



Problem Set 3B (submitted individually by each student)

Calculation of the Safety Factor of the Tunnel Excavation Face in case of an unsupported face and face supported with various methods

A tunnel with height $D=7\text{m}$ and width $B=10\text{m}$ is excavated in flysch with material parameters: $GSI=35$, $\sigma_{ci} = 10\text{ MPa}$, $c = 220\text{ kPa}$, $\phi = 32^\circ$, $\gamma = 24\text{ kN/m}^3$, $K_o = 1$

1. Calculate the maximum overburden depth (H) of the tunnel, where the excavation face is marginally stable ($FS=1$) without face support measures. Use the simplified method and the method by Anagnostou & Kovari:

$$F = \frac{N \tan \varphi + c (A' A \Gamma \Gamma') + 2 \tau_f (A B \Gamma)}{(R + W) \cos \omega - P \sin \omega}$$

Answer: Simplified method: $H_{\max} = 65.5\text{m}$, Anagnostou & Kovari: $H_{\max} = 170\text{m}$

2. Calculate the Safety Factor (FS_o) of the unsupported excavation face at tunnel depth $H=85\text{m}$, using the simplified method:

Answer: $FS_o = 0.774 < 1.00$ (face is unstable)

3. For the case No 2 (above) design face support with forepolling to achieve $FS=1$. Use the deconfinement factor (λ) of the unsupported face.

Answer: Need forepoles with tube diameter 219.1mm and wall thickness 12.7mm at spacing 0.40m.

4. Repeat the above analysis with fiber-glass (FG) nails (instead of forepoles) to achieve a Safety Factor $FS=1.1$. Calculate the number of FG nails (yield strength of nails $F_y = 100\text{ kN}$, safety factor of nail material 1.15).

Answer: 41 nails (i.e., one nail per 1.7m^2 of face surface)

5. Repeat the above analysis with cement grouting, i.e., calculate the required increase of ground cohesion (Δc) to achieve a Safety Factor $FS=1.10$.

Answer: $\Delta c = 65\text{ kPa}$, So $c = 220\text{ kPa}$ becomes 285 kPa .

6. Calculate the Safety Factor of the unsupported tunnel face in case of groundwater flow towards the tunnel with water head $h_w = 41.5\text{m}$ over drainage length $l=15\text{m}$ (hydraulic gradient $i = 41.5 / 15 = 2.77$).

Answer: Safety factor $FS = 0.55$ instead of $FS = 0.774$ (without flow).



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ - ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ

ΜΑΘΗΜΑ : ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΔΠΜΣ Σ.Κ.Υ.Ε. & Δ.Σ.Α.Κ.

ΑΚΑΔ. ΕΤΟΣ : 2022-23

Άσκηση 3B - ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΜΕΤΩΠΟΥ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Υποβάλλεται ατομικά από τους φοιτητές

Υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας του Μετώπου Εκσκαφής Σήραγγας με ανυποστήρικτο μέτωπο και με μέτωπο υποστηριζόμενο με διάφορους τρόπους.

Σήραγγα ύψους εκσκαφής Α Φάσης $D=7\text{m}$ και εύρους $B=10\text{m}$ διανοίγεται σε υλικό φλύσχη με παραμέτρους αντοχής: $GSI=35$, $\sigma_{ci} = 10\text{ MPa}$, $c = 220\text{ kPa}$, $\phi = 32^\circ$, $\gamma = 24\text{ kN/m}^3$, $K_o = 1$

1. Να υπολογισθεί το μέγιστο βάθος (H) της σήραγγας στο οποίο το μέτωπο εκσκαφής είναι ευσταθές (συντελεστής ασφαλείας $FS=1$) χωρίς μέτρα υποστήριξης του μετώπου. Να χρησιμοποιηθεί η απλοποιημένη μέθοδος, και η μέθοδος των Anagnostou & Kovari, δηλαδή η σχέση:

$$F = \frac{N \tan \phi + c (A'AG\Gamma') + 2\tau_f (AB\Gamma)}{(R+W)\cos \omega - P \sin \omega}$$

Απάντηση: Απλοποιημένη μέθοδος: $H_{\max} = 65.5\text{m}$, Μέθοδος Kovari: $H_{\max} = 170\text{m}$

2. Να υπολογισθεί με την απλοποιημένη μέθοδο, ο συντελεστής ασφαλείας (FS_o) του ανυποστήρικτου μετώπου σε βάθος σήραγγας $H = 85\text{m}$.

Απάντηση: $FS_o = 0.774 < 1.00 \rightarrow$ μέτωπο ασταθές

3. Για την περίπτωση 2 ανωτέρω (μέτωπο ασταθές χωρίς υποστήριξη), να σχεδιασθεί υποστήριξη του μετώπου με δοκούς προπορείας, ώστε ο συντελεστής ασφαλείας να γίνει $FS=1.0$. Στον υπολογισμό, να χρησιμοποιηθεί απλοποιητικά ο συντελεστής αποτόνωσης του ανυποστήρικτου μετώπου.

Απάντηση: Απαιτούνται δοκοί προπορείας $\Phi 219.1\text{mm}$ με πάχος τοιχώματος 12.7mm σε αποστάσεις 0.40m .

4. Να επαναληφθεί η προηγούμενη ανάλυση (για την περίπτωση 2 ανωτέρω), για υποστήριξη του μετώπου με αγκύρια Fiberglass, δηλαδή να υπολογισθεί ο απαιτούμενος αριθμός των αγκυρίων ώστε ο συντελεστής ασφαλείας του μετώπου να γίνει $FS = 1.10$. Δίδεται: Φορτίο διαρροής των αγκυρίων $F_y = 200\text{ kN}$ και συντελεστής ασφαλείας υλικού 1.15 .

Απάντηση: Απαιτούνται 41 αγκύρια, δηλαδή ένα αγκύριο ανά 1.70 m^2 επιφάνειας μετώπου.

5. Να επαναληφθεί η προηγούμενη ανάλυση (για την περίπτωση 2 ανωτέρω), για υποστήριξη του μετώπου με σιμεντενέσεις, δηλαδή να υπολογισθεί η απαιτούμενη αύξηση της συνοχής (Δc) του εδάφους ώστε ο συντελεστής ασφαλείας του μετώπου να γίνει $FS = 1.10$.

Απάντηση: Απαιτείται αύξηση της συνοχής $\Delta c = 65\text{ kPa}$, δηλαδή κατά $65/220 = 30\%$.

6. Να υπολογισθεί ο συντελεστής ασφαλείας (FS) του ανυποστήρικτου μετώπου, εάν στο μέτωπο εκσκαφής υπάρχει ροή νερού προς τα έξω, με πιεζομετρικό φορτίο $h_w = 41.5\text{ m}$ και μήκος στράγγισης $l = 15\text{m}$.

Απάντηση: Συντελεστής ασφαλείας με ροή $FS = 0.55$, ενώ χωρίς ροή ήταν $FS_o = 0.774$