

## Σήραγγες Μέθοδος NATM



Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

1

## Σήραγγες Μέθοδος NATM

### New Austrian Tunneling Method)

- ❖ Η εκσκαφή και εγκατάσταση των μέτρων υποστήριξης πραγματοποιείται με κατάλληλη αλληλουχία ώστε να επέρχεται απελευθέρωση τάσεων χωρίς ωστόσο να προκαλείται υπέρβαση της αντοχής και χαλάρωση της περιβάλλουσας βραχομάζας
- ❖ Για την επίτευξη του στόχου αυτού, αποτελεί μέρος της μεθοδολογίας, πέραν των αριθμητικών αναλύσεων, των αναλυτικών προσεγγίσεων και των εμπειρικών μεθοδολογιών διαστασιολόγησης, η εγκατάσταση οργάνων παρακολούθησης της απόκρισης της σήραγγας και με βάση τα στοιχεία αυτά πραγματοποιείται η συνεχής διόρθωση των μέτρων υποστήριξης.

Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών



2

## Σήραγγες Μέθοδος NATM

### ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ NATM

- ❗ **Εκκαφή και προσωρινή υποστήριξη της διατομής της σήραγγας σε πολλαπλές φάσεις** (τουλάχιστον δύο)
- ❗ **Προσωρινή υποστήριξη με χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος (με ίνες), χαλύβδινο πλέγμα και πλαίσια διατομής I, αγκύρια, δοκούς προπορείας κλπ.**
- ❗ **Κατασκευή μόνιμης επένδυσης μετά την ολοκλήρωση της διάνοιξης** (σε μεγάλου μήκους σήραγγες η κατασκευή πραγματοποιείται ανά τμήματα)

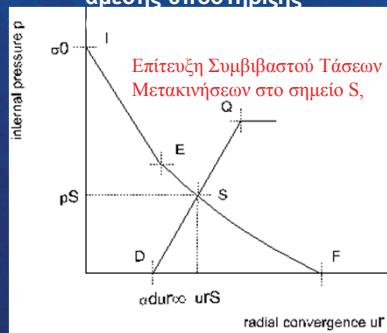
## Σήραγγες Μέθοδος NATM

- ❗ **Διάνοιξη της διατομής της σήραγγας σε πολλαπλές φάσεις** (για κατασκευαστικούς λόγους εφαρμόζονται τουλάχιστον 2 φάσεις)
-  ❗ **Οι ανωτέρω φάσεις επαναλαμβάνονται με σταθερό βήμα** (κύκλος εφαρμογής) αφού προηγουμένως εφαρμοσθούν τα πρώτα μέτρα άμεσης υποστήριξης
- ❗ **Ως πρώτα μέτρα άμεσης υποστήριξης ορίζεται το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα** (το οποίο εντούτοις ενεργοποιείται πλήρως μετά την παρέλευση κάποιου χρονικού διαστήματος), **τα χαλύβδινα πλαίσια** (πλήρης και άμεση λειτουργία), **τα αγκύρια** (η δράση και η λειτουργία τους καθορίζεται από τον τύπο των αγκυριών)
-  ❗ **Σε εξαιρετικές περιπτώσεις βραχομάζας με μικρή διατμητική αντοχή εφαρμόζονται μέτρα προενίσχυσης** (δοκοί προπορείας, τσιμεντένες, jet grouting, ενίσχυση μετώπου με ίνες ύαλου), **κλείσιμο διατομής με προσωρινό αντεστραμμένο τόξο, εφαρμογή κλίσης στο μέτωπο εκσκαφής και κάλυψη του με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα**
- ❗ **Τα μέτρα άμεσης υποστήριξης ολοκληρώνονται σε απόσταση τριών κύκλων για την άνω βαθμίδα** (Α φάση εκσκαφής), ενώ για την κάτω ημιδιατομή είναι δυνατόν να εφαρμοσθεί μεγαλύτερο βήμα κύκλου

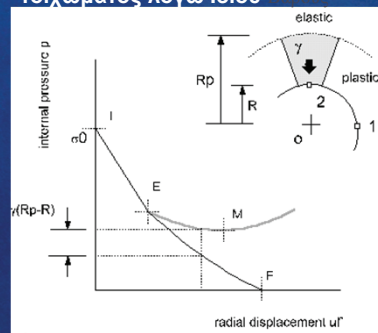
## ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΤΑΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

- Η εφαρμογή των μέτρων άμεσης υποστήριξης θα πρέπει να υλοποιείται με τρόπο που να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή εκτόνωση τάσεων, χωρίς ωστόσο να προκαλείται χαλάρωση της περιβάλλουσας βραχομάζας

### Τοποθέτηση μέτρων άμεσης υποστήριξης



### Διαφοροποίηση οροφής και τοιχώματος λόγω Ιδίου



## ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

- Ο προκαταρκτικός σχεδιασμός σηράγγων πραγματοποιείται με χρήση εμπειρικών μεθοδολογιών με χρήση των συστημάτων κατάταξης (RMR, Q, GSI)
- Κατά την μεθοδολογία αυτή λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα:

- Ποιότητα βραχομάζας (RQD, διατμητική αντοχή)
- Γεωστατικό Πεδίο (αρχικές τάσεις, τεκτονισμός)
- Μορφή, γεωμετρία ασυνεχειών (μήκος, άνοιγμα, προσανατολισμός, βαθμός διάβρωσης)
- Γεωμετρία Διατομής (μέγεθος ανοίγματος)
- Δράση Υπογείων Υδάτων
- Γεωμορφολογία Περιοχής
- Τοπολογία Έργου (δίδυμες σήραγγες, με μικρή ενδιάμεση απόσταση, διασαύρωση σηράγγων, ανισοσταθμία κλάδων)

### ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

- ❖ Μετά από συνεκτίμηση της δράσης των προηγούμενων παραγόντων προσδιορίζεται η αντίστοιχη κατηγορία κατά RMR (Beniawski 1989), κατά την μέθοδο Q (Barton 1974, 1993) και τα αντίστοιχα μέτρα άμεσης υποστήριξης, ο τρόπος εκσκαφής και τυχόν ανάγκη προενίσχυσης
- ❖ Ειδικότερα προσδιορίζονται τα ακόλουθα:
  - 🏗️ **Γεωμετρία Εκσκαφής** (ολομέτωπη, άνω και κάτω ημιδιατομή, σε πολλαπλές φάσεις)
  - 🏗️ **Τρόπος Εκσκαφής** (μηχανικά μέσα ή/και ανατινάξεις)
  - 🏗️ **Βήμα εκσκαφής και απόσταση ολοκλήρωση εγκατάστασης μέτρων άμεσης υποστήριξης Γεωμετρία Διατομής** (μέγεθος ανοίγματος)
  - 🏗️ **Προσδιορισμός μέτρων άμεσης υποστήριξης** (είδος, διάταξη και πυκνότητα)
  - 🏗️ **Ανάγκη προενίσχυσης**
  - 🏗️ **Ανάγκη δακτυλιοειδούς κλεισίματος της διατομής με κατασκευή προσωρινού αντεστραμμένου τόξου)**

### ΤΕΛΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

- ❖ Ο τελικός σχεδιασμός της σήραγγας πραγματοποιείται με χρήση αριθμητικών μεθόδων οι οποίες είναι σε θέση να λάβουν υπόψη τα φαινόμενα αλληλεπίδρασης μεταξύ της περιβάλλουσας βραχομάζας και των στοιχείων άμεσης υποστήριξης και μόνιμης επένδυσης της σήραγγας
- ❖ Η προσομοίωση των συστατικών υλικών του προβλήματος πραγματοποιείται με χρήση καταστατικών νόμων συμπεριφοράς ικανών να λάβουν υπόψη τα φαινόμενα μη γραμμικής συμπεριφοράς των υλικών (ελαστοπλαστικά με ιξώδη ή μη συμπεριφορά)
- ❖ Η προσομοίωση των φάσεων εκσκαφής απαιτεί χρήση προγραμμάτων με δυνατότητα προσομοίωσης προβλημάτων με μεταβλητά όρια και διαστάσεις
- ❖ Ο αρχικός κάρναβος προσομοίωσης προσδιορίζεται με βάση τον προκαταρκτικό σχεδιασμό και τα αποτελέσματα των εμπειρικών μεθοδολογιών. Η εκ νέου προετοιμασία κάρναβου πεπερασμένων στοιχείων (για την περίπτωση σύνθετων μηγεωμετρικών προβλημάτων) είναι ιδιαίτερα κοπιαστική. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει το στάδιο προκαταρκτικού σχεδιασμού να είναι ενδεδειγμένο. Σε περίπτωση που προκρίνεται ανάγκη μεταβολής των φάσεων εκσκαφής ή ακόμα της διάταξης των μέτρων άμεσης υποστήριξης κρίνεται σκόπιμη η προετοιμασία πλέγματος που να είναι σε θέση να δεχθεί μεταβολές. Η προετοιμασία πλέγματος του τύπου αυτού είναι πιο σύνθετη και κοπιώδης, δίνει εντούτοις την δυνατότητα τροποποίησης χωρίς αναμόρφωση εκ νέου.

### ΤΕΛΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

- ❖ Η προσομοίωση των κατασκευαστικών φάσεων σήραγγας περιλαμβάνει σε γενικές γραμμές τα ακόλουθα στάδια :



- 1. **Εισαγωγή της στρωματογραφίας, των οριακών συνθηκών και της αρχικής εντατικής κατάστασης της περιοχής μελέτης**



- 2. **Μερική μείωση της δυσκαμψίας της προς εκσκαφή βραχομάζας** (φάση εκσκαφής, βήμα εκσκαφής, τύπος και διάταξη μέτρων άμεσης υποστήριξης)

- 3. **Αφαίρεση των στοιχείων εκσκαφής και ενεργοποίηση** (μερική ή ολική) **των στοιχείων άμεσης υποστήριξης. Μείωση δυσκαμψίας της περιοχής εκσκαφής της επόμενης φάσης**

- 4. **Αφαίρεση των στοιχείων της περιοχής όπου μειώθηκε η δυσκαμψία, ενεργοποίηση** (μερική ή ολική) **των στοιχείων άμεσης υποστήριξης. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι ολοκλήρωσης της εκσκαφής και της άμεσης υποστήριξης**



### ΤΕΛΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

- 1. **Ενεργοποίηση στοιχείων προσομοίωσης της τελικής επένδυσης με ταυτόχρονη μερική ή πλήρη απενεργοποίηση των μέτρων άμεσης υποστήριξης** (η πλήρης απενεργοποίηση δεν οδηγεί κατ'ανάγκη σε μεγαλύτερες απαιτήσεις σπλισμού)

- 2. **Επιβολή πρόσθετων επιφορτίσεων στη μόνιμη επένδυση** (υδροστατική πίεση, διέλευση φορτίων πάνω από τα στόμια, καταπόνηση από έκρηξη, θερμοκρασιακή μεταβολή)

- 3. **Επίλυση για περίπτωση σεισμικής δράσης** (Είναι γνωστό ότι οι επιπτώσεις της σεισμικής δράσης είναι σχετικά περιορισμένες. Σε ορισμένες εντούτοις περιπτώσεις, όπως αβαθείς σήραγγες με ζώνες έντονης διάτμησης και ασυνεχειών και με έντονη και δυσμενή μορφολογία, είναι δυνατόν να απαιτηθεί ανάλυση ε σεισμική δράση)

## Σήραγγες Μέθοδος NATM



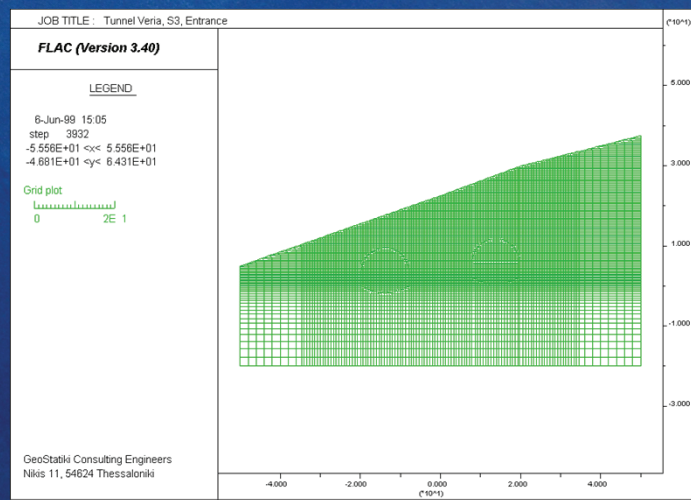
τέλος

Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

11

## Σήραγγες Μέθοδος NATM

### Διακριτοποίηση Προβλήματος

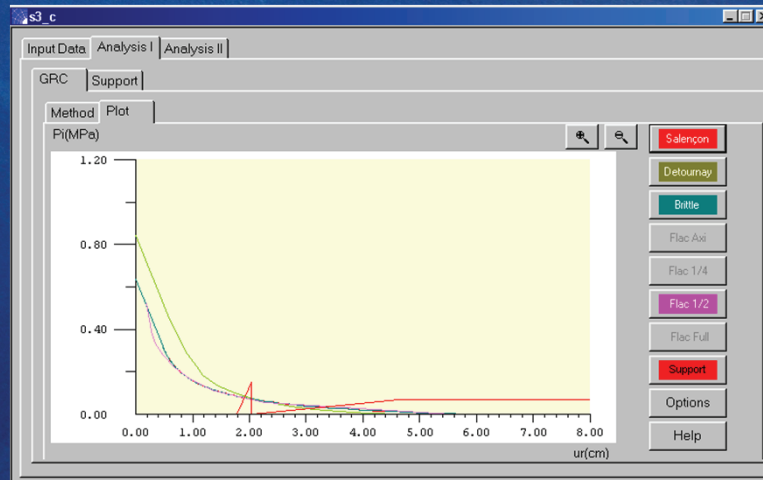


Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

12

## Σήραγγες Μέθοδος NATM

### Προσδιορισμός Βαθμού Αποτόνωσης Βραχομάζας



Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

13

## Σήραγγες Μέθοδος NATM

### Διάγραμμα Σχεδιασμού Σηράγγων

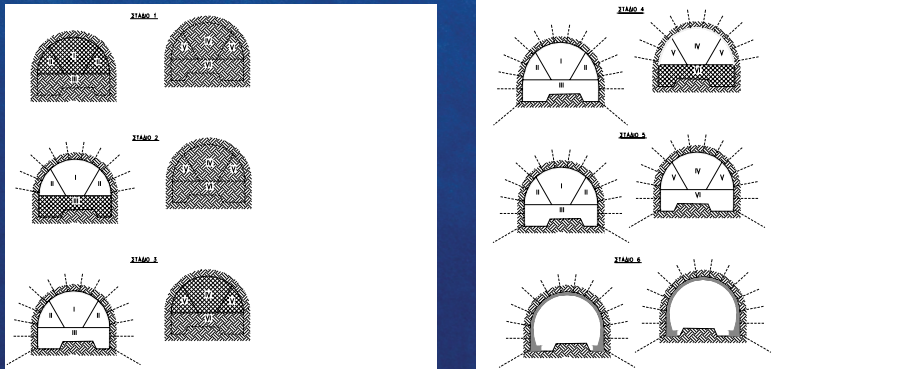


Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

14

Σήραγγες Μέθοδος NATM

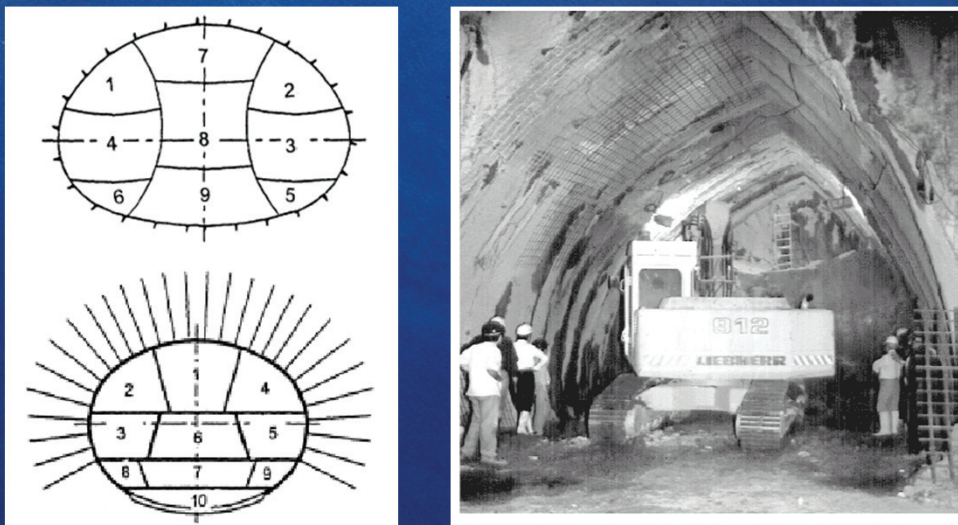
Φάσεις Κατασκευής και Προσομοίωσης Διπλής Σήραγγας



Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Σήραγγες Μέθοδος NATM

Πολλαπλές Φάσεις (Multi-Drift) Εκσκαφής Διατομής Σήραγγας

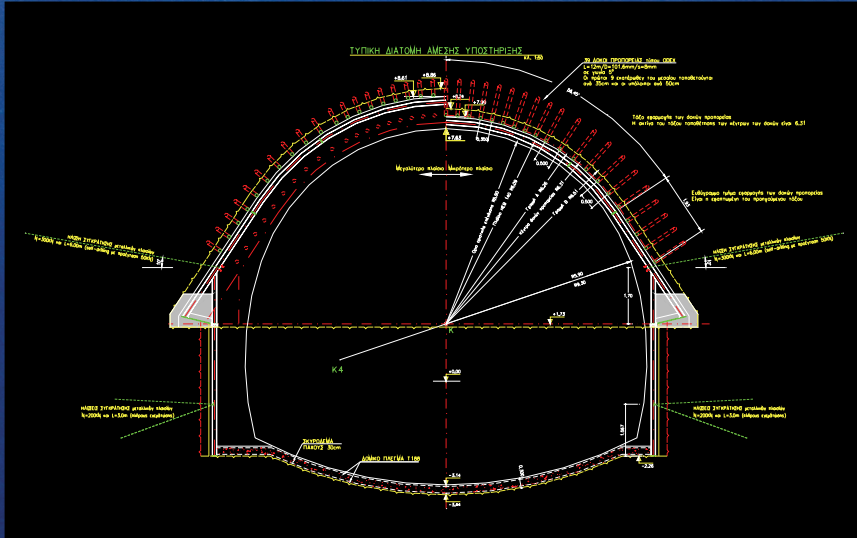


Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών



Σήραγγες Μέθοδος NATM

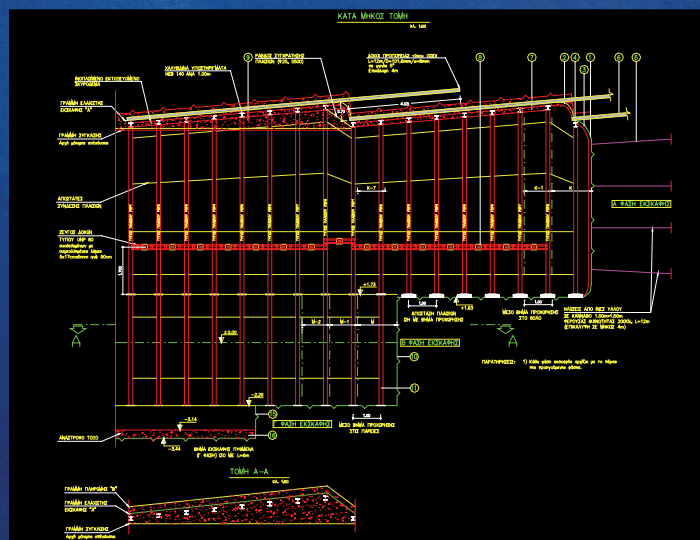
Μέτρα Άμεσης Υποστήριξης – Διατομή



Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Σήραγγες Μέθοδος NATM

Μέτρα Άμεσης Υποστήριξης – Διατομή



Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών