

---

# ΔΡΑΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΝΕΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ (ΟΜΟΕ ΣΗΡΑΓΓΩΝ) ΚΑΙ ΝΕΩΤΕΡΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΜΟΝΙΜΩΝ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

---

*Θ. Πανουτσόπουλος*  
*Πολ. Μηχανικός ΥΠΕΧΩΔΕ*

*Ν. Μαλακάτας*  
*Δρ. Πολ. Μηχανικός ΥΠΕΧΩΔΕ*

## **A. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### **A1. Σήραγγες**

Σήραγγες ονομάζονται υπόγεια έργα προς συντόμευση οδικών δικτύων για το πέρασμα ορεινών όγκων στον ελλαδικό χώρο, με την ιδιαιτερότητα του εδαφικού αναγλύφου των. Απαιτούν συνδυασμό επίλυσης γεωλογικών και εδαφικών προβλημάτων, με την επίτευξη του καλύτερου αισθητικού αποτελέσματος.

Μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 1980 - αρχές '90, η βασικότερη εμπειρία σηράγγων σε οδικά έργα ήταν η μελέτη και κατασκευή των Σηράγγων Αρτεμισίου στην Τρίπολη και του Μετσόβου στην Ήπειρο.

Μετά το 1993 και μέχρι σήμερα, η εξέλιξη στην μελέτη και κατασκευή τους έχει πολλαπλασιασθεί και αυξάνει συνέχεια. Συνέπεια τούτου είναι η συνεχώς ανανεούμενη γνώση στον τομέα της επιστημονικής ανάλυσης και τον σχεδιασμό των σηράγγων, με τον εμπλουτισμό από τα συμπεράσματα και τις εμπειρίες από τα διεθνή συνέδρια και ημερίδες, και τις αναμορφούμενες κανονιστικές διατάξεις.

## **A2. ΟΜΟΕ (Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων)**

Τα συνεχώς εκτελούμενα έργα, με απαίτηση εφαρμογής των συγχρόνων κανονισμών, μεθοδολογιών ανάλυσης και υπολογισμών και των τεχνικο-οικονομικών αρτιότερων σχεδιασμών στις μελέτες έργων οδοποιίας, οδήγησαν στην απαίτηση σύνταξης σύγχρονων τεχνικών προδιαγραφών.

Κύριο ρόλο σ' αυτές έχει η σύνταξη ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ ΕΡΓΟΥ (Κ.Μ.Ε.). (ΟΣΜΕΟ, ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.).

Προκειμένου να υπάρχει στη χώρα μας **ενιαιοποίηση** αντιμετώπισης των διατάξεων που αφορούν την σύνταξη, έλεγχο και έγκριση των Μελετών Έργων Οδοποιίας, με γνωστό από την αρχή πλαίσιο διαδικασιών και ενεργειών από τους ενδιαφερόμενους φορείς **συντάχθηκαν και εγκρίθηκαν οι ΟΜΟΕ.**

Μεταξύ άλλων

ΟΜΟΕ: Οδοποιίας

ΟΜΟΕ: Τεχνικών Έργων

ΟΜΟΕ: Σηράγγων.

## **B. ΔΡΑΣΕΙΣ – ΦΟΡΤΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΤΕΛΙΚΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ**

### **B1. Γενικά**

Στις Σήραγγες μελετώνται και κατασκευάζονται προσωρινά και μόνιμα έργα.

Τμήμα των Μονίμων Έργων: **Η τελική επένδυση** – Αλληλουχία Διαδικασιών Μελέτης – Κατασκευής – Όρυξη – Διάνοιξη – Υποστήριξη – Τελική Επένδυση.

Τήρηση αλληλουχίας κατασκευής: Έναρξη κατασκευής Τελικής Επένδυσης με την ισορροπία της σήραγγας μετά την υποστήριξη και την ελαχιστοποίηση του ρυθμού εξέλιξης των μετακινήσεων.

### **B2. Δράσεις – Φορτία Σχεδιασμού Τελικής Επένδυσης**

Σχεδιασμός Τελικής Επενδύσεως με:

1. Φορτία βραχόμαζας και τυχόν αύξησή τους λόγω ερπυσμού, ο οποίος παίζει σημαντικό ρόλο στη μακροχρόνια συμπεριφορά της βραχόμαζας.
2. Μέρος του φορτίου του εκτοξευμένου σκυροδέματος, το οποίο έχει τοποθετηθεί στη φάση διάνοιξης με προσωρινό χαρακτήρα.
3. Υδροστατικά φορτία λόγω προβλημάτων αποστράγγισης.
4. Φορτία από μελλοντικές κατασκευές επί της σήραγγας.
5. Σεισμικά φορτία.

Η περίπτωση των σεισμικών φορτίων αντιμετωπίζεται εξειδικευμένα στις σήραγγες, με το δεδομένο ότι ως υπόγειο έργο η σήραγγα γενικά έχει ασαφή συμπεριφορά έναντι σεισμού.

Έτσι, οι σεισμικές δράσεις αντιμετωπίζονται σε σήραγγες που διασχίζουν (α) τεκτονικά ή ενεργά ρήγματα υπό οξεία γωνία ή (β) διεπιφάνειες εδαφικών σχηματισμών με σημαντική διαφορά μέτρων ελαστικότητας.

Βασικά, ο σχεδιασμός των σηράγγων γίνεται για τα στατικά φορτία, και μετά ακολουθεί ο έλεγχος για τις σεισμικές δράσεις.

### **B3. Μεθοδολογία Υπολογισμών**

Για την εκτίμηση και τον υπολογισμό των φορτίων που ασκούνται στην Τελική Επένδυση, εφαρμόζονται οι παρακάτω μέθοδοι ανάλυσης:

- α) Εμπειρικές μέθοδοι
- β) Αναλυτικές μέθοδοι
- γ) Αριθμητικές μέθοδοι
  - γ1) απλοποιημένη
  - γ2) σύνθετη

### **B4. Διαστασιολόγηση**

Με βάση τα παραπάνω, ακολουθεί η διαστασιολόγηση της τελικής επένδυσης, βασιζόμενη στο αντίστοιχο πλέγμα κανονισμών που εφαρμόζεται, της οποίας τα κύρια στοιχεία τους είναι:

- α) Το πάχος της τελικής επένδυσης
  - Έχει σχέση με το στατικά απαιτούμενο και τη δυνατότητα σκυροδέτησης της και συμπύκνωσης.
  - Ελάχιστο πάχος  $0,30 \div 0,40\text{m}$
  - Μέγιστο πάχος  $0,60 \div 0,80\text{m}$
- β) Οπλισμοί
  - Χρήση κυρίως πλεγμάτων σε πυκνή απόσταση ( $10 \div 15\text{cm}$ )
- γ) Οπλισμένο σκυρόδεμα
  - Κατ' εξοχήν B25 ή B35.

## **Γ. ΟΜΟΕ ΣΗΡΑΓΓΩΝ**

### **Γ1. Γενικά**

ΟΜΟΕ – ΤΕΥΧΟΣ ΟΔΙΚΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

ΕΡΓΑ ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ

Απόφ.:

ΟΜΑΔΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

Σακκάς Ιωάννης

Πολιτικός Μηχανικός, πρόεδρος

Αγγέλης Επαμεινώνδας

Πολ. Μηχανικός

Μπακογιάννης Ιωάννης

Μεταλλειολόγος Μηχανικός

Καζίλης Νικόλαος

Τεχνικός Γεωλόγος

Ροζενμπεργκ Αλέξιος

Μεταλλειολόγος Μηχανικός

Σοφιανός Αλέξανδρος

Πολιτικός Μηχανικός, Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ηλίας Μιχάλης

Πολιτικός Μηχανικός - Γεωτεχνικός, Μελετητής

Αντωνίου Γεώργιος

Πολιτικός Μηχανικός, Μελετητής

ΙΟΥΛΙΟΣ 2002

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Άρθρο 1	Αντικείμενο οδηγίας
Άρθρο 2	Σκοπός
Άρθρο 3	Στάδια της μελέτης σήραγγας και συνδυασμός τους με τα στάδια της μελέτης οδοποιίας
Άρθρο 4	Απαιτούμενα άλλα έργα και εγκαταστάσεις και σχετικές μελέτες στην περίπτωση οδού που περιλαμβάνει σήραγγα ή σήραγγες
Άρθρο 5	Γεωμετρικός σχεδιασμός
Άρθρο 6	Απαιτούμενες γεωλογικές και γεωτεχνικές μελέτες και έρευνες στην περιοχή των σηράγγων
Άρθρο 7	Τεχνική διάρκεια ζωής οδικών σηράγγων
Άρθρο 8	Κριτήρια σχεδιασμού
Άρθρο 9	Κανονισμοί μελέτης οδικών σηράγγων και βιβλιογραφία
Άρθρο 10	Γενικές θεωρήσεις
Άρθρο 11	Πρόγραμμα ενόργανης παρακολούθησης
Άρθρο 12	Προκαταρκτικές μελέτες: Περιεχόμενα και υποβλητέα στοιχεία
Άρθρο 13	Οριστικές μελέτες: Περιεχόμενα και υποβλητέα στοιχεία

Στα άρθρα 1 και 2 τίθεται ο κανονισμός πλαισίου της ΟΜΟΕ σε σχέση με το αντικείμενό της και οι στόχοι της, με γνώμονα πάντα την ασφάλεια και οικονομία του κάθε έργου.

## ΑΡΘΡΟ 1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΟΔΗΓΙΑΣ

1.1. Η παρούσα οδηγία αναφέρεται στις μελέτες έργων πολιτικού Μηχανικού οδικών σηράγγων και των συνοδών τους έργων (στοές, φρεάτια αερισμού, στοές διαφυγής κ.λπ.).

Με την οδηγία καθορίζονται οι γενικοί τεχνικοί όροι εκπόνησης μελετών σηράγγων και τα υποβλητέα.

- 1.2. Οι μελέτες των οδικών σηράγγων και των συνοδών έργων τους συνδυάζονται με τις μελέτες της οδού στην οποία εντάσσονται, καθώς και τις λοιπές μελέτες στα πλαίσια αυτών.
- 1.3. Δεν αποτελούν αντικείμενο της παρούσας οι μελέτες οδικών σηράγγων που διανοίγονται με μηχανήματα ολομέτωπης κοπής, καθώς και τα τεχνικά με εκσκαφή και επανεπίχωση (C + C).

## ΑΡΘΡΟ 2. ΣΚΟΠΟΣ

Οι μελέτες των έργων Πολιτικού Μηχανικού των οδικών σηράγγων και των συνοδών έργων τους, αποσκοπούν στην διερεύνηση και επιλογή της βέλτιστης λύσης για την εκσκαφή, άμεση υποστήριξη και την τελική επένδυση, με γνώμονα την ασφάλεια και την οικονομία, τόσο κατά την κατασκευή όσο και κατά τη λειτουργία της.

Σημαντικό το Άρθρο 5 που αναφέρεται στον Γεωμετρικό σχεδιασμό της, ο οποίος είναι η βάση για τη συνέχιση της περαιτέρω ανάλυσης με την τοποθέτηση των δράσεων-φορτίσεων και τον στατικό υπολογισμό της τελικής επενδύσεως.

Έτσι, το Άρθρο 8 «ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ» έχει τον βασικό ρόλο στην Ολοκλήρωση του Σχεδιασμού της σήραγγας.

Στην αρχή αναφέρεται στις απαιτήσεις γεωμετρικού σχεδιασμού και στις λειτουργικές απαιτήσεις του έργου, με βάση τα Εδαφοτεχνικά και γεωλογικά δεδομένα.

Ακολουθούν οι απαιτήσεις στεγανότητας, αποχέτευσης και Αποστράγγισης, και συνεχίζει με τις διατάξεις που αφορούν την μελέτη διάνοιξης και υποστήριξης.

## 8.15. Στις επί μέρους δράσεις επί της τελικής επένδυσης λαμβάνονται υπόψη

### A. Μόνιμες δράσεις

#### 1. *Ίδιο βάρος της επένδυσης.*

Κάθε άλλη πρόσθετη κατασκευή που θα παραμένει μόνιμα στο έργο (π.χ. μόνιμως αναρτημένα στην επένδυση στοιχεία, επίχωση ανάστροφου πυθμένα).

#### 2. *Ωθήσεις από το περιβάλλον* την σήραγγα γεωυλικό.

3. *Υδροστατική πίεση*, εφόσον η σήραγγα βρίσκεται μέσα στον υδροφόρο ορίζοντα και δεν προβλέπεται διάταξη αποτόνωσης.

4. *Φορτία από υπερκείμενες ή παρακείμενες* κατασκευές που υφίστανται ή είναι δυνατό να υπάρξουν στο μέλλον.

*Σημείωση:* Μολονότι ο χαρακτήρας των τριών τελευταίων δράσεων είναι μόνιμος, εν τούτοις η τιμή τους είναι δυνατό να μεταβάλλεται μεταξύ ακρότατων ορίων, είτε λόγω αβεβαιοτήτων (π.χ. συντελεστής οριζοντίων ωθήσεων  $K$ ), είτε λόγω εποχιακής διακύμανσης (π.χ. στάθμη υπογείου υδροφόρου ορίζοντα), είτε λόγω πιθανής ανέγερσης ή κατεδάφισης. Προτείνεται επομένως κατά τους συνδυασμούς φορτίσεων να λαμβάνονται αυτές είτε με τις δυσμενέστερες για την κατασκευή δράσεις τους (εφόσον είναι γνωστές), είτε με τις ακρότατες τιμές διακύμανσης τους.

### B. Μεταβλητές δράσεις

1. *Κινητά φορτία λειτουργίας* που θα αντιστοιχούν σε οχήματα SLW60 όσα και ο αριθμός των λωρίδων κυκλοφορίας, όταν κατασκευάζεται ανάστροφος πυθμένας.

2. *Συστολή ξήρανσης.* Η επίδραση της συστολής ξήρανσης επιτρέπεται να λαμβάνεται κατά τους υπολογισμούς σύμφωνα με την παράγραφο 6.3.2.6 του ΕΚΩΣ 2000, ως ομοιόμορφη πτώση θερμοκρασίας.



3. *Ομοιόμορφη μεταβολή θερμοκρασίας.* Θα λαμβάνεται, σύμφωνα με την παράγραφο 6.3.2.6 του ΕΚΩΣ 2000,  $\Delta t_i = \pm (2/3) \cdot 20 = \pm 13^\circ\text{C}$ , λόγω του υπόγειου χαρακτήρα του έργου. Ως μέση θερμοκρασία κατασκευής μπορεί, ελλείψει ακριβέστερων στοιχείων, να ληφθεί  $t_m = + 10^\circ\text{C}$ . Διαφορά θερμοκρασίας: Στις δύο ακραίες ίνες του φορέα προτείνεται να λαμβάνεται, ελλείψει ακριβέστερων στοιχείων, διαφορά θερμοκρασίας από τη μέση τιμή,  $\Delta t_v = \pm 7.5^\circ\text{C}$ .
4. *Τυχόν φορτία από κατασκευαστικές δραστηριότητες.*
5. *Τυχόν φορτία από δραστηριότητες στην επιφάνεια.*

#### Γ. Τυχηματικές δράσεις

1. *Έκρηξη.* Μπορεί να συμβεί μέσα στη σήραγγα κατά την διέλευση εκρηκτικών υλών. Για την περίπτωση αυτή είναι αποδεκτή η τοπική βλάβη της τελικής επένδυσης από την δράση του εκρηκτικού φορτίου, υπό την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχει κίνδυνος αλυσιδωτής κατάρρευσης του θόλου και είναι αποδεκτή η εκ των υστέρων δομική αποκατάσταση της βλάβης. Ως δράση σχεδιασμού θα ληφθεί πίεση  $100 \text{ kN/m}^2$ , μειούμενη στο μηδέν, εντός ενός χιλιοστού του δευτερολέπτου.  
Πρόσκρουση οχήματος (χωρίς πρόκληση βλάβης) με επιβολή φορτίου  $60 \text{ kN/m}^2$  κατανεμημένο σε πλάτος 1,5 m και σε ύψος 1,5 m πάνω από την στάθμη του οδοστρώματος.
2. *Υδροστατική πίεση.* Το φορτίο αυτό αφορά σήραγγες οι οποίες προστατεύονται από υδροστατική πίεση με σύστημα αποστράγγισης. Η πιθανή παροδική έμφραξη του συστήματος αποστράγγισης, προτείνεται να λαμβάνεται υπόψη ως μία υδροστατική πίεση. Σε περίπτωση που δεν προτείνεται διαφορετικά από τον μελετητή, είναι δυνατό να θεωρείται ως ομοιόμορφα κατανεμημένη και κάθετη στον φορέα, ίση με  $50 \text{ kPa}$ .

3. **Σεισμός.** Περιπτώσεις στις οποίες δύναται να απαιτείται έλεγχος σύμφωνα και με τις παρατηρήσεις της παρ. 10.8 είναι: α) στις περιοχές των στομιών, β) σε σήραγγες όπου το ύψος υπερκειμένων δεν ξεπερνά το *μισό* της ισοδύναμης διαμέτρου της διατομής εκσκαφής, γ) σε σήραγγες εντός κλιτύων, εφόσον αναγνωρισθεί κίνδυνος εμφάνισης μηχανισμού γενικευμένης αστάθειας, δ) σε περιοχές διέλευσης της σήραγγας που χαρακτηρίζονται από την παρουσία πιθανών ενεργών ρηγμάτων, ε) σε σήραγγες εντός ιδιαίτερα μαλακών ή χαλαρών εδαφικών σχηματισμών, στ) σε θέσεις διασταυρώσεων σηράγγων που βρίσκονται πλησίον σημαντικών ενεργών σεισμικών ρηγμάτων.

Ο έλεγχος θα πραγματοποιείται σύμφωνα με την παράγραφο 10.8.4.01. Στατικοί υπολογισμοί για το κύριο σώμα της σήραγγας, προτείνεται να ακολουθούν τις οδηγίες της ΙΤΑ (Υ.Μ.Α. Hashash J.J. Hook, B. Schmidt, J.I.C. Yao, 2001. «Seismic analysis of underground structures», Tunnelling and Underground Space Technology, 16, 4), λαμβάνοντας υπόψη τον καταναγκασμό σε παραμόρφωση του φορέα της σήραγγας. Ειδικότερα, ο έλεγχος για το διαμήκη καταναγκασμό της σήραγγας δύναται να παραλείπεται, εφόσον έχουν προβλεφθεί προς τούτο κατάλληλοι κατασκευαστικοί αρμοί ανάληψης των παραμορφώσεων.

- Δ. Τυχόν άλλες μόνιμες, μεταβλητές ή τυχηματικές δράσεις

Οι συνδυασμοί δράσεων θα γίνονται σύμφωνα με τον ΕΚΩΣ2000, πριν δε απ' τη διενέργεια των υπολογισμών θα υπόκεινται στην έγκριση από τον εργοδότη.

#### 8.16. Ελάχιστα μέτρα άμεσης υποστήριξης.

Στην παράγραφο αυτή περιγράφονται τα ελάχιστα μέτρα της άμεσης αντιστήριξης, τα οποία θα πρέπει να τοποθετούνται ακόμη και όταν τα αποτελέσματα των υπολο-

γισμών της μελέτης δεν αποδεικνύουν την ανάγκη εφαρμογής τους. Ο μελετητής μπορεί να υιοθετήσει την παρούσα προσέγγιση ή να υποβάλλει εναλλακτικά μέτρα για έγκριση από τον εργοδότη.

#### A. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα:

- Ελαχίστου πάχους 0,05 m, στην οροφή της εκσκαφής, σε τόξο μήκους όσο και το πλάτος του καταστρώματος, συμμετρικό ως προς την κλείδα.
- Ελαχίστου πάχους 0,03 m στις υπόλοιπες παρειές, πλην του δαπέδου.

#### B. Δομικό πλέγμα

Στο κατά τα ανωτέρω τόξο, τοποθετείται χαλύβδινο πλέγμα βάρους τουλάχιστον 1,5 KG/M<sup>2</sup>. Εναλλακτικά προς το δομικό πλέγμα, μπορούν να τοποθετηθούν μεταλλικές ίνες σε ποσότητα 40 kg/m<sup>3</sup> εκτοξευθέντος σκυροδέματος.

### 8.17. Ελάχιστες διαστάσεις τελικής επένδυσης

Στην παράγραφο αυτή περιγράφονται οι ελάχιστες διαστάσεις διαμόρφωσης της τελικής επένδυσης, οι οποίες πρέπει να τηρούνται ακόμη και όταν τα αποτελέσματα των υπολογισμών της μελέτης δεν αποδεικνύουν την ανάγκη εφαρμογής τους.

Ελάχιστο πάχος τελικής επένδυσης 0,30 m, σκυρόδεμα C20/25 άοπλο με ανεκτή χαρακτηριστική τιμή εύρους ρωγμής (με πιθανότητα μη υπέρβασης 95%) 1 mm και εξασφάλιση θλιβόμενης ζώνης 150 mm.

- Για τον υπολογισμό και τη διαστασιολόγηση της τελικής επένδυσης, απαιτείται η αναφορά της ισχύος του πλέγματος των Κανονισμών Μελέτης που ισχύουν.

Η αναφορά τους γίνεται στο Άρθρο 9 της ΟΜΟΕ όπου πρέπει να δοθεί προσοχή, επειδή υπάρχει κατάλογος των

Ελληνικών Κανονισμών, των Γερμανικών Κανονισμών και των Κανονισμών της ΕΟΚ, προκειμένου να ληφθεί η απόφαση για το ποιοί ισχύουν.

Το άρθρο 10 της ΟΜΟΕ δίνει κατευθύνσεις στον Μελετητή για συγκεκριμένες παραδοχές-δεσμεύσεις και καθοριστικές παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη σύνταξη της μελέτης της σήραγγας, με έμφαση στο θέμα των σεισμικών φορτίσεων όπου αναφέρονται στην παρ. 10.8 ως «Θεώρηση Σεισμικών Δράσεων». Κατ' αρχήν, ορίζει ότι σε κάθε μελέτη θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ορισμένα δεδομένα που αφορούν την επικινδυνότητα των υπογείων έργων έναντι σεισμών.

- A. Οι υπόγειες κατασκευές παρουσιάζουν σημαντικά μικρότερη τρωτότητα από τις επιφανειακές κατασκευές.
- B. Οι παρατηρηθείσες ζημιές μειώνονται με την αύξηση του βάθους των υπερκείμενων γεωυλικών.
- Γ. Οι υπόγειες κατασκευές που διανοίχθηκαν σε εδαφικά υλικά, παρουσίασαν περισσότερες ζημιές σε σχέση με αντίστοιχες κατασκευές σε υγιείς βραχομάζες.
- Δ. Οι σήραγγες με τελική επένδυση σε βραχομάζες είναι ασφαλέστερες από αντίστοιχες ανεπένδυτες.
- E. Η κατασκευαστική εξασφάλιση ικανοποιητικής επαφής μεταξύ γεωυλικού και στοιχείων άμεσης υποστήριξης ή/και τελικής επένδυσης μειώνει την παρουσία ζημιών.
- ΣΤ. Οι παρατηρηθείσες ζημιές φαίνονται να συσχετίζονται με την μέγιστη επιτάχυνση και ταχύτητα δόνησης του γεωυλικού, και με την διάρκεια της σεισμικής δόνησης.
- Z. Οι κινήσεις υψηλής συχνότητας μπορούν να προκαλέσουν αποφλοιώση του σκυροδέματος ή της βραχομάζας κατά μήκος επιπέδων μειωμένων μηχανικών χαρακτηριστικών. Επειδή τέτοιες συχνότητες κατά κανόνα εξασθενούν με την απόσταση, αντίστοιχες ζημιές αναμένονται σε μικρές αποστάσεις από το γενεσιουργό ρήγμα.

- H. Η δόνηση του γεωυλικού μπορεί να ενισχυθεί στην περιοχή της σήραγγας, όταν το μήκος κύματος είναι μεταξύ μιας και τεσσάρων διαμέτρων αυτής.
- Θ. Οι ζημιές στα στόμια μπορούν να είναι σημαντικές, κυρίως λόγω αστάθειας του πρανούς.

- Ομαδοποίηση των σεισμικών δράσεων στις σήραγγες  
 Διακρίνονται δύο Κατηγορίες
  - Δονήσεις του γεωυλικού, δηλαδή παραμορφώσεις που προκαλούνται από την διάδοση των σεισμικών κυμάτων στον γήινο φλοιό. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος των ζημιών από τις δονήσεις είναι: το σχήμα, οι διαστάσεις και το βάθος της σήραγγας, οι ιδιότητες του γεωυλικού, οι ιδιότητες της κατασκευής και τα χαρακτηριστικά της δόνησης.
  - Αστοχία του γεωυλικού π.χ. ρευστοποίηση, μετατοπίσεις ρηγμάτων, αστάθεια πρανών.

Οι σεισμικές δράσεις στις σήραγγες αντιμετωπίζονται με τα παρακάτω βήματα στη μελέτη της σήραγγας.

- 10.8.1. Καθορισμός του σεισμικού περιβάλλοντος και απόληψη των σεισμικών παραμέτρων και χαρακτηριστικών που απαιτούνται για τις αναλύσεις. Αυτά θα πραγματοποιούνται κατά το στάδιο της Προκαταρκτικής Μελέτης και θα περιλαμβάνονται σε ειδικό κεφάλαιο της σχετικής Έκθεσης Γεωλογικής και Γεωτεχνικής Αξιολόγησης.
- 10.8.2. Εκτίμηση της απόκρισης του γεωυλικού στην σεισμική δράση, με θεώρηση αστοχίας και παραμορφώσεων του. Αυτή θα πραγματοποιείται κατά την Προκαταρκτική Μελέτη και θα περιλαμβάνεται σε ειδικό κεφάλαιο της σχετικής Τεχνικής Έκθεσης.
- 10.8.3. Εκτίμηση της συμπεριφοράς της σήραγγας υπό τις συνθήκες της σεισμικής δράσης. Αυτή θα πραγματοποιείται στο στάδιο της Οριστικής Μελέτης, και

θα περιλαμβάνεται σε ειδικό κεφάλαιο της Τεχνικής Έκθεσης.

Η Μελέτη, στις αντίστοιχες Εκθέσεις Εκτίμησης Έργου, θα δώσει πλήρη περιγραφή των μεθόδων τις οποίες θα χρησιμοποιήσει για να διαπραγματευθεί και προσεγγίσει τα ανωτέρω θέματα, ενσωματώνοντας τις πλέον εξελιγμένες και διεθνώς αποδεκτές μεθόδους.

- 10.8.4. Ο σχεδιασμός αντιμετώπισης της δράσης του σεισμού πραγματοποιείται σε ένα ή δύο στάθμες. Η στάθμη 1 αφορά μέγιστες δράσεις με μικρή πιθανότητα υπέρβασης. Ο έλεγχος της στάθμης αυτής πραγματοποιείται μόνον εφόσον τον ζητήσει ο κύριος του έργου. Η στάθμη 2 αφορά δράσεις μικρότερης έντασης και μεγαλύτερης πιθανότητας υπέρβασης. Η συμπεριφορά της σήραγγας και το μέγεθος της δράσης κάθε στάθμης έχουν ως εξής:

*Στάθμη 1* - (όριο επιβίωσης): Σημαντικές βλάβες μπορεί να συμβούν. Μερικά από τα στόμια των σηράγγων μπορεί να εμφραχθούν, αλλά δίοδοι διαφυγής θα είναι διαθέσιμες λόγω του σχεδιασμού πολλαπλών εξόδων. Η πιθανότητα κατάρρευσης τμήματος της τελικής επένδυσης της σήραγγας πρέπει να είναι επαρκώς μικρή, και θα συνδυάζεται με διατήρηση της ακεραιότητας και επαρκούς παραμένουσας αντοχής μετά τη λήξη της σεισμικής ακολουθίας. Οι βλαφθείσες κατασκευές θα είναι περιορισμένες και επιδιορθώσιμες, και ο αυτοκινητόδρομος θα μπορεί να διατεθεί σε λειτουργία σε λίγους μήνες. Ο μελετητής θα προτείνει και ο εργοδότης θα αποφασίζει για τα χαρακτηριστικά του σεισμού σχεδιασμού. Ενδεικτικά προτείνεται πιθανότητα υπέρβασης 5% στα 100 έτη (τεχνική διάρκεια ζωής της σήραγγας), που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς  $\sim 2000$  έτη ( $\approx 100 / \ln(1-0,05)$ ).

*Στάθμη 2* - (όριο ελεγχόμενων βλαβών σύμφωνα με ισχύοντες κανονισμούς): Μικρές βλάβες μπορούν να συμβούν για τις κυρίως σήραγγες, τα στόμια και τις λοιπές υπόγειες κατασκευές. Οι βλάβες θα είναι δυνατό να επισκευασθούν σε μερικές ημέρες. Ο αυτοκινητόδρομος μπορεί να χρειαστεί να κλείσει γι' αυτές τις επισκευές. Ο μελετητής θα προτείνει και ο εργοδότης θα αποφασίζει για τα χαρακτηριστικά του σεισμού σχεδιασμού. Ενδεικτικά προτείνεται πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 έτη (σεισμός σχεδιασμού του ΕΑΚ) που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς  $\sim 500$  έτη ( $\approx 50/\ln(1-0,1)$ ). Σε ορισμένες περιπτώσεις, μετά από απαίτηση του κύριου του έργου, είναι δυνατό να εκτελείται ένας μόνο έλεγχος για μέγιστο σεισμό στάθμης 1 με απαίτηση συμπεριφοράς στάθμης 2.

Τα χαρακτηριστικά του σεισμού σχεδιασμού κάθε στάθμης, δύνανται να λαμβάνονται με κατάλληλη κρίση από τον ΕΑΚ 2000 ή από ειδικά συνταγμένη μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας.

## **Δ. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΙΣ ΜΕΛΕΤΕΣ**

Η ΟΜΟΕ Σηράγγων δεν έχει εφαρμοσθεί ακόμη στις μελέτες σηράγγων, καθότι η απόφαση ισχύος της εκδόθηκε πρόσφατα.

Από μία έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε μελέτες σηράγγων που έχουν υποβληθεί (και είτε έχουν εγκριθεί είτε όχι από Υπηρεσίες του ΥΠΕΧΩΔΕ), παρατίθενται παρακάτω οι φορτίσεις της Τελικής Επένδυσης με τις οποίες υπολογίζεται η τελική επένδυση.

Δεν λαμβάνεται υπόψη η συμμετοχή της προσωρινής επένδυσης (εκτοξευμένο σκυρόδεμα και αγκύρια).

## Φορτίσεις

1. Προϋπάρχουσες τάσεις στο έδαφος (α) χωρίς ερπυστικές παραμορφώσεις, (β) λαμβάνεται υπόψη ο ερπυσμός της βραχόμαζας.
2. Συστολή ξήρανσης μόνιμης επένδυσης. (Ισοδυναμεί με ομοιόμορφη θερμοκρασία  $\Delta T = -25^{\circ}\text{C}$ ).
3. Ομοιόμορφη μεταβολή θερμοκρασίας ( $\Delta T = \pm 10^{\circ}\text{C}$ ).
4. Ανομοιόμορφη μεταβολή θερμοκρασίας  $\Delta T = \pm 5^{\circ}\text{C}$  (μέσα-έξω).
5. Έκρηξη στο εσωτερικό της σήραγγας: ομοιόμορφη πίεση  $q = 100 \text{ kN/m}^2$ .
6. Φορτίο πρόσκρουσης οχήματος: Γραμμικό φορτίο  $q = 100 \text{ kN/m}^2$  σε ύψος 0,50 m από το πεζοδρόμιο.
7. Βάρος Η/Μ εγκαταστάσεων. (Φορτίο τουρμπίνας εξαερισμού  $W = 15 \text{ KN}$ ).
8. Ομοιόμορφη υδροστατική πίεση εξωτερικά  $W = 50 \text{ KN/m}^2$ .

Πρόκειται για μία συμβατική υδατική πίεση της τάξεως των 50 Kpa (σταθερή), παρ' ότι προβλέπεται σύστημα αποστραγγίσεως γύρω από τη σήραγγα, για την περίπτωση όπου και αυτή τυχαία αστοχίσει.

**ΣΕΙΣΜΟΣ:** Συνήθως δεν λαμβάνεται υπόψη διότι εκτιμάται ότι η σήραγγα θα ακολουθήσει την κίνηση του εδάφους. (Στηρίζονται στην παρ. 3.1. της Εγκυκλίου Ε39/99, παρ' ότι στην παράγραφο 1 της ίδιας Εγκυκλίου αναφέρεται ότι αυτή δεν έχει εφαρμογή στις σήραγγες).