4+492	30-38	30-35
2+930-2+979	25-27	30-35	4+492-4+502	29	30-35
2+979-3+349	0-20	10-20	4+502-4+581	0-20	20-25
3+349-3+354	26	20-25	4+581-4+621	45-51	45-50
3+354-3+386	30-32	35-40	4+621-4+641	32-35	35-40
3+386-3+480	25-28	25-30	4+641-4+683	45-52	35-40
3+480-3+550	0-20	10-20	4+683-4+696	21-29	30-35
3+550-3+583	0-20	20-25	4+696-4+752	0-20	10-20
3+583-3+608	25	20-25	4+752-4+760	42	40-45
3+608-3+668	0-20	20-25	4+760-4+765	69	50-55
3+668-3+685	21-29	25-30	4+765-4+780	50	45-50
3+685-3+703	41-45	35-40	4+780-4+782	70	50-55
3+703-3+755	0-20	20-25	4+782-4+792	57-60	45-50
3+750-3+800	0-20	15-25	4+792-4+795	47	40-45
3+800-3+818	0-20	15-20	4+795-4+802	60	45-50
3+880-3+933	16-18	20-25	4+802-4+815	66-69	50-55
3+933-3+946	16-18	20-25	4+815-4+825	57	45-50
3+946-3+955	31	30-35	4+825-4+829	47-48	40-45
3+955-4+005	18-19	20-25	4+829-4+900	0-20	20-25
4+005-4+025	30-38	35-40	4+900-4+909	0-20	25-30
4+025-4+076	41-45	40-45	4+909-4+911	34	30-35
4+076-4+175	0-20	15-20	4+911-5+012	43-51	40-45
4+175-4+189	21-23	25-30	5+012-5+051	61-64	50-55
4+189-4+216	0-20	20-25	5+051-5+064	45-49	40-45
4+216-4+222	22-24	25-30	5+064-5+073	61	50-55
4+222-4+345	0-20	20-25	5+073-5+079	48	40-45
4+407-4+439	0-20	25-30	5+079-5+089	36-38	35-40
4+439-4+445	36-37	35-40	5+089-5+095	0-29	25-35

Πίνακας 2. Εκτίμηση του μέτρου παραμόρφωσης**Table 2.** Estimation of the deformation modulus.

Είδος σχηματισμού	Μονοαξονική αντοχή σ_{ci} (MPa)	Μέτρο Παραμόρφωσης, E_m (GPa)	Κατηγορία βραχομάζας
Παραποτάμιες αποθέσεις Τεταρτογενούς	4	0,2-0,35	C
Χερσαίοι και λιμναίοι σχηματισμοί Νεογενούς	6	0,24-0,43	B ⁻ - C ⁺
Σερπεντινίτες Ηωελληνικού τεκτονικού καλύμματος	29	0,54-1,71	B
Γκριζοί-γκριζόλευκοι λεπτοστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι Κρητιδικού	21	0,83-3,45	A ⁻ - B
Παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι Κρητιδικού	52	2,28-9,6	A ⁻ - B
Εναλλαγές μαύρων και λευκών μαρμάρων Τριαδικού-Ιουρασικού	52	1,28-1,71	B ⁺
Γραφιτικός σχιστόλιθος Τριαδικού-Ιουρασικού	24	0,64-0,76	B ⁻

Πίνακας 3: Ταξινόμηση της ποιότητας των γεωλογικών σχηματισμών κατά RMR και GSI κατά μήκος της σήραγγας.**Table 3.** Rock mass classification according to methods of RMR and GSI.

Γεωλογικός σχηματισμός	Εύρος GSI	Κατηγορία ταξινόμησης RMR	Εύρος RMR
Παραποτάμιες αποθέσεις	<10	V	0-20
Χερσαίοι και λιμναίοι σχηματισμοί	10-20	V	0-20
Σερπεντινίτες	10-30	V - IV	0-23
Αμφιβολίτες	25-35	V - IV	0-38
Οφειόλιθοι	10-35	V - IV	0-29
Σχιστόλιθοι	10-20	V	0-20
<i>Ασβεστολιθικά πετρώματα Πελαγονικής ζώνης</i>			
Γκριζόχρωμος κρυσταλλικός ασβεστόλιθος	20-25	V	16-18
Εναλλαγές μαύρων και λευκών μαρμάρων	20-30	V - IV	0-25
Λατυποπαγής ασβεστόλιθος	25-40	IV - III	21-45
Τεμάχη μαρμάρου σε αμμόδες υλικό	10-20	V	0-20
Έντονα κατακερματισμένοι λεπτοστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι	20-25	V	16-18
Τεκτονικό λατυποπαγής	10-20	V	0-20
Εξαλλειωμένα μάρμαρα χωρίς στρώση	10-20	V	0-20
<i>Ασβεστόλιθοι Κρητιδικού</i>			
Γκριζοί-γκριζόλευκοι λεπτοστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι	20-45	III - IV - V	0-48
Παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι	30-55	IV - III - II	21-70

Οι τιμές που προέκυψαν από την ταξινόμηση που πραγματοποιήσαμε στη σήραγγα του Πλαταμώνα, φαίνονται στον Πίνακα 1. Σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά GSI η βραχομάζα μπορεί να χαρακτηριστεί στο σύνολό της ως βραχομάζα μέσης έως μικρής αντοχής.

Η τιμή του GSI σε συνάρτηση με τη μονοαξονική συμπίεστική τάση σ_{ci} μπορεί να οδηγήσει στην εκτίμηση του μέτρου παραμόρφωσης E_m της βραχομάζας σύμφωνα με τη σχέση:

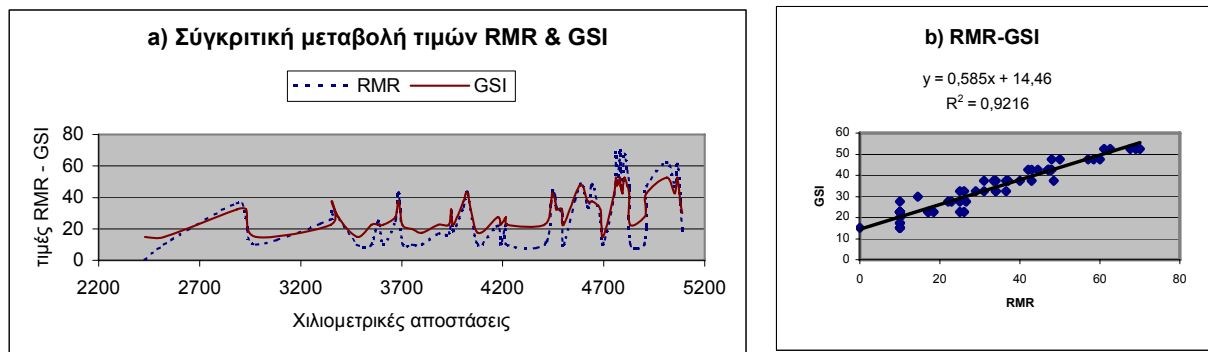
$$E_m = (\sigma_{ci}/100)^{1/2} \times 10^{[(GSI-10)/40]} \quad (E_m \text{ σε GPa, και ισχύει για } \sigma_{ci} < 100 \text{ MPa, Hoek \& Brown, 1998})$$

Λαμβάνοντας υπ' όψη και τα αποτελέσματα της δοκιμής σημειακής φόρτισης που πραγματοποιήσαμε σε αντιπροσωπευτικά δείγματα, εκτιμήσαμε το μέτρο παραμόρφωσης E_m που δίνεται στον Πίνακα 2, για τους σχηματισμούς που μελετήσαμε, κατά μήκος της σήραγγας.

Στον Πίνακα 3 δίνεται συνοπτικά συγκριτική ποιοτική ταξινόμηση βάση των μεθόδων RMR και GSI, κατά γεωλογικό σχηματισμό όπου μπορούν να διαγνωστούν οι ασθενέστεροι σχηματισμοί.

Συζήτηση των αποτελεσμάτων

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων για τους διάφορους σχηματισμούς, που δίδονται στον Πίνακα 3, φαίνεται ότι το εύρος των τιμών GSI είναι πιο περιορισμένο από το εύρος των τιμών RMR δίνοντας έτσι πιο λεπτομερή και συγχρόνως πιο ρεαλιστική περιγραφή των πραγματικών συνθηκών ποιότητας της βραχομάζας. Τοποθετώντας τις τιμές RMR και GSI (που εκτιμήθηκαν κατά μήκος της σήραγγας, στις ίδιες χιλιομετρικές θέσεις) σε διάγραμμα συσχέτισης προκύπτει η σχέση $GSI = 0,585RMR + 14,46$ με συντελεστή συσχέτισης $R^2 = 0,92$ (Εικ.3).



Εικ. Σφάλμα! Άγνωστη παράμετρος αλλαγής.. Διαγράμματα **a)** συγκριτικής μεταβολής και **b)** συσχέτισης των τιμών RMR και GSI, κατά μήκος της σήραγγας του Πλαταμώνα.

Fig. 3. Diagrams of **a)** comparable change and **b)** correlation of RMR and GSI values along the tunnel

Σύμφωνα με την παραπάνω εμπειρική σχέση, οι τιμές GSI και RMR ταυτίζονται για πτωχής ποιότητας βραχομάζα, στα όρια των κατηγοριών IV – III ($GSI \cong RMR \cong 35$). Η παραπάνω εμπειρική σχέση εκτιμήθηκε από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν τόσο σε οφειολιθικά όσο και σε ανθρακικά πετρώματα.

Με βάση τα αποτελέσματα των δύο παραπάνω ταξινομήσεων, ο σχηματισμός των οφειολίθων στις Χ.Θ.2+540-2+870 και Χ.Θ.3+500-3+550 απαιτεί αυξημένα μέτρα υποστήριξης. Στο συμπέρασμα αυτό καταλήγουν και οι δυο ταξινομήσεις. Οι οφειόλιθοι στις Χ.Θ.4+200-4+350 και Χ.Θ.4+830-4+900 απαιτούν ισχυρότερα μέτρα υποστήριξης σύμφωνα με τη μέθοδο RMR, ενώ οι ασβεστόλιθοι που βρίσκονται στις Χ.Θ.3+680, Χ.Θ.3+900-4+000, Χ.Θ.4400, Χ.Θ.4+580-4+700 (παχυστρωματώδης ασβεστόλιθος), Χ.Θ.4+750-4+830, Χ.Θ.4+900-5+100 δεν χρειάζονται άμεση υποστήριξη σύμφωνα και με τις δύο μεθόδους. Περισσότερο αυξημένη υποστήριξη σύμφωνα με τη μέθοδο GSI απαιτούν οι ασβεστόλιθοι των θέσεων Χ.Θ.2+900-3+000 και Χ.Θ.3+300-3+500. Αντίθετα, σύμφωνα με τη μέθοδο RMR ο ασβεστολιθικός όγκος της θέσης Χ.Θ.4+350-4+500 απαιτεί ισχυρότερη υποστήριξη.

Συμπεράσματα

Η περιοχή της σήραγγας του Πλαταμώνα αποτελείται από οφειόλιθους επωθημένους πάνω στα Τριαδικοϊουρασικά ανθρακικά πετρώματα του καλύμματος της Πελαγονικής ζώνης. Η σήραγγα διαπερνά οφειολιθικούς σχηματισμούς, Κρητιδικό ασβεστόλιθο, ιζήματα του Νεογενούς, σχηματισμούς του οφειολιθικού μίγματος, Τριαδικοϊουρασικούς ασβεστόλιθους του ανθρακικού καλύμμα-

τος της Πελαγονικής ζώνης, σχηματισμούς οφειολίθων επωθημένων επάνω στον παχυστρωματώδη ασβεστόλιθο της Πελαγονικής ζώνης.

Οι γεωτεχνικές ταξινομήσεις της βραχομάζας σύμφωνα με τη μέθοδο του RMR (Beniawski, 1976) και με τη μέθοδο του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής (GSI, Hoek et al, 1998) έδειξαν πως ο σχηματισμός των οφειολίθων απαιτεί αυξημένα μέτρα υποστήριξης στις Χ.Θ.2+540-2+870 και Χ.Θ.3+500-3+550, ενώ οι θέσεις του παχυστρωματώδους ασβεστόλιθου δεν απαιτούν άμεση υποστήριξη. Ισχυρή υποστήριξη σύμφωνα με τη μέθοδο RMR απαιτούν οι οφειόλιθοι στις Χ.Θ.4+200-4+350 και Χ.Θ.4+830-4+900 καθώς και ο ασβεστόλιθος της Χ.Θ.4+350-4+500. Η μέθοδος του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής (GSI) προτείνει ισχυρότερη υποστήριξη για τους ασβεστόλιθους των Χ.Θ.2+900-300 και Χ.Θ.3+300-3+500. Οι ασβεστόλιθοι που δεν χρειάζονται άμεση υποστήριξη, σύμφωνα με τις δύο μεθόδους, βρίσκονται στις Χ.Θ.3+680, Χ.Θ.3+900-4+000, Χ.Θ.4400, Χ.Θ.4+580-4+700 (παχυστρωματώδης ασβεστόλιθος), Χ.Θ.4+750-4+830, Χ.Θ.4+900-5+100.

Συγκρίνοντας τις τιμές των δύο μεθόδων προκύπτει ότι οι τιμές GSI έχουν μικρότερο εύρος από τις τιμές RMR με αποτέλεσμα η μέθοδος του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής να δίνει πιο λεπτομερή και πιο ρεαλιστική περιγραφή των πραγματικών συνθηκών της βραχομάζας γεγονός που αντανακλά και στη λεπτομερέστερη περιγραφή των μέτρων υποστήριξης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας η μεταβολή των τιμών RMR και GSI ορίζεται από τη σχέση $GSI = 0,585RMR + 14,46$ εμφανίζοντας σημαντική συσχέτιση, $R^2 = 0,92$.

Ευχαριστίες

Ευχαριστούμε την ΕΠΓΟΣΕ για τα στοιχεία που μας διέθεσε, τα οποία αξιολογήσαμε κατάλληλα με στόχο την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

Βιβλιογραφία

- Afrouz, A. (1992):** "Rock Mass Classification Systems and Modes of Ground Failure", *CRC Press, Inc., 2000 Corporate Blvd., N.W., Boca Raton, Florida*, p.p.195.
- Beniawski, Z.T. (1976):** "Rock mass classification in rock engineering", *Proc. Symp. Exploration Engineering, Johannesburg*, pp. 97-106.
- Hoek, E. (1994):** "Strength of rock and rock masses", *ISRM News J, V2*, pp. 4-16.
- Hoek, E. & Brown, Et. (1998):** "Practical estimates of rock mass strength", *Int J Rock Mech Min Sci*, V34, pp. 1165-1186.
- Hoek, E., Marinos, P., Benissi, M. (1998):** "Applicability of the geological strength index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens Schist Formation", *Bull. Eng. Geol. Env.*, V57, pp. 151-160.
- Ι.Γ.Μ.Ε. (1987):** "Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος, κλίμακας 1:50.000 - Φύλλο Ραψάνη"
- Μουντράκης, Δ. (1985):** "Γεωλογία της Ελλάδας", *University Studio Press, Θεσσαλονίκη*, 207p.