



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

Αριθμητική Προσομοίωση της διάδοσης δονήσεων στο έδαφος από τη λειτουργία μέσω σταθερής τροχιάς



Παναγιώτης Ν. Βαλαμβάνος

Επιβλέπων: Χαράλαμπος Π. Μουζάκης, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2019



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

Αριθμητική Προσομοίωση της διάδοσης δονήσεων στο έδαφος από τη λειτουργία μέσω σταθερής τροχιάς

Όνοματεπώνυμο φοιτητή: Βαλαμβάνος Παναγιώτης

A.M.:CV13101

Επιβλέπων καθηγητής: Μουζάκης Χ., Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ,

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Ακαδημαϊκό έτος: 2018-2019

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
<u>Α' μέρος: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ</u>	
1. ΒΑΣΙΚΗ ΟΡΟΛΟΓΙΑ	5
1.1 Κύματα	5
1.2 Ήχος και Θόρυβος.....	6
2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	7
3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ	8
4. ΕΔΑΦΟ-ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ	10
4.1 Βασικές παράμετροι εδαφο-μεταφερόμενου θορύβου	10
4.2 Τροποι αντιμετώπισης εδαφο-μεταφερομένου θορυβου.....	12
5. Η ΠΑΡΟΥΣΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ.....	13
5.1 Η σημαντικότητα της διπλωματικής.....	13
5.2 Το αντικείμενο μελέτης.....	13
5.3 Προηγούμενες έρευνες.....	14
<u>Β' μέρος: ΠΡΑΚΤΙΚΟ</u>	
6. ΜΟΡΦΩΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ	15
6.1 Προσομοίωση με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.....	15
6.2 Βασικά σχέδια Autocad.....	16
6.3 Βασικά στοιχεία του προγράμματος	18
6.4 Γεωμετρία προσομοιώματος	19
6.5 Σύνθεση.....	19
6.6 Δημιουργία παραμέτρων στο Abaqus	21
6.7 Προσομοίωση τροχιάς	22
6.8 Μη αναρτημένη μάζα (unsprung mass).....	22
6.9 Πρόσδοση υλικών	23
6.10 Βήματα μελέτης	23
6.11 Τύπος αποτελεσμάτων	24
6.12 Συνοριακές συνθήκες.....	25
6.13 Επιβολή φόρτισης	27
6.14 Δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων	28

6.15 Αριθμητική επίλυση Προσομοιωμάτων	29
6.16 Δοκιμές για αποφυγή σφαλμάτων	30
7. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗ.....	31
8. ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	33
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	88
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	90
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	91
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	94
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ.....	97
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ	100
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε	103

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ξεκινώντας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Χαράλαμπο Μουζάκη για την συνεχή καθοδήγησή που μου προσέφερε όλον αυτόν τον καιρό και που μου κίνησε το ενδιαφέρον να ασχοληθώ και να μελετήσω το παρόν αντικείμενο. Επιπρόσθετος θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την εξαιρετική συνεννόηση και συνεργασία που είχαμε καθ' όλο το πέρασ της διπλωματικής εργασίας καθώς και για τον χρόνο που διέθεσε.

Επιπροσθέτως, ευχαριστώ την Λουσία Καράπιττα και την Λυδία Πανουτσοπούλου για τις πολύτιμες τεχνικές συμβουλές τους όσον αφορά το λογισμικό Abaqus. Χωρίς τις γνώσεις τους δεν θα ήταν δυνατή η δημιουργία των τελικών προσομοιωμάτων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την στήριξη που μου παρείχαν και την υπομονή που έδειξαν σε όλο το διάστημα των φοιτητικών μου χρόνων αλλά και πιο συγκεκριμένα στην περίοδο εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την ανάπτυξη αριθμητικών προσομοιωμάτων εδάφους με υπόγεια σήραγγα μέσα στην οποία διέρχονται συρμοί μέσω σταθερής τροχιάς. Διερευνά και σχολιάζει τα αποτελέσματα των δονήσεων στο ακουστικό περιβάλλον. Αρχικά, έγινε ο σχεδιασμός των επιμέρους τμημάτων του προσομοιώματος σε δυσδιάστατη μορφή με τη χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος AutoCAD της AutoDesk. Τα προσομοιώματα σχεδιάστηκαν με βάση τις πρότυπες διατομές της σήραγγας του αρχικού Έργου μετρό της Αθήνας, η διάνοιξη της οποίας έγινε με χρήση TBM. Ακολούθησε, η μόρφωση του αριθμητικού προσομοιώματος με τη χρήση του λογισμικού πεπερασμένων στοιχείων ABAQUS της Simulia. Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκαν δισδιάστατα τετραπλευρικά και τριγωνικά πεπερασμένα στοιχεία δεύτερης τάξης.

Για το έδαφος εξετάστηκαν πέντε διαφορετικές κατηγορίες. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της αριθμητικής ανάλυσης σταθερής κατάστασης (steady state modal analysis) η οποία προϋποθέτει την ελαστική συμπεριφορά των υλικών, την γνώση των ιδιομορφών και των αποσβέσεων τους. Υπολογίστηκαν οι ταχύτητες δόνησης κατά την κατακόρυφη διεύθυνση στο κατώτατο σημείο της σήραγγας, στο τοίχωμα της σήραγγας και στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους σε διάφορες αποστάσεις από τον άξονα της σήραγγας. Επιπλέον, διερευνήθηκε η επίπτωση του βάθους του κατώτερου σημείου της σήραγγας στις αναπτυσσόμενες δονήσεις. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για διάφορες ποιότητες εδάφους συγκρίνονται με αυτά καταγραφών σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του μετρό. Οι μετρημένες παράμετροι είναι η ταχύτητα δόνησης στο τοίχωμα της σήραγγας και στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους. Η σύγκριση πραγματοποιείται με τη σύγκριση της μετρημένης συνάρτησης μεταφοράς με την αντίστοιχη των υπολογισμών, και με μικρές αποκλίσεις μεταξύ τους. Επιπλέον, από την υπολογισμένη ταχύτητα δόνησης του τοιχώματος της σήραγγας υπολογίστηκε η ταχύτητα δόνησης στην ελεύθερη επιφάνεια με χρήση της γεωμετρικής απόσβεσης. Οι συγκρίσεις απέδειξαν την αξιόπιστη ταύτιση των αριθμητικών με τα πειραματικά δεδομένα. Συνεπώς, η προσομοίωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ταχύτητας δόνησης στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the development of numerical ground simulations of underground tunnel, in which trains pass by. It investigates and comments on the effects of vibrations in the acoustic environment. Initially, the design of the individual parts of the model in two-dimensional form was accomplished using AutoDesk's drawing program AutoCAD. The simulations were designed based on the standard cross sections of the tunnel of the initial Athens Metro Project, the excavation of which was done by using the TBM. Following, the modeling of the simulation was done by using the Simulia ABAQUS finite element software. Two-dimensional quad and triangular finite second-order elements were used for the simulation.

For the soil, five different categories were examined. The steady state modal analysis method was used which implies the elastic behavior of the materials, the knowledge of their normal modes and their damping. Vibrations were measured in the vertical direction at the bottom of the tunnel, on the tunnel wall and on the free surface of the ground at various distances from the tunnel axis. Furthermore, it was vital to examine the impact that the depth of the tunnel has on the vibrations. The results of the analysis for different soil categories are compared with those recorded during the operation of metro lines. The vibration velocity on the tunnel wall and on the ground surface were measured and transfer functions were calculated. In addition, the vibration velocity on the free surface was calculated by the vibration velocity of the tunnel wall, using geometric damping. The comparison between numerical and experimental data leads to the conclusion that the numerical simulation can be used to calculate the vibration velocity on the free surface of the soil.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια η ραγδαία εξέλιξη των μέσων μαζικής μεταφοράς έχει συμβάλει στον τρόπο με τον οποίο μετακινούνται οι πολίτες στα αστικά κέντρα, καθώς διευκολύνουν την κάλυψη των αποστάσεων και βοηθούν στην ανάπτυξη των τοπικών κοινωνιών. Επιπλέον, ενισχύουν ολοένα και περισσότερο, από οικονομική άποψη, τις μεγάλες πόλεις, μιας και λόγω αυτών, οι μεγάλες βιομηχανίες μεταφέρουν πιο γρήγορα τα προϊόντα τους, οι εργαζόμενοι μετακινούνται ταχύτερα από και προς αυτές και εν γένει, η λειτουργία των μεγάλων πόλεων περνά σε πιο λειτουργικό και ανταγωνιστικό επίπεδο. Με την πάροδο του χρόνου, η ανάγκη για ταχύτερη μετακίνηση γίνεται όλο και πιο επιτακτική, λόγω της πολύ πιο έντονης αστικοποίησης. Υπολογίζεται πως πάνω από το 55% των ανθρώπων παγκοσμίως ζει σε κάποιο μεγάλο αστικό κέντρο, όπου έρχεται αντιμέτωπο με ποικίλα κυκλοφοριακά προβλήματα. Είναι γεγονός ότι, στις μέρες μας, η κυκλοφοριακή συμφόρηση δυσκολεύει τις ζωές των πολιτών, ενώ ταυτόχρονα σε αρκετές περιπτώσεις το όνειρο του ιδιωτικού αυτοκινήτου έχει μετατραπεί σε εφιάλη.

Συνεπώς, η προσφορά εναλλακτικών τρόπων μετακίνησης είναι ζωτικής σημασίας, με σκοπό την καλύτερη εξυπηρέτηση τόσο των πολιτών όσο και της βιωσιμότητας των κύριων αστικών οικοσυστημάτων. Σύμφωνα λοιπόν με τις κατανομές συχνοτήτων, αποδεικνύεται ότι ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό των καταναλωτών κάνει χρήση των δημόσιων μέσων μεταφοράς, με ευρέως διαδεδομένα στην περιοχή της πρωτεύουσας τα μέσα σταθερής τροχιάς (μετρό, ηλεκτρικός, προαστιακός).

Το μεγαλύτερο, ωστόσο, πιθανό μειονέκτημα των συγκεκριμένων μέσων μαζικής μεταφοράς είναι ο εδαφο-μεταφερόμενος θόρυβος, ο οποίος παράγεται κατά την κατασκευή όπως και κατά την λειτουργία τους. Για το λόγο αυτό, στην εν λόγω διπλωματική, έγινε μία προσπάθεια αποτίμησης των συνεπειών της εκτεταμένης λειτουργίας υπόγειων σιδηροτροχιών σχετικά με την ποιότητα ζωής των κατοίκων των μεγάλων αστικών κέντρων.

Α' ΜΕΡΟΣ: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ

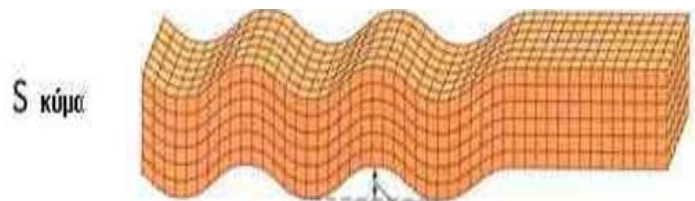
1. ΒΑΣΙΚΗ ΟΡΟΛΟΓΙΑ

1.1 Κύματα

Το «κύμα» ορίζεται ως μια διαταραχή από την ισορροπία, η οποία ταξιδεύει μέσα στον χώρο. Η κυματική κίνηση εμφανίζεται στη φύση με διάφορους τρόπους όπως στους κυματισμούς του νερού, στις σεισμικές δονήσεις, στα ηχητικά κύματα, στα κύματα σε μια χορδή ή σε ένα ελατήριο. Τα βασικά είδη κυμάτων είναι **τα μηχανικά κύματα, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα και τα κύματα πιθανότητας** της Κβαντικής Φυσικής.

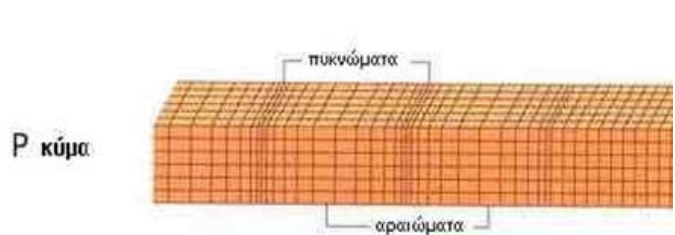
Η παρούσα διπλωματική πραγματεύεται τα μηχανικά κύματα, και πιο συγκεκριμένα τις δονήσεις. Με τον όρο «δονήσεις» χαρακτηρίζονται οι γρήγορες ταλαντώσεις μικρού όμως πλάτους που διαδίδονται διαμέσου ενός μέσου. Τα κύματα αυτά διακρίνονται σε δύο υποομάδες ανάλογα με τη σχέση της κίνησης των σωματιδίων του μέσου με τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος:

- **τα εγκάρσια κύματα**, στα οποία η μετατόπιση των υλικών σωματιδίων, που μεταφέρουν το κύμα, είναι κάθετη προς τη διεύθυνση διάδοσης του ίδιου του κύματος και παρουσιάζουν όροι(κορυφές) και κοιλίες.



Εικόνα 1.1: Αναπαράσταση εγκάρσιου κύματος

- **τα διαμήκη κύματα**, στα οποία η μετατόπιση (ταλάντωση) των υλικών σωματιδίων που μεταφέρουν το κύμα γίνεται κατά μήκος (παράλληλα) της διεύθυνσης διάδοσης του κύματος και παρουσιάζουν πυκνώματα και αραιώματα.



Εικόνα 1.2: Αναπαράσταση διαμήκους κύματος

Συνοψίζοντας, τα σωματίδια του υλικού ταλαντώνονται τοπικά είτε κάθετα στην διεύθυνση διάδοσης της κυματικής διαταραχής (εγκάρσιο κύμα) ή παράλληλα σε αυτήν (διάμηκες κύμα), επομένως ένα μηχανικό κύμα θεωρείται ως ένα είδος διαταραχής σε ένα υλικό, η οποία ταξιδεύει προς κάποια διεύθυνση στο χώρο.

Το κύμα έχει μία επαναλαμβανόμενη μορφή. Η συχνότητα, ν , του κύματος ορίζεται ως ο ρυθμός με τον οποίο η κυματική διαταραχή επαναλαμβάνεται στη μονάδα του χρόνου, και στο σύστημα SI μετριέται σε Hz (κύκλοι ανά δευτερόλεπτο). Το μήκος κύματος, λ , είναι η απόσταση ανάμεσα σε δύο σημεία του κύματος που, όταν διαταράσσονται, συμπεριφέρονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, και στο σύστημα SI μετριέται σε m. Η περίοδος, T , του κύματος είναι ο χρόνος στον οποίο η κυματική διαταραχή κάνει έναν πλήρη κύκλο, και στο σύστημα SI μετριέται σε sec. Η περίοδος, δηλαδή, είναι το χρονικό διάστημα κατά το οποίο το κύμα διανύει απόσταση ίση με ένα μήκος κύματος. Η συχνότητα είναι το αντίστροφο της περιόδου:

$$\nu = \frac{1}{T} \quad \text{Σχέση 1.1}$$

Η συχνότητα και η περίοδος συνδέονται με την κυκλική (γωνιακή) συχνότητα, ω , μέσω της σχέσης:

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T} \quad \text{Σχέση 1.2}$$

Το κύμα μεταδίδεται στο χώρο. Η ταχύτητα της διαταραχής ονομάζεται ταχύτητα του κύματος. Συνήθως συμβολίζεται με u , και μετριέται ανάλογα με τις μονάδες μέτρησης των μεγεθών μήκος του κύματος και περίοδος, συνήθως σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/s). Από τον ορισμό του μήκους κύματος προκύπτει ότι:

$$u = \frac{\lambda}{T} = \lambda \times f \quad \text{Σχέση 1.3}$$

Τα κύματα που διαδίδονται σε ένα μέσο διάδοσης έχουν ταχύτητα χαρακτηριστική του συγκεκριμένου μέσου και του συγκεκριμένου είδους κύματος.

1.2 Ήχος και Θόρυβος

Ήχος μπορεί να οριστεί κάθε είδος πίεσης που μπορεί να ανιχνεύσει το ανθρώπινο αυτί. Ανάλογα με το μέσο μετάδοσης, ο ήχος διαδίδεται σε διαφορετικές ταχύτητες. Στον αέρα, ο ήχος διαδίδεται με μια μέση ταχύτητα 340m/s. Όσο πιο πυκνή υφή έχει το μέσο μετάδοσης μέσω του οποίου διαδίδεται η δόνηση, τόσο πιο μεγάλη είναι η ταχύτητα:

Πίνακας 1.1: Ταχύτητα διάδοσης του ήχου για διάφορα μέσα μετάδοσης (m/s)

Αέρας	340	Νερό	1500	Αλουμίνιο	6400		
Σίδηρο	5900	Χαλκός	4700	Χαλαζίας	5700	Τσιμέντο	3350

Ο ήχος αναλόγως με το μέσο με το οποίο μεταδίδεται κατηγοριοποιείται σε:

- Αερο-μεταφερόμενο, του οποίου το μέσο διάδοσής του είναι ο αέρας
- Εδαφο-μεταφερόμενο, του οποίου το μέσο διάδοσής του είναι το έδαφος

Φυσικά, δεν υπάρχει διαφορά ανάμεσα στον ήχο και τον θόρυβο. Ψυχολογικά, ο ήχος είναι μια αισθητήρια λήψη που δημιουργείται ως ένα νοητικό γεγονός το οποίο προκαλείται από φυσιολογικές διαδικασίες στο ακουστικό μέρος του εγκεφάλου. Συνεπώς υπάρχει σημαντική διάκριση μεταξύ ήχου και θορύβου. Ό,τι ακούγεται δεν είναι αναγκαστικά θόρυβος αλλά θόρυβος είναι οι εξαιρέσεις, οι ήχοι που ενοχλούν.

Μονάδα μέτρησης του θορύβου είναι το Decibel. Το Decibel είναι μια αδιάστατη μονάδα μέτρησης η οποία υποδηλώνει την σύγκριση δύο μεγεθών όπως το πλάτος πίεσης ενός ήχου με έναν άλλο (reference). Σαν reference χρησιμοποιούνται τιμές που το αντίστοιχο επίπεδο θορύβου ισοδυναμεί με 0 dB. Το dB δεν αποτελεί μονάδα απόλυτης μέτρησης. Λόγω του υπάρχοντος θέματος της διπλωματικής αυτής τα μεγέθη που συγκρίνονται είναι ταχύτητες δόνησης. Ο βασικός τύπος είναι:

$$V_{ab} = 20 \times \log\left(\frac{L_1}{L_{ref}}\right) \quad \text{Σχέση 1.4}$$

Όπου:

L_1 : ταχύτητα δόνησης

L_{ref} : ταχύτητα δόνησης που αντιστοιχεί σε 0 dB

$L_{ref} = 10^{-9}$ m/sec

2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

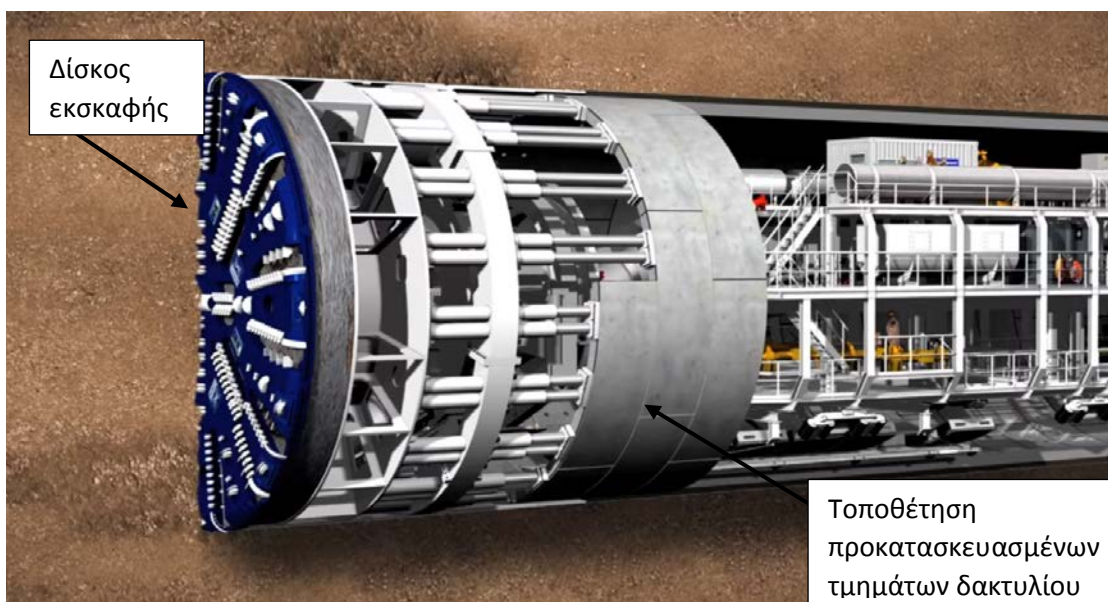
Το Μετρό ή Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος είναι ένα σιδηροδρομικό σύστημα μαζικής μεταφοράς των μεγαλουπόλεων. Κατά μέσον όρο, το μετρό μπορεί να εκτείνεται 25 χιλιόμετρα από το κέντρο της πόλης. Το πρώτο Μετρό που λειτούργησε ήταν το Μετρό του Λονδίνου και το πρώτο στην ηπειρωτική Ευρώπη το Μετρό της Βουδαπέστης. Στην Ελλάδα ο Σιδηρόδρομος Αθηνών Πειραιώς μετατράπηκε επίσημα σε Μετρό το 1904, όταν έγινε η ηλεκτροδότηση της γραμμής. Το 2000, η Αθήνα απέκτησε πληρέστερο δίκτυο υπόγειου Μετρό, με την γραμμή 2 και 3 της Αττικό Μετρό. Υπό κατασκευή βρίσκεται τώρα το δεύτερο δίκτυο μετρό στην Ελλάδα, αυτό της Θεσσαλονίκης.



Εικόνα 2.1: Συρμός στο Αττικό Μετρό

3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ

Η διαδικασία διάνοιξης των σύγχρονων σηράγγων μετρό πραγματοποιείται από τα TBM (tunnel boring machine). Το TBM είναι ένα εξειδικευμένο μηχάνημα που χρησιμοποιείται για την εκσκαφή σηράγγων με κυκλική διατομή μέσα από μια ποικιλία εδαφών. Το TBM έχει τη δυνατότητα να σκάψει μέσα σε σκληρό πέτρωμα, άμμο, και οτιδήποτε ενδιάμεσα. Τα κυριότερα μέλη του TBM είναι αρχικά ο δίσκος εκσκαφής (cutting wheel), ο οποίος είναι τοποθετημένος στο μπροστινό άκρο του μηχανήματος. Το περίσσιο υλικό της εκσκαφής μεταφέρεται με την βοήθεια ενός κοχλία μεταφοράς (screw conveyor) σε έναν αυτόνομο κάδο προϊόντων εκσκαφής. Κατά την διαδικασία διάνοιξης, το ίδιο μηχάνημα πλαισιώνει την ήδη διανοιγμένη σήραγγα με προκατασκευασμένους δακτυλίους από σπλισμένο σκυρόδεμα, οι οποίοι έχουν κατασκευαστεί τμηματικά. Το υλικό που χρειάζεται να απομακρυνθεί, πολλές φορές χρησιμοποιείται για την προσωρινή υποστήριξη των τοιχωμάτων της σήραγγας.

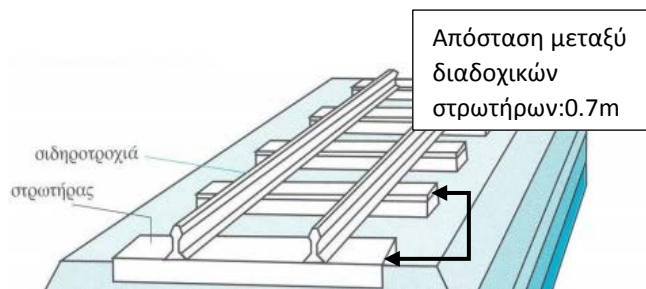


Εικόνα 3.1: Μοντέλο 3D διάνοιξης σήραγγας με TBM

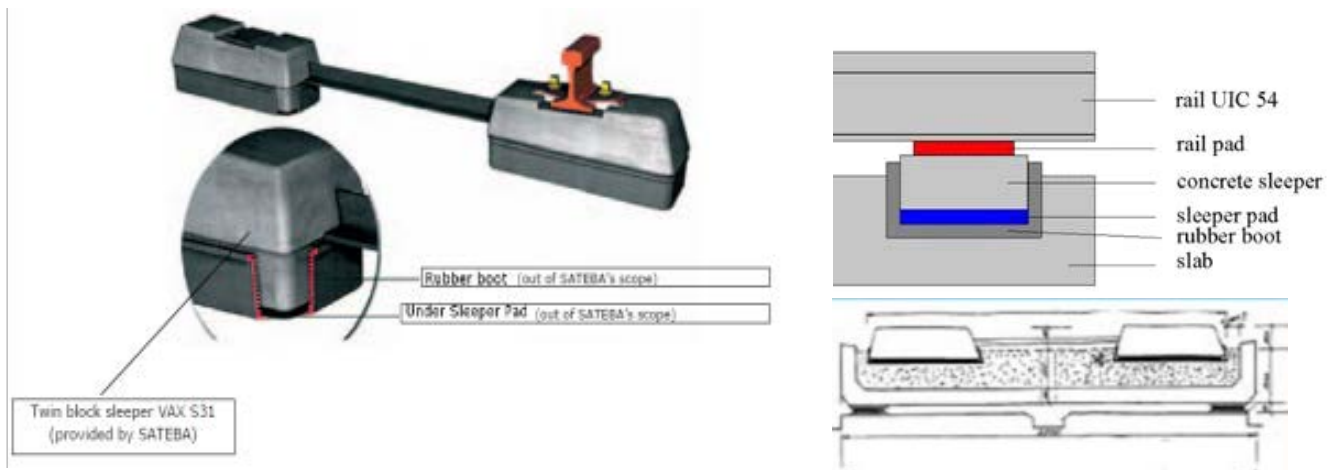
Μετά το πέρας αυτής της διεργασίας κατασκευάζεται η σιδηροδρομική γραμμή. Η σιδηροδρομική γραμμή είναι μια αλληλοδιαδοχή καθ' ύψος διάφορων υλικών ή στρώσεων υλικών, που καθορίζουν την τελική της θέση και τις ιδιότητες, με τις οποίες «αντιδρά» στη «δράση» που δημιουργείται από την κίνηση ενός σιδηροδρομικού οχήματος. Η σιδηροδρομική γραμμή περιλαμβάνει δύο επί μέρους υποσυστήματα:

- α) Την υποδομή (στρώση διαμόρφωσης, βάση ή υπόβαση) και
- β) Την επιδομή (σιδηροτροχιές, στρωτήρες, σύνδεσμοι, ελαστικά υποθέματα, έδραση)

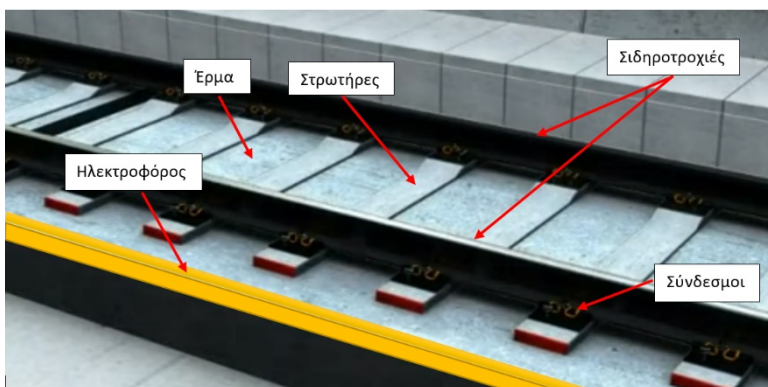
Η υποδομή της γραμμής είναι το στρώμα του εδάφους πάνω στο οποίο κατασκευάζεται η επιδομή της γραμμής. Η υπόβαση περιλαμβάνει τις ακόλουθες στρώσεις όπως αυτές απεικονίζονται στο κάτωθεν σχεδιάγραμμα:



Εικόνα 3.2: Επιδομή σιδηροτροχιάς



Εικόνα 3.3: Λεπτομέρεια εγκιβωτισμένης σιδηροτροχιάς



Εικόνα 3.4: Μοντέλο 3D Επιδομής γραμμής μετρό

Η επιδομή της γραμμής αποτελείται από:

- Την έδραση που αποτελείται από το έρμα σαν ανώτερη στρώση
- Τα χαρακτηριστικά υλικά γραμμής: σιδηροτροχιές, στρωτήρες, σύνδεσμοι, ελαστικά υποθέματα

Τα βασικά χαρακτηριστικά των σιδηροτροχιών είναι το εύρος των γραμμών, που είναι 1.435mm και η τροφοδοσία, η οποία γίνεται από τρίτη ηλεκτροφόρα επίγεια τροχιά παράλληλη με τις δύο τροχιές, με συνεχές ρεύμα τάσης 750 Volt.

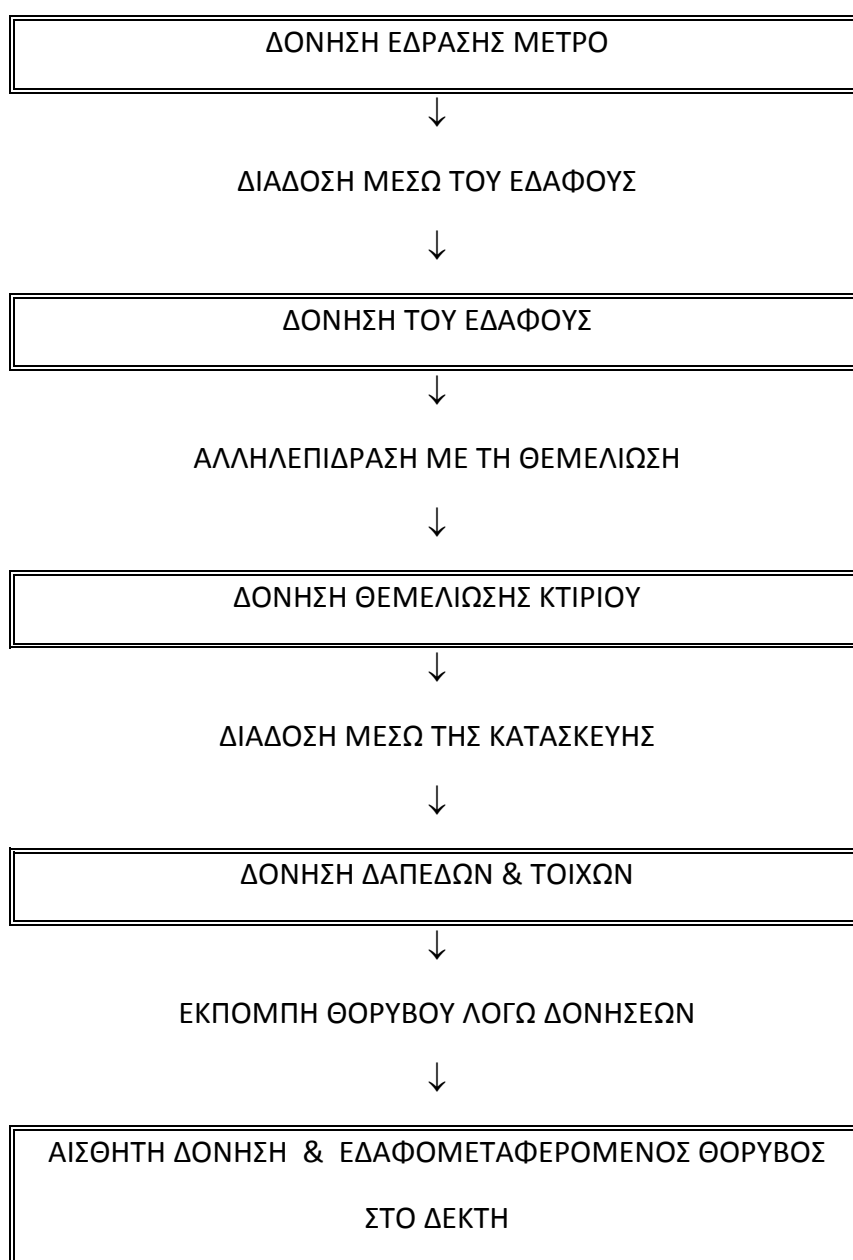


Εικόνα 3.5: Απόσταση διαδοχικών σιδηροτροχιών

4. ΕΔΑΦΟ-ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ

4.1 Βασικές παράμετροι εδαφο-μεταφερόμενου θορύβου

Οι δονήσεις που προκαλούνται στην σήραγγα (με βάση το σχηματικό προσομοίωμα στήριξης που δίνεται στη συνέχεια), από την διέλευση των συρμών διαδίδονται στο έδαφος και στη συνέχεια στο εσωτερικό παρακείμενων κτιρίων (δονούμενοι τοίχοι και δάπεδα) με αποτέλεσμα την εκπομπή εδαφο-μεταφερόμενου θορύβου, ακολουθούν –όπως αναλύθηκε ανωτέρω- το σχηματικό διάγραμμα που ακολουθεί:



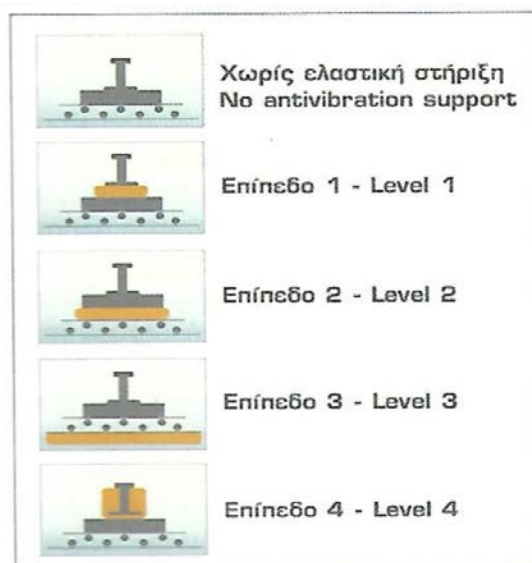
Οι βασικές παράμετροι που επηρεάζουν τις δονήσεις στη σήραγγα και άρα και τις εδαφομεταφερόμενες στάθμες θορύβου στα παραπλήσια κτίρια - δέκτες είναι:

- Ταχύτητα του τρένου: Για ταχύτητες ενός εύρους από 24-113 km/h ένας τριπλασιασμός της ταχύτητας έχει ως αποτέλεσμα 4 έως 6 dB αύξηση στις στάθμες δονήσεων της σήραγγας και του εδάφους.
- Αξονικό φορτίο: Αντίστοιχα ένας διπλασιασμός του αξονικού φορτίου έχει ως αποτέλεσμα 2 έως 4 dB αύξηση στις στάθμες δονήσεων του τοίχου της σήραγγας ανεξαρτήτως της ταχύτητας του τρένου και του τύπου σιδηροτροχιάς.
- Ανάρτηση αμαξώματος συρμού: Οι στάθμες δόνησης του τούνελ είναι ανεξάρτητες από τον τύπο της ανάρτησης του αμαξώματος στα τρένα της τελευταίας γενεάς. Όμως έχει παρατηρηθεί ορισμένες φορές ότι η κύρια ανάρτηση, αυτή δηλαδή μεταξύ του άξονα και του αμαξώματος μπορεί να επηρεάσει τον δομόφερτο θόρυβο.
- Ειδικοί τροχοί με ελαστικότητα (resilient wheels): Οι στάθμες δόνησης σε τούνελ και σε ακτίνα συχνοτήτων από 40-250 Hz έχουν μειωθεί από 4 έως 10 dB μετά από την χρήση ειδικών τροχών με ελαστικότητα.
- Μη αναρτημένη Μάζα (Unsprung mass): Ως μη αναρτημένη μάζα άνευ εννοείται το τμήμα της γραμμής το οποίο ευρίσκεται άνευ ουδεμίας μόνωσης ή αντικραδασμικού υλικού με τις ράγες. Μπορεί να περιλαμβάνει τροχούς, άξονες κλπ. Έχει βρεθεί ότι ο υποδιπλασιασμός της μάζας αυτής είναι δυνατόν να μειώσει τις στάθμες δόνησης κατά 6 dB.
- Κατάσταση τροχών και σιδηροτροχιάς: Η κακή συντήρηση των τροχών και της σιδηροτροχιάς είναι δυνατόν να προξενήσει στάθμες δονήσεων πολύ μεγαλύτερες από αυτές που υπό κανονικές συνθήκες το σύστημα θα προκαλούσε. Η κακή κατάσταση τροχών (ανωμαλίες κλπ), ασταθείς σύνδεσμοι ή/και σκουριασμένες τροχιές δύνανται να αυξήσουν τις στάθμες δονήσεων από 10 έως και 20 dB. Τραχείες επιφάνειες του τροχού ή της σιδηροτροχιάς σε σιδηροτροχιές χωρίς συνδέσμους μπορεί πάλι - εάν δεν υπάρχουν σοβαρές ανωμαλίες των τροχών - να προκαλέσουν 3-10 dB αύξηση. Το θέμα της ποιότητας των τροχών έχει τόσο σοβαρή επιρροή στις στάθμες θορύβου, ώστε έχει αναγκάσει ορισμένους φορείς σε χώρες του εξωτερικού σε διαρκή έλεγχο της φθοράς των τροχών μέσω εξειδικευμένων συστημάτων ελέγχου. Ιδιαίτερα, σε ότι αφορά στην ύπαρξη αλλαγών αυτές είναι δυνατόν να επηρεάσουν αυξητικά την εκπομπή δονήσεων μέχρι και άνω των 15 dB με αποτέλεσμα την ενίσχυση της ενόχλησης σε υφιστάμενους ευαίσθητους δέκτες.
- Ειδικές αντιδονητικές συνδέσεις – εδράσεις: Φυσικά καθοριστικό ρόλο ασκούν οι ειδικές αντιδονητικές εδράσεις οι οποίες εξασφαλίζουν τα «lateral friction free συστήματα» όπως πλωτά δάπεδα (Floating Slabs), ειδικές ελαστικές συνδέσεις (Resilient rail fasteners), ενθυλακωμένες τροχιές κλπ. αλλά όπως το είδος του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο το τούνελ, το πάχος του κλπ.

4.2 Τρόποι αντιμετώπισης εδαφο-μεταφερομένου θορυβου

Ενδεχομένως αρκετά από τα αποτελέσματα των προσομοιωμάτων σε συνδυασμό με τον ήδη υπάρχον θόρυβο, να υπερβαίνουν τα σχετικά όρια που έχουν ορισθεί από τον κανονισμό. Σύμφωνα με την διεθνή πρακτική, οι βασικοί εναλλακτικοί τρόποι αντι-δονητικής στήριξης αστικών σιδηροδρομικών συστημάτων εξαρτώνται αποκλειστικά από την ανάγκη προστασίας παρακείμενων κτιρίων, κατοικιών ή άλλων ειδικών χρήσεων για τα οποία είναι αναγκαία η κατάλληλη αντιθορυβική και αντιδονητική προστασία και παρουσιάζονται στο σχετικό σκαρίφημα στη συνέχεια εκφρασμένοι σε 4 βασικά επίπεδα:

- Επίπεδο 1 : απ' ευθείας στήριξη της σιδηροτροχιάς σε ελαστικά υποθέματα ή λωρίδες ελαστομερούς υλικού
- Επίπεδο 2 : εφαρμογή ελαστικών υποθεμάτων ή πλακών κάτωθεν των «baseplates»
- Επίπεδο 3 : εφαρμογή πλωτής πλάκας
- Επίπεδο 4 : ελαστική ενθυλάκωση της σιδηροτροχιάς με ή χωρίς επιπλέον ελαστική στήριξη της



Εικόνα 4.1: Μέτρα αντιθορυβικής προστασίας

Τα ανωτέρω αποτελούν πρακτικά τις πλέον βασικές εναλλακτικές περιπτώσεις αντικραδασμικών εδράσεων. Η επιλογή της καταλληλότερης εξ αυτών εξαρτάται αποκλειστικά και μόνον από την αναγκαιότητα εξασφάλισης μεγαλύτερης ή μικρότερης προστασίας για την κάλυψη των σχετικών κριτηρίων ανάλογα με την απόστασή τους από την εξωτερική σιδηροτροχιά και την μορφή τους.

5. Η ΠΑΡΟΥΣΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ

5.1 Η σημαντικότητα της διπλωματικής

Είναι γεγονός, ότι οι υπέργειες μετρήσεις των δονήσεων αποτελούν σημαντικό κομμάτι για τον έλεγχο της διασφάλισης ποιότητας ζωής των κατοίκων. Ωστόσο, σπανίζουν τέτοιου είδους μετρήσεις και η αραιή αυτή συχνότητα τους έγκειται στο γεγονός ότι ο εκάστοτε μελετητής καλείται να έρθει αντιμέτωπος με ένα αριθμό εμποδίων, κυριότερο των οποίων είναι η εγκυρότητα των μετρήσεων. Για αυτό το λόγω δεν είναι σαφής ο τρόπος που επιδρά κάθε παράμετρος στον παραγόμενο θόρυβο της ελεύθερης επιφάνεια. Επιπροσθέτως, για να μπορέσει να αποφανθεί η διοίκηση του μετρό να προβεί σε κάποιο μέτρο ελάττωσης του εδαφο-μεταφερόμενου θορύβου, θα πρέπει προηγουμένως να επιβεβαιώσει πως ο θόρυβος αυτός προκύπτει εξ' ολοκλήρου από τη διέλευση του συρμού. Για την επίτευξη αυτού, θα πρέπει οι μετρήσεις που θα γίνουν στην επιφάνεια να μην επηρεάζονται από κανένα άλλον εξωτερικό παράγοντα όπως π.χ. την ταυτόχρονη διέλευση οχημάτων. Κατά συνέπεια, είναι αναγκαίο ο μελετητής να προγραμματίζει με τέτοιο τρόπο τις μετρήσεις του, έτσι ώστε να συμπίπτουν οι ακόλουθοι παράγοντες: α) Η διέλευση του συρμού να γίνεται την ώρα της μέτρησης και β) Η κυκλοφορία των οχημάτων να είναι ελάχιστη, γεγονός που μπορεί να επιτευχθεί με την ακινητοποίηση των οχημάτων λόγω κόκκινου σηματοδότη.

5.2 Το αντικείμενο μελέτης

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τον εδαφο-μεταφερόμενο θόρυβο που διαδίδεται στην επιφάνεια λόγω της διέλευσης των συρμών είναι οι ακόλουθοι:

1. Το βάθος της σήραγγας,
2. Η απόσταση του ενδεχόμενου δέκτη από την πηγή δημιουργίας θορύβου,
3. Οι εδαφικές συνθήκες,
4. Το ποσοστό ιδιομορφικής απόσβεσης του εδάφους.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα διερευνηθεί ο βαθμός και ο τρόπος επιρροής των προαναφερθέντων παραγόντων.

Για να γίνει όσο το δυνατόν πιο διεξοδική η ανάλυση, έχοντας σαν σημείο αναφοράς τους παραπάνω παράγοντες, εξετάστηκαν τέσσερις τύποι προσομοιωμάτων, δηλαδή όσοι και οι πιθανοί τρόποι κατασκευής μίας υπόγειας σήραγγας διέλευσης μέσου σταθερής τροχιάς (μετρό):

1. Κατασκευή της σήραγγας μια διατομή σήραγγας κάτω από το έδαφος.
2. Κατασκευή της σήραγγας δυο διατομές σήραγγας κάτω από το έδαφος.
3. Κατασκευή της σήραγγας τρεις διατομές σήραγγας κάτω από το έδαφος.
4. Κατασκευή της σήραγγας τέσσερις διατομές σήραγγας κάτω από το έδαφος.

Για την επίτευξη μίας πιο ολοκληρωμένης εικόνας, και για την εξέταση όλων των παραγόντων που επηρεάζουν, κάθε ένα από αυτά τα προσομοιώματα έχει τρέξει και έχει δώσει αποτελέσματα για τις πέντε κατηγορίες εδαφών (κατηγορία 1, 2, 3, 4, 5) καθώς και για διαφορετικές αποσβέσεις (damping ratio 1%, 2%, 5%, 7%, 10%). Τα δεδομένα τα οποία θα εξαχθούν και θα σχολιαστούν από τα προσομοιώματα περιλαμβάνουν θέσεις οι οποίες βρίσκονται στην επιφάνεια, πάνω από τη σήραγγα, σε διαδοχικές αποστάσεις από 0m (σημείο ακριβώς πάνω από τη σήραγγα) έως 80m, διαδοχικά ανά 10m (δηλ. 0m – 10m- 20m κ.ο.κ.).

5.3 Προηγούμενες έρευνες

Τις τελευταίες δεκαετίες, το αντικείμενο των δονήσεων, έχει απασχολήσει σε μεγάλο βαθμό την επιστημονική κοινότητα και πολλές μελέτες έχουν διεξαχθεί επ' αυτού. Πιο συγκεκριμένα, ο τομέας των δονήσεων έχει μελετηθεί από επιστήμονες και κυρίως μηχανικούς με εξειδίκευση στον κλάδο της αντισεισμικής τεχνολογίας. Ωστόσο, το μεγαλύτερο ποσοστό των εν λόγω ερευνών, έχει επικεντρωθεί, σχεδόν αποκλειστικά, στις αρνητικές επιδράσεις των σεισμών, και κατ' επέκταση των δονήσεων που επιφέρουν κόπωση στα υλικά των κτηρίων και των γεφυρών.

Αντιθέτως, το αντικείμενο που αφορά τον περιβαλλοντικό θόρυβο που προέρχεται από τις δονήσεις, δεν έχει μελετηθεί στον αντίστοιχο βαθμό. Συγκεκριμένα, μόλις τα τελευταία χρόνια έχουν δημοσιευτεί έρευνες οι οποίες έχουν στρέψει τον ενδιαφέρον τους στον προσδιορισμό των αρνητικών επιδράσεων του θορύβου στη ζωή του σύγχρονου ανθρώπου. Η πλειονότητα αυτών των μελετών σχετίζεται με την διάδοση του αερο-μεταφερόμενου θορύβου, ζήτημα το οποίο απασχολεί σημαντικά. Επίσης, οι περισσότερες μελέτες που έχουν διεξαχθεί με αντικείμενο τον εδαφο-μεταφερόμενο θόρυβο, επικεντρώνονται στις υπέργειες σιδηροτροχιές.

Συμπερασματικά, η εν λόγω διπλωματική εργασία διαφοροποιείται σημαντικά από τις ήδη υπάρχουσες μελέτες, καθώς κύριος στόχος της είναι η κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν άμεσα και αποκλειστικά τον εδαφο-μεταφερόμενο θόρυβο που προέρχεται από υπόγειο μέσω σταθερής τροχιάς.

Β' ΜΕΡΟΣ: ΠΡΑΚΤΙΚΟ

6. ΜΟΡΦΩΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ

6.1 Προσομοίωση με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων αποτελεί μία αριθμητική μέθοδο για τον υπολογισμό προσεγγιστικών λύσεων διαφορικών εξισώσεων. Η θεμελιώδης αρχή της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων βασίζεται στην αντικατάσταση ενός γεωμετρικά σύνθετου πεδίου με ένα σύνολο απλούστερων υποπεδίων, τα οποία ονομάζονται πεπερασμένα στοιχεία. Η διαδεδομένη χρήση της μεθόδου οφείλεται στο γεγονός ότι παρουσιάζεται ως ένα εργαλείο για την στατική και δυναμική, γραμμική και μη γραμμική ανάλυση των κατασκευών από ραβδωτούς, επιφανειακούς και χωρικούς φορείς ή ακόμα και συνδυασμό τους, για τυχαία γεωμετρία, φόρτιση και συνοριακές συνθήκες.

Η παρούσα ανάλυση περιλαμβάνει τις παραδοχές, και την περιγραφή του προσομοιώματος, καθώς και τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Οι δονήσεις, οι οποίες δημιουργούνται κατά τη λειτουργία του μετρό υπολογίζονται χρησιμοποιώντας ένα αριθμητικό προσομοίωμα στις δύο διαστάσεις (2D) από πεπερασμένα στοιχεία (ΠΣ). Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ABAQUS της SIMULIA, που είναι πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων με πολλές δυνατότητες και χρησιμοποιείται ευρέως από την επιστημονική κοινότητα.

Σε κάθε στάδιο υπάρχει η πιθανότητα εμφάνισης σφαλμάτων, τα οποία θα μπορούσαν να επηρεάσουν την αξιοπιστία της ανάλυσης. Τα σφάλματα αυτά κατηγοριοποιούνται σε:

- Σφάλματα προσομοίωσης, τα οποία επηρεάζονται από το βαθμό της πιστότητας του φορέα προς την κατασκευή.
- Σφάλματα διακριτοποίησης, που εξαρτώνται από τον τύπο και την πυκνότητα του δικτύου των πεπερασμένων στοιχείων. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερη η πυκνότητα του δικτύου των πεπερασμένων στοιχείων, τόσο πιο ακριβή θα είναι τα αποτελέσματα.
- Σφάλματα αριθμητικά, που οφείλονται στην ακρίβεια με την οποία εκτελούνται οι πράξεις από τον Ηλεκτρονικό Υπολογιστή.

Τα βήματα της γενικής διαδικασίας υπολογισμού και τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται στη συνέχεια:

Διαδικασία υπολογισμού της ταχύτητας δόνησης

1. Γεωμετρία – Συνοριακές Συνθήκες – Ποιότητα υλικών
--

2. Υπολογισμός Ιδιομορφών και Ιδιοδιανυσμάτων

3. Ανάλυση της απόκρισης στο πεδίο των συχνοτήτων

4. Υπολογισμός της ταχύτητας στους κόμβους

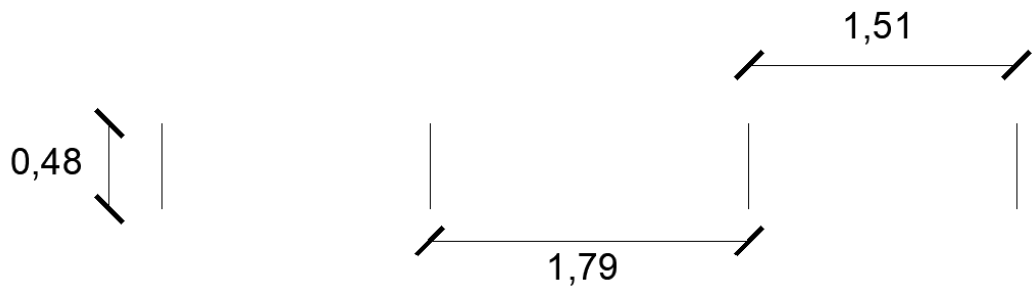
5. Υπολογισμός της μέγιστης ταχύτητας σε 1/3 της οκτάβας στο εύρος των συχνοτήτων 10 έως 200Hz

6.2 Βασικά σχέδια Autocad

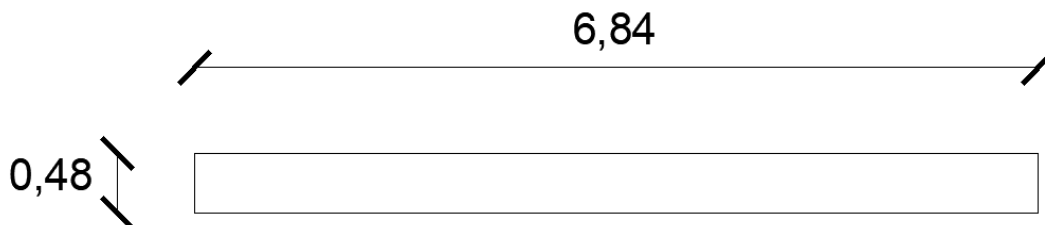
Τα προσομοιώματα χωρίστηκαν και σχεδιάστηκαν στο πρόγραμμα AutoCad σε βασικές γεωμετρικές οντότητες για τη διευκόλυνση εισαγωγής τους στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ABAQUS. Τα σχέδια έγιναν έχοντας υπόψη τους ακόλουθους περιορισμούς:

- Όσο το δυνατόν πιο απλοϊκή γεωμετρία,
- Έλεγχος μη υπερκάλυψης γραμμών,
- Δημιουργία μόνον κλειστών κόμβων (εκτός από τα γραμμικά στοιχεία που εισήχθησαν στο ABAQUS ως wire),
- Να μην συμπίπτουν διαφορετικά υλικά στο ίδιο τμήμα.

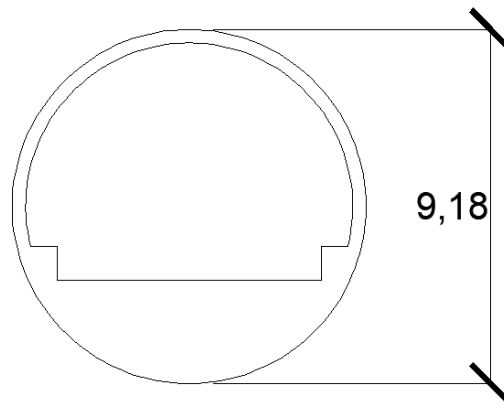
Τα εν λόγω σχέδια παραθέτοντας ακολούθως :



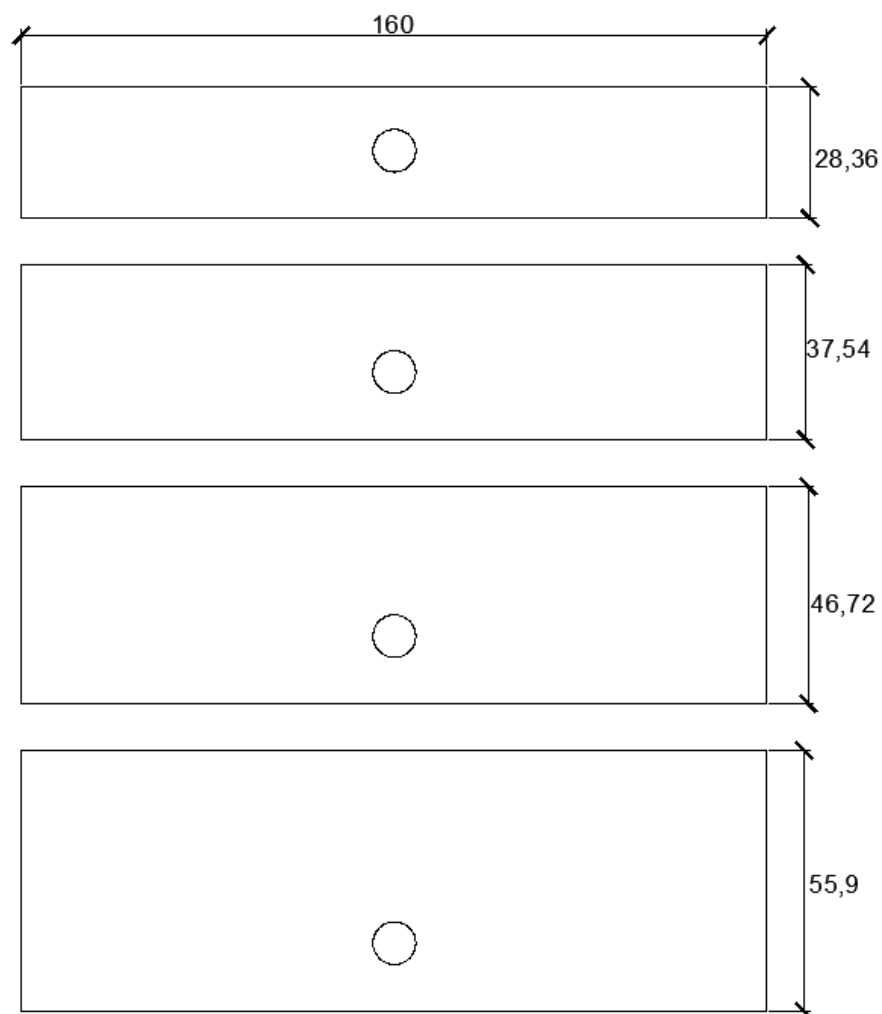
Εικόνα 6.1: Προσομοίωση σιδηροτροχιάς



Εικόνα 6.2: Προσομοίωση επιδομής



Εικόνα 6.3: Προσομοίωση σήραγγας



Εικόνα 6.4: Προσομοίωση εδάφους στις 4 διαφορετικές καταστάσεις

Τα τμήματα αυτά σχεδιάστηκαν ξεχωριστά, ενώθηκαν και εισήχθησαν ως ένα μέρος (Part) στο πρόγραμμα ABAQUS αφού πρώτα ελέγχθηκαν πως δεν θα προκαλέσουν κάποιο σφάλμα.

6.3 Βασικά στοιχεία του προγράμματος

- ✓ Οι μονάδες μέτρησης

Στο ABAQUS δεν ορίζονται συγκεκριμένες μονάδες μέτρησης όπως γίνεται σε άλλα προγράμματα. Για αυτό τον λόγο πριν γίνει οποιαδήποτε ανάλυση πρέπει να επιλέγονται μονάδες, οι οποίες ανήκουν σε ένα ενιαίο και σταθερό σύστημα μονάδων χωρίς συντελεστές μετατροπής, όπως είναι οι παρακάτω:

Πίνακας 6.1: Μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν

Μεγέθη	Μονάδες Μέτρησης
Μήκος	m
Δύναμη	KN
Μάζα	Mgr
Πυκνότητα	Mgr/m ³

- ✓ Οι ομάδες εντολών

Για να γίνει οποιαδήποτε ανάλυση εφαρμόζονται εντολές που ανήκουν στις ομάδες εντολών που θα παρουσιαστούν συνοπτικά στη συνέχεια:

- Part: Σχεδιασμός γεωμετρίας των τμημάτων του προσομοιώματος.
- Property: Ορισμός ιδιοτήτων και υλικών των τμημάτων του προσομοιώματος.
- Assembly: Καθορισμός συνδεσμολογία τμημάτων.
- Step: Καθορισμός είδος ανάλυσης που εφαρμόζεται.
- Interaction: Ορισμός αλληλεπίδρασης τμημάτων του προσομοιώματος.
- Load: Καθορισμός φορτίων και οι συνοριακών συνθήκων.
- Mesh: Δημιουργία δικτύου πεπερασμένων στοιχείων.
- Job: Υποβολή ανάλυσης σε επεξεργασία.
- Visualization: Προβολή αποτελεσμάτων της ανάλυσης.
- Sketch: Σχεδιασμός και εισαγωγή σκίτσων σχετικά με το θέμα που μελετάται.

- ✓ Τυπικές κατηγορίες εδαφών

Η κατηγοριοποίηση των εδαφών γίνεται σύμφωνα όχι μόνο με το μέγεθος των κόκκων τους, που είναι η πιο γνωστή κατάταξή τους, αλλά και με βάση το μέτρο ελαστικότητας τους. Με τις μέχρι σήμερα γεωλογικές και γεωτεχνικές διερευνήσεις καθώς και τις μέσες τιμές του Emodulus έχει πραγματοποιηθεί η κατηγοριοποίηση των εδαφικών συνθηκών όπως αυτές απεικονίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 6.2: Μέτρο ελαστικότητας ανά κατηγορία εδάφους

Κατηγορίες Εδαφών Soil Category	Ελάχιστο Μέτρο Ελαστικότητας Minimum E-modulus (GPa)
1	0.1
2	0.4
3	0.9
4	5.5
5	18.0

Οι παραπάνω κατηγορίες περιλαμβάνουν διάφορους τύπους εδαφών, ορισμένοι από αυτούς ενδεικτικά αναφέρονται στη συνέχεια:

- Κατηγορία εδαφών 1: μαλακό αμμώδες χώμα, μαλακά πηλώδη εδάφη
- Κατηγορία εδαφών 2: πυκνό αμμώδες χώμα, πυκνό πηλώδες έδαφος
- Κατηγορία εδαφών 3: ψαμμίτης
- Κατηγορία εδαφών 4: σχιστόλιθος
- Κατηγορία εδαφών 5: γρανίτης, ασβεστόλιθος

✓ βασικοί τύποι στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν

Για την περιγραφή των προσομοιωμάτων χρησιμοποιήθηκαν τρεις τύποι στοιχείων αναλόγως με τις πλευρές τους:

- CPS4R (τετράπλευρο),
- CPS3 (τριγωνικό),
- B21(γραμμικό).

Οι τρεις αυτοί τύποι επιλέχθηκαν διότι υπάρχει συμβατότητα στην αλληλοδιαδοχή τους.

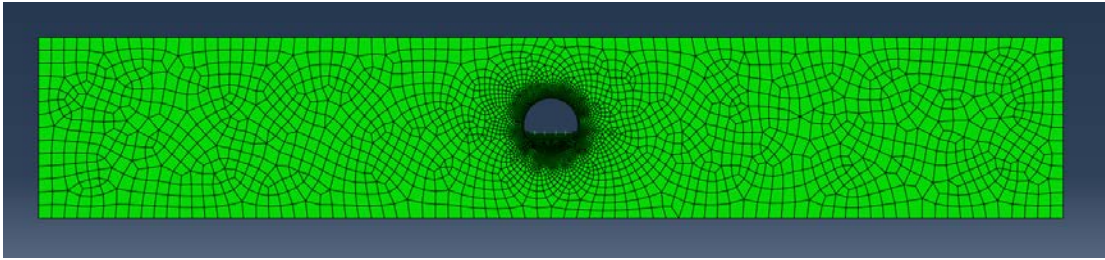
6.4 Γεωμετρία προσομοιώματος

Μέσω του προγράμματος ABAQUS είναι εφικτό να εισαχθεί η γεωμετρία από το πρόγραμμα AutoCAD. Συνεπώς, αφού έχει προηγηθεί ο σχεδιασμός του φορέα σε δισδιάστατη μορφή στο AutoCAD, απλά εισήχθησαν τα τμήματα του προσομοιώματος ως κελύφη (Shells) και ως γραμμικά στοιχεία (Wires). Αρχικά, έγινε εξαγωγή των σχεδίων από το AutoCAD με μορφή αρχείου .dxf. Ο συγκεκριμένος τύπος αρχείου είναι συμβατός με το λογισμικό του ABAQUS, οπότε στην συνέχεια, έγινε αυτόματη εισαγωγή των αρχείων αυτών.

6.5 Σύνθεση

Κατά την ένωση των τμημάτων προέκυψαν τα παρακάτω προσομοιώματα. Τα προσομοιώματα απεικονίζουν έναν ημίχωρο ομοιογενούς εδαφικού υλικού σταθερού μήκους 160m, πλάτους 0.7m και κυμαινόμενου βάθους (αναλόγως της εκάστοτε θέσης της σήραγγας). Τα γεωμετρικά στοιχεία, ο αριθμός των πεπερασμένων στοιχείων και των κόμβων και ο συνολικός αριθμός παραμέτρων του προβλήματος για κάθε πλήρες αριθμητικό προσομοίωμα παραθέτονται στη συνέχεια:

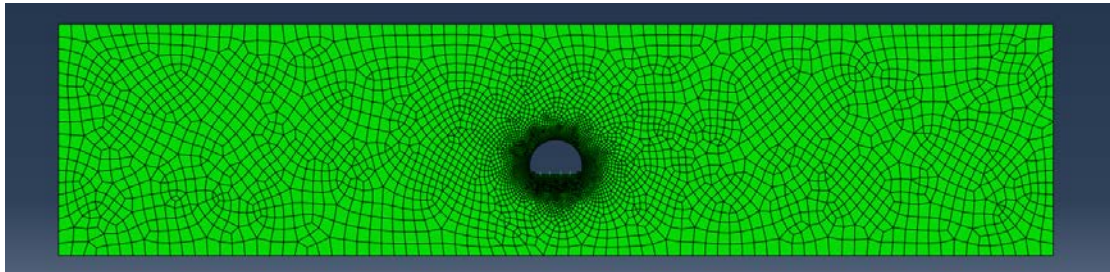
1.



Αριθμός κόμβων: 4205 – Αριθμός στοιχείων: 4556
Συνολικός αριθμός παραμέτρων: 8422
Συνολικό βάθος 28,36m

Εικόνα 6.5: Προσομοίωμα σήραγγας σε βάθος μίας διατομής σήραγγας κάτω από το έδαφος

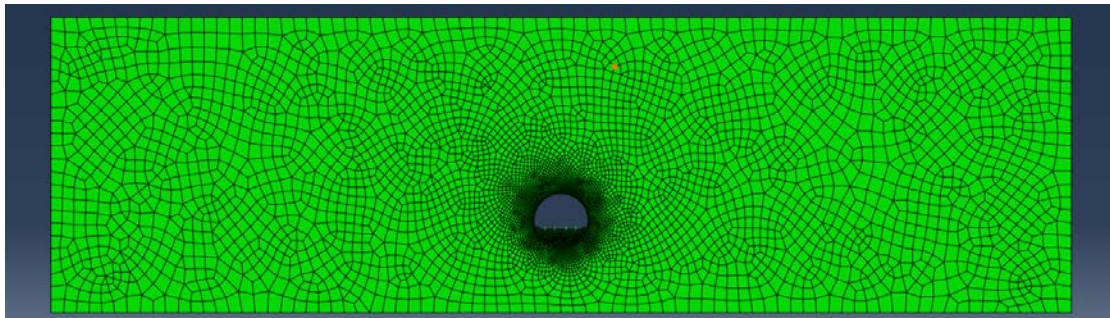
2.



Αριθμός κόμβων: 5427– Αριθμός στοιχείων: 5836 –
Συνολικός αριθμός παραμέτρων: 10866
Συνολικό βάθος 37,54m

Εικόνα 6.6: Προσομοίωμα σήραγγας σε βάθος δύο διατομών σήραγγας κάτω από το έδαφος

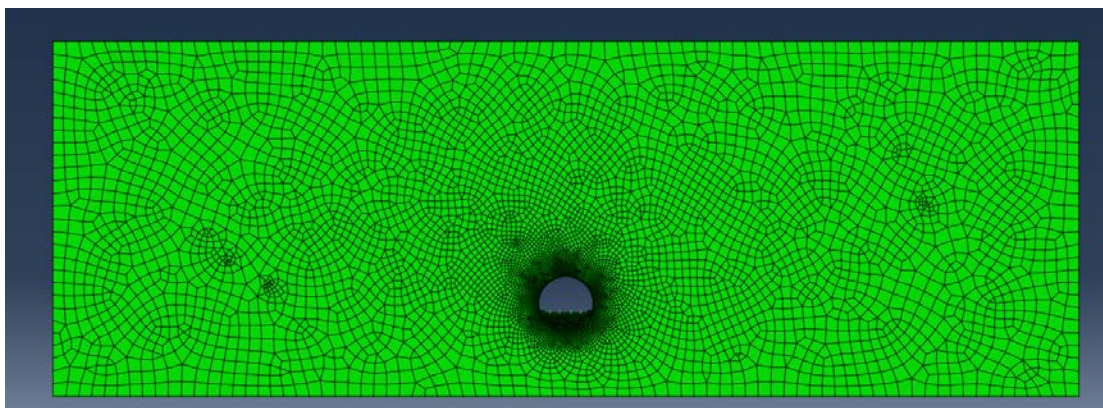
3.



Αριθμός κόμβων: 6236– Αριθμός στοιχείων: 6676
Συνολικός αριθμός παραμέτρων: 12484
Συνολικό βάθος 46,72m

Εικόνα 6.7: Προσομοίωμα σήραγγας σε βάθος τριών διατομών σήραγγας κάτω από το έδαφος

4.



Αριθμός κόμβων: 7326– Αριθμός στοιχείων: 7837 –
Συνολικός αριθμός παραμέτρων: 14664
Συνολικό βάθος 55,90m

Εικόνα 6.8: Προσομοίωμα σήραγγας σε βάθος τεσσάρων διατομών σήραγγας κάτω από το έδαφος

Σε κάθε ένα από τα προσομοιώματα υπάρχει εδαφική στρώση 10m (συμπεριλαμβάνεται στο τελικό βάθος) κάτω από το τέλος της σήραγγας.

Στη συνέχεια, όλο το φωτογραφικό υλικό παρέχεται αποκλειστικά από το προσομοίωμα μίας διατομής σήραγγας κάτω από το έδαφος, για λόγους ευκολίας κατανόησης από τον αναγνώστη.

6.6 Δημιουργία παραμέτρων στο Abaqus

Μετά την εισαγωγή των σχεδίων στο ABAQUS και την ένωση τους, δημιουργήθηκαν δύο υλικά τα οποία θα προσδοθούν στα διάφορα τμήματα του προσομοιώματος. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση του είναι τα εξής:

A) Οπλισμένο σκυρόδεμα που έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Μέτρο ελαστικότητας: 32GPa
- Πυκνότητα: 25kg/m³
- Poisson's Ratio: 0,25

Εφαρμόστηκε στην σήραγγα και στην επιδομή.

B) Έδαφος που έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Μέτρο ελαστικότητας ανάλογα με την κατηγορία εδάφους
- Πυκνότητα: 18 kg/m³
- Poisson's Ratio: 0,25

Εφαρμόστηκε σε όλο το εδαφικό υλικό.

6.7 Προσομοίωση τροχιάς

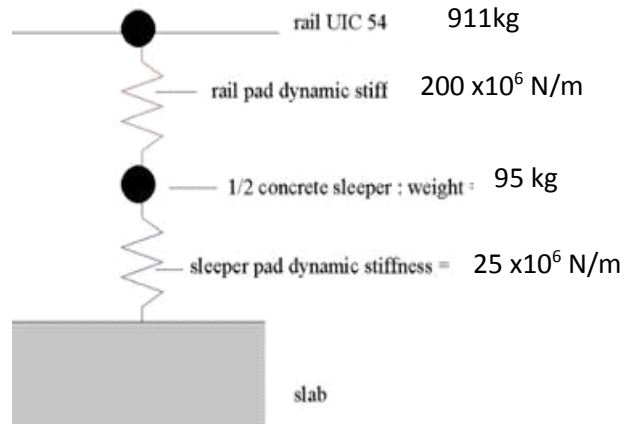
Το τυπικό πρότυπο στήριξης της σιδηροτροχιάς ενός τυπικού μέσου σταθερής τροχιάς απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 6.9: Λεπτομέρεια στρωτήρα

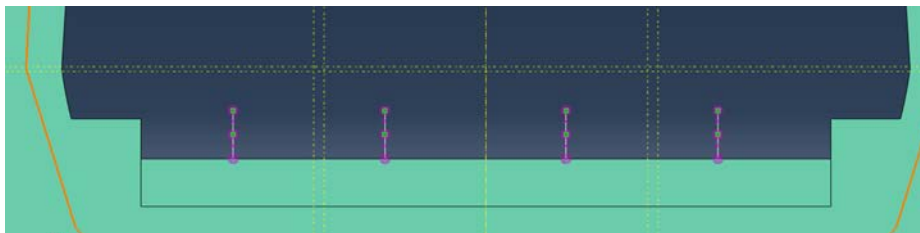
Η προσομοίωση αυτή έγινε εισάγοντας ένα σύστημα ελατηρίων και σημειακών μαζών όπως περιγράφεται στο σχήμα.

Η δυσκαμψία που δόθηκε στο πάνω ελατήριο είναι 200×10^6 N/m και στο κάτω ελατήριο 25×10^6 N/m.



Εικόνα 6.10: Προσομοίωμα της σιδηροτροχιάς

Επιπλέον η τιμή που προσδόθηκε στην πάνω σημειακή μάζα είναι 911kg ενώ στη κάτω 95 kg, όπως σχολιάζεται και στην επόμενη ενότητα.

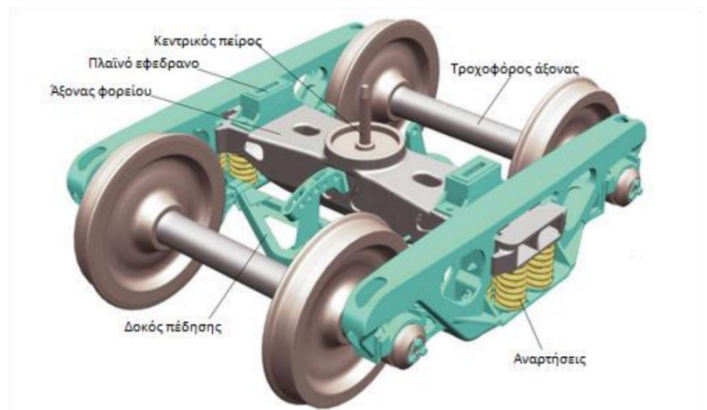


Εικόνα 6.11: Προσομοίωση σιδηροτροχιάς στο Abaqus

6.8 Μη αναρτημένη μάζα (unsprung mass)

Ως μη αναρτημένη μάζα νοείται το τμήμα της ανάρτησης, το οποίο ευρίσκεται άνευ ουδεμίας μόνωσης ή αντικραδασμικού υλικού με τις ράγες. Μπορεί να περιλαμβάνει τροχούς, άξονες και ότι άλλο περιλαμβάνει το φορείο (bogie). Έχει βρεθεί ότι ο υποδιπλασιασμός της μάζας αυτής είναι δυνατόν να μειώσει τις στάθμες δόνησης κατά 6 dB. Η μάζα αυτή λαμβάνεται - με βάση τις σχετικές παραδοχές - ίση με 1822 kg/άξονα.

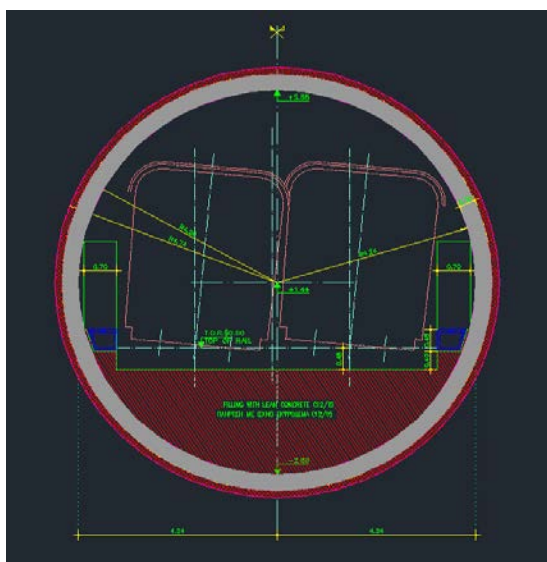
Τέσσερις συγκεντρωμένες μάζες των 911 kg εφαρμόζονται στους κόμβους της τροχιάς, αντιστοιχούσες σε ένα φορείο συρμού κεντρικά τοποθετημένο κατά μήκος.



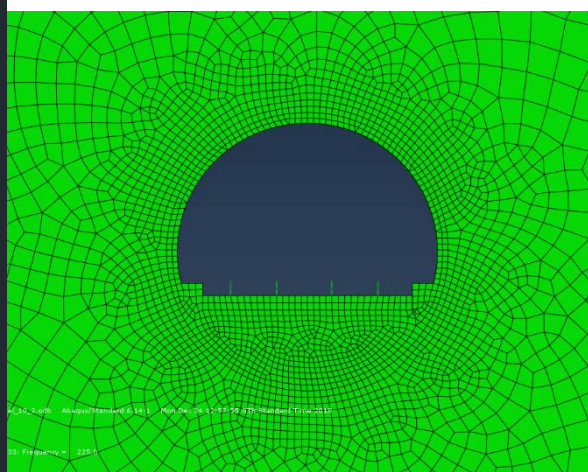
Εικόνα 6.12: Αναπαράσταση φορείου (bogie)

6.9 Πρόσδοση υλικών

Η σήραγγα που επιλέχθηκε προς μελέτη ήταν η τυπική διατομή διπλής τροχιάς με ακτίνα 4,59m της οποίας η διάνοιξη έγινε με TBM. Το υλικό που της προσδόθηκε είναι σκυρόδεμα με τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος που αναφέρθηκαν άνωθεν. Η σήραγγα περιλαμβάνει τρία σχέδια: α) τη σήραγγα, β) την επιδομή και τέλος, γ) τη σιδηροτροχιά.



Εικόνα 6.13: Τυπική διατομή σήραγγας



Εικόνα 6.14: Προσομοίωμα σήραγγας

Στο τμήμα του εδάφους προσδόθηκαν τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε εδάφους που έπρεπε να μελετηθεί.

6.10 Βήματα μελέτης

Η ανάλυση των προσομοιωμάτων που σχεδιάστηκαν αποτελούνται από δύο βήματα προκειμένου να υπολογιστεί η ταχύτητα δόνησης στα επιθυμητά σημεία.

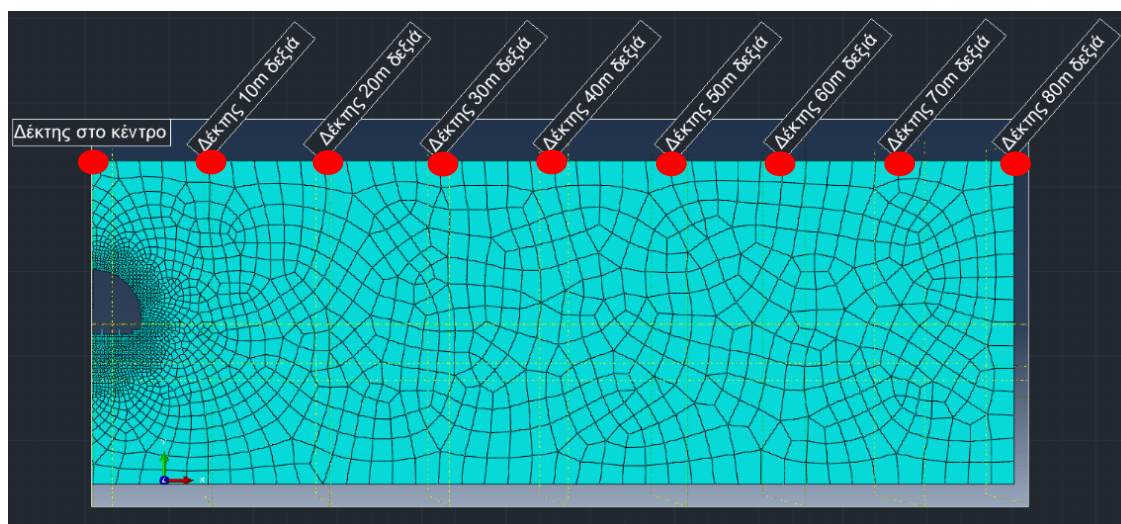
Το πρώτο βήμα, είναι η ανάλυση συχνοτήτων από την οποία προκύπτουν οι ιδιοσυχνότητες «eigen frequencies» και τα ιδιοδιανύσματα «eigen vectors» των ιδιομορφών από τις ελεύθερες ταλαντώσεις του φορέα, το οποίο αποτελεί και ένα από τα πιο καίρια κομμάτια για γίνει κατανοητή η συμπεριφορά της υπόγειας κατασκευής.

Όλες οι ιδιομορφές των προσομοιωμάτων υπολογίστηκαν με την αριθμητική μέθοδο Lanczos, η οποία κρίθηκε ως η καταλληλότερη μέθοδος λόγω της σχετικά υψηλής ακρίβειας της, καθώς και της μικρής απαίτησής της σε χρόνο. Στο βήμα επίσης, ορίστηκε ο ελάχιστος και ο μέγιστος αριθμός των ζητούμενων ιδιομορφών με βάση τις συχνότητες που μας ενδιαφέρουν σε επίπεδο 1/3 οκταβικής ανάλυσης (ελάχιστη συχνότητα 9Hz και μέγιστη συχνότητα 225Hz).

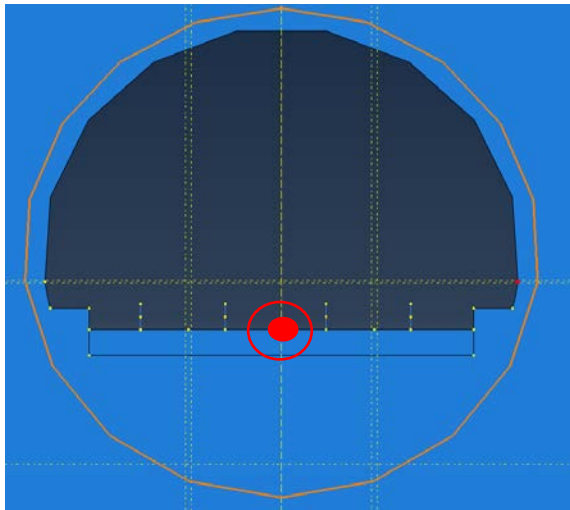
Το δεύτερο βήμα αποτελεί η αριθμητική ανάλυση σταθερής κατάστασης (Steady-state dynamic modal analysis). Η αριθμητική ανάλυση σε σταθερή κατάσταση παρέχει το εύρος σταθερής κατάστασης και τη φάση της απόκρισης ενός συστήματος λόγω της αρμονικής διέγερσης σε μια δεδομένη συχνότητα. Η ανάλυση αυτή γίνεται σαρώνοντας ένα εύρος διαφορετικών προεπιλεγμένων συχνοτήτων με εφαρμογή της φόρτισης και καταγράφεται η απόκρισή της. Οι συχνότητες που επιλέχθηκαν για την ανάλυση είναι από την συχνότητα 9Hz έως την συχνότητα 225Hz με βήμα 0.5 Hz. Βασική προϋπόθεση για να χρησιμοποιηθεί η δυναμική αυτή ανάλυση είναι η γνώση των ιδιομορφών. Από την διαδικασία αυτή παράχθηκαν τα αποτελέσματα ταχυτήτων των δονήσεων που παράγονται μόνο στην κατακόρυφη διεύθυνση.

6.11 Τύπος αποτελεσμάτων

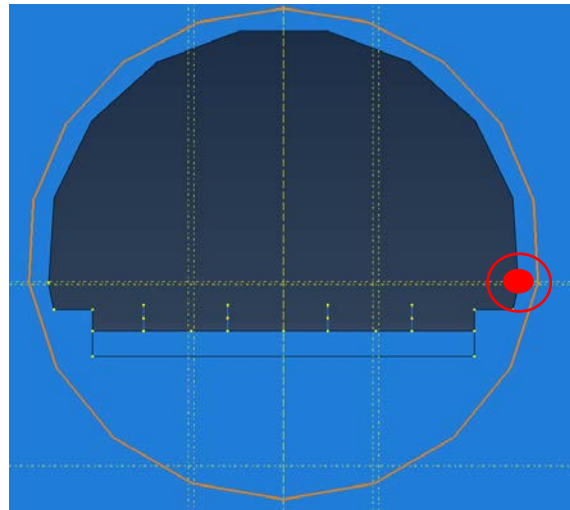
Σε κάθε βήμα της ανάλυσης δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει τον επιθυμητό τύπο αποτελεσμάτων που θέλει να εξάγει καθώς και τα σημεία από τα οποία επιθυμεί να τα εξάγει. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, βασικός στόχος είναι η εξαγωγή των αποτελεσμάτων μετατόπισης και κυρίως ταχύτητας. Τα αποτελέσματα μετατόπισης ολόκληρου του προσομοιώματος χρειάζονται για την ανάλυση των ιδιομορφών που αποτελεί και το πρώτο βήμα την ανάλυσης. Από το σύνολο των κόμβων του συστήματος πεπερασμένων στοιχείων, μικρός είναι ο αριθμός των οποίων τα αποτελέσματα ταχύτητας έχουν ιδιαίτερη σημασία. Οι κόμβοι αυτοί που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον βρίσκονται στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους (εξαγωγή δεδομένων ανά 10m), στο τοίχωμα της σήραγγας (tunnel wall) και στο κατώτατο σημείο της σήραγγας (invert) . Γι' αυτό τον λόγο το πρόγραμμα εξάγει δεδομένα αποκλειστικά από αυτούς τους κόμβους. Στην παρούσα κατάσταση απεικονίζονται μόνο οι δέκτες από τα δεξιά και το κέντρο, αλλά αντίστοιχοι δέκτες υπάρχουν και από τα αριστερά.



Εικόνα 6.15: Σημεία διεξαγωγής αποτελεσμάτων από την ελεύθερη επιφάνεια



Εικόνα 6.16: Κατώτατο σημείο της σήραγγας(Invert)



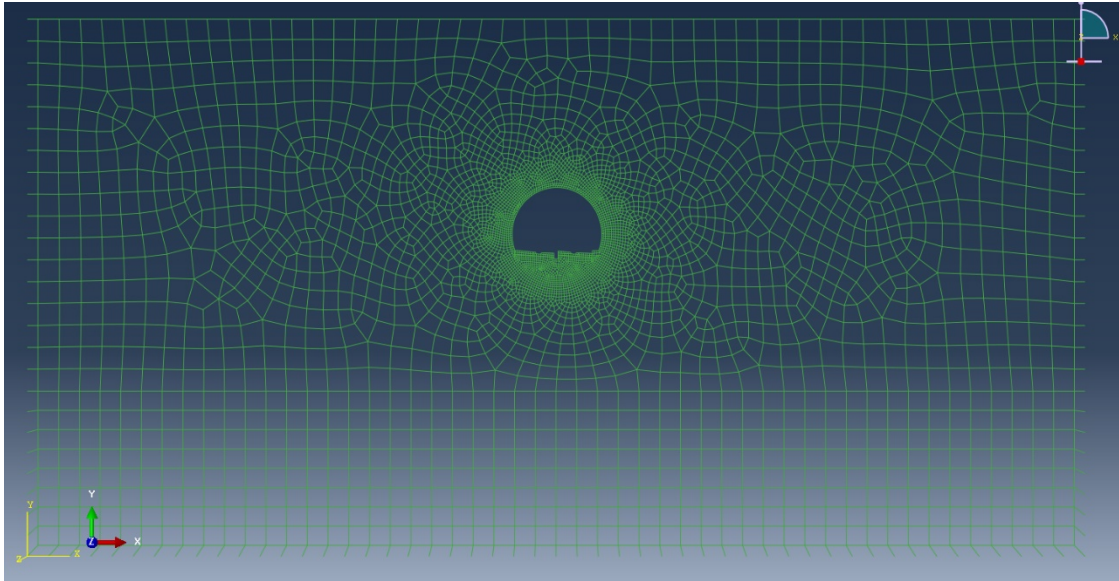
Εικόνα 6.17: Τοίχωμα σήραγγας (Tunnel Wall)

Το σημείο στο τοίχωμα της σήραγγας (tunnel wall) βρίσκεται 0.75m πάνω από το δάπεδο.

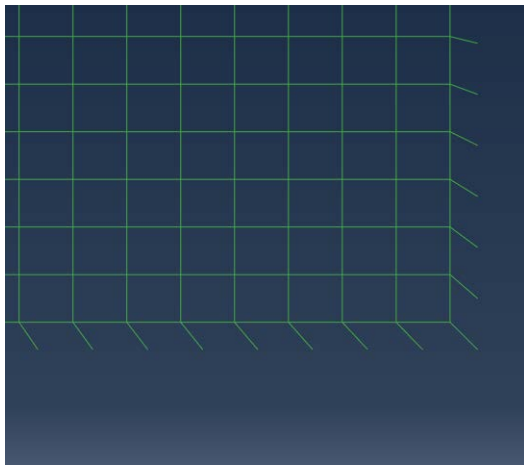
Ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε τα σημεία α) στο τοίχωμα της σήραγγας (tunnel wall) και β) στο κατώτατο σημείο της σήραγγας (invert) ως σημεία ύψιστης σημασίας είναι ότι στα πλαίσια δυσμενούς σεναρίου γίνεται η παραδοχή ότι οι δονήσεις, οι οποίες παράγονται στο «tunnel wall» και στο «invert» της σήραγγας διαχέονται πλήρως στο περιβάλλον έδαφος, χωρίς μείωση λόγω δι-επιφάνειας. Μετά από πολλές διαδοχικές προσεγγίσεις διαπιστώθηκε πως το σημείο στο τοίχωμα της σήραγγας είναι καταλληλότερο για την βαθμονόμηση που θα αναλυθεί σε επόμενη ενότητα.

6.12 Συνοριακές συνθήκες

Μη πεπερασμένο σύνολο ή απειροσύνολο ονομάζεται κάθε σύνολο, το οποίο δεν ανήκει στα πεπερασμένα σύνολα. Η μέθοδος των μη πεπερασμένων στοιχείων αποτελεί μία αριθμητική μέθοδος η οποία εξυπηρετεί την λύση σύνθετων και πολυποίκιλών φυσικών προβλημάτων. Πρόκειται για μία τροποποίηση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων με βάση την οποία ένα σύνολο, ή στην προκειμένη περίπτωση ένα προσομοίωμα, χωρίζεται σε άπειρα τμήματα. Εκ πρώτης όψεως η μεθοδολογία αυτή φαίνεται να είναι ιδανική για την προσομοίωση των συνοριακών συνθηκών των προσομοιωμάτων της διπλωματικής για την αντιμετώπιση των πιθανών ανακλάσεων των δονήσεων στα όρια του ημιχώρου. Με βάση τα χαρακτηριστικά αυτά κρίθηκε σκόπιμο να γίνει μία τέτοια δοκιμή. Το κυριότερο πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπισθεί είναι ότι το ABAQUS δεν υποστηρίζει εγγενώς τα μη πεπερασμένα στοιχεία. Για να λυθεί το πρόβλημα αυτό θα έπρεπε μετά την δημιουργία του προσομοιώματος να αλλαχθεί χειροκίνητα ο τύπος των στοιχείων που απαρτίζουν τις συνοριακές συνθήκες σε στοιχεία CINPE4. Με σκοπό να γίνει πιο εύκολη η διακριτοποίηση των στοιχείων αυτών δόθηκε ένας διαφορετικός τύπος στοιχείου που δεν υπήρχε στο προσομοίωμα εξαρχής (π.χ. ακουστικό στοιχείο).



Εικόνα 6.18: Δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων με μη πεπερασμένα όρια

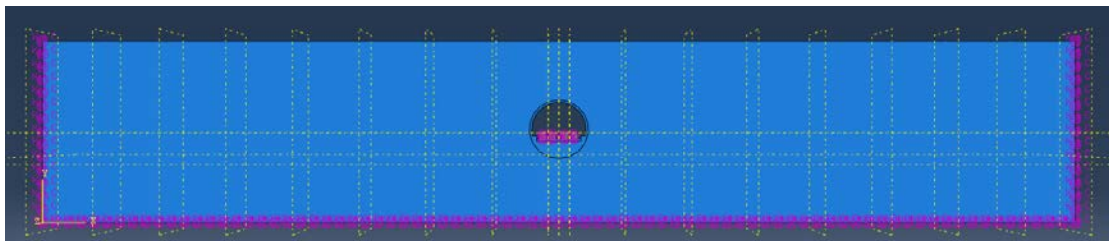


Εικόνα 6.19: Λεπτομέρεια αλληλοδιαδοχής πεπερασμένων στοιχείων και μη πεπερασμένων ορίων

Αν και η διαδικασία της προσομοίωσης διεκπεραιώθηκε επιτυχώς η γενική μεθοδολογία κρίθηκε μη αποτελεσματική. Η μεθοδολογία αυτή απορρίφθηκε μιας και η δρώσα ιδιομορφική μάζα κάθε ιδιομορφής τείνει στο μηδέν. Μετά από τη διερεύνηση του συγκεκριμένου φαινομένου αποδείχθηκε πως τα μη πεπερασμένα στοιχεία δεν προσφέρουν καμία πλευρική εξασφάλιση στο προσομοίωμα.

TOTAL	9.46191E-13	6.95762E-13	1.71547E-16	1.32982E-13	4.48126E-13	4.08729E-09
-------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Εξαιτίας της αποτυχημένης δοκιμής, στραφήκαμε στην εφαρμοσμένη και επιτυχημένη τεχνική εισαγωγής ελατηρίων και αποσβεστήρων. Κατά την μεθοδολογία αυτή τα άκρα του ημίχωρου πλαισιώνονται από ελατήρια και αποσβεστήρες δύο βαθμών ελευθερίας.



Εικόνα 6.20: Σύστημα ελατηρίων-αποσβεστήρων στα όρια του προσομοιώματος

Με μωβ χρώμα απεικονίζονται τα ελατήρια και οι αποσβεστήρες του προσομοιώματος η απόσταση των οποίων ορίστηκε έπειτα από διαδοχικές δοκιμές. Στην εφαρμογή αυτή, η απόσταση τους προέκυψε στα 2m.

Με τον τρόπο αυτό το σύστημα ελατηρίων-αποσβεστήρων προσομοιάζουν την απόσβεση των δονήσεων στη μη υπαρκτή συνέχεια του εδαφικού υλικού.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των ελατηρίων καθώς και των αποσβεστήρων βρέθηκαν με τους ακόλουθους τύπους:

$$\text{Μέτρο διάτμησης : } G = \frac{E}{(2\nu+1)}$$

$$\text{Ταχύτητα διάδοσης κυμάτων S : } V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

$$\text{Ταχύτητα διάδοσης κυμάτων P : } V_p = \sqrt{\frac{G \times 2 \times (1-\nu)}{\rho \times (1-2\nu)}}$$

$$\text{Εμβαδόν στοιχείου : } A = \text{Κάναβος}(2) \times \text{Πάχος δοκιμίου}(0.7)$$

$$\text{Συντελεστής Αποσβεστήρα κυμάτων S : } C_s = \rho \times V_s \times A$$

$$\text{Συντελεστής Αποσβεστήρα κυμάτων P : } C_p = \rho \times V_p \times A$$

$$\text{Σταθερά ελατηρίου για κύματα S : } K_s = G \times A$$

$$\text{Σταθερά ελατηρίου για κύματα P : } K_p = E \times A$$

Όπου:

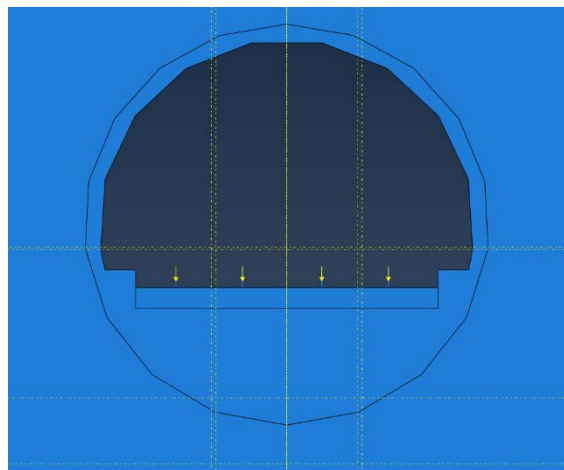
E : Μέτρο ελαστικότητας kPa

ν : Poisson's Ratio (0.25)

ρ : Πυκνότητα Mg/m³

6.13 Επιβολή φόρτισης

Η δύναμη που μεταβιβάζεται από το συρμό στην σιδηροτροχιά δεν είναι προκαθορισμένη. Για το λόγο αυτό το κάθε προσομοίωμα θα χρειαστεί να βαθμονομηθεί. Η βαθμονόμηση ξεκινά αρχικά εφαρμόζοντας δύναμη ίση με 25N/Hz πάνω στις ράγες της σιδηροτροχιάς.

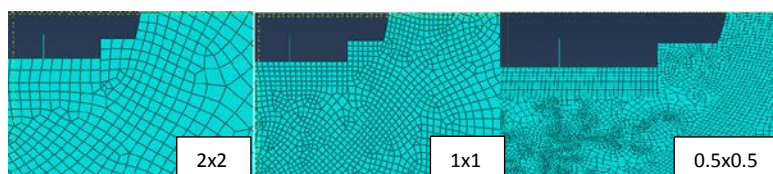


Εικόνα 6.21: Σημεία επιβολής φόρτισης

Μετά το τρέξιμο του προσομοιώματος, με μοναδική την δύναμη των 25N/Hz σε κάθε ράγα, έχοντας ορίσει μοναδιαίο εύρος τιμών (amplitude), αποκομίζονται τα αποτελέσματα από το σημείο αναφοράς, όπου στην προκειμένη περίπτωση βρίσκονται στο τοίχωμα της σήραγγας (tunnel wall) και ύστερα από τη σύγκρισή τους με τα επιθυμητά-ρεαλιστικά αποτελέσματα που έχουν συλλεχθεί από κανονικές επιτόπου μετρήσεις, προκύπτει ο κατάλληλος πολλαπλασιαστής κάθε συχνότητας ξεχωριστά. Κατ' αυτόν τον τρόπο εισάγονται στο προσομοίωμα οι διορθωμένες πλέον τιμές με την μορφή ενός μη μοναδιαίου εύρους τιμών (amplitude). Το προσομοίωμα υποβάλλεται ξανά σε τρέξιμο και οι τροποποιημένες τιμές που θα προκύψουν αποτελούν τις τιμές οι οποίες εν τέλει θα χρησιμοποιηθούν.

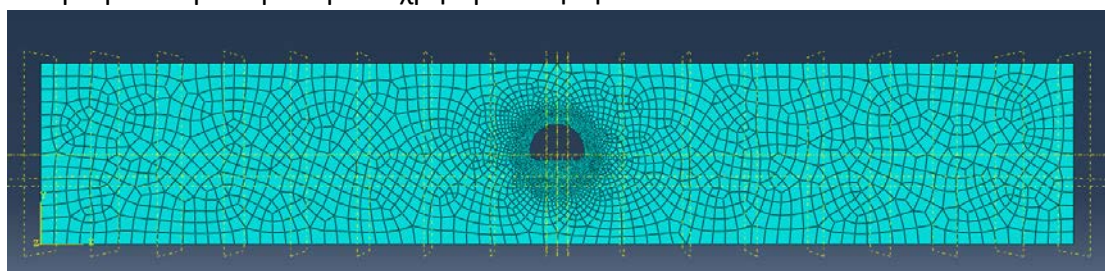
6.14 Δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων

Επόμενο βήμα αποτελεί η διακριτοποίηση του προσομοιώματος με τη δημιουργία του πλέγματος των πεπερασμένων στοιχείων. Επιλέχθηκε ο ίδιος τύπος πεπερασμένου στοιχείου για όλα τα μέρη. Αναλυτικότερα, έγινε η διακριτοποίηση με τη χρήση τετράπλευρων και τριγωνικών στοιχείων. Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν τα γραμμικά τετράπλευρα και τρίγωνα στοιχεία με τέσσερις και τρεις κόμβους (Linear), διότι ο χρόνος επίλυσής τους είναι αρκετά πιο σύντομος. Το δίκτυο διαμορφώθηκε ελεύθερα (free) από το πρόγραμμα διότι δεν επιλέχθηκε η ίδια πυκνότητα δικτύου σε όλα τα μέρη του φορέα. Στο γενικό προσομοίωμα, δόθηκε ένα πλέγμα με διαστάσεις 2x2 το οποίο δεν τηρείται καθολικά από το πρόγραμμα μιας και διαμορφώνει το



Εικόνα 6.22: Δίκτυα πεπερασμένων στοιχείων με διαφορετική πυκνότητα

πλέγμα με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο. Ο αριθμός των πεπερασμένων στοιχείων, και κατ' επέκταση το πόσο πυκνό είναι το δίκτυο, καθορίζει τον χρόνο που χρειάζεται το πρόγραμμα για να εξάγει τα αποτελέσματα καθώς και την ακρίβεια αυτών των αποτελεσμάτων. Το δίκτυο των πεπερασμένων στοιχείων δεν έγινε πολύ πυκνό, λόγω του μεγέθους του προσομοιώματος, παρόλα αυτά δόθηκε βαρύτητα στα σημεία γύρω από την σήραγγα. Το πλέγμα γίνεται πιο πυκνό στη περιοχή της σήραγγας, με διαστάσεις 0.2x0.2, μιας και είναι επιθυμητή η μεγαλύτερη ακρίβεια στα σημεία αυτά. Δοκιμές έγιναν και με πιο πυκνά πλέγματα αλλά η ακρίβεια των αποτελεσμάτων δεν βελτιώθηκε εσθίτα για να δικαιολογήσει τον μεγαλύτερο χρόνο αναμονής για το τρέξιμο του μοντέλου. Για την εξαγωγή ορθότερων συμπερασμάτων, σε ορισμένα προσομοιώματα χρησιμοποιήθηκε πιο πυκνό δίκτυο.



Εικόνα 6.23: Τελικό δίκτυο πεπερασμένων

6.15 Αριθμητική επίλυση Προσομοιωμάτων

Τα προσομοιώματα που δημιουργήθηκαν χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις που έγιναν στην παρούσα εργασία, οι οποίες είναι ελαστικές. Τελικός στόχος της διπλωματικής εργασίας ήταν να διευκρινιστεί το ποσοστό απόσβεσης που περιγράφει καλύτερα τις ρεαλιστικές μετρήσεις. Για τον λόγο αυτό, κάθε προσομοίωμα που έχει περιγραφεί, έχει τρέξει και για μία σειρά διαφόρων αποσβέσεων εδάφους. Οι χαρακτηριστικές ιδιομορφικές αποσβέσεις που επιλέχθηκαν είναι:

- 1%
- 2%
- 5%
- 7%
- 10%

Αφού έτρεξαν όλα τα προσομοιώματα εξάχθηκαν οι ακόλουθες τιμές:

- Μετρήσεις στον κόμβο του τοιχώματος της σήραγγας (tunnel wall) για έδαφος κατηγορίας 1, 2, 3, 4, 5 και για απόσβεση 1%, 2%, 5%, 7%, 10%.
- Μετρήσεις στους κόμβους της επιφάνειας 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 δεξιά (μιας και από αριστερά προέκυψαν τα ίδια ακριβώς αποτελέσματα) για έδαφος κατηγορίας 1, 2, 3, 4, 5 και για απόσβεση 1%, 2%, 5%, 7%, 10%.

Τα δεδομένα αυτά εξάχθηκαν από το ABAQUS και εισάχθηκαν σε αρχεία excel όπου και τροποποιήθηκαν καταλλήλως για να γίνει πιο εύκολη η κατανόησή τους καθώς και ο σχολιασμός τους. Τα δεδομένα που προκύπτουν από την εξαγωγή είναι εκφρασμένα σε ταχύτητες. Οι ταχύτητες αυτές μετατράπηκαν σε dBA με την χρήση του τύπου:

$$dBA = 20 \times \log\left(\frac{velocity}{10^{-9}}\right) \quad \text{Σχέση 6.1}$$

Για τον υπολογισμό της ταχύτητας δόνησης ελήφθησαν υπόψη όλες οι ιδιομορφές από 9 έως 225 Hz. Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται για δέκα βήματα συχνότητας ανά 1/3 της οκτάβας.

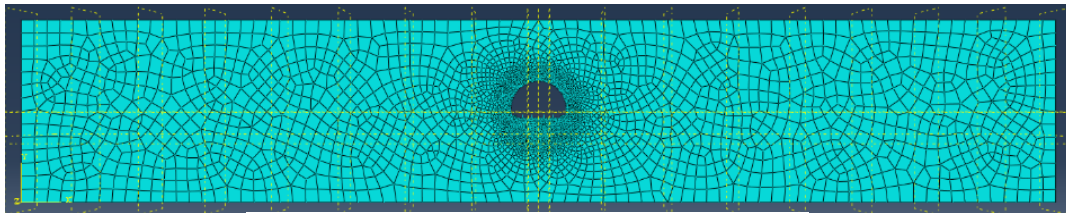
Τα δέκα αυτά βήματα είναι τα εξής:

- Από 9Hz έως 11Hz.
- Από 14.5Hz έως 18Hz.
- Από 18.5Hz έως 22.5Hz.
- Από 23Hz έως 28Hz.
- Από 28.5Hz έως 33.5Hz.
- Από 34Hz έως 44.5Hz.
- Από 45Hz έως 56Hz.
- Από 56.5Hz έως 71Hz.

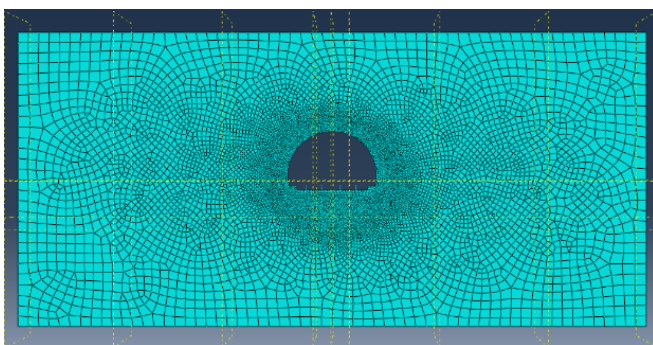
- Από 71.5Hz έως 89Hz.
- Από 89.5Hz έως 112Hz.
- Από 112.5Hz έως 141.5Hz.
- Από 142Hz έως 178Hz.
- Από 178.5Hz έως 225Hz.

6.16 Δοκιμές για αποφυγή σφαλμάτων

Πριν την τελική υποβολή των προσομοιωμάτων έγιναν αρκετές δοκιμές για τον προσδιορισμό των περιορισμών του προγράμματος καθώς και για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων τους. Για αυτό τον λόγο δημιουργήθηκαν δύο πανομοιότυπα μοντέλα με τις ίδιες παραμέτρους με την μόνη διαφορά πως το δεύτερο ήταν σημαντικά μικρότερου πλάτους από το άλλο, με πιο πυκνό δίκτυο και λειτούργησαν περισσότεροι πύρινες του Η/Υ, δηλαδή μεγαλύτερη υπολογιστική δύναμη. Παρόλο τις προαναφερθείσες διαφορές τα αποτελέσματα δεν παρουσίασαν σημαντική απόκλιση.



Εικόνα 6.24: Προσομοίωμα πλήρους πλάτους



Εικόνα 6.25: Προσομοίωμα μειωμένου πλάτους

Πίνακας 6.3: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιωμάτων

Αποτελέσματα προσομοιωμάτων		
Συχνότητες	Μειωμένου πλάτους	Κανονικού πλάτους
10	66	67
12.5	66	66
16	65	65
20	70	70
25	73	73
31.5	78	78
40	85	85
50	83	83
63	80	79
80	82	82
100	82	82
125	79	79
160	77	78
200	76	76

7. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗ

Για να υπάρξουν πιο εμπειριστατωμένα ευρήματα, η πρόβλεψη των αποτελεσμάτων των μετακινήσεων λόγω της διέλευσης του συρμού, υπολογίστηκε συμπληρωματικά και από μια αλληλουχία αριθμητικών πράξεων στο excel.

Η ανάλυση αυτή βασίζεται στην θεώρηση πως κάθε κύμα έχει διαφορετική ταχύτητα διάδοσης και πως πέραν της γεωμετρικής απόσβεσης συνεισφέρει και η απόσβεση του υλικού.

Σε ό,τι αφορά τη διάδοση των δονήσεων μέσω του εδάφους επισημαίνεται ότι η ενέργεια διαδίδεται στο έδαφος μέσω κυμάτων χώρου και κυμάτων επιφανείας. Τα κύματα χώρου είναι τα κύματα P και S, ενώ τα επιφανειακά κύματα είναι τα Rayleigh και τα Love. Κάθε τύπος κύματος έχει και διαφορετική ταχύτητα διάδοσης της δόνησης σε περιοχές δίπλα από υπόγειες σήραγγες. Η ταλαντευόμενη επιφάνεια της επένδυσης μπορεί να θεωρηθεί ως μια κυλινδρική πηγή.

Η ενέργεια μειώνεται βαθμιαία με την αύξηση της απόστασης από την πηγή, γιατί η ενέργεια διαχέεται σε μεγαλύτερη επιφάνεια (γεωμετρική απόσβεση). Επισημαίνεται ότι τα διαμήκη κύματα είναι τα πλέον σημαντικά, σε ό,τι αφορά τη διαμόρφωση της στάθμης εδαφο-μεταφερόμενου θορύβου σε πλησίον κτίρια.

Η ταχύτητα αυτή σε μια απόσταση d από την επιφάνεια της επένδυσης δίνεται από τον τύπο :

$$V_d = V_t \sqrt{\frac{r_0}{r_0 + d}} \times e^{-\frac{\omega \eta d}{2V_s}} \quad \text{Σχέση 7.1}$$

όπου :

V_t : ακτινική ταχύτητα δόνησης της επένδυσης σε (m /sec)

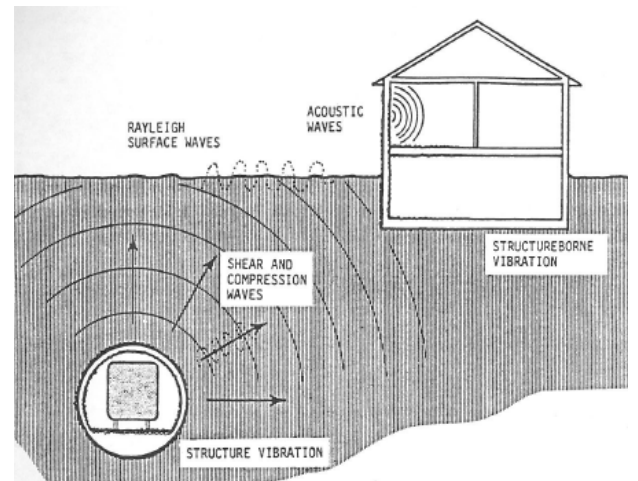
r_0 : ακτίνα της σήραγγας (m)

ω : $2\pi f$ όπου f η συχνότητα [rad/s]

η : η απόσβεση εδάφους λαμβάνεται ίση με 0.1 ή 0.05 για τις μικρά εύρους δονήσεων στα μαλακά υλικά

V_s : ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων S (m /sec)

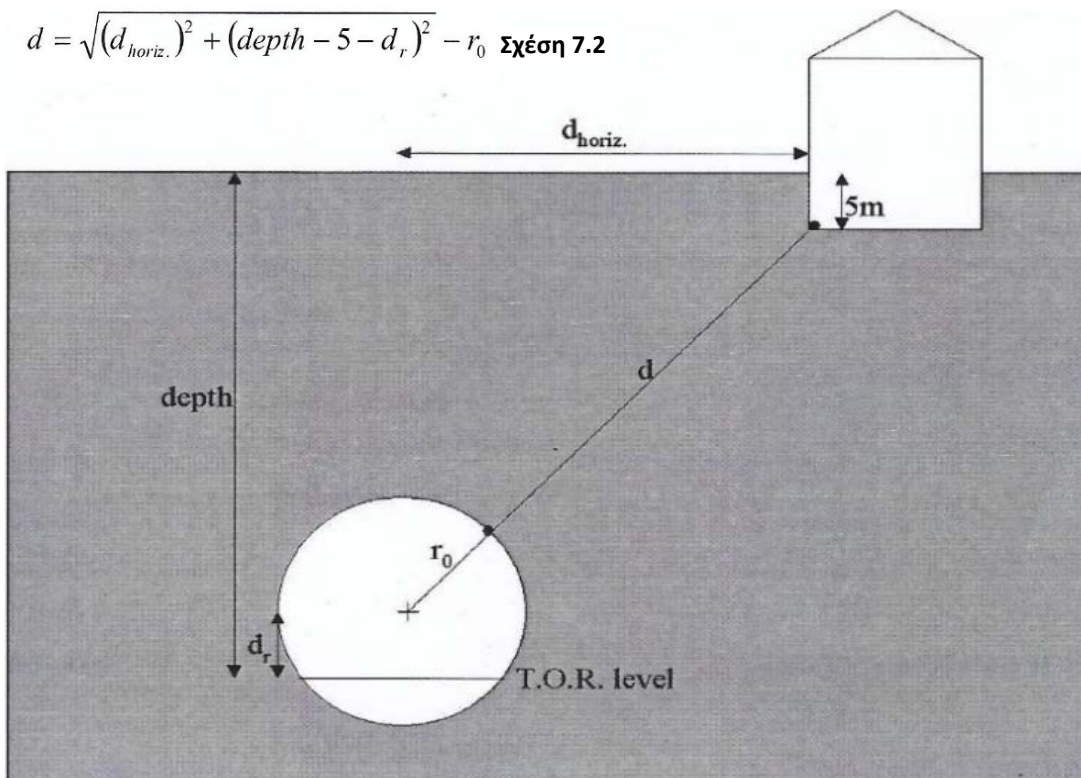
d: η απόσταση των θεμελίων



Εικόνα 7.1: Ταχύτητα δόνησης στην ελεύθερη επιφάνεια

Η απόσταση των θεμελίων d υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$d = \sqrt{(d_{\text{horiz.}})^2 + (\text{depth} - 5 - d_r)^2} - r_0 \quad \text{Σχέση 7.2}$$



Εικόνα 7.2: Χρήσιμες αποστάσεις για τη σχέση 7.2

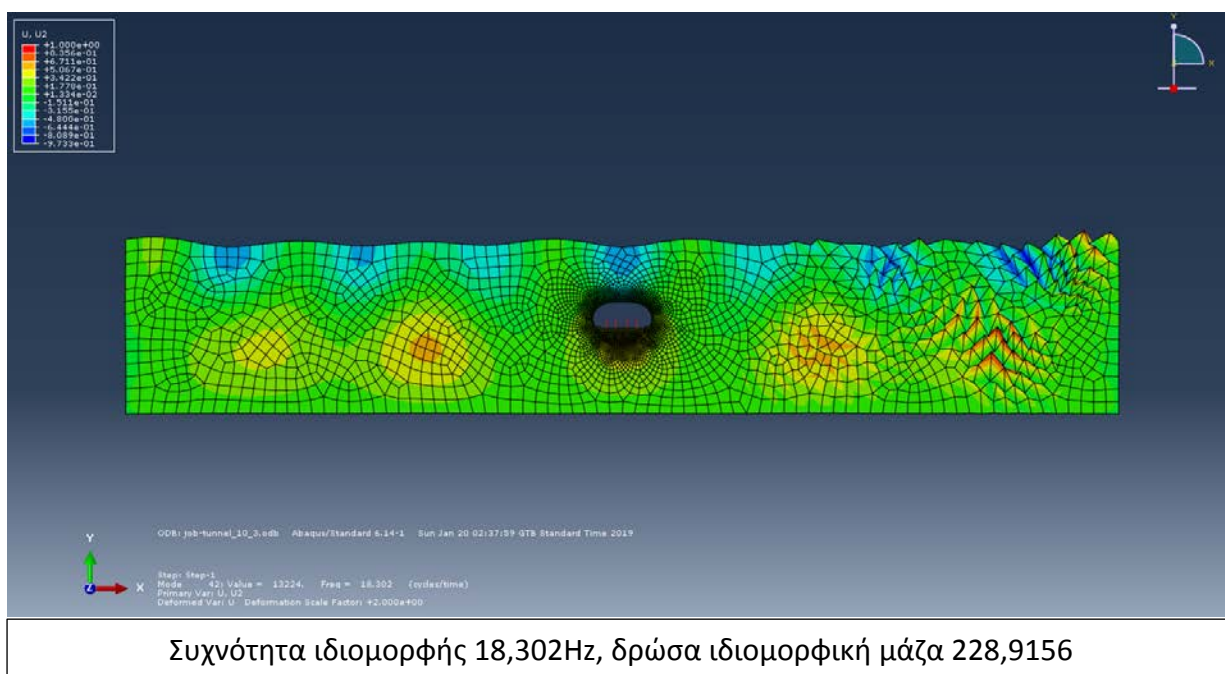
Επομένως για την εφαρμογή της μεθοδολογίας αυτής, αναγκαία δεδομένα καθίστανται μόνο τα δεδομένα ταχύτητας του κόμβου στο τοίχωμα της σήραγγας (tunnel wall) του εκάστοτε προσομοιώματος. Συνεπώς, μετά τη βαθμονόμηση των προσομοιωμάτων εξάχθηκαν μόνο οι τιμές των κόμβων αυτών. Όπως και η προηγούμενα ανάλυση με το πρόγραμμα ABAQUS έτσι και με το excel, τα προσομοιώματα έτρεξαν για έδαφος κατηγορίας 1, 2, 3, 4, 5, για απόσβεση 1%, 2%, 5%, 7%, 10% για να εξαχθούν όλα τα επιθυμητά αποτελέσματα. Από τις τιμές αυτές εκτιμήθηκαν οι τιμές των υπόλοιπων μετρήσεων.

8. ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

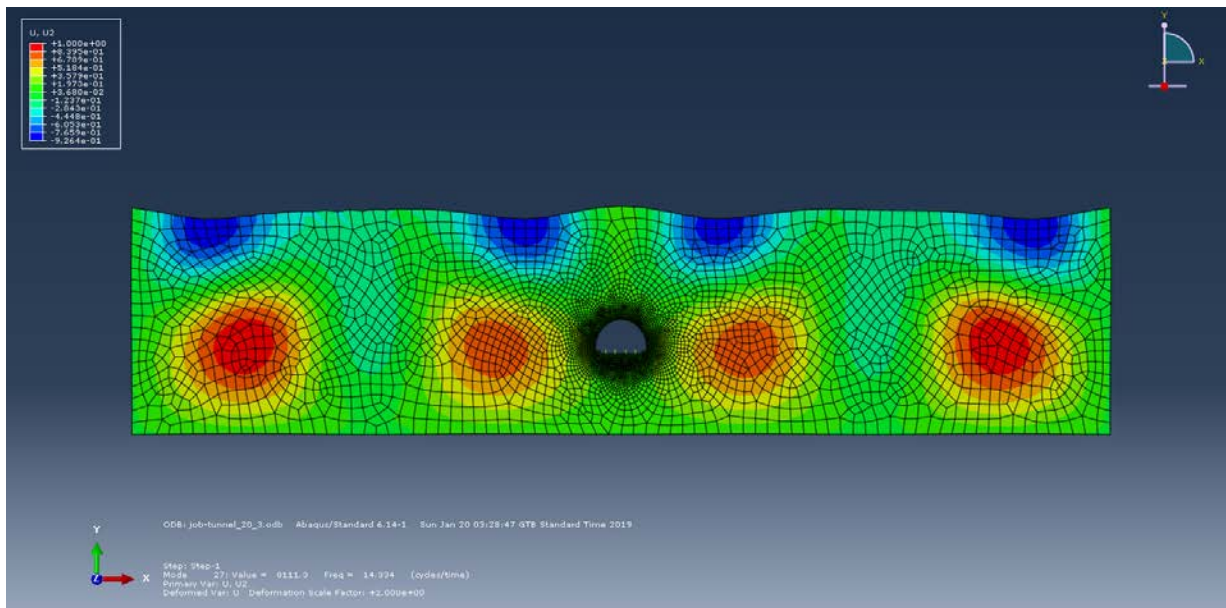
Στην ενότητα αυτή παρατίθεται αναλυτικά τα σημαντικότερα ευρήματα που προέκυψαν ύστερα από την προσομοίωση του Abaqus και την αριθμητική μεθοδολογία του excel.

Πρώτο βήμα αποτέλεσε η εύρεση και ανάλυση των ιδιομορφών, για το λόγο αυτό στο σημείο αυτό παραθέτονται ενδεικτικά κάποιες από τις σημαντικότερες ιδιομορφές από τα προσομοιώματα που δημιουργήθηκαν με το πρόγραμμα Abaqus. Το κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε για την επιλογή των σημαντικότερων ιδιομορφών είναι ο υψηλός βαθμός συμμετοχής της δρώσα ιδιομορφική μάζα στην κατακόρυφη διεύθυνση (Y axis) .

Όλες οι ιδιομορφές που ακολουθούν παρέχονται από προσομοιώματα με ιδιομορφική απόσβεση 10% και κατηγορία εδάφους 3.

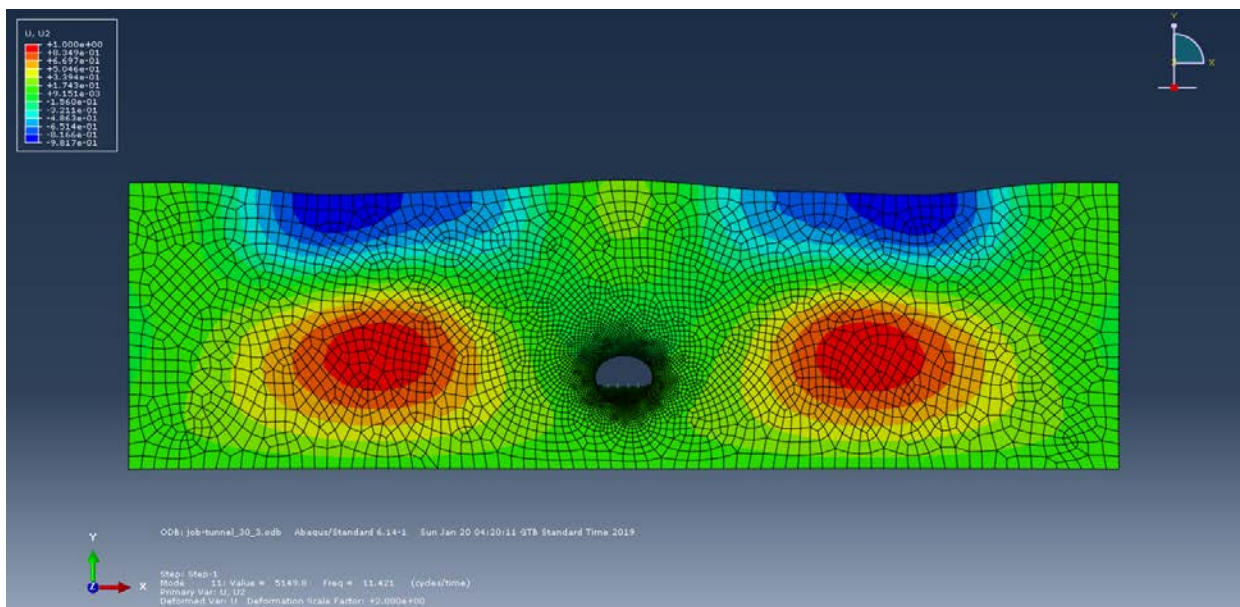


Εικόνα 8.1: Προσομοίωμα σήραγγας σε βάθος μίας διαμέτρου σήραγγας κάτω από το έδαφος



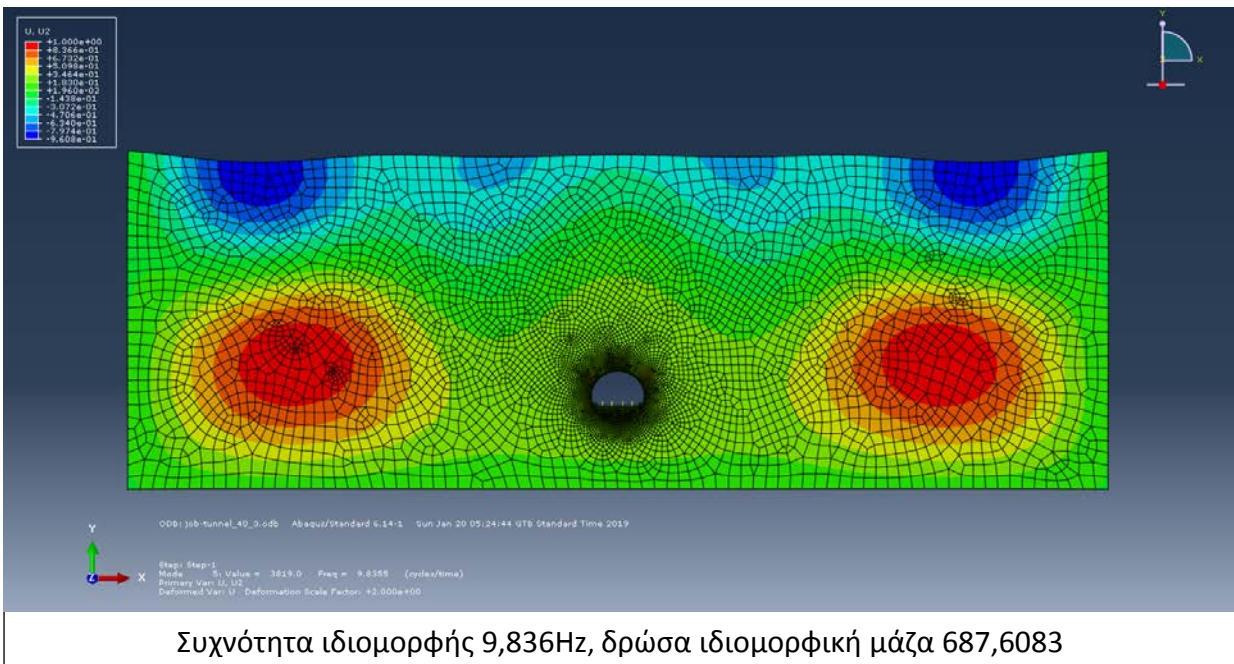
Συχνότητα ιδιομορφής 14,334Hz, δρώσα ιδιομορφική μάζα 321,4682

Εικόνα 8.2: Προσομοίωμα σήραγγας σε βάθος δύο διαμέτρων σηράγγων κάτω από το έδαφος



Συχνότητα ιδιομορφής 11,421Hz, δρώσα ιδιομορφική μάζα 416,3962

Εικόνα 8.3: Προσομοίωμα σήραγγας σε βάθος τριών διαμέτρων σηράγγων κάτω από το έδαφος



Εικόνα 8.4: Προσομοίωμα σήραγγας σε βάθος τεσσάρων διαμέτρων σηράγγων κάτω από το έδαφος

Αφού βρέθηκαν όλες οι ιδιομορφές των προσομοιωμάτων δεύτερο και τελικό βήμα της ανάλυσης ήταν η αριθμητική ανάλυση σταθερής κατάστασης, έπειτα της οποίας εξήχθησαν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα αυτά συγκρίθηκαν είτε μεταξύ τους είτε με πραγματικές επί τόπου μετρήσεις που έχουν γίνει στις ακόλουθες περιοχές μελέτης:

- Βλαχοθανάση (κατηγορία εδάφους 2)
- Πανόρμου (κατηγορία εδάφους 2)
- Ουράνη (κατηγορία εδάφους 3)
- Σανταρόζα (κατηγορία εδάφους 3)
- Σούτσου (κατηγορία εδάφους 4)
- Αμαλίας (κατηγορία εδάφους 4)

Οι μετρήσεις αυτές διεξάχθηκαν στην ελεύθερη επιφάνεια σε απόσταση 5m από τον κατακόρυφο άξονα της σήραγγας καθώς και για στο κατώτατο σημείο ανάμεσα στις δύο σιδηροτροχιές (invert).

Υπήρξαν αρκετές παράμετροι που βοήθησαν στην επιλογή των εν λόγω αποτελεσμάτων προς σχολιασμό και προβληματισμό. Οι παράμετροι αυτοί είναι οι εξής:

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Αποτελέσματα από ελεύθερη επιφάνεια: Οι πραγματικές επί τόπου μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην ελεύθερη επιφάνεια βρίσκονται σε απόσταση μίας ακτίνας σήραγγας (4,59m από τον άξονα της σήραγγας). Για τον λόγο αυτό, έχοντας σκοπό την εξαγωγή ακριβέστερων αποτελεσμάτων, οι τιμές των μετρήσεων αυτών συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα των προσομοιωμάτων που αφορούν τα σημεία που βρίσκονται στην ελεύθερη επιφάνεια σε απόσταση 0m & 10m από τον άξονα της σήραγγας.

Αποστάσεις αποτελεσμάτων ελεύθερης επιφάνειας: Τα αποτελέσματα της ελεύθερης επιφάνειας εξάγονται από τα προσομοιώματα με βήμα τα 10m, ξεκινώντας από τον άξονα της σήραγγας μέχρι και τα 80m εκατέρωθεν της σήραγγας. Μετά την διεξαγωγή των αποτελεσμάτων, διαπιστώθηκε πως τα αποτελέσματα από δεξιά και αριστερά, στις ίδιες αποστάσεις είναι πανομοιότυπα. Για τον λόγο αυτό τα αποτελέσματα που παραθέτονται στη συνέχεια έχουν εξαχθεί μόνο από την δεξιά πλευρά του προσομοιώματος.

Αποτελέσματα από το κατώτατο σημείο της σήραγγας: Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από τα προσομοιώματα του Abaqus στο κατώτατο σημείο της σήραγγας (invert) συγκρίνονται με τις αντίστοιχες μετρήσεις που έχουν διεξαχθεί στα σημεία αυτά.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΑΦΩΝ

Στην εξαγωγή και σύγκριση των αποτελεσμάτων συμπεριλήφθηκαν όλες οι κατηγορίες εδαφών για να υπάρξουν πληρέστερα και ορθότερα αποτελέσματα μιας και οι πραγματικές μετρήσεις συμπεριλάμβαναν εδάφη ποικίλων κατηγοριών.

ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΥΡΙΑΣ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ

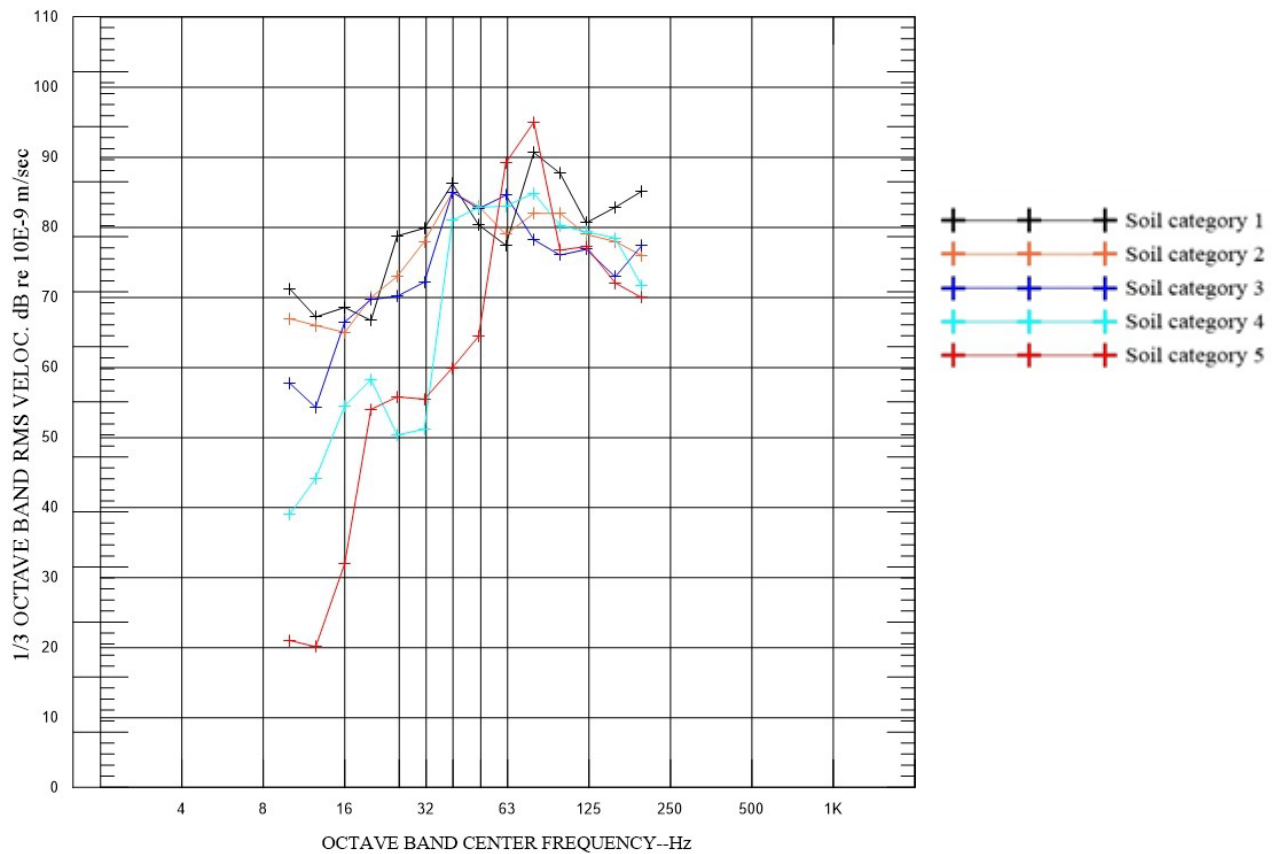
Από την πρώτη κιόλας αξιολόγηση των αποτελεσμάτων γίνεται άμεσα αντιληπτό πως τα προσομοιώματα που έχουν τρέξει με ιδιομορφική απόσβεση 10% εξάγουν αποτελέσματα τα οποία έχουν μικρότερη απόκλιση απόλυτης τιμής από τα αποτελέσματα των πραγματικών επί τόπου μετρήσεων.

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΑ ABAQUS

Με μια εξέταση των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από τα προσομοιώματα του Abaqus και την αριθμητική μεθοδολογία με τη χρήση του excel παρατηρείται πως τα αποτελέσματα του excel αν και είναι προσεγγιστικά κοντά στις πραγματικές τιμές των μετρήσεων, παρουσιάζουν μια κανονικότητα η οποία δεν παρατηρείται στην φύση. Για αυτό το λόγο προτιμήθηκαν τα αποτελέσματα του Abaqus. Έτσι σε κάθε διάγραμμα ή παράθεση αποτελεσμάτων που δεν αναφέρεται η προέλευση των τιμών, εννοείται πως αυτές οι τιμές είναι από τρέξιμο κάποιου ενδεχόμενου προσομοιώματος στο πρόγραμμα Abaqus.

Ακολουθεί η παράθεση των αποτελεσμάτων:

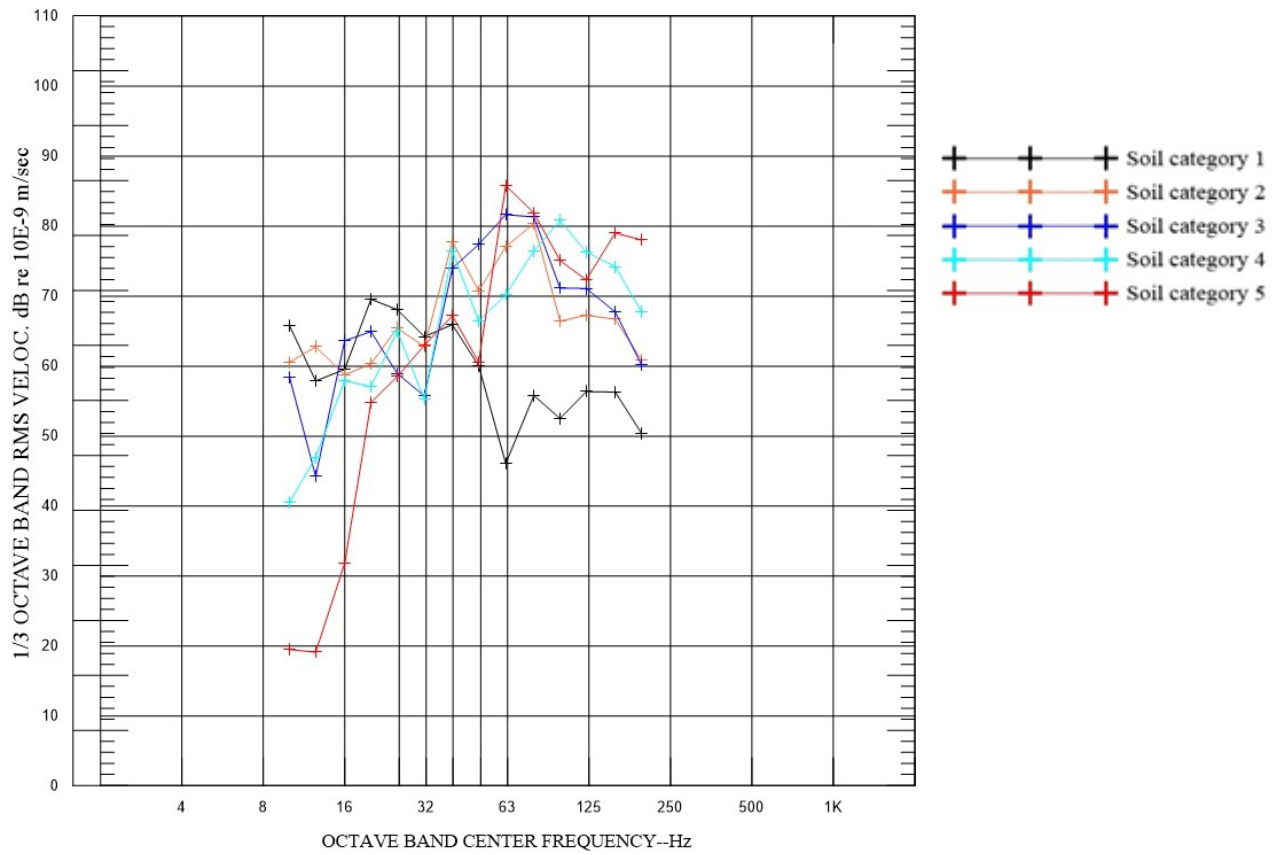
Τα ακόλουθα διαγράμματα και πίνακες προέρχονται από τα προσομοιώματα του λογισμικού Abaqus και παρατίθενται με στόχο την αξιολόγηση και διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο οι ενδεχόμενες μετρήσεις επηρεάζονται από την κατηγορία του υποκείμενου εδάφους.



Σχήμα 8.1: Μεταβολή στάθμης θορύβου στο τοίχωμα της σήραγγας (Tunnel Wall) αναλόγως με την κατηγορία εδάφους, σε βάθος μίας διατομής σήραγγας κάτω από το έδαφος και με ιδιομορφική απόσβεση 10%.

Πίνακας 8.1: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

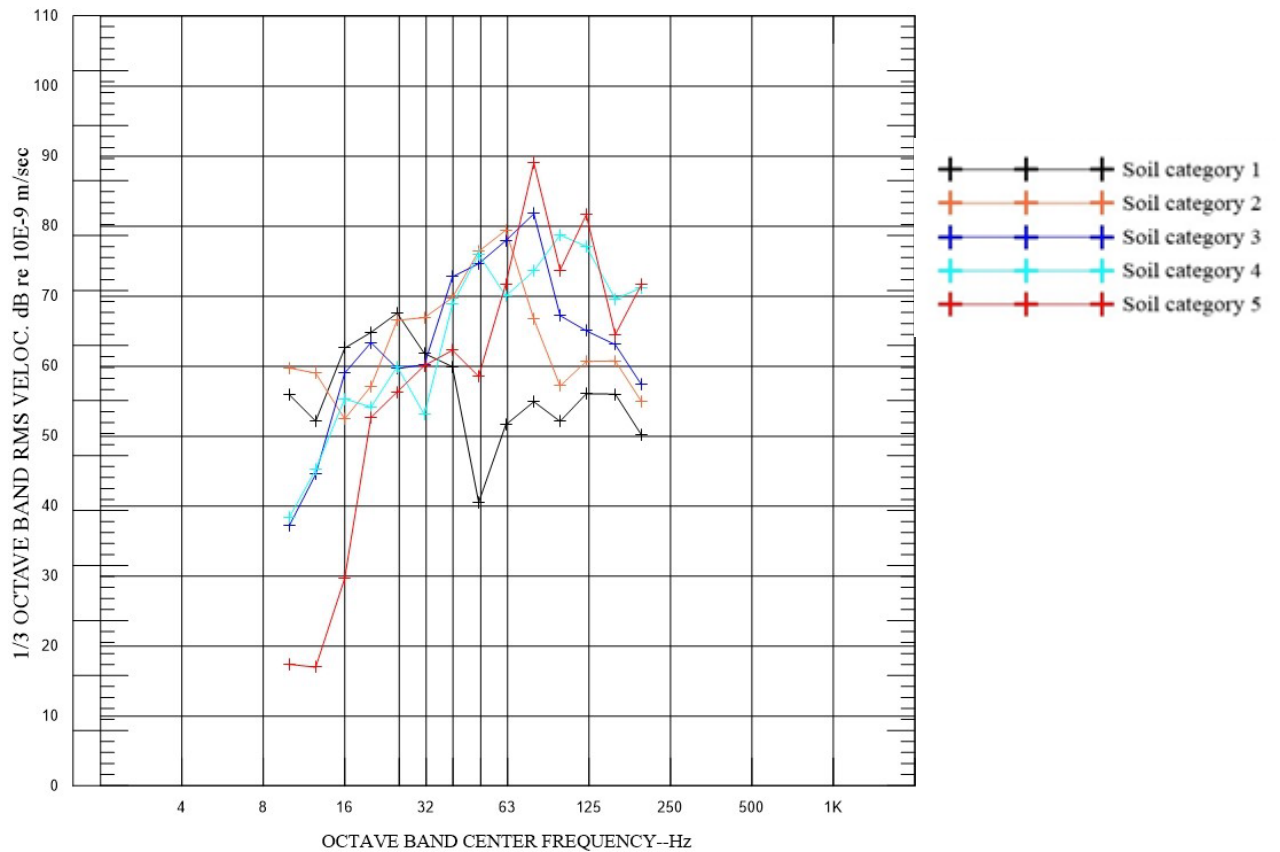
ΤΟΙΧΩΜΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ (TUNNEL WALL)		ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ				
		1	2	3	4	5
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	10	71	67	58	39	21
	12,5	67	66	54	44	20
	16	69	65	67	55	32
	20	67	70	70	58	54
	25	79	73	70	50	56
	31,5	80	78	72	51	55
	40	86	85	85	81	60
	50	80	83	83	83	64
	63	77	79	85	83	89
	80	91	82	78	85	95
	100	88	82	76	80	77
	125	81	79	77	79	77
	160	83	78	73	78	72
	200	85	76	77	72	70
	ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA		55,2	48,6	47,2	48,1



Σχήμα 8.2: Μεταβολή στάθμης θορύβου στην ελεύθερη επιφάνεια σε απόσταση 0m από τον άξονα της σήραγγας αναλόγως με την κατηγορία εδάφους, σε βάθος μίας διατομής σήραγγας κάτω από το έδαφος και με ιδιομορφική απόσβεση 10%.

Πίνακας 8.2: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

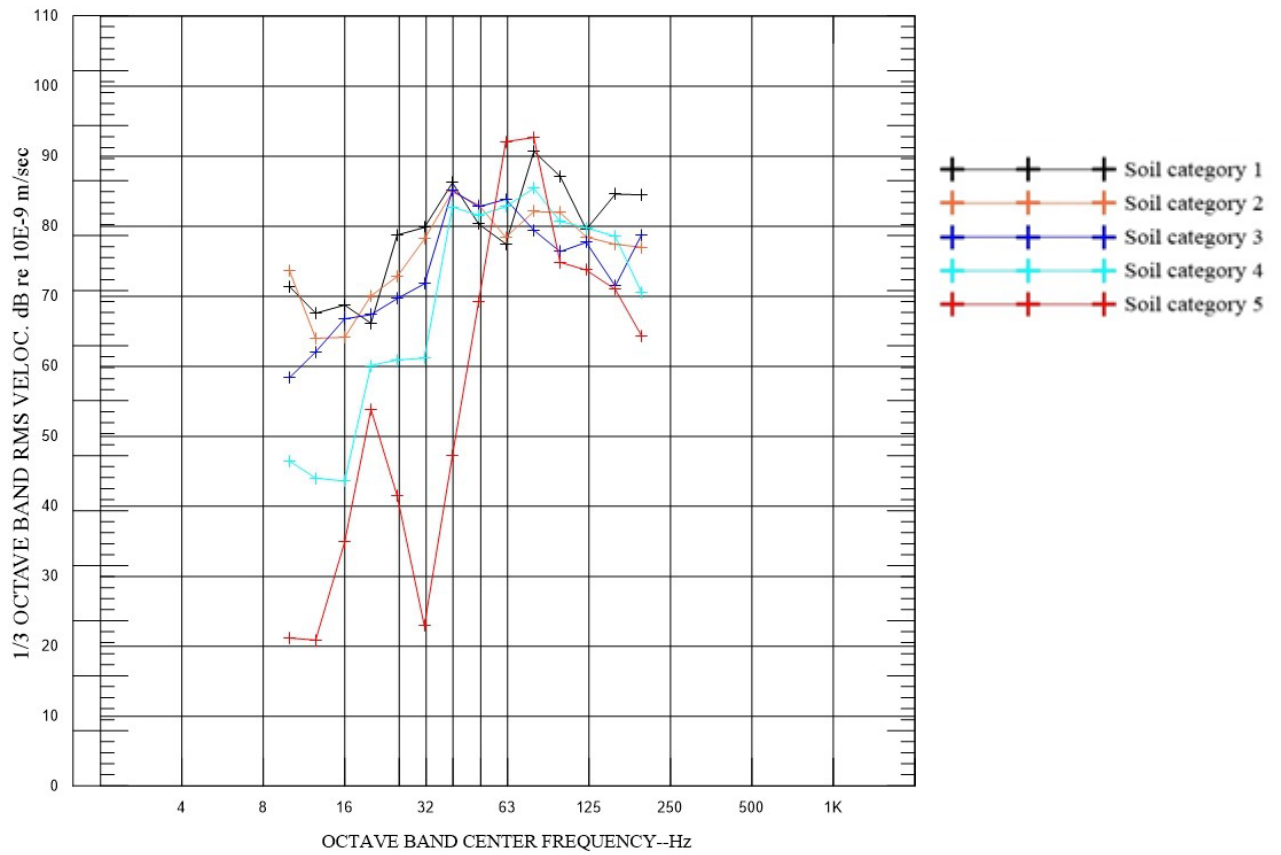
ΑΠΟΣΤΑΣΗ 0m ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ		ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ				
		1	2	3	4	5
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	10	66	61	58	41	20
	12,5	58	63	44	47	19
	16	60	59	64	58	32
	20	70	60	65	57	55
	25	68	65	59	65	59
	31,5	64	63	56	55	63
	40	66	78	74	76	67
	50	60	71	77	66	61
	63	46	77	82	70	86
	80	56	80	81	76	82
	100	53	66	71	81	75
	125	56	67	71	76	72
	160	56	67	68	74	79
	200	50	61	60	68	78
ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA		24,7	39,0	41,0	44,5	48,6



Σχήμα 8.3: Μεταβολή στάθμης θορύβου στην ελεύθερη επιφάνεια σε απόσταση 10m από τον άξονα της σήραγγας αναλόγως με την κατηγορία εδάφους, σε βάθος μίας διατομής σήραγγας κάτω από το έδαφος και με ιδιομορφική απόσβεση 10%.

Πίνακας 8.3: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

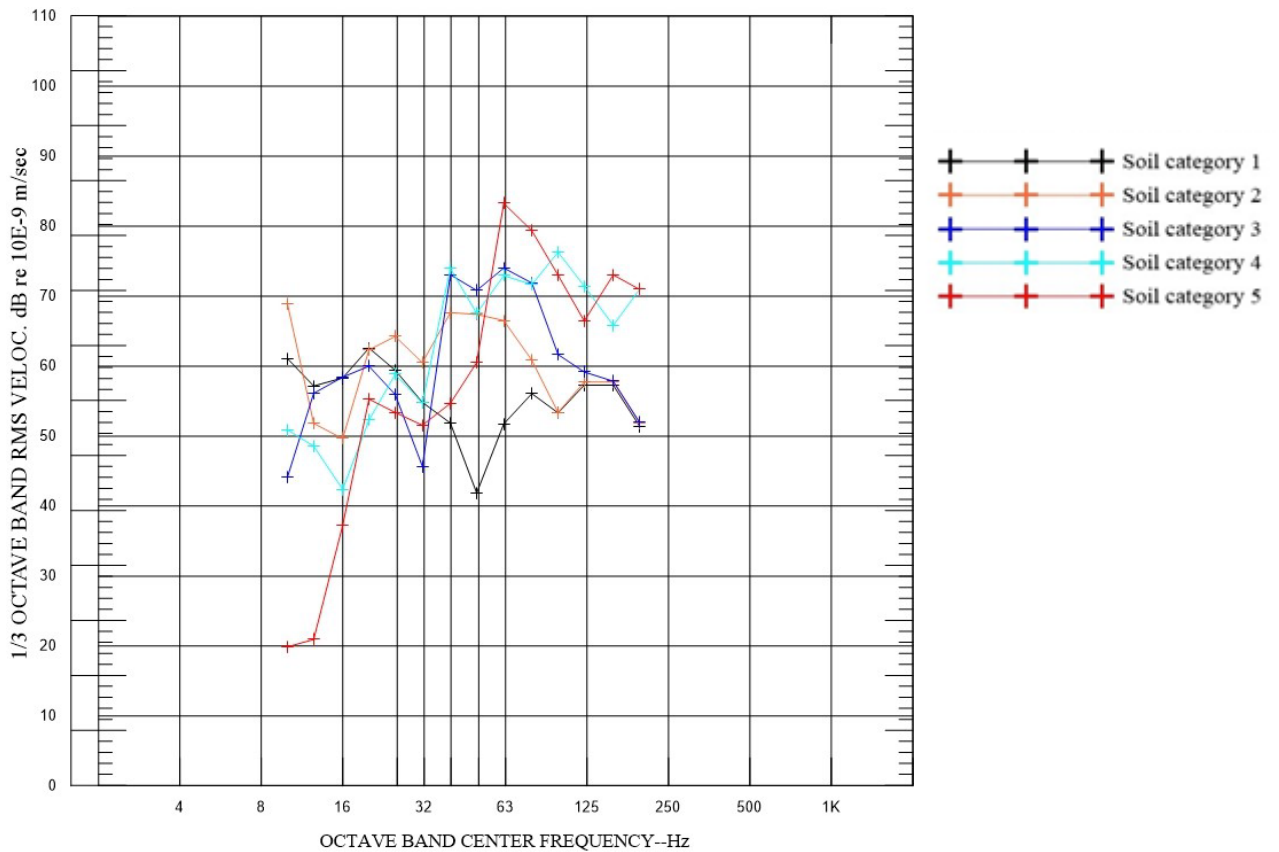
ΑΠΟΣΤΑΣΗ 10m ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ					
	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ				
	1	2	3	4	5
10	56	60	37	38	17
12,5	52	59	45	45	17
16	63	52	59	55	30
20	65	57	63	54	53
25	68	67	60	60	56
31,5	62	67	60	53	60
40	60	70	73	69	62
50	41	76	75	76	59
63	52	79	78	70	72
80	55	67	82	74	89
100	52	57	67	79	74
125	56	61	65	77	82
160	56	61	63	70	65
200	50	55	57	71	72
ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA	24,3	34,0	39,2	43,9	47,9



Σχήμα 8.4: Μεταβολή στάθμης θορύβου στο τοίχωμα της σήραγγας (Tunnel Wall) αναλόγως με την κατηγορία εδάφους, σε βάθος δύο διατομών σήραγγας κάτω από το έδαφος και με ιδιομορφική απόσβεση 10%.

Πίνακας 8.4: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

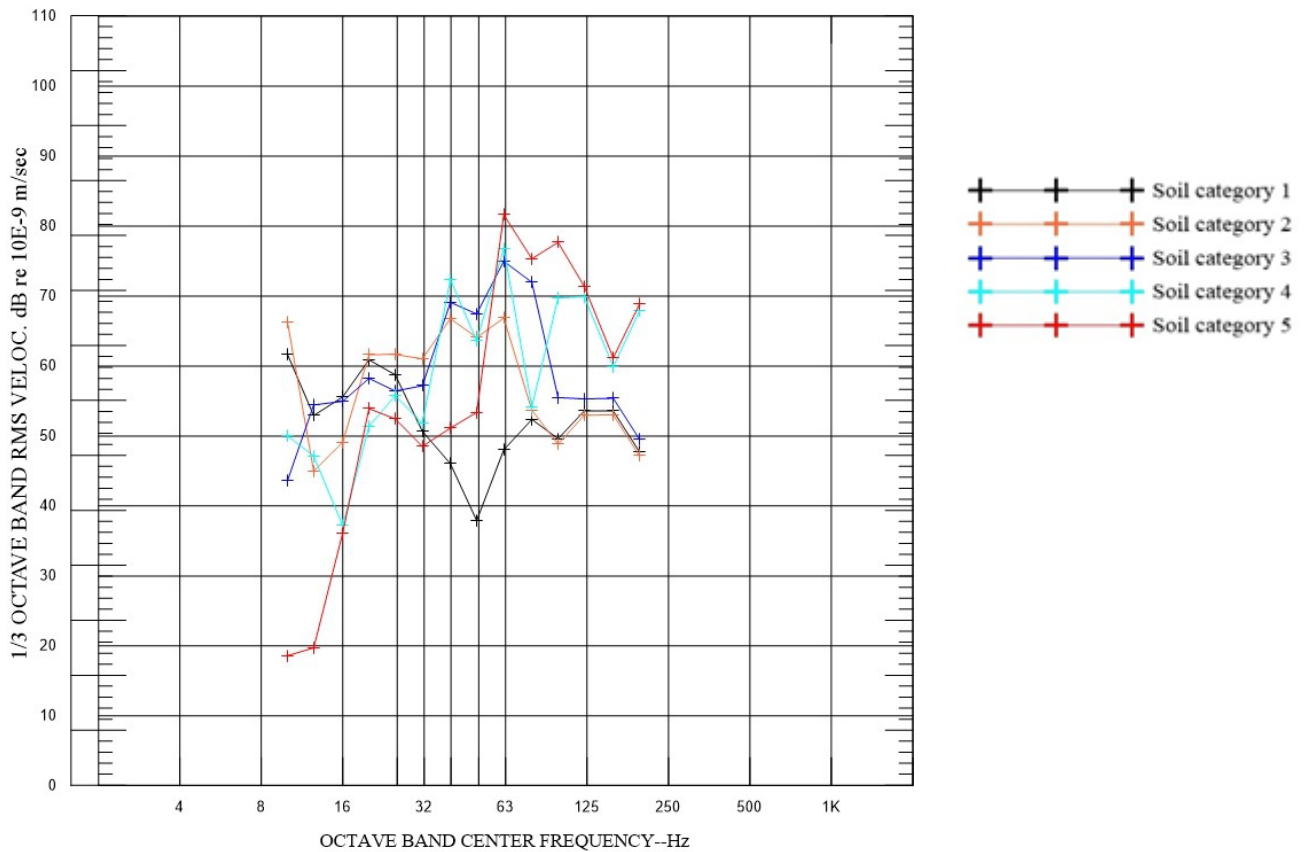
ΤΟΙΧΩΜΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ (TUNNEL WALL)		ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ				
		1	2	3	4	5
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	10	71	74	58	46	21
	12,5	68	64	62	44	21
	16	69	64	67	44	35
	20	66	70	67	60	54
	25	79	73	70	61	41
	31,5	80	78	72	61	23
	40	86	85	85	83	47
	50	80	83	83	82	69
	63	77	78	84	83	92
	80	91	82	79	85	93
	100	87	82	76	81	75
	125	80	78	78	80	74
	160	85	77	71	79	71
	200	85	77	79	71	64
ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA		55,1	48,7	48,1	48,3	50,1



Σχήμα 8.5: Μεταβολή στάθμης θορύβου στην ελεύθερη επιφάνεια σε απόσταση 0m από τον άξονα της σήραγγας αναλόγως με την κατηγορία εδάφους, σε βάθος δύο διατομών σήραγγας κάτω από το έδαφος και με ιδιομορφική απόσβεση 10%.

Πίνακας 8.5: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

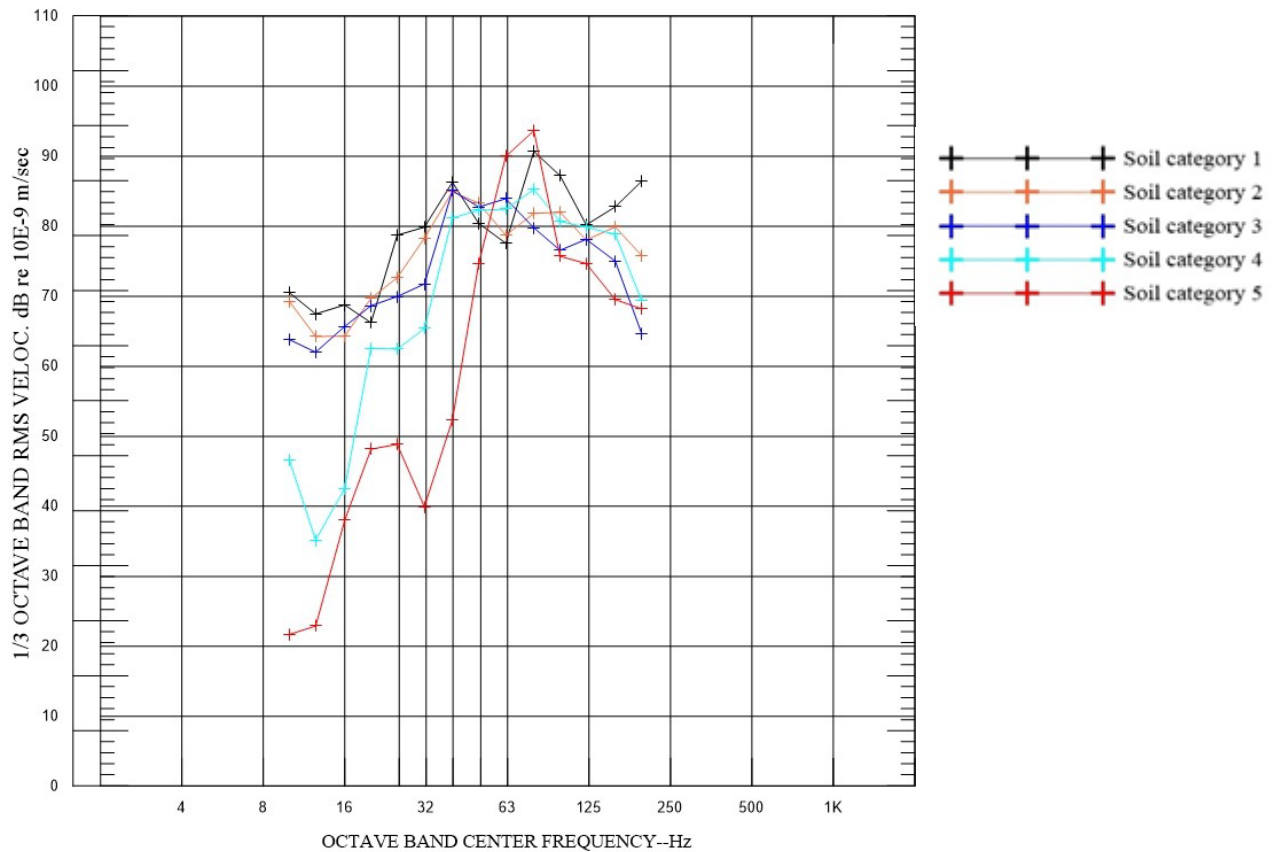
ΑΠΟΣΤΑΣΗ 0m ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ		ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ				
		1	2	3	4	5
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	10	61	69	44	51	20
	12,5	57	52	56	49	21
	16	58	50	58	42	37
	20	63	62	60	52	55
	25	59	64	56	59	53
	31,5	55	61	46	55	52
	40	52	68	73	74	55
	50	42	67	71	68	61
	63	52	67	74	73	83
	80	56	61	72	72	79
	100	53	53	62	76	73
	125	57	58	59	71	66
	160	57	58	58	66	73
	200	51	52	52	71	71
ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA		25,4	27,2	31,9	41,4	43,2



Σχήμα 8.6: Μεταβολή στάθμης θορύβου στην ελεύθερη επιφάνεια σε απόσταση 10m από τον άξονα της σήραγγας αναλόγως με την κατηγορία εδάφους, σε βάθος δύο διατομών σήραγγας κάτω από το έδαφος και με ιδιομορφική απόσβεση 10%.

Πίνακας 8.6: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Αβαγus

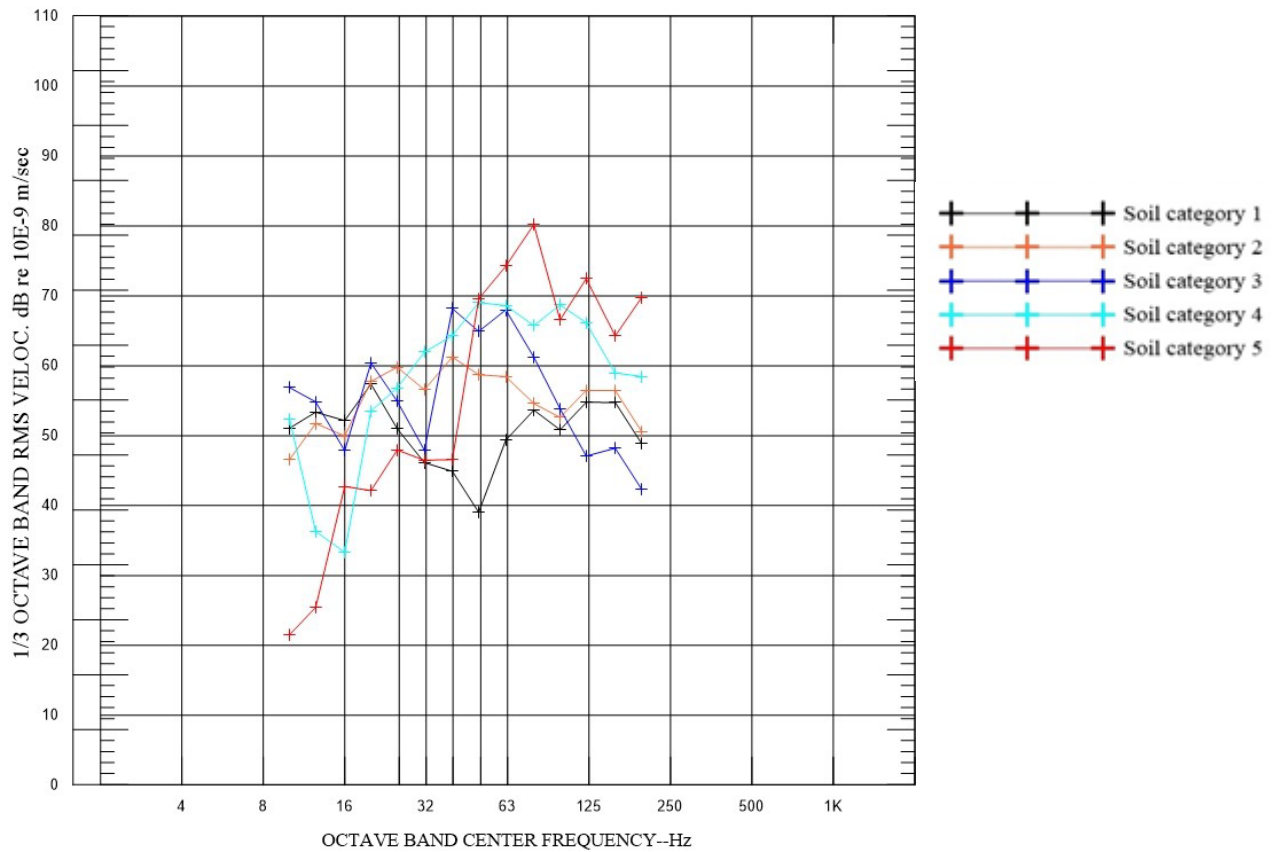
ΑΠΟΣΤΑΣΗ 10m ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ		ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ				
		1	2	3	4	5
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	10	62	66	44	50	19
	12,5	53	45	54	47	20
	16	56	49	55	37	36
	20	61	62	58	51	54
	25	59	62	56	56	52
	31,5	51	61	57	52	49
	40	46	67	69	72	51
	50	38	64	67	64	53
	63	48	67	75	77	82
	80	52	54	72	54	75
	100	50	49	56	70	78
	125	54	53	55	70	71
	160	54	53	55	60	61
	200	48	47	50	68	69
	ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA		21,9	23,7	31,2	38,1



Σχήμα 8.7: Μεταβολή στάθμης θορύβου στο τοίχωμα της σήραγγας (Tunnel Wall) αναλόγως με την κατηγορία εδάφους, σε βάθος τριών διατομών σήραγγας κάτω από το έδαφος και με ιδιομορφική απόσβεση 10%.

Πίνακας 8.7: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Αβαγους

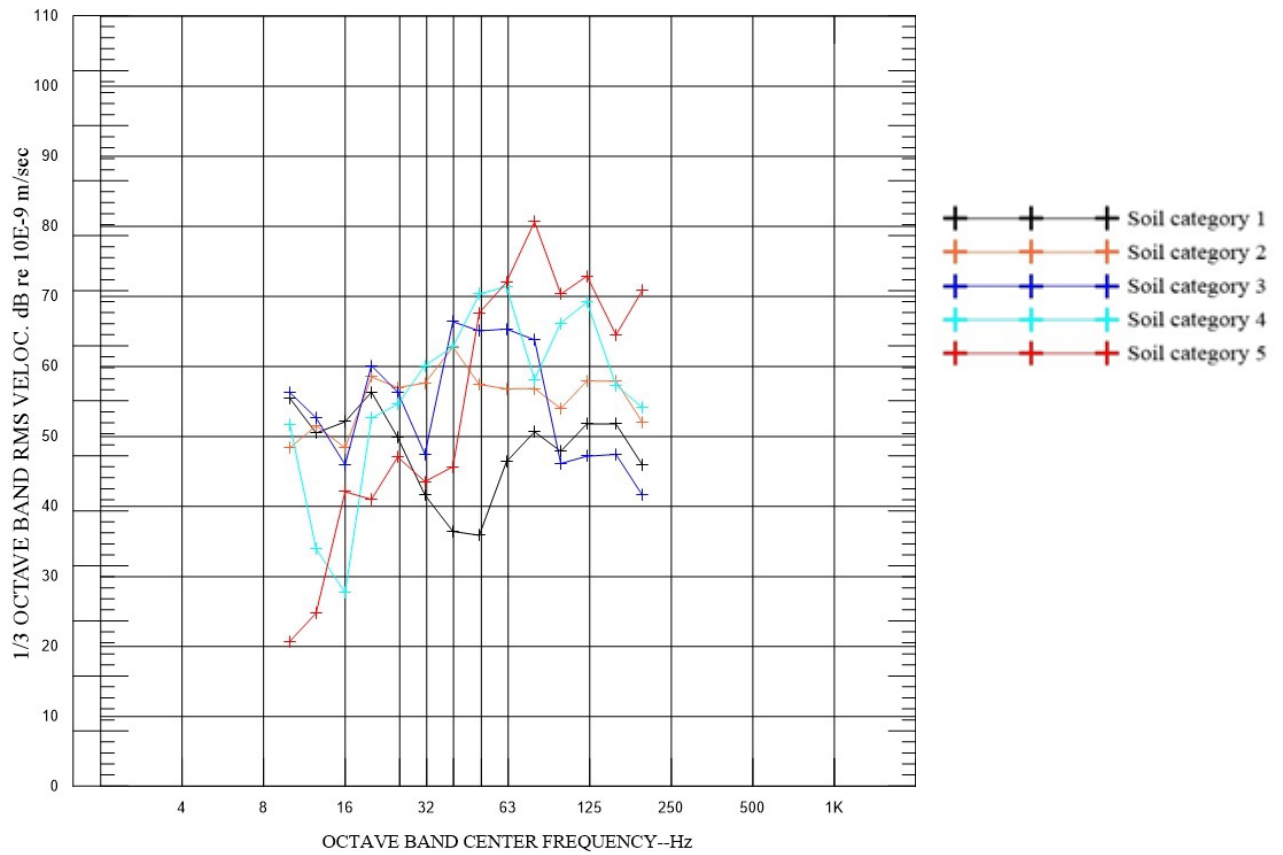
ΤΟΙΧΩΜΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ (TUNNEL WALL)		ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ				
		1	2	3	4	5
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	10	71	69	64	47	22
	12,5	67	64	62	35	23
	16	69	64	66	43	38
	20	66	70	69	63	48
	25	79	73	70	62	49
	31,5	80	78	72	65	40
	40	86	85	85	81	52
	50	80	83	83	82	75
	63	78	79	84	82	90
	80	91	82	80	85	94
	100	87	82	77	81	76
	125	80	78	78	80	75
	160	83	80	75	79	70
	200	86	76	65	69	68
	ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA		55,8	49,0	45,2	48,2



Σχήμα 8.8: Μεταβολή στάθμης θορύβου στην ελεύθερη επιφάνεια σε απόσταση 0m από τον άξονα της σήραγγας αναλόγως με την κατηγορία εδάφους, σε βάθος τριών διατομών σήραγγας κάτω από το έδαφος και με ιδιομορφική απόσβεση 10%.

Πίνακας 8.8: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

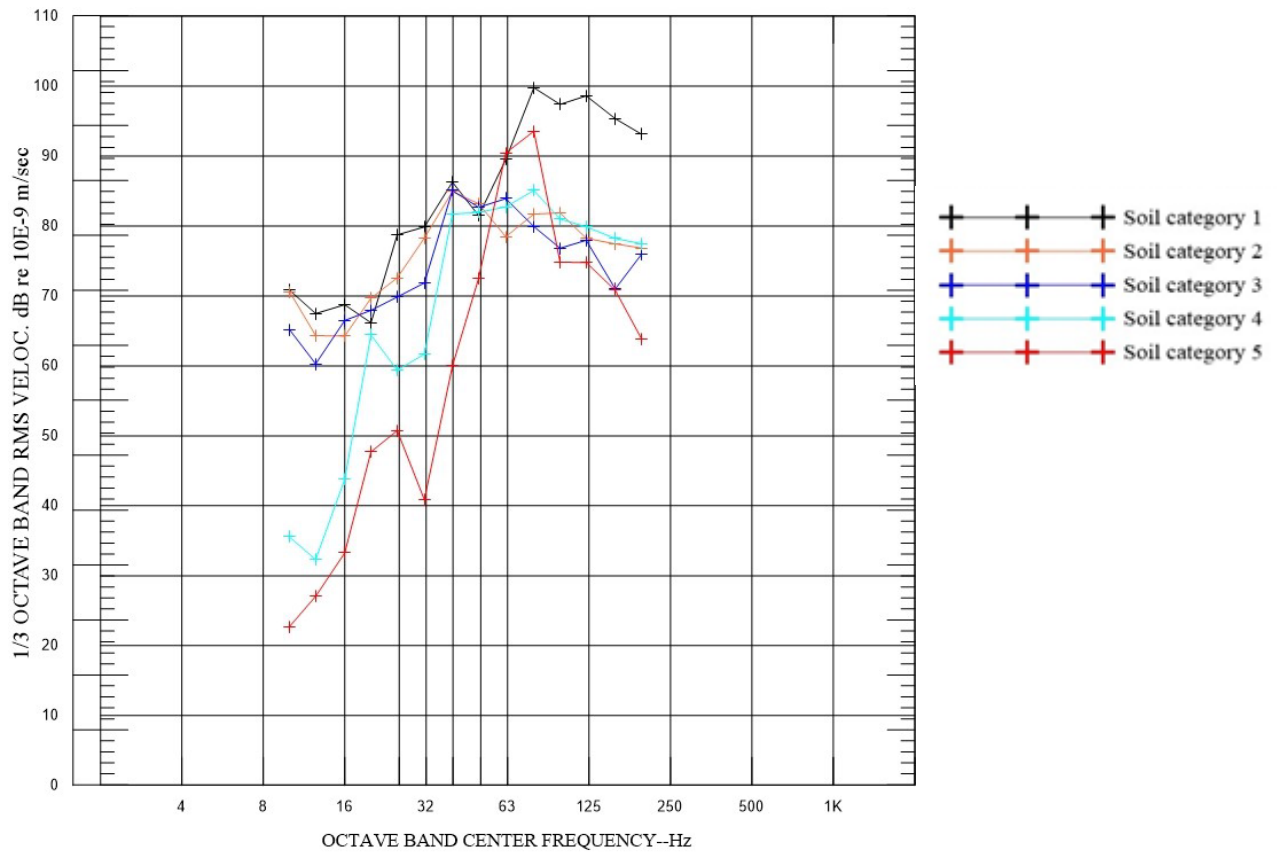
ΑΠΟΣΤΑΣΗ 0m ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ		ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ				
		1	2	3	4	5
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	10	51	47	57	52	22
	12,5	53	52	55	36	25
	16	52	50	48	33	43
	20	57	58	60	54	42
	25	51	60	55	57	48
	31,5	46	57	48	62	46
	40	45	61	68	64	47
	50	39	59	65	69	70
	63	49	58	68	69	74
	80	54	55	61	66	80
	100	51	53	54	69	67
	125	55	56	47	66	72
	160	55	56	48	59	64
	200	49	51	42	58	70
ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA		23,0	24,8	23,7	33,2	41,1



Σχήμα 8.9: Μεταβολή στάθμης θορύβου στην ελεύθερη επιφάνεια σε απόσταση 10m από τον άξονα της σήραγγας αναλόγως με την κατηγορία εδάφους, σε βάθος τριών διατομών σήραγγας κάτω από το έδαφος και με ιδιομορφική απόσβεση 10%.

Πίνακας 8.9: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Αβαγus

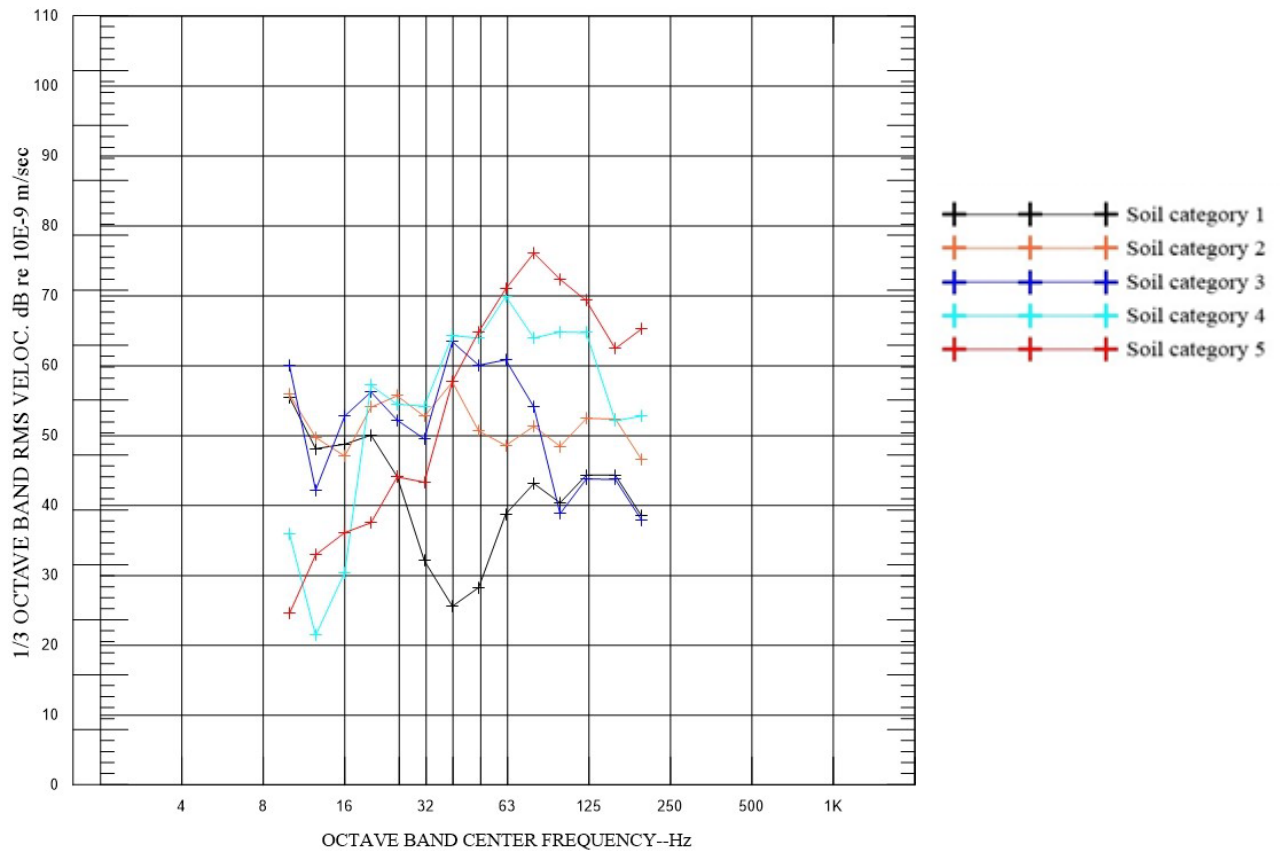
ΑΠΟΣΤΑΣΗ 10m ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ		ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ				
		1	2	3	4	5
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	10	55	48	56	52	21
	12,5	51	52	53	34	25
	16	52	48	46	28	42
	20	56	59	60	53	41
	25	50	57	56	55	47
	31,5	42	58	47	60	44
	40	36	63	66	63	46
	50	36	57	65	70	68
	63	46	57	65	71	72
	80	51	57	64	58	81
	100	48	54	46	66	70
	125	52	58	47	69	73
	160	52	58	47	57	65
	200	46	52	42	54	71
	ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA		20,2	26,2	23,2	33,4



Σχήμα 8.10: Μεταβολή στάθμης θορύβου στο τοίχωμα της σήραγγας (Tunnel Wall) αναλόγως με την κατηγορία εδάφους, σε βάθος τεσσάρων διατομών σήραγγας κάτω από το έδαφος και με ιδιομορφική απόσβεση 10%.

Πίνακας 8.10: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

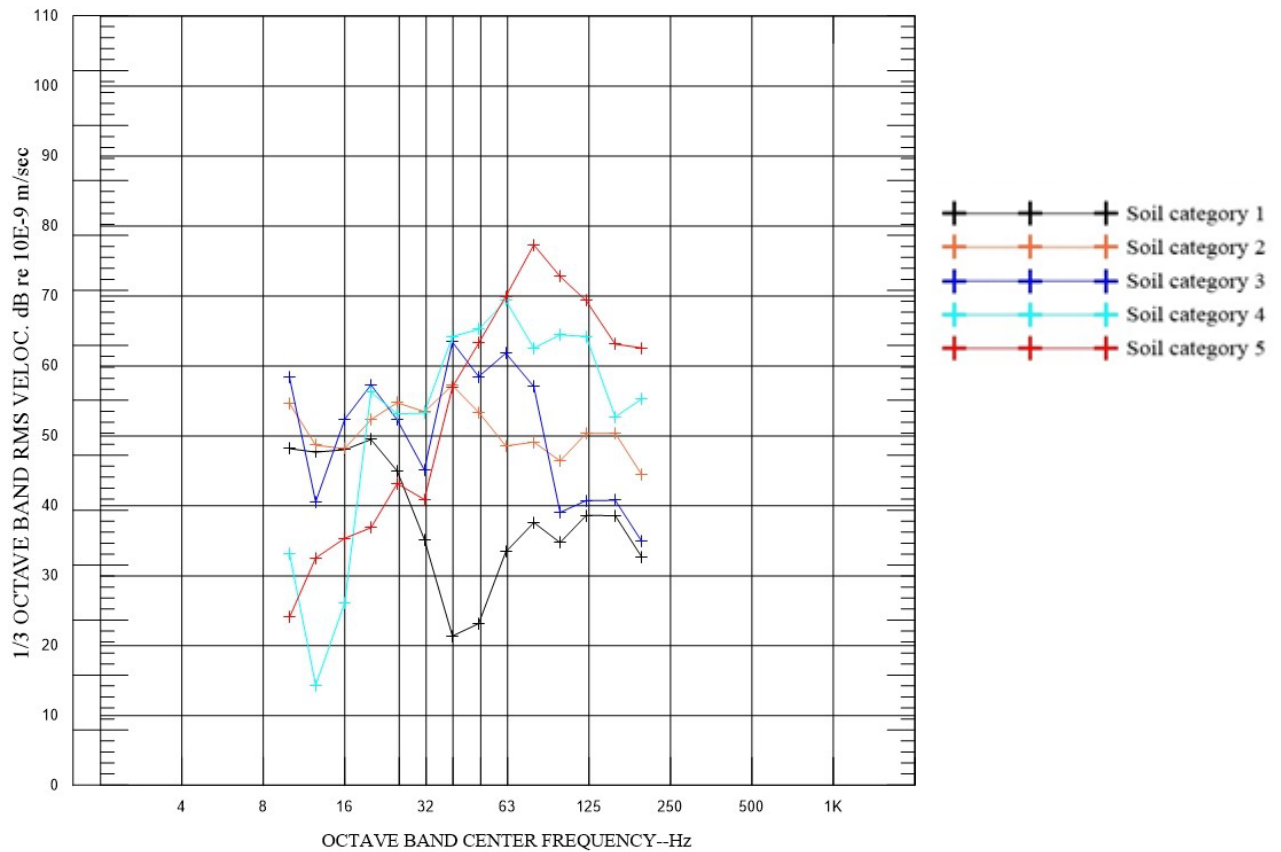
ΤΟΙΧΩΜΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ (TUNNEL WALL)		ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ				
		1	2	3	4	5
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	10	71	71	65	36	23
	12,5	67	64	60	32	27
	16	69	64	66	44	33
	20	66	70	68	64	48
	25	79	73	70	59	51
	31,5	80	78	72	62	41
	40	86	85	85	82	60
	50	81	83	83	82	73
	63	90	78	84	83	90
	80	100	82	80	85	94
	100	97	82	77	81	75
	125	99	78	78	80	75
	160	95	77	71	78	71
	200	93	77	76	77	64
	ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA		66,0	48,5	46,7	49,5



Σχήμα 8.11: Μεταβολή στάθμης θορύβου στην ελεύθερη επιφάνεια σε απόσταση 0m από τον άξονα της σήραγγας αναλόγως με την κατηγορία εδάφους, σε βάθος τεσσάρων διατομών σήραγγας κάτω από το έδαφος και με ιδιομορφική απόσβεση 10%.

Πίνακας 8.11: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

ΑΠΟΣΤΑΣΗ 0m ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ		ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ				
		1	2	3	4	5
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	10	55	56	60	36	25
	12,5	48	50	42	21	33
	16	49	47	53	30	36
	20	50	54	56	57	38
	25	44	56	52	55	44
	31,5	32	53	50	54	43
	40	26	58	63	64	58
	50	28	51	60	64	65
	63	39	49	61	70	71
	80	43	51	54	64	76
	100	40	48	39	65	72
	125	44	52	44	65	69
	160	44	52	44	52	62
	200	39	47	38	53	65
ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA		14,3	20,8	17,7	30,4	38,2

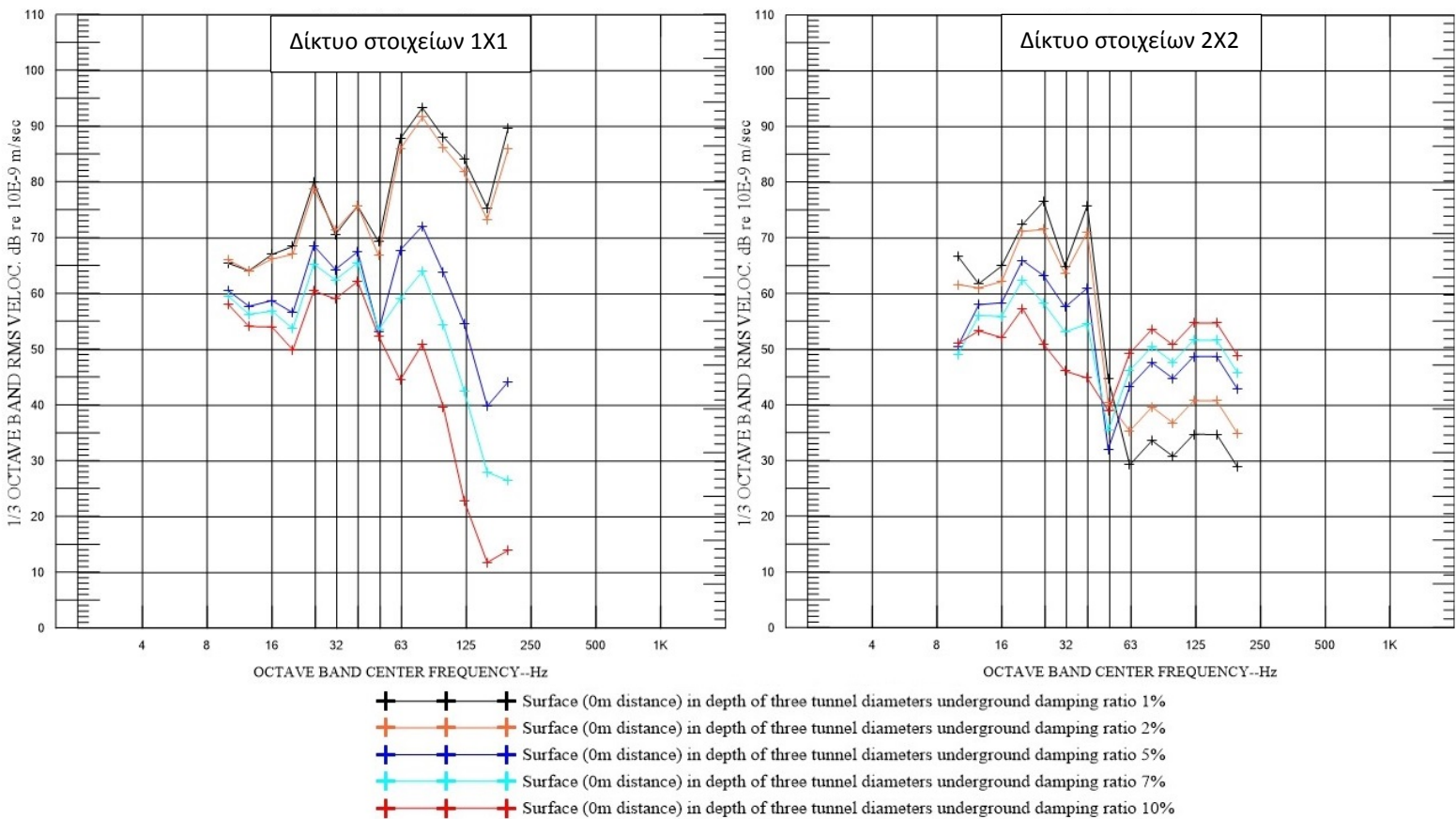


Σχήμα 8.12: Μεταβολή στάθμης θορύβου στην ελεύθερη επιφάνεια σε απόσταση 10m από τον άξονα της σήραγγας αναλόγως με την κατηγορία εδάφους, σε βάθος τεσσάρων διατομών σήραγγας κάτω από το έδαφος και με ιδιομορφική απόσβεση 10%.

Πίνακας 8.12: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

ΑΠΟΣΤΑΣΗ 10m ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ		ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ				
		1	2	3	4	5
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	10	48	55	58	33	24
	12,5	48	49	41	14	33
	16	48	48	52	26	35
	20	49	52	57	56	37
	25	45	55	52	53	43
	31,5	35	53	45	53	41
	40	21	57	63	64	57
	50	23	53	58	65	63
	63	33	49	62	69	70
	80	38	49	57	63	77
	100	35	46	39	64	73
	125	39	50	41	64	69
	160	39	50	41	53	63
	200	33	45	35	55	63
ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA		11,8	19,0	18,1	30,3	38,1

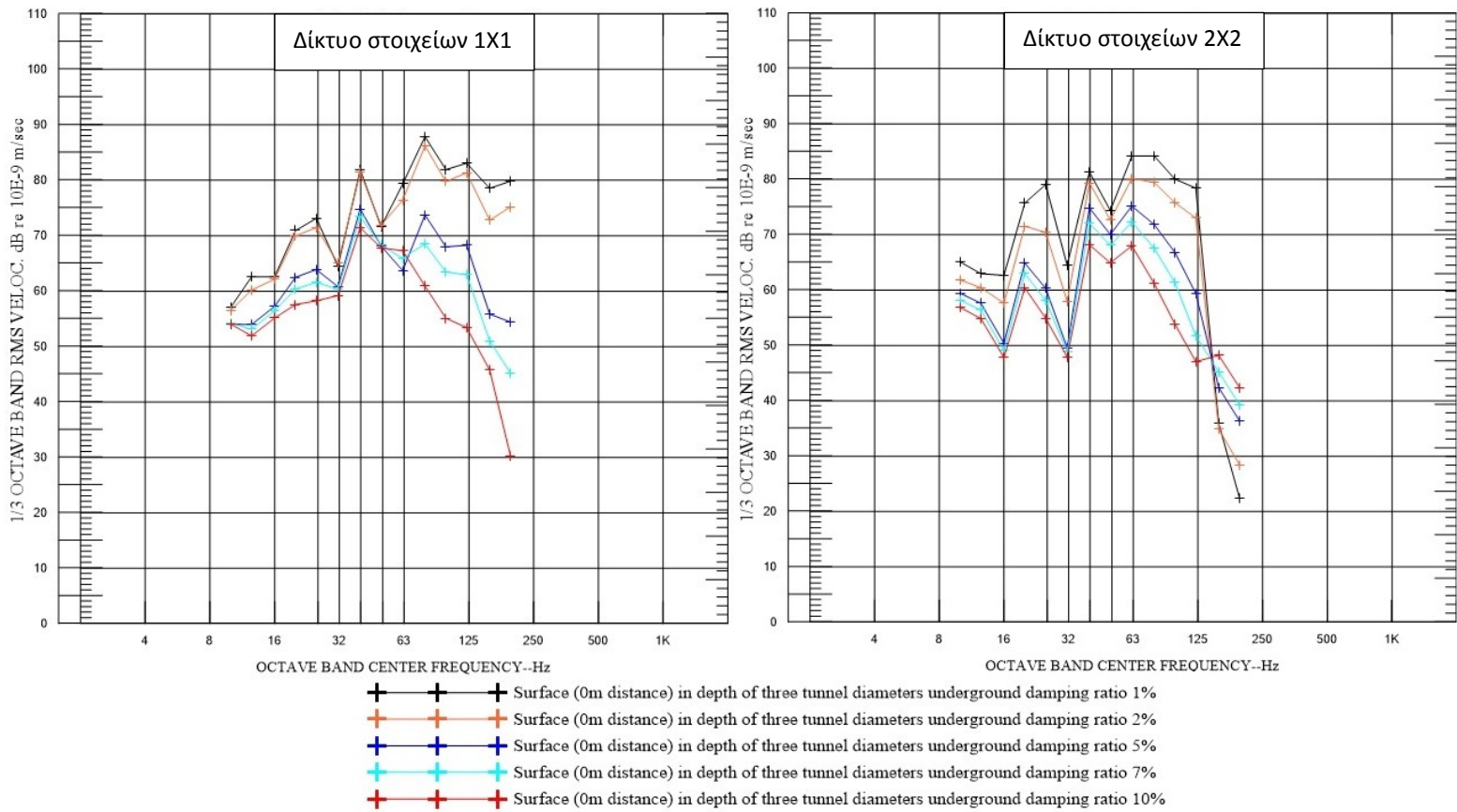
Τα ακόλουθα διαγράμματα και πίνακες προέρχονται από τα προσομοιώματα του λογισμικού Abaqus και παρατίθενται με στόχο την αξιολόγηση και διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο οι μετρήσεις επηρεάζονται από την ιδιομορφική απόσβεση. Επιπροσθέτως διερευνάται και η επίδραση της πυκνότητας του δικτύου στην αρτιότητα των αποτελεσμάτων.



Σχήμα 8.13: Μεταβολή στάθμης θορύβου στην ελεύθερη επιφάνεια σε απόσταση 0m από τον άξονα της σήραγγας αναλόγως με την ιδιομορφική απόσβεση, σε βάθος τριών διατομών σήραγγας κάτω από το έδαφος και σε κατηγορία εδάφους 1.

Πίνακας 8.13: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

ΑΠΟΣΤΑΣΗ 0m ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ											
Δίκτυο 1X1	ΠΟΣΟΣΤΟ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ					Δίκτυο 2X2	ΠΟΣΟΣΤΟ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ				
	1%	2%	5%	7%	10%		1%	2%	5%	7%	10%
10	66	66	61	60	58	10	67	62	51	49	51
12.5	64	64	58	56	54	12.5	62	61	58	56	53
16	67	66	59	57	54	16	65	62	58	56	52
20	69	67	57	54	50	20	72	71	66	63	57
25	80	79	69	65	61	25	77	72	63	58	51
31.5	71	71	64	63	59	31.5	65	64	58	53	46
40	76	76	68	66	62	40	76	71	61	55	45
50	69	67	53	53	52	50	45	41	32	35	39
63	88	86	68	59	45	63	29	35	43	46	49
80	93	92	72	64	51	80	34	40	48	51	54
100	88	86	64	54	40	100	31	37	45	48	51
125	84	82	55	43	23	125	35	41	49	52	55
160	75	73	40	28	12	160	35	41	49	52	55
200	90	86	44	27	0	200	29	35	43	46	49
ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA	58.2	55.1	29.8	21.6	13.1	ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA	20.3	16.8	17.7	20.1	23.0

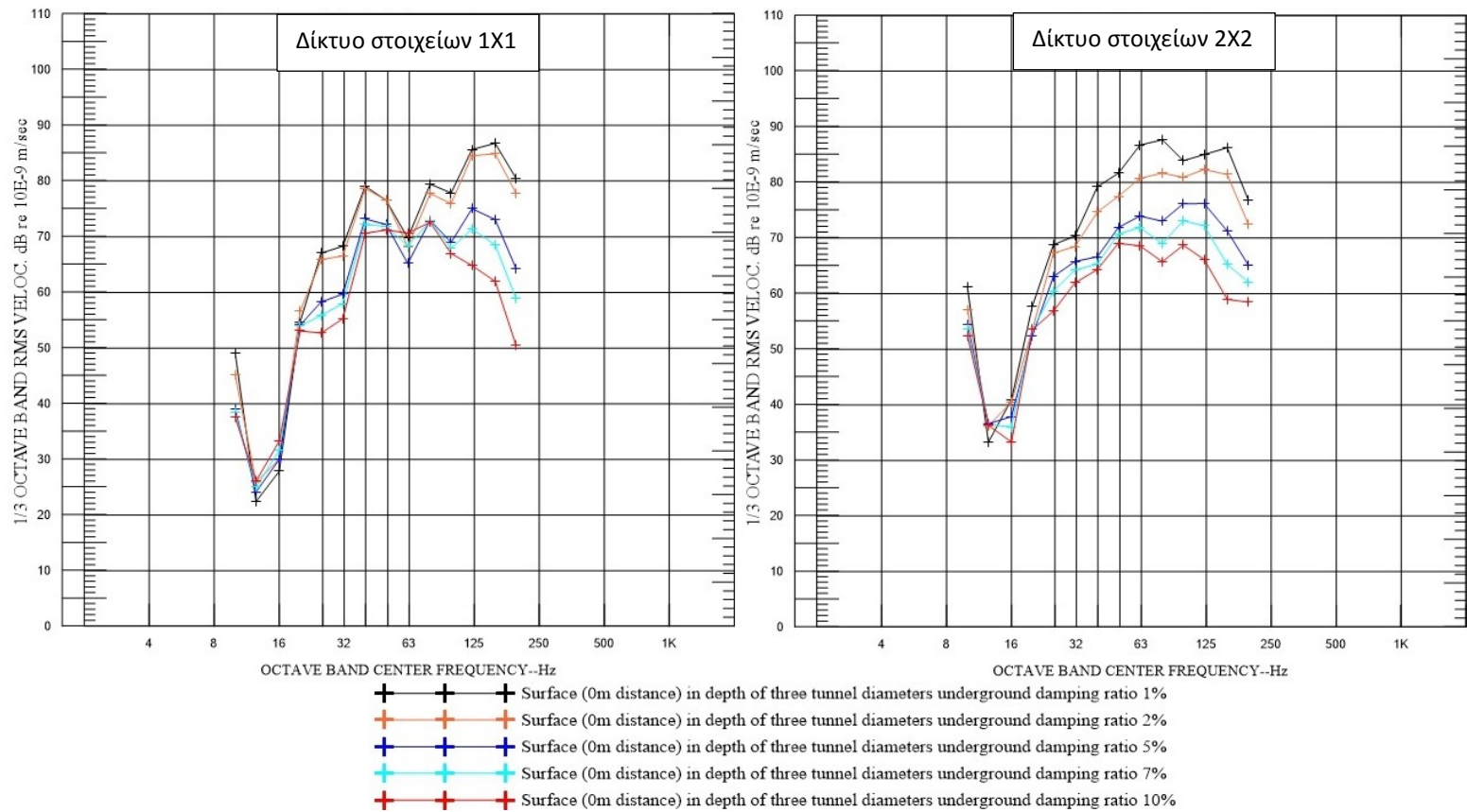


Σχήμα 8.15: Μεταβολή στάθμης θορύβου στην ελεύθερη επιφάνεια σε απόσταση 0m από τον άξονα της σήραγγας αναλόγως με την ιδιομορφική απόσβεση, σε βάθος τριών διατομών σήραγγας κάτω από το έδαφος και σε κατηγορία εδάφους 3.

Πίνακας 8.15: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

ΑΠΟΣΤΑΣΗ 0m ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Δίκτυο 1X1	ΠΟΣΟΣΤΟ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ					Δίκτυο 2X2	ΠΟΣΟΣΤΟ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ				
	1%	2%	5%	7%	10%		1%	2%	5%	7%	10%
10	57	57	54	54	54	10	65	62	59	58	57
12.5	63	60	54	53	52	12.5	63	60	58	56	55
16	63	62	57	56	55	16	63	58	50	49	48
20	71	70	63	60	58	20	76	72	65	63	60
25	73	71	64	62	58	25	79	70	60	58	55
31.5	65	65	61	60	59	31.5	64	58	50	49	48
40	82	81	75	73	71	40	81	79	75	72	68
50	72	72	68	68	68	50	74	73	70	68	65
63	79	76	64	66	67	63	84	80	75	72	68
80	88	86	74	69	61	80	84	79	72	68	61
100	82	80	68	63	55	100	80	76	67	61	54
125	83	81	68	63	53	125	78	73	59	52	47
160	79	73	56	51	46	160	36	35	42	45	48
200	80	75	54	45	30	200	22	28	36	39	42
ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA	51.4	48.3	34.4	29.7	24.3	ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA	45.1	40.4	32.3	28.3	23.7

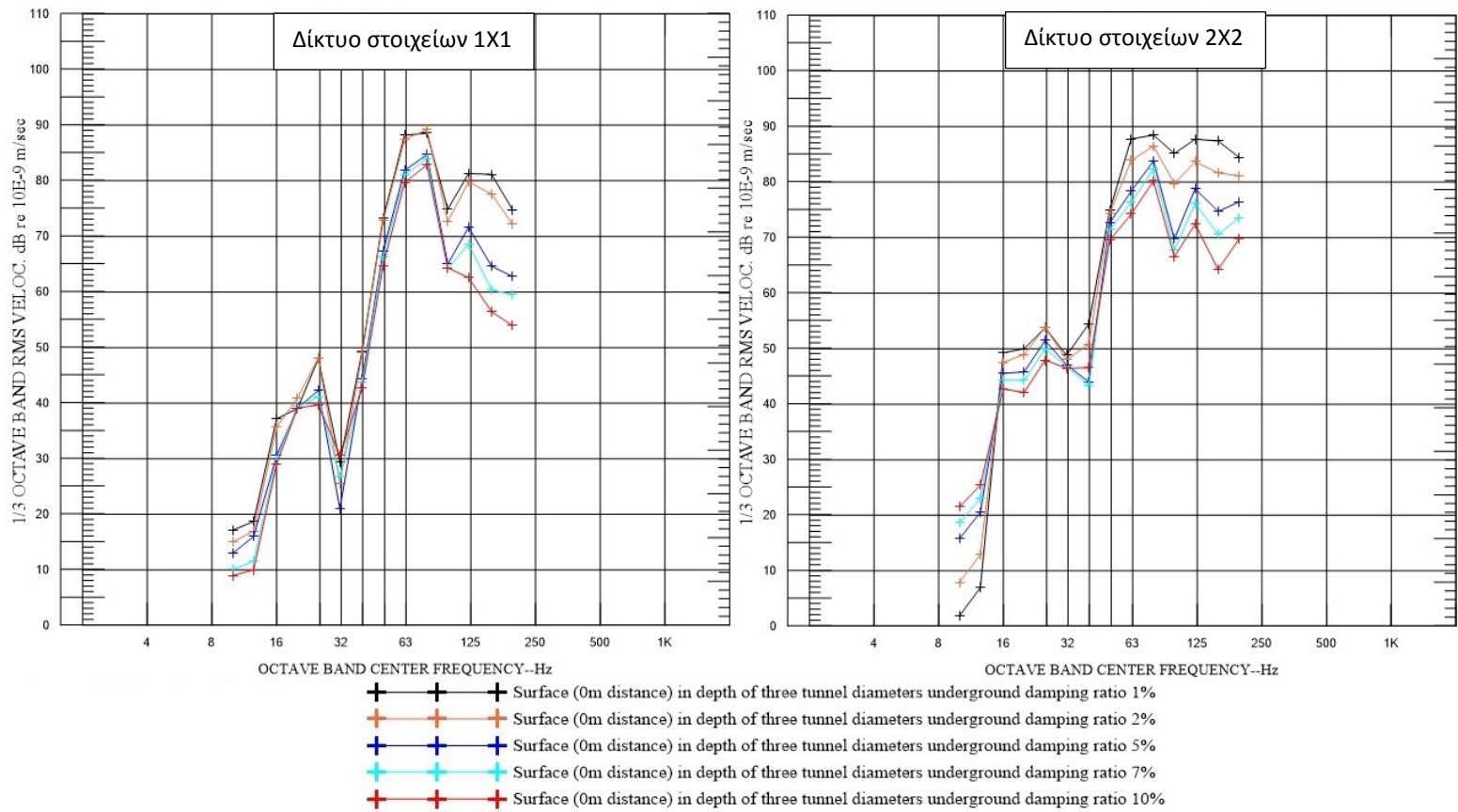


Σχήμα 8.16: Μεταβολή στάθμης θορύβου στην ελεύθερη επιφάνεια σε απόσταση 0m από τον άξονα της σήραγγας αναλόγως με την ιδιομορφική απόσβεση, σε βάθος τριών διατομών σήραγγας κάτω από το έδαφος και σε κατηγορία εδάφους 4.

Πίνακας 8.16: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

ΑΠΟΣΤΑΣΗ 0m ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Δίκτυο 1X1	ΠΟΣΟΣΤΟ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ					Δίκτυο 2X2	ΠΟΣΟΣΤΟ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ				
	1%	2%	5%	7%	10%		1%	2%	5%	7%	10%
10	49	45	39	38	38	10	61	57	54	54	52
12.5	22	26	24	25	26	12.5	33	36	37	36	36
16	28	30	30	32	33	16	41	41	38	36	33
20	55	57	54	54	53	20	58	54	52	54	54
25	67	66	58	56	53	25	69	67	63	60	57
31.5	68	67	60	58	55	31.5	70	68	66	64	62
40	79	79	73	72	71	40	79	75	67	65	64
50	77	77	72	72	71	50	82	78	72	71	69
63	70	68	65	68	71	63	87	81	74	72	69
80	79	78	73	73	73	80	88	82	73	69	66
100	78	76	69	68	67	100	84	81	76	73	69
125	86	85	75	71	65	125	85	82	76	72	66
160	87	85	73	69	62	160	86	81	71	65	59
200	80	78	64	59	50	200	77	73	65	62	58
ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA	54.2	52.3	41.4	37.8	33.6	ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA	53.9	49.7	42.2	38.2	33.2

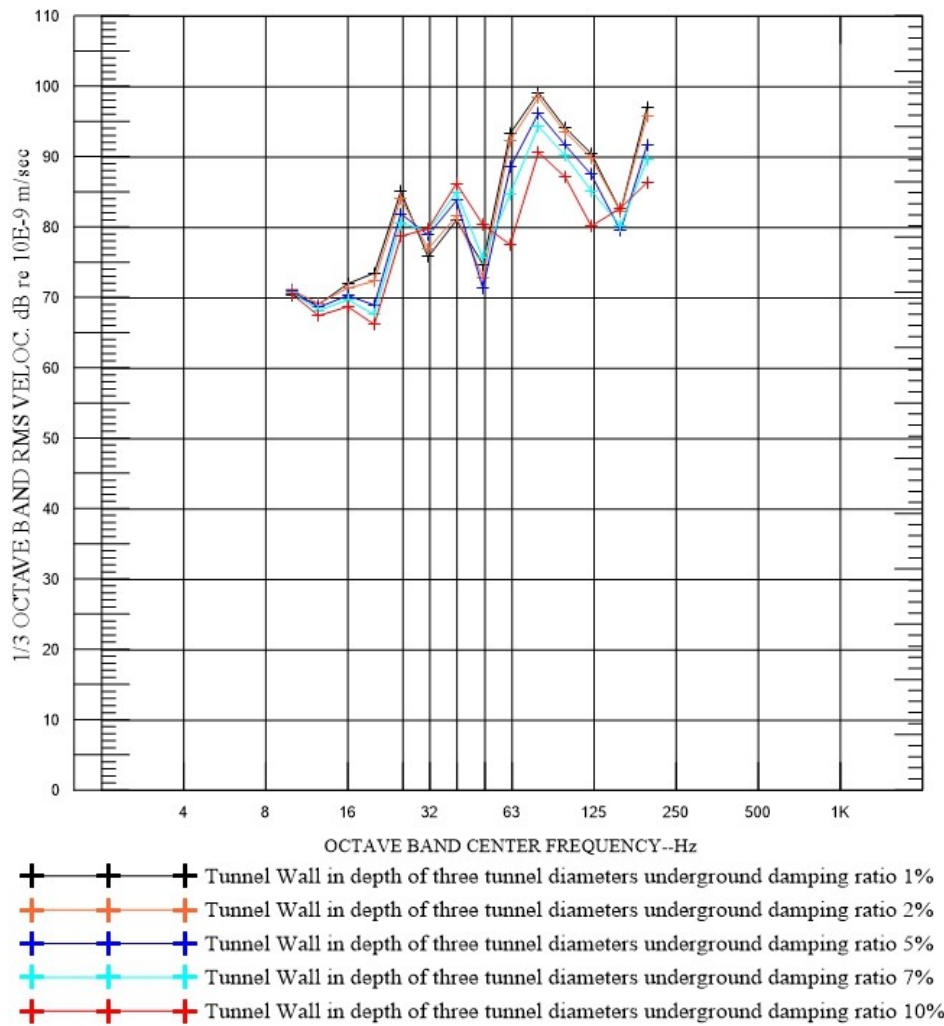


Σχήμα 8.17: Μεταβολή στάθμης θορύβου στην ελεύθερη επιφάνεια σε απόσταση 0m από τον άξονα της σήραγγας αναλόγως με την ιδιομορφική απόσβεση, σε βάθος τριών διατομών σήραγγας κάτω από το έδαφος και σε κατηγορία εδάφους 5.

Πίνακας 8.17: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

ΑΠΟΣΤΑΣΗ 0m ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

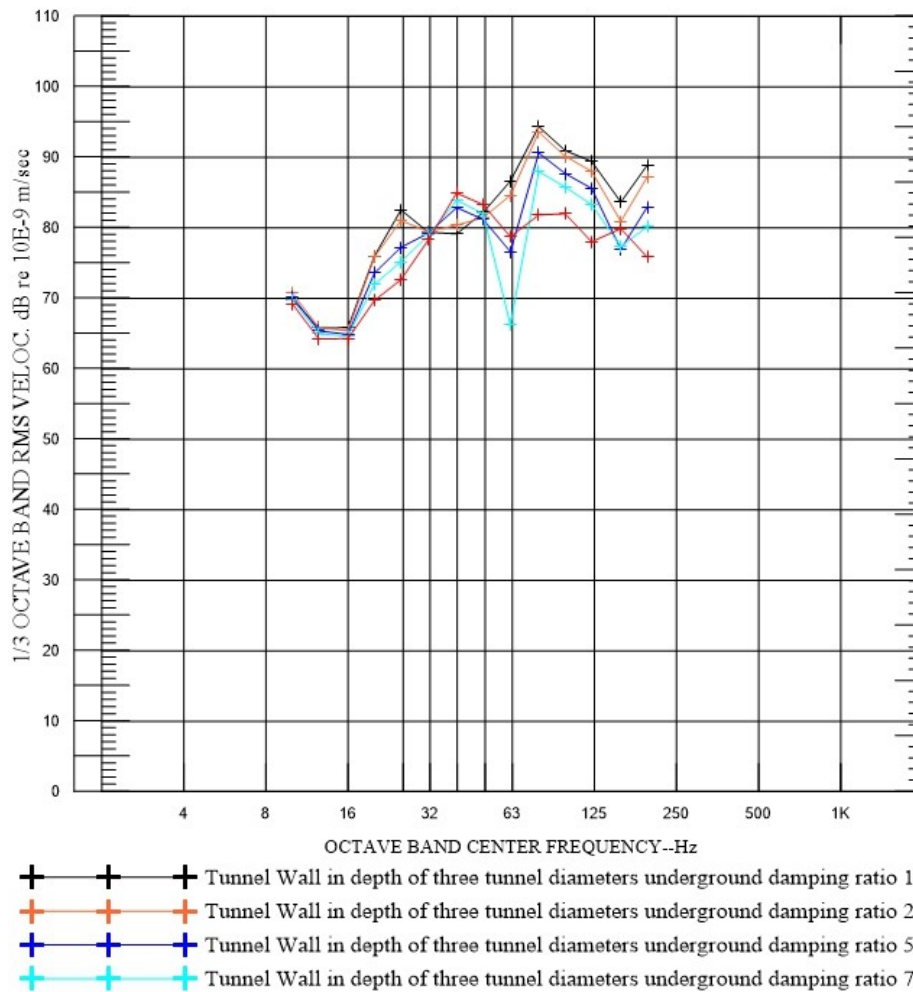
Δίκτυο 1X1	ΠΟΣΟΣΤΟ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ					Δίκτυο 2X2	ΠΟΣΟΣΤΟ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ				
	1%	2%	5%	7%	10%		1%	2%	5%	7%	10%
10	17	15	13	10	9	10	2	8	16	19	22
12.5	19	17	16	12	10	12.5	7	13	21	23	25
16	37	36	31	30	29	16	49	48	46	44	43
20	39	41	39	39	39	20	50	49	46	44	42
25	48	48	42	41	40	25	54	54	51	50	48
31.5	29	26	21	27	31	31.5	49	48	47	47	46
40	49	49	44	44	43	40	55	51	44	43	47
50	73	73	67	66	65	50	75	74	73	71	70
63	88	87	82	81	80	63	88	84	78	76	74
80	89	89	85	84	83	80	88	86	84	82	80
100	75	73	65	64	64	100	85	80	70	68	67
125	81	80	72	69	63	125	88	84	79	76	72
160	81	78	65	60	56	160	87	82	75	71	64
200	75	72	63	60	54	200	84	81	76	74	70
ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA	50.5	49.0	42.4	41.1	39.6	ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA	56.6	52.4	47.3	44.6	41.1



Σχήμα 8.18: Μεταβολή στάθμης θορύβου στο τοίχωμα της σήραγγας αναλόγως με την ιδιομορφική απόσβεση, σε βάθος τριών διατομών σήραγγας κάτω από το έδαφος και σε κατηγορία εδάφους 1.

Πίνακας 8.18: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

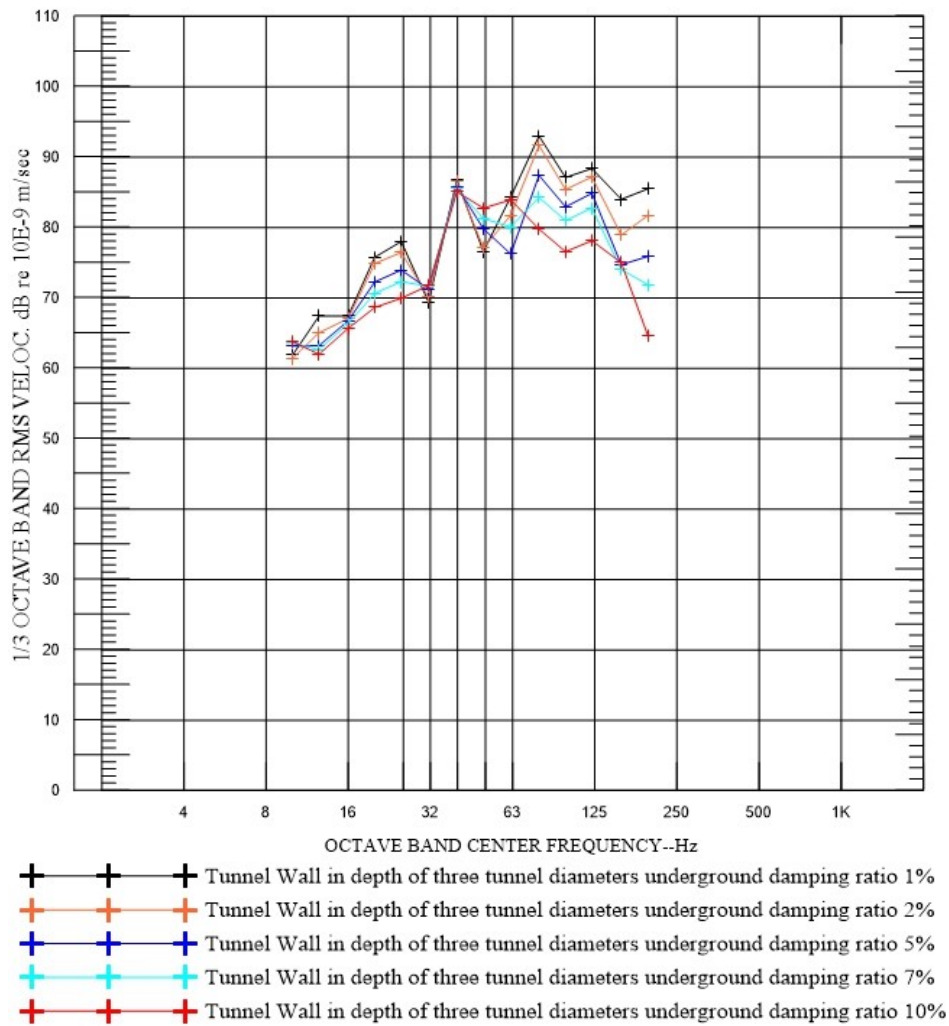
		TUNNEL WALL				
		ΠΟΣΟΣΤΟ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ				
		1%	2%	5%	7%	10%
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	10	70	71	71	71	71
	12.5	69	69	69	68	67
	16	72	71	70	70	69
	20	74	72	69	68	66
	25	85	84	82	81	79
	31.5	76	77	79	80	80
	40	81	82	84	85	86
	50	75	73	71	76	80
	63	93	92	89	85	78
	80	99	99	96	94	91
	100	94	94	92	90	87
	125	91	90	88	85	80
	160	82	82	80	80	83
	200	97	96	92	90	86
ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA		65.3	64.2	60.6	58.7	55.8



Σχήμα 8.19: Μεταβολή στάθμης θορύβου στο τοίχωμα της σήραγγας αναλόγως με την ιδιομορφική απόσβεση, σε βάθος τριών διατομών σήραγγας κάτω από το έδαφος και σε κατηγορία εδάφους 2.

Πίνακας 8.19: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Αβαχus

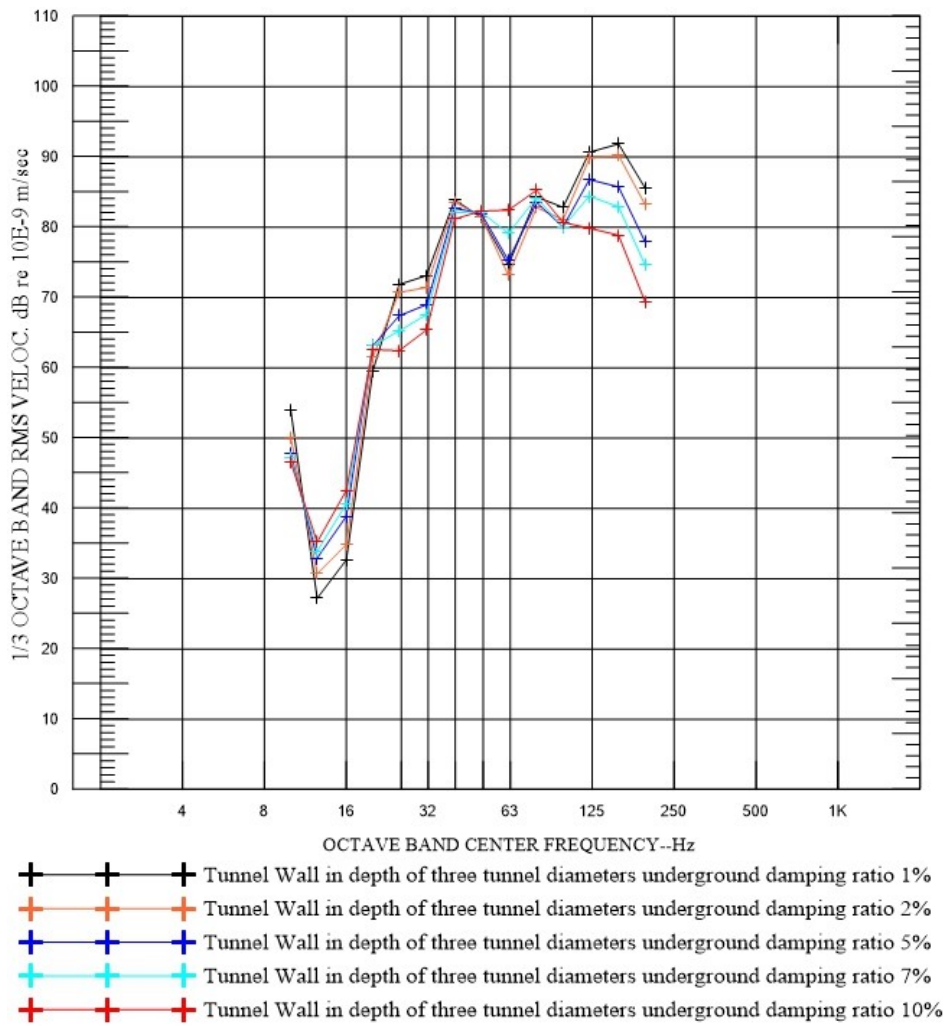
		TUNNEL WALL				
		ΠΟΣΟΣΤΟ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ				
		1%	2%	5%	7%	10%
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	10	70	71	70	70	69
	12.5	66	66	65	65	64
	16	66	65	65	65	64
	20	76	76	74	72	70
	25	83	81	77	75	73
	31.5	79	79	79	79	78
	40	79	80	83	84	85
	50	82	81	81	82	83
	63	87	85	77	66	79
	80	94	94	91	88	82
	100	91	90	88	86	82
	125	89	88	86	83	78
	160	84	81	77	77	80
200	89	87	83	80	76	
ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA		59.1	57.6	54.2	51.9	49.0



Σχήμα 8.20: Μεταβολή στάθμης θορύβου στο τοίχωμα της σήραγγας αναλόγως με την ιδιομορφική απόσβεση, σε βάθος τριών διατομών σήραγγας κάτω από το έδαφος και σε κατηγορία εδάφους 3.

Πίνακας 8.20: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

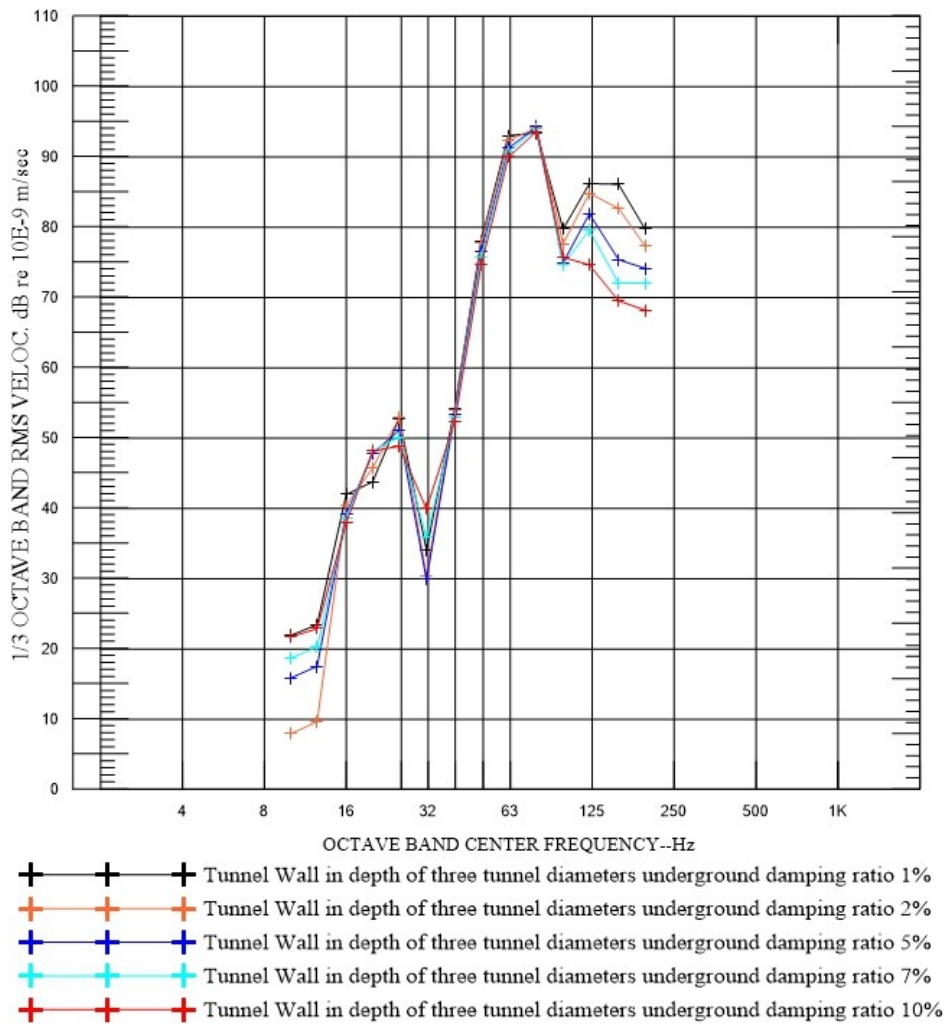
		TUNNEL WALL				
		ΠΟΣΟΣΤΟ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ				
		1%	2%	5%	7%	10%
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	10	62	61	63	64	64
	12.5	67	65	63	63	62
	16	67	67	67	66	66
	20	76	75	72	71	69
	25	78	76	74	72	70
	31.5	69	70	71	72	72
	40	87	87	86	86	85
	50	77	77	80	81	83
	63	84	82	76	80	84
	80	93	92	87	84	80
	100	87	85	83	81	77
	125	88	87	85	83	78
	160	84	79	75	74	75
200	85	82	76	72	65	
ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA		56.8	54.2	50.5	48.3	45.2



Σχήμα 8.21: Μεταβολή στάθμης θορύβου στο τοίχωμα της σήραγγας αναλόγως με την ιδιομορφική απόσβεση, σε βάθος τριών διατομών σήραγγας κάτω από το έδαφος και σε κατηγορία εδάφους 4.

Πίνακας 8.21: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

		TUNNEL WALL				
		ΠΟΣΟΣΤΟ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ				
		1%	2%	5%	7%	10%
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	10	54	50	48	47	47
	12.5	27	31	33	34	35
	16	33	35	39	41	43
	20	60	62	63	63	63
	25	72	71	67	65	62
	31.5	73	71	69	68	65
	40	84	84	83	82	81
	50	81	82	82	82	82
	63	75	73	75	79	82
	80	84	83	84	84	85
	100	83	81	80	80	81
	125	91	90	87	84	80
	160	92	90	86	83	79
200	86	83	78	75	69	
ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA		59.2	57.6	53.7	51.3	48.2

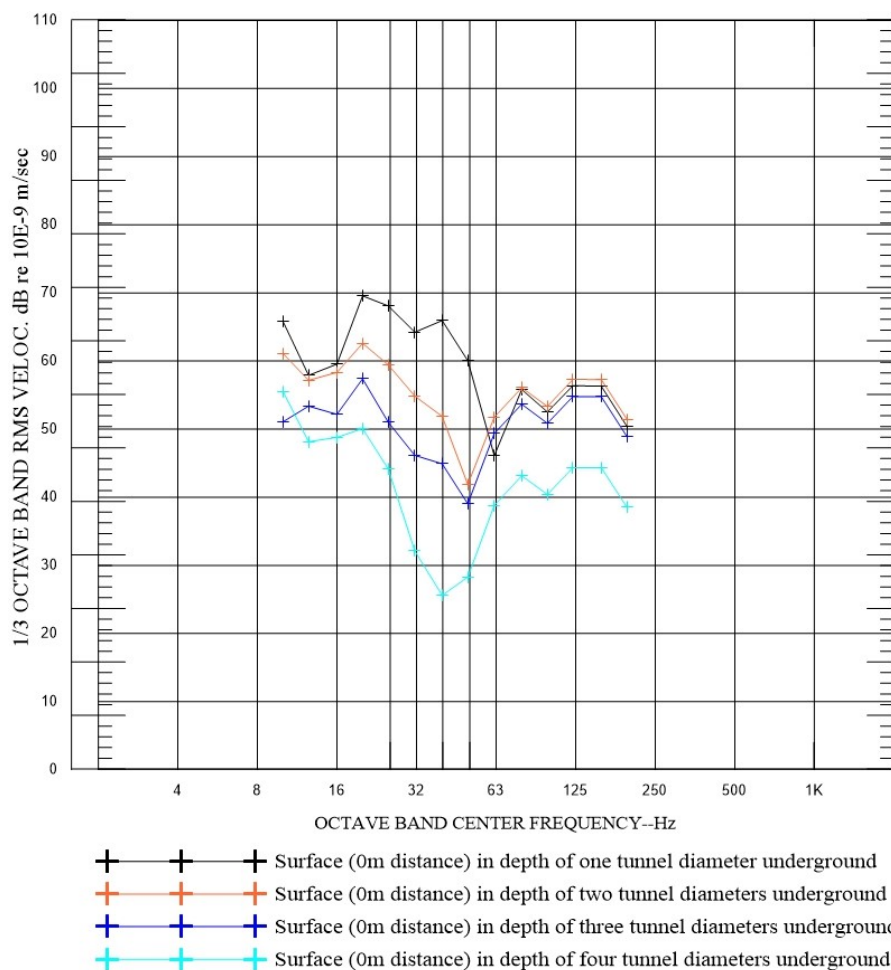


Σχήμα 8.22: Μεταβολή στάθμης θορύβου στο τοίχωμα της σήραγγας αναλόγως με την ιδιομορφική απόσβεση, σε βάθος τριών διατομών σήραγγας κάτω από το έδαφος και σε κατηγορία εδάφους 5.

Πίνακας 8.22: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

		TUNNEL WALL				
		ΠΟΣΟΣΤΟ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ				
		1%	2%	5%	7%	10%
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	10	22	8	16	19	22
	12.5	23	10	18	20	23
	16	42	40	39	39	38
	20	44	46	48	48	48
	25	53	53	51	50	49
	31.5	34	30	30	36	40
	40	54	54	53	53	52
	50	78	78	77	76	75
	63	93	92	91	91	90
	80	93	94	94	94	94
	100	80	78	75	75	76
	125	86	85	82	80	75
	160	86	83	75	72	70
200	80	77	74	72	68	
ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA		55.4	54.0	52.2	51.4	50.5

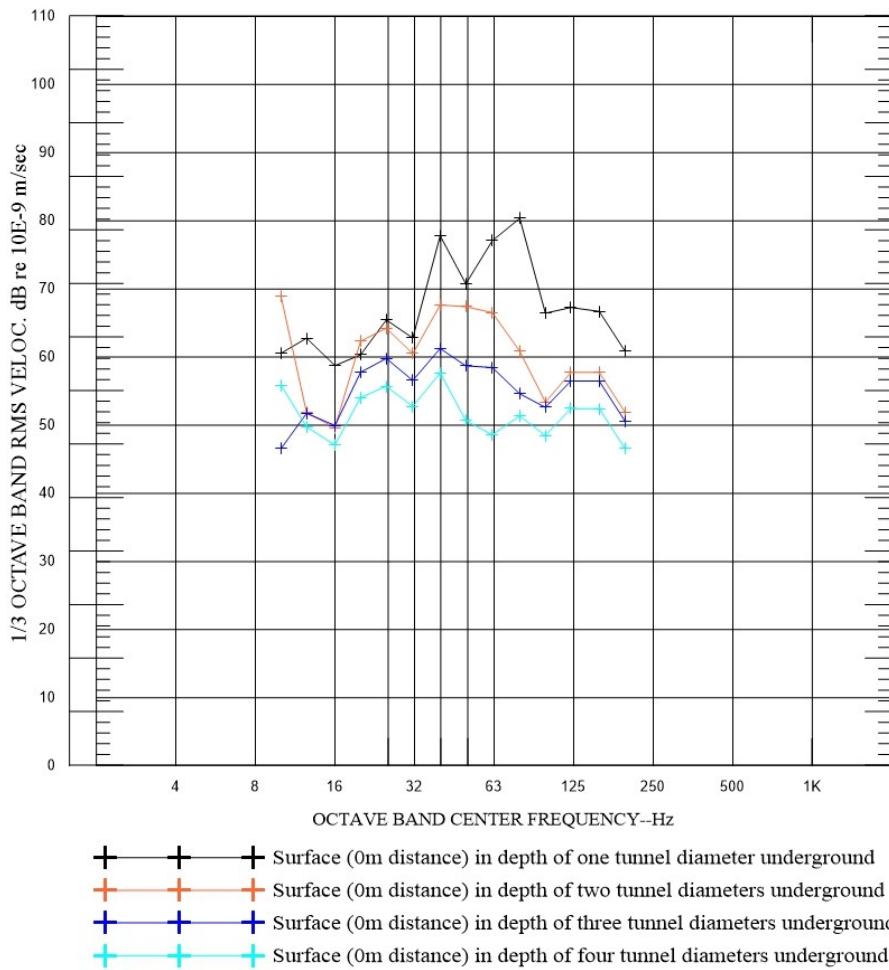
Τα ακόλουθα διαγράμματα και πίνακες προέρχονται από τα προσομοιώματα του λογισμικού Abaqus και παρατίθενται με στόχο την αξιολόγηση και διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο οι μετρήσεις επηρεάζονται από το βάθος της σήραγγας.



Σχήμα 8.23: Μεταβολή στάθμης θορύβου στην ελεύθερη επιφάνεια σε απόσταση 0m από τον άξονα της σήραγγας αναλόγως με το βάθος της σήραγγας , με ιδιομορφική απόσβεση 10% και σε κατηγορία εδάφους 1.

Πίνακας 8.23: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

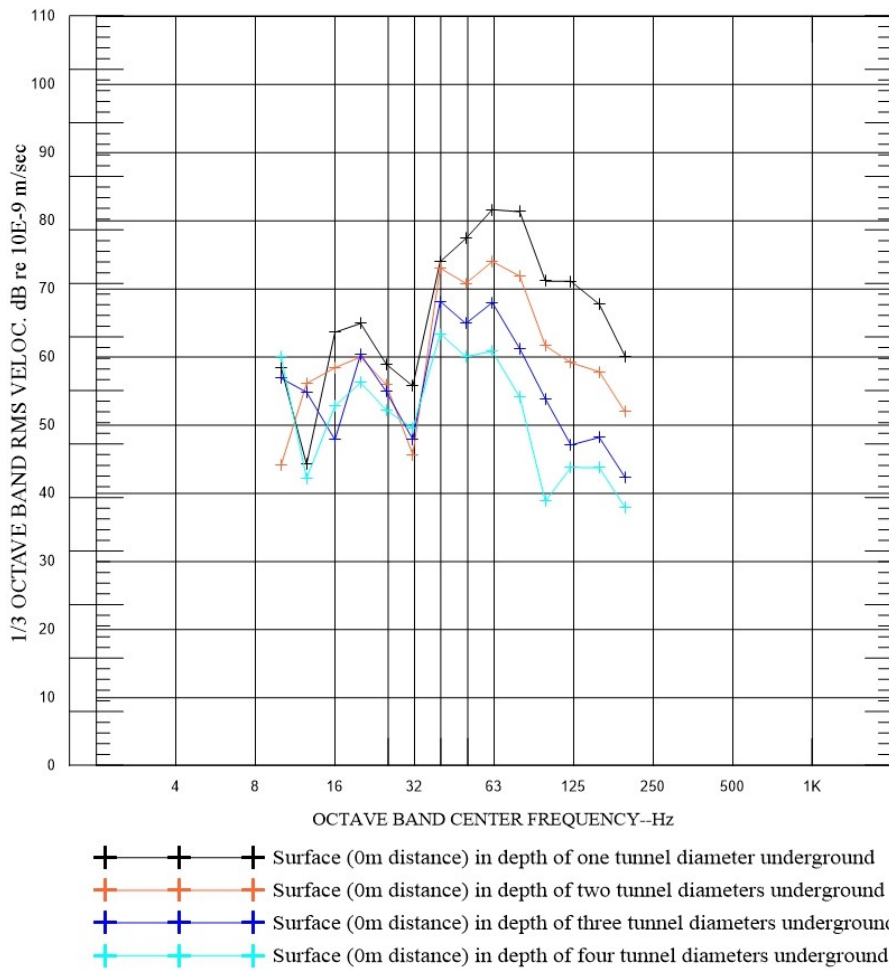
ΑΠΟΣΤΑΣΗ 0m ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ				
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	ΒΑΘΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ			
	ΜΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΔΥΟ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ
10	66	61	51	55
12,5	58	57	53	48
16	60	58	52	49
20	70	63	57	50
25	68	59	51	44
31,5	64	55	46	32
40	66	52	45	26
50	60	42	39	28
63	46	52	49	39
80	56	56	54	43
100	53	53	51	40
125	56	57	55	44
160	56	57	55	44
200	50	51	49	39
ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA	24,7	25,4	23,0	14,3



Σχήμα 8.24: Μεταβολή στάθμης θορύβου στην ελεύθερη επιφάνεια σε απόσταση 0m από τον άξονα της σήραγγας αναλόγως με το βάθος της σήραγγας , με ιδιομορφική απόσβεση 10% και σε κατηγορία εδάφους 2.

Πίνακας 8.24: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

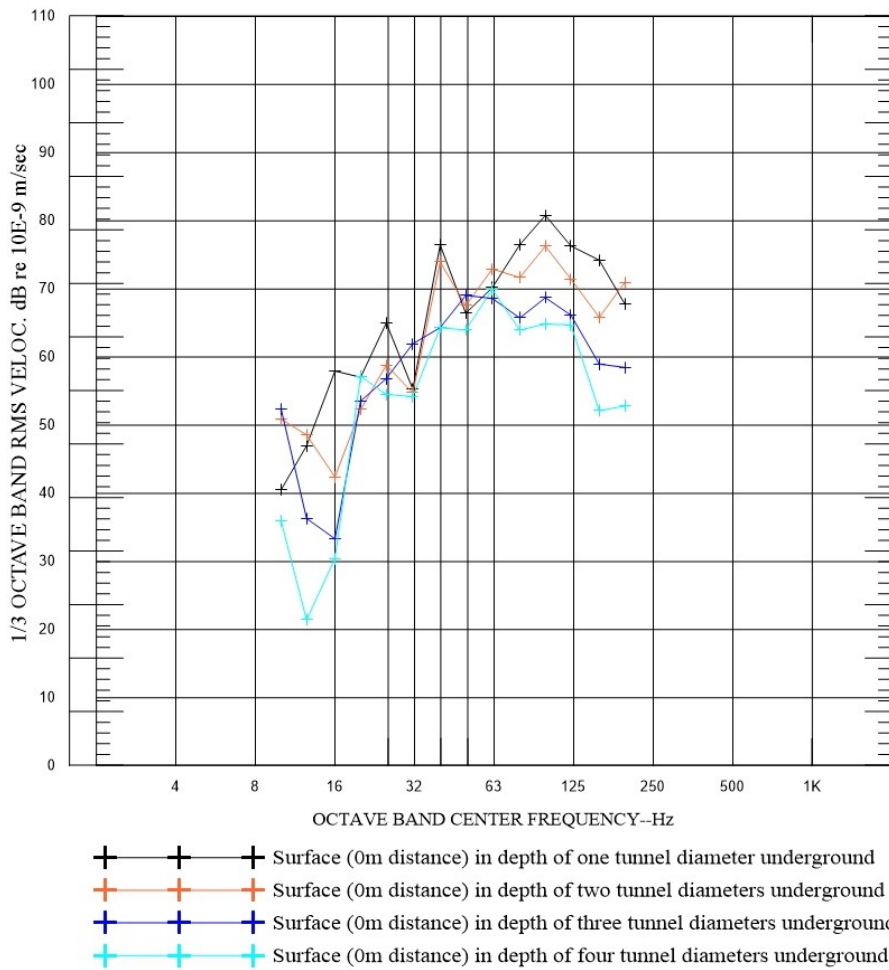
		ΑΠΟΣΤΑΣΗ 0m ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ			
		ΒΑΘΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ			
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ		ΜΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΔΥΟ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ
	10	61	69	47	56
	12,5	63	52	52	50
	16	59	50	50	47
	20	60	62	58	54
	25	65	64	60	56
	31,5	63	61	57	53
	40	78	68	61	58
	50	71	67	59	51
	63	77	67	58	49
	80	80	61	55	51
	100	66	53	53	48
	125	67	58	56	52
160	67	58	56	52	
200	61	52	51	47	
	ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA	39,0	27,2	24,8	20,8



Σχήμα 8.25: Μεταβολή στάθμης θορύβου στην ελεύθερη επιφάνεια σε απόσταση 0m από τον άξονα της σήραγγας αναλόγως με το βάθος της σήραγγας , με ιδιομορφική απόσβεση 10% και σε κατηγορία εδάφους 3.

Πίνακας 8.25: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

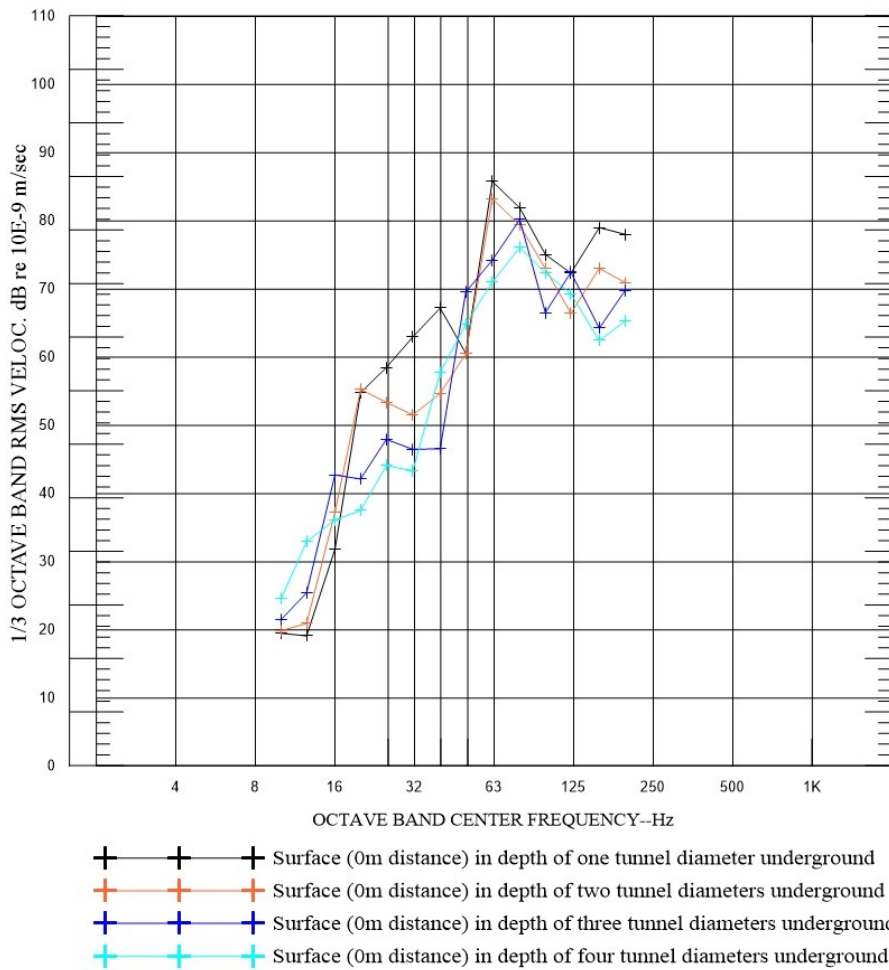
		ΑΠΟΣΤΑΣΗ 0m ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ			
		ΒΑΘΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ			
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ		ΜΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΔΥΟ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ
	10	58	44	57	60
	12,5	44	56	55	42
	16	64	58	48	53
	20	65	60	60	56
	25	59	56	55	52
	31,5	56	46	48	50
	40	74	73	68	63
	50	77	71	65	60
	63	82	74	68	61
	80	81	72	61	54
	100	71	62	54	39
	125	71	59	47	44
160	68	58	48	44	
200	60	52	42	38	
	ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA	41,0	31,9	23,7	17,7



Σχήμα 8.26: Μεταβολή στάθμης θορύβου στην ελεύθερη επιφάνεια σε απόσταση 0m από τον άξονα της σήραγγας αναλόγως με το βάθος της σήραγγας , με ιδιομορφική απόσβεση 10% και σε κατηγορία εδάφους 4.

Πίνακας 8.26: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

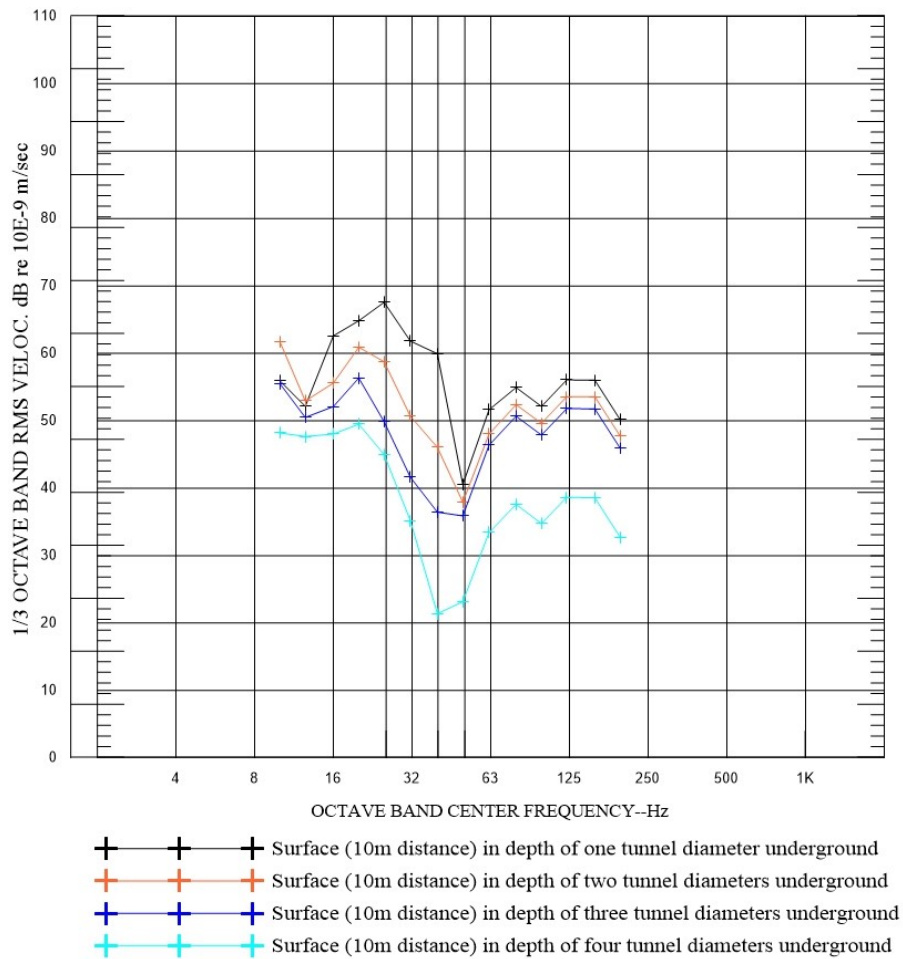
		ΑΠΟΣΤΑΣΗ 0m ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ			
		ΒΑΘΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ			
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ		ΜΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΔΥΟ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ
	10	41	51	52	36
	12,5	47	49	36	21
	16	58	42	33	30
	20	57	52	54	57
	25	65	59	57	55
	31,5	55	55	62	54
	40	76	74	64	64
	50	66	68	69	64
	63	70	73	69	70
	80	76	72	66	64
	100	81	76	69	65
	125	76	71	66	65
	160	74	66	59	52
200	68	71	58	53	
	ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA	44,5	41,4	33,2	30,4



Σχήμα 8.27: Μεταβολή στάθμης θορύβου στην ελεύθερη επιφάνεια σε απόσταση 0m από τον άξονα της σήραγγας αναλόγως με το βάθος της σήραγγας , με ιδιομορφική απόσβεση 10% και σε κατηγορία εδάφους 5.

Πίνακας 8.27: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

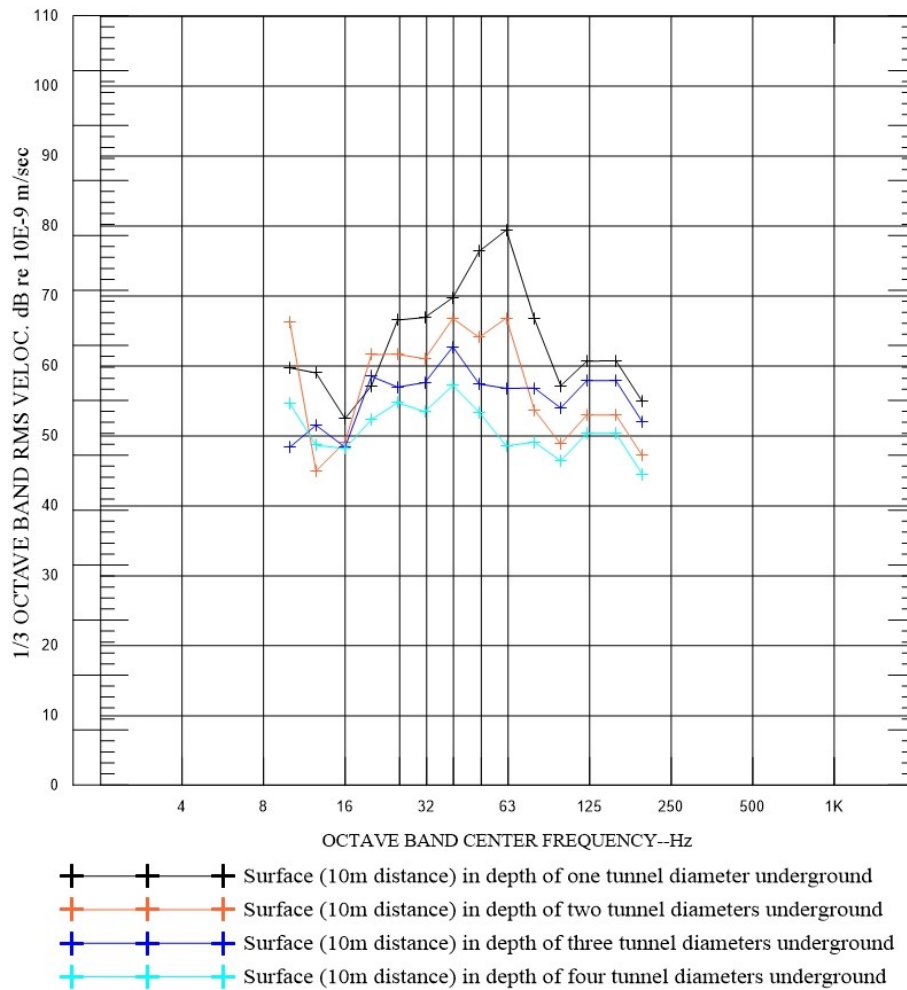
ΑΠΟΣΤΑΣΗ 0m ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ		ΒΑΘΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ			
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ		ΜΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΔΥΟ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ
		10	20	20	22
	12,5	19	21	25	33
	16	32	37	43	36
	20	55	55	42	38
	25	59	53	48	44
	31,5	63	52	46	43
	40	67	55	47	58
	50	61	61	70	65
	63	86	83	74	71
	80	82	79	80	76
	100	75	73	67	72
	125	72	66	72	69
	160	79	73	64	62
	200	78	71	70	65
	ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA	48,6	43,2	41,1	38,2



Σχήμα 8.28: Μεταβολή στάθμης θορύβου στην ελεύθερη επιφάνεια σε απόσταση 10m από τον άξονα της σήραγγας αναλόγως με το βάθος της σήραγγας , με ιδιομορφική απόσβεση 10% και σε κατηγορία εδάφους 1.

Πίνακας 8.28: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Αβακός

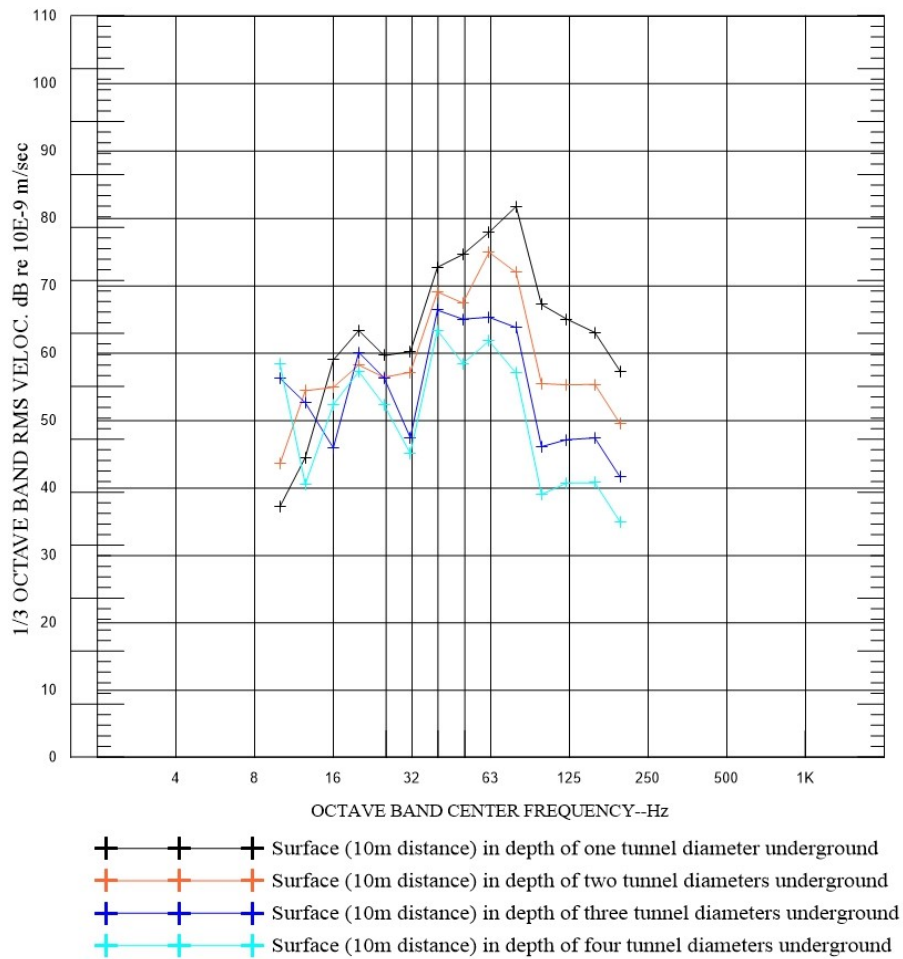
		ΑΠΟΣΤΑΣΗ 10m ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ			
		ΒΑΘΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ			
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ		ΜΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΔΥΟ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ
	10	56	62	55	48
	12,5	52	53	51	48
	16	63	56	52	48
	20	65	61	56	49
	25	68	59	50	45
	31,5	62	51	42	35
	40	60	46	36	21
	50	41	38	36	23
	63	52	48	46	33
	80	55	52	51	38
	100	52	50	48	35
	125	56	54	52	39
	160	56	54	52	39
	200	50	48	46	33
	ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA	24,3	21,9	20,2	11,8



Σχήμα 8.29: Μεταβολή στάθμης θορύβου στην ελεύθερη επιφάνεια σε απόσταση 10m από τον άξονα της σήραγγας αναλόγως με το βάθος της σήραγγας , με ιδιομορφική απόσβεση 10% και σε κατηγορία εδάφους 2.

Πίνακας 8.29: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

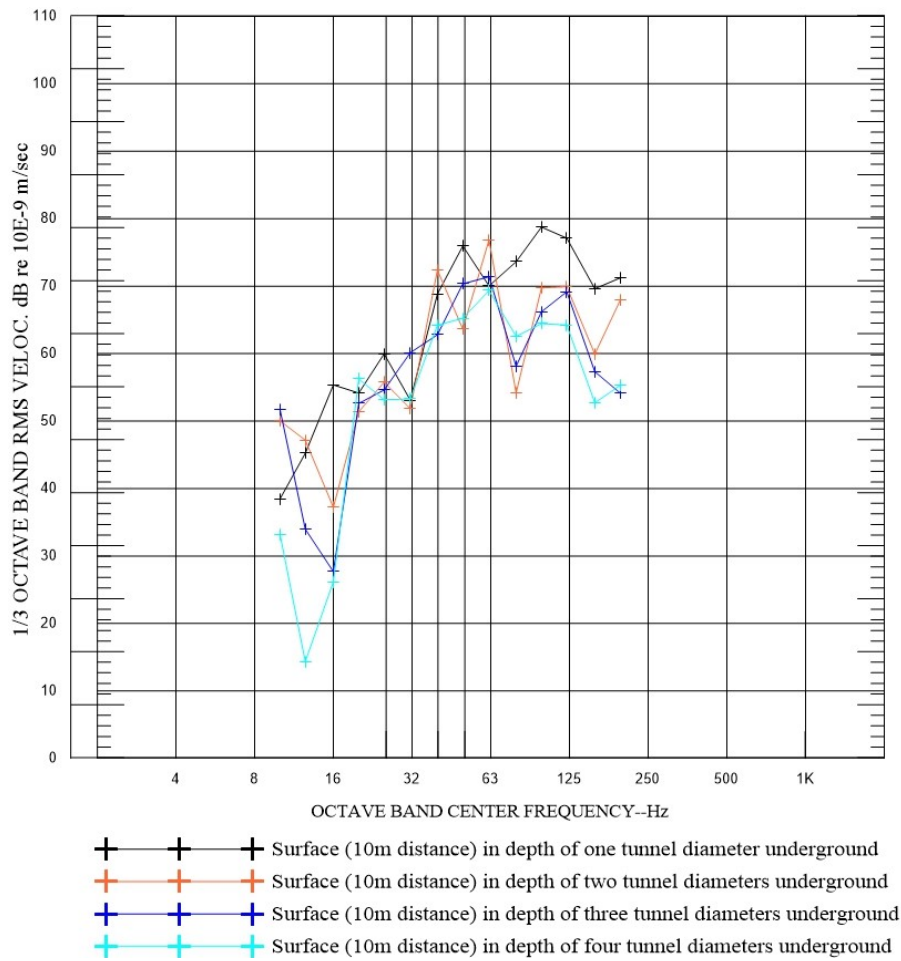
ΑΠΟΣΤΑΣΗ 10m ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ				
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	ΒΑΘΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ			
	ΜΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΔΥΟ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ
10	60	66	48	55
12,5	59	45	52	49
16	52	49	48	48
20	57	62	59	52
25	67	62	57	55
31,5	67	61	58	53
40	70	67	63	57
50	76	64	57	53
63	79	67	57	49
80	67	54	57	49
100	57	49	54	46
125	61	53	58	50
160	61	53	58	50
200	55	47	52	45
ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA	34,0	23,7	26,2	19,0



Σχήμα 8.30: Μεταβολή στάθμης θορύβου στην ελεύθερη επιφάνεια σε απόσταση 10m από τον άξονα της σήραγγας αναλόγως με το βάθος της σήραγγας , με ιδιομορφική απόσβεση 10% και σε κατηγορία εδάφους 3.

Πίνακας 8.30: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Αβαχis

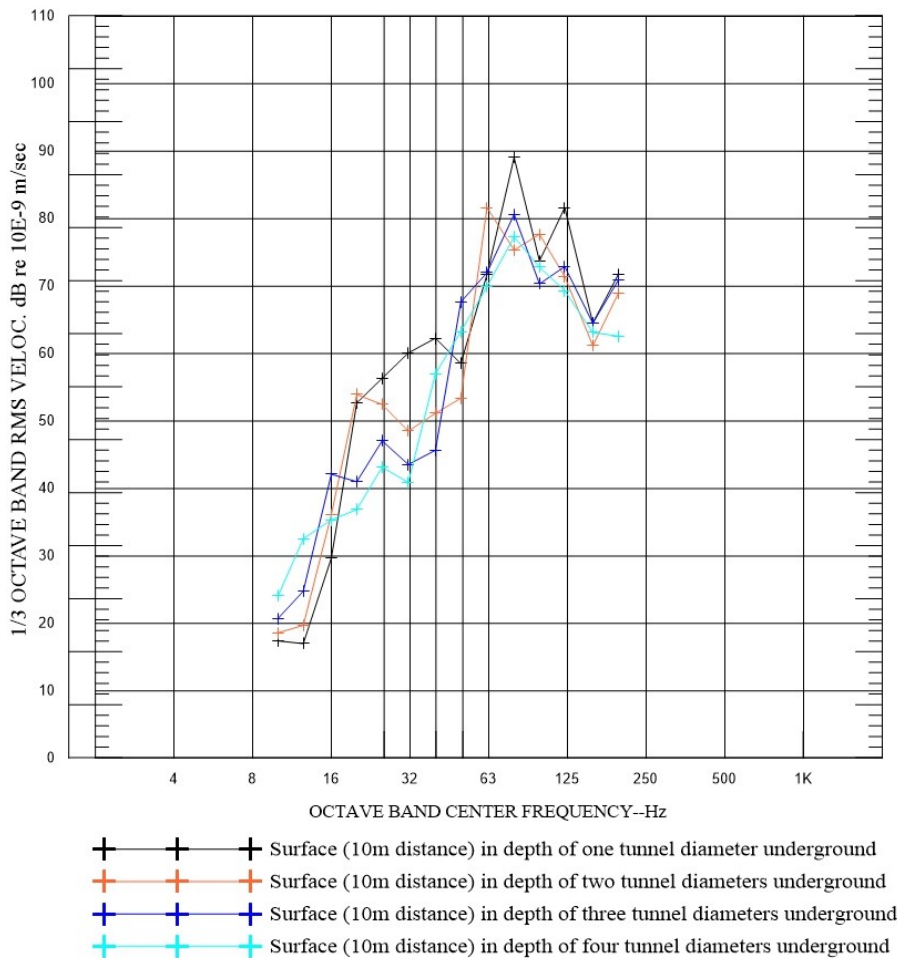
		ΑΠΟΣΤΑΣΗ 10m ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ			
		ΒΑΘΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ			
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ		ΜΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΔΥΟ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ
	10	37	44	56	58
	12,5	45	54	53	41
	16	59	55	46	52
	20	63	58	60	57
	25	60	56	56	52
	31,5	60	57	47	45
	40	73	69	66	63
	50	75	67	65	58
	63	78	75	65	62
	80	82	72	64	57
	100	67	56	46	39
	125	65	55	47	41
	160	63	55	47	41
	200	57	50	42	35
	ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA	39,2	31,2	23,2	18,1



Σχήμα 8.31: Μεταβολή στάθμης θορύβου στην ελεύθερη επιφάνεια σε απόσταση 10m από τον άξονα της σήραγγας αναλόγως με το βάθος της σήραγγας , με ιδιομορφική απόσβεση 10% και σε κατηγορία εδάφους 4.

Πίνακας 8.31: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

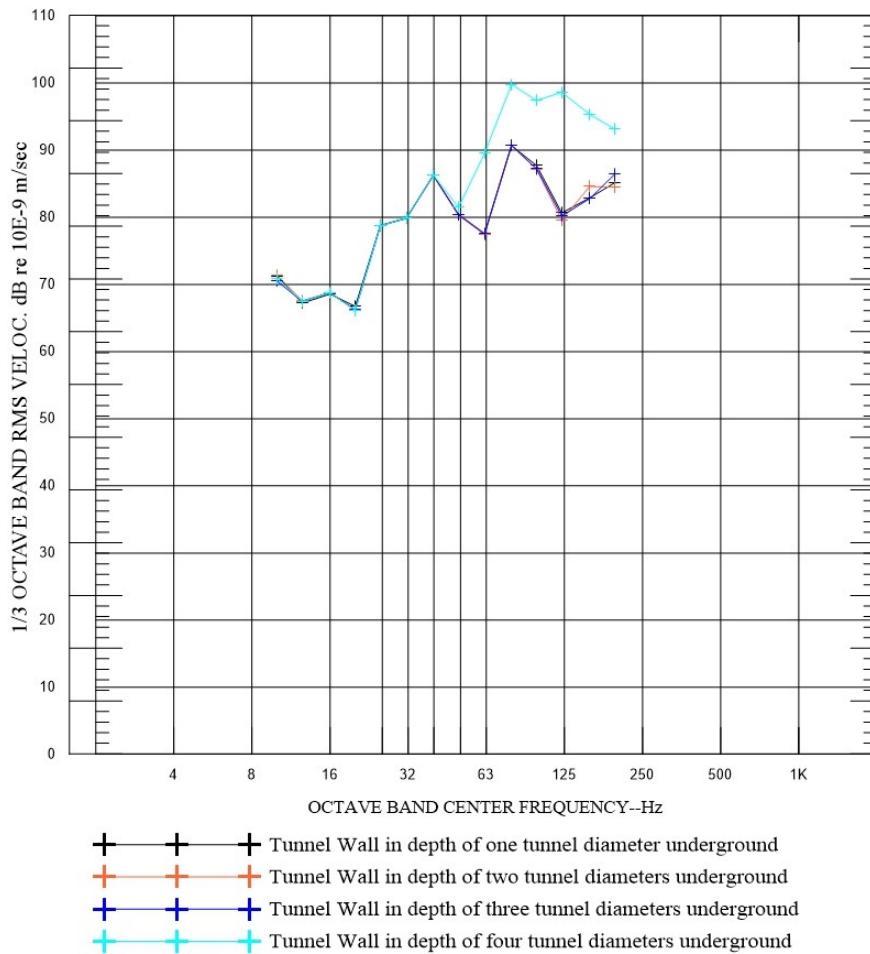
		ΑΠΟΣΤΑΣΗ 10m ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ			
		ΒΑΘΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ			
		ΜΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΔΥΟ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	10	38	50	52	33
	12,5	45	47	34	14
	16	55	37	28	26
	20	54	51	53	56
	25	60	56	55	53
	31,5	53	52	60	53
	40	69	72	63	64
	50	76	64	70	65
	63	70	77	71	69
	80	74	54	58	63
	100	79	70	66	64
	125	77	70	69	64
	160	70	60	57	53
	200	71	68	54	55
	ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA		43,9	38,1	33,4



Σχήμα 8.32: Μεταβολή στάθμης θορύβου στην ελεύθερη επιφάνεια σε απόσταση 10m από τον άξονα της σήραγγας αναλόγως με το βάθος της σήραγγας , με ιδιομορφική απόσβεση 10% και σε κατηγορία εδάφους 5.

Πίνακας 8.32: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

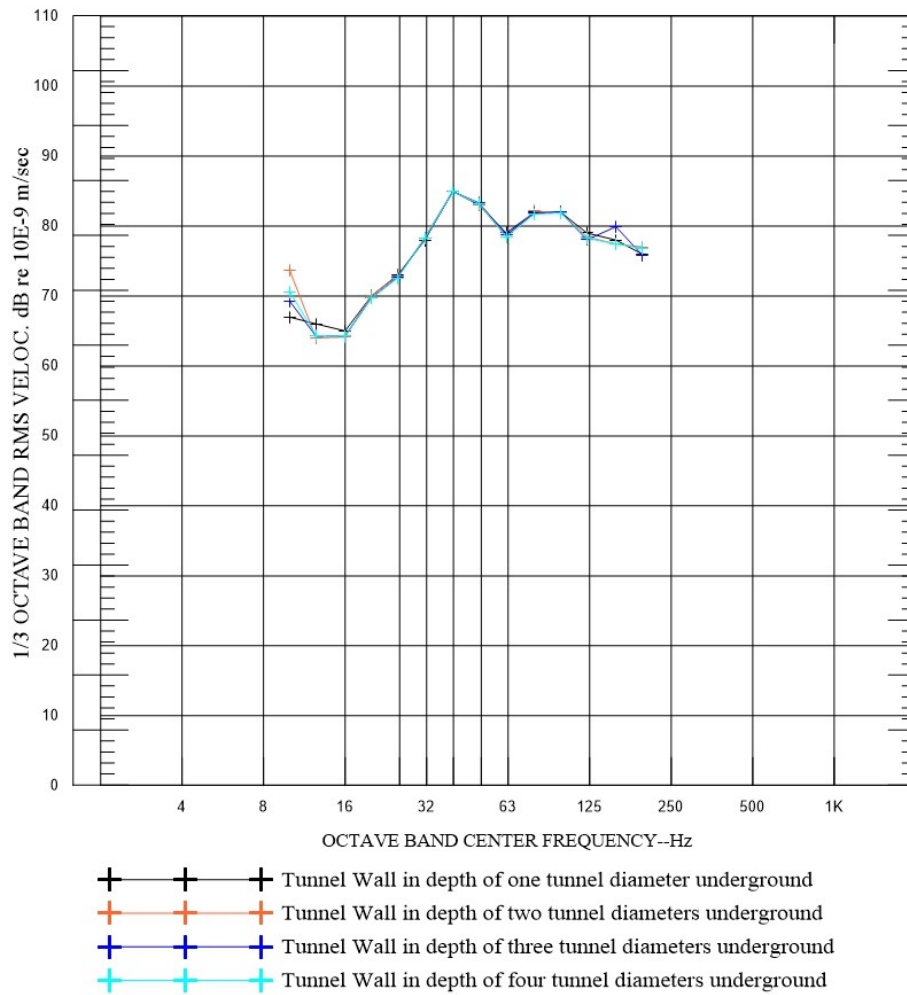
ΑΠΟΣΤΑΣΗ 10m ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ				
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	ΒΑΘΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ			
	ΜΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΔΥΟ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ
	10	17	19	21
12,5	17	20	25	33
16	30	36	42	35
20	53	54	41	37
25	56	52	47	43
31,5	60	49	44	41
40	62	51	46	57
50	59	53	68	63
63	72	82	72	70
80	89	75	81	77
100	74	78	70	73
125	82	71	73	69
160	65	61	65	63
200	72	69	71	63
ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA	47,9	41,6	41,9	38,1



Σχήμα 8.33: Μεταβολή στάθμης θορύβου στο τοίχωμα της σήραγγας (Tunnel Wall) αναλόγως με το βάθος της σήραγγας, με ιδιομορφική απόσβεση 10% και σε κατηγορία εδάφους 1.

Πίνακας 8.33: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

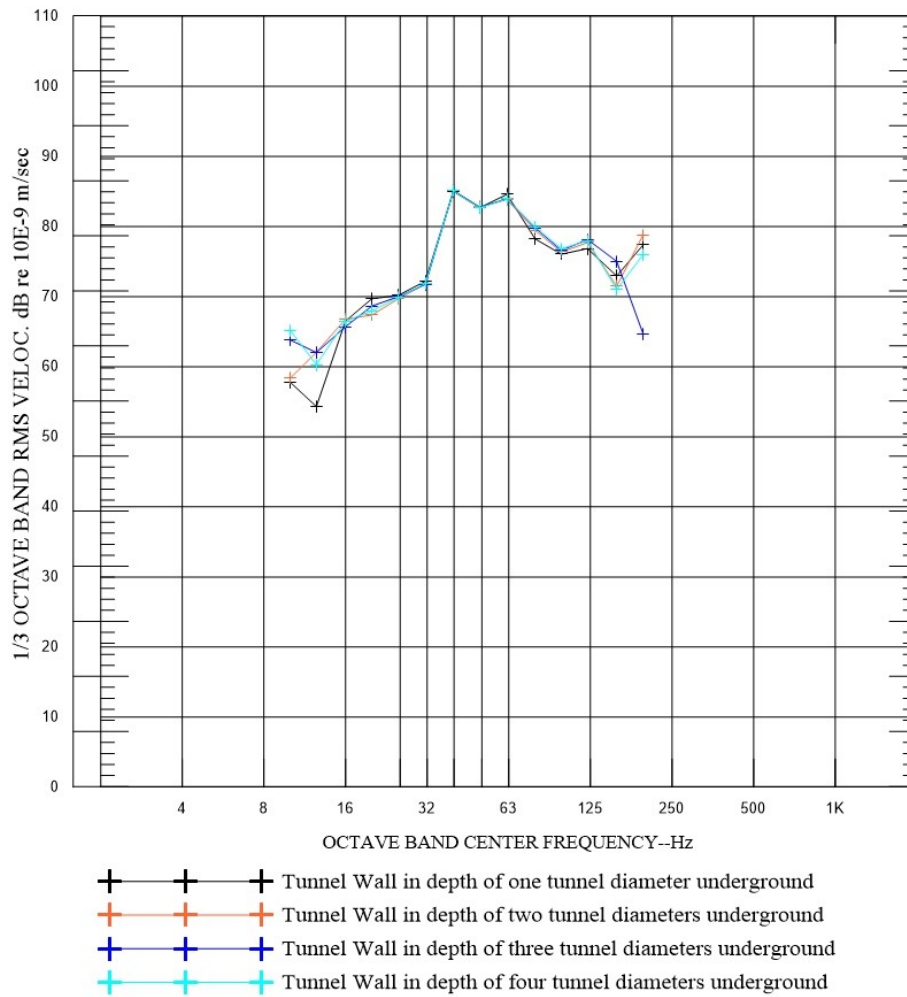
TUNNEL WALL				
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	ΒΑΘΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ			
	ΜΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΔΥΟ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ
	10	71	71	71
12,5	67	68	67	67
16	69	69	69	69
20	67	66	66	66
25	79	79	79	79
31,5	80	80	80	80
40	86	86	86	86
50	80	80	80	81
63	77	77	78	90
80	91	91	91	100
100	88	87	87	97
125	81	80	80	99
160	83	85	83	95
200	85	85	86	93
ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA	55,2	55,1	55,8	66,0



Σχήμα 8.34: Μεταβολή στάθμης θορύβου στο τοίχωμα της σήραγγας (Tunnel Wall) αναλόγως με το βάθος της σήραγγας , με ιδιομορφική απόσβεση 10% και σε κατηγορία εδάφους 2.

Πίνακας 8.34: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

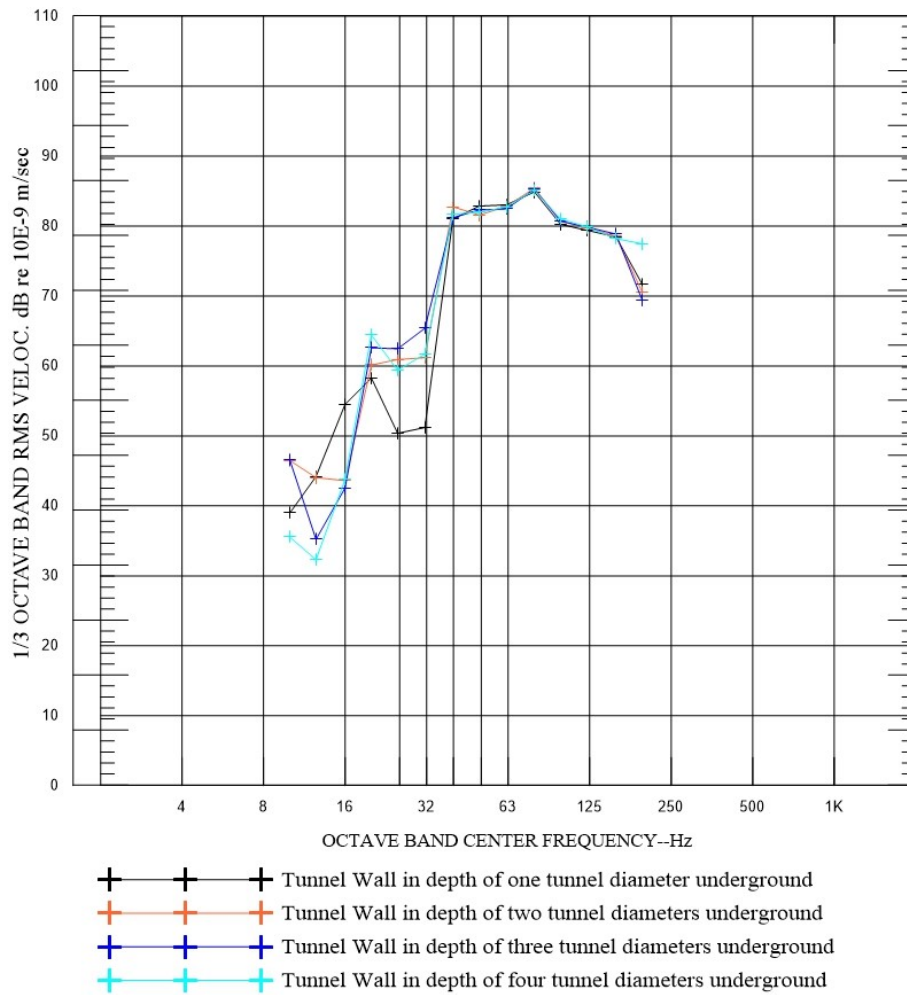
		TUNNEL WALL			
		ΒΑΘΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ			
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ		ΜΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΔΥΟ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ
	10	67	74	69	71
	12,5	66	64	64	64
	16	65	64	64	64
	20	70	70	70	70
	25	73	73	73	73
	31,5	78	78	78	78
	40	85	85	85	85
	50	83	83	83	83
	63	79	78	79	78
	80	82	82	82	82
	100	82	82	82	82
	125	79	78	78	78
	160	78	77	80	77
200	76	77	76	77	
	ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA	48,6	48,7	49,0	48,5



Σχήμα 8.35: Μεταβολή στάθμης θορύβου στο τοίχωμα της σήραγγας (Tunnel Wall) αναλόγως με το βάθος της σήραγγας, με ιδιομορφική απόσβεση 10% και σε κατηγορία εδάφους 3.

Πίνακας 8.35: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

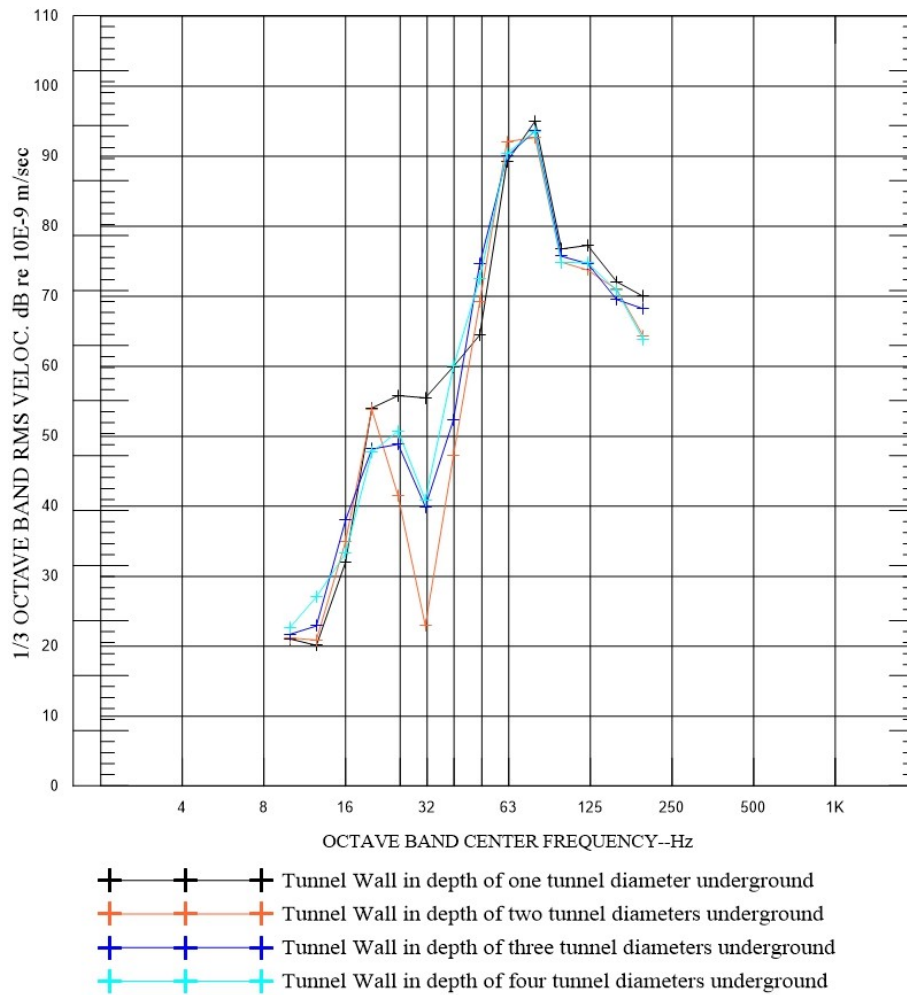
TUNNEL WALL					
ΒΑΘΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ					
	ΜΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΔΥΟ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	10	58	58	64	65
	12,5	54	62	62	60
	16	67	67	66	66
	20	70	67	69	68
	25	70	70	70	70
	31,5	72	72	72	72
	40	85	85	85	85
	50	83	83	83	83
	63	85	84	84	84
	80	78	79	80	80
	100	76	76	77	77
	125	77	78	78	78
	160	73	71	75	71
	200	77	79	65	76
	ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA	47,2	48,1	45,2	46,7



Σχήμα 8.36: Μεταβολή στάθμης θορύβου στο τοίχωμα της σήραγγας (Tunnel Wall) αναλόγως με το βάθος της σήραγγας, με ιδιομορφική απόσβεση 10% και σε κατηγορία εδάφους 4.

Πίνακας 8.36: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

TUNNEL WALL				
ΒΑΘΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ				
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	ΜΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗ	ΔΥΟ ΔΙΑΤΟΜΕΣ	ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ	ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ
	ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ	ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ	ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ	ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ
	ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ
10	39	46	47	36
12,5	44	44	35	32
16	55	44	43	44
20	58	60	63	64
25	50	61	62	59
31,5	51	61	65	62
40	81	83	81	82
50	83	82	82	82
63	83	83	82	83
80	85	85	85	85
100	80	81	81	81
125	79	80	80	80
160	78	79	79	78
200	72	71	69	77
ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA	48,1	48,3	48,2	49,5

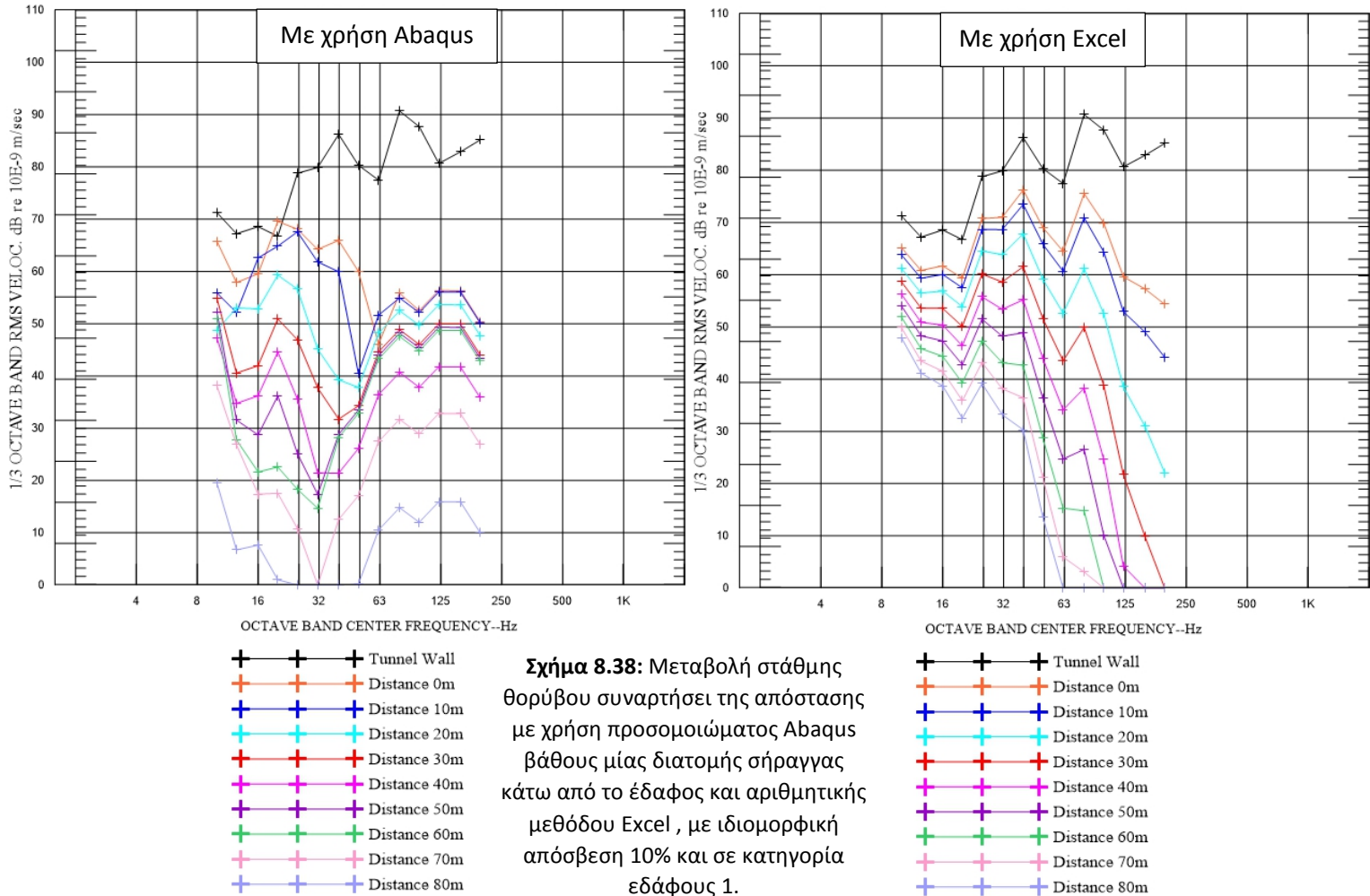


Σχήμα 8.37: Μεταβολή στάθμης θορύβου στο τοίχωμα της σήραγγας (Tunnel Wall) αναλόγως με το βάθος της σήραγγας, με ιδιομορφική απόσβεση 10% και σε κατηγορία εδάφους 5.

Πίνακας 8.37: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus

		TUNNEL WALL			
		ΒΑΘΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ			
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ		ΜΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΔΥΟ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ
	10	21	21	22	23
	12,5	20	21	23	27
	16	32	35	38	33
	20	54	54	48	48
	25	56	41	49	51
	31,5	55	23	40	41
	40	60	47	52	60
	50	64	69	75	73
	63	89	92	90	90
	80	95	93	94	94
	100	77	75	76	75
	125	77	74	75	75
160	72	71	70	71	
200	70	64	68	64	
	ΣΥΝΟΛΙΚΑ dBA	51,7	50,1	50,5	50,4

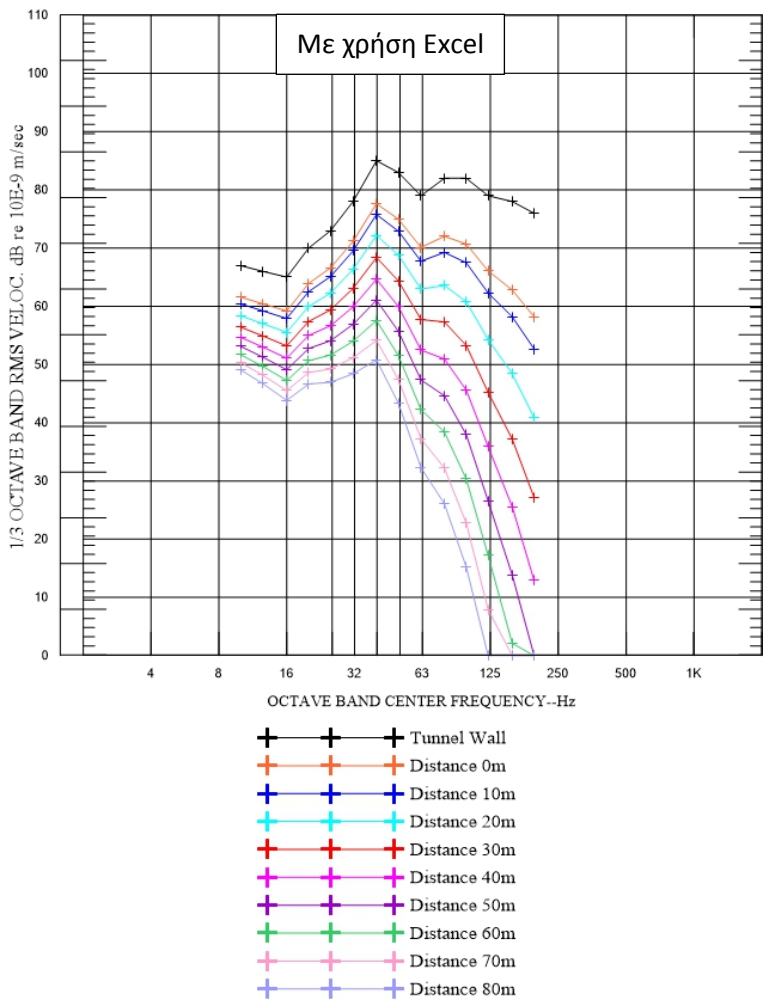
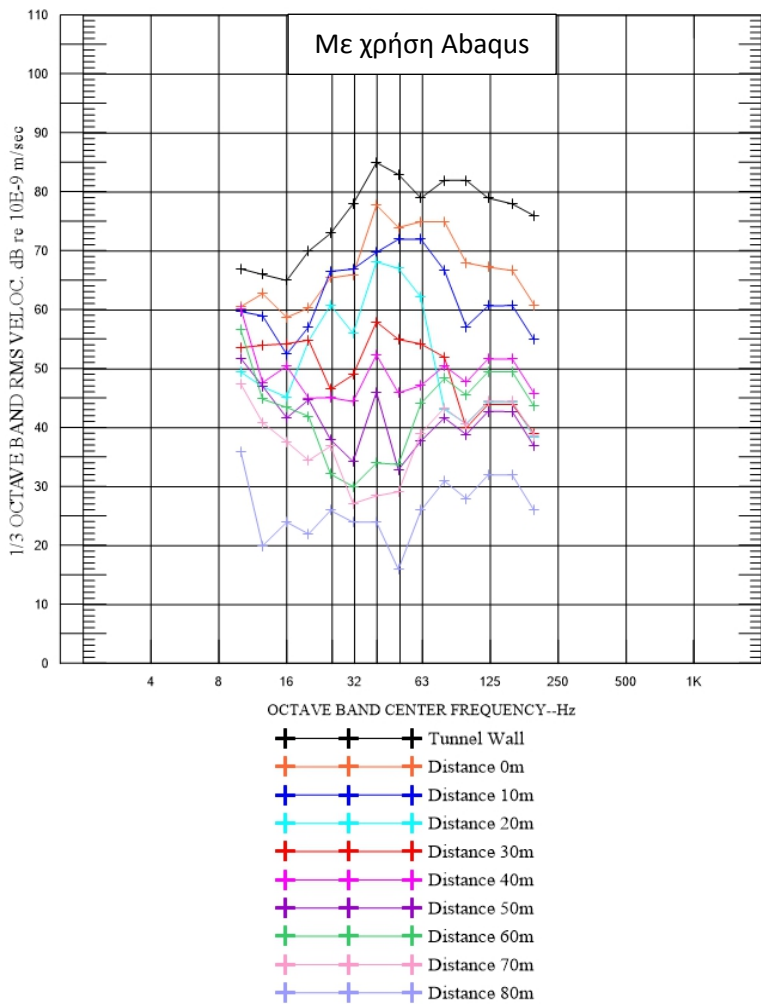
Τα ακόλουθα διαγράμματα και πίνακες προέρχονται από τα προσομοιώματα του λογισμικού Abaqus καθώς και από την αριθμητική μεθοδολογία του Excel και παρατίθενται με στόχο την αξιολόγηση και διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο οι μετρήσεις επηρεάζονται από την απόσταση από τον κατακόρυφο άξονα της σήραγγας. Παραθέτονται διαγράμματα και τιμές μόνο από το προσομοίωμα με σήραγγα σε βάθος μία διατομή σήραγγας κάτω από το έδαφος μιας και είναι το πιο αντιπροσωπευτικό.



Σχήμα 8.38: Μεταβολή στάθμης θορύβου συναρτήσει της απόστασης με χρήση προσομοιώματος Abaqus βάθους μίας διατομής σήραγγας κάτω από το έδαφος και αριθμητικής μεθόδου Excel, με ιδιομορφική απόσβεση 10% και σε κατηγορία εδάφους 1.

Πίνακας 8.38: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus και αριθμητικής μεθοδολογίας Excel

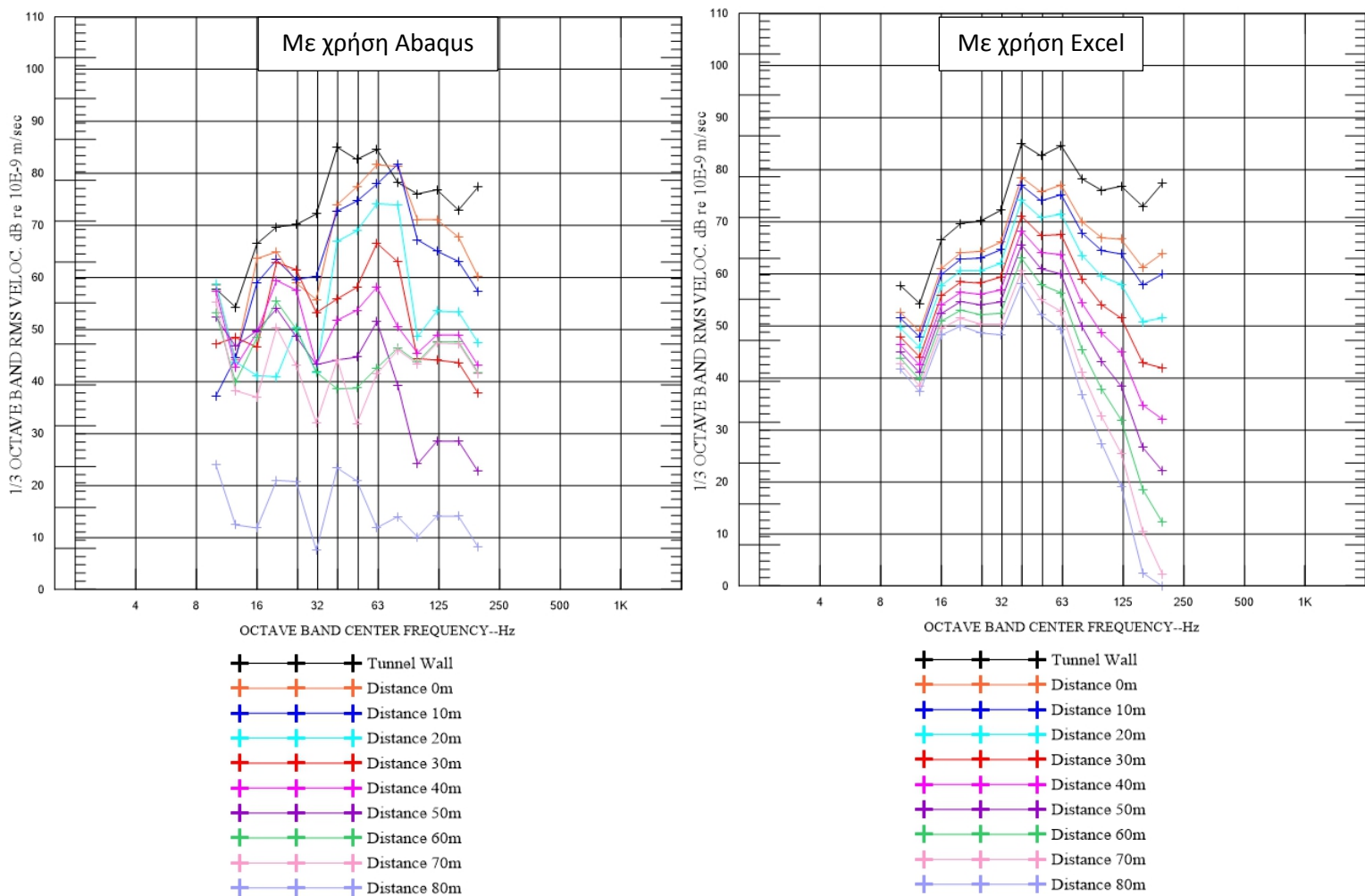
	FREQ	PREDICTED MEASUREMENTS FROM ABAQUS										CALIBRATED MEASUREMENTS FROM EXCEL									
		Tunnel Wall	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	
s	10.00	71	66	56	49	55	47	52	51	38	20	65	64	61	59	56	54	52	50	48	
	12.50	67	58	52	53	41	35	32	28	27	7	61	59	56	54	51	48	46	43	41	
	16.00	69	60	63	53	42	36	29	22	17	8	62	60	57	54	50	47	44	42	39	
	20.00	67	70	65	59	51	45	36	23	18	1	59	58	54	50	46	43	39	36	33	
	25.00	79	68	68	57	47	36	25	18	11	0	71	69	65	60	56	51	47	43	39	
t	31.50	80	64	62	45	38	21	17	15	0	0	71	69	64	59	53	48	43	38	33	
	40.00	86	66	60	39	32	21	29	28	13	0	76	73	68	62	55	49	43	36	30	
	50.00	80	60	41	38	34	26	33	33	17	0	69	66	59	52	44	36	29	21	14	
	63.00	77	46	52	48	45	36	44	43	27	11	64	61	53	44	34	25	15	6	0	
	80.00	91	56	55	52	49	41	48	48	32	15	76	71	61	50	38	27	15	3	0	
1	100.00	88	53	52	50	46	38	45	45	29	12	70	64	53	39	25	10	0	0	0	
	125.00	81	56	56	54	50	42	49	49	33	16	60	53	39	22	4	0	0	0	0	
	160.00	83	56	56	54	50	42	49	49	33	16	57	49	31	10	0	0	0	0	0	
	200.00	85	50	50	48	44	36	43	43	27	10	54	44	22	0	0	0	0	0	0	



Σχήμα 8.39: Μεταβολή στάθμης θορύβου συναρτήσει της απόστασης με χρήση προσομοιώματος Abaqus βάθους μίας διατομής σήραγγας κάτω από το έδαφος και αριθμητικής μεθόδου Excel , με ιδιομορφική απόσβεση 10% και σε κατηγορία εδάφους 2.

Πίνακας 8.39: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus και αριθμητικής μεθοδολογίας Excel

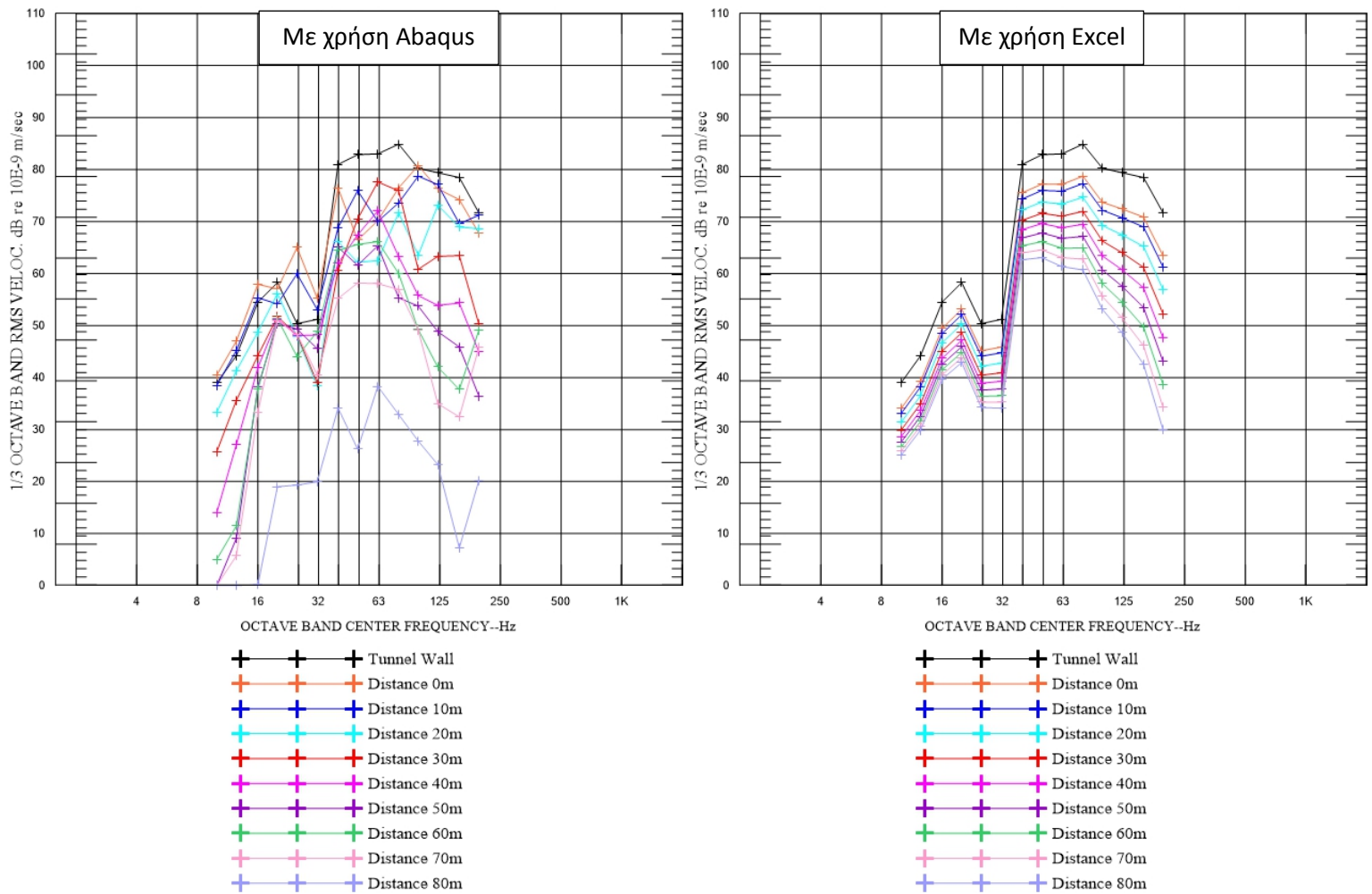
	FREQ	PREDICTED MEASUREMENTS FROM ABAQUS										CALIBRATED MEASUREMENTS FROM EXCEL									
		Tunnel Wall	dBv 0m	dBv 10m	dBv 20m	dBv 30m	dBv 40m	dBv 50m	dBv 60m	dBv 70m	dBv 80m	dBv 0m	dBv 10m	dBv 20m	dBv 30m	dBv 40m	dBv 50m	dBv 60m	dBv 70m	dBv 80m	
s o i l t y p e 2	10.00	67	61	60	49	54	60	52	57	47	36	62	60	58	56	55	53	52	50	49	
	12.50	66	63	59	47	54	48	47	45	41	20	60	59	57	55	53	51	50	48	47	
	16.00	65	59	52	45	54	50	42	43	38	24	59	58	56	53	51	49	47	46	44	
	20.00	70	60	57	55	55	45	45	42	34	22	64	63	60	57	55	53	51	49	47	
	25.00	73	65	67	61	47	45	38	32	37	26	67	65	62	59	57	54	52	49	47	
	31.50	78	66	67	56	49	44	34	30	27	24	71	70	66	63	60	57	54	51	48	
	40.00	85	78	70	68	58	52	46	34	28	24	78	76	72	68	65	61	58	54	51	
	50.00	83	74	72	67	55	46	33	34	29	16	75	73	69	64	60	56	52	47	43	
	63.00	79	75	72	62	54	47	38	44	39	26	70	68	63	58	53	47	42	37	32	
	80.00	82	75	67	43	52	51	42	48	43	31	72	69	64	57	51	45	38	32	26	
100.00	82	68	57	41	40	48	39	46	41	28	71	67	61	53	46	38	30	23	15		
125.00	79	67	61	44	44	52	43	50	45	32	66	62	54	45	36	27	17	8	0		
160.00	78	67	61	44	44	52	43	50	45	32	63	58	48	37	26	14	2	0	0		
200.00	76	61	55	38	39	46	37	44	39	26	58	53	41	27	13	0	0	0	0		



Σχήμα 8.40: Μεταβολή στάθμης θορύβου συναρτήσει της απόστασης με χρήση προσομοιώματος Abaqus βάθους μίας διατομής σήραγγας κάτω από το έδαφος και αριθμητικής μεθόδου Excel , με ιδιομορφική απόσβεση 10% και σε κατηγορία εδάφους 3.

Πίνακας 8.40: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus και αριθμητικής μεθοδολογίας Excel

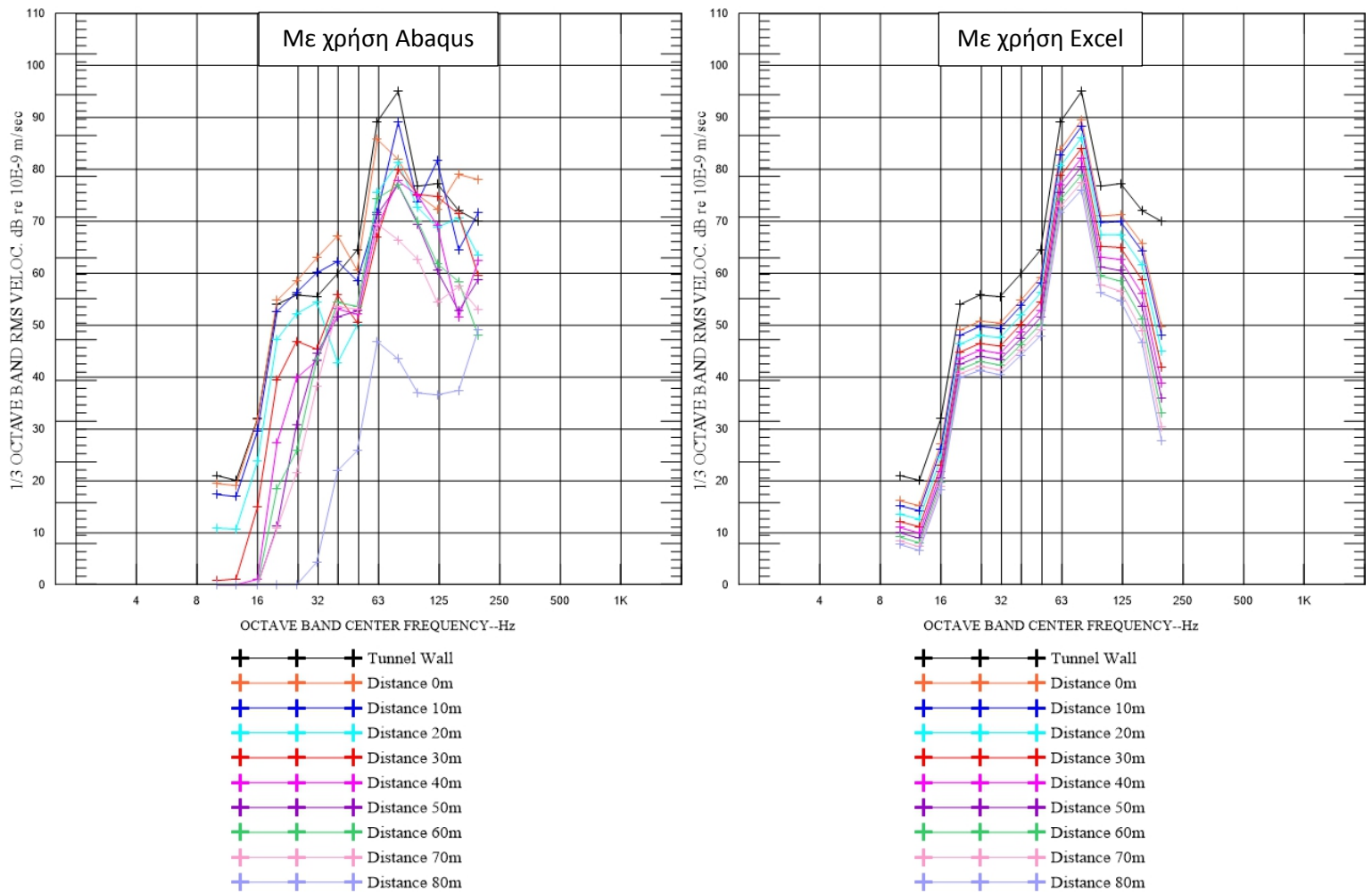
	FREQ	PREDICTED MEASUREMENTS FROM ABAQUS										CALIBRATED MEASUREMENTS FROM EXCEL									
		Tunnel Wall	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	
s o i l t y p e 3	10.00	58	58	37	59	47	57	52	53	55	24	53	52	50	48	46	45	44	43	42	
	12.50	54	44	45	44	48	43	47	40	38	12	49	48	46	44	42	41	40	38	37	
	16.00	67	64	59	41	47	49	50	48	37	12	61	60	58	56	54	52	51	50	48	
	20.00	70	65	63	41	63	59	54	55	50	21	64	63	61	58	56	55	53	51	50	
	25.00	70	59	60	50	61	58	49	50	43	21	64	63	61	58	56	54	52	50	49	
	31.50	72	56	60	42	53	43	43	42	32	8	66	65	62	59	57	55	52	50	48	
	40.00	85	74	73	67	56	52	44	39	44	23	79	77	74	71	68	66	63	60	58	
	50.00	83	77	75	69	58	54	45	39	32	21	76	74	71	67	64	61	58	55	52	
	63.00	85	82	78	74	67	58	52	43	41	12	77	75	71	68	64	60	56	53	49	
	80.00	78	81	82	74	63	51	39	46	46	14	70	68	64	59	54	50	45	41	37	
100.00	76	71	67	49	44	45	24	44	43	10	67	64	60	54	49	43	38	33	27		
125.00	77	71	65	54	44	49	29	48	47	14	67	64	58	52	45	38	32	26	19		
160.00	73	68	63	53	44	49	29	48	47	14	61	58	51	43	35	27	19	11	3		
200.00	77	60	57	48	38	43	23	42	41	8	64	60	52	42	32	22	12	2	0		



Σχήμα 8.41: Μεταβολή στάθμης θορύβου συναρτήσει της απόστασης με χρήση προσομοιώματος Abaqus βάθους μίας διατομής σήραγγας κάτω από το έδαφος και αριθμητικής μεθόδου Excel, με ιδιομορφική απόσβεση 10% και σε κατηγορία εδάφους 4.

Πίνακας 8.41: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοιώματος Abaqus και αριθμητικής μεθοδολογίας Excel

	FREQ	Tunnel Wall	PREDICTED MEASUREMENTS FROM ABAQUS									CALIBRATED MEASUREMENTS FROM EXCEL								
			0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m
s o i l t y p e 4	10.00	39	41	38	33	26	14	0	5	0	0	34	33	31	30	29	28	27	26	25
	12.50	44	47	45	41	36	27	9	11	6	0	39	38	37	35	34	33	32	31	30
	16.00	55	58	55	49	44	42	38	38	33	0	49	48	47	45	44	43	41	41	40
	20.00	58	57	54	56	52	51	50	51	51	19	53	52	50	49	47	46	45	44	43
	25.00	50	65	60	48	48	48	49	44	48	19	45	44	42	40	39	38	36	35	34
	31.50	51	55	53	38	39	48	46	49	41	20	46	45	43	41	39	38	36	35	34
	40.00	81	76	69	66	61	62	65	64	55	34	76	74	72	70	68	67	65	64	63
	50.00	83	66	76	62	71	67	62	66	58	26	77	76	74	72	70	68	66	65	63
	63.00	83	70	70	63	78	72	65	66	58	38	77	76	73	71	69	67	65	63	61
	80.00	85	76	74	72	76	63	55	60	57	33	79	77	75	72	69	67	65	63	61
100.00	80	81	79	64	61	56	54	49	49	28	74	72	69	66	63	61	58	56	53	
125.00	79	76	77	73	63	54	49	42	35	23	72	71	67	64	61	58	55	52	49	
160.00	78	74	70	69	63	54	46	38	32	7	71	69	65	61	57	53	50	46	43	
200.00	72	68	71	69	50	45	36	49	46	20	63	61	57	52	48	43	39	34	30	

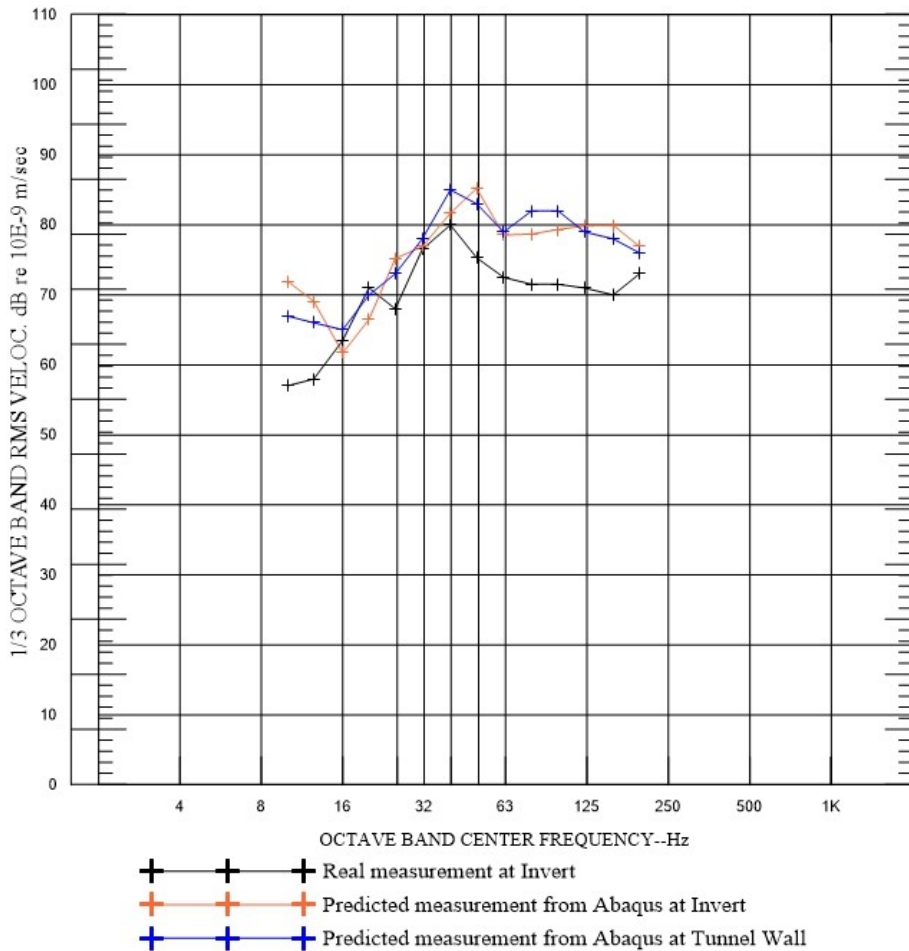


Σχήμα 8.42: Μεταβολή στάθμης θορύβου συναρτήσει της απόστασης με χρήση προσομοίωσης Abaqus βάθους μίας διατομής σήραγγας κάτω από το έδαφος και αριθμητικής μεθόδου Excel, με ιδιομορφική απόσβεση 10% και σε κατηγορία εδάφους 5.

Πίνακας 8.42: Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοίωσης Abaqus και αριθμητικής μεθοδολογίας Excel

	FREQ	PREDICTED MEASUREMENTS FROM ABAQUS										CALIBRATED MEASUREMENTS FROM EXCEL									
		Tunnel Wall	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	
s o i l t y p e 5	10.00	21	20	17	11	1	0	0	0	0	0	16	15	14	12	11	10	9	8	8	
	12.50	20	19	17	11	1	0	0	0	0	15	14	13	11	10	9	8	7	7	7	
	16.00	32	32	30	24	15	1	0	0	0	27	26	24	23	22	21	20	19	18	18	
	20.00	54	55	53	47	39	27	11	19	11	0	49	48	46	45	44	43	42	41	40	
	25.00	56	59	56	52	47	40	31	26	22	0	51	50	48	46	45	44	43	42	41	
	31.50	55	63	60	54	45	43	45	43	38	4	50	49	48	46	45	43	42	41	40	
	40.00	60	67	62	43	56	53	52	54	54	22	55	54	52	50	49	47	46	45	44	
	50.00	64	61	59	50	50	52	53	54	53	26	59	58	56	54	53	51	50	49	48	
	63.00	89	86	72	76	67	69	71	74	69	47	84	83	81	79	77	76	74	73	72	
	80.00	95	82	89	81	80	78	77	77	66	43	89	88	86	84	82	80	79	77	76	
100.00	77	75	74	73	75	75	69	70	63	37	71	70	67	65	63	61	59	58	56		
125.00	77	72	82	69	75	69	61	62	54	37	71	70	67	65	63	61	58	57	55		
160.00	72	79	65	71	71	52	53	58	57	37	66	64	62	59	56	54	51	49	47		
200.00	70	78	72	63	60	62	59	48	53	49	50	48	45	42	39	36	33	30	28		

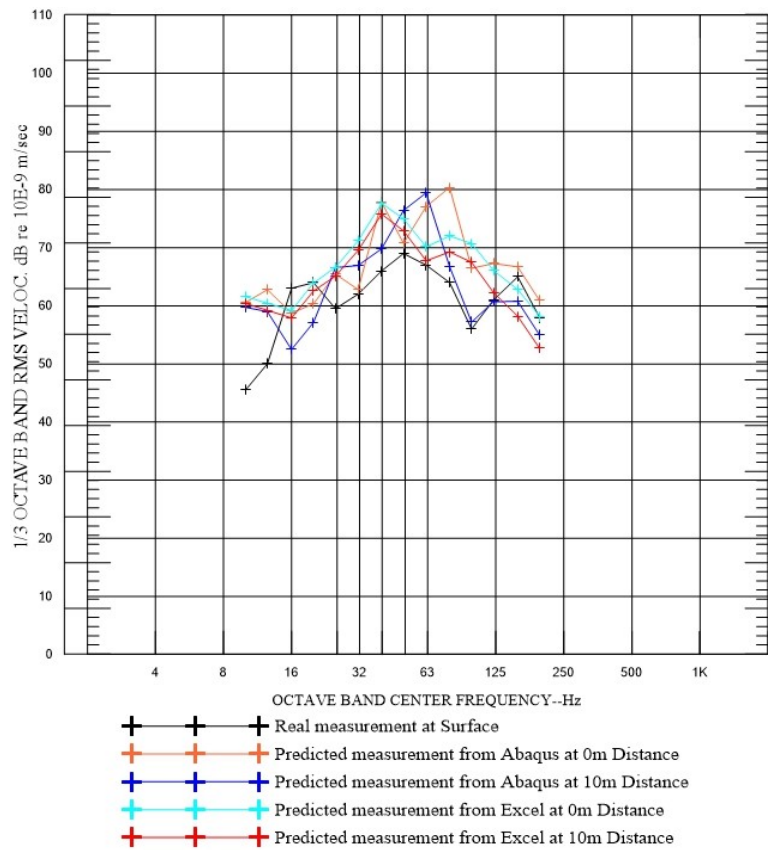
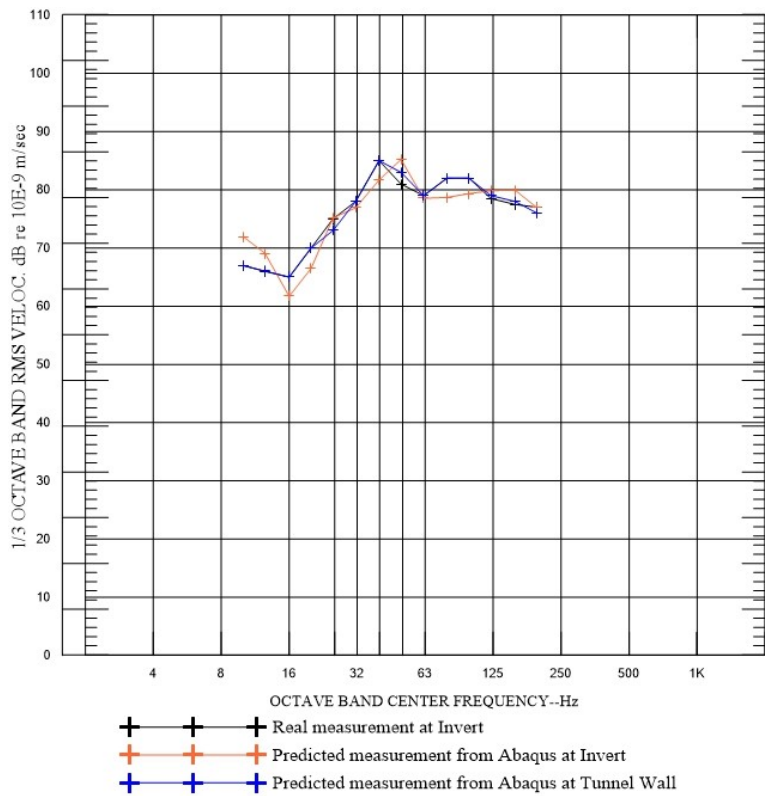
Τα ακόλουθα διαγράμματα και πίνακες προέρχονται από τα προσομοιώματα του λογισμικού Abaqus, από την αριθμητική μεθοδολογία του Excel και από πραγματικές επί τόπου μετρήσεις που έχουν διεξαχθεί, και παρατίθενται με μοναδικό στόχο την αξιολόγηση της πρόβλεψης των αποτελεσμάτων που εκπίπτουν από τις δύο μεθοδολογίες σε σχέση με τα πραγματικά αποτελέσματα.



Πίνακας 8.43: Αριθμητικά αποτελέσματα πραγματικών μετρήσεων και προσομοιώματος Abaqus

ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ	Πρόβλεψη από ABAQUS	
	invert	invert	tunnelwall
10.00	57	72	67
12.50	58	69	66
16.00	63.5	62	65
20	71	66	70
25	68	75	73
31.5	76.5	77	78
40	80	82	85
50	75.3	85	83
63	72.5	79	79
80	71.5	79	82
100	71.5	79	82
125	71	80	79
160	70	80	78
200	73	77	76
dBA	42.4	47.5	48.6

Σχήμα 8.43: Σύγκριση πραγματικών μετρήσεων που διεξάχθηκαν στην περιοχή της Πανόρμου με τα αποτελέσματα που εκπίπτουν από τα προσομοιώματα του Abaqus. Χρησιμοποιηθέν προσομοίωμα Abaqus σήραγγα σε βάθος δυο διαμέτρους σήραγγας κάτω από το έδαφος, το έδαφος στην περιοχή μελέτης είναι κατηγορίας 2 με ιδιομορφική απόσβεση 10%.

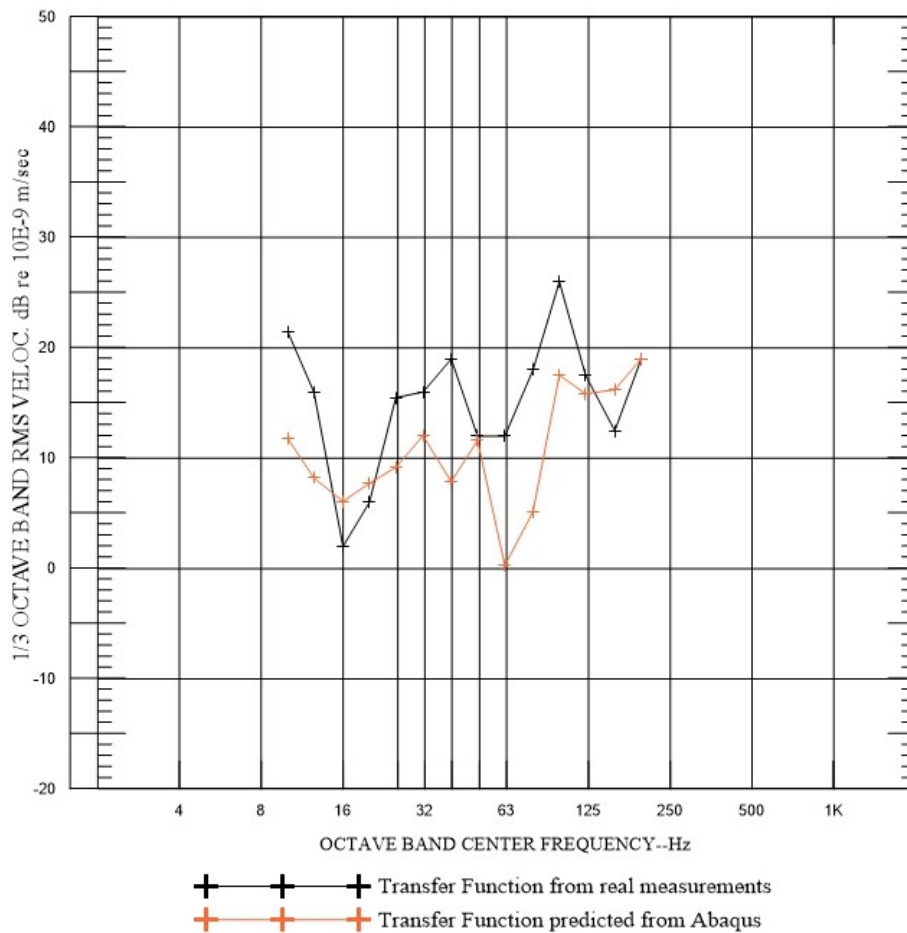


Σχήμα 8.44: Σύγκριση πραγματικών μετρήσεων που διεξάχθηκαν στην περιοχή της Βλαχοθανάση με τα αποτελέσματα που εκπίπτουν από τα προσομοιώματα του Abaqus και την αριθμητική μεθοδολογία του Excel. Χρησιμοποιηθέν προσομοίωμα Abaqus σήραγγα σε βάθος μίας διαμέτρου σήραγγας κάτω από το έδαφος, το έδαφος στην περιοχή μελέτης είναι κατηγορίας 2 με ιδιομορφική απόσβεση 10%.

Πίνακας 8.44: Αριθμητικά αποτελέσματα πραγματικών μετρήσεων προσομοιώματος Abaqus και αριθμητικής μεθοδολογίας Excel

ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ	Πρόβλεψη από ABAQUS	
	invert	invert	tunnelwall
10.00	67	72	67
12.50	66	69	66
16.00	65	62	65
20	70	66	70
25	75	75	73
31.5	78	77	78
40	85	82	85
50	81	85	83
63	79	79	79
80	82	79	82
100	82	79	82
125	78.5	80	79
160	77.5	80	78
200	77	77	76
dB A	48.7	47.5	48.6

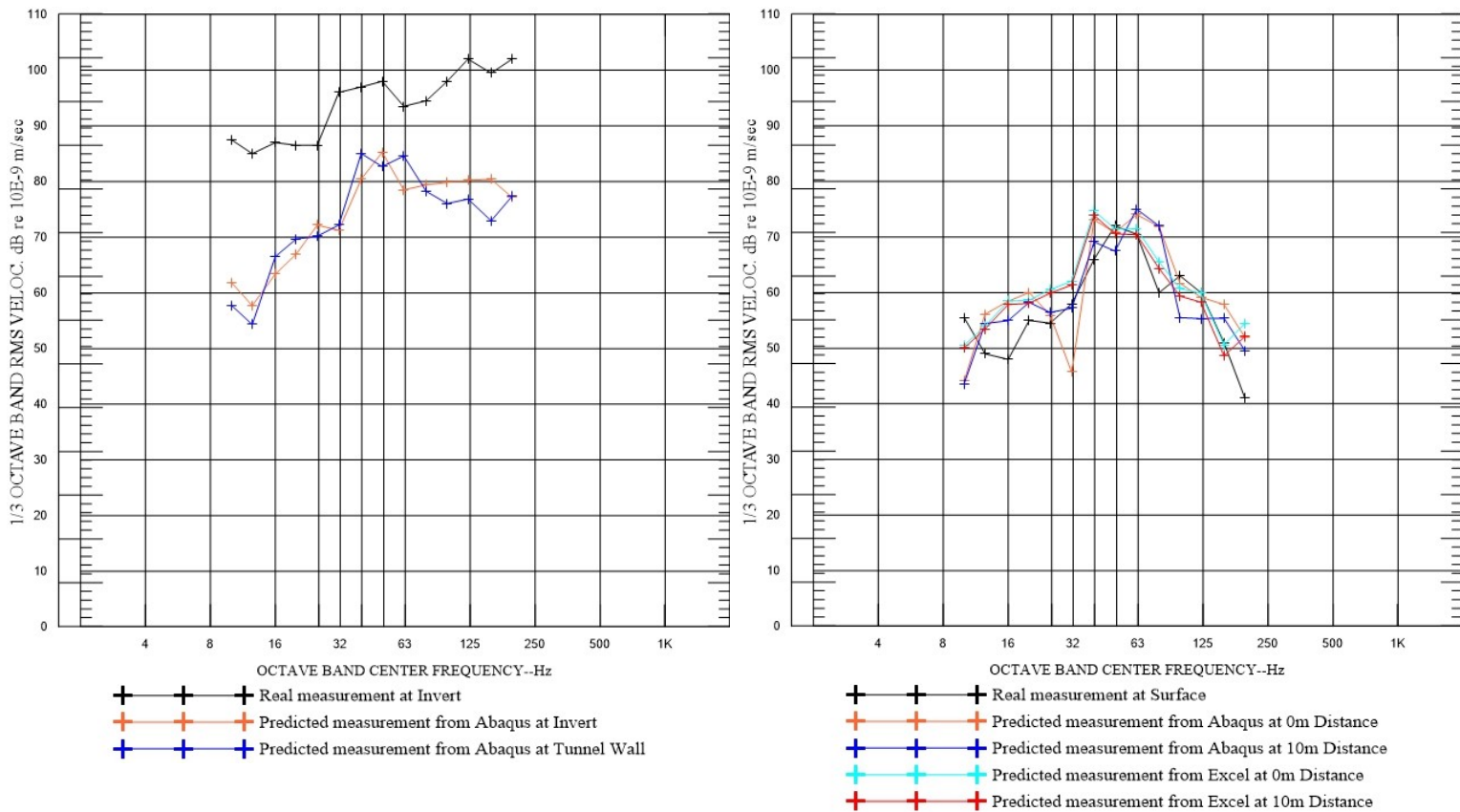
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ	Πρόβλεψη από ABAQUS		Πρόβλεψη από Excel	
	Επιφάνεια	0m	10m	0m	10m
10.00	45.5	61	60	62	60
12.50	50	63	59	60	59
16.00	63	59	52	59	58
20	64	60	57	64	63
25	59.5	65	67	67	65
31.5	62	63	67	71	70
40	66	78	70	78	76
50	69	71	76	75	73
63	67	77	79	70	68
80	64	80	67	72	69
100	56	66	57	71	67
125	61	67	61	66	62
160	65	67	61	63	58
200	58	61	55	58	53
dB A	32.3	38.7	34.0	35.4	32.0



Σχήμα 8.45: Σύγκριση μετρημένης συνάρτησης μεταφοράς πραγματικών μετρήσεων και αποτελεσμάτων που εκπίπτουν από τα προσομοιώματα του Abaqus, το έδαφος στην περιοχή μελέτης είναι κατηγορίας 2 με ιδιομορφική απόσβεση 10%.

Πίνακας 8.45: Αριθμητικά αποτελέσματα πραγματικών μετρήσεων και προσομοιώματος Abaqus

ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	transfer function	
	Πραγματικές μετρήσεις	Abaqus
10	21.5	11.8
12.5	16.0	8.2
16	2.0	6.1
20	6.0	7.7
25	15.5	9.2
31.5	16.0	12.0
40	19.0	7.9
50	12.0	11.6
63	12.0	0.3
80	18.0	5.1
100	26.0	17.5
125	17.5	15.8
160	12.5	16.2
200	19.0	19.0

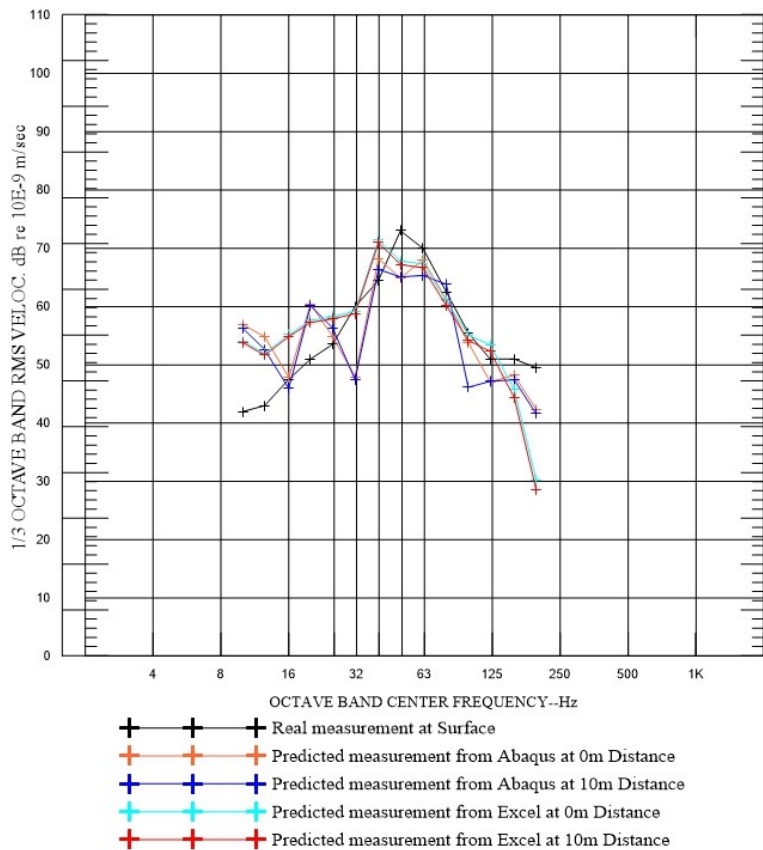
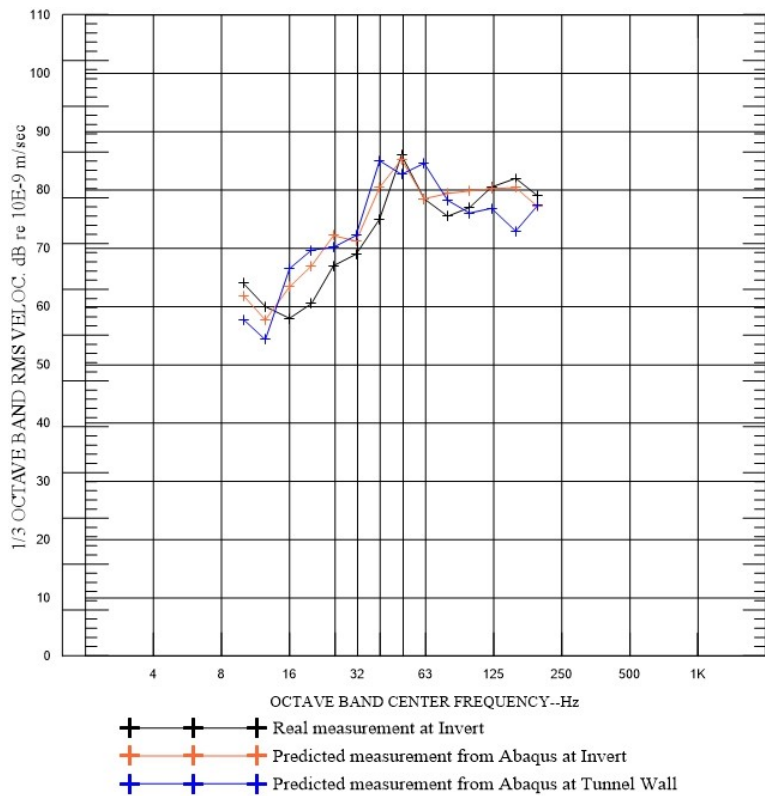


Σχήμα 8.46: Σύγκριση πραγματικών μετρήσεων που διεξάχθηκαν στην περιοχή του ιδρύματος Ουράνη με τα αποτελέσματα που εκπίπτουν από τα προσομοιώματα του Abaqus και την αριθμητική μεθοδολογία του Excel. Χρησιμοποιηθέν προσομοίωμα Abaqus σήραγγα σε βάθος δύο διαμέτρους σήραγγας κάτω από το έδαφος, το έδαφος στην περιοχή μελέτης είναι κατηγορίας 3 με ιδιομορφική απόσβεση 10%.

Πίνακας 8.46: Αριθμητικά αποτελέσματα πραγματικών μετρήσεων προσομοιώματος Abaqus και αριθμητικής

ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ	Πρόβλεψη από ABAQUS	
	invert	invert	tunnelwall
10.00	87.5	62	58
12.50	85	58	54
16.00	87	63	67
20	86.5	67	70
25	86.5	72	70
31.5	96	71	72
40	97	80	85
50	98	85	83
63	93.5	78	85
80	94.5	79	78
100	98	80	76
125	102	80	77
160	99.5	80	73
200	102	77	77
dBA	71.4	47.9	47.2

ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ	Πρόβλεψη από ABAQUS		Πρόβλεψη από Excel	
	Επιφάνεια	0m	10m	0m	10m
10.00	55.5	44	44	51	50
12.50	49	56	54	54	53
16.00	48	58	55	58	58
20	55	60	58	59	58
25	54.5	56	56	61	60
31.5	58	46	57	62	61
40	66	73	69	75	74
50	72	71	67	71	71
63	70.5	74	75	71	70
80	60	72	72	66	64
100	63	62	56	61	59
125	60	59	55	60	58
160	51	58	55	51	49
200	41	52	50	54	52
dBA	28.2	31.9	31.2	29.6	28.2

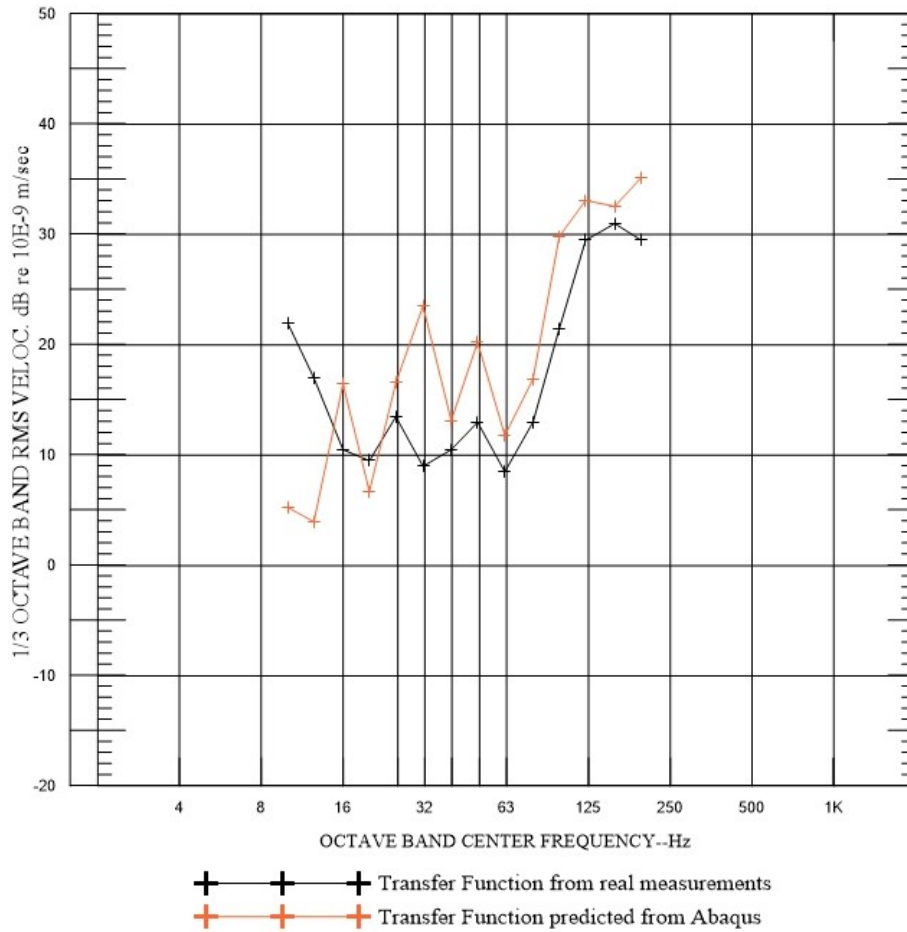


Σχήμα 8.47: Σύγκριση πραγματικών μετρήσεων που διεξάχθηκαν στην οδό Σανταρόζας με τα αποτελέσματα που εκπίπτουν από τα προσομοιώματα του Abaqus και την αριθμητική μεθοδολογία του Excel. Χρησιμοποιηθέν προσομοίωμα Abaqus σήραγγα σε βάθος τρεις διαμέτρους σήραγγας κάτω από το έδαφος, το έδαφος στην περιοχή μελέτης είναι κατηγορίας 3 με ιδιομορφική απόσβεση 10%.

Πίνακας 8.47: Αριθμητικά αποτελέσματα πραγματικών μετρήσεων προσομοιώματος Abaqus και αριθμητικής μεθοδολογίας

ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ	Πρόβλεψη από ABAQUS	
	invert	invert	tunnelwall
10.0	64.0	62	58
12.5	60.0	58	54
16.0	58.0	63	67
20.0	60.5	67	70
25.0	67.0	72	70
31.5	69.0	71	72
40.0	75.0	80	85
50.0	86.0	85	83
63.0	78.5	78	85
80.0	75.5	79	78
100.0	77.0	80	76
125.0	80.5	80	77
160.0	82.0	80	73
200.0	79.0	77	77
dBA	50.5	47.9	47.2

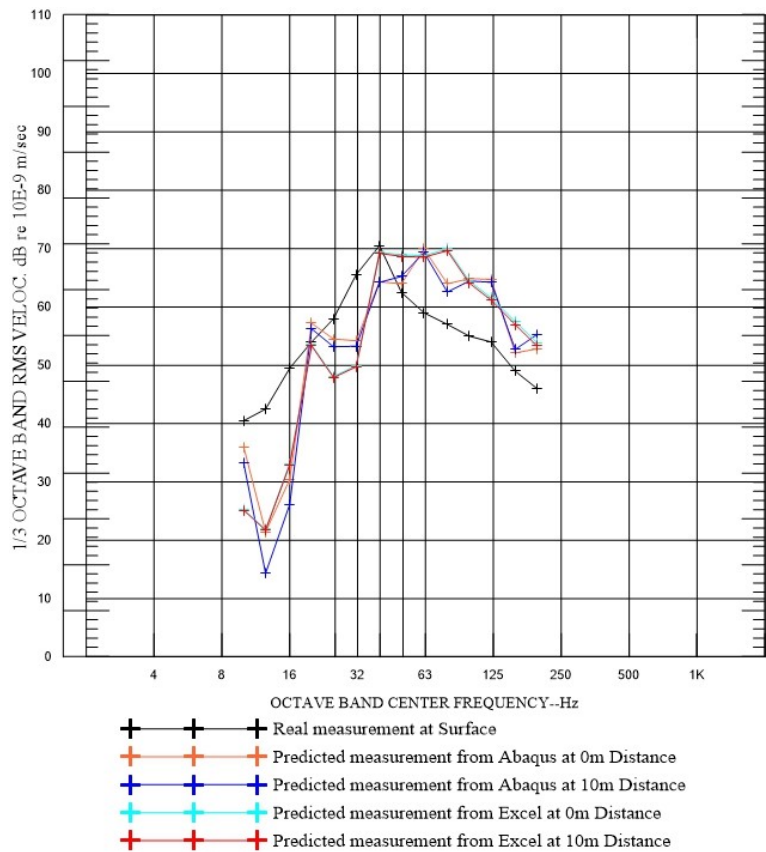
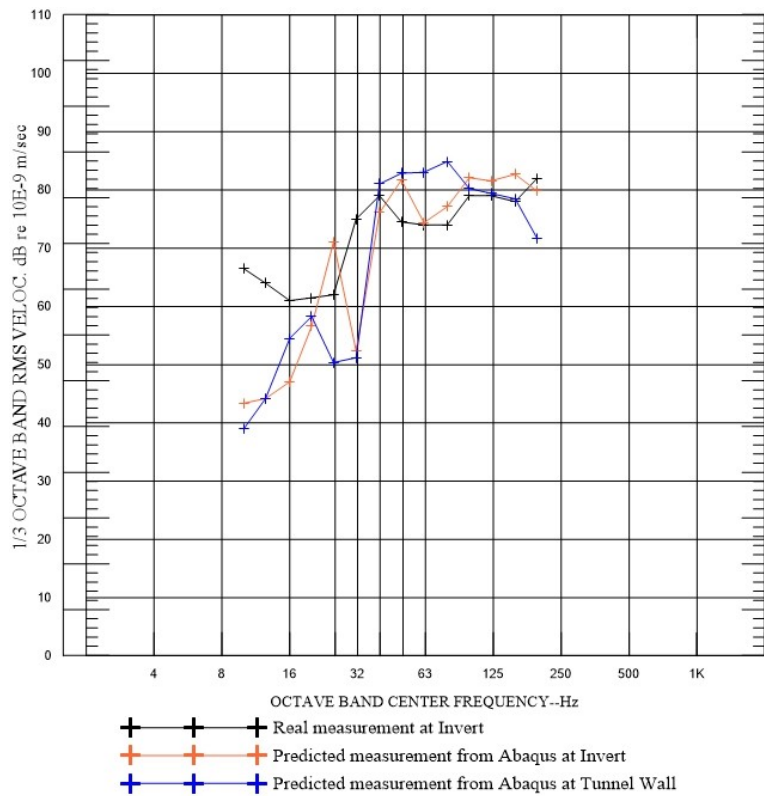
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ	Πρόβλεψη από ABAQUS		Πρόβλεψη από Excel	
	Επιφάνεια	0m	10m	0m	10m
10.00	42	57	56	54	54
12.50	43	55	53	52	52
16.00	47.5	48	46	55	55
20	51	60	60	58	57
25	53.5	55	56	58	58
31.5	60	48	47	59	59
40	64.5	68	66	71	71
50	73	65	65	68	67
63	70	68	65	67	67
80	62.5	61	64	61	60
100	55.5	54	46	55	54
125	51	47	47	53	52
160	51	48	47	46	44
200	49.5	42	42	30	29
dBA	26.8	23.7	23.2	24.3	23.6



Σχήμα 8.48: Σύγκριση μετρημένης συνάρτησης μεταφοράς πραγματικών μετρήσεων και αποτελεσμάτων που εκπίπτουν από τα προσομοιώματα του Abaqus, το έδαφος στην περιοχή μελέτης είναι κατηγορίας 3 με ιδιομορφική απόσβεση 10%.

Πίνακας 8.48: Αριθμητικά αποτελέσματα πραγματικών μετρήσεων και προσομοιώματος Abaqus

ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	transfer function	
	Πραγματικές μετρήσεις	Abaqus
10	22.0	5.3
12.5	17.0	4.0
16	10.5	16.5
20	9.5	6.7
25	13.5	16.6
31.5	9.0	23.5
40	10.5	13.2
50	13.0	20.2
63	8.5	11.8
80	13.0	16.9
100	21.5	29.9
125	29.5	33.1
160	31.0	32.6
200	29.5	35.2

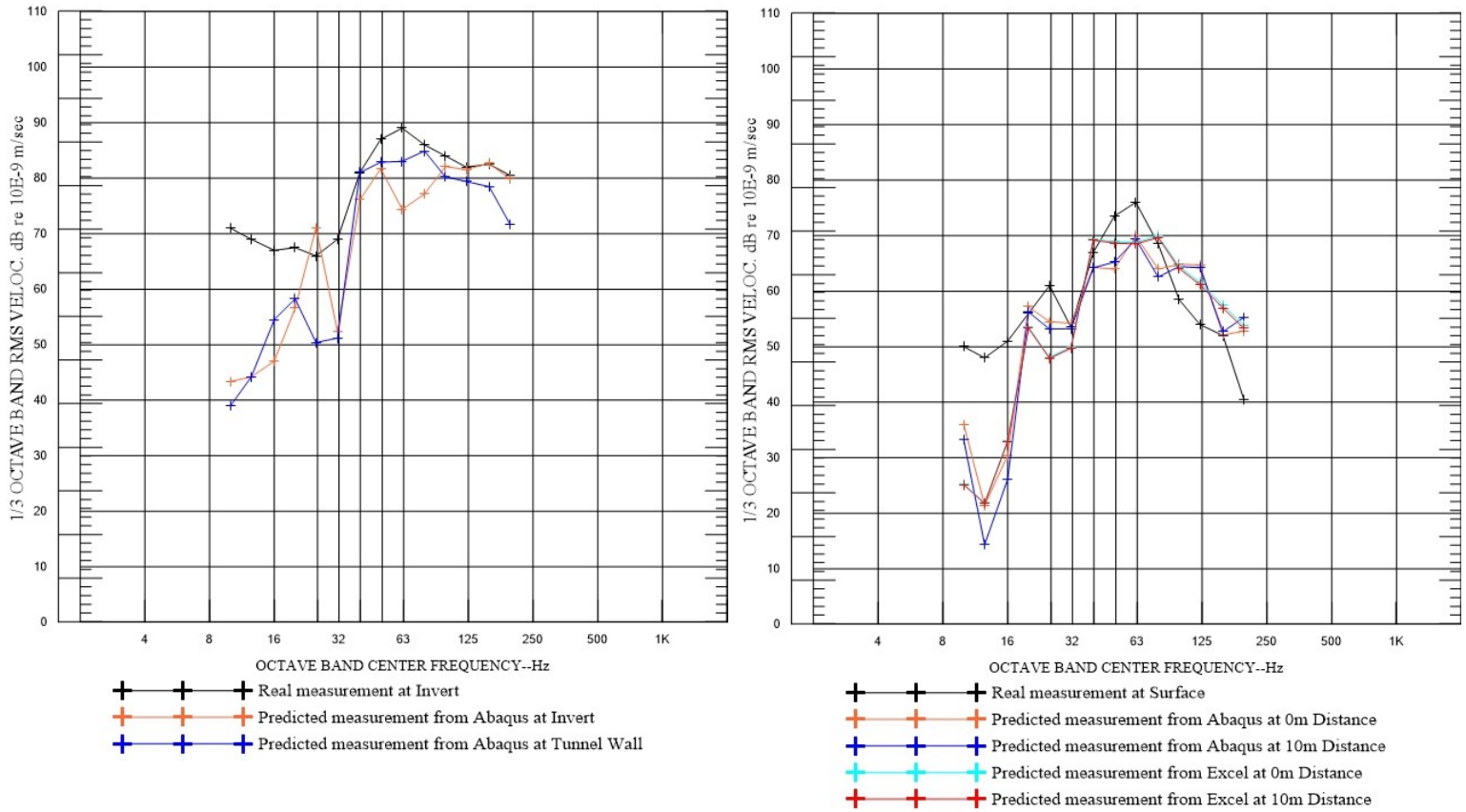


Σχήμα 8.49: Σύγκριση πραγματικών μετρήσεων που διεξάχθηκαν στην οδό Σούτσου με τα αποτελέσματα που εκπίπτουν από τα προσομοιώματα του Abaqus και την αριθμητική μεθοδολογία του Excel. Χρησιμοποιηθέν προσομοίωμα Abaqus σήραγγα σε βάθος τέσσερις διαμέτρους σήραγγας κάτω από το έδαφος, το έδαφος στην περιοχή μελέτης είναι κατηγορίας 4 με ιδιομορφική απόσβεση 10%.

Πίνακας 8.49: Αριθμητικά αποτελέσματα πραγματικών μετρήσεων προσομοιώματος Abaqus και αριθμητικής μεθοδολογίας

ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ	Πρόβλεψη από ABAQUS	
	invert	invert	tunnelwall
10.00	66.5	43	39
12.50	64	44	44
16.00	61	47	55
20	61.5	57	58
25	62	71	50
31.5	75	52	51
40	79	76	81
50	74.5	82	83
63	74	74	83
80	74	77	85
100	79	82	80
125	79	82	79
160	78	83	78
200	82	80	72
dB A	50.8	49.6	48.1

ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ	Πρόβλεψη από ABAQUS		Πρόβλεψη από Excel	
	Επιφάνεια	0m	10m	0m	10m
10.00	40.5	36	33	25	25
12.50	42.5	21	14	22	22
16.00	49.5	30	26	33	33
20	54	57	56	54	53
25	58	55	53	48	48
31.5	65.5	54	53	50	50
40	70.5	64	64	69	69
50	62.5	64	65	69	69
63	59	70	69	69	69
80	57	64	63	70	70
100	55	65	64	64	64
125	54	65	64	62	61
160	49	52	53	57	57
200	46	53	55	54	53
dB A	22.5	30.4	30.3	31.0	30.6

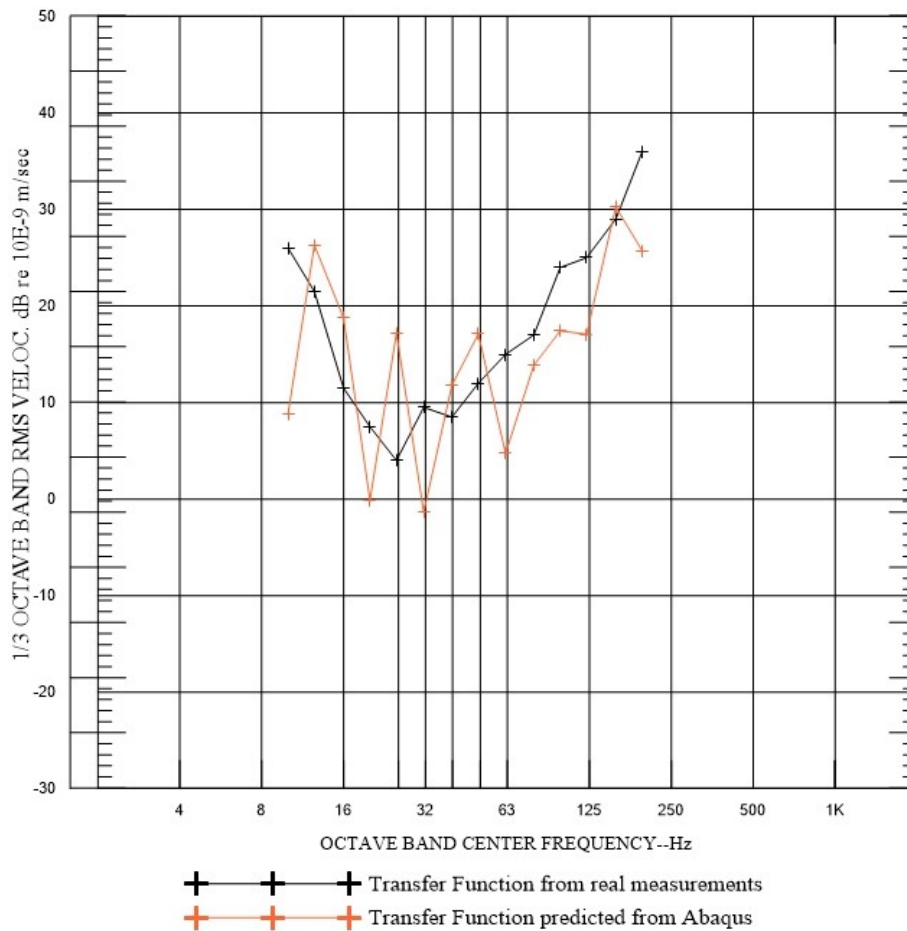


Σχήμα 8.50: Σύγκριση πραγματικών μετρήσεων που διεξάχθηκαν στην οδό Αμαλίας με τα αποτελέσματα που εκπίπτουν από τα προσομοιώματα του ABAQUS και την αριθμητική μεθοδολογία του Excel. Χρησιμοποιηθέν προσομοίωμα ABAQUS σήραγγα σε βάθος τέσσερις διαμέτρους σήραγγας κάτω από το έδαφος, το έδαφος στην περιοχή μελέτης είναι κατηγορίας 4 με ιδιομορφική απόσβεση 10%.

Πίνακας 8.50: Αριθμητικά αποτελέσματα πραγματικών μετρήσεων προσομοιώματος ABAQUS και αριθμητικής μεθοδολογίας

ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ	Πρόβλεψη από ABAQUS	
	invert	invert	tunnelwall
10.00	71	43	39
12.50	69	44	44
16.00	67	47	55
20	67.5	57	58
25	66	71	50
31.5	69	52	51
40	81	76	81
50	87	82	83
63	89	74	83
80	86	77	85
100	84	82	80
125	82	82	79
160	82.5	83	78
200	80.5	80	72
dBA	52.6	49.6	48.1

ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ	Πρόβλεψη από ABAQUS		Πρόβλεψη από Excel	
	Επιφάνεια	0m	10m	0m	10m
10.00	50	36	33	25	25
12.50	48	21	14	22	22
16.00	51	30	26	33	33
20	56	57	56	54	53
25	61	55	53	48	48
31.5	53.5	54	53	50	50
40	67	64	64	69	69
50	73.5	64	65	69	69
63	76	70	69	69	69
80	68.5	64	63	70	70
100	58.5	65	64	64	64
125	54	65	64	62	61
160	52	52	53	57	57
200	40.5	53	55	54	53
dBA	30.6	30.4	30.3	31.0	30.6



Σχήμα 8.51: Σύγκριση μετρημένης συνάρτησης μεταφοράς πραγματικών μετρήσεων και αποτελεσμάτων που εκπίπτουν από τα προσομοιώματα του Abaqus, το έδαφος στην περιοχή μελέτης είναι κατηγορίας 4 με ιδιομορφική απόσβεση 10%.

Πίνακας 8.51: Αριθμητικά αποτελέσματα πραγματικών μετρήσεων και προσομοιώματος Abaqus

ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	transfer function	
	Πραγματικές μετρήσεις	Abaqus
10	26.0	8.8
12.5	21.5	26.3
16	11.5	18.8
20	7.5	-0.1
25	4.0	17.2
31.5	9.5	-1.4
40	8.5	11.8
50	12.0	17.1
63	15.0	4.7
80	17.0	13.9
100	24.0	17.4
125	25.0	17.1
160	29.0	30.3
200	36.0	25.7

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μετά από διεξοδική και προσεκτική διερεύνηση των αποτελεσμάτων προέκυψαν τα συμπεράσματα που παρατίθενται ακολούθως:

Ειδικά συμπεράσματα

- Όσο αυξάνεται το μέτρο ελαστικότητας του εδάφους αυξάνεται ο παραγόμενος θόρυβος στην επιφάνεια του εδάφους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι όσο πυκνότερη είναι η εδαφική στρώση, και κατά συνέπεια όσο πιο μεγάλο είναι το μέτρο ελαστικότητας, διευκολύνεται η διάδοση των υψίσυχων σημάτων τα οποία συμμετέχουν με μεγαλύτερο συντελεστή στον συνολικό θόρυβο και δυσχεραίνεται η διάδοση των βραχύσυχων σημάτων.
- Όπως ήταν εξαρχής αναμενόμενο ο θόρυβος στην ελεύθερη επιφάνεια φθίνει με την απόσταση. Παρόμοια συμπεριφορά παρατηρείται και με την αύξηση του βάθους, όσο δηλαδή αυξάνεται το βάθος μειώνεται ο θόρυβος στην ελεύθερη επιφάνεια.
- Σύμφωνα με τα ανωτέρω αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ιδιομορφική απόσβεση τόσο χαμηλότερα είναι τα επίπεδα συνολικού θορύβου στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους, συμπέρασμα το οποίο είναι και αναμενόμενο. Περαιτέρω παρατηρείται πως τα υψίσυχνα σήματα αποσβένουν με μεγαλύτερο ρυθμό από ότι τα βραχύσυχνα σήματα.
- Το επίπεδο θορύβου στο τοίχωμα (tunnel wall) καθώς και στο κατώτερο σημείο της σήραγγας (invert) φαίνεται να μην επηρεάζεται από παραμέτρους όπως είναι για παράδειγμα το βάθος καθώς επίσης και η κατηγορία εδάφους.

Γενικά συμπεράσματα

- Η Γεωμετρική απόσβεση (αριθμητική μεθοδολογία του Excel) προβλέπει με αρκετή ακρίβεια το συνολικό επίπεδο θορύβου στην ελεύθερη επιφάνεια, αλλά φαίνεται πως δεν προβλέπει με εξίσου ίδια ακρίβεια τις τιμές των ταχυτήτων και του επιμέρους παραγόμενους θορύβους ανά συχνότητα. Επίσης, τα αποτελέσματα διέπονται από μια κανονικότητά η οποία δεν παρατηρείται στην φύση.
- Τα προσομοιώματα του λογισμικού προγράμματος Abaqus προβλέπουν με αρκετά μεγάλη ακρίβεια τόσο τις επιμέρους ταχύτητες ανά συχνότητα, όσο και το συνολικό επίπεδο θορύβου και στην ελεύθερη επιφάνεια αλλά και στα μέσα στην σήραγγα.
- Η χρήση μη πεπερασμένων στοιχείων ως συνοριακή συνθήκη κρίθηκε ως μη αποτελεσματική μιας και δεν προσφέρει πλευρική υποστήριξη στα προσομοιώματα και έτσι οι δρώσες ιδιομορφικές μάζες τείνουν στο μηδέν.
- Οι διαστάσεις του προσομοιώματος δεν επηρεάζουν την αξιοπιστία του. Τα ίδια προσομοιώματα έτρεξαν και για μικρότερο πλάτος αλλά έδωσαν τα ίδια αποτελέσματα.
- Η πυκνότητα του δικτύου των πεπερασμένων στοιχείων επηρεάζει σημαντικά την ακρίβεια και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων μέχρι ένα σημείο. Μετά

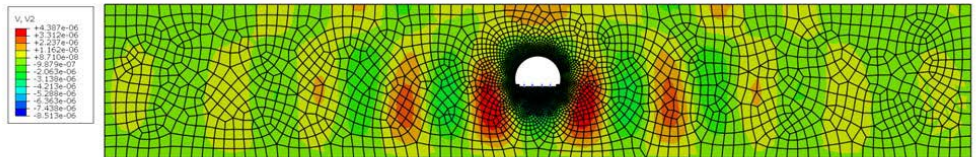
από αυτό το σημείο η ακρίβεια που προσφέρει είναι περιττή και ο χρόνος εκτέλεσης της διεξαγωγής των αποτελεσμάτων αυξάνεται.

- Η βαθμονόμηση των προσομοιωμάτων έγινε με τα αποτελέσματα του τοιχώματος της σήραγγας διότι αποδείχθηκαν ως πιο ρεαλιστικά από ότι τα αποτελέσματα του κατώτερου σημείου της σήραγγας.

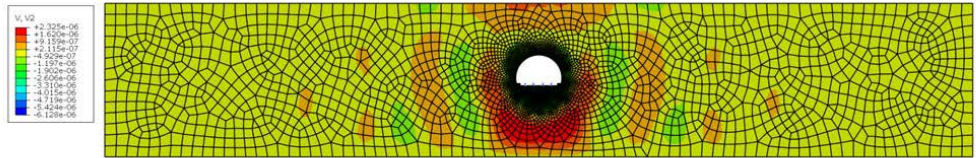
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Harris P. Mouzakis and Vasileios K. Dertimanis, Experimental Earthquake Engineering, Athens 2011
2. Βογιατζής Κωνσταντίνος, Περιβαλλοντική τεχνική & θεσμικό πλαίσιο εφαρμογής, εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 2010
3. Νεκτάριος Παπαδογιάννης και Ευθύμιος Μπακαρέζος, Κυματική Φυσική για μηχανικούς ήχου και ακουσική, 2015
4. Patrick Vanhonoracker, Τεχνικά Χρονικά «αερομεταφερόμενος και εδαφομεταφερόμενος θόρυβος από τη λειτουργία συστημάτων LRT σε αστικές περιοχές», Μάρτιος-Απρίλιος 2005
5. Γιάννης Ν. Ψυχάρης, Σημειώσεις για το μάθημα αντισεισμικής τεχνολογίας, Αθήνα 2016
6. Μαρία Α. Κυνηγού, Διπλωματική εργασία «Στατική και δυναμική ανάλυση του ιερού ναού της πανάγιας παρηγορήτισσας Άρτας», Αθήνα 2015
7. Κωστάκης Ιωάννης, Διπλωματική εργασία «Οι προτιμήσεις των καταναλωτών ως προς τα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς», Αθήνα 2010
8. ΟΛΓΑ ΠΑΠΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ, Διπλωματική εργασία «Διερεύνηση εγγραφής φορέων και περιτυπώματος οχημάτων αστικών σιδηροδρόμων σε θέσεις μεγάλης οριζοντιογραφικής καμπυλότητας», Αθήνα 2018
9. Abaqus/CAE User's Guide 6.14
10. ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ ΣΤΟΓΙΑΝΝΟΥ, Διπλωματική εργασία «Τεχνικές Μείωσης ιδηροδρομικού Θορύβου», Αθήνα 2014
11. Σπυρίδων Αλέξανδρος Κορμανιώτης, Διπλωματική εργασία «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ», Αθήνα 2012
12. Snow D. J., Report on Low frequency noise and vibrations measurements at a modern wind farm, United Kingdom 1997
13. Χούσος, Χαράλαμπος Γ., Διπλωματική εργασία «Συμβολή Ηχοαπορροφητικών Ηχοπετασμάτων Αστικών Σιδηροδρόμων στην Πολεοδομική Ηχοπροστασία», Αθήνα 2013
14. <https://www.wikipedia.org>

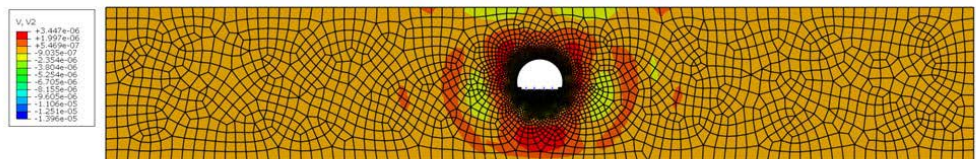
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΜΕ ΒΑΘΟΣ ΜΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ
ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ 1



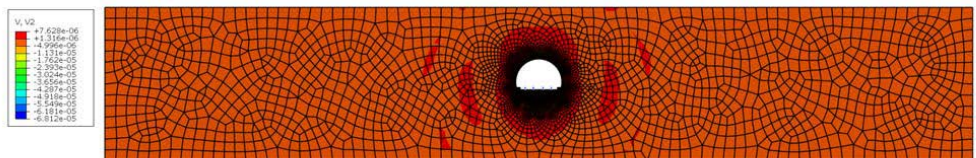
10Hz



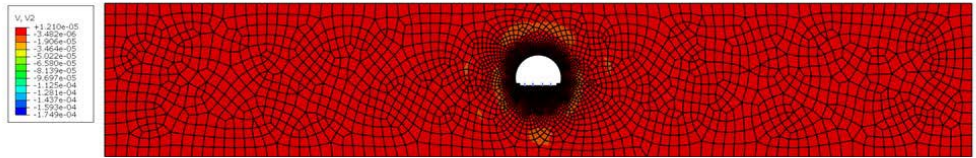
12,5Hz



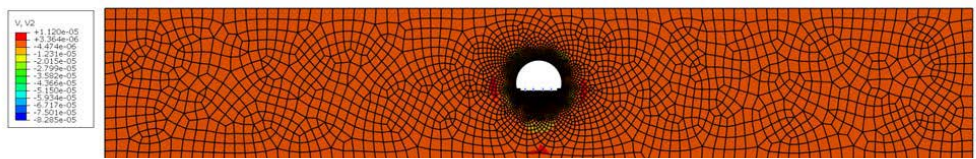
16Hz



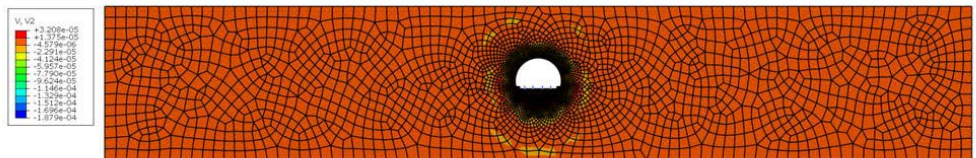
20Hz



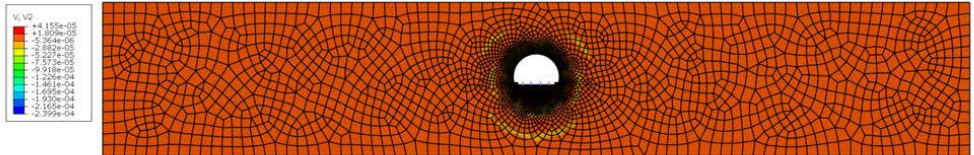
25Hz



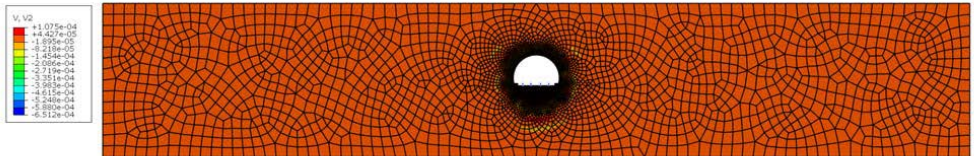
31,5Hz



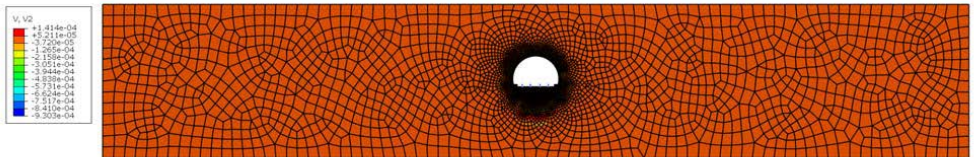
40Hz



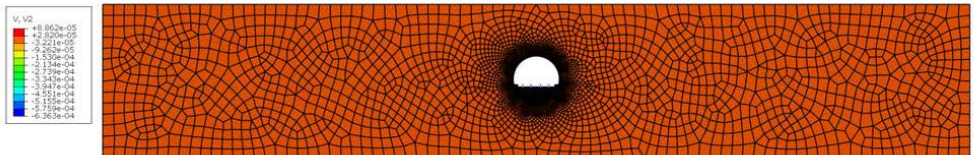
50Hz



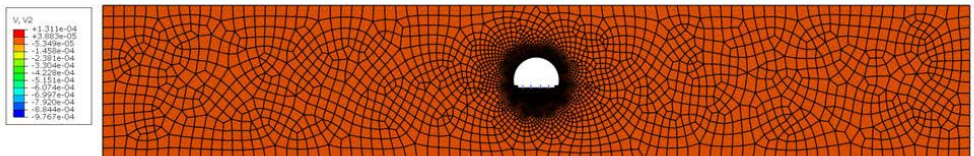
63Hz



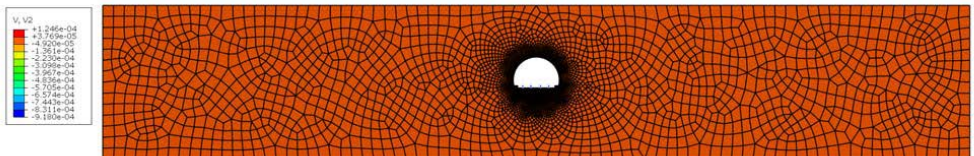
80Hz



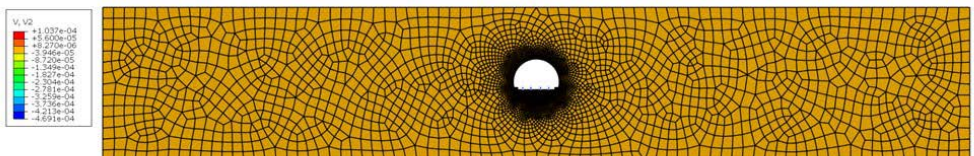
100Hz



125Hz

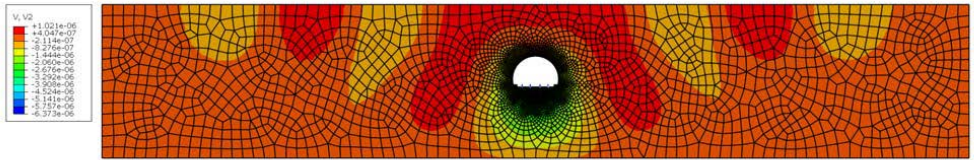


160Hz

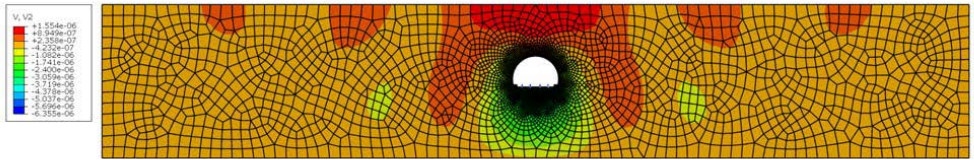


200Hz

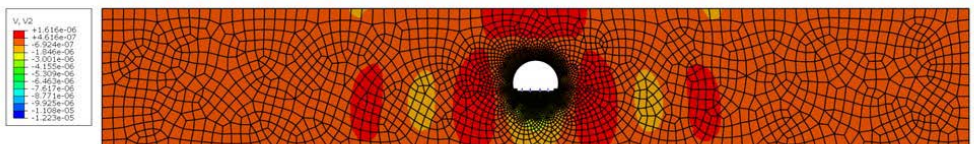
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΜΕ ΒΑΘΟΣ ΜΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ
ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ 2



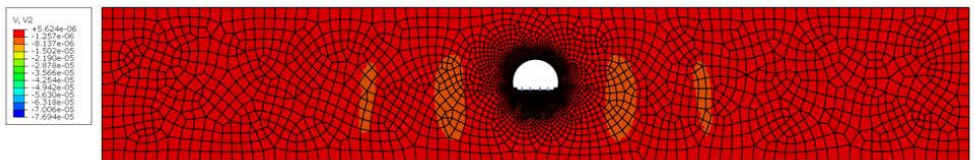
10Hz



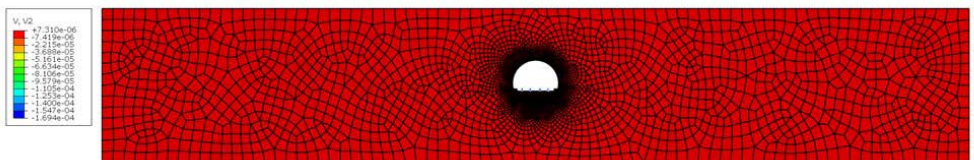
12,5Hz



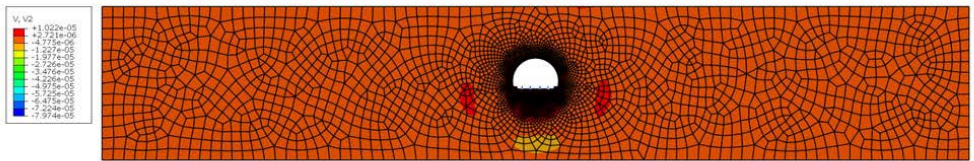
16Hz



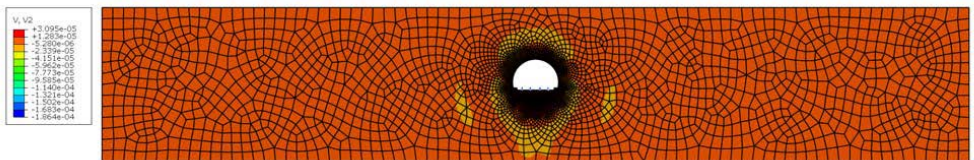
20Hz



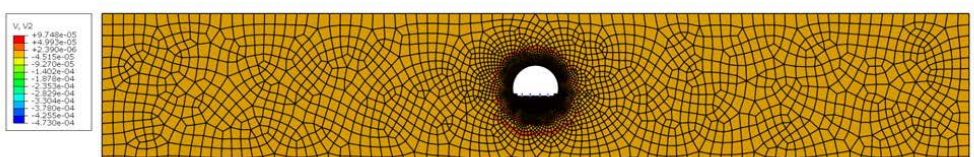
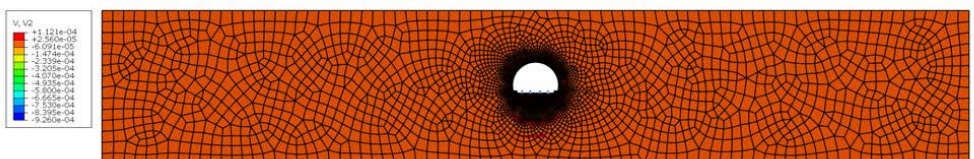
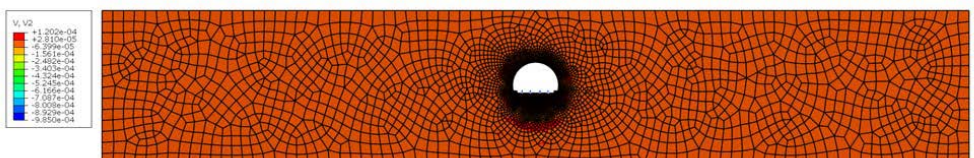
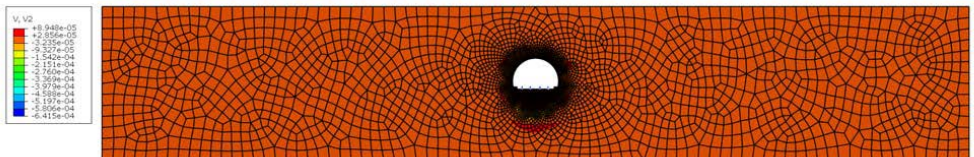
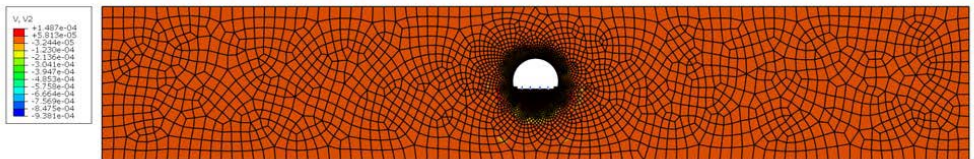
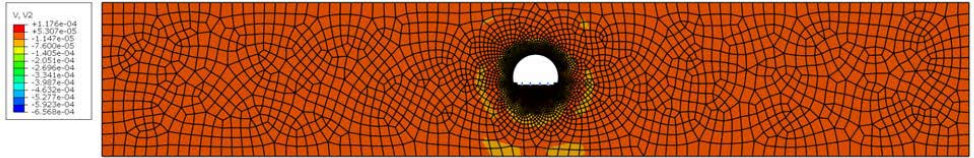
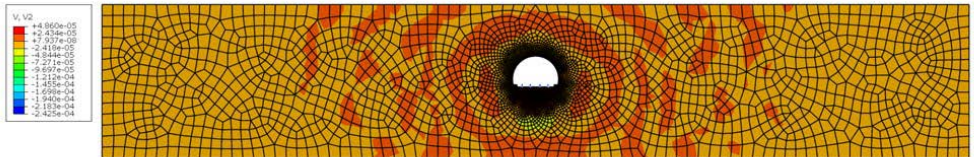
25Hz



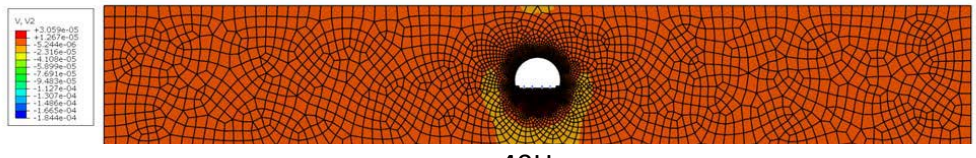
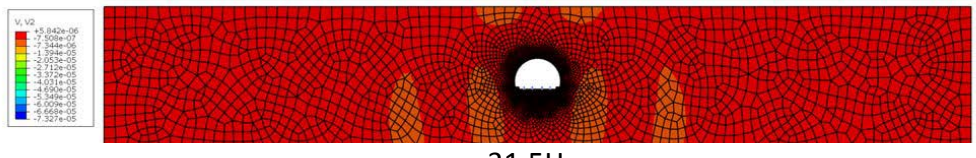
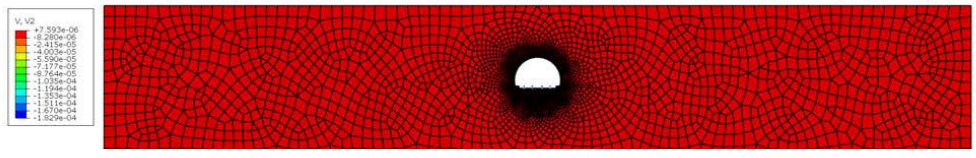
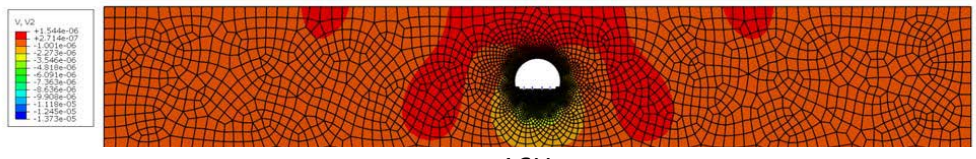
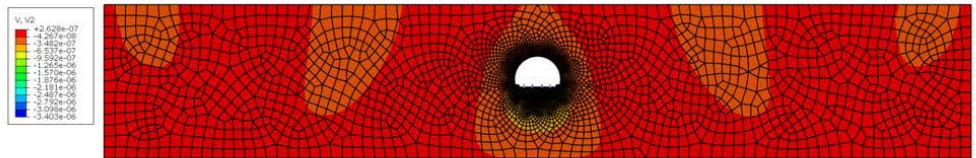
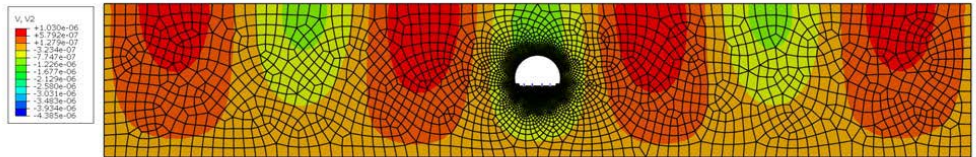
31,5Hz

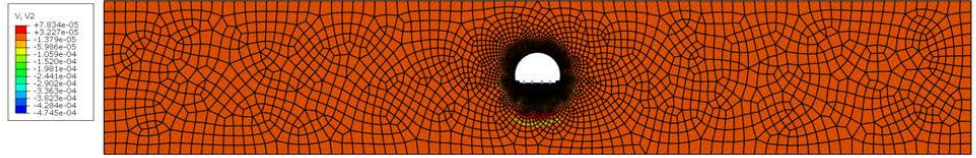
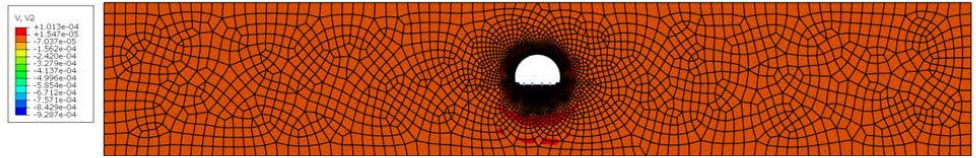
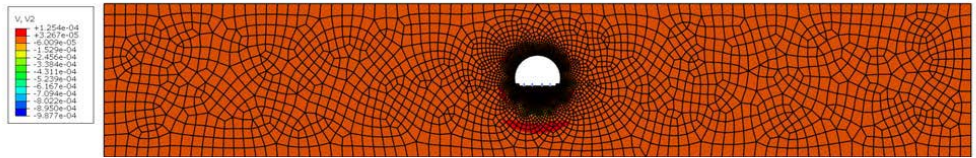
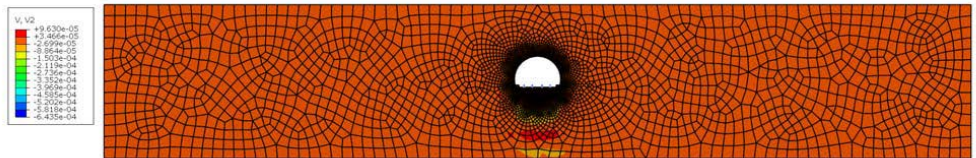
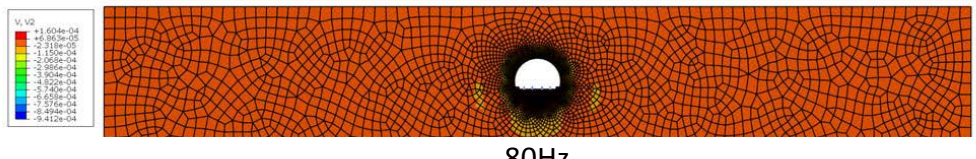
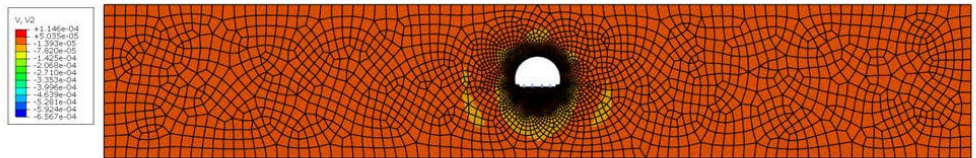
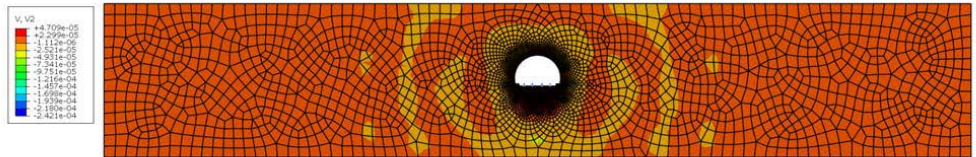


40Hz

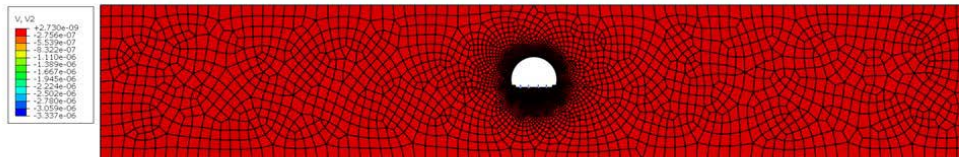


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΜΕ ΒΑΘΟΣ ΜΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ
ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ 3

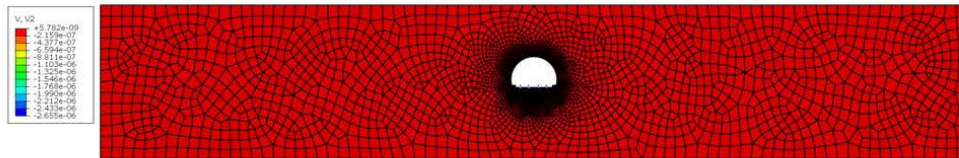




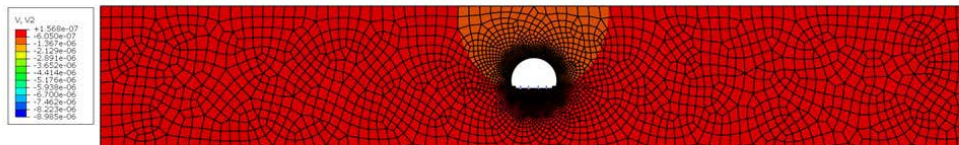
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΜΕ ΒΑΘΟΣ ΜΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ
ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ 4



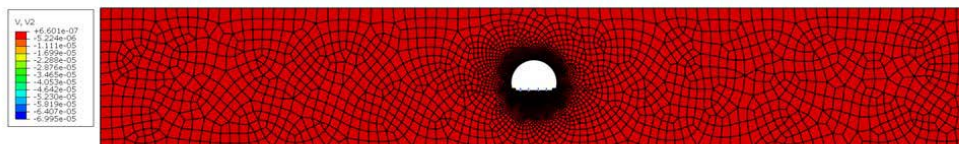
10Hz



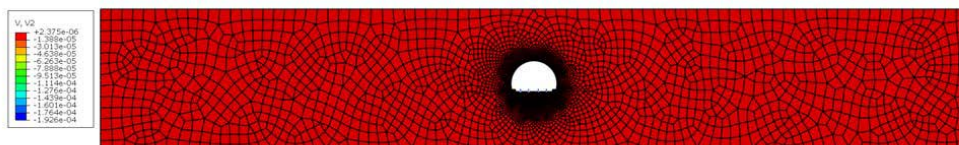
12,5Hz



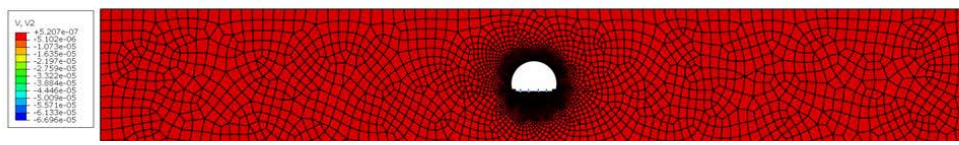
16Hz



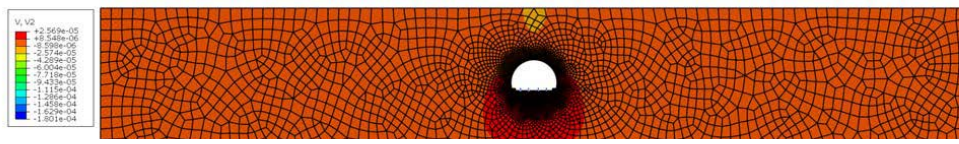
20Hz



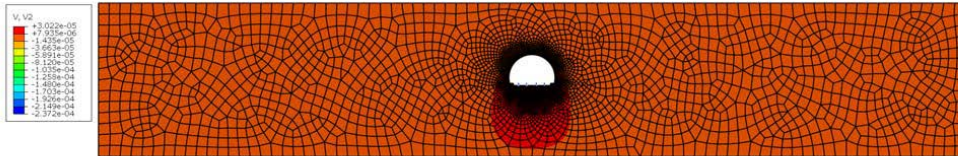
25Hz



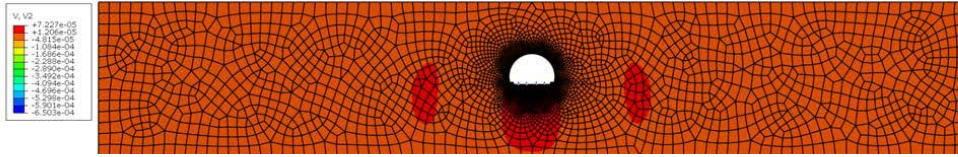
31,5Hz



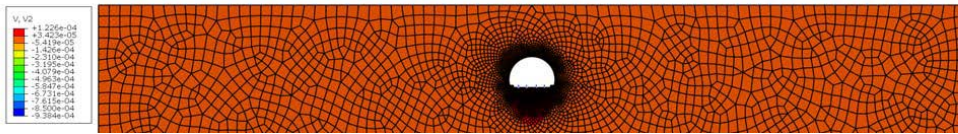
40Hz



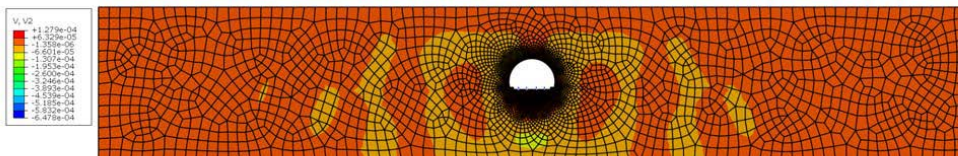
50Hz



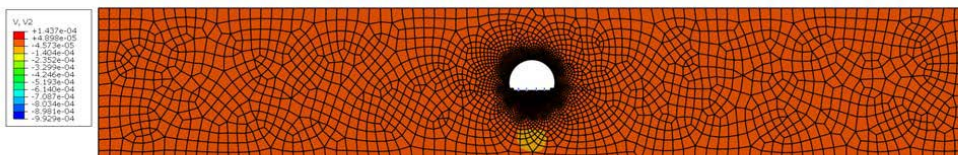
63Hz



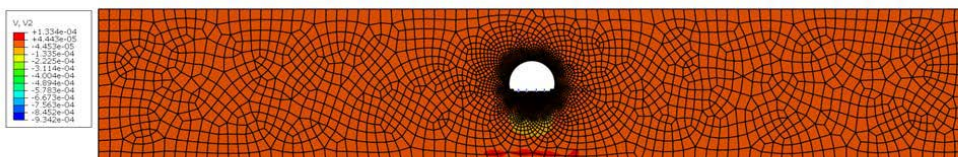
80Hz



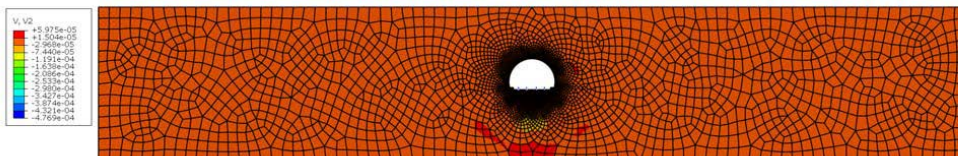
100Hz



125Hz

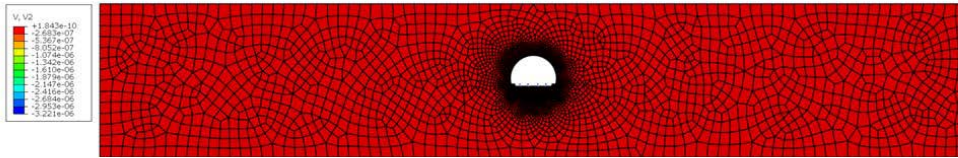


160Hz

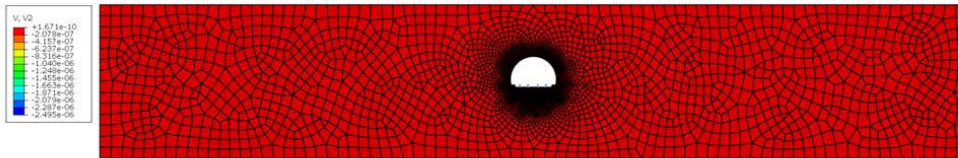


200Hz

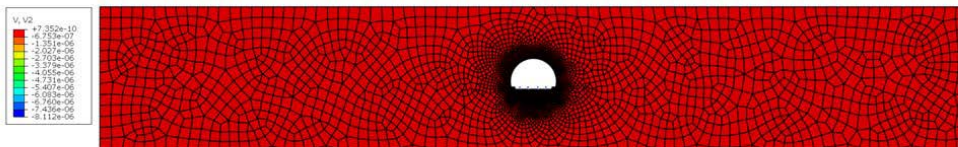
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΕ ΣΗΡΑΓΓΑ ΜΕ ΒΑΘΟΣ ΜΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΚΑΤΩ
ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ 5



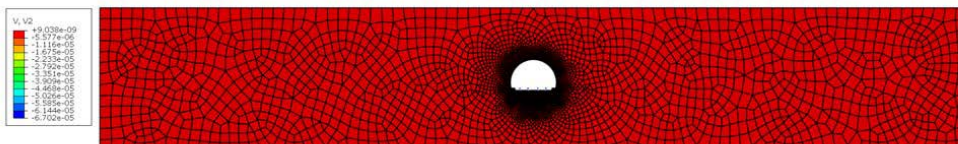
10Hz



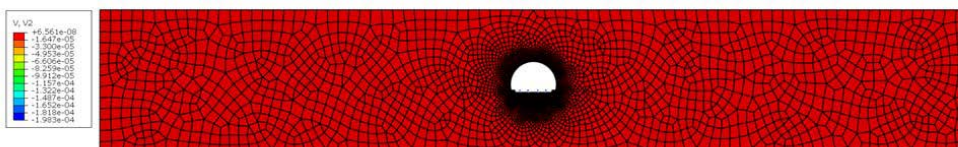
12,5Hz



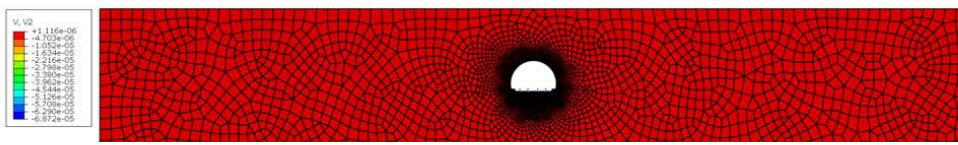
16Hz



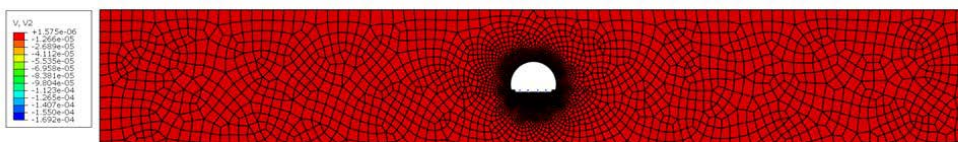
20Hz



25Hz



31,5Hz



40Hz

