

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή



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

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή


ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

 **ΤΜΗΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ
ΠΡΟΣΩΡΙΝΩΝ ΚΑΙ ΜΟΝΙΜΩΝ ΜΕΤΡΩΝ**
(**ΝΕΑ ΑΥΣΤΡΙΑΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ, NATM**)



 **ΜΕΘΟΔΟΣ ΟΛΟΜΕΤΩΠΗΣ ΚΟΠΗΣ**
(**TBM**)



 **ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΕΠΙΧΩΣΗΣ**
(**CUT & COVER**)

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

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή



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

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή



τέλος

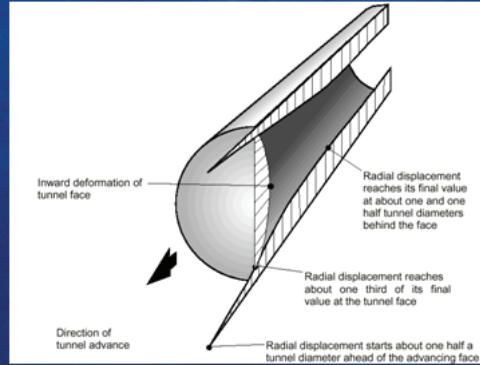
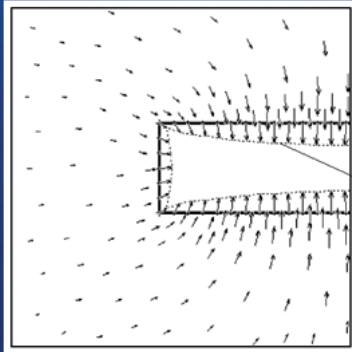
Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΕΝΤΑΤΙΚΟ – ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Παραδοχές: Κυκλική σήραγγα, ελαστικό-ισότροπο μέσο, υδροστατική φόρτιση

- ❖ Οι μετακινήσεις αρχίζουν σε αρκετή απόσταση πίσω από το μέτωπο εκσκαφής
- ❖ Σε περίπτωση αξονομετρικής κατάστασης και σε αβαρές μέσο η εικόνα μετακινήσεων είναι συμμετρικής μορφής



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

5

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

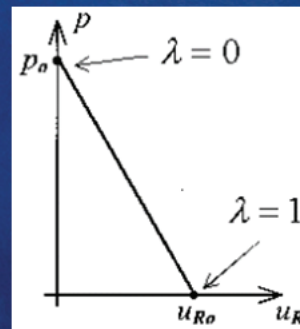
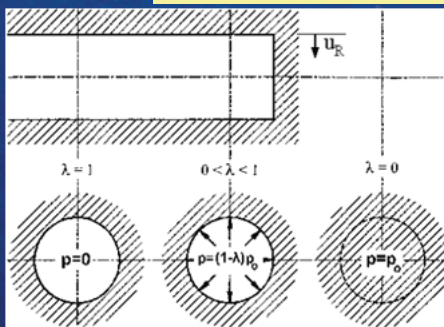
ΕΝΤΑΤΙΚΟ – ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Παραδοχές: Κυκλική σήραγγα, ελαστικό-ισότροπο μέσο

- ❖ Προσομοίωση με εφαρμογή ισοδύναμης εσωτερικής πίεσης (p) (ανυποστήρικτη σήραγγα)
- λ : συντελεστής αποτόνωσης

$$u_R = (p_o - p) \frac{R}{2G} = \lambda \frac{R}{2G} p_o$$

$$p = (1 - \lambda) p_o$$



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

6

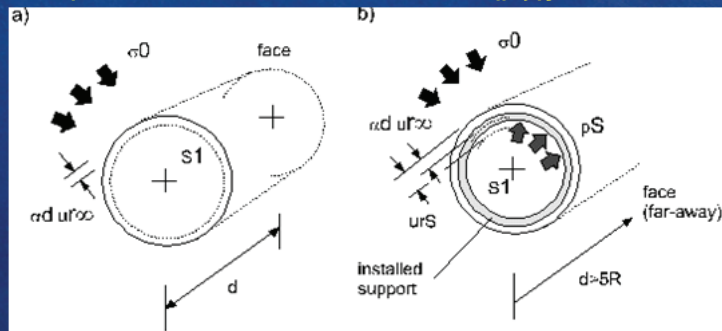
Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΕΝΤΑΤΙΚΟ – ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ Παραδοχές: Κυκλική σήραγμα, ελαστικό-ισότροπο μέσο

- ❖ Απεικόνιση προσομοίωσης υποστήριξης με επιβολή ισοδύναμης εσωτερικής πίεσης

Συγκλίσεις σε μικρή απόσταση από το μέτωπο

Συγκλίσεις στη θέση εγκατάστασης των μέτρων υποστήριξης



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

Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

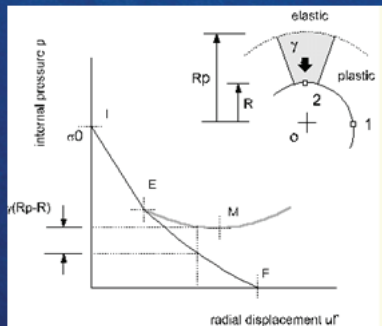
7
Σήραγγες & Υπόγεια Έργα
Αντιπ. Καθηγητής Αιμίλιος Κωμοδρόμος

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

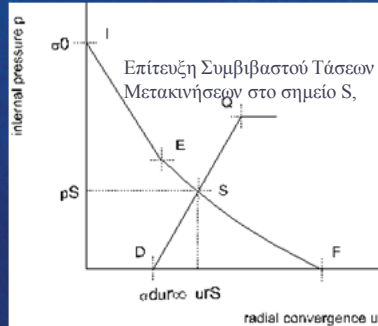
ΕΝΤΑΤΙΚΟ – ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ Παραδοχές: Κυκλική σήραγμα, ελαστικό-ισότροπο μέσο

- ❖ Καμπύλες απόκρισης βραχομάζας (Εσωτερική Πίεση – Σύγκλιση)

Διαφοροποίηση οροφής και τοιχώματος λόγω Ιδίου Βάρους



Τοποθέτηση μέτρων άμεσης υποστήριξης (σημείο D)

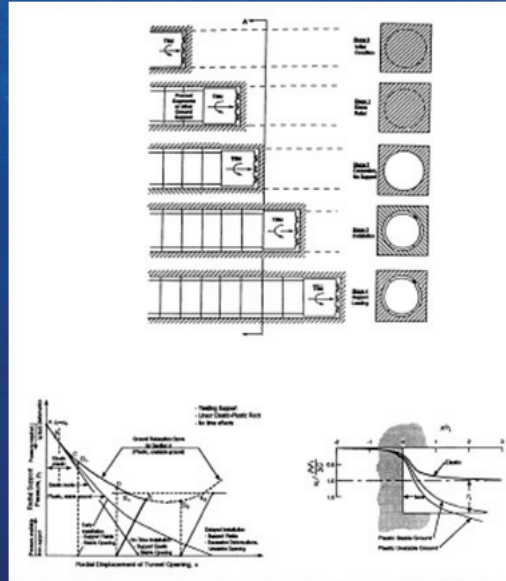


Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

8

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

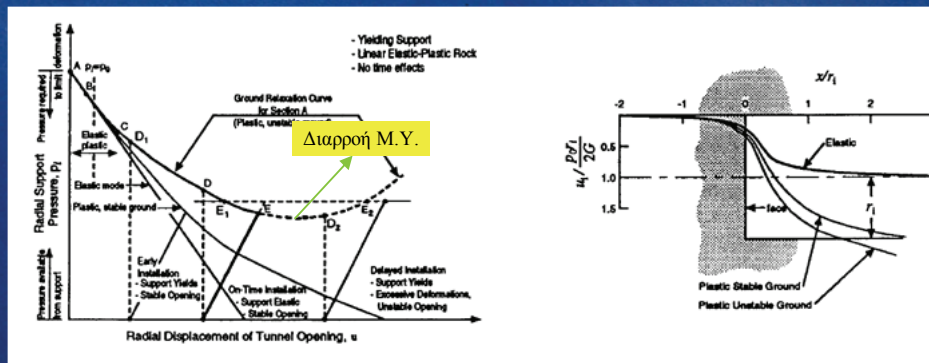
ΕΝΤΑΤΙΚΟ – ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ
 Διάγραμμα Σύγκλισης – Εφαρμογή μέτρων



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

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΕΝΤΑΤΙΚΟ – ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ
 Διάγραμμα Σύγκλισης – Εφαρμογή μέτρων



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

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

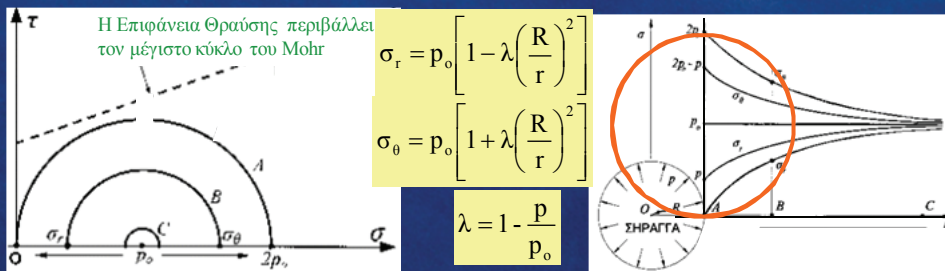
ΕΝΤΑΤΙΚΟ – ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ Κατανομή Τάσεων – Μετακινήσεις σε ανυποστήρικτη σήραγμα

❖ Παραδοχές

- # Κυκλική Σήραγμα
- # Καθεστώως Επίπεδης Παραμόρφωσης
- # Ομογενές, Ισοτρόπο Αβαρές Μέσο
- # Γραμμική Ελαστικότητα
- # Προσομοίωση της Εκσκαφής με Εσωτερική Πίεση

$$U_r = \frac{1+\nu}{E} p_o \frac{R^2}{r}$$

$$U_{r=R} = \frac{1+\nu}{E} p_o R = \frac{R}{2G} p_o$$



Η Επιφάνεια Θραύσης περιβάλλει τον μέγιστο κύκλο του Mohr

$$\sigma_r = p_o \left[1 - \lambda \left(\frac{R}{r} \right)^2 \right]$$

$$\sigma_\theta = p_o \left[1 + \lambda \left(\frac{R}{r} \right)^2 \right]$$

$$\lambda = 1 - \frac{p}{p_o}$$

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

11

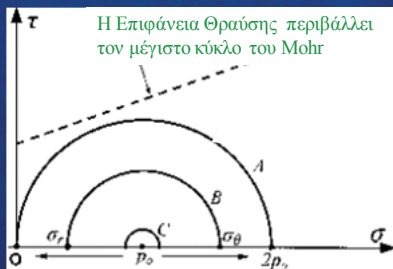
Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΕΝΤΑΤΙΚΟ – ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ Κατανομή Τάσεων – Μετακινήσεις σε υποστηριζόμενη σήραγμα

Κριτήριο Θραύσης Mohr-Coulomb

$$\sigma_1 = \sigma_3 N_\phi + 2c\sqrt{N_\phi} = \sigma_3 N_\phi + R_c$$

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \sin\phi + c \cos\phi$$



Η Επιφάνεια Θραύσης περιβάλλει τον μέγιστο κύκλο του Mohr

$$N_\phi = k_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) = \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi}$$

Να προσδιορισθεί η ελάχιστη απαιτούμενη τιμή εσωτερικής πίεσης p_a για την αποφυγή θραύσης

$$p_o = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}, \quad p_a = \sigma_3$$

$$p_a = p_o (1 - \sin\phi) - c \cos\phi$$

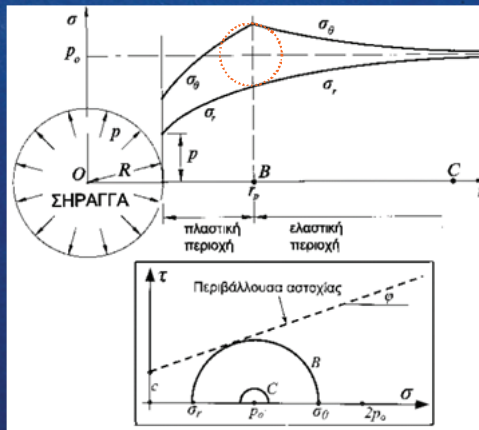
$$p_a = \left(p_o - \frac{R_c}{2} \right) \frac{2}{N_\phi + 1} = \left(p_o - \frac{R_c}{2} \right) (1 - \sin\phi)$$

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

12

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΕΝΤΑΤΙΚΟ-ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ Κατανομή Τάσεων – Μετακινήσεις σε υποστηριζόμενη σήραγγα



$$r_p = R \left[\frac{2}{N_\phi + 1} \frac{p_o(N_\phi - 1) + R_c}{R_c} \right]^{\frac{1}{N_\phi - 1}}$$

Κατανομή Τάσεων στην Πλαστική Ζώνη

$$\sigma_r = \frac{R_c}{N_\phi - 1} \left[\left(\frac{r}{R} \right)^{N_\phi - 1} - 1 \right]$$

$$\sigma_\theta = \frac{R_c}{N_\phi - 1} \left[N_\phi \left(\frac{r}{R} \right)^{N_\phi - 1} - 1 \right]$$

Κατανομή Τάσεων στην Ελαστική Ζώνη

$$\sigma_r = p_o - f(p_o) \frac{r_p^2}{r^2}$$

$$\sigma_\theta = p_o + f(p_o) \frac{r_p^2}{r^2}$$

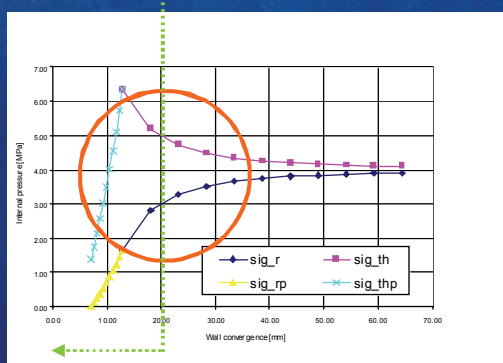
οπου $f(p_o)$ η τιμή του κριτηρίου θραύσης στην εξεταζόμενη θέση

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

13

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΕΝΤΑΤΙΚΟ-ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ Κατανομή Τάσεων – Μετακινήσεις σε υποστηριζόμενη σήραγγα



$$r_p = R \left[\frac{2}{N_\phi + 1} \frac{p_o(N_\phi - 1) + R_c}{R_c} \right]^{\frac{1}{N_\phi - 1}}$$

Κατανομή Τάσεων στην Πλαστική Ζώνη

$$\sigma_r = \frac{R_c}{N_\phi - 1} \left[\left(\frac{r}{R} \right)^{N_\phi - 1} - 1 \right]$$

$$\sigma_\theta = \frac{R_c}{N_\phi - 1} \left[N_\phi \left(\frac{r}{R} \right)^{N_\phi - 1} - 1 \right]$$

Κατανομή Τάσεων στην Ελαστική Ζώνη

$$\sigma_r = p_o - f(p_o) \frac{r_p^2}{r^2}$$

$$\sigma_\theta = p_o + f(p_o) \frac{r_p^2}{r^2}$$

οπου $f(p_o)$ η τιμή του κριτηρίου θραύσης στην εξεταζόμενη θέση

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

14

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΕΝΤΑΤΙΚΟ-ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ Κριτήριο Hoek-Brown

❖ Παραδοχές

$$\sigma_{\theta} = \sigma_r + \sigma_{ci} \left(m \frac{\sigma_r}{\sigma_{ci}} + s \right)^{1/2}$$

$$\sigma_{cm} = \frac{\sigma_{ci}}{52.63} \exp\left(\frac{GSI}{20}\right)$$

$$\sigma_{cm} = \sigma_{ci} \sqrt{s}$$

$$N_s = 2p_o / \sigma_{cm}$$

N_s = συντελεστής υπερφόρτισης

$$\sigma_{\theta} = (1 + \lambda)p_o \quad \sigma_r = (1 - \lambda)p_o \quad N_s = 2p_o / \sigma_{cm}$$

$$\lambda_e = \frac{1}{4N_s} \left[\sqrt{m^2 + 8mN_s + 16s} - m \right] \text{ (Hoek - Brown)}$$

$$\lambda_e = \frac{1}{N_s} = \frac{c}{p_o} \text{ (Tresca)}$$

$$\lambda_e = \frac{1}{N_{\phi} + 1} \left[N_{\phi} + 1 - \frac{2}{N_s} \right] \text{ (Mohr - Coulomb)}$$

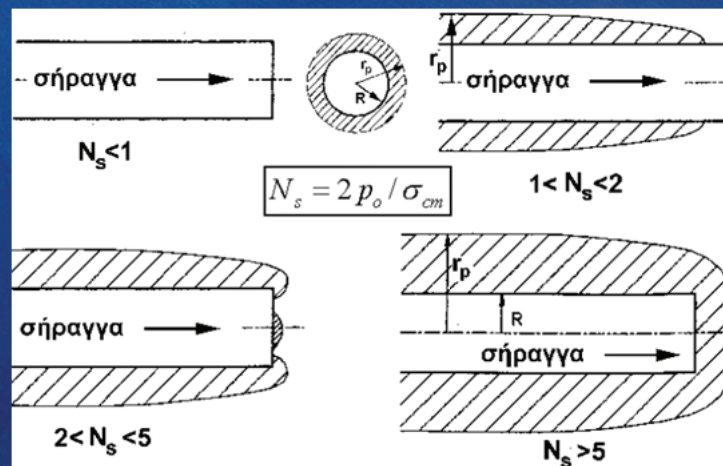
Όπου λ_e το ποσοστό αποτόνωσης που αντιστοιχεί στην παραβίαση της επιφάνειας θραύσης

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

15

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΕΥΡΟΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ Ανυποστήρικτη σήραγγα

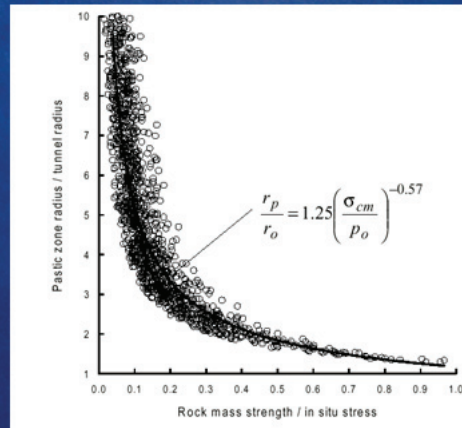
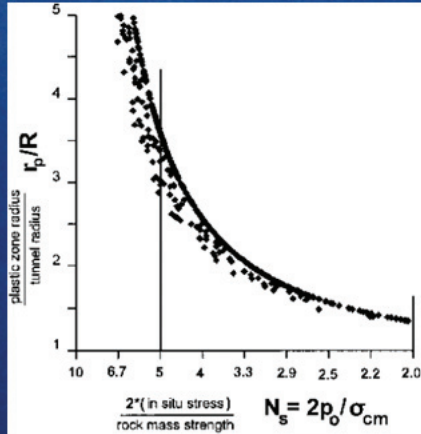


Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

16

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΕΥΡΟΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ
 Διαγράμματα Ζώνης Πλαστικοποίησης vs
 λόγου αντοχής και τασικού πεδίου
 Ανυποστήρικτη Σήραγγα



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

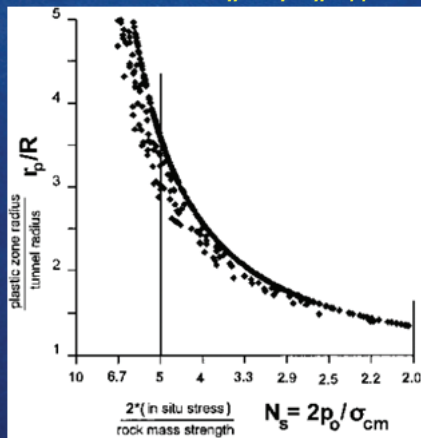
$=2/N_s$

17

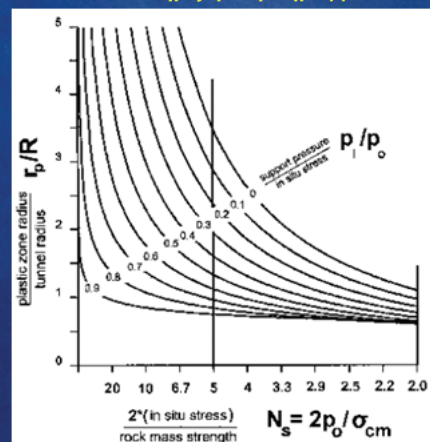
Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΕΥΡΟΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ
 Διαγράμματα Ζώνης Πλαστικοποίησης vs
 λόγου αντοχής και τασικού πεδίου

Ανυποστήρικτη Σήραγγα



Υποστηριζόμενη Σήραγγα



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

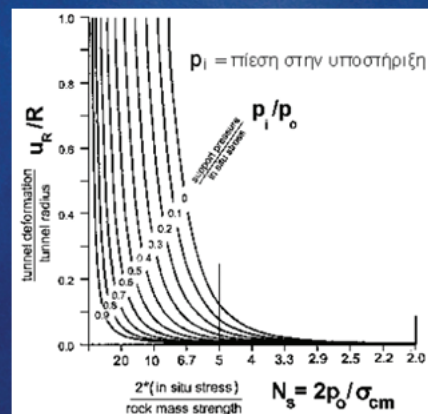
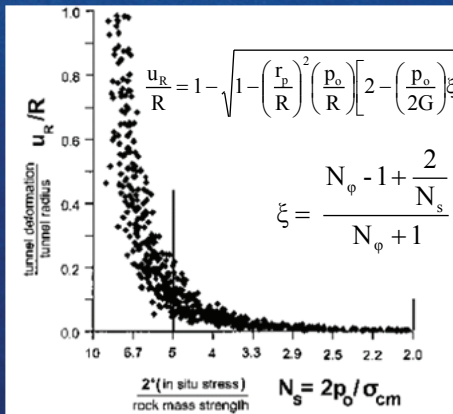
18

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΕΥΡΟΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ Αναμενόμενες Μετακινήσεις στα όρια της σήραγγας

Ανυποστήρικτη Σήραγγα

Υποστηριζόμενη Σήραγγα

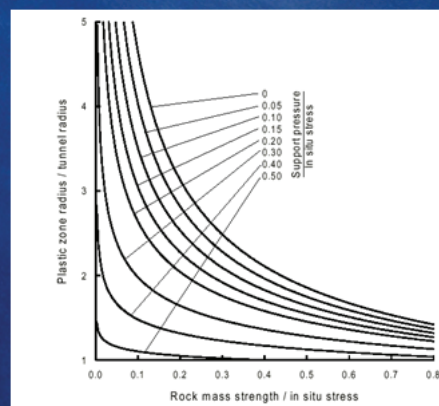
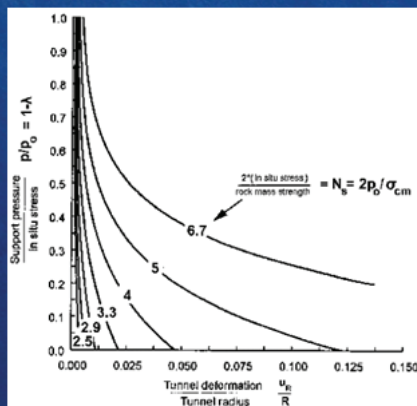


Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

19

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΕΥΡΟΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ Καμπύλες Σύγκλισης Αποτόνωσης συναρτήσεϊ του συντελεστή Υπερφόρτισης

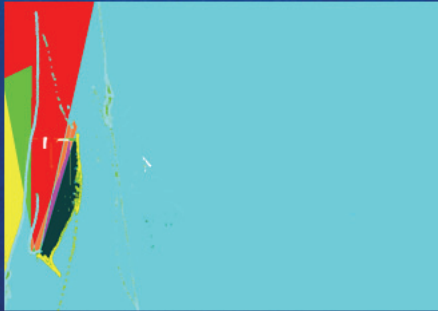


Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

20

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

τέλος

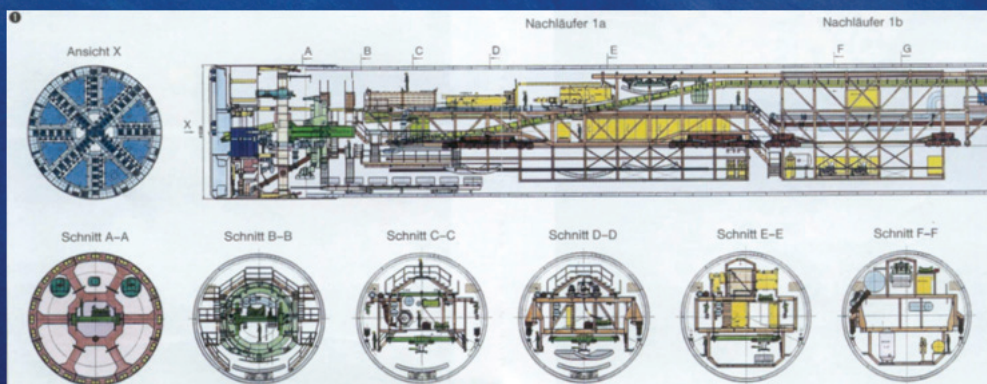


Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

21

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΟΛΟΜΕΤΩΠΗΣ ΚΟΠΗΣ TOTALBORING MACHINE

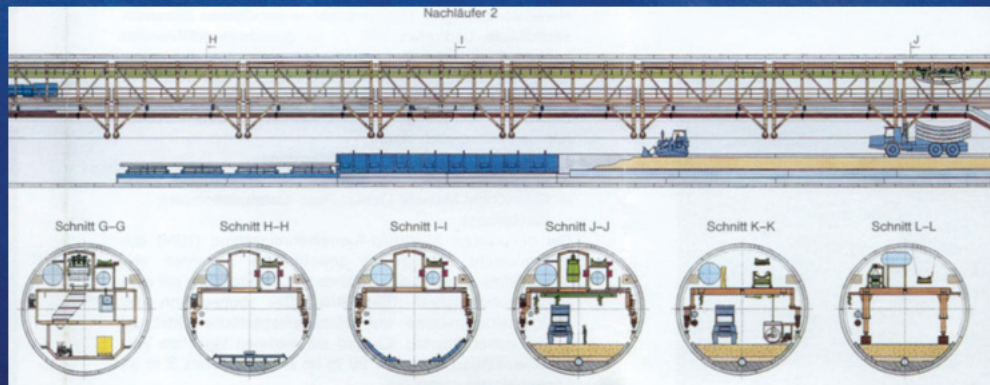


Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

22

Σήραγγες **Γενική Εισαγωγή**

ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΟΛΟΜΕΤΩΠΗΣ ΚΟΠΗΣ
TOTALBORING MACHINE

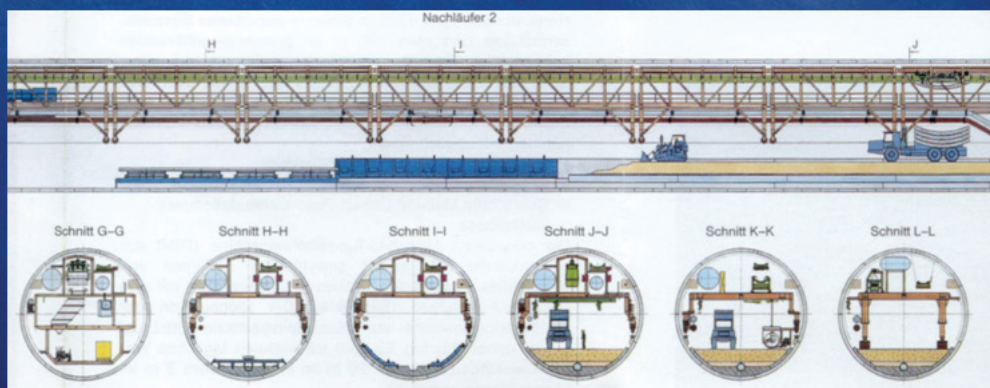


Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

23

Σήραγγες **Γενική Εισαγωγή**

ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΟΛΟΜΕΤΩΠΗΣ ΚΟΠΗΣ
TOTALBORING MACHINE

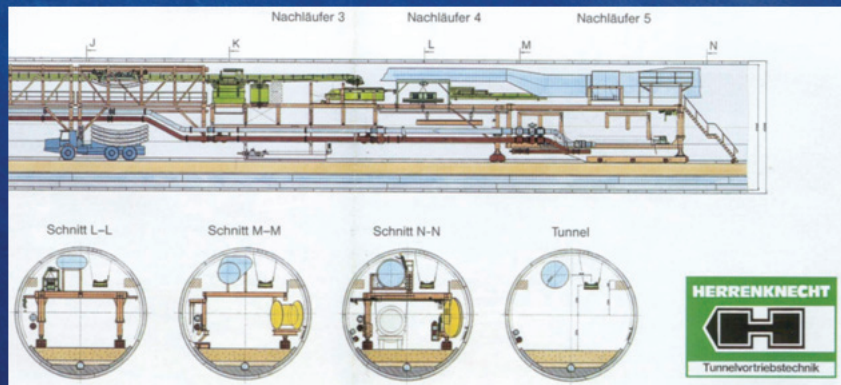


Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

24

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΟΛΟΜΕΤΩΠΗΣ ΚΟΠΗΣ
TOTALBORING MACHINE

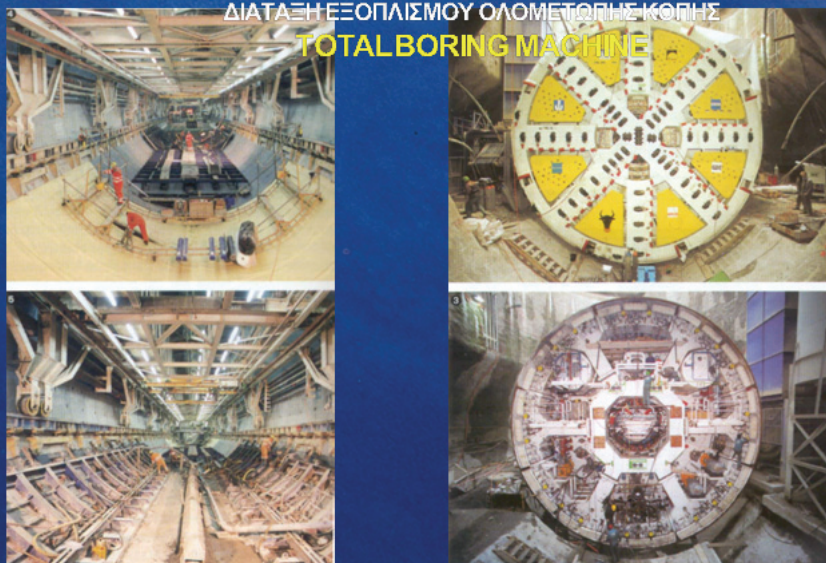


Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

25

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΟΛΟΜΕΤΩΠΗΣ ΚΟΠΗΣ
TOTALBORING MACHINE



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

26

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

CUT AND COVER
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΤΟΜΙΟΥ



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

27

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

CUT AND COVER



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

28

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ



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

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ



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

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ



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

31

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ



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

32

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΔΟΜΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ



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

33

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ

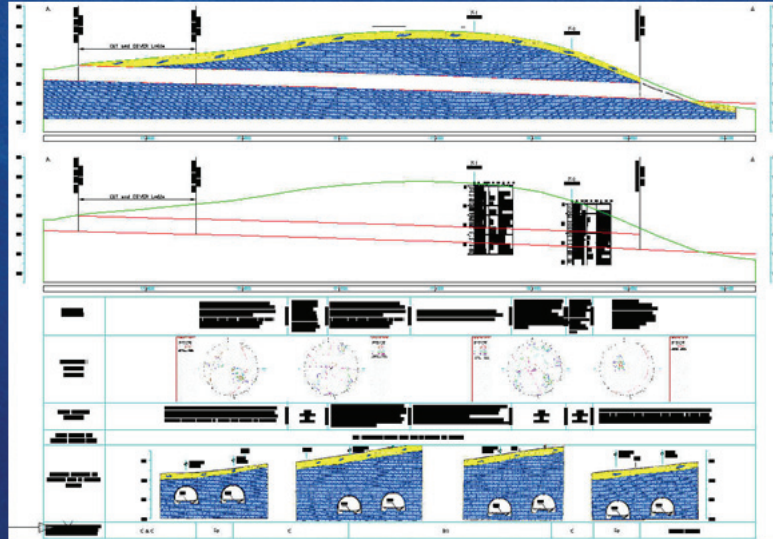
- ⚡ **ΑΝΤΟΧΗ ΑΡΡΗΚΤΟΥ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ**
- ⚡ **ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ**
- ⚡ **ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ, RQD**
- ⚡ **ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ**
- ⚡ **ΥΛΙΚΟ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ**

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

34

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ



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

35

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

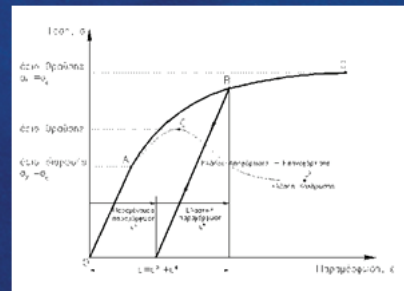
ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ Εκτίμηση παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητας

❖ Για τον προσδιορισμό της απόκρισης της βραχομάζας με χρήση αριθμητικών μεθόδων απαιτούνται τα ακόλουθα:

- Αρχικό Εντατικό Πεδίο (σ_v, σ_h)
- Παράμετροι Παραμορφωσιμότητας (E, ν ή K, G)
- Παράμετροι Αντοχής (ϕ, c)
- Μεταλαστική Συμπεριφορά (Κριτήριο Θραύσης, Επιφάνεια και Κριτήριο Διαρροής)

Τα δοκίμια στα οποία εκτελούνται οι εργαστηριακές και επιτόπου δοκιμές αποτελούν διακριτά σημεία και τα αποτελέσματα των δοκιμών σπανίως θεωρούνται αντιπροσωπευτικά για τη βραχομάζα

Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο εμπειρικές μεθόδολογίες, βασισμένες τόσο στα αποτελέσματα των δοκιμών όσο και στην γεωλογική περιγραφή και την γεωμορφολογία της εξεταζόμενης περιοχής



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

36

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Αρχικό Εντατικό Πεδίο

- ❖ Γεωστατικό Πεδίο (κύριοι άξονες τάσεων κατά την οριζόντια και κατακόρυφη έννοια)

$$\sigma'_v = \gamma h - u_0 \quad \sigma'_h = K_0 \sigma'_v$$

h = βάθος από την επιφάνεια του εδάφους

γ = ειδικό βάρος της βραχομάζας (23-26 kN/m³)

u_0 = υδατική πίεση πόρων

K_0 = ο συντελεστής ωθήσεων ηρεμίας (συνήθως 0.3-1.0)

Σε υγιείς βραχομάζες τεκτονισμό : $K_0 = 0.5-1.0$

Σε αποσαθρωμένες-χαλαρωμένες βραχομάζες : $K_0 = 0.4-0.7$

Σε περίπτωση ανάπτυξης υψηλών τεκτονικών πιέσεων η χρήση γεωστατικού πεδίου είναι δυνατόν να αφίσταται αισθητά των ασκούμενων τάσεων

- ❖ Πεδίο Αρχικών Τάσεων Σύνθετης Γεωμορφολογίας

Προσδιορισμός του εντατικού πεδίου με χρήση αριθμητικών μεθόδων (FLAC)

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

37

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Παράμετροι Παραμορφωσιμότητας

- ❖ Μέτρο Ελαστικότητας E

$$E = \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{\left(\frac{RMR-10}{40}\right)}$$

σ_{ci} = αντοχή άρρηκτου πετρώματος (σε MPa)

RMR = δείκτης ταξινόμησης Bieniawski ή δείκτης GSI για $\sigma_{ci} < 100$

(σ_{ci} σε MPa, E σε GPa)

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)} \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

$$E = \frac{9KG}{3K+G} \quad \nu = \frac{3K-2G}{2(3K+G)}$$

- ❖ Λόγος Poisson

Τύπος βραχομάζας	Λόγος Poisson
Τεμαχώδης με καλή αλληλεμπλοκή των κόκκων χωρίς διαταραχή	0.20-0.25
Τεμαχώδης ελαφρώς διαταραγμένη	0.30-0.35
Διαταραγμένη, πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια	0.35-0.40
Πολύ διαταραγμένη με γωνιώδη και στρωγγυλεμένα τεμάχια	0.30-0.35
Τελείως εξαλλοιωμένη βραχομάζα	0.25-0.30

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

38

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ
Προσδιορισμός GSI, RMR

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX

From the letter codes describing the structure and surface conditions of the rock mass (from Table 4), pick the appropriate box in this chart. Estimate the average value of the Geological Strength Index (GSI) from the contours. Do not attempt to be too precise. Quoting a range of GSI from 36 to 42 is more realistic than stating that GSI = 38.

STRUCTURE

- BLOCKY** - very well interlocked unbedded rock mass consisting of cubical blocks formed by three orthogonal discontinuity sets
- VERY BLOCKY** - interlocked partially disturbed rock mass with multifaceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets
- BLOCKY/DISTURBED** - folded and/or faulted with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets
- DISINTEGRATED** - poorly interlocked, heavily broken rock mass with a mixture of angular and rounded rock pieces

DECREASING SURFACE QUALITY

DECREASING DEVELOPING OF ROCK FACES

SURFACE CONDITIONS

VERY GOOD (S1) - unweathered surfaces
GOOD (S2) - slightly weathered, iron stained surfaces
FAIR (S3) - moderately weathered or altered surfaces
POOR (S4) - highly weathered or altered surfaces with some coating in places of angular fragments
VERY POOR (S5) - highly weathered or altered surfaces with soft clay coating or staining

ΠΕΡΙΟΧΗ Σήραγγα 321

Τμήμα 74

Σ.Φ. Πυροσβεστικός Λαβυστάκιος (Γραμμές, υπόγειο, έργο κατασκευής, σε αποκατάσταση)

ΑΙΘΡΑ 1

RMR = (Rf)(Rq)(Rm)(Ri)(Rf)(Sf)

Α. ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΥΠΟΚΩΝΟΣ	ΒΑΘΜΟΚΩΝΟΣ
A.1 ΑΝΩΤΕΡΟ ΤΥΠΟΚΩΝΟΣ (ΣΤΕΡΕΟΤΗΤΕΣ ΔΕΡΜΟΣ)	40
A.2 ΔΕΥΤΕΡΟΤΥΠΟΤΑΤΕ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ (RQD (%) 40% έως 50%)	11
A.3 ΑΝΩΤΕΡΟ ΜΕΤΑΛΥ ΑΣΤΕΙΕΣΟΝ (mm)	200 έως 3000
A.4 ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΕΙΕΣΟΝ (mm/ΑΣΤΕΙΕΣΟΝ)	
A.4.1 Μέγιστο (mm)	C 2
A.4.2 Μέγιστο (mm)	2A 1
A.4.3 Τυπικό (mm)	B 5
A.4.4 Τυπικό (mm)	D 6
A.4.5 Αριθμολογία	E 8
A.5 ΥΠΕΡ ΕΙΣ ΜΕΡΟΣ	CO 16
Επιβεβαιωμένο βάθος/ΡΜΒ	
	16

Β. ΠΡΟΣΦΩΝΣΗ ΜΕ ΕΙΣ ΤΗΝ ΠΡΟΣΦΩΝΤΙΣΜΟ ΤΩΝ ΚΟΝΙΣΜΩΝ

B.1 ΔΕΙΧΤΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΟΝΙΣΜΩΝ

B.1.1 ΔΕΙΧΤΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΟΝΙΣΜΩΝ

B.1.2 ΔΕΙΧΤΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΟΝΙΣΜΩΝ

B.1.3 ΔΕΙΧΤΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΟΝΙΣΜΩΝ

Γ. ΤΥΠΟΚΩΝΟΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΜΕΘΩΣΟΤΗΤΑ ΤΗΣ

G.1 ΒΑΘΜΟΚΩΝΟΣ (ΠΡΟΣΦΩΝΤΙΣΜΟΣ) RMRf

G.2 ΒΑΘΜΟΚΩΝΟΣ

G.3 ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΥΠΟΚΩΝΟΣ

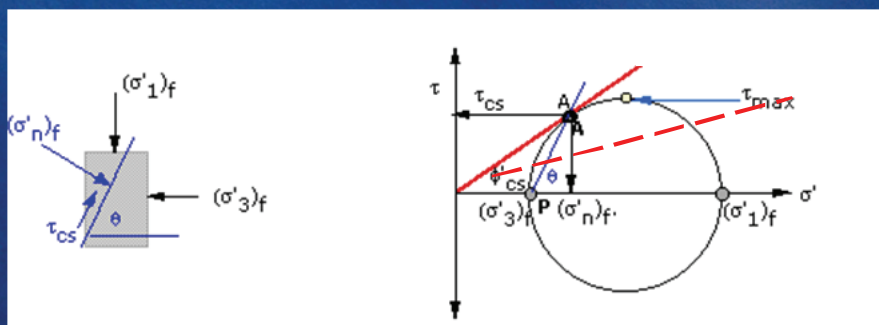
ΥΠΟΜΟΝΗ

- ΜΙΚΡΕΣ ΑΣΤΕΙΕΣ: α: 1 μ, β: 1-3 μ, γ: 3-10 μ, δ: 10-20 μ, ε: >20 μ
- ΑΝΩΤΕΡΑ ΑΣΤΕΙΕΣ: α: μέγιστο, β: 1-2 μ, γ: 2-3 μ, δ: 3-4 μ, ε: 4-5 μ
- ΤΡΑΠΗΖΙΑ ΑΣΤΕΙΕΣ: α: μέγιστο, β: 1-2 μ, γ: 2-3 μ, δ: 3-4 μ, ε: 4-5 μ
- ΥΑΛΙΝΟ ΠΛΑΚΩΣΗ (mm): α: μέγιστο, β: 1-2 μ, γ: 2-3 μ, δ: 3-4 μ, ε: 4-5 μ
- ΑΠΟΚΑΤΑΚΤΗ: α: μέγιστο, β: 1-2 μ, γ: 2-3 μ, δ: 3-4 μ, ε: 4-5 μ
- ΥΠΟΒΑ ΜΕΡΟΣ: α: μέγιστο, β: 1-2 μ, γ: 2-3 μ, δ: 3-4 μ, ε: 4-5 μ
- CO: α: μέγιστο, β: 1-2 μ, γ: 2-3 μ, δ: 3-4 μ, ε: 4-5 μ
- ΠΡΟΣΦΩΝΤΙΣΜΟΣ ΑΣΤΕΙΕΣΟΝ (ΠΡΟΣΦΩΝΤΙΣΜΟΣ ΣΕ ΔΙΑΜΕΤΡΟ): α: μέγιστο, β: 1-2 μ, γ: 2-3 μ, δ: 3-4 μ, ε: 4-5 μ

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

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ
Παράμετροι Αντοχής (φ, c)



$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

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

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

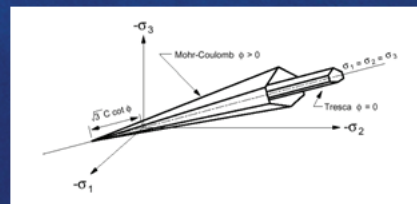
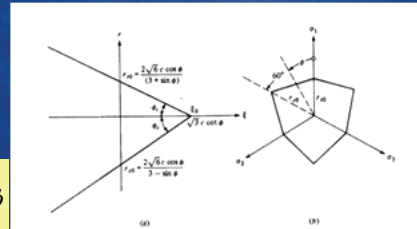
ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ Κριτήριο Θραύσης Mohr-Coulomb

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \sin \phi + c \cos \phi$$

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{11} - \sigma_{33}}{2}\right)^2 + \sigma_{12}^2} = \frac{\sigma_{11} + \sigma_{33}}{2} \sin \phi + c \cos \phi$$

$$f(I_1, J_2, \theta) = \frac{1}{3} I_1 \sin \phi + \sqrt{2} \sin\left(\theta + \frac{\pi}{3}\right) + \frac{\sqrt{J_2}}{\sqrt{3}} \cos\left(\theta + \frac{\pi}{3}\right) \sin \phi - c \cos \phi = 0$$



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

41

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ Κριτήριο Θραύσης Mohr-Coulomb

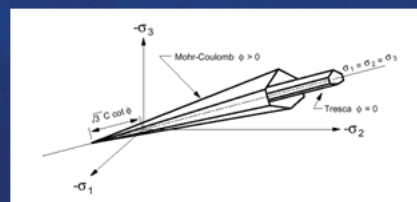
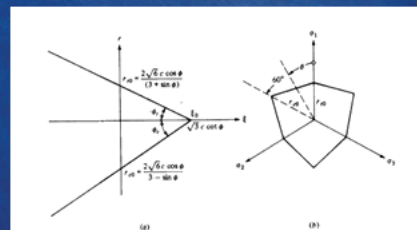
$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

$$\sigma_1 = \sigma_3 N_\phi + \sigma_{cm}$$

$$\sigma_{cm} \equiv 2c\sqrt{N_\phi}$$

$$N_\phi = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad (= k_p)$$

σ_{cm} = ισοδύναμη αντοχή βραχομάζας σε μονοαξονική θλίψη



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

42

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ – ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ Προκαταρκτικός Σχεδιασμός

Rock Mass Rating System, (Bieniawski 1989)

I. RMR : 81-100

II. RMR: 61-80

III. RMR: 41-60

IV. RMR: 21-40

V. RMR: <20

Rock Tunnelling Quality Index, Q Method, Barton et al. (1974)

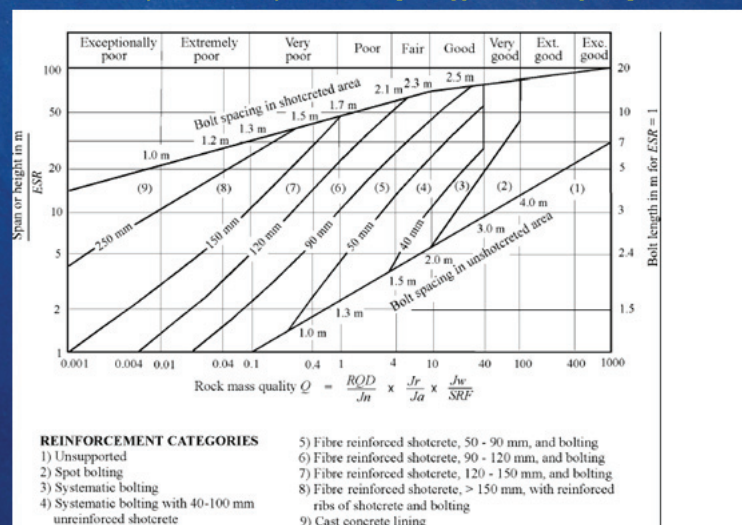
$0.001 < Q < 1000$

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

43

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ – ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ Προκαταρκτικός Σχεδιασμός



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

44

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ – ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ Προκαταρκτικός Σχεδιασμός

Application of Numerical Analyses for Tunnelling, Duddeck 1989

..... Men were successful tunnellers many thousands of years before the invention of numerical tools. Yet very ingenious mathematical tools may have been employed for engineering purposes as early as 600 BC, when the 1036 m long tunnel for the water supply of Samos was designed and excavated by Eupalinos

Do tunnels need numerical methods? Do engineers, been ingenious, need finite element and boundary element methods? Is the analysis of a tunnel an essential tool for providing safety and economy of a tunnel excavation?

If the involved structure is as complex as the ground around a tunnel excavation and if the material behaves non-linearly, then only numerical methods are capable of solving the problem.

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΧΡΗΣΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ Καταστατικές Εξισώσεις

$$\{\sigma\} = [C] \{\varepsilon\}$$

$$\{\sigma\} = [C][B]\{u\}$$

$$W_{extr} = \{u\}^T \{F\}$$

$$W_{intr} = \int \{\varepsilon\}^T \{\sigma\} dv$$

$$W_{intr} = \{u\}^T \left(\int [B]^T [C] [B] dv \right) \{u\}$$

$$\{F\} = \left(\int [B]^T [C] [B] dv \right) \{u\}$$

$$\{F\} = [K] \{u\}$$

$$[K] = \int [B]^T [C] [B] dv$$

$$[C] = \begin{bmatrix} K + \frac{4}{3}G & K - \frac{2}{3}G & K - \frac{2}{3}G & 0 & 0 & 0 \\ K - \frac{2}{3}G & K + \frac{4}{3}G & K - \frac{2}{3}G & 0 & 0 & 0 \\ K - \frac{2}{3}G & K - \frac{2}{3}G & K + \frac{4}{3}G & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & G & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & G \end{bmatrix}$$

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΧΡΗΣΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ
Καταστατικές Εξισώσεις

$$\left\{ \sum_{e=1}^m \int_{\Omega^e} \theta_{n,a}^e \mathbf{B}^e \mathbf{C}_n^k \mathbf{B}^e d\Omega^e \right\} \mathbf{U}_n^k = \sum_{e=1}^m \int_{\Gamma^e} \theta_{n,a}^e \mathbf{T} \mathbf{N}^e \mathbf{f}^b d\Omega^e$$

$$+ \sum_{e=1}^m \int_{\Gamma^e} \mathbf{T} \mathbf{N}^e \mathbf{f}^s d\Gamma^e$$

$$+ \mathbf{F}^i$$

$$- \sum_{e=1}^m \int_{\Omega^e} \theta_{n,a}^e \mathbf{B}^e \mathbf{C}_n^e \boldsymbol{\sigma}_{n-1} d\Omega^e$$

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΧΡΗΣΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ
Καταστατικές Εξισώσεις

Φορτίσεις

- ⚡ *Ιδιο Βάρος*
- ⚡ *Ωθήσεις Γαιών*
- ⚡ *Υδροστατική Φόρτιση*
- ⚡ *Κινητά Φορτία*
- ⚡ *Θερμοκρασιακές Μεταβολές*
- ⚡ *Καταναγκασμοί*

Σεισμική Δράση

- ⚡ *Κινηματική Αλληλεπίδραση*
- ⚡ *Αδρανειακές Δυνάμεις*
- ⚡ *Μεταβολή Ωθήσεων Γαιών*

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

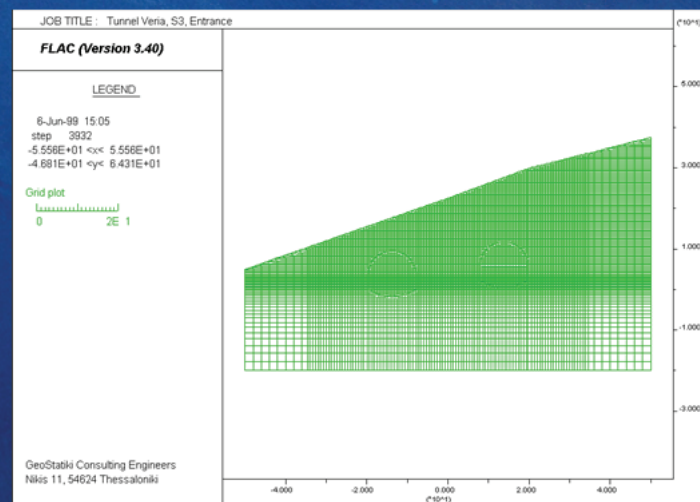
ΧΡΗΣΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΕΛΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

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

- ❗ Εισαγωγή της στρωματογραφίας, των οριακών συνθηκών και της αρχικής εντατικής κατάστασης της περιοχής μελέτης
- ❗ Μερική μείωση της δυσκαμψίας της προς εκσκαφή βραχομάζας (φάση εκσκαφής, βήμα εκσκαφής, τύπος και διάταξη μέτρων άμεσης υποστήριξης)
- ❗ Αφαίρεση των στοιχείων εκσκαφής και ενεργοποίηση (μερική ή ολική) των στοιχείων άμεσης υποστήριξης. Μείωση δυσκαμψίας της περιοχής εκσκαφής της επόμενης φάσης
- ❗ 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

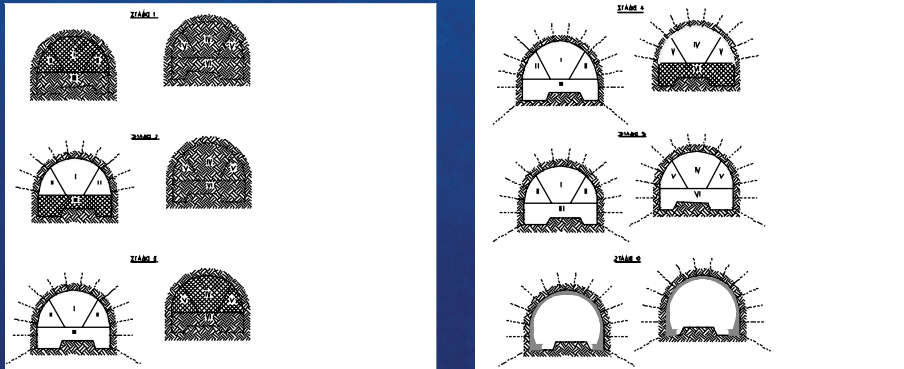
Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΧΡΗΣΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ Διακριτοποίηση



Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΧΡΗΣΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ Φάσεις Κατασκευής και Προσομοίωσης Διπλής Σήραγγας

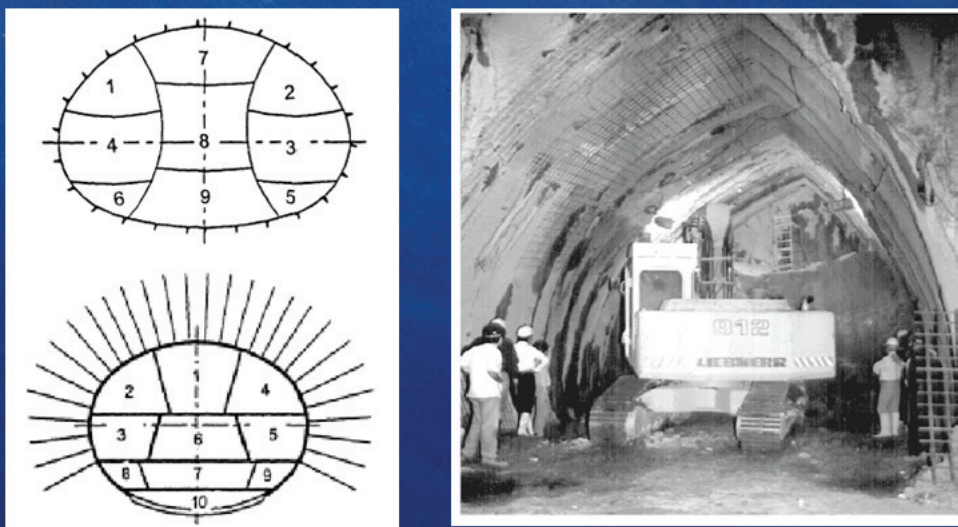


Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

51

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

Πολλαπλές Φάσεις (Multi-Drift) Εκσκαφής Διατομής Σήραγγας

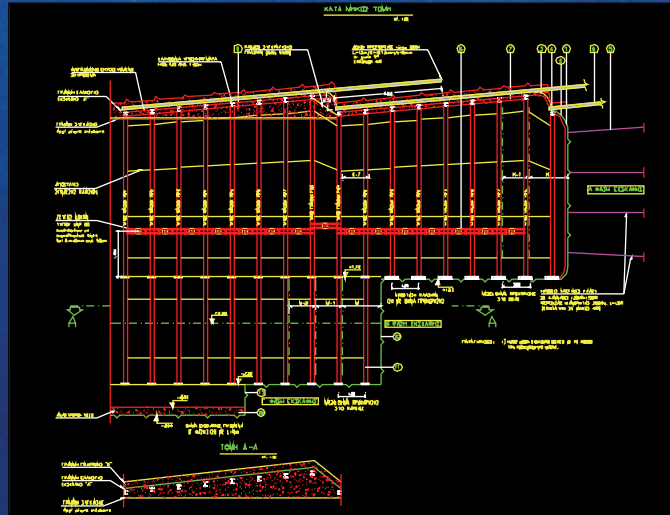


Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

52

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

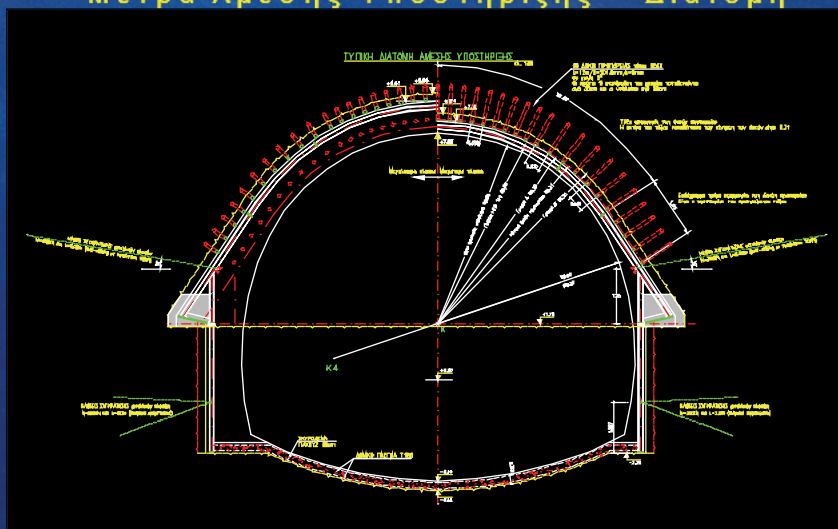
ΧΡΗΣΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ
Μέτρα Αμεσης Υποστήριξης – Κατά Μήκος Τομή



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

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

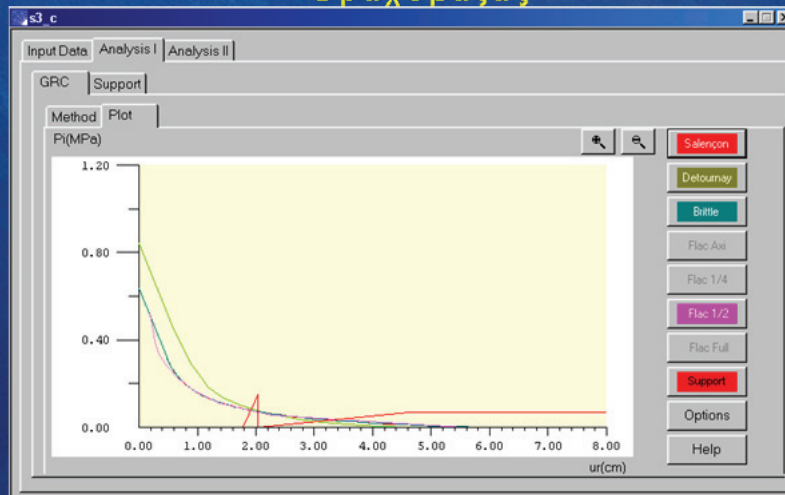
ΧΡΗΣΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ
Μέτρα Αμεσης Υποστήριξης – Διατομή



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

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΧΡΗΣΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ
Προσδιορισμός Βαθμού Αποτόνωσης
Βραχομάζας



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

55

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΧΡΗΣΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ
Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

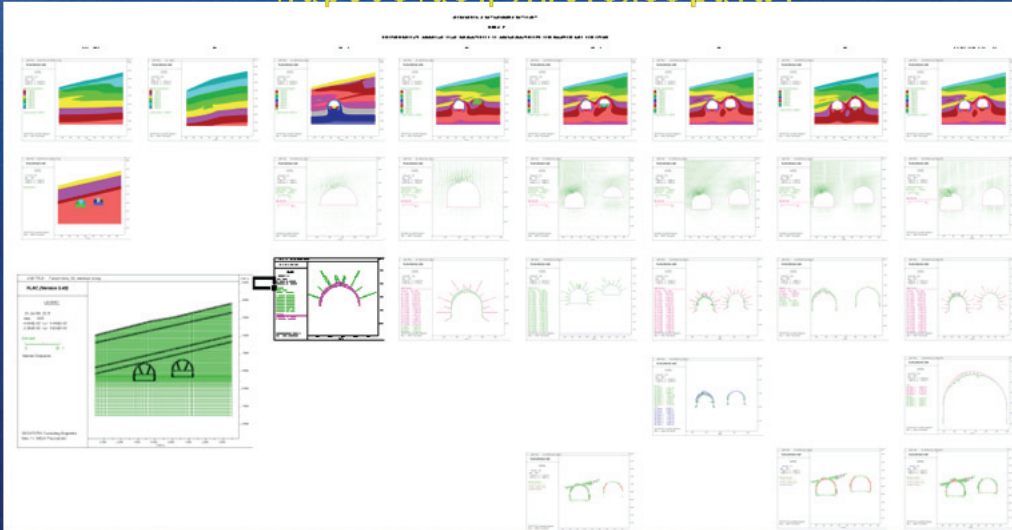


Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

56

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΧΡΗΣΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ
Παρουσίαση Αποτελεσμάτων



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

57

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΟΜΙΩΝ ΜΕ ΜΙΚΡΟ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟ

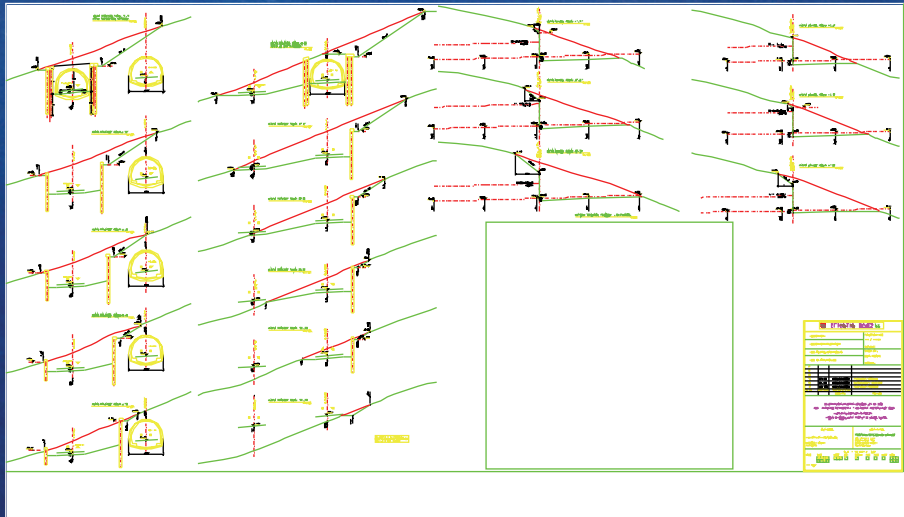


Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

58

Σήραγγες **Γενική Εισαγωγή**

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΟΜΙΩΝ ΜΕ ΜΙΚΡΟ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟ



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

59

Σήραγγες **Γενική Εισαγωγή**

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΟΜΙΩΝ ΜΕ ΜΙΚΡΟ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟ



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

60

Σήραγγες **Γενική Εισαγωγή**

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΟΜΙΩΝ ΜΕ ΜΙΚΡΟ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟ



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

61

Σήραγγες **Γενική Εισαγωγή**

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΟΜΙΩΝ ΜΕ ΜΙΚΡΟ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟ



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

62

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΟΜΙΩΝ ΜΕ ΜΙΚΡΟ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟ



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

63

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΟΜΙΩΝ ΜΕ ΜΙΚΡΟ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟ

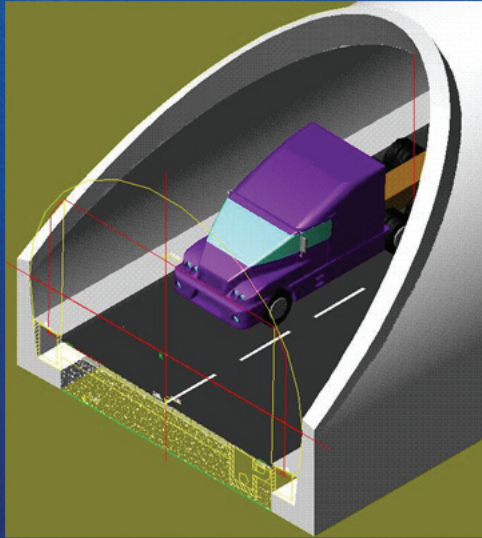


Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

64

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΟΜΙΩΝ ΜΕ ΜΙΚΡΟ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟ



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

65

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΟΜΙΩΝ ΜΕ ΜΙΚΡΟ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟ

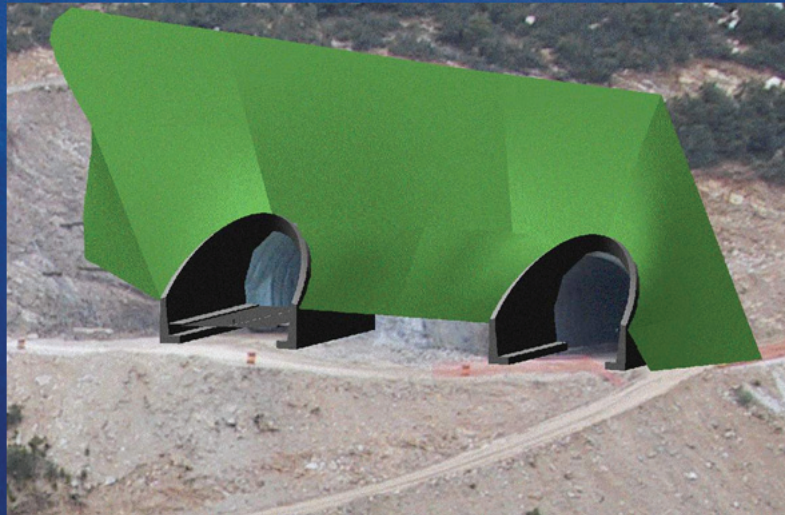


Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

66

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΟΜΙΩΝ ΜΕ ΜΙΚΡΟ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟ



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

67

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΟΜΙΩΝ ΜΕ ΜΙΚΡΟ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟ



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

68

Σήραγγες **Γενική Εισαγωγή**

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΟΜΙΩΝ ΜΕ ΜΙΚΡΟ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟ



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

69

Σήραγγες **Γενική Εισαγωγή**

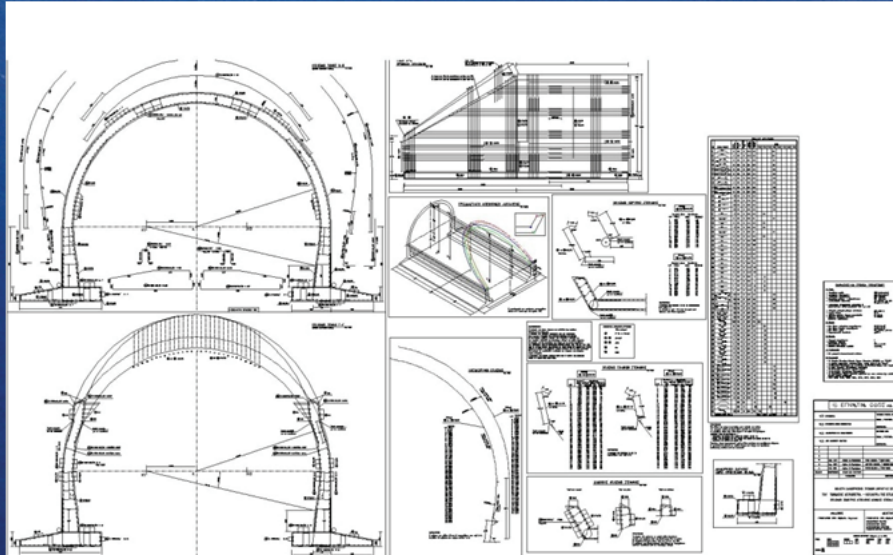
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΟΜΙΩΝ ΜΕ ΜΙΚΡΟ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟ



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

70

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

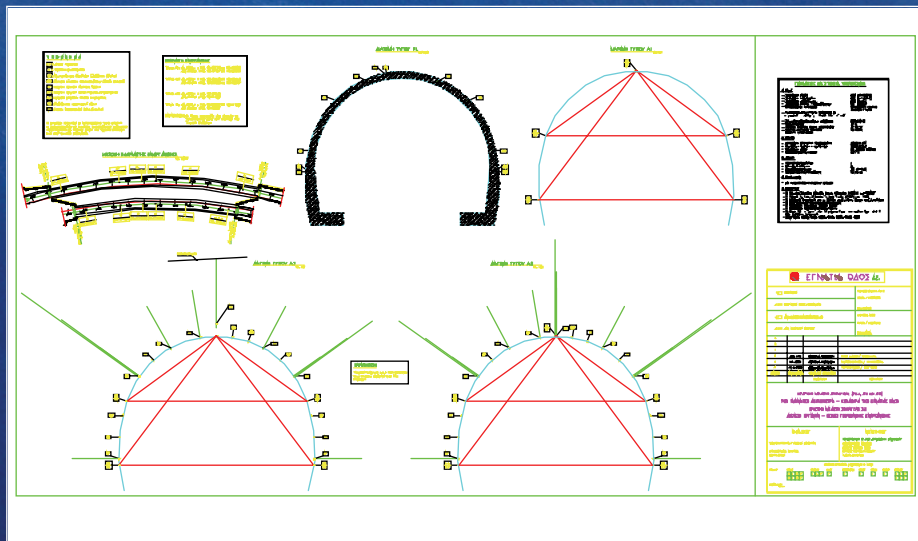


Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

71

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΕΝΟΡΓΑΝΩΣΗ

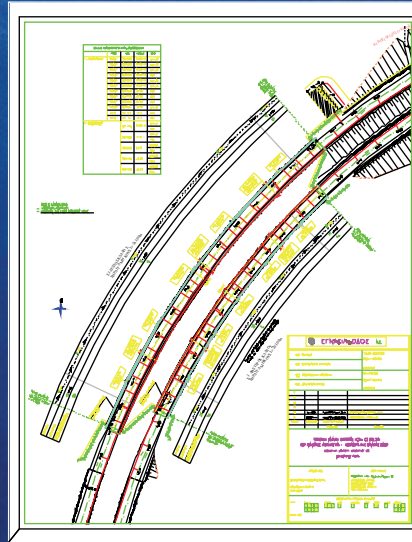


Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

72

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΕΝΟΡΓΑΝΩΣΗ

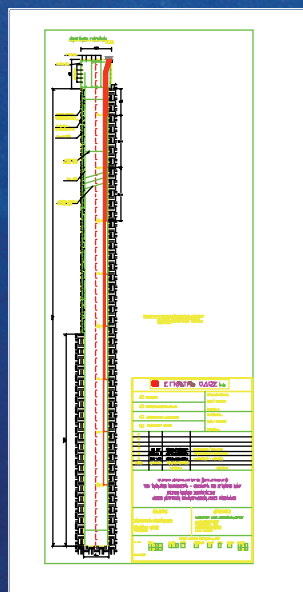


Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

73

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΕΝΟΡΓΑΝΩΣΗ



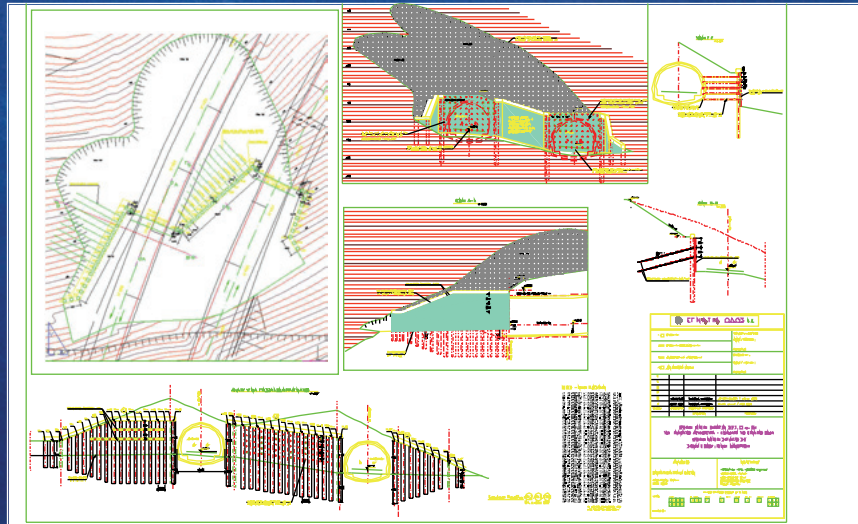
Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

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

74
Σήραγγες & Υπόγεια Έργα
Αναπλ. Καθηγητής Αιμίλιος Κωμοδρόμος

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

ΕΝΟΡΓΑΝΩΣΗ



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

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή

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

Σήραγγες Γενική Εισαγωγή



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

77