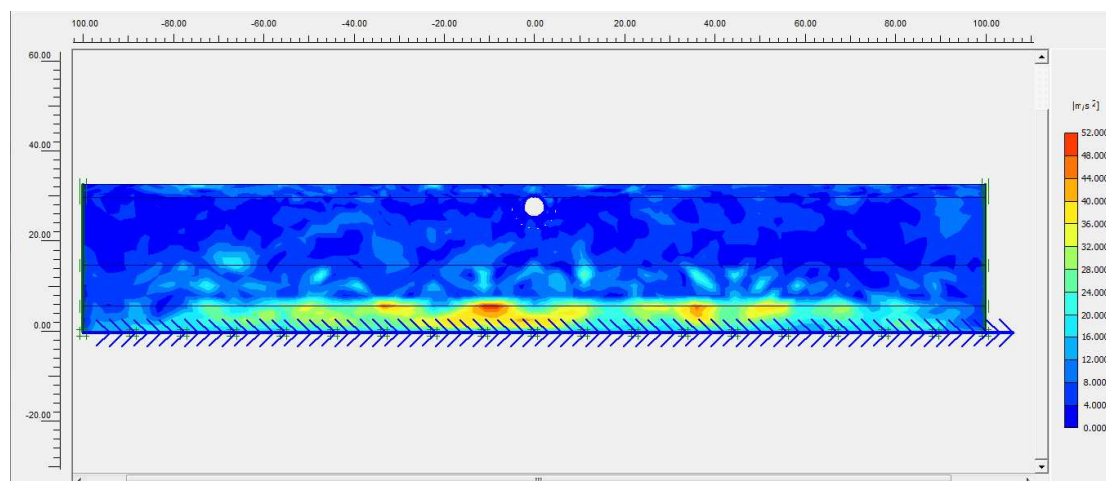




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία

« Η επίδραση της παρουσίας σήραγγας στη
σεισμική απόκριση υπερκείμενων κατασκευών »



ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Επιβλέπων: ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΣΠΥΡΑΚΟΣ

Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2011

***Αφιερώνεται στους γονείς μου,
Μαρία και Νίκο***

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Σπυράκο για την πολύτιμη βοήθειά του καθώς και για την καθοδήγησή του, χωρίς την οποία η εκπόνηση της παρούσης διπλωματικής θα ήταν αδύνατη.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιστημονικό συνεργάτη της σχολής πολιτικό μηχανικό κ. Δημήτριο Ηλία για τις γνώσεις και το μεράκι που μου μετέδωσε όσον αφορά στο αντικείμενο της αντισεισμικής τεχνολογίας.

Επιπροσθέτως, επιθυμώ να ευχαριστήσω θερμά την κα. Θεοδώρα Μπαγιάστα για την ευγένεια και για τη βοήθεια της.

Ακολούθως, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερω τους γονείς μου Νίκο και Μαρία, αλλά και την αδελφή μου Αναστασία, υποψήφια διδάκτωρ στη σχολή μηχανολόγων μηχανικών ΕΜΠ, για την πολυετή τους στήριξη και συμπαράσταση στην εκπαιδευτική μου σταδιοδρομία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη συμφοιτήριά μου στη σχολή πολιτικών μηχανικών ΕΜΠ Χριστίνα Κοντοβαζανίτη για τη στήριξη και την ανεκτίμητη βοήθειά της.

1. Πίνακας περιεχομένων

Εισαγωγή.....	11
1. Κεφάλαιο 1 - Θεωρητικό Μέρος.....	16
1.1 Τι είναι Σεισμός.....	16
1.2 Μέγεθος και ένταση σεισμικού συμβάντος.....	18
1.3 Μέτρηση σεισμικών γεγονότων.....	22
1.4 Γιατί ο σεισμός ονομάζεται και εγκέλαδος?.....	24
1.5 Η «Αττικό Μετρό Α.Ε.» και το έργο της.....	25
1.6 Μέθοδοι κατασκευής που χρησιμοποιεί το μετρό.....	29
1.7 Η διάρκεια ζωής των έργων του μετρό Αθηνών.....	32
1.8 Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής.....	33
1.9 Θεωρία σηράγγων.....	35
1.10 Θεωρητικό υπόβαθρο του Plaxis.....	39
1.11 Θεωρητικό υπόβαθρο του Shake.....	42
2. Κεφάλαιο 2 - Διαδικασία Ανάλυσης.....	46
2.1 Προσδιορισμός του εδαφικού προφίλ.....	46
2.2 Σεισμικές καταγραφές ανάλυσης.....	48
2.3 Προσομοίωση με τη χρήση του προγράμματος Plaxis.....	50
2.4 Προσομοίωση με τη χρήση του προγράμματος SHAKE 2000... ..	62
2.5 Οι 3 μέθοδοι προσομοίωσης.....	66
3. Κεφάλαιο 3 – Αποτελέσματα και σχόλια.....	73
3.1 Ο σεισμός της Αθήνας (Ελλάδα) 1999.....	73
3.2 Ο σεισμός του Κόμπε (Ιαπωνία) 1995.....	91
3.3 Ο σεισμός του Ντότσε (Τουρκία) 1999.....	103
4. Κεφάλαιο 4 – Συμπεράσματα.....	117

4.1	Συμπεράσματα από το σεισμό της Αθήνας.....	118
4.2	Συμπεράσματα από το σεισμό του Κόμπε.....	119
4.3	Συμπεράσματα από το σεισμό του Ντότσε.....	120
4.4	Συνθήκες επίδρασης παρουσίας σήραγγας	122
	Περαιτέρω έρευνα	124

Abstract - Σύνοψις

Abstract. The seismic response of structures overlaying soil strata has been extensively studied. Also, numerous studies can be found in the literature regarding the deformations imposed on structures during the excavation of tunnels in suburban areas. However, the impact of the presence of a tunnel on the seismic response of overlaying structures has drawn very limited attention.

The goal of this study is to examine the considerable influence that the existence of a tunnel has on ground acceleration, as well as to point out the limits of parameters, such as the tunnel depth and the horizontal distance of a structure from the axis of the tunnel, beyond which the difference in ground acceleration cannot be neglected.

The corrected accelerograms of the Athens(Greece), Kobe(Japan) and Duzce (Turkey) earthquakes are used in this investigation. The geotechnical data has been drawn from the drillings that took place during the construction of the subway in Athens. For the Athens earthquake three approaches were applied. In the first approach the soil stratum with the tunnel were modeled as a linear system with the finite element software called Plaxis. In the second approach the part of the soil stratum over the bedrock and up to a distance of 2.5 m below the lower part of the tunnel were modeled with software capable to account for nonlinear soil behavior, while the upper part including the tunnel were modeled as a linear system using Plaxis. In the third approach the part of the soil stratum over the bedrock and up to a distance of 2.5 m above the higher part of the tunnel was modeled as a linear system using Plaxis, while the upper part was modeled with software capable to account for nonlinear soil behavior (shake). The second and the third approaches are considered as more realistic especially for the latter two seismic excitation cases.

The results of this study showed that the presence of the shallow tunnels considerably modify the surface ground motion within a range

that depends on their geometrical characteristics. Even though this is a limited study, the results clearly indicate that the phenomenon should be considered when : i) evaluating the anticipated seismic behavior of overlaying structures, ii) deciding on strengthening measures in order to protect structures with inferior strength, iii) specifying the design spectra of new buildings to be constructed in the vicinity of such tunnels and iv) making decisions regarding relocation of a tunnel to be constructed.

Σύνοψις. Η σεισμική απόκριση των κατασκευών που υπέρκεινται σε εδαφικές διαστρωματώσεις έχει μελετηθεί εκτενώς. Επίσης, πολυάριθμες μελέτες μπορούν να βρεθούν στη βιβλιογραφία σχετικά με τις παραμορφώσεις που επιβάλλονται στις κατασκευές κατά τη διάρκεια της εκκοκφής των σηράγγων στις προάσιες περιοχές. Εντούτοις, ο αντίκτυπος της παρουσίας μιας σήραγγας στη σεισμική απόκριση των υπερκείμενων κατασκευών έχει επιστήσει πολύ περιορισμένη προσοχή. Ο στόχος αυτής της μελέτης είναι να εξεταστεί η ιδιαίτερη επιρροή που έχει η παρουσία μιας σήραγγας στην επιφανειακή επιτάχυνση, καθώς επίσης και να επισημανθούν τα όρια των παραμέτρων, όπως το βάθος σηράγγων και η οριζόντια απόσταση μιας κατασκευής από τον άξονα της σήραγγας, πέρα από τα οποία η διαφορά στην επιφανειακή εδαφική επιτάχυνση δεν μπορεί να παραμεληθεί. Διορθωμένα επιταχυνσιογραφήματα των σεισμών στην Αθήνα (Ελλάδα), Κόμπε (Ιαπωνία) και Ντότσε (Τουρκία) χρησιμοποιούνται σε αυτήν την έρευνα. Τα γεωτεχνικά στοιχεία έχουν προέλθει από τις γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της κατασκευής του μετρό στην Αθήνα. Για το σεισμό της Αθήνας τρεις προσεγγίσεις εφαρμόστηκαν. Στην πρώτη προσέγγιση η εδαφική διαστρωμάτωση με τη σήραγγα μοντελοποιήθηκαν ως ένα ελαστικό σύστημα με το λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων που ονομάζεται Plaxis. Στη δεύτερη προσέγγιση το μέρος της εδαφικής διαστρωμάτωσης πάνω από το στρώμα του βράχου και μέχρι μια απόσταση 2.5 m κάτω από το χαμηλότερο σημείο της σήραγγας μοντελοποιήθηκε με λογισμικό ικανό να υπολογίζει μη ελαστική εδαφική συμπεριφορά, ενώ το ανώτερο μέρος συμπεριλαμβανομένης της σήραγγας διαμορφώθηκε ως ελαστικό σύστημα χρησιμοποιώντας το Plaxis. Στην τρίτη προσέγγιση το μέρος της εδαφικής διαστρωμάτωσης πάνω από το στρώμα του βράχου και μέχρι μια απόσταση 2.5 m πάνω από το υψηλότερο σημείο της σήραγγας μοντελοποιήθηκε με το λογισμικό Plaxis που είναι ικανό να υπολογίζει ελαστική εδαφική συμπεριφορά, ενώ το κατώτερο μέρος συμπεριλαμβανομένης της σήραγγας διαμορφώθηκε ως μη ελαστικό

σύστημα χρησιμοποιώντας το Shake. Η δεύτερη και η τρίτη προσέγγιση θεωρούνται ως ρεαλιστικότερες , ειδικά για τις τελευταίες δύο σεισμικές περιπτώσεις διέγερσης. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης έδειξαν ότι η παρουσία των ρηχών σήραγγων τροποποιεί αρκετά την επιφανειακή εδαφική κίνηση μέσα σε μία περιοχή που εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους. Ακόμα κι αν αυτή είναι μια περιορισμένη μελέτη, τα αποτελέσματα σαφώς υποδεικνύουν ότι το φαινόμενο πρέπει να εξεταστεί όταν: 1) αξιολογείται η προσδοκώμενη σεισμική συμπεριφορά των υπερκείμενων κατασκευών, II) λαμβάνονται αποφάσεις σχετικά με τη λήψη μέτρων για την ενίσχυση των κατασκευών που είναι ευάλωτες, III) όταν προσδιορίζονται τα φάσματα σχεδιασμού των νέων κτιρίων που κατασκευάζονται κοντά σε τέτοιες σήραγγες και IV) λαμβάνονται αποφάσεις για την εκλογή τοποθεσίας μίας σήραγγας που κατασκευάζεται.


ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εισαγωγή

Τα τελευταία έτη έχει σημειωθεί αλματώδης πρόοδος στις τεχνικές κατασκευής σήραγγος σε οποιοδήποτε είδος εδάφους. Επιπροσθέτως, η έντονη αστικοποίηση αλλά και η ταυτόχρονη εξάπλωση των μεγάλων αστικών κέντρων προς τα προάστια κατέστησαν επιτακτική ανάγκη την οργάνωση, δημιουργία και ανάπτυξη των μέσων μαζικής μεταφοράς. Τοιουτοτρόπως, σε όλες τις χώρες όπως και στην Ελλάδα πραγματοποιήθηκαν υπόγεια έργα μεγάλης κλίμακας. Χαρακτηριστικά υπόγεια έργα στη χώρα μας είναι η κατασκευή του μετρό στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας η οποία ξεκίνησε στην τελευταία δεκαετία του προηγούμενου αιώνα.

Μολονότι η παρουσία υπογείων σηράγγων κυρίως χαμηλού βάθους είναι συνήθης σε αστικό περιβάλλον με υψηλή σεισμικότητα, υπάρχουν πραγματικά πολύ λίγες αναφορές στη βιβλιογραφία σχετικά με την επίδραση της παρουσίας της σήραγγος στη σεισμική απόκριση υπερκειμένων κατασκευών. Ας σημειωθεί σε αυτό το σημείο το γεγονός ότι πολλές από τις υπερκείμενες κατασκευές είναι παλαιές και σε πολλές των περιπτώσεων κατασκευάστηκαν χωρίς σεισμικές προδιαγραφές.

Σε αυτήν την εργασία ερευνάται η επίδραση της παρουσίας σήραγγος στη σεισμική απόκριση υπερκειμένων και γειτονικών κατασκευών. Ακολούθως, στόχος είναι η σύνοψη μεθοδολογίας σύμφωνα με την οποία να προσδιορίζεται η κρίσιμη περιοχή γύρω από μία σήραγγα, καθορίζοντας τα γεωμετρικά της χαρακτηριστικά, όπου η σεισμική επιτάχυνση αυξάνεται εξαιτίας της παρουσίας της σήραγγος.

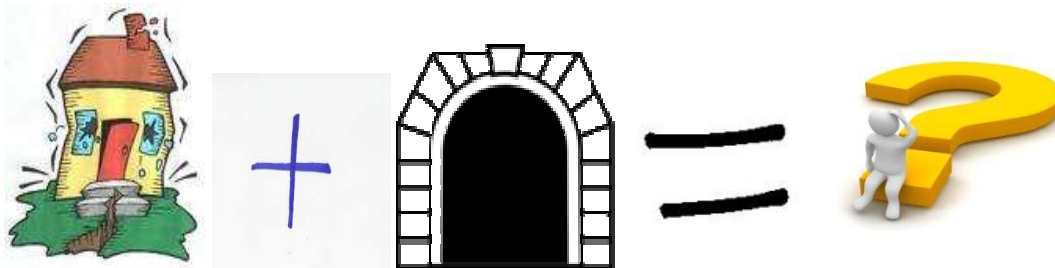
Πληθώρα μελετών μπορούν να βρεθούν στη βιβλιογραφία όσον αφορά στη σεισμική απόκριση κατασκευών που υπέρκεινται μίας εδαφικής διαστρωμάτωσης. 



Επιπροσθέτως, έχουν μελετηθεί οι παραμορφώσεις [13],[14] οι οποίες επιβάλλονται σε κατασκευές στην επιφάνεια του εδάφους κατά τη διάρκεια διάνοιξης σήραγγων και μάλιστα για τους διάφορους τρόπους διάνοιξης. ✓



Εντούτοις, πολύ λίγα γνωρίζουμε για την επίδραση της ύπαρξης σήραγγος στη σεισμική απόκριση υπερκειμένων και γειτονικών κατασκευών. ✗



Αναλυτικότερα, αν γνωρίζουμε την επιτάχυνση στην επιφάνεια του εδάφους τότε μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε την τιμή της επιτάχυνσης σε οποιοδήποτε σημείο ενός κτιρίου. Σε αυτή τη μελέτη, λοιπόν, αρκεί να υπολογίσουμε την επιτάχυνση λόγω σεισμού στην επιφάνεια του εδάφους και πώς αυτή διαφοροποιείται λόγω της παρουσίας μίας σήραγγος.

Το γενικό πλαίσιο θα είναι η παραμετρική μελέτη της επιρροής της σήραγγος σε μία εδαφική διαστρωμάτωση. Δηλαδή, δεδομένου ενός εδαφικού προφίλ θα μετρηθούν οι τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης στην επιφάνεια πριν και μετά τη διάνοιξη σήραγγος για διάφορες σεισμικές καταγραφές. Στόχος είναι ο προσδιορισμός των παραμέτρων

προκειμένου να οριστεί η περιοχή επιρροής της παρουσίας του τούνελ στη σεισμική απόκριση.

Για τη μοντελοποίηση αλλά και τον υπολογισμό των τιμών των επιταχύνσεων θα γίνει χρήση 2 λογισμικών. Από τη μία το Plaxis, το οποίο είναι πρόγραμμα που χρησιμοποιεί πεπερασμένα στοιχεία, υπολογίζει ελαστική συμπεριφορά εδάφους και έχει τη δυνατότητα να μοντελοποιήσει μία σήραγγα. Από την άλλη το Shake το οποίο μελετά τη συμπεριφορά μίας μονοδιάστατης εδαφικής κολώνας, υπολογίζει ανελαστική συμπεριφορά, αλλά δεν παρέχει δυνατότητα μοντελοποίησης ανοίγματος.

Αναλυτικότερα, θα μελετηθούν 3 μέθοδοι προσέγγισης του προβλήματος. Στην πρώτη μέθοδο η εδαφική διαστρωμάτωση θα μοντελοποιηθεί πλήρως στο Plaxis ως ελαστικό σύστημα. Η δεύτερη και η τρίτη μέθοδος είναι συνδυαστικές, αφού συνδυάζουν τα 2 λογισμικά και τοιουτοτρόπως θεωρούν μερική ανελαστική συμπεριφορά. Στη δεύτερη μέθοδο, το μέρος της εδαφικής διάστρωσης πάνω από το βράχο και σε απόσταση 2.5 μέτρων κάτω από το χαμηλότερο κομμάτι της σήραγγος μοντελοποιούνται χρησιμοποιώντας το Shake το οποίο υπολογίζει μη ελαστική συμπεριφορά. Το υπόλοιπο άνω μέρος καθώς και η σήραγγα μοντελοποιούνται ως ελαστικά συστήματα κάνοντας χρήση του Plaxis. Τέλος, στην τρίτη μέθοδο το μέρος της εδαφικής διάστρωσης πάνω από το βράχο και σε απόσταση 2.5 μέτρων πάνω από το υψηλότερο κομμάτι της σήραγγος μοντελοποιούνται χρησιμοποιώντας το Plaxis το οποίο υπολογίζει ελαστική συμπεριφορά. Το υπόλοιπο άνω μέρος καθώς και η σήραγγα μοντελοποιούνται ως ελαστικά συστήματα κάνοντας χρήση του Plaxis.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

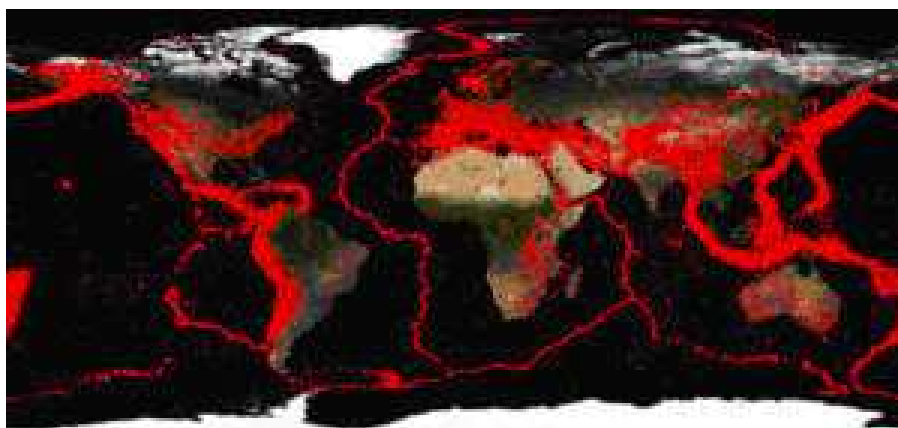
1. Κεφάλαιο 1 - Θεωρητικό Μέρος

1.1 Τι είναι Σεισμός

Ο σεισμός είναι ένα φυσικό φαινόμενο, το οποίο προκαλείται από ξαφνική απελευθέρωση μηχανικής ενέργειας από το εσωτερικό της γης προς την επιφάνειά της. Η ενέργεια αυτή έχει τη μορφή αναταράξεων στη στεριά ή τσουνάμι στη θάλασσα, και διαδίδεται μέσω των σεισμικών κυμάτων.

Ο σεισμός μπορεί να είναι και αποτέλεσμα ανθρώπινης δραστηριότητας (όπως για παράδειγμα μιας υπόγειας πυρηνικής δοκιμής). Γενικά, η λέξη "σεισμός" περιγράφει κάθε σεισμικό γεγονός -φυσικό φαινόμενο ή αποτέλεσμα ανθρώπινης δραστηριότητας- που παράγει σεισμικά κύματα τα οποία διαδίδονται στο εσωτερικό της γης.

Οι περισσότεροι σεισμοί σχετίζονται με τον τεκτονικό χαρακτήρα της Γης και ονομάζονται τεκτονικοί σεισμοί. Την πραγματική αιτία των σεισμών διαπίστωσε ο Βρετανός Τζόν Μίτσελ (John Michell), ο οποίος θεωρείται και πατέρας της επιστήμης μελέτης των σεισμών, της Σεισμολογίας.



Εικόνα 1.1 – Χάρτης παγκόσμιας σεισμικής δραστηριότητας

Η Ελλάδα κατέχει την πρώτη θέση στην Ευρώπη από πλευράς σεισμικότητας και την έκτη παγκοσμίως.



Εικόνα 1.2 – Χαρακτηριστική εικόνα κατάρρευσης κτιρίου λόγω σεισμού

Η γεωγραφική της θέση συμπίπτει με περιοχή του πλανήτη μας όπου λαμβάνουν χώρα μεγάλα γεωτεκτονικά φαινόμενα όπως η σύγκλιση της Αφρικανικής με την Ευρω-ασιατική λιθοσφαιρική πλάκα με αποτέλεσμα τη μεγάλη σεισμικότητα που παρατηρείται στη περιοχή αυτή.

Το σοβαρότερο σεισμικό συμβάν στην Ελλάδα τα τελευταία εκατό χρόνια είναι ο σεισμός μεγέθους 7.2R που έγινε στις 12 Αυγούστου 1953 στη Κεφαλονιά. Προκάλεσε τεράστιες υλικές καταστροφές κυρίως στη Κεφαλονιά, Ζάκυνθο και Ιθάκη με αποτέλεσμα να σκοτωθούν 476 άνθρωποι και να τραυματιστούν άλλοι 2412. Σε σύνολο 33.000 σπιτιών που υπήρχαν τότε στα νησιά αυτά, υπήρξαν 27.659 καταρρεύσεις, σοβαρές υλικές ζημιές σε 2.780 σπίτια και ελαφρές σε 2.394 σπίτια.

Ο σεισμός εκτός από τις άμεσες επιπτώσεις έχει ως επακόλουθα την ενεργοποίηση άλλων γεωλογικών φαινομένων όπως η **ρευστοποίηση εδαφών, οι καταπτώσεις βράχων, οι κατολισθήσεις και τα θαλάσσια κύματα βαρύτητας (τσουνάμι)** με εξίσου σοβαρές επιπτώσεις.

Τα θαλάσσια κύματα βαρύτητας προκαλούνται από μεγάλους υποθαλάσσιους σεισμούς. Το σημαντικότερο ως προς το ύψος θαλάσσιο κύμα βαρύτητας που έχει παρατηρηθεί στην Ελλάδα τα τελευταία πενήντα

χρόνια δημιουργήθηκε στις 9 Ιουλίου 1956 στη θαλάσσια περιοχή της Αμοργού μετά από σεισμό μεγέθους 7.5R.



Εικόνα 1.3 – Στιγμιότυπο από τσουνάμι μετά από σεισμό

1.2 Μέγεθος και ένταση σεισμικού συμβάντος

Η αναγκαιότητα σύγκρισης ενός σεισμού με κάποιο άλλο σεισμικό συμβάν σε άλλο τόπο και χρόνο, όσον αφορά στα χαρακτηριστικά του σαν φυσικό φαινόμενο και τα αποτελέσματά του στη λειτουργία μιας οργανωμένης κοινωνίας, επέβαλλε την υιοθέτηση δύο διαφορετικών φυσικών ποσοτήτων, του **μεγέθους** και της **έντασης** αντίστοιχα.

Το μέγεθος ενός σεισμού εκφράζεται σε βαθμούς της **κλίμακας Richter** και είναι η φυσική ποσότητα που χρησιμοποιείται από τους σεισμολόγους για τη μέτρηση της σεισμικής ενέργειας που απελευθερώνεται στο σημείο που εκδηλώνεται ο σεισμός.

Η ένταση ενός σεισμού εκφράζεται με εμπειρικό τρόπο είτε σε βαθμούς της αναθεωρημένης **κλίμακας Mercalli** (MM) ή σε βαθμούς της **κλίμακας Mercalli-Sieberg** (MKS) και είναι η φυσική ποσότητα που δίνει το μέτρο των αποτελεσμάτων ενός σεισμού στους ανθρώπους και στις ανθρώπινες κατασκευές.

Το αναμενόμενο τελικό αποτέλεσμα της σεισμικής κίνησης σε μια περιοχή (θάνατοι, υλικές ζημιές κλπ) και η αναγκαιότητα σύγκρισής του με εκείνο σε μια άλλη περιοχή οδήγησε τους επιστήμονες στην υιοθέτηση μιας ποσότητας που ονομάζεται **σεισμικός κίνδυνος**.



Εικόνα 1.4 – Υλικές ζημιές μετά από σεισμικό συμβάν

Ο σεισμικός κίνδυνος εξαρτάται από τη σεισμική επικινδυνότητα της περιοχής και από τη τρωτότητα των τεχνικών κατασκευών που βρίσκονται στη περιοχή. Η σεισμική επικινδυνότητα μιας περιοχής εκφράζεται με μία ποσότητα το μέτρο της οποίας είναι η αναμενόμενη ένταση της σεισμικής κίνησης στη περιοχή αυτή, ενώ η τρωτότητα των τεχνικών κατασκευών εκφράζεται με το μέτρο των ιδιοτήτων των κατασκευών (π.χ ποιότητα κατασκευής, ιδιοπερίοδο, τοπικές γεωτεχνικές συνθήκες κλπ).

Κάθε σεισμός έχει τη δική του ταυτότητα που τη προσδιορίζουν φυσικά χαρακτηριστικά, επαγόμενα φαινόμενα και επιπτώσεις.

Τα φυσικά χαρακτηριστικά ενός σεισμού είναι το μέγεθος, το σημείο (επίκεντρο) και ο χρόνος εκδήλωσης του, καθώς ο βαθμός που έγινε αισθητός σε τοπικό επίπεδο.

Το **Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών** διαθέτει δίκτυο σειсмоγράφων το οποίο καλύπτει όλο τον Ελλαδικό χώρο και μπορεί να δώσει αξιόπιστη πληροφόρηση σχετικά με το μέγεθος, το επίκεντρο και το χρόνο εκδήλωσης ενός σεισμού. Τα **Εργαστήρια Σεισμολογίας των Πανεπιστημίων Αθηνών, Θεσσαλονίκης και**

Πατρών και ο Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας διαθέτουν τοπικά δίκτυα σειсмоγράφων με δυνατότητα αξιόπιστου προσδιορισμού των ανωτέρω χαρακτηριστικών στη περίπτωση σεισμών που βρίσκονται γεωγραφικά μέσα στα εν λόγω δίκτυα. Τέλος, η εταιρεία Αττικό Μετρό υποστηρίζει και συντηρεί ένα δίκτυο σειсмоγράφων. Μάλιστα, οι καταγραφές στο Σύνταγμα από το σεισμό του 1999 που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την εργασία ελήφθησαν από το δίκτυο του μετρό στην περιοχή.

Τύποι Σεισμών

(Ανάλογα με τον τρόπο γένεσης)

Φυσικοί Σεισμοί

- **Τεκτονικοί**

Η λιθόσφαιρα αποτελείται από πολλές πλάκες που βρίσκονται σε διαρκή κίνηση, λόγω των πιέσεων που εξασκούνται από τις περιβάλλουσες λιθοσφαιρικές πλάκες ή λόγω των κινήσεων του μάγματος κάτω από αυτές. Στα όρια των πλάκων δημιουργούνται εφελκυστικές ή συμπιεστικές ζώνες διάρρηξης: εφελκυστικές στα σημεία που οι πλάκες απομακρύνονται μεταξύ τους, συμπιεστικές στα σημεία που πλησιάζουν.

Τα όρια των τεκτονικών πλακών, καθώς αυτές κινούνται, τρίβονται μεταξύ τους συσσωρεύοντας ενέργεια, τασικό φορτίο. Όταν η πίεση ξεπεράσει μια κρίσιμη τιμή και φθάσει το όριο θραύσεως του πετρώματος του εστιακού χώρου, το αποτέλεσμα είναι η βίαιη ταλάντωση των πετρωμάτων και η απελευθέρωση της συσσωρευμένης ενέργειας.

- **Εγκατακρημνισιγενείς**

Είναι σεισμοί συνήθως μικρού μεγέθους και τοπικού χαρακτήρα. Οφείλονται στην εγκατακρήμνιση οροφών υπογείων κοιλωμάτων (π.χ. σπηλαιών) λόγω διάβρωσης. Ορισμένες φορές έχουν παρατηρηθεί σε

μετασεισμική ακολουθία ως συνεπακόλουθο άλλου τύπου σεισμών (Γαλανόπουλος, Σεισμολογία, Αθήνα 1970)

- **Ηφαιστειακοί**

Οι σεισμοί που σχετίζονται με ηφαιστειακή δραστηριότητα μπορεί να είναι εξίσου καταστροφικοί, προκαλώντας σχισμές στο έδαφος, παραμόρφωση του εδάφους, και ζημιές σε κατασκευές. Ηφαιστειακός ονομάζεται ο σεισμος που είναι αποτέλεσμα αλλαγής της πίεσης στο εσωτερικό της γης, λόγω της εισροής ή εκροής μάγματος. Το σήμα τέτοιων σεισμών ονομάζεται ηφαιστειογενής δόνηση.

Ανάλογα με το Βάθος

Η ακριβής θέση στην οποία συμβαίνει ένας σεισμός ονομάζεται **εστία**. Αν η εστία θεωρηθεί ως σημείο, αυτό ονομάζεται **υπόκεντρο**. Η προβολή του υποκέντρου στην επιφάνεια της Γης ονομάζεται **επίκεντρο**. Ανάλογα με την απόσταση του υποκέντρου από την επιφάνεια της Γης (εστιακό βάθος, EB), οι σεισμοί χαρακτηρίζονται ως:

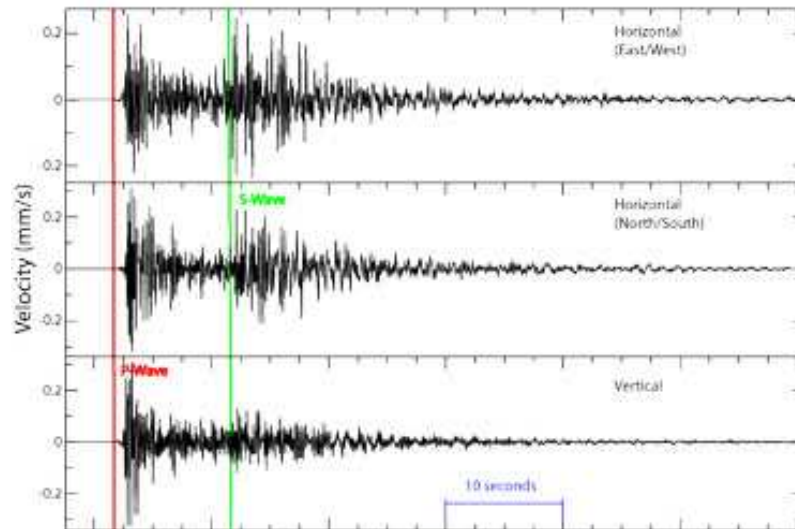
- Επιφανειακοί ή σεισμοί μικρού βάθους
- Σεισμοί ενδιάμεσου βάθους
- Σεισμοί μεγάλου βάθους

Το εστιακό βάθος είναι σημαντικό χαρακτηριστικό ενός σεισμού, ως προς τις καταστροφές που αυτός μπορεί να επιφέρει στις ανθρώπινες κατασκευές. Π.χ. ένας επιφανειακός σεισμός μεγέθους 6,5 ρίχτερ είναι καταστρεπτικότερος από ένα σεισμό ενδιάμεσου βάθους μεγέθους 6,9 ρίχτερ. Αυτό συμβαίνει για δύο κυρίως λόγους:

- Αυξάνεται η απόσταση μεταξύ εστίας και επιφανείας της Γης, επιφέροντας έτσι εξασθένιση στα σεισμικά κύματα.
- Η διασπορά των σεισμικών κυμάτων είναι μεγαλύτερη.

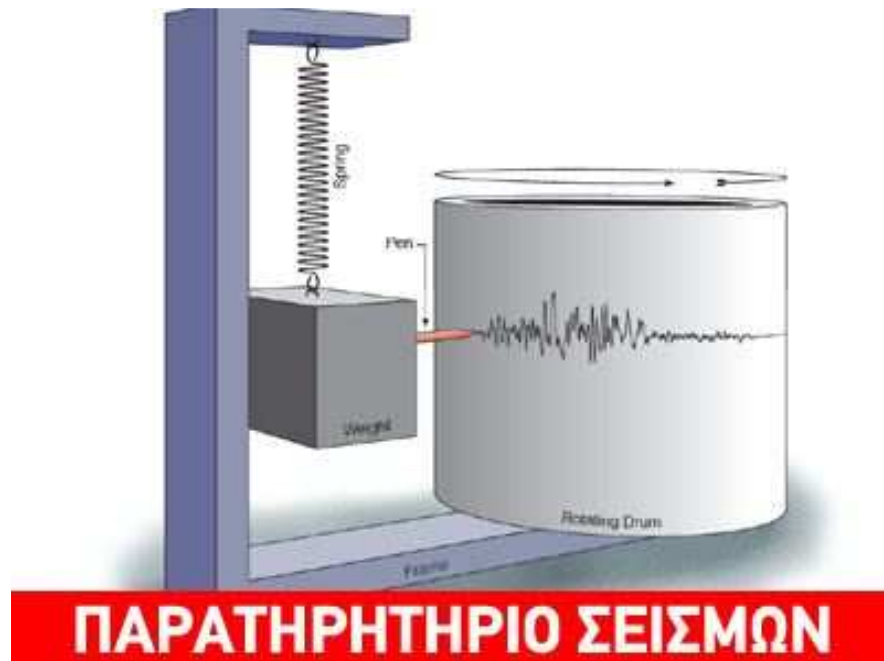
Το μεγαλύτερο εστιακό βάθος που έχει καταγραφεί είναι περίπου 750 km και είναι το σημείο όπου ο γήινος φλοιός καταβυθίζεται στον ανώτερο μανδύα.

1.3 Μέτρηση σεισμικών γεγονότων



Εικόνα 1.5 – Σεισμικές καταγραφές από σειсмоγράφους

Το όργανο που χρησιμοποιείται για την μέτρηση των σεισμικών δονήσεων ονομάζεται σειсмоγράφος. Η λειτουργία του σειсмоγράφου βασίζεται στην αρχή της αδράνειας. Η σεισμική δόνηση μεταβάλλει την δυναμική ενέργεια του μετρητή. Η καταγραμμένη μεταβολή ονομάζεται σεισμόγραμμα.



Εικόνα 1.6 – Σχηματική απεικόνιση τυπικού σειсмоγράφου

Ο σειсмоγράφος είναι μια συσκευή που μετρά την κίνηση της γης και αποτελείται από έναν αισθητήρα, ο οποίος εντοπίζει την κίνηση του εδάφους και ονομάζεται σεισμόμετρο, και από ένα σύστημα καταγραφής των δεδομένων. Το απλό σεισμόμετρο είναι ευαίσθητο σε κατακόρυφης διεύθυνσης μετατοπίσεις του εδάφους, και το πετυχαίνει με τη βοήθεια ενός βάρους που κρέμεται από ένα ελατήριο. Το ελατήριο και το βάρος στηρίζονται σε ένα πλαίσιο που κινείται μαζί με την επιφάνεια της γης. Καθώς η γη κινείται, η σχετική κίνηση μεταξύ του βάρους και της γης δίνει τη μέτρηση της κατακόρυφης μετατόπισης. Εάν εγκατασταθεί και ένα σύστημα μέτρησης, όπως ένας κυλιόμενος κύλινδρος και μία γραφίδα συνδεδεμένη με το βάρος αυτή, η σχετική κίνηση μεταξύ του βάρους και της γης μπορεί να καταγραφεί και να δώσει ένα ιστορικό της κίνησης (της γης), τότε το σύστημα ονομάζεται σειсмоγράφος.

1.4 Γιατί ο σεισμός ονομάζεται και εγκέλαδος?

Ετυμολογικά ο Εγκέλαδος μάλλον αποτελεί σύντμηση(έγκειμαι + λας), που σημαίνει ο εγκατεστημένος στα πετρώματα, στο στερεό φλοιό της Γης.

Ο Εγκέλαδος στην Ελληνική Μυθολογία φέρεται ως αρχηγός των Γιγάντων, γιος του Ταρτάρου και της Γης που έπαιξε όμως πρωτεύοντα ρόλο στη Γιγαντομαχία στην οποία και φονεύθηκε.

Για τον Εγκέλαδο και τον θάνατό του σώθηκαν πολλές παραδόσεις. Κατά μια εξ αυτών κατακεραυνώθηκε από τον Δία εναντίον του οποίου κινήθηκε, κατ' άλλη φονεύθηκε από τον ακόλουθο του Διονύσου τον Σειλινό, κατά τρίτη που είναι και η επικρατέστερη φονεύθηκε από την Αθηνά η οποία αφού τον έτρεψε σε φυγή έρριψε εναντίον του τη Σικελία ή το όρος Αίτνα με το οποίο και τον καταπλάκωσε. Ο Εγκέλαδος κινούμενος και στενάζοντας ενίοτε μέσα στο τάφο του προκαλεί εκρήξεις ηφαιστειών και σεισμούς.



Εικόνα 1.7 – Ο Εγκέλαδος, γλυπτό που τον αναπαριστάνει στον κήπο του Κάστρου της Βερσαλλίας

1.5 Η «Αττικό Μετρό Α.Ε.» και το έργο της

Η «Αττικό Μετρό Α.Ε.» [7] είναι μια εταιρεία δημοσίου συμφέροντος η οποία με υπεύθυνο πραγματοποιεί την ανάπτυξη του δικτύου του Μετρό της Αθήνας. Οι επεκτάσεις του Μετρό της Αθήνας αποτελούν σήμερα το σημαντικότερο υπό εκτέλεση συγκοινωνιακό έργο στο Λεκανοπέδιο Αττικής. Η Γραμμή 2 (Άγ. Αντώνιος – Άγ. Δημήτριος), μήκους 11,8 χλμ με 14 Σταθμούς συνδέει τα δυτικά με τα νότια προάστια της πρωτεύουσας, εξυπηρετώντας καθημερινά περισσότερους από 350.000 επιβάτες. Η Γραμμή 3 (Αιγάλεω – Δουκ. Πλακεντίας – Αεροδρόμιο), μήκους 39,2 χλμ με 14 Σταθμούς (συν 4 σταθμούς σε κοινή χρήση με τον Προαστιακό), συνδέει το ιστορικό κέντρο της πόλης με τα βόρεια προάστια και το Αεροδρόμιο, εξυπηρετώντας 300.000 επιβάτες σε ημερήσια βάση.

Το Μετρό της Αθήνας φημίζεται για τα εντυπωσιακά αρχαιολογικά εκθέματα στους κεντρικούς Σταθμούς του δικτύου του, καθώς και για τα έργα τέχνης διακεκριμένων καλλιτεχνών σχεδόν σε όλους τους Σταθμούς των Γραμμών 2 και 3. Χάρη στην κατασκευή του Μετρό της Αθήνας πραγματοποιήθηκε συνολικά μέχρι σήμερα η μεγαλύτερη αρχαιολογική ανασκαφή στην Πρωτεύουσα (79.000 τ.μ.) η οποία έφερε στο φως περισσότερα από 50.000 αρχαιολογικά ευρήματα από την νεολιθική περίοδο έως την σύγχρονη εποχή.

Η Αττικό Μετρό ΑΕ συνεχίζει την πραγματοποίηση σημαντικών έργων με χρονοδιάγραμμα ολοκλήρωσης από το 2007 έως το 2013, με τα οποία οι υφιστάμενες Γραμμές του Μετρό επεκτείνονται συνολικά κατά 13 χλμ, 13 νέοι Σταθμοί εντάσσονται στο δίκτυο, ενώ παράλληλα πραγματοποιείται ουσιαστική βελτίωση του συστήματος για την εξυπηρέτηση ευρύτερων περιοχών με προσθήκη Σταθμών Μειεπιβίβασης από τα λεωφορεία και χώρων στάθμευσης για μειεπιβίβαση από τα ιδιωτικά μέσα (Park and Ride).

Αναλυτικότερα, σε εξέλιξη βρίσκεται η κατασκευή των επεκτάσεων:

- από το Αιγάλεω προς το Χαϊδάρι (1,5 χλμ με έναν Σταθμό),
- από τον Άγ.Δημήτριο προς το Ελληνικό (5,5 χλμ με 4 Σταθμούς),
- από τον Άγ.Αντώνιο προς την Ανθούπολη (1,5 χλμ με 2 νέους Σταθμούς),

Το κόστος των επεκτάσεων του Μετρό ανέρχεται συνολικά σε 1,4 δισ. € με χρηματοδότηση (επιδότηση) σε ποσοστό 50% από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Παράλληλα, η Αττικό Μετρό ΑΕ προχωρεί στην υλοποίηση νέων επεκτάσεων του δικτύου και στις 7 Ιουνίου 2006 δημοπράτησε την περαιτέρω επέκταση της Γραμμής 3 από το Χαϊδάρι μέχρι τον Πειραιά, την Ευαγγελίστρια, προκειμένου ο Δήμος Πειραιά να αποκτήσει 4 Σταθμούς Μετρό και να συνδεθεί με το Αεροδρόμιο. Πρόκειται για μια επέκταση συνολικού μήκους 8,2 χλμ. με 7 σύγχρονους Σταθμούς (προϋπολογισμού 570 εκ €).

Διάλογοι λαμβάνουν μέρος για την κατασκευή μιας νέας Γραμμής, της Γραμμής 4, η οποία αναμένεται να αλλάξει ολοκληρωτικά τον συγκοινωνιακό χάρτη της Αθήνας. Πρόκειται για μια Γραμμή σε σχήμα U, μήκους 20,9 χλμ με 20 Σταθμούς (προϋπολογισμού 2,1 δισ. €), η οποία θα καλύψει την διαδρομή Άλσος Βεΐκου – Πανεπιστήμιο – Ευαγγελισμός – Άνω Ιλίσια – Κατεχάκη – Μαρούσι. Η νέα Γραμμή 4 θα εξυπηρετήσει πολλές πυκνοκατοικημένες περιοχές του Λεκανοπεδίου, ενώ η εκτιμώμενη επιβατική κίνησή της υπολογίζεται σε 400.000 επιβάτες ημερησίως. Στον χάρτη που ακολουθεί φαίνονται οι εν λειτουργία και οι υπό κατασκευή γραμμές και προεκτάσεις του μετρό της Αθήνας (Εικόνα 1.8).



Εικόνα 1.8 - Χάρτης του Αττικού Μετρό. (site Αττικό μετρο)

Ίσως το πιο σημαντικό έργο της Αττικό Μετρό ΑΕ είναι η κατασκευή Μετρό στη Θεσσαλονίκη. Η Σύμβαση για την κατασκευή Μετρό μήκους 9,6 χλμ με 13 σύγχρονους Σταθμούς (προϋπολογισμού 1 δισ. €) υπογράφηκε στις 7 Απριλίου 2006 και οι κατασκευαστικές εργασίες του έργου βρίσκονται ήδη σε ανάπτυξη.

Με την εμπειρία, την τεχνογνωσία και την αποτελεσματικότητα της Αττικό Μετρό ΑΕ θεωρείται βέβαιο ότι το Μετρό της Θεσσαλονίκης θα είναι ακόμα καλύτερο από αυτό της Αθήνας, καθώς θα διαθέτει τα πλέον σύγχρονα συστήματα: δύο μονές ανεξάρτητες σήραγγες, σύστημα θυρών επί των αποβαθρών κάθε Σταθμού και 18 υπεραυτόματους συρμούς (χωρίς οδηγό) τελευταίας τεχνολογίας, πλήρως κλιματιζόμενους, κ.α.

Υπολογίζεται ότι το Μετρό της Θεσσαλονίκης θα εξυπηρετεί σε καθημερινή βάση περισσότερους από 250.000 επιβάτες. Συγχρόνως, η Αττικό Μετρό ΑΕ ξεκίνησε και τη μελέτη των επεκτάσεων του Μετρό ώστε σταδιακά να δημιουργηθεί ένα πλήρες δίκτυο στη Θεσσαλονίκη που θα εξυπηρετεί τις περισσότερες περιοχές της πόλης.

1.6 Μέθοδοι κατασκευής που χρησιμοποιεί το μετρό

Το Μετρό της Αθήνας[10],[11] είναι εξ' ολοκλήρου υπόγειο. Τοιουτοτρόπως, εξυπηρετείται ο στόχος του, ο οποίος είναι η γρήγορη μετακίνηση των πολιτών στην ευρύτερη περιοχή της Πρωτεύουσας. Για την κατασκευή των υπόγειων σταθμών και σηράγγων του Μετρό, χρησιμοποιήθηκαν σύγχρονες μέθοδοι που εξασφάλισαν ασφαλή, έντεχνη και ταχεία αποπεράτωση του έργου. Οι μέθοδοι κατασκευής του έργου χρησιμοποιήθηκαν μεμονωμένα ή σε συνδυασμό όπου κρίθηκαν εφαρμόσιμες, πάντα σε συσχετισμό με το γεωλογικό παράγοντα και τις επί τόπου συνθήκες του περιβάλλοντος χώρου.

- **Εκσκαφή με χρήση μηχανήματος Ολομέτωπης Κοπής (Tunnel Boring Machine ή TBM).**

Χρησιμοποιήθηκε για τη διάνοιξη σηράγγων και συγκεκριμένα, το TBM1 (με το όνομα «ΙΑΣΟΝΑΣ») χρησιμοποιήθηκε στο τμήμα της Γραμμής 2 από τον Στ. Λαρίσης έως τον Στ. Αγ. Ιωάννη, ενώ το TBM2 (με το όνομα «ΠΕΡΣΕΦΟΝΗ») χρησιμοποιήθηκε στο τμήμα της Γραμμής 3 από το Στ. Κατεχάκη έως το Στ. Σύνταγμα (Εικόνα 1.10).



Εικόνα 1.10 - Μηχάνημα ολομέτωπης κοπή(TBM). (Αττικό Μετρό, 2007)

- **Εκσκαφή με χρήση μηχανήματος Σημειακής Κοπής με Ανοικτή Ασπίδα (Open Face Shield).**

Χρησιμοποιήθηκε για τη διάνοιξη σηράγγων και συγκεκριμένα για την κατασκευή της σήραγγας Δάφνη – Αγ. Ιωάννης του Βασικού Έργου, μήκους 765 μ. και για το τμήμα Ανθούπολη – Περιστέρι της επέκτασης της Γραμμής 2, μήκους 910 m (Εικόνα 1.11).



Εικόνα 1.11 - Μηχάνημα σημειακής κοπής (Open Face Shield – OFS) (Αττικό Μετρό, 2007)

- **Εκσκαφή με χρήση μηχανήματος Εξισορρόπησης Εδαφικής Πίεσης (Earth Pressure Balance).**

Χρησιμοποιήθηκε για τη διάνοιξη σηράγγων, και συγκεκριμένα για την κατασκευή της σήραγγας από τον Στ. Δ. Πλακεντίας έως το φρέαρ Ξάνθου, συνολικού μήκους 3.374 μ, της επέκτασης της Γραμμής 3 προς Δουκ. Πλακεντίας, ενώ πλέον «εργάζεται» στην κατασκευή της επέκτασης της Γραμμής 2 προς Ελληνικό.

- **Χρήση Συμβατικής μεθόδου εκσκαφής σηράγγων (NATM).**

Χρησιμοποιήθηκε για την εκσκαφή σηράγγων, σε εδάφη με φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά, καθώς και στην εκσκαφή ορισμένων σταθμών του Έργου, συγκεκριμένα των σταθμών Πανεπιστήμιο, Ακρόπολη, Αμπελόκηποι, Μοναστηράκι, Ομόνοια, καθώς και του βαθύτερου τμήματος του σταθμού Συντάγματος. Επίσης η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε και σε μεγάλα τμήματα των επεκτάσεων του δικτύου προς Δουκ. Πλακεντίας, προς Αγ. Δημήτριο, προς Αγ. Αντώνιο, προς Αιγάλεω, κλπ.

• **Χρήση μεθόδου Ανοικτού Ορύγματος (Cut and Cover).**

Χρησιμοποιήθηκε κατεξοχήν για την εκσκαφή των σταθμών του Έργου, καθώς και σε ελάχιστες περιπτώσεις, για την εκσκαφή σηράγγων σε σημεία που παρουσιάστηκαν προβλήματα λόγω των πτωχών μηχανικών χαρακτηριστικών του εδάφους. Πολλά τμήματα του δικτύου του Μετρό της Αθήνας κατασκευάστηκαν με τη μέθοδο αυτή, όπως οι Σταθμοί: Σεπόλια, Αττική, Λάρισα, Μεταξουργείο, Συγγρού - Φιξ, Ν. Κόσμος, Αγ. Ιωάννης, Δάφνη της Γραμμής 2 καθώς και Εθν. Άμυνα, Κατεχάκη, Πανόρμου, Μέγαρο Μουσικής, Ευαγγελισμός, Σύνταγμα (ο σταθμός της Γραμμής 2 που είναι σε μικρότερο βάθος), καθώς και τα τμήματα σηράγγων μεταξύ των σταθμών Αττική - Λάρισα και Κατεχάκη - Εθν. Άμυνα. Επίσης, στις επεκτάσεις του δικτύου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος αυτή, όπως στους σταθμούς Αγ. Δημήτριος και Αγ. Αντώνιος, στους σταθμούς Χαλάνδρι και Δ. Πλακεντίας, καθώς και σε τμήμα της σήραγγας Δάφνη - Αγ. Δημήτριος.

• **Χρήση μεθόδου Επικάλυψης - Εκσκαφής (Cover and Cut).**

Πρόκειται για παραλλαγή της μεθόδου Ανοικτού Ορύγματος και χρησιμοποιήθηκε μόνο στον Σταθμό του Συντάγματος (της Γραμμής 2), λόγω της ιδιαιτερότητας της περιοχής.

1.7 Η διάρκεια ζωής των έργων του μετρό Αθηνών

Η διάρκεια ζωής των κατασκευών του Μετρό προδιαγράφεται σε 100 έτη. Η ανθεκτικότητα των μονίμων επενδύσεων σηράγγων και σταθμών σχετίζεται με τη κατηγορία του σκυροδέματος (αντοχή), τη σύνθεση του (ποσοστό νερού/τσιμέντου, τύπος τσιμέντου, πρόσμεικτα), το σχηματισμό ρωγμών και το πάχος επικάλυψης του οπλισμού.

Για τις συνθήκες περιβάλλοντος γίνεται ιδιαίτερη εκτίμηση. Η παρουσία δραστικών στοιχείων (χλωρίδια, θειικά) στο υπόγειο νερό ελέγχεται και λαμβάνεται υπόψη στη μελέτη της σύνθεσης του σκυροδέματος και στη διαστασιολόγηση των φορέων. Η συνθήκη "υγρό έξω / ξηρό μέσα" οδηγεί σε διήθηση και συγκέντρωση στο εσωτερικό της κατασκευής των επιβλαβών αυτών στοιχείων με άμεσο κίνδυνο διάβρωσης του οπλισμού. Μέτρα προστασίας σε τέτοιες περιπτώσεις είναι η χαμηλή διαπερατότητα του σκυροδέματος, ο περιορισμός της ρηγμάτωσης και η υδατοστεγανότητα. Σημειώνεται ότι τα υλικά που χρησιμοποιούνται στο Μετρό (ράβδοι οπλισμού, σκυρόδεμα, υδαστεγανώσεις, αγκύρια, κλπ) πρέπει να είναι σύμφωνα με τις Προδιαγραφές και τα πλέον εξελιγμένα διεθνή πρότυπα, ο δε εκάστοτε Ανάδοχος είναι υποχρεωμένος πριν την προσκόμισή τους στα εργοτάξια να υποβάλει προς έλεγχο όλα τα σχετικά πιστοποιητικά, τις δοκιμές συμμόρφωσης, τις σχετικές μελέτες σύνθεσης, το σύστημα ποιοτικού ελέγχου, κ.λπ.

1.8 Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής

Η γεωλογική δομή του λεκανοπεδίου της Αθήνας παρουσιάζει πολυπλοκότητα όσον αφορά στο γεωτεκτονικό της πλαίσιο (βλέπε Εικόνα 1.12).

Το βορειοδυτικό του τμήμα καταλαμβάνεται από τους ορεινούς όγκους του Αιγάλεω και της Πάρνηθας, που συνίστανται σχεδόν εξ ολοκλήρου από ιζηματογενείς ανθρακικούς μη μεταμορφωμένους σχηματισμούς. Οι σχηματισμοί αυτοί ανήκουν στην Πελαγονική γεωτεκτονική ζώνη.

Το βορειοανατολικό και το νοτιοανατολικό τμήμα καταλαμβάνεται από τους ορεινούς όγκους της Πεντέλης και του Υμηττού, αντίστοιχα, που συνίστανται από μεταμορφωμένους σχηματισμούς. Οι σχηματισμοί αυτοί ανήκουν στην Αττικοκυκλαδική Μεταμορφωμένη Μάζα – Υποπελαγονική γεωτεκτονική ζώνη.

Το βορειοδυτικό τμήμα του λεκανοπεδίου των Αθηνών παρουσιάζει την παρακάτω στρωματογραφική διάρθρωση (Ι.Γ.Μ.Ε., 1978):

- Στη βάση υφίσταται το ελαφρά μεταμορφωμένο Νεοπαλαιοζωϊκό υπόβαθρο μετακλαστικών σχηματισμών με ανθρακικές ενστρώσεις.
- Ακολουθούν ανθρακικά πετρώματα Τριαδικής – Ιουραϊκής ηλικίας, με μέγιστο πάχος περί τα 700 m. Στους ανωτέρω σχηματισμούς έχουν αποτεθεί οφιολιθικά πετρώματα λόγω παλαιοαλπικών πτυχώσεων.
- Τέλος, η στρωματογραφική στήλη συνεχίζεται με τους επικλυσιγενείς ασβεστόλιθους του Μέσου – Ανώτερου Κρητιδικού, που έχουν αποτεθεί ασύμφωνα στους προηγούμενους σχηματισμούς, με πάχος που ανέρχεται σε 300 m.

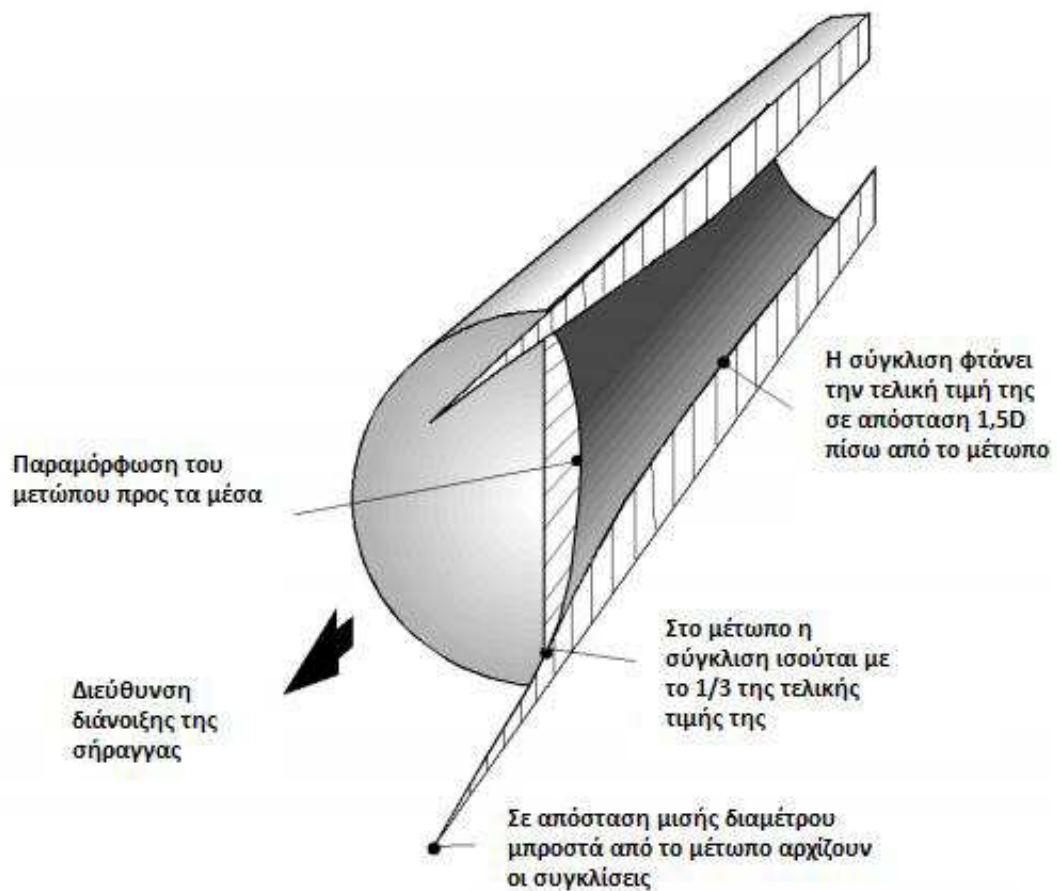


Εικόνα 1.12 - Γεωλογικός χάρτης της νοτιοανατολικής Αττικής και γεωλογική τομή των σχηματισμών της περιοχής

1.9 Θεωρία σήραγγων

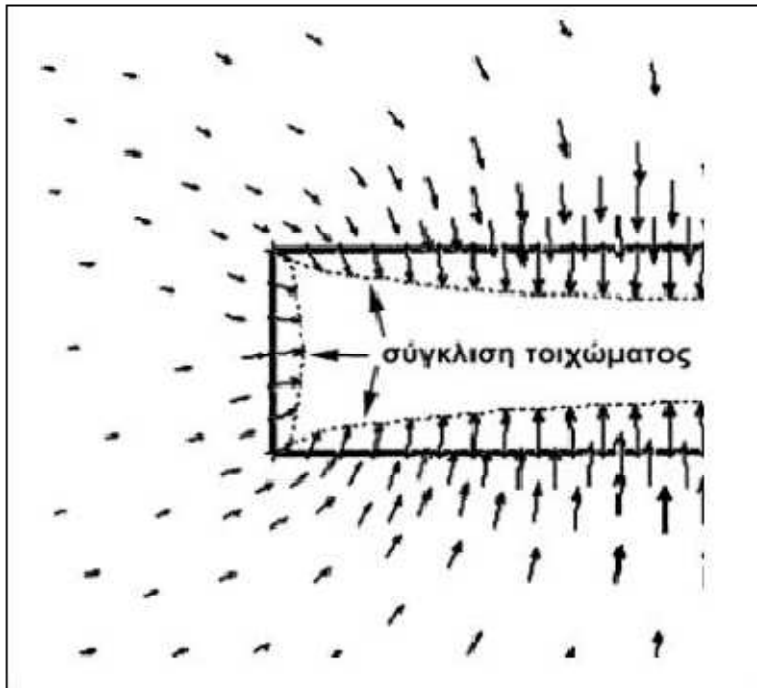
Είναι σημαντικό να παρουσιαστεί η διαδικασία της εκοκαφής σήραγγας[20] καθώς επίσης και οι συγκλίσεις που πραγματοποιούνται κατά την εκοκαφή. Με αυτόν τον τρόπο θα γίνει κατανοητή η 1^η και η 2^η φάση της μοντελοποίησης όπως αυτή εξηγείται αναλυτικά στο κεφάλαιο 2.

Οι συγκλίσεις [6] αρχίζουν σε απόσταση 0,5-0,75D (D:διάμετρος της σήραγγος). Έμπροσθεν του μετώπου και ολοκληρώνονται 1,5D πίσω από αυτό. Στο μέτωπο έχει λάβει μέρος περίπου 25%-35% της ολικής σύγκλισης. Στο σχήμα παρουσιάζονται τα πιο σημαντικά στοιχεία των συγκλίσεων γύρω από μία σήραγγα.



Εικόνα 1.13 – Παρουσίαση των βασικών χαρακτηριστικών συγκλίσεων γύρω από μία σήραγγα

Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τρισδιάστατη ανάλυση με τη χρήση πεπερασμένων στοιχείων [8] της παραμόρφωσης της βραχόμαζας η οποία περιβάλλει μία κυκλική σήραγγα. Ο λόγος της αντοχής της βραχόμαζας σ_m ως προς τις τάσεις του πεδίου p_0 θα καθορίσουν την ευστάθεια της βραχόμαζας.



Εικόνα 1.14 – Εικόνα παραμόρφωσης της βραχόμαζας γύρω από μία σήραγγα

Πριν την εκοκαφή της σήραγγας η εντατική κατάσταση τυχαίου σημείου στην περιοχή της διάνοιξης και σε βάθος h από τη φυσική επιφάνεια του εδάφους δίνεται από τις ενεργές τάσεις, κατακόρυφες και οριζόντιες αντίστοιχα:

$$\sigma_v' = \gamma \cdot h - u_0 \quad (1.1)$$

$$\sigma_h' = k_0 \cdot \sigma_v \quad (1.2)$$

όπου γ : το ειδικό βάρος των υπερκείμενων γαιών

u_0 : η υδροστατική πίεση πόρων που υπολογίζεται ως το γινόμενο του ειδικού βάρους του νερού $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$ επί το πιεζομετρικό ύψος $z(\text{m})$

k_0 : ο συντελεστής ουδέτερης ώθησης

Κατά την εκσκαφή μεταβάλλεται η εντατική κατάσταση με κύριο χαρακτηριστικό τη σημαντική μεταβολή των κυρίων τάσεων. Αυτή η αλλαγή περιγράφεται από το συντελεστή συγκέντρωσης τάσεων, δηλαδή του λόγου της νέας τάσης προς αυτή πριν την εκσκαφή. Αυτός εξαρτάται από:

- τη μορφή της σήραγγας
- τη σχέση των διαστάσεων της διατομής
- την αρχική εντατική κατάσταση
- τη θέση του θεωρούμενου σημείου
- τις παραμέτρους μηχανικής συμπεριφοράς της βραχώμαζας
- γεωλογικούς παράγοντες, όπως ασυνέχειες.

Προκειμένου να υπολογιστούν οι τάσεις [9] γύρω από κυκλική σήραγγα ακτίνας R σε μεγάλο βάθος, όπως φαίνεται παρακάτω, γίνεται η παραδοχή ισότροπης αρχικής γεωστατικής έντασης ($\sigma_{v0} = \sigma_{h0} = p_0$), της επίπεδης παραμόρφωσης κατά τον κατακόρυφο άξονα z και ότι το έδαφος είναι ελαστικό – απολύτως πλαστικό ενώ η αστοχία γίνεται κατά Mohr–Coulomb με τις ισοδύναμες παραμέτρους αντοχής c , φ ως εξής:

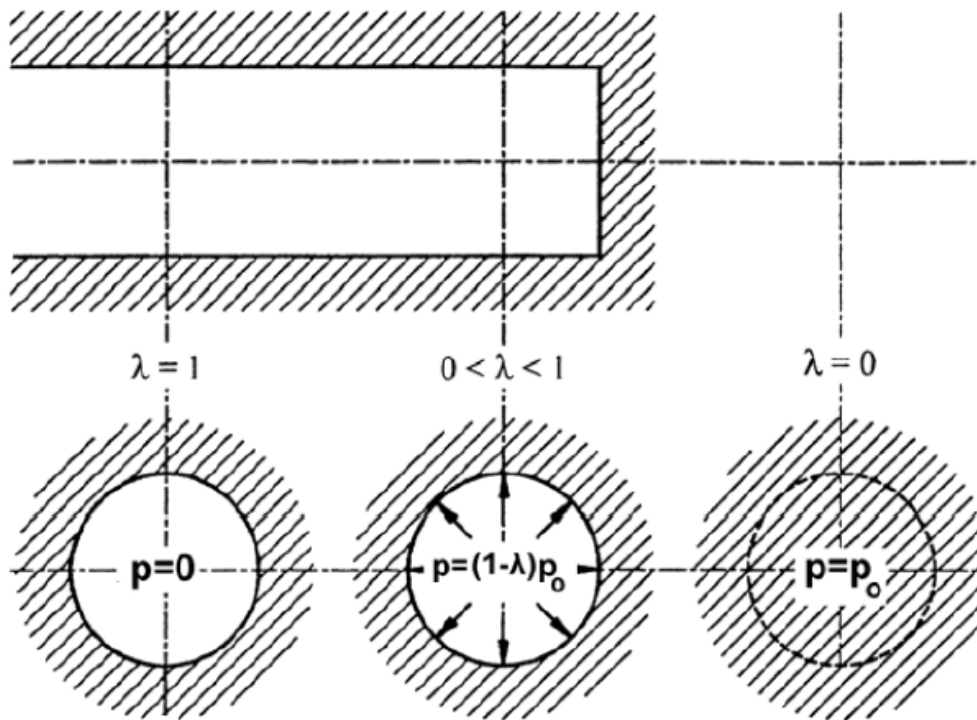
$$\sigma_1' = \sigma_{cm} + k \cdot \sigma_v \quad (1.3)$$

όπου
$$\sigma_{cm} = \frac{2c \cdot \cos \varphi}{(1 - \sin \varphi)} \quad (1.4)$$

και
$$k = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad (1.5)$$

Καθώς η εκσκαφή της σήραγγας προχωράει, η αρχική εσωτερική πίεση (p_0) που ισούται με την αρχική γεωστατική ένταση μειώνεται [15] βαθμιαία σε p και τελικά μηδενίζεται όταν επέλθει η πλήρης αποτόνωση της εσωτερικής πίεσης. Ορίζεται, επομένως, ο συντελεστής αποτόνωσης λ για τον οποίο ισχύει:

$$\lambda = 1 - p/p_0 \quad (1.6)$$



Εικόνα 1.15 - Φάσεις εσωτερικής πίεσης μετά την εκσκαφή σήραγγας

Αρχικά, η βραχώμαζα συμπεριφέρεται ελαστικά, αλλά όσο προχωράει το μέτωπο και μειώνεται η εσωτερική πίεση, επέρχεται πλαστικοποίηση του εδάφους γύρω από το τοίχωμα της σήραγγας. Για να παραμείνει το έδαφος ελαστικό, η ελάχιστη εσωτερική πίεση είναι:

$$p = \frac{2p_0 - \sigma_{cm}}{1 + k} \quad (1.7)$$

1.10 Θεωρητικό υπόβαθρο του Plaxis

Στόχος της προσομοίωσης είναι να μοντελοποιηθεί η εδαφική διαστρωμάτωση βασισμένη σε γεωτρήσεις, να εισαχθούν οι σεισμικές καταγραφές στο βράχο και να μελετηθεί η επίδραση της παρουσίας σήραγγος στην τιμή της επιτάχυνσης στην εδαφική επιφάνεια.

Δύο λογισμικά πακέτα χρησιμοποιήθηκαν σε αυτήν την εργασία, το Plaxis [1] το οποίο μπορεί να μοντελοποιήσει το άνοιγμα της σήραγγας και θεωρεί το έδαφος ελαστικό υλικό και το Shake [2] το οποίο δεν έχει τη δυνατότητα να μοντελοποιήσει τούνελ και θεωρεί το έδαφος μη ελαστικό.

A) Plaxis2d:

Πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων.

Μοντελοποιεί την εδαφική διαστρωμάτωση ως ελαστικό σύστημα.

Παρέχει δυνατότητα μοντελοποίησης σήραγγος.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΟΥ PLAXIS

Ακολουθώς παρουσιάζονται οι βασικές εξισώσεις για τη στατική παραμόρφωση ενός εδαφικού σώματος.

Η στατική ισορροπία ενός συνεχούς μέσου μπορεί να οριστεί ως εξής:

$$\underline{\underline{L}}^T \cdot \underline{\underline{\sigma}} + \underline{\underline{p}} = \underline{\underline{0}} \quad (1.8)$$

Αυτή η εξίσωση συνδέει τα 6 συστατικά της τάσης $\{\sigma\}$ με τα 3 συστατικά των δυνάμεων του σώματος $\{p\}$. Το $\{L^T\}$ είναι μητρώο μετασχηματισμού όπως παρουσιάζεται ακολούθως:

$$\underline{\underline{L}}^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial z} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (1.9)$$

Επίσης, η κινηματική εξίσωση ορίζεται ως ακολούθως:

$$\underline{\underline{\varepsilon}} = \underline{\underline{L}} \underline{\underline{u}} \quad (1.10)$$

Όπου $\{\varepsilon\}$ είναι το μητρώο παραμορφώσεων και $\{u\}$ το μητρώο μετακινήσεων. Το μητρώο $\{L\}$ προσδιορίστηκε προηγουμένως.

Παρόλ'αυτα, χρησιμοποιείται μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων και συγκεκριμένα η μέθοδος Galerkin:

$$\int \delta \underline{\underline{u}}^T (\underline{\underline{L}}^T \underline{\underline{\sigma}} + \underline{\underline{p}}) dV = 0 \quad (1.11)$$

Λαμβάνοντας υπόψη το θεώρημα του Green για μερική ολοκλήρωση έχουμε:

$$\int \delta \underline{\underline{\varepsilon}}^T \underline{\underline{\sigma}} dV = \int \delta \underline{\underline{u}}^T \underline{\underline{p}} dV + \int \delta \underline{\underline{u}}^T \underline{\underline{t}} dS \quad (1.12)$$

Η ανάπτυξη της τάσης παρουσιάζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\underline{\underline{\sigma}}^i = \underline{\underline{\sigma}}^{i-1} + \Delta \underline{\underline{\sigma}} \quad (1.13)$$

Εάν συνδυάσουμε όλες τις παραπάνω εξισώσεις τελικά έχουμε:

$$\int \delta \underline{\underline{\varepsilon}}^T \Delta \underline{\underline{\sigma}} dV = \int \delta \underline{\underline{u}}^T \underline{\underline{p}}^i dV + \int \delta \underline{\underline{u}}^T \underline{\underline{t}}^i dS - \int \delta \underline{\underline{\varepsilon}}^T \underline{\underline{\sigma}}^{i-1} dV \quad (1.14)$$

ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Σύμφωνα με τη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων ένα συνεχές μέσο χωρίζεται σε αριθμό από ανεξάρτητα στοιχεία. Κάθε στοιχείο αποτελείται από συγκεκριμένο αριθμό κόμβων. Κάθε κόμβος έχει ορισμένο αριθμό βαθμών ελευθερίας που αντιστοιχούν σε διακριτές μετακινήσεις. Σε ένα στοιχείο το μητρώο μετακινήσεων \underline{u} λαμβάνονται από τις επικόμβιες μετακινήσεις (\underline{v}) χρησιμοποιώντας τις συναρτήσεις σχήματος (μητρώα \underline{N}).

$$\underline{u} = \underline{\underline{N}} \underline{v} \quad (1.15)$$

Έτσι, η κινηματική σχέση μετατρέπεται σε:

$$\underline{\underline{\varepsilon}} = \underline{\underline{L}} \underline{\underline{N}} \underline{v} = \underline{\underline{B}} \underline{v} \quad (1.16)$$

Όπου $\{\underline{B}\}$ είναι το μητρώο παραμορφώσεων. Έτσι, παίρνω την ακόλουθη μορφή:

$$\int \underline{\underline{B}}^T \Delta \underline{\underline{\sigma}} dV = \int \underline{\underline{N}}^T \underline{\underline{p}}^i dV + \int \underline{\underline{N}}^T \underline{\underline{t}}^i dS - \int \underline{\underline{B}}^T \underline{\underline{\sigma}}^{i-1} dV \quad (1.17)$$

Η παραπάνω εξίσωση εκφράζει το παραμορφώσιμο σε διακριτοποιημένη μορφή. Ο πρώτος όρος στο δεξιό μέρος μαζί με το δεύτερο όρο αντιπροσωπεύουν το διάνυσμα της εξωτερικής φόρτισης και ο τελευταίος όρος αντιπροσωπεύει το διάνυσμα της εσωτερικής αντίδρασης από το προηγούμενο βήμα. Η διαφορά μεταξύ της εξωτερικής δύναμης και της εσωτερικής αντίδρασης εξισορροπείται από τη διαφορά τάσης $\Delta \sigma$.

1.11 Θεωρητικό υπόβαθρο του Shake[2]

B) Shake:

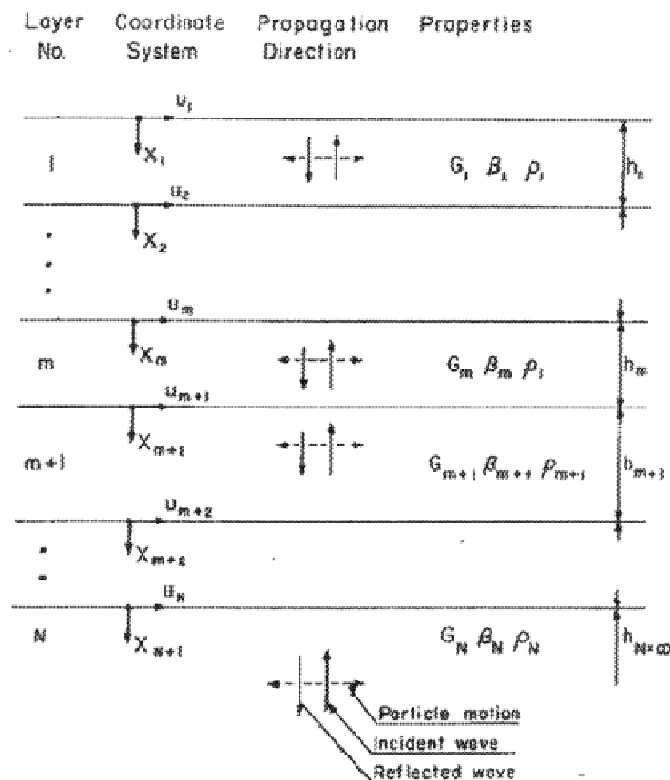
Πρόγραμμα αναλυτικών σχέσεων.

Μοντελοποιεί την εδαφική διαστρωμάτωση ως μη ελαστικό σύστημα.

Δεν παρέχει δυνατότητα μοντελοποίησης σήραγγος.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΟΥ SHAKE

Η θεωρία εκτιμά την απόκριση που σχετίζεται με την κατακόρυφη διάδοση κυμάτων μέσω βισκοελαστικού συστήματος όπως φαίνεται στην εικόνα 1.16. Το σύστημα αποτελείται από N οριζόντιες στρώσεις που εκτείνονται στο άπειρο σε οριζόντια διεύθυνση και σε ημικώρο στην κατακόρυφη. Κάθε στρώση είναι ομογενής και ισότροπη και χαρακτηρίζεται από το πάχος h , πυκνότητα ρ , μέτρο διάτμησης G και συντελεστή απόσβεσης β .



Εικόνα 1.16 – Διάδοση κατακορύφων κυμάτων μέσω βισκοελαστικού συστήματος

Εξισώσεις διάδοσης κυμάτων σε μία διεύθυνση

Τα κατακόρυφα κύματα θα προκαλέσουν μόνο οριζόντιες μετακινήσεις.

$$u = u(x, t) \quad (1.18)$$

Οι μετακινήσεις πρέπει να ακολουθούν την εξίσωση:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} \quad (1.19)$$

Αρμονικές μετακινήσεις με συχνότητα ω μπορούν να γραφούν:

$$u(x, t) = U(x) \cdot e^{i\omega t} \quad (1.20)$$

Από την παραπάνω διαφορική εξίσωση λαμβάνω ως γενική λύση την ακόλουθη:

$$U(x) = Ee^{ikx} + Fe^{-ikx} \quad (1.21)$$

όπου έχω:

$$k^2 = \frac{\rho\omega^2}{G + i\omega\eta} = \frac{\rho\omega^2}{G^*} \quad (1.22)$$

k είναι ο συντελεστής διάδοσης κύματος και G^* σύνθετο μέτρο διατμητικής δυσκαμψίας. Ο κρίσιμος συντελεστής απόσβεσης, β , συνδέεται με το συντελεστή ιξώδους η με την ακόλουθη σχέση:

$$\omega\eta = 2G\beta \quad (1.23)$$

Πειράματα σε διάφορα εδαφικά υλικά έχουν δείξει ότι το G και το β είναι περίπου σταθερά για διάφορες τιμές συχνότητων. Τοιουτοτρόπως, είναι καλύτερο να εκφράσουμε το μέτρο G ως προς β και όχι ως προς το ω .

$$G^* = G + i\omega\eta = G(1 + 2i\beta) \quad (1.24)$$

Όπου το G^* θεωρείται ανεξάρτητο της συχνότητας.

Ομοίως, υπολογίζεται η διατμητική τάση:

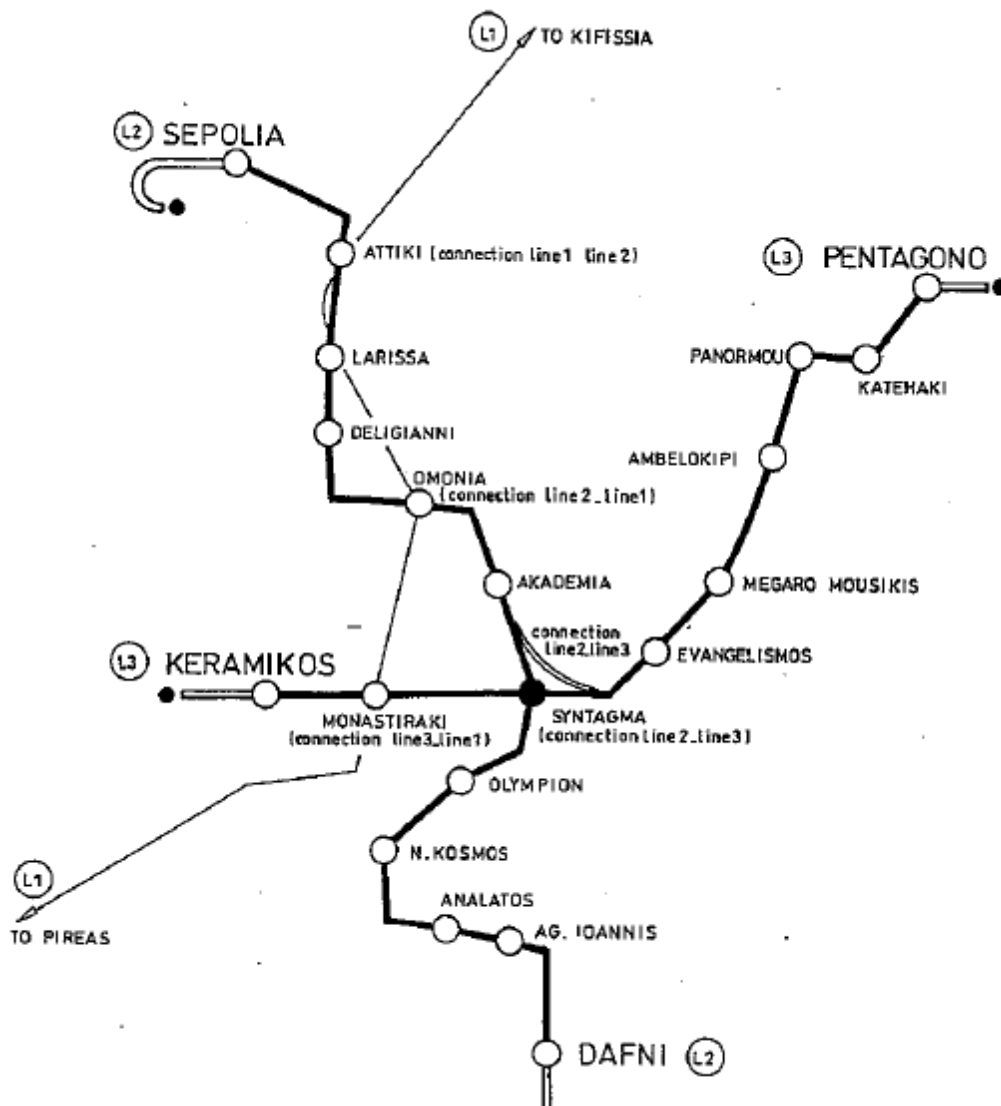
$$\tau(x, t) = G \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + \eta \cdot \frac{\partial u}{\partial x \partial t} = G^* \frac{\partial u}{\partial x} \quad (1.25)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2– **ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**

2. Κεφάλαιο 2 - Διαδικασία Ανάλυσης

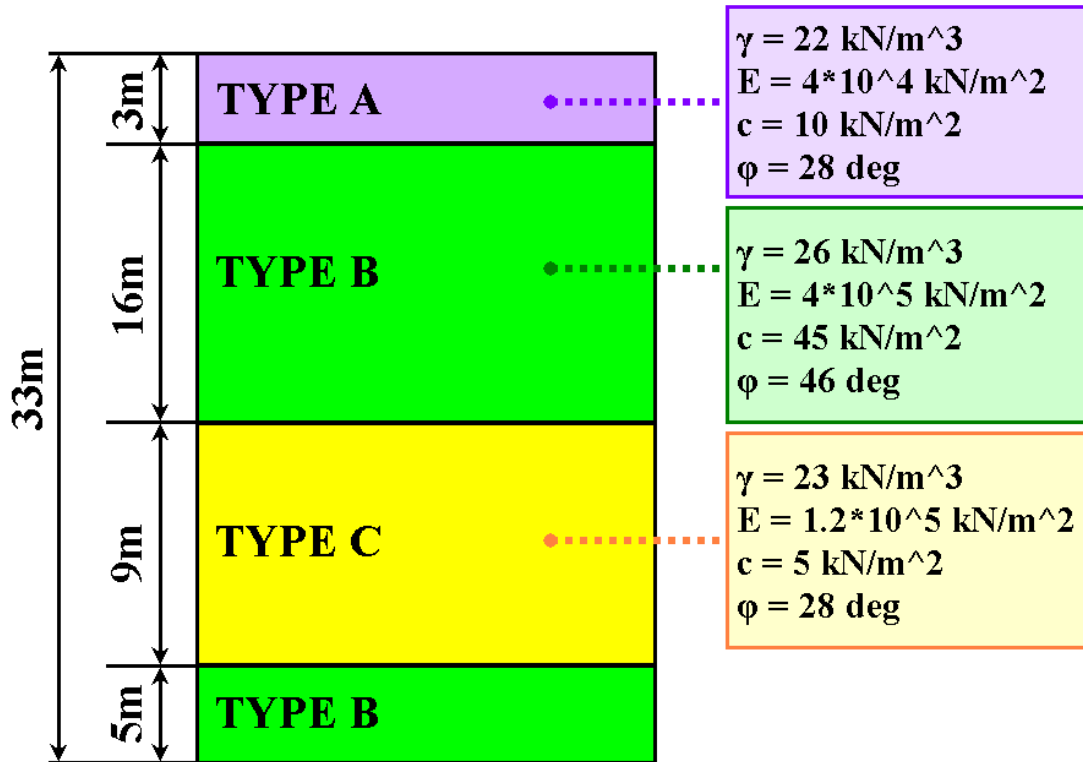
2.1 Προσδιορισμός του εδαφικού προφίλ

Αρχικά, το εδαφικό προφίλ προσδιορίζεται. Τα γεωτεχνικά δεδομένα ελήφθησαν από την εταιρεία Αττικό Μετρό Α.Ε. από γεωτρήσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή του συντάγματος κατά τη διάρκεια της κατασκευής του μετρό στην Αθήνα. Στο σχήμα φαίνονται οι σταθμοί του μετρό καθώς και αυτός του συντάγματος.



Σχήμα 2.1 – Το δίκτυο σταθμών του Μετρό στην Αττική

Στο σχήμα παρουσιάζεται το εδαφικό προφίλ.



Σχήμα 2.2 – Το εδαφικό προφίλ από γεωτρήσεις στο Σύνταγμα

Όπου:

γ : ειδικό βάρος εδάφους,

E : Μέτρο Ελαστικότητας του Young,

c : ενεργός συνοχή,

ϕ : ενεργός εσωτερική γωνία τριβής.

Όπως φαίνεται στο σχήμα υπάρχουν 3 είδη εδαφικών στρώσεων.

Type A: Βρίσκεται στην επιφάνεια και μέχρι βάθος 3m με χαρακτηριστικά $\gamma=22 \text{ kN/m}^3$ ειδικό βάρος εδάφους, $E=40000 \text{ kN/m}^2$ Μέτρο Ελαστικότητας του Young, $c=10 \text{ kPa}$ ενεργός συνοχή, $\phi=28^\circ$ ενεργός εσωτερική γωνία τριβής.

Type B: Βρίσκεται σε βάθος από 3m μέχρι 19 m και σε βάθος από 28 m μέχρι 33 m με χαρακτηριστικά $\gamma=26 \text{ kN/m}^3$ ειδικό βάρος εδάφους, $E=400000 \text{ kN/m}^2$ Μέτρο

Ελαστικότητα του Young, $c=45 \text{ kPa}$ ενεργός συνοχή, $\varphi=46^\circ$ ενεργός εσωτερική γωνία τριβής.

Type C: Βρίσκεται σε βάθος από 19m μέχρι 28m και με χαρακτηριστικά $\gamma=23 \text{ kN/m}^3$ ειδικό βάρος εδάφους, $E=120000 \text{ kN/m}^2$ Μέτρο Ελαστικότητας του Young, $c=5 \text{ kPa}$ ενεργός συνοχή, $\varphi=28^\circ$ ενεργός εσωτερική γωνία τριβής.

Τέλος, σε βάθος 33m βρίσκεται ο βράχος.

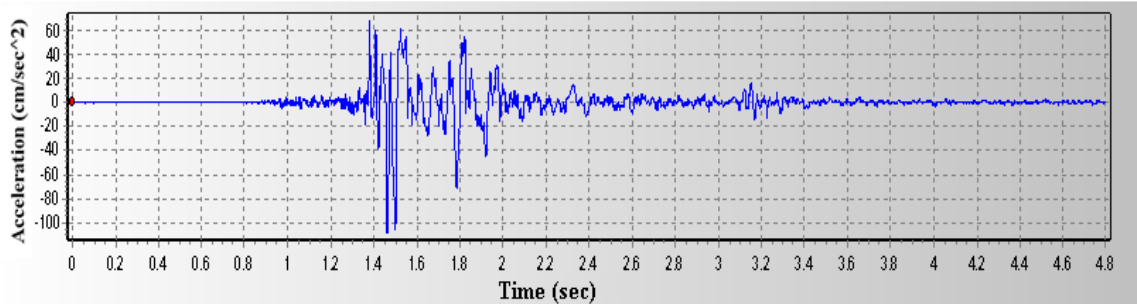
2.2 Σεισμικές καταγραφές ανάλυσης

Καταγραφές για τρεις γνωστές δυνατές σεισμικές διεγέρσεις χρησιμοποιήθηκαν σε αυτήν την έρευνα:

- ❖ Αθήνα (Ελλάδα) 1999
- ❖ Κόμπε (Ιαπωνία) 1995
- ❖ Ντότσε (Τουρκία) 1999

Όλες οι σεισμικές καταγραφές που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζουν φαινόμενα κοντινού πεδίου. [3], [4].

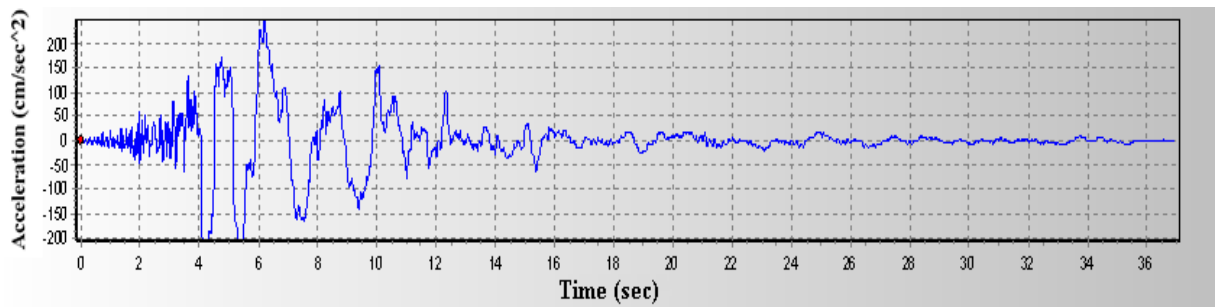
Στα σχήματα παρουσιάζονται οι σεισμικές καταγραφές στο βράχο των τριών γεγονότων.



Σχήμα 2.3 - Σεισμός Αθήνας [12] (Ελλάδα) 1999

Μέγιστη Επιτάχυνση : $1.08 \text{ (m/s}^2\text{)}$,

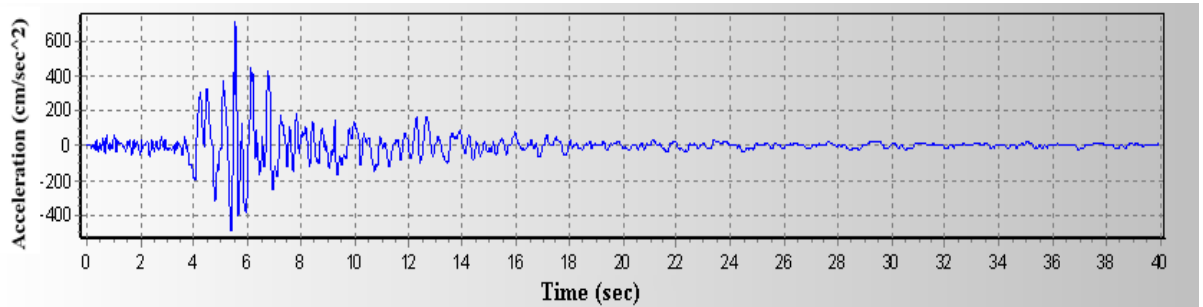
Εκτιμώμενη Ενεργός Επιτάχυνση (EDA) : $0.37 \text{ (m/s}^2\text{)}$



Σχήμα 2.4 - Σεισμός Κόμπε (Ιαπωνία) 1995

Μέγιστη Επιτάχυνση : $3.09 (m/s^2)$,

Εκτιμώμενη Ενεργός Επιτάχυνση (EDA) : $3.09 (m/s^2)$



Σχήμα 2.5 - Ντότσε (Τουρκία) 1999

Μέγιστη Επιτάχυνση : $7.14 (m/s^2)$,

Εκτιμώμενη Ενεργός Επιτάχυνση (EDA) : $5.99 (m/s^2)$

2.3 Προσομοίωση με τη χρήση του προγράμματος Plaxis

Το Plaxis είναι:

Πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων

Προσομοιώνει το εδαφικό προφίλ ως ελαστικό σύστημα

Έχει τη δυνατότητα μοντελοποίησης σήραγγος

ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Θεωρώ επίπεδη παραμόρφωση.

Γίνεται χρήση πεπερασμένων στοιχείων με 15-κόμβους.

Μονάδα χρόνου(s), Μονάδα μήκους (m), Μονάδα Δύναμης (kN)

Το Plaxis διαθέτει 4 στάδια:

1. Plaxis Input- Εισαγωγή Δεδομένων
2. Plaxis Calculations- Υπολογισμοί
3. Plaxis Output- Εξαγωγή Δεδομένων
4. Plaxis Curves- Καμπύλες Αποτελεσμάτων

Αναλυτικά παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθείται στο πρόγραμμα ακολούθως:

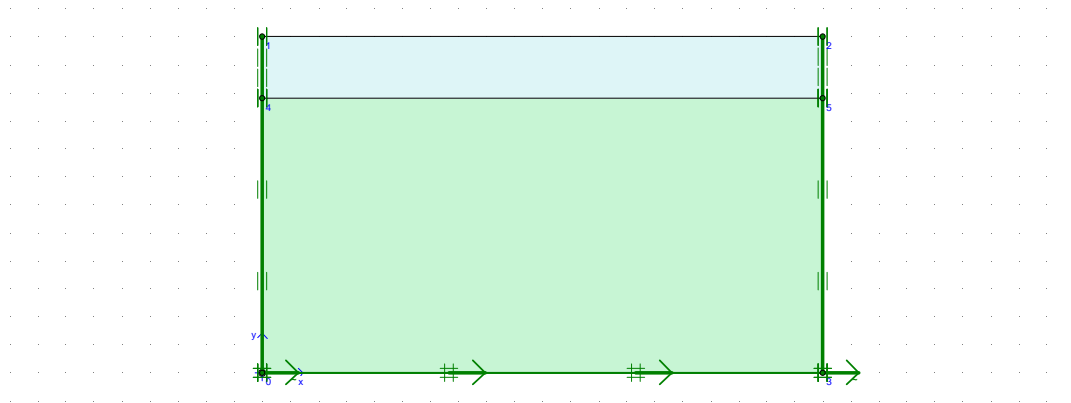
1 PLAXIS INPUT

Επιλέγονται οι μονάδες που θα χρησιμοποιηθούν :

Μονάδα χρόνου(s), Μονάδα μήκους (m), Μονάδα Δύναμης (kN)

Στη συνέχεια ορίζονται οι συνοριακές συνθήκες:

ΣΥΝΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ



Εικόνα 2.1 – Οι συνοριακές συνθήκες τυπυ εδαφικού προφίλ στο Plaxis

«STANDARD FIXITIES»

- Κάτω Όριο : $u_x=0$, $u_y=0$
- Πλευρικά Όρια : $u_x=0$, $u_y=free$

«ABSORBENT BOUNDARY CONDITIONS» (απορροφά σεισμικά κύματα)

- Κάτω Όριο
- Πλευρικά Όρια

«PRESCRIBED DISPLACEMENTS» (στο κάτω όριο-βράχο θα επιβάλλω επιταχυνσιογραφήματα)

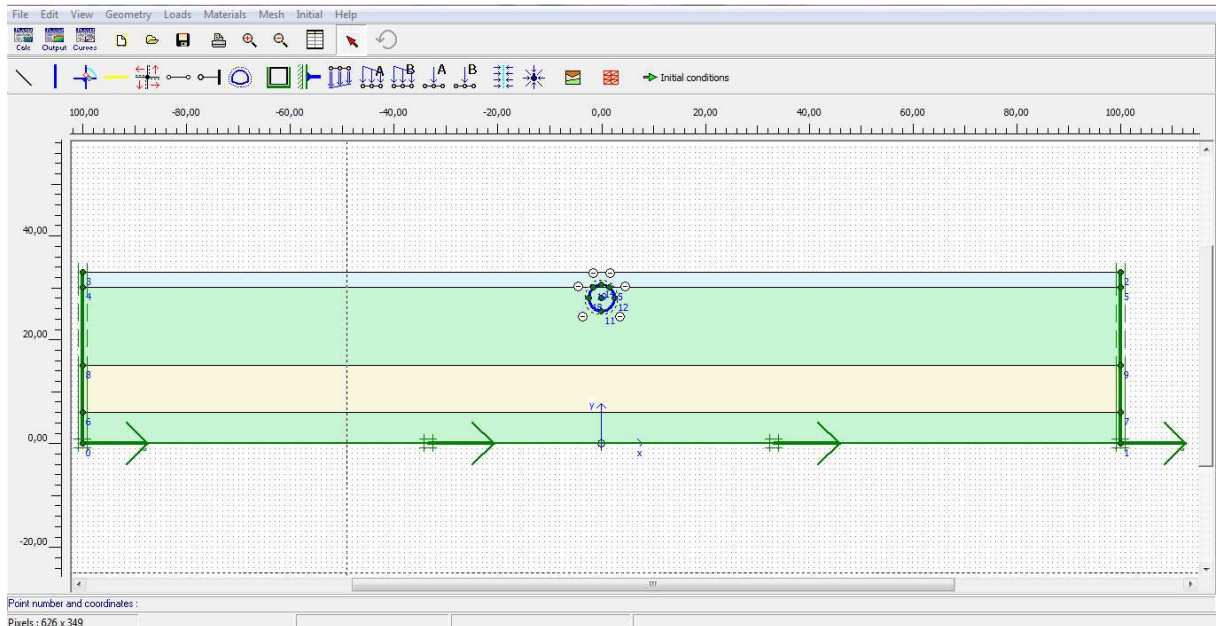
- Κάτω Όριο:

$d_x= 0.01$ (αφού το επιταχυνσιογράφημα είναι σε cm/s^2)

$d_y= 0$

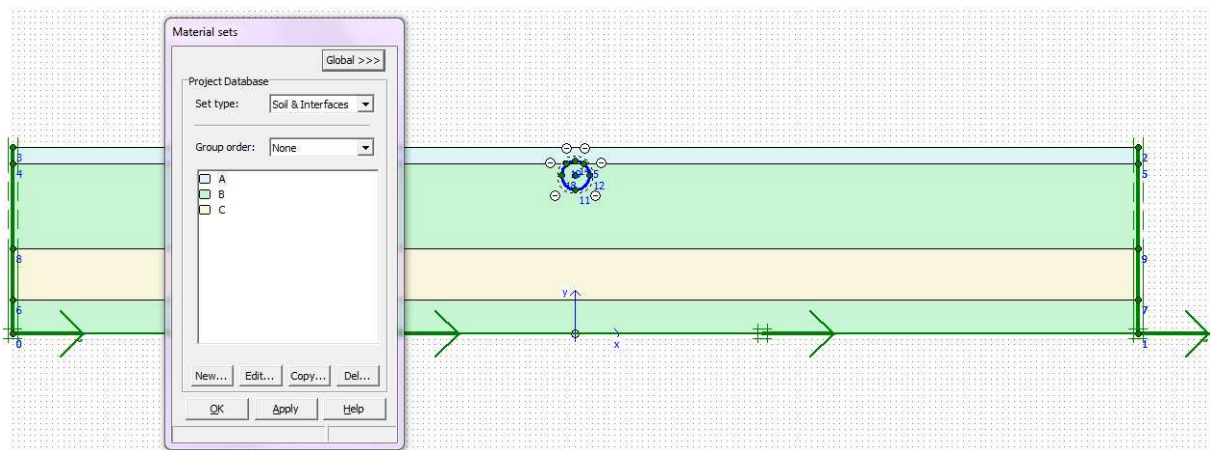
Εναλλακτικά πατώ απλά («Standard earthquake boundaries») στο πρόγραμμα και εφαρμόζονται οι άνω συνοριακές συνθήκες.

Στο τέλος της μοντελοποίησης η μορφή του μοντέλου είναι η ακόλουθη.



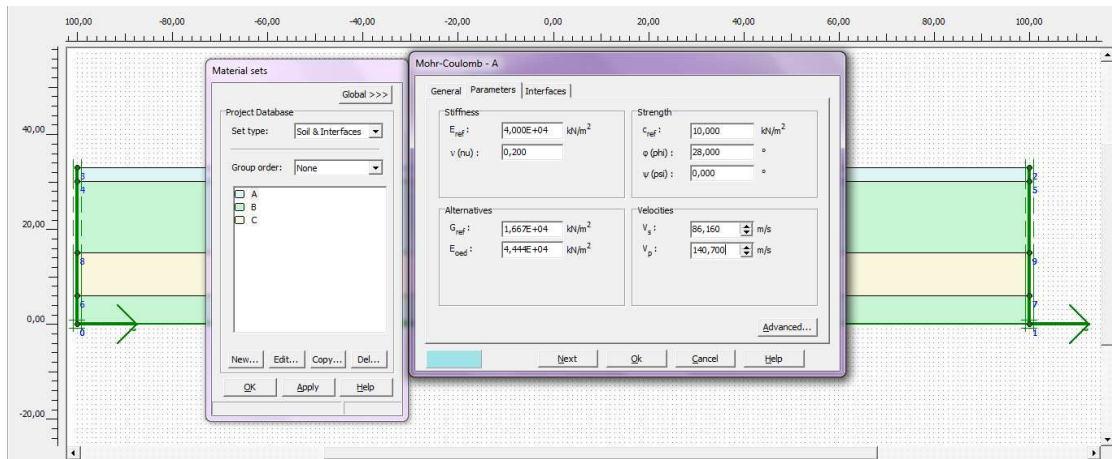
Εικόνα 2.2 – Τελική εικόνα του μοντέλου στο Plaxis πριν από τους υπολογισμούς

Στη συνέχεια επιλέγονται τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν καθώς και οι ιδιότητες τους. Όπως φαίνεται στο σχήμα το διαφορετικό χρώμα υποδεικνύει τα διάφορα είδη εδαφών. Πατώντας την επιλογή «Material set» ορίζω τα υλικά.



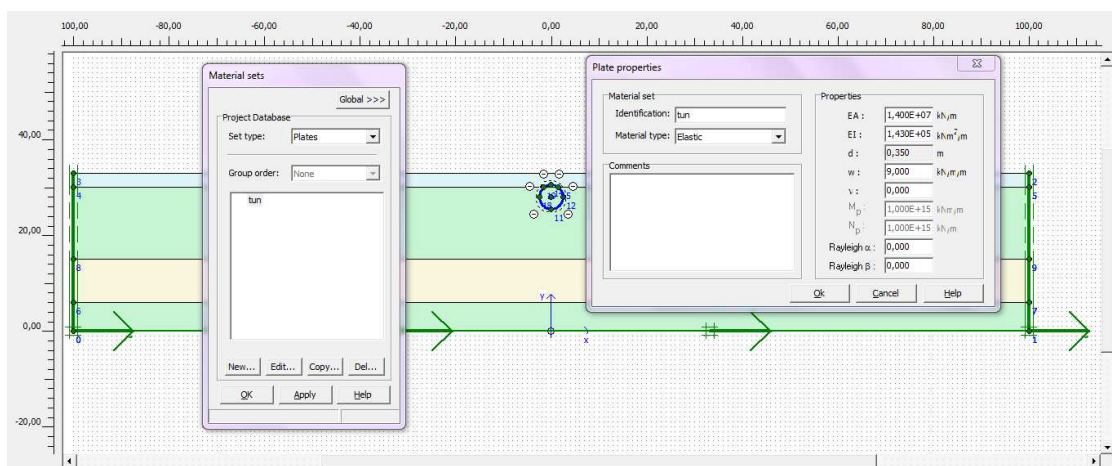
Εικόνα 2.3 – Ο πίνακας των υλικών στο Plaxis και ο ορισμός τους

Πατώντας διπλό κλικ στην ονομασία του εκάστοτε υλικού είναι δυνατό να προσδιοριστούν οι ιδιότητες του. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένας από τους πίνακες ιδιοτήτων του υλικού «A», το οποίο αναφέρεται στην ανώτερη στρώση της εδαφικής διαστρωμάτωσης.



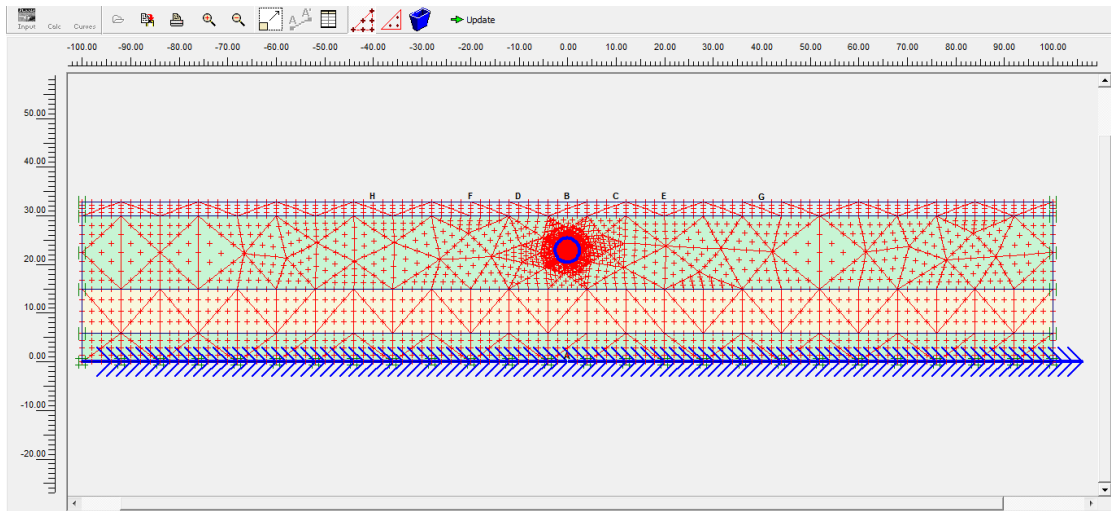
Εικόνα 2.4 – Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών των υλικών του εδάφους στο Plaxis

Παρομοίως, ορίζονται οι ιδιότητες του υλικού «tun», το οποίο αναφέρεται στη σήραγγα.



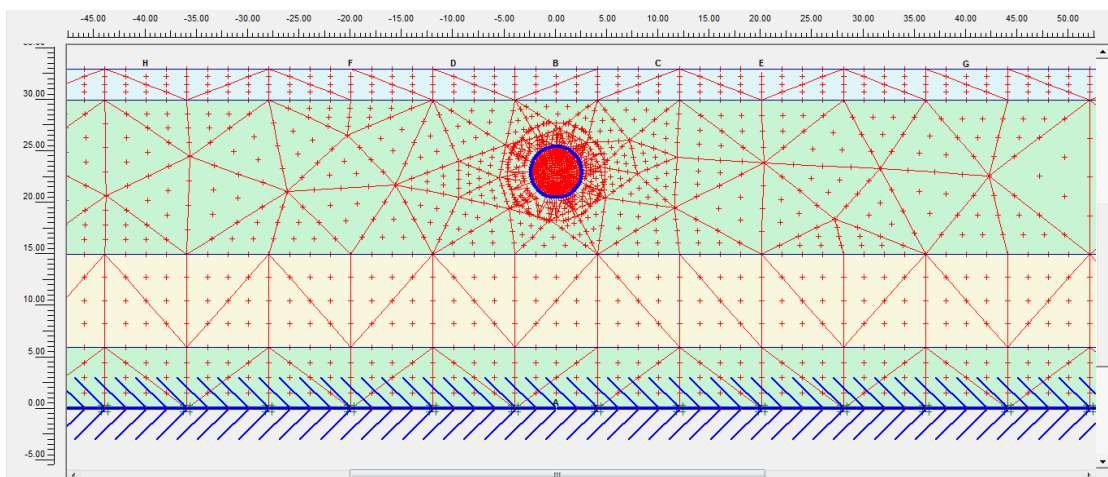
Εικόνα 2.5 – Ο ορισμός του υλικού της σήραγγας στο Plaxis

Το πιο σημαντικό ίσως βήμα σε ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων είναι η δημιουργία του πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων («meshing»). Εκλέγεται αρκετά πυκνό πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων με 15-κομβικά στοιχεία.



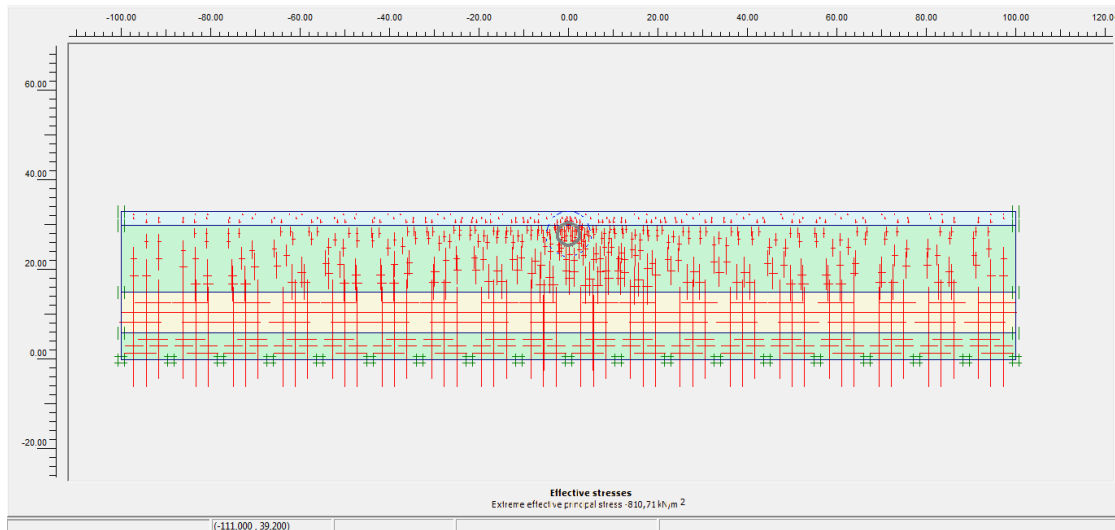
Εικόνα 2.6 – Εικόνα του πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων στο Plaxis

Το πεδίο τάσεων, μετακινήσεων, επιταχύνσεων κτλ κοντά στη σήραγγα είναι πολύπλοκα λόγω γεωμετρίας. Για ακρίβεια στους υπολογισμούς πυκνώνεται το πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων κοντά στη διεπιφάνεια εδάφους-σήραγγος. Με την πύκνωση των πεπερασμένων στοιχείων αυξάνεται ο αριθμός των σημείων ελέγχου οπότε έχω μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς.



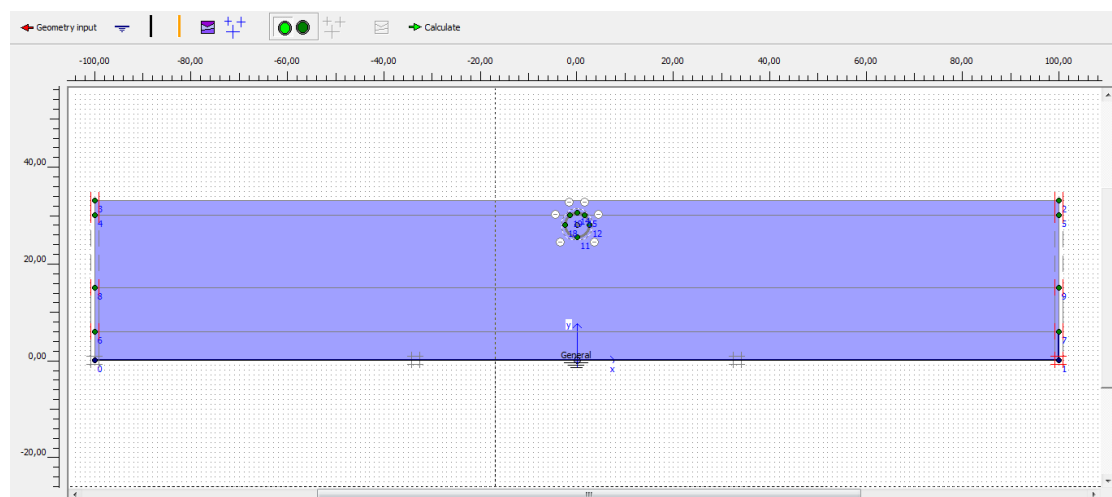
Εικόνα 2.7 – Πύκνωση του πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων κοντά στη σήραγγα στο Plaxis

Ακολούθως, με τη βοήθεια του προγράμματος είναι δυνατός ο υπολογισμός των γεωστατικών τάσεων του εδάφους. Δηλαδή, των αρχικών ενεργών τάσεων του εδάφους.



Εικόνα 2.8 – Υπολογισμός των αρχικών ενεργών τάσεων του εδάφους στο Plaxis

Στη συνέχεια, ορίζεται η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και δίνεται η δυνατότητα για υπολογισμό των υπερπιέσεων πόρων.

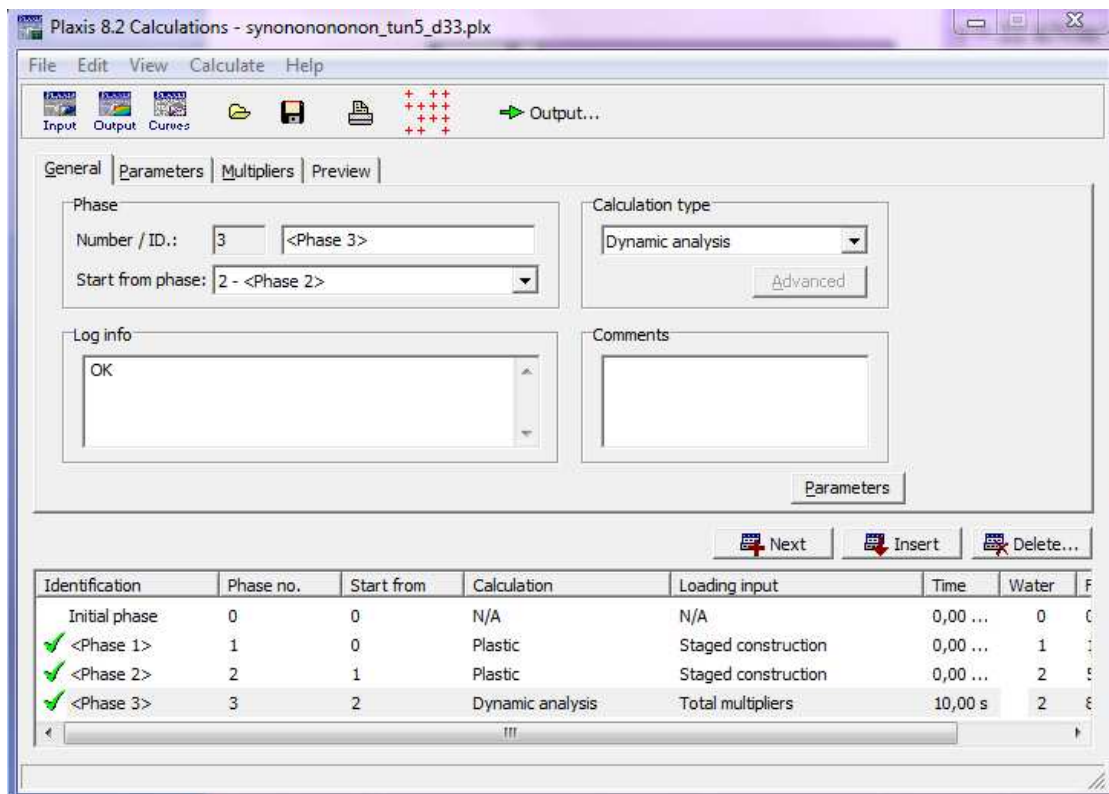


Εικόνα 2.9 – Ορισμός της Σ.Υ.Ο και υπολογισμός των υπερπιέσεων του νερού στο Plaxis.

2 PLAXIS CALCULATIONS

Σε αυτήν την φάση ορίζονται τα διάφορα στάδια των υπολογισμών και έπειτα εκτελούνται οι υπολογισμοί. Προκειμένου η διαδικασία της προσομοίωσης να θεωρηθεί επιτυχής πρέπει το πρόγραμμα να συμφωνεί με την πραγματικότητα. Έτσι, στο πρόγραμμα η προσομοίωση θα γίνει σε φάσεις οι οποίες συμφωνούν με τις φάσεις κατασκευής στην πραγματικότητα. [16], [17]

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – 3 ΦΑΣΕΙΣ



Εικόνα 2.10 – Πίνακας της φάσης υπολογισμών στο Plaxis

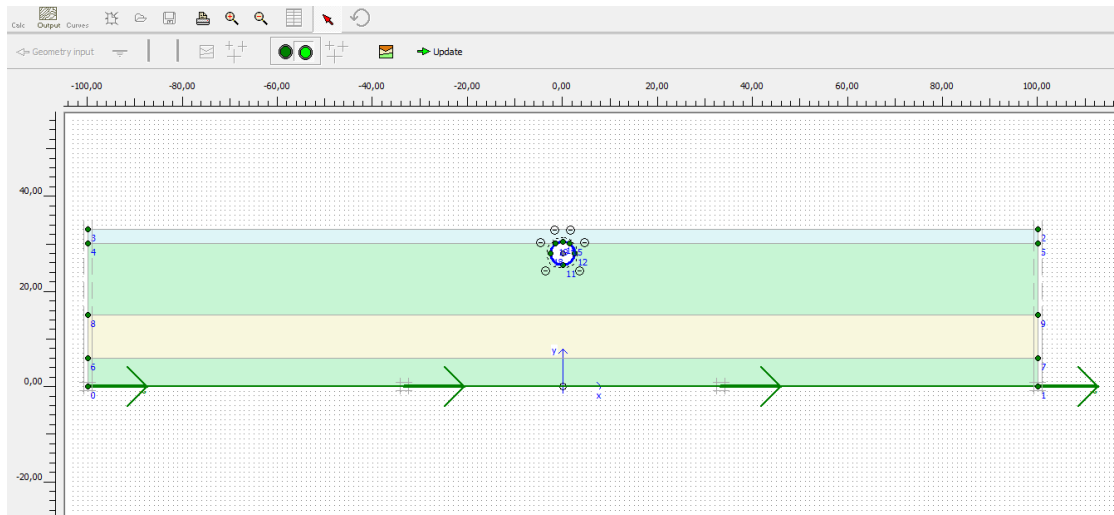
1) ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Αυτή η φάση προσομοιώνει τη φάση κατασκευής της σήραγγας αλλά χωρίς να έχει επέλθει αποτόνωση των πιέσεων, δηλαδή δεν έχουν αναπτυχθεί πλήρως οι συγκλίσεις. Στο πρόγραμμα αυτή είναι η πρώτη φάση και περιγράφεται ως:

«Plastic Analysis», «Staged Construction»

Ενεργοποιώ τούνελ αλλά απενεργοποιώ το εσωτερικό του.

Ενεργοποιώ «prescribed displacements» ώστε να δεχτεί σεισμό



Εικόνα 2.11 – Ορισμός της φάσης κατασκευής σήραγγας στο Plaxis

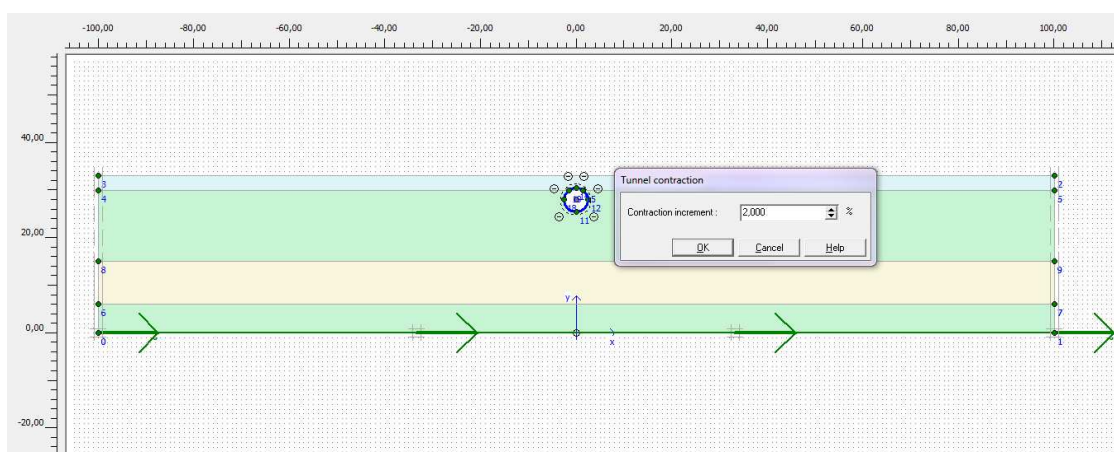
2) ΑΠΩΛΕΙΑ ΟΓΚΟΥ ΛΟΓΩ ΕΚΣΚΑΦΗΣ

Όπως περιγράφεται αναλυτικά στη θεωρία περί σήραγγων μετά από την εκσκαφή και για ένα χρονικό διάστημα εκτονώνονται οι τάσεις και αναπτύσσονται πλήρως οι συγκλίσεις μέχρι το σημείο ισορροπίας.[18]

Η εκσκαφή του εδάφους & η απώλεια όγκου μοντελοποιείται με συστολή 2% του τούνελ.

Και σε αυτήν τη φάση επιλέγω

«Plastic Analysis», «Staged Construction»



Εικόνα 2.12 – Ορισμός της φάσης απώλειας όγκου λόγω εκσκαφής στο Plaxis

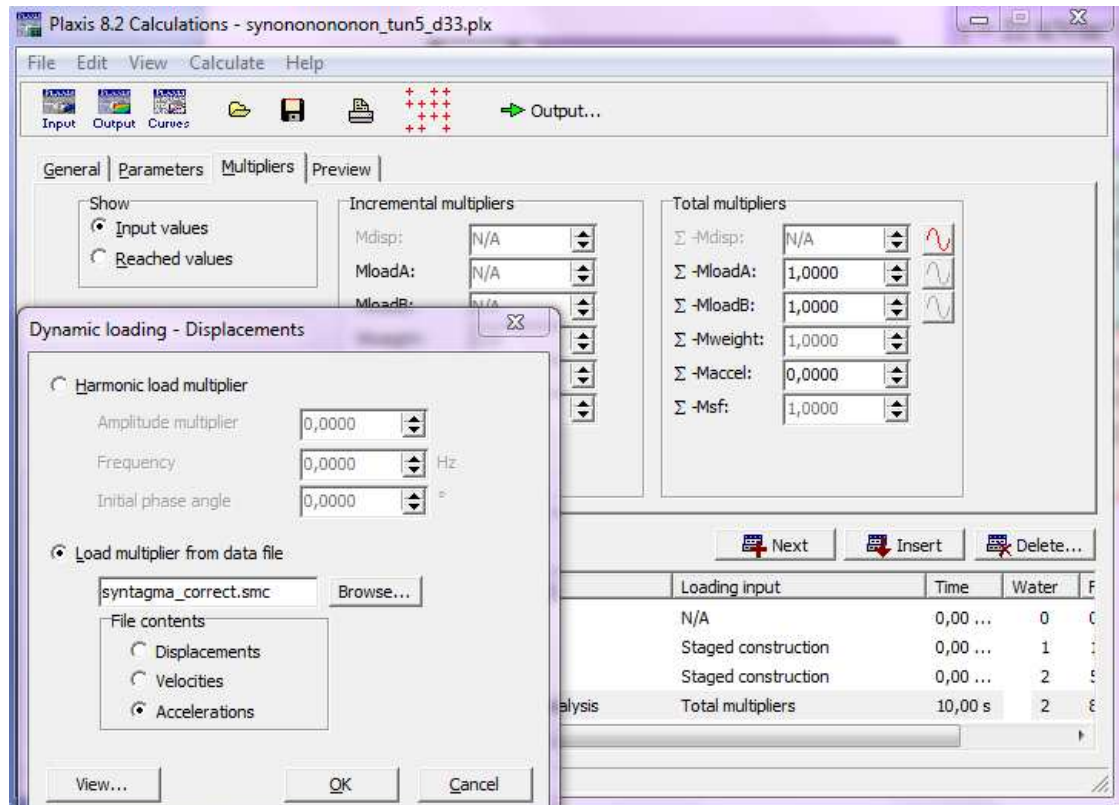
3) ΣΕΙΣΜΟΣ

Η δυναμική φόρτιση (σεισμός) θεωρείται ως μία ξεχωριστή φόρτιση.[19]

Επιλέγω

«Dynamic Analysis», «Time Interval 10s»,

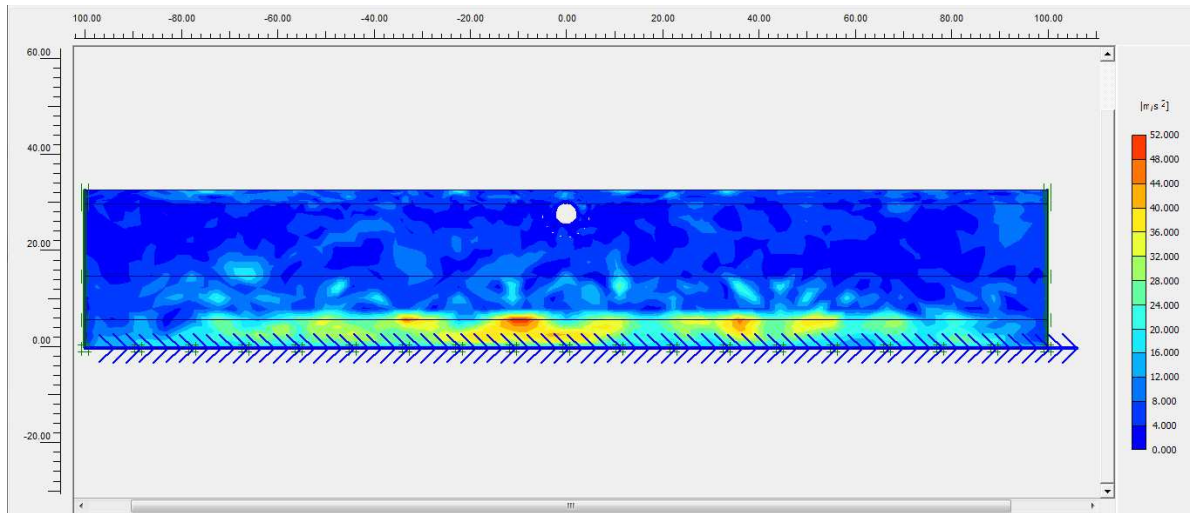
Επιβάλλω τη σεισμική καταγραφή, επιλέγω τα σημεία όπου θα μετρήσω την επιτάχυνση και εκτελούνται οι υπολογισμοί.



Εικόνα 2.13 – Εισαγωγή σεισμικής καταγραφής στο Plaxis

3 PLAXIS OUTPUT

Σε αυτό το στάδιο συλλέγονται πολύτιμες πληροφορίες και στοιχεία για την εδαφική διαστρωμάτωση όπως είναι η μέγιστη επιτάχυνση, η μέγιστη ταχύτητα και η μέγιστη μετακίνηση σε οποιοδήποτε σημείο.

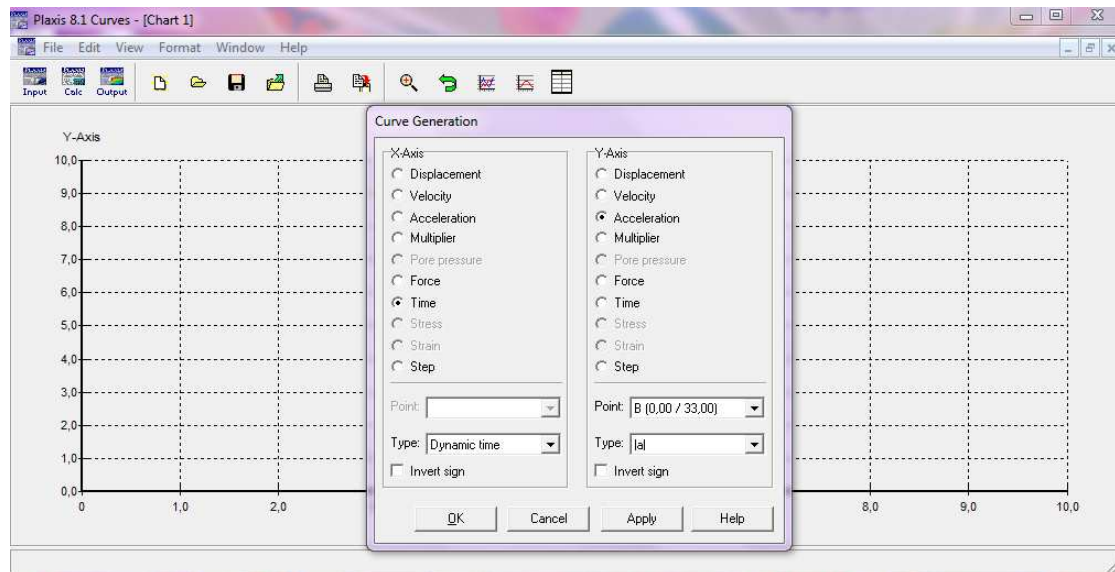


Εικόνα 2.14 – Παρουσίαση αποτελεσμάτων μέγιστων ολικών επιταχύνσεων στο Plaxis

Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να παρακολουθήσουμε το φαινόμενο εξετάζοντας το συνολικά. Αναλυτικότερα, μπορούμε να εντοπίσουμε εύκολα τις θέσεις όπου η επιτάχυνση μεγιστοποιείται. Επιπροσθέτως, εξάγουμε συμπεράσματα για το με ποιό τρόπο η παρουσία σήραγγας επηρεάζει την κατανομή των μέγιστων επιταχύνσεων.

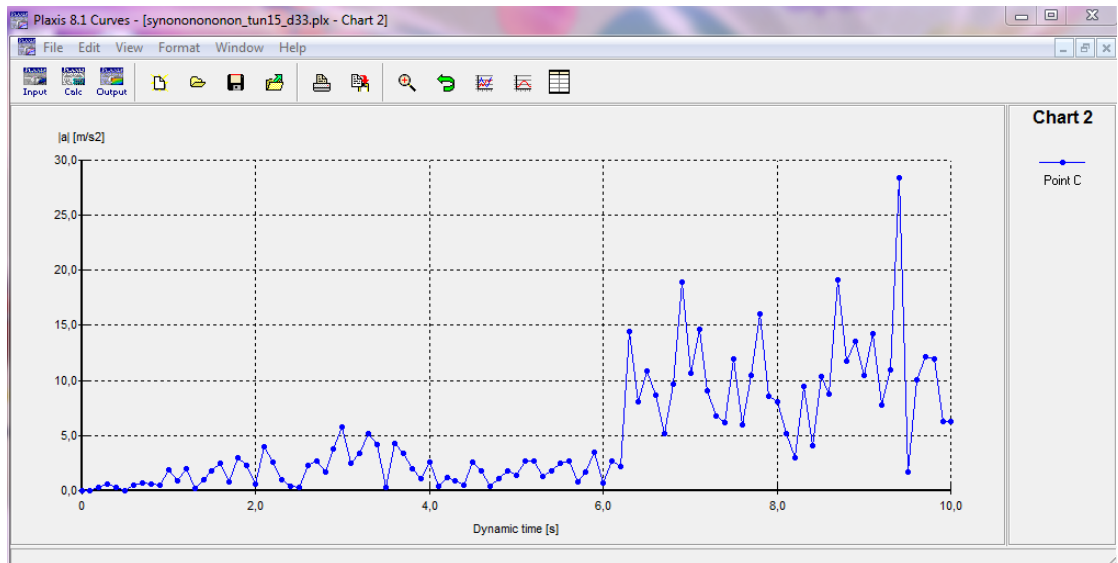
4 PLAXIS CURVES

Σε αυτό το στάδιο εξάγουμε τα αποτελέσματα σε μορφή καμπυλών. Είναι δυνατό να υπολογιστεί η χρονοϊστορία της απόκρισης του εδάφους στην επιφάνεια ή σε οποιοδήποτε άλλο σημείο έχει οριστεί. Συγχρόνως, καμπύλες για τα μεγέθη της ταχύτητας, της μετακίνησης, της δύναμης κτλ μπορούν να εξερευνηθούν.



Εικόνα 2.15 – Διαδικασία εισαγωγής καμπυλών στο Plaxis

Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται μία τυπική καμπύλη χρόνου-επιτάχυνσης.



Εικόνα 2.16 – Παρουσίαση χρονοϊστορίας επιτάχυνσης στο Plaxis

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

- Οι 3 φάσεις υπολογισμού που χρησιμοποιήθηκαν στοχεύουν στην πιστή απεικόνιση της πραγματικότητας. Αρχικά, η διάνοιξη της σήραγγας, έπειτα η εκτόνωση των πιέσεων η οποία μοντελοποιείται με απώλεια όγκου και τέλος, η σεισμική διέγερση.
- Αν παρουσιάσει πρόβλημα π.χ. Soil Body Collapses παίζω με βήματα.
- Αν παρουσιάσει πρόβλημα π.χ. max iterations reached παίζω με
- min max iterations & iteration tolerance.
- Κοντά στο τούνελ, επιλέγω το έδαφος και πατώ refine cluster> καλύτερο meshing.

2.4 Προσομοίωση με τη χρήση του προγράμματος SHAKE 2000

Το Shake είναι:

- ✚ Πρόγραμμα αναλυτικών συναρτήσεων
- ✚ Προσομοιώνει το εδαφικό προφίλ ως μη ελαστικό σύστημα
- ✚ Δεν έχει τη δυνατότητα μοντελοποίησης σήραγγος

ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Θεωρώ επίπεδη παραμόρφωση.

Το έδαφος αντιμετωπίζεται ως μονοδιάστατη κολώνα.

Μονάδα χρόνου(s), Μονάδα μήκους (ft).

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – 8 ΦΑΣΕΙΣ

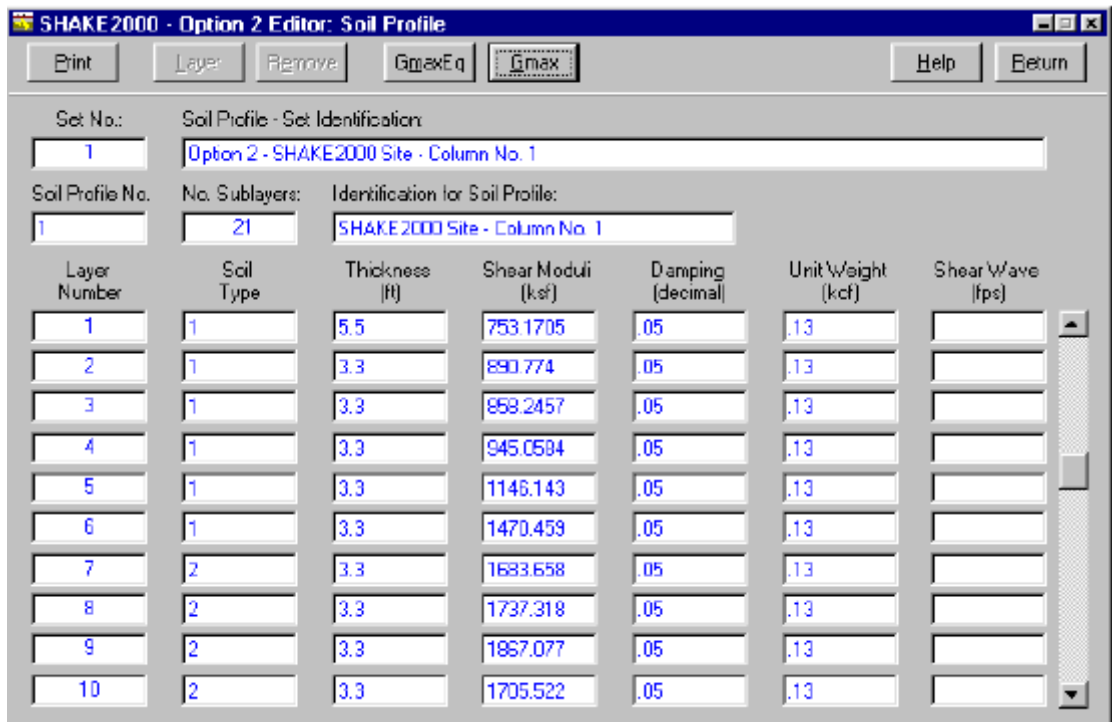
- 1) Προσδιορισμός των διαφόρων ειδών εδάφους, των χαρακτηριστικών τους, αλλά και της δυναμικής τους συμπεριφοράς.

Strain values (in percent):						
0.0001	0.0003	0.001	0.003	0.01	0.03	0.1
0.3	1.00					

Values of Damping (%):						
0.5	0.8	1.7	3.45	6.5	10.7	16.5
21.9	25.7					

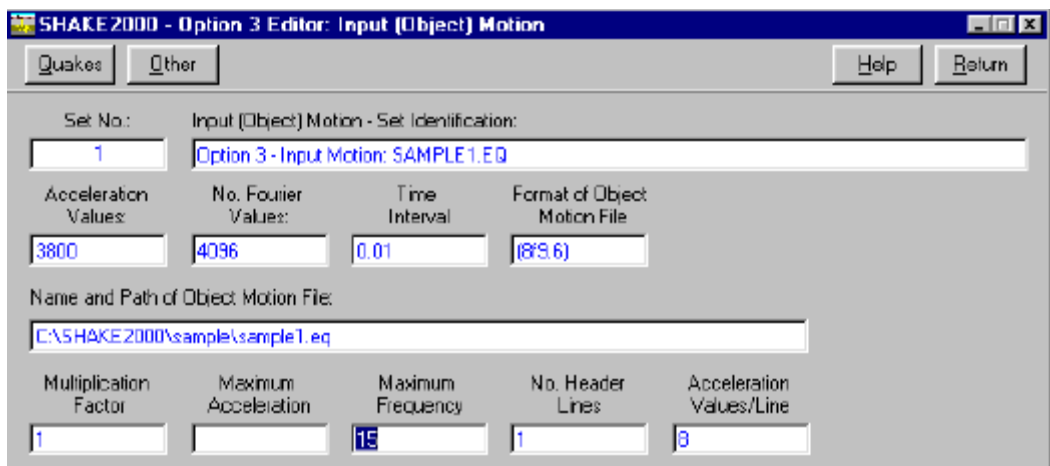
Εικόνα 2.17 – Ορισμός των υλικών του εδάφους και των χαρακτηριστικών του στο Shake

2) Προσδιορισμός του εδαφικού προφίλ



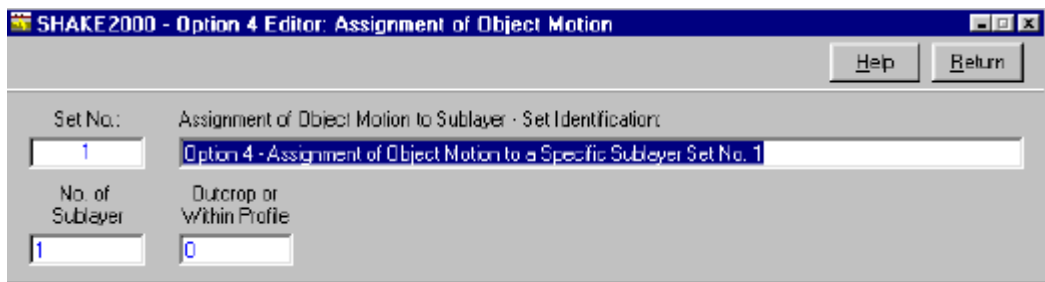
Εικόνα 2.18 – Ορισμός της εδαφικής διαστρωμάτωσης στο Shake

3) Εισαγωγή της σεισμικής καταγραφής.



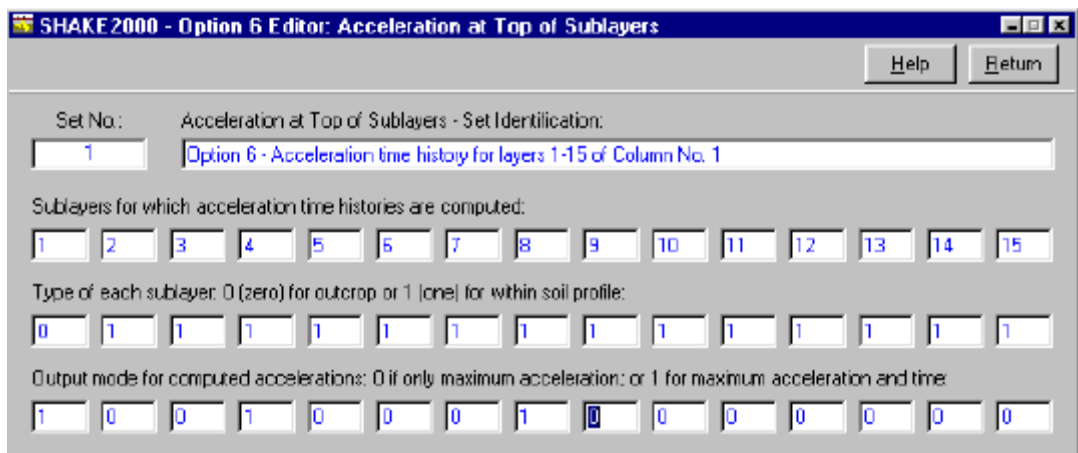
Εικόνα 2.19 – Εισαγωγή του σεισμού στο Shake

4) Στρώση όπου θα επιβληθεί η σεισμική καταγραφή



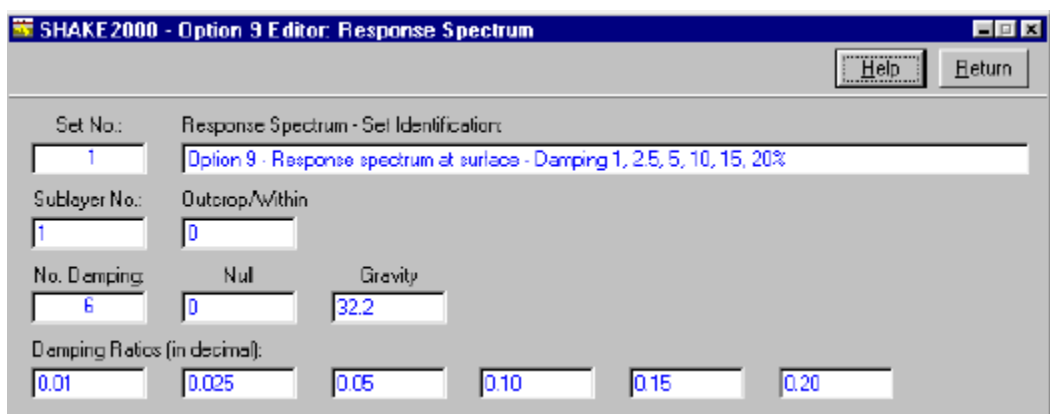
Εικόνα 2.20 – Επιλογή στρώσης όπου επιβάλλεται ο σεισμός στο Shake

- 5) Αριθμός επαναλήψεων
- 6) Επιλογή στρώσεων όπου θα γίνει υπολογισμός της χρονοϊστορίας της σεισμικής απόκρισης.



Εικόνα 2.21 – Επιλογή στρώσης όπου θα υπολογιστεί η χρονοϊστορία της σεισμικής απόκρισης στο Shake

- 7) Επιλογή στρώσεων όπου θα υπολογιστεί η ιστορία τάσης παραμόρφωσης.
- 8) Επιλογή διαφόρων αποσβέσεων.



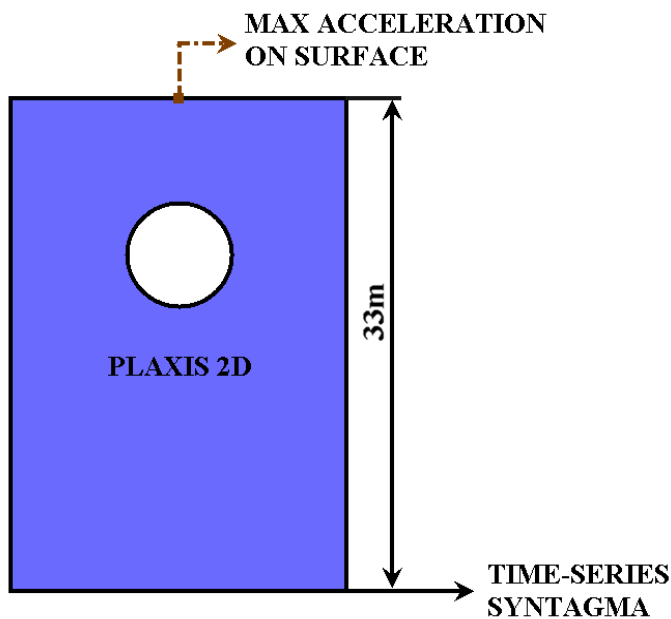
Εικόνα 2.22 – Επιλογή των αποσβέσεων που θα υπολογιστούν στο Shake

2.5 Οι 3 μέθοδοι προσομοίωσης

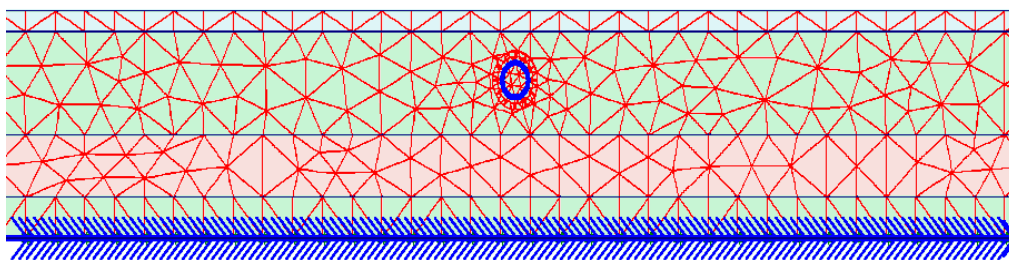
Υπάρχουν 3 μέθοδοι προσέγγισης.

1^η ΜΕΘΟΔΟΣ

Η εδαφική διασφραμίωση συμπεριλαμβανομένης της σήραγγας προσομοιώνεται ως ελαστικό σύστημα χρησιμοποιώντας το Plaxis. Στο σχήμα παρουσιάζεται το μοντέλο του Plaxis και στο σχήμα το μοντέλο του Plaxis με τα πεπερασμένα στοιχεία.



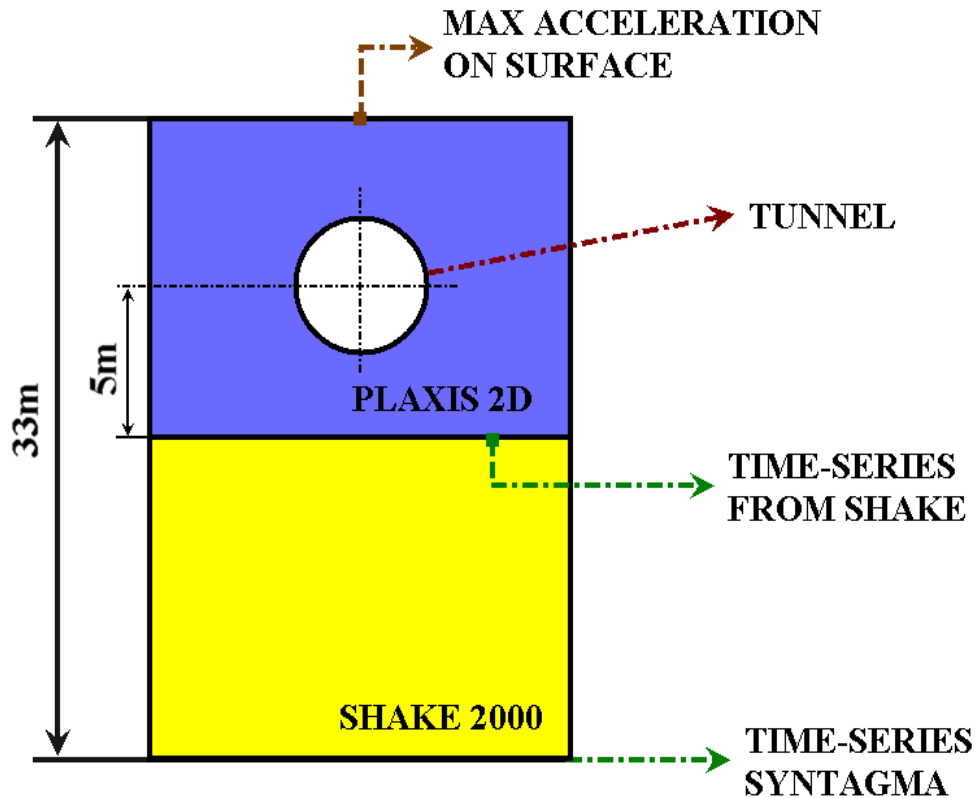
Σχήμα 2.6 - Μοντέλο του Plaxis



Εικόνα 2.23 - Μοντέλο του Plaxis με πεπερασμένα στοιχεία

2^η ΜΕΘΟΔΟΣ

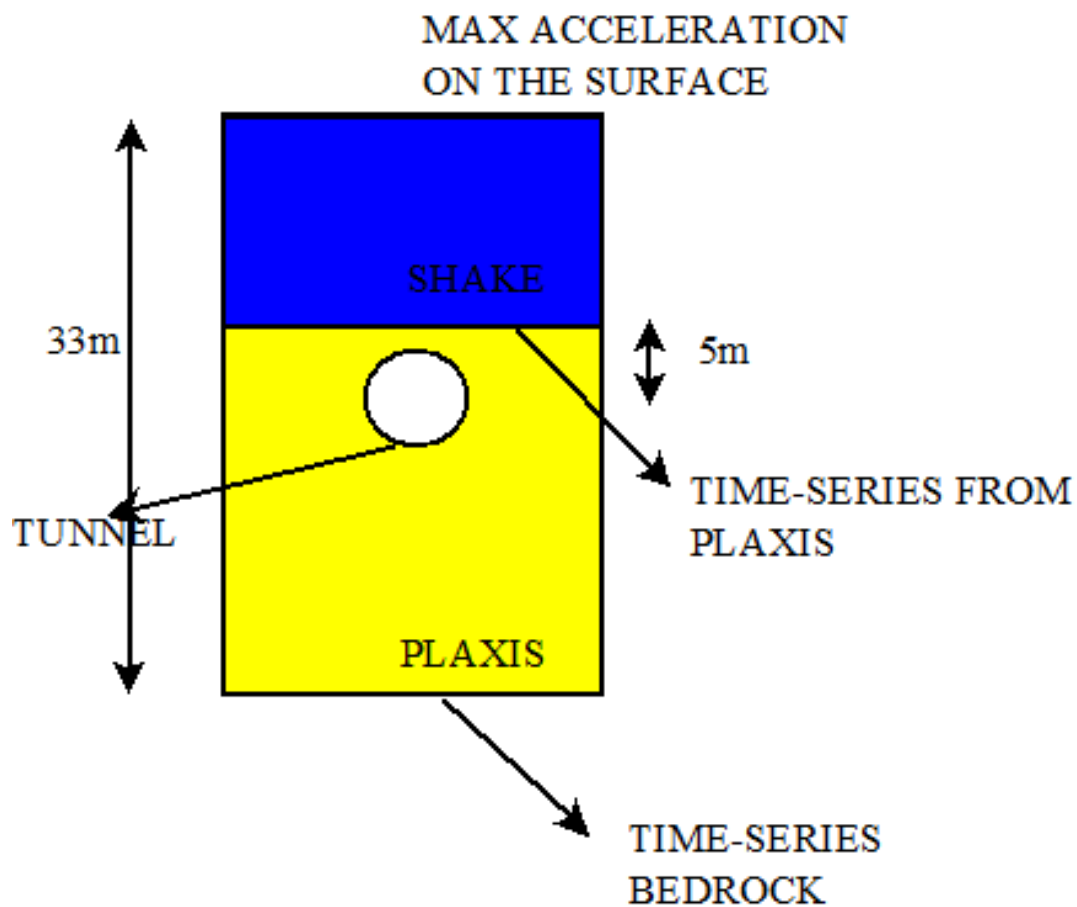
Το μέρος της εδαφικής διάστρωσης πάνω από το βράχο και σε απόσταση 2.5 μέτρων κάτω από το χαμηλότερο κομμάτι της σήραγγας μοντελοποιούνται χρησιμοποιώντας το Shake το οποίο υπολογίζει μη ελαστική συμπεριφορά. Το υπόλοιπο άνω μέρος καθώς και η σήραγγα μοντελοποιούνται ως ελαστικά συστήματα κάνοντας χρήση του Plaxis.



Σχήμα 2.7 - Το μοντέλο της συνδυαστικής μεθόδου

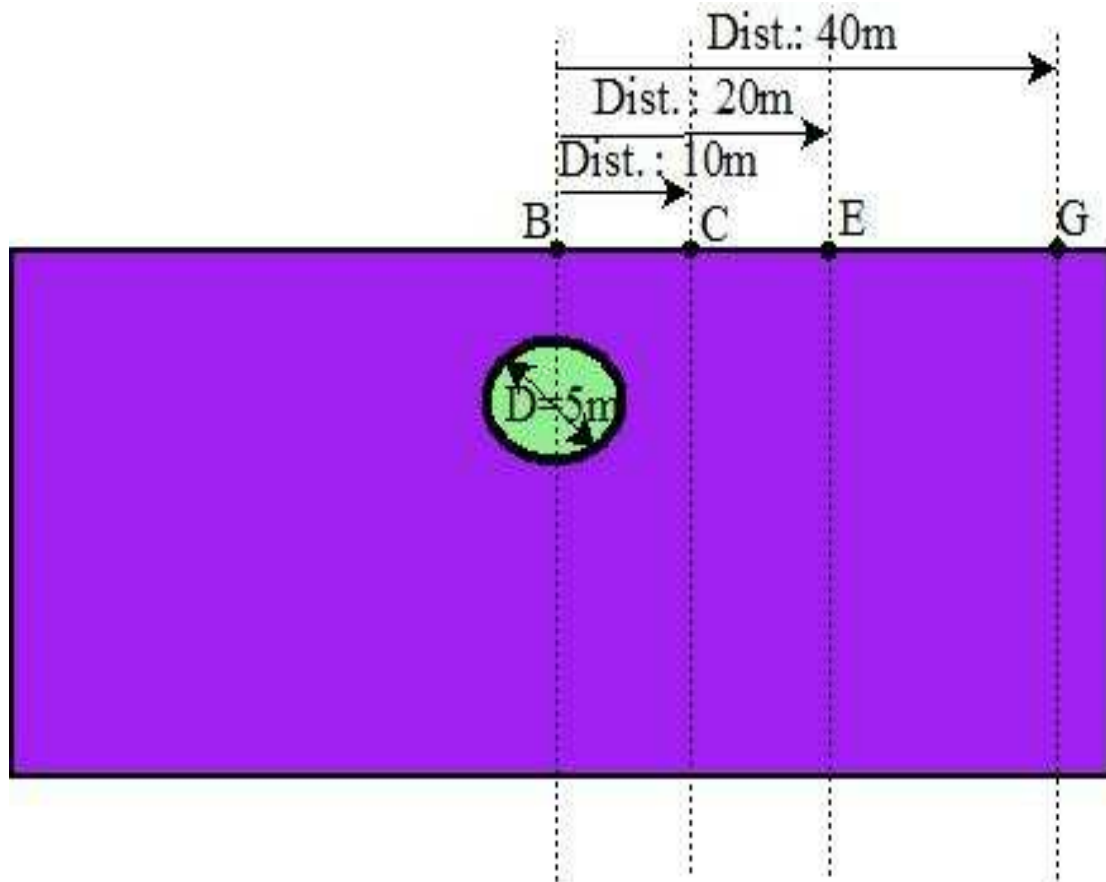
3^η ΜΕΘΟΔΟΣ

Το μέρος της εδαφικής διάστρωσης πάνω από το βράχο και σε απόσταση 2.5 μέτρων πάνω από το υψηλότερο κομμάτι της σήραγγας μοντελοποιούνται χρησιμοποιώντας το Plaxis το οποίο υπολογίζει ελαστική συμπεριφορά. Το υπόλοιπο άνω μέρος καθώς και η σήραγγα μοντελοποιούνται ως ελαστικά συστήματα κάνοντας χρήση του Plaxis.



Σχήμα 2.8 - Το μοντέλο της 3ης μεθόδου

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται τα σημεία όπου υπολογίζονται οι τιμές της επιτάχυνσης πάνω στην επιφάνεια.



Σχήμα 2.9 - Τα επιφανειακά σημεία όπου υπολογίζονται οι τιμές της επιτάχυνσης.

Σε όλες τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται σήραγγα διαμέτρου 5m, ίδια με τη διάμετρο στα έργα του μετρό στην Αττική.

Στα σημεία B, C, E, G η οριζόντια απόσταση της θεμελίωσης μίας κατασκευής από το κέντρο της σήραγγας λαμβάνεται ως 10m, 20m, 40m και 70m αντίστοιχα.

Το σημείο A βρίσκεται πάνω στο σχηματισμό του βράχου. Τα σημεία D, F, H είναι τοποθετημένα συμμετρικά ως προς τα C, E, G και δεδομένου ότι τα αποτελέσματα ήταν σχεδόν ίδια δε σημειώνονται.

Κεφάλαιο 3 – Αποτελέσματα και σχόλια

3. Κεφάλαιο 3 – Αποτελέσματα και σχόλια

3.1 Ο σεισμός της Αθήνας (Ελλάδα) 1999

Ακολουθως παρατίθενται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση για το εδαφικό προφίλ από το σύνταγμα, για το σεισμό της Αθήνας και για τις δύο μεθόδους.

Σημείο Β – Οριζόντια απόσταση θεμελίωσης κατασκευής από το κέντρο τούνελ λαμβάνεται ως 0m.

Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΤΑΣ

POINT B Dist.: 0	PLAXIS		Percentage Increase (%)
	notunnel	tunnel	
depth=5	2.1708	3.054	40.69
depth=10	2.1708	2.515	15.86
depth=15	2.1708	2.411	11.07
depth=20	2.1708	2.39	10.10
depth=25	2.1708	2.34	7.79

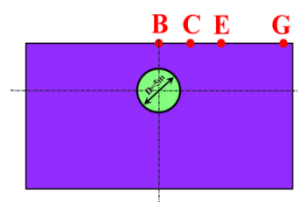
ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΛΟΓΩ
ΥΠΑΡΞΗΣ ΣΗΡΑΓΤΑΣ

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ
ΣΗΡΑΓΓΑ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ
ΤΟΥΝΕΛ

Πίνακας 1a – Αποτελέσματα Plaxis
X. Θ. : 0 m



Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ

POINT B	SHAKE & PLAXIS		Percentage Increase (%)
	notunnel	tunnel	
Dist.: 0	1.44	1.66	15.47
depth=5	1.44	1.57	9.13
depth=10	1.44	1.456	1.46
depth=20	1.44	1.432	-0.21
depth=25	1.44	0.00	0.00

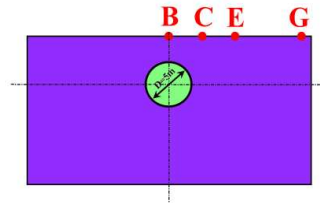
ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΗΣΗΣ ΛΟΓΩ
ΥΠΑΡΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ
ΣΗΡΑΓΓΑ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ
ΤΟΥΝΕΛ

Πίνακας 1b – Αποτελέσματα από
Shake & Plaxis model
X. Θ. : 0 m



Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ

POINT B	PLAXIS & SHAKE		Percentage Increase (%)
	notunnel	tunnel	
Dist.: 0	0,95	1,15	17,68
depth=5	0,95	1,05	10,09
depth=10	0,95	0,98	3,57
depth=20	0,95	0,967	2,28
depth=25	0,95	0,00	0,00

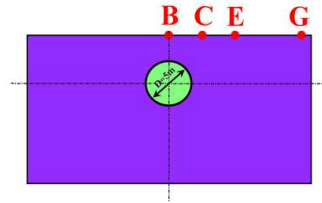
ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΗΣΗΣ ΛΟΓΩ
ΥΠΑΡΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ
ΣΗΡΑΓΓΑ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ
ΤΟΥΝΕΛ

**Πίνακας 1c – Αποτελέσματα από
Shake & Plaxis
Χ. Θ. : 0 m**



Στον πίνακα 1a αναφέρονται τα αποτελέσματα από την πρώτη μέθοδο (Plaxis), ενώ στον πίνακα 1b τα αποτελέσματα από τη συνδυαστική μέθοδο. Συγκρίνω μεταξύ τους τις δύο μεθόδους. Βλέπω ότι χωρίς τούνελ παίρνω επιτάχυνση 2.17 (m/s²) από την πρώτη μέθοδο ενώ από τη δεύτερη λαμβάνω 1.44 (m/s²). Ομοίως, στις τιμές επιταχύνσεις λαμβάνοντας υπόψη τη σήραγγα το φαινόμενο είναι ανάλογο. Είναι φανερό, λοιπόν, ότι οι τιμές της επιτάχυνσης από την πρώτη μέθοδο είναι κατά πολύ μεγαλύτερες εν συγκρίσει με αυτές της δεύτερης μεθόδου. Αυτό είναι λογικό και αναμενόμενο διότι η πρώτη μέθοδος προσομοιώνει το έδαφος σαν ελαστικό σύστημα ενώ η δεύτερη σε μερικούς μη ελαστικό και δεδομένου του γεγονότος ότι οι σεισμοί που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την εργασία είναι ισχυροί μπορεί να ειπωθεί ότι η εδαφική συμπεριφορά απέχει πολύ από την ελαστική. Για αυτόν το σκοπό, τα συμπεράσματα θα βασιστούν στα αποτελέσματα της δεύτερης μεθόδου η οποία είναι πιο ρεαλιστική.

Στον πρώτο πίνακα η τιμή της επιτάχυνσης χωρίς σήραγγα είναι 2.17(m/s²), ενώ με σήραγγα είναι 3.05(m/s²) για βάθος τούνελ 5m, 2.52(m/s²) για βάθος τούνελ 10m, 2.41(m/s²) για βάθος 15 m, 2.39(m/s²) για βάθος 20m και 2.34(m/s²) για βάθος 25m. Η αύξηση της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας τούνελ για τις παραπάνω περιπτώσεις υπολογίζεται ως εξής: 40% για βάθος τούνελ 5m, 16% για βάθος 10m, 11% για βάθος 15m, 10% για βάθος τούνελ 20m και τέλος 8% για βάθος 25m.

Στον πίνακα 1b αναφέρεται η τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια χωρίς σήραγγα 1.44 (m/s²), ενώ είναι 1.66(m/s²) όταν η σήραγγα βρίσκεται 5m

κάτω από την επιφάνεια, $1.57(\text{m/s}^2)$ όταν βρίσκεται 10m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, $1.46(\text{m/s}^2)$ όταν είναι σε 15m βάθος και τέλος $1.43(\text{m/s}^2)$ όταν βρίσκεται σε 20m βάθος.

Αντιστοίχως σε αυτόν τον πίνακα η αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας της σήραγγας σε σχέση με αυτήν χωρίς σήραγγα είναι 15% όταν το βάθος της σήραγγας είναι 5m, 9% όταν το βάθος τούνελ είναι 10m, 1% όταν το βάθος τούνελ είναι 15m και 0% όταν το βάθος τούνελ είναι 20m. Με κόκκινο μελάνι σημειώνεται η αύξηση της επιτάχυνσης όταν αυτή είναι μεγαλύτερη από 5%, αφού στα έργα πολιτικού μηχανικού το σφάλμα 5% είναι αποδεκτό. Δηλαδή, στο σημείο B, που βρίσκεται στην επιφάνεια ακριβώς πάνω από το κέντρο της σήραγγας η επιτάχυνση επηρεάζεται από την ύπαρξη τούνελ μόνο όταν το βάθος του τούνελ είναι μικρότερο από 10m.

Στον πίνακα 1b αναφέρονται τα αποτελέσματα από την δεύτερη μέθοδο, δηλαδή το Shake από το βράχο μέχρι 2.5m κάτω από το χαμηλότερο σημείο του τούνελ και το υπόλοιπο Plaxis, ενώ στον πίνακα 1c τα αποτελέσματα από την τρίτη μέθοδο, δηλαδή από το βράχο μέχρι 2.5m από το ψηλότερο σημείο της σήραγγας χρησιμοποιώ Plaxis και το υπόλοιπο Shake. Συγκρίνω μεταξύ τους τις δύο μεθόδους. Βλέπω ότι χωρίς τούνελ παίρνω επιτάχυνση $1.44 (\text{m/s}^2)$ από την πρώτη μέθοδο ενώ από τη δεύτερη λαμβάνω $0.95 (\text{m/s}^2)$. Ομοίως, στις τιμές επιταχύνσεις λαμβάνοντας υπόψη τη σήραγγα το φαινόμενο είναι ανάλογο. Είναι φανερό, λοιπόν, ότι οι τιμές της επιτάχυνσης από την δεύτερη μέθοδο είναι κατά πολύ μεγαλύτερες εν συγκρίσει με αυτές της τρίτης μεθόδου. Αυτό είναι λογικό και αναμενόμενο διότι κατά τη διάρκεια ενός σεισμού οι εδαφικές στρώσεις οι οποίες βρίσκονται κοντά στην ελεύθερη επιφάνεια πλαστικοποιούνται σε μεγάλο βαθμό, ενώ η συμπεριφορά των εδαφικών στρώσεων που βρίσκονται κοντά στο βράχο πλησιάζουν την ελαστική. Έτσι, βάζοντας το Shake κοντά στην εδαφική επιφάνεια και το Plaxis κοντά στο βράχο προσεγγίζεται σε μεγάλο βαθμό η πραγματική εδαφική

συμπεριφορά. Τα συμπεράσματα θα βασιστούν και στις 2 τελευταίες μεθόδους.

Στον πίνακα 1c αναφέρεται η τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια χωρίς σήραγγα $0.95 \text{ (m/s}^2\text{)}$, ενώ είναι $1.15 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν η σήραγγα βρίσκεται 5m κάτω από την επιφάνεια, $1.05 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται 10m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, $0.98 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν είναι σε 15m βάθος και τέλος $0.95 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται σε 20m βάθος.

Αντιστοίχως σε αυτόν τον πίνακα η αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας της σήραγγας σε σχέση με αυτήν χωρίς σήραγγα είναι 17% όταν το βάθος της σήραγγας είναι 5m, 10% όταν το βάθος τούνελ είναι 10m, 3% όταν το βάθος τούνελ είναι 15m και 2% όταν το βάθος τούνελ είναι 20m. Με κόκκινο μελάνι σημειώνεται η αύξηση της επιτάχυνσης όταν αυτή είναι μεγαλύτερη από 5%, αφού στα έργα πολιτικού μηχανικού το σφάλμα 5% είναι αποδεκτό. Δηλαδή, στο σημείο B, που βρίσκεται στην επιφάνεια ακριβώς πάνω από το κέντρο της σήραγγας η επιτάχυνση επηρεάζεται από την ύπαρξη τούνελ μόνο όταν το βάθος του τούνελ είναι μικρότερο από 10m.

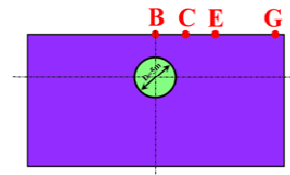
Σημείο C – Οριζόντια απόσταση θεμελίωσης κατασκευής από το κέντρο τούνελ λαμβάνεται ως 10m.

**Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

POINT C Dist.: 10	PLAXIS		Percentage Increase (%)
	notunnel	tunnel	
depth=5	2.905	3.443	18.52
depth=10	2.905	2.229	11.15
depth=15	2.905	3.004	3.41
depth=20	2.905	3.002	3.34
depth=25	2.905	2.446	-15.80

ΔΥΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΛΟΓΩ ΥΠΑΡΕΧΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ
 ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ
 ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ ΣΗΡΑΓΓΑ
 ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ ΤΟΥΝΕΛ

**Πίνακας 2a – Αποτελέσματα Plaxis
X. Θ. : 10 m**



Στον πρώτο πίνακα η τιμή της επιτάχυνσης χωρίς σήραγγα είναι 2.91(m/s²), ενώ με σήραγγα είναι 3.44(m/s²) για βάθος τούνελ 5m, 2.22(m/s²) για βάθος τούνελ 10m, 3.00(m/s²) για βάθος 15 m, 3.00(m/s²) για βάθος 20m και 2.44(m/s²) για βάθος 25m. Η αύξηση της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας τούνελ για τις παραπάνω περιπτώσεις υπολογίζεται ως εξής: 18% για βάθος τούνελ 5m, 11% για βάθος 10m, 3% για βάθος 15m, 3% για βάθος τούνελ 20m και τέλος -15% για βάθος 25m.

**Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

POINT C	SHAKE & PLAXIS		Percentage Increase (%)
	notunnel	tunnel	
Dist.: 10	1.88	2.12	13.01
depth=5	1.88	2.04	8.90
depth=10	1.88	1.865	-0.59
depth=20	1.88	1.801	-4.00
depth=25	1.88	0.00	0.00

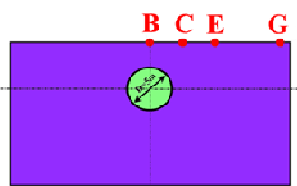
ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΔΟΓΩ
ΥΠΑΡΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ
ΣΗΡΑΓΓΑ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ
ΤΟΥΝΕΛ

Πίνακας 2b – Αποτελέσματα από
Shake & Plaxis
Χ. Θ. :10 m



**Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

POINT C	PLAXIS & SHAKE		Percentage Increase (%)
	notunnel	tunnel	
Dist.: 10	0,95	1,19	20,59
depth=5	0,95	1,08	12,17
depth=10	0,95	0,99	4,55
depth=20	0,95	0,96	1,56
depth=25	0,95	0,00	0,00

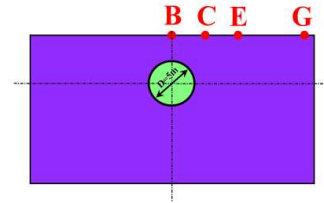
ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΔΟΓΩ
ΥΠΑΡΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ
ΣΗΡΑΓΓΑ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ
ΤΟΥΝΕΛ

**Πίνακας 2c – Αποτελέσματα από
Shake & Plaxis
X. Φ . :10 m**



Στον πίνακα 1β αναφέρεται η τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια χωρίς σήραγγα $1.88 \text{ (m/s}^2\text{)}$, ενώ είναι $1.12 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν η σήραγγα βρίσκεται 5m κάτω από την επιφάνεια, $2.04 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται 10m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, $1.86 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν είναι σε 15m βάθος και τέλος $1.80 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται σε 20m βάθος.

Αντιστοίχως η αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας της σήραγγας σε σχέση με αυτήν χωρίς σήραγγα είναι 13% όταν το βάθος της σήραγγας είναι 5m, 9% όταν το βάθος τούνελ είναι 10m, 0% όταν το βάθος τούνελ είναι 15m και -4% όταν το βάθος τούνελ είναι 20m. Δηλαδή, στο σημείο C, που βρίσκεται στην επιφάνεια και σε οριζόντια απόσταση 10m από το κέντρο της σήραγγας η επιτάχυνση επηρεάζεται από την ύπαρξη τούνελ μόνο όταν το βάθος του τούνελ είναι μικρότερο από 10m.

Στον πίνακα 2c αναφέρεται η τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια χωρίς σήραγγα $0.95 \text{ (m/s}^2\text{)}$, ενώ είναι $1.19 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν η σήραγγα βρίσκεται 5m κάτω από την επιφάνεια, $1.08 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται 10m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, $0.99 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν είναι σε 15m βάθος και τέλος $0.96 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται σε 20m βάθος.

Αντιστοίχως σε αυτόν τον πίνακα η αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας της σήραγγας σε σχέση με αυτήν χωρίς σήραγγα είναι 20% όταν το βάθος της σήραγγας είναι 5m, 12% όταν το βάθος τούνελ είναι 10m, 4% όταν το βάθος τούνελ είναι 15m και 2% όταν το βάθος τούνελ είναι 20m. Με κόκκινο μελάνι σημειώνεται η αύξηση της επιτάχυνσης όταν αυτή είναι μεγαλύτερη από 5%, αφού στα έργα πολιτικού μηχανικού το σφάλμα 5% είναι αποδεκτό. Δηλαδή, στο σημείο C, που βρίσκεται στην

επιφάνεια και σε οριζόντια απόσταση 10m από το κέντρο της σήραγγας η επιτάχυνση επηρεάζεται από την ύπαρξη τούνελ μόνο όταν το βάθος του τούνελ είναι μικρότερο από 10m.

Σημείο Ε – Οριζόντια απόσταση θεμελίωσης κατασκευής από το κέντρο τούνελ λαμβάνεται ως 20m.

**Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

POINT E Dist.: 20	PLAXIS		Percentage Increase (%)
	notunnel	tunnel	
depth=5	3.3488	3.879	15.83
depth=10	3.3488	3.696	10.37
depth=15	3.3488	3.68	9.92
depth=20	3.3488	3.467	3.53
depth=25	3.3488	3.432	2.48

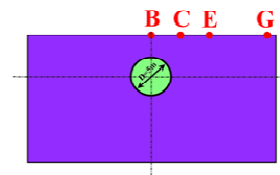
ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΛΟΓΩ ΥΠΑΡΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ ΣΗΡΑΓΓΑ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ ΤΟΥΝΕΛ

**Πίνακας 3α – Αποτελέσματα Plaxis
X. Θ. : 20 m**



Στον πρώτο πίνακα η τιμή της επιτάχυνσης χωρίς σήραγγα είναι 3.34(m/s²), ενώ με σήραγγα είναι 3.88(m/s²) για βάθος τούνελ 5m, 3.69(m/s²) για βάθος τούνελ 10m, 3.68(m/s²) για βάθος 15 m, 3.47(m/s²) για βάθος 20m και 3.46(m/s²) για βάθος 25m. Η αύξηση της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας τούνελ για τις παραπάνω περιπτώσεις υπολογίζεται ως εξής: 16% για βάθος τούνελ 5m, 10% για βάθος 10m,

10% για βάθος 15m, 3% για βάθος τούνελ 20m και τέλος 2% για βάθος 25m.

Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ

POINT E Dist.: 20	SHAKE & PLAXIS		Percentage Increase (%)
	notunnel	tunnel	
depth=5	2.03	2.21	8.91
depth=10	2.03	2.15	5.56
depth=15	2.03	2.103	3.49
depth=20	2.03	2.096	3.15
depth=25	2.03	0.00	0.00

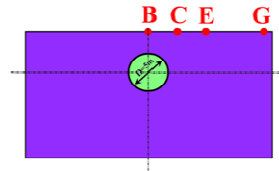
ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΔΟΥΛΩ
ΥΠΑΡΕΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ
ΣΗΡΑΓΓΑ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ
ΤΟΥΝΕΛ

Πίνακας 3b – Αποτελέσματα από
Shake & Plaxis
X. Θ. :20 m



**Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

POINT E	PLAXIS & SHAKE		Percentage
	notunnel	tunnel	Increase (%)
Dist.: 20			
depth=5	0,97	1,07	9,35
depth=10	0,97	1,03	5,83
depth=15	0,97	1,01	3,96
depth=20	0,97	0,99	2,02
depth=25	0,97	0,00	0,00

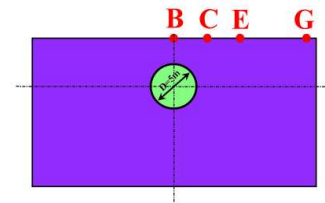
**ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΛΟΓΩ
ΥΠΑΡΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ

**ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ
ΣΗΡΑΓΓΑ**

**ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ
ΤΟΥΝΕΛ**

**Πίνακας 3c – Αποτελέσματα από
Shake & Plaxis
X. Θ. :20 m**



Στον πίνακα 3β αναφέρεται η τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια χωρίς σήραγγα 2.03 (m/s²), ενώ είναι 2.21(m/s²) όταν η σήραγγα βρίσκεται 5m κάτω από την επιφάνεια, 2.15(m/s²) όταν βρίσκεται 10m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, 2.10(m/s²) όταν είναι σε 15m βάθος και τέλος 2.09(m/s²) όταν βρίσκεται σε 20m βάθος.

Αντιστοίχως η αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας της σήραγγας σε σχέση με αυτήν χωρίς σήραγγα είναι 9% όταν το βάθος της σήραγγας είναι 5m, 6% όταν το βάθος τούνελ είναι 10m, 3% όταν το βάθος τούνελ είναι 15m και 3% όταν το βάθος τούνελ είναι 20m. Δηλαδή, στο σημείο E, που βρίσκεται στην επιφάνεια και σε οριζόντια απόσταση 20m από το κέντρο της σήραγγας η επιτάχυνση επηρεάζεται από την ύπαρξη τούνελ μόνο όταν το βάθος του τούνελ είναι μικρότερο από 10m.

Στον πίνακα 3c αναφέρεται η τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια χωρίς σήραγγα 0.97 (m/s²), ενώ είναι 1.07(m/s²) όταν η σήραγγα βρίσκεται 5m κάτω από την επιφάνεια, 1.03(m/s²) όταν βρίσκεται 10m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, 1.01(m/s²) όταν είναι σε 15m βάθος και τέλος 0.99(m/s²) όταν βρίσκεται σε 20m βάθος.

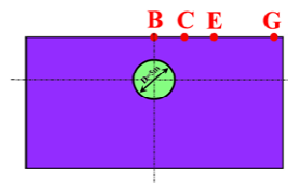
Αντιστοίχως σε αυτόν τον πίνακα η αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας της σήραγγας σε σχέση με αυτήν χωρίς σήραγγα είναι 9% όταν το βάθος της σήραγγας είναι 5m, 5% όταν το βάθος τούνελ είναι 10m, 3% όταν το βάθος τούνελ είναι 15m και 2% όταν το βάθος τούνελ είναι 20m. Δηλαδή, στο σημείο E, που βρίσκεται στην επιφάνεια και σε οριζόντια απόσταση 20m από το κέντρο της σήραγγας η επιτάχυνση επηρεάζεται από την ύπαρξη τούνελ μόνο όταν το βάθος του τούνελ είναι μικρότερο από 10m.

Σημείο G – Οριζόντια απόσταση θεμελίωσης κατασκευής από το κέντρο τούνελ λαμβάνεται ως 40m.

**Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

POINT G Dist.: 40	PLAXIS		Percentage Increase (%)
	notunnel	tunnel	
depth=5	2.898	3.014	4.00
depth=10	2.898	3.021	4.24
depth=15	2.898	3.00	3.45
depth=20	2.898	3.054	5.38
depth=25	2.898	2.765	-4.59

Πίνακας 4a – Αποτελέσματα Plaxis
X. Θ. : 40 m



Στον πρώτο πίνακα η τιμή της επιτάχυνσης χωρίς σήραγγα είναι 2.89(m/s²), ενώ με σήραγγα είναι 3.01(m/s²) για βάθος τούνελ 5m, 3.02(m/s²) για βάθος τούνελ 10m, 3.00(m/s²) για βάθος 15 m, 3.05(m/s²) για βάθος 20m και 2.76(m/s²) για βάθος 25m. Η αύξηση της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας τούνελ για τις παραπάνω περιπτώσεις υπολογίζεται ως εξής: 4% για βάθος τούνελ 5m, 4% για βάθος 10m, 3% για βάθος 15m, 5% για βάθος τούνελ 20m και τέλος -4% για βάθος 25m.

**Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

POINT G Dist.: 40	SHAKE & PLAXIS		Percentage Increase (%)
	notunnel	tunnel	
depth=5	1.77	1.81	2.66
depth=10	1.77	1.80	1.87
depth=15	1.77	1.698	-3.80
depth=20	1.77	1.805	2.27
depth=25	1.77	0.00	0.00

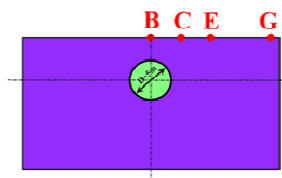
**ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΛΟΓΩ
ΥΠΑΡΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ

**ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ
ΣΗΡΑΓΓΑ**

**ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ
ΤΟΥΝΕΛ**

**Πίνακας 4b – Αποτελέσματα από
Shake & Plaxis**
X. Θ. :40 m



Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ

POINT G	PLAXIS & SHAKE		Percentage
	notunnel	tunnel	Increase (%)
Dist.: 40			
depth=5	0,93	0,97	4,12
depth=10	0,93	0,96	3,12
depth=15	0,93	0,95	2,11
depth=20	0,93	0,95	2,11
depth=25	0,93	0,00	0,00

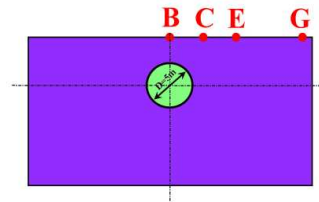
ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΛΟΓΩ
ΥΠΑΡΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ
ΣΗΡΑΓΓΑ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ
ΤΟΥΝΕΛ

Πίνακας 4c – Αποτελέσματα από
Shake & Plaxis
X. Θ. :40 m



Στον πίνακα 4β αναφέρεται η τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια χωρίς σήραγγα $1.77 \text{ (m/s}^2\text{)}$, ενώ είναι $1.81 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν η σήραγγα βρίσκεται 5m κάτω από την επιφάνεια, $1.80 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται 10m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, $1.69 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν είναι σε 15m βάθος και τέλος $1.81 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται σε 20m βάθος.

Αντιστοίχως η αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας της σήραγγας σε σχέση με αυτήν χωρίς σήραγγα είναι 2% όταν το βάθος της σήραγγας είναι 5m, 1% όταν το βάθος τούνελ είναι 10m, -3% όταν το βάθος τούνελ είναι 15m και 2% όταν το βάθος τούνελ είναι 20m. Δηλαδή, στο σημείο G, που βρίσκεται στην επιφάνεια και σε οριζόντια απόσταση 40m από το κέντρο της σήραγγας η επιτάχυνση δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη τούνελ.

Στον πίνακα 4c αναφέρεται η τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια χωρίς σήραγγα $0.93 \text{ (m/s}^2\text{)}$, ενώ είναι $0.97 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν η σήραγγα βρίσκεται 5m κάτω από την επιφάνεια, $0.96 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται 10m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, $0.95 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν είναι σε 15m βάθος και τέλος $0.95 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται σε 20m βάθος.

Αντιστοίχως σε αυτόν τον πίνακα η αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας της σήραγγας σε σχέση με αυτήν χωρίς σήραγγα είναι 4% όταν το βάθος της σήραγγας είναι 5m, 3% όταν το βάθος τούνελ είναι 10m, 2% όταν το βάθος τούνελ είναι 15m και 2% όταν το βάθος τούνελ είναι 20m. Δηλαδή, στο σημείο G, που βρίσκεται στην επιφάνεια και σε οριζόντια απόσταση 40m από το κέντρο της σήραγγας η επιτάχυνση δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη τούνελ.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στον πρώτο πίνακα όλο το εδαφικό προφίλ μοντελοποιήθηκε στο Plaxis ως ελαστικό σύστημα. Στο δεύτερο πίνακα το μέρος του εδαφικού προφίλ από το βράχο και μέχρι απόσταση 5m κάτω από το κέντρο της σήραγγας μοντελοποιείται στο Shake ως ανελαστικό σύστημα. Αναλυτικά, όταν το βάθος του τούνελ είναι 5m τότε στο Shake μοντελοποιείται το έδαφος από το βράχο μέχρι βάθος 10m από την επιφάνεια και το υπόλοιπο στο Plaxis. Όταν το βάθος τούνελ είναι 10m τότε προσομοιώνεται στο Shake το έδαφος από την επιφάνεια του βράχου μέχρι βάθος 15m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, ενώ το υπόλοιπο μέρος μοντελοποιείται στο Plaxis. Με βάθος σήραγγας 15m στο Plaxis μοντελοποιείται η εδαφική διαστρωμάτωση μέχρι βάθος 20m και το υπόλοιπο μέρος προσομοιώνεται στο Shake. Τέλος, όταν το βάθος της σήραγγας είναι 20m με τη βοήθεια του Plaxis προσομοιώνεται το εδαφικό προφίλ μέχρι βάθος 25m και το υπόλοιπο μέρος μοντελοποιείται με τη βοήθεια του Shake.

Στον τρίτο πίνακα το μέρος του εδαφικού προφίλ από το βράχο και μέχρι απόσταση 5m πάνω από το κέντρο της σήραγγας μοντελοποιείται στο Plaxis ως ελαστικό σύστημα και το υπόλοιπο εδαφικό προφίλ μοντελοποιείται στο Shake ως ανελαστικό. Αναλυτικά, όταν το βάθος του τούνελ είναι 5m τότε στο Plaxis μοντελοποιείται το έδαφος από το βράχο μέχρι βάθος 2.5m από την επιφάνεια και το υπόλοιπο στο Shake. Όταν το βάθος τούνελ είναι 10m τότε προσομοιώνεται στο Plaxis το έδαφος από την επιφάνεια του βράχου μέχρι βάθος 5m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, ενώ το υπόλοιπο μέρος μοντελοποιείται στο Shake. Με βάθος σήραγγας 15m στο Plaxis μοντελοποιείται η εδαφική διαστρωμάτωση μέχρι βάθος 10m και το υπόλοιπο μέρος προσομοιώνεται στο Shake. Τέλος, όταν το βάθος της σήραγγας είναι 20m με τη βοήθεια του Shake προσομοιώνεται το εδαφικό προφίλ μέχρι βάθος 15m και το υπόλοιπο μέρος μοντελοποιείται με τη βοήθεια του Plaxis.

Οι τιμές επιτάχυνσης που υπολογίζονται στην επιφάνεια από την πρώτη μέθοδο είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές που προκύπτουν από τη δεύτερη μέθοδο όπως αναμενόταν.

Η πρώτη μέθοδος προσομοιώνει το έδαφος σαν ελαστικό σύστημα ενώ η δεύτερη και η τρίτη σα μερικώς μη ελαστικό και δεδομένου του γεγονότος ότι οι σεισμοί που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την εργασία είναι ισχυροί μπορεί να ειπωθεί ότι η εδαφική συμπεριφορά απέχει πολύ από την ελαστική. Έτσι, τα συμπεράσματα κυρίως θα βασιστούν στη 2^η και στην 3^η μέθοδο.

Μόνο ποιοτικά συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν από τη πρώτη μέθοδο όπως το γεγονός ότι καθώς το βάθος του τούνελ αυξάνεται και η οριζόντια απόσταση μιας θεμελίωσης από το κέντρο της σήραγγας μεγαλώνει έτσι η επίδραση της παρουσίας της σήραγγας εξαλείφεται.

Σύμφωνα με τη δεύτερη μέθοδο όταν η σήραγγα έχει βάθος 5m η επιτάχυνση αυξάνεται από 9% έως 15%, όταν η σήραγγα έχει βάθος 10m η επιτάχυνση αυξάνεται από 5% έως 9% και όταν το βάθος σήραγγας είναι μεγαλύτερο από 10m η επιτάχυνση δεν επηρεάζεται καθόλου από την παρουσία σήραγγας.

Όταν η οριζόντια απόσταση μίας θεμελίωσης κατασκευής από το κέντρο σήραγγας λαμβάνεται ως 0m τότε η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί μέχρι 15%. Σε οριζόντια απόσταση από το κέντρο του τούνελ ίση με 10m η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί μέχρι 13%, σε απόσταση 20m μέχρι 9% ενώ σε απόσταση μεγαλύτερη από 20m η παρουσία του τούνελ μπορεί να αμεληθεί.

Σύμφωνα με τη τρίτη μέθοδο όταν η σήραγγα έχει βάθος 5m η επιτάχυνση αυξάνεται από 9% έως 20%, όταν η σήραγγα έχει βάθος 10m η επιτάχυνση αυξάνεται από 5% έως 12% και όταν το βάθος σήραγγας είναι μεγαλύτερο

από 10m η επιτάχυνση δεν επηρεάζεται καθόλου από την παρουσία σήραγγας.

Όταν η οριζόντια απόσταση μίας θεμελίωσης κατασκευής από το κέντρο σήραγγας λαμβάνεται ως 0m τότε η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί μέχρι 17%. Σε οριζόντια απόσταση από το κέντρο του τούνελ ίση με 10m η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί μέχρι 20%, σε απόσταση 20m μέχρι 9% ενώ σε απόσταση μεγαλύτερη από 20m η παρουσία του τούνελ μπορεί να αμεληθεί.

3.2 Ο σεισμός του Κόμπε (Ιαπωνία) 1995

Ακολουθώς παρατίθενται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση για το εδαφικό προφίλ από το σύνταγμα, για το σεισμό του Κόμπε για τη δεύτερη μέθοδο.

Σημείο Β – Οριζόντια απόσταση θεμελίωσης κατασκευής από το κέντρο τούνελ λαμβάνεται ως 0m.

Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ

ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ

ΣΗΡΑΓΓΑΣ

POINT B	SHAKE & PLAXIS		Percentage Increase (%)
	notunnel	tunnel	
Dist.: 0	1.56	1.90	22.24
depth=5	1.56	1.77	13.43
depth=15	1.56	1.654	6.30
depth=20	1.56	1.587	1.99
depth=25	1.56	0.00	0.00

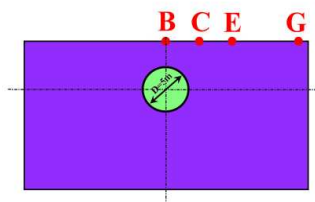
ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΗΣ ΔΟΓΩ
ΥΠΑΡΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ
ΣΗΡΑΓΓΑ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ
ΤΟΥΝΕΛ

Πίνακας 5 – Αποτελέσματα από
Shake & Plaxis
X. Θ. : 0 m



Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ

POINT B	PLAXIS & SHAKE		Percentage
	notunnel	tunnel	Increase (%)
Dist.: 0			
depth=5	1,12	1,31	16,40
depth=10	1,12	1,27	12,75
depth=15	1,12	1,168	4,10
depth=20	1,12	1,126	0,36
depth=25	1,12	0,00	0,00

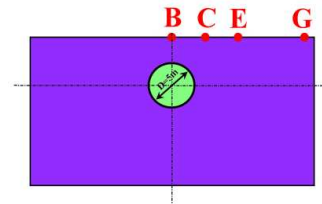
ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΛΟΓΩ
ΥΠΑΡΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ
ΣΗΡΑΓΓΑ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ
ΤΟΥΝΕΛ

Πίνακας 5' – Αποτελέσματα από
Plaxis & Shake
X. Θ. : 0 m



Στον πίνακα 5 αναφέρεται η τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια χωρίς σήραγγα $1.56 \text{ (m/s}^2\text{)}$, ενώ είναι $1.90 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν η σήραγγα βρίσκεται 5m κάτω από την επιφάνεια, $1.77 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται 10m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, $1.65 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν είναι σε 15m βάθος και τέλος $1.58 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται σε 20m βάθος.

Αντιστοίχως η αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας της σήραγγας σε σχέση με αυτήν χωρίς σήραγγα είναι 22% όταν το βάθος της σήραγγας είναι 5m, 13% όταν το βάθος τούνελ είναι 10m, 6% όταν το βάθος τούνελ είναι 15m και 2% όταν το βάθος τούνελ είναι 20m. Δηλαδή, στο σημείο B, που βρίσκεται στην επιφάνεια ακριβώς πάνω από το κέντρο της σήραγγας η επιτάχυνση επηρεάζεται από την ύπαρξη τούνελ μόνο όταν το βάθος του τούνελ είναι μικρότερο από 15m.

Στον πίνακα 5' αναφέρεται η τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια χωρίς σήραγγα 1.12 (m/s²), ενώ είναι 1.31(m/s²) όταν η σήραγγα βρίσκεται 5m κάτω από την επιφάνεια, 1.27(m/s²) όταν βρίσκεται 10m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, 1.17(m/s²) όταν είναι σε 15m βάθος και τέλος 1.13(m/s²) όταν βρίσκεται σε 20m βάθος.

Αντιστοίχως η αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας της σήραγγας σε σχέση με αυτήν χωρίς σήραγγα είναι 16% όταν το βάθος της σήραγγας είναι 5m, 12% όταν το βάθος τούνελ είναι 10m, 4% όταν το βάθος τούνελ είναι 15m και 0% όταν το βάθος τούνελ είναι 20m. Δηλαδή, στο σημείο B, που βρίσκεται στην επιφάνεια ακριβώς πάνω από το κέντρο της σήραγγας η επιτάχυνση επηρεάζεται από την ύπαρξη τούνελ μόνο όταν το βάθος του τούνελ είναι μικρότερο από 10m.

Σημείο C – Οριζόντια απόσταση θεμελίωσης κατασκευής από το κέντρο τούνελ λαμβάνεται ως 10m.

**Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

POINT C Dist.: 10	SHAKE & PLAXIS		Percentage Increase (%)
	notunnel	Tunnel	
depth=5	1.72	2.10	22.13
depth=10	1.72	1.98	14.75
depth=15	1.72	1.865	8.30
depth=20	1.72	1.789	3.89
depth=25	1.72	0.00	0.00

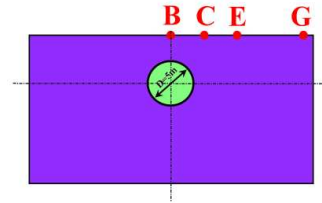
**ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΛΟΓΩ
ΥΠΑΡΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ

**ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ
ΣΗΡΑΓΓΑ**

**ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ
ΤΟΥΝΕΛ**

Πίνακας 6 – Αποτελέσματα από
Shake & Plaxis
X. Θ. : 10 m



Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ

POINT C	PLAXIS & SHAKE		Percentage Increase (%)
	notunnel	tunnel	
Dist.: 10			
depth=5	1,32	1,61	21,79
depth=10	1,32	1,50	13,16
depth=15	1,32	1,381	4,46
depth=20	1,32	1,35	2,12
depth=25	1,32	0,00	0,00

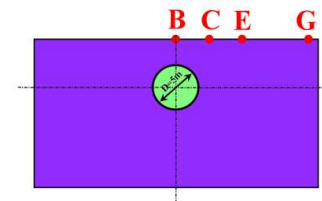
ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΛΟΓΩ
ΥΠΑΡΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ
ΣΗΡΑΓΓΑ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ
ΤΟΥΝΕΛ

Πίνακας 6' – Αποτελέσματα από
Plaxis & Shake
X. Θ. : 10 m



Στον πίνακα 6 αναφέρεται η τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια χωρίς σήραγγα 1.72 (m/s²), ενώ είναι 2.10(m/s²) όταν η σήραγγα βρίσκεται 5m κάτω από την επιφάνεια, 1.98(m/s²) όταν βρίσκεται 10m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, 1.86(m/s²) όταν είναι σε 15m βάθος και τέλος 1.78(m/s²) όταν βρίσκεται σε 20m βάθος.

Αντιστοίχως η αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας της σήραγγας σε σχέση με αυτήν χωρίς σήραγγα είναι 22% όταν το βάθος της

σήραγγας είναι 5m, 14% όταν το βάθος τούνελ είναι 10m, 8% όταν το βάθος τούνελ είναι 15m και 3% όταν το βάθος τούνελ είναι 20m. Δηλαδή, στο σημείο C, που βρίσκεται στην επιφάνεια και σε οριζόντια απόσταση 10m από το κέντρο της σήραγγας η επιτάχυνση επηρεάζεται από την ύπαρξη τούνελ μόνο όταν το βάθος του τούνελ είναι μικρότερο από 15m.

Στον πίνακα 6' αναφέρεται η τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια χωρίς σήραγγα $1.32 \text{ (m/s}^2\text{)}$, ενώ είναι $1.61 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν η σήραγγα βρίσκεται 5m κάτω από την επιφάνεια, $1.50 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται 10m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, $1.38 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν είναι σε 15m βάθος και τέλος $1.35 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται σε 20m βάθος.

Αντιστοίχως η αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας της σήραγγας σε σχέση με αυτήν χωρίς σήραγγα είναι 21% όταν το βάθος της σήραγγας είναι 5m, 13% όταν το βάθος τούνελ είναι 10m, 4% όταν το βάθος τούνελ είναι 15m και 2% όταν το βάθος τούνελ είναι 20m. Δηλαδή, στο σημείο C, που βρίσκεται στην επιφάνεια και σε οριζόντια απόσταση 10m από το κέντρο της σήραγγας η επιτάχυνση επηρεάζεται από την ύπαρξη τούνελ μόνο όταν το βάθος του τούνελ είναι μικρότερο από 10m.

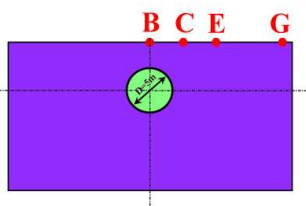
Σημείο Ε – Οριζόντια απόσταση θεμελίωσης κατασκευής από το κέντρο τούνελ λαμβάνεται ως 20m

**Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

POINT E Dist.: 20	SHAKE & PLAXIS		Percentage Increase (%)
	notunnel	tunnel	
depth=5	2.03	2.21	8.91
depth=10	2.03	2.15	5.56
depth=15	2.03	2.103	3.49
depth=20	2.03	2.096	3.15
depth=25	2.03	0.00	0.00

↑ **ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΛΟΓΩ ΥΠΑΡΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ**
 ↓ **ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ ΤΟΥΝΕΛ**
 ↙ **ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ ΣΗΡΑΓΓΑ**
 ↘ **ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ**

Πίνακας 7 – Αποτελέσματα από Shake & Plaxis
X. Θ. :20 m

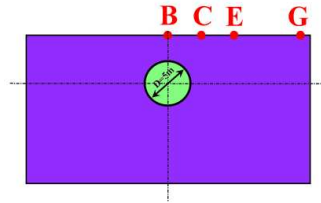


**Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

POINT E Dist.: 20	PLAXIS & SHAKE		Percentage Increase (%)
	notunnel	tunnel	
depth=5	1,39	1,63	17,19
depth=10	1,39	1,52	9,21
depth=15	1,39	1,45	4,32
depth=20	1,39	1,405	1,08
depth=25	1,39	0,00	0,00

↑ **ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΛΟΓΩ ΥΠΑΡΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ**
 ↓ **ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ ΤΟΥΝΕΛ**
 ↙ **ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ ΣΗΡΑΓΓΑ**
 ↘ **ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ**

**Πίνακας 7' – Αποτελέσματα από
Plaxis & Shake
X. Θ. : 20 m**



Στον πίνακα 7 αναφέρεται η τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια χωρίς σήραγγα $2.03(m/s^2)$, ενώ είναι $2.21(m/s^2)$ όταν η σήραγγα βρίσκεται 5m κάτω από την επιφάνεια, $2.15(m/s^2)$ όταν βρίσκεται 10m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, $2.10(m/s^2)$ όταν είναι σε 15m βάθος και τέλος $2.09(m/s^2)$ όταν βρίσκεται σε 20m βάθος.

Αντιστοίχως η αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας της σήραγγας σε σχέση με αυτήν χωρίς σήραγγα είναι 8% όταν το βάθος της σήραγγας είναι 5m, 5% όταν το βάθος τούνελ είναι 10m, 3% όταν το βάθος τούνελ είναι 15m και 3% όταν το βάθος τούνελ είναι 20m. Δηλαδή, στο σημείο E, που βρίσκεται στην επιφάνεια και σε οριζόντια απόσταση 20m από το κέντρο της σήραγγας η επιτάχυνση επηρεάζεται από την ύπαρξη τούνελ μόνο όταν το βάθος του τούνελ είναι μικρότερο από 10m.

Στον πίνακα 7' αναφέρεται η τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια χωρίς σήραγγα $1.39 (m/s^2)$, ενώ είναι $1.63(m/s^2)$ όταν η σήραγγα βρίσκεται 5m κάτω από την επιφάνεια, $1.52(m/s^2)$ όταν βρίσκεται 10m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, $1.45(m/s^2)$ όταν είναι σε 15m βάθος και τέλος $1.41(m/s^2)$ όταν βρίσκεται σε 20m βάθος.

Αντιστοίχως η αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας της σήραγγας σε σχέση με αυτήν χωρίς σήραγγα είναι 17% όταν το βάθος της σήραγγας είναι 5m, 9% όταν το βάθος τούνελ είναι 10m, 4% όταν το βάθος τούνελ είναι 15m και 1% όταν το βάθος τούνελ είναι 20m. Δηλαδή, στο σημείο E, που βρίσκεται στην επιφάνεια και σε οριζόντια απόσταση 20m από το κέντρο της σήραγγας η επιτάχυνση επηρεάζεται από την ύπαρξη τούνελ μόνο όταν το βάθος του τούνελ είναι μικρότερο από 10m.

Σημείο G – Οριζόντια απόσταση θεμελίωσης κατασκευής από το κέντρο τούνελ λαμβάνεται ως 40m.

Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ

POINT G	SHAKE & PLAXIS		Percentage Increase (%)
	Notunnel	Tunnel	
Dist.: 40	1.77	1.81	2.66
depth=5	1.77	1.80	1.87
depth=10	1.77	1.698	-3.80
depth=20	1.77	1.805	2.27
depth=25	1.77	0.00	0.00

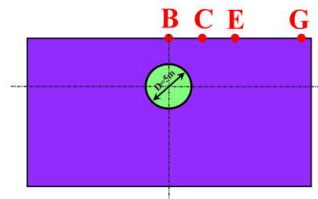
ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΛΟΓΩ ΥΠΑΡΧΕΝΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ ΣΗΡΑΓΓΑ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ ΤΟΥΝΕΛ

Πίνακας 8 – Αποτελέσματα από Shake & Plaxis
X. Θ. :40 m



Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ

POINT G	PLAXIS & SHAKE		Percentage
	notunnel	tunnel	Increase (%)
Dist.: 40			
depth=5	1,41	1,47	4,04
depth=10	1,41	1,47	3,90
depth=15	1,41	1,421	0,78
depth=20	1,41	1,404	-0,43
depth=25	1,41	0,00	0,00

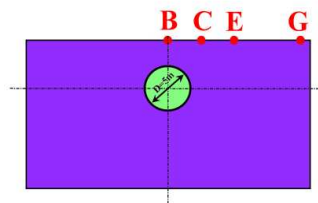
ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΛΟΓΩ
ΥΠΑΡΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ
ΣΗΡΑΓΓΑ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ
ΤΟΥΝΕΛ

Πίνακας 8' – Αποτελέσματα από
Plaxis & Shake
X. Θ. : 40 m



Στον πίνακα 8 αναφέρεται η τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια χωρίς σήραγγα $1.77(\text{m}/\text{s}^2)$, ενώ είναι $1.81(\text{m}/\text{s}^2)$ όταν η σήραγγα βρίσκεται 5m κάτω από την επιφάνεια, $1.80(\text{m}/\text{s}^2)$ όταν βρίσκεται 10m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, $1.69(\text{m}/\text{s}^2)$ όταν είναι σε 15m βάθος και τέλος $1.80(\text{m}/\text{s}^2)$ όταν βρίσκεται σε 20m βάθος.

Αντιστοίχως η αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας της σήραγγας σε σχέση με αυτήν χωρίς σήραγγα είναι 2% όταν το βάθος της σήραγγας είναι 5m, 1% όταν το βάθος τούνελ είναι 10m, -3% όταν το βάθος τούνελ είναι 15m και 2% όταν το βάθος τούνελ είναι 20m. Δηλαδή, στο σημείο G, που βρίσκεται στην επιφάνεια και σε οριζόντια απόσταση 40m από το κέντρο της σήραγγας η επιτάχυνση δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη τούνελ.

Στον πίνακα 8' αναφέρεται η τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια χωρίς σήραγγα $1.41 \text{ (m/s}^2\text{)}$, ενώ είναι $1.47 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν η σήραγγα βρίσκεται 5m κάτω από την επιφάνεια, $1.47 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται 10m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, $1.42 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν είναι σε 15m βάθος και τέλος $1.41 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται σε 20m βάθος.

Αντιστοίχως η αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας της σήραγγας σε σχέση με αυτήν χωρίς σήραγγα είναι 4% όταν το βάθος της σήραγγας είναι 5m, 3% όταν το βάθος τούνελ είναι 10m, 0% όταν το βάθος τούνελ είναι 15m και 0% όταν το βάθος τούνελ είναι 20m. Δηλαδή, στο σημείο G, που βρίσκεται στην επιφάνεια και σε οριζόντια απόσταση 40m από το κέντρο της σήραγγας η επιτάχυνση δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη τούνελ.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στον πρώτο πίνακα το μέρος του εδαφικού προφίλ από το βράχο και μέχρι απόσταση 5m κάτω από το κέντρο της σήραγγας μοντελοποιείται στο Shake ως ανελαστικό σύστημα. Αναλυτικά, όταν το βάθος του τούνελ είναι 5m τότε στο Shake μοντελοποιείται το έδαφος από το βράχο μέχρι βάθος 10m από την επιφάνεια και το υπόλοιπο στο Plaxis. Όταν το βάθος τούνελ είναι 10m τότε προσομοιώνεται στο Shake το έδαφος από την επιφάνεια του βράχου μέχρι βάθος 15m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, ενώ το υπόλοιπο μέρος μοντελοποιείται στο Plaxis. Με βάθος σήραγγας 15m στο Plaxis μοντελοποιείται η εδαφική διαστρωμάτωση μέχρι βάθος 20m και το υπόλοιπο μέρος προσομοιώνεται στο Shake. Τέλος, όταν το βάθος της σήραγγας είναι 20m με τη βοήθεια του Plaxis προσομοιώνεται το εδαφικό προφίλ μέχρι βάθος 25m και το υπόλοιπο μέρος μοντελοποιείται με τη βοήθεια του Shake.

Σύμφωνα με τη δεύτερη μέθοδο όταν η σήραγγα έχει βάθος 5m η επιτάχυνση αυξάνεται από 9% έως 22%, όταν η σήραγγα έχει βάθος 10m η επιτάχυνση αυξάνεται από 5% έως 14% , όταν το βάθος είναι 15m η επιτάχυνση αυξάνεται από 6% έως 8% και όταν το βάθος σήραγγας είναι μεγαλύτερο από 15m η επιτάχυνση δεν επηρεάζεται καθόλου από την παρουσία σήραγγας.

Όταν η οριζόντια απόσταση μίας θεμελίωσης κατασκευής από το κέντρο σήραγγας λαμβάνεται ως 0m τότε η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί μέχρι 22%. Σε οριζόντια απόσταση από το κέντρο του τούνελ ίση με 10m η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί μέχρι 22%, σε απόσταση 20m μέχρι 9% ενώ σε απόσταση μεγαλύτερη από 20m δεν επηρεάζεται η τιμή της επιτάχυνσης από την παρουσία τούνελ.

Στο δεύτερο πίνακα το μέρος του εδαφικού προφίλ από το βράχο και μέχρι απόσταση 5m πάνω από το κέντρο της σήραγγας μοντελοποιείται στο Plaxis ως ελαστικό σύστημα και το υπόλοιπο εδαφικό προφίλ

μοντελοποιείται στο Shake ως ανελαστικό. Αναλυτικά, όταν το βάθος του τούνελ είναι 5m τότε στο Plaxis μοντελοποιείται το έδαφος από το βράχο μέχρι βάθος 2.5m από την επιφάνεια και το υπόλοιπο στο Shake. Όταν το βάθος τούνελ είναι 10m τότε προσομοιώνεται στο Plaxis το έδαφος από την επιφάνεια του βράχου μέχρι βάθος 5m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, ενώ το υπόλοιπο μέρος μοντελοποιείται στο Shake. Με βάθος σήραγγας 15m στο Plaxis μοντελοποιείται η εδαφική διαστρωμάτωση μέχρι βάθος 10m και το υπόλοιπο μέρος προσομοιώνεται στο Shake. Τέλος, όταν το βάθος της σήραγγας είναι 20m με τη βοήθεια του Shake προσομοιώνεται το εδαφικό προφίλ μέχρι βάθος 15m και το υπόλοιπο μέρος μοντελοποιείται με τη βοήθεια του Plaxis.

Σύμφωνα με την τρίτη μέθοδο όταν η σήραγγα έχει βάθος 5m η επιτάχυνση αυξάνεται από 16% έως 21%, όταν η σήραγγα έχει βάθος 10m η επιτάχυνση αυξάνεται από 9% έως 13% και όταν το βάθος σήραγγας είναι μεγαλύτερο από 10m η επιτάχυνση δεν επηρεάζεται καθόλου από την παρουσία σήραγγας.

Όταν η οριζόντια απόσταση μίας θεμελίωσης κατασκευής από το κέντρο σήραγγας λαμβάνεται ως 0m τότε η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί μέχρι 16%. Σε οριζόντια απόσταση από το κέντρο του τούνελ ίση με 10m η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί μέχρι 21%, σε απόσταση 20m μέχρι 17% ενώ σε απόσταση μεγαλύτερη από 20m δεν επηρεάζεται η τιμή της επιτάχυνσης από την παρουσία τούνελ.

3.3 Ο σεισμός του Ντότσε (Τουρκία) 1999

Σημείο Β – Οριζόντια απόσταση θεμελίωσης κατασκευής από το κέντρο τούνελ λαμβάνεται ως 0m.

Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ

POINT B	SHAKE & PLAXIS		Percentage Increase (%)
	notunnel	tunnel	
Dist.: 0	1.79	2.13	19.06
depth=5	1.79	1.95	9.22
depth=10	1.79	1.821	1.79
depth=15	1.79	1.787	-0.11
depth=20	1.79	0.00	0.00
depth=25	1.79	0.00	0.00

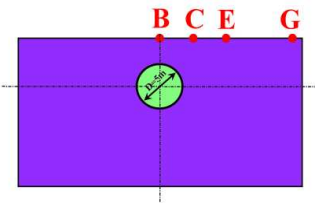
ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΛΟΓΩ
ΥΠΑΡΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ
ΣΗΡΑΓΓΑ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ
ΤΟΥΝΕΛ

Πίνακας 9 – Αποτελέσματα από
Shake & Plaxis
X. Θ. : 0 m



Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ

POINT B	PLAXIS & SHAKE		Percentage
	notunnel	tunnel	Increase (%)
Dist.: 0	1,50	1,90	20,94
depth=5	1,50	1,74	13,85
depth=10	1,50	1,621	7,53
depth=15	1,50	1,56	3,91
depth=20	1,50	0,00	0,00

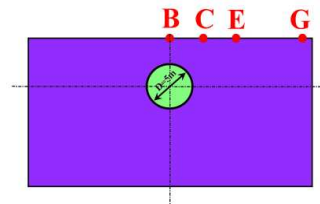
ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΛΟΓΩ
ΥΠΑΡΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ
ΣΗΡΑΓΓΑ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ
ΤΟΥΝΕΛ

Πίνακας 9' – Αποτελέσματα από
Plaxis & Shake
X. Θ. : 0 m



Στον πίνακα 9 αναφέρεται η τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια χωρίς σήραγγα $1.79 \text{ (m/s}^2\text{)}$, ενώ είναι $2.13 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν η σήραγγα βρίσκεται 5m κάτω από την επιφάνεια, $1.95 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται 10m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, $1.82 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν είναι σε 15m βάθος και τέλος $1.78 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται σε 20m βάθος.

Αντιστοίχως η αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας της σήραγγας σε σχέση με αυτήν χωρίς σήραγγα είναι 19% όταν το βάθος της σήραγγας είναι 5m, 9% όταν το βάθος τούνελ είναι 10m, 1% όταν το βάθος τούνελ είναι 15m και 0% όταν το βάθος τούνελ είναι 20m. Δηλαδή, στο σημείο B, που βρίσκεται στην επιφάνεια ακριβώς πάνω από το κέντρο της σήραγγας η επιτάχυνση επηρεάζεται από την ύπαρξη τούνελ μόνο όταν το βάθος του τούνελ είναι μικρότερο από 10m.

Στον πίνακα 10' αναφέρεται η τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια χωρίς σήραγγα 1.50 (m/s²), ενώ είναι 1.90(m/s²) όταν η σήραγγα βρίσκεται 5m κάτω από την επιφάνεια, 1.74(m/s²) όταν βρίσκεται 10m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, 1.62(m/s²) όταν είναι σε 15m βάθος και τέλος 1.56(m/s²) όταν βρίσκεται σε 20m βάθος.

Αντιστοίχως η αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας της σήραγγας σε σχέση με αυτήν χωρίς σήραγγα είναι 20% όταν το βάθος της σήραγγας είναι 5m, 13% όταν το βάθος τούνελ είναι 10m, 7% όταν το βάθος τούνελ είναι 15m και 3% όταν το βάθος τούνελ είναι 20m. Δηλαδή, στο σημείο B, που βρίσκεται στην επιφάνεια ακριβώς πάνω από το κέντρο της σήραγγας η επιτάχυνση επηρεάζεται από την ύπαρξη τούνελ μόνο όταν το βάθος του τούνελ είναι μικρότερο από 15m.

Σημείο C – Οριζόντια απόσταση θεμελίωσης κατασκευής από το κέντρο τούνελ λαμβάνεται ως 10m.

**Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

POINT C	SHAKE & PLAXIS		Percentage Increase (%)
	notunnel	tunnel	
Dist.: 10			
depth=5	1.72	2.10	22.13
depth=10	1.72	1.92	11.73
depth=15	1.72	1.835	6.56
depth=20	1.72	1.789	3.89
depth=25	1.72	0.00	0.00

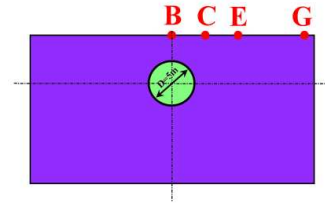
**ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΛΟΓΩ
ΥΠΑΡΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ

**ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ
ΣΗΡΑΓΓΑ**

**ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ
ΤΟΥΝΕΛ**

Πίνακας 10 – Αποτελέσματα από
Shake & Plaxis
X. Θ. : 10 m



Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ

POINT C	PLAXIS & SHAKE		Percentage Increase (%)
	notunnel	tunnel	
Dist.: 10			
depth=5	1,50	1,90	21,12
depth=10	1,50	1,77	15,37
depth=15	1,50	1,651	9,27
depth=20	1,50	1,53	2,09
depth=25	1,50	0,00	0,00

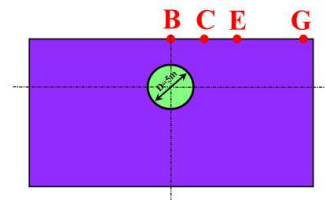
ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΛΟΓΩ
ΥΠΑΡΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ
ΣΗΡΑΓΓΑ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ
ΤΟΥΝΕΛ

Πίνακας 10' – Αποτελέσματα από
Plaxis & Shake
X. Θ. : 10 m



Στον πίνακα 10 αναφέρεται η τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια χωρίς σήραγγα 1.72 (m/s²), ενώ είναι 2.10(m/s²) όταν η σήραγγα βρίσκεται 5m κάτω από την επιφάνεια, 1.92(m/s²) όταν βρίσκεται 10m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, 1.83(m/s²) όταν είναι σε 15m βάθος και τέλος 1.78(m/s²) όταν βρίσκεται σε 20m βάθος.

Αντιστοίχως η αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας της σήραγγας σε σχέση με αυτήν χωρίς σήραγγα είναι 22% όταν το βάθος της

σήραγγας είναι 5m, 11% όταν το βάθος τούνελ είναι 10m, 6% όταν το βάθος τούνελ είναι 15m και 3% όταν το βάθος τούνελ είναι 20m. Δηλαδή, στο σημείο C, που βρίσκεται στην επιφάνεια και σε οριζόντια απόσταση 10m από το κέντρο της σήραγγας η επιτάχυνση επηρεάζεται από την ύπαρξη τούνελ μόνο όταν το βάθος του τούνελ είναι μικρότερο από 15m.

Στον πίνακα 10' αναφέρεται η τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια χωρίς σήραγγα $1.50 \text{ (m/s}^2\text{)}$, ενώ είναι $1.90 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν η σήραγγα βρίσκεται 5m κάτω από την επιφάνεια, $1.77 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται 10m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, $1.65 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν είναι σε 15m βάθος και τέλος $1.53 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται σε 20m βάθος.

Αντιστοίχως η αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας της σήραγγας σε σχέση με αυτήν χωρίς σήραγγα είναι 21% όταν το βάθος της σήραγγας είναι 5m, 15% όταν το βάθος τούνελ είναι 10m, 9% όταν το βάθος τούνελ είναι 15m και 2% όταν το βάθος τούνελ είναι 20m. Δηλαδή, στο σημείο C, που βρίσκεται στην επιφάνεια και σε οριζόντια απόσταση 10m από το κέντρο της σήραγγας η επιτάχυνση επηρεάζεται από την ύπαρξη τούνελ μόνο όταν το βάθος του τούνελ είναι μικρότερο από 10m.

Σημείο E – Οριζόντια απόσταση θεμελίωσης κατασκευής από το κέντρο τούνελ λαμβάνεται ως 20m

**Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

POINT E	SHAKE & PLAXIS		Percentage Increase (%)
	notunnel	tunnel	
Dist.: 20			
depth=5	1.65	1.85	12.09
depth=10	1.65	1.77	6.83
depth=15	1.65	1.675	1.27
depth=20	1.65	1.664	0.60
depth=25	1.65	0.00	0.00

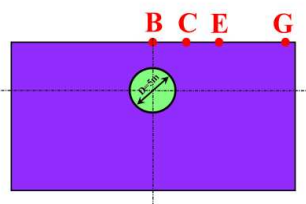
ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΛΟΓΩ ΥΠΑΡΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ ΣΗΡΑΓΓΑ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ ΤΟΥΝΕΛ

Πίνακας 11 – Αποτελέσματα από Shake & Plaxis
X. Θ. :20 m



**Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

POINT E	PLAXIS & SHAKE		Percentage Increase (%)
	notunnel	tunnel	
Dist.: 20			
depth=5	1,48	1,74	15,17
depth=10	1,48	1,62	8,89
depth=15	1,48	1,55	4,77
depth=20	1,48	1,49	0,94
depth=25	1,48	0,00	0,00

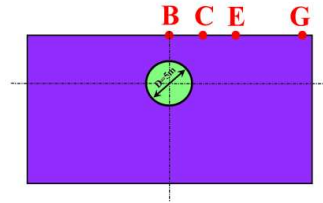
ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΛΟΓΩ ΥΠΑΡΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ ΣΗΡΑΓΓΑ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ ΤΟΥΝΕΛ

**Πίνακας 11' – Αποτελέσματα από
Plaxis & Shake
Χ. Θ. : 20 m**



Στον πίνακα 11 αναφέρεται η τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια χωρίς σήραγγα $1.65 \text{ (m/s}^2\text{)}$, ενώ είναι $1.85 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν η σήραγγα βρίσκεται 5m κάτω από την επιφάνεια, $1.77 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται 10m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, $1.67 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν είναι σε 15m βάθος και τέλος $1.66 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται σε 20m βάθος.

Αντιστοίχως η αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας της σήραγγας σε σχέση με αυτήν χωρίς σήραγγα είναι 12% όταν το βάθος της σήραγγας είναι 5m, 6% όταν το βάθος τούνελ είναι 10m, 1% όταν το βάθος τούνελ είναι 15m και 0% όταν το βάθος τούνελ είναι 20m. Δηλαδή, στο σημείο E, που βρίσκεται στην επιφάνεια και σε οριζόντια απόσταση 20m από το κέντρο της σήραγγας η επιτάχυνση επηρεάζεται από την ύπαρξη τούνελ μόνο όταν το βάθος του τούνελ είναι μικρότερο από 10m.

Στον πίνακα 11' αναφέρεται η τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια χωρίς σήραγγα $1.48 \text{ (m/s}^2\text{)}$, ενώ είναι $1.74 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν η σήραγγα βρίσκεται 5m κάτω από την επιφάνεια, $1.62 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται 10m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, $1.55 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν είναι σε 15m βάθος και τέλος $1.49 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται σε 20m βάθος.

Αντιστοίχως η αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας της σήραγγας σε σχέση με αυτήν χωρίς σήραγγα είναι 15% όταν το βάθος της σήραγγας είναι 5m, 8% όταν το βάθος τούνελ είναι 10m, 4% όταν το βάθος τούνελ είναι 15m και 0% όταν το βάθος τούνελ είναι 20m. Δηλαδή, στο σημείο E, που βρίσκεται στην επιφάνεια και σε οριζόντια απόσταση 20m από το κέντρο της σήραγγας η επιτάχυνση επηρεάζεται από την ύπαρξη τούνελ μόνο όταν το βάθος του τούνελ είναι μικρότερο από 10m.

Σημείο G – Οριζόντια απόσταση θεμελίωσης κατασκευής από το κέντρο τούνελ λαμβάνεται ως 40m.

**Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

POINT G Dist.: 40	SHAKE & PLAXIS		Percentage Increase (%)
	notunnel	tunnel	
depth=5	1.67	1.71	2.82
depth=10	1.67	1.70	1.98
depth=15	1.67	1.698	1.98
depth=20	1.67	1.705	2.40
depth=25	1.67	0.00	0.00

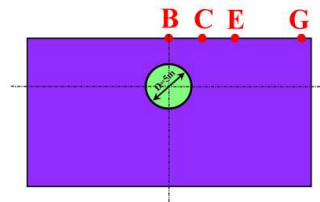
**ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΛΟΓΩ
ΥΠΑΡΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ**

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ

**ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ
ΣΗΡΑΓΓΑ**

**ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ
ΤΟΥΝΕΛ**

**Πίνακας 12 – Αποτελέσματα από
Shake & Plaxis
Χ. Θ. :40 m**



Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ

POINT G	PLAXIS & SHAKE		Percentage Increase (%)
	notunnel	tunnel	
Dist.: 40			
depth=5	1,43	1,48	3,24
depth=10	1,43	1,47	2,59
depth=15	1,43	1,47	2,59
depth=20	1,43	1,46	1,92
depth=25	1,43	0,00	0,00

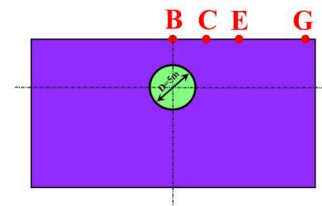
ΑΥΞΗΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΛΟΓΩ
ΥΠΑΡΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΒΑΘΟΣ ΤΟΥΝΕΛ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΧΩΡΙΣ
ΣΗΡΑΓΓΑ

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΜΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΘΟΥΣ
ΤΟΥΝΕΛ

Πίνακας 12' – Αποτελέσματα από
Plaxis & Shake
X. Θ. : 40 m



Στον πίνακα 12 αναφέρεται η τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια χωρίς σήραγγα 1.67 (m/s²), ενώ είναι 1.71(m/s²) όταν η σήραγγα βρίσκεται 5m κάτω από την επιφάνεια, 1.70(m/s²) όταν βρίσκεται 10m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, 1.69(m/s²) όταν είναι σε 15m βάθος και τέλος 1.70(m/s²) όταν βρίσκεται σε 20m βάθος.

Αντιστοίχως η αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας της σήραγγας σε σχέση με αυτήν χωρίς σήραγγα είναι 2% όταν το βάθος της σήραγγας είναι 5m, 1% όταν το βάθος τούνελ είναι 10m, 1% όταν το βάθος τούνελ είναι 15m και 2% όταν το βάθος τούνελ είναι 20m. Δηλαδή, στο σημείο G, που βρίσκεται στην επιφάνεια και σε οριζόντια απόσταση 40m από το κέντρο της σήραγγας η επιτάχυνση δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη τούνελ για κανένα βάθος της σήραγγας.

Στον πίνακα 12' αναφέρεται η τιμή της επιτάχυνσης στην επιφάνεια χωρίς σήραγγα $1.43 \text{ (m/s}^2\text{)}$, ενώ είναι $1.48 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν η σήραγγα βρίσκεται 5m κάτω από την επιφάνεια, $1.47 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται 10m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, $1.47 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν είναι σε 15m βάθος και τέλος $1.46 \text{ (m/s}^2\text{)}$ όταν βρίσκεται σε 20m βάθος.

Αντιστοίχως η αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης λόγω της παρουσίας της σήραγγας σε σχέση με αυτήν χωρίς σήραγγα είναι 3% όταν το βάθος της σήραγγας είναι 5m, 2% όταν το βάθος τούνελ είναι 10m, 2% όταν το βάθος τούνελ είναι 15m και 1% όταν το βάθος τούνελ είναι 20m. Δηλαδή, στο σημείο G, που βρίσκεται στην επιφάνεια και σε οριζόντια απόσταση 40m από το κέντρο της σήραγγας η επιτάχυνση δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη τούνελ για κανένα βάθος της σήραγγας.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στον πρώτο πίνακα το μέρος του εδαφικού προφίλ από το βράχο και μέχρι απόσταση 5m κάτω από το κέντρο της σήραγγας μοντελοποιείται στο Shake ως ανελαστικό σύστημα. Αναλυτικά, όταν το βάθος του τούνελ είναι 5m τότε στο Shake μοντελοποιείται το έδαφος από το βράχο μέχρι βάθος 10m από την επιφάνεια και το υπόλοιπο στο Plaxis. Όταν το βάθος τούνελ είναι 10m τότε προσομοιώνεται στο Shake το έδαφος από την επιφάνεια του βράχου μέχρι βάθος 15m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, ενώ το υπόλοιπο μέρος μοντελοποιείται στο Plaxis. Με βάθος σήραγγας 15m στο Plaxis μοντελοποιείται η εδαφική διαστρωμάτωση μέχρι βάθος 20m και το υπόλοιπο μέρος προσομοιώνεται στο Shake. Τέλος, όταν το βάθος της σήραγγας είναι 20m με τη βοήθεια του Plaxis προσομοιώνεται το εδαφικό προφίλ μέχρι βάθος 25m και το υπόλοιπο μέρος μοντελοποιείται με τη βοήθεια του Shake.

Σύμφωνα με τη δεύτερη μέθοδο όταν η σήραγγα έχει βάθος 5m η επιτάχυνση αυξάνεται από 12% έως 22%, όταν η σήραγγα έχει βάθος 10m η επιτάχυνση αυξάνεται από 6% έως 11% , όταν το βάθος είναι 15m η επιτάχυνση αυξάνεται έως 6% και όταν το βάθος σήραγγας είναι μεγαλύτερο από 15m η επιτάχυνση δεν επηρεάζεται καθόλου από την παρουσία σήραγγας.

Όταν η οριζόντια απόσταση μίας θεμελίωσης κατασκευής από το κέντρο σήραγγας λαμβάνεται ως 0m τότε η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί μέχρι 19%. Σε οριζόντια απόσταση από το κέντρο του τούνελ ίση με 10m η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί μέχρι 22%, σε απόσταση 20m μέχρι 12% ενώ σε απόσταση μεγαλύτερη από 20m δεν επηρεάζεται η τιμή της επιτάχυνσης από την παρουσία τούνελ.

Στο δεύτερο πίνακα το μέρος του εδαφικού προφίλ από το βράχο και μέχρι απόσταση 5m πάνω από το κέντρο της σήραγγας μοντελοποιείται στο Plaxis ως ελαστικό σύστημα και το υπόλοιπο εδαφικό προφίλ

μοντελοποιείται στο Shake ως ανελαστικό. Αναλυτικά, όταν το βάθος του τούνελ είναι 5m τότε στο Plaxis μοντελοποιείται το έδαφος από το βράχο μέχρι βάθος 2.5m από την επιφάνεια και το υπόλοιπο στο Shake. Όταν το βάθος τούνελ είναι 10m τότε προσομοιώνεται στο Plaxis το έδαφος από την επιφάνεια του βράχου μέχρι βάθος 5m κάτω από την εδαφική επιφάνεια, ενώ το υπόλοιπο μέρος μοντελοποιείται στο Shake. Με βάθος σήραγγας 15m στο Plaxis μοντελοποιείται η εδαφική διαστρωμάτωση μέχρι βάθος 10m και το υπόλοιπο μέρος προσομοιώνεται στο Shake. Τέλος, όταν το βάθος της σήραγγας είναι 20m με τη βοήθεια του Shake προσομοιώνεται το εδαφικό προφίλ μέχρι βάθος 15m και το υπόλοιπο μέρος μοντελοποιείται με τη βοήθεια του Plaxis.

Σύμφωνα με την τρίτη μέθοδο όταν η σήραγγα έχει βάθος 5m η επιτάχυνση αυξάνεται από 15% έως 21%, όταν η σήραγγα έχει βάθος 10m η επιτάχυνση αυξάνεται από 8% έως 15%, όταν η σήραγγα έχει βάθος 15m η επιτάχυνση αυξάνεται από 7% έως 9% και όταν το βάθος σήραγγας είναι μεγαλύτερο από 10m η επιτάχυνση δεν επηρεάζεται καθόλου από την παρουσία σήραγγας.

Όταν η οριζόντια απόσταση μίας θεμελίωσης κατασκευής από το κέντρο σήραγγας λαμβάνεται ως 0m τότε η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί μέχρι 20%. Σε οριζόντια απόσταση από το κέντρο του τούνελ ίση με 10m η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί μέχρι 21%, σε απόσταση 20m μέχρι 15% ενώ σε απόσταση μεγαλύτερη από 20m δεν επηρεάζεται η τιμή της επιτάχυνσης από την παρουσία τούνελ.

Κεφάλαιο 4 – Συμπεράσματα

4. Κεφάλαιο 4 – Συμπεράσματα

Ο στόχος αυτής της μελέτης είναι να εξεταστεί η ιδιαίτερη επιρροή που έχει η παρουσία μιας σήραγγας στην επιφανειακή επιτάχυνση, καθώς επίσης και να επισημανθούν τα όρια των παραμέτρων, όπως το βάθος σηράγγων και η οριζόντια απόσταση μιας κατασκευής από τον άξονα της σήραγγας, πέρα από τα οποία η διαφορά στην επιφανειακή εδαφική επιτάχυνση δεν μπορεί να παραμεληθεί.

Διορθωμένα επιταχυνσιογραφήματα των σεισμών στην Αθήνα (Ελλάδα), Κόμπε (Ιαπωνία) και Ντότσε (Τουρκία) χρησιμοποιούνται σε αυτήν την έρευνα. Τα γεωτεχνικά στοιχεία έχουν προέλθει από τις γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της κατασκευής του μετρό στην Αθήνα. Για το σεισμό της Αθήνας τρεις προσεγγίσεις εφαρμόστηκαν. Στην πρώτη προσέγγιση η εδαφική διαστρωμάτωση με τη σήραγγα μοντελοποιήθηκαν ως ένα ελαστικό σύστημα με το λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων που ονομάζεται Plaxis. Στη δεύτερη προσέγγιση το μέρος της εδαφικής διαστρωμάτωσης πάνω από το στρώμα του βράχου και μέχρι μια απόσταση 2.5 m κάτω από το χαμηλότερο σημείο της σήραγγας μοντελοποιήθηκε με λογισμικό ικανό να υπολογίζει μη ελαστική εδαφική συμπεριφορά, ενώ το ανώτερο μέρος συμπεριλαμβανομένης της σήραγγας διαμορφώθηκε ως ελαστικό σύστημα χρησιμοποιώντας το Plaxis. Στην τρίτη προσέγγιση το μέρος της εδαφικής διαστρωμάτωσης πάνω από το στρώμα του βράχου και μέχρι μια απόσταση 2.5 m πάνω από το υψηλότερο σημείο της σήραγγας μοντελοποιήθηκε με το λογισμικό Plaxis που είναι ικανό να υπολογίζει ελαστική εδαφική συμπεριφορά, ενώ το κατώτερο μέρος συμπεριλαμβανομένης της σήραγγας διαμορφώθηκε ως μη ελαστικό σύστημα χρησιμοποιώντας το Shake.

4.1 Συμπεράσματα από το σεισμό της Αθήνας

Οι τιμές επιτάχυνσης που υπολογίζονται στην επιφάνεια από την πρώτη μέθοδο είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές που προκύπτουν από τη δεύτερη και την τρίτη μέθοδο όπως αναμενόταν.

Η πρώτη μέθοδος προσομοιώνει το έδαφος σαν ελαστικό σύστημα ενώ η δεύτερη και η τρίτη σα μερικώς μη ελαστικό και δεδομένου του γεγονότος ότι οι σεισμοί που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την εργασία είναι ισχυροί μπορεί να ειπωθεί ότι η εδαφική συμπεριφορά απέχει πολύ από την ελαστική. Έτσι, τα συμπεράσματα κυρίως θα βασιστούν στη 2^η και την 3^η μέθοδο.

Μόνο ποιοτικά συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν από τη δεύτερη μέθοδο όπως το γεγονός ότι καθώς το βάθος του τούνελ αυξάνεται και η οριζόντια απόσταση μιας θεμελίωσης από το κέντρο της σήραγγας μεγαλώνει έτσι η επίδραση της παρουσίας της σήραγγας εξαλείφεται.

Σύμφωνα με τη δεύτερη μέθοδο όταν η σήραγγα έχει βάθος 5m η επιτάχυνση αυξάνεται από 9% έως 15%, όταν η σήραγγα έχει βάθος 10m η επιτάχυνση αυξάνεται από 5% έως 9% και όταν το βάθος σήραγγας είναι μεγαλύτερο από 10m η επιτάχυνση δεν επηρεάζεται καθόλου από την παρουσία σήραγγας.

Όταν η οριζόντια απόσταση μίας θεμελίωσης κατασκευής από το κέντρο σήραγγας λαμβάνεται ως 0m τότε η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί μέχρι 15%. Σε οριζόντια απόσταση από το κέντρο του τούνελ ίση με 10m η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί μέχρι 13%, σε απόσταση 20m μέχρι 9% ενώ σε απόσταση μεγαλύτερη από 20m η παρουσία του τούνελ μπορεί να αμεληθεί.

Σύμφωνα με τη τρίτη μέθοδο όταν η σήραγγα έχει βάθος 5m η επιτάχυνση αυξάνεται από 9% έως 20%, όταν η σήραγγα έχει βάθος 10m η επιτάχυνση

αυξάνεται από 5% έως 12% και όταν το βάθος σήραγγας είναι μεγαλύτερο από 10m η επιτάχυνση δεν επηρεάζεται καθόλου από την παρουσία σήραγγας.

Όταν η οριζόντια απόσταση μίας θεμελίωσης κατασκευής από το κέντρο σήραγγας λαμβάνεται ως 0m τότε η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί μέχρι 17%. Σε οριζόντια απόσταση από το κέντρο του τούνελ ίση με 10m η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί μέχρι 20%, σε απόσταση 20m μέχρι 9% ενώ σε απόσταση μεγαλύτερη από 20m η παρουσία του τούνελ μπορεί να αμεληθεί.

4.2 Συμπεράσματα από το σεισμό του Κόμπε

Σύμφωνα με τη δεύτερη μέθοδο όταν η σήραγγα έχει βάθος 5m η επιτάχυνση αυξάνεται από 9% έως 22%, όταν η σήραγγα έχει βάθος 10m η επιτάχυνση αυξάνεται από 5% έως 14% , όταν το βάθος είναι 15m η επιτάχυνση αυξάνεται από 6% έως 8% και όταν το βάθος σήραγγας είναι μεγαλύτερο από 15m η επιτάχυνση δεν επηρεάζεται καθόλου από την παρουσία σήραγγας.

Όταν η οριζόντια απόσταση μίας θεμελίωσης κατασκευής από το κέντρο σήραγγας λαμβάνεται ως 0m τότε η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί μέχρι 22%. Σε οριζόντια απόσταση από το κέντρο του τούνελ ίση με 10m η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί μέχρι 22%, σε απόσταση 20m μέχρι 9% ενώ σε απόσταση μεγαλύτερη από 20m δεν επηρεάζεται η τιμή της επιτάχυνσης από την παρουσία τούνελ.

Σύμφωνα με την τρίτη μέθοδο όταν η σήραγγα έχει βάθος 5m η επιτάχυνση αυξάνεται από 16% έως 21%, όταν η σήραγγα έχει βάθος 10m η επιτάχυνση αυξάνεται από 9% έως 13% και όταν το βάθος σήραγγας είναι μεγαλύτερο από 10m η επιτάχυνση δεν επηρεάζεται καθόλου από την παρουσία σήραγγας.

Όταν η οριζόντια απόσταση μίας θεμελίωσης κατασκευής από το κέντρο σήραγγας λαμβάνεται ως 0m τότε η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί μέχρι 16%. Σε οριζόντια απόσταση από το κέντρο του τούνελ ίση με 10m η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί μέχρι 21%, σε απόσταση 20m μέχρι 17% ενώ σε απόσταση μεγαλύτερη από 20m δεν επηρεάζεται η τιμή της επιτάχυνσης από την παρουσία τούνελ.

4.3 Συμπεράσματα από το σεισμό του Ντότσε

Σύμφωνα με τη δεύτερη μέθοδο όταν η σήραγγα έχει βάθος 5m η επιτάχυνση αυξάνεται από 12% έως 22%, όταν η σήραγγα έχει βάθος 10m η επιτάχυνση αυξάνεται από 6% έως 11% , όταν το βάθος είναι 15m η επιτάχυνση αυξάνεται έως 6% και όταν το βάθος σήραγγας είναι μεγαλύτερο από 15m η επιτάχυνση δεν επηρεάζεται καθόλου από την παρουσία σήραγγας.

Όταν η οριζόντια απόσταση μίας θεμελίωσης κατασκευής από το κέντρο σήραγγας λαμβάνεται ως 0m τότε η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί μέχρι 19%. Σε οριζόντια απόσταση από το κέντρο του τούνελ ίση με 10m η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί μέχρι 22%, σε απόσταση 20m μέχρι 12% ενώ σε απόσταση μεγαλύτερη από 20m δεν επηρεάζεται η τιμή της επιτάχυνσης από την παρουσία τούνελ.

Σύμφωνα με την τρίτη μέθοδο όταν η σήραγγα έχει βάθος 5m η επιτάχυνση αυξάνεται από 15% έως 21%, όταν η σήραγγα έχει βάθος 10m η επιτάχυνση αυξάνεται από 8% έως 15%, όταν η σήραγγα έχει βάθος 15m η επιτάχυνση αυξάνεται από 7% έως 9% και όταν το βάθος σήραγγας είναι μεγαλύτερο από 10m η επιτάχυνση δεν επηρεάζεται καθόλου από την παρουσία σήραγγας.

Όταν η οριζόντια απόσταση μίας θεμελίωσης κατασκευής από το κέντρο σήραγγας λαμβάνεται ως 0m τότε η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί μέχρι

20%. Σε οριζόντια απόσταση από το κέντρο του τούνελ ίση με 10m η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί μέχρι 21%, σε απόσταση 20m μέχρι 15% ενώ σε απόσταση μεγαλύτερη από 20m δεν επηρεάζεται η τιμή της επιτάχυνσης από την παρουσία τούνελ.

4.4 Συνθήκες επίδρασης παρουσίας σήραγγας

Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι η παρουσία της σήραγγας πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν όταν οι ακόλουθες δύο συνθήκες ισχύουν:

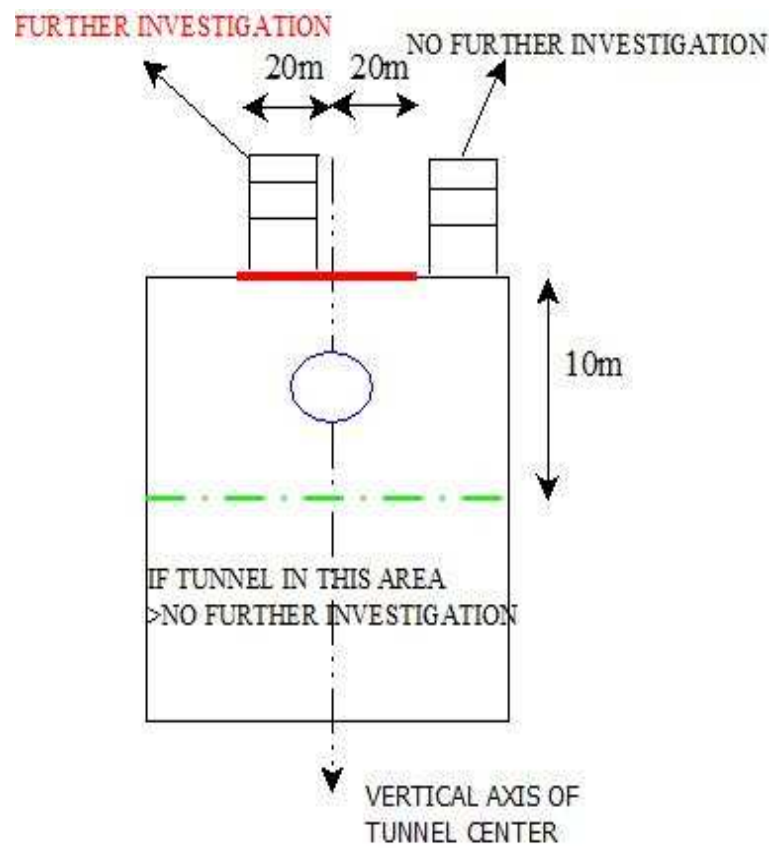
1^η Συνθήκη: Το βάθος του κέντρου της σήραγγας να είναι λιγότερο από 10m

2^η Συνθήκη: Η οριζόντια απόσταση της θεμελίωσης μίας κατασκευής από το κέντρο του τούνελ να είναι λιγότερη από 20m.

Αυτά τα συμπεράσματα βασίζονται για τα συγκεκριμένα δεδομένα:

- Το εδαφικό προφίλ από τις γεωτρήσεις στο Σύνταγμα
- Σήραγγα διαμέτρου 5m.
- Οι 3 σεισμικές καταγραφές κοντινού πεδίου(Αθήνα, Κόμπε, Ντότσε).

Στην εικόνα παρουσιάζεται ένα απλό παράδειγμα για το πώς οι 2 συνθήκες εφαρμόζονται.



Εικόνα 4.1 – Παράδειγμα εφαρμογής των συνθηκών

Περαιτέρω έρευνα

Το κτίριο α στα αριστερά χρειάζεται περαιτέρω μελέτη διότι απέχει λιγότερο από 20m σε οριζόντια προβολή από το κέντρο του τούνελ ενώ συγχρόνως το τούνελ έχει βάθος μικρότερο από 10m.

Το κτίριο β στα δεξιά δεν έχει ανάγκη πρόσθετης έρευνας διότι η θεμελίωση του έχει οριζόντια απόσταση από το κέντρο της σήραγγας μεγαλύτερη από 20m.

Μολονότι πρόκειται για μία περιορισμένη έρευνα, εντούτοις τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η παρουσία της σήραγγας πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν όταν:

- καθορίζεται το φάσμα σχεδιασμού μίας κατασκευής που πρόκειται να κατασκευασθεί στην περιοχή κοντά στη σήραγγα.
- εκλέγονται μέτρα ενίσχυσης για μία κατασκευή η οποία έχει ανάγκη προστασίας.
- αποφασίζεται η θέση κατασκευής μίας σήραγγας.
- εκτιμάται η αναμενόμενη σεισμική συμπεριφορά μίας υπερκείμενης κατασκευής.

REFERENCES

- [1] Plaxis, Plaxis2d user's manual version 9, εγχειρίδιο χρήστη για το Plaxis
- [2] Shake, Shake2000 user's manual, Ameritech engineering, 2000, εγχειρίδιο χρήστη για το Shake
- [3] Spyarakos C.C., Maniatakis Ch.A. and Taflabas J. (2005) "Critical Evaluation of Near- Field Seismic Records in Greece", Earthquake Resistant Engineering Structures V, (ERES 2005), Σκιάθος, Μάιος 2005 σελ. 2-11.
- [4] Spyarakos, C. C., Maniatakis , Ch. A. and Taflambas, J., Evaluation of Near-Source Seismic Records Based on Damage Potential Parameters. Case Study: Greece, Soil Dynamics and Earthquake Engineering σελ. 4-16
- [5] Azadi, M. , Mir Mohammad Hosseini, The impact of Underground Tunnel on adjacent buildings. Case study : Shiraz Underground, Iran σελ. 2-6.
- [6] Παπαδόπουλος Β., Κοντοπούλου Ε., Σήραγγα του Δρίσκου, Αξιολόγηση συγκλίσεων, Διπλωματική εργασία σχολή πολιτ. Μηχανικών Εμπ, Αθήνα Μάρτιος 2011.σελ. 38-53.
- [7] Ρόζος Δ., Γαλανού Α., Χατζηπέτρου Ε., Τεχνικογεωλογικές και Υδρογεωλογικές Συνθήκες και Προβλήματα στην Επέκταση της Γραμμής 2 του Μετρό, Διπλωματική εργασία σχολή Μηχανικών μεταλ. – μεταλ. Εμπ, Αθήνα Μάρτιος 2010. σελ. 21-39.
- [8] Burland J., Mair R., Standing J., Ground performance and building response due to tunneling, Advances in geotechnical eng., The Skempton conference vol.1, UK, March 2004 pages 301-310
- [9] Παπαδόπουλος Β., Στοιχεία μαθήματος «Βραχομηχανική Σήραγγες», Εκδόσεις Εμπ, Αθήνα 2001
- [10] Αττικό Μετρό (2007): Ενημερωτικό Έντυπο, Αθήνα
- [11] Ιστοσελίδα Αττικό Μετρό Α.Ε.

- [12] Near Fault Earthquakes of medium magnitude the case of Athens 1999 event, C. Spyarakos, E. Skiada, and I. Taflampas, 8th International Conference on Urban Earthquake Engineering, March 7-8, 2011, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan
- [13] Κορομηλάς Β., Σακελλαρίου Μ., Διερεύνηση αλληλεπίδρασης υφιστάμενης σταθεροποιημένης κατολίσθησης με υπό διάνοιξη δίδυμες σήραγγες, Διπλωματική Εμπ, Αθήνα 2009
- [14] Μοιράγιας Α., Σοφιανός Α., Καθιζήσεις κατά την διάνοιξη της σήραγγας μετρό στο τμήμα Αιγάλεω-Χαϊδάρι, Διπλωματική Εμπ, Αθήνα 2010
- [15] Wang, G., Xie, W., Sun, M., Liu, W, Evaluation method for seismic behaviors of underground frame structures, (2011) *Yantu Gongcheng Xuebao/Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 33 (4), pp. 593-598
- [16] Amit K. Verma & T. N. Singh, Assessment of tunnel instability—a numerical approach, Saudi Society for Geosciences 2009
- [17] Ching-Jong Wang, Seismic racking of a dual-wall subway station box embedded in soft soil strata, Elsevier 10 May 2010
- [18] Καββαδάς Μ., Ψυχάρης Ι. και Σεφέρογλου, Κ., "Μη-Γραμμική Ανάλυση με Πεπερασμένα Στοιχεία της Εκοκαφής Υπογείου Σταθμού του ΜΕΤΡΟ Αθηνών", *3ο Πανελλήνιο Γεωτεχνικό Συνέδριο*, Πάτρα, 20-22 Μαρτίου (1997).
- [19] Carydis P.G, Mouzakis H.P., Vougioukas E.A, Franchioni G, (1994). "Comparative shaking table studies at the National Technical University of Athens and at Bristol". *10ECEE*, Vienna
- [20] Ρεντζέλου Α., Σακελλαρίου Μ, Παραμετρική Διερεύνηση του σχήματος αβαθούς σήραγγας στο μέγεθος επιφανειακών συγκλίσεων και καθιζήσεων, Διπλωματική Εμπ, Αθήνα 2010