

Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ **ΣΤΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ**

Γρ. Σαμπατακάκης, Διπλ. Πολ. Μηχανικός M. Sc.
Μέλος της Ε.Ε. Αντισεισμικής Μηχανικής Τ.Ε.Ε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κατασκευή σηράγγων, υδροηλεκτρικών έργων και σε ορισμένες περιπτώσεις, τοίχων αντιστήριξης ως και η ευστάθεια πρανών βασίζεται στη χρήση εκτοξευομένου σκυροδέματος μόνου ή σε συνδυασμό με άλλα σύγχρονα μέσα υποστήριξης και ενίσχυσης όπως μεταλλικές ίνες, πλέγμα οπλισμού, μεταλλικά πλαίσια, αγκύρια κ.λ.π.

Ιδιαίτερα η κατασκευή σηράγγων με τη μέθοδο NATM δηλαδή με εκσκαφή και άμεση υποστήριξη των πρανών της σήραγγας γίνεται με κατάλληλο συνδυασμό των προαναφερθέντων μέσων υποστήριξης.

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΡΓΩΝ ΜΕ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Βασική εφαρμογή του εκτοξευομένου σκυροδέματος γίνεται στα υπόγεια έργα. Ευρεία εφαρμογή του εκτοξευομένου σκυροδέματος γίνεται στις διανοιγόμενες σήραγγες στη χώρα μας, κυρίως με τη μέθοδο NATM.

Η χρήση του εκτοξευομένου σκυροδέματος αλλά και των λοιπών υλικών υποστήριξης τα τελευταία έτη αφ' ενός και αφ' ετέρου οι οργανομετρήσεις συμπεριφοράς της βραχόμαζας συναρτήσει του χρόνου, σε συνδυασμό με την εμπειρία καθιστά δυνατή την παρακολούθηση της εξέλιξης των δυνάμεων στο πέριξ της εκσκαφής χώρο έως στην εξεύρεση της ισορροπίας του με αποτέλεσμα η βραχόμαζα από φορέας φορτίων να γίνεται φέρον στοιχείο.

Η ορθή και στον κατάλληλο χρόνο αλληλοδιαδοχή των μέσων υποστήριξης ανακατανέμει τις τάσεις στην περίμετρο της εκσκαφής και δημιουργεί φέρουσα κατασκευή με συμμετοχή και της περιβάλλουσας την σήραγγα βραχόμαζας.

Η άμεση και όσο το δυνατό ταχύτερη εφαρμογή του εκτοξευομένου σκυροδέματος κατά την διάνοιξη της σήραγγας έχει ως αποτέλεσμα την διατήρηση και ενίσχυση της αλληλοεμπλοκής των βραχοτεμαχών, την αποτροπή της χαλάρωσης της βραχόμαζας και την αποφυγή ανάληψης μεγαλύτερων φορτίων από το σύστημα υποστήριξης.

Συγκεκριμένα η ανάλυση της διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης της σήραγγας περιλαμβάνει την ελαστοπλαστική μελέτη της συμπεριφοράς της βραχομάζας που περιβάλλει την σήραγγα κατά τις διαδοχικές φάσεις διάνοιξής της.

Η πρόσφατη ανάπτυξη ισχυρών προγραμμάτων αριθμητικών αναλύσεων όπως FLAC και PHASES είχε ως συνέπεια να αναλύεται η ελαστο-πλαστική εντατική κατάσταση της βραχομάζας περίξ του εκσκαπτομένου της σήραγγας χώρου κατά τις διάφορες φάσεις της εκσκαφής και υποστήριξής της με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, αγκύρια και χαλύβδινα πλαίσια κατά τον σχεδιασμό της σήραγγας.

Οι αναλύσεις διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης των διατομών αυτών βασίζονται στα αποτελέσματα των γεωτεχνικών ερευνών που εκτελέστηκαν στην περιοχή των υπό μελέτη έργων, στις εκτιμήσεις του πιθανού εύρους των τιμών των γεωτεχνικών παραμέτρων της βραχομάζας που περιβάλλει τη σήραγγα κατά μήκος της χάραξης ως και στις λοιπές γεωτεχνικές παραδοχές φορτίσεων.

Επί παραδείγματι η αξιολόγηση των γεωτεχνικών ερευνών της Κακιάς Σκάλας κατέταξε τις κατά την διάνοιξη των σηράγγων αναμενόμενες κατηγορίες βραχομάζας σύμφωνα με τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά τους σε πέντε κατηγορίες: Α (RMR: 55-70), Β (RMR : 40-54), Γ (RMR: 30-39), Δ (RMR : 20-29) και Ε (κορήματα – έδαφος).

Η βραχομάζα και τα αγκύρια θεωρούνται ότι έχουν ελαστοπλαστική συμπεριφορά και η βραχομάζα θεωρείται ότι ακολουθεί το κριτήριο Hoek – Brown στις κατηγορίες Α,Β,Γ,Δ και το MOHR – COULOMB στην περίπτωση Ε (έδαφος).

Το υπολογιστικό πρόγραμμα PHASES υπολογίζει το εύρος της περιοχής γύρω από την σήραγγα που έχει υποστεί πλαστικές παραμορφώσεις και υπολογίζει τις μετακινήσεις της βραχομάζας περίξ του εκσκαπτομένου χώρου καθώς και τα εντατικά μεγέθη (αξονικές δυνάμεις και καμπτικές ροπές) στην προσωρινή επένδυση από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και πλαίσια (πιθανόν) ως και τις αξονικές δυνάμεις στα αγκύρια.

Οι υπολογισμοί γίνονται σε κάθε φάση εκσκαφής και στις περιπτώσεις ύψους υπερκειμένων γαιών που αναμένεται να συναντηθούν και καταλήγουν στις τυπικές διατομές υποστήριξης ΔΣ1, ΔΣ2, ΔΣ3, ΔΣ4, ΔΣ-ΣΤΟΜΙΟΥ. Παρατηρούμε την αύξηση του πάχους του εκτοξευομένου σκυροδέματος στις χαμηλότερες από γεωτεχνική άποψη ποιότητες βραχομάζας και στην απαίτηση για ισχυρότερα μέτρα υποστήριξης (ΠΙΝΑΚΑΣ 1 – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1). Η ευστάθεια της διατομής και η επάρκεια των μέτρων υποστήριξης συνεκτιμάται από το μέγεθος των συγκλίσεων του τοιχώματος της διατομής, του εύρους των ζωνών πλαστικοποίησης γύρω από την σήραγγα, της αξονικής δύναμης των αγκυρίων και του αριθμού των αγκυρίων που πλαστικοποιούνται ως και της αξονικής δύναμης των μέτρων προσωρινής επένδυσης από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και χαλύβδινα πλαίσια.

Από στοιχεία σχεδιασμού των σηράγγων της Κακιάς Σκάλας παρατηρείται ανάλογα με την φάση εκσκαφής (Α' ή Β') η ποιότητα της βραχομάζας και το ύψος υπερκειμένων της διανοιγόμενης σήραγγας, η κατανομή της αξονικής δύναμης στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και βάσει της μέγιστης της τιμής με εκλογή κατάλληλου πάχους ώστε η μέγιστη αναπτυσσόμενη θλιπτική τάση να είναι μικρότερη από την αντοχή β_b της χρησιμοποιούμενης ποιότητας εκτοξευόμενου σκυροδέματος (ΠΙΝΑΚΑΣ 1).

Σημειώνεται ότι οι καμπτικές ροπές που αναπτύσσονται στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα είναι πολύ μικρές. Τούτο οφείλεται στην ευκαμψία της μεμβράνης του εκτοξευομένου σκυροδέματος αλλά και στην βαθμιαία αύξηση του μέτρου ελαστικότητάς του σε σχέση με τον ρυθμό πρόωθησης του μετώπου της σήραγγας.



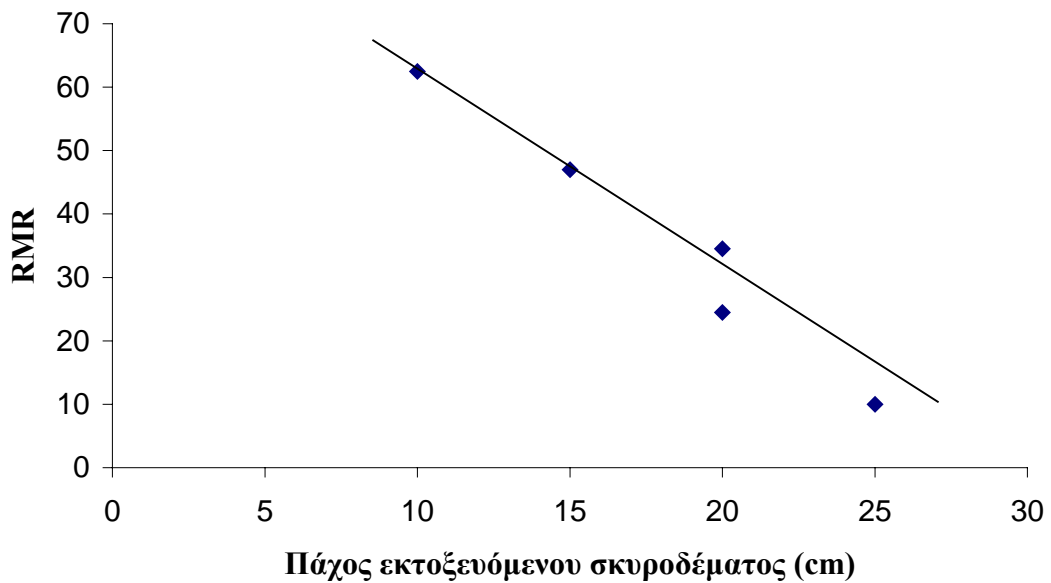
Δυσμενείς γεωλογικές – γεωτεχνικές συνθήκες που αντιμετωπίζονται από συνδυασμό εκτοξευομένου σκυροδέματος - πλαισίων – δοκίδων προπορείας κλπ.



ΠΙΝΑΚΑΣ 1

ΠΑΧΟΣ t ΕΚΤΟΞ. ΣΚΥΡΟΔ.	ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	ΥΨΟΣ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΩΝ	F (MN/M)	β_b (MPa)
10	ΔΣ-1	A	40	0.12	1,2
		A	90	0.30	3.0
15	ΔΣ-2	B	40	1.2	8.0
		B	90	2.4	16
20	ΔΣ-3α	Γ	40	0.95	4.75
		Γ	90	2.35	11.75
20	ΔΣ-3β	Δ	40	1.4	7.0
		Δ	60	2.2	11
25	ΔΣ-4α	Δ	40	1.5	6.0
			70	2.7	10.8
			90	3.8	15.2
25	ΔΣ-4β	E	40	1.8	7.2
			70	3.7	14.8
25	ΔΣ-ΣΤΟΜΙΟΥ	Δ	10	0.50	2.0
			40	1.45	5,8
25	ΔΣ-ΣΤΟΜΙΟΥ	E	10	0.75	3.0
			40	1.90	7,60

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1





Μεταλλική εξέδρα χρησιμεύουσα ως δάπεδο εργασίας για την κατασκευή φρεατοπασσάλων του πασσαλοτοίχου αντιστήριξης Εθνικής οδού Αθηνών – Κορίνθου





Μετωπικός πασσαλότοιχος στο δυτικό στόμιο της σιδ/κής σήραγγας ΣΣ3 Κακιά Σκάλα



Πασσαλότοιχοι στο δυτικό στόμιο σιδ/κής σήραγγας ΣΣ3 Κακιά Σκάλα

Ομοίως, σε πρανή μεγάλου ύψους στα στόμια των σιδηροδρόμων ή σε δημιουργημένα ορύγματα που επιβάλλονται από την χάραξη της οδοποιίας ή του επιχώματος της σιδηρικής γραμμής και με σκοπό την ευστάθειά των, επιβάλλεται από την ανάλυση η διερεύνηση αστοχίας των στα επίπεδα ασυνεχειών.

Η σύνθεση και εικόνα του σχηματισμού που απαρτίζουν τη μάζα του πρανού και οι αναλύσεις αντιμετωπίζονται συνδυαστικά με τη χρήση ικανού πάχους εκτοξευμένου σκυροδέματος, κανάβου αγκυριών ικανού μήκους για την διάτρηση, αντιστήριξη και αλληλοσύνδεση των ογκολίθων που απαρτίζουν το πρανές, χαλύβδινου πλέγματος με ταυτόχρονη κατασκευή τάφρων, αναβαθμίδων και αποστραγγιστικών οπών.

Ευρεία χρήση εκτοξευμένου σκυροδέματος γίνεται κατά την κατασκευή πασσαλοτοίχων αντιστήριξης πρανών σε υπαίθρια προσωρινά έργα όπως επί παραδείγματι στην περίπτωση που η είσοδος ή έξοδος σιδηρικής σιδηροδρόμου στην περιοχή Ευταξία αλλά και στην Κακιά Σκάλα βρίσκεται σε επαφή με τη βάση πρανού του αυτοκινητοδρόμου και η χάραξη της σιδηρικής γραμμής διέρχεται ανισόπεδα και κάτω από την εθνική οδό με χαμηλό ύψος υπερκειμένων. Στις περιπτώσεις αυτές κατασκευάζονται πασσαλότοιχοι – πετάσματα από τον συνδυασμό μικροπασσάλων ή φρεατοπασσάλων, αγκυριών και εκτοξευμένου σκυροδέματος τόσο για την αντιστήριξη των πρανών της εθνικής οδού όσο και την ευστάθεια στο μέτωπο της σιδηροδρόμου πριν την εκσκαφή και διάνοιξη της..

Άλλο σημαντικό τμήμα τεχνικών έργων όπου χρησιμοποιείται το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα είναι στα φρεάτια θεμελίωσης βάθρων γεφυρών.(σιδηρικές γέφυρες Κακιάς Σκάλας, σιδηρική γέφυρα Ισθμού)

Συγκεκριμένα η διαδικασία κατασκευής του μανδύα από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα του φρέατος θεμελίωσης του βάθρου σε σιδηρική γέφυρα της Κακιάς Σκάλας γίνεται ως εξής:

- α) Διάνοιξη οπών ανά ένα μέτρο επί της περιφέρειας διαμέτρου 6,25m. Η συνολική διάνοιξη γίνεται σε βάθος 1,5 ή 2m περίπου κάτω από τον πυθμένα της εκσκαφής που βρίσκεται σε βάθος 20 περίπου μέτρων.
- β) Τοποθέτηση σε κάθε οπή μιας σιδηροδοκού IPB120 και πλήρωση της οπής με άοπλο σκυρόδεμα B5.
- γ) Κατασκευή περιμετρικού επιφανειακού δακτυλίου από σκυρόδεμα B25 πλάτους 0,80m και πάχους 0,25m για δέσιμο των δοκών.
- δ) Εκσκαφή με βήμα βάθους 2m, αποκάλυψη των σιδηροδοκών και στερέωση με συγκόλληση επί των δοκών δομικού πλέγματος T139.
- ε) Σκυροδέτηση του περιμετρικού μανδύα από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα B25, ο οποίος θα ενσωματώσει τις σιδηροδοκούς.
- στ) Επανάληψη των φάσεων δ και ε με βήμα εκσκαφής 2m εκτός των τελευταίων 2m, όπου σκάβουμε με βήμα 1m.
- ζ) Έπεται το σιδέρωμα και η σκυροδέτηση από έγχυτο σκυρόδεμα ανά φάσεις με συγκεκριμένο βήμα που έχει εξαχθεί από ειδική μελέτη από τη βάση του φρέατος θεμελίωσης έως την επιφάνεια και με προηγούμενο έλεγχο της διαφοράς θερμοκρασίας που υπάρχει μέσα στο φρέαρ και στον περιβάλλοντα χώρο έξω από το φρέαρ.



Φρέαρ θεμελίωσης βάθρου σιδ/κής γέφυρας ΣΓ5 Κακιά Σκάλα





Ανατολικό στόμιο σιδ/κής σήραγγας ΣΣ3 Κακιά Σκάλα



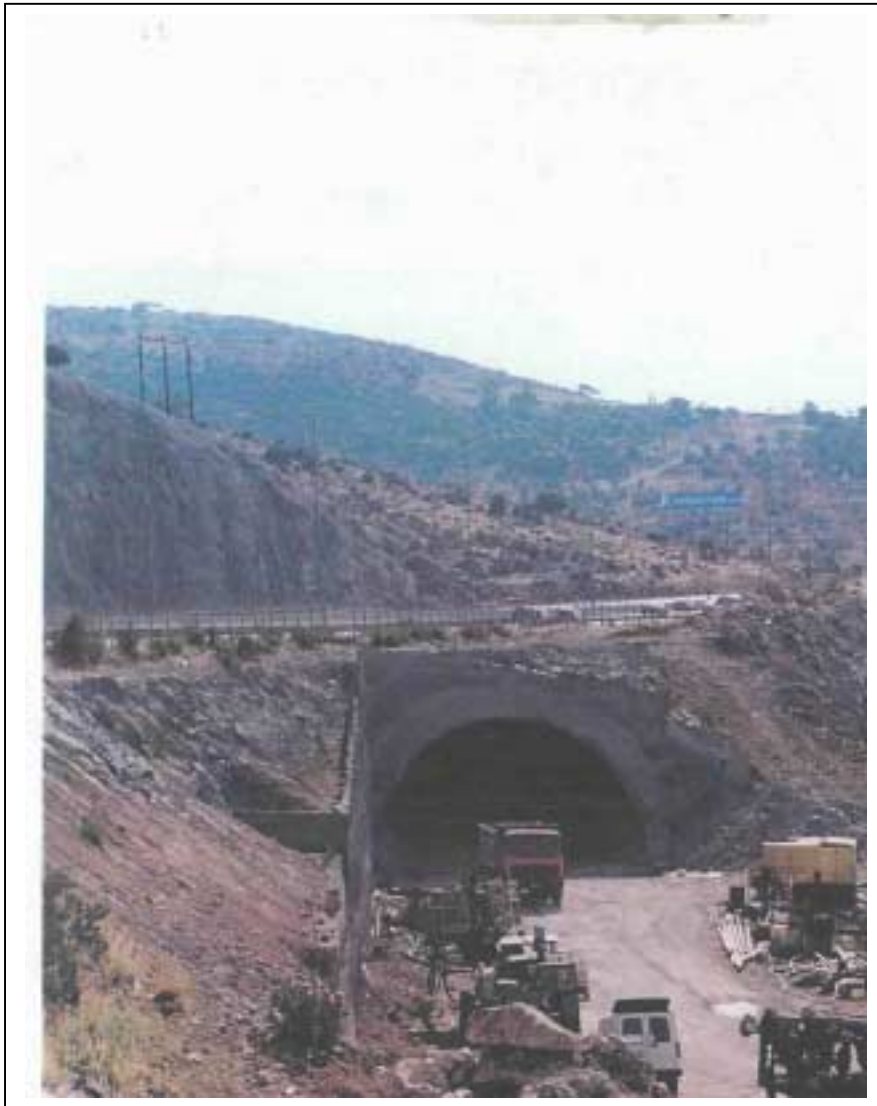
Αντιστηριζόμενο πρανές μεταξύ ΣΓΥΤ και νέας Εθνικής οδού Αθηνών - Κορίνθου

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εξέλιξη που έχει παρουσιάσει η τεχνολογία του εκτοξευομένου σκυροδέματος κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών κατέστησε αυτό βασικό μέσο υποστήριξης και αντιστήριξης και με ευρείας συνεχώς αναπτυσσόμενη χρήση στα μεγάλα τεχνικά έργα (σήραγγες, μεταλλεία, υδροηλεκτρικά έργα, ευστάθεια πρανών) που κατασκευάζονται στην χώρα μας αλλά και πολύτιμο μέσο για μελετητές και κατασκευαστές .

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Στοιχεία από τη μελέτη και την κατασκευή των σιδ/κών έργων στα τμήματα Ευταξία , Κακιά Σκάλα και Ισθμός της νέας διπλής σιδ/κής Γραμμής υψηλών ταχυτήτων Αθηνών – Κορίνθου.



Δυτικό στόμιο σιδ/κής σήραγγας Ευταξία διερχόμενη ανισόπεδα και κάτω από τα μικρού ύψους υπερκείμενα επιχώματα της νέας Εθνικής οδού Αθηνών – Κορίνθου