

---

# ΜΟΝΙΜΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ

---

*B. Κόλιας*  
*DENCO ΕΠΕ*

## ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

- **Γεωστατική φόρτιση**
  - δράσεις από το περιβάλλον έδαφος (συμβατότητα μετακινήσεων εδάφους - σήραγγας)
- **Υδροστατική πίεση**
  - ανάλογα με την εκτιμώμενη στάθμη υπογείων υδάτων
  - ελάχιστη τιμή για αντιμετώπιση απόφραξης του συστήματος αποστράγγισης
- **Συστολή ξήρανσης του σκυροδέματος**
  - η ενεργός τιμή ( $\epsilon_s$ ) μπορεί να λαμβάνεται μειωμένη περίπου στο 50% λόγω του ερπυσμού του σκυροδέματος
- **Ομοιόμορφη μεταβολή (T) και Διαφορά (ΔT) θερμοκρασίας**
  - Κατά DS853, ανάλογα με την απόσταση L από το στόμιο

L (m)	$\pm T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\pm \Delta T$
L = 200	30	10
200 < L < 1000	15	10
1000 < L	10	5

- **Πίεση Έκρηξης**

- Σύμφωνα με ΟΣΜΕΟ
- εσωτερική πίεση:  $p = 100 \text{ KN/m}^2$
- (όχι κρίσιμη)

- **Σεισμική Δράση**

- Σε υπόγεια έργα, η βασική σεισμική δράση οφείλεται στην κινηματική αλληλεπίδραση έργου - περιβάλλοντος εδάφους
- Η αδρανειακή δράση είναι ασήμαντη
- Δράση πιέσεων κατά τη διέλευση των σεισμικών κυμάτων
- Υπερβολικά δυσμενής όταν βασίζεται σε ελαστική συμπεριφορά του εδάφους

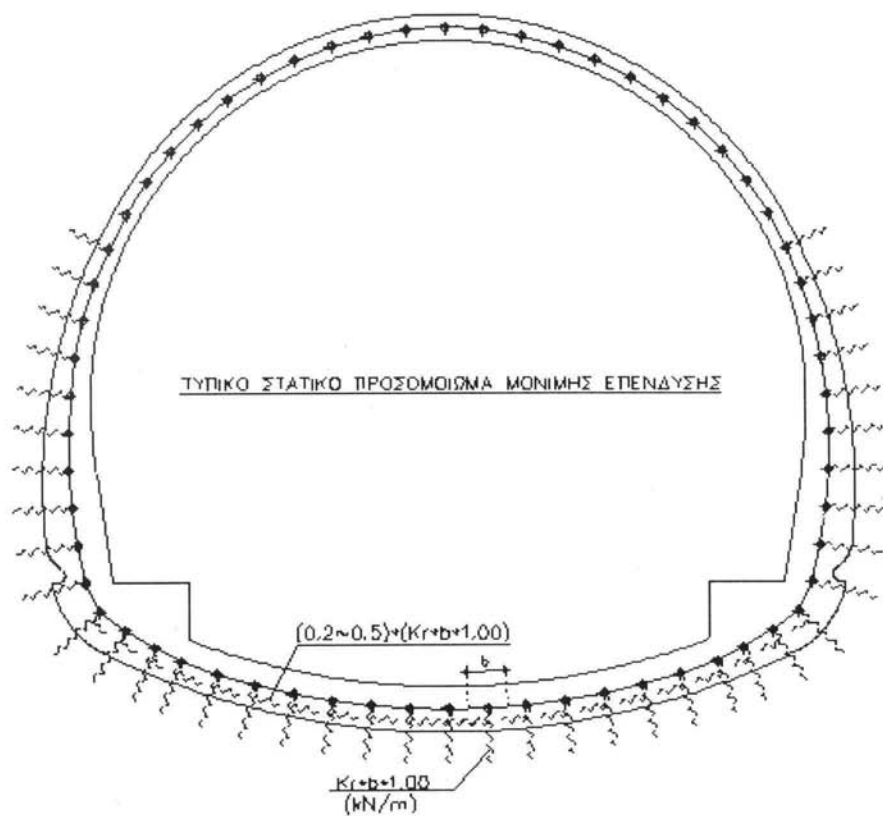
## ΑΝΑΛΥΣΗ

- **Προσομοίωμα**

- Στοιχεία δοκών (επένδυση) + ελατήρια (έδαφος)
- Επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία για επένδυση και έδαφος

## Στοιχεία δοκού + ελατήρια

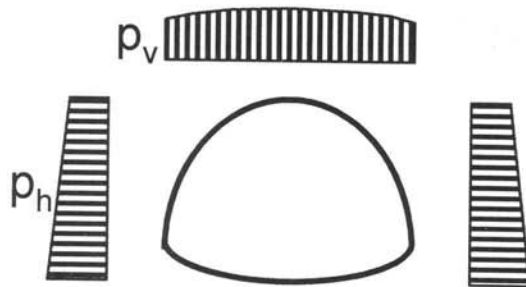
Προσομοίωμα



## Στοιχεία δοκού + ελατήρια

### Γεωστατική Φόρτιση:

#### α) Κατακόρυφο φορτίο οροφής ( $p_v$ )



- Από εμπειρικές μεθόδους
  - π.χ. Μέθοδος με βάση τον δείκτη ποιότητας RMR
  - επιφόρτιση από ύψος βραχομάζας:  $H = \left(1 - \frac{RMR}{100}\right) \cdot b$
  - $b$  είναι το πλάτος της μόνιμης επένδυσης (ισχύει για  $RMR > 30\%$ )  $\Rightarrow H \leq b$  (βλ. και DS853)
- Από ημι-εμπειρικές / θεωρητικές μεθόδους
  - π.χ. μέθοδος Terzaghi
  - συνάρτηση των εδαφικών χαρακτηριστικών  $c$  και  $\phi$
- Όταν τα εδαφικά χαρακτηριστικά είναι δυσμενή ή σημαντικώς υποτιμημένα  $\Rightarrow$  μή ρεαλιστικές τιμές

#### β) Οριζόντιες πιέσεις ( $p_h$ )

- Γενικά λαμβάνονται οι ενεργητικές πιέσεις
  - *Προσοχή:* Σε σχετικά ρηχές σήραγγες με σημαντική κλίση της επιφάνειας του εδάφους, οι οριζόντιες πιέσεις δεν είναι αμοιβαία ισόρροπες

- Εδαφικά ελατήρια (θλιπτικά)

- Ακτινική διεύθυνση

- δείκτης εδάφους

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

$E$  = μέτρο ελαστικότητας

$\nu$  = συντελεστής Poisson του εδάφους

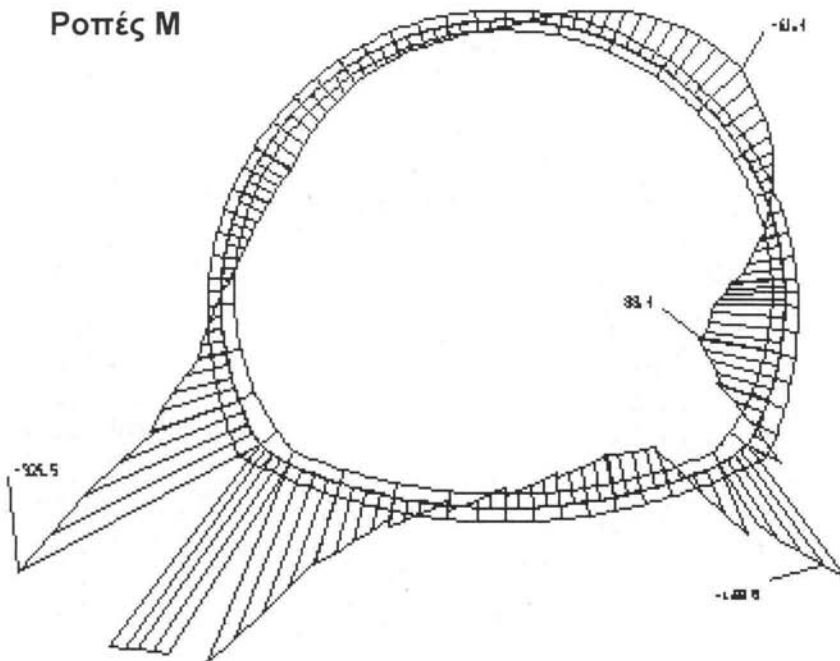
$R$  = ακτίνα ισοδύναμης κυκλικής διατομής

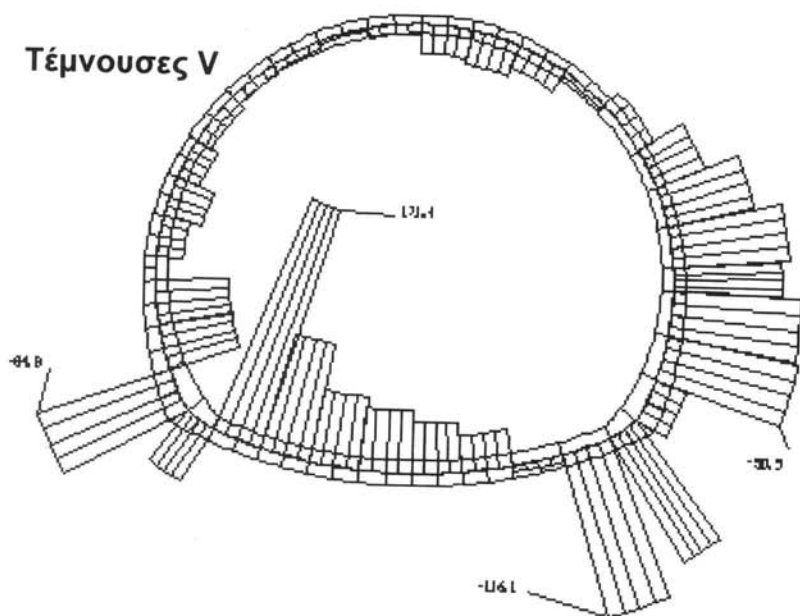
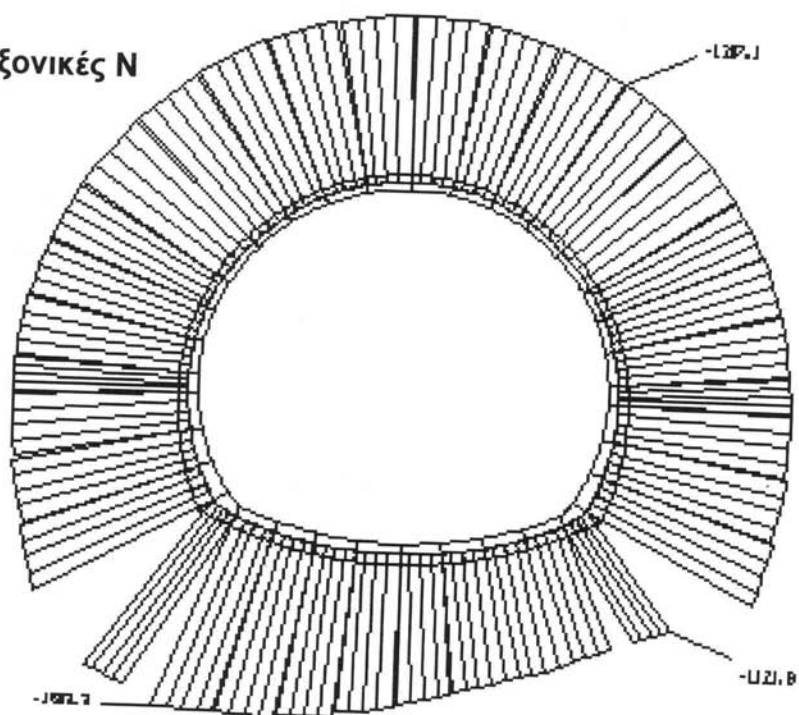
- Εφαπτομενική διεύθυνση

- κατ' εκτίμηση :

$$k_T = (0.2 \div 0.5) k_R$$

### Ροπές M



**Τέμνουσες V****Αξονικές N**

## Επιφανειακά στοιχεία

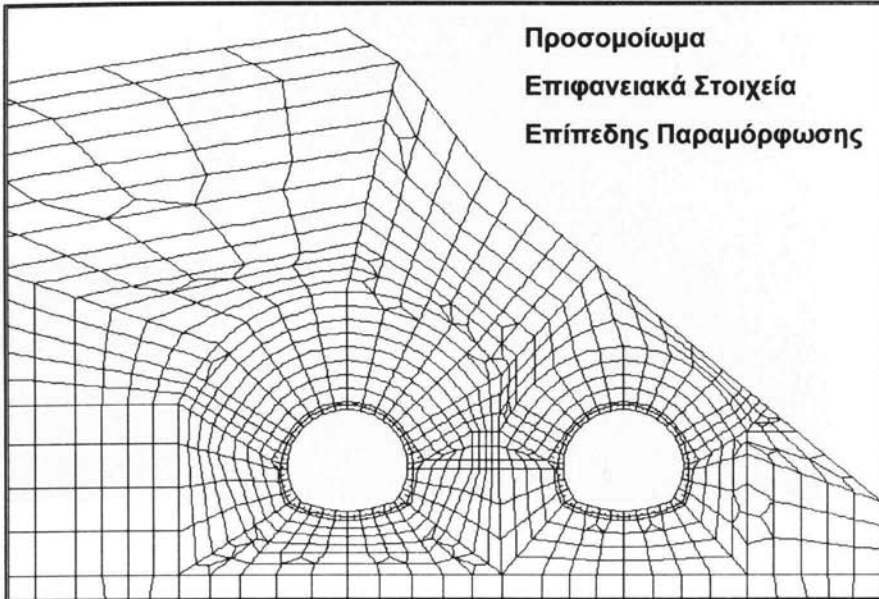
### Προσομοίωμα

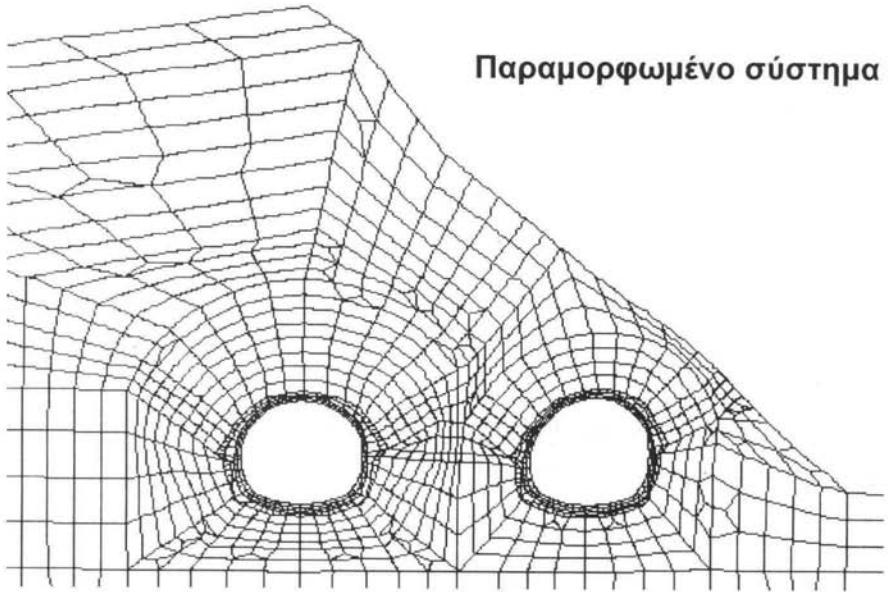
α) Στοιχεία:

- Για το έδαφος συνήθως χρησιμοποιούνται τετραπλευρικά και τριγωνικά στοιχεία με ελαστοπλαστική συμπεριφορά, συνήθως σύμφωνα με το κριτήριο Mohr-Coulomb.
- Για την επένδυση, συνήθως χρησιμοποιούνται ισοπαραμετρικά στοιχεία με ελαστική συμπεριφορά.

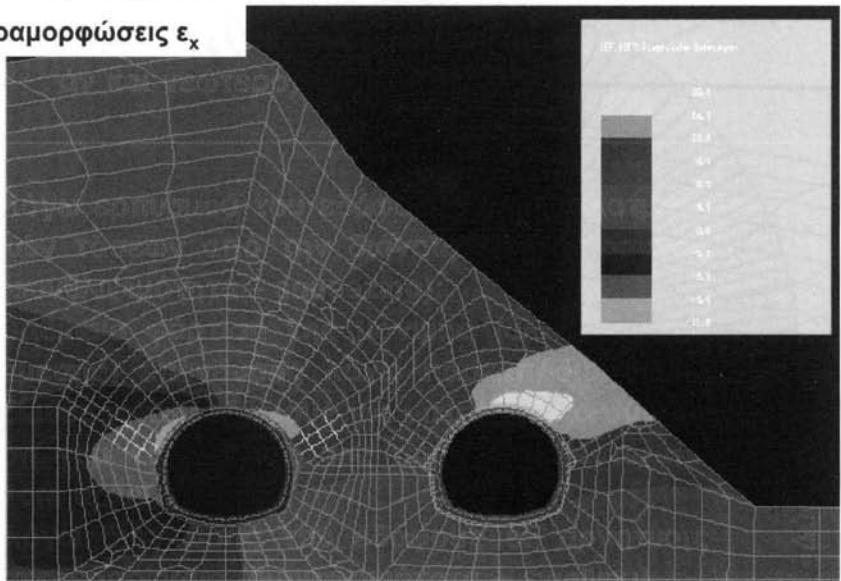
Από τα στοιχεία αυτά είναι εύκολο να προκύψουν αποτελέσματα σε μορφή εντατικών μεγεθών δοκού (N, M, V)

### Επιφανειακά Πεπερασμένα Στοιχεία



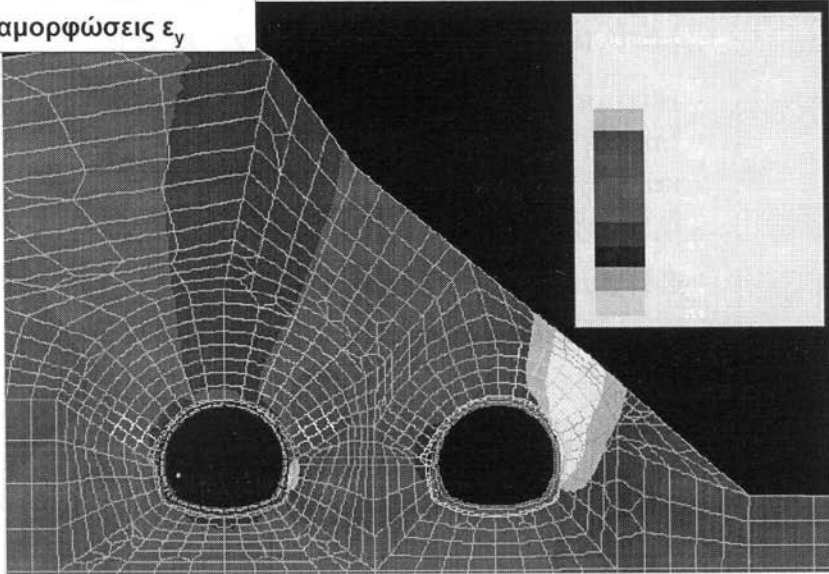


Πλαστικές ανηγμένες  
παραμορφώσεις  $\epsilon_x$





Πλαστικές ανηγμένες  
παραμορφώσεις  $\epsilon_y$



β) Ειδικά στοιχεία «επαφής» θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση διακοπής επαφής ή ολίσθησης, π.χ. σε στεγανωτική μεμβράνη.

γ) Παράμετροι υλικών:

– Στοιχεία Εδάφους

Μέτρο Ελαστικότητας  $E$

Συντελεστής Poisson  $\nu$

Γωνία διατμητικής αντοχής  $\phi$

Συνοχή  $c$

– Στοιχεία σκυροδέματος

Μέτρο Ελαστικότητας  $E$

Συντελεστής Poisson  $\nu$

### δ) Εντατική Κατάσταση

- Επίπεδη Παραμόρφωση

- κατά την διαμήκη διεύθυνση  $z$ :  $\varepsilon_z = 0$
- Η τάση στην διεύθυνση αυτή προκύπτει από την αρχική εντατική κατάσταση ( $\sigma_x^0, \sigma_y^0, \sigma_z^0$ ) και τις τάσεις στις εγκάρσιες διευθύνσεις  $\sigma_x, \sigma_y$   
 $\sigma_z = \sigma_z^0 + \nu((\sigma_x - \sigma_x^0) + (\sigma_y - \sigma_y^0))$
- Σε συνδυασμό με το κριτήριο διαρροής Mohr-Coulomb, οδηγεί στην συνθήκη  $\nu \geq \frac{1 - \sin \varphi}{2}$

### ε) Παρεχόμενες Δυνατότητες Ανάλυσης

- Ρεαλιστική αποτίμηση της ελαστοπλαστικής συμπεριφοράς του εδάφους
- Αποτίμηση της εξέλιξης της έντασης και της πλαστικοποίησης κατά τις διαδοχικές φάσεις εκσκαφής και κατασκευής της προσωρινής αντιστήριξης (εκτ. σκυρόδεμα + αγκυρώσεις)
- Απαλλαγή από την ανάγκη εμπειρικής/θεωρητικής εκτίμησης κατακόρυφων και οριζόντιων φορτίων της γεωστατικής φόρτισης

### στ) Απαιτούμενα δεδομένα

- Γεωμετρία συνολικού συστήματος
- Ιδιότητες υλικών
- Αρχική εντατική κατάσταση ( $\sigma_x^0, \sigma_y^0, \sigma_z^0$ )
- Συνήθως  $\sigma_y^0 = \Sigma \gamma_i \Delta y_i, \quad \sigma_x^0 = \sigma_z^0 = k_0 \sigma_y^0$

- Εκτίμηση της αποτόνωσης ( $\lambda$ ) των αρχικών γεωστατικών τάσεων  $\sigma_0$ , μέχρι την κατασκευή της προσωρινής αντιστήριξης (επίδραση μετώπου)



- Φόρτιση της προσωρινής αντιστήριξης με  $(1 - \lambda) \sigma_0$

### ζ) Μόνιμη επένδυση

- Κατασκευάζεται εν γένει μετά την συμπλήρωση της σύγκλισης της προσωρινής αντιστήριξης.
  - φορτίζεται μόνον από χρόνια αύξηση της παραμορφώσεως του συστήματος έδαφος - προσωρινή Αντιστήριξη

### η) Αίτια

- Ερπυστική παραμόρφωση του εδάφους
- Χαλάρωση αγκυρώσεων λόγω τοπικού ερπυσμού στις θέσεις αγκύρωσης
- Ερπυσμός της επένδυσης από εκτ. σκυρόδεμα

### θ) Αποτίμηση των αιτίων

- Συνήθως αγνοείται ο ερπυσμός (όχι συντηρητικό αλλά -εκτός ειδικών περιπτώσεων- χωρίς μεγάλη επίδραση)
- Μηδενίζεται η δράση των αγκυρίων (λογικά συντηρητικό)
- Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα αντικαθίσταται από το αρχικό έδαφος (παράλογο!. Λογικό  $\Rightarrow$  μείωση της δυσκαμψίας)

- Σε κάποιες περιπτώσεις αγνοείται η επίδραση της μερικής σύγκλισης ( $\lambda = 0$ , παράλογο)

ι) Συμπέρασμα (για μόνιμη επένδυση)

- Ανάλυση με πεπερασμένα επιφ. στοιχεία προσφέρει πρόσθετες αξιόπιστες πληροφορίες μόνον σε ειδικές περιπτώσεις.

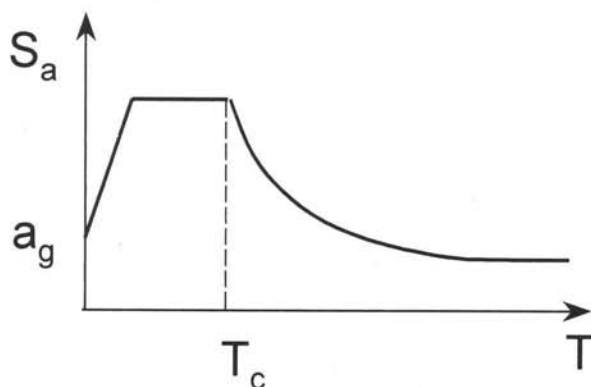
### Σεισμική Φόρτιση

- Κινηματική δράση = συμβατότητα παραμόρφωσης εδάφους - σήραγγας
- Εδαφική παραμόρφωση ελεύθερου πεδίου
- Ομοιόμορφη διατμητική παραμόρφωση

$$Y_s = \frac{V_g}{V_s}$$

- $v_g$  = μέγιστη εδαφική ταχύτητα σεισμού σχεδιασμού

Υπολογίζεται από τη μεγ. εδαφική επιτάχυνση  $a_g$  και την δεσπόζουσα περίοδο του φάσματος  $T_c = T_2$



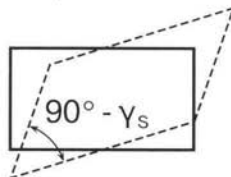
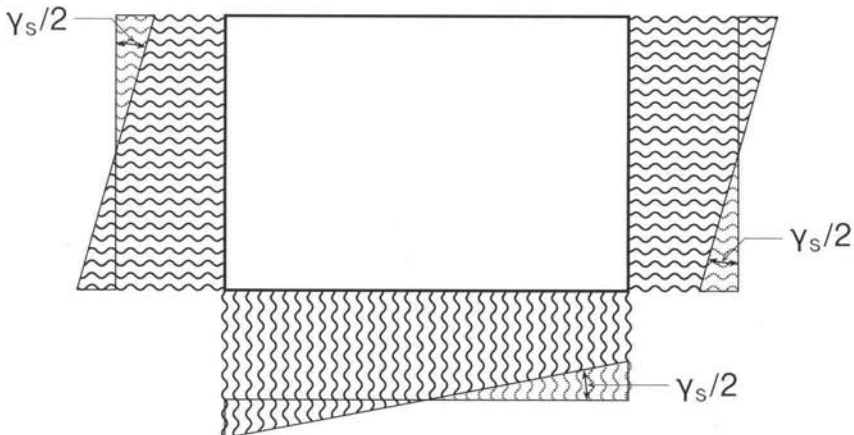
- $V_s$  = ταχύτητα μετάδοσης διατμητικού κύματος σε παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην  $a_g$

Υπολογίζεται από την τιμή  $V_{s,max}$  για μικρές παραμορφώσεις

	$a_g/g$		
	$\leq 0,15$	0,20	$\geq 0,30$
$V_s/V_{s,max}$	0,90	0,70	$\geq 0,65$

- Ανάλυση

- Επιβολή μετακινήσεων συμβατών με  $\gamma_s$  στις θέσεις στήριξης των ελατηρίων



## Διαστασιολόγηση

Συντελεστές ασφαλείας δράσεων:

- Κατάσταση Αστοχίας χωρίς σεισμό
  - Ίδιο βάρος
  - Γεωστατική φόρτιση
  - Υδροστατική πίεση
$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \gamma_F = 1.35$$
  - Κινητά φορτία  $\gamma_F = 1.50$
  - Εκρηξη  $\gamma_F = 1.0$
  
- Κατάσταση αστοχίας με σεισμό  $\gamma_F = 1.0$
  
- Κατάσταση λειτουργίας (έλεγχος ρηγμάτωσης)
  - Ίδιο βάρος  $\gamma_F = 1.0$
  - Γεωστατική φόρτιση  $\leq 1.0$
  - Υδροστατική πίεση  $\leq 1.0$
  - Δράσεις καταναγκασμού  $1.0$