

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

Ιωάννης Ν. Οικονομόπουλος

Ομότιμος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Όταν ο Alfred Nobel (1833-96) παρασκεύαζε ασφαλείς εκρηκτικές ύλες που έτυχαν ευρείας εφαρμογής στις πάσης φύσεως εξορυκτικές δραστηριότητες δεν θα μπορούσε ίσως να φανταστεί τις τεράστιες δυνατότητες τις οποίες θα παρείχε η μηχανική διάνοιξη κατά την όρυξη των υπογείων εκσκαφών και ιδιαίτερα των σηράγγων.

Και όμως... Παρ' όλον ότι η ανάπτυξη και χρησιμοποίηση μηχανών συνεχούς ορύξεως έλαβε διαστάσεις κατά τις τελευταίες δεκαετίες του παρελθόντος 20^{ου} αιώνα και συγκεκριμένα από τη δεκαετία του 1950 η ιδέα είναι παλαιά δεδομένου ότι οι εν γένει ασχολούμενοι με την κατασκευή υπογείων έργων διακατέχονταν από έμμονη ιδέα που αφορούσε την επινόηση κάποιας μηχανής η οποία θα μπορούσε να αποσπάσει το πέτρωμα από τη φυσική του θέση χωρίς την παρεμβολή άλλης εξωτερικής δυνάμεως.

Ήδη, από τη δεκαετία του 1880, πέραν της περιστροφικής μηχανής διαμέτρου 2,2 m, που σχεδιάστηκε από τον Συνταγματάρχη Beaumont και κατασκευάστηκε από τον Οίκο John Fowler & Co το 1881 και χρησιμοποιήθηκε στις πρώτες δοκιμαστικές πιλοτικές προχωρήσεις της Σήραγγας της Μάγχης από την Αγγλική πλευρά (1881-82) αναφέρεται και η περίφημη μηχανή που κατασκευάστηκε από τον John Wilson το 1856 και χρησιμοποιήθηκε κατά την εκσκαφή της σιδηροδρομικής σήραγγας Hoosac στην Πολιτεία της Μασαχουσέτης των ΗΠΑ προκειμένου να ενώσει τη Βοστώνη με την κοιλάδα του ποταμού Hudson. Στην σήραγγα αυτή, μήκους 7.4 χλμ, η οποία για διάφορους λόγους χρειάστηκε 21 χρόνια για να ολοκληρωθεί, η εν λόγω μηχανή κατάφερε να ορύξει 3,5 περίπου μέτρα και εγκατελείφθη.

Υπενθυμίζεται ότι την ίδια περίπου εποχή ορύσσονταν και οι σιδηροδρομικές σήραγγες Frejus, St. Gotthard και αργότερα Simplon και Lotschberg.

Εξ άλλου, εξορυκτική διάταξη με ασπίδα για μαλακά εδάφη χρησιμοποιήθηκε στην Αγγλία από το 1825, με χαρακτηριστικό παράδειγμα την όρυξη σήραγγας κάτω από τον Τάμεση, μήκους 0,5 χλμ. που διανοίχθηκε με την βοήθεια μηχανικής ασπίδας που επινοήθηκε από τον Brunel. Χρειάστηκε ασφαλώς αρκετός χρόνος ώστε οι διαφοροποιήσεις μεταξύ μηχανικών ασπίδων για μαλακά εδάφη και μηχανών εξορύξεως για βραχώδη εδάφη να τεθούν υπό ενιαία αντιμετώπιση και να επικρατήσει ο όρος TBM για όλους τους τύπους των περιστροφικών μηχανών ορύξεως με ολομέτωπη προσβολή.

Η εξιστόρηση των τεραστίων πράγματι προσπαθειών και των προβλημάτων που αντιμετώπισθηκαν προκειμένου οι μηχανές συνεχούς ολομέτωπης όρυξης να φθάσουν στη σύγχρονη θαυμαστή τελειότητα εκφεύγει του σκοπού της σημερινής ημερίδας. Οπωσδήποτε όμως, ο κατασκευαστής μιας σήραγγας μπορεί να επιλέξει μεταξύ:

TBM ανοικτού τύπου χωρίς κυλινδρική ασπίδα προς περιφερειακή υποστήριξη του εδάφους, για βραχώδη πετρώματα.

TBM με απλή ή διπλή ασπίδα, για μέτριας και κακής ποιότητας πετρώματα.

TBM εξισορρόπησης πίεσεως (EPBM) για ιδιαίτερας ασταθή εδάφη.

TBM τύπου κλειστού μετώπου δι' υποστηρίξεως του εδάφους με τη βοήθεια πολφών ιλύος που δημιουργούνται από το εκσκαπτόμενο πέτρωμα εν αναμίξει με μπετονίτη, πολυμερή, αφρούς κλπ (STM).

Όσοι επί πολλές δεκαετίες έχουν εν γένει ασχοληθεί με την εξορυκτική διαδικασία θα έχουν ασφαλώς διαπιστώσει ότι εκείνο το οποίο με βεβαιότητα αναμένεται να εμφανισθεί κατά τη διάρκεια κατασκευής ενός συναφούς έργου είναι το απροσδόκητο.

Η διάνοιξη μιας σήραγγας είναι κατά κανόνα γεμάτη εκπλήξεις, οι περισσότερες από τις οποίες, θα έλεγε κανείς ότι από μία περίεργη συγκυρία εμφανίζονται σε απίθανες θέσεις και σε ακατάλληλο χρόνο.

Ένα από τα κύρια παράπονα που διατυπώνονται από τους κατασκευαστές των σήραγγων είναι ότι ένα TBM δεν μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιητικά και συνεχώς υπό συνθήκες μεταβαλλόμενης ποιότητας εδάφους. Εάν συναντήσει έδαφος άλλο από εκείνο για το οποίο έχει σχεδιαστεί δεν θα λειτουργήσει με επιτυχία, θα δημιουργηθούν σοβαρές καθυστερήσεις, αύξηση δαπανών και ενδεχομένως επάνοδο σε συμβατική μέθοδο ορύξεως.

Παρ' όλον ότι το παράπονο αυτό δεν στερείται βάσεως, συνδέεται εν τούτοις με ενέργειες οι οποίες θα συνέβαλαν ώστε η διατύπωσή του να μην γίνεται με απαράδεκτη συχνότητα.

Όπως όλοι γνωρίζουμε, για κάθε σήραγγα που πρόκειται να ορυχθεί είναι απαραίτητη η διενέργεια ορισμένων γεωλογικών, γεωφυσικών και γεωτεχνικών ερευνών συμπεριλαμβανομένων και γεωτρήσεων, οι οποίες – έρευνες- θα καταστήσουν ικανό τον μελετητή προκειμένου να προκαθορίσει την ποιότητα των πετρωμάτων κατά μήκος της σήραγγας και να διαπιστώσει τυχόν ύπαρξη μεταπτώσεων, ζωνών διατμήσεως, ενδεχόμενη εισροή υδάτων, εκρηκτικών αερίων κλπ.

Δεδομένου ότι ένα σύγχρονο TBM είναι πολλαπλάσιως ταχύτερο σε σύγκριση με τις κλασικές μεθόδους ορύξεως, η πληρότητα των κατά τα ανωτέρω ερευνών καθίσταται περισσότερο σημαντική, καθώς τα TBM είναι περισσότερο ευαίσθητα στις μεταβολές των λιθολογικών παραμέτρων και τις τεκτονικές διαταραχές, παράγων ο οποίος στον Ελληνικό χώρο αποκτά ιδιαίτερη σημασία.

Κατά την όρυξη σήραγγας με TBM σχεδιασμένο για σκληρά πετρώματα ασφαλώς θα αντιμετωπισθούν προβλήματα εφ' όσον συναντηθούν μαλακά ή ασταθή πετρώματα, προβλήματα τα οποία πολλές φορές περιγράφονται στα τεχνικά περιοδικά με δραματικό τρόπο, ώστε περίπου να καταντούν θρυλικά.

Εάν σε μία σήραγγα αναμένεται 90% καλό έδαφος και 10% κακό έδαφος είναι ενδεχόμενο η εκσκαφή του τμήματος όπου το κακό έδαφος να απαιτήσει το 50% του συνολικού χρόνου όρυξης.

Ο ρυθμός προχώρησης είναι συνδυαστικό αποτέλεσμα πολλών παραγόντων που είναι δύσκολο να αναλυθούν και περισσότερο δύσκολο να προσδιορισθούν ποσοτικά.

Συνεπώς μια σχετικά ασφαλής πρόβλεψη του μέσου όρου προχώρησης απαιτεί ιδιαίτερα προσεκτική και ενδελεχή μελέτη, λαμβανομένου υπ' όψη ότι η όρυξη μιας σήραγγας αποτελεί ίδια και συγκεκριμένη περίπτωση, υποκείμενη σε ορισμένους βασικούς κανόνες.

Προβλέψεις και εκτιμήσεις μπορεί βεβαίως να γίνουν με βάση τα εν γένει αποτελέσματα των σχετικών ερευνών και τη συναφή εμπειρία, πλην όμως δεν είναι σπάνιες οι περιπτώσεις κατά τις οποίες οι προβλέψεις αυτές διαφεύδονται παταγωδώς, οπότε αρχίζουν τα προβλήματα, τεχνικά και οικονομικά.

Ένα TBM μπορεί να καθηλωθεί επί μακρόν, ενώ είναι εξαιρετικά δύσκολο ή και αδύνατο να αποσυρθεί από μια μεγάλου μήκους σήραγγα εάν συναντήσει δυσμενείς συνθήκες, π.χ. στο 10ο χιλιόμετρο.

Παρόμοια περιστατικά είναι φυσικό να επηρεάζουν την απόφαση που αφορά την επιλογή του τύπου του TBM, με αποτέλεσμα ο κατασκευαστής να απαιτεί όπως βεβαιωθεί ότι το επιλεγθέν TBM είναι ικανό να χειρισθεί επιτυχώς τις χειρότερες αναμενόμενες συνθήκες.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι η χρησιμοποίηση εξορυκτικών μηχανών σημειακής προσβολής ή η εφαρμογή μεθόδων ορύξεως δι' εκρηκτικών υλών αποτελούν διαδικασίες περισσότερο ευέλικτες στην αντιμετώπιση δυσμενών συνθηκών οι οποίες μπορεί να αντιμετωπισθούν π.χ. δι' αλλαγής της πυκνότητας και γεωμετρίας των διατηρημάτων, αλλαγής της εκρηκτικής ύλης, τροποποίησης του σχεδίου υποστήριξης, μείωσης του βήματος προχώρησης κλπ.

Εν τούτοις η υιοθέτηση μιας φιλοσοφίας στο δόγμα «πρώτα η ασφαλής βεβαιότητα για την εκτέλεση του έργου» οδηγεί σε άρνηση δοκιμής και

εφαρμογής συγχρόνων, εξελιγμένων εξορυκτικών μηχανών που μπορεί να μειώσουν το κόστος κατασκευής των σηράγγων.

Εν τούτοις, έχει αποδειχθεί ότι με μία πολύ προσεκτική εξορυκτική διαδικασία στις εν γένει ασταθείς ζώνες μικρά έως μέτρια μήκη σήραγγας μπορεί να ορυχθούν χωρίς να παραβλαβεί αισθητά η απόδοση του μηχανήματος. Εάν οι προκαταρτικές έρευνες έχουν καταλήξει σε αξιόπιστα συμπεράσματα ο σχεδιασμός του TBM μπορεί να μετατραπεί και προσαρμοσθεί αναλόγως, ώστε τελικά η απόδοσή του να υπερτερεί έναντι των κλασικών μεθόδων.

Επί πολλά χρόνια οι κατασκευαστές ζητούσαν μια αποτελεσματική μέθοδο για την άμεση τοποθέτηση υποστηριγμάτων με ένα TBM βράχου, απαίτηση που οδήγησε στην κατασκευή TBM με δυνατότητα επίτευξης υπερεκσκαφής, ώστε να καθίσταται δυνατή η άμεση τοποθέτηση κατάλληλης υποστήριξης, χωρίς να εμποδίζεται η μηχανή κατά την προχώρησή της ή την προς τα πίσω απόσυρσή της.

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι έχουν σημειωθεί εξαιρετικά υψηλές αποδόσεις κατά τη λειτουργία των TBM. Ενδεικτικά αναφέρονται στη βιβλιογραφία ημερήσιες προχωρήσεις 48,7 m σε διάμετρο 10,8 m και 62 m σε διάμετρο 4,75 m.

Εν τούτοις δεν πρέπει να παρασύρεται κανείς από ορισμένα περιστασιακά μέγιστα τα οποία έχουν σημειωθεί υπό εξόχως ευνοϊκές συνθήκες.

Σχετικά με το θέμα αυτό θα σημειώσω ότι προ ολίγων ετών, το 2002, η Βρετανική Εταιρεία Σηράγγων (BTS) συνέστησε Επιτροπή προκειμένου να μελετήσει τις συνθήκες και τα αίτια διαφόρων αστοχιών σε σήραγγες και να υποβάλει σχετική Έκθεση. Μετά από πολλές έρευνες στα συμπεράσματα της εν λόγω έκθεσης, η οποία από του Ιουλίου 2005 διατίθεται στους ενδιαφερομένους, τονίζεται η σημασία της ανάληψης κινδύνων κατά τη λήψη των αποφάσεων, ενώ, μεταξύ άλλων, δίδεται έμφαση στη χρησιμοποίηση εξειδικευμένου προσωπικού και στην εφαρμογή γεωφυσικών διασκοπήσεων.

Αναφερθήκαμε στα προηγούμενα στις επιτυγχανόμενες προχωρήσεις σε συνάρτηση με τις διαμέτρους, δηλ με το μέγεθος του μηχανήματος. Θα σημειώσουμε σχετικά ότι κατά τα τελευταία ολίγα χρόνια παρατηρείται μια τάση προτίμησης σε μεγαλύτερες διαμέτρους. Ήδη, θηριώδη TBM με διαμέτρους 15 m κατασκευάζονται και κατευθύνονται κυρίως στην Κίνα και την Ισπανία όπου και λειτουργούν. Προσφάτως διάβασα ένα άρθρο με τον απίθανο τίτλο «Τα TBM συμβάλλουν στην οικονομική ανάπτυξη της Κίνας» γραμμένο όχι από κάποιον φανατικό τεχνοκράτη αλλά από δημοσιογράφο που ασχολείται με τη σύγχρονη τεχνολογία.

Εν τούτοις, ενώ τα μεγέθη των TBM αυξήθηκαν εντυπωσιακά δεν μπορεί να λεχθεί το ίδιο και για τους ρυθμούς προχωρήσεως δεδομένου ότι ο μέσος όρος παραμένει περίπου σταθερός τα τελευταία 10-20 χρόνια.

Το 1980 τα έξι TBM που χρησιμοποιήθηκαν στη σήραγγα της Μάγχης από τη Βρετανική πλευρά πραγματοποίησαν προχώρηση 1 χλμ ανά μήνα. Έκτοτε η επίδοση αυτή δε φαίνεται να βελτιώθηκε αισθητά. Συνεπώς, η χρησιμοποίηση μεγαλύτερου μεγέθους μηχανήματος είναι προτιμότερη; Προφανές είναι ότι το ερώτημα δεν μπορεί να πάρει γενικευμένη και δη μονολεκτική απάντηση.

Θα κλείσω την εισαγωγική ομιλία μου με λίγα λόγια που αφορούν στη χώρα μας.

Η Ελλάδα είναι εξόχως ορεινή. Η βελτίωση του ατελούς οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου της δεν μπορεί να επιτευχθεί χωρίς την κατασκευή πολυάριθμων σηράγγων, η όρυξη των οποίων συνήθως δεν θα αποτελεί απλό εγχείρημα, δεδομένης της πολύπλοκης γεωλογικής και τεκτονικής δομής της, της αντιμετώπισης ασταθών τασικών πεδίων και μεγάλων συγκλίσεων ιδιαίτερα σε τεκτονικώς διαταραχθείσες περιοχές και της κακής ποιότητας των εδαφών σε ορισμένες ζώνες, πράγμα το οποίο άλλωστε έχει αποδειχθεί από την εμπειρία που αποκτήθηκε κατά την κατασκευή σηράγγων στον ελληνικό χώρο.

Οι τεχνολογικές εξελίξεις τρέχουν, οι επινοήσεις διαδέχονται η μία την άλλη, τα δεδομένα μεταβάλλονται σε εξαιρετικά μικρή χρονική περίοδο, ο συναφής εξοπλισμός βελτιώνεται και τελειοποιείται.

Είναι συνεπώς απαραίτητο όπως οι μελετητές, οι κατασκευαστές και γενικότερα όλοι οι εμπλεκόμενοι στη σχετική διαδικασία ενημερώνονται επί των σημειούμενων εξελίξεων ώστε να επωφελούνται από τη διεθνή εμπειρία, δεδομένου ότι όσο περισσότερα στοιχεία γίνονται διαθέσιμα τόσο εναργέστερα αντανακλούν τη φύση και το μέγεθος των ανιμετωπιζομένων προβλημάτων και συμβάλλουν στην επιλογή κατάλληλων μεθόδων προς αντιμετώπισή τους.

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες η χώρα έχει αποκτήσει λίαν αξιόλογη μελετητική και κατασκευαστική υποδομή.

Σημαντικός αριθμός Γραφείων ασχολούνται με τη μελέτη σηράγγων, από την Εγνατία οδό μέχρι την Κρήτη, μερικά δε από αυτά όχι μόνο συνεργάζονται με αντίστοιχα του εξωτερικού, αλλά και αναλαμβάνουν μελέτες ή έλεγχο μελετών άλλων χωρών.

Εξ άλλου, στον κατασκευαστικό τομέα, τα επιτεύγματα του οποίου είναι γνωστά, έχουν από μακρού εκλείψει ορισμένες επιφυλάξεις και δισταγμοί αναφορικά με την κατασκευή σηράγγων.

Είναι προφανής ο σκοπός της σημερινής ημερίδας. Η απόκτηση πρόσθετης εμπειρίας είναι πρωταρχικής σημασίας.

Άλλωστε νομίζω ότι δεν αμφισβητείται η ορθότητα αποφθέγματος σύμφωνα με το οποίο «η πείρα είναι φθηνή σε οποιαδήποτε τιμή και αν την πληρώσεις».
