



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΠΜΣ – ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΜΑΘΗΜΑ: ΜΟΝΙΜΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ
1ο ΕΞΑΜΗΝΟ, ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ 2023-2024

ΜΟΝΙΜΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ – ΑΝΑΛΥΣΗ & ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ

Π. Γιούτα-Μήτρα
Δρ. ΜΜΜ, ΜΔΕ Υπ. Μηχ., ΕΔΙΠ ΕΜΠ

Νοέμβριος 2023

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Γενικά - Μέθοδοι
2. Υπολογισμός
3. Κατασκευαστικά θέματα
4. Διαστασιολόγηση με αριθμητικές μεθόδους

ΜΟΝΙΜΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

ΜΕΘΟΔΟΣ
ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ

ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ

ΕΚΜΗΧΑΝΙΣΜΕΝΗ

Conventional

Mechanized

Cast-in-place concrete

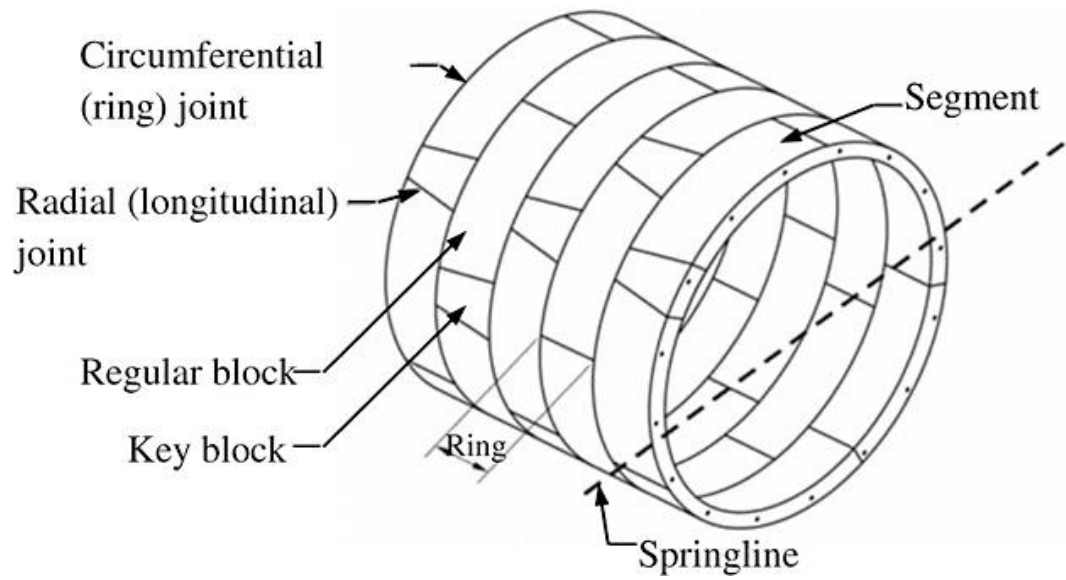
Έγχυτο σκυρόδεμα

Προκατασκευασμένα στοιχεία
(σπόνδυλοι)

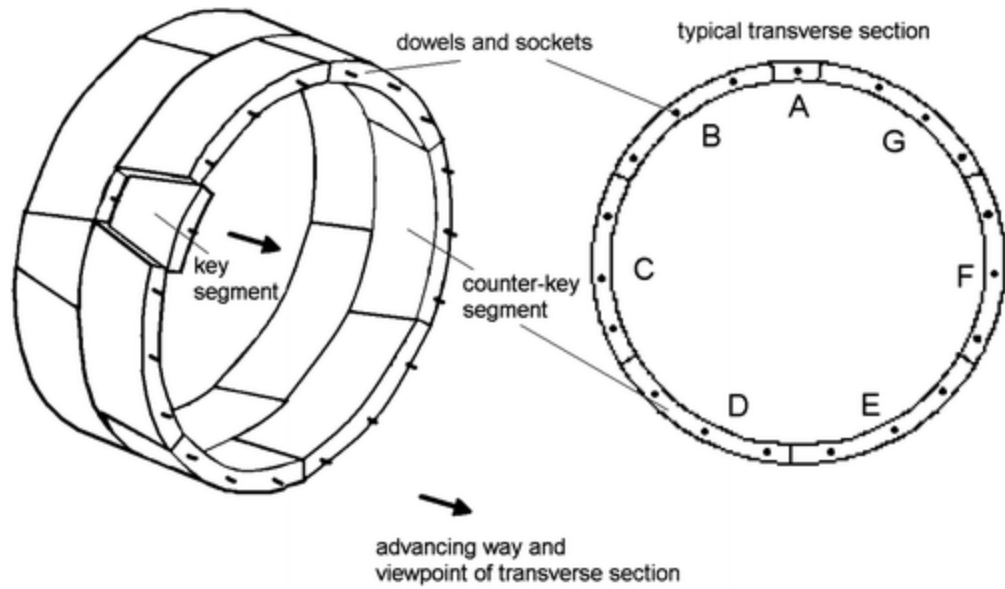
Concrete Segments

Shotcrete

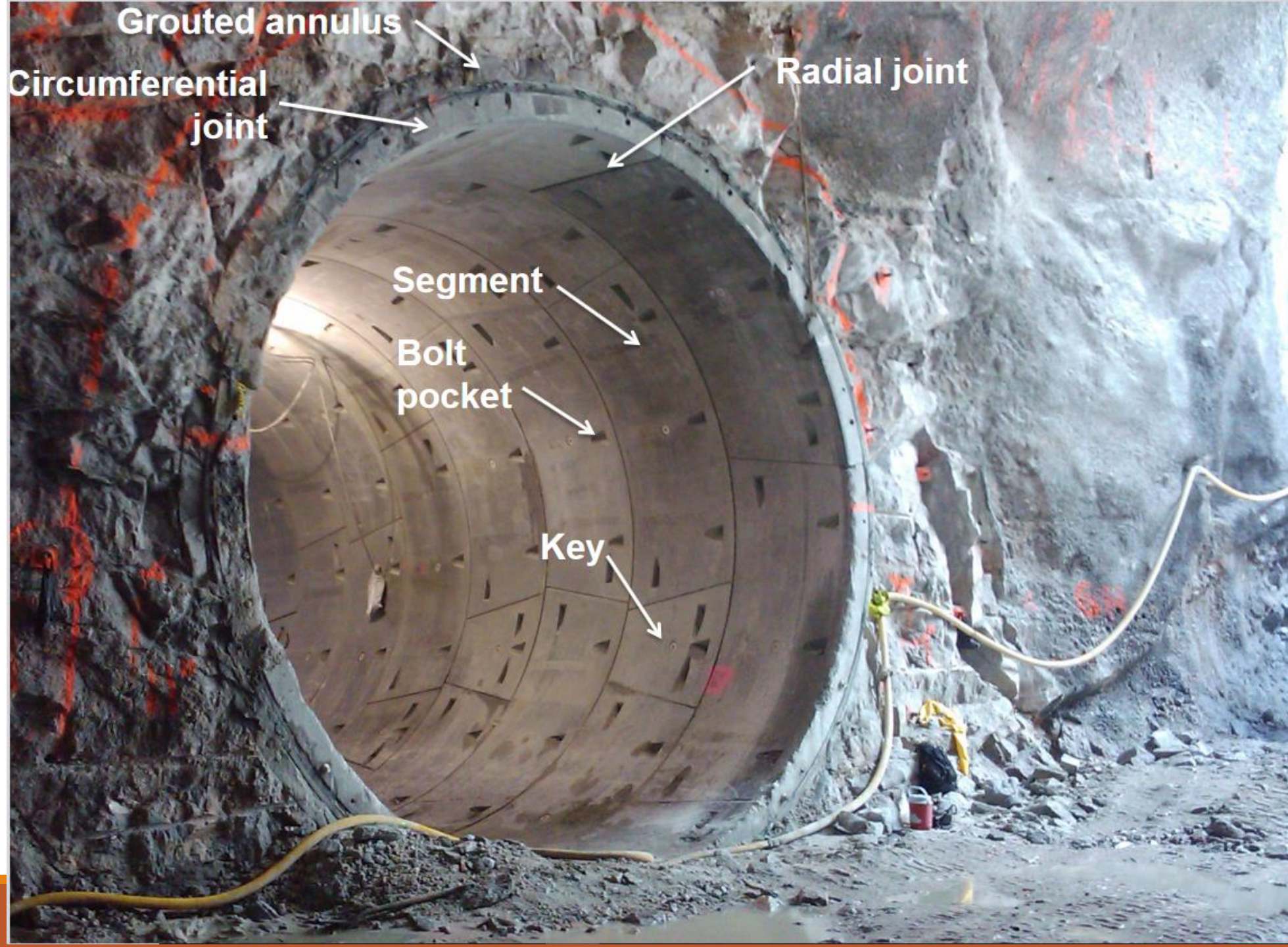
Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα



ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



Λοξός αρμός-> στροφές
Κλείδα -> σφήνωση δακτυλίου



Grouted annulus

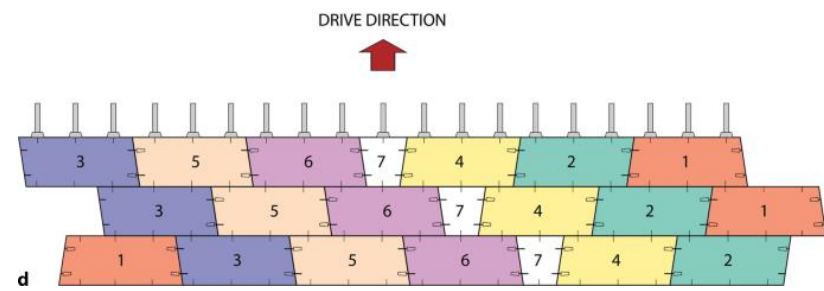
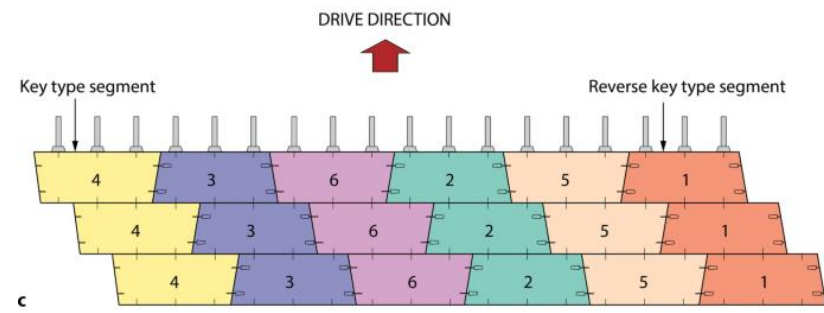
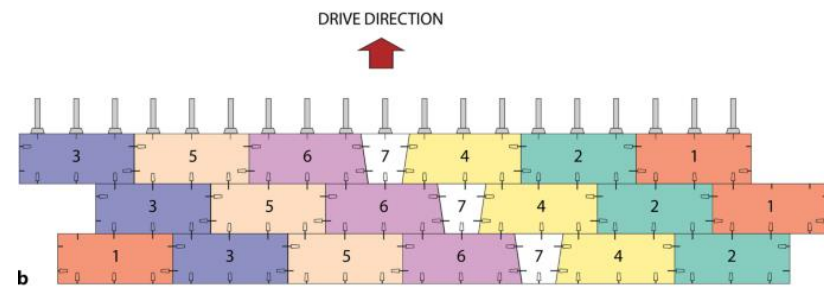
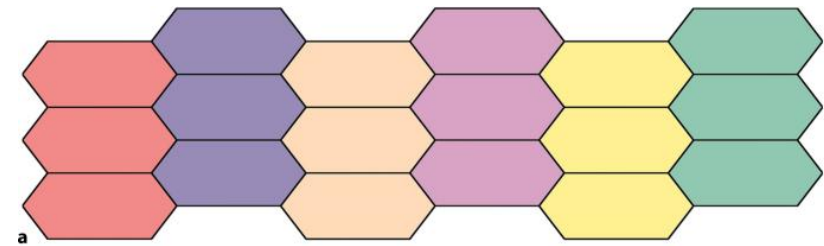
Circumferential joint

Radial joint

Segment

Bolt pocket

Key



ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ

[EPB Shield Segmental Lining - HerrenknechtAG](#)

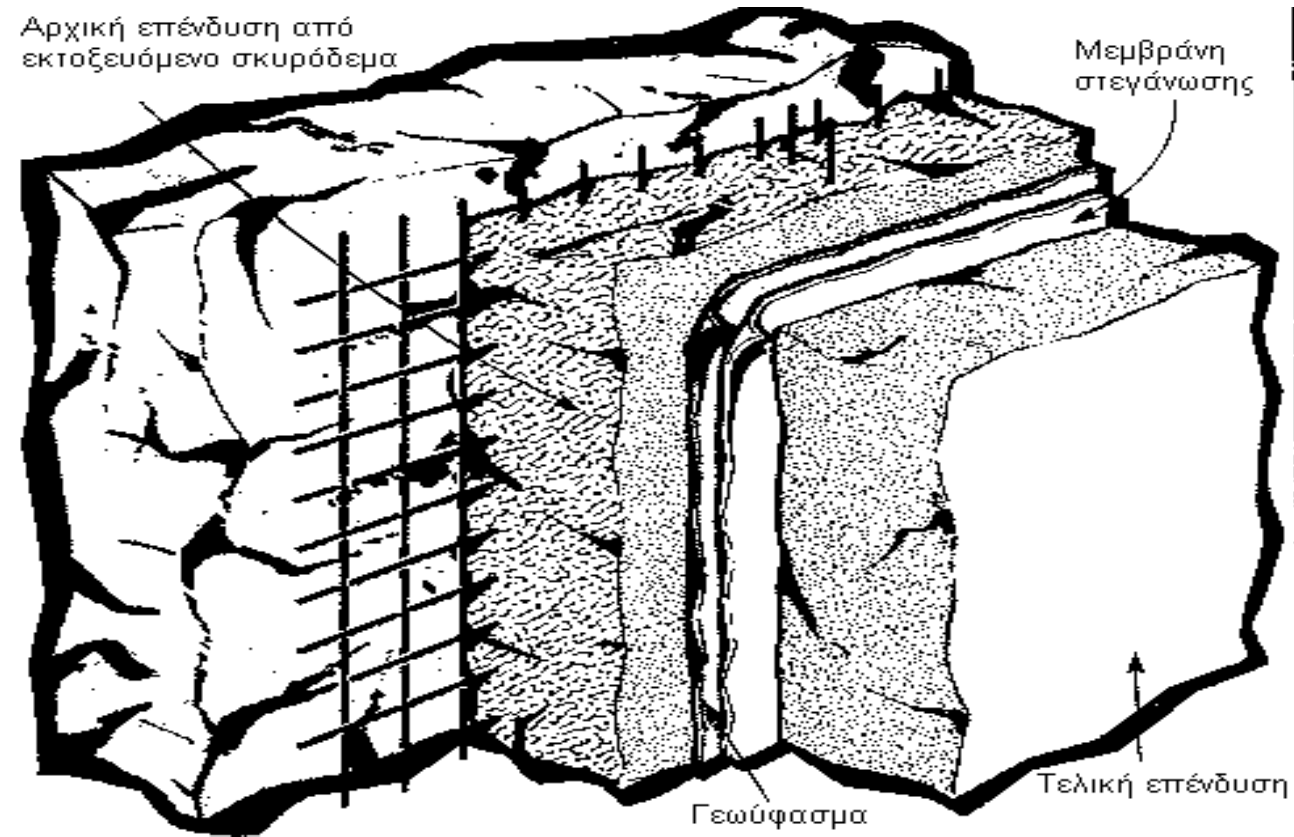
2:30 Μεταφορά

4:10 Προχώρηση

5:15 Τοποθέτηση

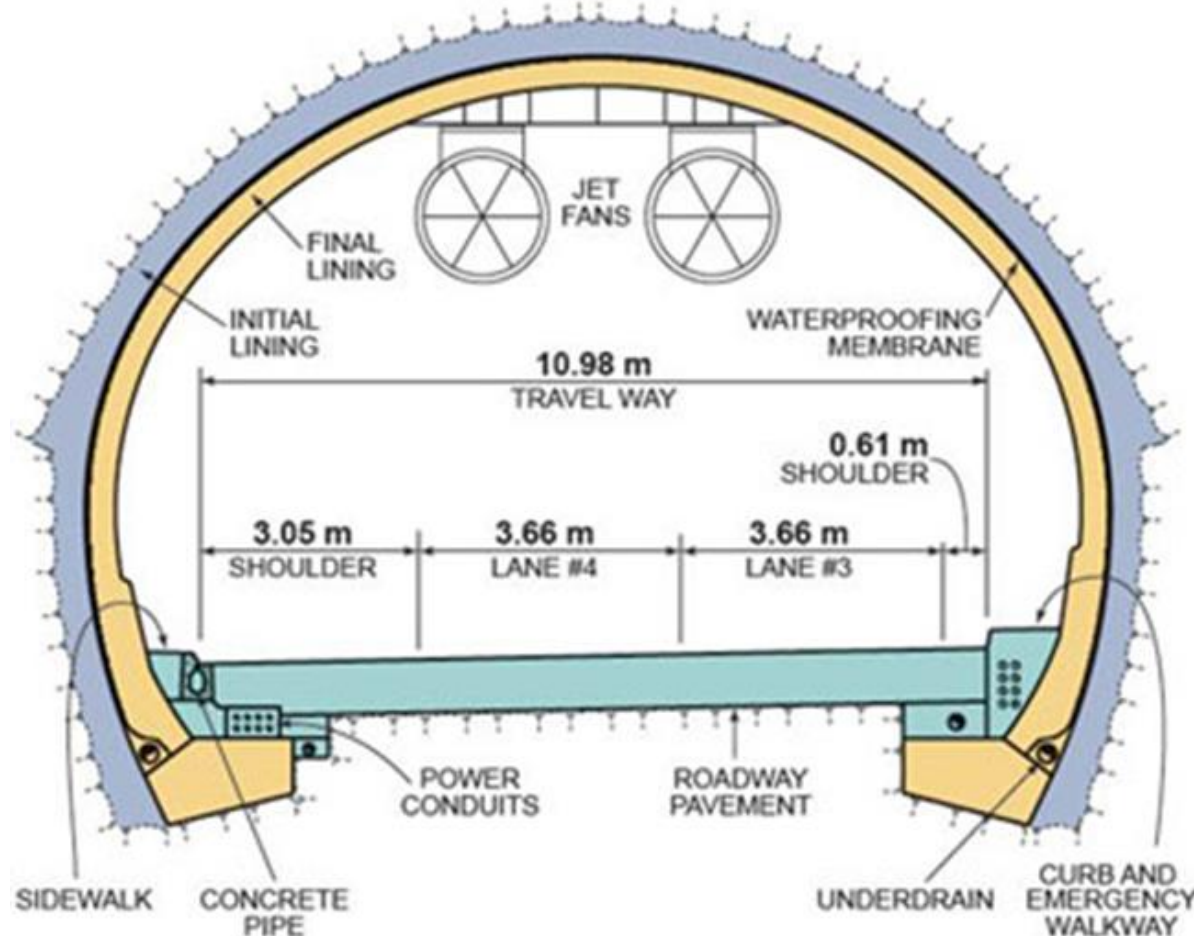
ΕΓΧΥΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

- Η επένδυση από έγχυτο σκυρόδεμα απαιτεί προηγουμένως προσωρινή υποστήριξη του ανοίγματος, και ως εκ τούτου αποτελεί το μόνιμο μέρος δύο κατασκευών.
- Κατά τη συμβατική διάνοιξη σηράγγων αποτελεί το δεύτερο κέλυφος προστασίας της σήραγγας, που τοποθετείται εσωτερικά μιας αρχικής/προσωρινής επένδυσης από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.
- Μεταξύ των δύο επενδύσεων παρεμβάλλεται γενικά σύστημα στεγάνωσης.



ΕΓΧΥΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Μόνιμη επένδυση
σήραγγας
τοποθετημένη
εσωτερικά της άμεσης.



ΑΝΟΙΚΤΟ ΔΑΠΕΔΟ

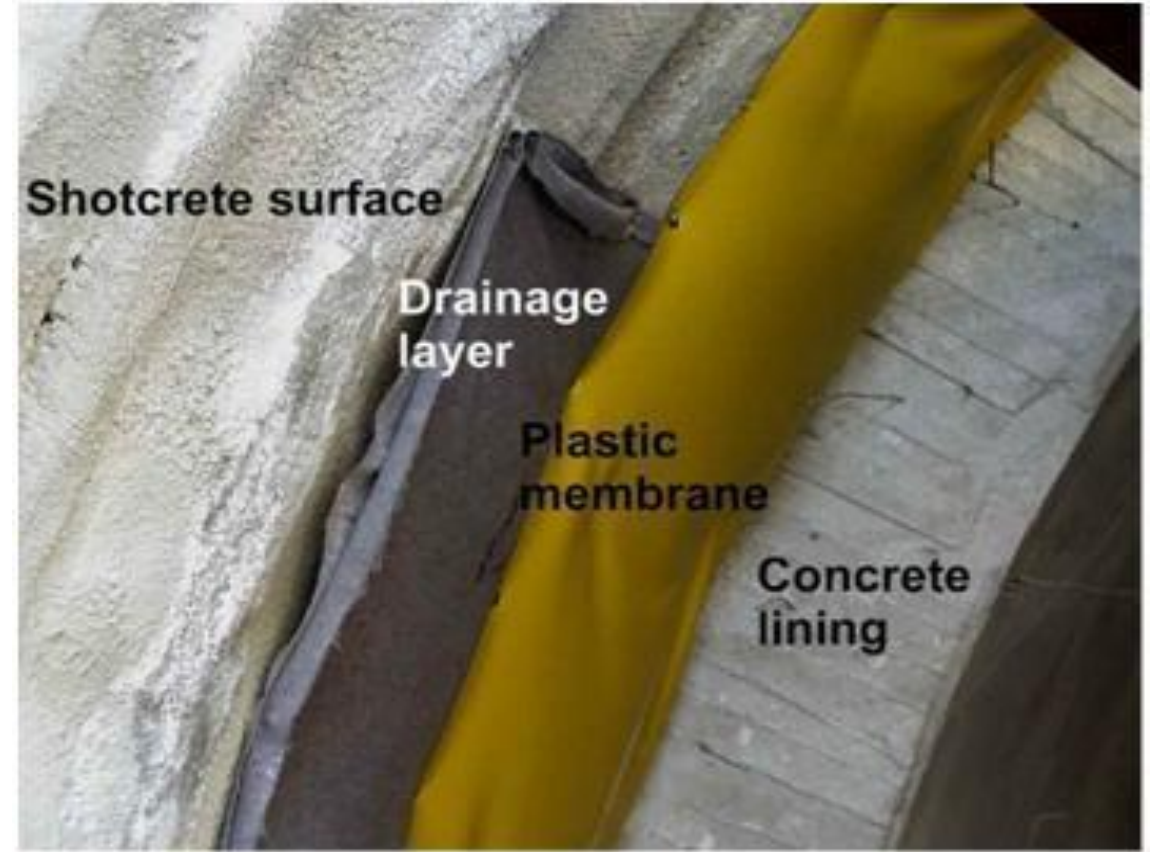
Μόνιμη επένδυση σηράγγων

Στεγανοποίηση σήραγγας

Φορείο τοποθέτησης



Γεώφασμα και μεμβράνη

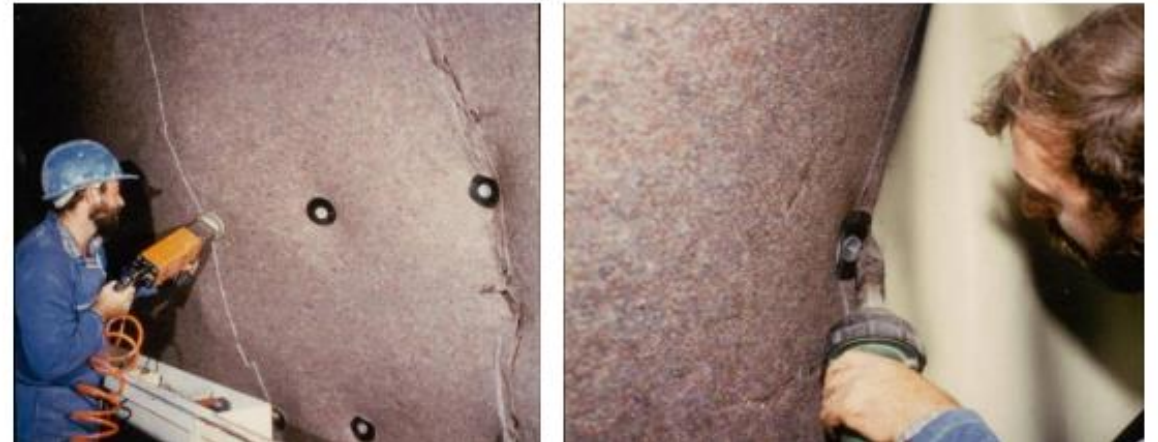


Στερέωση μεμβράνης

Το γεωύφασμα στερεώνεται με ροδέλες υλικού ίδιου με την γεωμεμβράνη. Έτσι εξασφαλίζεται η συμβατότητα κατά την στερέωση της μεμβράνης με συγκόλληση.

Ταυτοχρόνως, με την τοποθέτηση 2-3 στηρίξεων ανά τ.μ. εξασφαλίζεται η καλή στερέωση και των δύο φύλων.

Η τοποθέτηση προτιμάται να γίνεται σε περιοχές με βαθουλώματα και με επικάλυψη 10 εκ. κατ' ελάχιστον. Αν υπάρχει έντονο ανάγλυφο σκυροδέματος, μπαίνει διπλό γεωύφασμα.



Στεγανωτική μεμβράνη



ΔΙΠΛΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ

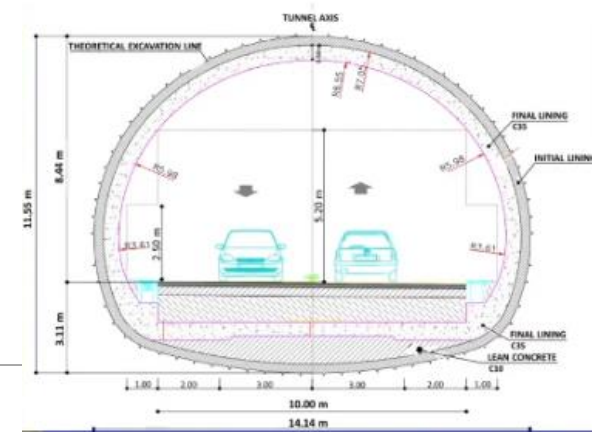
ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ



ΜΟΝΙΜΗ



Σκυροδέτηση



Σκυροδέτηση πυθμένα





Αερισμός?

Υπό κατασκευή (2021) έργα κάθετου άξονα Εγνατίας Οδού «Ξάνθη – Εχίνος – Ελληνοβουλγαρικά σύνορα»

Σκυροδέτηση



Μεταλλότυπος

[Tehran Niayesh Tunnel Technical 3D Animation NATM Tunneling](#)

2:25 Έναρξη Στεγάνωσης

[Gantry for tunnel lining | Gantry Formwork | Final Lining | Tunneling | Railway project](#)

[Συναρμολόγηση-Σκυροδέτηση](#)

Μέρος 2 - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΟΝΙΜΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ

1. ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

2. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

3. ΕΙΔΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

Περιβάλλουσα βραχομάζα
Υδατικές πιέσεις (υδροφορέας ή λόγω χρήσης)
Σεισμικές δράσεις (σεισμός & ρήγμα)
Θερμοκρασιακές μεταβολές
Κινητά φορτία λόγω κατασκευής έργου
Μεταγενέστερες επιφανειακές κατασκευές
Πυρκαϊά
Πρόσκρουση οχήματος
Έκρηξη

ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ

ΔΡΑΣΗ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ
Μόνιμη (G)	πλήρης	Αμελητέα / μονότονη	Ίδιο βάρος κατασκευής Σταθερές υδροστατικές πιέσεις Σταθερές γεωστατικές πιέσεις
Μεταβλητή (Q)	διακοπτόμενη	Με διακύμανση	Φορτία κυκλοφορίας Θερμοκρασιακές μεταβολές Υδροστατικές πιέσεις Συστολή ξήρανσης Ερπυσμός
Τυχηματική (A)	Μικρής διάρκειας	Σημαντικού μεγέθους	Έκρηξη Πυρκαϊά Πρόσκρουση οχήματος Σεισμός

ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Εξασφάλιση αντοχής, λειτουργικότητας, ανθεκτικότητας

Κατηγορίες οριακών καταστάσεων

- Οριακή κατάσταση αστοχίας

$$S_d \leq R_d$$

Σύγκριση εντατικού μεγέθους από δράσεις σχεδιασμού με την αντίστοιχη αντίσταση σχεδιασμού
Οι δράσεις και οι αντιστάσεις καθορίζονται με τη μέθοδο των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας.

- Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

Έλεγχος εύρους ρωγμής και περιορισμός των παραμορφώσεων

ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ


- Απώλεια στατικής ισορροπίας
- Μετατροπή του φορέα σε μηχανισμό
- Οριακή κατάσταση αντοχής σε κρίσιμες διατομές (έναντι ορθών εντατικών μεγεθών – ροπή κάμψης, αξονική δύναμη / έναντι διατμητικών καταπονήσεων – τέμνουσα, στρέψη, διάτρηση, συνάφεια)
- Οριακή κατάσταση λυγισμού
- Οριακή κατάσταση κόπωσης

ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ

- Ρηγμάτωση ή υπέρβαση τάσεων
- Παραμόρφωση

ΤΙΜΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Οι τιμές με τις οποίες οι δράσεις και οι αντοχές εισάγονται στην βασική ανίσωση σχεδιασμού


$$S_d = \gamma_f S_k$$

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_m}$$

ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ

$$G_d = \gamma_g G_k$$

ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ

$$Q_d = \gamma_q Q_k \quad \text{Δεσπόζουσα μεταβλητή δράση}$$

$$Q_d = \gamma_q \psi_i Q_k$$

ΤΥΧΗΜΑΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ

$$A_d = 1.00 A_k$$

Οι συντελεστές ψ είναι διαφορετικοί για κάθε δράση και εξαρτώνται από τη μακροχρόνια/βραχυχρόνια δράση

ΔΡΑΣΕΙΣ		Τιμή συνδυασμού για σύννοδες δράσεις υπό συνδυασμό	
		βραχυχρόνιο Ψ_1	μακροχρόνιο Ψ_2
Ωφέλιμα φορτία	* Κατοικίες	0.60	0.30
	* Γραφεία, καταστήματα, ξενοδοχεία, νοσοκομεία	0.70	0.30
	* Χώροι συνάθροισης κοινού (στάδια, σχολεία, θέατρα κλπ.)	0.80	0.50
	* Χώροι μακροχρόνιας αποθήκευσης (βιβλιοθήκες, αποθήκες δεξαμενές, σιλό κλπ.)	1.00	0.80
	* Χώροι στάθμευσης	0.90	0.60
Περιβ. Δράσεις	Άνεμος	0.60	0.00
	Χιόνι	0.60	0.0/0.3*
Έμμεσες δράσεις / παρεμποδιζόμενες και επιβαλλόμενες παραμορφώσεις (διαφορικές καθιζήσεις, θερμοκρασία, συστολή ξηράνσεως κλπ.)		0.00	0.00
Πλευρικές τάσεις ή πιέσεις		1.00	1.00
(*: μόνο για μη βατές στέγες ή δώματα για τις οποίες $\Psi_2=0$ για τα ωφέλιμα φορτία)			

ΕΚΩΣ 2000

Επιμέρους συντελεστές

Μόνιμες δράσεις

Οριακές καταστάσεις	Συνδυασμοί	Επιρροή δράσης	
		Δυσμενής	Ευμενής
Αστοχίας	Βασικοί	1.35	1.00
	Τυχηματικοί	1.00	1.00
Λειτουργικότητας		1.00	1.00

Μεταβλητές δράσεις

Οριακές καταστάσεις	Συνδυασμοί	Επιρροή δράσης	
		Δυσμενής	Ευμενής
Αστοχίας	Βασικοί	1.50	0.00
	Τυχηματικοί	1.00	0.00
Λειτουργικότητας		1.00	0.00

Αντοχή

Οριακές καταστάσεις	Συνδυασμοί	Σκυρόδεμα	Χάλυβας
		γ_c	γ_s
Αστοχίας	Βασικοί	1.50	1.15
	Τυχηματικοί	1.30	1.00
	Τυχηματικοί σε σεισμό	1.50	1.15
Λειτουργικότητας		1.00	1.00

Συνδυασμοί δράσεων

Απλοποιημένα

Μία μεταβλητή δράση

$$S_d = S(\gamma_g G_k + \gamma_q Q_k)$$

Δύο ή περισσότερες μεταβλητές δράσεις

$$S_d = S\left(\gamma_g G_k + \gamma_{q1} Q_{k1} + \sum_{i>1} \gamma_{qi} \psi_i Q_{ki}\right)$$

Συνδυασμός τυχηματικών δράσεων

$$S_d = S\left(A_d + G_k + \gamma_{q1} \psi_{1,1} Q_{k1} + \sum_{i>1} \gamma_{qi} \psi_{2i} Q_{ki}\right)$$

Εσωτερικές δυνάμεις και διαστασιολόγηση

- Αρχικά ο φορέας της μόνιμης επένδυσης αναλαμβάνει μόνο το ίδιο βάρος του
- Μετά η ανάλυση συνεχίζεται από το σημείο εκείνο που σταμάτησε όταν υπολογίστηκαν τα εντατικά μεγέθη στην άμεση επένδυση και στην περιβάλλουσα τη σήραγγα βραχομάζα αμέσως μετά την ολοκλήρωση της διάνοιξης

-
- Ο φορέας καλείται τότε να αναλάβει το φορτίο της αρχικής επένδυσης, όντας σε επαφή μαζί της και μηδενιζόμενης της φέρουσας ικανότητάς της προσωρινής επένδυσης
 - Ανάλογα με την περίπτωση, η μόνιμη επένδυση καλείται να αναλάβει επιπλέον φορτία: υδραυλικά, καταναγκασμού όπως θερμοκρασιακά-ξηράνσης-ερπυσμού του σκυροδέματος, διόγκωσης-σύνθλιψης της γεωμάζας, και τυχηματικά, όπως πρόσκρουσης οχημάτων, έκρηξης, πυρκαγιάς, καθώς και σεισμού

ΔΡΑΣΕΙΣ

1. ΜΟΝΙΜΑ ΦΟΡΤΙΑ
2. ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ
3. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΑ ΦΟΡΤΙΑ
4. ΚΙΝΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΛΟΓΩ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ
5. ΤΥΧΗΜΑΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ
6. ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ
7. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΔΡΑΣΕΩΝ

1. ΜΟΝΙΜΑ ΦΟΡΤΙΑ

1.1. Ίδιο βάρος φορέα (G)

Βάσει της διατομής έκαστου φορέα και των ακόλουθων ειδικών βαρών. π.χ.

Οπλισμένο σκυρόδεμα	C20/25	25 KN/m ³
Άοπλο σκυρόδεμα	C20/25	23 KN/m ³
Χάλυβας	S500	78 KN/m ³

1. ΜΟΝΙΜΑ ΦΟΡΤΙΑ

1.2. Φορτίο βραχομάζας(JV)

Κατακόρυφα φορτία λόγω χαλάρωσης της βραχόμαζας, Οριζόντια φορτία με συντελεστή K

UNAL (1983) - πετρώματα

$$P_v = \frac{100 - RMR}{100} \times \gamma \times B$$

όπου:

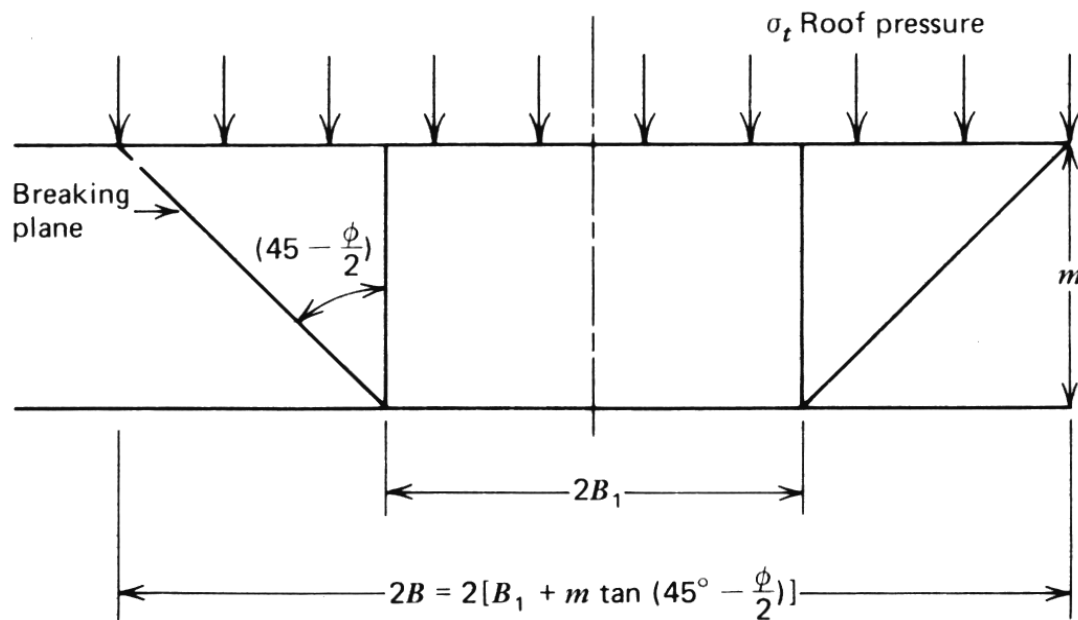
γ : το ειδικό βάρος της βραχόμαζας

B : το πλάτος του ανοίγματος της σήραγγας

P_v η κατακόρυφη τάση φόρτισης

1. ΜΟΝΙΜΑ ΦΟΡΤΙΑ

TERZAGHI (1949) – εδαφικά



$$B = B_1 + m \cdot \tan\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)$$

$$\sigma_t = \frac{\gamma \cdot B}{K \cdot \tan \phi}$$

B το μισό του πλάτους του ανοίγματος

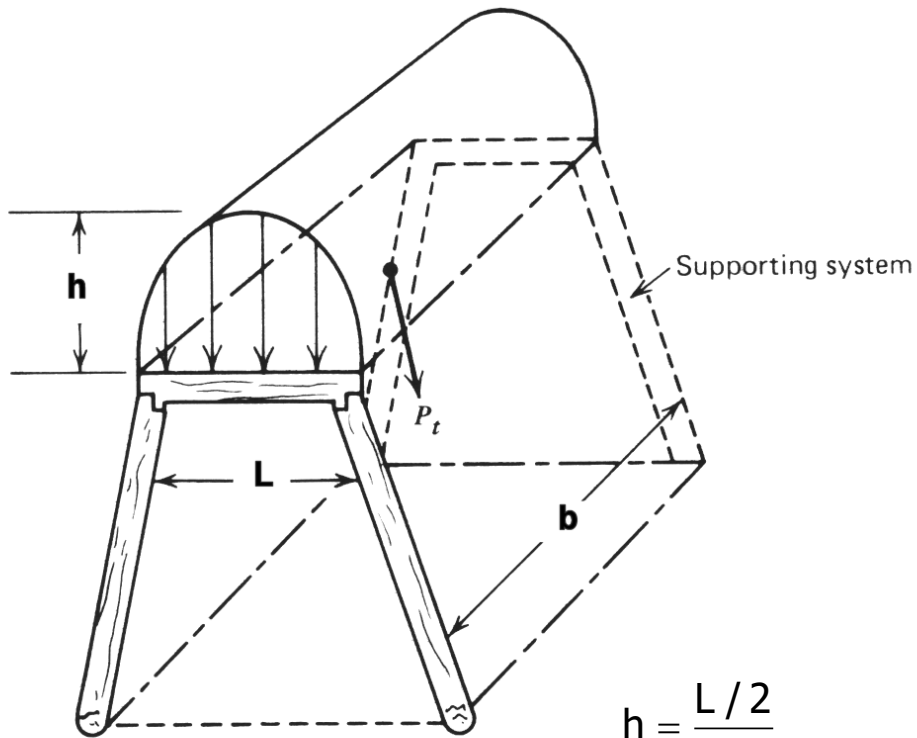
B_1 το μισό του πλάτους που δέχεται τη συνολική φόρτιση

m ύψος ανοίγματος

ϕ γωνία εσ.τριβής υλικού

K εμπειρικός συντελεστής, λαμβάνεται $K=1$

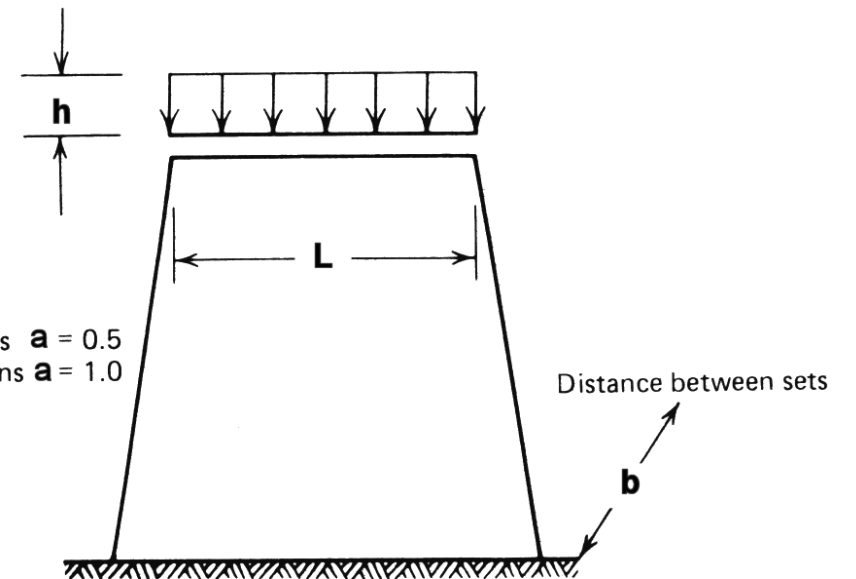
Protodyakonov



$$h = \frac{L/2}{f}$$
$$f = 0.1 \cdot \sigma_c \text{ (MPa)}$$
$$\sigma_t = \gamma \cdot h$$
$$q_t = \sigma_t \cdot b$$
$$P_t = \frac{4}{3} \cdot (L/2) \cdot h \cdot b \cdot \gamma$$

Everling

$$h = a \cdot L$$
$$\sigma_t = h \cdot \gamma$$
$$q_t = \sigma_t \cdot b$$
$$P_t = a \cdot L^2 \cdot b \cdot \gamma$$



1. ΜΟΝΙΜΑ ΦΟΡΤΙΑ

$$k_r = \frac{E}{(1 + \nu) \times R}$$

- Ελατήρια τύπου Winkler, ενός βαθμού ελευθερίας για τη μεταβίβαση του φορτίου της βραχομάζας στην μόνιμη επένδυση. Δεν υπάρχει εφαπτομενική συνιστώσα λόγω του γεωυφάσματος.

Η σταθερά των ελατηρίων Winkler υπολογίζεται από τη σχέση :

όπου:

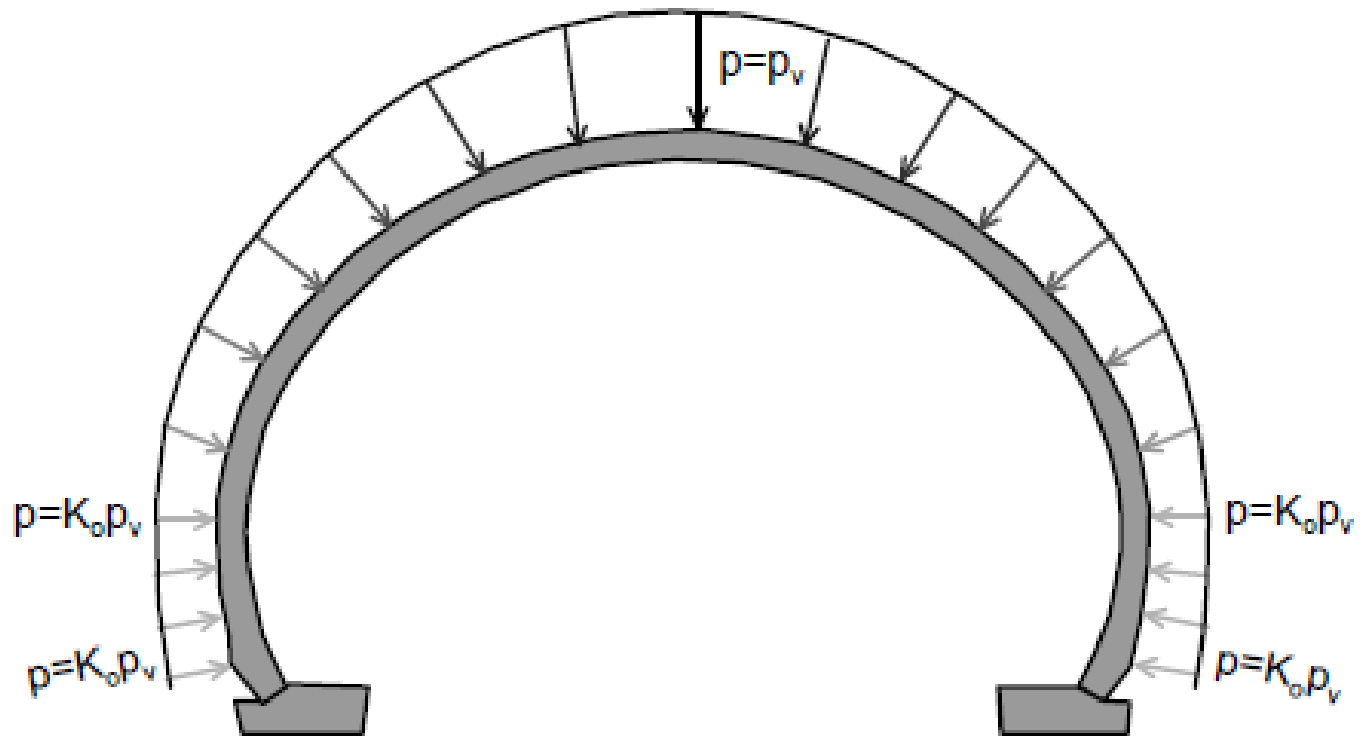
E: Μέτρο ελαστικότητας της περιβάλλουσας βραχομάζας.

ν : Λόγος Poisson της βραχομάζας

R: Ακτίνα καμπυλότητας του φορέα

- Σε γεωτεχνικούς κώδικες ανάλυσης, η χρήση ελαστηρίων μπορεί να αποσκοπεί στην προσομοίωση άλλων συνθηκών και όχι στη μεταβίβαση των φορτίων της βραχομάζας.

1. ΜΟΝΙΜΑ ΦΟΡΤΙΑ



2. ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

Πιθανότητα μη ικανοποιητικής λειτουργίας του συστήματος υδατοστεγάνωσης - αποστράγγισης κατά τη λειτουργία του έργου στο μέλλον σε συνδυασμό με υδροστατική πίεση λόγω κατείδυσης υδάτων.

Υδροστατική πίεση ίση προς 5 m νερού (50 kN/m^2) η οποία δρα ακτινικά σε ολόκληρη την περιοχή της μεμβράνης αποστράγγισης του φορέα.

3. ΚΙΝΗΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Σε περίπτωση μόνιμης επένδυσης με ανάστροφο πυθμένα

π.χ. Κινητό φορτίο λειτουργίας για δύο οχήματα το οποίο δρα στα στοιχεία του ανάστροφου πυθμένα

$$2 \times 33.3 \text{ KN/m}^2 = 66.6 \text{ KN/m}^2.$$

4. ΚΙΝΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΟΦΕΙΛΟΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Μόνο για μόνιμη επένδυση με ανάστροφο πυθμένα

Λαμβάνεται υπόψη κινητό φορτίο οφειλόμενο στην κατασκευή της επένδυσης, το οποίο δρα στα στοιχεία του ανάστροφου πυθμένα

80.0 kN/m².

5. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

4.1. Θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής επιφάνειας του φορέα (T1 & T2)

Μεταβολή θερμοκρασίας $\pm 10^{\circ}\text{C}$.

Μέση θερμοκρασία κατασκευής μπορεί να ληφθεί $+15^{\circ}\text{C}$ αναλόγως συνθηκών

4.2. Συστολή ξήρανσης (T3)

Το φαινόμενο μπορεί να εξεταστεί με την επιβολή ομοιόμορφης μεταβολής θερμοκρασίας στη διατομή $\Delta T = -20^{\circ}\text{C}$, $\alpha_{\tau} = 10^{-5}$

4.3. Ενυδάτωση (T4)

Το φαινόμενο προκαλεί αυτοένταση του φορέα. Εξετάζεται με την επιβολή ομοιόμορφης μεταβολής θερμοκρασίας στην διατομή $\Delta T = +25^{\circ}\text{C}$, $\alpha_{\tau} = 10^{-5}$.

6. ΤΥΧΗΜΑΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

6.1. Έκρηξη (UL1)

Ελέγχεται η πιθανότητα εσωτερικής έκρηξης θεωρώντας εσωτερική πίεση 100 KN/m^2 στα τοιχώματα έκαστου φορέα

6.2. Πρόσκρουση οχήματος (UL2)

Εξετάζεται η περίπτωση πρόσκρουσης οχήματος με την επιβολή φορτίου 60 KN/m^2 κατανεμημένο σε πλάτος 1 m και σε ύψος 1.5 μέτρο πάνω από την στάθμη του οδοστρώματος.

6.3. Διόγκωση πυθμένα (UL3)

Εξετάζεται η περίπτωση διόγκωσης του ανάστροφου πυθμένα της τελικής επένδυσης με την επιβολή ανωφερικού φορτίου 120 KN/m^2 κατανεμημένου στα στοιχεία του ανάστροφου πυθμένα

7. Έλεγχος σε ρηγματώση

Ο έλεγχος σε ρηγματώση βάσει του Eurocode 2 για συνδυασμούς φορτίσεων στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας και θεωρώντας ότι η ανώτερη χαρακτηριστική τιμή εύρους ρωγμής, με πιθανότητα μη υπέρβασης 95%, απαιτεί όριο τα 0.3 mm, στην περίπτωση οπλισμένης επένδυσης.

8. Σεισμικές δράσεις (E)

Έλεγχος με αδρανειακά σεισμικά φορτία (E1)

Εφαρμόζεται η ισοδύναμη στατική μέθοδος του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΕΑΚ), παράγραφος 3.4 για την ταλάντωση του φορέα. Το συνολικό οριζόντιο σεισμικό φορτίο στη βάση της κατασκευής, σύμφωνα με τον ΕΑΚ 3.5.2 (ισοδύναμο σεισμικό φορτίο), είναι :

$$V_o = M \times R_d(T)$$

όπου M η συνολική μάζα και R_d η φασματική επιτάχυνση σε μονάδες g , όπως καθορίζεται στον ΕΑΚ-3.5.2.1 με τις ακόλουθες τιμές συντελεστών :

γ_1 = συντελεστής σπουδαιότητας του έργου

q = συντελεστής συμπεριφοράς της κατασκευής

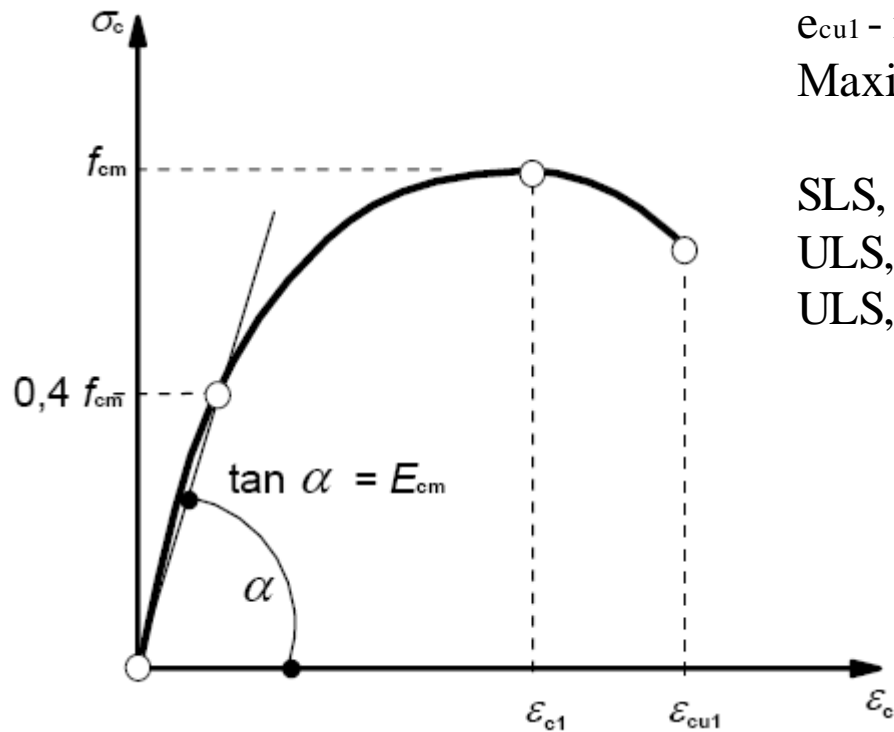
θ = συντελεστής θεμελίωσης

α = μέγιστη ενεργός επιτάχυνση εδάφους

$$R_d(T) = A \cdot \gamma_1 \cdot \frac{\theta}{q} \cdot \beta_0 = 0.24g \cdot 1 \cdot \frac{1}{1.0} \cdot 1.00 = 0.24g$$

Λόγω της ιδιαίτερης φύσης των έργων C&C και των στομιών (είναι έργα επιφανειακά) και λόγω των έντονων σεισμικών φαινομένων που παρατηρούνται στον Ελλαδικό χώρο, βασικό φορτίο για τον υπολογισμό των στομιών και των C&C είναι το σεισμικό.

9. Μη γραμμική συμπεριφορά σκυροδέματος



ε_{c1} - strain at peak stress π.χ. 2.3‰ για C30/37

ε_{cu1} - nominal ultimate strain π.χ. 3.5‰ για C30/37.

Maximum allowable strain 25‰ for the reinforcement.

SLS, non-linear ($f_c = f_{cm}$).

ULS, non linear ($f_c = f_{cR} = 0,85 \alpha f_{ck}$).

ULS, linear-elastic ($f_c = \alpha f_{ck}$).

10. Ερπυσμός

Είναι η εξαρτώμενη από το χρόνο αύξηση της θλιπτικής τροπής υπό σταθερή θλιπτική τάση.

Λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό μεταβάλλοντας το μέτρο ελαστικότητας E μέσω ενός συντελεστή ερπυσμού $\phi(t)$.

$$E_{c,LT} = E_{c28} \cdot (1/\phi)$$

όπου

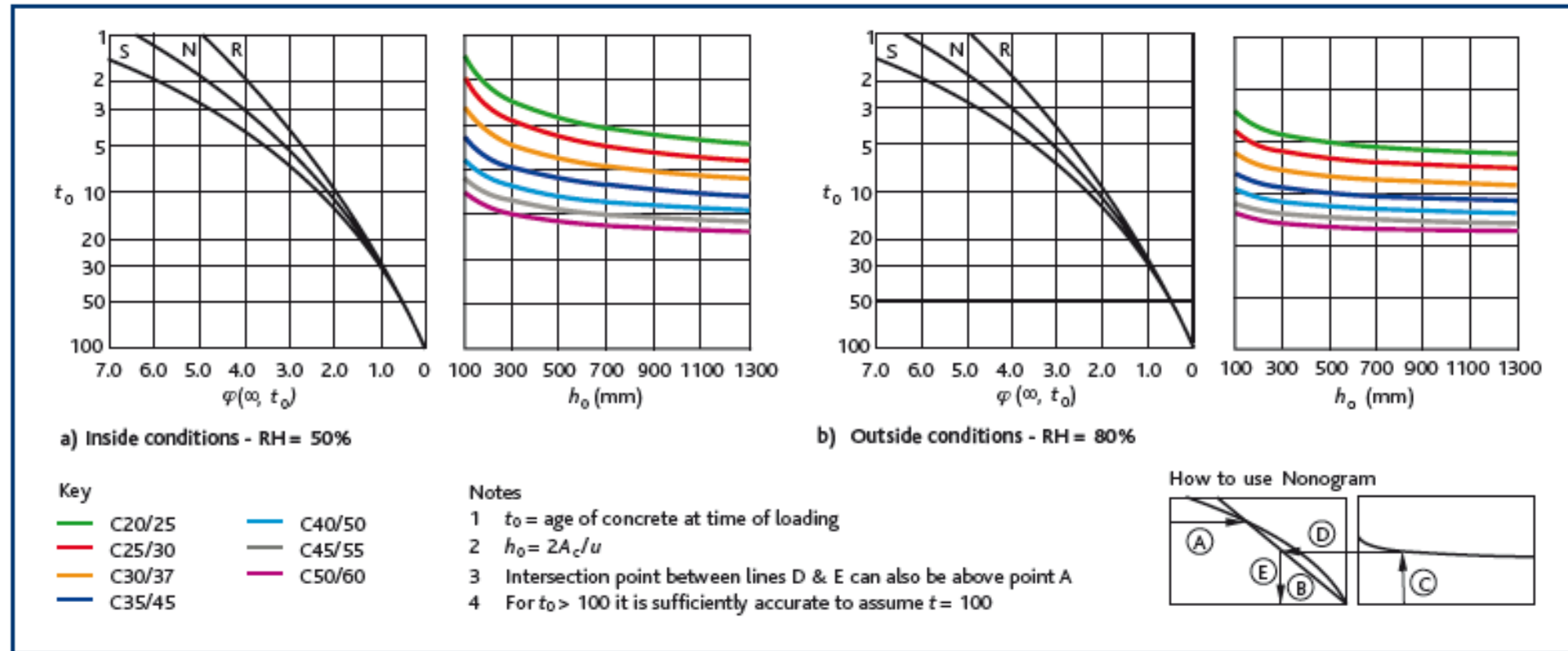
$E_{c,LT}$ μακροχρόνιο μέτρο ελαστικότητας

$E_{c,28}$ =μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος 28 ημερών

Ο συντελεστής ϕ εξαρτάται από τον χρόνο ωρίμανσης του σκυροδέματος, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (μέγεθος) και το περιβάλλον, κυρίως όσον αφορά την υγρασία.

10. Ερπυσμός

Method for determining creep coefficient $\varphi(\infty, t_0)$



- T_0 (ημέρες)
- H_0 ιδεατό πάχος στοιχείου
- A_c εμβαδό διατομής σκυροδέματος
- u περίμετρος στοιχείου σε επαφή με την ατμόσφαιρα

Ιδιότητες σκυροδέματος (EC2)

f_{ck}	MPa	20	25	28	30	32	35	40	50
$f_{cm} = (f_{ck} + 8)$	MPa	28	33	36	38	40	43	48	58
$f_{ctm} = (0.3 f_{ck}^{(2/3)} \leq C50/60 \text{ or } 2.12 \ln(1 + (f_{cm}/10)) > C50/60)$	MPa	2.21	2.56	2.77	2.90	3.02	3.21	3.51	4.07
$f_{ctm}^* = (0.3 f_{cm}^{(2/3)} \leq C50/60 \text{ or } 1.08 \ln(f_{cm}) + 0.1 > C50/60)^a$	MPa	2.77	3.09	3.27	3.39	3.51	3.68	3.96	4.50
$E_{cm} = (22 [(f_{cm})/10]^{0.3})$	GPa	30.0	31.5	32.3	32.8	33.3	34.1	35.2	37.3
$E_{cz8} = (1.05 E_{cm})$	GPa	31.5	33.0	33.9	34.5	35.0	35.8	37.0	39.1
$\epsilon_{cd,0}$ CEM class R, RH = 50%	microstrain	746	706	683	668	653	632	598	536
$\epsilon_{cd,0}$ CEM class R, RH = 80%	microstrain	416	394	381	372	364	353	334	299
$\epsilon_{cd,0}$ CEM class N, RH = 50%	microstrain	544	512	494	482	471	454	428	379
$\epsilon_{cd,0}$ CEM class N, RH = 80%	microstrain	303	286	275	269	263	253	239	212
$\epsilon_{cd,0}$ CEM class S, RH = 50%	microstrain	441	413	397	387	377	363	340	298
$\epsilon_{cd,0}$ CEM class S, RH = 80%	microstrain	246	230	221	216	210	202	189	166
$\epsilon_{ca}(\infty)$	microstrain	25	38	45	50	55	63	75	100

Key

a f_{ctm}^* may be used when striking at less than 7 days or where construction overload is taken into account.

Μέρος 3 – ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

Απαιτήσεις

- Κατασκευαστικοί λόγοι επιβάλλουν ως ελάχιστο πάχος τα 30cm.
- Η άμεση τοποθέτησή της επένδυσης πίσω από το μέτωπο, χωρίς τη χρήση μιας προσωρινής υποστήριξης, είναι ήδη θεωρητικά εφικτή.
- Το σκυρόδεμα της επένδυσης δύναται να οπλίζεται με ράβδους χάλυβα ή/και ίνες

Προδιαγραφές σκυροδέματος

- Το Σκυρόδεμα πρέπει να συμμορφώνεται προς τις απαιτήσεις του Προτύπου ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-01-01-01-00.
- Ελάχιστη ποσότητα τσιμέντου, για τη μείωση της εκλυόμενης θερμότητας ενυδάτωσης και την αποφυγή ανάπτυξης ρηγματώσεων
- Το τσιμέντο του σκυροδέματος του θόλου είναι υψηλής πρώιμης αντοχής (R), όπως ορίζεται στην παρ. 7.1.2. του προτύπου (ΕΛΟΤ) EN 197-1
- Ιπτάμενη τέφρα, Πυριτική παιπάλη, σύμφωνα με ΕΛΟΤ

Οπλισμός

- Συμμορφώνεται στις απαιτήσεις του Προτύπου ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-01-02-01-00
- Οι ίνες που χρησιμοποιούνται για οπλισμό σκυροδέματος πληρούν τις απαιτήσεις των προτύπων (ΕΛΟΤ) EN 14889-1 & -2 (χαλύβδινες), και (ΕΛΟΤ) EN 14845-1 & -2 (συνθετικές)

Συζήτηση

- επίτευξη αποδεκτού επιπέδου ασφαλείας για μόνιμη λειτουργία.
- ανάληψη από τη μόνιμη επένδυση των αναδιανεμημένων φορτίων της γεωμάζας λόγω της υποβάθμισης της υποστηρικτικής δράσης στοιχείων της αρχικής υποστήριξης.
- ανάληψη δράσεων της γεωμάζας, όπως διόγκωσης ή ροής της, που προέρχονται από τη μεταβολή μηχανικών ή φυσικοχημικών ιδιοτήτων κατά την τεχνική διάρκεια ζωής της σήραγγας.
- ικανοποίηση απαιτήσεων τραχύτητας και εμφάνισης της επιφάνειας της μόνιμης επένδυσης.
- ανάληψη δράσεων που δεν υπάρχουν κατά τη διάνοιξη της σήραγγας, αλλά προβλέπονται κατά την τεχνική διάρκεια ζωής του έργου.
- δράσεις από τη λειτουργία της σήραγγας, όπως εκρήξεις, κυκλοφορία, υδραυλική πίεση, κλπ.
- σεισμική δράση
- πυραντίσταση.

Συζήτηση

- Η διαστασιολόγηση πραγματοποιείται συνήθως με τη θεώρηση ότι τα μέτρα άμεσης υποστήριξης παύουν να αναλαμβάνουν φορτία, οπότε η μόνιμη επένδυση καλείται να τα αναλάβει.
- Εκτός αυτών, καλείται να αναλάβει φορτία που έχουν να κάνουν με τη λειτουργία της σήραγγας, όπως π.χ. υδραυλικά φορτία, και τυχηματικά φορτία όπως π.χ. πρόσκρουσης οχημάτων, έκρηξης, κλπ

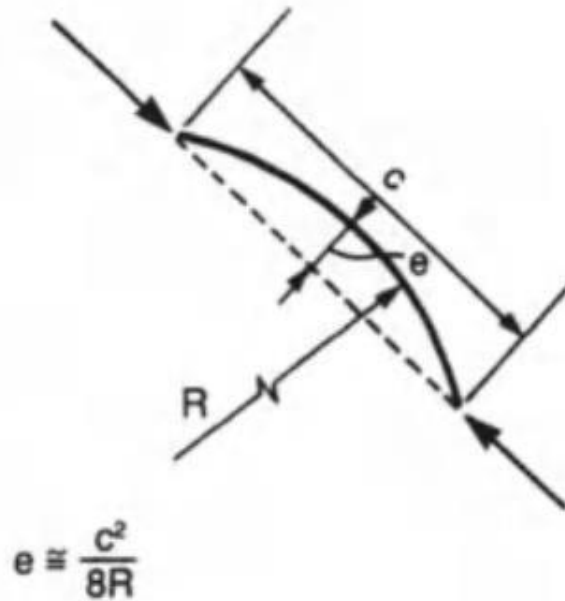
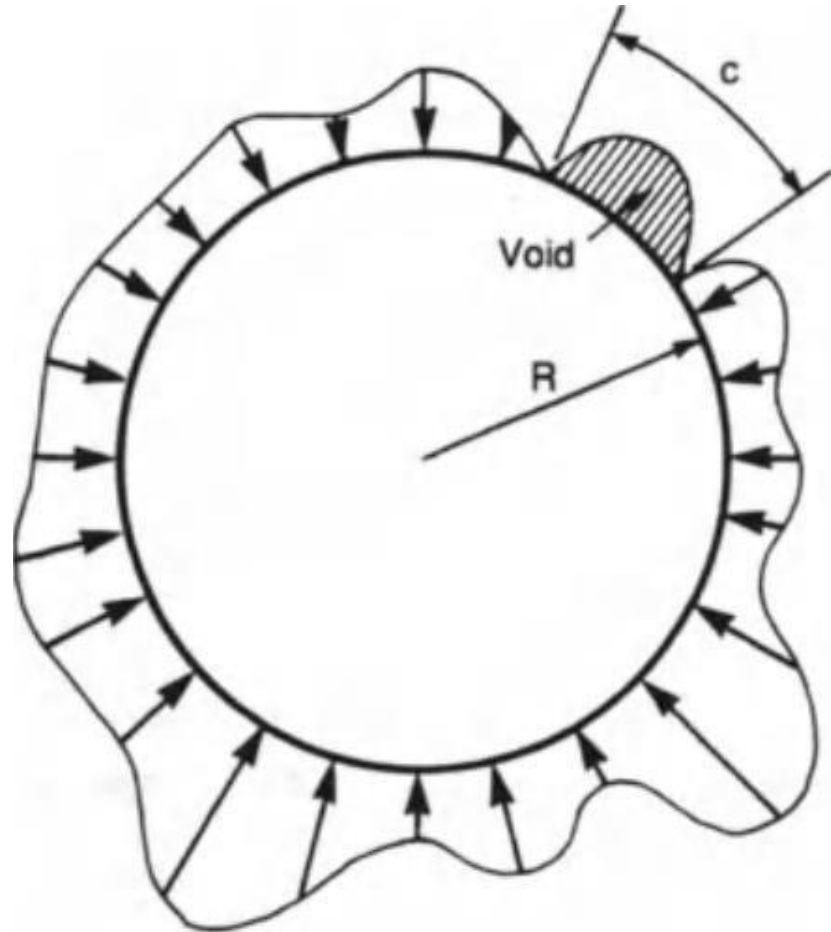
Συζήτηση

- Η αρχική υποστήριξη είναι εύκαμπτη και γενικά όλκιμη
- Το σκυρόδεμα της εσωτερικής επένδυσης εγκαθίσταται μόνο μετά από μια ανακατανομή και εξομάλυνση των φορτίων
- Φορτία που αρχίζουν να δρουν αφού εγκατασταθεί η εσωτερική επένδυση, π.χ. πίεση των υπόγειων υδάτων, προσαρμογές της μακροχρόνιας πίεσης του εδάφους, είναι σχετικά ομοιόμορφα κατανεμημένα και παράγουν κυρίως ορθές δυνάμεις στο σκυρόδεμα

Συζήτηση

- Κενά που παραμένουν πίσω από την επένδυση από μη πλήρωση με σκυρόδεμα παγιδευμένων θυλάκων αέρα και πιέσεις που προκύπτουν από την ενεμάτωσή τους, βρίσκονται γενικά στη στέψη
- Εφόσον υπάρχουν οδηγούν σε εσωτερική κάμψη, δηλαδή εκκεντρότητα e της δύναμης στην τελική επένδυση σήραγγας ακτίνας R , ως συνέπεια του κενού, μήκους χορδής C , πίσω από την επένδυση

Εκκεντρότητα λόγω ύπαρξης κενού πίσω από την επένδυση



$$e = \frac{c^2}{8 \cdot R}$$

Οπλισμένη μόνιμη επένδυση

- Ο φορέας αυτός θεωρείται ότι αποτελεί τη μοναδική μόνιμη ποιοτικά ελεγχόμενη υποστήριξη της σήραγγας, και ως εκ τούτου θα πρέπει να είναι ικανός να αναλαμβάνει με ασφάλεια τα μακροπρόθεσμα φορτία που θα του ασκηθούν, χωρίς λειτουργικές ή θραυστικές αστοχίες
- Η όπλιση αυτή βέβαια έρχεται σε αντίθεση με τις παλαιότερες άοπλες τελικές επενδύσεις σηράγγων που ήταν απλά έντεχνες λιθοδομές

Άοπλη μόνιμη επένδυση

- Τίθεται το ερώτημα αν θα πρέπει πάντα να οπλίζεται το σκυρόδεμα της τελικής επένδυσης σηράγγων ή υπάρχουν περιπτώσεις όπου δύναται να παραμένει άοπλο
- Άοπλες στην Αυστρία, ελλείπουν στη Νορβηγία
- 1985, άοπλη στον πρώτο κλάδο της σήραγγας του Αρτεμισίου
- 2009, δεύτερος κλάδος, με περιορισμένο οπλισμό
- 1985 μέχρι και το 2009 κατασκευάστηκαν οπλισμένες, συχνά με ιδιαίτερα βαρύ οπλισμό

Άοπλες σήραγγες



RECENT TUNNELS WITH UNREINFORCED CONCRETE TUNNEL FINAL LININGS

Tunnel	Country	Type of tunnel	Completion time	Length (km)	Tunnel section (m ²)	Final lining thickness (cm)	Brief geology
Tradenberg	Switzerland	Motorway	2009	2	126	40	Mudstones, Sandstones, Clay marls
Grouft Tunnel	Luxembourg	Motorway	2010	3	96		Marls, Sandstones
Gotthard - Base Tunnel	Switzerland	Railway	On going	25	65	30 - 40	Gneiss
Loetschberg Tunnel	Switzerland	Railway	2008	35			
Schwarzer berg Tunnel	Germany	Motorway	2004	1	102	30 - 40	Gypsum
CTRL 104 North Downs Tunnel	U.K.	Railway	2002	3	103	35 - 40	Chalk

<https://www.db-international.de>



Άοπλη μόνιμη επένδυση

- 2009 και μετά, εξετάστηκε στην Ελλάδα πάλι το ενδεχόμενο, σε κάποιες σήραγγες που κατασκευάζονται με το σύστημα της παραχώρησης, η τελική επένδυση να είναι από άοπλο σκυρόδεμα
- Βαρύνουσα σημασία έχουν η ποιότητα της γεωμάζας, το εντατικό πεδίο, η σεισμικότητα, οι απαιτήσεις στεγανότητας σε συνδυασμό με τις ρωγματώσεις λόγω ξήρανσης και θερμοκρασιακών μεταβολών, κα.

Πότε μπορεί να μπει άοπλη μόνιμη επένδυση;

- Δεν απαιτείται στεγανό σκυρόδεμα,
- Η διατομή είναι πλήρως σε θλίψη,
- Η επένδυση είναι εκτός της ζώνης κύκλου παγετού-απόψυξης,
- Η πίεση από τη βραχομάζα είτε απουσιάζει είτε είναι ελαφριά αλλά ομοιόμορφη,
- Οι τάσεις συρρίκνωσης στον δακτύλιο υπερκαλύπτονται από τη συμπίεση.
- Δεν υπάρχουν ζώνες έκπλυσης στη βραχομάζα,
- Δεν αναμένονται σημειακές φορτίσεις στην επένδυση,
- Δεν αναμένεται μακροπρόθεσμη ασύμμετρη συμπεριφορά της βραχομάζας γύρω από το άνοιγμα

Ελάχιστος οπλισμός

- Γενικά, δεν υπάρχει λογική αιτιολόγηση για τοποθέτηση οπλισμού χάλυβα στην εξωτερική ίνα της εσωτερικής επένδυσης (Kuesel, 1996)
- Στην εσωτερική ίνα, ένας διαμήκης οπλισμός προσφέρει αντίσταση στη ρωγμάτωση λόγω συρρίκνωσης, και ένας επαρκής περιφερειακός οπλισμός στηρίζει το διαμήκη

Μειονεκτήματα ενός ελάχιστου οπλισμού

- Ο οπλισμός δύναται να τραυματίσει τη μεμβράνη στεγάνωσης της επένδυσης, χωρίς μάλιστα να μπορεί να ελεγχθεί. Τούτο δύναται να έχει σαν αποτέλεσμα εισροή νερού στη σήραγγα.
- Η ύπαρξη του οπλισμού παρεμποδίζει την αποτελεσματικότητα της δόνησης στη συμπύκνωση του σκυροδέματος, και συντελεί στην απόμιξη του σκυροδέματος σε αδρομερή και λεπτομερή.
- Σε περίπτωση πυρκαγιάς, δημιουργούνται αστοχίες λόγω της διαφορετικής συμπεριφοράς χάλυβα και σκυροδέματος.

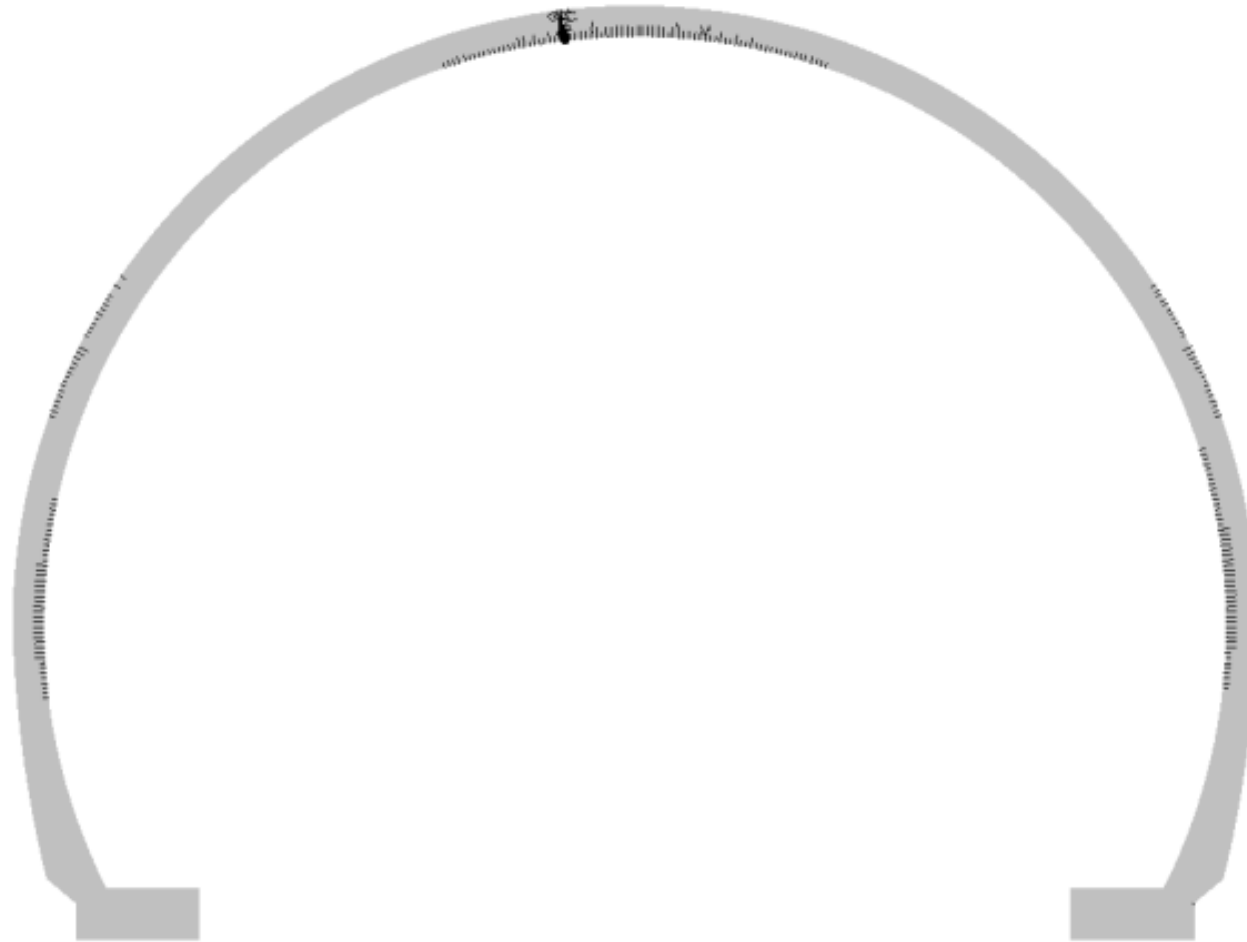
Οπλισμένη διατομή σήραγγας



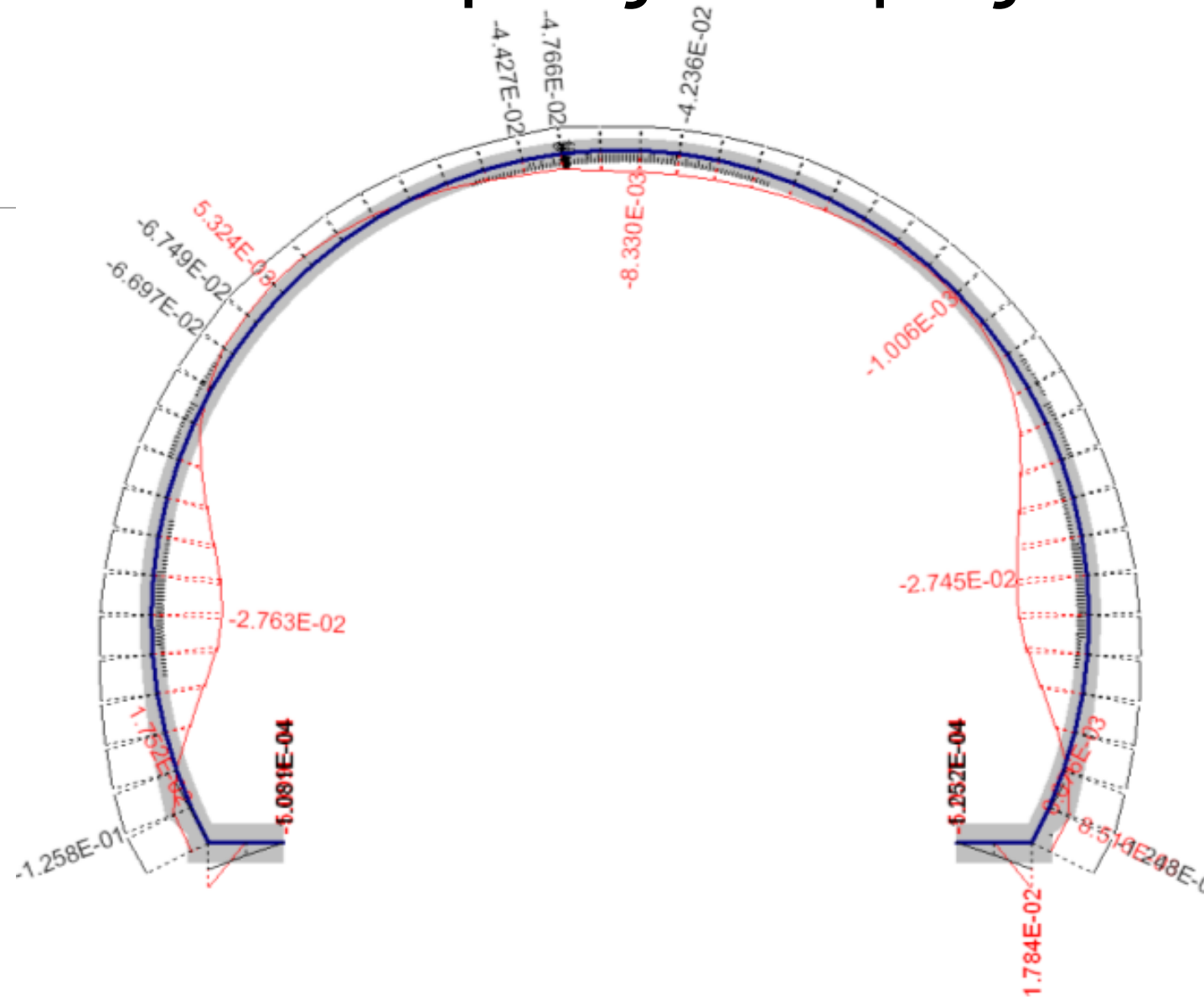
Ρωγματώσεις

Step 26, NSf-UZL - nevyztuzene osteni 300, MSP, zima, liniove pruzne ulozeni

Cracks: in elements, opening: <-1.544E-04;1.592E-03>[m], Sigma_n: <-1.237E+00;9.998E-01>[MPa], Sigma_T0: <1.017E-16;5.182



Εσωτερικές δυνάμεις



Φορτίσεις και τυπικές παράμετροι υπολογισμών

Συνήθεις φορτίσεις που λαμβάνονται υπόψη:

- Ίδιο βάρος Φορέα και Βραχομάζας (G)
- Μόνιμο φορτίο επίχωσης-πλήρωσης θεμελίων / ανάστροφου πυθμένα
- Ίδιο βάρος Ανεμιστήρων Αερισμού
- Υδροστατική Πίεση
- Κινητό φορτίο λειτουργίας πεζοδρομίων
- Φόρτιση πεζοδρομίων με μοναδιαίο φορτίο τροχού
- Πρόσκρουση Οχήματος
- Ομοιόμορφη αύξηση και μείωση θερμοκρασίας (+ ΔT / - ΔT)
- Θερμοκρασιακή διαφορά μέσα κι έξω ίνας (T+in/-out --T-in/+out)
- Συστολή ξήρανσης (Shr)
- Ενυδάτωση (Hyd)
- Φορτίο Έκρηξης (Blast)

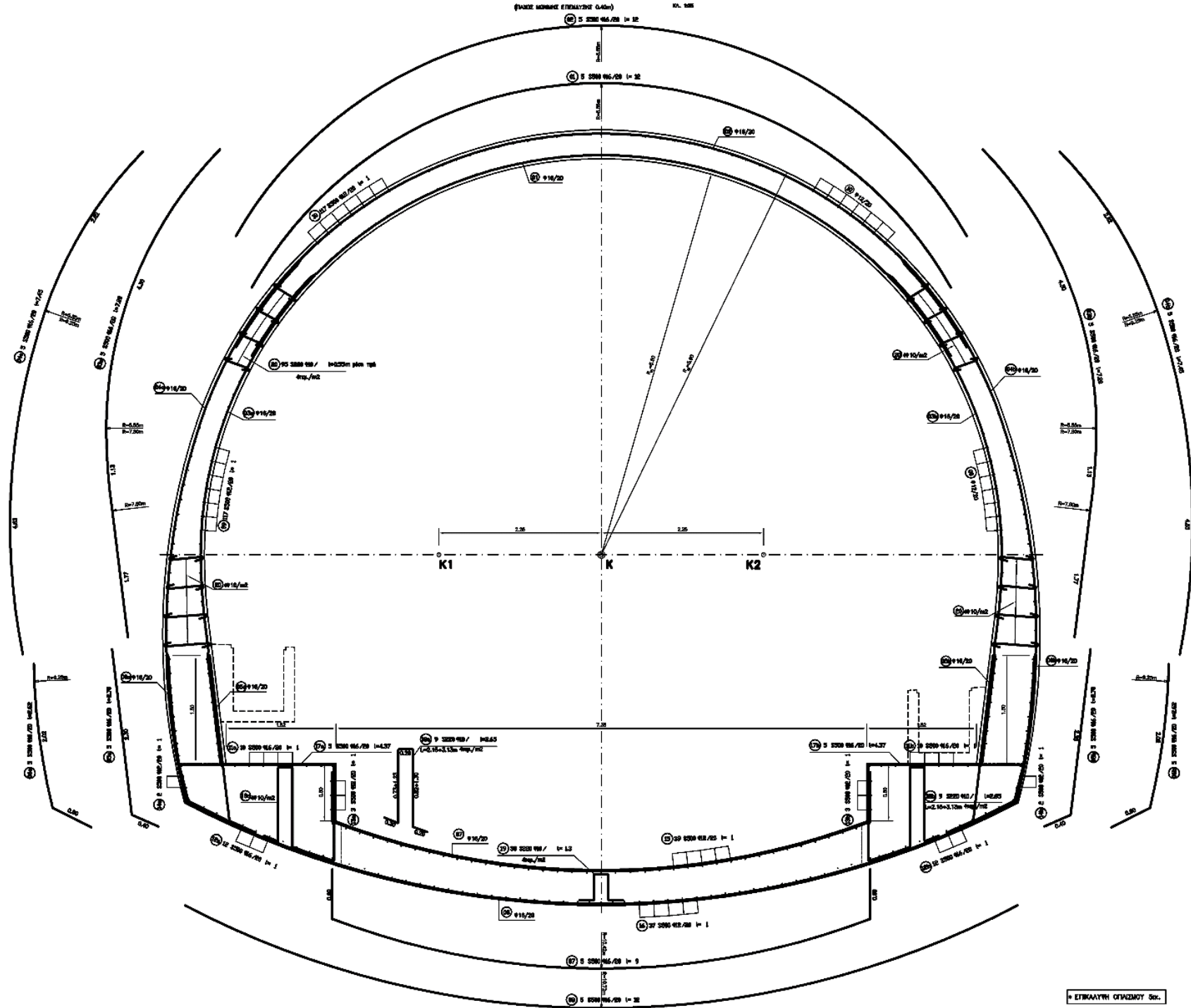
Τυπικές μηχανικές παράμετροι οπλισμένου σκυροδέματος:

(α) Έγχυτο Σκυρόδεμα, ποιότητας C30/37

- Μέτρο Ελαστικότητας $E = 31900 \text{ N/mm}^2$
- Χαρακτηριστική αντοχή θλίψης κυλίνδρου $f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
- Λόγος Poisson $\nu = 0.2$
- Μοναδιαίο βάρος άοπλου σκυροδέματος 24 kN/m^3
- Μοναδιαίο βάρος οπλισμένου σκυροδέματος 25 kN/m^3

(β) Χάλυβας οπλισμού, ποιότητας B500C

- Μέτρο Ελαστικότητας $E = 205000 \text{ N/mm}^2$
- Όριο διαρροής $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$



Έκθεση Μεθοδολογίας Εκτέλεσης Σκυροδέτησης

Καλύπτει το σύνολο της κατασκευαστικής αλληλουχίας, δηλαδή:

- προετοιμασία των επιφανειών διάστρωσης του σκυροδέματος,
- τοποθέτηση των οπλισμών,
- κατασκευή και ανέγερση των τύπων,
- διάστρωση του σκυροδέματος,
- διαμόρφωση των αρμών κατασκευής, συστολής ή διαστολής,

ΣΥΝΕΧΕΙΑ

- συμπύκνωση του σκυροδέματος,
- επεξεργασία και επισκευή της επιφάνειας του σκυροδέματος,
- συντήρησή του και
- πρόγραμμα μετρήσεων για την διακρίβωση της γεωμετρικής ακρίβειας της κατασκευής

συνέχεια

Περιγράφεται:

- η μέθοδος εκτέλεσης της εργασίας,
 - ο απαιτούμενος εξοπλισμός και το απαραίτητο προσωπικό,
 - καθώς και τα υλικά που ενσωματώνονται ή χρησιμοποιούνται
-
- Λαμβάνοντας υπόψη χρονικές και λοιπές συμβατικές δεσμεύσεις για την κατασκευή της σήραγγας

Μέρος 4 - ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Εισαγωγή

Σύστημα μερικών διαφορικών εξισώσεων

Ανάγκη επίλυσης μεγάλων γραμμικών συστημάτων

Μέθοδοι που εφαρμόζονται γενικά:

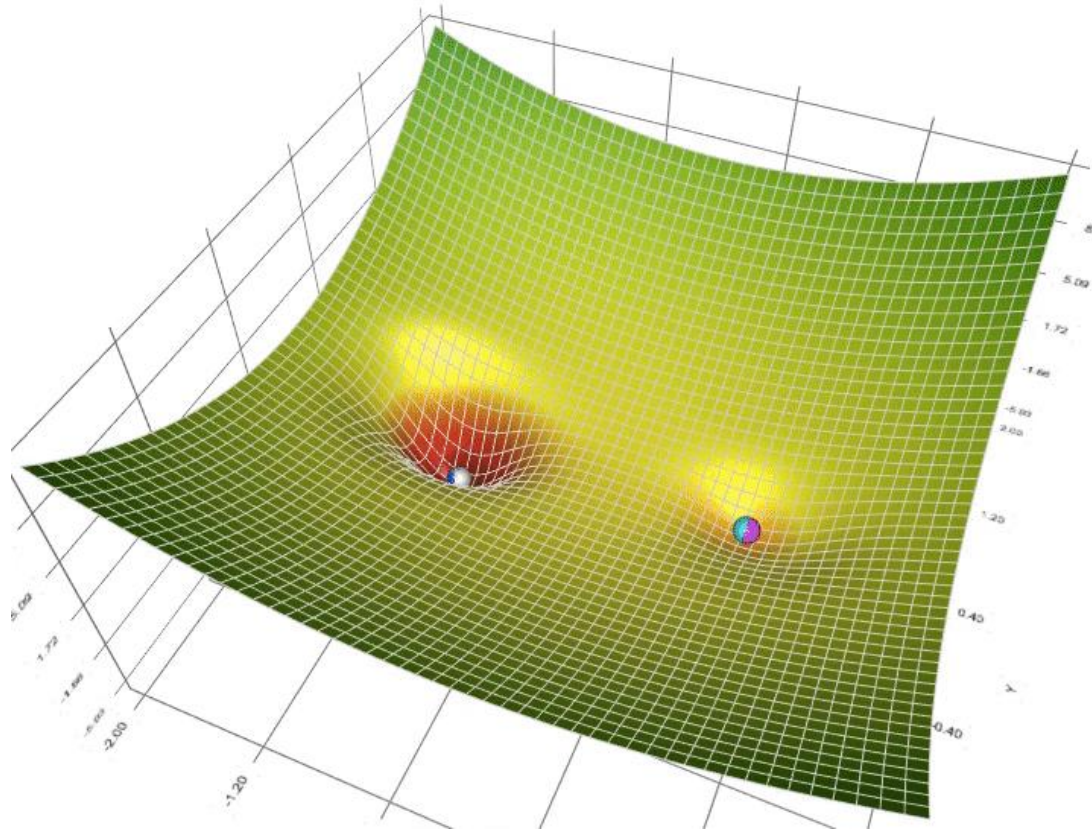
1. Gaussian Elimination
2. Steepest descent
3. Conjugate gradient

Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης Gradient/Steepest Descent

Η κεντρική ιδέα στην υλοποίηση του αλγόριθμου είναι η «καθοδήγηση» του τρέχοντος διανύσματος λύσεων προς τις περιοχές όπου ελαχιστοποιείται το σφάλμα.

Πρόκειται για έναν επαναληπτικό αλγόριθμο που αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση μίας συνάρτησης, τυπικά της αντικειμενικής συνάρτησης (objective function, loss function, cost function κλπ). Η συνάρτηση αυτή αποτελεί μέτρο της απόστασης της λύσης της τρέχουσας τιμής από την πραγματική.

Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης Gradient/Steepest Descent



Εκκίνηση από μία αρχική τιμή, η οποία μπορεί να είναι τυχαία.

Σε κάθε βήμα υπολογισμού εκτιμάται η τιμή της κλίσης/παραγώγου (gradient - ∇f) της αντικειμενικής συνάρτησης ως προς τις μεταβλητές της. Η κλίση, είναι ένα διάνυσμα που δείχνει προς την κατεύθυνση με την ταχύτερη αύξηση της συνάρτησης.

Επιλέγεται η αντίθετη κατεύθυνση, ενώ ο συντελεστής με τον οποίο επιτυγχάνεται η μετάβαση προς τη σωστή κατεύθυνση λέγεται συντελεστής χαλάρωσης για μεθόδους βελτιστοποίησης ή learning rate για μεθόδους μηχανικής μάθησης. Η νέα τιμή μίας παραμέτρου, έστω θ_{n+1} , είναι $\theta_{n+1} = \theta_n - \omega * \nabla f(\theta_n)$ όπου ω ο συντελεστής χαλάρωσης ($0 < \omega < 1$) και $\nabla f(\theta_n)$ η παράγωγος της συνάρτησης f στο θ_n

Ο αλγόριθμος Conjugate Gradient

Ενδείκνυται για συστήματα με sparse matrices. Βασίζεται στην ιδέα ότι αν ο πίνακας των συνιστωσών σε ένα σύστημα

$$Ax=b$$

είναι θετικά ορισμένος, τότε το διάνυσμα των λύσεων μπορεί να θεωρηθεί ότι προέρχεται από την ελαχιστοποίηση της συνάρτησης τετραγωνικής μορφής:

$$f(x) = \frac{1}{2} x \cdot A \cdot x - bx + c$$

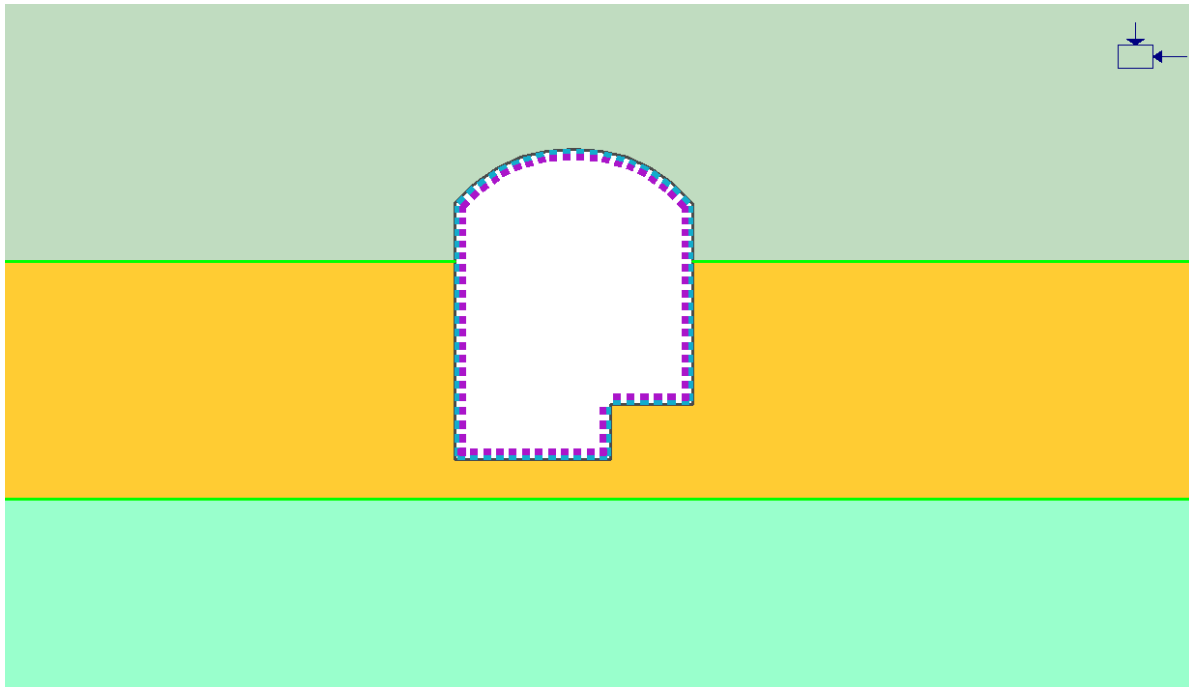
Η επιφάνεια της $f(x)$ είναι ένα ανάποδο παραβολοειδές που ελαχιστοποιείται από την $Ax=b$, όπως προκύπτει με παραγωγή της $f(x)$

$$\nabla f(x) = \frac{1}{2} A^T \cdot x + \frac{1}{2} A \cdot x - b = Ax - b$$

Προσομοίωση με το RS2

Εκσκαφή και υποστήριξη υπόγειου θαλάμου

3 στάδια προσομοίωσης (A & B εκσκαφής & υποστήριξης, Μόνιμη επένδυση)



Συντεταγμένες εκσκαφής & συνόρων

X	Y	X	Y
245.329	301.174	415.459	144.041
253.829	301.174	415.459	299
253.829	304.174	415.459	312
258.329	304.174	415.459	333
258.329	312	415.459	335
258.329	315.174	415.459	344
257.294	316.233	415.459	349
256.084	317.086	415.459	465.945
254.74	317.706	415.459	465.945
253.306	318.073	77.035	349
251.829	318.174	77.035	344
250.352	318.073	77.035	335
248.918	317.706	77.035	333
247.574	317.086	77.035	312
246.364	316.233	77.035	299
245.329	315.174	77.035	144.041
245.329	312		
245.329	304.174		

Συντεταγμένες ορίων υλικών

Stage	
X	Y
253.829	304.174
245.329	304.174

Sandstone1	
X	Y
77.035	349
415.459	349

Sandstone 2	
X	Y
77.035	335
415.459	335

Sandstone 1	
X	Y
77.035	312
245.329	312
258.329	312
415.459	312

Fault t2	
X	Y
77.035	344
415.459	344

Fault t2	
X	Y
77.035	333
415.459	333

Fault t1	
X	Y
77.035	299
415.459	299

Ιδιότητες βραχομάζας

Material: Sandstone 1	
Initial element loading	field stress only
Elastic type	isotropic
Young's modulus	4500 MPa
Poisson's ratio	0.25
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	0 MPa
Residual tensile strength	0 MPa
Peak friction angle	45 degrees
Peak cohesion	1 MPa
Material type	Plastic
Dilation Angle	0 degrees
Residual Friction Angle	45 degrees
Residual Cohesion	1 MPa

Material: Fault t1	
Initial element loading	field stress only
Elastic type	isotropic
Young's modulus	3000 MPa
Poisson's ratio	0.3
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	0 MPa
Residual tensile strength	0 MPa
Peak friction angle	40 degrees
Peak cohesion	0.3 MPa
Material type	Plastic
Dilation Angle	0 degrees
Residual Friction Angle	40 degrees
Residual Cohesion	0.3 MPa

Ιδιότητες βραχομάζας

Material: Sandstone 2	
Initial element loading	field stress only
Elastic type	isotropic
Young's modulus	6000 MPa
Poisson's ratio	0.25
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	0 MPa
Residual tensile strength	0 MPa
Peak friction angle	50 degrees
Peak cohesion	1 MPa
Material type	Plastic
Dilation Angle	0 degrees
Residual Friction Angle	50 degrees
Residual Cohesion	1 MPa

Material: Fault t2	
Initial element loading	field stress only
Elastic type	isotropic
Young's modulus	3000 MPa
Poisson's ratio	0.3
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	0 MPa
Residual tensile strength	0 MPa
Peak friction angle	35 degrees
Peak cohesion	0.3 MPa
Material type	Plastic
Dilation Angle	0 degrees
Residual Friction Angle	35 degrees
Residual Cohesion	0.3 MPa

Εντατικό πεδίο

σ_1 : 10.9 MPa

σ_3 : 7.5 MPa

σ_z : 9 MPa

Επένδυση (προσωρινή)

Define Liner Properties

Shotcrete

Name: Color:

Liner Type:

Elastic Properties

Young's Modulus (MPa):

Poisson's Ratio:

Geometry

Thickness (m):

Area (m²):

Moment of Inertia (m⁴):

Include Weight in Analysis

Unit Weight: (MN/m³):

Pre-Tensioning

Pre-Tensioning Force (MN):

Sliding Gap

Strain at Locking: %

Beam Element Formulation:

Strength Parameters

Material Type: Elastic Plastic

Compressive Strength (peak) (MPa):

Compressive Strength (residual) (MPa):

Tensile Strength (peak) (MPa):

Tensile Strength (residual) (MPa):


Stage Liner Properties

Shotcrete
Liner 2
Liner 3
Liner 4
Liner 5
Liner 6
Liner 7
Liner 8
Liner 9
Liner 10
Liner 11
Liner 12
Liner 13
Liner 14
Liner 15
Liner 16
Liner 17
Liner 18
Liner 19
Liner 20
Liner 21
Liner 22
Liner 23

Επένδυση (μόνιμη)

Define Liner Properties

Concrete

Name: Concrete Color: 

Liner Type: Standard Beam

Elastic Properties

Young's Modulus (MPa): 35000

Poisson's Ratio: 0.2

Strength Parameters

Material Type: Elastic Plastic

Compressive Strength (peak) (MPa): 35

Compressive Strength (residual) (MPa): 5

Tensile Strength (peak) (MPa): 5

Tensile Strength (residual) (MPa): 0

Stage Liner Properties

Define Factors...

Geometry

Thickness (m): 0.15

Area (m²): 0.1

Moment of Inertia (m⁴): 8.3e-005

Include Weight in Analysis

Unit Weight: (MN/m³): 0.02

Pre-Tensioning

Pre-Tensioning Force (MN): 0

Sliding Gap

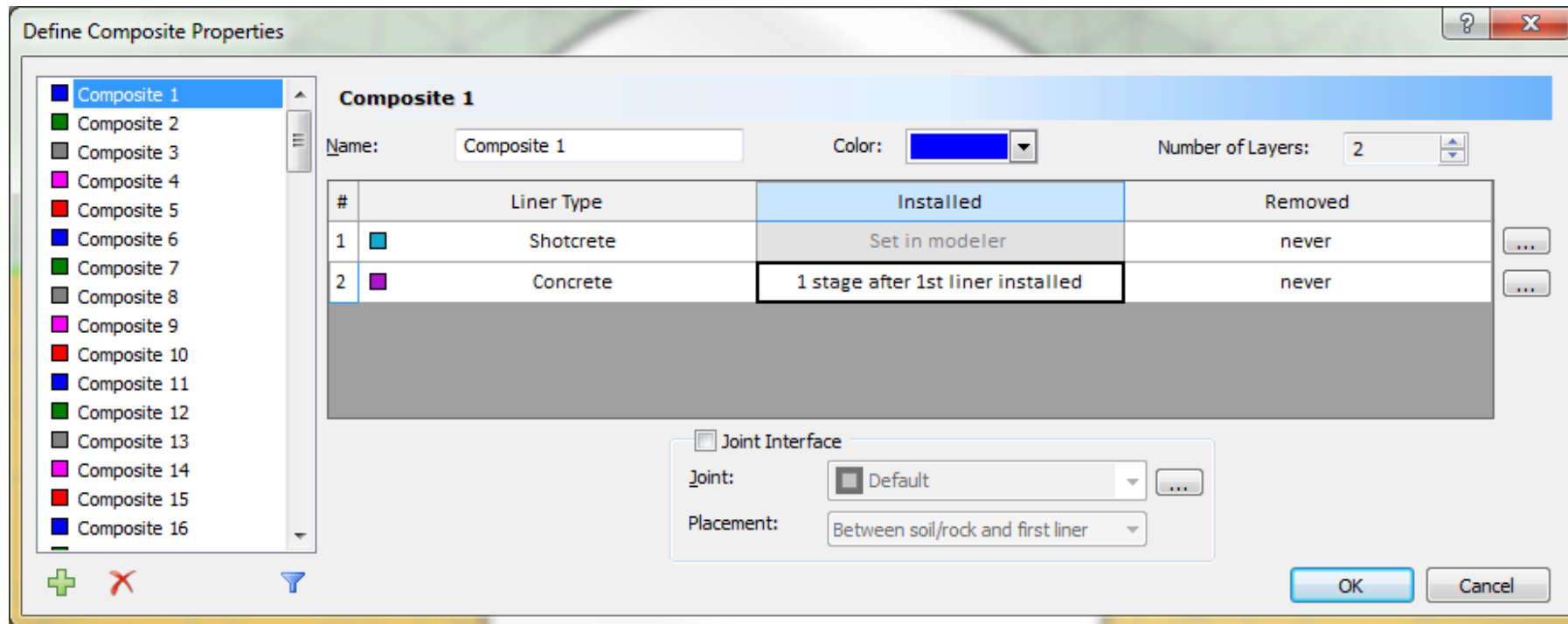
Strain at Locking: 50 %

Beam Element Formulation: Timoshenko

OK Cancel

Shotcrete
Concrete
Liner 3
Liner 4
Liner 5
Liner 6
Liner 7
Liner 8
Liner 9
Liner 10
Liner 11
Liner 12
Liner 13
Liner 14
Liner 15
Liner 16
Liner 17
Liner 18
Liner 19
Liner 20
Liner 21
Liner 22
Liner 23

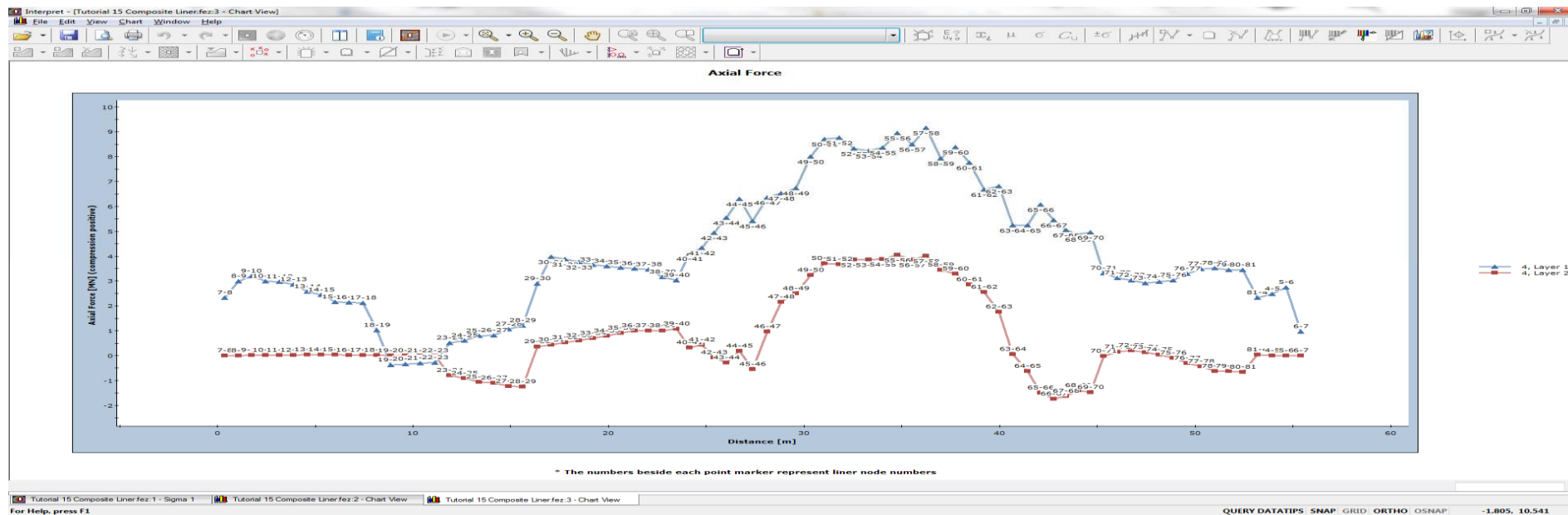
Ακολουθία εγκατάστασης



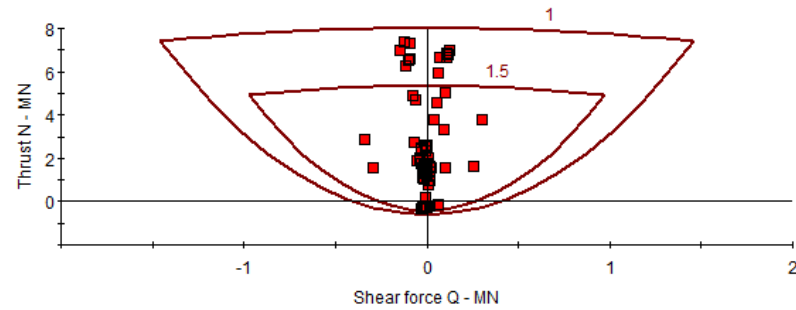
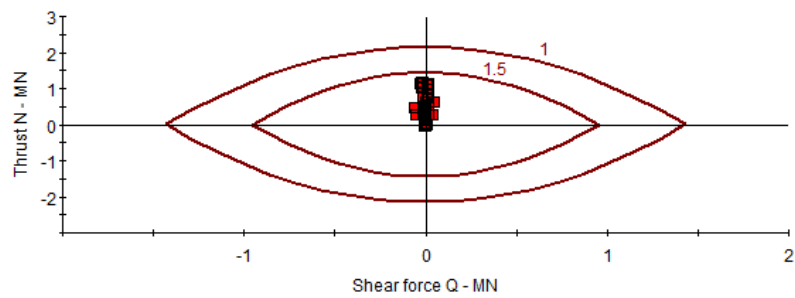
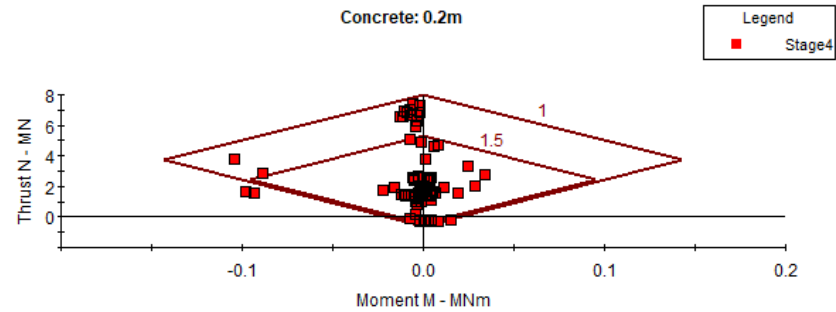
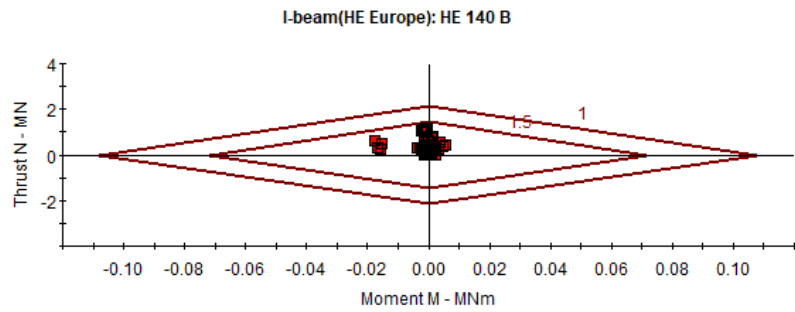
Αποτελέσματα

Graph liner data

Show values



Support capacity plots



Support Element: Concrete

Άλλες φορτίσεις

Μακροχρόνια φόρτιση της μόνιμης επένδυσης

Απαξίωση των μέτρων προσωρινής υποστήριξης

Επιβολή εξωτερικού φορτίου π.χ. 0.5 MPa στην μόνιμη επένδυση για την προσομοίωση αύξησης υδατικών πιέσεων λόγω έμφραξης των στραγγιστηρίων και μακροχρόνιο ερπυσμό της βραχομάζας .

Άσκηση υπολογισμού με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων

Να υπολογίσετε τις επιπτώσεις στην φόρτιση της μόνιμης επένδυσης από την πλήρη απαξίωση της προσωρινής επένδυσης για το παράδειγμα του υπόγειου σταθμού. Να χρησιμοποιήσετε τον κώδικα RS2.

Παραδοτέα:

A. Συγκριτικά διαγράμματα εντατικών μεγεθών επί του φορέα της μόνιμης επένδυσης για τις δύο περιπτώσεις (χωρίς και με απαξίωση της προσωρινής επένδυσης)

B. Συγκριτικά διαγράμματα αλληλεπίδρασης (support capacity plots) για τις δύο περιπτώσεις.

Γ. Τα αρχεία υπολογισμού στον κώδικα και τις παρατηρήσεις σας.