

Recent experience in the design and construction of underground metro works by use of sprayed concrete

Πρόσφατες εμπειρίες στο σχεδιασμό και την κατασκευή υπογείων έργων μετρό με χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος

Παναγιώτης Σπυρίδης

Senior tunnel engineer, Dr. Sauer & Partners, pspyridis@dr-sauer.com

Εκτενής περίληψη

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρούμε παγκοσμίως έντονη προτίμηση στην υπογειοποίηση των συγκοινωνιών, όπως είναι οι προσβάσεις του σιδηροδρομικού δικτύου στα αστικά κέντρα, οι υπόγειες οδικές αρτηρίες ταχείας κυκλοφορίας και φυσικά η κατασκευή έργων μετρό. Τα αστικά κέντρα διογκώνονται με ταχείς ρυθμούς, ενώ αυξάνονται και οι απαιτήσεις για όλο και ταχύτερες, καθώς και για περιβαλλοντικά βιώσιμες μεταφορές. Παρ' όλα αυτά, τα μεγάλα κατασκευαστικά έργα, ιδίως σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, συνοδεύονται από διάφορα προβλήματα, όπως είναι – πέραν του κόστους του ίδιου του έργου – η διατάραξη της ομαλής κυκλοφορίας και των χρήσεων γης στην επιφάνεια, η παρεμπόδιση λειτουργίας υπηρεσιών και επιχειρήσεων, η αύξηση των επιπέδων θορύβου, η δημιουργία σκόνης, ενώ πολύ συχνά δημιουργούνται επιπλοκές με υφιστάμενα κτίρια και υπόγειες κατασκευές, με δίκτυα κοινής ωφέλειας, καθώς και με ευρήματα υψηλής ιστορικής και πολιτιστικής σημασίας. Ως εκ τούτου, ο πολίτης (που είναι άλλωστε χρήστης και τρόπον τινά κύριος του δημοσίου έργου) επηρεάζεται άμεσα από τον τρόπο που προγραμματίζονται, σχεδιάζονται και κατασκευάζονται οι νέες υποδομές.

Υπό αυτές τις συνθήκες, οι σήραγγες με επένδυση από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (NATM / SCL / SEM) είναι πολύ συχνά μια βέλτιστη επιλογή, λόγω της ευελιξίας που επιτρέπει στη γεωμετρία των υπογείων θαλάμων και σηράγγων, στη διάταξη του εργοταξίου, στην δυνατότητα να αντιμετωπιστούν απροσδόκητα εμπόδια, καθώς και λόγω της δυνατότητας διαχείρισης ή και εξάλειψης των αρνητικών επιπτώσεων σε γειτονικές κατασκευές και στην επιφάνεια κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Το παρόν άρθρο παρουσιάζει πρόσφατες εμπειρίες του γράφοντα από τον σχεδιασμό και την κατασκευή υπογείων έργων σε μεγάλα αστικά κέντρα, με χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται συνοπτικά οι μελέτες και κατασκευαστικά στοιχεία για τα εξής δύο έργα:

- Εκσυγχρονισμός και επέκταση του σταθμού Bank του Λονδίνου.

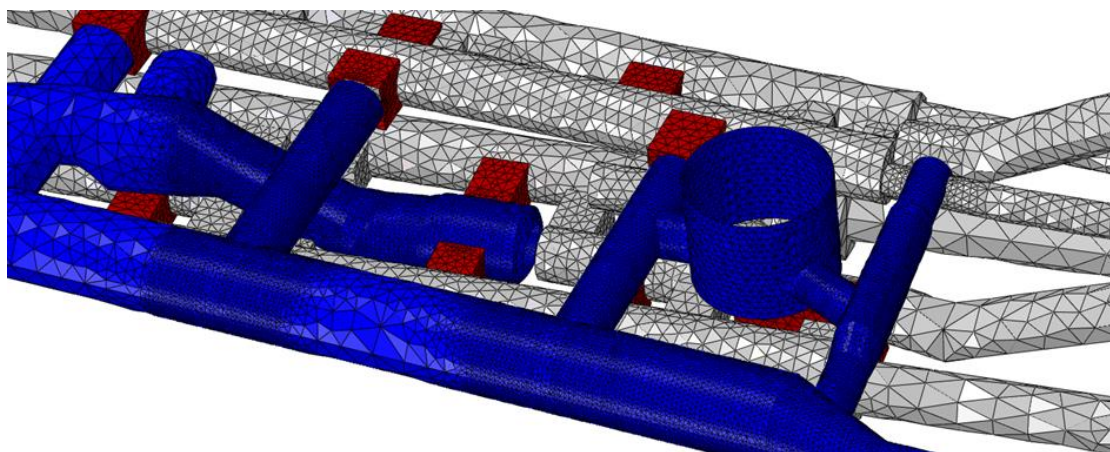
- Κατασκευή των διδύμων σταθμών Parliament και Lyon της Confederation line στην Οττάβα.

Ο σταθμός Bank είναι σταθμός του μετρό London Underground (LU) στην καρδιά του οικονομικού κέντρου City του Λονδίνου. Αποτελεί βασικό σταθμό μετεπιβίβασης που εξυπηρετεί πέντε γραμμές, ήτοι τις Northern (NL), Central (CL), Waterloo & City (W&C), και Docklands Light Railway (DLR), ενώ είναι συνδεδεμένος και με το σταθμό Monument που εξυπηρετεί τις γραμμές District και Circle (D&C). Αυτή τη στιγμή ο σταθμός υποφέρει από το μεγάλο πλήθος επιβατών, ιδιαίτερα κατά τις ώρες αιχμής. Τα έργα εκσυγχρονισμού και επέκτασης του σταθμού Bank έχουν στόχο να καλύψουν τις μελλοντικές ανάγκες επιβατικής κίνησης του συμπλέγματος των σταθμών Bank/Monument, με γνώμονα την επιτάχυνση της πρόσβασης και μετεπιβίβασης εντός του σταθμού, την κατασκευή

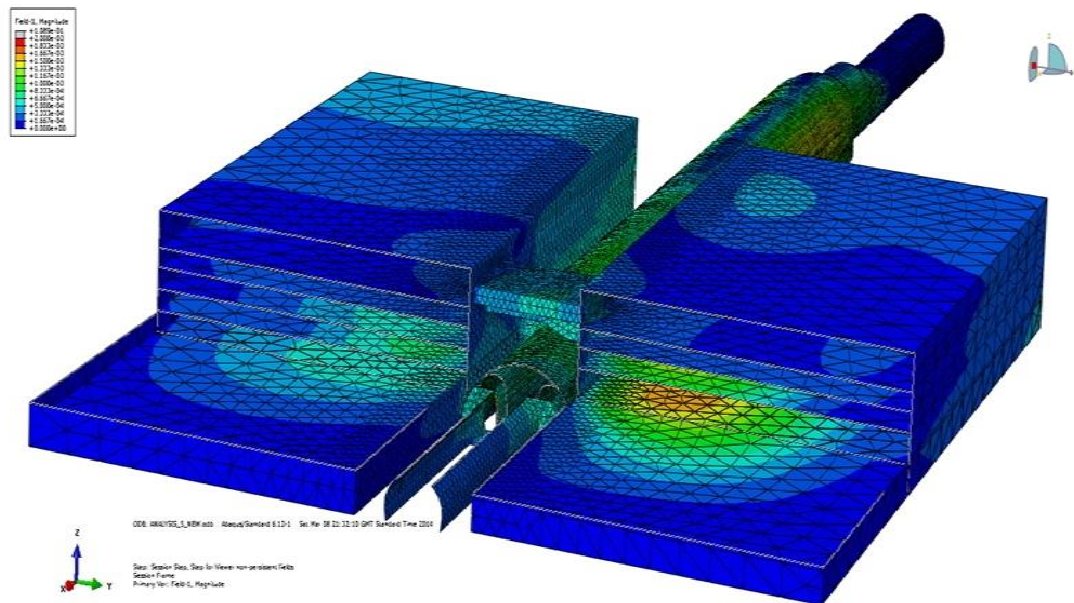
ανελευστήρων και τις τελευταίες προδιαγραφές πυρασφάλειας και επείγουσας εκκένωσης. Το έργο περιλαμβάνει την κατασκευή νέου χώρου έκδοσης εισιτηρίων με βαθύ υπόγειο στην King William Street και μια σειρά από νέες σήραγγες συνολικού μήκους περίπου 1200 μέτρων με υποστήριξη από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Το άρθρο παρουσιάζει τις βασικές μελετητικές παραδοχές, ενδεικτικά τμήματα του έργου, τη διαδικασία εκτίμησης καθιζήσεων στις υφιστάμενες (και εν λειτουργία κατά την κατασκευή) σήραγγες, καθώς και τα τριδιάστατα μη-γραμμικά μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν ως βάση για τη μελέτη και ανάλυση παραμορφώσεων του εδάφους κατά την κατασκευή.

Το Light Rail Transit της Οττάβα (OLRT ή Confederation Line) περιλαμβάνει 12.5 χλμ νέας σιδηροτροχιάς, που διατρέχει υπόγεια το κέντρο της Καναδικής πρωτεύουσας με 2.5 χλμ σήραγγας και 3 υπόγειους σταθμούς (Lyon, Parliament, και Rideau Stations), όλα κατασκευασμένα με χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Το άρθρο σε αυτή την περίπτωση εστιάζει στην προσωρινή υποστήριξη των διδύμων σχεδόν σταθμών Lyon και Parliament, που κατασκευάζονται σε επαφή και συνδέονται με υφιστάμενα υπόγεια υψηλών κτιρίων μεγάλης οικονομικής και διοικητικής σημασίας. Οι δύο σταθμοί είναι πεταλοειδούς διατομής, ενώ εφαρμόστηκε ένα καινοτόμο σύστημα για πρώτη φορά παγκοσμίως, με χρήση εντατήρων μεταξύ των στηρίξεων του κελύφους, ώστε να ρυθμίζονται καθ'όλη τη διάρκεια της κατασκευής οι τάσεις, παραμορφώσεις, και η αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής-υφισταμένων. Και σε αυτήν την περίπτωση έγινε εκτεταμένη χρήση ειδικών προσομοιωμάτων με μη-γραμμικούς καταστατικούς νόμους επαφής και λεπτομερής προσομείωση όλων των κατασκευαστικών βημάτων.

Όπως προκύπτει και από όλη τη διαδικασία σχεδιασμού και μετρήσεων στο πεδίο κατά την κατασκευή, οι μέθοδοι και οι καινοτομίες που εφαρμόστηκαν ικανοποίησαν ακόμη και αυστηρότατους περιορισμούς όσον αφορά εδαφικές μετακινήσεις και καθιζήσεις λόγω της διάνοιξης. Παράλληλα, η εκτενής χρήση ινοπλισμένου σκυροδέματος επέτρεψε την απλούστερη (και κατά συνέπεια ταχύτερη και ασφαλέστερη) εκτέλεση των έργων. Ιδιαίτερο ρόλο έπαιξε σε αυτό και η χρήση ειδικών μοντέλων πεπερασμένων στοιχείων, που είχε μεταξύ άλλων ως αποτέλεσμα την καλύτερη πρόγνωση της συμπεριφοράς αλληλεπίδρασης εδάφους-υποστήριξης-υφισταμένων αλλά και την εξοικονόμηση υλικού, λόγω απομείωσης του πάχους της επένδυσης και της μείωσης του χρησιμοποιούμενου οπλισμού.



Ενδεικτική γεωμετρία προσομοιώματος, με τις νέες σήραγγες εκτοξευόμενου σκυροδέματος (μπλε), και των υφισταμένων σηράγγων (γκρι).



Ενδεικτική παρουσίαση του τριδιάστατου μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων, όπου φαίνεται η γεωμετρία της εκσκαφής και υποστήριξης των σταθμών καθώς και των υφισταμένων υπογείων.

Βιβλιογραφία

- Nasekhian A., Gakis, A., Spyridis, P., and Schwind, T. (2015): Advances in numerical modelling for complex tunnelling projects. *Crossrail Project: Infrastructure design and construction (Vol. 2)* DOI: 10.1680/cpid.61026.021.
- Spyridis, P., Feiersinger, A., and Nasekhian, A. (2014): Design, Construction and Monitoring in the London Underground Upgrade projects: Structural interactions during tunnelling activities. *IABSE Structural Engineering International* – November 2014.
- Spyridis, P. (2014). Adjustment of tunnel lining service life through appropriate safety factors. *Tunnelling and underground space technology*, 40 (2014): 324-332.
- Spyridis, P., Nasekhian, A., and Skalla, G. (2013): Design of SCL structures in London. *Geomechanics and tunnelling*, 6 (1): 66-80.
- Nasekhian, A., Moldovan-Onisie, A.R., and Spyridis, P. (2016): Trigger values formulation for tunnels excavated in London Clay. In: *3rd Eastern European Tunnelling Conference and 13th International Conference Underground Construction 23-25 May 2016, Prague*.
- Spyridis, P., Nasekhian, A. (2017): Finite Element modelling for the London Underground Bank Station Capacity Upgrade SCL design and deep tube tunnels assessment In: *ECCOMAS - EURO:TUN 2017*. Innsbruck, April 18-20, 2017 (In progress).
- Spyridis, P., and Fortsakis, P. (2017): Finite Element modelling for the Parliament and Lyon Stations of the Ottawa Confederation line. In: *ECCOMAS - EURO:TUN 2017*. Innsbruck, April 18-20, 2017 (In progress).