

Σχεδιασμός και Διάνοιξη Υπόγειου Θαλάμου με την Μέθοδο Κεντρικής Στοάς. Η περίπτωση του Σταθμού «Αιγάλεω» του Μετρό Αθηνών.

Design and Construction Aspects of a Large Underground Cavern with the Central Drift Method. The Case of Egaleo Station of the Athens Metro.

ΑΛΕΞΑΝΔΡΗΣ Α.	Πολιτικός Μηχανικός, MSc	O.T.M. ATE
ΒΕΤΤΑΣ Π.	Πολιτικός Μηχανικός,	O.T.M. ATE
ΑΡΑΝΙΤΗΣ Α.	Πολιτικός Μηχανικός,	Παντεχνική Α.Ε.
ΜΠΟΡΟΝΚΑΥ Κ.	Δρ. Γεωλόγος	ΟΜΕΚ-ΗΜC
ΝΟΤΑΡΙΑΝΝΙ Σ.	Πολιτικός Μηχανικός, MSc	Impregilo SpA

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Για την κατασκευή του σταθμού του Αιγάλεω, της επέκτασης της γραμμής 3 του Μετρό Αθηνών, απαιτήθηκε η υπόγεια διάνοιξη ενός θαλάμου ανοίγματος 21 m, μήκους 110 m και υπερκειμένου που τοπικά φθάνει τα 8.5 μόλις μέτρα. Η διαδικασία τμηματικής εκσκαφής και υποστήριξης του θαλάμου αποτέλεσε τον βασικό προβληματισμό κατά το στάδιο της μελέτης, καθώς έχει άμεση επίπτωση στις προκαλούμενες επιφανειακές καθιζήσεις, στην ποιότητα και αντοχή του κελύφους προσωρινής υποστήριξης, όπως επίσης στον χρόνο και στο κόστος διάνοιξης. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται συγκριτικές αναλύσεις διαφόρων εναλλακτικών διαδικασιών τμηματικής εκσκαφής. Για την τελικώς επιλεγείσα λύση της “κεντρικής στοάς” συγκρίνονται οι προβλέψεις των αριθμητικών αναλύσεων με μετρήσεις που ελήφθησαν κατά την κατασκευή.

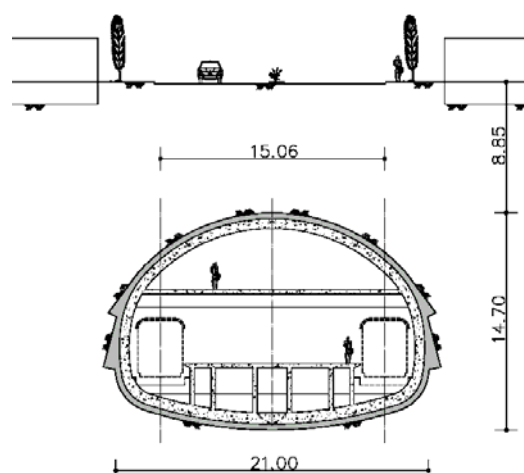
ABSTRACT : A large underground cavern, 21 m wide and 110 m long, with 9 meters of cover, has been excavated for the construction of a metro station for the extension of line 3 of Athens metro towards the western suburbs of the city. The large underground opening would be excavated sequentially but the construction sequence was a major concern during the design stage since it strongly influences ground settlements, primary lining quality and integrity as well as construction speed and cost. The purpose of the present paper is to describe the results of a parametric analysis undertaken during the design stage, comparing the performance of alternative tunnelling procedures. A brief presentation of the adopted “central drift” tunneling scheme is presented and the actual ground response is compared with the numerical predictions.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο συγκερασμός κατασκευαστικών απαιτήσεων με απαιτήσεις δομικής και γεωτεχνικής επιτελεσματικότητας αποτελεί μια κρίσιμη διεργασία για τον επιτυχή σχεδιασμό υπόγειων έργων σε αστικό περιβάλλον. Ο σχεδιασμός του υπογείου θαλάμου του σταθμού του Αιγάλεω, που αποτελεί τον τελευταίο σταθμό της υπό κατασκευή επέκτασης της γραμμής 3 προς τα δυτικά προάστια της Αθήνας, είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας τέτοιας προσέγγισης.

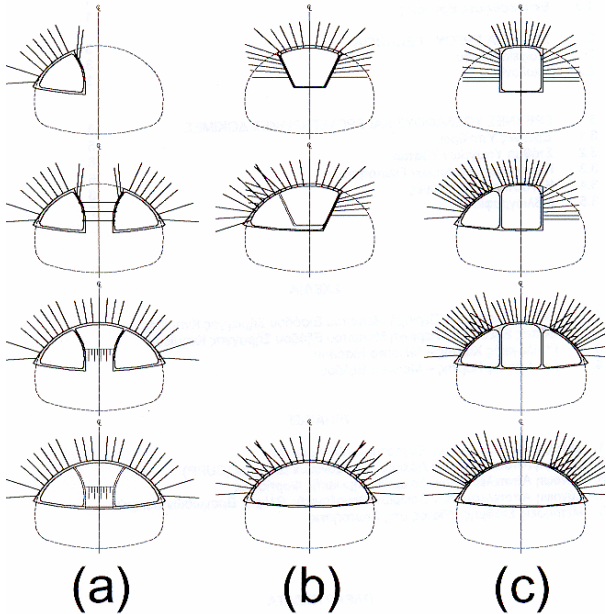
Ο υπόγειος θάλαμος διανοίγεται κάτω από την Ιερά οδό στην πλατεία Εσταυρωμένου του Αιγάλεω. Για την εξυπηρέτηση των λειτουργικών απαιτήσεων του σταθμού η αποβάθρα τοποθετήθηκε στο κέντρο της υπόγειας

αίθουσας με αποτέλεσμα την αύξηση της αξονικής απόστασης των συρμών στα 15.0 m.



Σχήμα 1 Τυπική Διατομή του Σταθμού
Figure 1 Cross section of the station cavern

αποτελεσματικός στον περιορισμό των προκαλούμενων καθιζήσεων στην επιφάνεια. Σε ιδιαίτερα μεγάλες επιφάνειες μετώπου (εδώ η συνολική επιφάνεια εκσκαφής φθάνει τα 254 m²) ο διαχωρισμός της διατομής σε τμήματα εξυπηρετεί επίσης και την διαδικασία κατασκευής καθεαυτή, περιορίζοντας τον όγκο (και τον χρόνο) εκσκαφής και αποκομιδής των υλικών κάθε κύκλου εργασιών.



Σχήμα 3 Εναλλακτικές ακολουθίες τμηματικής εκσκαφής του θόλου της διατομής που εξετάστηκαν

Figure 3 Alternative excavation procedures of the top heading examined during the design stage.

Ο διαχωρισμός σε στάδια της διάνοιξης κατά την κατακόρυφη έννοια περιορίζει τα ύψη εργασίας κατά τις εργασίες εκσκαφής και εφαρμογής των μέτρων προσωρινής υποστήριξης και εξασφαλίζει γενικότερα ευχερέστερη πρόσβαση για το προσωπικό και τα μηχανήματα κατασκευής. Έτσι η διατομή του σταθμού κατά την κατακόρυφη έννοια διαχωρίστηκε σε τρία τμήματα, θόλος, βαθμίδα και δάπεδο, περιορίζοντας τα συνολικά ύψη εργασίας σε 7.5m, 4.0m, και 3.0m αντίστοιχα. Οι επιφάνειες εκσκαφής για καθένα από τα παραπάνω στάδια είναι 120 m², 80 m² και 54 m² αντίστοιχως.

Το μεγαλύτερο μέρος των καθιζήσεων που προκαλούνται στην επιφάνεια οφείλεται στην διάνοιξη του θόλου ο οποίος στην συγκεκριμένη περίπτωση όπως έχει προαναφερθεί έχει ένα αξιοσημείωτο άνοιγμα που φθάνει τα 21 m. Έτσι ο περαιτέρω διαχωρισμός της εκσκαφής του θόλου σε τμήματα κρίθηκε επιβεβλημένος.

Οι επικρατέστερες τεχνικές τμηματικής εκσκαφής για ανοίγματα αυτού του μεγέθους είναι: (α) η εκσκαφή δύο πλευρικών στοών αρχικά και στην συνέχεια αφαίρεση της ενδιάμεσης βραχοκολώνας και γεφύρωση του κενού μεταξύ των δύο ανοιγμάτων και (β) η εκσκαφή ενός κεντρικού ανοίγματος και στη συνέχεια η σταδιακή διεύρυνση του εκατέρωθεν.

Η πρώτη μέθοδος έχει το πλεονέκτημα του πιο αποτελεσματικού ελέγχου των παραμορφώσεων, όπως προκύπτει και από τις αριθμητικές αναλύσεις που παρουσιάζονται στην επόμενη παράγραφο. Όμως είναι κατασκευαστικά αρκετά περίπλοκη, απαιτεί ιδιαίτερη επιμέλεια και ακρίβεια στην εκτέλεση των εργασιών και ιδιαίτερα στην ευθυγράμμιση των πλαισίων και είναι επιρρεπής σε ελαττωματικές συνδέσεις των επιμέρους τμημάτων του κελύφους. Τέλος απαιτεί την εργασία σε ανοίγματα μικρών διαστάσεων και δύσκολης γεωμετρίας.

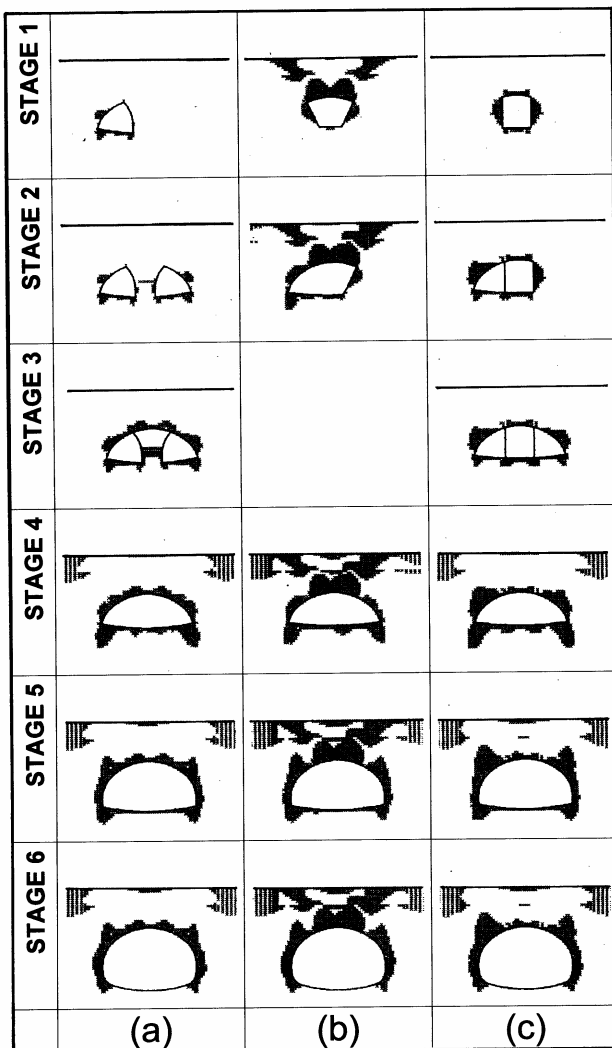
Η διάνοιξη πρώτα ενός κεντρικού ανοίγματος σε όλο το μήκος του σταθμού, επιτρέπει την άμεση αποτύπωση των γεωλογικών συνθηκών, και την αξιολόγηση των προβλέψεων της συμπεριφοράς με βάση τις μετρήσεις των καθιζήσεων που προκαλεί αυτή η πρώτη φάση. Επιπλέον επιτρέπεται η αποστράγγιση της περιοχής διάνοιξης και αν απαιτηθεί η βελτίωση του περιβάλλοντος εδάφους με αγκυρώσεις ή τσιμεντενέσεις, πριν ξεκινήσει η διάνοιξη των υπολοίπων τμημάτων. Παρά τα κατασκευαστικά πλεονεκτήματά της, η δεύτερη λύση προκαλεί μεγαλύτερες καθιζήσεις σε σχέση με την πρώτη.

Μια τρίτη λύση που συνδυάζει ορισμένα από τα πλεονεκτήματα των δύο προηγούμενων λύσεων και τελικά υιοθετήθηκε, προέκυψε από την σύνθεση των προηγούμενων σχημάτων διάνοιξης. Σε αυτή τη λύση (μέθοδος “κεντρικής στοάς”) διανοίγεται πρώτα μια κεντρική στοά η οποία σχεδιάστηκε με κατακόρυφα τοιχώματα τα οποία επενδύονται με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και οπλίζονται με κατακόρυφες δοκούς από μορφοχάλυβα (HEB). Στη συνέχεια διανοίγονται εν επαφή τα δύο πλευρικά τμήματα της διατομής, διατηρώντας τα κατακόρυφα στοιχεία που έχουν διαμορφωθεί στο προηγούμενο στάδιο. Στο επόμενο στάδιο καθαιρούνται τμηματικά τα κατακόρυφα στοιχεία και ταυτόχρονα ενισχύεται το εξωτερικό κέλυφος με μια τελική στρώση οπλισμού με δομικό πλέγμα και

εκτοξευόμενο σκυρόδεμα που διασφαλίζει την συνέχεια του κελύφους στα σημεία των συνδέσεων και την ταυτόχρονη διόρθωση των πιθανών βλαβών που προκάλεσε η καθαίρεση των ενδιάμεσων στύλων.

4. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Για την μελέτη των τριών παραπάνω λύσεων καταστρώθηκαν και αναλύθηκαν ισάριθμα αριθμητικά προσομοιώματα με τον διδιάστατο κωδικά πεπερασμένων διαφορών FLAC. Οι συγκριτικές αναλύσεις έγιναν με βάση το δυσμενέστερο γεωτεχνικό προφίλ (GSI 15-20).



Σχήμα 4 Σύγκριση της ανάπτυξης ζώνης πλαστικοποίησης στις τρεις εναλλακτικές ακολουθίες κατασκευής. Διδιάστατες αναλύσεις με πεπερασμένες διαφορές (GSI 15-20).

Figure 4 Comparison of the three excavation sequences on the basis of the plasticity indicators, derived by two dimensional finite difference analyses(GSI 15-20).

Στο σχήμα 4 συνοψίζονται τα αποτελέσματα των συγκριτικών αναλύσεων, παρουσιάζοντας την ανάπτυξη της πλαστικοποιημένης ζώνης περί το υπόγειο άνοιγμα με την προοδευτική διάνοιξη του σταθμού.

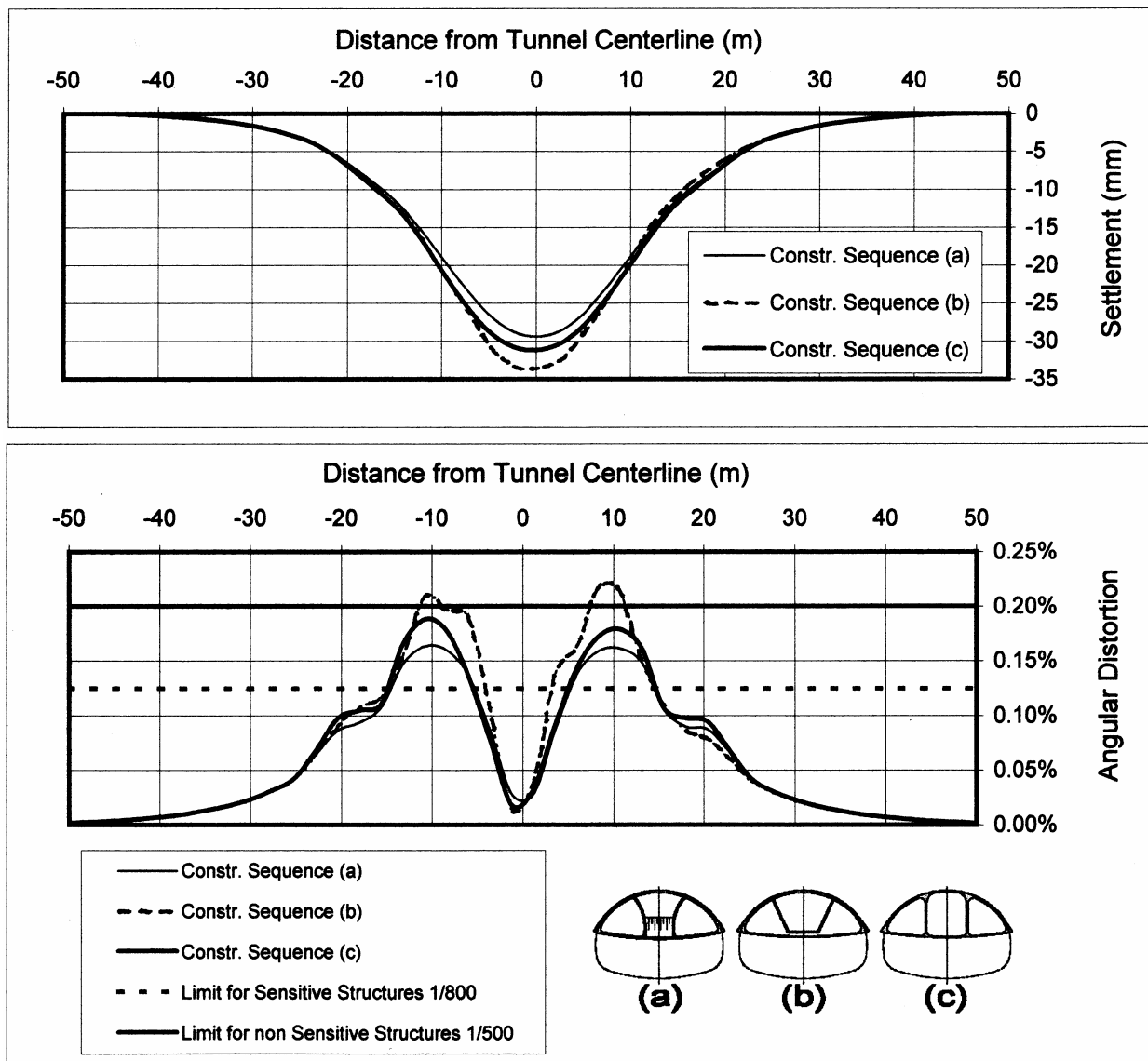
Παρατηρείται ότι η δεύτερη λύση προκαλεί από το πρώτο κίονας στάδιο εκσκαφής μια εκτεταμένη ζώνη πλαστικοποίησης στο θόλο, που προοδευτικά φθάνει μέχρι την επιφάνεια, ενώ στις άλλες δύο ακολουθίες διάνοιξης περιορίζεται σημαντικά η πλαστικοποίηση του υλικού. Στο σχήμα 5 συγκρίνονται οι καθιζήσεις που προκαλούνται στην επιφάνεια καθώς και οι γωνιακές παραμορφώσεις που προκύπτουν από τις τρεις ακολουθίες διάνοιξης. Οι μέγιστες τιμές των καθιζήσεων για το δυσμενέστερο γεωτεχνικό προφίλ, (που δεν αναμένεται να συναντηθεί αμιγώς κατά την κατασκευή) υπολογίστηκαν σε 29.4 mm, 33.6 mm και 31.2 mm για τις τρεις λύσεις αντίστοιχα.

Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό που παρουσιάζουν η πρώτη και η τρίτη λύση είναι ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των καθιζήσεων εκδηλώνεται στην επιφάνεια κατά το στάδιο αφαίρεσης της βραχοκολώνας στην πρώτη περίπτωση και των κατακόρυφων στύλων στην τελευταία.

Με συναξιολόγηση των αποτελεσμάτων της αριθμητικής διερεύνησης με θεωρήσεις κατασκευασιμότητας και ασφάλειας επιλέχθηκε ως καταλληλότερη η τρίτη εναλλακτική λύση διάνοιξης. Εκτός των άλλων εκτιμήθηκε ότι παρέχει μεγαλύτερη απλότητα κατασκευής με μεγαλύτερη αξιοπιστία, περιορίζοντας την πιθανότητα ελαττωματικών συνδέσεων του κελύφους χωρίς να απαιτεί κατασκευές με αυστηρές κατασκευαστικές ανοχές.

Μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού και πριν την έναρξη των εργασιών διάνοιξης καταστρώθηκε και ένα τρισδιάστατο αριθμητικό προσομοίωμα με τον κωδικά FLAC-3D με το οποίο επιβεβαιώθηκαν οι προβλέψεις καθιζήσεων των διδιάστατων αναλύσεων για τα ίδια γεωτεχνικά προφίλ.

Κατά την κατασκευή προβλέφθηκε η ανάπτυξη ενός εκτεταμένου προγράμματος γεωτεχνικής παρακολούθησης (ιδιαίτερα των επιφανειακών μετακινήσεων) και η λεπτομερής αποτύπωση του γεωλογικού σχηματισμού σε κάθε στάδιο διάνοιξης. Η συμφωνία των προβλέψεων της αριθμητικής ανάλυσης με τις μετρώμενες καθιζήσεις και γενικότερα συμπεριφοράς του συστήματος απετέλεσε προϋπόθεση για την συνέχιση των εργασιών διάνοιξης χωρίς πρόσθετα μέτρα υποστήριξης.



Σχήμα 5 Κατακόρυφες μετακινήσεις και γωνιακές παραμορφώσεις για τις τρεις εναλλακτικές ακολουθίες κατασκευής (GSI 15-20). (διδιάστατες αναλύσεις για GSI 15-20).

Figure 5 Vertical displacements and angular distortions for the three excavation sequences derived by two dimensional finite difference analyses (GSI 15-20).

5. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Η διάνοιξη πραγματοποιήθηκε με συμβατικά μέσα και προχώρησε από το μέσον του υπόγειου ανοίγματος, όπου είχε διαμορφωθεί κατάλληλος θάλαμος προσπέλασης, ταυτόχρονα και προς τις δύο κατευθύνσεις του σταθμού.

Η διάνοιξη της κεντρικής στοάς έγινε με ιδιαίτερη προσοχή αφού σε αυτό το στάδιο παρατηρήθηκε και καταγράφηκε τόσο η ποιότητα της βραχομάζας όσο και η συμπεριφορά της κατά την διάνοιξη. Το μέτωπο διάνοιξης σε αυτό το στάδιο

ενισχύθηκε με ηλώσεις υαλοίνων για να ελεγχθούν αστάθειες και ολισθήσεις σφηνών. Παράλληλα η εκτέλεση αποστραγγιστικών διατρήσεων εξασφάλισε την γρήγορη αποφόρτιση του υδροφόρου ορίζοντα, έτσι ώστε κατά την διάνοιξη των υπολοίπων τμημάτων της διατομής οι συνθήκες διάνοιξης να μην επηρεάζονται από τις εισροές υπογείων υδάτων.

Ακολούθησε η διάνοιξη των εν επαφή πλευρικών στοών και στη συνέχεια η αφαίρεση των ενδιάμεσων τοιχωμάτων. Αυτή η εργασία έγινε σταδιακά με το άνοιγμα «παραθύρων» πλάτους 5m ανά 5m, την τοποθέτηση πλέγματος και την εκτόξευση μιας τελικής

στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 7 cm σε όλο το άνοιγμα του θόλου. Αυτή η τελική στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος εξασφάλισε την συνέχεια του κελύφους της επένδυσης και τον περιορισμό της ανάπτυξης ασθενών σημείων στα σημεία των συνδέσεων. Η διάνοιξη του θόλου ολοκληρώθηκε με την αφαίρεση και των υπολειπόμενων στοιχείων και την προσθήκη της τελικής στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος και σε αυτές τις θέσεις. Τα στάδια κατασκευής παρουσιάζονται στις φωτογραφίες του σχήματος 7.

Στο μεγαλύτερο τμήμα της υπόγειας διάνοιξης συναντήθηκε Αθηναϊκός σχιστόλιθος που χαρακτηριζόταν από την επικράτηση σκληρού, ελαφρά έως μέτρια αποσαθρωμένου μεταψαμμίτη με ακανόνιστες ενστρώσεις μέτρια σκληρού, ελαφρά έως μέτρια αποσαθρωμένου μεταλυσιθίου. Αυτά τα ελαφρά μεταμορφωμένα πετρώματα ήταν στις περισσότερες θέσεις φολιωμένα, πτυχωμένα και τοπικά κατακερματισμένα με πυκνές ασυνέχειες κυρίως λείων τοιχωμάτων και τοπικά με ζώνες κατάκλασης. Ο γεωμηχανικός δείκτης αντοχής κυμάνθηκε κυρίως στο εύρος $GSI=25-35$, καθιστώντας το γεωτεχνικό προφίλ σχεδιασμού C (πιν.1) αντιπροσωπευτικότερο.

Κατά την διάρκεια της διάνοιξης του κάθε σταδίου, οι μετρήσεις των καθιζήσεων αξιολογούνταν με βάση τα αποτελέσματα των αριθμητικών προσομοιωμάτων που είχαν ήδη καταστρωθεί, σε συνδυασμό με τις συναντώμενες γεωτεχνικές συνθήκες. Η καλή συσχέτιση των προβλέψεων των αριθμητικών αναλύσεων που αντιστοιχούν στο αντιπροσωπευτικότερο γεωτεχνικό προφίλ (κατηγορία C για το σύνολο του σταθμού), με τις μετρώμενες καθιζήσεις, επιβεβαίωσε, από τα πρώτα στάδια διάνοιξης, την βασιμότητα των παραδοχών της μελέτης και επέτρεψε τη διάνοιξη των επόμενων σταδίων χωρίς συμπληρωματικά μέτρα, που προβλέπονταν από την μελέτη, ή άλλες προσαρμογές. Στο σχήμα 8 παρουσιάζονται καμπύλες ίσων καθιζήσεων της περιοχή του σταθμού, μετά την διάνοιξη του θόλου και μετά την ολοκλήρωση της διάνοιξης της υπόγειας αίθουσας. Οι καμπύλες ίσων καθιζήσεων προέκυψαν μετά από γραμμική παρεμβολή στις σημειακές μετρήσεις των καθιζήσεων.

Στο σχήμα 9 παρουσιάζονται μέσες καθιζήσεις σε μια εγκάρσια τομή μετά την διάνοιξη του θόλου και μετά την ολοκλήρωση της διάνοιξης της πλήρους διατομής. Στα ίδια σχήματα παρουσιάζονται με συνεχή γραμμή οι

προβλέψεις των τρισδιάστατων προσομοιώσεων για την κατηγορία C. Παρατηρείται, από τα διαγράμματα αυτά ότι ενώ οι μέγιστες τιμές των καθιζήσεων είναι σύμφωνες με τις προβλέψεις των αριθμητικών προσομοιωμάτων, το εύρος της καμπύλης καθιζήσεων είναι ευρύτερο από την πρόβλεψη της αριθμητικής ανάλυσης. Παρ' όλα αυτά δεδομένης της απλότητας (ή απλοϊκότητας) του καταστατικού προσομοιώματος Mohr-Coulomb που χρησιμοποιήθηκε για τις αναλύσεις, τα αποτελέσματα είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικά.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η κατασκευή του υπόγειου τμήματος του σταθμού του Αιγάλεω περιέλαβε μια από τις μεγαλύτερες υπόγειες διανοίξεις σε Αθηναϊκό σχιστόλιθο με μικρά υπερκείμενα. Δεδομένων των αβεβαιοτήτων που υπήρχαν στην φάση του σχεδιασμού σχετικά με την επικρατούσα ποιότητα του Αθηναϊκού σχιστόλιθου στη περιοχή του έργου, αλλά και των αυστηρών περιορισμών για τις προκαλούμενες καθιζήσεις στην επιφάνεια, αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε μια μέθοδος τμηματικής διάνοιξης με κεντρική στοά η οποία:

α) Επιτρέπει από τα πρώτα στάδια διάνοιξης την χαρτογράφηση του γεωλογικού σχηματισμού, την αποστράγγιση των υπόγειων υδάτων και την προενίσχυση και/η την βελτίωση του πετρώματος με σιμεντενέσεις εάν απαιτηθεί.

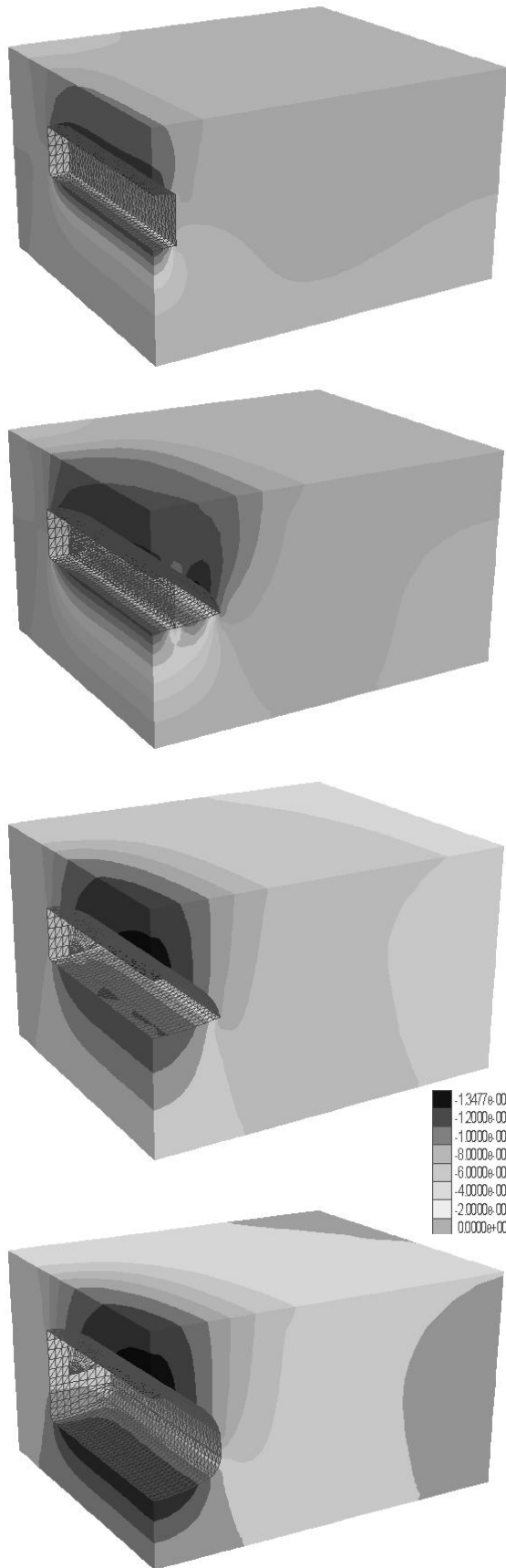
β) Επιτρέπει κατά την εξέλιξη της κατασκευής την συνεχή βαθμονόμηση των αριθμητικών προσομοιωμάτων και την βελτίωση της ακρίβειας της πρόβλεψης των προκαλούμενων καθιζήσεων. Αυτό επιτρέπει, εφ' όσον υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις, την λήψη συμπληρωματικών μέτρων περιορισμού των καθιζήσεων.

Από κατασκευαστικής απόψεως η μέθοδος τμηματικής διάνοιξης που υιοθετήθηκε:

α) Απλοποίησε τις εργασίες χωρίς να απαιτεί κατασκευές με μικρές κατασκευαστικές ανοχές που δύσκολα υλοποιούνται στις δυσχερείς συνθήκες των υπογείων διανοίξεων.

β) Εξασφάλισε ότι οι συνδέσεις του κελύφους εκτοξευόμενου σκυροδέματος μεταξύ διαφορετικών φάσεων δεν αποτελούν σημεία μειωμένης αντοχής.

γ) Πέτυχε την μέγιστη οικονομία χρόνου και υλικών χωρίς να επιβαρύνεται η ασφάλεια του έργου και των κατασκευών που βρίσκονται στην επιφάνεια.

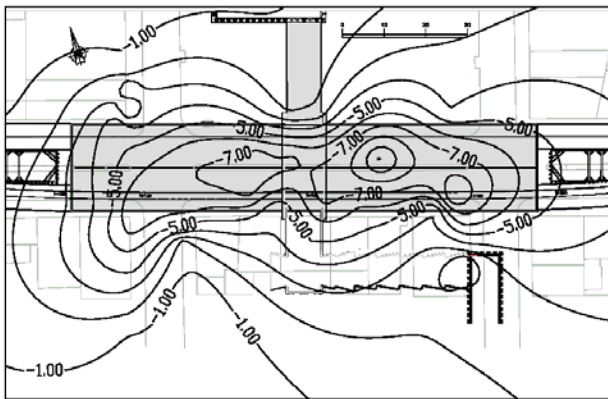


Σχήμα 6 Κατακόρυφες μετακινήσεις με βάση τρισδιάστατες προσομοιώσεις της διάνοιξης.
 Figure 6 Pattern of vertical displacements derived by three dimensional analyses.

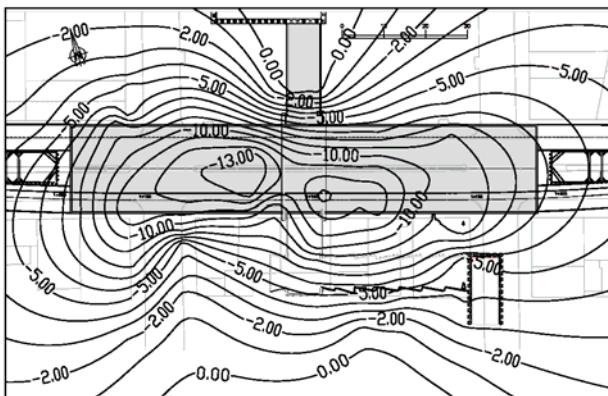


Σχήμα 7 Τμηματική διάνοιξη της αίθουσας του σταθμού
 Figure 7 Tunnelling the station in stages.

Top Heading



Bench and Invert



Σχήμα 8 Καμπύλες ίσων καθιζήσεων μετά το πέρας της διάνοιξης του θόλου (άνω) και του συνόλου της διατομής (κάτω)

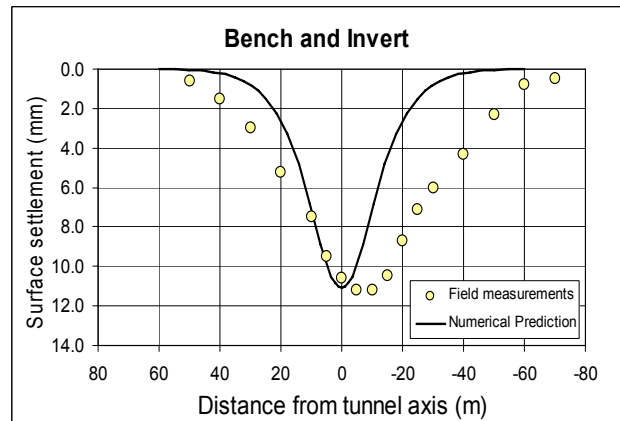
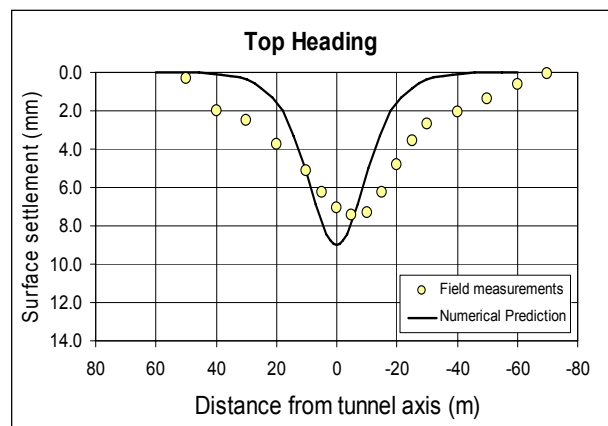
Figure 8 Settlement contours after excavation of the top heading (upper figure) and after the excavation of the complete section (lower figure)

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στην εκτέλεση των υπολογισμών συνέβαλαν οι μηχανικοί της ΟΤΜ ΑΤΕ Α.Παύλου και Μ.Αμπαριώτη. Ο Α.Αλιβιζάτος και Α.Μεσμπούρης παρέχουν τα στοιχεία μετρήσεων. Ευχαριστούμε την Αττικό Μετρό Α.Ε. που επέτρεψε την δημοσίευση των παραπάνω στοιχείων. Οι απόψεις που διατυπώνονται στο παρόν άρθρο δεν αντανακλούν κατ' ανάγκη τις απόψεις του κυρίου του έργου, ούτε της κατασκευάστριας κοινοπραξίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Hoek E., P.Marinos, M.Benissi (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. Environ 57:151-160.



Σχήμα 9 Σύγκριση των υπολογιζόμενων (με βάση τις τρισδιάστατες αναλύσεις-προφίλ C) και τις μετρηθείσες καθιζήσεις στην επιφάνεια. Figure 9 A comparison of calculated (on the basis of a three dimensional model for rock class C) and measured settlement troughs.

Kavvas M. (1999) "Experiences from the Construction of the Athens Metro Project", *Proc. 12th European Conference of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Amsterdam, June 1999, Invited lecture, Vol 3, pp 1665-1676.

Kavvas M., 2003. Geotechnical Interpretation Report for the Egaleo Station Complex. Report submitted to Attiko Metro S.A.

Kavvas M., L.Hewison, P.Laskaratos, C.Seferoglou and I.Michalis (1996). Experiences from the construction of the Athens Metro, Proc. Intern.Symp. on the Geotechnical Aspects of Underground construction in Soft Ground, Mair & Taylor (eds) Balkema, Rotterdam.

Koukis G. & N.Sabatakakis (1999) Engineering Geological Environment of Athens Greece. Bull.Eng.Geol.Env. 59:127-135