

---

# ΦΟΡΤΙΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΙΜΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΕΔΑΦΟΣ

---

*Μ. Καββαδάς*  
*Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ*



## Ιδιαιτερότητα των φορτίσεων από το περιβάλλον έδαφος:

1. Πρόκειται για αποτέλεσμα της «αλληλεπίδρασης»: Εδάφους – Άμεσης υποστήριξης – Μόνιμης επένδυσης και όχι για *a-priori* γνωστά φορτία

*Συνεπώς, δεν έχει νόημα το ερώτημα:*

*«Δώστε μου τα φορτία για να μελετήσω τη μόνιμη επένδυση».*

2. Οι πιθανές τιμές έχουν πολύ μεγάλο εύρος διακύμανσης:

- Ανω όριο: Αποκατάσταση γεωστατικών φορτίων ( $p = \gamma H$ )  
π.χ. Σήραγγα σε βάθος 150 m:  
 $p = 24 \text{ kN/m}^3 \times 150 \text{ m} = 3600 \text{ kPa}$
- Κάτω όριο: Μηδέν ( $p = 0$ )  
π.χ. Κατασκευή της μόνιμης επένδυσης μετά την εξισορρόπηση των φορτίων του εδάφους από την άμεση υποστήριξη
- Πραγματικότητα: Κάπου ανάμεσα  
Το μέγεθος των φορτίων εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες (έδαφος, τρόπος διάνοιξης, χρόνος άμεσης + μόνιμης επένδυσης).

## Φορτίσεις της Μόνιμης Επένδυσης από το περιβάλλον έδαφος

Λόγω των ανωτέρω δυσχερειών, τα φορτία σχεδιασμού των μονίμων επενδύσεων σηράγγων διαφέρουν εξαιρετικά, διεθνώς.

Αποτελέσματα έρευνας από το US Dept. of Transportation (1983) για τη Μόνιμη Επένδυση σηράγγων σε 16 από

τα μεγαλύτερα Τεχνικά Γραφεία των ΗΠΑ (Design Recom. for Concrete Linings of Transportation Tunnels):

### 1. Οδικές σήραγγες σε βραχώδεις σχηματισμούς:

No	Διαστασιολόγηση Μόνιμης Επένδυσης
10	Ελάχιστο δυνατό πάχος μόνιμης επένδυσης (χωρίς υπολογισμούς)
2	Σχεδιασμός με φορτία τυπικών σφηνοειδών αποκολλήσεων
3	Σχεδιασμός με εμπειρικά φορτία Terzaghi ή άλλες εμπειρικές σχέσεις (κυρίως μέσω του RQD)
1	Σχεδιασμός με τα πλήρη γεωστατικά φορτία (εμπειρία κυρίως σε αβαθείς σήραγγες)

Αποτελέσματα έρευνας (1983) σε 16 από τα μεγαλύτερα Τεχνικά Γραφεία των ΗΠΑ που ασχολούνται με σήραγγες (συνέχεια):

### 2. Οδικές σήραγγες σε εδαφικούς σχηματισμούς:

Μόνον 6 γραφεία δήλωσαν σχετική εμπειρία

No	Κατακόρυφη διεύθυνση	Οριζόντια διεύθυνση
2	Εμφαση στην άμεση υποστήριξη. Μόνιμη επένδυση με το κατασκευαστικά ελάχιστο πάχος (χωρίς υπολογισμούς)	
1	Πίεση γαιών ύψους $h = (1.5 \div 2.0)$ εύρος	60% της κατακόρυφης + Ελατήρια Winkler
1	Πλήρη γεωστατικά φορτία για $H < 25m$ Μειούμενο ποσοστό του πλήρους γεωστατικού για $H > 25m$ ( $H =$ βάθος)	Πίεση μεταξύ της $K_0$ και της παθητικής
1	Πλήρη γεωστατικά φορτία	87.5% της κατακόρυφης
1	Πλήρη γεωστατικά φορτία	$K_0$ φορές της κατακόρυφης

*Σήμερα, θα υπήρχαν και απαντήσεις: «ό,τι φορτία δώσει το computer»*

## Προέλευση των φορτίων της μόνιμης επένδυσης από το έδαφος (συνέχεια)

1. Από τα αγκύρια και τα χαλύβδινα πλαίσια:  
Λόγω βαθμιαίας αποφόρτισης και διάβρωσης των αγκυρίων και διάβρωσης των χαλύβδινων πλαισίων
2. Από το εκτοξ. σκυρόδεμα της άμεσης υποστήριξης:
  - (α) Λόγω διαφοράς του συντελεστή ασφαλείας μεταξύ προσωρινού και μόνιμου έργου (λογιστικά φορτία)
  - (β) Λόγω αυξημένου ερπυσμού του εκτοξ. σκυροδέματος (έντονα φορτιζόμενο, άν και μεγαλύτερο σε ηλικία) ως προς το σκυρόδεμα της μόνιμης επένδυσης (αρχικά αφόρτιστο άν και νεώτερο)

«Εύκολα» φορτία

- 
3. Λόγω ερπυσμού του εδάφους εκ των διατμητικών τάσεων από την διάνοιξη της σήραγγας (συνθλιψιμότητα - squeezing):  
Βαθμιαία φόρτιση της μόνιμης (αλλά και της άμεσης) επένδυσης λόγω παρεμπόδισης της διάθεσης του εδάφους για μακροχρόνια σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας (έστω και 1cm αρκεί...)
  4. Λόγω διόγκωσης του εδάφους εξ αρνητικής στερεοποίησης (διογκωσιμότητα – swelling)  
Αποτόνωση των αρνητικών υπερπιέσεων πόρων λόγω της διάνοιξης

«Δύσκολα» φορτία

### 1α. Από τα αγκύρια

Βαθμιαία αποφόρτιση λόγω παγίωσης της κεφαλής τους, και τελικώς μακροχρόνια διάβρωση:

**Αποτέλεσμα:** Το σύνολο των αρχικών φορτίων των αγκυριών μεταφέρεται στη Μόνιμη Επένδυση ως πίεση ( $p$ ).

Συνήθη παθητικά αγκύρια 200 kN ( $\Phi 25$  mm - S500)

Κάνναβος $a \times b$	Ισοδύναμη πίεση $p$ (kPa)	$p$ ως προς $p_o$ για σήραγγα βάθους $H = 150$ m ( $p_o = \gamma H$ )
2.5 × 2.5 m	25	$p = 0.007 p_o$
2.0 × 2.0 m	40	$p = 0.011 p_o$
1.5 × 1.5 m	70	$p = 0.019 p_o$
1.0 × 1.0 m	160	$p = 0.044 p_o$

Όπου:  $p = P_{all}/ab$ ,  $P_{all} = 160$  kN (FS = 1.25),  
 $p_o = \gamma H = 3.6$  MPa

## 16. Από τα χαλύβδινα πλαίσια

Βαθμιαία διάβρωση λόγω ανεπαρκούς επικάλυψης.

**Αποτέλεσμα:** Το σύνολο των αρχικών φορτίων των πλαισίων μεταφέρεται στη Μόνιμη Επένδυση ως πίεση ( $p$ ).

Πλαίσια HEB 140 – S 360 ( $A = 43 \text{ cm}^2$ ) σε σήραγγα εύρους  $B = 12 \text{ m}$

Αποστάσεις $s$ (m)	Ισοδύναμη πίεση $p$ (kPa)	$p$ ως προς $p_o$ για σήραγγα βάθους $H = 150 \text{ m}$ ( $p_o = \gamma H$ )
2.0	42	$p = 0.012 p_o$
1.5	55	$p = 0.015 p_o$
1.0	83	$p = 0.023 p_o$
0.75	111	$p = 0.031 p_o$

Όπου:  $p = P_{\text{all}} / (B/2) s$ ,  $P_{\text{all}} = 500 \text{ kN}$  ( $FS = 2$ ),  
 $p_o = \gamma H = 3.6 \text{ MPa}$

## 2α. Από το εκτοξ. σκυρόδεμα της άμεσης υποστήριξης

Λόγω διαφοράς του συντ. ασφαλείας προσωρινού και μόνιμου έργου:

π.χ. Άμεση υποστήριξη:  $FS = 1.50$

Μόνιμη Επένδυση:  $FS = 1.75$

**Αποτέλεσμα:** Μέρος του αρχικού φορτίου του εκτοξ. σκυροδέματος μεταφέρεται (λογιστικά) στη Μόνιμη Επένδυση ως πίεση ( $p$ ).

Εκτοξ. σκυρόδεμα B25 σε σήραγγα εύρους  $B = 12$  m

Πάχος $t$ (cm)	Ισοδύναμη πίεση $p$ (kPa)	$p$ ως προς $p_o$ για σήραγγα βάθους $H = 150$ m ( $p_o = \gamma H$ )
10	40	$p = 0.011 p_o$
15	60	$p = 0.017 p_o$
20	80	$p = 0.022 p_o$
25	100	$p = 0.028 p_o$

Όπου:  $p = \Delta\sigma_{all} t / (B/2)$ ,  $\Delta\sigma_{all} = 2.38$  MPa,

$p_o = \gamma H = 3.6$  MPa

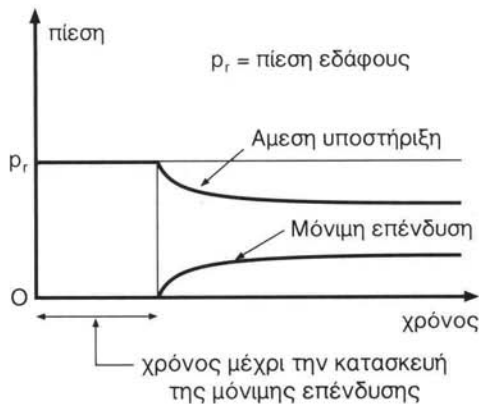
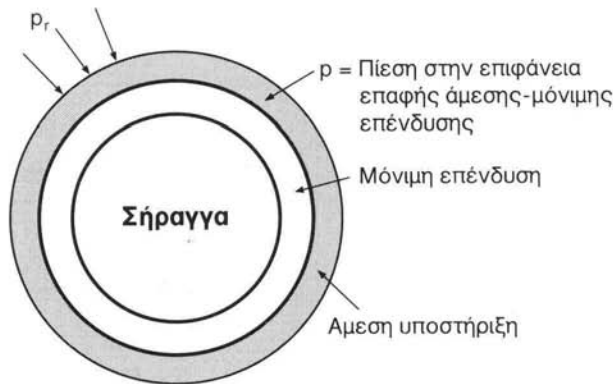
$p \approx 15\%$  της πίεσης που αρχικώς αναλαμβάνει το εκτοξ. σκυρόδεμα

## 26. Φορτία από το εκτοξ. σκυρόδεμα της άμεσης υποστήριξης

Λόγω αυξημένου ερπυσμού του εκτ. σκυροδέματος σε σχέση με το σκυρόδεμα της μόνιμης επένδυσης (χωρίς ερπυσμό του εδάφους).

- Εκτοξ. σκυρόδεμα: έντονα φορτιζόμενο (άν και μεγαλύτερο σε ηλικία)
- Μόνιμη επένδυση: αρχικά αφόρτιστη (άν και νεώτερη σε ηλικία).

**Αποτέλεσμα:** Μεταφορά μέρους του φορτίου του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στη Μόνιμη Επένδυση (ως πίεση  $p$ )



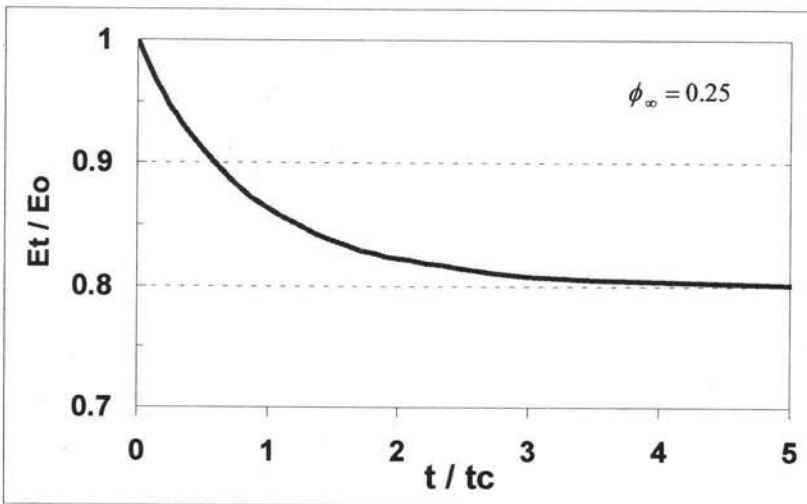


Μοντέλο ερπισμού του σκυροδέματος:

$$E_t = \frac{E_0}{1 + \phi_\infty [1 - \exp(-t/t_c)]}$$

$$\phi_\infty = \frac{\varepsilon_{t_\infty}}{\varepsilon_e}$$

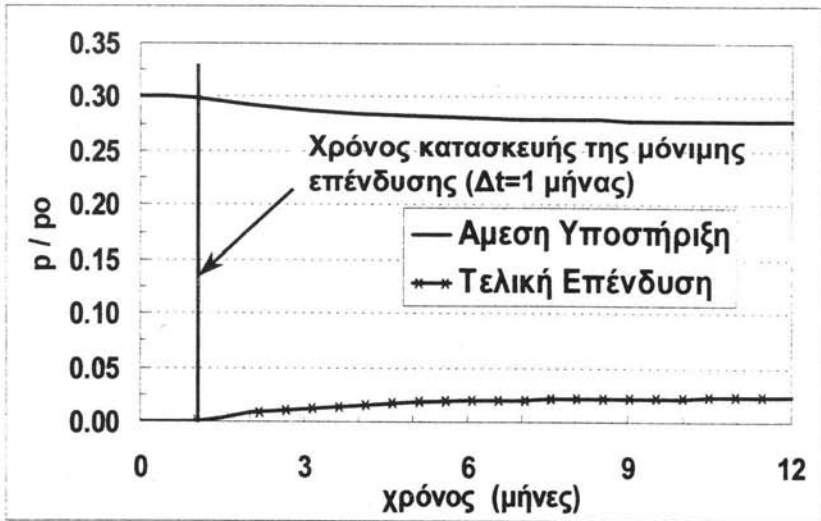
$$E_{t_\infty} = \frac{E_0}{1 + \phi_\infty}$$



	$E_0$ (GPa)	$E_{t_\infty}/E_0$	$\phi_\infty$	$t_c$ (μήνες)
Εκτοξ. σκυρόδεμα	30	0.80	0.25	3
Εγγυτο σκυρόδεμα	30	0.90	0.11	12

Παράμετροι του προβλήματος:

- Χαρακτηριστικά ερπυσμού άμεσης και μόνιμης επένδυσης
- Σχετικό πάχος επένδυσης:  $t_M/t_A = 2.5$
- Αρχική αποτόνωση του εδάφους:  $\lambda = 1 - p_r/p_o = 70\%$
- Χρονική υστέρηση στην κατασκευή της μόνιμης επένδυσης ( $\Delta t$ )



Αποτελέσματα της ανάλυσης για:

$$t_M/t_A = 50 \text{ cm} / 20 \text{ cm} = 2.5, \quad p_r/p_o = 0.30 \quad (\lambda = 70\%)$$

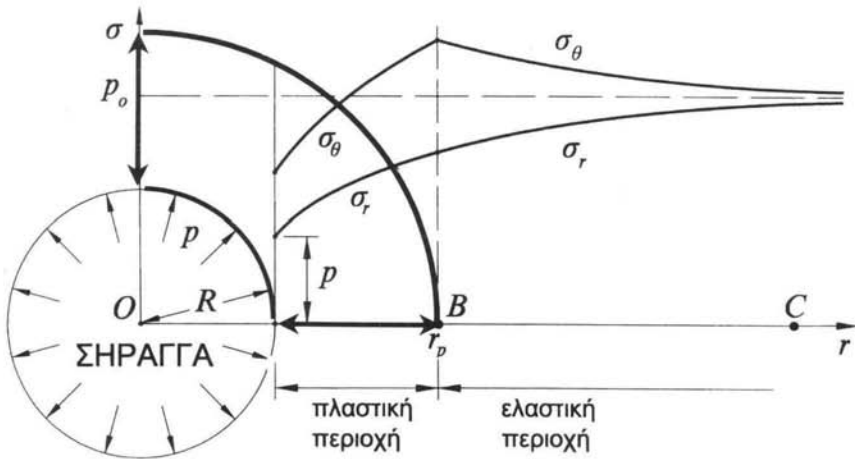
$\Delta t$  = χρονική υστέρηση στην κατασκευή της μόνιμης επένδυσης

$p$  = μακροχρόνια πίεση στην μόνιμη επένδυση

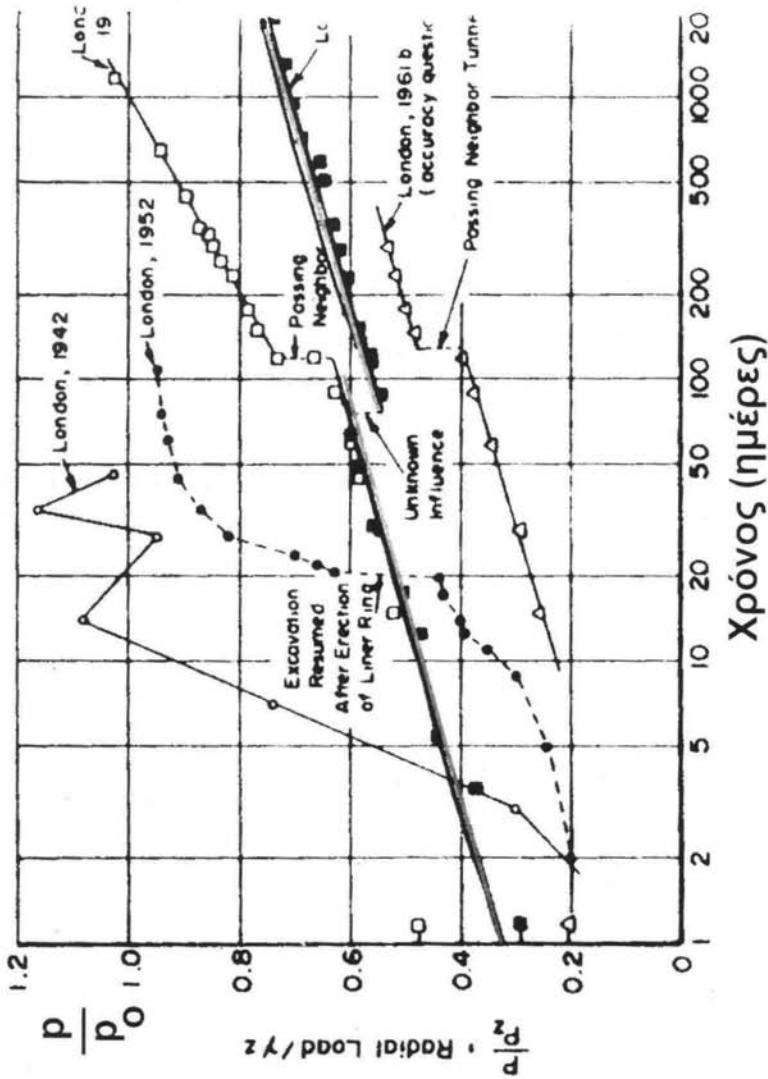
$\Delta t$ (μήνες)	Ισοδύναμη πίεση $p$ (kPa)	$p$ ως προς $p_o$ για σήραγγα βάθους $H = 150 \text{ m}$ ( $p_o = \gamma H$ )
1	82	$p = 0.023 p_o$
2	59	$p = 0.016 p_o$
3	42	$p = 0.012 p_o$
4	30	$p = 0.008 p_o$
6	15	$p = 0.004 p_o$
8	8	$p = 0.002 p_o$
12	2	$p = 0.005 p_o$
24	0.4	$p = 0.000002 p_o$

**3. Λόγω ερπυσμού του εδάφους εκ των διατμητικών τάσεων από την διάνοιξη της σήραγγας (συνθλιψιμότητα - squeezing)**

- Οι διατμητικές τάσεις  $q = \sigma_\theta - \sigma_r$  μπορούν να προκαλέσουν ερπυστικές παραμορφώσεις σε εδαφικούς σχηματισμούς (κυρίως)
- Η παρεμπόδιση των ερπυστικών παραμορφώσεων από την μόνιμη επένδυση, προκαλεί βαθμιαία αύξηση της επί αυτής φόρτισης



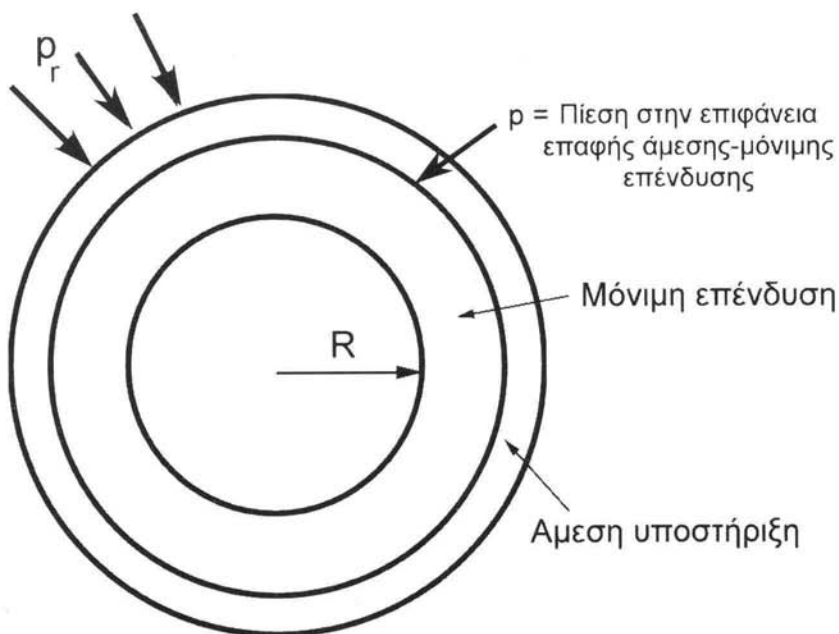
#### 4. Φορτία στη μόνιμη επένδυση λόγω ερπυσμού του εδάφους



Πίεση στην επένδυση σπράγγων: Αγγίλος του Λονδίνου (Reck, 1969).  
Γενικώς, υπάρχουν ελάχιστες μετρήσεις στη βιβλιογραφία.

Η πίεση  $p_r$  που ασκεί το έδαφος αυξάνει με τον χρόνο

**Αποτέλεσμα:** Βαθμιαία φόρτιση της μόνιμης (αλλά και της άμεσης) επένδυσης, λόγω παρεμπόδισης της διάθεσης του εδάφους για μακροχρόνια σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας (έστω και 1 cm αρκεί...)



#### Ενδείξεις ερπυσμού:

Τάση για συνεχιζόμενη αύξηση των συγκλίσεων και μετά την ολοκλήρωση της διάνοιξης.

Παρουσιάζεται κυρίως σε εδάφη και μαλακούς / αποσπασθόμενους βράχους.

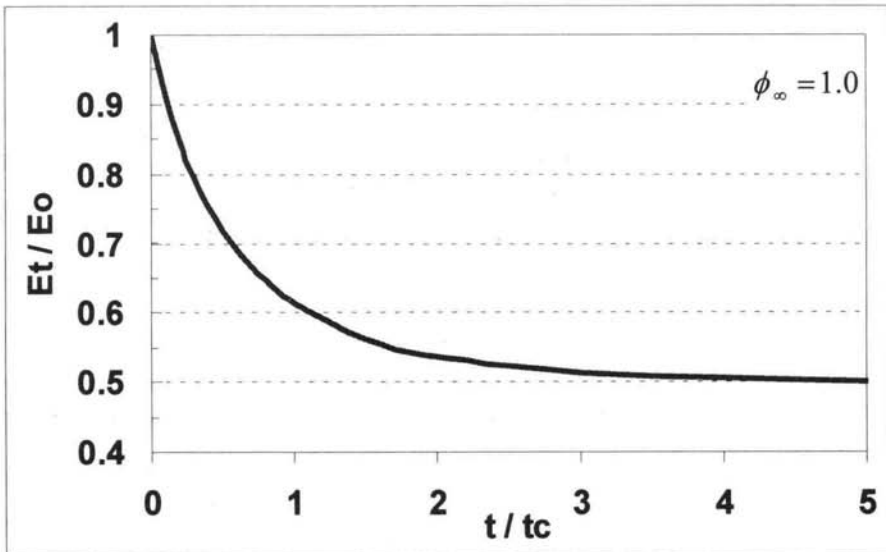
Μοντέλο ερπυσμού του εδάφους:

$$E_t = \frac{E_0}{1 + \phi_\infty [1 - \exp(-t/t_c)]}$$

$$E_{t_\infty} = \frac{E_0}{1 + \phi_\infty}, \quad \phi_\infty = \frac{\varepsilon_{t_\infty}}{\varepsilon_e}$$

Καθαρώς διατμητικός ερπυσμός:  $K = \text{σταθ.} \Rightarrow$

$$G_t = \frac{3KE_t}{9K - E_t}$$



Μοντέλο ερπισμού του εδάφους:

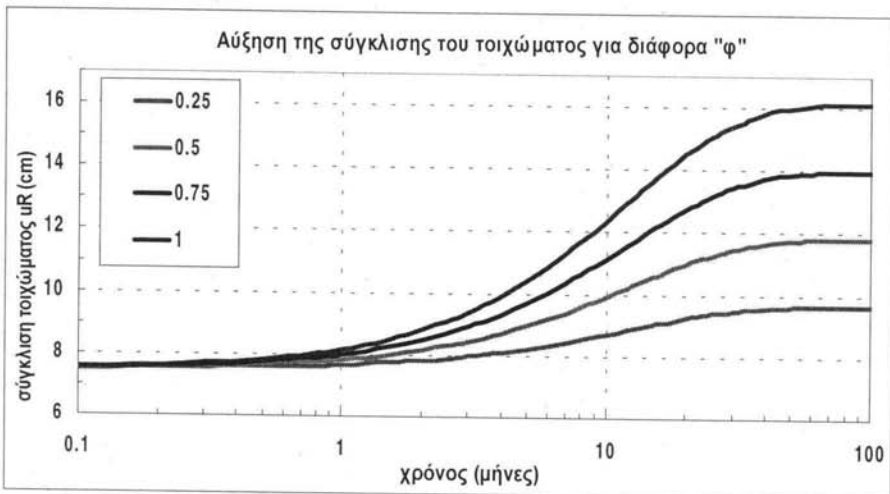
	Μέγεθος ερπισμού του εδάφους	$\phi_{\infty} = \frac{\epsilon_{t_{\infty}}}{\epsilon_0}$	$\frac{E_{t_{\infty}}}{E_0} = \frac{1}{1 + \phi_{\infty}}$
Αύξουσα συνθλιψιμότητα ▼	Αμελητέος	0.05	0.95
	Πολύ μικρός	0.1	0.91
	Μικρός	0.25	0.80
	Μέτριος	0.5	0.67
	Μεγάλος	1.0	0.50
	Πολύ μεγάλος	2.5	0.29

$\phi_{\infty}$  = ερπιστική παραμόρφωση ως ποσοστό της ελαστικής, δηλαδή  
 = μακροχρόνια σύγκλιση / άμεση σύγκλιση

Μοντέλο ερπισμού του εδάφους:

$$E_t = \frac{E_0}{1 + \phi_{\infty} [1 - \exp(-t/t_c)]}$$

Αύξηση της σύγκλισης του τοιχώματος για διάφορα «φ»

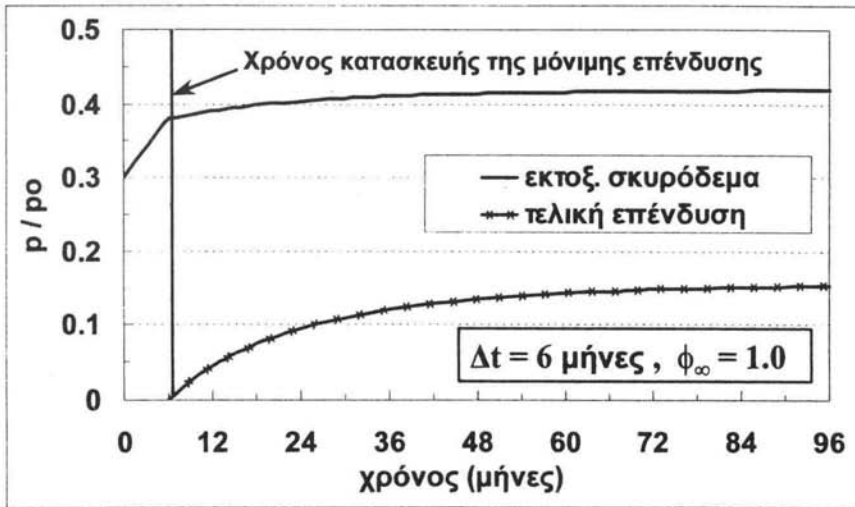




Χαρακτηριστικά αποτελέσματα των αναλύσεων, για:

$E_o = 400 \text{ MPa}$ ,  $\nu_o = 0.30$ ,  $t_c = 24 \text{ μήνες}$ ,  $\lambda = 0.70$ ,  $B = 12 \text{ m}$

$t_M/t_A = 50 \text{ cm}/20 \text{ cm} = 2.5$ , χωρίς ερπυσμό στα σκυροδέματα



Χαρακτηριστικά αποτελέσματα των προηγούμενων αναλύσεων:

Τιμές του  $\rho/\rho_0$

Ερπυσμός του εδάφους	$\phi_0$	Χρονική υστέρηση στην κατασκευή της μόνιμης επένδυσης		
		3 μήνες	6 μήνες	12 μήνες
Αμελητέος	0.05	0.027	0.023	0.018
Πολύ μικρός	0.1	0.050	0.044	0.034
Μικρός	0.25	0.107	0.092	0.068
Μέτριος	0.5	0.169	0.141	0.101
Μεγάλος	1.0	0.233	0.186	0.125
Πολύ μεγάλος	2.5	0.274	0.198	0.138

$\rho$  = μακροχρόνια πίεση στη μόνιμη επένδυση

$\rho_0$  = αρχική γεωστατική πίεση

Τιμές του  $p$  (σε kPa) για  $p_0 = 3.6$  MPa (βάθος  $H = 150$ m)

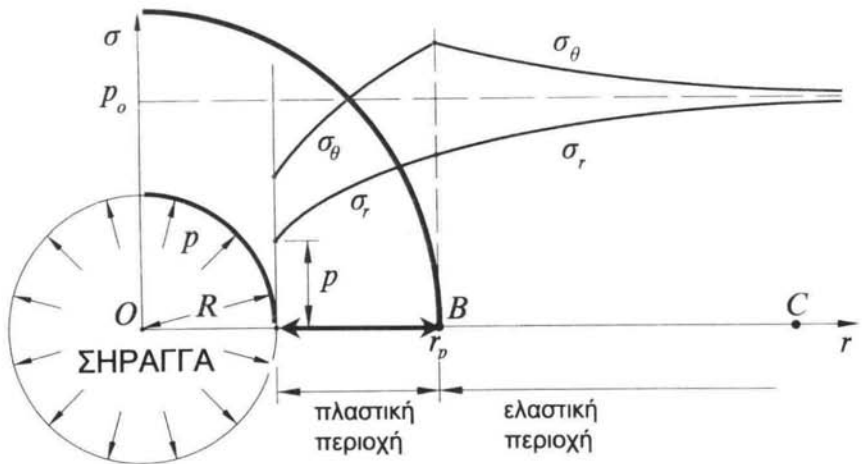
Ερπυσμός του εδάφους	$\phi_{\infty}$	Χρονική υστέρηση στην κατασκευή της μόνιμης επένδυσης		
		3 μήνες	6 μήνες	12 μήνες
Αμελητέος	0.05	97	83	65
Πολύ μικρός	0.1	180	158	122
Μικρός	0.25	385	331	245
Μέτριος	0.5	608	508	364
Μεγάλος	1.0	839	670	450
Πολύ μεγάλος	2.5	986	713	497

$p$  = μακροχρόνια πίεση στη μόνιμη επένδυση

$p_0$  = αρχική γεωστατική πίεση

### 5. Λόγω διόγκωσης του εδάφους εξ αρνητικής στερεοποίησης (διογκωσιμότητα – swelling)

- Μείωση της μέσης τάσης  $\sigma = (\sigma_r + \sigma_\theta + \sigma_z)/3$  στην πλαστική περιοχή, και συνεπώς ανάπτυξη αρνητικής πίεσης πόρων ( $\Delta u < 0$ )
- Στερεοποίηση με βαθμιαία απορρόφηση νερού και διόγκωση
- Εάν η τάση για διόγκωση παρεμποδισθεί, αναπτύσσεται πίεση στην επένδυση



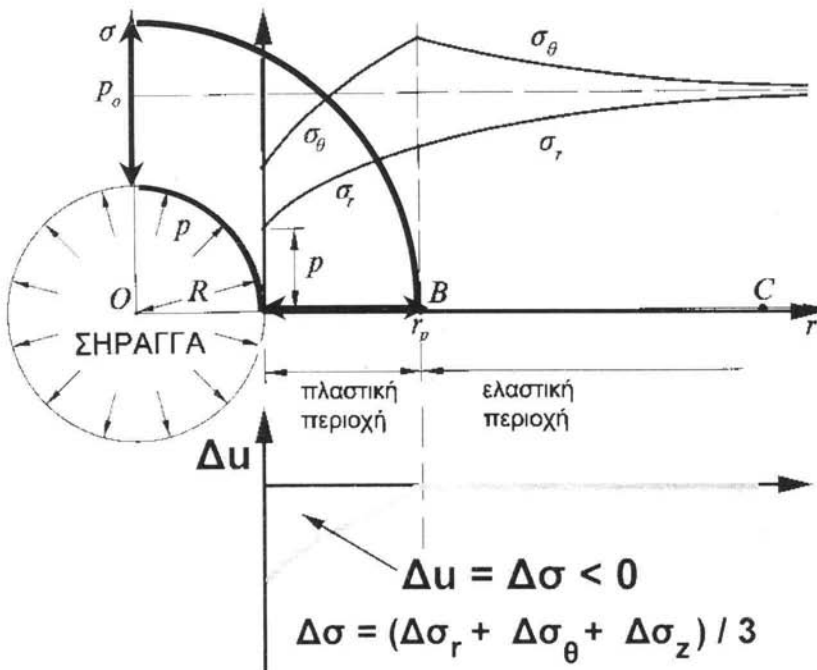
### 5. Φορτία λόγω διογκωσιμότητας του εδάφους (swelling)

Μείωση της μέσης τάσης  $\sigma = (\sigma_r + \sigma_\theta + \sigma_z)/3$  στην πλαστική περιοχή, και συνεπώς ανάπτυξη αρνητικής πίεσης πόρων ( $\Delta u < 0$ )

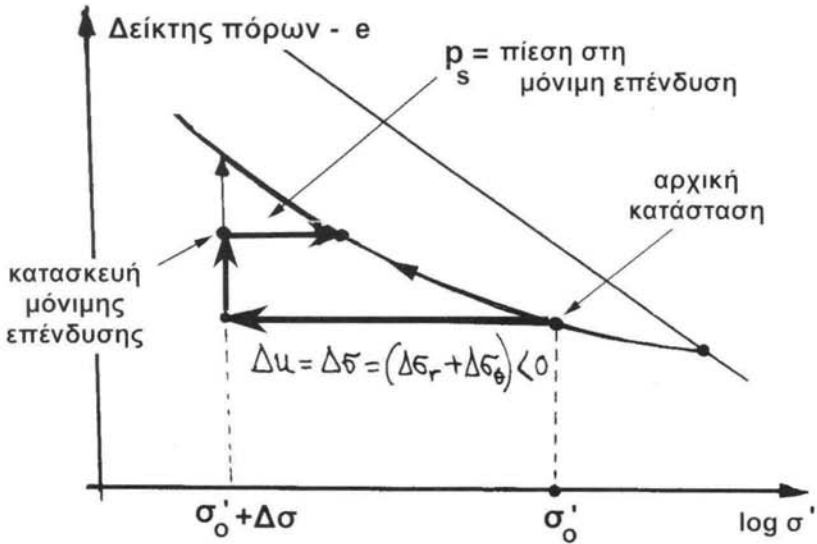
$$N_s = \frac{2\sigma'_0}{\sigma_{cm}}, \quad k = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$$

$$\lambda_{cr} = 1 - \frac{2}{1+k} \left(1 - \frac{1}{N_s}\right)$$

$$\frac{\Delta u_{av}}{\sigma'_0} = \frac{\Delta \sigma_{av}}{\sigma'_0} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{N_s}\right) \left[ \left(\frac{1-\lambda}{1-\lambda_{cr}}\right) - 1 \right]$$



- Στερεοποίηση με βαθμιαία απορρόφηση νερού και διόγκωση
- Εάν η τάση για διόγκωση παρεμποδισθεί, αναπτύσσεται πίεση στην επένδυση



Υστέρηση κατασκευής της μόνιμης επένδυσης:  $\Delta t$

Χαρακτηριστικός χρόνος στερεοποίησης ( $U = 90\%$ ):  $t_c = \frac{r_p^2}{c}$

$r_p$  = ακτίνα πλαστικής ζώνης

$c$  = συντελεστής στερεοποίησης

Χαρακτηριστικά αποτελέσματα των προηγούμενων αναλύσεων:

Τιμές του  $\rho/\rho_0$

Χρόνος κατασκευής μόνιμης επένδυσης	Συντελεστής στερεοποίησης $c$ (m <sup>2</sup> /έτος)			
	Μέση άργιλος 10 m <sup>2</sup> /έτος	Στιφρή 25 m <sup>2</sup> /έτος	Σκληρή 50 m <sup>2</sup> /έτος	Ημίβραχος 100 m <sup>2</sup> /έτος
3 μήνες	0.197	0.177	0.148	0.104
6 μήνες	0.184	0.148	0.104	0.052
1 έτος	0.159	0.104	0.052	0.014
1.5 έτη	0.138	0.074	0.027	0.004
2 έτη	0.120	0.052	0.014	0.0001
3 έτη	0.091	0.027	0.004	≈ 0

$\rho$  = μακροχρόνια πίεση στη μόνιμη επένδυση

$\rho_0$  = αρχική γεωστατική πίεση

Τιμές του  $p$  (σε kPa) για  $p_0 = 3.6 \text{ MPa}$  (βάθος  $H = 150 \text{ m}$ )

Χρόνος κατασκευής μόνιμης επένδυσης	Συντελεστής στερεοποιήσεως $c$ ( $\text{m}^2/\text{έτος}$ )			
	Μέση άργιλος $10 \text{ m}^2/\text{έτος}$	Στιφρή $25 \text{ m}^2/\text{έτος}$	Σκληρή $50 \text{ m}^2/\text{έτος}$	Ημίβραχος $100 \text{ m}^2/\text{έτος}$
3 μήνες	709	637	533	374
6 μήνες	662	533	374	187
1 έτος	572	374	187	50
1.5 έτη	497	266	97	14
2 έτη	432	187	50	6
3 έτη	328	97	14	$\approx 0$

$p$  = μακροχρόνια πίεση στη μόνιμη επένδυση

$p_0$  = αρχική γεωστατική πίεση



### Σύνοψη αποτελεσμάτων φορτίσεων της μόνιμης επένδυσης

	Προέλευση φόρτισης	Εύρος τιμών		
		$\rho$ (kPa)	$H_T = \rho/\gamma$ (m)	$\rho/\rho_o$ (%)
1	Αγκύρια	20 ÷ 160	1 ÷ 8	0.6 ÷ 4.5*
	Χαλύβδινα πλαίσια	40 ÷ 110	2 ÷ 5.5	1.2 ÷ 3*
	Εκτ. σκυρόδεμα (λόγω FS)**	40 ÷ 100	2 ÷ 5	1.2 ÷ 2.8*
	Εκτ. σκυρόδ. (λόγω ερπυσμού)	0 ÷ 80	0 ÷ 4	0 ÷ 2.3*
2	Ερπυσμός εδάφους (squeezing)	0 ÷ 1000*	0 ÷ 50	0 ÷ 30
	Διόγκωση εδάφους (swelling)	0 ÷ 700*	0 ÷ 35	0 ÷ 20

\* Για σήραγγα σε βάθος  $H = 150$  m.  $\rho_o = \gamma H = 3.6$  MPa

\*\* Λόγω διαφορών συντελεστών ασφαλείας

Αθροισμα των 1:  $\rho = 100 \div 450$  kPa,  
 $H_T = 5 \div 22$  m = (0.5 ÷ 2) B

Αθροισμα των 2:  $\rho = 0 \div 1700$  kPa,  
 $H_T = 0 \div 85$  m = (0 ÷ 8) B

(όπου «B» το άνοιγμα της σήραγγας)

### Προσομοίωση φορτίσεων της μόνιμης επένδυσης

1. Με μονο-διάστατα μοντέλα (καμπύλη δοκός και ελατήρια Winkler)  
Επιβολή γνωστών πιέσεων ( $p$ ), κατά τα ανωτέρω
2. Με δι-διάστατα μοντέλα (π.χ. πεπερασμένα στοιχεία)

Προέλευση φόρτισης		Τρόπος προσομοίωσης
1	Αγκύρια	Πλήρης απενεργοποίηση
	Χαλύβδινα πλαίσια	Μείωση του μέτρου ελαστικότητας του εκτοξ. σκυροδέματος, ώστε να προκληθεί η επιθυμητή πίεση ( $p$ ) στη μόνιμη επένδυση (Η πλήρης απενεργοποίηση είναι ίσως «ορθή» λόγω εξάλειψης δύο λαθών – λόγω $E = 0$ και λόγω αναδιανομής στο περιβάλλον έδαφος)
	Εκτ. σκυρ. (λόγω FS)	
	Εκτοξ. σκυρόδεμα λόγω ερπυσμού του	
2	Ερπυσμός εδάφους (squeezing)	Μοντέλο ερπυσμού του εδάφους, ή ισοδύναμη απομείωση του μέτρου ελαστικότητας του εδάφους στην πλαστική ζώνη (δύσκολο)
	Διόγκωση εδάφους (swelling)	Μοντέλο στερεοποίησης του εδάφους, ή ισοδύναμη απομείωση του μέτρου ελαστικότητας του εδάφους στην πλαστική ζώνη (δύσκολο)

## ΦΟΡΤΙΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΙΜΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΕΔΑΦΟΣ

### Συμπεράσματα

1. Ανάλυση με μονο-διάστατα μοντέλα δοκού και ελατηρίων Winkler:

Η χρήση εμπειρικών πιέσεων του τύπου « $p = \text{πλήρη γεωστατικά}$ » ή « $p = \gamma H_T$ , όπου  $H_T = \text{Terzaghi, Bieniawski, κ.λπ.}$ », μόνον κατά σύμπτωση μπορεί να δώσει εύλογα αποτελέσματα. Συνήθως:

- Δίνουν πολύ μεγάλα φορτία, αν δεν υπάρχει σύνθλιψη / διόγκωση
- Δίνουν πολύ μικρά φορτία, αν υπάρχει σύνθλιψη / διόγκωση

**Πρόταση:** Χρήση της μεθοδολογίας που αναφέρθηκε προηγουμένως, για την εκτίμηση των πιέσεων που προέρχονται από συγκεκριμένες κάθε φορά αιτίες.

2. Ανάλυση με δι-διάστατα μοντέλα (π.χ. πεπερασμένα στοιχεία):

Η πλήρης απενεργοποίηση των μέτρων άμεσης υποστήριξης (αγκύρια, πλαίσια και εκτοξ. σκυρόδεμα):

- Ισως «ορθή», αν δεν υπάρχει σύνθλιψη / διόγκωση
- Δίνει πολύ μικρά φορτία, αν υπάρχει σύνθλιψη / διόγκωση

**Πρόταση:** Να μὴν χρησιμοποιείται για έντονη σύνθλιψη / διόγκωση.