

## Ευχαριστίες

Φτάνοντας στο τέλος της μεταπτυχιακής μου εκπαίδευσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με βοήθησαν να φέρω εις πέρας τη διπλωματική μου εργασία.

Αρχικά θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου στον καθηγητή μου κ.Παπαδόπουλο Βασίλειο που με εμπιστεύτηκε δίνοντάς μου την ευκαιρία να συνεργαστούμε και να ασχοληθώ με ένα θέμα που πραγματικά με ευχαριστούσε. Τον ευχαριστώ ακόμη περισσότερο, για την ευγένεια, την καλοσύνη και την υπομονή που έδειξε όλο αυτό το χρονικό διάστημα βοηθώντας με να ολοκληρώσω με τις καλύτερες προϋποθέσεις και συνθήκες αυτή την εργασία.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Σαρόγλου Χάρη για την καλή και ευγενική του διάθεση να με βοηθήσει λύνοντας μου οποιαδήποτε απορία κατά τη διάρκεια της εργασίας μου.

Τέλος, δε θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω τους γονείς μου για την αγάπη τους, την στήριξή τους αλλά και για τις συμβουλές τους όλα αυτά τα χρόνια δίνοντάς μου τη δυνατότητα να βάλω τον πήχη ψηλά διαμορφώνοντας πρότυπα ζωής και επαγγελματικής σταδιοδρομίας.



## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στη διάνοιξη του Μετρό της Θεσσαλονίκης από την περιοχή του Σταθμού Σιντριβάνι έως το Σταθμό Πανεπιστήμιο. Κύριος σκοπός είναι η διερεύνηση της ευαισθησίας που παρουσιάζεται στις τιμές των καθιζήσεων και των οριζοντίων μετατοπίσεων κατά τη διάνοιξη της δίδυμης σήραγγας του Μετρό λόγω μεταβολής της ανηγμένης απώλειας όγκου (λόγος  $V_s/V$ ) και του μέτρου ελαστικότητας  $E$  στις εδαφικές στρώσεις της υπό μελέτη περιοχής.

Για τη σωστότερη διάρθρωση της εργασίας αλλά και για τη διευκόλυνση των αναγνωστών, αρχικά γίνεται μία εισαγωγή για το Μετρό της Θεσσαλονίκης. Περιγράφεται η πρόοδος του έργου έως τώρα καθώς επίσης αιτιολογείται η καταλληλότητα της επιλογής του μηχανήματος διάνοιξης (EPB) των δύο σηράγγων.

Στη συνέχεια περιγράφονται οι γεωλογικές συνθήκες που συναντήθηκαν στην υπό μελέτη περιοχή. Από τις κατά καιρούς γεωτεχνικές έρευνες που περιέλαβαν γεωτρήσεις, επι τόπου και εργαστηριακές δοκιμές προέκυψαν τα απαραίτητα στοιχεία και πληροφορίες για τη σύνταξη των γεωτεχνικών μελετών.

Η σωστή επιλογή των γεωτεχνικών παραμέτρων του εδάφους είναι θεμελιώδους σημασίας για το μελετητή μηχανικό καθώς η υιοθέτηση των τιμών που προβλέπονται από τις μελέτες αποτελούν συνήθως προσέγγιση της πραγματικής συμπεριφοράς.

Η αβεβαιότητα της κατάλληλης επιλογής των τιμών των παραμέτρων από το μελετητή μηχανικό και η κρισιμότητά τους για την πρόβλεψη των προκαλούμενων μετατοπίσεων (κατακόρυφων και οριζοντίων), οδήγησε στην πραγματοποίηση αναλύσεων ευαισθησίας. Οι αναλύσεις αυτές βασίστηκαν στην αλλαγή γεωτεχνικών παραμέτρων και συγκεκριμένα στη μεταβολή της ανηγμένης απώλειας όγκου (λόγος  $V_s/V$ ) και του μέτρου ελαστικότητας  $E$ .

Οι αναλύσεις ευαισθησίας πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων Plaxis V8. Η επιλογή των δεδομένων σχετικά με τη διάρθρωση – σειρά αλλά και τις γεωτεχνικές παραμέτρους των εδαφικών στρώσεων ελήφθησαν από τις μελέτες του Μετρό. Επίσης τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της σήραγγας όπως και των τεσσάρων κτιρίων αποτελούν πραγματικά δεδομένα και αφορούν την περιοχή γύρω από το Σταθμό Πανεπιστήμιο.

Οι αναλύσεις έλαβαν χώρα, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, για να διερευνηθεί η ευαισθησία που παρουσιάζεται στις τιμές των καθιζήσεων και των οριζοντίων μετατοπίσεων κατά τη διάνοξη της δίδυμης σήραγγας του Μετρό λόγω μεταβολής της ανηγμένης απώλειας όγκου και του μέτρου ελαστικότητας E

Οι τιμές του λόγου  $V_s/V$  στο Μετρό Θεσσαλονίκης κυμαίνονται στα χαμηλά όρια περίπου στο 0,4% ενώ οι μέγιστες στο 1% έως και 1,2%. Για τα εύρη των μεγίστων τιμών του λόγου  $V_s/V$  (0,8% και 1,2%) πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις σε τέσσερα κτίρια. Η τιμή του Μέτρου ελαστικότητας θεωρήθηκε μειωμένη κατά 33% ή αυξημένη κατά 50% μόνο στις δύο τελευταίες περιπτώσεις των αναλύσεων (Κτίρια 3 και 4).

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων έδειξε ότι υπήρξαν μεταβολές στις τιμές των μετατοπίσεων και της γωνιακής στροφής των κτιρίων αλλά πολύ μικρές της τάξεως των 1/1685 έως 1/15360.

Συμπερασματικά, η αλλαγή των γεωτεχνικών παραμέτρων του εδάφους, όπως της ανηγμένης απώλειας όγκου και του μέτρου ελαστικότητας E, συνέβαλε στη μεταβολή των τιμών των μετατοπίσεων. Όμως ήταν τόσο μικρές που δεν θεωρούνται ικανές να προκαλέσουν προβλήματα στο φέροντα οργανισμό των κτιρίων.



## **Abstract**

This thesis refers to the construction of the Thessaloniki Metro from the Sintrivani Station to the Panepistimio Station. The main purpose is to investigate the sensitivity of the predicted settlements as well as the horizontal displacements, induced by the excavation of the twin tunnels, due to changes in volume loss ratio,  $V_s/V$  and in the modulus of elasticity,  $E$ , of the soil layers.

For a proper structuring of this thesis and to facilitate the readers, an introduction to the Thessaloniki Metro is provided. Firstly, the project's progress so far is described as well as a justification of the selection of the type of the boring machine (EPB) is presented.

Afterwards a description of the geological conditions that prevailed the site under consideration is presented. Site investigations which included bores, field tests as well as laboratory tests resulted in useful information for the preparation of geotechnical studies.

Proper selection of the geotechnical parameters of the soil is of great importance for the engineer because the use of the values proposed by the geotechnical study is usually approximation of the physical behaviour.

The uncertainty in accurately determining the values of the geotechnical parameters and their significance for predicting the induced settlements led to the sensitivity analysis. These analyses were based on changes of the geotechnical parameters, namely the volume loss ratio  $V_s/V$  and the modulus of elasticity,  $E$ .

The sensitivity analysis was conducted using the finite element program Plaxis V8. The data used in reference with the structure of this thesis as well as the values of the geotechnical parameters of the several soil layers were taken from the metro studies. Also the geometry of the tunnel as well as the characteristics of the four buildings under consideration constitute real data and refer to the area around the Panepistimio Station.

The scope of the analysis was, as mentioned earlier, to investigate the sensitivity of the values of settlements and horizontal displacements during the excavation of the twin metro tunnels, when parameters such as the volume loss ratio,  $V_s/V$  and the modulus of elasticity,  $E$ , of the soil layers are changed.

The volume loss ratio varies at the low bounds up to 0,4 % while at the higher bounds between 1 % and 1.2 %. For a range of the value of the volume loss ratio (0,8% και 1,2%) analyses were conducted for four different buildings. Furthermore the modulus of elasticity was considered reduced by 33% and then increased by 50% only for the last two cases (Buildings 3 and 4).

As far as it concerns the results of the analysis obtained from the finite element program, there were differences in the values of the displacements and the angular shift of buildings though very small in the order of  $1/1685$  to  $1/15360$ . It is important to mention that a proportionality has been found between the displacements and volume loss ratio. More specifically, increasing the volume loss ratio led to an increase of the displacements and inversely decreasing the volume loss ratio led to a decrease of the values of displacements. As far as it concerns the modulus of elasticity its increase led to reduction of the displacement values while its reduction to increase of the displacement values.

In conclusion, the uncertainty of geotechnical soil parameters, such as the volume loss ratio and elastic modulus  $E$ , contributed to changes of the displacement values. However these changes were almost imperceptible and they are not likely to cause structural damage to buildings.

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	1
Περίληψη.....	3
Abstract .....	5
Κεφάλαιο 1 Γενικά Στοιχεία Του Μετρό Θεσσαλονίκης .....	11
1.1 Το Μετρό της Θεσσαλονίκης .....	11
1.2 Πρόοδος του έργου. ....	14
1.3 Συνθήκες του έργου .....	18
1.4 Επιλογή του Μηχανήματος κατασκευής Σηράγγων .....	19
Κεφάλαιο 2 Γεωτεχνική Έρευνα Και Αξιολογήσεις.....	25
2.1 Γεωτεχνικές Συνθήκες Στην Ευρύτερη Περιοχή .....	26
2.2 Γεωτεχνικές Συνθήκες Στην Υπό Μελέτη Περιοχή .....	28
2.2.1 ΣΤΑΘΜΟΣ ΣΙΝΤΡΙΒΑΝΙ ( Χ.Θ. 2+601 ~ Χ.Θ. 2+661 ).....	28
2.2.1.1 Γεωτεχνικές Συνθήκες.....	29
2.2.1.2 Επιτόπου Δοκιμές.....	31
2.2.1.3 Υπόγεια Νερά .....	41
2.2.1.4 Συντελεστές Ώθησης Σε Ηρεμία $K_0$ .....	48
2.2.2 ΣΤΑΘΜΟΣ ΣΙΝΤΡΙΒΑΝΙ – ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΣΙΝΤΡΙΒΑΝΙ ( Χ.Θ. 2+661 ~ Χ.Θ. 2+900) .....	53
2.2.2.1 Γεωτεχνικές Συνθήκες.....	54
2.2.2.2 Επιτόπου Δοκιμές.....	57
2.2.2.3 Υπόγεια Νερά .....	63
2.2.2.4 Συντελεστές Ώθησης σε Ηρεμία $K_0$ .....	73
2.2.3 ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΣΙΝΤΡΙΒΑΝΙ ( Χ.Θ. 2+900 ~ Χ.Θ. 3+000 ) .....	78
2.2.3.1 Γεωτεχνικές Συνθήκες.....	79
2.2.3.2 Επιτόπου Δοκιμές.....	81
2.2.3.3 Υπόγεια Νερά .....	88
2.2.3.4 Συντελεστές Ώθησης σε Ηρεμία $K_0$ .....	96

2.2.4 ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΣΙΝΤΡΙΒΑΝΙ – ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ( Χ.Θ. 3+001 ~ Χ.Θ. 3+345 )	101
2.2.4.1 Γεωτεχνικές Συνθήκες.....	102
2.2.4.2 Επιτόπου Δοκιμές.....	105
2.2.4.3 Υπόγεια Νερά.....	113
2.2.4.4 Συντελεστές Ώθησης σε Ηρεμία $K_0$ .....	125
2.2.5 ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ( Χ.Θ. 3+345 ~ Χ.Θ. 3+419 )	131
2.2.5.1 Γεωτεχνικές Συνθήκες.....	132
2.2.5.2 Επιτόπου Δοκιμές.....	135
2.2.5.3 Υπόγεια Νερά.....	142
2.2.5.4 Συντελεστές Ώθησης Σε Ηρεμία $K_0$ .....	147
Κεφάλαιο 3. Γεωτεχνικό Πρόγραμμα Πεπερασμένων Στοιχείων PLAXIS 2D V8.2	153
3.1 Παρουσίαση Λογισμικού PLAXIS V8.2 - Θεωρητικό Υπόβαθρο Αναλύσεων – Διακριτοποίηση Εδαφικού Μέσου	154
3.2 Καταστατικοί νόμοι συμπεριφοράς εδάφους	158
3.3 Πρόγραμμα εισαγωγής δεδομένων – Input Program	161
3.4 Κατανεμημένα φορτία	164
3.5 Καθορισμός εδαφικού υλικού	167
3.6 Διαστασιολόγηση Σήραγγας.....	171
3.7 Διαστασιολόγηση μόνιμης επένδυσης – Plates.....	175
3.8 Διακριτοποίηση μοντέλου προσομοιώματος με πεπερασμένα στοιχεία.....	178
3.9 Πρόγραμμα υπολογισμού αρχικών συνθηκών – Initial Conditions.....	180
3.10 Πρόγραμμα υπολογισμών – Calculation Program.....	181
Κεφάλαιο 4. Διαδικασία Αναλύσεων – Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	185
4.1 Κτίριο 1	187
4.1.1 Κτίριο 1 Ανηγγμένη Απώλεια Όγκου $V_s / V = 0,8 \%$ .....	189
4.1.2 Κτίριο 1 Ανηγγμένη Απώλεια Όγκου $V_s / V = 1,2 \%$ .....	192
4.2 Κτίριο 2	195
4.2.1 Κτίριο 2 Ανηγγμένη Απώλεια Όγκου $V_s / V = 0,8 \%$ .....	197

4.2.2 Κτίριο 2 Ανηγγμένη Απώλεια Όγκου $V_s / V = 1,2 \%$ .....	200
4.3 Κτίριο 3 .....	203
4.3.1 Κτίριο 3 Ανηγγμένη Απώλεια Όγκου $V_s / V = 0,8 \%$ .....	205
4.3.2 Κτίριο 3 Ανηγγμένη Απώλεια Όγκου $V_s / V = 1,2 \%$ .....	208
4.3.3 Κτίριο 3 Βαθμός Σύγκλισης – Αποτόνωσης $V_s / V = 0,8 \%$ & $E' = 0,67 \times E$ .....	211
4.3.4 Κτίριο 3 Ανηγγμένη Απώλεια Όγκου $V_s / V = 1,2 \%$ & $E' = 0,67 \times E$ .....	214
4.3.5 Κτίριο 3 Ανηγγμένη Απώλεια Όγκου $V_s / V = 0,8 \%$ & $E' = 1,5 \times E$ .....	217
3.3.6 Κτίριο 3 Ανηγγμένη Απώλεια Όγκου $V_s / V = 1,2 \%$ & $E' = 1,5 \times E$ .....	220
4.4 Κτίριο 4 .....	223
4.4.1 Κτίριο 4 Ανηγγμένη Απώλεια Όγκου $V_s / V = 0,8 \%$ .....	225
4.4.2 Κτίριο 4 Ανηγγμένη Απώλεια Όγκου $V_s / V = 1,2 \%$ .....	228
4.4.3 Κτίριο 4 Ανηγγμένη Απώλεια Όγκου $V_s / V = 0,8 \%$ & $E' = 0,67 \times E$ .....	231
4.4.4 Κτίριο 4 Ανηγγμένη Απώλεια Όγκου $V_s / V = 1,2 \%$ & $E' = 0,67 \times E$ .....	234
4.4.5 Κτίριο 4 Ανηγγμένη Απώλεια Όγκου $V_s / V = 0,8 \%$ & $E' = 1,5 \times E$ .....	237
4.4.6 Κτίριο 4 Ανηγγμένη Απώλεια Όγκου $V_s / V = 1,2 \%$ & $E' = 1,5 \times E$ .....	240
4.5 Παρατηρήσεις – Αξιολογήσεις.....	243
Κεφάλαιο 5. Γενικά Συμπεράσματα.....	261
5.1 Γενικές γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες.....	261
5.2 Αναλύσεις Ευαισθησίας .....	262
5.3 Γωνιακή στροφή κτιρίων. ....	264
Βιβλιογραφία.....	265



## **Κεφάλαιο 1 Γενικά Στοιχεία Του Μετρό Θεσσαλονίκης**

### **1.1 Το Μετρό της Θεσσαλονίκης**

Μετά την αποτυχημένη απόπειρα κατασκευής του Μετρό Θεσσαλονίκης με τη μέθοδο της παραχώρησης (1998 - 2003), τον Σεπτέμβριο του 2003 αποφασίστηκε να κατασκευαστεί το Μετρό ως δημόσιο έργο, με χρηματοδότηση του Ελληνικού Δημοσίου και της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Με βάση τη διακήρυξη του νέου Διαγωνισμού, τον Ιούνιο του 2004 υπέβαλαν εκδήλωση ενδιαφέροντος πέντε κοινοπραξίες με σημαντικές ελληνικές και ξένες εταιρείες του κλάδου. Το πρώτο στάδιο του διαγωνισμού ολοκληρώθηκε τον Νοέμβριο του 2004. Τέσσερις (4) από τις πέντε (5) κοινοπραξίες συνέχισαν στο δεύτερο στάδιο και τον Ιανουάριο 2005 έλαβαν τα τεύχη της δημοπράτησης και τη νέα προμελέτη του έργου.

Στις 12 Μαΐου 2005 οι προεπιλεγείσες κοινοπραξίες υπέβαλαν την τεχνική και οικονομική προσφορά τους και στις 19 Αυγούστου ολοκληρώθηκε η αξιολόγηση των τεχνικών και οικονομικών προσφορών των τριών κοινοπραξιών που έμειναν στο τελικό στάδιο του διαγωνισμού.

Η σύμβαση με την ανάδοχο κοινοπραξία AEGEK SA (28.76%), IMPREGILO SPA (26.7%), ANSALDO T.S.F (21.73%), ANSALDOBREDA SPA (15.6%), SELI SPA (7.21%) υπογράφηκε στις 7 Απριλίου 2006 (σύνολο συμβολαίου € 945.706.775,62 – από αυτά € 500 εκατ. εργασίες πολιτικού μηχανικού) και στα τέλη Ιουνίου του ίδιου έτους ξεκίνησαν οι προπαρασκευαστικές εργασίες για την κατασκευή αυτού του πολύπλοκου έργου.

Η κατασκευή του Μετρό της Θεσσαλονίκης θα ενσωματώνει τα πλέον σύγχρονα τεχνολογικά δεδομένα και τις πιο απαιτητικές προδιαγραφές ποιότητας και λειτουργικότητας, με αποτέλεσμα να είναι όχι μόνο καλύτερο από το Μετρό της Αθήνας, αλλά το πιο σύγχρονο Μετρό στην Ευρώπη.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του δικτύου Μετρό στην Θεσσαλονίκη είναι τα εξής:

- 13 σύγχρονοι σταθμοί με κεντρική αποβάθρα
- 9,6 χλμ. γραμμής με δύο ανεξάρτητες σήραγγες μονής τροχιάς
- 18 υπέρ-αυτόματοι συρμοί τελευταίας τεχνολογίας, πλήρως κλιματιζόμενοι, οι οποίοι θα κινούνται χωρίς οδηγό αλλά με συνοδό
- συστήματα αυτόματων θυρών επί των αποβάθρων κάθε σταθμού για καλύτερη εξυπηρέτηση και μέγιστη ασφάλεια του επιβατικού κοινού
- δημιουργία αμαξοστάσιου έκτασης 50.000 τμ στην περιοχή της Πυλαία

Οι δεκατρείς σύγχρονοι σταθμοί που πρόκειται να κατασκευαστούν στο κέντρο της Θεσσαλονίκης από δυτικά προς ανατολικά είναι οι εξής: Ν. Σιδηροδρομικός Σταθμός, Δημοκρατίας, Βενιζέλου, Αγίας Σοφίας, Σιντριβάνι, Πανεπιστήμιο, Παπάφη, Ευκλείδη, Φλέμιγκ, Αναλήψεως, Πατρικίου, Βούλγαρη και Νέας Ελβετίας.

Επίσης, στο πρόγραμμα ανάπτυξης χώρων στάθμευσης της Αττικό Μετρό προβλέπεται η κατασκευή υπόγειων χώρων στάθμευσης στο Μετρό της Θεσσαλονίκης, συνολικής χωρητικότητας 3.700 θέσεων.



**Σχήμα 1.1: Οι Δεκατρείς σύγχρονοι σταθμοί του Μετρό Θεσσαλονίκης**



Συγκεκριμένα:

<b>Πίνακας 1.1</b>		
<b>Ανάπτυξη χώρων στάθμευσης στο μετρό της Θεσσαλονίκης</b>		
<b>ΣΤΑΘΜΟΣ</b>	<b>ΘΕΣΕΙΣ</b>	<b>ΕΠΙΠΕΔΑ</b>
Νέος. Σιδηροδρ. Σταθμός 1	450	-4 υπόγεια
Νέος. Σιδηροδρ. Σταθμός 1	600	-4 υπόγεια
Νέα Ελβετία	650	-1, ισόγειο,+2
Πανεπιστήμιο 1	1000	-4 υπόγεια
Πανεπιστήμιο 2	1000	-4 υπόγεια
Σύνολο	3700	

## **1.2 Πρόοδος του έργου.**

Το μεγαλύτερο συγκοινωνιακό έργο της Θεσσαλονίκης, ένα σύγχρονο και υψηλής αισθητικής δίκτυο Μετρό, γίνεται σήμερα πραγματικότητα. Για το μετρό της Θεσσαλονίκης εργάζονται καθημερινά περισσότερα από 650 άτομα διαφόρων ειδικοτήτων, ενώ η ανάδοχος κοινοπραξία έχει αναπτύξει συνολικά 16 εργοταξιακούς χώρους στην πόλη και σταδιακά συνεχίζει, μετά τις απαραίτητες εγκρίσεις από όλους τους φορείς, τη εγκατάσταση των υπολοίπων εργοταξίων της κατά μήκος της Γραμμής.

Τον Νοέμβριο του 2007 έφθασε στην πόλη το πρώτο Μηχάνημα Διάνοιξης Σηράγγων «μετροπόντικας», και στις 4 Απριλίου 2008 αφίχθη και το δεύτερο. Ο πρώτος Μετροπόντικας, ο «Κωστήκας», ξεκίνησε στις αρχές του έτους το υπόγειο ταξίδι του, ενώ τον Απρίλιο ακολούθησε ο δεύτερος Μετροπόντικας ο «Γιωργίκας».

### **Αναλυτικότερα κατά τη διάρκεια του έτους 2007:**

- Ξεκίνησε η κατασκευή του Νέου Σιδηροδρομικού Σταθμού και του σταθμού Σιντριβάνι. Στον πρώτο βρισκόταν σε εξέλιξη η κατασκευή των διαφραγματικών τοίχων, ενώ στο σταθμό Σιντριβάνι είχε ολοκληρωθεί η εγκατάσταση πασσάλων προσωρινής αντιστήριξης στην βόρεια πλευρά του σταθμού και ξεκίνησε η κατασκευή διαφραγματικών τοίχων.
- Ξεκίνησε η κατασκευή του Σταθμού Βενιζέλου. Για την κατασκευή διαφραγματικών τοίχων χρησιμοποιείται μηχάνημα τελευταίας τεχνολογίας που πρόσφατα έφτασε από την Ιταλία.
- Ξεκίνησε η κατασκευή διαφραγματικών τοίχων στη Διακλάδωση επέκτασης προς Σταυρούπολη στη περιοχή του σταθμού Δημοκρατίας.
- Ολοκληρώθηκαν οι παρακάμψεις δικτύων κοινής ωφέλειας σε 7 εργοταξιακούς χώρους.
- Πραγματοποιήθηκαν 9 εργοταξιακές καταλήψεις
- Το Νοέμβριο έφτασε στη Θεσσαλονίκη ο πρώτος από τους δύο Μετροπόντικες.
- Σε προχωρημένο στάδιο βρίσκονται οι αρχαιολογικές ανασκαφές σε συνολική έκταση 5.000 τ.μ. Βάσει της αρχαιολογικής μελέτης του έργου, από

τον Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό έως το Πανεπιστήμιο αναμένεται συνεχής ανακάλυψη αρχαιολογικών ευρημάτων. Έχει πραγματοποιηθεί αρχαιολογική έρευνα σε περισσότερα από 350 σημεία κατά μήκος της Γραμμής και ήδη έχουν έρθει στο φως αρκετά ενδιαφέροντα ευρήματα.

- Ολοκληρώθηκαν οι παρακάμψεις δικτύων κοινής ωφέλειας σε 5 εργοταξιακούς χώρους.
- Σε προχωρημένο στάδιο βρίσκεται η απαραίτητη καταγραφή και ο έλεγχος όλων των κτιρίων που βρίσκονται κατά μήκος της χάραξης της γραμμής του Μετρό.

#### Κατά τη διάρκεια του έτους 2008

- Ολοκληρώθηκε η συναρμολόγηση του πρώτου Μηχανήματος Διάνοιξης Σηράγγων και ξεκίνησε η δοκιμαστική λειτουργία του.
- Έφτασε το δεύτερο μηχάνημα διάνοιξης σηράγγων - στη Θεσσαλονίκη
- Σε προχωρημένο στάδιο βρισκόταν η κατασκευή των διαφραγματικών τοίχων
  - Επίσταθμος Νέου Σιδηροδρομικού Σταθμού 95%
  - Σταθμός Δημοκρατίας 91%
  - Σταθμός Σιντριβάνι 92%
  - Σταθμός Αγία Σοφία 51%
  - Διακλάδωση προς Σταυρούπολη 92%
- Ολοκληρώθηκαν κατά 91% οι εργασίες κατασκευής πασσάλων αντιστήριξης στο σταθμό Πανεπιστήμιο.
- Ξεκίνησαν οι εργασίες εκσκαφής (16%) στο χώρο στάθμευσης των συρμών στο Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό

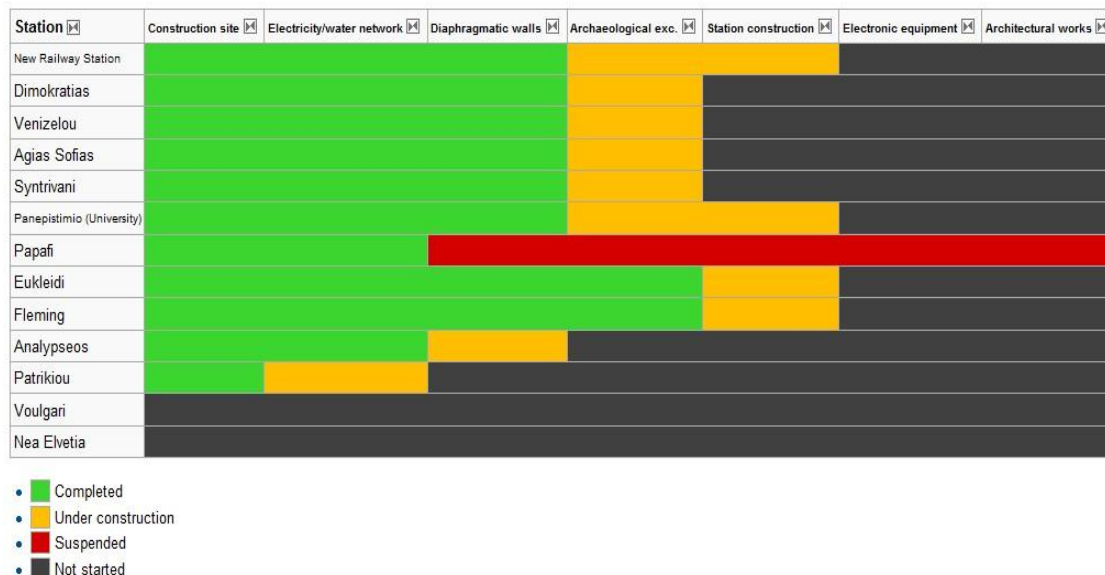
Σηράγγα	ΝΙΣΣ	Δημοκρατίας	Βενιζέλου	Αγ. Σοφίας	Σιντριβάνι	Πανεπιστήμιο	Παπάφης	Ευκλείδη	Φιλέπης	Αναλήψιας	Πατρικίου	Βούλγαρη	Νέα Ελβετία
Μόνα	Απρ 2008	Μαρτ 2008			Μαρτ 2008	Απρ 2008		Απρ 2011					
Βόρεια	Απρ 2008	Μαρτ 2008			Μαρτ 2008	Απρ 2008		Απρ 2011					

Σχήμα 1.2: Χρονοδιάγραμμα κατασκευής σηράγγων

Κατά τη διάρκεια του έτους 2009

- Ξεκίνησε η λειτουργία του πρώτου Μηχανήματος Διάνοιξης Σηράγγων ενώ σύντομα ολοκληρώθηκε η συναρμολόγηση του δεύτερου «Μετροπόντικα» και ξεκίνησε η δοκιμαστική λειτουργία του.
- Ολοκληρώθηκε η κατασκευή διαφραγματικών τοίχων περιμετρικά των σταθμών Αγία Σοφία, Βενιζέλου, Σιντριβάνι, Δημοκρατίας, Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός, καθώς και στη διακλάδωση της γραμμής προς Σταυρούπολη.

Αθόρυβα και δίχως καμία όχληση στην λειτουργία της πόλης θα κατασκευάζονται κατά μέσο όρο καθημερινά δέκα μέτρα έτοιμης σήραγγας Μετρό σε βάθος από 16 έως 31 μέτρα. Σημειώνεται ότι τα προϊόντα εκσκαφής από τα δύο Μηχανήματα μεταφέρονται από το Νέο Σιδηροδρομικό Σταθμό εκτός της κεντρικής περιοχής της Θεσσαλονίκης δίχως έτσι να επιβαρύνεται με κίνηση φορτηγών το κέντρο της πόλης.



**Σχήμα 1.3: Χρονοδιάγραμμα κατασκευής σταθμών**

### Κατά τη διάρκεια του έτους 2010

- Έως τα τέλη του 2010 οι δύο μετροπόντικες κατασκεύασαν συνολικά 7.628 μέτρα έτοιμης σήραγγας (μονής τροχιάς).
- Ολοκληρώθηκε η κατασκευή της πλάκας οροφής στο βόρειο τμήμα του Σταθμού Φλέμινγκ.
- Σε εξέλιξη βρίσκονται οι εργασίες της προσωρινής μεταλλικής γέφυρας στο νότιο τμήμα του Σταθμού Δημοκρατία όπου ολοκληρώνεται η αρχαιολογική ανασκαφική έρευνα.

### Κατά τη διάρκεια του έτους 2011

- Οι δύο μετροπόντικες κατασκεύασαν συνολικά 8.450 μέτρα έτοιμης σήραγγας (μονής τροχιάς).

### **1.3 Συνθήκες του έργου**

Οι δίδυμες σήραγγες του Μετρό Θεσσαλονίκης μεταξύ του Νέου Σιδηροδρομικού Σταθμού (Χ.Θ. 0.00) και του Σταθμού Νέα Ελβετία (Χ.Θ. 9+600) θα κατασκευαστούν με μηχανήματα ολομέτωπης κοπής τύπου EPB-TBM με Αντιστάθμιση Εδαφικής Πίεσης. Η διάμετρός τους είναι περίπου 6 μέτρα ενώ η απόσταση μεταξύ των κέντρων των δύο σηράγγων είναι περίπου 12 μέτρα.

Το υπερκείμενο κυμαίνεται μεταξύ 6-8 m, στην αρχή και στο τέλος της διαδρομής του TBM, έως περίπου τα 27-28 m στην περιοχή μεταξύ Σταθμού Αγίας Σοφίας - Σταθμού Σιντριβάνι και στην περιοχή του Πανεπιστημίου.

Η επιλογή του τύπου μηχανημάτων EPB-TBM έχει γίνει σύμφωνα με τις απαιτήσεις που αφορούν στην αποφυγή επιρροής του υδροφόρου ορίζοντα, την αποφυγή διαταραχών και πρόκλησης ζημιών στα κτίρια και τις κατασκευές που βρίσκονται εντός των ορίων της ζώνης επιρροής, την ελαχιστοποίηση των καθιζήσεων στην επιφάνεια του εδάφους και την πρόληψη ζημιών στα δίκτυα κοινωφελών υπηρεσιών, εξασφαλίζοντας παράλληλα την ασφάλεια των κατασκευαζόμενων σηράγγων.

Μετά την εκσκαφή τα τμήματα της σήραγγας θα επενδυθούν στο πίσω μέρος της ασπίδας του TBM με προκατασκευασμένα στοιχεία επένδυσης από οπλισμένο σκυρόδεμα, η οποία θα φέρει στεγανοποίηση με σύστημα διπλού παρεμβύσματος.

Το δακτυλιοειδές κενό μεταξύ της εξωτερικής επένδυσης των στοιχείων του και του προφίλ εκσκαφής θα γεμίσει πλήρως, στο πίσω μέρος της ασπίδας του TM, προκειμένου να σταθεροποιηθεί η απαιτούμενη γεωμετρία των τοποθετούμενων δακτυλίων, να εξασφαλιστούν οι επιτρεπόμενες ανοχές στους αρμούς των τόξων και να κινητοποιηθεί η φέρουσα ικανότητα της επένδυσης.

Στα τμήματα παρέχεται δευτερεύουσα τυφλή υποδοχή έγχυσης προκειμένου να είναι δυνατή η εκτέλεση εγχύσεων συγκόλλησης εφόσον απαιτούνται.

#### **1.4 Επιλογή του Μηχανήματος κατασκευής Σηράγγων**

Τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους, η παρουσία υδροφόρου ορίζοντα πάνω από τη στέψη της σήραγγας, το βάθος που βρίσκεται η στέψη της σήραγγας και η παρουσία στην επιφάνεια διαφόρων κατοικημένων κατασκευών, απαιτούν την επιλογή μιας μηχανής ολομέτωπης κοπής με Ασπίδα και Εξισορρόπησης της Πίεσης του Εδάφους.

Η αρχή λειτουργίας του μηχανήματος σε αποσαθρωμένο βράχο και χαλαρά εδάφη στοχεύει στην ελαχιστοποίηση των επιφανειακών καθιζήσεων μέσω του ελέγχου της φυσικής εδαφικής πίεσης (υποστήριξη εξισορρόπησης της εδαφικής πίεσης) στο μέτωπο της σήραγγας. Η πίεση εξισορρόπησης του εδάφους πρέπει να είναι ισοδύναμη ή ελάχιστα υψηλότερη από την επικρατούσα πίεση του περιβάλλοντος εδάφους, για να αντιστέκεται στις μετακινήσεις και στη δυναμική εισροή νερού. Η φυσική πίεση του εδάφους ποικίλει από 1 έως 4 bar και εξαρτάται κυρίως από τα υπερκείμενα.

Η εξισορρόπηση του μετώπου (Σχήμα 1.4) καθώς το EPB προωθείται, επιτυγχάνεται κρατώντας τον θάλαμο της κοπτικής κεφαλής μπροστά από το κλειστό διάφραγμα και τον ατέρμονα κοχλία μεταφοράς προϊόντων εκσκαφής γεμάτο από υλικό εκσκαφής. Το εξορυσσόμενο υλικό αποσπάται με ελεγχόμενο τρόπο μέσω ενός μεταφορικού ατέρμονα κοχλία, μαζί με ρυθμιστικούς παράγοντες από τον θάλαμο της κοπτικής κεφαλής. Στη συνέχεια απομακρύνεται με την χρήση μεταφορικής ταινίας (που βρίσκεται μέσα στην ήδη κατασκευασμένη σήραγγα), μέχρι κάποιο ανοικτό όρυγμα, φρέαρ ή σταθμό. Από το σημείο εκείνο, το εξορυσσόμενο υλικό, επίσης με χρήση μεταφορικού ιμάντα, ο οποίος όμως είναι τοποθετημένος υπό κλίση καταλήγει σε ειδικό χώρο συγκέντρωσης στην επιφάνεια.

Τα Αργιλώδη - Ιλυώδη και τα Ιλυώδη – Αμμώδη εδάφη με πολφώδη έως αραιή σύσταση είναι απόλυτα κατάλληλα για χρήση, μηχανής EPB. Εξαρτώμενα από τη σύσταση του εδάφους, είτε δεν χρειάζεται καθόλου ανάμιξη νερού, είτε απαιτείται ελάχιστη ποσότητα.

Να επισημανθεί ότι οι καλύτερες εδαφικές συνθήκες συναντιόνται όταν το υπό εκσκαφή έδαφος έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Καλή πλαστική παραμορφωσιμότητα
- Πολφώδη έως αραιή σύσταση
- Μικρή εσωτερική τριβή
- Μικρή διαπερατότητα

Γενικότερα, οι μηχανές EPB έχουν εκτελέσει εργασίες με επιτυχία καθώς είναι κατάλληλες σε μαλακά συνεκτικά εδάφη κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα.

Τα κριτήρια για την επιλογή μιας μηχανής EPB πρέπει να είναι:

- Η κοκκομετρική καμπύλη (μέγεθος κόκκου) του εδάφους
- Η διαπερατότητα του εδάφους, συντελεστής  $k$  (m/s)  $< 10^{-5}$
- Τα όρια σύστασης (περιεκτικότητα σε νερό, όριο υγρών (LL), δείκτης πλαστικότητας (PI) και άλλα)
- Η ορυκτολογική σύσταση του βράχου/ της αργίλου
- Η ποιότητα του εδάφους
- Η αντοχή του πετρώματος για βραχώδη εδάφη
- Το κοκκομετρικό κλάσμα των λεπτομερών εδαφών  $<60\mu\text{m}$ , άργιλος και ιλύς  $>25-30\%$
- Πολύ μαλακές έως άκαμπτες άργιλοι / πολύ χαλαρές μέχρι μέτριες άμμοι:  
**αριθμός κρούσεων N: 0-15**
- Γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi$ :  $0-30^\circ$

Πάνω από την περιοριστική γραμμή (καμπύλη 1) σε ένα μικρό ποσοστό λεπτοκόκκων 30% (υψηλή συνοχή με χαμηλή διαπερατότητα) πρακτικά δεν υπάρχει περιορισμός στην εφαρμογή του μηχανήματος EPB όσο αφορά την κατανομή των εδαφικών κόκκων.

Κατά τη λειτουργία του EPB, μπορούν να εφαρμοσθούν τεχνικές με χρήση ή όχι αφρού έκχυσης ή μπετονίτη για τον έλεγχο του υλικού (αριστερά της καμπύλης 1 στο Σχήμα 1.5).



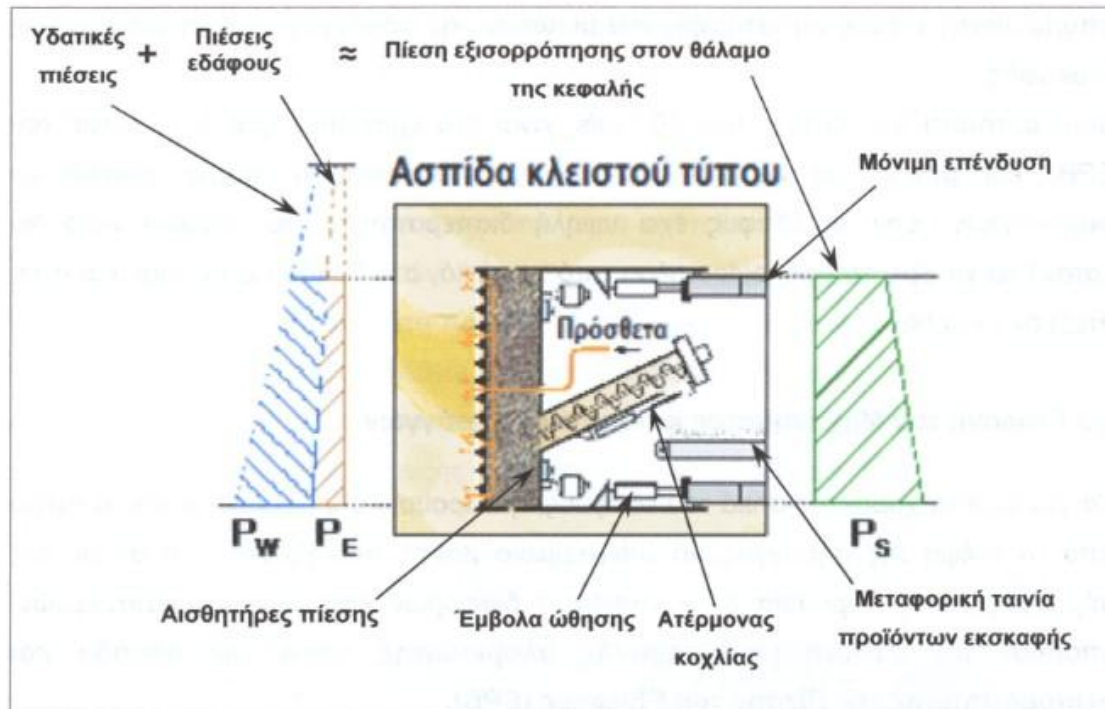
Πρόσθετοι ρυθμιστικοί παράγοντες απαιτούνται για να μειώσουν τη διαπερατότητα του εδάφους και όταν υπάρχουν σχετικά μικρά επίπεδα πίεσης του υπογείου νερού (περιοχή μεταξύ των καμπύλων 1 και 2 στο Σχήμα 1.5). Στην περιοχή μεταξύ των καμπυλών 2 και 3 τα μηχανήματα του τύπου EPB δεν πρέπει να δουλεύουν κάτω από την πίεση των υπογείων νερών. Κάτω από την καμπύλη 3 η διαπερατότητα είναι τόσο υψηλή που η χρήση των προσμίκτων κρίνεται απαραίτητη για τη δημιουργία της απαιτούμενης πίεσης υποστήριξης του μετώπου της σήραγγας κατά τη διάρκεια της εκσκαφής.

Εάν το υλικό δεν είναι συνεκτικό, το ποσοστό του υλικού λίπανσης που απαιτείται είναι μικρότερο, επειδή το υλικό δεν έχει την τάση να κολλά στην κεφαλή κοπής και τον ατέρμονα κοχλία (όπως οι Άμμοι).

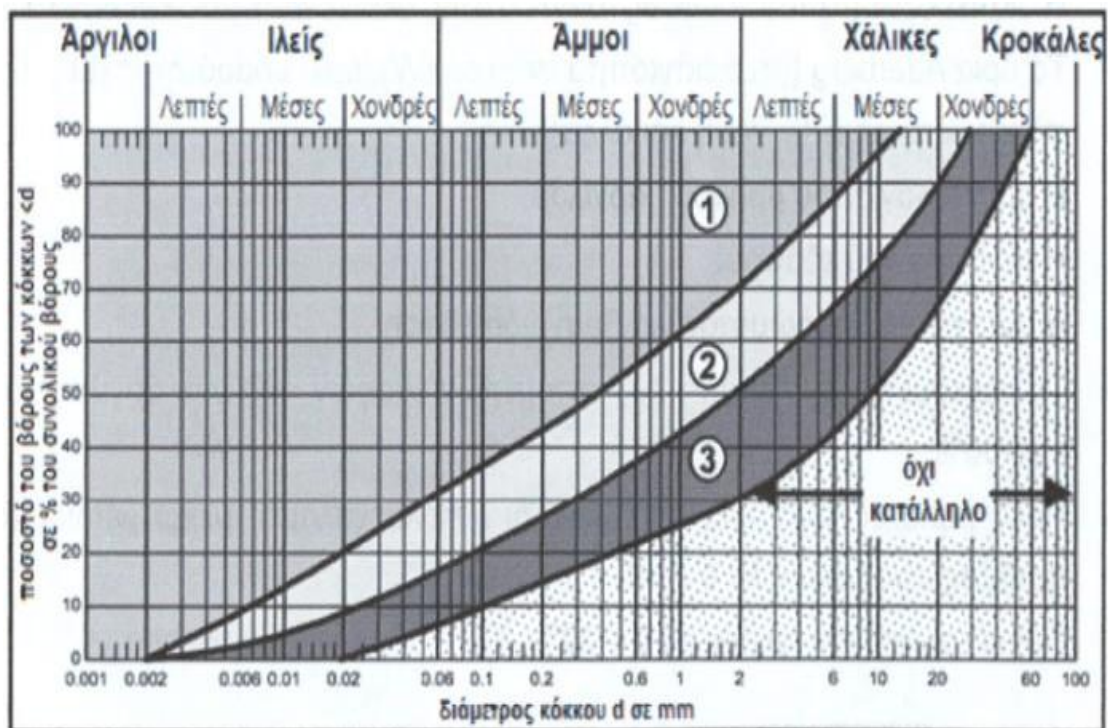
Τα κολλώδη, ιξώδη υλικά, όπως η άργιλος, έχουν την τάση να προσκολλούνται στον ατέρμονα κοχλία και να αντιστέκονται στην απόθεσή τους στην πρώτη μεταφορική ταινία.

Ένα επιπρόσθετο σύστημα ψεκασμού προσμίκτων υλικών είναι απαραίτητο για τη μείωση της διαπερατότητας του εδάφους και αυτό είναι εφικτό μόνο με σχετικά χαμηλή πίεση των υπογείων νερών του υδροφόρου ορίζοντα. Στην περιοχή μεταξύ των καμπυλών 2 και 3 τα μηχανήματα τύπου EPB δεν πρέπει να δουλεύουν κάτω από την πίεση των υπογείων νερών. Κάτω από την καμπύλη 3 η διαπερατότητα είναι τόσο υψηλή που η χρήση των προσμίκτων κρίνεται απαραίτητη για τη δημιουργία της απαιτούμενης πίεσης υποστήριξης του μετώπου της σήραγγας κατά τη διάρκεια της εκσκαφής.

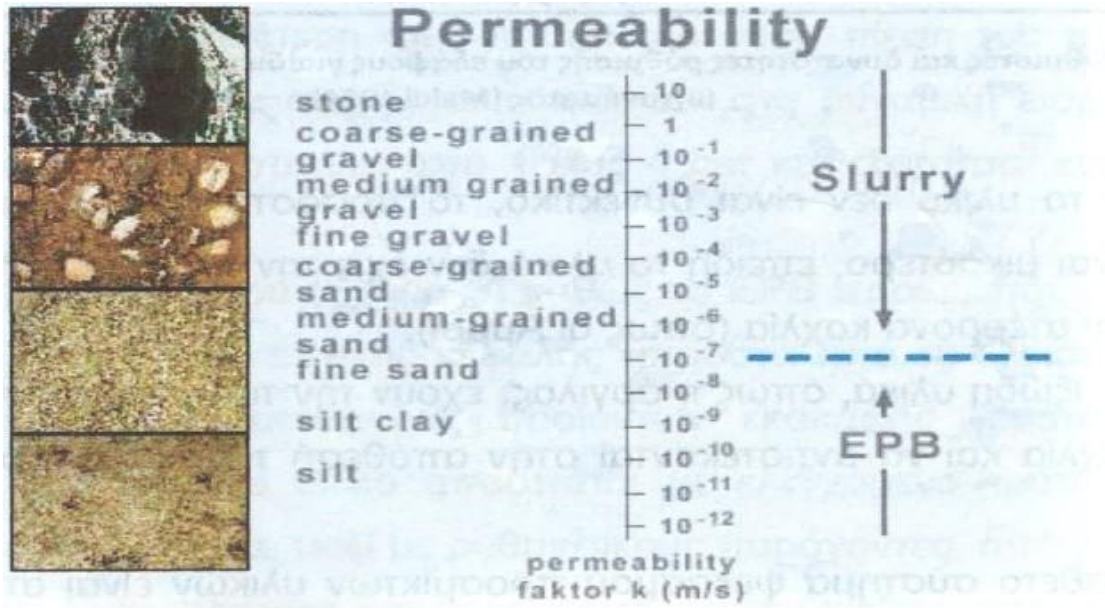
Διαπερατότητα της τάξης των  $10^{-5}$  m/s , είναι ένα εμπειρικό όριο λειτουργίας του EPB, και μπορεί να ελεγχθεί με έκχυση μπετονίτη ή άλλων πρόσθετων παραγόντων. Εάν το έδαφος έχει υψηλή διαπερατότητα, το υπόγειο νερό θα καταφέρει να βρει το δρόμο του μέσα από το υλικό, στο θάλαμο εκσκαφής και στον ατέρμονα κοχλία.



Σχήμα 1.4: Τομή κεφαλής μηχανήματος εξισορρόπησης εδαφικής πίεσης



Σχήμα 1.5: Όρια εφαρμογής πρόσθετων ρυθμιστικών παραγόντων στο EPB



Σχήμα 1.6: Επιλογή κατάλληλου μηχανήματος ολομέτοπης κοπής ανάλογα με την κοκκομετρία του εδάφους.



## **Κεφάλαιο 2 Γεωτεχνική Έρευνα Και Αξιολογήσεις**

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία μελετάται ένα τμήμα της συνολικής χάραξης – διάνοιξης του Μετρό Θεσσαλονίκης και συγκεκριμένα της περιοχής μεταξύ του Σταθμού Σιντριβάνι (Χ.Θ. 2+898) και του Σταθμού Πανεπιστήμιο (Χ.Θ. 3+423).

Οι πρώτες γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην εν λόγω περιοχή ήταν στη δεκαετία του '90 (έτη 1991 και 1999) κατά την εκπόνηση των πρώτων μελετών. Αργότερα όπου κρίθηκε σκόπιμο πραγματοποιήθηκαν επιπλέον συμπληρωματικές γεωτρήσεις το 2007.

Έπειτα τα δείγματα στάλθηκαν σε εργαστήρια όπου πραγματοποιήθηκαν επί τόπου δοκιμές όπως Δοκιμές Διείσδυσης (SPT), Δοκιμές Πρεσσιομέτρου και Δοκιμές Διαπερατότητας (Maag). Προκειμένου να γίνει προσδιορισμός των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των ιζημάτων. Επίσης μετά το πέρας των εργασιών διάτρησης τοποθετήθηκαν πιεζόμετρα και για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα πάρθηκαν μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου νερού.

Για διευκόλυνση των μηχανικών η περιοχή ενδιαφέροντος χωρίστηκε σε 5 διαφορετικά αλλά συνεχιζόμενα τμήματα προκειμένου τα συμπεράσματα των εργαστηριακών δοκιμών να είναι πιο αντιπροσωπευτικά. Έτσι η περιοχή χωρίστηκε στα εξής υποδιαστήματα:

- Σταθμός Σιντριβάνι (Χ.Θ. 2+601 – Χ.Θ. 2+661)
- Σταθμός Σιντριβάνι – Διασταύρωση Σιντριβάνι (Χ.Θ. 2+661 – Χ.Θ. 2+900)
- Διασταύρωση Σιντριβάνι (Χ.Θ. 2+900 – Χ.Θ. 3+000)
- Διασταύρωση Σιντριβάνι – Σταθμός Πανεπιστήμιο (Χ.Θ. 3+001 – Χ.Θ. 3+345)
- Σταθμός Πανεπιστήμιο (Χ.Θ. 3+345 – Χ.Θ. 3+419)

Στη συνέχεια τα υποδιαστήματα αυτά αναλύονται σε επιμέρους ενότητες προκειμένου να παρουσιαστούν τα συμπεράσματα των τεχνικό-γεωλογικών ερευνών.

### **2.1 Γεωτεχνικές Συνθήκες Στην Ευρύτερη Περιοχή**

Στην ευρύτερη περιοχή αναμένεται να συναντηθούν:

1. Στρώμα **Τεχνητών Επιχώσεων**. Οι επιχώσεις αυτές συνίστανται κυρίως από καστανές έως σκούρες καστανές, μαλακές, αμμώδεις Αργίλους, χαμηλής έως και υψηλής πλαστικότητας, από πρασινοκάστανες, χαλαρές αργιλώδεις / ιλυώδεις άμμους με χαλίκια και από επίσης χαλαρούς, αργιλώδεις / αμμώδεις Χάλικες ποικίλης σύστασης. Στο εσωτερικό των παραπάνω υλικών εμφανίζονται και τεμάχια κεραμικών.
2. Κάτω από τις Τεχνητές Επιχώσεις εμφανίζεται στρώμα **Τεταρτογενών ιζημάτων** το οποίο συνίσταται από καστανές, σταθερές εν γένει, αμμώδεις Αργίλους, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας, έως ανοιχτές καστανές, μέτρια πυκνές, αργιλώδεις Άμμους με χαλίκια καθώς και από επίσης μέτρια πυκνούς αργιλώδεις / αμμώδεις Χάλικες ποικίλης σύστασης.
3. Κάτω από το στρώμα αυτό εντοπίζονται Νεογενή ιζήματα της **Σειράς των Ερυθρών Αργίλων** όπως καστανέρυθρες έως ερυθρές, πολύ στιφρές έως σκληρές, αμμώδεις Άργιλοι, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας, με οξειδώσεις μαγγανίου και ασβεστιτικά συγκρίματα. Τοπικά στο εσωτερικό των παραπάνω αργίλων εμφανίζονται ψηφίδες και χαλίκια, καθώς και ασυνεχείς, μικρού πάχους ενστρώσεις, πυκνής αργιλώδους Άμμου και Χαλίκων. Επισημαίνεται ότι στο τμήμα από Σταθμό Σιντριβάνι έως και Σταθμό Πανεπιστήμιο, οι άργιλοι του στρώματος εμφανίζονται αποκλειστικά σκληρές με την μορφή ημίβραχου.

Γεωτεχνικά τα παραπάνω ιζήματα ομαδοποιούνται σε μία κατηγορία που θα ονομάζεται **Στρώση A2** η οποία υποδιαιρείται σε τρεις υποκατηγορίες, **A2α**, **A2β** και **A2γ**. Η παραπάνω ομαδοποίηση βασίζεται στη διαφορετική θλιπτική αντοχή που παρουσιάζουν οι σχηματισμοί που συνιστούν την Ενότητα των Ερυθρών Αργίλων στο εν λόγω τμήμα της σήραγγας. Πιο συγκεκριμένα στην **A2α** κατατάσσονται τα υλικά με θλιπτική αντοχή  $q_u < 300$  **kPa**, στην **A2β** κατατάσσονται τα υλικά με θλιπτική αντοχή  $300 < q_u < 600$  **kPa**, ενώ η **A2γ** είναι αποκλειστικά ημιβραχώδης με θλιπτικές αντοχές που ξεπερνούν τα **600 kPa** και παρουσιάζουν ημιβραχώδη συμπεριφορά.

Όσο αφορά τις **υδρογεωλογικές συνθήκες** γίνεται αναφορά για ύπαρξη φρεάτιου υδροφόρου με στάθμη υπογείου νερού που κυμαίνεται από ..... έως ..... μέτρα βάθος από την επιφάνεια του εδάφους.

## **2.2 Γεωτεχνικές Συνθήκες Στην Υπό Μελέτη Περιοχή**

### **2.2.1 ΣΤΑΘΜΟΣ ΣΙΝΤΡΙΒΑΝΙ ( Χ.Θ. 2+601 ~ Χ.Θ. 2+661 )**

Ο Σταθμός Σιντριβάνι κατασκευάζεται με διαφραγματικούς τοίχους (μέθοδος top to down) και φέρει τελική στάθμη εκσκαφής περίπου -28.50m από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ το μήκος και το πλάτος του είναι 75 και 22 μέτρα αντίστοιχα.

Για την ακριβέστερη σύνταξη της τομής σχεδιασμού εκτελέστηκαν στην περιοχή του σταθμού τρεις γεωτρήσεις Γ32 (1991), ΒΗ17 και ΡΒ18 (1999) σε προγενέστερη έρευνα και άλλες πέντε κατά τη συμπληρωματική γεωτεχνική έρευνα (2007) από τις οποίες στις τέσσερις ΤΕSP21, ΤΕSP22, ΤΕSP24, ΤΕSP25 εκτελέστηκαν επί τόπου δοκιμές αντοχής SPT και διαπερατότητας Maag καθώς και μία πρεσσιομέτρηση ΤΕSR23.

Στα δείγματα τα οποία ελήφθησαν από τις παραπάνω τέσσερις γεωτρήσεις (από τις πρεσσιομετρικές δεν ελήφθησαν δείγματα) εκτελέστηκαν εργαστηριακές δοκιμές προσδιορισμού των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των ιζημάτων.



### 2.2.1.1 Γεωτεχνικές Συνθήκες

**1. Στρώμα Τεχνητών Επιχωματώσεων:** συνίστανται από χαλαρούς έως μέτρια πυκνούς αργιλώδεις **ΧΑΛΙΚΕΣ (GC)** με άμμο, από σταθερές, καστανές, αμμώδεις **ΑΡΓΙΛΟΥΣ (CL-CI)**, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας, καθώς και από χαλαρές έως μέτρια πυκνές, ιλυώδεις **ΑΜΜΟΥΣ (SM)** σε βάθη μέχρι 4.65 (TESP21) – 6.50 (TESP22) – 6.40 (TESP24) – 4.90 (TESP25), (μέσο πάχος: 5.60m). Οι χάλικες είναι ποικίλης σύστασης (χαλαζία, γνευσίου, σχιστόλιθων), ενώ εμφανίζονται και κομμάτια κεραμικών. Εκτελέστηκαν μόνο δύο κοκκομετρικές αναλύσεις σε στρώμα αργιλώδους **ΑΜΜΟΥ (SC)**, οι οποίες έδειξαν μια συμμετοχή αργίλου περί το 43% έναντι 27% χάλικων και 31% άμμου.

**2. Νεογενή ιζήματα της Σειράς των Ερυθρών Αργίλων:**

Ανώτερη γεωτεχνική ενότητα **A2β** συνίσταται από στιφρές έως πολύ στιφρές, καστανέρυθρες, αμμώδεις **ΑΡΓΙΛΟΥΣ (CL-CI)** τοπικά με χαλίκια, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας, με σποραδικές, ασυνεχείς και μικρού πάχους ενστρώσεις πυκνών, καστανέρυθρων, αργιλωδών **ΑΜΜΩΝ (SC)** με χάλικες και αργιλωδών **ΧΑΛΙΚΩΝ (GC)** σε βάθη μέχρι 12.80 (TESP21) – 12.15 (TESP22) – 13.65 (TESP24) – 15.35 (TESP25) (σε βάθος: 13.50m – μέσο πάχος: 7.90m). Το λεπτόκοκκο κλάσμα της A2β κυριαρχεί, σε ένα ποσοστό της τάξης του 51%, και ως εκ τούτου την καθιστά χαμηλής διαπερατότητας, με μετρημένους οριζόντιους συντελεστές διαπερατότητας της τάξης του  $10^{-5}$  cm/sec.

Η υποκείμενη **A2γ** αποτελείται από σκληρές και τοπικά πολύ στιφρές, ερυθρές, αμμώδεις **ΑΡΓΙΛΟΥΣ (CL-CI)** έως **ΑΡΓΙΛΟΥΣ** με άμμο, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας, έως πολύ ασθενείς **ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΥΣ – ΙΛΥΟΛΙΘΟΥΣ**, με τοπικές και ασυνεχείς ενστρώσεις πυκνών έως πολύ πυκνών, καστανέρυθρων, αργιλωδών **ΑΜΜΩΝ (SC)** και αργιλωδών **ΧΑΛΙΚΩΝ (GC)** έως τοπικά και καλά συγκολλημένων **ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΩΝ** σε βάθη μέχρι και 45m τουλάχιστον. Το λεπτόκοκκο κλάσμα της A2γ είναι αυξημένο συγκριτικά με αυτό της A2β και βρίσκεται περίπου στο 63%. Αποτέλεσμα αυτής της αύξησης είναι η μείωση του οριζόντιου συντελεστή διαπερατότητας της A2γ

κατά μισή περίπου τάξη μεγέθους ( $10^{-5}$  cm/sec), με την διαπερατότητά της πάντως να παραμένει σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

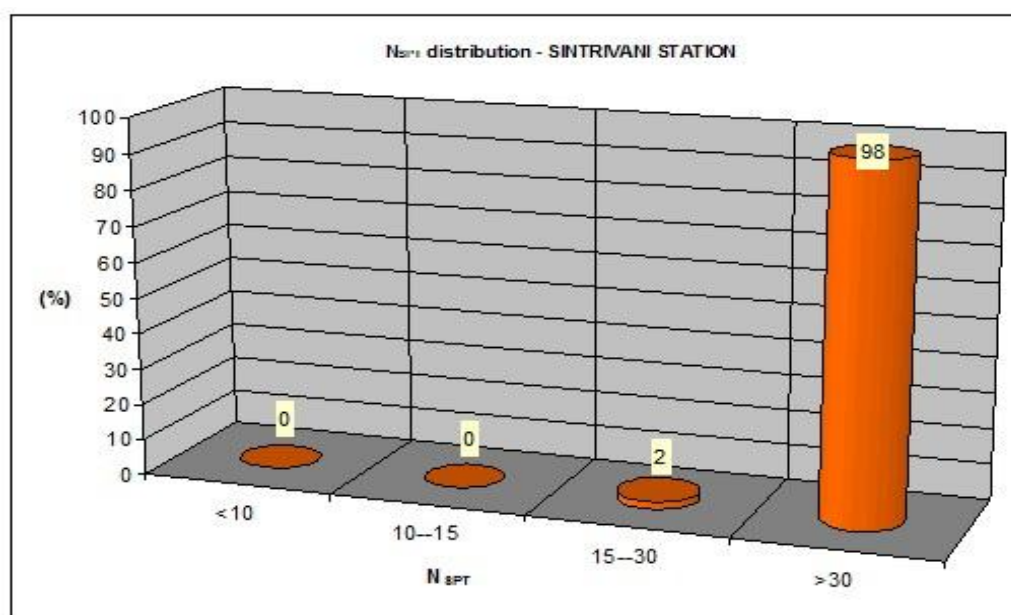
Όσον αφορά στις **υδρογεωλογικές συνθήκες** στον Σταθμό, στην Έκθεση Γραφείου γίνεται αναφορά για ύπαρξη φρεάτιου υδροφόρου με στάθμη υπόγειου νερού που κυμαίνεται από -4,75 έως -5,05 μέτρα βάθος από την επιφάνεια του εδάφους. Αναφορικά δε με τον συντελεστή διαπερατότητας των ιζημάτων του Σταθμού, οι δοκιμές που εκτελέστηκαν έδειξαν χαμηλές τιμές από  $10^{-5}$  έως  $10^{-6}$  cm/sec.

### 2.2.1.2 Επιτόπου Δοκιμές

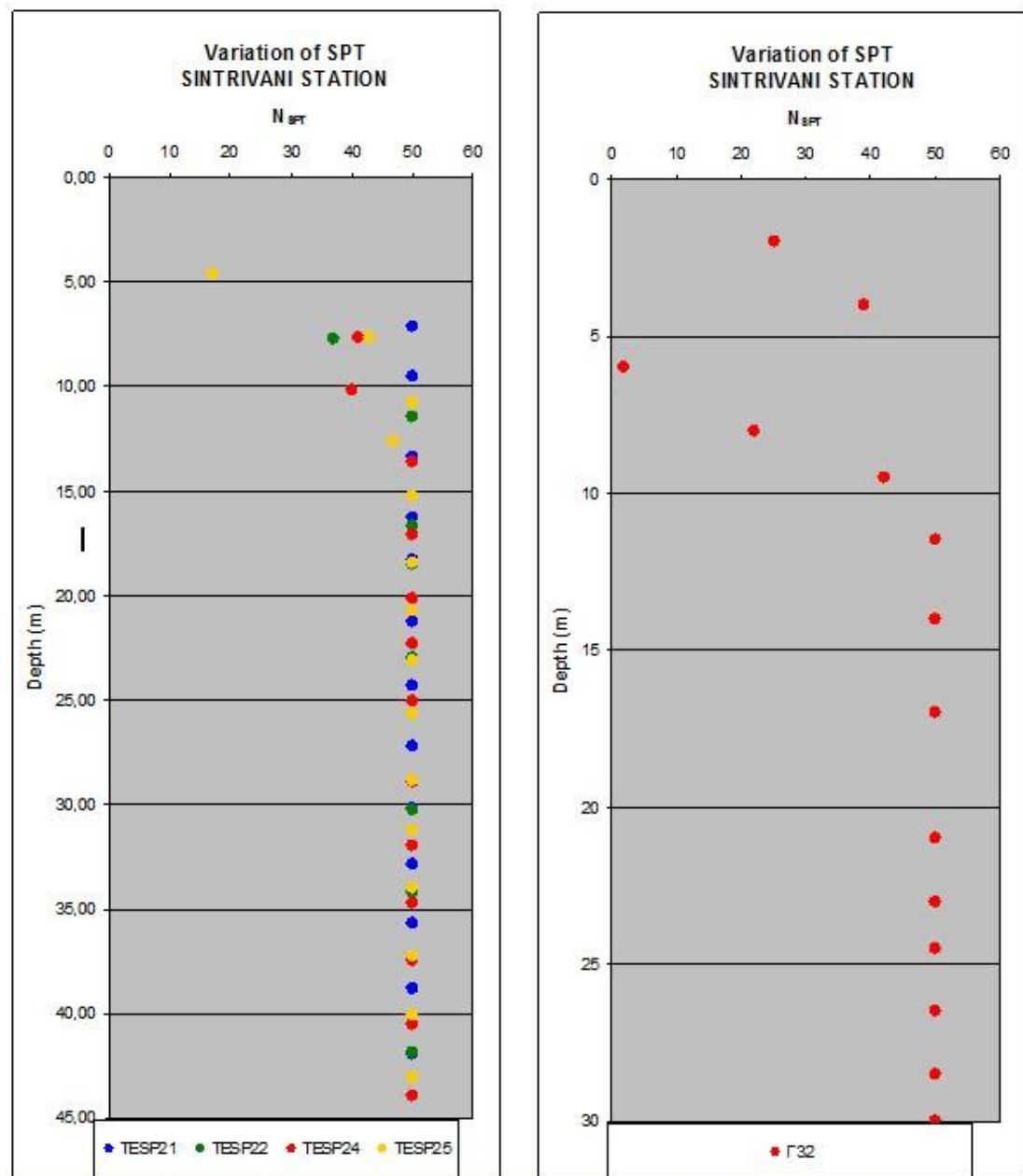
#### 1. Δοκιμές Διείσδυσης SPT

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω Σχήμα 2.1 πραγματοποιήθηκαν συνολικά 49 δοκιμές SPT εκ των οποίων οι 43 παρουσίασαν άρνηση ( $N_{SPT} > 50$ ) ενώ οι υπόλοιπες 6 εμφάνισαν τιμές που κυμαίνονται από 17 έως 47 κρούσεις. Στην γεώτρηση Γ32 της προγενέστερης έρευνας του 1992 πραγματοποιήθηκαν συνολικά 14 δοκιμές SPT εκ των οποίων οι 9 παρουσίασαν άρνηση ( $N_{SPT} > 50$ ) ενώ οι υπόλοιπες 5 εμφάνισαν τιμές που κυμαίνονται από 2 έως 42 κρούσεις. Επισημαίνεται ότι στην ΒΗ17 δεν εκτελέστηκαν δοκιμές SPT.

Πίνακας 2.1: Αποτελέσματα δοκιμών διείσδυσης (SPT)							
	Βάθος (m)	(N) TESP21	(N) TESP22	(N) TESP24	(N) TESP25	(N) Γ32	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ $N_{SPT}$
ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	0.00 – 5.60	-	-	-	17	25, 39, 2	20
ΣΤΡΩΣΗ Α2β	5.60 – 13.50	A, A	37, A	41, 40, A	43, A, 47, A	22, 42, A	43
ΣΤΡΩΣΗ Α2γ	13.50 – 45.00	A (x11)	A (x6)	A (x10)	A (x10)	A (x8)	>50 (ΑΡΝΗΣΗ)



Σχήμα 2.1: Δοκιμές διείσδυσης



Σχήμα 2.2: Μεταβολή αριθμού κρούσεων ανάλογα με το βάρος

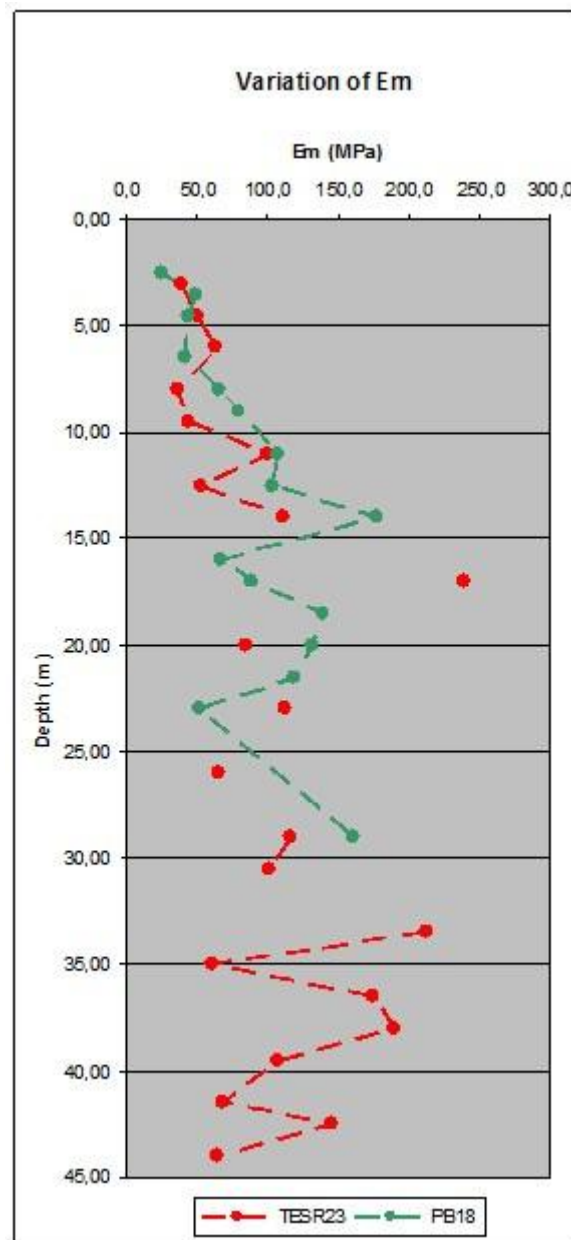
- Στο γράφημα του Σχήματος 2.1 δεν συμπεριλαμβάνονται οι τιμές των Τεχνητών Επιχώσεων λόγω της μεγάλης διασποράς που παρουσιάζουν.
- Το 2% των υλικών που εμφανίζονται στον Σταθμό Σιντριβάνι χαρακτηρίζονται ως “πολύ στιφρά – μέσης πυκνότητας”.
- Το 98% των υλικών χαρακτηρίζονται ως “σκληρά – πυκνά έως πολύ πυκνά”.

- Στο γράφημα του Σχήματος 2.2 παρουσιάζεται η μεταβολή του αριθμού κρούσεων  $N_{SPT}$  με το βάθος για το Σταθμό Σιντριβάνι. Στις περιπτώσεις που καταγράφηκε άρνηση η τιμή  $N_{SPT}$  δίνεται ίση με 50.
- Παρατηρείται ότι οι τιμές του γραφήματος μετά τα 10 μέτρα τόσο για την προγενέστερη γεώτρηση Γ32 όσο και για τις πρόσφατες σχεδόν ταυτίζονται.

## 2. Δοκιμές Πρεσσιομέτρου

Οι πρεσσιομετρήσεις χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό παραμέτρων αντοχής του εδάφους στα διάφορα βάθη εκτέλεσης των δοκιμών.

Στον σταθμό εκτελέστηκε μία πρεσσιομετρική γεώτρηση η TESR23 (Χ.Θ. 2+650) και επίσης χρησιμοποιείται και η πρεσσιομέτρηση PB18 (Χ.Θ. 2+690) η οποία εκτελέστηκε σε προγενέστερη έρευνα (1999).



Σχήμα 2.3: Μεταβολή του πρεσσιομετρικού μέτρου με το βάθος

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των πρεσσιομετρήσεων οδηγεί έμμεσα στο προσδιορισμό των ακολούθων παραμέτρων:

- Πρεσσιομετρικό μέτρο  $E_m$
- Μέτρο συμπίεσης  $E_s$   
το οποίο προκύπτει από τη σχέση:  $E_s = E_m / \alpha$   
όπου  $\alpha$  : ρεολογικός συντελεστής  $\alpha$
- Οριακής πίεση θραύσης  $P_{lim}$

Πίνακας 2.2 Κατηγοριοποίηση ρεολογικού συντελεστή $\alpha$						
	ΑΡΓΙΛΟΣ		ΑΜΜΟΣ		ΧΑΛΙΚΕΣ	
	$E_m/P_{lim}$	$\alpha$	$E_m/P_{lim}$	$\alpha$	$E_m/P_{lim}$	$\alpha$
ΣΤΙΦΡΟ-ΠΥΚΝΟ (ΥΠΕΡΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΜΕΝΟ)	>16	1	>12	1/2	>10	1/3
ΜΕΣΗΣ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ/ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ (ΚΑΝΟΝΙΚΑ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΜΕΝΟ)	9-16	2/3	7-12	1/3	6-10	1/4
ΑΠΟΣΑΘΡΩΜΕΝΟ/ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΟ	7-9	1/2	5-7	1/3	-	-

\*Για ημίβραχο  $\alpha=0.33$

Στον πίνακα 2.3 και 2.4 που ακολουθεί δίνεται η μέση τιμή των γεωτεχνικών παραμέτρων  $E_m$ ,  $P_{lim}$ ,  $E_s$  και  $\alpha$  για τις επιμέρους ενότητες του Σταθμού Σιντριβάνι.

Πίνακας 2.3 Πρεσσιομέτρηση TESR23			
	ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	ΣΤΡΩΣΗ Α2β	ΣΤΡΩΣΗ Α2γ
Βάθος (m)	0.00 – 5.60	5.60 – 13.50	13.50 – 45.00
$P_{lim}$ (MPa)	2.02	4.10	7.15
$E_m$ (MPa)	51.0	58.5	123.7
$E_m/P_{lim}$	29	14	16
$\alpha$	0.66	0.55	0.33
$E_s$ (MPa)	77.3	106.3	374.8

Πίνακας 2.4			
Πρεσσιομέτρηση PB18			
	ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	ΣΤΡΩΣΗ Α2β	ΣΤΡΩΣΗ Α2γ
Βάθος (m)	0.00 – 5.60	5.60 – 13.50	13.50 – 45.00
$P_{lim}$ (MPa)	2.91	5.44	7.06
$E_m$ (MPa)	39.5	89.1	108.4
$E_m/P_{lim}$	18	16	15
$\alpha$	0.66	0.55	0.33
$E_s$ (MPa)	59.8	162.0	328.5



### 3. Δοκιμές Διαπερατότητας – Maag

Με βάση τις δοκιμές Maag που πραγματοποιήθηκαν έγινε χαρακτηρισμός των στρώσεων Α2β και Α2γ σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα 2.5 κατά Terzaghi και Peck (1967) καθώς και τον Πίνακα Casagrande 2.7.

Πίνακας 2.5 Διακύμανση συντελεστή διαπερατότητας K (cm/sec) κατά Terzaghi και Peck (1967)	
Χαρακτηρισμός	Διακύμανση K (cm/sec)
ΥΨΗΛΗ	$K \geq 10^{-1}$
ΜΕΣΗ	$10^{-3} \leq K \leq 10^{-1}$
ΧΑΜΗΛΗ	$10^{-5} \leq K \leq 10^{-3}$
ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	$10^{-7} \leq K \leq 10^{-5}$
ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟΣ	$K < 10^{-7}$

Πίνακας 2.6 Εκτίμηση του συντελεστή διαπερατότητας K ανά στρώση				
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	ΤΙΜΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K (cm/sec)	ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (ΜΕΣΗ) K (cm/sec)	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ $K_H$ (cm/sec)
ΤΕΧΝ. ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	0.00 – 5.60	$7.64 \times 10^{-4}$ (Maag – TESP21-25)		
		$4.10 \times 10^{-6}$ (Maag – ΒΗ17)		
ΣΤΡΩΣΗ Α2β	5.60 – 13.50	$7,52 \times 10^{-6}, 2,05 \times 10^{-5}, 3,45 \times 10^{-4}, 7,67 \times 10^{-4}, 8,27 \times 10^{-6}, 4,78 \times 10^{-5}, 1,62 \times 10^{-5}$ (Maag – TESP21-25)	$6.55 \times 10^{-5}$	$5.0 \times 10^{-5}$ (ΧΑΜΗΛΗ)
ΣΤΡΩΣΗ Α2γ	13.50 – 45.00	$1.26 \times 10^{-5}, 1.99 \times 10^{-6}, 9.74 \times 10^{-7}, 4.88 \times 10^{-7}, 3.22 \times 10^{-6}, 2.49 \times 10^{-6}, 2.45 \times 10^{-6}, 1.10 \times 10^{-6}, 4.80 \times 10^{-7}, 2.39 \times 10^{-4}, 1.32 \times 10^{-6}, 2.09 \times 10^{-6}, 4.85 \times 10^{-6}$ (Maag – TESP21-25)	$1.99 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-5}$ (ΧΑΜΗΛΗ)
		$1.20 \times 10^{-5}, 1.40 \times 10^{-5}$ (Maag – ΒΗ17)		

Στον παραπάνω πίνακα 2.6 συνοψίζονται η μέση τιμή και ο χαρακτηρισμός των Α2β, Α2γ και των Τεχνητών Επιχωματώσεων για το Σταθμό Σιντριβάνι.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα του παραπάνω Πίνακα 2.6 είναι τα εξής:

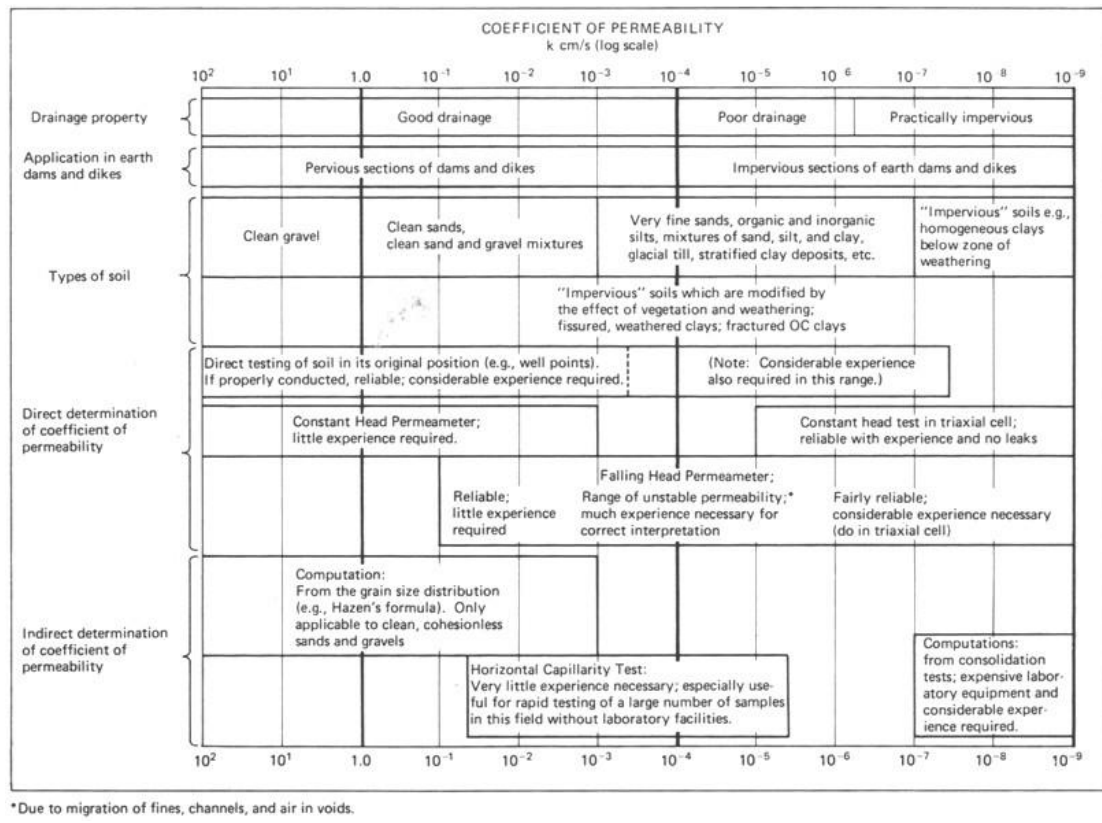
- Ο συντελεστής διαπερατότητας της Στρώσης Α2γ είναι κατά περίπου μισή τάξη μεγέθους χαμηλότερος συγκριτικά με της Α2β, γεγονός που οφείλεται κυρίως στο αυξημένο ποσοστό λεπτοκόκκων της Α2γ σε σχέση με την Α2β.

**Α2β** → Χαλίκια: 22% - Άμμος: 27% - Λεπτόκοκκα: 51%

**Α2γ** → Χαλίκια: 11% - Άμμος: 26% - Λεπτόκοκκα: 63%

- Όσον αφορά στις Τεχνητές Επιχωματώσεις, ο συντελεστής είναι απροσδιόριστος λόγω της ποικιλίας των υλικών που συνιστούν την στρώση (άμμος – άργιλος – χάλικες). Η παραπάνω ανομοιογένεια του στρώματος των Επιχώσεων επιβεβαιώθηκε και από τις δύο δοκιμές που εκτελέστηκαν, των οποίων τα αποτελέσματα παρουσίασαν σημαντική διασπορά (1.5 τάξη μεγέθους διαφορά)
- Συμπερασματικά, τόσο η Στρώση Α2β όσο και η Α2γ, χαρακτηρίζονται βάση των συντελεστών διαπερατότητας που προέκυψαν ως “χαμηλής διαπερατότητας”. Ωστόσο εκτιμάται ότι πρόκειται για πρακτικά αδιαπέρατες Στρώσεις, βάση του υψηλού ποσοστού λεπτοκόκκων που παρουσιάζουν (50% και 60% αντίστοιχα) σε συνδυασμό και με το εξίσου υψηλό ποσοστό αργίλου που προσδιορίστηκε από τις δοκιμές αραιομέτρου (25% και 19% αντίστοιχα), (βλέπε και Πίνακα Casagrande 2.7, 1938, with minor additions-from textbook “ Introduction to Geotechnical.Engineering” by Holtz R.D, Kovacs W.D). Επισημαίνεται ωστόσο ότι ο συντελεστής διαπερατότητας της Α2γ εξαρτάται και ελέγχεται κύρια από τις τυχόν ασυνέχειες (άνοιγμα, υλικό πλήρωσης κλπ) που εμφανίζονται στα υλικά που την συνιστούν, καθώς πρόκειται για ημιβραχώδη Στρώση.

Πίνακας 2.7: Πίνακα Casagrande , 1938



Οι συντελεστές K που μετρήθηκαν επί τόπου ήταν οι οριζόντιοι συντελεστές διαπερατότητας. Δεδομένου ότι οι σχηματισμοί της περιοχής είναι ιζηματογενείς με οριζόντια ή/και παραοριζόντια απόθεση εκτιμάται με πολύ καλή προσέγγιση ότι οι κατακόρυφοι συντελεστές διαπερατότητας θα είναι σαφώς χαμηλότεροι από τους οριζόντιους. Η σχέση κατακόρυφου προς οριζόντιο συντελεστή διαπερατότητας  $K_h / K_v$  εξαρτάται κυρίως από τον τρόπο απόθεσης των σχηματισμών. Έτσι, σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα (Γ. Μπουκοβάλας "Ειδικά Θέματα Θεμελιώσεων " Μέρος III, Κεφ. 4):

Πίνακας 2.8 Λόγος κατακόρυφου και οριζόντιου συντελεστή διαπερατότητας	
Τύπος Αργίλου	$K_r / K_v$
Ομοιογενείς αποθέσεις	1.0 – 1.5
Προσχωσιγενείς αργλικές αποθέσεις με διακοπτόμενες ενστρώσεις και φακούς μεγαλύτερης διαπερατότητας	2.0 – 4.0
Στρωσιγενείς άργιλοι και άλλες αποθέσεις με ενδιάμεσες (πρακτικά συνεχείς) στρώσεις διαπερατού υλικού	3.0 – 15.0

Για προσχωσιγενείς αργλικές αποθέσεις με διακοπτόμενες ενστρώσεις και φακούς μεγαλύτερης διαπερατότητας  $K_h / K_v = 3$

Εν προκειμένω μπορούμε ασφαλώς να δεχθούμε ότι η παραπάνω περιγραφή αντιστοιχεί στα ιζήματα της Α2β με σχετική ακρίβεια αφού πρόκειται πράγματι για αργλικές στρώσεις με τοπικές ασυνεχείς, όμως, διαπερατές ενστρώσεις. Επομένως ο λόγος  $K_h / K_v$  μπορεί να ληφθεί ίσος προς 3.

Όσον αφορά στην Α2γ λαμβάνεται  $K_h = K_v$  καθώς παρουσιάζει σχεδόν στο σύνολό της συμπεριφορά ημίβραχου.

Στον Πίνακα 2.9 που ακολουθεί δίδονται συγκεντρωτικά οι προτεινόμενες τιμές του κατακόρυφου συντελεστή διαπερατότητας.

<b>Πίνακας 2.9</b>	
<b>Προτεινόμενη τιμή του κατακόρυφου συντελεστή διαπερατότητας.</b>	
	<b>ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ</b> $K_v$ (cm/sec)
ΣΤΡΩΣΗ Α2β	$1.5 \times 10^{-5}$ (ΧΑΜΗΛΗ)
ΣΤΡΩΣΗ Α2γ	$2.0 \times 10^{-5}$ (ΧΑΜΗΛΗ)

**2.2.1.3 Υπόγεια Νερά**

Μετά το πέρας των εργασιών διάτρησης των τεσσάρων (4) γεωτρήσεων (TESP21, TESP22, TESP24 και TESP25) τοποθετήθηκαν πιεζόμετρα και για διάστημα περίπου επτά μηνών πάρθηκαν μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου νερού. Στον Πίνακα δίνονται και οι μετρήσεις στάθμης που πραγματοποιήθηκαν στις γεωτρήσεις Γ32 και ΒΗ17 καθώς και στην πρεσσιομέτρηση ΡΒ18, που εκτελέστηκαν σε προηγούμενες φάσεις ερευνών με στόχο την ακριβέστερη προτεινόμενη στάθμη σχεδιασμού.

<b>Πίνακας 2.10 : Μετρήσεις Πιεζομέτρων</b>				
	TESP21 (+21.36)	TESP22 (+21.65)	TESP24 (+22.55)	TESP25 (+19.55)
11/1/07	4,25	4,80	-	6,31
1/2/07	4,24	4,48	1,99	6,49
8/2/07	4,25	4,47	2,00	6,50
16/2/07	4,25	4,48	2,02	6,50
22/2/07	4,25	4,47	2,00	6,50
2/3/07	4,25	4,46	2,00	6,47
9/3/07	4,24	4,46	2,02	-
14/3/07	4,21	4,45	-	6,47
20/3/07	4,51	4,44	1,95	6,48
27/3/07	4,22	4,68	2,00	-
30/3/07	-	-	-	6,79
4/4/07	4,21	4,43	2,06	6,79
12/4/07	4,21	4,43	2,07	6,79
18/4/07	-	4,43	2,07	8,35
19/4/07	-	4,43	2,07	8,35
23/4/07	-	-	-	8,35
26/4/07	4,21	4,45	2,08	8,35
4/5/07	4,21	4,44	2,08	8,35
11/5/07	4,21	4,44	2,07	8,35
18/5/07	4,22	4,44	2,05	8,35
28/5/07	4,21	-	2,04	8,35
14/6/07	4,27	4,45	2,04	8,35
ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΣΤΑΘΜΗ (m)	-4.50 (Απόλ. Υψόμετρο: +16.0)			

Σημειώνεται ότι στη γεώτρηση TESP24 η στάθμη του νερού παρουσιάζει σημαντική απόκλιση συγκριτικά με τις υπόλοιπες, πιθανότατα λόγω αρτεσιανισμού ο οποίος έχει εντοπιστεί και στην διπλανή Διασταύρωση Σιντριβάνι.

<b>Πίνακας 2.11 : Μετρήσεις στάθμης προγενέστερων γεωτεχνικών ερευνών</b>			
	Γ32	BH17	PB18
11/8/99	ΚΑΤΑΣΤΡΑΦΗΚΕ	4,75	-
24/8/99		4,81	-
17/9/99		4,75	5,05

Ο Πίνακας 2.11 χρησιμοποιείται συγκριτικά έτσι ώστε να φανεί η όποια μεταβολή της στάθμης του υπόγειου νερού κατά τα τελευταία 8 χρόνια, καθώς οι γεωτρήσεις BH17 και PB18 εκτελέστηκαν το 1999. Στην γεώτρηση Γ32 δεν πάρθηκαν μετρήσεις, καθώς σύμφωνα με το Κ.Ε.Δ.Ε. που την εκτέλεσε καταστράφηκε Συνεπώς τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

- Η γεώτρηση BH17 που έχει εκτελεστεί πλησίον της σημερινής TESP25 εμφανίζει σημαντικά υψηλότερη στάθμη νερού. Πιο συγκεκριμένα στην BH17 η στάθμη εντοπίζεται περί τα -4,75m από την επιφάνεια ενώ στην TESP25 η στάθμη κυμαίνεται μεταξύ του βάθους των -6,31 και -8,35m από την επιφάνεια του εδάφους. Για λόγους ασφαλείας στην εκτίμηση της στάθμης σχεδιασμού λήφθηκε υπόψη η ρηχότερη στάθμη της BH17 και αγνοήθηκαν οι σημερινές.
- Τέλος η γεώτρηση PB18 η οποία ανορύχθηκε πλησίον της TESP21, παρουσιάζει στάθμες ελαφρώς βαθύτερες από τις σημερινές (-5.05m έναντι -4.27m) και ως εκ τούτου, συντηρητικά, ελήφθησαν υπόψη μόνο οι σημερινές δυσμενέστερες μετρήσεις και αγνοήθηκαν αυτές της PB18.

Συνεπώς μετά την αξιολόγηση όλων των παραπάνω φαίνεται ότι η προτεινόμενη στάθμη των +16.0m (απόλυτο υψόμετρο) είναι πλήρως αντιπροσωπευτική, αν και αρκετά συντηρητική, των υδρογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στον Σταθμό Σιντριβάνι. Σημειώνεται ότι η στάθμη αυτή μπορεί να ληφθεί τόσο ως βραχυχρόνια όσο και ως μακροχρόνια αφού οι διαχρονικές μετρήσεις της στάθμης του Υ.Υ.Ο (1999 και 2007) δεν παρουσιάζουν σημαντική διακύμανση πέραν αυτής που παρατηρήθηκε στις στάθμες των BH17 και TESP25, η οποία και λήφθηκε υπόψη εντελώς συντηρητικά (αγνοήθηκαν οι βαθύτερες μετρήσεις την TESP25).

Συγκεντρωτικός Πίνακας 2.12							
Φυσικών χαρακτηριστικών στρώσης Α2β							
	πλήθος	W(%)	πλήθος	LL(%)	πλήθος	PI(%)	
		M.O		M.O		M.O	
TESP21	6	14.43	4	35.80	4	17.75	
TESP22	3	15.00	2	37.90	2	22.00	
TESP24	6	11.95	4	28.20	4	11.90	
TESP25	7	17.11	5	37.04	5	19.24	
<b>Tot.</b>	<b>22</b>	<b>14.7</b>	<b>15</b>	<b>34.5</b>	<b>15</b>	<b>17.3</b>	
	Κοκκομετρία					Φαινόμενο Βάρος	
	πλήθος	Χ(%)	Α(%)	Λ(%)	Λ(%) Άργιλος	πλήθος	γ (kN/m <sup>3</sup> )
		M.O.	M.O	M.O			M.O
TESP21	4	34.40	23.13	42.48		4	21.58
TESP22	2	7.20	30.75	62.05		2	20.10
TESP24	4	26.45	26.68	46.83	18.4	2	21.48
TESP25	5	13.48	28.82	57.68	32.5	5	19.98
<b>Tot.</b>	<b>15</b>	<b>22</b>	<b>27</b>	<b>51</b>	<b>25.5</b>	<b>16</b>	<b>20.9</b>

Συγκεντρωτικός Πίνακας 2.13							
Μηχανικών χαρακτηριστικών στρώσης Α2β							
	N <sub>SPT</sub>		q <sub>u</sub> (kPa)		Δοκιμές διάτμησης CD		Δοκιμές τριαξ. UU
	πλήθος	M.O.	πλήθος	M.O.	C' (kPa)	Φ' (°)	c <sub>u</sub> (kPa)
TESP21	2	50	1		70	33.0	172
TESP22	1		1		-	-	-
TESP24	2	41	4	428.75	63 / 34	23.0 / 34.3	-
TESP25	3	47	2	248.50	-	-	221.6
Γ32	3	38	1		-	-	-
BH17	-	-	0	-	50	25	-
<b>Tot.</b>	<b>11</b>	<b>43</b>	<b>9</b>	<b>347.1</b>	<b>54.3</b>	<b>28.8</b>	<b>196.8</b>

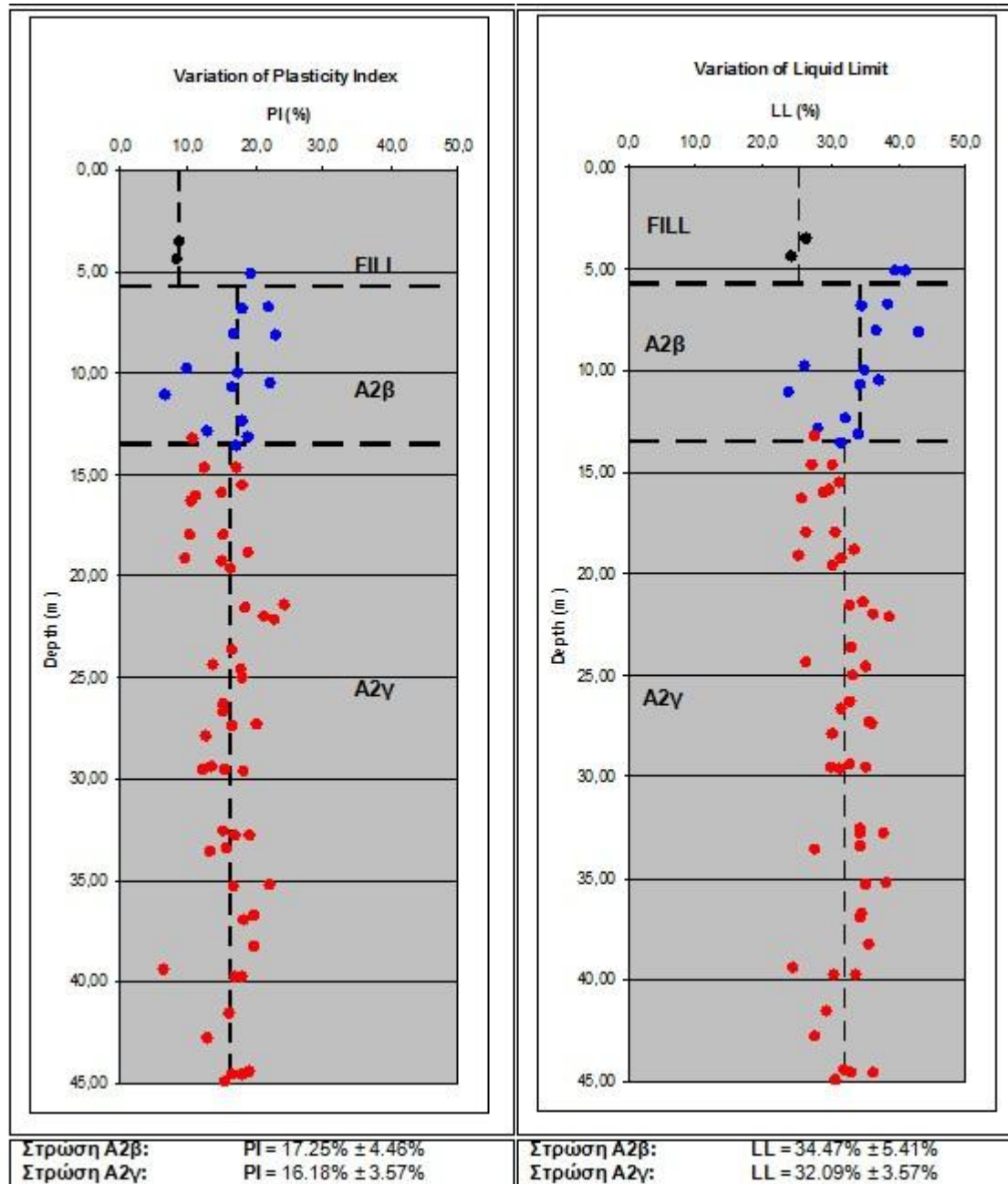
Συγκεντρωτικός πίνακας 2.14							
Φυσικών χαρακτηριστικών στρώσης Α2γ							
	πλήθος	W(%)	πλήθος	LL(%)	πλήθος	PI(%)	
		Μ.Ο		Μ.Ο		Μ.Ο	
TESP21	17	15.96	11	31.92	11	17.35	
TESP22	20	14.67	14	32.22	14	15.63	
TESP24	18	14.09	13	31.65	13	16.62	
TESP25	19	15.44	11	32.62	11	15.20	
<b>Tot.</b>	<b>74</b>	<b>15</b>	<b>49</b>	<b>32.1</b>	<b>49</b>	<b>16.2</b>	
Κοκκομετρία						Φαινόμενο Βάρος	
	πλήθος	Χ(%)	Α(%)	Λ(%)	Λ(%) Άργιλος	πλήθος	γ (kN/m <sup>3</sup> )
		Μ.Ο	Μ.Ο	Μ.Ο			Μ.Ο
TESP21	11	10.65	25.32	64.00	11.0 / 25.7	10	21.77
TESP22	14	6.81	25.74	67.45	7.0 / 22.3 21.5/20.1/17.8	16	21.65
TESP24	13	19.71	25.75	54.55	26.4	13	21.58
TESP25	11	7.52	27.50	64.99	16.1 / 23.0 17.0/18.9/15.5	12	21.21
<b>Tot.</b>	<b>49</b>	<b>11.3</b>	<b>26</b>	<b>62.7</b>	-	<b>51</b>	<b>21.6</b>

Συγκεντρωτικός πίνακας 2.15							
Μηχανικών χαρακτηριστικών στρώσης Α2γ							
	N <sub>SPT</sub>		q <sub>u</sub> (kPa)		Δοκιμές διάτμησης CD		Δοκιμές τριαξ. UU
	πλήθος	Μ.Ο.	πλήθος	Μ.Ο.	C' (kPa)	Φ' (°)	c <sub>u</sub> (kPa)
TESP21	11	50	10	417.60	120	31.1	770
TESP22	7	50	13	701.38	113 / 179	25.7 / 24.8	449 / 900 / 654
TESP24	11	50	8	689.88	150	20.5	840.9 / 879.1
TESP25	11	50	11	766.09	127 / 150	23.6 / 25.7	877.4
Γ32	8	50	6	442.6	-	-	-
BH17	-	-	4	618.4	86 / 117 / 65	26 / 31 / 43	-
<b>Tot.</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>52</b>	<b>622.5</b>	<b>123.0</b>	<b>27.9</b>	<b>767.2</b>



Συγκεντρωτικός πίνακας 2.16						
Φυσικών χαρακτηριστικών τεχνιτών επιχώσεων						
	πλήθος	W(%)	πλήθος	LL(%)	πλήθος	PI(%)
		M.O		M.O		M.O
TESP21	0		0		0	
TESP22	1		1		1	
TESP24	1		1		1	
TESP25	0		0		0	
<b>Tot.</b>	<b>2</b>	<b>12,7</b>	<b>2</b>	<b>25,30</b>	<b>2</b>	<b>8,65</b>
<b>Κοκκομετρία</b>						<b>Φαινόμενο</b>
						<b>Βάρος</b>
	πλήθος	Χ(%)	Α(%)	Λ(%)	πλήθος	γ (kN/m <sup>3</sup> )
		M.O.	M.O	M.O		M.O
TESP21	0				0	
TESP22	1				1	
TESP24	1				1	
TESP25	0				0	
<b>Tot.</b>	<b>2</b>	<b>26,7</b>	<b>30,7</b>	<b>42,6</b>	<b>2</b>	<b>21,9</b>

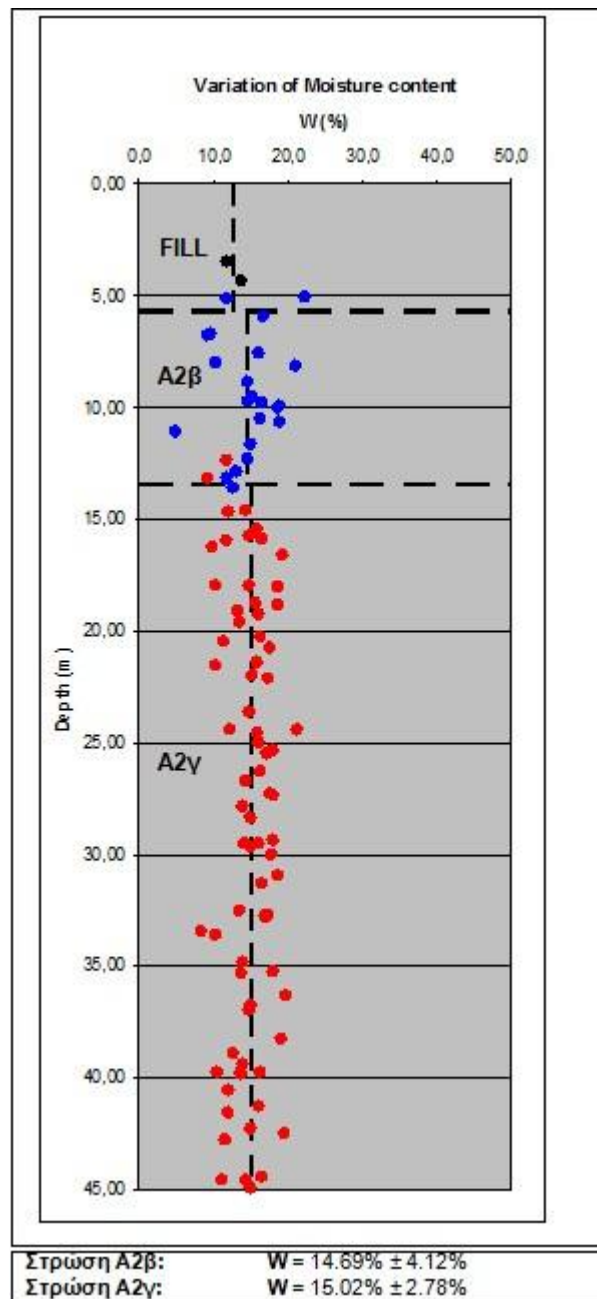
Συγκεντρωτικός πίνακας 2.17							
Μηχανικών χαρακτηριστικών τεχνιτών επιχώσεων							
	N <sub>SPT</sub>		q <sub>u</sub> (kPa)		Δοκιμές διάτμησης CD		Δοκιμές τριαξ. UU
	πλήθος	M.O.	πλήθος	M.O.	C' (kPa)	Φ' (°)	c <sub>u</sub> (kPa)
TESP21	0		0				
TESP22	0		0				
TESP24	0		0				
TESP25	1		0				
Γ32	3	22	0				
BH17	-		0				
<b>Tot.</b>	<b>4</b>	<b>21</b>	<b>0</b>				



Σχήμα 2.4: Δείκτης Πλαστικότητας –Όριο υδαρότητας Συναρτήσεως του Βάθους

Στο παραπάνω γράφημα του Σχήματος 2.4 φαίνεται ότι ο δείκτης πλαστικότητας των δύο στρώσεων είναι εντελώς παρεμφερής ενώ η στρώση A2β παρουσιάζει λίγο υψηλότερο όριο υδαρότητας.

Αντίστοιχα στο επόμενο γράφημα του Σχήματος 2.5 φαίνεται ότι δεν υπάρχουν μεταβολές της φυσικής υγρασίας με το βάθος.



Σχήμα 2.5: Μεταβολές της φυσικής υγρασίας με το βάθος.

#### **2.2.1.4 Συντελεστές Ώθησης Σε Ηρεμία $K_o$**

Στην παρούσα παράγραφο αξιολογούνται τα αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών πρεσσιομέτρησης με σκοπό τον προσδιορισμό των συντελεστών ουδέτερης ώθησης  $K_o$ .

Εκτελέστηκαν συνολικά δύο πρεσσιομετρικές γεωτρήσεις σε αυτή την περιοχή οι PB18 και η TESR23.

Η εκτίμηση των συντελεστών ουδέτερης ώθησης έγινε με τη βοήθεια τριών παραγόντων:

- Την πρεσσιομετρική δοκιμή PB18 (Σχήμα 2.7).
- Την εμπειρική σχέση μεταξύ του δείκτη πλαστικότητας PI και του λόγου υπερστερεοποίησης OCR σύμφωνα με το διάγραμμα του National Research Council of Canada και
- Την εμπειρική σχέση  $K_o^{O/C} = K_o^{N/C} * (OCR)^{\sin\phi} = (0,95 - \sin\phi) * (OCR)^{\sin\phi}$ , για τις Ενότητες A2α, A2β και A2γ

Οι συντελεστές ουδέτερης ώθησης προσδιορίζονται άμεσα με βάση τα αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών, οι οποίες εκτελέστηκαν κατά μήκος του εν λόγω τμήματος της Σήραγγας και έμμεσα από βιβλιογραφικές αναφορές που σημειώνονται παραπάνω.

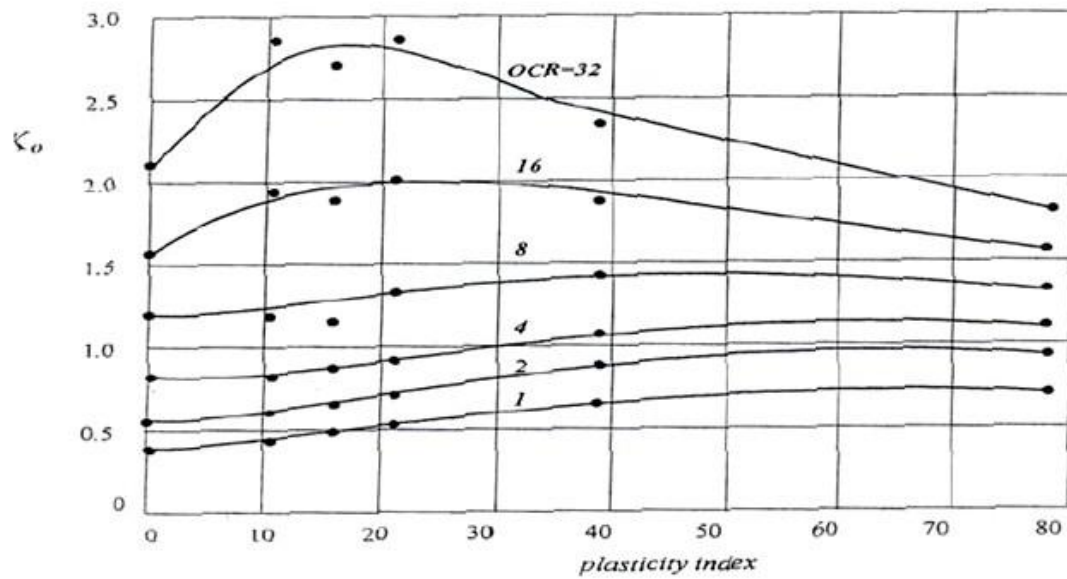
**i) Με βάση το πρεσσιόμετρο PB18:** Το γράφημα του Σχήματος 2.7 με τις αξιολογημένες τιμές του  $K_o$  από το πρεσσιόμετρο δίνεται παρακάτω.

**ii)** Από την εμπειρική σχέση  $K_o^{O/C} = K_o^{N/C} * (OCR)^{\sin\phi} = (0,95 - \sin\phi) * (OCR)^{\sin\phi}$

Για την Στρώση **A2β**:  $\phi' = 28^\circ$  και  $OCR = 1.50 \rightarrow K_o^{O/C} = 0.58$

Για την Στρώση **A2γ**:  $\phi' = 27^\circ$  και  $OCR = 2.20 \rightarrow K_o^{O/C} = 0.71$

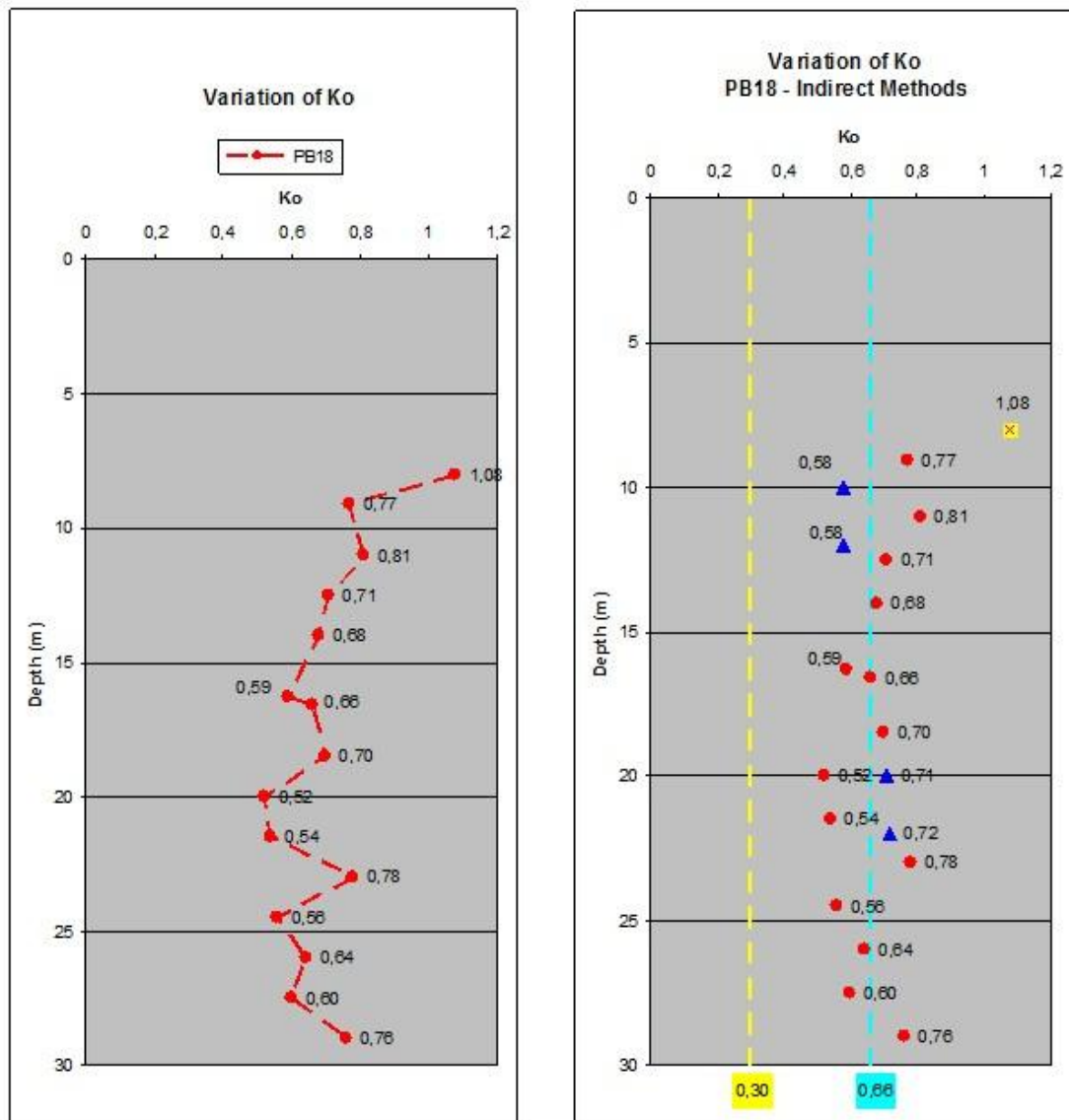
**iii)** Από την εμπειρική σχέση μεταξύ του δείκτη πλαστικότητας PI και του λόγου υπερστερεοποίησης **OCR** σύμφωνα με το διάγραμμα του **National Research Council of Canada** (βλέπε συνημμένο διάγραμμα).



Σχήμα 2.6 Διάγραμμα του National Research Council of Canada

Για την **Ενότητα Α2β**:  $PI = 17\%$  και  $OCR = 1.50 \rightarrow K_o^{0/C} = 0.58$

Για την **Ενότητα Α2β**:  $PI = 16\%$  και  $OCR = 2.20 \rightarrow K_o^{0/C} = 0.72$



Σχήμα 2.7: (αριστερά) Αξιολογημένες τιμές του  $K_0$  από το πρεσσιόμετρο, (δεξιά) Οι τιμές του  $K_0$  που μετρήθηκαν είτε άμεσα από το πρεσσιόμετρο είτε έμμεσα μέσω του PI

Όλες οι τιμές του  $K_0$  που μετρήθηκαν είτε άμεσα από το πρεσσιόμετρο είτε έμμεσα μέσω του PI, τοποθετούνται στο γράφημα του Σχήματος 2.7. Στο εν λόγω γράφημα τοποθετείται διακεκομμένη κίτρινη γραμμή στο όριο του 0.30 ώστε να εξαιρεθούν όλες οι τιμές οι μικρότερες από 0.30. Από τις υπόλοιπες τιμές εξαιρείται η τιμή 1.08 ως τοπικά πολύ υψηλή και μη ρεαλιστική ακόμα και για το στρώμα των Ερυθρών Αργίλων. Από τις υπόλοιπες τιμές που σημειώνονται με κουκίδα στο Γράφημα καθώς και από τις τιμές που προέκυψαν έμμεσα και σημειώνονται με τρίγωνο, προκύπτει μια ενιαία μέση τιμή  $K_0$  μέχρι και το βάθος των 30m ίση με  $K_0 = 0.66$ ,

όπως φαίνεται και από την γαλάζια εστιγμένη γραμμή. Τελικώς, η μέση τιμή του συντελεστή  $K_0$  θα μπορούσε να ληφθεί ίση με:

$$K_0 = 0.65$$

Λόγω της μεθόδου κατασκευής του Σταθμού Σιντριβάνι (cover and cut – top to down), δεν αναμένεται η ανάπτυξη της πλήρους πλευρικής αποτόνωσης των ωθήσεων γαιών (ουδέτερες → ενεργητικές). Στην περίπτωση αυτής της μεθόδου κατασκευής θα υπάρξει φάση “προσωρινών” αντιστηρίξεων με μικρή αποτόνωση των πλευρικών ωθήσεων στα ρηχά του σκάμματος και μεγάλη αποτόνωση στα βαθύτερα λόγω της σημαντικής υποχώρησης της μεταλλικής αντηρίδας. Η εν λόγω εκτίμηση οδηγεί σε μικρή μείωση (της τάξης του 20%) του συντελεστή  $K_0$  ώστε οι “μόνιμες” αντιστηρίξεις να μελετηθούν με συνθήκες μικρής παραμόρφωσης δηλαδή με συνθήκες ώθησης με συντελεστή:

$$K_{wall} = 0.50 \quad (K_{wall} \approx 0.80 \times K_0 = 0.80 \times 0.65 = 0.52)$$

**Τελικά για τον σχεδιασμό των μονίμων έργων προτείνεται συνολικά ενιαίος συντελεστής  $K_{wall} = 0.50$**

Η στατική επίλυση (διαστασιολόγηση) των φορέων των επί μέρους έργων του σταθμού θα γίνει με:

- Κινητό φορτίο στο “φρύδι” του πρανούς τουλάχιστον ίσο προς το προβλεπόμενο από τις Προδιαγραφές Μελετών.
- Φορτία κτιρίων, εάν υπάρχουν
- Υδροστατικές πιέσεις με βάση τη θέση της στάθμης υδροφόρου ορίζοντα στις θέσεις των έργων του Σταθμού.

Μέσο Απόλυτο Υψόμετρο φυσικού εδάφους (+20.50)		±0.00
		↓
		<b>ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΣΕΙΣ</b>
$\gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$		Χαλαροί έως μέτρια πυκνοί αργιλωδεις
$c' = 10 \text{ kPa}$		<b>ΧΑΛΙΚΕΣ (GC)</b> με άμμο, σταθερές,
$\varphi' = 32^\circ$		καστανές, αμμώδεις <b>ΑΡΓΙΛΟΙ (CL-CI)</b> ,
$E_s = 20 \text{ MPa}$	Σ.Υ.Ο. -4.50m (Α.Υ. +16.00)	χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας, και
$E = 15 \text{ MPa}$		χαλαρές έως μέτρια πυκνές, ιλυώδεις
		<b>ΑΜΜΟΙ (SM)</b>
		-5.60
		-----
$\gamma = 21.0 \text{ kN/m}^3$		Στιφρές έως πολύ στιφρές,
$c' = 55 \text{ kPa}$		καστανέρυθρες, αμμώδεις <b>ΑΡΓΙΛΟΙ (CL-CI)</b>
$\varphi' = 28^\circ$		τοπικά με χαλίκια, χαμηλής έως μέσης
$N = 43$		πλαστικότητας, με σποραδικές, ασυνεχείς
$c_u = 190 \text{ kPa}$		και μικρού πάχους ενστρώσεις πυκνών,
$E_s = 130 \text{ MPa}$		καστανέρυθρων, αργιλωδών <b>ΑΜΜΩΝ (SC)</b>
$E = 100 \text{ MPa}$		με χάλικες και αργιλωδών <b>ΧΑΛΙΚΩΝ (GC)</b> .
$K_h = 5,0 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$		<b>(ΣΤΡΩΣΗ A2β)</b>
$K_v = 1,5 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$		
		-13.50
		-----
$\gamma = 21,5 \text{ kN/m}^3$		Σκληρές και τοπικά πολύ στιφρές,
$c' = 125 \text{ kPa}$		ερυθρές, αμμώδεις <b>ΑΡΓΙΛΟΙ (CL-CI)</b> έως
$\varphi' = 27^\circ$		<b>ΑΡΓΙΛΟΙ</b> με άμμο, χαμηλής έως μέσης
$N > 50$		πλαστικότητας, έως πολύ ασθενείς
<b>(ΑΡΝΗΣΗ)</b>		<b>ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΙ-ΙΛΥΟΛΙΘΟΙ</b> , με τοπικές και
$c_u = 400 \text{ kPa}$		ασυνεχείς ενστρώσεις πυκνών έως πολύ
$E_s = 350 \text{ MPa}$		πυκνών, καστανέρυθρων, αργιλωδών
$E = 300 \text{ MPa}$		<b>ΑΜΜΩΝ (SC)</b> και αργιλωδών <b>ΧΑΛΙΚΩΝ</b>
$K_h = K_v = 2 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$		<b>(GC)</b> έως τοπικά και καλά συγκολλημένων
	Στάθμη Εκσκαφής -28.50m	<b>ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΩΝ (ΣΤΡΩΣΗ A2γ)</b>
		-----

Σχήμα 2.8: Γεωτεχνική Τομή Σχεδιασμού στο Σταθμό Σιντριβάνι



### **2.2.2 ΣΤΑΘΜΟΣ ΣΙΝΤΡΙΒΑΝΙ – ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΣΙΝΤΡΙΒΑΝΙ ( Χ.Θ. 2+661 ~ Χ.Θ. 2+900)**

Η παράγραφος αυτή αναφέρεται στο τμήμα της σήραγγας μεταξύ του Σταθμού Σιντριβάνι (Χ.Θ. 2+661.73) και της Διασταύρωσης Σιντριβάνι (Χ.Θ. 2+897.53). Η σήραγγα θα κατασκευαστεί με την χρήση TBM τύπου EPB σε βάθη (TOR) από -26 έως -27 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους και θα έχει μήκος ~240m (Χ.Θ. 2+661 έως Χ.Θ. 2+897) και διάμετρο περίπου 6 μέτρων.

Στη συγκεκριμένη περιοχή εκτελέστηκαν συνολικά τέσσερις γεωτρήσεις από τις οποίες η μία πραγματοποιήθηκε σε προγενέστερη έρευνα PB19 (1999) και οι άλλες τρεις κατά τη συμπληρωματική γεωτεχνική έρευνα (2007). Από τις τρεις νεότερες γεωτρήσεις στις δύο πρώτες TFTR21 και TFTR22 εκτελέστηκαν επί τόπου δοκιμές αντοχής SPT και διαπερατότητας Maag καθώς και μία πρεσσιομέτρηση TFTR23.

Στα δείγματα τα οποία ελήφθησαν από τις παραπάνω δύο γεωτρήσεις (από την πρεσσιομετρική δεν ελήφθησαν δείγματα) εκτελέστηκαν εργαστηριακές δοκιμές προσδιορισμού των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των ιζημάτων.

### 2.2.2.1 Γεωτεχνικές Συνθήκες

1. **Στρώμα Τεχνητών Επιχωματώσεων:** αποτελείται από μαλακές έως σταθερές, καστανοκόκκινες, αμμώδεις **ΑΡΓΙΛΟΥΣ (CL)** χαμηλής πλαστικότητας, με σποραδικούς χάλικες, όστρακα, ίχνη καύσης κονίαμα, κεραμικά και φυτικά ριζίδια. Η ενότητα παρουσιάζεται σε βάθη μέχρι 3.80 (TFTP21) – 3.60 (TFTP22), (μέσο πάχος: 3.70m)

2. **Νεογενή ιζήματα της Σειράς των Ερυθρών Αργίλων:**

Η ανώτερη γεωτεχνική ενότητα **A2α** αποτελείται από σταθερές, καστανοκόκκινες έως κόκκινες, αμμώδεις **ΑΡΓΙΛΟΥΣ (CI)** μέσης πλαστικότητας και από μέτρια πυκνές έως πυκνές, καστανοκόκκινες, αργιλώδεις **ΑΜΜΟΥΣ (SC)** με σποραδικούς χάλικες σε βάθη μέχρι 8.00 (TFTP21) – 8.00 (TFTP22), (μέσο βάθος: 8.00m, μέσο πάχος: 4.30m). Οι κοκκομετρήσεις που εκτελέστηκαν έδειξαν ότι αποτελείται από περίπου 50% λεπτόκοκκα ιζήματα, από 19% χάλικες και από 31% άμμους. Ο συντελεστής διαπερατότητας της Ενότητας προσδιορίστηκε από μία μόνο επί τόπου δοκιμή Maag στα  $10^{-5}$  cm/sec. Επισημαίνεται ότι στο εσωτερικό της εντοπίστηκε **κενό** στην Γεώτρηση TFTP22 σε βάθος 3,90 με 4,60m, χωρίς ωστόσο να είναι δυνατός ο προσδιορισμός της φύσης του.

Η υποκείμενη ενότητα **A2β** αποτελείται από στιφρές έως πολύ στιφρές, κόκκινες, **ΑΡΓΙΛΟΥΣ (CL-CI)** με άμμο, οξειδώσεις μαγγανίου και ασβεστιτικά συγκρίματα, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας, με τοπικές ενστρώσεις πολύ πυκνών, κόκκινων, αργιλωδών **ΑΜΜΩΝ (SC)** με χάλικες και επίσης πολύ πυκνών, αργιλωδών **ΧΑΛΙΚΩΝ (GC)** με άμμο σε βάθη μέχρι 20.00 (TFTP21) – 17.00 (TFTP22). Τοπικά οι χάλικες εμφανίζονται ως καλά συγκολλημένα **ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΗ**. Οι κοκκομετρικές αναλύσεις που εκτελέστηκαν στην Ενότητα έδειξαν ότι συνίσταται από περίπου 65% λεπτόκοκκα ιζήματα, 10% χάλικες και 25% άμμους. Ο συντελεστής διαπερατότητας της Ενότητας προσδιορίστηκε από επί τόπου δοκιμές Maag στα  $10^{-5}$  cm/sec, τιμή η οποία θεωρείται αντιπροσωπευτική των σχηματισμών της ενότητας σύμφωνα και με το υψηλό ποσοστό λεπτοκόκκων που παρουσιάζει.

Η ενότητα **A2γ**, εντός της οποίας θα διέλθει η σήραγγα, η οποία αποτελείται από πολύ στιφρές έως σκληρές, κόκκινες, **ΑΡΓΙΛΟΥΣ (CL-CI)** με άμμο, οξειδώσεις μαγγανίου και ασβεστιτικά συγκρίματα, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας και από πολύ ασθενείς, κόκκινους, **ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΥΣ / ΙΛΥΟΛΙΘΟΥΣ** σε βάθη τουλάχιστον μέχρι 33.20m.

Οι κοκκομετρικές αναλύσεις που εκτελέστηκαν έδειξαν ότι το ποσοστό λεπτοκόκκων αυξάνει συγκριτικά με την υπερκείμενη και κυμαίνεται περί το 70% με μείωση του ποσοστού χαλίκων το οποίο μετρήθηκε στο 8%, ενώ η παρουσία της άμμου παραμένει στα επίπεδα του 22%. Επί τόπου δοκιμές διαπερατότητας δεν εκτελέστηκαν στην Ενότητα, εκτιμάται ωστόσο βάση του ότι η κοκκομετρική σύσταση της A2γ είναι παρεμφερής με αυτή της υπερκείμενης A2β αλλά και λόγω του υψηλότερου βαθμού διαγένεσης που εμφανίζει η πρώτη ο οποίος μειώνει ακόμα περισσότερο το πρωτογενές πορώδες των ιζημάτων, ότι ο συντελεστής διαπερατότητας της A2γ θα είναι ίσος ή χαμηλότερος από  $10^{-5}$  cm/sec.

Η Ενότητα A2γ εκτείνεται τουλάχιστον ως τα 33.20m από την επιφάνεια του εδάφους και φαίνεται ότι η σήραγγα στον εν λόγω τμήμα θα κατασκευαστεί σε εναλλαγές πολύ στιφρών έως σκληρών αργίλων και πολύ ασθενών αργιολίθων / ιλυολίθων.

Επισημαίνεται ότι τα Νεογενή ιζήματα της Σειράς των Ερυθρών Αργίλων που αποκλειστικά συναντώνται στο τμήμα της Σήραγγας από Σταθμό Σιντριβάνι σε Διασταύρωση Σιντριβάνι είναι υπερστερεοποιημένα, έως κατά τόπους στις θέσεις των ημιβράχων και έντονα υπερστερεοποιημένα, με τιμές OCR περί το 2.00 ή κατά τόπους και μεγαλύτερες.

Αναφορικά με τις **υδρογεωλογικές συνθήκες** που θα συναντηθούν κατά την διάνοιξη της Σήραγγας, βάση πάντα της Έκθεσης Γραφείου, η φρεάτια γραμμή του υδροφόρου ορίζοντα εντοπίζεται στο βάθος των -3,10 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους. Μάλιστα επισημαίνεται ότι εντοπίζεται πιθανότατα **αρτεσιανός υδροφόρος** με προτεινόμενη στάθμη σχεδιασμού υπογείων υδάτων που κυμαίνεται από το απόλυτο υψόμετρο των +18,50 έως αυτό των +20,00m.

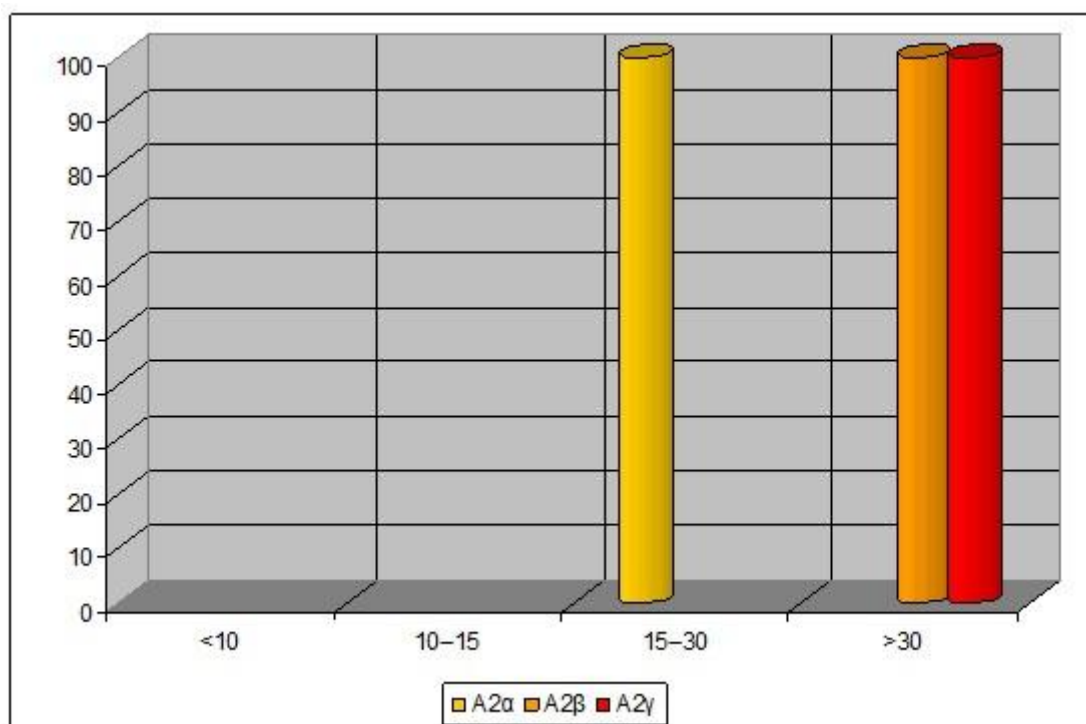
Όσον αφορά στην **διαπερατότητα** των παραπάνω σχηματισμών επισημαίνεται ότι δεν εκτελέστηκαν δοκιμές διαπερατότητας σε προηγούμενες φάσεις ερευνών.

**2.2.2.2 Επιτόπου Δοκιμές****1. Δοκιμές Διείσδυσης SPT**

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα του Σχήματος 2.9 πραγματοποιήθηκαν συνολικά 11 δοκιμές SPT εκ των οποίων οι 8 παρουσίασαν άρνηση ( $N_{SPT} > 50$ ) ενώ οι υπόλοιπες 3 εμφάνισαν τιμές που κυμαίνονται από 20 έως 41 κρούσεις.

ΠΙΝΑΚΑΣ 18 : Αποτελέσματα προτύπων δοκιμών διείσδυσης (SPT)				
	Βάθος (m)	(N) TFTP21	(N) TFTP22	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ $N_{SPT}$
ΕΝΟΤΗΤΑ Α2α	3.70 – 8.00	28	20	24
ΕΝΟΤΗΤΑ Α2β	8.00 – 18.50	41 / 48 / A	A	48
ΕΝΟΤΗΤΑ Α2γ	18.50 – 33.20	A / A	A / A / A	> 50 (ΑΡΝΗΣΗ)

Η παραπάνω διακύμανση των τιμών  $N_{SPT}$  συνοψίζεται στο παρακάτω γράφημα του Σχήματος 2.9.

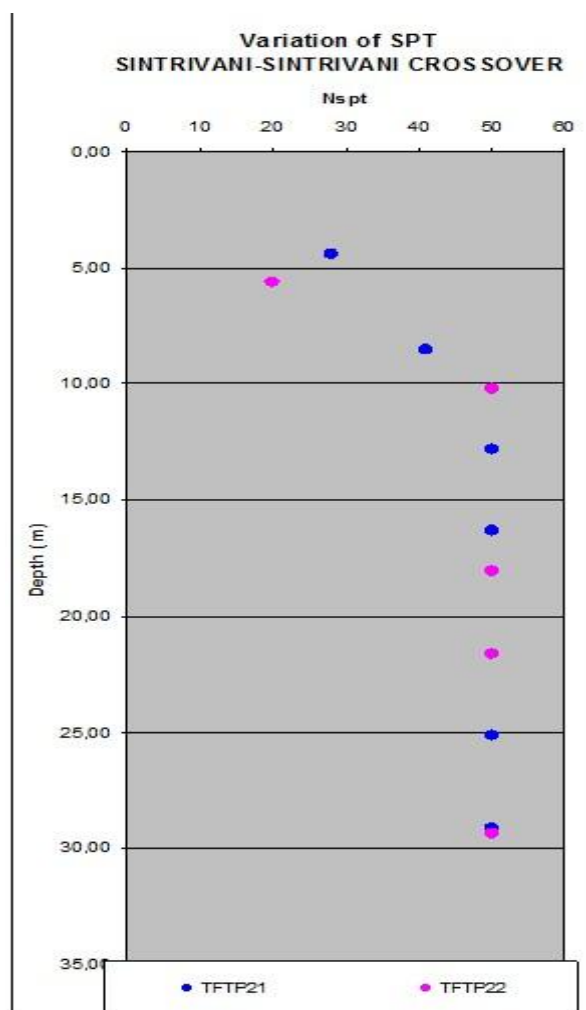


Σχήμα 2.9: Διακύμανση των τιμών  $N_{SPT}$  με το βάθος

Με βάση το παραπάνω γράφημα του Σχήματος 2.9 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Το 100% των Γεωτεχνικών Σχηματισμών της Ενότητας **A2α** χαρακτηρίζονται ως “πολύ στιφροί – μέσης πυκνότητας”
- Το 100% των Γεωτεχνικών Σχηματισμών των Ενότητων **A2β** και **A2γ** χαρακτηρίζονται ως “σκληροί – πυκνοί έως πολύ πυκνοί”

Στο γράφημα που ακολουθεί στο Σχήμα 2.10 παρουσιάζεται η μεταβολή του αριθμού κρούσεων  $N_{SPT}$  με το βάθος. Στις περιπτώσεις που καταγράφηκε άρνηση η τιμή  $N_{SPT}$  δίνεται ίση με 50.

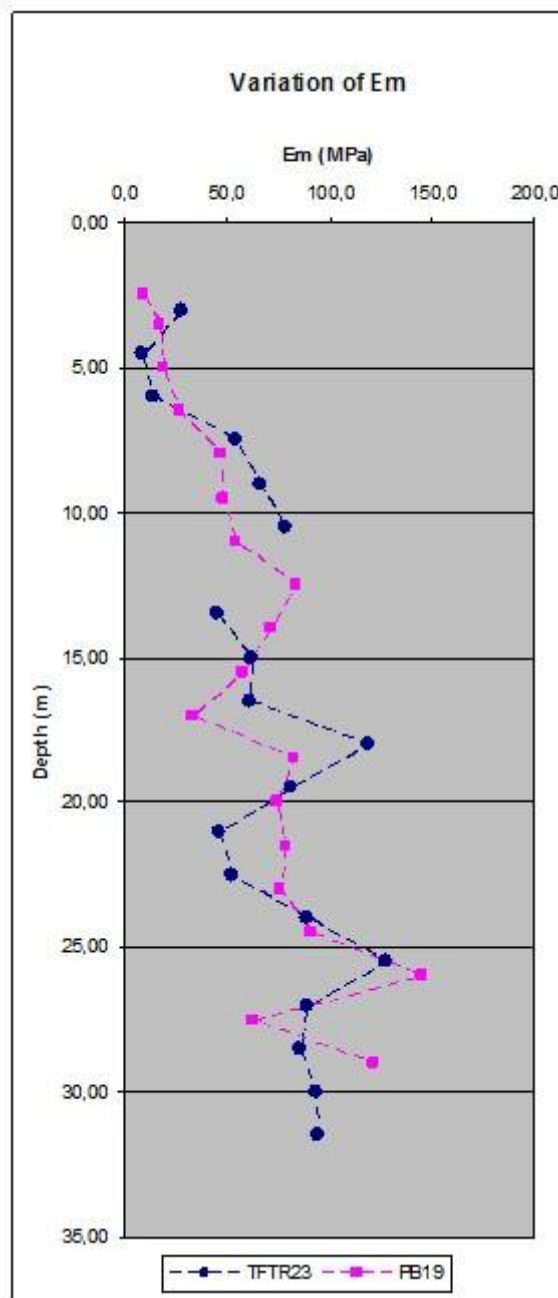


Σχήμα 2.10: Μεταβολή του αριθμού κρούσεων  $N_{SPT}$  με το βάθος

## 2 Δοκιμές Πρεσσιομέτρου

Οι πρεσσιομετρήσεις χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό παραμέτρων αντοχής του εδάφους στα διάφορα βάθη εκτέλεσης των δοκιμών.

Στον σταθμό εκτελέστηκε μία πρεσσιομετρική γεώτρηση η TFTR23 (Χ.Θ. 2+835) και επίσης χρησιμοποιείται και η πρεσσιομέτρηση PB19 (Χ.Θ. 2+730) η οποία εκτελέστηκε σε προγενέστερη έρευνα (1999).



Σχήμα 2.11: Μεταβολή πρεσσιομετρικού μέτρου με το βάθος

## Κεφάλαιο 2

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των πρεσσιομετρήσεων οδηγεί έμμεσα στο προσδιορισμό των ακολούθων παραμέτρων: του Πρεσσιομετρικού μέτρου  $E_m$ , του Μέτρου συμπίεσης  $E_s$  και της Οριακής πίεση θραύσης  $P_{lim}$  όπως αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα.

Στους πίνακες που ακολουθούν (2.19 & 2.20) δίνεται η μέση τιμή των γεωτεχνικών παραμέτρων  $E_m$ ,  $P_{lim}$ ,  $E_s$  και  $\alpha$  για την περιοχή ενδιαφέροντος.

<b>Πίνακας 2.19</b>				
<b>Πρεσσιομέτρηση TFTR23</b>				
	ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	ΕΝΟΤΗΤΑ Α2α	ΕΝΟΤΗΤΑ Α2β	ΕΝΟΤΗΤΑ Α2γ
Βάθος (m)	0.00 – 3.60	3.60 – 8.00	8.00 – 17.00	17.00 – 33.20
$P_{lim}$ (MPa)	2.19	Και οι δύο δοκιμές που εκτελέστηκαν στην Α2α εξαιρέθηκαν από τον Υπεργολάβο	4.64	6.81
$E_m$ (MPa)	28.1		61.4	92.2
$E_m/P_{lim}$	13		14	14
$\alpha$	0.66		0.59	0.33
$E_s$ (MPa)	42.5		104.0	279.4

<b>Πίνακας 2.20</b>				
<b>Πρεσσιομέτρηση PB19</b>				
	ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	ΕΝΟΤΗΤΑ Α2α	ΕΝΟΤΗΤΑ Α2β	ΕΝΟΤΗΤΑ Α2γ
Βάθος (m)	0.00 – 3.80	3.80 – 8.00	8.00 – 20.00	20.00 – 31.80
$P_{lim}$ (MPa)	(0.75)	(2.6)	(5.31)	(5.7)
$E_m$ (MPa)	(13.9)	(23.2)	(61.3)	(95.8)
$E_m/P_{lim}$	19	10	12	17
$\alpha$	0.66	0.47	0.53	0.33
$E_s$ (MPa)	21.1	49.4	115.6	290.3



### 3 Δοκιμές Διαπερατότητας – Maag

Με βάση τις δοκιμές Maag που πραγματοποιήθηκαν έγινε χαρακτηρισμός όλων των επί μέρους ενοτήτων που εντοπίζονται κατά μήκος της σήραγγας σύμφωνα με τον Πίνακα 2.5 κατά Terzaghi and Peck (1967) καθώς και τον Πίνακα 2.7 Casagrande που αναλύθηκε στο πρώτο διάστημα.

Στον Πίνακα 2.21 που ακολουθεί συνοψίζονται η μέση τιμή του οριζοντίου συντελεστή διαπερατότητας  $K$  και ο χαρακτηρισμός των επί μέρους ενοτήτων Α2α, Α2β και Α2γ και των Τεχνητών Επιχώσεων για το τμήμα της σήραγγας μεταξύ του Σταθμού Σιντριβάνι και της Διασταύρωσης Σιντριβάνι.

Πίνακας 2.21 Μέση τιμή του οριζοντίου συντελεστή διαπερατότητας $K_H$				
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	Βάθος (m)	ΤΙΜΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ $K$ (cm/sec)	ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (ΜΕΣΗ) $K$ (cm/sec)	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ $K_H$ (cm/sec)
ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	0.00 – 3.70	-	-	-
A2α	3.70 – 8.00	$1.40 \times 10^{-5}$	-	$1.00 \times 10^{-4*}$ (ΧΑΜΗΛΗ)
A2β	8.00 – 18.50	$2.37 \times 10^{-5} / 1.56 \times 10^{-5} / 1.64 \times 10^{-5}$	$1.86 \times 10^{-5}$	$1.00 \times 10^{-5}$ (ΧΑΜΗΛΗ)
A2γ	18.50 – 33.20	-	-	-

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα του παραπάνω Πίνακα 2.21 είναι τα εξής:

- Ο συντελεστής διαπερατότητας των σχηματισμών της Σειράς των Ερυθρών Αργίλων προσδιορίστηκε περίπου ίσος με  $10^{-5}$  cm/sec κάτι το οποίο συμφωνεί με το υψηλό ποσοστό λεπτοκόκκων των Ενοτήτων Α2β και Α2γ (64% και 70% αντίστοιχα). Όσον αφορά στην Ενότητα Α2α εκτιμάται ότι ο συντελεστής μπορεί να είναι υψηλότερος από  $10^{-5}$  cm/sec καθώς αφενός εκτελέστηκε μόνο μία δοκιμή διαπερατότητας αφετέρου η συμμετοχή λεπτοκόκκων σε σύγκριση με τις άλλες δύο Ενότητες είναι σημαντικά

χαμηλότερη (~50%). Προτείνεται συντηρητικά για την Ενότητα A2α συντελεστής ίσος με  $k_h = 10^{-4}$  cm/sec. Τέλος, αν και στην Ενότητα A2γ δεν εκτελέστηκαν δοκιμές, εκτιμάται ότι ο συντελεστής διαπερατότητάς της θα είναι ίσος ή και χαμηλότερος από αυτόν της A2β καθώς η A2γ παρουσιάζει τόσο υψηλότερο ποσοστό λεπτοκόκκων (~70%) όσο και υψηλότερη διαγένεση που μειώνει το πρωτογενές πορώδες των ιζημάτων.

- Όσον αφορά στις Τεχνητές Επιχώσεις, ο συντελεστής διαπερατότητας δεν προσδιορίστηκε καθώς λόγω του μικρού πάχους αλλά και του γεγονότος ότι η Ενότητα δεν εμπλέκεται στην διάνοιξη της σήραγγας δεν εκτελέστηκαν δοκιμές διαπερατότητας. Προτείνεται, ωστόσο, συντηρητικά, βάση της περιγραφής των σχηματισμών που συνιστούν την Ενότητα τιμή  $k_h = 10^{-3}$  cm/sec.
- Συμπερασματικά, οι Γεωτεχνικοί Σχηματισμοί των Ενότητων A2α, A2β και A2γ χαρακτηρίζονται ως “χαμηλής διαπερατότητας” βάση των συντελεστών διαπερατότητας που προσδιορίστηκαν. Επιπλέον, σύμφωνα με τον Πίνακα Casagrande 4.8, 1938, with minor additions-from textbook “ Introduction to Geotechnical Engineering” by Holtz R.D, Kovacs W.D, το υψηλό ποσοστό αργιλικού κλάσματος (~19%) αλλά και την υψηλή διαγένεση (ημιβραχώδης) των σχηματισμών της Ενότητας A2γ εκτιμάται ότι κατά τόπους μπορεί να χαρακτηρίζεται και ως “πρακτικά αδιαπέρατη”.

**Ο κατακόρυφος συντελεστής διαπερατότητας ( $K_v$ )** λαμβάνεται ίσος με τον οριζόντιο ( $K_h$ ), αφενός γιατί όλες οι επί μέρους Γεωτεχνικές Ενότητες που προσδιορίστηκαν είναι σχεδόν αμιγώς αργιλικές με ποσοστά λεπτοκόκκων μεταξύ 60% - 70% και δίχως ουσιαστικές ενστρώσεις από υλικά μεγαλύτερης διαπερατότητας και αφετέρου διότι στα ημιβραχώδη τμήματα (Ενότητα A2γ), η διαπερατότητα ελέγχεται από τις τυχόν ασυνέχειες και όχι από την κοκκομετρία των υλικών και τις τυχόν ενστρώσεις. **Συνεπώς, λαμβάνεται  $K_h = K_v$**  καθόλο το μήκος της Σήραγγας από Σταθμό Σιντριβάνι έως Διασταύρωση Σιντριβάνι.

**2.2.2.3 Υπόγεια Νερά**

Μετά το πέρας των εργασιών διάτρησης των δύο (2) γεωτρήσεων (TFTP21 και TFTP22) τοποθετήθηκαν πιεζόμετρα και για διάστημα περίπου δέκα μηνών πάρθηκαν μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου νερού. Στον Πίνακα 2.22 που ακολουθεί δίνονται οι μετρήσεις στάθμης που πραγματοποιήθηκαν στην πρεσσιομετρική γεώτρηση PB19 που εκτελέστηκε σε προηγούμενη φάση ερευνών με στόχο την ακριβέστερη προτεινόμενη στάθμη σχεδιασμού.

<b>Πίνακας 2.22:</b>		
<b>Μετρήσεις πιεζομέτρων (βάθος στάθμης (m) από κεφαλή γεώτρησης)</b>		
	TFTP21 (+21.62)	TFTP22 (+20.98)
8/2/07	3,96	2,60
12/2/07	3,85	-
16/2/07	3,88	2,60
22/2/07	3,86	2,60
2/3/07	3,49	2,02
9/3/07	3,49	-
14/3/07	3,47	1,83
27/3/07	3,49	-
28/3/07	-	1,70
4/4/07	3,42	1,52
12/4/07	3,46	1,53
18/4/07	3,45	1,43
26/4/07	3,53	1,42
4/5/07	3,51	-
11/5/07	3,53	-
18/5/07	3,47	1,28
28/5/07	3,38	1,16
14/6/07	3,38	1,23
19/6/07	3,40	1,26
29/6/07	3,41	1,36
2/7/07	3,37	1,36
9/7/07	3,36	1,37
16/7/07	3,38	1,44
24/7/07	3,38	1,44
30/7/07	3,33	1,42
20/8/07	3,40	1,34
27/8/07	3,42	1,30
3/9/07	3,40	1,32
10/9/07	3,36	1,34
17/9/07	3,38	1,49
24/9/07	3,42	-
2/10/07	3,43	1,54

<b>Πίνακας 2.23:</b> <b>Μετρήσεις στάθμης προγενέστερων γεωτεχνικών ερευνών (βάθος στάθμης (m) από κεφαλή γεώτρησης)</b>	
	PB19 (+21.50)
09/1991	-
10/1991	-
11/1991	-
12/1991	-
01/1992	-
24/8/99	-
17/9/99	3,12

Η συναξιολόγηση των δύο παραπάνω Πινάκων οδηγεί στον Πίνακα 2.24 που ακολουθεί, στον οποίο δίνονται τα απόλυτα υψόμετρα της μέγιστης και ελάχιστης στάθμης υπόγειου νερού που μετρήθηκε σε κάθε γεώτρηση, καθώς και η μέγιστη και ελάχιστη στάθμη σχεδιασμού για το τμήμα της Σήραγγας μεταξύ του Σταθμού Σιντριβάνι και της Διασταύρωσης Σιντριβάνι.

<b>Πίνακας 2.24:</b> <b>Προτεινόμενη στάθμη υπογείου νερού (απόλυτο υψόμετρο)</b>				
	ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ	ΣΤΑΘΜΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	
			ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ
TFTP21	+17.66	+18.29	+18.50	+20.00
PB19	+18.38	+18.38		
TFTP22	+18.38	+19.82		

- Οι στάθμες σχεδιασμού που δίνονται στον παραπάνω Πίνακα 2.24 δόθηκαν συντηρητικά υψηλότερα από τις μέσες μετρημένες για λόγους ασφαλείας.
- Επιπλέον, από την σύγκριση των μετρήσεων μεταξύ των νέων και των παλαιών πιεζόμετρων φαίνεται ότι κατά τα τελευταία δεκαέξι χρόνια (1992 – 2007) η στάθμη του υδροφόρου δεν έχει μεταβληθεί σημαντικά. Πιο συγκεκριμένα η γεώτρηση PB19 που βρίσκεται πλησίον της TFTP21 παρουσιάζει ακριβώς την ίδια ελάχιστη στάθμη υπογείου νερού (+18,38m). Ωστόσο, επισημαίνεται ότι όσον αφορά στην γεώτρηση PB19 δεν μπορούν

να εξαχθούν ουσιαστικά και ασφαλή συμπεράσματα καθώς πάρθηκε μόνον μία μέτρηση της στάθμης.

- Τονίζεται ότι πιθανότατα οι στάθμες του νερού που μετρήθηκαν και που τελικά προτείνονται στον παραπάνω Πίνακα αντιστοιχούν σε **πιεζομετρική και όχι φρεατική γραμμή** υδροφόρου, καθώς βρίσκονται αδικαιολόγητα πολύ κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Εκτιμάται ότι στην περιοχή αναπτύσσεται ο ίδιος αρτεσιανός υδροφόρος που εντοπίστηκε τόσο στον Σταθμό όσο και στην Διασταύρωση Σιντριβάνι.

Συγκεντρωτικός πίνακας 2.25 Φυσικών χαρακτηριστικών στρώσης A2a							
	πλήθος	W(%)	πλήθος	LL(%)	πλήθος	PI(%)	
		M.O		M.O		M.O	
TFTP21	4	15,0	3	38,1	3	20,5	
TFTP22	2	18,4	2	37,0	2	18,9	
<b>Tot.</b>	<b>6</b>	<b>16,1</b>	<b>5</b>	<b>37,6</b>	<b>5</b>	<b>19,9</b>	
Κοκκομετρία						Φαινόμενο Βάρος	
	πλήθος	X(%)	A(%)	Λ(%)	Λ(%) Άργιλος	πλήθος	γ (kN/m <sup>3</sup> )
		M.O.	M.O	M.O			M.O
TFTP21	3	24,0	33,7	42,2	26,8	2	21,7
TFTP22	2	11,7	27,3	61,0	38,1	2	20,1
<b>Tot.</b>	<b>5</b>	<b>19,1</b>	<b>31,2</b>	<b>49,7</b>	<b>32,5</b>	<b>4</b>	<b>20,9</b>

Συγκεντρωτικός πίνακας 2.26 Μηχανικών χαρακτηριστικών ενότητας A2a								
	Βάθος (m)	N <sub>SPT</sub>	q <sub>u</sub> (kPa)	Δοκιμές Διάτμησης CD		Δοκιμές Τριαξονικές CUPP		Τριαξονικές UU
				c' (kPa)	φ' (°)	c <sub>u</sub> (kPa)	φ' (°)	c <sub>u</sub> (kPa)
TFTP21	3.95	-	61	-	-	-	-	-
	4.43	28	-	-	-	-	-	-
	7.58	-	154	-	-	-	-	82
	Πλήθος	1	2	0	0	0	0	1
	Μέσος	-	108	-	-	-	-	-
TFTP22	5.63	20	-	-	-	-	-	-
	6.05	-	81	-	-	-	-	-
	Πλήθος	1	1	0	0	0	0	0
	Μέσος	-	-	-	-	-	-	-
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΟΤΗΤΑ A2a</b>	Πλήθος	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
	Μέσος	<b>24</b>	<b>98.7</b>	-	-	-	-	-

Συγκεντρωτικός πίνακας 2.27 Φυσικών χαρακτηριστικών στρώσης Α2β							
	πλήθος	W(%)	πλήθος	LL(%)	πλήθος	PI(%)	
		Μ.Ο		Μ.Ο		Μ.Ο	
TFTP21	8	14,7	5	33,4	5	16,4	
TFTP22	4	14,9	3	34,1	3	16,1	
Tot.	12	14,8	8	33,6	8	16,3	
Κοκκομετρία					Φαινόμενο Βάρος		
	πλήθος	X(%)	A(%)	Λ(%)	Λ(%) Άργιλος	πλήθος	γ (kN/m <sup>3</sup> )
		Μ.Ο.	Μ.Ο	Μ.Ο			Μ.Ο
TFTP21	5	7,9	25,4	66,7	5,8	5	21,6
TFTP22	2	15,7	27,2	57,2	14,4	3	21,6
Tot.	7	10,2	25,9	64,0	10,1	8	21,6

Συγκεντρωτικός πίνακας 2.28 Μηχανικών χαρακτηριστικών ενότητας Α2β								
	Βάθος (m)	N <sub>SPT</sub>	q <sub>u</sub> (kPa)	Δοκιμές Διάτμησης CD		Δοκιμές Τριαξονικές CUPP		Τριαξονικές UU
				c' (kPa)	c' (kPa)	c <sub>u</sub> (kPa)	φ' (°)	c <sub>u</sub> (kPa)
TFTP21	8.53	41	-	-	-	-	-	-
	10.40	-	286	59	26.4	-	-	-
	12.40	-	392	-	-	-	-	-
	12.83	50	-	-	-	-	-	-
	13.10	-	381	-	-	-	-	-
	16.30	50	-	-	-	-	-	-
	19.10	-	304	-	-	-	-	-
	Πλήθος	3	4	1	1	0	0	0
	Μέσος	47	340.8	-	-	-	-	-
TFTP22	-	177	-	-	-	-	-	-
	50	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	104	31.1	-	-	-	-
	-	119 (Εξαιρείται)	-	-	-	-	-	-
	Πλήθος	1	1	1	1	0	0	0
	Μέσος	-	-	-	-	-	-	-
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΟΤΗΤΑ Α2α</b>	Πλήθος	4	5	2	2	0	0	0
	Μέσος	48	308	81.5	28.8	-	-	-

Κεφάλαιο 2

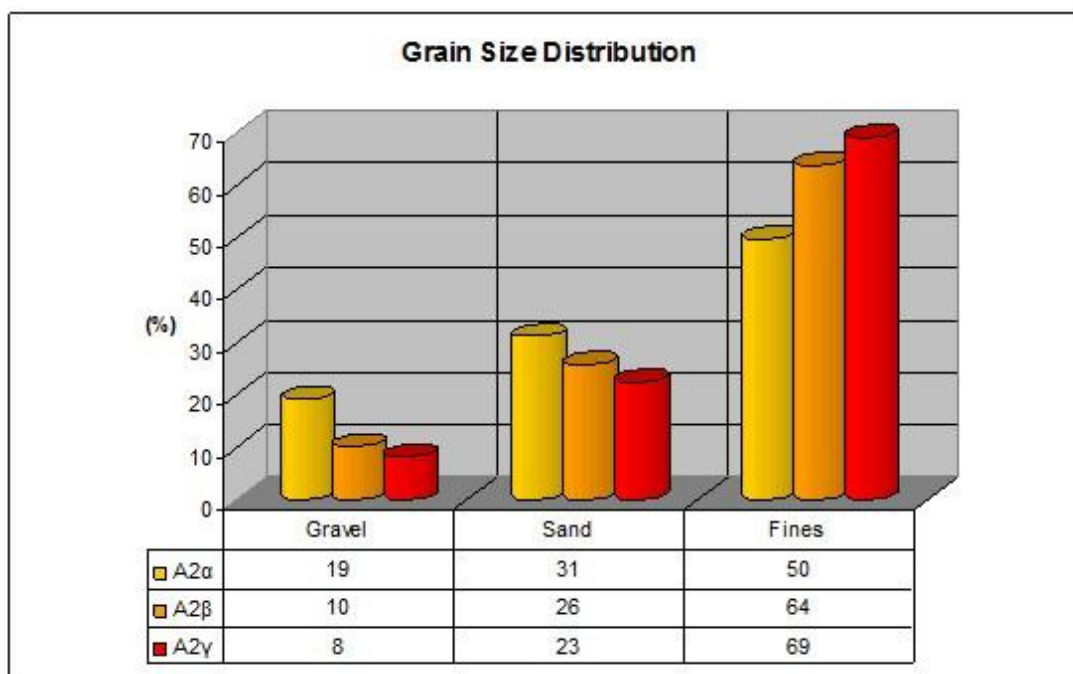
Συγκεντρωτικός πίνακας 2.29 Φυσικών χαρακτηριστικών στρώσης A2γ							
	πλήθος	W(%)	πλήθος	LL(%)	πλήθος	PI(%)	
		M.O		M.O		M.O	
TFTP21	9	17,0	6	34,5	6	17,4	
TFTP22	10	15,9	8	33,4	8	16,7	
<b>Tot.</b>	<b>19</b>	<b>16,5</b>	<b>14</b>	<b>33,8</b>	<b>14</b>	<b>17,0</b>	
Κοκκομετρία					Φαινόμενο Βάρος		
	πλήθος	X(%)	A(%)	Λ(%)	Λ(%) Άργιλος	πλήθος	γ (kN/m <sup>3</sup> )
		M.O.	M.O	M.O			M.O
TFTP21	6	3,4	25,1	71,5	16,1 / 16,9 / 11,1 / 17,0 / 14,9	6	21,1
TFTP22	8	11,8	20,5	67,7	16,8 / 34,1 / 20,6	8	21,7
<b>Tot.</b>	<b>14</b>	<b>8,2</b>	<b>22,5</b>	<b>69,3</b>	<b>18,4</b>	<b>14</b>	<b>21,5</b>

Συγκεντρωτικός πίνακας 2.30 Μηχανικών χαρακτηριστικών ενότητας A2γ								
	Βάθος (m)	N <sub>SPT</sub>	q <sub>u</sub> (kPa)	Δοκιμές Διάτμησης CD		Δοκιμές Τριαξονικές CUPP		Τριαξονικές UU
				c' (kPa)	c' (kPa)	c <sub>u</sub> (kPa)	Φ' (°)	c <sub>u</sub> (kPa)
TFTP21	20.30	-	-	67	26.7	-	-	-
	21.50	-	608	-	-	-	-	637
	24.50	-	145 (Εξαιρείται)	-	-	-	-	-
	25.13	50	-	-	-	-	-	-
	26.25	-	610	-	-	-	-	-
	28.25	-	780	-	-	-	-	-
	29.15	50	-	-	-	-	-	-
	30.40	-	-	436 (Εξαιρείται)	12.2 (Εξαιρείται)	-	-	-
	Πλήθος	2	3	1	1	0	0	0
Μέσος	50	667	-	-	-	-	-	
TFTP22	17.40	-	576	-	-	-	-	420
	18.07	50	-	-	-	-	-	-
	19.70	-	386	202	16.1	-	-	-
	21.67	50	-	-	-	-	-	-
	21.90	-	680	68	36.1	-	-	-
	24.25	-	501	-	-	-	-	-
	27.10	-	-	-	-	-	-	418
	29.36	50	-	-	-	-	-	-
	30.30	-	199 (Εξαιρείται)	-	-	-	-	-
	31.65	-	494	-	-	-	-	-
	32.60	-	411	-	-	-	-	-
	Πλήθος	3	6	2	2	0	0	2
	Μέσος	50	508	135	26.1	-	-	419

## Κεφάλαιο 2

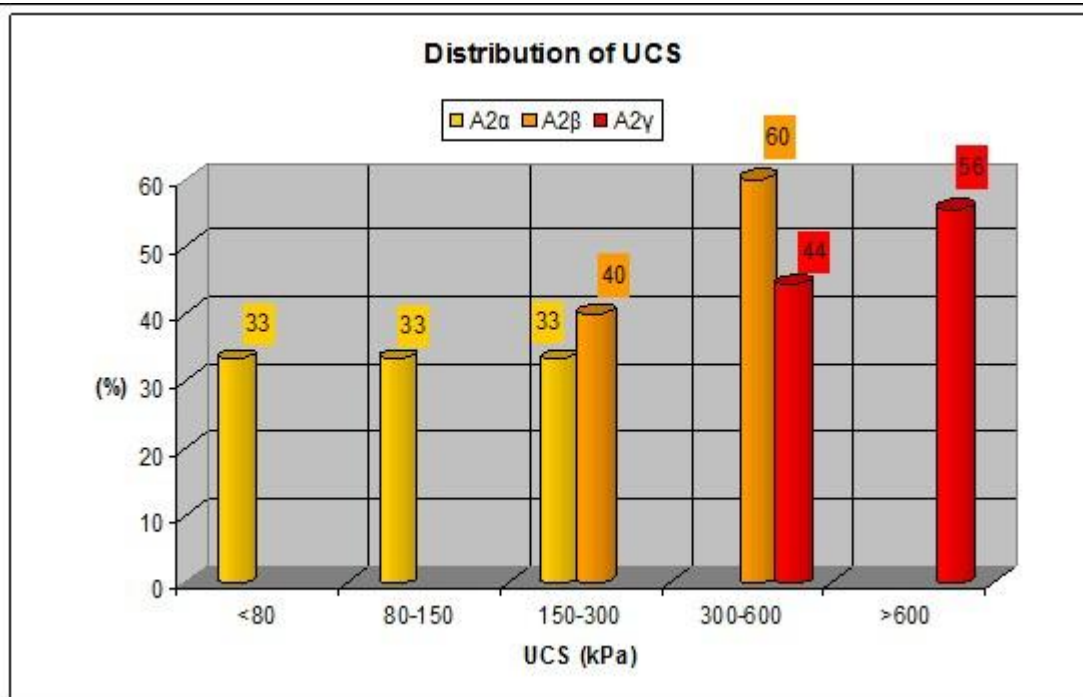
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΟΤΗΤΑ A2α	Πλήθος	5	9	3	3	0	0	3
	Μέσος	50	560.7	112.3	26.3	-	-	491.7

Στα γραφήματα των Σχημάτων 2.12 & 2.13 που ακολουθούν δίνονται για τις επί μέρους Ενότητες που καθορίστηκαν η κατανομή της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη, η κοκκομετρική ανάλυση, η μεταβολή της φυσικής υγρασίας με το βάθος και η μεταβολή των ορίων Atterberg με το βάθος.



Σχήμα 2.12: Κοκκομετρική ανάλυση επιμέρους ενότητων



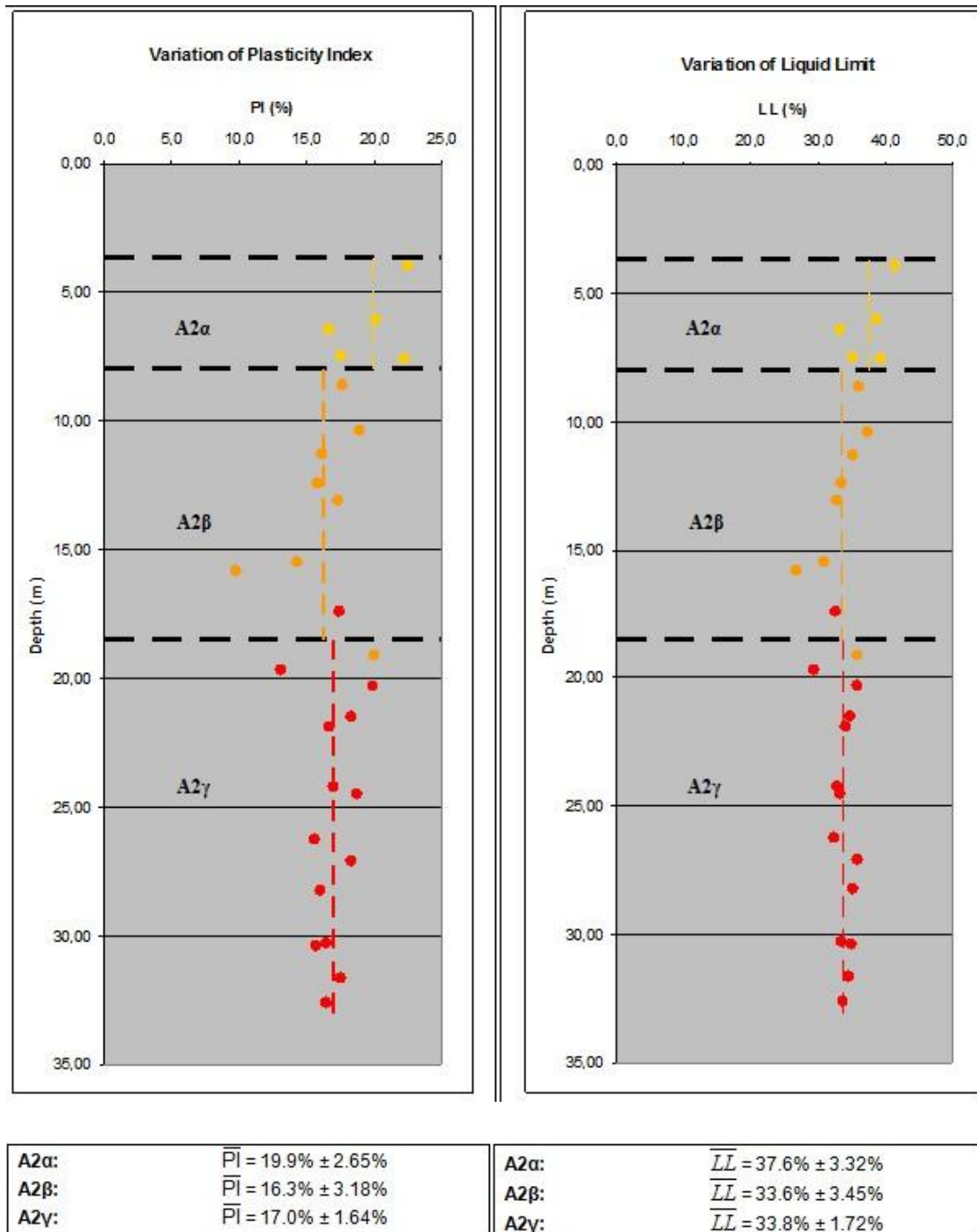


Σχήμα 2.13: Κατανομή αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη

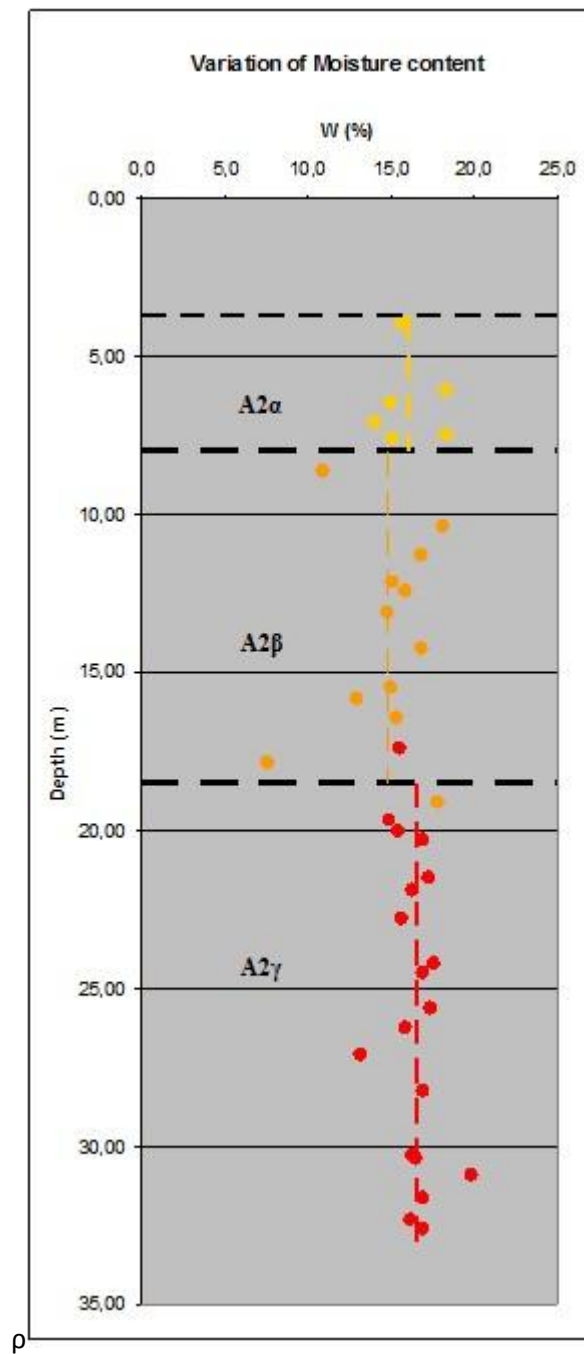
- Στην **Ενότητα A2α** εκτελέστηκαν συνολικά τρεις (3) δοκιμές, εκ των οποίων μία (33%) παρουσίασε εξαιρετικά χαμηλές τιμές αντοχής καθώς δεν ξεπέρασε τα 80 kPa, ένα δείγμα (33%) κυμάνθηκε σε επίπεδα αντοχής μεταξύ 80 – 150 kPa, ενώ το τελευταίο δείγμα (33%) έδειξε τιμή αντοχής μεταξύ 150 – 300 kPa.
- Στην **Ενότητα A2β** εκτελέστηκαν συνολικά πέντε (5) δοκιμές, εκ των οποίων δύο (40%) παρουσίασαν τιμές αντοχής μεταξύ 150 – 300 kPa, ενώ οι υπόλοιπες τρεις (60%) κυμάνθηκαν σε τιμή αντοχής μεταξύ 300 – 600 kPa.
- Τέλος, στην **Ενότητα A2γ** ελέγχθηκαν εννέα (9) δείγματα, εκ των οποίων τα τέσσερα (44%) παρουσίασαν τιμές αντοχής που κυμάνθηκαν μεταξύ 300 – 600 kPa, ενώ τα υπόλοιπα πέντε δείγματα (56%) ξεπέρασαν τα 600 kPa (BS 5930) και παρουσίασαν συμπεριφορά ημιβράχου (Αργιλόλιθος / Ιλυόλιθος).

Δεδομένου ότι το τμήμα της σήραγγας μεταξύ του Σταθμού και της Διασταύρωσης Σιντριβάνι που εξετάζεται θα διανοιχτεί στο εσωτερικό της Ενότητας A2γ, εκτιμάται, σύμφωνα και με τα παραπάνω, ότι δεν θα αντιμετωπιστούν προβλήματα αντοχής

των σχηματισμών, καθώς σχεδόν στο σύνολό τους οι σχηματισμοί της A2γ είναι ημίβραχοι (Αργιλόλιθοι / Ιλυόλιθοι) με αντοχές σε θλίψη που ξεπερνούν τα 600 kPa.



Σχήμα 2.14: Μεταβολή δείκτη πλαστικότητας, γράφημα : μεταβολή ορίου υδαρότητας



A2α:	$\bar{W} = 16.1\% \pm 1.81\%$
A2β:	$\bar{W} = 14.8\% \pm 3.01\%$
A2γ:	$\bar{W} = 16.5\% \pm 1.32\%$

Σχήμα 2.15: Μεταβολή φυσικής υγρασίας

Από τα δύο γραφήματα των Σχημάτων 2.14 και 2.15 φαίνεται ότι δεν υπάρχουν διαφοροποιήσεις ούτε στους δείκτες πλαστικότητας ούτε στα όρια υδαρότητας των δύο Ενοτήτων Α2β και Α2γ.

Η φυσική υγρασία των δύο Ενοτήτων παρουσιάζει μικρή διαφορά της τάξης του 2% περίπου.

Αναφορικά προς την Ενότητα Α2α, σημειώνεται ότι εμφανίζεται περισσότερο πλαστική από τις δύο υποκείμενες αφού και ο δείκτης πλαστικότητας και το όριο υδαρότητας εμφανίζουν υψηλότερες τιμές.

#### **2.2.2.4 Συντελεστές Ώθησης σε Ηρεμία $K_0$**

Στην παρούσα παράγραφο αξιολογούνται τα αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών πρεσσιομέτρησης με σκοπό τον προσδιορισμό των συντελεστών ουδέτερης ώθησης  $K_0$ .

Εκτελέστηκαν συνολικά δύο πρεσσιομετρικές γεωτρήσεις σε αυτή την περιοχή οι TFTR23 η οποία εκτελέστηκε πρόσφατα και η PB19 από την παλαιότερη γεωτεχνική έρευνα του 1999.

Η εκτίμηση των συντελεστών ουδέτερης ώθησης έγινε με τη βοήθεια τριών παραγόντων:

- Την πρεσσιομετρική δοκιμή PB19 (Σχήμα 2.17)
- Την εμπειρική σχέση μεταξύ του δείκτη πλαστικότητας PI και του λόγου υπερστερεοποίησης OCR σύμφωνα με το διάγραμμα του National Research Council of Canada και
- Την εμπειρική σχέση  $K_0^{O/C} = K_0^{N/C} * (OCR)^{\sin\phi} = (0,95 - \sin\phi) * (OCR)^{\sin\phi}$ , για τις Ενότητες A2α, A2β και A2γ

Οι συντελεστές ουδέτερης ώθησης προσδιορίζονται άμεσα με βάση τα αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών, οι οποίες εκτελέστηκαν κατά μήκος του εν λόγω τμήματος της Σήραγγας και έμμεσα από βιβλιογραφικές αναφορές που σημειώνονται παραπάνω.

**i) Με βάση το πρεσσιόμετρο PB19:** Το γράφημα του Σχήματος 2.17 με τις αξιολογημένες τιμές του  $K_0$  από το πρεσσιόμετρο δίνεται παρακάτω.

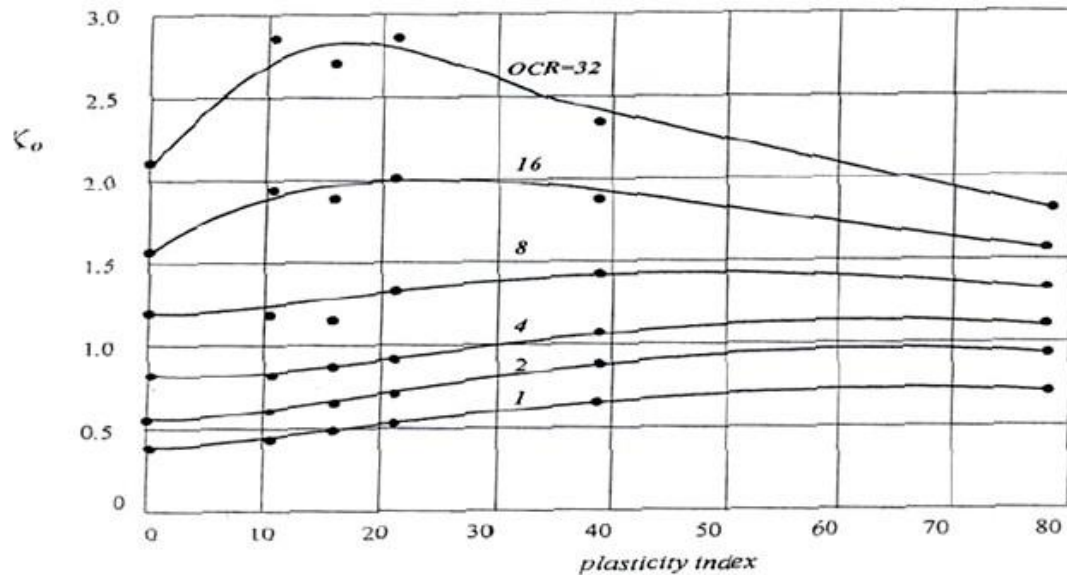
**ii)** Από την εμπειρική σχέση  $K_0^{O/C} = K_0^{N/C} * (OCR)^{\sin\phi} = (0,95 - \sin\phi) * (OCR)^{\sin\phi}$

Για την Ενότητα **A2α**:  $\phi' = 30^\circ$  και  $OCR = 1.30 \rightarrow K_0^{O/C} = 0.51$

Για την Ενότητα **A2β**:  $\phi' = 27^\circ$  και  $OCR = 1.80 \rightarrow K_0^{O/C} = 0.64$

Για την Ενότητα **A2γ**:  $\phi' = 27^\circ$  και  $OCR = 2.00 \rightarrow K_0^{O/C} = 0.68$

iii) Από την εμπειρική σχέση μεταξύ του δείκτη πλαστικότητας PI και του λόγου υπερστερεοποίησης OCR σύμφωνα με το διάγραμμα του **National Research Council of Canada** (βλέπε συνημμένο διάγραμμα).



Σχήμα 2.16: Σχέση μεταξύ Μέτρου Ελαστικότητας, Συντελεστή Υπερστερεοποίησης και Συντελεστή Ωθήσεως σε ηρεμία.

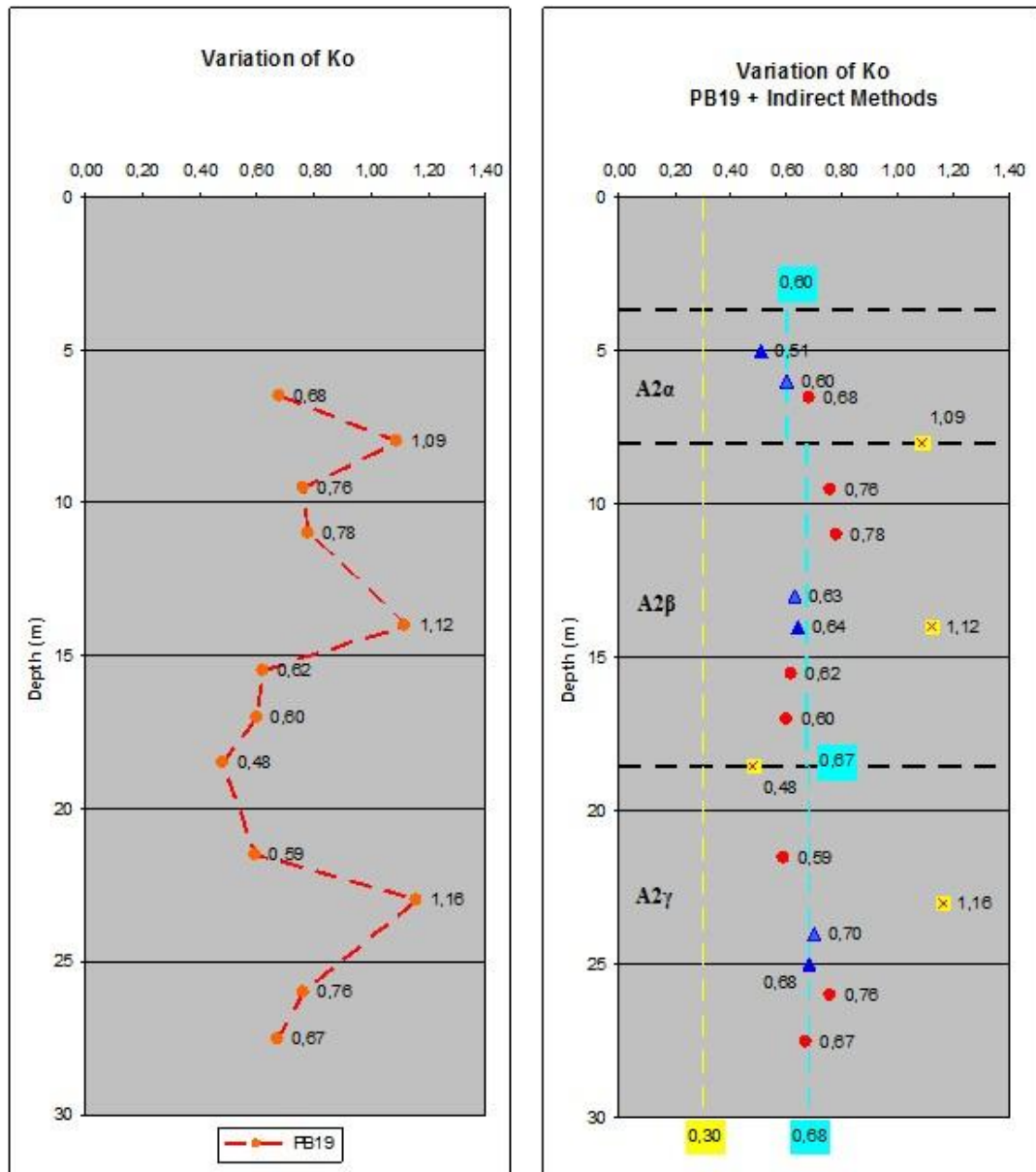
Για την **Ενότητα Α2α**: PI = 20% και OCR = 1.30 →  $K_0^{O/C} = 0.60$

Για την **Ενότητα Α2β**: PI = 16% και OCR = 1.80 →  $K_0^{O/C} = 0.63$

Για την **Ενότητα Α2γ**: PI = 17% και OCR = 2.00 →  $K_0^{O/C} = 0.70$

Όλες οι τιμές του  $K_0$  που μετρήθηκαν είτε άμεσα από τα πρεσσιόμετρα είτε έμμεσα μέσω του PI, τοποθετούνται στο γράφημα του Σχήματος 2.17. Μάλιστα στο συγκεκριμένο γράφημα τοποθετείται διακεκομμένη κίτρινη γραμμή στο όριο του 0.30 ώστε να εξαιρεθούν τυχόν μικρότερες τιμές από 0.30. Από τις υπόλοιπες τιμές εξαιρούνται οι 1.09 / 1.12 και 1.16 ως πολύ υψηλές και μη ρεαλιστικές ακόμα και για τους Νεογενείς, υπερστερεοποιημένους, και στιφρούς έως σκληρούς, λεπτόκοκκους κυρίως, σχηματισμούς των Ενοτήτων Α2α, Α2β και Α2γ. Από τις υπόλοιπες τιμές που

σημειώνονται με κουκίδα στο Σχήμα 2.17 καθώς και από τις τιμές που προέκυψαν έμμεσα και σημειώνονται με τρίγωνο, προκύπτουν οι παρακάτω μέσες τιμές  $K_0$  για τις Ενότητες A2α, A2β και A2γ, όπως φαίνεται και από τις τρεις γαλάζιες εστιγμένες γραμμές.



Σχήμα 2.17: (αριστερά) Αξιολογημένες τιμές του  $K_0$  από το πρεσσιόμετρο, (δεξιά) Οι τιμές του  $K_0$  που μετρήθηκαν είτε άμεσα από το πρεσσιόμετρο είτε έμμεσα μέσω του PI

**Ενότητα A2α (3.70 – 8.00m) →  $K_o = 0.60$**

**Ενότητα A2β (8.00 – 18.50m) →  $K_o = 0.67$**

**Ενότητα A2γ (18.50 – 33.20m) →  $K_o = 0.68$**

Στις περιπτώσεις που απαιτείται η κατανομή του συντελεστή  $K_o$  μόνο για την ζώνη επιρροής της Σήραγγας (-15 έως -30m βάθος από την επιφάνεια του εδάφους) και όχι για κάθε μία από τις Γεωτεχνικές Ενότητες ξεχωριστά, τότε προτείνεται να ληφθεί η τιμή  $K_o = 0.65$ .



Μέσο απόλυτο υψόμετρο φυσικού εδάφους: +21.30m		±0.00
	$\gamma = 20.00 \text{ kN/m}^3$ $c' = 10 \text{ kPa}$ $\varphi' = 31^\circ$ $E_s = 15 \text{ MPa}$ $E = 11 \text{ MPa}$ $K_h = 10^{-4} \text{ cm/sec}$	<b>ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ</b> Μαλακές έως σταθερές, καστανοκόκκινες, αμμώδεις ΑΡΓΙΛΟΙ (CL) χαμηλής πλαστικότητας, με σποραδικούς χάλικες, όστρακα, ίχνη κάυσης κονίαμα, κεραμικά και φυτικά ριζίδια, -3.70
		Σ.Υ.Ο. -1.30m
N = 24	$\gamma = 21.0 \text{ kN/m}^3$ $c' = 40 \text{ kPa}, \varphi' = 30^\circ$ $c_u = 80 \text{ kPa}$ $E_s = 70 \text{ MPa}$ $E = 52 \text{ MPa}$ $E_{1s} = 130 \text{ MPa}$ $K_h = K_v = 1.0 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$	Σταθερές, καστανοκόκκινες έως κόκκινες, αμμώδεις ΑΡΓΙΛΟΙ (CI) μέσης πλαστικότητας και μέτρια πυκνές έως πυκνές, καστανοκόκκινες, αργιλώδεις ΑΜΜΟΙ (SC) με σποραδικούς χάλικες, (ΕΝΟΤΗΤΑ Α2α) -8.00
N = 48	$\gamma = 21.5 \text{ kN/m}^3$ $c' = 90 \text{ kPa}, \varphi' = 27^\circ$ $c_u = 170 \text{ kPa}$ $E_s = 110 \text{ MPa}, E = 80 \text{ MPa}$ $E_{1s} = 160 \text{ MPa}$ $K_h = K_v = 1.0 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$	Στιφρές έως πολύ στιφρές, κόκκινες, ΑΡΓΙΛΟΙ (CL-CI) με άμμο, οξειδώσεις μαγγανίου και ασβεστίτικα συγκρίματα, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας, με τοπικές ενστρώσεις πολύ πυκνών, κόκκινων, αργιλωδών ΑΜΜΩΝ (SC) με χάλικες και επίσης πολύ πυκνών, αργιλωδών ΧΑΛΙΚΩΝ (GC) με άμμο. Τοπικά οι χάλικες εμφανίζονται ως καλά συγκαλλημένα ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΗ, (ΕΝΟΤΗΤΑ Α2β) -18.50
N > 50 (ΑΡΝΗΣΗ)	$\gamma = 21.5 \text{ kN/m}^3$ $c' = 110 \text{ kPa}, \varphi' = 27^\circ$ $c_u = 300 \text{ kPa}$ $E_s = 280 \text{ MPa}, E = 235 \text{ MPa}$ $E_{\text{low strain}} = 350 \text{ MPa}$ $K_h = K_v = 1.0 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$	Πολύ στιφρές έως σκληρές, κόκκινες, ΑΡΓΙΛΟΙ (CL-CI) με άμμο, οξειδώσεις μαγγανίου και ασβεστίτικα συγκρίματα, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας και πολύ ασθενείς, κόκκινοι, ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΙ / ΙΛΥΟΛΙΘΟΙ (ΕΝΟΤΗΤΑ Α2γ) -33.20
		Τ.Ο.Ρ.: -26m έως -27m

Σχήμα 2.18: Γεωτεχνική τομή σχεδιασμού στο τμήμα της σήραγγας μεταξύ του Σταθμού Σιντριβάνι και της διασταύρωσης Σιντριβάνι (Χ.Θ. 2+661 ~ Χ.Θ. 2+897)

### **2.2.3 ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΣΙΝΤΡΙΒΑΝΙ ( Χ.Θ. 2+900 ~ Χ.Θ. 3+000 )**

Η Διασταύρωση Σιντριβάνι συνιστά Τεχνικό έργο διαστάσεων 22.5 x 100 m το οποίο κατασκευάζεται με διαφραγματικούς τοίχους (μέθοδος top to down) και φέρει τελική στάθμη εκσκαφής περίπου -35m από την επιφάνεια του εδάφους.

Για την ακριβέστερη σύνταξη της τομής σχεδιασμού εκτελέστηκαν στην περιοχή του Σταθμού έξι γεωτρήσεις κατά τη συμπληρωματική γεωτεχνική έρευνα (2007) από τις οποίες στις τέσσερις TFCP21, TFCP22, TFCP24 και TFCP25 εκτελέστηκαν επί τόπου δοκιμές αντοχής SPT και διαπερατότητας Maag καθώς και δύο πρεσσιομετρήσεις TFCR23 και TFCR26. Επίσης να επισημανθεί ότι δεν υπάρχουν στοιχεία από προγενέστερες γεωτεχνικές μελέτες στην περιοχή προς συναξιολόγηση.

Στα δείγματα τα οποία ελήφθησαν από τις παραπάνω τέσσερις γεωτρήσεις (από τις πρεσσιομετρικές δεν ελήφθησαν δείγματα) εκτελέστηκαν εργαστηριακές δοκιμές προσδιορισμού των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των ιζημάτων.

### **2.2.3.1 Γεωτεχνικές Συνθήκες**

1. **Στρώμα Τεχνητών Επιχωματώσεων:** συνίστανται από σκούρες καστανές αμμώδεις **ΑΡΓΙΛΟΥΣ** καθώς και χαλαρές αργιλώδεις **ΑΜΜΟΥΣ** του ιδίου χρώματος. Στο στρώμα των επιχώσεων εντοπίζονται και τούβλα, κεραμίδια, χαλίκια και κροκάλες ποικίλης σύστασης. Εκτίνεται σε βάθη μέχρι 1.80 (TFCP21) – 3.10 (TFCP22) – 3.40 (TFCP24) – 2.40 (TFCP25), (μέσο πάχος: 2.70m)

2. **Νεογενή ιζήματα της Σειράς των Ερυθρών Αργίλων:**

Το ανώτερο τμήμα **A2α** της Στρώσης A2 συνίσταται από καστανέρυθρες, στιφρές, αμμώδεις **ΑΡΓΙΛΟΥΣ (CL)** με ψηφίδες, χαμηλής πλαστικότητας, με σποραδικές, ασυνεχείς και μικρού πάχους εμφανίσεις πυκνών αργιλωδών **ΧΑΛΙΚΩΝ (GC)**, αργιλωδών **ΑΜΜΩΝ** με χαλίκια (**SC**) και μικρού πάχους **ΨΗΦΙΔΟ-ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΩΝ**. Το λεπτόκοκκο κλάσμα της A2α κυριαρχεί, σε ένα ποσοστό της τάξης του 61%, και ως εκ τούτου την καθιστά πρακτικά αδιαπέρατη, με μετρημένους οριζόντιους συντελεστές διαπερατότητας της τάξης του  $10^{-6}$  cm/sec. Αναφορικά με την αντοχή των ψηφιδο-λατυποπαγών που εμφανίζονται τοπικά εντός της A2α μετρήθηκαν τιμές αντοχής σε θλίψη της τάξης των 15 MPa βάση των οποίων οι εν λόγω οριζόντες χαρακτηρίζονται ως “μέτρια σκληροί”. Εκτίνεται σε βάθη μέχρι 15.00 (TFCP21) - 11.00 (TFCP22) – 12.00 (TFCP24) – 14.00m (TFCP25), (μέσο πάχος: 10.30m – μέσο βάθος: 13.00m)

Η υποκείμενη **A2β** αποτελείται από ερυθρές, πολύ στιφρές έως σκληρές, αμμώδεις **ΑΡΓΙΛΟΥΣ (CL)**, έως ασθενείς **ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΥΣ**, με ψηφίδες και σποραδικά χαλίκια, χαμηλής πλαστικότητας, με ενδιάμεσες, ασυνεχείς στρώσεις πυκνών αργιλωδών **ΑΜΜΩΝ (SC)** με διάσπαρτες ψηφίδες και τοπικά αμμωδών **ΙΛΥΩΝ (ML)**. Το λεπτόκοκκο κλάσμα της A2β είναι μειωμένο συγκριτικά με αυτό της A2α, λόγω της πιο έντονης παρουσίας αδρόκοκκων υλικών όπως οι Άμμοι και οι ψηφίδες, και βρίσκεται περίπου στο 56%. Αποτέλεσμα αυτής της μείωσης είναι η αύξηση του οριζόντιου συντελεστή διαπερατότητας της A2β κατά μία τάξη μεγέθους ( $10^{-5}$  cm/sec),

με την διαπερατότητά της πάντως να παραμένει σε πολύ χαμηλά επίπεδα. σε βάθη μέχρι 23.00 (TFCP21) - 26.00 (TFCP22) – 26.00 (TFCP24) – 26.00m (TFCP25), (μέσο πάχος: 12.25m – μέσο βάθος: 25.25m).

Η βαθύτερη στρώση **A2γ** εκτείνεται τουλάχιστον ως τα 50m βάθος από την επιφάνεια του εδάφους και χαρακτηρίζεται από σκληρές, χαλικώδεις / αμμώδεις **ΑΡΓΙΛΟΥΣ (CL)**, έως ασθενείς **ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΥΣ**, σε εναλλαγές με στρώσεις καλά συγκολλημένου **ΨΗΦΙΔΟ – ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΟΥΣ** καθώς και πολύ πυκνών αργιλωδών **ΧΑΛΙΚΩΝ** με άμμο (**GC**). Η παρουσία των ψηφιδο-λατυποπαγών και των χαλίκων έχει αυξήσει σημαντικά την συμμετοχή του κοκκώδους κλάσματος το οποίο κυμαίνεται πλέον στο 50%, με την διαπερατότητα όμως να παραμένει στα επίπεδα της A2β ( $10^{-5}$  cm/sec). Οι αντοχές της A2γ είναι εξαιρετικά υψηλές και κυμαίνονται περί τα 1000 kPa, υποδεικνύοντας ότι η χαλικώδης **ΑΡΓΙΛΟΣ** που κυριαρχεί συμπεριφέρεται ως ασθενής βράχος (**ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΣ**). Αναφορικά με την αντοχή των **ΨΗΦΙΔΟ-ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΩΝ** που εναλλάσσονται με τους **ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΥΣ** επισημαίνεται ότι ανάλογες αντοχές με αυτές που μετρήθηκαν σε αντίστοιχους οριζόντες ψηφιδο-λατυποπαγούς στην στρώση A2α (15 MPa) αναμένονται και στην στρώση A2γ.

Από **υδρογεωλογικής** άποψης, εντοπίστηκε αρτεσιανός υδροφόρος πολύ χαμηλής παροχής σε ένα βάθος περίπου 30m από την επιφάνεια, ο οποίος πιθανότατα αναπτύσσεται στο εσωτερικό των αμμο-αργιλωδών χαλίκων που εντοπίζονται στο συγκεκριμένο βάθος. Τονίζεται ότι λόγω των πολύ χαμηλών διαπερατοτήτων που μετρήθηκαν, ο εμπλουτισμός αυτού του υδροφόρου κρίνεται αμελητέος και ως εκ τούτου η εκφόρτισή του σύντομη. Η στάθμη του μόνιμου φρεάτιου υδροφόρου προσδιορίστηκε περί τα 5,00m από την επιφάνεια του εδάφους.

Βασικό χαρακτηριστικό της Στρώσης A2 είναι το γεγονός ότι χαρακτηρίζεται συνολικά ως υπερστερεοποιημένη.

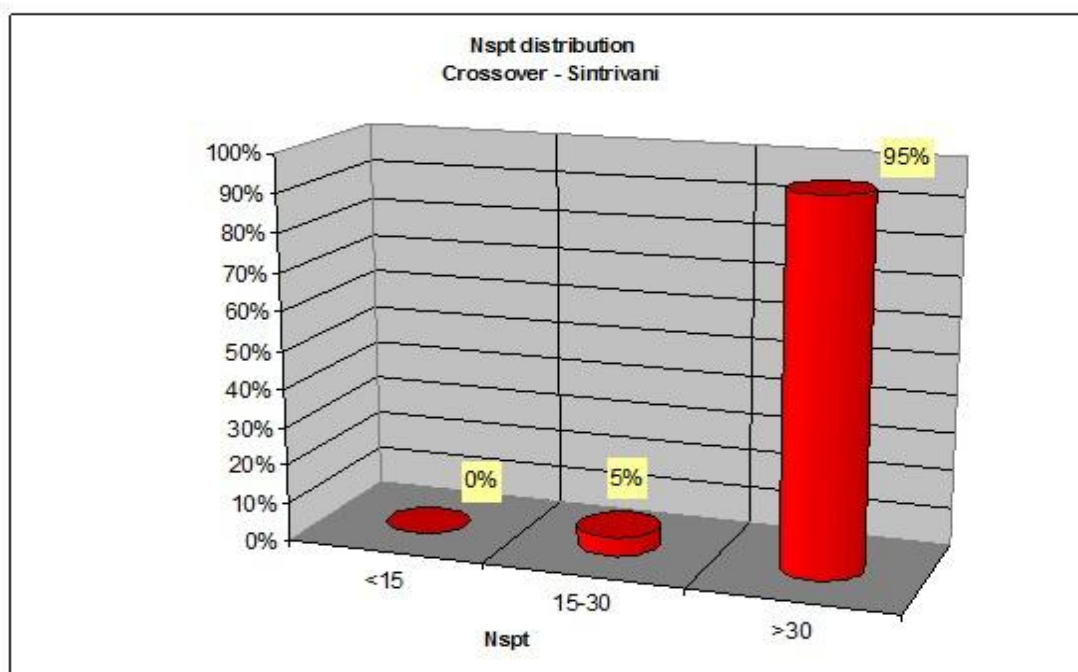
### 2.2.3.2 Επιτόπου Δοκιμές

#### 1. Δοκιμές Διείδυσης SPT

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα του Σχήματος 2.19 πραγματοποιήθηκαν συνολικά 62 δοκιμές SPT εκ των οποίων οι 52 παρουσίασαν άρνηση ( $N_{SPT} > 50$ ) ενώ οι υπόλοιπες 10 εμφάνισαν τιμές που κυμαίνονται από 24 έως 32 κρούσεις.

Πίνακας 2.31 : Αποτελέσματα πρότυπων δοκιμών διείδυσης (SPT)						
	Βάθος (m)	(N) TFCP21	(N) TFCP22	(N) TFCP24	(N) TFCP25	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ $N_{SPT}$
ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	0.00 – 2.70	-	-	-	-	-
ΣΤΡΩΣΗ A2α	2.70 – 13.00	32, 39, A (x4)	29, 39, A	25, A(x3)	32, 40, 24, A,(x2)	44
ΣΤΡΩΣΗ A2β	13.00 – 25.00	A (x4)	A(x5)	A(x4),41	A, 47, A, A	> 50 (APN)
ΣΤΡΩΣΗ A2γ	25.00 – 50.00	A(x7)	A (x6)	A (x7)	A (x7)	> 50 (APN)

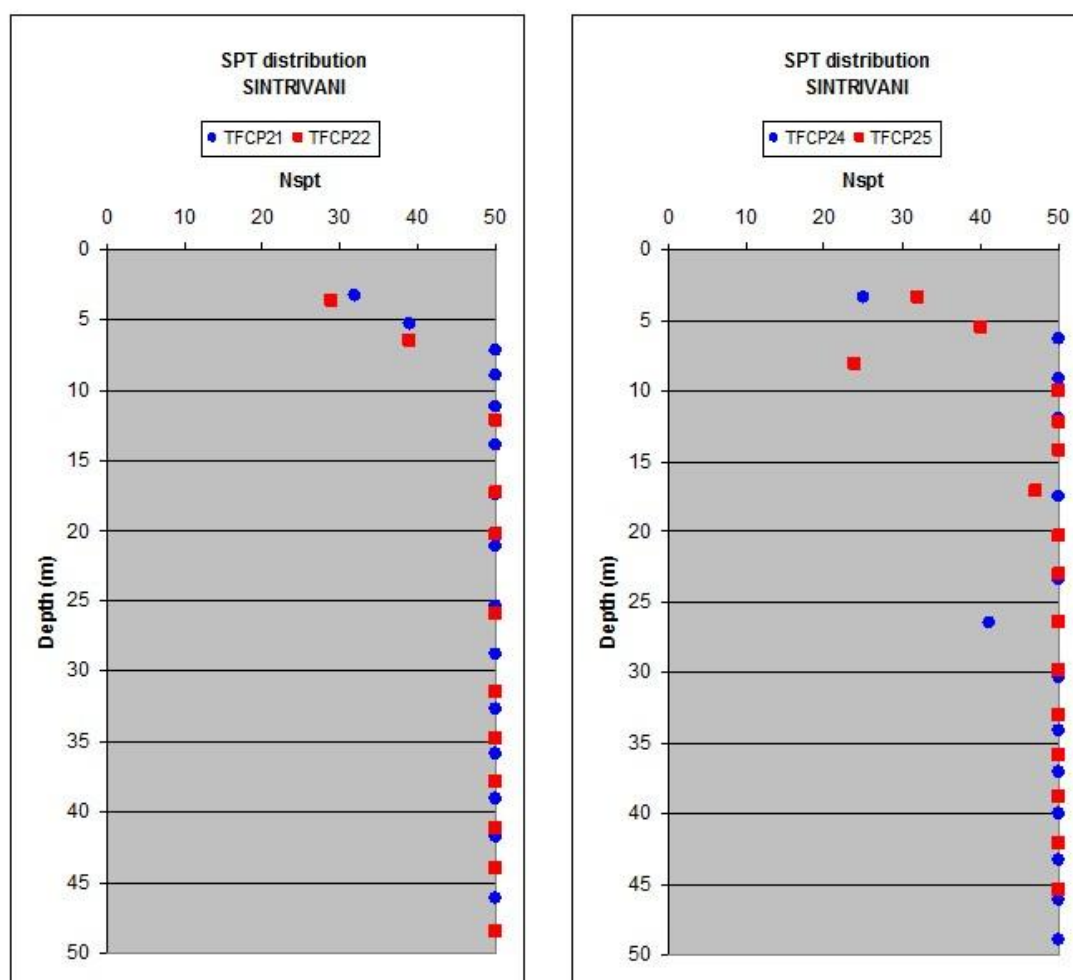
Η παραπάνω διακύμανση των τιμών  $N_{SPT}$  συνοψίζεται στο παρακάτω Σχήμα 2.19.



Σχήμα 2.19: Δοκιμές διείδυσης σε σχέση με το βάθος

Με βάση το παραπάνω γράφημα του Σχήματος 2.19 και σύμφωνα με τους παρακάτω χαρακτηρισμούς των κοκκωδών και συνεκτικών εδαφών βάσει των τιμών  $N_{SPT}$  που δίνονται στο γράφημα του Σχήματος 2.20 εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Το 5% των υλικών που εμφανίζονται στο CROSSOVER χαρακτηρίζονται ως “πολύ στιφρά – μέσης πυκνότητας”
- Το 95% των υλικών χαρακτηρίζονται ως “σκληρά – πολύ πυκνά”.
- Στα γραφήματα του Σχήματος 2.20 που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή του αριθμού κρούσεων  $N_{SPT}$  με το βάθος για το CROSSOVER του Σιντριβανιού. Στις περιπτώσεις που καταγράφηκε άρνηση η τιμή  $N_{SPT}$  δίνεται ίση με 50.

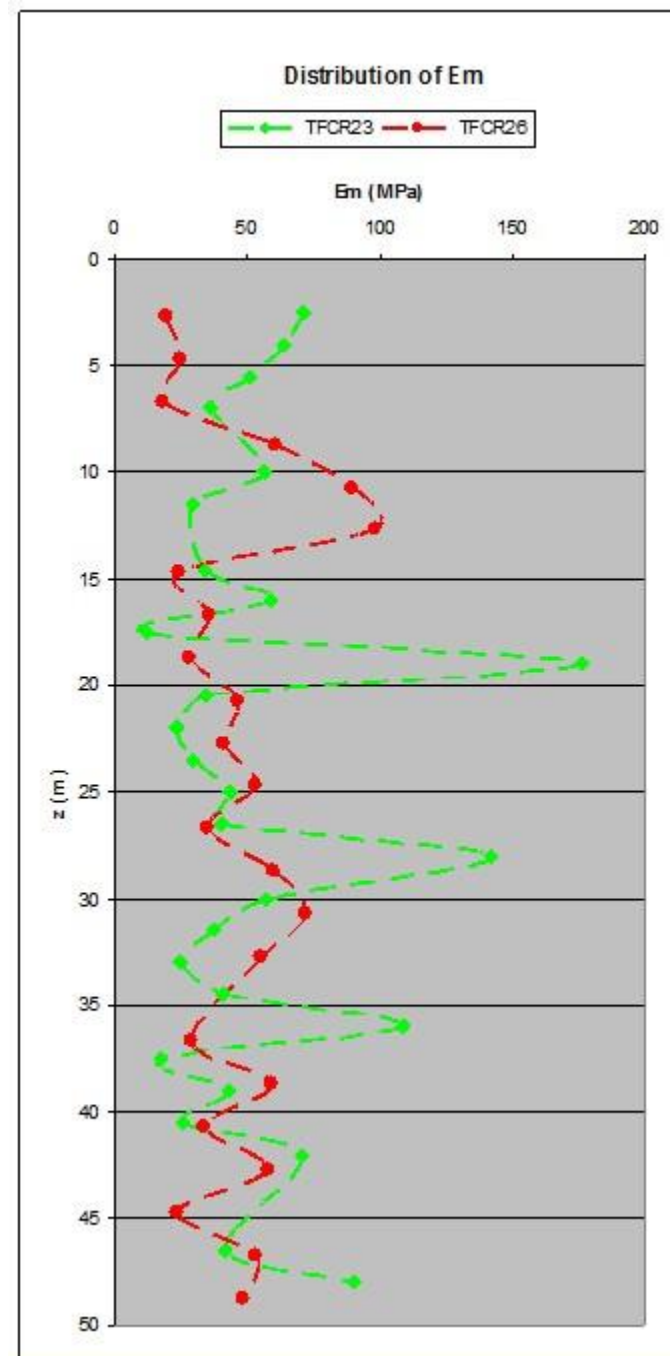


Σχήμα 2.20: Μεταβολή αριθμού κρούσεων ανάλογα με το βάθος

## 2 Δοκιμές Πρεσσιομέτρου

Οι πρεσσιομετρήσεις χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό παραμέτρων αντοχής του εδάφους στα διάφορα βάθη εκτέλεσης των δοκιμών.

Στον σταθμό εκτελέστηκαν δύο πρεσσιομετρικές γεωτρήσεις οι TFCR23 (Χ.Θ. 2+950) και TFCR26 (Χ.Θ. 2+950).



Σχήμα 2.21: Πρεσσιομετρικό μέτρο - Βάθος

## Κεφάλαιο 2

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των πρεσσιομετρήσεων οδηγεί έμμεσα στο προσδιορισμό των ακολούθων παραμέτρων: του Πρεσσιομετρικού μέτρου  $E_m$ , του Μέτρου συμπίεσης  $E_s$  και της Οριακής πίεση θραύσης  $P_{lim}$  όπως αναλύθηκε και στις προηγούμενες ενότητες.

Στους πίνακες που ακολουθούν δίνονται η μέση τιμή των γεωτεχνικών παραμέτρων  $E_m$ ,  $P_{lim}$ ,  $E_s$  και  $\alpha$  για την περιοχή ενδιαφέροντος.

Πίνακας 2.32				
Πρεσσιομέτρηση TFCR23				
	ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	ΕΝΟΤΗΤΑ Α2α	ΕΝΟΤΗΤΑ Α2β	ΕΝΟΤΗΤΑ Α2γ
Βάθος (m)	1.51	3.77	4.30	4.36
$P_{lim}$ (MPa)	71.5	47.6	50.5	58.5
$E_m$ (MPa)	47		12	14
$E_m/P_{lim}$	-		0.49	0.33
$\alpha$	-		103	177
$E_s$ (MPa)	42.5		104.0	279.4

Πίνακας 2.33				
Πρεσσιομέτρηση TFCR26				
	ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	ΕΝΟΤΗΤΑ Α2α	ΕΝΟΤΗΤΑ Α2β	ΕΝΟΤΗΤΑ Α2γ
Βάθος (m)	0.00 – 2.70	2.70 – 13.00	13.00 – 25.00	25.00 – 50.00
$P_{lim}$ (MPa)	0.90	2.13	6.52	7.40
$E_m$ (MPa)	19.70	34.6	50.2	49.3
$E_m/P_{lim}$	22	17	8	7
$\alpha$	-	0.79	0.50	0.33
$E_s$ (MPa)	-	43.8	100.4	149.4



### 3 Δοκιμές Διαπερατότητας – Maag

Με βάση τις δοκιμές Maag που πραγματοποιήθηκαν έγινε χαρακτηρισμός όλων των επί μέρους ενοτήτων που εντοπίζονται κατά μήκος της σήραγγας σύμφωνα με τον Πίνακα 2.5 κατά Terzaghi and Peck (1967) καθώς και τον Πίνακα 2.7 Casagrande που αναλύθηκε στο πρώτο διάστημα.

Στον Πίνακα 2.34 που ακολουθεί συνοψίζονται η μέση τιμή και ο χαρακτηρισμός των επί μέρους ενοτήτων Α2α, Α2β και Α2γ και των Τεχνητών Επιχώσεων για τη Διασταύρωση σιντριβάνι.

Πίνακας 34				
Μέση τιμή του οριζοντίου συντελεστή διαπερατότητας $K_H$				
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	Βάθος (m)	ΤΙΜΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ $K_H$ (cm/sec)	ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (ΜΕΣΗ) $K$ (cm/sec)	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ $K_H$ (cm/sec)
ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	0.00 – 2.70	---	---	---
A2α	2.70 – 13.00	A, A, $1.02 \times 10^{-6}$ , A, $2.85 \times 10^{-4}$ , A, $8.65 \times 10^{-6}$ , $4.18 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-6}$ (ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΟΣ)
A2β	13.00 – 25.00	$5.51 \times 10^{-5}$ , $3.33 \times 10^{-5}$ , $2.71 \times 10^{-5}$ , $1.05 \times 10^{-5}$ , A, $6.76 \times 10^{-6}$ , $9.81 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-5}$ (ΧΑΜΗΛΟΣ)
A2γ	25.00 – 50.00	$2.13 \times 10^{-5}$ , $9.84 \times 10^{-6}$ , $7.09 \times 10^{-6}$ , A, $2.03 \times 10^{-5}$ , A, $1.20 \times 10^{-5}$ , $3.84 \times 10^{-5}$ , $5.66 \times 10^{-6}$ , $1.99 \times 10^{-5}$	$1.35 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-5}$ (ΧΑΜΗΛΟΣ)

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα του παραπάνω Πίνακα είναι τα εξής:

- $2.85 \times 10^{-4}$  Η τιμή μετρήθηκε στα -4,70 – 5,0m δηλαδή πάνω από τη στάθμη του Υ.Υ.Ο ως εκ τούτου εξαιρείται και δεν αξιολογείται
- Τόσο στη σταθμισμένη όσο και στη προτεινόμενη τιμή του  $K_H$  ο Α ελήφθη ίσος προς  $10^{-8}$  cm/sec (κατά Terzaghi ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται Αδιαπέρατος όταν  $K < 10^{-7}$  cm/sec)
- Ο συντελεστής διαπερατότητας της στρώσης Α2α είναι κατά μία τάξη μεγέθους χαμηλότερος συγκριτικά με την Α2β και την Α2γ, κάτι το οποίο δικαιολογείται από το γεγονός ότι η Στρώση Α2γ κυρίως, αλλά και η Α2β παρουσιάζει αυξημένα ποσοστά χαλίκων. Πιο συγκεκριμένα:

Α2α → Χαλίκια: 10,6% - Άμμος: 28,9% - Λεπτόκοκκα: 60,6%

Α2β → Χαλίκια: 13,8% - Άμμος: 30,4% - Λεπτόκοκκα: 55,7%

Α2γ → Χαλίκια: 24,4% - Άμμος: 24,5% - Λεπτόκοκκα: 51,1%

- Συμπερασματικά, η Στρώση Α2 συνολικά, μπορεί να χαρακτηριστεί ως πρακτικά αδιαπέρατη, βάση του υψηλού ποσοστού λεπτοκόκκων που παρουσιάζει αλλά και του γεγονότος ότι σε αρκετές θέσεις ο σχηματισμός χαρακτηρίστηκε ως “Αδιαπέρατος”.

Οι συντελεστές  $K$  που μετρήθηκαν επί τόπου ήταν οι οριζόντιοι συντελεστές διαπερατότητας. Δεδομένου ότι οι σχηματισμοί της περιοχής είναι ιζηματογενείς με οριζόντια ή/και παραοριζόντια απόθεση και επομένως στρωσιγενείς, εκτιμάται με πολύ καλή προσέγγιση ότι οι κατακόρυφοι συντελεστές διαπερατότητας θα είναι σαφώς χαμηλότεροι από τους οριζόντιους. Η σχέση οριζόντιου προς κατακόρυφο συντελεστή διαπερατότητας  $K_h / K_v$  εξαρτάται κυρίως από τον τρόπο απόθεσης των σχηματισμών.

<b>Πίνακας 2.35</b>	
<b>Προτεινόμενη τιμή του κατακόρυφου συντελεστή διαπερατότητας.</b>	
	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ $K_v$ (cm/sec)
ΣΤΡΩΣΗ Α2α	$3.5 \times 10^{-7}$ (ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ)
ΣΤΡΩΣΗ Α2β	$1.0 \times 10^{-5}$ (ΧΑΜΗΛΗ)
ΣΤΡΩΣΗ Α2γ	$1.0 \times 10^{-5}$ (ΧΑΜΗΛΗ)

**2.2.3.3 Υπόγεια Νερά**

Μετά το πέρας των εργασιών διάτρησης των τεσσάρων γεωτρήσεων TFCP21, TFCP22, TFCP24, TFCP25 και της πρεσιομέτρησης TFCR26 τοποθετήθηκαν πιεζόμετρα και για διάστημα περίπου έξι μηνών πάρθηκαν μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου νερού.

<b>Πίνακας 2.36</b>						
<b>(Βάθος στάθμης (m) από κεφαλή γεώτρησης)</b>						
	<b>TFCP21</b>	<b>TFCP22</b>	<b>TFCP24</b>	<b>TFCP25H</b>	<b>TFCP25L</b>	<b>TFCR26</b>
<b>29/11/06</b>	0,97	1,43	5,68	-	-	5,96
<b>30/11/06</b>	0,95	1,41	3,70	4,76	4,76	-
<b>8/12/06</b>	0,92	1,33	2,49	4,80	4,80	-
<b>19/12/06</b>	0,86	1,24	2,34	4,76	4,76	-
<b>9/1/07</b>	0,77	1,16	-	4,99	5,01	-
<b>1/2/07</b>	0,57	0,99	-	-	-	-
<b>2/2/07</b>	-	-	2,64	5,41	5,43	7,23
<b>8/2/07</b>	0,62	1,05	2,61	5,26	5,28	7,20
<b>16/2/07</b>	0,63	1,08	2,60	5,28	5,30	7,20
<b>22/2/07</b>	0,62	1,01	2,60	5,30	5,32	7,20
<b>2/3/07</b>	0,66	1,09	2,47	5,26	5,25	7,12
<b>9/3/07</b>	0,68	1,10	-	-	-	-
<b>14/3/07</b>	0,66	1,08	-	5,25	5,23	-
<b>16/3/07</b>	-	-	2,38	-	-	7,04
<b>20/3/07</b>	0,64	1,06	2,35	5,22	5,22	-
<b>28/3/07</b>	0,67	1,11	1,51	-	-	-
<b>30/3/07</b>	-	-	2,32	5,19	5,19	-
<b>4/4/07</b>	0,60	1,05	-	-	-	-
<b>6/4/07</b>	-	-	2,30	5,21	5,21	-
<b>12/4/07</b>	0,60	1,04	2,28	5,20	5,20	-
<b>18/4/07</b>	0,58	1,02	2,24	5,18	5,18	6,94
<b>26/4/07</b>	0,61	1,03	2,25	5,20	5,20	6,99
<b>Προτεινόμενη Στάθμη (m)</b>	<b>Αρτεσιανισμός</b>			<b>5.00</b>		

Επισημαίνεται ότι στην περιοχή εκδηλώνεται αρτεσιανισμός με μικρής παροχής ροή στην επιφάνεια του εδάφους, όπως προκύπτει από τις γεωτρήσεις TFCP21, TFCP22 και TFCP24. Ωστόσο τα πιεζόμετρα που τοποθετήθηκαν στις TFCP25 και TFCR26 δεν επηρεάζονται από τον αρτεσιανό υδροφόρο και υποδεικνύουν το βάθος της μόνιμης φρεατική γραμμής. Ως εκ τούτου προτείνεται στάθμη υπόγειου νερού σε βάθος 5m από την επιφάνεια του εδάφους.

Συγκεντρωτικός πίνακας 2.37							
Φυσικών χαρακτηριστικών στρώσης A2a							
	πλήθος	W(%)	πλήθος	LL(%)	πλήθος	PI(%)	
		M.O		M.O		M.O	
TFCP21	9	15.5	4	32.7	4	18.3	
TFCP22	5	17.7	3	34.6	3	17.6	
TFCP24	5	17.0	3	41.6	3	26.0	
TFCP25	10	16.5	5	31.6	5	16.2	
<b>Tot.</b>	<b>29</b>	<b>16.5</b>	<b>15</b>	<b>34.5</b>	<b>15</b>	<b>19.1</b>	
	Κοκκομετρία					Φαινόμενο Βάρος	
	πλήθος	Χ(%)	A(%)	Λ(%)	Λ(%)	πλήθος	γ (kN/m <sup>3</sup> )
		M.O.	M.O	M.O	Άργιλος		M.O
TFCP21	4	9.50	32.7	57.8	13,6	4	20.8
TFCP22	3	12.2	26.5	61.3	22,0	2	21.15
TFCP24	5	8.2	25.1	66.7	13,1	3	22.5
TFCP25	5	12.8	31.1	56.1	3,1	5	21.3
<b>Tot.</b>	<b>17</b>	<b>10.55</b>	<b>28.9</b>	<b>60.55</b>	<b>19,7</b>	<b>14</b>	<b>21.4</b>

Συγκεντρωτικός πίνακας 2.38								
Μηχανικών χαρακτηριστικών στρώσης A2a								
	N <sub>SPT</sub>		q <sub>u</sub> (kPa)		Δοκιμές διάτμησης CD		Δοκιμές τριαξ. UU	
	πλήθος	M.O.	πλήθος	M.O.	C' (kPa)	Φ' (°)	C (kPa)	Φ (°)
TFCP21	6	45	2	147.5	132 / 25	-	-	-
TFCP22	3	45	2	162		68	68	24.4
TFCP24	4	48	2	8660	-	-	-	-
TFCP25	5	39	2	228.5	16 (CUPP)	515	515	0.00
<b>Tot.</b>	<b>18</b>	<b>44</b>	<b>6</b>	<b>180.0</b>	<b>57</b>	<b>68</b>	<b>68</b>	<b>24.4</b>

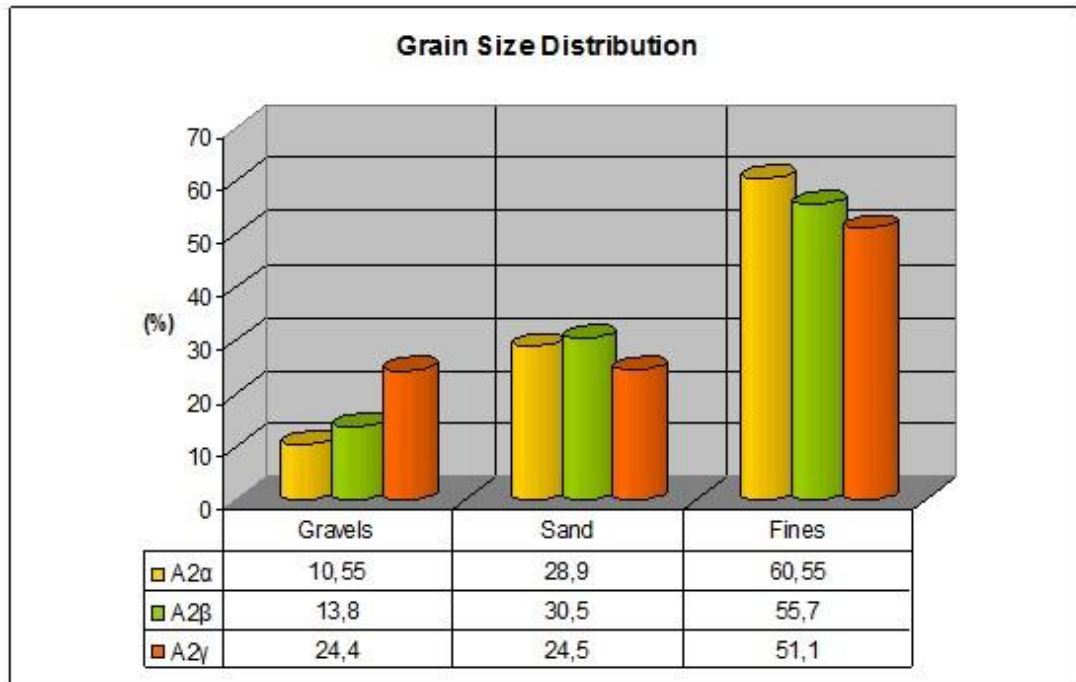
Συγκεντρωτικός πίνακας 2.39							
Φυσικών χαρακτηριστικών στρώσης A2β							
	πλήθος	W(%)	πλήθος	LL(%)	πλήθος	PI(%)	
		M.O		M.O		M.O	
TFCP21	5	14,5	3	30,4	3	16,1	
TFCP22	10	15,2	6	29,3	6	12,9	
TFCP24	8	15,0	4	32,3	4	16,9	
TFCP25	7	14,1	4	30,5	4	13,6	
<b>Tot.</b>	<b>30</b>	<b>14,8</b>	<b>17</b>	<b>30,5</b>	<b>17</b>	<b>14,6</b>	
<b>Κοκκομετρία</b>						<b>Φαινόμενο Βάρος</b>	
	πλήθος	Χ(%)	A(%)	Λ(%)	Λ(%)	πλήθος	γ (kN/m <sup>3</sup> )
		M.O.	M.O	M.O	Άργιλος		M.O
TFCP21	3	3	32,4	57,4	-	3	22,1
TFCP22	7	7	33,9	55,5	34,5	3	21,7
TFCP24	7	7	26,1	58,3	20	4	21,3
TFCP25	4	4	30,4	50,5	10,7	3	21,8
<b>Tot.</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>30,5</b>	<b>55,7</b>	<b>21,7</b>	<b>13</b>	<b>21,7</b>

Συγκεντρωτικός πίνακας 2.40								
Μηχανικών χαρακτηριστικών στρώσης A2β								
	N <sub>SPT</sub>		q <sub>u</sub> (kPa)		Δοκιμές διάτμησης CD		Δοκιμές τριαξ. UU	
	πλήθος	M.O.	πλήθος	M.O.	C' (kPa)	Φ' (°)	C (kPa)	Φ (°)
TFCP21	2	50	2	510	155	329	329	13,6
TFCP22	6	53	3	626	207 / 51	67	67	24,5
TFCP24	5	54	3	439	152	284	284	11,1
TFCP25	4	51	3	411	43 / 158	-	-	-
<b>Tot.</b>	<b>17</b>	<b>52</b>	<b>11</b>	<b>495</b>	<b>128</b>	<b>227</b>	<b>227</b>	<b>16,4</b>

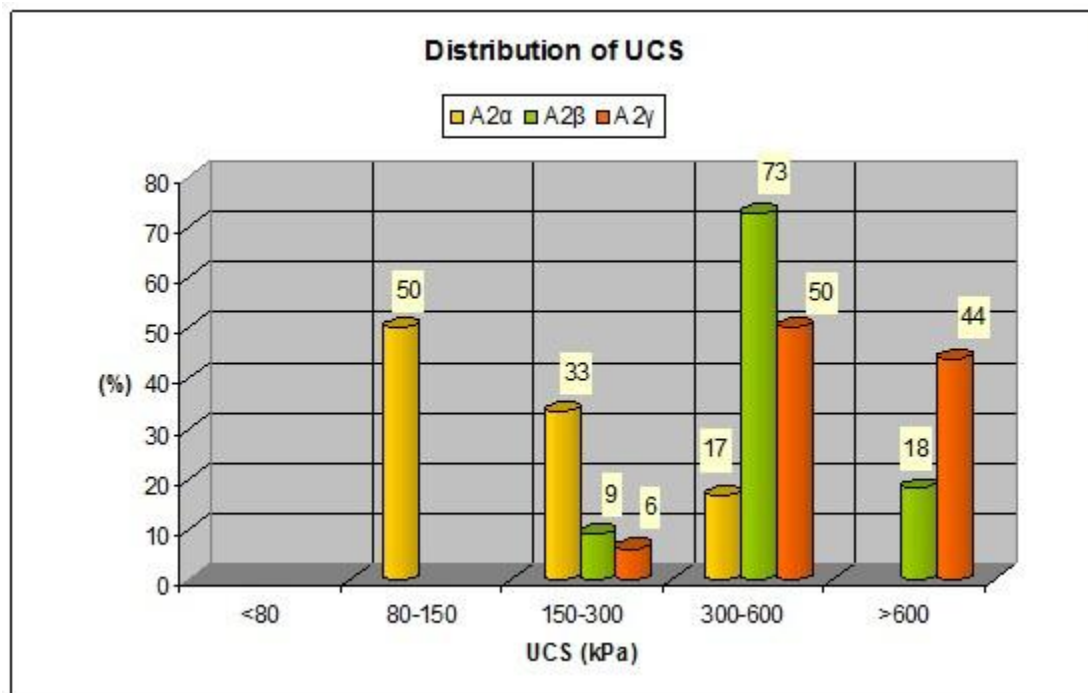
Συγκεντρωτικός πίνακας 2.41 Φυσικών χαρακτηριστικών στρώσης A2γ							
	πλήθος	W(%)	πλήθος	LL(%)	πλήθος	PI(%)	
		M.O.		M.O.		M.O.	
TFCP21	13	15.2	7	30.7	7	15.1	
TFCP22	10	14.1	6	33.5	6	17.5	
TFCP24	12	12.9	7	31.5	7	14.0	
TFCP25	10	13.5	7	31.7	7	13.1	
<b>Tot.</b>	<b>45</b>	<b>13.9</b>	<b>27</b>	<b>31.8</b>	<b>27</b>	<b>14.8</b>	
	Κοκκομετρία					Φαινόμενο Βάρος	
	πλήθος	X(%)	A(%)	Λ(%)	Λ(%) Άργιλος	πλήθος	γ (kN/m <sup>3</sup> )
		M.O.	M.O.	M.O.			M.O.
TFCP21	7	18.2	26.1	55.7	-	5	21.5
TFCP22	11	27.7	23.3	49.0	-	4	21.8
TFCP24	7	23.1	25.9	51.0	-	4	21.6
TFCP25	4	28.3	22.8	48.9	16,8	2	21.65
<b>Tot.</b>	<b>29</b>	<b>24.4</b>	<b>24.5</b>	<b>51.1</b>	<b>16,8</b>	<b>15</b>	<b>21.6</b>

Συγκεντρωτικός πίνακας 2.42 Μηχανικών χαρακτηριστικών στρώσης A2γ								
	N <sub>SPT</sub>		q <sub>u</sub> (kPa)		Δοκιμές διάτμησης CD		Δοκιμές τριαξ. UU	
	πλήθος	M.O.	πλήθος	M.O.	C' (kPa)	φ' (°)	C (kPa)	φ (°)
TFCP21	7	50	4	577	-	-	578	15.3
TFCP22	6	50	5	989	-	-	-	-
TFCP24	7	51	4	371.5	-	-	-	-
TFCP25	7	54	3	2836	122	22.9	-	-
<b>Tot.</b>	<b>27</b>	<b>52</b>	<b>16</b>	<b>1078</b>	<b>122</b>	<b>22.9</b>	<b>578</b>	<b>15.3</b>

Στα Γραφήματα των Σχημάτων 2.22 και 2.23 που ακολουθούν δίνονται για τις τρεις στρώσεις A2α, A2β και A2γ η κατανομή της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη, η κοκκομετρική ανάλυση, η μεταβολή της φυσικής υγρασίας με το βάθος και η μεταβολή των ορίων Atterberg με το βάθος.



Σχήμα 2.22 : Κοκκομετρική Ανάλυση Στρώσεων A2α, A2β και A2γ



Σχήμα 2.23: Κατανομή Αντοχής σε Ανεμπόδιση Θλίψη (UCS)

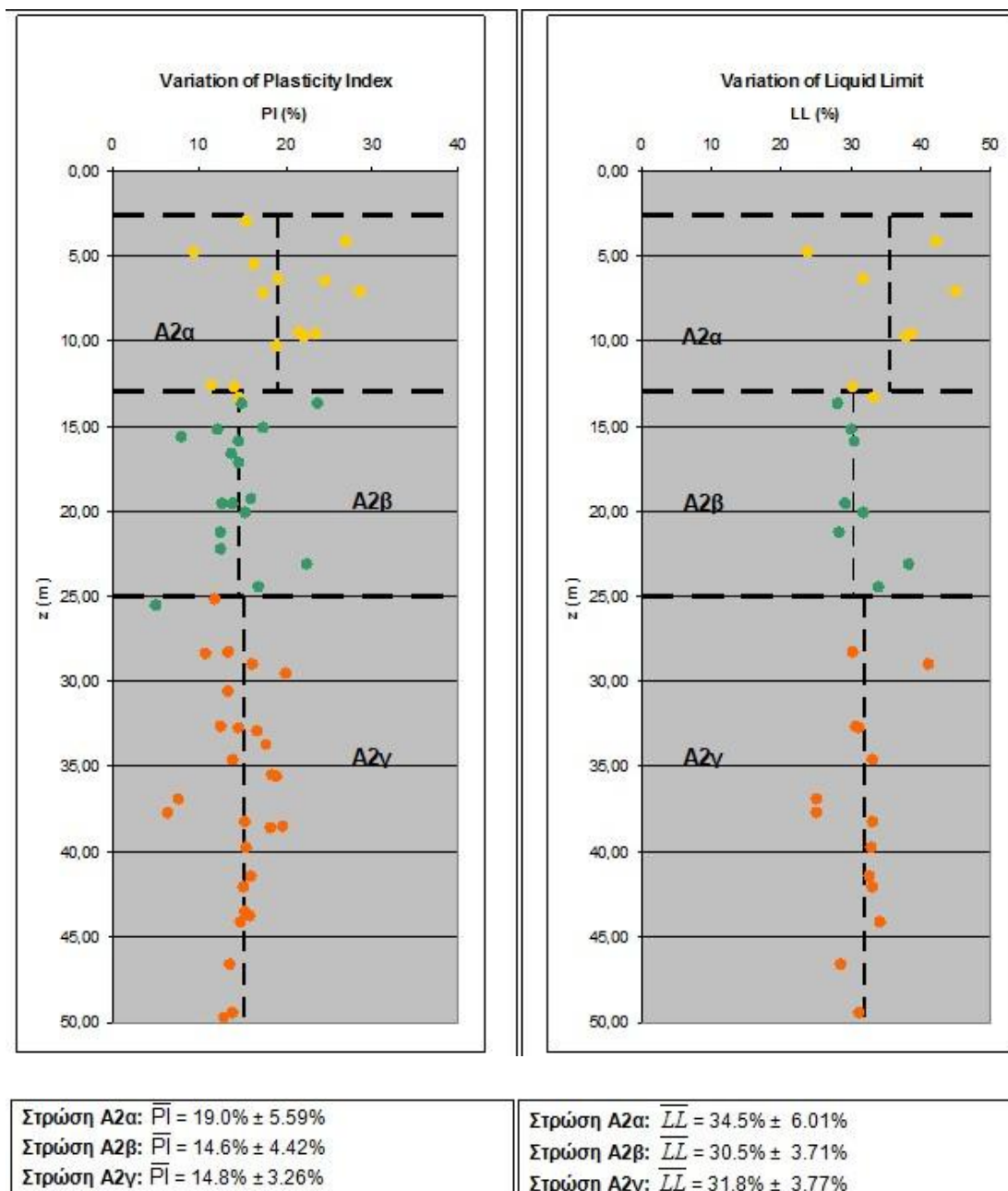


Από το παραπάνω γράφημα του Σχήματος 2.23 εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

- Στην Στρώση A2 εκτελέστηκαν συνολικά 33 δοκιμές, εκ των οποίων οι έξι (6) πραγματοποιήθηκαν σε δείγματα της υπόστρωσης A2α, έντεκα (11) δοκιμές εκτελέστηκαν στην υπόστρωση A2β, ενώ οι υπόλοιπες δεκαέξι (16) σε δείγματα της A2γ.
- Εκ των έξι (6) δοκιμών που εκτελέστηκαν στην A2α, οι τρεις (50%) κυμάνθηκαν μεταξύ 80 – 150 kPa, δύο δείγματα (33%) παρουσίασαν τιμές αντοχής μεταξύ 150 – 300 kPa, ενώ μόνο ένα δείγμα (17%) παρουσίασε τιμή μεταξύ 300 – 600 kPa.
- Εκ των έντεκα (11) δοκιμών που εκτελέστηκαν στη A2β, τα δύο δείγματα (18%) παρουσίασαν αντοχές υψηλότερες των 600 kPa, ενώ τα υπόλοιπα εννέα (82%) κυμάνθηκαν σε ελαφρώς χαμηλότερα επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα δύο δείγματα (18%) παρουσίασαν υψηλές τιμές αντοχής που ξεπέρασαν τα 600 kPa, οκτώ δείγματα (73%) κυμάνθηκαν μεταξύ 300 – 600 kPa, ενώ μόλις μία δοκιμή (9%) παρουσίασε αντοχή μεταξύ 150 – 300 kPa.
- Αναφορικά με την υπόστρωση A2γ, εκτελέστηκαν συνολικά 16 δοκιμές, εκ των οποίων οι επτά (44%) παρουσίασαν αντοχές που ξεπέρασαν κατά πολύ τα 600 kPa, ενώ οι υπόλοιπες εννέα (56%) κυμάνθηκαν σε χαμηλότερα επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα επτά δείγματα (44%) παρουσίασαν εξαιρετικά υψηλές αντοχές ξεπερνώντας τα 600 kPa, οκτώ δοκιμές (50%) κυμάνθηκαν μεταξύ 300 – 600 kPa, ενώ μόλις ένα δείγμα (6%) έδειξε αντοχή μικρότερη των 300 kPa.

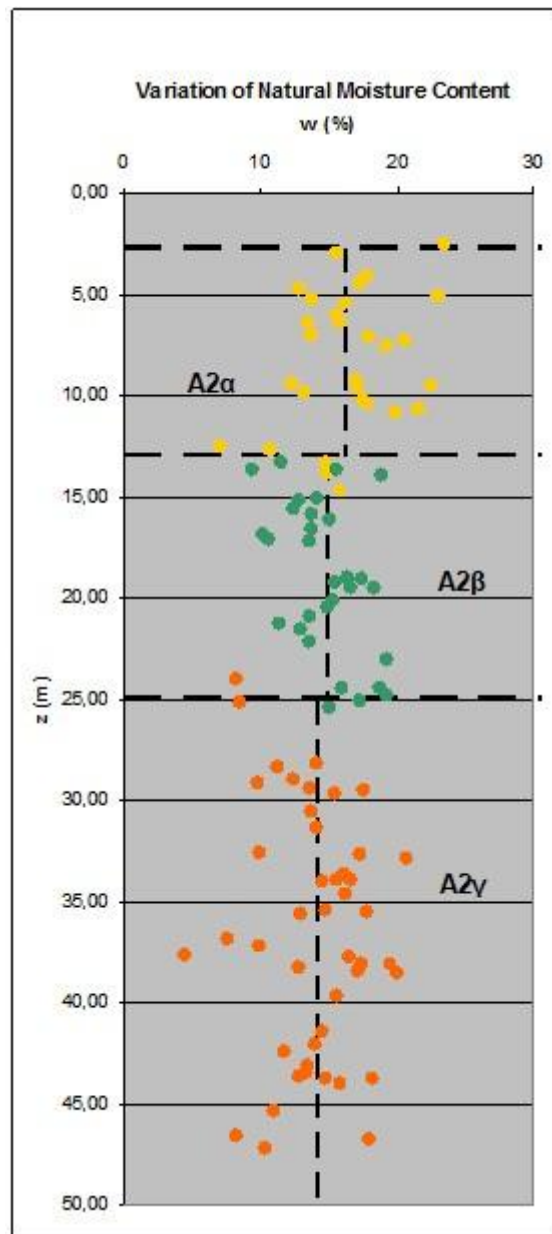
Συμπερασματικά ως προς την Στρώση A2 επισημαίνεται ότι στο βαθύτερο τμήμα της (A2γ) οι αντοχές είναι εξαιρετικά υψηλές και υποδηλώνουν ότι η χαλικώδης άργιλος του εν λόγω τμήματος συμπεριφέρεται ως ασθενής **ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΣ** ή/και καλά συγκολλημένο **ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ**. Όσον αφορά την υπερκείμενη υποστρώση A2β, σημειώνεται ότι παρουσιάζει επίσης κατά τόπους ημιβραχώδη συμπεριφορά (τοπικά πολύ ασθενής **ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΣ**) με τις αντοχές να παραμένουν σε υψηλά επίπεδα καθώς περίπου το 40% των δειγμάτων πλησίασε τα 750 kPa, ενώ το υπόλοιπο 60% κυμάνθηκε περί τα 400 kPa. Τέλος, στο ανώτερο τμήμα (A2α),

σημειώνεται, ότι οι αντοχές είναι σαφώς χαμηλότερες καθώς κυμαίνονται μεταξύ 80 – 150 kPa.



Σχήμα 2.24:: (αριστερά) Μεταβολή δείκτη με το βάθος, (δεξιά) Μεταβολή ορίου υδαρότητας με το βάθος.

Όπως φαίνεται στα παραπάνω γραφήματα η στρώση A2α παρουσιάζει υψηλότερη πλαστικότητα συγκριτικά με τις δύο υποκείμενες στρώσεις A2β και A2γ οι οποίες εμφανίζουν περίπου σταθερό δείκτη πλαστικότητας ανεξάρτητα από την σαφέστατη αύξηση αντοχής που παρουσιάζει η A2γ (~ διπλάσια αντοχή) σε σχέση με την A2β.



Στρώση A2α:  $\bar{w} = 16.5\% \pm 3.74\%$

Στρώση A2β:  $\bar{w} = 14.8\% \pm 2.73\%$

Στρώση A2γ:  $\bar{w} = 13.9\% \pm 3.57\%$

Σχήμα 2.25: Μεταβολή φυσικής υγρασίας με το βάθος

Στο γράφημα του Σχήματος 2.25 παρατηρείται ότι από πλευράς φυσικής υγρασίας η A2α παρουσιάζει ελαφρώς μεγαλύτερο ποσοστό συγκριτικά με τις A2β και A2γ, όπου η υγρασία διατηρείται περίπου σταθερή ( $w \sim 14\%$ ) με το βάθος.

### **2.2.3.4 Συντελεστές Ώθησης σε Ηρεμία $K_o$**

Στην παρούσα παράγραφο αξιολογούνται τα αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών πρεσσιομέτρησης με σκοπό τον προσδιορισμό των συντελεστών ουδέτερης ώθησης  $K_o$ .

Εκτελέστηκαν συνολικά δύο πρεσσιομετρικές γεωτρήσεις σε αυτή την περιοχή, οι TFCR23 και η TFCR26. Η πρώτη οδήγησε σε μη αξιοποιήσιμα αποτελέσματα λόγω των πολύ χαμηλών έως και αρνητικών τιμών των  $K_o$  που προέκυψαν. Ως εκ τούτου δεν παρατίθεται σχετικό Γράφημα. Επισημαίνεται ότι δεν έχουν εκτελεστεί παλαιότερες γεωτεχνικές έρευνες στην περιοχή της Διασταύρωσης και επομένως δεν υπάρχουν παλαιές πρεσσιομετρήσεις στη θέση.

Η εκτίμηση των συντελεστών ουδέτερης ώθησης έγινε με τη βοήθεια τριών παραγόντων:

- Την πρεσσιομετρική δοκιμή TFCR26 (Σχήμα 2.27).
- Την εμπειρική σχέση μεταξύ του δείκτη πλαστικότητας PI και του λόγου υπερστερεοποίησης OCR σύμφωνα με το διάγραμμα του National Research Council of Canada και
- Την εμπειρική σχέση  $K_o^{O/C} = K_o^{N/C} * (OCR)^{\sin\phi} = (0,95 - \sin\phi) * (OCR)^{\sin\phi}$ , για τις Ενότητες A2α, A2β και A2γ

Οι συντελεστές ουδέτερης ώθησης προσδιορίζονται άμεσα με βάση τα αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών, οι οποίες εκτελέστηκαν κατά μήκος του εν λόγω τμήματος της Σήραγγας και έμμεσα από βιβλιογραφικές αναφορές που σημειώνονται παραπάνω.

**i) Με βάση το πρεσσιόμετρο TFCR26:** Το γράφημα του Σχήματος 2.27 με τις αξιολογημένες τιμές του  $K_o$  από το πρεσσιόμετρο δίνεται παρακάτω.

**ii) Από την εμπειρική σχέση  $K_o^{O/C} = K_o^{N/C} * (OCR)^{\sin\phi} = (0,95 - \sin\phi) * (OCR)^{\sin\phi}$**

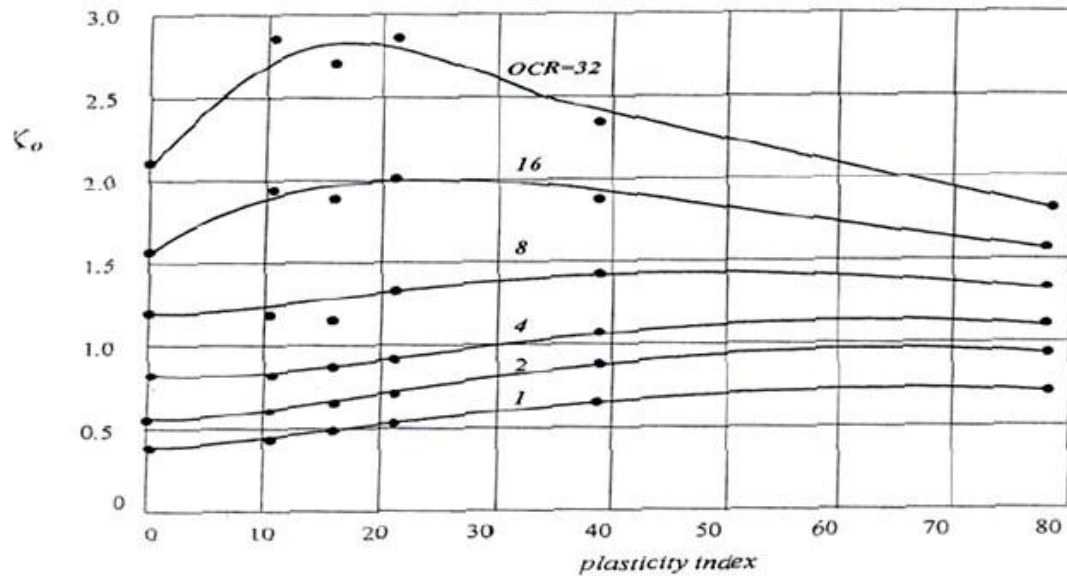
Για την στρώση A2α :  $\phi' = 26^\circ$  και  $OCR = 1.50 \rightarrow K_o^{O/C} = 0.61$

Για την στρώση A2β :  $\phi' = 28^\circ$  και  $OCR = 1.70 \rightarrow K_o^{O/C} = 0.62$

## Κεφάλαιο 2

Για την στρώση Α2γ :  $\phi' = 30^\circ$  και  $OCR = 1.70 \rightarrow K_o^{O/C} = 0.58$

iii) Από την εμπειρική σχέση μεταξύ του δείκτη πλαστικότητας PI και του λόγου υπερστερεοποίησης **OCR** σύμφωνα με το διάγραμμα του **National Research Council of Canada** (βλέπε συνημμένο διάγραμμα).

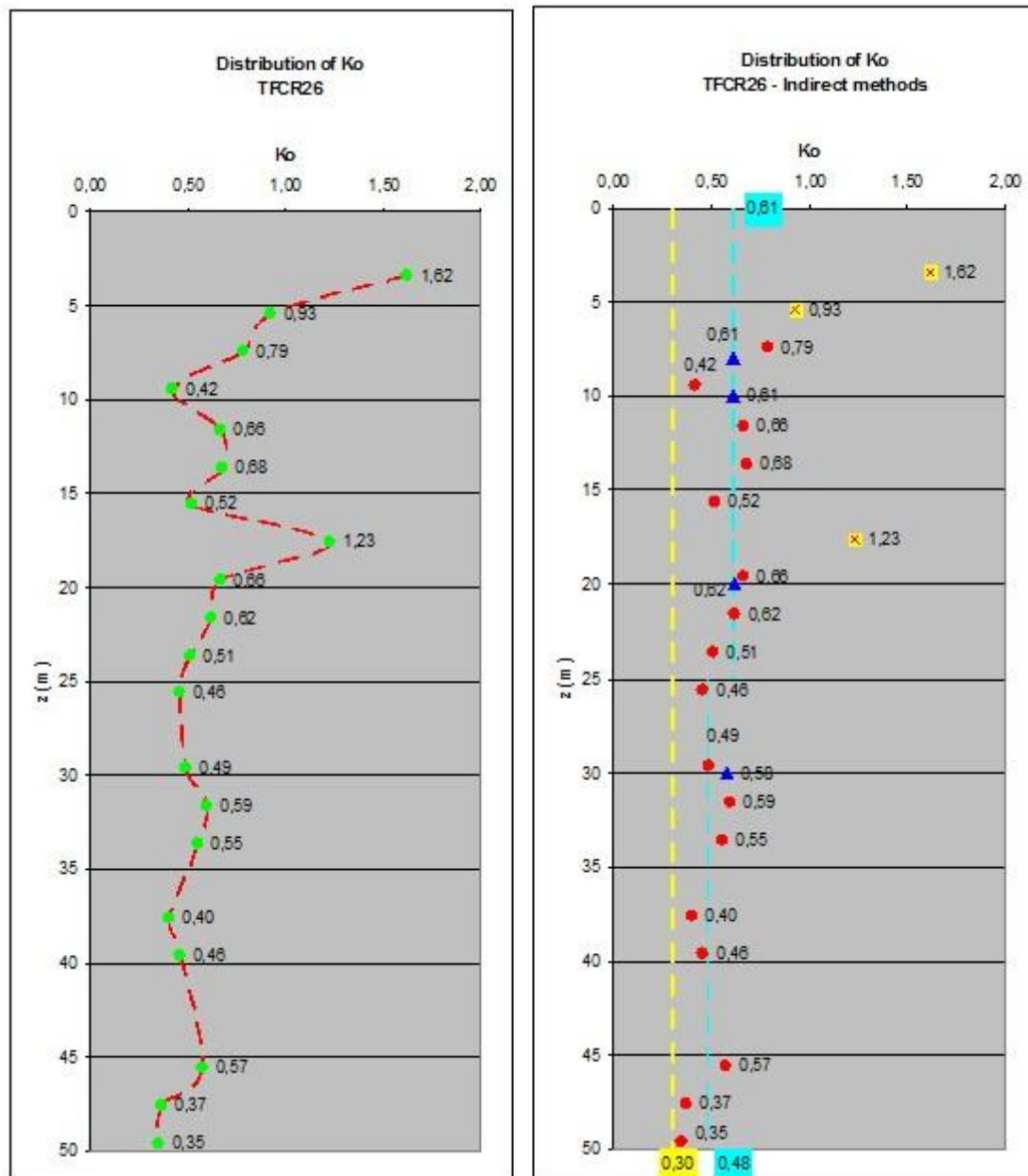


Σχήμα 2.26: Σχέση μεταξύ Μέτρου Ελαστικότητας, Συντελεστή Υπερστερεοποιήσεως και Συντελεστή Ωθήσεως σε ηρεμία.

Για  $PI = 19\%$  και  $OCR = 1.50$  προκύπτει από το παραπάνω διάγραμμα :

$K_0 = 0.65$  (στρώση Α2α)

(Οι άλλες δύο στρώσεις είναι ημιβραχώδεις και ως εκ τούτου το παραπάνω διάγραμμα δεν έχει εφαρμογή)



Σχήμα 2.27: (αριστερά) Αξιολογημένες τιμές του  $K_0$  από το πρεσιόμετρο. (δεξιά) Τιμές του  $K_0$  που μετρήθηκαν είτε άμεσα από το πρεσιόμετρο είτε έμμεσα μέσω του PI

Όλες οι τιμές του  $K_0$  που μετρήθηκαν είτε άμεσα από το πρεσιόμετρο είτε έμμεσα μέσω του PI, τοποθετούνται στο Σχήμα 2.27. Στο εν λόγω γράφημα τοποθετείται διακεκομμένη κίτρινη γραμμή στο όριο του 0.30 ώστε να εξαιρεθούν όλες οι τιμές οι μικρότερες από 0.30. Από τις υπόλοιπες τιμές εξαιρούνται οι 1.62 / 0.93 / 1.23 είτε ως τοπικά πολύ υψηλές είτε ως μη ρεαλιστικές για τη στρώση Α2α. Από τις υπόλοιπες τιμές που σημειώνονται με κουκίδα στο Γράφημα καθώς και από τις

τιμές που προέκυψαν έμμεσα και σημειώνονται με τρίγωνο, προκύπτει μια μέση τιμή  $K_0$  μέχρι το βάθος των 25m ίση με  $K_0 = 0.61$ , ενώ από το βάθος αυτό μέχρι και το πέρας των γεωτρήσεων (50m) η μέση τιμή που προκύπτει είναι  $K_0 = 0.48$ , όπως φαίνεται και από την γαλάζια εστιγμένη γραμμή. Τελικώς, η μέση τιμή του συντελεστή  $K_0$  θα μπορούσε να ληφθεί ίση με:

$$0.00\text{m} < z < 25.00\text{m} \rightarrow K_0 = 0.60$$

$$25.00\text{m} < z < 35.00\text{m} \rightarrow K_0 = 0.50$$

Λόγω της μεθόδου κατασκευής της Διασταύρωσης (cover and cut – top to down), δεν αναμένεται η ανάπτυξη της πλήρους πλευρικής αποτόνωσης των ωθήσεων γαιών (ουδέτερες  $\rightarrow$  ενεργητικές). Στην περίπτωση αυτής της μεθόδου κατασκευής θα υπάρξει φάση “προσωρινών” αντιστηρίξεων με μικρή αποτόνωση των πλευρικών ωθήσεων στα ρηχά του σκάμματος και μεγάλη αποτόνωση στα βαθύτερα λόγω της σημαντικής υποχώρησης της μεταλλικής αντηρίδας. Η εν λόγω εκτίμηση οδηγεί σε μικρή μείωση (της τάξης του 20%) του συντελεστή  $K_0$  ώστε οι “μόνιμες” αντιστηρίξεις να μελετηθούν με συνθήκες μικρής παραμόρφωσης δηλαδή με συνθήκες ώθησης με συντελεστή:

$$K_{\text{wall}} = 0.50 (0.00\text{m} < z < 25.00\text{m}), (K_{\text{wall}} \approx 0,80 \times K_0 = 0.80 \times 0.60 = 0.48)$$

$$K_{\text{wall}} = 0.40 (25\text{m} < z < 35.00\text{m}), (K_{\text{wall}} \approx 0,80 \times K_0 = 0.80 \times 0.50 = 0.40)$$

**Τελικά για τον σχεδιασμό των μονίμων έργων προτείνεται συνολικά ενιαίος συντελεστής  $K_{\text{wall}} = 0.45$**

Η στατική επίλυση (διαστασιολόγηση) των φορέων των επί μέρους έργων του σταθμού θα γίνει με:

- Κινητό φορτίο στο “φρύδι” του πρανούς τουλάχιστον ίσο προς το προβλεπόμενο από τις Προδιαγραφές Μελετών.
- Φορτία κτιρίων, εάν υπάρχουν
- Υδροστατικές πιέσεις με βάση τη θέση της στάθμης υδροφόρου ορίζοντα στις θέσεις των έργων της Διασταύρωσης.

## Κεφάλαιο 2

		Στάθμη φυσικού εδάφους	±0.00
	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ $c' = 5 \text{ kPa}$ $\phi' = 33^\circ$ $E_s = 10 \text{ MPa}$ $E = 7.5 \text{ MPa}$	<b>ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΣΕΙΣ</b>	Καστανή σκούρα, μαλακή αμμώδης <b>ΑΡΓΙΛΟΣ</b> και χαλαρή αργιλώδης <b>ΑΜΜΟΣ</b> με χαλίκια / κροκάλες, τούβλα και κεραμίδια
			-2.70
	$\gamma = 21.5 \text{ kN/m}^3$ $c' = 50 \text{ kPa}$ $\phi' = 26^\circ$ $c_u = 140 \text{ kPa}$ $E_s = 100 \text{ MPa}$ $E = 75 \text{ MPa}$ $K_h = 1.0 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$ $K_v = 3.5 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$	<b>Σ.Υ.Ο. -5.00m</b>	Καστανέρυθρες, στιφρές, αμμώδεις <b>ΑΡΓΙΛΟΙ (CL)</b> με ψηφίδες, χαμηλής πλαστικότητας, με σποραδικές, ασυνεχείς και μικρού πάχους εμφανίσεις πυκνών αργιλωδών <b>ΧΑΛΙΚΩΝ (GC)</b> , αργιλωδών <b>ΑΜΜΩΝ</b> με χαλίκια (SC) και μικρού πάχους <b>ΨΗΦΙΔΟ-ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΩΝ,</b> <b>(ΣΤΡΩΣΗ A2α)</b>
N = 44			-13.00
	$\gamma = 22.0 \text{ kN/m}^3$ $c' = 110 \text{ kPa}$ $\phi' = 28^\circ$ $c_u = 300 \text{ kPa}$ $E_s = 150 \text{ MPa}$ $E = 110 \text{ MPa}$ $K_h = K_v = 1.0 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$		Ερυθρές, πολύ στιφρές έως σκληρές, αμμώδεις <b>ΑΡΓΙΛΟΙ (CL)</b> , έως ασθενείς <b>ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΙ</b> , με ψηφίδες και σποραδικά χαλίκια, χαμηλής πλαστικότητας, με ενδιάμεσες, ασυνεχείς στρώσεις πυκνών αργιλωδών <b>ΑΜΜΩΝ (SC)</b> με διάσπαρτες ψηφίδες και τοπικά αμμωδών <b>ΙΛΥΩΝ (ML)</b> , <b>(ΣΤΡΩΣΗ A2β)</b>
N > 50 (ΑΡΝΗΣΗ)			-25.00
	$\gamma = 22.0 \text{ kN/m}^3$ $c' = 100 \text{ kPa}$ $\phi' = 30^\circ$ $c_u = 500 \text{ kPa}$ $E_s = 350 \text{ MPa}$ $E = 300 \text{ MPa}$ $K_h = K_v = 1.0 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$	<b>Στάθμη Εκσκαφής - 35.0m</b>	Σκληρές, χαλικώδεις / αμμώδεις <b>ΑΡΓΙΛΟΙ</b> <b>(CL)</b> , έως ασθενείς <b>ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΙ</b> , σε εναλλαγές με στρώσεις καλά συγκαλλημένου <b>ΨΗΦΙΔΟ</b> - <b>ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΩΓΗΣ</b> καθώς και, πολύ πυκνών αργιλωδών <b>ΧΑΛΙΚΩΝ</b> με άμμο (GC), <b>(ΣΤρώση A2γ)</b>
N > 50 (ΑΡΝΗΣΗ)			-50.00

**Σχήμα 2.28: Γεωτεχνική τομή σχεδιασμού στην Διασταύρωση Σιντριβάνι**



**2.2.4 ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΣΙΝΤΡΙΒΑΝΙ – ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ( Χ.Θ. 3+001 ~ Χ.Θ. 3+345 )**

Η σήραγγα θα κατασκευαστεί με την χρήση TBM τύπου EPB σε βάθη (TOR) από -30 έως -32 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους και θα έχει μήκος ~345m (Χ.Θ. 3+001 έως Χ.Θ. 3+345) και διάμετρο περίπου 6 μέτρων.

Για την ακριβέστερη σύνταξη της τομής σχεδιασμού εκτελέστηκαν κατά μήκος της σήραγγας πέντε γεωτρήσεις, η PB20 (1991) σε προγενέστερη έρευνα και άλλες τέσσερις κατά τη συμπληρωματική γεωτεχνική έρευνα (2007) από τις οποίες στις τρεις TGTP21, TGTP23 και TGTP24 εκτελέστηκαν επί τόπου δοκιμές αντοχής SPT και διαπερατότητας Maag καθώς και μία πρεσσιομέτρηση TGTR22.

Να σημειωθεί ότι η γεώτρηση TGSP21 , η οποία βρίσκεται στο τμήμα που θα κατασκευαστεί με TBM, θα χρησιμοποιηθεί και στην ενότητα του Σταθμού Πανεπιστήμιο.

#### **2.2.4.1 Γεωτεχνικές Συνθήκες**

1. **Στρώμα Τεχνητών Επιχωματώσεων:** αποτελείται από τεφρές, **ΙΛΥΕΣ / ΑΡΓΙΛΟΥΣ** με άμμο, κονίαμα και κεραμικά, καθώς και από **ΛΑΤΥΠΕΣ και ΧΑΛΙΚΕΣ**. Λόγω του μικρού πάχους που παρουσιάζει η Ενότητα (από 1.50m έως 3.90m) αλλά και επειδή δεν αναμένεται να επηρεάσει την διάνοιξη της σήραγγας δεν εκτελέστηκαν ούτε εργαστηριακές δοκιμές προσδιορισμού των φυσικών / μηχανικών χαρακτηριστικών των σχηματισμών της, άλλα ούτε και επί τόπου δοκιμές προσδιορισμού του συντελεστή διαπερατότητας.

2. **Νεογενή ιζήματα της Σειράς των Ερυθρών Αργίλων:**

Όσον αφορά στην Ενότητα **A2α** η οποία υπόκειται των Τεχνητών Επιχώσεων, αυτή αποτελείται από σιφρές έως πολύ σιφρές, κόκκινες, **ΑΡΓΙΛΟΥΣ (CL-CI)** με άμμο, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας με τοπικές ενστρώσεις πυκνών, αργιλωδών **ΧΑΛΙΚΩΝ (GC)** με άμμο. Οι κοκκομετρήσεις που εκτελέστηκαν έδειξαν ότι αποτελείται από περίπου 72% λεπτόκοκκα ιζήματα, από 11% χάλικες και από 17% άμμους. Ο συντελεστής διαπερατότητας της Ενότητας A2α προσδιορίστηκε από μία μόνο επί τόπου δοκιμή Maag στα  $10^{-5}$  cm/sec. Ωστόσο, δεδομένου ότι εκτελέστηκε μόνο μία δοκιμή διαπερατότητας, ο συντελεστής της Ενότητας προτείνεται ίσος με  $10^{-4}$  cm/sec, όπως προέκυψε από εννέα δοκιμές Maag που εκτελέστηκαν στις Ενότητες A2β και A2γ. Ο ίσος συντελεστής δικαιολογείται από το γεγονός ότι και οι τρεις Ενότητες παρουσιάζουν παρεμφερή ποσοστά λεπτοκόκκων, ηλικία και βαθμό υπερστερεοποίησης.

Η **Ενότητα A2α** εντοπίζεται μόνο στο τμήμα της Σήραγγας από Χ.Θ. 3+001 έως Χ.Θ. 3+100, εκτείνεται έως ένα μέσο βάθος περίπου 9,50m από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ το μέσο πάχος της είναι περίπου 8.00m.

Η υποκείμενη **Ενότητα A2β** αποτελείται από πολύ σιφρές, κόκκινες, **ΑΡΓΙΛΟΥΣ (CL-CI)** με άμμο, οξειδώσεις μαγγανίου και ασβεστίτικα συγκρίματα, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας, με τοπικές ενστρώσεις πυκνών, κόκκινων, αργιλωδών **ΑΜΜΩΝ (SC)** με χάλικες και επίσης πυκνών,

αργιλωδών **ΧΑΛΙΚΩΝ (GC)** με άμμο. Οι κοκκομετρικές αναλύσεις που εκτελέστηκαν στην Ενότητα έδειξαν ότι συνίσταται από περίπου 70% λεπτόκοκκα ιζήματα, 10% χάλικες και 20% άμμους. Ο συντελεστής διαπερατότητας της Ενότητας προσδιορίστηκε από επί τόπου δοκιμές Maag στα  $10^{-4}$  cm/sec, τιμή η οποία θεωρείται αντιπροσωπευτική των σχηματισμών της Ενότητας σύμφωνα και με το υψηλό ποσοστό λεπτοκόκκων που παρουσιάζει.

Η **Ενότητα A2β** εντοπίζεται επίσης μόνο στο τμήμα της Σήραγγας από Χ.Θ. 3+001 έως Χ.Θ. 3+100, υπόκειται της A2α και εκτείνεται έως ένα μέσο βάθος περίπου 26,50m από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ το μέσο πάχος της είναι περίπου 17m.

Η **Ενότητα A2γ**, εντός της οποίας θα διέλθει η σήραγγα, αποτελείται από σκληρές και τοπικά πολύ στιφρές, κόκκινες, **ΑΡΓΙΛΟΥΣ (CL-CI)** με άμμο έως αμμώδεις **ΑΡΓΙΛΟΥΣ**, με οξειδώσεις μαγγανίου και ασβεστιτικά συγκρίματα, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας και από πολύ ασθενείς, κόκκινους, **ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΥΣ / ΙΛΥΟΛΙΘΟΥΣ**, με τοπικές ενστρώσεις πυκνών έως πολύ πυκνών, αργιλωδών **ΑΜΜΩΝ (SC)** με χάλικες, αργιλωδών **ΧΑΛΙΚΩΝ (GC)** με άμμο και καλά συγκολλημένων **ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΩΝ**.

Οι κοκκομετρικές αναλύσεις που εκτελέστηκαν έδειξαν ότι το ποσοστό λεπτοκόκκων μειώνεται συγκριτικά με τις A2α και A2β και κυμαίνεται περί το 61% με αύξηση του ποσοστού χάλικων το οποίο μετρήθηκε στα 17%, ενώ η παρουσία της άμμου παραμένει στα επίπεδα του 22%. Αυτή η μείωση των λεπτοκόκκων σε συνδυασμό με την αύξηση των χάλικων οφείλεται στην παρουσία λατυποπαγών στο εσωτερικό της A2γ καθώς και στην εντονότερη παρουσία ενστρώσεων χάλικων. Ο συντελεστής διαπερατότητας της Ενότητας προσδιορίστηκε από επί τόπου δοκιμές Maag και Lugeon στα  $10^{-4}$  cm/sec, τιμή η οποία επίσης θεωρείται αντιπροσωπευτική των σχηματισμών της Ενότητας. Ωστόσο, τονίζεται ότι τοπικά εντοπίζονται και ενδιαστρώσεις με υψηλότερη διαπερατότητα της τάξης των  $10^{-3}$  cm/sec.

Η **Ενότητα A2γ** εντοπίζεται σε όλο το μήκος του τμήματος της Σήραγγας που μελετάται από Χ.Θ. 3+001 έως Χ.Θ. 3+345. Στο τμήμα από Χ.Θ. 3+001 έως

Χ.Θ. 3+100, η Α2γ υπόκειται της Α2β και εκτείνεται τουλάχιστον ως το βάθος των 37.00m από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ στο τμήμα από Χ.Θ. 3+100 έως Χ.Θ. 3+345 εντοπίζεται κάτω από την Ενότητα των Επιχώσεων (οι Ενότητες Α2α και Α2β δεν εντοπίζονται) και εκτείνεται τουλάχιστον ως το βάθος των 49,00m από την επιφάνεια του εδάφους.

Επισημαίνεται ότι τόσο η **Γεωτεχνική Ενότητα Α2α** όσο και η **Α2β** εντοπίζονται κατά μήκος της Σήραγγας μόνον από Χ.Θ. 3+001 έως Χ.Θ. 3+100, ενώ η **Ενότητα Α2γ** εντοπίζεται καθόλο το μήκος της Σήραγγας Διασταύρωση Σιντριβάνι – Σταθμός Πανεπιστήμιο (Χ.Θ. 3+001 έως Χ.Θ. 3+345). Για τον λόγο αυτό θα δοθούν δύο τομές σχεδιασμού (Χ.Θ. 3+001 – Χ.Θ. 3+100) – ΤΟΜΗ Ι και (Χ.Θ. 3+100 – Χ.Θ. 3+345) – ΤΟΜΗ ΙΙ για το τμήμα της Σήραγγας που μελετάται.

Επίσης να προστεθεί ότι τα Νεογενή ιζήματα της Σειράς των Ερυθρών Αργίλων που αποκλειστικά συναντώνται στο τμήμα της Σήραγγας από Διασταύρωση Σιντριβάνι σε Σταθμό Πανεπιστήμιο είναι υπερστερεοποιημένα, έως κατά τόπους στις θέσεις των ημιβράχων και έντονα υπερστεροποιημένα, με τιμές OCR περί το 2.00 ή κατά τόπους και μεγαλύτερες.

Αναφορικά με τις υδρογεωλογικές συνθήκες κατά μήκος της Σήραγγας επισημαίνεται ότι εντοπίζεται **αρτεσιανός υδροφόρος** με προτεινόμενη στάθμη σχεδιασμού υπογείων υδάτων που κυμαίνεται από το απόλυτο υψόμετρο των +18,40m έως και την επιφάνεια του εδάφους (+23,49m – γεώτρηση TGTP24).

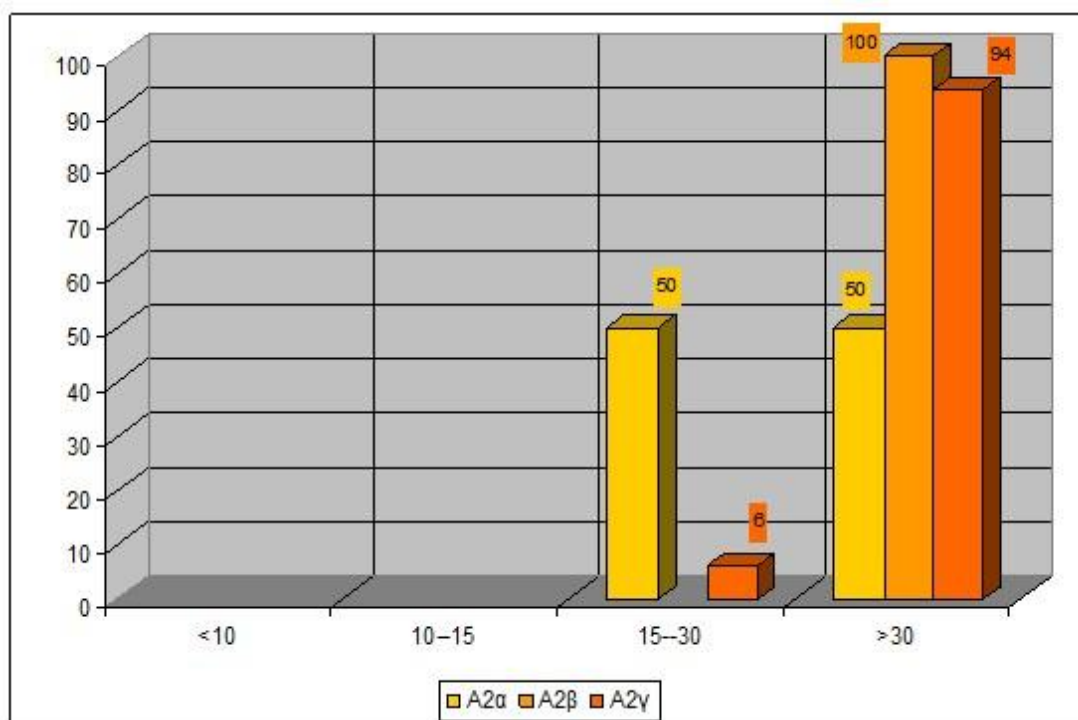
**2.2.4.2 Επιτόπου Δοκιμές****1 Δοκιμές Διείσδυσης SPT**

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα του Σχήματος 2.28 πραγματοποιήθηκαν συνολικά 38 δοκιμές SPT εκ των οποίων οι 31 παρουσίασαν άρνηση ( $N_{SPT} > 50$ ) ενώ οι υπόλοιπες 7 εμφάνισαν τιμές που κυμαίνονται από 16 έως 48 κρούσεις.

Πίνακας 2.43: Αποτελέσματα πρότυπων δοκιμών διείσδυσης (SPT)						
	Βάθος (m)	(N) TGTP21	(N) TGTP23	(N) TGTP24	(N) TGSP21	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ $N_{SPT}$
T.E.	0.00 – 1.50(I) 0.00 – 3.05 (II)	-	-	-	21	ΔΕΝ ΔΙΝΕΤΑΙ ΛΟΓΩ ΜΙΚΡΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ
ΕΝΟΤΗΤΑ A2α	1.50 – 9.50 (I)	16 / 38	ΔΕΝ ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ			27
ΕΝΟΤΗΤΑ A2β	9.50 – 26.50 (I)	A / A	ΔΕΝ ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ			> 50 (ΑΡΝΗΣΗ)
ΕΝΟΤΗΤΑ A2γ	26.50 – 37.00 (I) 3.05 – 49.00 (II)	A	36/ A/ 48/ A/ A/ A	28/ A/ 29/ A/ A/ A/ A	A/ A/ A/ A/ A/ A/ A/ A/ A/ A/ A/ A/ A	> 50** (ΑΡΝΗΣΗ)

Η μέση τιμή που προκύπτει για την Ενότητα A2γ είναι 48 κρούσεις. Εκτιμάται ότι η τιμή αυτή δεν είναι απόλυτα αντιπροσωπευτική καθώς αφενός η A2γ είναι σχεδόν αποκλειστικά ημιβραχώδης, αφετέρου δε η Άρνηση λαμβάνεται συντηρητικά ίση με 50 κρούσεις υποβιβάζοντας σημαντικά την μέση τιμή. Για τους παραπάνω λόγους δίνεται:  $N_{SPT} > 50$  (ΑΡΝΗΣΗ).

Η παραπάνω διακύμανση των τιμών  $N_{SPT}$  συνοψίζεται στο παρακάτω Σχήμα 2.28.

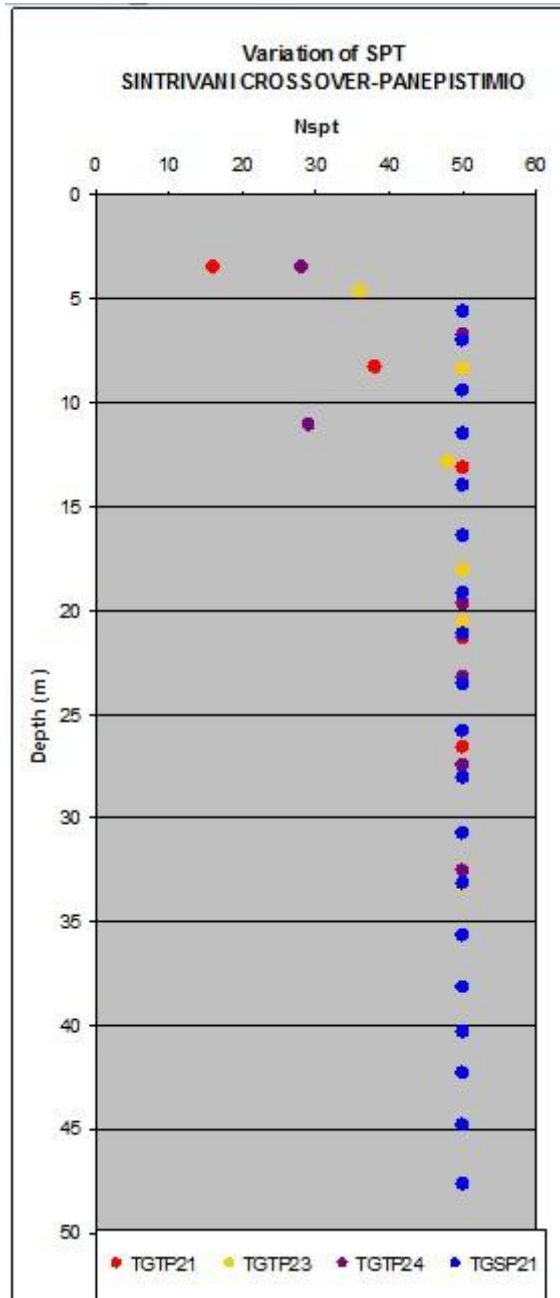


Σχήμα 2.28: Διακύμανση των τιμών  $N_{SPT}$

Με βάση το παραπάνω Γράφημα εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Το 50% των Γεωτεχνικών Σχηματισμών της Ενότητας **A2α** και το 6% των Σχηματισμών της **A2γ** χαρακτηρίζονται ως “πολύ σιφροί – μέσης πυκνότητας”.
- Το 50% των Γεωτεχνικών Σχηματισμών της Ενότητας **A2α**, το 94% των Σχηματισμών της **A2γ** και το 100% αυτών της **A2β** χαρακτηρίζονται ως “σκληροί – πυκνοί έως πολύ πυκνοί”

Στο Σχήμα 2.29 που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή του αριθμού κρούσεων  $N_{SPT}$  με το βάθος για το τμήμα της σήραγγας μεταξύ της Διασταύρωσης Σιντριβάνι και του Σταθμού Πανεπιστήμιο. Στις περιπτώσεις που καταγράφηκε άρνηση η τιμή  $N_{SPT}$  δίνεται ίση με 50.

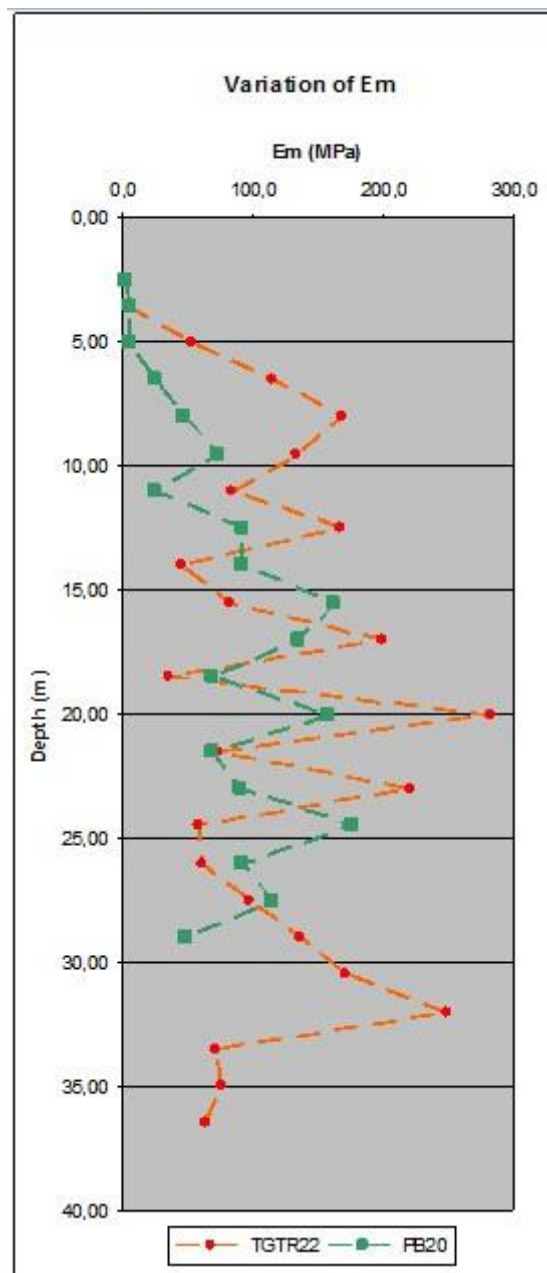


Σχήμα 2.29: Μεταβολή του αριθμού κρούσεων  $N_{SPT}$  με το βάθος

## 2 Δοκιμές Πρεσσιομέτρου

Οι πρεσσιομετρήσεις χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό παραμέτρων αντοχής του εδάφους στα διάφορα βάθη εκτέλεσης των δοκιμών.

Στον σταθμό εκτελέστηκε μία πρεσσιομετρική γεώτρηση η TGTR22 (Χ.Θ. 3+150) και επίσης χρησιμοποιείται και η πρεσσιομέτρηση PB20 (Χ.Θ. 3+190) η οποία εκτελέστηκε σε προγενέστερη έρευνα (1999).



Σχήμα 2.30: Πρεσσιομετρικό μέτρο σε σχέση με το βάθος



## Κεφάλαιο 2

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των πρεσσιομετρήσεων οδηγεί έμμεσα στο προσδιορισμό των ακολούθων παραμέτρων: του Πρεσσιομετρικού μέτρου  $E_m$ , του Μέτρου συμπίεσης  $E_s$  και της Οριακής πίεση θραύσης  $P_{lim}$  όπως αναλύθηκε σε προηγούμενη ενότητα.

Στους πίνακες που ακολουθούν 2.44 και 2.45 δίνεται η μέση τιμή των γεωτεχνικών παραμέτρων  $E_m$ ,  $P_{lim}$ ,  $E_s$  και  $\alpha$  για την περιοχή ενδιαφέροντος.

Πίνακας 2.44				
Πρεσσιομέτρηση TGTR22				
	ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	ΕΝΟΤΗΤΑ Α2α	ΕΝΟΤΗΤΑ Α2β	ΕΝΟΤΗΤΑ Α2γ
Βάθος (m)	0.00 – 3.90	ΔΕΝ ΕΝΤΟΠΙΖΕΤΑΙ	ΔΕΝ ΕΝΤΟΠΙΖΕΤΑΙ	3.90 – 38.80
$P_{lim}$ (MPa)	0.28			(6.86)
$E_m$ (MPa)	2.20			119.9
$E_m/P_{lim}$	8			17
$\alpha$	0.66			0.33
$E_s$ (MPa)	3			363

Πίνακας 2.45				
Πρεσσιομέτρηση PB20				
	ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	ΕΝΟΤΗΤΑ Α2α	ΕΝΟΤΗΤΑ Α2β	ΕΝΟΤΗΤΑ Α2γ
Βάθος (m)	0.00 – 5.00	ΔΕΝ ΕΝΤΟΠΙΖΕΤΑΙ	ΔΕΝ ΕΝΤΟΠΙΖΕΤΑΙ	5.00 – 30.00
$P_{lim}$ (MPa)	-0.01 / 0.43 / 0.39 (0.41)			4.60
$E_m$ (MPa)	1.5 / 5 / 4.5 (4.75)			91.3
$E_m/P_{lim}$	12			20
$\alpha$	0.66			0.33
$E_s$ (MPa)	7.2			277

### 3 Δοκιμές Διαπερατότητας – Maag

Με βάση τις δοκιμές Maag που πραγματοποιήθηκαν έγινε χαρακτηρισμός όλων των επί μέρους ενοτήτων που εντοπίζονται κατά μήκος της σήραγγας σύμφωνα με τον Πίνακα 2.5 κατά Terzaghi and Peck (1967) καθώς και τον Πίνακα 2.7 Casagrande που αναλύθηκε στο πρώτο διάστημα.

Στον Πίνακα 2.46 που ακολουθεί συνοψίζονται η μέση τιμή και ο χαρακτηρισμός των επί μέρους ενοτήτων Α2α, Α2β και Α2γ και των Τεχνητών Επιχώσεων για το τμήμα της σήραγγας μεταξύ του Σταθμού Σιντριβάνι και της Διασταύρωσης Σιντριβάνι.

Πίνακας 2.46				
Μέση τιμή του οριζοντίου συντελεστή διαπερατότητας $K_H$				
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	Βάθος (m)	ΤΙΜΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ $K$ (cm/sec)	ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (ΜΕΣΗ) $K$ (cm/sec)	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ $K_H$ (cm/sec)
A2α	1.50 – 9.50 (I)	$1.59 \times 10^{-5}$	-	$1.00 \times 10^{-4}$ (ΧΑΜΗΛΗ)
A2β	9.50 – 26.50 (I)	$2.19 \times 10^{-5} / 2.71 \times 10^{-4} / 3.93 \times 10^{-5}$	$1.11 \times 10^{-4}$	$1.00 \times 10^{-4}$ (ΧΑΜΗΛΗ)
A2γ	26.50 – 37.00 (I) 3.05 – 49.00 (II)	$1.29 \times 10^{-3} / 7.02 \times 10^{-6} / 1.02 \times 10^{-5} / 3.93 \times 10^{-4} 3.26 \times 10^{-4} / 1.97 \times 10^{-4} / 2,13 \times 10^{-4} 9,97 \times 10^{-6} / 5,69 \times 10^{-6} / 1,91 \times 10^{-6} / 3,75 \times 10^{-6} 1,55 \times 10^{-6} / 3,22 \times 10^{-6} / 3,22 \times 10^{-6} / 7,16 \times 10^{-6} 2,83 \times 10^{-6}$	$1.55 \times 10^{-4}$	$1.00 \times 10^{-4}$ (ΧΑΜΗΛΗ)

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα του παραπάνω Πίνακα 2.46 είναι τα εξής:

- Σύμφωνα με τις δοκιμές Maag που εκτελέστηκαν φαίνεται ότι ο συντελεστής διαπερατότητας κυμαίνεται περί τα  $10^{-4}$  cm/sec συνολικά και για τις τρεις Γεωτεχνικές Ενότητες Α2α, Α2β και Α2γ. Όσον αφορά στην Ενότητα Α2α

προκύπτει συντελεστής διαπερατότητας της τάξης των  $10^{-5}$  cm/sec, ωστόσο λόγω του ότι εκτελέστηκε μόνο μία δοκιμή Maag προτείνεται τελικά τιμή συντελεστή ίση με αυτή των A2β και A2γ. Ο ίσος συντελεστής διαπερατότητας που προτείνεται και στις τρεις Ενότητες δικαιολογείται από το γεγονός ότι και οι τρεις παρουσιάζουν ίδιο ποσοστό λεπτοκόκκων (60% - 70%) και είναι της αυτής ηλικίας (Νεογενείς) και βαθμού υπερστερεοποίησης (~2,00). Παρ' όλα αυτά αναμένονται ασυνεχείς, κοκκώδεις ενδιαστρώσεις (αργιλωδών χαλίκων, λατυποπαγών κλπ) με υψηλότερες τιμές του συντελεστή διαπερατότητας (π.χ. γεώτρηση TGTP21, 27.00 – 29.00, αργιλώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ έως ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΣ,  $k = 1.29 \times 10^{-3}$  cm/sec).

- Όσον αφορά στις Τεχνητές Επιχωματώσεις, ο συντελεστής δεν προσδιορίστηκε καθώς λόγω του μικρού πάχους αλλά και του γεγονότος ότι το στρώμα δεν εμπλέκεται στην διάνοιξη της σήραγγας δεν εκτελέστηκαν δοκιμές διαπερατότητας.
- Συμπερασματικά, οι Γεωτεχνικοί Σχηματισμοί των Ενοτήτων A2α, A2β και A2γ **γενικά** χαρακτηρίζονται ως “χαμηλής διαπερατότητας” βάση των συντελεστών διαπερατότητας που προσδιορίστηκαν, **ενώ δεν λείπουν ενδιαστρώσεις με υψηλότερη διαπερατότητα της τάξης των  $10^{-3}$  cm/sec**. Επιπλέον, σύμφωνα με τον Πίνακα Casagrande 4.8, 1938, with minor additions-from textbook “ Introduction to Geotechnical Engineering” by Holtz R.D, Kovacs W.D, το υψηλό ποσοστό αργιλικού κλάσματος (15% – 25%) αλλά και την υψηλή διαγένεση των σχηματισμών και των τριών Ενοτήτων εκτιμάται ότι κατά τόπους μπορεί να εμφανίζονται και “πρακτικά αδιαπέρατα” τμήματα.

Ο κατακόρυφος συντελεστής διαπερατότητας ( $K_v$ ) λαμβάνεται ίσος με τον οριζόντιο ( $K_h$ ), αφενός γιατί όλες οι επί μέρους Γεωτεχνικές Ενότητες που προσδιορίστηκαν είναι σχεδόν αμιγώς αργιλικές με ποσοστά λεπτοκόκκων μεταξύ 60% - 70% και δίχως ουσιαστικές ενστρώσεις από υλικά μεγαλύτερης διαπερατότητας και αφετέρου διότι στα ημιβραχώδη τμήματα (Ενότητα A2γ), η διαπερατότητα ελέγχεται από τις τυχόν ασυνέχειες και όχι από την κοκκομετρία των υλικών και τις

τυχόν ενστρώσεις. **Συνεπώς, λαμβάνεται  $K_h = K_v$**  καθόλο το μήκος της Σήραγγας από Διασταύρωση Σιντριβάνι έως Σταθμό Πανεπιστήμιο.

**2.2.4.3 Υπόγεια Νερά**

Μετά το πέρας των εργασιών διάτρησης των τριών (3) γεωτρήσεων (TGTP21, TGTP23 και TGTP24) τοποθετήθηκαν πιεζόμετρα και για διάστημα περίπου δέκα μηνών πάρθηκαν μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου νερού. Στον Πίνακα δίνονται και οι μετρήσεις στάθμης που πραγματοποιήθηκαν στη γεώτρηση PB20 που εκτελέστηκαν σε προηγούμενες φάσεις ερευνών με στόχο την ακριβέστερη προτεινόμενη στάθμη σχεδιασμού.

<b>Πίνακας 2.47: Μετρήσεις πιεζομέτρων (Βάθος στάθμης (m) από κεφαλή γεώτρησης)</b>				
	TGTP21 (+22.72)	TGTP23 (+23.87)	TGTP24 (+23.49)	TGSP21 (+24.89)
19/12/07	-	-	-	3,65
9/1/07	-	-	-	4,18
1/2/07	-	-	-	4,18
7/2/07	4,86	1,63	0,00	4,31
16/2/07	4,86	1,65	0,00	4,32
22/2/07	4,84	1,60	0,00	4,29
9/3/07	4,80	1,58	0,00	4,29
15/3/07	4,80	1,58	0,00	4,22
22/3/07	4,75	1,53	0,00	4,15
30/3/07	4,71	-	0,00	4,05
5/4/07	4,75	1,53	0,00	4,00
12/4/07	-	1,54	0,00	4,00
18/4/07	4,78	1,54	0,00	4,00
27/4/07	4,70	1,55	0,00	4,18
4/5/07	4,69	1,53	0,00	4,26
11/5/07	4,70	1,54	0,00	4,18
1/6/07	4,43	1,48	0,00	4,30
15/6/07	4,45	1,47	0,00	4,18
21/6/07	4,51	-	0,00	4,18
27/6/07	4,54	1,48	0,00	4,37
2/7/07	4,56	1,47	-	4,45
9/7/07	4,60	1,47	-	4,37
16/7/07	4,66	1,49	-	3,91
24/7/07	4,69	1,47	0,00	4,22
30/7/07	4,66	1,45	0,00	4,24
20/8/07	4,35	1,46	0,00	4,06
27/8/07	4,35	1,47	0,00	4,58
3/9/07	4,34	-	0,00	4,48
10/9/07	4,34	1,46	0,00	4,42
17/9/07	4,41	-	0,00	4,29
24/9/07	4,40	-	0,00	4,49
2/10/07	-	1,47	0,00	4,54

<b>Πίνακας 2.48 :</b> <b>Μετρήσεις στάθμης προγενέστερων γεωτεχνικών ερευνών</b> <b>(βάθος στάθμης (m) από κεφαλή γεώτρησης)</b>	
	PB20 (+22.50)
09/1991	-
10/1991	-
11/1991	-
12/1991	-
01/1992	-
24/8/99	-
17/9/99	0,60

Η συναξιολόγηση των δύο παραπάνω Πινάκων 2.47 και 2.48 οδηγεί στον Πίνακα 2.49 που ακολουθεί, στον οποίο δίνονται τα απόλυτα υψόμετρα της μέγιστης και ελάχιστης στάθμης υπόγειου νερού που μετρήθηκε σε κάθε γεώτρηση, καθώς και η μέγιστη και ελάχιστη στάθμη σχεδιασμού για το τμήμα της Σήραγγας μεταξύ της Διασταύρωσης Σιντριβάνι και του Σταθμού Πανεπιστήμιο.

<b>Πίνακας 2.49:</b> <b>Προτεινόμενη στάθμη υπογείου νερού (απόλυτο υψόμετρο)</b>				
	ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ	ΣΤΑΘΜΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	
			ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ
TGTP21	+17.86	+18.38	+18.40	+23.49 (αρτεσιανισμός)
TGTP23	+22.22	+22.42		
PB20	+21.89	+21.89		
TGTP24	+23.49 (Ροή αρτεσιανών)	+23.49 (Ροή αρτεσιανών)		
TGSP21	+20.31	+21.24		

Επισημαίνεται ότι στην περιοχή αναπτύσσεται αρτεσιανός υδροφόρος ο οποίος εκτείνεται μεταξύ των Σταθμών Σιντριβάνι και Παπάφη και αναπτύσσεται στο εσωτερικό λατυποπαγών και αργιολίθων σε βάθη μεγαλύτερα των 30m. Συνεπώς, το σύνολο των μετρήσεων που δίνονται στους παραπάνω Πίνακες πιθανότατα αντιστοιχούν στην πιεζομετρική στάθμη του αρτεσιανού και όχι στην φρεατική γραμμή του μόνιμου υδροφόρου.

Επιπλέον, από την σύγκριση των μετρήσεων μεταξύ των νέων και των παλαιών πιεζομέτρων φαίνεται ότι κατά τα τελευταία δεκαέξι χρόνια (1992 – 2007) η στάθμη του **αρτεσιανού** υδροφόρου δεν έχει μεταβληθεί σημαντικά. Πιο συγκεκριμένα η γεώτρηση PB20 που βρίσκεται πλησίον της TGTP24 παρουσιάζει και αυτή στάθμη νερού στην επιφάνεια του εδάφους υποδεικνύοντας συνεχή τροφοδοσία του υδροφόρου κατά τα τελευταία 16 χρόνια.

<b>Συγκεντρωτικός πίνακας 2.50</b>							
<b>Φυσικών χαρακτηριστικών ενότητας A2α</b>							
	W (%)		LL(%)		PI(%)		
	πλήθος	μέσος	πλήθος	μέσος	πλήθος	μέσος	
TGTP21	3	17.1	3	39.8	3	20.1	
<b>ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΝΟΤΗΤΑΣ A2α</b>							
	Κοκκομετρία					Φαινόμενο Βάρος $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	
	πλήθος	X (%)	A (%)	Λ (%)	Λ(%) Άργιλος	πλήθος	μέσος
μέσος		μέσος	μέσος				
TGTP21	3	11.2	16.7	72	25.2/30.4 (27.8)	3	21.2

<b>Συγκεντρωτικός πίνακας 2.51</b>							
<b>Φυσικών χαρακτηριστικών ενότητας A2β</b>							
	W (%)		LL(%)		PI(%)		
	πλήθος	μέσος	πλήθος	μέσος	πλήθος	μέσος	
TGTP21	10	16.7	7	32.6	7	15.5	
<b>Συγκεντρωτικός πίνακας φυσικών χαρακτηριστικών ενότητας A2α</b>							
	Κοκκομετρία					Φαινόμενο Βάρος $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	
	πλήθος	X (%)	A (%)	Λ (%)	Λ(%) Άργιλος	πλήθος	μέσος
μέσος		μέσος	μέσος				
TGTP21	7	10.4	20.6	69.1	18.4/14.4 <b>(16.6)</b>	7	21.6

Συγκεντρωτικός πίνακας 2.52							
Φυσικών χαρακτηριστικών ενότητας A2γ							
	W (%)		LL(%)		PI(%)		
	πλήθος	μέσος	πλήθος	Μέσος	πλήθος	μέσος	
TGTP21	4	11.7	3	31.9	3	14.6	
TGTP23	19	14.0	17	35.7	17	16,5	
TGTP24	21	14,8	17	35,8	17	16,3	
TGSP21	34	19.8	19	36.5	19	10.4	
<b>Total</b>	<b>78</b>	<b>16.6</b>	<b>56</b>	<b>35.8</b>	<b>56</b>	<b>14.3</b>	
	Κοκκομετρία					Φαινόμενο Βάρος $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	
	πλήθος	X (%)	A (%)	Λ (%)	Λ(%) Άργιλος	πλήθος	μέσος
		μέσος	μέσος	μέσος			
TGTP21	3	43.6	21.6	34.8	19.2	4	23.4
TGTP23	17	16,4	21,3	62,3	13,2/ 15,1/ 14,7/ 19,0/ 9,2/ 16,6/ 14,1/ 18,0/ 14,5/ 7,2/ 12,8	14	21,3
TGTP24	17	11,6	20,0	68,4	10,9/ 11,8/ 16,5/ 5,5/ 10,6	14	21,1
TGSP21	5	18.8	32	49.2	23	21	20.7
<b>Total</b>	<b>42</b>	<b>16.7</b>	<b>22.1</b>	<b>61.2</b>	<b>14</b>	<b>53</b>	<b>21.1</b>

Συγκεντρωτικός πίνακας 2.53							
Μηχανικών χαρακτηριστικών ενότητας A2α							
TGTP21							
Βάθος (m)	N <sub>SPT</sub>	q <sub>u</sub> (kPa)	Δοκιμές Διάτμησης CD		Δοκιμές Τριαξονικές CUPP		Τριαξονικές UU
			c' (kPa)	φ' (°)	c' (kPa)	φ' (°)	c <sub>u</sub> (kPa)
3.43	16	-	-	-	-	-	-
4.88	-	436	58	28.3	-	-	113
6.30	-	157	-	-	-	-	-
8.33	38	-	-	-	-	-	-
Πλήθος	2	2	1	1	0	0	1
Μέσος	27	296.5	-	-	-	-	-



Συγκεντρωτικός πίνακας 2.54							
Μηχανικών χαρακτηριστικών ενότητας A2α							
TGTP23							
Βάθος (m)	N <sub>SPT</sub>	q <sub>u</sub> (kPa)	Δοκιμές Διάτμησης		Δοκιμές Τριαξονικές		Τριαξονικές
			CD		CUPP		UU
			c' (kPa)	φ' (°)	c' (kPa)	φ' (°)	c <sub>u</sub> (kPa)
Πλήθος	0	0	0	0	0	0	0
Μέσος	-	-	-	-	-	-	-

Συγκεντρωτικός πίνακας 2.55							
Μηχανικών χαρακτηριστικών ενότητας A2α							
TGTP24							
Βάθος (m)	N <sub>SPT</sub>	q <sub>u</sub> (kPa)	Δοκιμές Διάτμησης		Δοκιμές Τριαξονικές		Τριαξονικές
			CD		CUPP		UU
			c' (kPa)	φ' (°)	c' (kPa)	φ' (°)	c <sub>u</sub> (kPa)
Πλήθος	0	0	0	0	0	0	0
Μέσος	-	-	-	-	-	-	-

Συγκεντρωτικός πίνακας 2.56							
Μηχανικών χαρακτηριστικών ενότητας A2α							
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΟΤΗΤΑ							
Βάθος (m)	N <sub>SPT</sub>	q <sub>u</sub> (kPa)	Δοκιμές Διάτμησης		Δοκιμές Τριαξονικές		Τριαξονικές
			CD		CUPP		UU
			c' (kPa)	φ' (°)	c' (kPa)	φ' (°)	c <sub>u</sub> (kPa)
Πλήθος	2	2	1	1	0	0	1
Μέσος	27	296.5	-	-	-	-	-

Συγκεντρωτικός πίνακας 2.57 Μηχανικών χαρακτηριστικών ενότητας Α2β							
TGTP21							
Βάθος (m)	N <sub>SPT</sub>	q <sub>u</sub> (kPa)	Δοκιμές Διάτμησης CD		Δοκιμές Τριαξονικές CUPP		Τριαξονικές UU
			c' (kPa)	φ' (°)	c' (kPa)	φ' (°)	c <sub>u</sub> (kPa)
10.35	-	487	96	27.6	-	-	-
11.40	-	-	-	-	-	-	333
13.13	50	-	-	-	-	-	-
16.60	-	368	-	-	-	-	-
18.00	-	297	-	-	-	-	-
20.50	-	236	-	-	-	-	-
21.32	50	-	-	-	-	-	-
22.35	-	429	57	25.7	-	-	-
25.10	-	-	-	-	-	-	467
Πλήθος	2	5	2	2	0	0	2
Μέσος	50	363.4	76.5	26.7	-	-	400

Συγκεντρωτικός πίνακας 2.58 Μηχανικών χαρακτηριστικών ενότητας Α2β							
TGTP23							
Βάθος (m)	N <sub>SPT</sub>	q <sub>u</sub> (kPa)	Δοκιμές Διάτμησης CD		Δοκιμές Τριαξονικές CUPP		Τριαξονικές UU
			c' (kPa)	φ' (°)	c' (kPa)	φ' (°)	c <sub>u</sub> (kPa)
Πλήθος	0	0	0	0	0	0	0
Μέσος	-	-	-	-	-	-	-

Συγκεντρωτικός πίνακας 2.59 Μηχανικών χαρακτηριστικών ενότητας Α2αβ							
TGTP24							
Βάθος (m)	N <sub>SPT</sub>	q <sub>u</sub> (kPa)	Δοκιμές Διάτμησης CD		Δοκιμές Τριαξονικές CUPP		Τριαξονικές UU
			c' (kPa)	φ' (°)	c' (kPa)	φ' (°)	c <sub>u</sub> (kPa)
Πλήθος	0	0	0	0	0	0	0
Μέσος	-	-	-	-	-	-	-

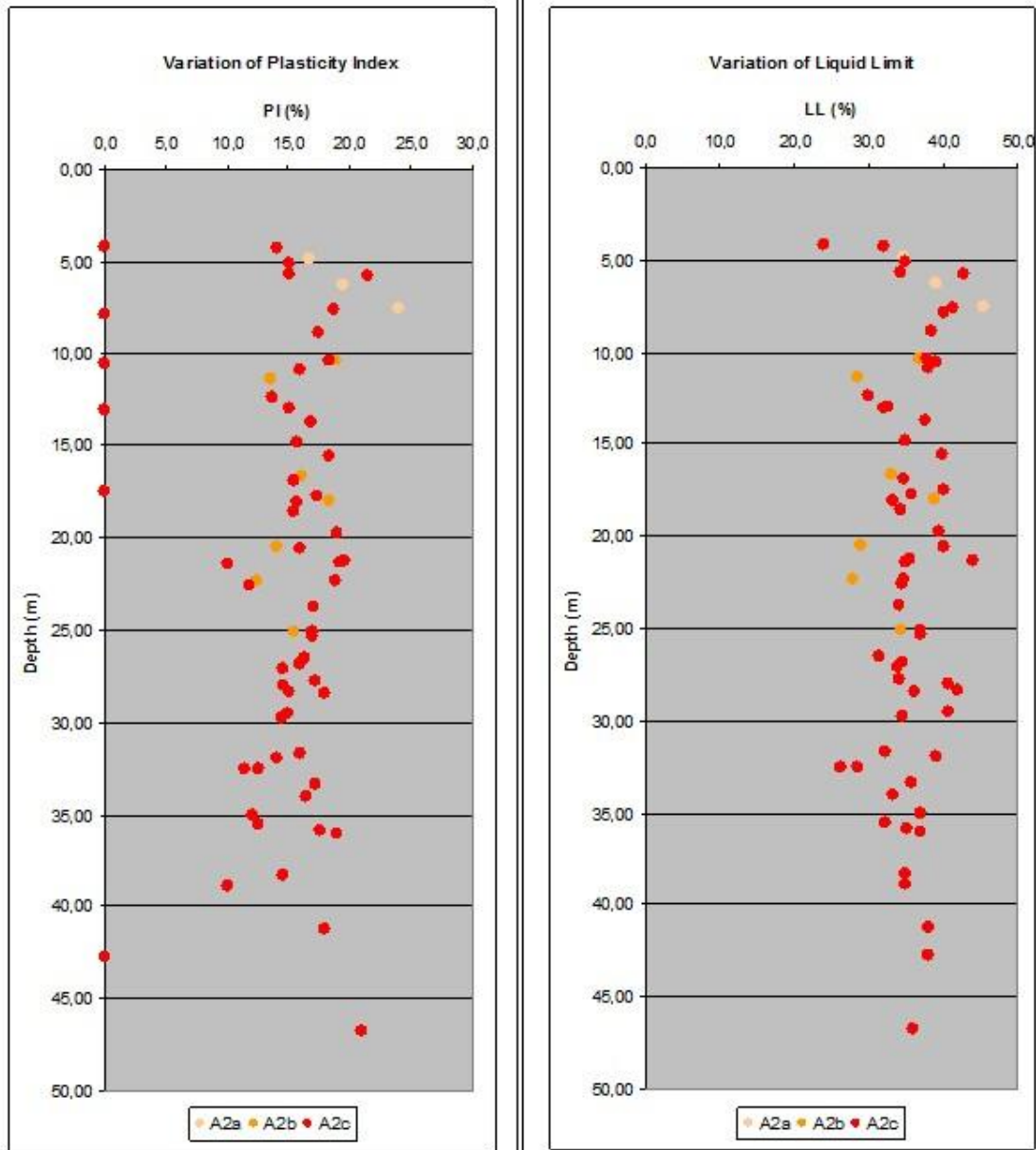
Συγκεντρωτικός πίνακας 2.57							
Μηχανικών χαρακτηριστικών ενότητας Α2β							
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΟΤΗΤΑ							
Βάθος (m)	N <sub>SPT</sub>	q <sub>u</sub> (kPa)	Δοκιμές Διάτμησης CD		Δοκιμές Τριαξονικές CUPP		Τριαξονικές UU
			c' (kPa)	φ' (°)	c' (kPa)	φ' (°)	c <sub>u</sub> (kPa)
Πλήθος	2	5	2	2	0	0	2
Μέσος	50	363.4	76.5	26.7	-	-	400
Συγκεντρωτικός πίνακας 2.61							
Μηχανικών χαρακτηριστικών ενότητας Α2γ							
TGTP21							
Βάθος (m)	N <sub>SPT</sub>	q <sub>u</sub> (kPa)	Δοκιμές Διάτμησης CD		Δοκιμές Τριαξονικές CUPP		Τριαξονικές UU
			c' (kPa)	φ' (°)	c' (kPa)	φ' (°)	c <sub>u</sub> (kPa)
26.62	50	-	-	-	-	-	-
30.20	-	4150	-	-	-	-	-
34.00	-	288	-	-	-	-	727
Πλήθος	1	2	0	0	0	0	1
Μέσος	50	-	-	-	-	-	-

Συγκεντρωτικός πίνακας 2.62							
Μηχανικών χαρακτηριστικών ενότητας Α2γ							
TGTP23							
Βάθος (m)	N <sub>SPT</sub>	q <sub>u</sub> (kPa)	Δοκιμές Διάτμησης CD		Δοκιμές Τριαξονικές CUPP		Τριαξονικές UU
			c' (kPa)	φ' (°)	c' (kPa)	φ' (°)	c <sub>u</sub> (kPa)
4,63	36	-	-	-	-	-	-
7,65	-	459	-	-	-	-	-
8,36	50	-	-	-	-	-	-
10,38	-	866	73	41,3	-	-	-
12,40	-	424	-	-	-	-	-
12,88	48	-	-	-	-	-	-
14,80	-	762	-	-	-	-	-
17,70	-	625	-	-	-	-	-
18,09	50	-	-	-	-	-	-
18,60	-	620	-	-	-	-	-
20,57	50	-	-	-	-	-	-
21,35	-	590	279	17,7	-	-	-
27,75	-	885	-	-	-	-	-
28,43	-	789	-	-	-	-	-
33,28	50	-	-	-	-	-	-
35,85	-	-	144	28	-	-	-
38,30	-	1570	-	-	-	-	-
Πλήθος	6	10	3	3	0	0	0
Μέσος	47	759	165,3	29,0	-	-	-

Συγκεντρωτικός πίνακας 2.63							
Μηχανικών χαρακτηριστικών ενότητας Α2γ							
TGTP24							
Βάθος (m)	N <sub>SPT</sub>	q <sub>u</sub> (kPa)	Δοκιμές Διάτμησης		Δοκιμές Τριαξονικές		Τριαξονικές
			CD		CUPP		UU
			c' (kPa)	φ' (°)	c' (kPa)	φ' (°)	c <sub>u</sub> (kPa)
3,43	28	-	-	-	-	-	-
5,65	-	808	-	-	-	-	-
6,78	50	-	-	-	-	-	-
8,85	-	802	-	-	-	-	-
11,08	29	-	-	-	-	-	-
13,75	-	531	179	32,3	-	-	-
15,55	-	932	-	-	-	-	-
16,85	-	480	-	-	-	-	-
19,67	50	-	-	-	-	-	-
21,25	-	679	-	-	-	-	-
22,30	-	870	274	25,3	-	-	910
23,26	50	-	-	-	-	-	-
25,35	-	1132	-	-	-	-	-
27,47	50	-	-	-	-	-	-
28,05	-	825	242	25,0	-	-	-
29,50	-	786	-	-	-	-	-
31,70	-	428	-	-	-	-	-
32,54	50	-	-	-	-	-	-
33,33	-	449	-	-	-	-	-
Πλήθος	7	12	3	3	0	0	1
Μέσος	44	726,8	231,7	27,5	-	-	-

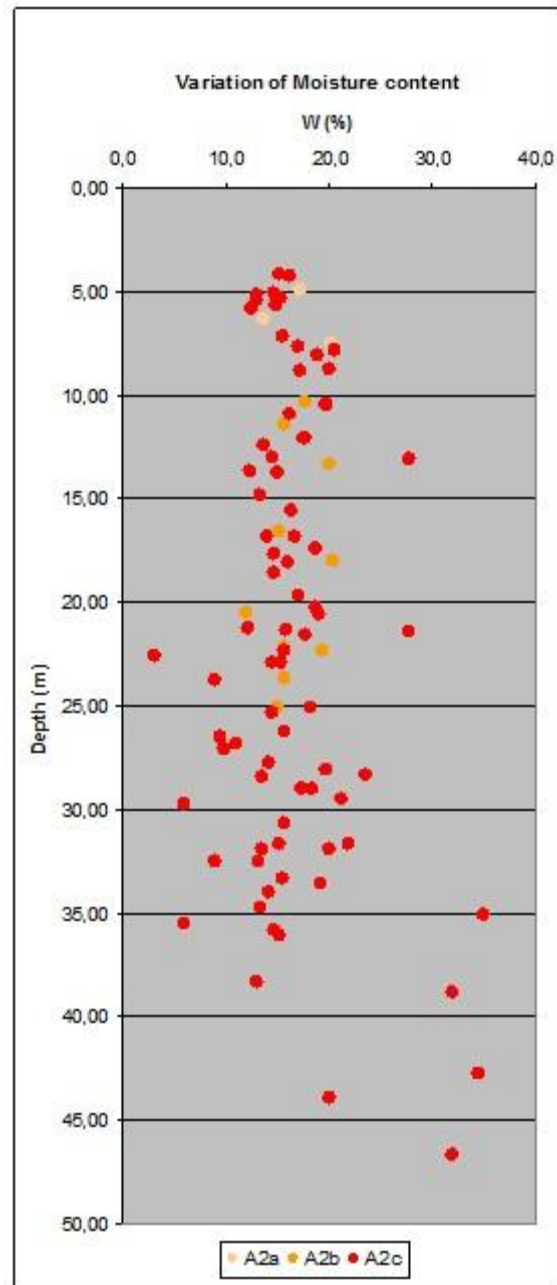
Συγκεντρωτικός πίνακας 2.64							
Μηχανικών χαρακτηριστικών ενότητας Α2γ							
TGSP21							
Βάθος (m)	N <sub>SPT</sub>	q <sub>u</sub> (kPa)	Δοκιμές Διάτμησης CD		Δοκιμές Τριαξονικές CUPP		Τριαξονικές UU
			c' (kPa)	φ' (°)	c' (kPa)	φ' (°)	c <sub>u</sub> (kPa)
4,25	-	51 (εξαιρείται)			-	-	-
5,12	-	-	-	-	-	-	66 (εξαιρείται)
5,60	50	-	-	-	-	-	-
7,00	50	-	-	-	-	-	-
8,05	-	481	-	-	-	-	-
9,40	50	-	-	-	-	-	-
10,90	-	1112	-	-	-	-	-
11,50	50	-	-	-	-	-	-
12,05	-	1029	40	29	-	-	-
13,70	-	769	-	-	-	-	-
14,00	50	-	-	-	-	-	-
16,45	50	-	-	-	-	-	-
16,85	-	931	-	-	-	-	-
19,15	50	-	-	-	-	-	-
20,25	-	766	-	-	-	-	-
21,15	50	-	-	-	-	-	-
22,95	-	450	53	20	-	-	-
23,60	50	-	-	-	-	-	-
25,85	50	-	-	-	-	-	-
26,25	-	519	-	-	-	-	-
28,10	50	-	-	-	-	-	-
29,00	-	491	32	32	-	-	-
30,75	50	-	-	-	-	-	-
31,65	-	912	-	-	-	-	-
33,15	50	-	-	-	-	-	-
35,70	50	-	-	-	-	-	-
36,05	-	411	-	-	-	-	-
38,20	50	-	-	-	-	-	-
40,30	50	-	-	-	-	-	-
42,30	50	-	-	-	-	-	-
43,95	-	525	-	-	-	-	-
44,85	50	-	-	-	-	-	-
47,70	50	-	-	-	-	-	-
Πλήθος	19	12	3	3	0	0	0
Μέσος	50	699.7	41,7	27	-	-	-

Συγκεντρωτικός πίνακας 2.65							
Μηχανικών χαρακτηριστικών ενότητας Α2γ							
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΟΤΗΤΑ							
Βάθος (m)	N <sub>SPT</sub>	q <sub>u</sub> (kPa)	Δοκιμές Διάτμησης CD		Δοκιμές Τριαξονικές CUPP		Τριαξονικές UU
			c' (kPa)	φ' (°)	c' (kPa)	φ' (°)	c <sub>u</sub> (kPa)
Πλήθος	33	35	9	9	0	0	2
Μέσος	48	714,2	146,2	27,8	-	-	818,5



A2α:	$\bar{PI} = 20.1\% \pm 3.68\%$	A2α:	$\bar{LL} = 39.8\% \pm 5.38\%$
A2β:	$\bar{PI} = 15.5\% \pm 2.40\%$	A2β:	$\bar{LL} = 32.6\% \pm 4.27\%$
A2γ:	$\bar{PI} = 14.3\% \pm 5.54\%$	A2γ:	$\bar{LL} = 35.8\% \pm 3.84\%$

Σχήμα 2.31: Μεταβολή δείκτη πλαστικότητας – Μεταβολή ορίου υδαρότητας



<b>A2α:</b>	$\bar{W} = 17.1\% \pm 3.26\%$
<b>A2β:</b>	$\bar{W} = 16.7\% \pm 2.63\%$
<b>A2γ:</b>	$\bar{W} = 16.6\% \pm 5.64\%$

**Σχήμα 2.32: Μεταβολή φυσικής υγρασίας με το βάθος**

Στο παραπάνω γράφημα του Σχήματος 2.31 φαίνεται ότι η ανώτερη στρώση της A2 ενότητας, η A2α είναι καθαρά μέσης πλαστικότητας, ενώ η ημιβραχώδης A2γ βρίσκεται στο όριο χαμηλής – μέσης πλαστικότητας. Τέλος, η ενδιάμεση Ενότητα A2β είναι χαμηλής πλαστικότητας  $LL < 35$ .

Από το Γράφημα του Σχήματος 2.32 φαίνεται ότι η φυσική υγρασία των Ενοτήτων μειώνεται με το βάθος.

Ακόμα πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές μετρήσεις υπολογισμού του πορώδους με στόχο να διαπιστωθεί η δυνατότητα ενεμάτωσης των σχηματισμών στο τμήμα της σήραγγας μεταξύ της Διασταύρωσης Σιντριβάνι και του Σταθμού Πανεπιστήμιο.

<b>Πίνακας 2.66</b>					
<b>Μετρήσεις πορώδους</b>					
ΕΝΟΤΗΤΑ Α2α		ΕΝΟΤΗΤΑ Α2β		ΕΝΟΤΗΤΑ Α2γ	
Υλικό	n	Υλικό	n	Υλικό	N
ΔΕΝ ΕΚΤΕΛΕΣΤΗΚΑΝ ΔΟΚΙΜΕΣ		CL	0,32	CL	0,35
		CL	0,30	CL	0,37
		GC	0,24	CL	0,29
		CL	0,31	GC	0,25
				CL	0,31
				CL	0,26
				CL	0,34
				CL	0,28
				ML	0,38
				ML	0,39
			CL	0,35	
ΜΕΣΟ ΠΟΡΩΔΕΣ	-	ΜΕΣΟ ΠΟΡΩΔΕΣ	0,29	ΜΕΣΟ ΠΟΡΩΔΕΣ	0,32

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα του παραπάνω Πίνακα 2.66, οι τιμές του πορώδους στις Ενότητες Α2β και Α2γ, όπου και εκτελέστηκαν δοκιμές, κυμαίνεται συνολικά από 0,24 έως 0,39. Οι χαμηλές τιμές τις διακυμάνσεις μετρήθηκαν εύλογα σε τοπικές ενστρώσεις χαλίκων όπου το ποσοστό λεπτοκόκκων είναι περιορισμένο, ενώ οι υψηλές τιμές μετρήθηκαν σε δείγματα ML που αποτελούνται σχεδόν αποκλειστικά από λεπτόκοκκο κλάσμα.



#### **2.2.4.4 Συντελεστές Ώθησης σε Ηρεμία $K_0$**

Στην παρούσα παράγραφο αξιολογούνται τα αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών πρεσσιομέτρησης με σκοπό τον προσδιορισμό των συντελεστών ουδέτερης ώθησης  $K_0$ .

Εκτελέστηκαν συνολικά δύο πρεσσιομετρικές γεωτρήσεις σε αυτή την περιοχή οι TGTR22 η οποία εκτελέστηκε πρόσφατα και η PB20 από την παλαιότερη γεωτεχνική έρευνα του 1999.

Η εκτίμηση των συντελεστών ουδέτερης ώθησης έγινε με τη βοήθεια τριών παραγόντων:

- Την πρεσσιομετρική δοκιμή PB20 (Εικόνα 2.34)
- Την εμπειρική σχέση μεταξύ του δείκτη πλαστικότητας PI και του λόγου υπερστερεοποίησης OCR σύμφωνα με το διάγραμμα του National Research Council of Canada και
- Την εμπειρική σχέση  $K_0^{O/C} = K_0^{N/C} * (OCR)^{\sin\phi} = (0,95 - \sin\phi) * (OCR)^{\sin\phi}$ , για τις Ενότητες A2α, A2β και A2γ

Οι συντελεστές ουδέτερης ώθησης προσδιορίζονται άμεσα με βάση τα αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών, οι οποίες εκτελέστηκαν κατά μήκος του εν λόγω τμήματος της Σήραγγας και έμμεσα από βιβλιογραφικές αναφορές που σημειώνονται παραπάνω.

**i) Με βάση το πρεσσιόμετρο PB20:** Το γράφημα της Εικόνας 2.34 παρουσιάζει τις αξιολογημένες τιμές του  $K_0$  από το πρεσσιόμετρο.

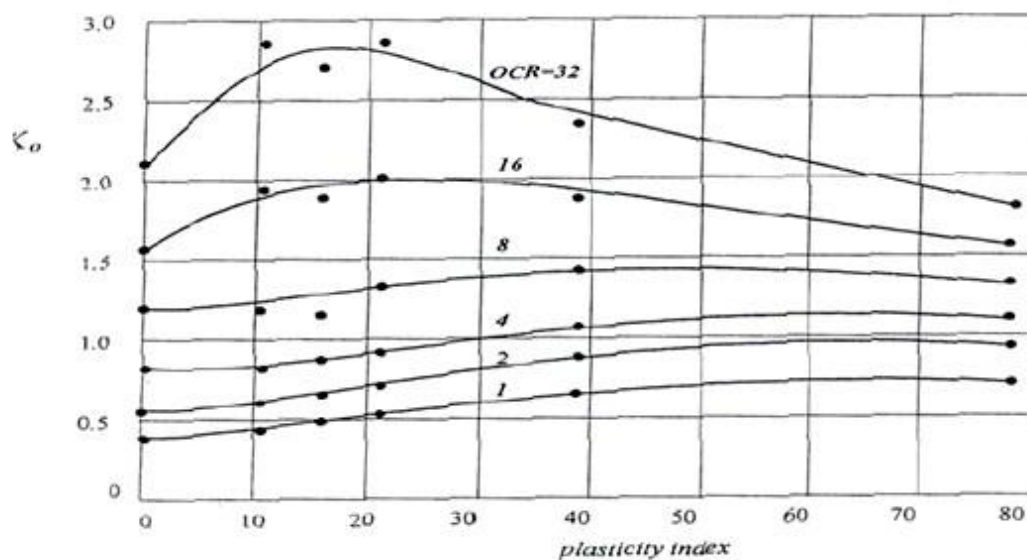
**ii) Από την εμπειρική σχέση  $K_0^{O/C} = K_0^{N/C} * (OCR)^{\sin\phi} = (0,95 - \sin\phi) * (OCR)^{\sin\phi}$**

Για την Ενότητα **A2α**:  $\phi' = 27^\circ$  και  $OCR = 1.50 \rightarrow K_0^{O/C} = 0.60$

Για την Ενότητα **A2β**:  $\phi' = 26^\circ$  και  $OCR = 1.80 \rightarrow K_0^{O/C} = 0.65$

Για την Ενότητα **A2γ**:  $\phi' = 28^\circ$  και  $OCR = 2.00 \rightarrow K_0^{O/C} = 0.67$

iii) Από την εμπειρική σχέση μεταξύ του δείκτη πλαστικότητας PI και του λόγου υπερστερεοποίησης **OCR** σύμφωνα με το διάγραμμα του **National Research Council of Canada** (βλέπε συνημμένο διάγραμμα).

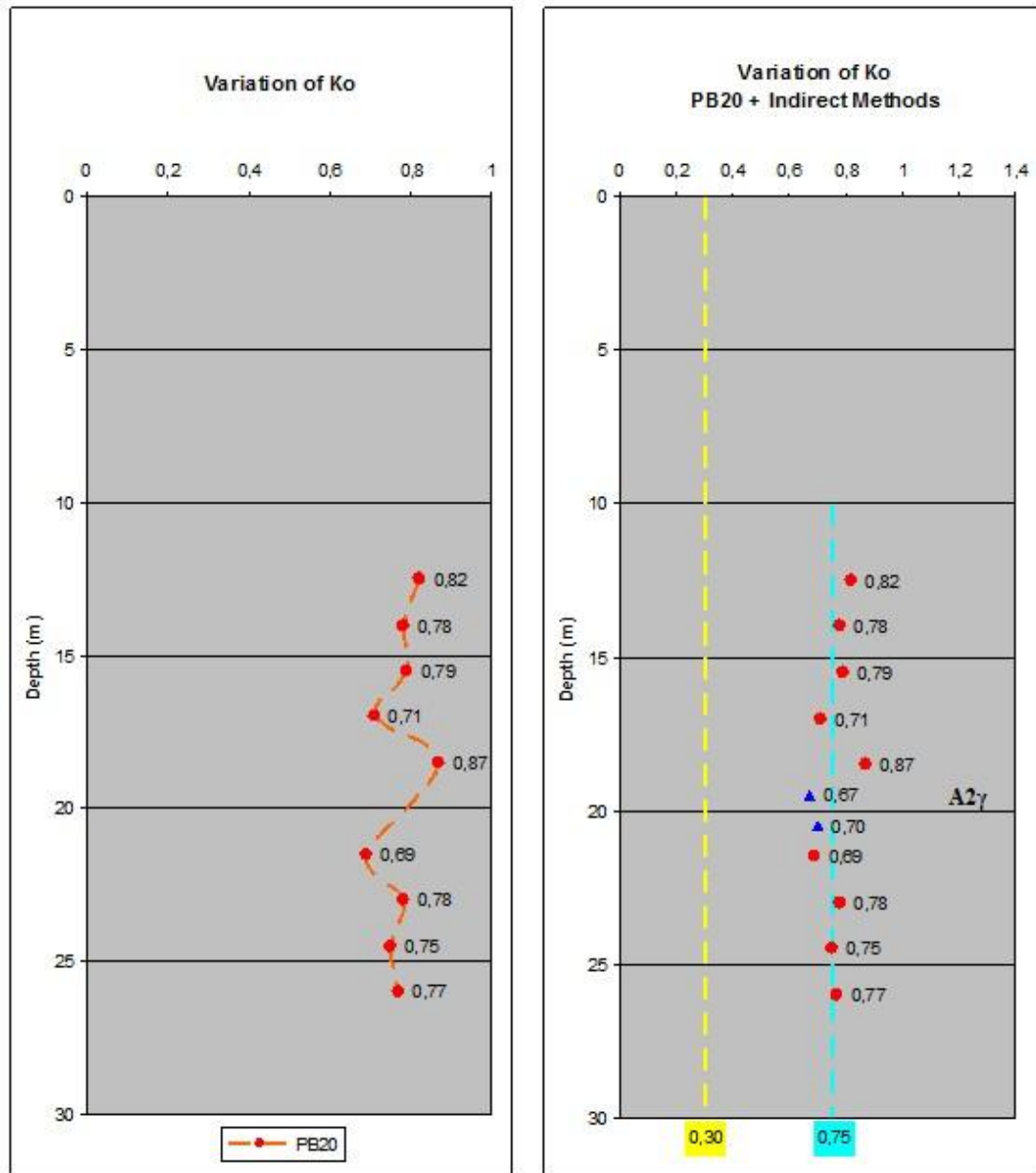


Σχήμα 2.34: Σχέση μεταξύ Μέτρου Ελαστικότητας, Συντελεστή Υπερστερεοποίησης και Συντελεστή Ωθήσεως σε ηρεμία.

Για την Ενότητα **A2α**: PI = 20% και OCR = 1.50  $\rightarrow K_o^{O/C} = 0.61$

Για την Ενότητα **A2β**: PI = 15.5% και OCR = 1.80  $\rightarrow K_o^{O/C} = 0.63$

Για την Ενότητα **A2γ**: PI = 14.5% και OCR = 2.00  $\rightarrow K_o^{O/C} = 0.70$



Σχήμα 2.34: (αριστερά) αξιολογημένες τιμές του  $K_0$  από το πρεσσιόμετρο. (δεξιά) τιμές του  $K_0$  που μετρήθηκαν είτε άμεσα από το πρεσσιόμετρο είτε έμμεσα μέσω του PI

Όλες οι τιμές του  $K_0$  που μετρήθηκαν είτε άμεσα από τα πρεσσιόμετρα είτε έμμεσα μέσω του PI, τοποθετούνται στα γραφήματα του Σχήματος 2.34. Στο εν λόγω γράφημα τοποθετείται διακεκομμένη κίτρινη γραμμή στο όριο του 0.30 ώστε να εξαιρεθούν τυχόν μικρότερες τιμές από 0.30. Οι υπόλοιπες τιμές που προέκυψαν από το πρεσσιόμετρο PB20 σημειώνονται με κουκίδα στο Γράφημα. Επισημαίνεται ότι στο εν λόγω πρεσσιόμετρο δεν εντοπίζονται οι Γεωτεχνικές Ενότητες A2α και

A2β παρά μόνον η Ενότητα A2γ. Επιπλέον τονίζεται ότι αν και ελήφθησαν υπόψη όλες οι τιμές του πρεσσιομέτρου, εκτιμάται ότι ορισμένες από αυτές (0,82 και 0,87) είναι πολύ υψηλές και μη ρεαλιστικές ακόμα και για τους Νεογενείς, υπερστερεοποιημένους, και πολύ στιφρούς έως σκληρούς, λεπτόκοκκους κυρίως, σχηματισμούς της Ενότητας A2γ. Συνεπώς, από τις τιμές που σημειώνονται με κουκίδα στο Γράφημα καθώς και από τις τιμές που προέκυψαν έμμεσα και σημειώνονται με τρίγωνο, προκύπτει η παρακάτω μέση τιμή  $K_0$  για την Ενότητα A2γ, όπως φαίνεται και από την γαλάζια εστιγμένη γραμμή. Αναφορικά με τις Ενότητες A2α και A2β για τις οποίες υπάρχουν μόνον έμμεσα εκτιμηθείσες τιμές  $K_0$  και όχι τιμές πρεσσιομέτρου, προτείνονται τιμές ύστερα από συναξιολόγηση των εκτιμηθεισών με αυτές που προτάθηκαν στο διπλανό Τμήμα Σήραγγας Σιντριβάνι – Διασταύρωση Σιντριβάνι όπου εντοπίζονται οι A2α και A2β.

Ενότητα A2α (1.50 – 9.50m – Τομή I →  $K_0 = 0.60$ )

Ενότητα A2β (9.50 – 26.50m – Τομή I →  $K_0 = 0.65$ )

Ενότητα A2γ (26.50 – 37.00m (I) και 3.05 – 49.00m (II)) →  $K_0 = 0.75$

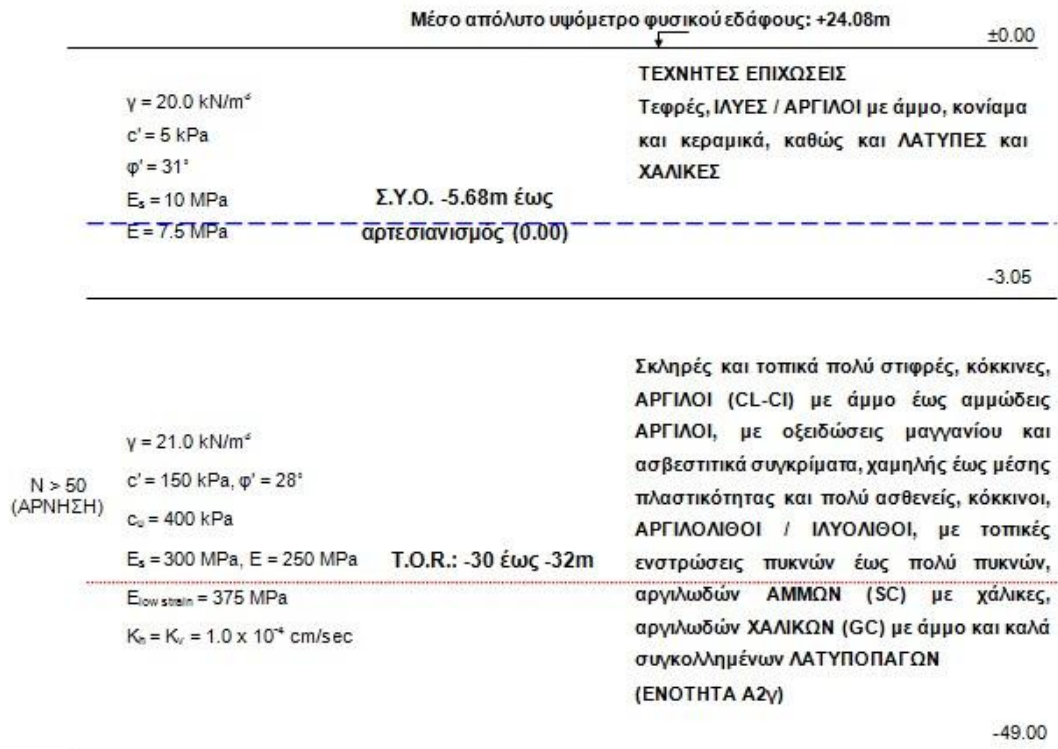
Στις περιπτώσεις που απαιτείται η κατανομή του συντελεστή  $K_0$  μόνο για την ζώνη επιρροής της Σήραγγας (-18 έως -33m βάθος από την επιφάνεια του εδάφους) και όχι για κάθε μία από τις Γεωτεχνικές Ενότητες ξεχωριστά, τότε προτείνεται να ληφθεί η τιμή  $K_0 = 0.70$ , για το Τμήμα Χ.Θ. 3+001 έως Χ.Θ. 3+100 και  $K_0 = 0.75$ , για το Τμήμα Χ.Θ. 3+100 έως Χ.Θ. 3+345, καθώς στο πρώτο τμήμα η ζώνη επιρροής συμπίπτει με τις Ενότητες A2β και A2γ ενώ στο δεύτερο τμήμα συμπίπτει μόνον με την Ενότητα A2γ.

## Κεφάλαιο 2

Μέσο απόλυτο υψόμετρο φυσικού εδάφους: +22.72m		±0.00
		ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ
	$\gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$ $c' = 5 \text{ kPa}$ $\phi' = 31^\circ$ $E_s = 10 \text{ MPa}$ $E = 7.5 \text{ MPa}$	Τεφρές, ΙΛΥΕΣ / ΑΡΓΙΛΟΙ με άμμο, κονίαμα και κεραμικά, καθώς και ΛΑΤΥΠΕΣ και ΧΑΛΙΚΕΣ
		-1.50
N = 27	Σ.Υ.Ο. -4.32m	
	$\gamma = 21.0 \text{ kN/m}^3$ $c' = 60 \text{ kPa}, \phi' = 27^\circ$ $c_u = 120 \text{ kPa}$ $E_s = 80 \text{ MPa}, E = 60 \text{ MPa}$ $E_{1\beta} = 150 \text{ MPa}$ $K_h = K_v = 1.0 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$	Στιφρές έως πολύ στιφρές, κόκκινες, ΑΡΓΙΛΟΙ (CL-CI) με άμμο, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας με τοπικές ενστρώσεις πικνών, αργιλωδών ΧΑΛΙΚΩΝ (GC) με άμμο (ΕΝΟΤΗΤΑ A2α)
		-9.50
N > 50 (ΑΡΝΗΣΗ)		
	$\gamma = 21.5 \text{ kN/m}^3$ $c' = 75 \text{ kPa}, \phi' = 26^\circ$ $c_u = 290 \text{ kPa}$ $E_s = 95 \text{ MPa}, E = 70 \text{ MPa}$ $E_{1\beta} = 200 \text{ MPa}$ $K_h = K_v = 1.0 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$	Πολύ στιφρές, κόκκινες, ΑΡΓΙΛΟΙ (CL-CI) με άμμο, οξειδώσεις μαγγανίου και ασβεστίτικα συγκρίματα, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας, με τοπικές ενστρώσεις πικνών, κόκκινων, αργιλωδών ΑΜΜΩΝ (SC) με χάλικες και επίσης πικνών, αργιλωδών ΧΑΛΙΚΩΝ (GC) με άμμο, (ΕΝΟΤΗΤΑ A2β)
		-26.50
N > 50 (ΑΡΝΗΣΗ)	T.O.R.: -30 έως -31m	
	$\gamma = 21.0 \text{ kN/m}^3$ $c' = 150 \text{ kPa}, \phi' = 28^\circ$ $c_u = 400 \text{ kPa}$ $E_s = 300 \text{ MPa}, E = 250 \text{ MPa}$ $E_{\text{low strain}} = 375 \text{ MPa}$ $K_h = K_v = 1.0 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$	Σκληρές και τοπικά πολύ στιφρές, κόκκινες, ΑΡΓΙΛΟΙ (CL-CI) με άμμο έως αμμώδεις ΑΡΓΙΛΟΙ, με οξειδώσεις μαγγανίου και ασβεστίτικα συγκρίματα, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας και πολύ ασθενείς, κόκκινοι, ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΙ / ΙΛΥΟΛΙΘΟΙ, με τοπικές ενστρώσεις πικνών έως πολύ πικνών, αργιλωδών ΑΜΜΩΝ (SC) με χάλικες, αργιλωδών ΧΑΛΙΚΩΝ (GC) με άμμο και καλά συγκολλημένων ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΩΝ (ΕΝΟΤΗΤΑ A2γ)
		-37.00

**Σχήμα 2.35: Γεωτεχνική Τομή σχεδιασμού Ι στο τμήμα της σήραγγας από Διασταύρωση Σιντριβάνι – Σταθμό Πανεπιστήμιο από Χ.Θ. 3+001 ~ Χ.Θ. 3+100.**

## Κεφάλαιο 2



**Σχήμα 2.36: Γεωτεχνική Τομή σχεδιασμού Ι στο τμήμα της σήραγγας από Διασταύρωση Σιντριβάνι – Σταθμό Πανεπιστήμιο από Χ.Θ. 3+001 ~ Χ.Θ. 3+100.**

### **2.2.5 ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ( Χ.Θ. 3+345 ~ Χ.Θ. 3+419 )**

Η παράγραφος αυτή αναφέρεται στον Σταθμό Πανεπιστήμιο (Χ.Θ. 3+345 ~ Χ.Θ. 3+419). Ο Σταθμός Πανεπιστήμιο κατασκευάζεται με διαφραγματικούς τοίχους (μέθοδος top to down) και φέρει τελική στάθμη εκσκαφής περίπου -35.00m από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ το μήκος και το πλάτος του είναι 75 και 22 μέτρα αντίστοιχα.

Στη συγκεκριμένη περιοχή εκτελέστηκαν συνολικά έξι γεωτρήσεις από τις οποίες η μία πραγματοποιήθηκε σε προγενέστερη έρευνα PB21 (1999) και οι άλλες πέντε κατά τη συμπληρωματική γεωτεχνική έρευνα (2007). Από τις πέντε νεότερες γεωτρήσεις στις τέσσερις πρώτες TGSP21, TGSP22, TGSP23 και TGSP25 εκτελέστηκαν επί τόπου δοκιμές αντοχής SPT και διαπερατότητας Maag καθώς και μία πρεσσιομέτρηση TGSR24.

Στα δείγματα τα οποία ελήφθησαν από τις παραπάνω δύο γεωτρήσεις (από την πρεσσιομετρική δεν ελήφθησαν δείγματα) εκτελέστηκαν εργαστηριακές δοκιμές προσδιορισμού των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των ιζημάτων.

Τονίζεται ότι στην περιοχή του Σταθμού Πανεπιστήμιο η πρεσσιομετρική γεώτρηση PB21 επειδή απέχει περίπου 60m από το κυρίως τμήμα του Σταθμού δεν λαμβάνεται υπόψη στην αξιολόγηση. Περαιτέρω στοιχεία δεν υπάρχουν από προηγούμενες γεωτεχνικές έρευνες.

### 2.2.5.1 Γεωτεχνικές Συνθήκες

- 1. Στρώμα Τεχνητών Επιχωματώσεων:** συνίστανται από σταθερές έως τοπικά στιφρές, καστανές, αμμώδεις **ΑΡΓΙΛΟΥΣ (CL)** με χάλικες, χαμηλής πλαστικότητας και από χαλαρές έως μέτρια πυκνές, καστανές, αργιλώδεις / ιλυώδεις **ΑΜΜΟΥΣ (SC-SM)** με χάλικες. Οι χάλικες είναι ποικίλης σύστασης (χαλαζία, γνευσίου, σχιστολίθων), ενώ εμφανίζονται και κομμάτια κεραμικών. Εκτελέστηκε μόνο μία κοκκομετρική ανάλυση σε στρώμα ιλυώδους άμμου, η οποία έδειξε μια συμμετοχή αργίλου της τάξης του 14% έναντι 16% χαλίκων και 70% άμμου. Τονίζεται πάντως ότι κατά την επικαιροποίηση της γεώτρησης εντοπίστηκαν και λεπτόκοκκες στρώσεις. Ο συντελεστής διαπερατότητας της στρώσης δεν προσδιορίστηκε με δοκιμές διαπερατότητας λόγω του μικρού πάχους της Στρώσης (~3.00m) εκτιμάται πάντως ότι θα κυμαίνεται σε μέσα έως υψηλά επίπεδα διαπερατοτήτων τόσο λόγω της παρουσίας των άμμων και των χαλίκων όσο και λόγω της σχετικά ανοιχτής δομής που παρουσιάζουν οι επιχώσεις.
- 2. Στρώμα Τεταρτογενών Ιζημάτων: (Στρώση A1)** αποτελείται από σταθερές έως στιφρές, καστανές έως καστανοπράσινες, αμμώδεις **ΑΡΓΙΛΟΥΣ (CL)**, χαμηλής πλαστικότητας και από μέτρια πυκνές, καστανές, αργιλώδεις / ιλυώδεις **ΑΑΜΜΟΥΣ (SC-SM)** με χάλικες. Οι κοκκομετρήσεις που εκτελέστηκαν στην Στρώση έδειξαν ποσοστό λεπτοκόκκων της τάξης του 52%, έναντι 11% χαλίκων και 37% άμμου. Η συμμετοχή της ιλύος στα λεπτόκοκκα είναι αυξημένη, βάσει και των δοκιμών αραιομέτρου που εκτελέστηκαν, έχοντας ως αποτέλεσμα τον χαμηλό δείκτη πλαστικότητας της Στρώσης A1 (~8.5%). Λόγω της σημαντικής συμμετοχής των λεπτοκόκκων η στρώση χαρακτηρίζεται ως χαμηλής διαπερατότητας, με μετρημένους οριζόντιους συντελεστές διαπερατότητας της τάξης του  $10^{-4}$  cm/s. Οι χαμηλές αντοχές που μετρήθηκαν συμφωνούν με τον χαρακτηρισμό των αργίλων ως κανονικά προφορτισμένων. Η Στρώση A1 συναντάται μόνο στην δεξιά πλευρά του Σταθμού έως ένα μέσο βάθος περίπου 5.10m, ενώ παρουσιάζει και ένα μέσο πάχος περίπου 2.10m.



3. Νεογενή ιζήματα της **Σειράς των Ερυθρών Αργίλων**: Η υποκείμενη **Στρώση A2γ** συνίσταται από πολύ στιφρές έως σκληρές, κυανοπράσινες και πρασινοκάστανες έως ερυθρές, αμμώδεις **ΑΡΓΙΛΟΥΣ (CL-CI)**, έως πολύ ασθενείς **ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΥΣ – ΙΛΥΟΛΙΘΟΥΣ**, μέσης έως τοπικά χαμηλής πλαστικότητας, με ασυνεχείς ενστρώσεις πολύ πυκνών, καστανέρυθρων, αργιλωδών **ΑΜΜΩΝ (SC)** με χάλικες και αργιλωδών **ΧΑΛΙΚΩΝ (GC)** με άμμο έως καλά συγκολλημένων **ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΩΝ**. Οι άργιλοι της Στρώσης εμφανίζουν διαποτισμούς από οξειδία ερυθρού χρώματος καθώς και ασβεστιτικά συγκρίματα. Επισημαίνεται ότι οι άργιλοι κυανοπράσινου χρώματος εκτείνονται ως ένα βάθος περίπου 16m από την επιφάνεια του εδάφους και υπέρκεινται των πρασινοκάστανων / ερυθρών, χωρίς ωστόσο να παρατηρείται, πέραν του χρώματος, κάποια διαφοροποίηση είτε στα φυσικά είτε στα μηχανικά χαρακτηριστικά τους. Εν γένει, σχεδόν στο σύνολό της, η Στρώση A2γ παρουσιάζει συμπεριφορά ασθενούς **ΑΡΓΙΛΟΛΙΘΟΥ / ΙΛΥΟΛΙΘΟΥ** με τιμές που ξεπέρασαν σαφέστατα το όριο των 600 kPa μεταξύ εδαφικής – ημιβραχώδους συμπεριφοράς και κυμάνθηκαν περί τα 1000 kPa. Ωστόσο τονίζεται ότι υπάρχει και ένα ποσοστό αργίλου που παρουσιάζει ελαφρώς χαμηλότερες τιμές αντοχής σε θλίψη (300 – 600 kPa) στο εσωτερικό της εν γένει ημιβραχώδους Στρώσης A2γ. Σημειώνεται ότι η άργιλος της A2γ χαρακτηρίζεται ως προφορτισμένη, κάτι το οποίο συμφωνεί και με τις εξαιρετικά υψηλές τιμές αντοχής που μετρήθηκαν. Το ποσοστό της Αργίλου στην A2γ αυξάνει και κυμαίνεται περίπου στο 62%, με το ποσοστό των Χαλικών, όμως, να μειώνεται κατά το ήμισυ συγκριτικά με την A1 (5% έναντι 11%). Η αύξηση αυτή σε συνδυασμό με την μείωση των χαλικιών επηρεάζει την οριζόντια διαπερατότητα της A2γ η οποία μειώνεται κατά μισή τάξη μεγέθους και κυμαίνεται περί το  $5 \times 10^{-5}$  cm/sec. Η Στρώση A2γ εκτείνεται τουλάχιστον ως τα 50m από την επιφάνεια του εδάφους.

Αναφορικά με την στάθμη της φρεατικής γραμμής του μόνιμου υδροφόρου, επισημαίνεται ότι ο μικρός παροχής αρτεσιανός υδροφόρος που εντοπίστηκε σε βάθος 30m από την επιφάνεια του εδάφους δεν επιτρέπει την ακριβή μέτρησή της, καθώς τρία από τα τέσσερα εγκατεστημένα πιεζόμετρα δείχνουν επιφανειακές πιεζομετρικές στάθμες. Ωστόσο προτείνεται στάθμη σχεδιασμού στα 4m βάθος από την επιφάνεια (απόλυτο υψόμετρο: +21.60 (δεξιά) και +24.70 (αριστερά)) βάση μόνο του πιεζόμετρου TGSP21 που δεν φαίνεται να επηρεάζεται από την παρουσία του αρτεσιανού υδροφόρου.

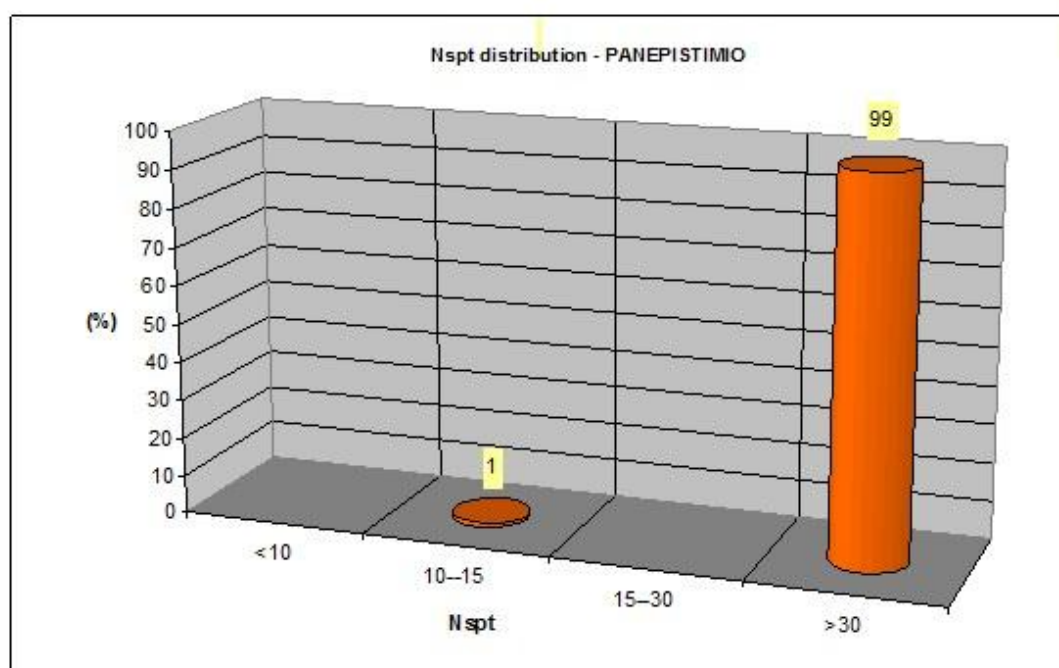
### 2.2.5.2 Επιτόπου Δοκιμές

#### 1 Δοκιμές Διείσδυσης SPT

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω Σχήμα 2.37 πραγματοποιήθηκαν συνολικά 84 δοκιμές SPT εκ των οποίων οι 78 παρουσίασαν άρνηση ( $N_{SPT} > 50$ ) ενώ οι υπόλοιπες 6 εμφάνισαν τιμές που κυμαίνονται από 214 έως 47 κρούσεις.

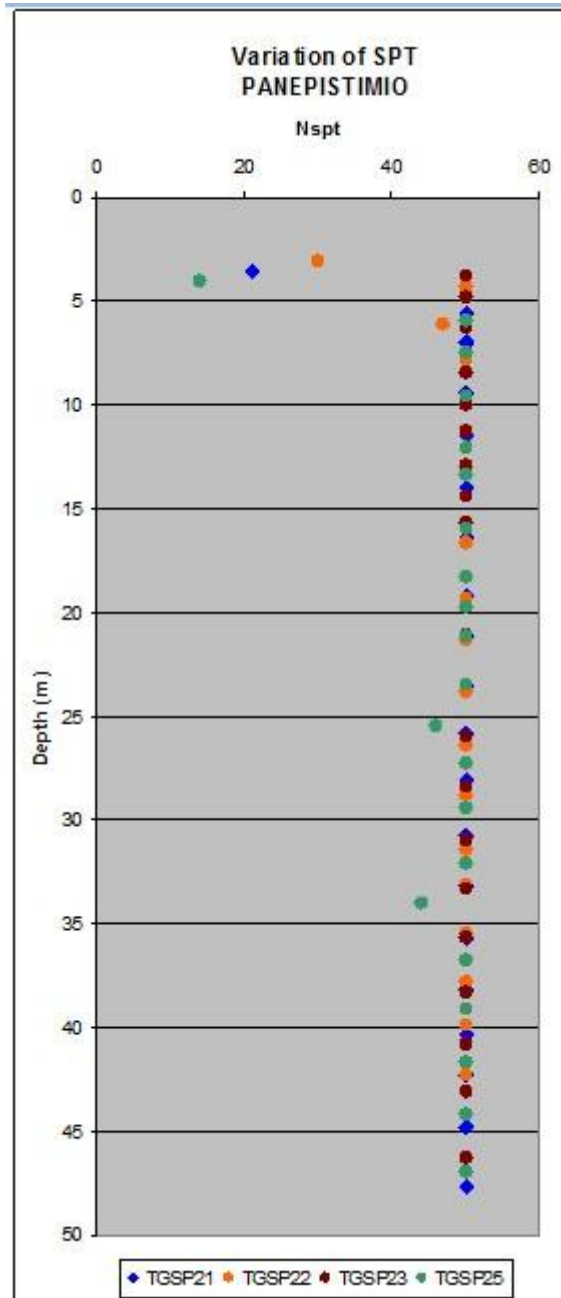
Πίνακας 2.67 Αποτελέσματα προτύπων δοκιμών διείσδυσης (SPT)						
	Βάθος (m)	(N) TGSP21	(N) TGSP22	(N) TGSP23	(N) TGSP25	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ $N_{SPT}$
ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	0.00 – 3.00	21	30	-	-	25
ΣΤΡΩΣΗ A1	3.00 – 5.10	-	-	-	14	-
ΣΤΡΩΣΗ A2γ	5.10 – 50.00 3.00 – 50.00	A (x19)	47, A (x20)	A (x21)	46, 44, A (x18)	> 50 (APN.)

Η παραπάνω διακύμανση των τιμών  $N_{SPT}$  συνοψίζεται στο παρακάτω Σχήμα 2.37.



Σχήμα 2.37: Δοκιμές διείσδυσης

- Το 1% των υλικών του Σταθμού (μόνο μία δοκιμή σε υλικά της Στρώσης A1) χαρακτηρίζονται ως “στιφρά – μέσης πυκνότητας”.
- Το 99% των υλικών χαρακτηρίζονται ως “σκληρά – πυκνά έως πολύ πυκνά”.



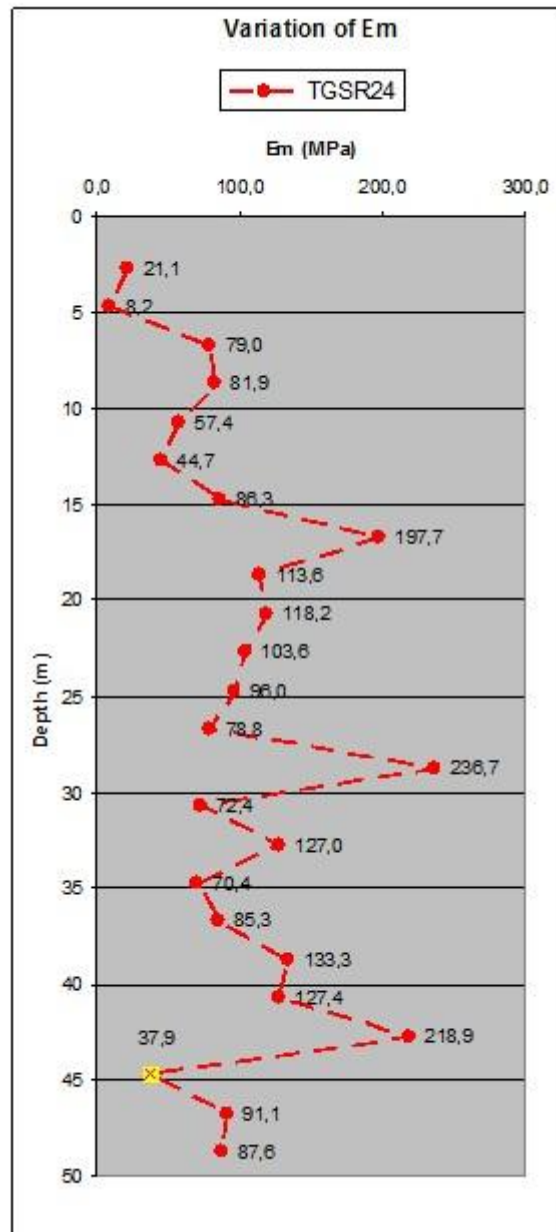
Σχήμα 2.38: Μεταβολή του αριθμού κρούσεων  $N_{SPT}$  σε σχέση με το βάθος

Στην Εικόνα 2.38 παρουσιάζεται η μεταβολή του αριθμού κρούσεων  $N_{SPT}$  με το βάθος για το Σταθμό Πανεπιστήμιο. Στις περιπτώσεις που καταγράφηκε άρνηση η τιμή  $N_{SPT}$  δίνεται ίση με 50.

## 2 Δοκιμές Πρεσσιομέτρου

Οι πρεσσιομετρήσεις χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό παραμέτρων αντοχής του εδάφους στα διάφορα βάθη εκτέλεσης των δοκιμών.

Στον σταθμό εκτελέστηκε μία πρεσσιομετρική γεώτρηση η TGSR24 (Χ.Θ. 3+415).



Σχήμα 2.39: Μεταβολή πρεσσιομετρικού μέτρου ελαστικότητας σε σχέση με το βάθος

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των πρεσσιομετρήσεων οδηγεί έμμεσα στο προσδιορισμό των ακολούθων παραμέτρων: του Πρεσσιομετρικού μέτρου  $E_m$ , του Μέτρου συμπίεσης  $E_s$  και της Οριακής πίεση θραύσης  $P_{lim}$  όπως αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα.

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνεται η μέση τιμή των γεωτεχνικών παραμέτρων η μέση τιμή των γεωτεχνικών παραμέτρων  $E_m$ ,  $P_{lim}$ ,  $E_s$  και  $\alpha$  για την περιοχή ενδιαφέροντος.

<b>Πίνακας 2.68</b>			
<b>Πρεσσιομέτρηση TGSR24</b>			
	ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	ΣΤΡΩΣΗ Α1	ΣΤΡΩΣΗ Α2γ
Βάθος (m)	0.00 – 3.00	3.00 – 5.10	5.10 – 50.00 3.00 – 50.00
$P_{lim}$ (MPa)	-	1.80	(7.38)
$E_m$ (MPa)	-	(14.6)	(109.9)
$E_m/P_{lim}$	-	9	15
$\alpha$	-	0.49	0.33
$E_s$ (MPa)	-	29.8	333

### 3 Δοκιμές Διαπερατότητας – Maag και (Lugeon)

Με βάση τις δοκιμές Maag που πραγματοποιήθηκαν έγινε χαρακτηρισμός όλων των επί μέρους ενοτήτων που εντοπίζονται στον σταθμό σύμφωνα με τον Πίνακα 2.5 κατά Terzaghi and Peck (1967) καθώς και τον Πίνακα 2.7 Casagrande που αναλύθηκε στο πρώτο διάστημα.

Στον Πίνακα (69) που ακολουθεί συνοψίζονται η μέση τιμή και ο χαρακτηρισμός των επί μέρους ενοτήτων A1, A2γ και των Τεχνητών Επιχώσεων για τον Σταθμό Πανεπιστήμιο.

Πίνακας 2.69 Μέση τιμή του οριζοντίου συντελεστή διαπερατότητας $K_H$ για τις γεωτεχνικές ενότητες των επιχωμάτων και A1				
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	Βάθος (m)	ΤΙΜΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ $K$ (cm/sec)	ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (ΜΕΣΗ) $K$ (cm/sec)	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ $K_H$ (cm/sec)
ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	0.00 – 3.00	$2.16 \times 10^{-5}$ (Maag)	-	-
A1	3.00 – 5.10	$2.13 \times 10^{-4}$ , $2.68 \times 10^{-4}$ (Maag)	$2.41 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-4}$ (ΧΑΜΗΛΗ)

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα των πινάκων 2.69 και 2.70 είναι τα εξής:

- Ο συντελεστής διαπερατότητας της Στρώσης A2γ είναι κατά μισή τάξη μεγέθους χαμηλότερος συγκριτικά με της A1, γεγονός που συμφωνεί με το υψηλότερο ποσοστό λεπτοκόκκων που παρουσιάζει η A2γ έναντι της A1
- Όσον αφορά στις Τεχνητές Επιχωμάτωσεις, ο συντελεστής είναι απροσδιόριστος αφενός λόγω της ποικιλίας των υλικών που συνιστούν την στρώση (άμμος – άργιλος – χάλικες) και αφετέρου λόγω του ότι πραγματοποιήθηκε μόνο μια δοκιμή Maag

<b>Πίνακας 2.70</b> <b>Μέση τιμή του οριζοντίου συντελεστή διαπερατότητας <math>K_H</math></b> <b>για την γεωτεχνική ενότητα A2γ</b>				
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	Βάθος (m)	ΤΙΜΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ $K$ (cm/sec)	ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΗ ΤΙΜΗ (ΜΕΣΗ) $K$ (cm/sec)	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ $K_H$ (cm/sec)
A2γ	5.10 – 50.00 3.00 – 50.00	9.97 x 10 <sup>-6</sup> , 2.10 x 10 <sup>-5</sup> , 2.54 x 10 <sup>-5</sup> , 3.46 x 10 <sup>-5</sup> , 2.01 x 10 <sup>-5</sup> , 1.12 x 10 <sup>-5</sup> , 1.69 x 10 <sup>-5</sup> , 1,15 x 10 <sup>-3</sup> , 2.21 x 10 <sup>-5</sup> , 1.41 x 10 <sup>-5</sup> , 7.94 x 10 <sup>-6</sup> , 6.71 x 10 <sup>-6</sup> , 9.39 x 10 <sup>-6</sup> (Maag) 5.69 x 10 <sup>-6</sup> , 1.91 x 10 <sup>-6</sup> , 3.75 x 10 <sup>-6</sup> , 1.55 x 10 <sup>-6</sup> , 3.22 x 10 <sup>-6</sup> , 3.22 x 10 <sup>-6</sup> , 7.16 x 10 <sup>-6</sup> , 2.83 x 10 <sup>-6</sup> , 1.57 x 10 <sup>-7</sup> , 2.57 x 10 <sup>-6</sup> , 4.74 x 10 <sup>-5</sup> , 1.85 x 10 <sup>-5</sup> , 5.27 x 10 <sup>-6</sup> , 3.07 x 10 <sup>-4</sup> , 1.37 x 10 <sup>-4</sup> , 9.66 x 10 <sup>-6</sup> , 6.29 x 10 <sup>-6</sup> , 8.72 x 10 <sup>-7</sup> , 2.01 x 10 <sup>-5</sup> , 2.96 x 10 <sup>-5</sup> , 1.06 x 10 <sup>-5</sup> , 4.55 x 10 <sup>-5</sup> , 9.42 x 10 <sup>-6</sup> (Lugeon)-	5.64 x 10 <sup>-5</sup> -	5.0 x 10 <sup>-5</sup> (ΧΑΜΗΛΗ) -

- Συμπερασματικά, τόσο η Στρώση A1 όσο και η A2γ, χαρακτηρίζονται βάση των συντελεστών διαπερατότητας που προέκυψαν ως “χαμηλής διαπερατότητας”. Ωστόσο εκτιμάται ότι πρόκειται για πρακτικά αδιαπέρατες Στρώσεις, βάση του υψηλού ποσοστού λεπτοκόκκων που παρουσιάζουν (50% και 60% αντίστοιχα) Επισημαίνεται ωστόσο ότι ο συντελεστής διαπερατότητας της A2γ εξαρτάται και ελέγχεται κύρια από τις τυχόν ασυνέχειες (άνοιγμα, υλικό πλήρωσης κλπ) που εμφανίζονται στα υλικά που την συνιστούν, καθώς πρόκειται για ημιβραχώδη



Στρώση. Ωστόσο τονίζεται ότι ο χαμηλός συντελεστής διαπερατότητας της Α2γ υποδεικνύει ότι τόσο οι Αργιλόλιθοι όσο και τα Λατυποπαγή που κατά κύριο λόγο συνιστούν την Στρώση είτε δεν παρουσιάζουν δευτερογενές πορώδες είτε οι τυχόν ασυνέχειες είναι πληρωμένες με αδιαπέρατο υλικό.

Οι συντελεστές Κ που μετρήθηκαν επί τόπου ήσαν οι οριζόντιοι συντελεστές διαπερατότητας. Δεδομένου ότι οι σχηματισμοί της **A1** είναι ιζηματογενείς με οριζόντια ή/και παραοριζόντια απόθεση, εκτιμάται με πολύ καλή προσέγγιση ότι οι κατακόρυφοι συντελεστές διαπερατότητας θα είναι σαφώς χαμηλότεροι από τους οριζόντιους. Όσον αφορά στην **A2γ** αυτή συνίσταται κυρίως από ημιβραχώδεις σχηματισμούς και συνεπώς λαμβάνεται  $K_h = K_v$ .

Πίνακας 2.71 Προτεινόμενες τιμές του κατακόρυφου συντελεστή διαπερατότητας	
	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ $K_v$ (cm/sec)
ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΧΩΣΕΙΣ	-
ΣΤΡΩΣΗ Α1	$3.50 \times 10^{-5}$ (ΧΑΜΗΛΗ)
ΣΤΡΩΣΗ Α2γ	$5.0 \times 10^{-5}$ (ΧΑΜΗΛΗ)

**2.2.5.3 Υπόγεια Νερά**

<b>Πίνακας 2.72:</b>				
<b>Μετρήσεις πιεζομέτρων</b>				
<b>(βάθος στάθμης (m) από κεφαλή γεώτρησης)</b>				
	<b>TGSP21 (+24.89)</b>	<b>TGSP22 (+28.64)</b>	<b>TGSP23 (+28.77)</b>	<b>TGSP25 (+26.42)</b>
19/12/07	3,65	0,13	2,18	0,52
9/1/07	4,18	0,10	2,12	0,50
1/2/07	4,18	0,12		0,50
7/2/07	4,31	0,05		
16/2/07	4,32	0,10	2,14	0,58
22/2/07	4,29	0,00	2,07	0,65
9/3/07	4,29		2,07	0,60
15/3/07	4,22	0,10	2,02	0,60
22/3/07	4,15	0,00	2,03	0,60
30/3/07	4,05	0,00	2,02	0,60
5/4/07	4,00	0,00	2,02	0,60
12/4/07	4,00	0,00	2,04	0,61
18/4/07	4,00	0,00	2,04	0,60
27/4/07	4,18	0,00	2,06	0,56
4/5/07	4,26	0,00	2,05	0,62
11/5/07	4,18	0,00	2,05	0,63
01/6/07	4,30	0,80	1,98	
15/6/07	4,18	0,00	1,94	
<b>ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΣΤΑΘΜΗ (m)</b>	<b>-4.00 (Απόλ. Υψόμετρο: +21.60 - δεξιά)</b> <b>-4.00 (Απόλ. Υψόμετρο: +24.70 - αριστερά)</b>			

Επισημαίνεται ότι στην περιοχή του Σταθμού εκδηλώνεται αρτεσιανισμός μικρής παροχής με αποτέλεσμα τα πιεζόμετρα τριών εκ των τεσσάρων γεωτρήσεων να δείχνουν πιεζομετρικές στάθμες νερού στην επιφάνεια του εδάφους. Η προτεινόμενη στάθμη νερού αφορά την φρεατική γραμμή του μόνιμου (ελεύθερου) υδροφόρου της περιοχής ο οποίος πιθανότατα εντοπίζεται στο πιεζόμετρο της TGSP21.

Συγκεντρωτικός πίνακας 2.73 Φυσικών χαρακτηριστικών στρώσης A1							
	πλήθος	W(%)	πλήθος	LL(%)	πλήθος	PI(%)	
		M.O		M.O		M.O	
TGSP21	6	14.6	3	30.0	3	9.7	
TGSP22	-	-	-	-	-	-	
TGSP23	-	-	-	-	-	-	
TGSP25	4	14.4	4	27.5	4	8.25	
<b>Tot.</b>	<b>10</b>	<b>14.5</b>	<b>7</b>	<b>28.7</b>	<b>7</b>	<b>8.85</b>	
Κοκκομετρία						Φαινόμενο Βάρος	
	πλήθος	X(%)	A(%)	Λ(%)	Λ(%) Άργιλος	πλήθος	γ (kN/m <sup>3</sup> )
		M.O.	M.O	M.O			M.O
TGSP21	2	12	38	40	23	5	21.4
TGSP22	-	-	-	-	-	-	-
TGSP23	-	-	-	-	-	-	-
TGSP25	3	9.7	36	54.3	-	3	21.1
<b>Tot.</b>	<b>5</b>	<b>10.6</b>	<b>36.8</b>	<b>52.6</b>	<b>23</b>	<b>8</b>	<b>21.3</b>

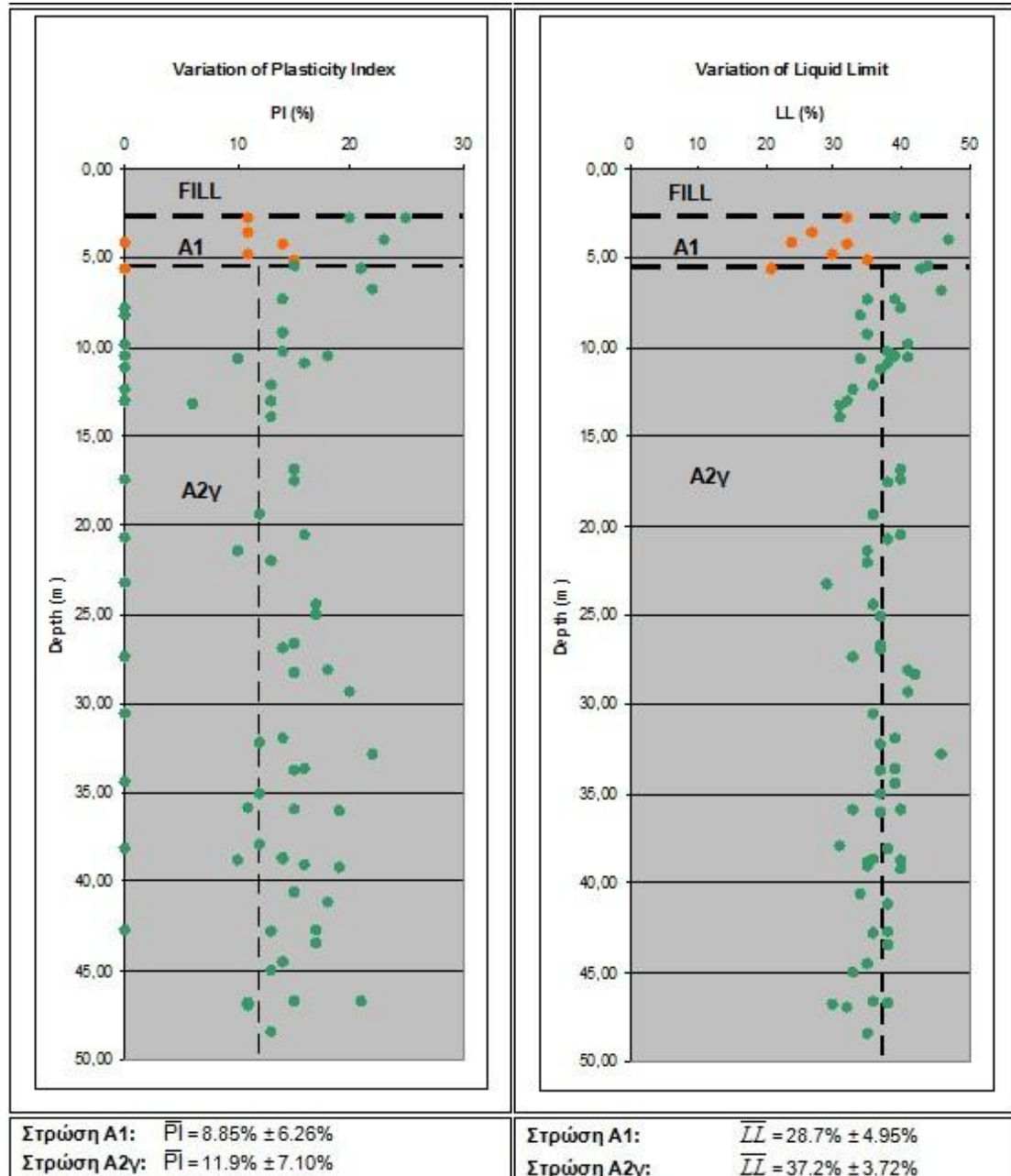
Συγκεντρωτικός πίνακας 2.74 Μηχανικών χαρακτηριστικών ενότητας A1							
	N <sub>SPT</sub>		q <sub>u</sub> (kPa)		Δοκιμές διάτμησης CD		Δοκιμές τριαξονικές UU
	πλήθος	M.O.	πλήθος	M.O.	C' (kPa)	c <sub>u</sub> (kPa)	c <sub>u</sub> (kPa)
TGSP21	0	-	1	-	-	66	66
TGSP22	-	-	-	-	-	-	-
TGSP23	-	-	-	-	-	-	-
TGSP25	1	-	3	168	-	-	-
<b>Tot.</b>	<b>1</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>138.7</b>	<b>-</b>	<b>66</b>	<b>66</b>

Συγκεντρωτικός πίνακας 2.75 Φυσικών χαρακτηριστικών στρώσης A2γ							
	πλήθος	W(%)	πλήθος	LL(%)	πλήθος	PI(%)	
		M.O		M.O		M.O	
TGSP21	28	20.9	16	37.7	16	10.5	
TGSP22	35	17.4	25	38	25	15.3	
TGSP23	29	14.3	19	36.5	20	11.2	
TGSP25	22	17.0	12	35.8	12	7.8	
<b>Tot.</b>	<b>114</b>	<b>17.4</b>	<b>72</b>	<b>37.2</b>	<b>73</b>	<b>11.9</b>	
Κοκκομετρία						Φαινόμενο Βάρος	
	πλήθος	X(%)	A(%)	Λ(%)	Λ(%) Άργιλος	πλήθος	γ (kN/m <sup>3</sup> )
		M.O.	M.O	M.O			M.O
TGSP21	2	2	32	66	-	16	20.4
TGSP22	12	4	36	60	25/24	23	21.1
TGSP23	7	7.3	29.3	63.4	-	19	20.8
TGSP25	1	-	-	-	-	11	20.9
<b>Tot.</b>	<b>22</b>	<b>5.1</b>	<b>33</b>	<b>61.9</b>	<b>24.5</b>	<b>69</b>	<b>20.9</b>

Συγκεντρωτικός πίνακας 2.76 Φυσικών χαρακτηριστικών ενότητας Α2γ							
	N <sub>SPT</sub>		q <sub>u</sub> (kPa)		Δοκιμές διάτμησης CD		Δοκιμές τριαξονικές UU
	πλήθος	M.O.	πλήθος	M.O.	C' (kPa)	Φ' (°)	c <sub>u</sub> (kPa)
TGSP21	19	50	12	700	40/53/32	29/20/32	-
TGSP22	21	50	14	604	15.4/33	31/27	82/472
TGSP23	21	50	12	1498	16/69.2	28/15	385
TGSP25	20	49	6	1464	8.2/80	27/23	509
<b>Tot.</b>	<b>81</b>	<b>50</b>	<b>44</b>	<b>991</b>	<b>38.5</b>	<b>26</b>	<b>455</b>

Συγκεντρωτικός πίνακας 2.77 Φυσικών χαρακτηριστικών Επιχώσεων							
	πλήθος	W(%)	πλήθος	LL(%)	πλήθος	PI(%)	
		M.O.		M.O.		M.O.	M.O.
TGSP21	0	-	0	-	1		
TGSP22	1		1		1		
TGSP23	0	-	0	-	0	-	
TGSP25	0	-	0	-	0	-	
<b>Tot.</b>	<b>1</b>	<b>23.3</b>	<b>1</b>	<b>47</b>	<b>2</b>	<b>9.5</b>	
Κοκκομετρία						Φαινόμενο Βάρος	
	πλήθος	X(%)	A(%)	Λ(%)	Λ(%) Άργιλος	πλήθος	γ (kN/m <sup>3</sup> )
		M.O.	M.O.	M.O.			M.O.
TGSP21	1					1	
TGSP22	0	-	-	-		0	-
TGSP23	0	-	-	-		0	-
TGSP25	0	-	-	-		0	-
<b>Tot.</b>	<b>1</b>	<b>16</b>	<b>70</b>	<b>14</b>		<b>1</b>	<b>23.3</b>

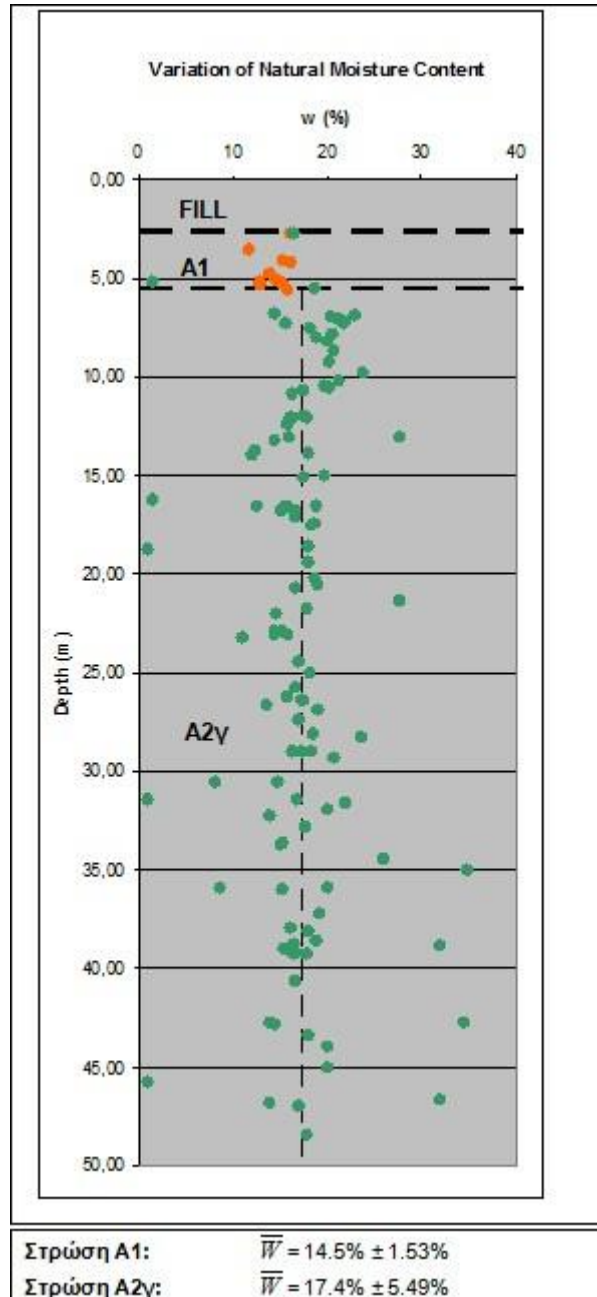
Συγκεντρωτικός πίνακας 2.78 Μηχανικών χαρακτηριστικών ενότητας Επιχώσεων							
	N <sub>SPT</sub>		q <sub>u</sub> (kPa)		Δοκιμές διάτμησης CD		Δοκιμές τριαξονικές UU
	πλήθος	M.O.	πλήθος	M.O.	C' (kPa)	c <sub>u</sub> (kPa)	c <sub>u</sub> (kPa)
TGSP21	1		0	-	-	-	-
TGSP22	1		0	-	-	-	-
TGSP23	0	-	0	-	-	-	-
TGSP25	0	-	0	-	-	-	-
<b>Tot.</b>	<b>2</b>	<b>25</b>	<b>0</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>



Σχήμα 2.40: (αριστερά) Μεταβολή δείκτη πλαστικότητας με το βάθος, (δεξιά) Μεταβολή του Ορίου υδαρότητας με το βάθος

Οι δείκτες πλαστικότητας τόσο της A1 όσο και της A2γ είναι χαμηλοί. Η Στρώση A2γ βρίσκεται περίπου στο όριο (LL=35%) μεταξύ χαμηλής και μέσης πλαστικότητας, σε αντίθεση με την A1 όπου είναι ξεκάθαρα χαμηλής πλαστικότητας. Όσον αφορά στην φυσική υγρασία των Στρώσεων, όπως φαίνεται και στο παρακάτω Σχήμα 2.41, οι A1 και A2γ παρουσιάζουν περίπου ενιαία συμπεριφορά με σχετικά χαμηλά

ποσοστά φυσικής υγρασίας. Η στρώση A1 παρουσιάζει λίγο χαμηλότερη μέση φυσική υγρασία από τη στρώση A2γ.



Σχήμα 2.41: Μεταβολή Φυσικής Υγρασίας με το Βάθος

#### **2.2.5.4 Συντελεστές Ώθησης Σε Ηρεμία $K_o$**

Στην παρούσα παράγραφο αξιολογούνται τα αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών πρεσσιομέτρησης με σκοπό τον προσδιορισμό των συντελεστών ουδέτερης ώθησης  $K_o$ .

Εκτελέστηκε συνολικά μία πρεσσιομετρική γεώτρηση σε αυτή την περιοχή η TGSR24.

Η εκτίμηση των συντελεστών ουδέτερης ώθησης έγινε με τη βοήθεια τριών παραγόντων:

- Την πρεσσιομετρική δοκιμή TGSR24 (Σχήμα 2.43)
- Την εμπειρική σχέση μεταξύ του δείκτη πλαστικότητας PI και του λόγου υπερστερεοποίησης OCR σύμφωνα με το διάγραμμα του National Research Council of Canada και
- Την εμπειρική σχέση  $K_o^{O/C} = K_o^{N/C} * (OCR)^{\sin\phi} = (0,95 - \sin\phi) * (OCR)^{\sin\phi}$ , για τις Ενότητες A2α, A2β και A2γ

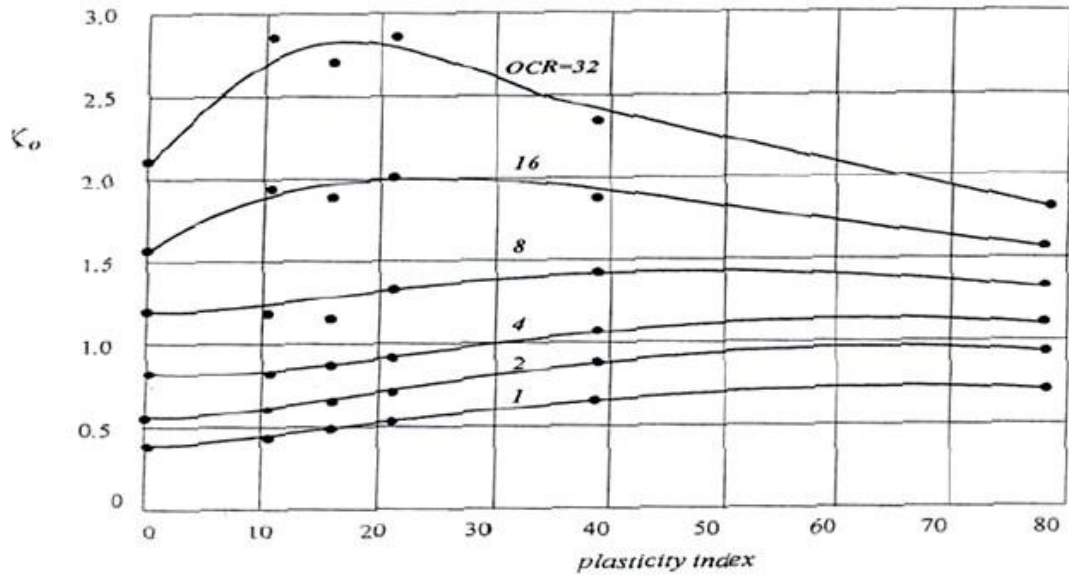
Οι συντελεστές ουδέτερης ώθησης προσδιορίζονται άμεσα με βάση τα αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών, οι οποίες εκτελέστηκαν κατά μήκος του εν λόγω τμήματος της Σήραγγας και έμμεσα από βιβλιογραφικές αναφορές που σημειώνονται παραπάνω.

**i) Με βάση το πρεσσιόμετρο TGSR24:** Το γράφημα του σχήματος 2.39 με τις αξιολογημένες τιμές του  $K_o$  από το πρεσσιόμετρο δίνεται παρακάτω.

**ii)** Από την εμπειρική σχέση  $K_o^{O/C} = K_o^{N/C} * (OCR)^{\sin\phi} = (0,95 - \sin\phi) * (OCR)^{\sin\phi}$

Για την Ενότητα **A2γ**:  $\phi' = 27^\circ$  και  $OCR = 2.20 \rightarrow K_o^{O/C} = 0.71$

**iii)** Από την εμπειρική σχέση μεταξύ του δείκτη πλαστικότητας PI και του λόγου υπερστερεοποίησης **OCR** σύμφωνα με το διάγραμμα του **National Research Council of Canada** (βλέπε συνημμένο διάγραμμα).

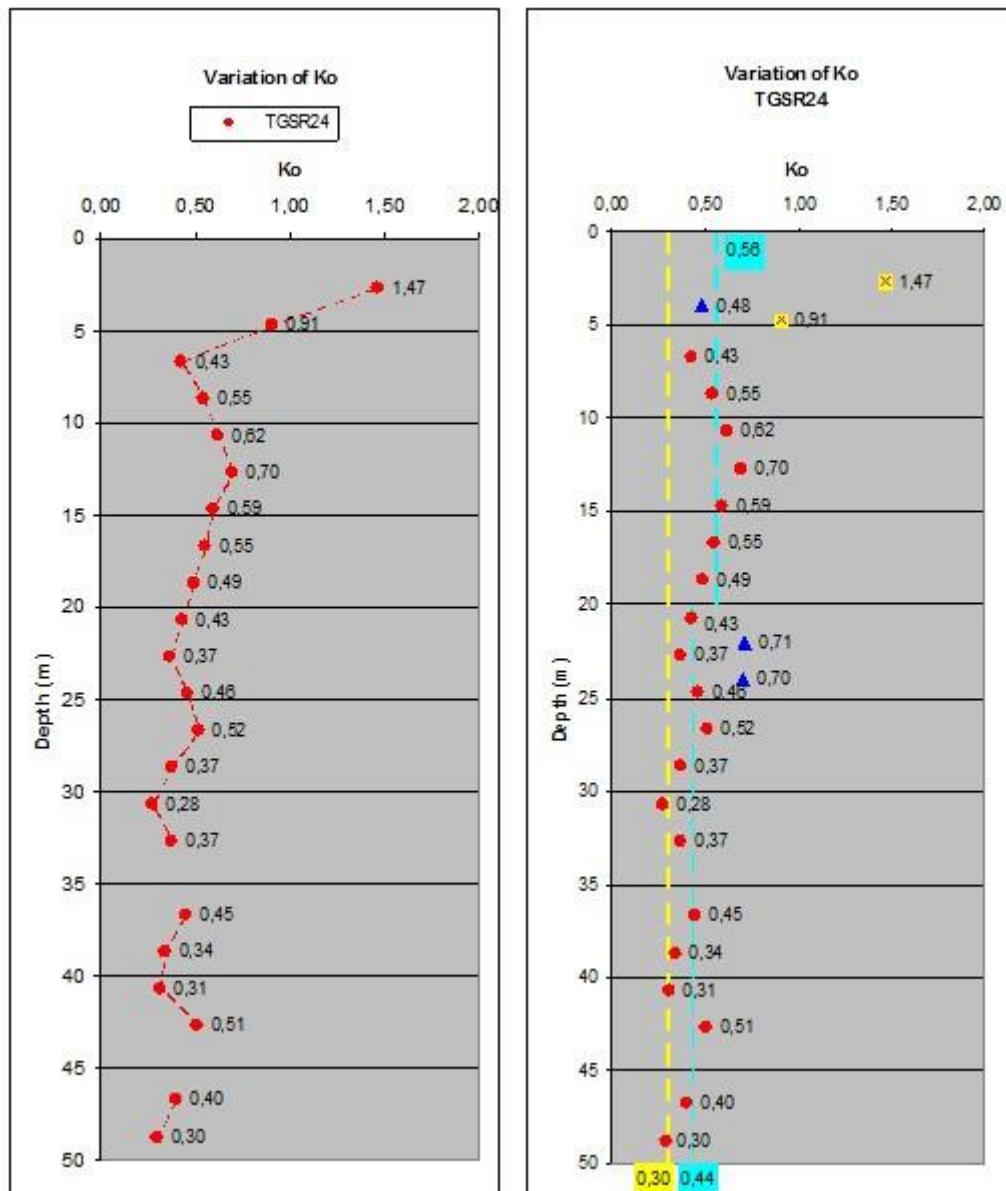


Σχήμα 2.42: Σχέση μεταξύ Μέτρου Ελαστικότητας, Συντελεστή Υπερστερεοποίησης και Συντελεστή Ωθήσεως σε ηρεμία.

Για την **Ενότητα A1**:  $PI = 9\%$  και  $OCR = 1.00 \rightarrow K_o^{O/C} = 0.48$

Για την **Ενότητα A2γ**:  $PI = 12\%$  και  $OCR = 2.20 \rightarrow K_o^{O/C} = 0.70$





Σχήμα 2.43: (αριστερά) Αξιολογημένες τιμές του  $K_0$  από το πρεσσιόμετρο (δεξιά) Τιμές του  $K_0$  που μετρήθηκαν είτε άμεσα από το πρεσσιόμετρο είτε έμμεσα μέσω του PI

Όλες οι τιμές του  $K_0$  που μετρήθηκαν είτε άμεσα από το πρεσσιόμετρο είτε έμμεσα μέσω του PI, τοποθετούνται στο παραπάνω γράφημα του Σχήματος 2.43. Στο εν λόγω γράφημα τοποθετείται διακεκομμένη κίτρινη γραμμή στο όριο του 0.30 ώστε να εξαιρεθούν όλες οι τιμές οι μικρότερες από 0.30. Από τις υπόλοιπες τιμές εξαιρούνται οι τιμές 1.47 και 0.91 ως πολύ υψηλές και μη ρεαλιστικές για τους κανονικά στερεοποιημένους, Τεταρτογενείς σχηματισμούς της Στρώσης Α1. Από τις υπόλοιπες τιμές που σημειώνονται με κουκίδα στο Γράφημα καθώς και από τις

τιμές που προέκυψαν έμμεσα και σημειώνονται με τρίγωνο, προκύπτει μια μέση τιμή  $K_0$  μέχρι και το βάθος των 20m ίση με  $K_0 = 0.56$  και μια μέση τιμή  $K_0 = 0.44$  από τα 20m και μέχρι το βάθος των 50m, όπως φαίνεται και από την γαλάζια εστιγμένη γραμμή. Τελικώς, ο συντελεστής  $K_0$  θα μπορούσε να ληφθεί ίσος με:

$$0.00 < z < 20.00\text{m} \quad \rightarrow K_0 = 0.55$$

$$20.00 < z < 50.00\text{m} \quad \rightarrow K_0 = 0.45$$

Λόγω της μεθόδου κατασκευής του Σταθμού Πανεπιστήμιο (cover and cut – top to down), δεν αναμένεται η ανάπτυξη της πλήρους πλευρικής αποτόνωσης των ωθήσεων γαιών (ουδέτερες  $\rightarrow$  ενεργητικές). Στην περίπτωση αυτής της μεθόδου κατασκευής θα υπάρξει φάση “προσωρινών” αντιστηρίξεων με μικρή αποτόνωση των πλευρικών ωθήσεων στα ρηχά του σκάμματος και μεγάλη αποτόνωση στα βαθύτερα λόγω της σημαντικής υποχώρησης της μεταλλικής αντηρίδας. Η εν λόγω εκτίμηση οδηγεί σε μικρή μείωση (της τάξης του 20%) του συντελεστή  $K_0$  ώστε οι “μόνιμες” αντιστηρίξεις να μελετηθούν με συνθήκες μικρής παραμόρφωσης δηλαδή με συνθήκες ώθησης με συντελεστή:

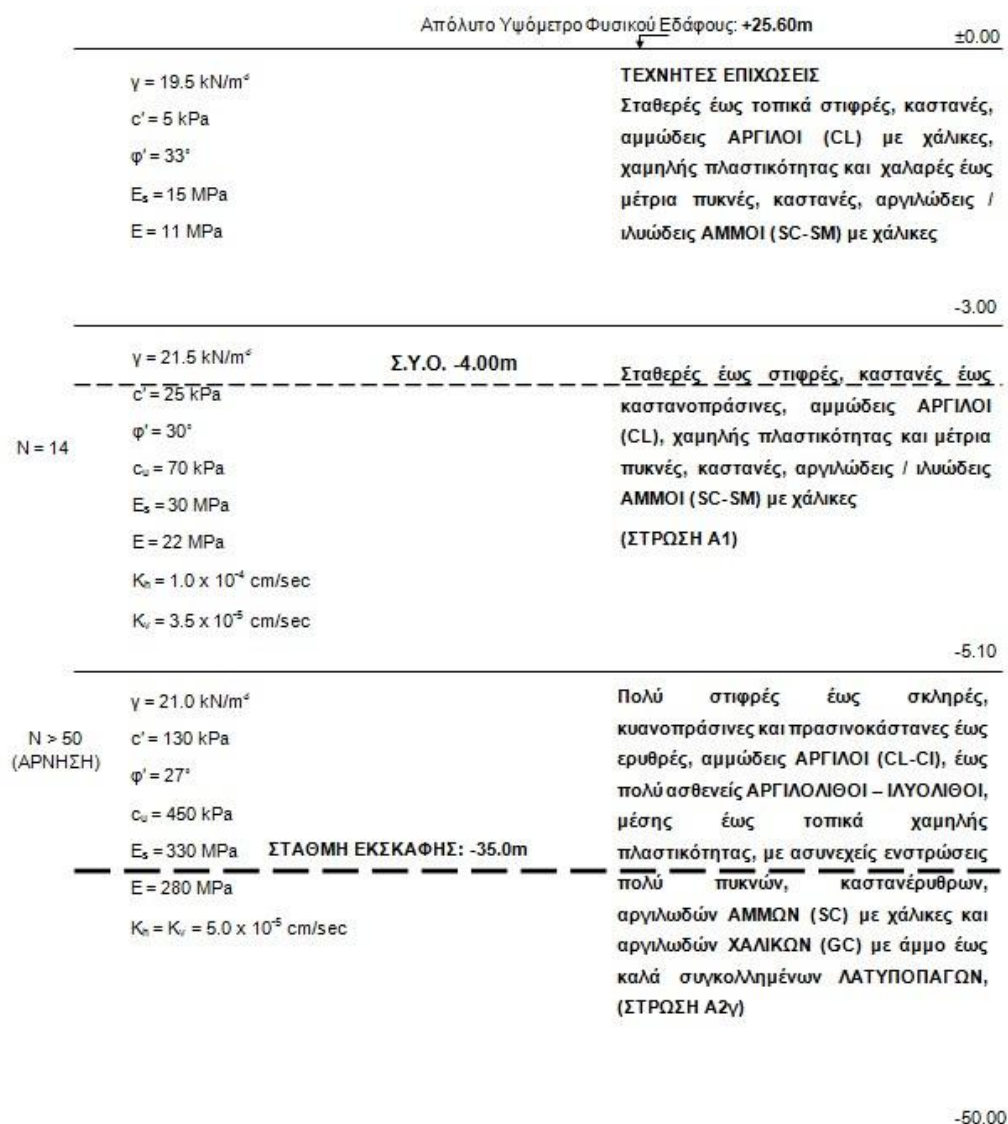
$$0.00 < z < 20.00\text{m} \quad \rightarrow K_{\text{wall}} = 0.45 \quad (K_{\text{wall}} \approx 0.80 \times K_0 = 0.80 \times 0.55 = 0.44)$$

$$20.00 < z < 50.00\text{m} \quad \rightarrow K_0 = 0.35 \quad (K_{\text{wall}} \approx 0.80 \times K_0 = 0.80 \times 0.45 = 0.36)$$

**Τελικά προτείνεται ενιαίος συντελεστής,  $K_{\text{wall}} = 0.40$**

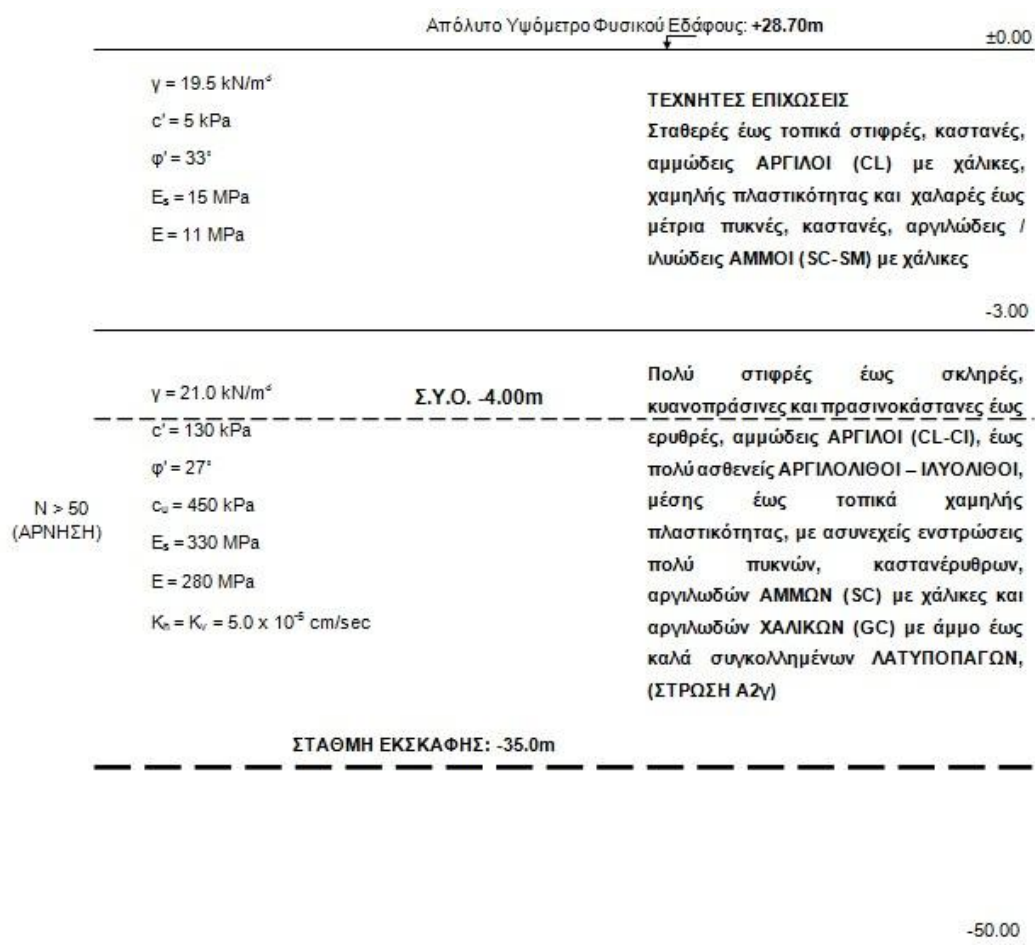
Η στατική επίλυση (διαστασιολόγηση) των φορέων των επί μέρους έργων του σταθμού θα γίνει με:

- Κινητό φορτίο στο “φρύδι” του πρανούς τουλάχιστον ίσο προς το προβλεπόμενο από τις Προδιαγραφές Μελετών.
- Φορτία κτιρίων, εάν υπάρχουν
- Υδροστατικές πιέσεις με βάση τη θέση της στάθμης υδροφόρου ορίζοντα στις θέσεις των έργων του Σταθμού.



Σχήμα 2.44: Γεωτεχνική Τομή Σχεδιασμού Στον Σταθμό Πανεπιστήμιο (Δεξιά)

## Κεφάλαιο 2



Σχήμα 2.45: Γεωτεχνική Τομή Σχεδιασμού Στον Σταθμό Πανεπιστήμιο (Αριστερά)

### **Κεφάλαιο 3. Γεωτεχνικό Πρόγραμμα Πεπερασμένων Στοιχείων PLAXIS**

#### **2D V8.2**

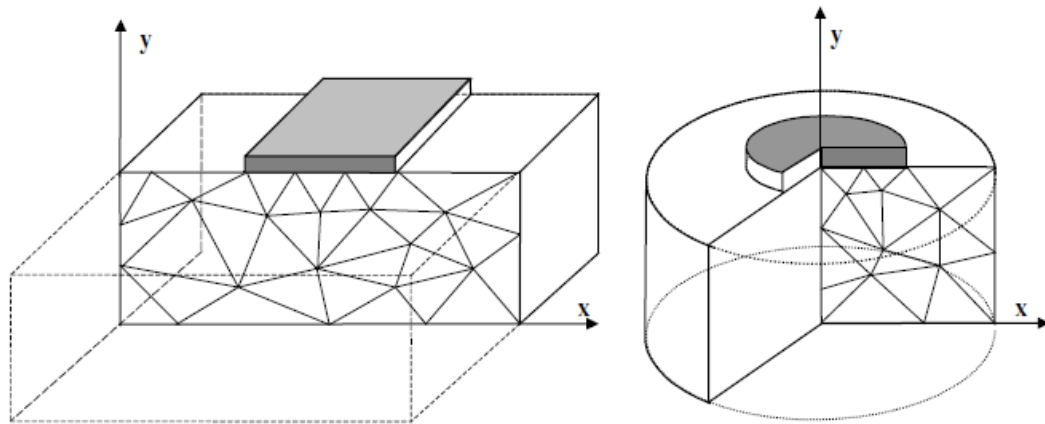
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται μια γενική περιγραφή του κώδικα πεπερασμένων στοιχείων (PLAXIS V8.2) που χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις. Στη συνέχεια περιγράφεται το εξιδανικευμένο προσομοίωμα των δυο σηράγγων που χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις και δίνονται στοιχεία για την προσομοίωση των προκατασκευασμένων δακτυλίων των σηράγγων, των γεωλογικών σχηματισμών καθώς και γενικά στοιχεία του μοντέλου μας. Γίνεται αναφορά στις απαιτούμενες από το πρόγραμμα παραμέτρους για να πραγματοποιηθούν οι αναλύσεις και δίνονται αναλυτικά τα στάδια που ακολουθούνται, όπως είναι η εισαγωγή των δεδομένων “Input Program”, οι αρχικές συνθήκες (“Initial conditions”), οι υπολογισμοί “Calculations Program” και η εξαγωγή των αποτελεσμάτων “Output Program”.

### **3.1 Παρουσίαση Λογισμικού PLAXIS V8.2 - Θεωρητικό Υπόβαθρο Αναλύσεων – Διακριτοποίηση Εδαφικού Μέσου**

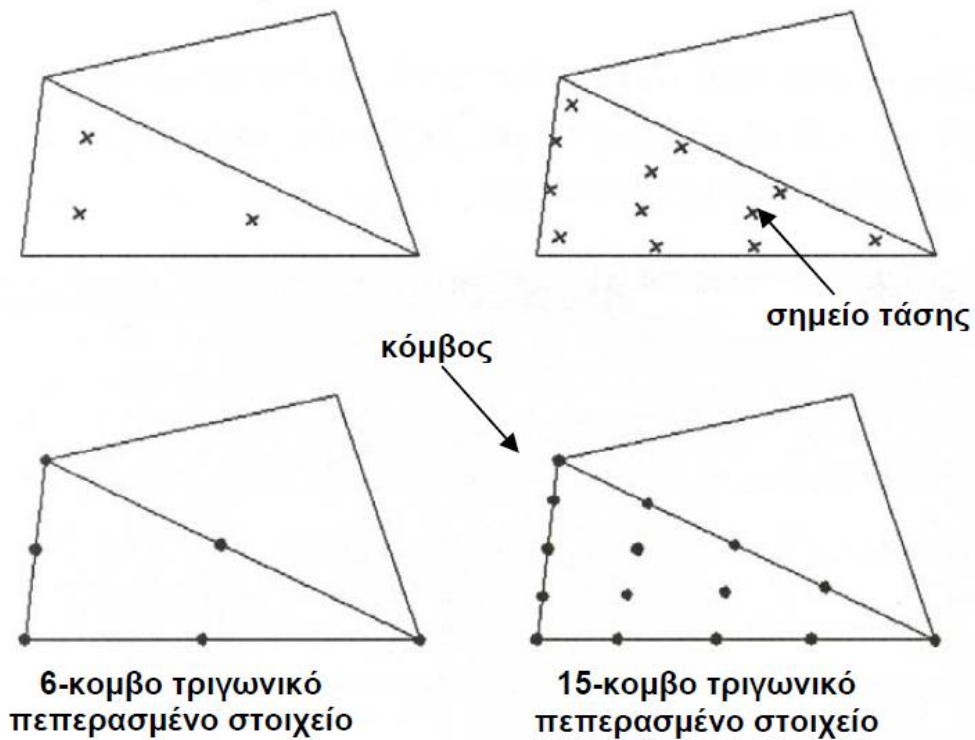
Πρόκειται για ένα πρόγραμμα που χρησιμοποιείται για την επίλυση γεωτεχνικών προβλημάτων με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Έτσι, για κάθε επίλυση το έδαφος προσομοιώνεται από έναν κάρναβο πεπερασμένων στοιχείων.

Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η δυνατότητα διακριτοποίησης του χώρου, δηλαδή ο διαχωρισμός του σε μικρών διαστάσεων υποχώρους (στοιχεία). Με αυτόν τον τρόπο, ένα ομοιογενές συνεχές μέσο μπορεί να μετατραπεί σε διακριτό, αποτελούμενο από μικρότερα στοιχεία με διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες το καθένα, τα οποία αλληλεπιδρούν μέσω των κοινών κόμβων. Η μέθοδος εξασφαλίζει τη συνολική ισορροπία του κάθε στοιχείου, καθώς και την ισορροπία των δράσεων στους κόμβους. Για την περιγραφή της συμπεριφοράς των στοιχείων που προκύπτουν από τη διακριτοποίηση του συνεχούς μέσου χρησιμοποιούνται μαθηματικά προσομοιώματα.

Η προσομοίωση φυσικών προβλημάτων στον κώδικα πεπερασμένων στοιχείων PLAXIS βασίζεται στη μόρφωση είτε διδιάστατων αξονοσυμμετρικών προσομοιωμάτων (axisymmetric model) είτε διδιάστατων προσομοιωμάτων πεπερασμένων στοιχείων με επίπεδη παραμόρφωση (plane strain model) με δυο βαθμούς ελευθερίας σε κάθε κόμβο ( $x$  και  $y$  διεύθυνση). Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα και των δυο μορφών προσομοιωμάτων φαίνονται στο Σχήμα 3.1. Τα διδιάστατα αξονοσυμμετρικά προσομοιώματα χρησιμοποιούνται για κυκλικές κατασκευές με ομοιόμορφη ακτινική διατομή και φόρτιση γύρω από ένα κεντρικό άξονα, όπου η κατάσταση παραμορφώσεων και τάσεων θεωρούνται ταυτόσημες σε κάθε ακτινική διεύθυνση. Τα διδιάστατα προσομοιώματα επίπεδης παραμόρφωσης χρησιμοποιούνται για κατασκευές με μια (περισσότερο ή λιγότερο) ομοιόμορφη διατομή και αντίστοιχη κατάσταση τάσεων και φορτίσεων για ένα συγκεκριμένο μήκος κάθετα στο επίπεδο ( $z$  διεύθυνση), όπου οι παραμορφώσεις και οι μετακινήσεις θεωρούνται μηδενικές. Παρόλα αυτά οι ορθές τάσεις και σε αυτή την διεύθυνση λαμβάνονται πλήρως υπόψη στην ανάλυση.



Σχήμα 3.1: Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα διδιάστατου προσομοιώματος πεπερασμένων στοιχείων με επίπεδη παραμόρφωση και διδιάστατου αξονοσυμμετρικού προσομοιώματος.

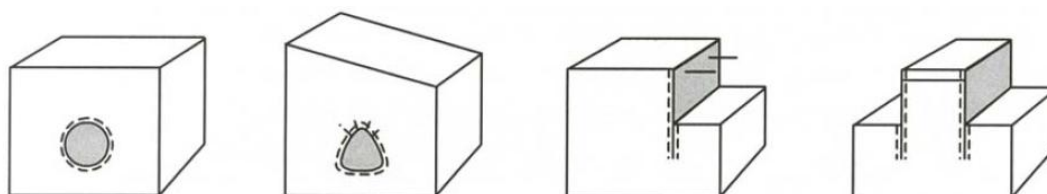


Σχήμα 3.2: Θέση των κόμβων και των σημείων υπολογισμών των τάσεων στα εδαφικά πεπερασμένα στοιχεία

Για τη διακριτοποίηση του χώρου είναι δυνατή η χρήση δεκαπεντάκομβων (15-nodes) ή εξάκομβων (6-nodes) τριγωνικού σχήματος πεπερασμένων στοιχείων όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα δεκαπεντάκομβα τριγωνικού σχήματος πεπερασμένα στοιχεία παρέχουν μεγαλύτερης ακρίβειας και ποιότητας

αποτελέσματα όσον αφορά την εντατική κατάσταση των εδαφικών και κατασκευαστικών προσομοιωμάτων σε φυσικά προβλήματα με ιδιαίτερες δυσκολίες, σε σύγκριση με τα εξάκομβα τριγωνικού σχήματος πεπερασμένα στοιχεία. Αυτό οφείλεται εν μέρει στο γεγονός ότι τα πρώτα παρέχουν μιας τέταρτης τάξης παρεμβολή για μετακινήσεις και αριθμητική ολοκλήρωση που εμπεριέχει 12 σημεία τάσεων (Gauss points).

Εκτός από τη χρήση στοιχείων εδάφους (soil elements) για τη διακριτοποίηση του χώρου που περιλαμβάνει εδαφικά υλικά, απαραίτητη θεωρείται και η προσομοίωση της συμπεριφοράς τμημάτων κατασκευών, όπως είναι τοίχοι αντιστήριξης, πλάκες, κελύφη, η οποία γίνεται με τη χρήση ανάλογων στοιχείων πλακών (plate elements), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.3. Οι πλάκες είναι κατασκευαστικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται για να προσομοιώσουν λεπτές κατασκευές με δυσκαμψία και ορθή ακαμψία που εκτείνονται στη z-διεύθυνση.



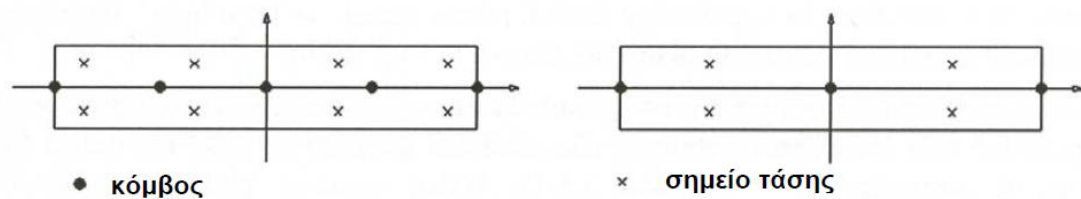
**Σχήμα 3.3:** Εφαρμογές γεωτεχνικών αναλύσεων στις οποίες χρησιμοποιούνται στοιχεία πλακών, αγκυρίων και διεπιφάνειας

Οι σημαντικότερες παράμετροι των ιδιοτήτων των υλικών των πλακών περιλαμβάνουν την δυσκαμψία  $EI$  και την δυστένεια  $EA$ . Από αυτές τις δυο παραμέτρους υπολογίζεται και το ισοδύναμο πάχος πλάκας  $d_{equal}$  από την εξίσωση:

$$d_{equal} = \sqrt{12 \frac{EI}{EA}}$$



Ειδικότερα οι πλάκες σε ένα διδιάστατο προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων αποτελούνται από στοιχεία δοκών (beam elements – γραμμικά στοιχεία) με τρεις βαθμούς ελευθερίας σε κάθε κόμβο: δυο βαθμούς ελευθερίας μετακίνησης στη  $x$  και  $y$  διεύθυνση ( $u_x, u_y$ ) και ένα βαθμό ελευθερίας στροφής (στροφή στο επίπεδο  $x-y, \phi_z$ ). Στο Σχήμα 3.4 φαίνεται η μορφή των πεπερασμένων στοιχείων των δοκών. Κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι τα στοιχεία δοκών βασίζονται στη θεωρία δοκών του Midlin (PLAXIS 2002).



Σχήμα 3.4: Θέση των κόμβων και των σημείων υπολογισμού των τάσεων σε 3-κομβά και 5-κομβά πεπερασμένα στοιχεία δοκών

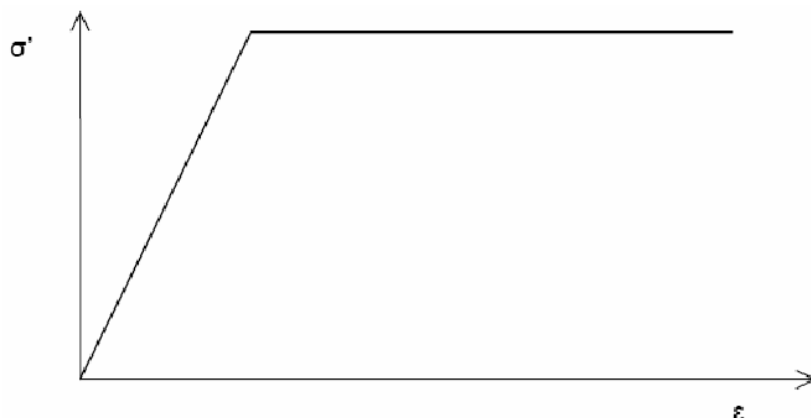
### **3.2 Καταστατικοί νόμοι συμπεριφοράς εδάφους**

Για την περιγραφή της συμπεριφοράς του εδάφους το πρόγραμμα PLAXIS παρέχει τις εξής δυνατότητες:

- **Linear Elastic:**
- **Mohr – Coulomb**
- **Soft soil model**
- **Hardening soil model**
- **Soft soil creep model**

**Mohr – Coulomb:** Πρόκειται για ένα ελαστικό – τέλεια πλαστικό μοντέλο (Σχήμα 3.5). Χρησιμοποιείται για μια γενική προσέγγιση της συμπεριφοράς του εδάφους μιας και πολλές φορές γίνεται η παραδοχή ότι το έδαφος ακολουθεί το κριτήριο αστοχίας Mohr – Coulomb. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιεί πέντε παραμέτρους:

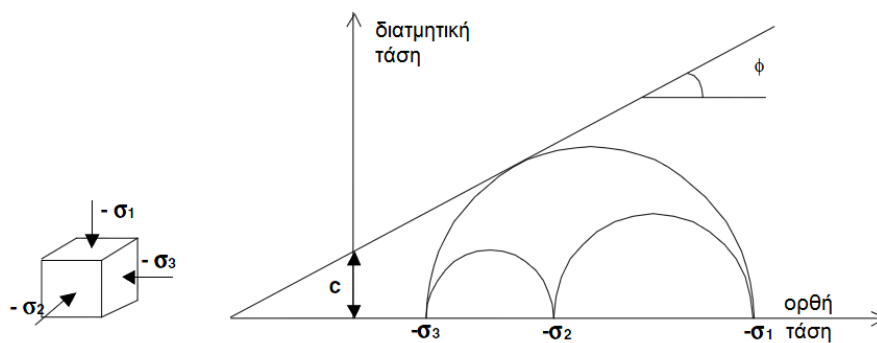
- E: μέτρο ελαστικότητας του Young ( $\text{kN/m}^2$ )
- $\nu$ : λόγος του Poisson
- $\phi$ : γωνία εσωτερικής τριβής ( $^\circ$ )
- c: συνοχή ( $\text{kN/m}^2$ )
- $\psi$ : γωνία διασταλτικότητας ( $^\circ$ )



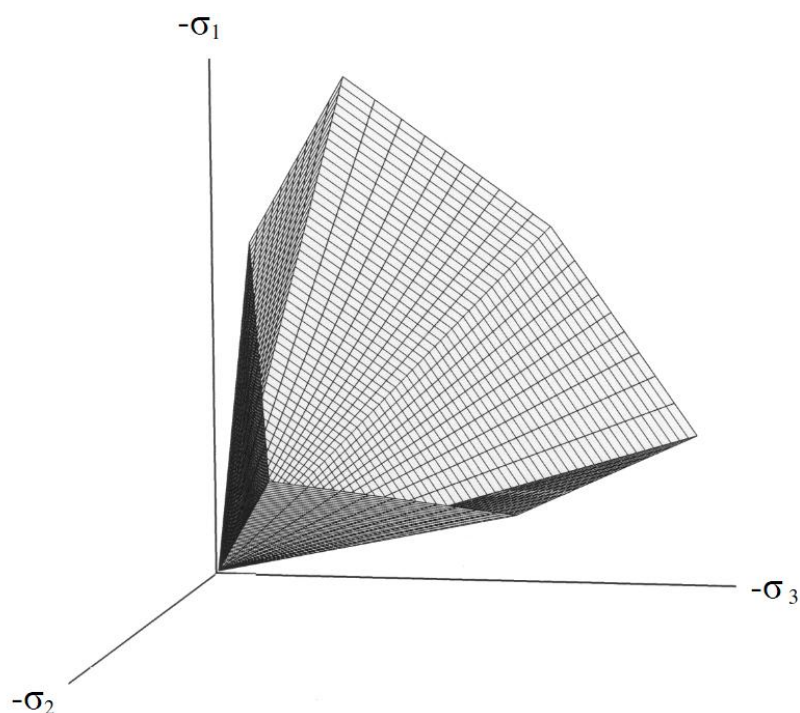
Σχήμα 3.5: Η βασική ιδέα ενός ελαστικού – τέλεια πλαστικού μοντέλου

Το πρόγραμμα PLAXIS, στο μοντέλο Mohr – Coulomb, προσφέρει την δυνατότητα μεταβολής των τιμών κάποιων μηχανικών χαρακτηριστικών του εδαφικού υλικού καθώς αυξάνεται το βάθος, όπως αυτές του μέτρου ελαστικότητας και της συνοχής. Έτσι, εισάγεται η έννοια του μέτρου ελαστικότητας αναφοράς  $E_{ref}$ , η τιμή της οποίας θα αντιστοιχεί σε ένα ισοδύναμο “βάθος” αναφοράς  $\gamma_{ref}$ . Το ποσοστό αύξησης του μέτρου ελαστικότητας εκφράζεται από την παράμετρο  $E_{increment}$ . Με παρόμοιο τρόπο εκφράζεται και η αύξηση της συνοχής. Το πρόγραμμα δίνει επίσης τη δυνατότητα εισαγωγής των δυναμικών χαρακτηριστικών του εδάφους μέσω της ταχύτητας των διατμητικών κυμάτων ( $V_s$ ), υπολογίζονται οι ελαστικές παράμετροι.

Η γωνία τριβής του εδάφους είναι το μέγεθος εκείνο που καθορίζει ως επί το πλείστον την διατμητική αντοχή του εδάφους και εκφράζεται σε μονάδες μοιρών. Αυτό φαίνεται άλλωστε και στο Σχήμα 3.6, όπως επίσης από την τριδιάστατη γραφική παράσταση της επιφάνειας διαρροής στο χώρο των κυρίων τάσεων (Σχήμα 3.7). Για την ακρίβεια, το κριτήριο διαρροής του μοντέλου Mohr – Coulomb εκφράζει την εφαρμογή του νόμου τριβής του Coulomb σε κάθε επίπεδο μέσα σε ένα στοιχείο υλικού, και μπορεί να οριστεί μέσω τριών συναρτήσεων διαρροής, οι οποίες είναι εκφρασμένες με όρους κυρίων τάσεων και εξαρτώνται από τη γωνία εσωτερικής τριβής ( $\phi$ ) και τη συνοχή ( $c$ ).



Σχήμα 3.6: Κύκλοι του Mohr στην διαρροή



**Σχήμα 3.7: Τριδιάστατη γραφική παράσταση της επιφάνειας διαρροής στο χώρο των κυρίων τάσεων**

Όσον αφορά στη γωνία διαστολικότητας  $\psi$ , είναι ένα μέγεθος που εκφράζει την τάση του εδαφικού υλικού προς διόγκωση και μετρείται σε μοίρες. Τα συνεκτικά εδάφη εμφανίζουν μικρή σχετικώς διαστολικότητα, οπότε μπορεί να θεωρηθεί χωρίς μεγάλο σφάλμα  $\psi = 0$ . Προσοχή πρέπει να δίνεται στα υπερστερεοποιημένα αργιλικά εδάφη, τα οποία παρουσιάζουν μη αμελητέο βαθμό διόγκωσης και συνεπώς η τιμή του  $\psi$  δεν μπορεί να ληφθεί μηδενική. Αντίθετα, στα αμμώδη μη συνεκτικά εδάφη, η διαστολικότητα εξαρτάται από την γωνία τριβής όσο και από την πυκνότητα του υλικού. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της χαλαζιακής άμμου, η βιβλιογραφία προτείνει την σχέση  $\psi = \phi = 30^\circ$ , ενώ για εξαιρετικά χαλαρές άμμους θα μπορούσε να θεωρηθεί ρεαλιστική μια μικρή αρνητική τιμή του  $\psi$ .

### **3.3 Πρόγραμμα εισαγωγής δεδομένων – Input Program**

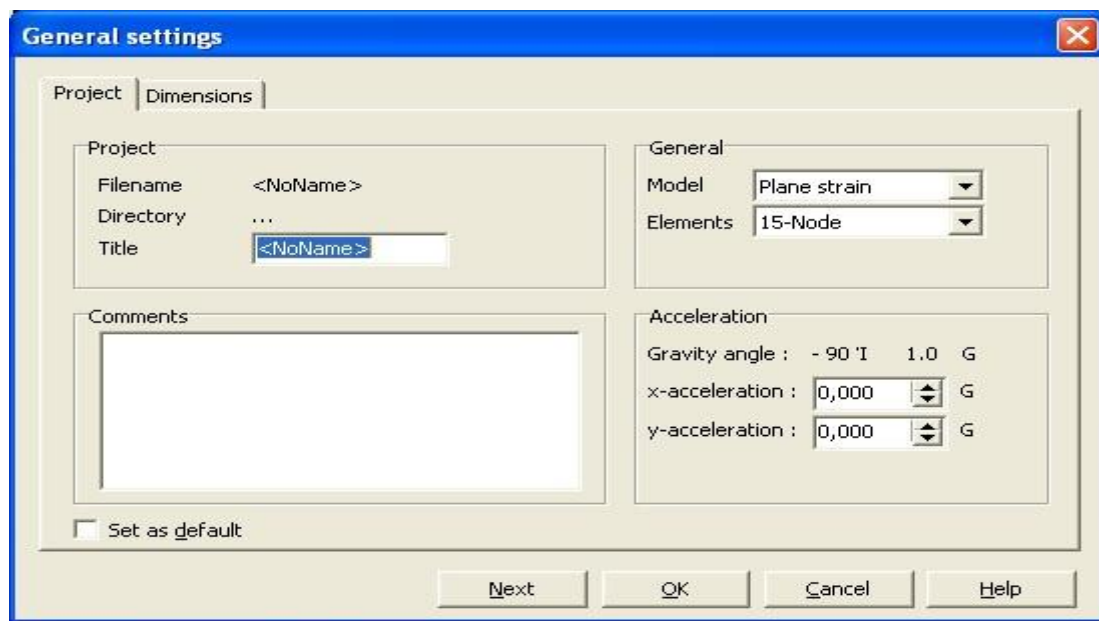
Μέσω του “Input Program” γίνεται η δημιουργία του διδιάστατου μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων. Η διαδικασία κατασκευής του μοντέλου επίλυσης γενικά περιέχει τα παρακάτω στάδια.

Αρχικά, σχεδιάζεται το γεωμετρικό περίγραμμα του εδαφικού υλικού στο οποίο θα τοποθετηθεί η κατασκευή. Στη συνέχεια γίνεται διαχωρισμός των εδαφικών στρώσεων, καθώς και τα δομικά και κατασκευαστικά στοιχεία του προσομοιώματος. Τέλος, τοποθετούνται οι συνοριακές συνθήκες και οι φορτίσεις ή/και οι καταναγκασμοί – μετακινήσεις, ανάλογα με την περίπτωση καθώς και οι ιδιότητες του εδάφους και των δομικών στοιχείων. Το γεωμετρικό μοντέλο επιβάλλεται, εκτός από την αρχική κατάσταση, να περιλαμβάνει και τα ενδεχόμενα κατασκευαστικά στάδια που λαμβάνονται υπόψη σε μετέπειτα φάση της επίλυσης.

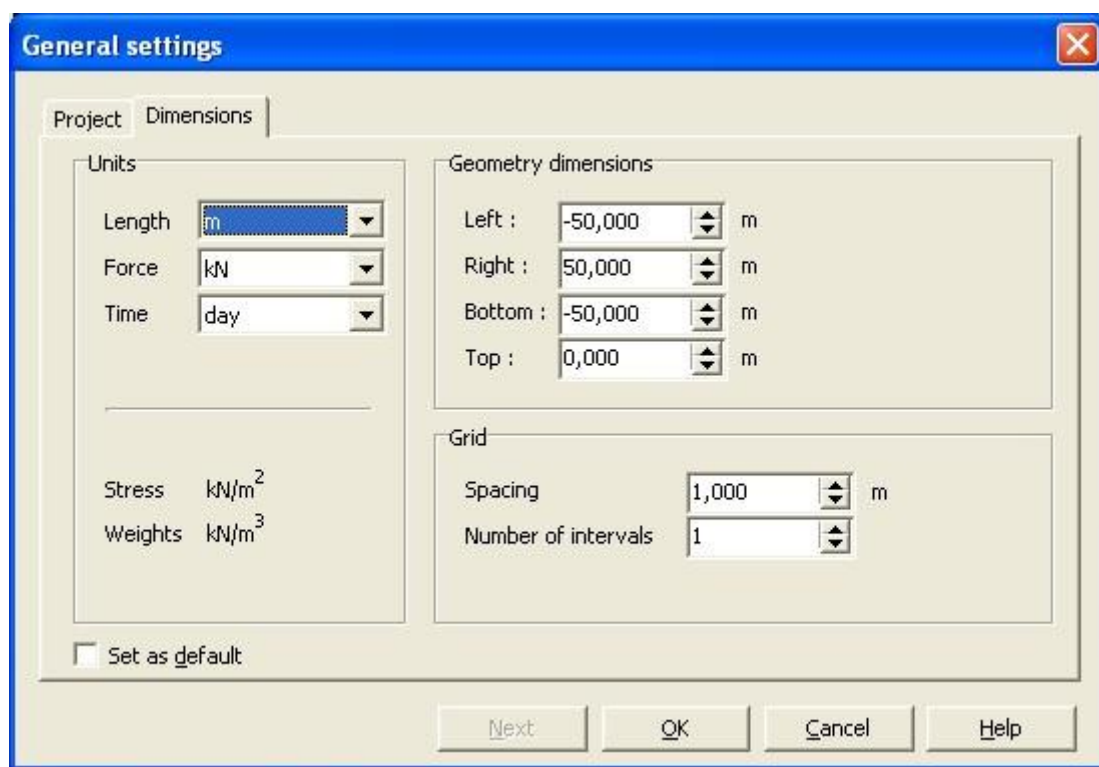
Συγκεκριμένα, κατά την εκκίνηση του προγράμματος εισαγωγής δεδομένων εμφανίζεται το παράθυρο “General Settings”, το οποίο περιέχει δυο φύλλα πληροφοριών, τα “Project” και “Dimensions”.

Στο πρώτο φύλλο – “Project” – πραγματοποιείται η εισαγωγή του ονόματος του αρχείου και κάποιων περιγραφικών σχολίων (Σχήμα 3.8). Επίσης γίνεται η επιλογή μοντέλου επίπεδης παραμόρφωσης ή αξονοσυμμετρικού προσομοιώματος καθώς και το είδος των πεπερασμένων στοιχείων του καννάβου, 6-κομβά ή 15-κομβά. Στο πεδίο των επιταχύνσεων της βαρύτητας δεν είναι απαραίτητο να εισαχθούν τιμές, αφού η βαρύτητα περιλαμβάνεται στα ογκομετρικά βάρη, τα οποία εισάγονται από τον χρήστη. Με τον τρόπο αυτό η βαρύτητα ελέγχεται με τον πολλαπλασιαστή  $\Sigma M_{weight}$ .

Στο δεύτερο φύλλο – “Dimensions” – καθορίζονται οι βασικές μονάδες μεγεθών που θα χρησιμοποιηθούν (μήκους, δύναμης και χρόνου) και οι διαστάσεις της επιφάνειας και του καννάβου σχεδίασης που θα χρησιμοποιηθεί (Σχήμα 3.9).



Σχήμα 3.8: Εισαγωγή γενικών χαρακτηριστικών μοντέλου



Σχήμα 3.9: Προσδιορισμός διαστάσεων καννάβου σχεδίασης

Επικυρώνουμε με “ok” τις παραπάνω επιλογές και εμφανίζεται το βασικό παράθυρο “Input” στο οποίο δημιουργείται το μοντέλο.

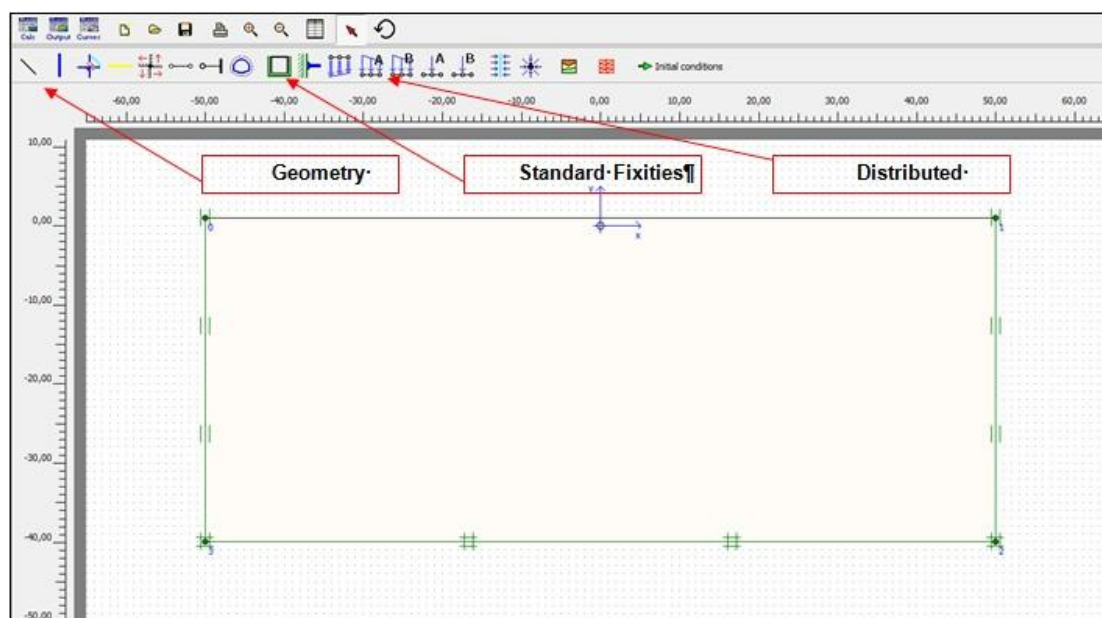
Επιλέγουμε το εικονίδιο “Geometry line”, ώστε να οριστεί το περίγραμμα του υπό μελέτη προβλήματος και οι διεπιφάνειες των διαφόρων εδαφικών στρώσεων. Με τη σειρά ορίζουμε τα τέσσερα σημεία που ορίζουν τα όρια της περιοχής σχεδίασης (Σχήμα 3.10).

Στη συνέχεια επιλέγουμε το εικονίδιο “Standard Fixities” για τον καθορισμό των συνοριακών συνθηκών (συνήθως για γεωτεχνικά προβλήματα). Με την εντολή αυτή ενεργοποιούνται οι εξής κανόνες:

Κάθετες γεωμετρικές γραμμές, για τις οποίες η  $x$  – συντεταγμένη είναι ίση με την υψηλότερη ή την χαμηλότερη τιμή της  $x$  – συντεταγμένης στο μοντέλο, και αποκτά κατακόρυφη κύλιση ( $u_x=0$ ).

Οριζόντιες γεωμετρικές γραμμές, για τις οποίες η  $y$  – συντεταγμένη είναι ίση με την χαμηλότερη τιμή της  $y$  – συντεταγμένης στο μοντέλο, και αποκτά πάκτωση ( $u_x=u_y=0$ ).

Δοκοί οι οποίες φτάνουν και τέμνουν το σύνορο του γεωμετρικού μοντέλου, υφίστανται δέσμευση της στροφής ( $\phi_z = 0$ ) στο συγκεκριμένο σημείο του συνόρου, εάν το σημείο αυτό είναι δεσμευμένο τουλάχιστον κατά μια διεύθυνση.

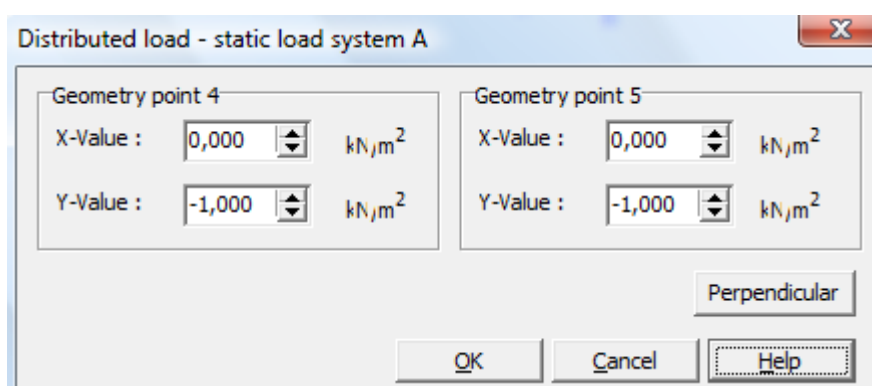


Σχήμα 3.10: Προσδιορισμός γεωμετρικού μοντέλου και εισαγωγή συνοριακών συνθηκών.

### **3.4 Κατανεμημένα φορτία**

Στο σημείο αυτό, εφόσον σχεδιαστεί η κατασκευή, το μοντέλο έχει οριστεί πλήρως από πλευράς γεωμετρίας. Έτσι πρέπει να εισαχθούν τα κατανεμημένα φορτία τα οποία προέρχονται από τις επιφανειακές κατασκευές. Το μέσο βάθος θεμελίωσης αυτών των κατασκευών είναι περίπου τα 6 m. Η τοποθέτηση ενός φορτίου στο γεωμετρικό μοντέλο είναι παρόμοια με τη διαδικασία δημιουργίας μιας γεωμετρικής γραμμής. Δύο είδη φορτίων (A και B) είναι διαθέσιμα για ένα συνδυασμό κατανεμημένων ή σημειακών φορτίων. Τα φορτία A και B μπορούν να ενεργοποιηθούν ανεξάρτητα. Μπορούν να επιλεγθούν από το μενού “Loads” ή επιλέγοντας το αντίστοιχο κουμπί στη γραμμή εργαλείων (Σχήμα 3.10).

Οι τιμές εισαγωγής ενός κατανεμημένου φορτίου δίνονται σε δύναμη ανά περιοχή ( $\text{kN/m}^2$ ). Τα φορτία μπορούν να αποτελούνται από x - ή/και y – συντεταγμένη. Όταν εφαρμόζουμε ένα κατανεμημένο φορτίο στο σύνορο, ουσιαστικά εφαρμόζεται μια κάθετη πίεση πάνω στο σύνορο. Η τιμή εισαγωγής ενός φορτίου μπορεί να εισαχθεί επιλέγοντας με διπλό κλικ την αντίστοιχη γεωμετρική γραμμή που εφαρμόζεται το φορτίο (Σχήμα 3.11). Έτσι αφού ανοίξαμε το παράθυρο του κατανεμημένου φορτίου, η τιμή του φορτίου μπορεί να διευκρινιστεί μόνο για τα δυο άκρα της γεωμετρικής γραμμής του φορτίου. Η κατανομή ανάμεσα από τα δύο σημεία και κατά μήκος της γραμμής είναι γραμμική.



**Σχήμα 3.11: Παράθυρο εισαγωγής τιμών για τα κατανεμημένα φορτία**



Για την συνέχεια της διαδικασίας επίλυσης, θα πρέπει να καθοριστούν οι ιδιότητες των χρησιμοποιούμενων εδαφικών υλικών (“Soil & Interfaces”).

Επιλέγουμε το εικονίδιο “Material Sets” όπως φαίνεται στο σχήμα, από την γραμμή εργαλείων. Έτσι, εμφανίζεται το παράθυρο με την ίδια ονομασία, το οποίο περιέχει τη βάση δεδομένων των υλικών του προγράμματος.

Μέσω αυτού του παραθύρου ο χρήστης έχει την δυνατότητα αφενός να δημιουργήσει υλικά με τις ιδιότητες και χαρακτηριστικά που επιθυμεί, αφετέρου να χρησιμοποιήσει τα υλικά που είναι ήδη αποθηκευμένα στην βιβλιοθήκη του προγράμματος. Τα τελευταία εμφανίζονται μέσω της επιλογής “Global” (Σχήμα 3.12). Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι τα νέα υλικά που δημιουργεί ο χρήστης μπορούν να προστεθούν στην βιβλιοθήκη του προγράμματος και να χρησιμοποιηθούν σε κάποια επόμενη ανάλυση.

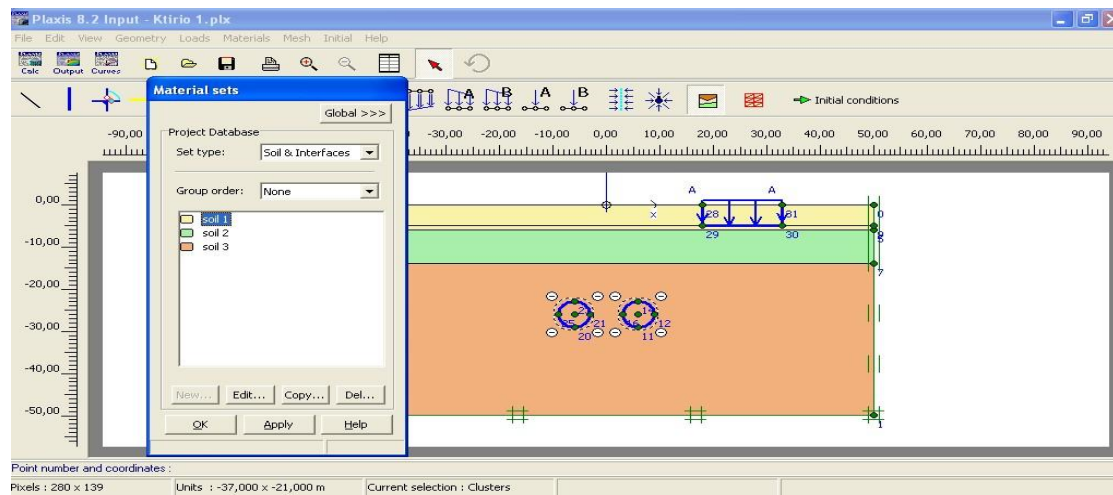
Στον τομέα “Project Database” υπάρχει ο διαχωρισμός των δεδομένων των υλικών σε ήδη αποθηκευμένες ομάδες δεδομένων, οι οποίες εμφανίζονται επιλέγοντας την παράμετρο “Set type”. Οι επιλογές αυτές είναι οι εξής:

- Δεδομένα για εδάφη και διεπιφάνειες (Soil & Interfaces)
- Δεδομένα για δοκούς (Beams)
- Δεδομένα για γεωυφάσματα (Geotextiles)
- Δεδομένα για αγκύρια (Anchors)

Στον ίδιο τομέα υπάρχει η επιλογή “Group order”, με την οποία ο χρήστης μπορεί να κατηγοριοποιήσει τα υλικά κάθε κατηγορίας ανάλογα με:

- Τον τύπο του μοντέλου (Model type)
- Τον τύπο του υλικού (Material type)
- Το όνομα του υλικού (Material name)

### Κεφάλαιο 3



Σχήμα 3.12: Καθορισμός ιδιοτήτων υλικών – Material Sets

### 3.5 Καθορισμός εδαφικού υλικού

Στο παράθυρο που εμφανίζεται για τη δημιουργία νέου εδάφους υπάρχουν τρία φύλλα πληροφοριών, τα “General”, “Parameters” και “Interfaces”, στα οποία ορίζονται πλήρως τα χαρακτηριστικά του νέου εδαφικού υλικού.

The image shows a software dialog box titled "Mohr-Coulomb - soil 1". It has three tabs: "General", "Parameters", and "Interfaces". The "General" tab is selected. The dialog is organized into four main sections:

- Material Set:** Contains three input fields: "Identification" with the value "soil 1", "Material model" with a dropdown menu set to "Mohr-Coulomb", and "Material type" with a dropdown menu set to "Drained".
- General properties:** Contains two input fields: "γ<sub>unsat</sub>" with the value "20,000" and unit "kN/m<sup>3</sup>", and "γ<sub>sat</sub>" with the value "20,000" and unit "kN/m<sup>3</sup>".
- Comments:** A large empty text area for user notes.
- Permeability:** Contains two input fields: "k<sub>x</sub>" with the value "0,864" and unit "m/day", and "k<sub>y</sub>" with the value "0,432" and unit "m/day". Below these is an "Advanced..." button.

At the bottom of the dialog box, there are four buttons: "Next", "Ok", "Cancel", and "Help".

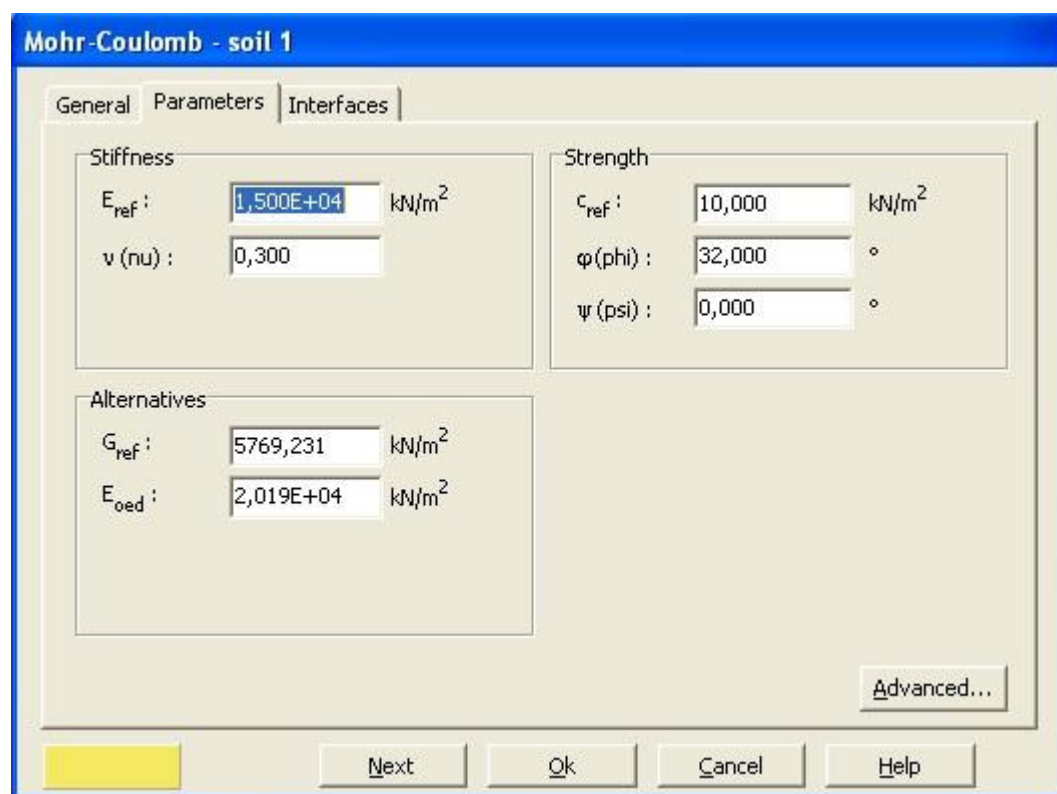
Σχήμα 3.13: Προσδιορισμός γενικών χαρακτηριστικών εδαφικού υλικού

Στο φύλλο “General”, μπορούμε στον τομέα “Material Set” να επιλέξουμε αρχικά όνομα του υλικού στο “Identification” και εν συνεχεία στα πεδία “Material Model” και “Material type” μπορούμε να επιλέξουμε τον καταστατικό νόμο που διέπει το υλικό και τον τύπο συμπεριφοράς του αντίστοιχα. Οι καταστατικοί νόμοι που μπορούν να επιλεγθούν έχουν αναφερθεί σε προηγούμενη παράγραφο, ενώ ο τύπος συμπεριφοράς του εδάφους φαίνεται στο Σχήμα 3.13.

Επίσης, στον τομέα “General Properties” μπορούμε να ορίσουμε το ξηρό ειδικό βάρος  $\gamma_{dry}$  και το φαινόμενο ειδικό βάρος  $\gamma_{wet}$ , τα οποία αναφέρονται στη συνολική

μονάδα βάρους του εδάφους συμπεριλαμβανομένου και του υλικού στους πόρους. Το  $\gamma_{dry}$  εισάγεται στους υπολογισμούς όταν το έδαφος είναι πάνω από την επιφάνεια του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, ενώ το  $\gamma_{wet}$  όταν είναι κάτω από αυτήν. Γενικά, το  $\gamma_{dry}$  για πορώδη υλικά είναι μικρότερο από το  $\gamma_{wet}$ . Τα ειδικά αυτά βάρη ενεργοποιούνται κατά την υπολογιστική διαδικασία με την βοήθεια του πολλαπλασιαστή  $\Sigma M_{weight}$ .

Στον τομέα “Permeability” εισάγονται οι τιμές της διαπερατότητας του εδαφικού υλικού, οι οποίες απαιτούνται μόνο για αναλύσεις στερεοποίησης και υπολογισμούς υπόγειας ροής. Το πρόγραμμα PLAXIS κάνει διαχωρισμό σε μια οριζόντια συνιστώσα διαπερατότητας  $K_x$  και μια κατακόρυφη  $K_y$ , αφού σε κάποια είδη εδαφών υπάρχει σημαντική διαφορά στις δυο αυτές συνιστώσες.



Σχήμα 3.14: Προσδιορισμός παραμέτρων εδαφικού υλικού

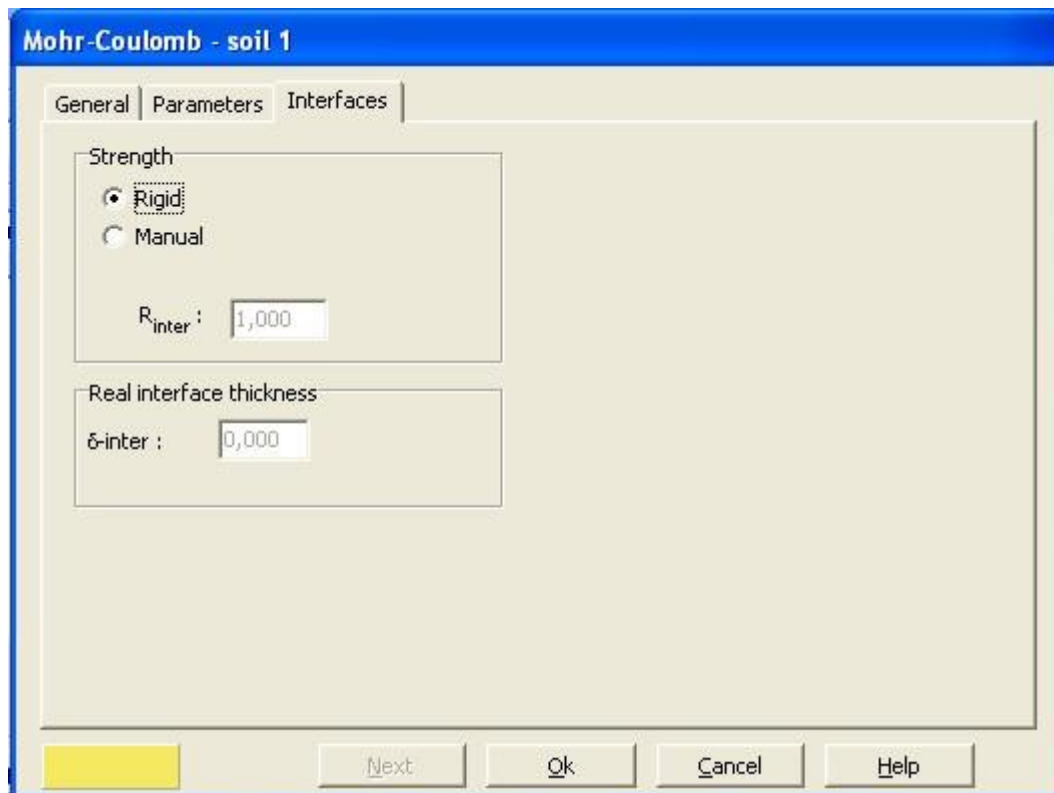
Στο φύλλο “Parameters” (Σχήμα 3.14), εισάγονται οι παράμετροι της ακαμψίας και της σκληρότητας του εδαφικού μοντέλου που περιγράφουμε. Ανάλογα λοιπόν με το

μοντέλο συμπεριφοράς που χρησιμοποιείται, συμπληρώνονται και οι αντίστοιχες τιμές των παραμέτρων που ζητούνται.

Στο πεδίο “Stiffness” εισάγεται το μέτρο ελαστικότητας  $E_{ref}$  και ο λόγος του Poisson  $\nu$  και στο πεδίο “Strength”, αντίστοιχα, εισάγονται η συνοχή  $c_{ref}$ , η γωνία τριβής  $\phi$  και η γωνία διαστολικότητας  $\psi$ .

Το πεδίο “Alternatives” συμπληρώνεται αυτόματα από το πρόγραμμα όταν εισαχθούν τιμές στο πεδίο “Stiffness”, όπως συμβαίνει και το αντίθετο όταν αυτό χρησιμοποιηθεί για την εισαγωγή δεδομένων.

Το πεδίο “Velocities” περιέχει τις ταχύτητες διατμητικών κυμάτων ( $V_s$ ) και των κυμάτων χώρου ( $V_p$ ). Υπολογίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα εφόσον εισαχθούν οι υπόλοιπες παράμετροι στο πρώτο πεδίο. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα, οι ταχύτητες  $V_s$  και  $V_p$  να εισαχθούν ως δεδομένα (input) και μέσω αυτών θα υπολογιστούν αυτόματα οι ελαστικές παράμετροι.



Σχήμα 3.15: Προσδιορισμός παραμέτρων στοιχείων διεπιφάνειας

Τέλος στο φύλλο “interfaces” (Σχήμα 3.15) ορίζονται οι ιδιότητες των στοιχείων διεπιφάνειας. Αυτά είναι στοιχεία που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των στοιχείων της επένδυσης της κατασκευής με αυτά του εδάφους. Σ’ αυτά συνήθως δίνονται ιδιότητες ίδιες με αυτές των στοιχείων του εδαφικού μέσου, μειωμένες κατάλληλα, ώστε να ληφθεί υπόψη η αλληλεπίδραση μεταξύ εδάφους και κατασκευής. Η μείωση αυτή επιτυγχάνεται με την εισαγωγή στον συντελεστή  $R_{inter}$  τιμής μικρότερης της μονάδας. Με τον μειωτικό αυτό συντελεστή, πολλαπλασιάζονται η συνοχή και η γωνία εσωτερικής τριβής του περιβάλλοντος εδάφους, και με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται συσχέτιση της αντοχής συνάφειας – τριβής, που οφείλεται στην τραχύτητα της επένδυσης στη διεπιφάνεια, με την αντοχή του εδάφους. Στην περίπτωση μας, ο συντελεστής μείωσης της αντοχής στην διεπιφάνεια λήφθηκε 1.00, όπως φαίνεται και στο σχήμα.

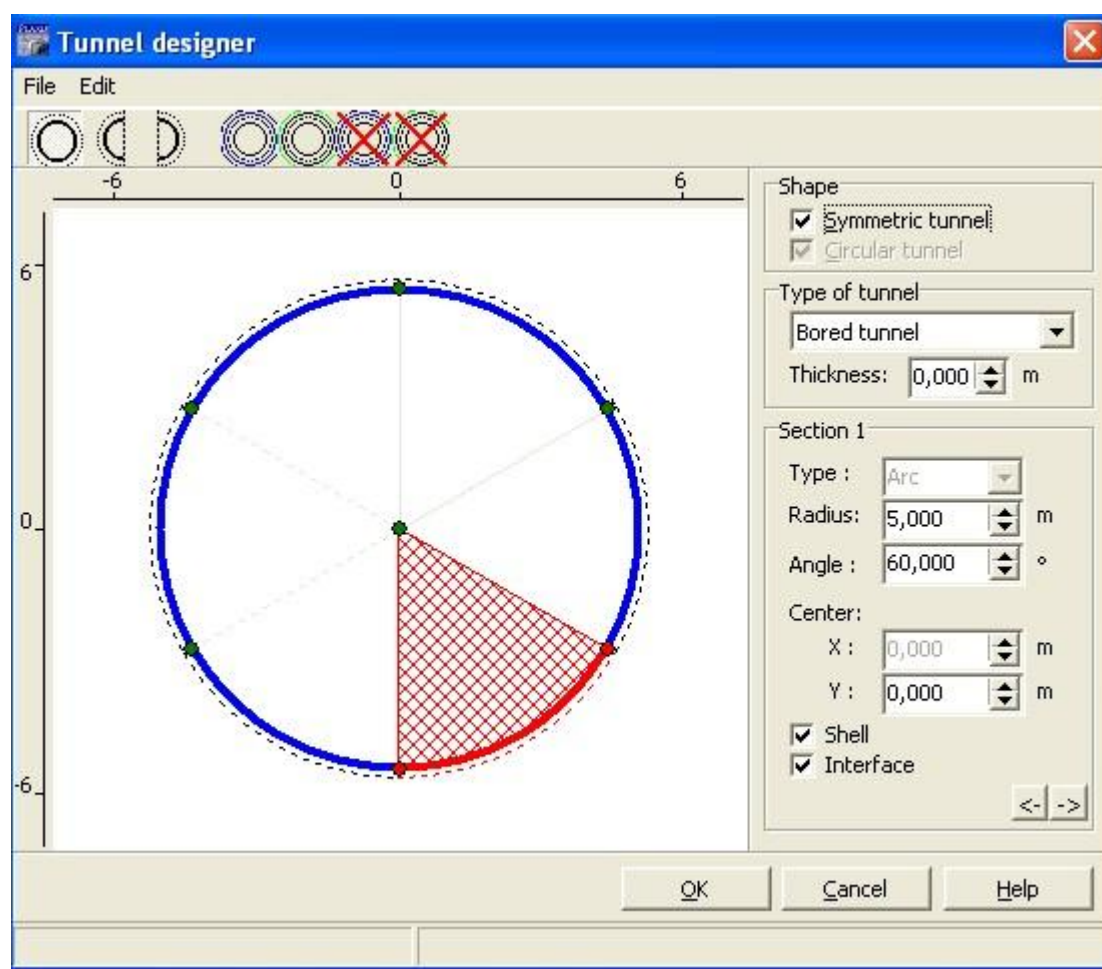
Τέλος, για να τοποθετήσουμε κάθε γεωλογικό στρώμα στο μοντέλο, κάνουμε δεξί κλικ πάνω στο στρώμα, επιλέγουμε “Properties”, “Cluster”, “Change” και διαλέγουμε το είδος του γεωυλικού που αντιστοιχεί.

### 3.6 Διαστασιολόγηση Σήραγγας

Η επιλογή της σήραγγας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να δημιουργήσουμε κυκλικές ή μη κυκλικές διατομές σήραγγας, οι οποίες μπορούν να συμπεριληφθούν στο γεωμετρικό μοντέλο. Μια διατομή σήραγγας αποτελείται από κυκλικά τόξα και γραμμές, που προαιρετικά συνοδεύονται με μια επένδυση και μια διεπιφάνεια ανάμεσα στην επένδυση και στο περιβάλλον πέτρωμα. Η επιλογή για τον σχεδιασμό της σήραγγας είναι διαθέσιμη από το μενού "Geometry" ή από το αντίστοιχο κουμπί στη γραμμή εργαλείων.

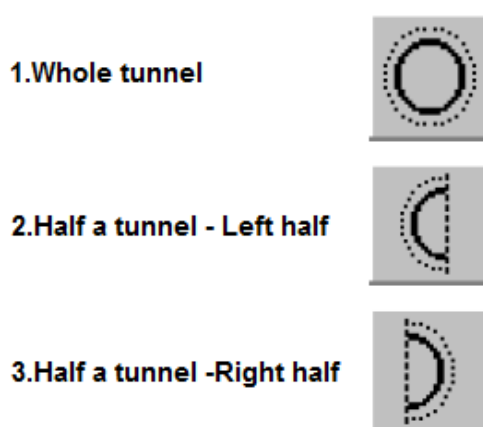
#### Σχεδιασμός σήραγγας

Αφού επιλέξαμε την επιλογή για τον σχεδιασμό της σήραγγας εμφανίζεται παράθυρο το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 3.16.



Σχήμα 3.16: Παράθυρο σχεδιασμού σήραγγας με καθορισμένο σχήμα διατομής ανάλογα με τη μέθοδο διάνοιξης

### Βασικό σχήμα σήραγγας



**Σχήμα 3.17:** Βασικά σχήματα διατομής σήραγγας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν

Η επιλογή “Whole tunnel” μπορεί να χρησιμοποιηθεί εάν ολόκληρη η διατομή της σήραγγας συμπεριλαμβάνεται στο μοντέλο μας, ενώ οι άλλες δυο επιλογές “Left half & Right half” χρησιμοποιούνται όταν μια συγκεκριμένη συμμετρική γραμμή του μοντέλου μας αντιστοιχεί στη συμμετρική γραμμή της σήραγγας (Σχήμα 3.17).

### Μέθοδος διάνοιξης της σήραγγας

Πριν δημιουργήσουμε την διατομή της σήραγγας πρέπει να επιλεχθεί το είδος της σήραγγας. Οι διαθέσιμες επιλογές είναι: “None, Bored tunnel ή NATM tunnel”.

Η επιλογή “None” χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να δημιουργήσουμε ένα εσωτερικό γεωμετρικό περίγραμμα, το οποίο αποτελείται από διάφορα τμήματα και δεν έχουμε καμία πρόθεση να δημιουργήσουμε κανονική σήραγγα. Κάθε τμήμα ορίζεται από μια γραμμή ένα τόξο ή μια γωνία. Το εξωτερικό περίγραμμα αποτελείται από δυο γραμμές εάν βάλουμε θετική τιμή στην παράμετρο “Thickness”. Οι δυο γραμμές θα διαμορφώνουν χωριστά τμήματα με ένα αντίστοιχο πάχος. Μια επένδυση (shell) και μια διεπιφάνεια μπορούν να προστεθούν σε ξεχωριστά τμήματα της εξωτερικής επιφάνειας της επένδυσης.



Η επιλογή “Bored tunnel” χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να δημιουργήσουμε μια κυκλική σήραγγα που περιλαμβάνει ομοιογενή επένδυση και διεπιφάνεια. Το σχήμα της σήραγγας αποτελείται από διαφορετικά τμήματα όπου ορίζονται από τόξα. Αφού η επένδυση της σήραγγας είναι κυκλική κάθε τμήμα έχει ακτίνα η οποία καθορίζεται από το πρώτο τμήμα. Το εξωτερικό περίγραμμα της σήραγγας αποτελείται από δυο γραμμές εάν βάλουμε θετική τιμή στην παράμετρο “Thickness”. Κατά αυτόν τον τρόπο ένα παχύ στρώμα επένδυσης μπορεί να δημιουργηθεί το οποίο συνθέτεται από πολλά στοιχεία. Η επένδυση της σήραγγας θεωρείται ομοιογενής και συνεχής. Έτσι σαν συνέπεια αυτού, όταν αφαιρούμε το υλικό κατά τη διάρκεια εκσκαφής της σήραγγας, η ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση της επένδυσης στο συγκεκριμένο στάδιο κατασκευής μπορεί να γίνει σε όλη την επένδυση και όχι τμηματικά. Εάν η επένδυση είναι ενεργοποιημένη, ένας βαθμός σύγκλισης – αποτόνωσης (σχετική απώλεια εδαφικού όγκου) πρέπει να διευκρινιστεί, για την προσομοίωση της απώλειας όγκου του εδάφους εξαιτίας της εκσκαφής της σήραγγας. Ο βαθμός σύγκλισης – αποτόνωσης εκφράζεται ως ποσοστό, αντιπροσωπεύοντας το λόγο της μείωσης του όγκου της σήραγγας και του αρχικού όγκου της διατομής της σήραγγας. Ο βαθμός σύγκλισης – αποτόνωσης μπορεί να εφαρμοσθεί μόνο σε κυκλικές σήραγγες (bored tunnels) με μια συνεχή και ομοιογενή επένδυση. Μπορεί να ενεργοποιηθεί όταν επιλέγουμε τα βήματα κατασκευής (Staged construction mode) κάνοντας διπλό κλικ στο κέντρο της σήραγγας. Πρέπει να σημειώσουμε ότι το ποσοστό της τιμής του βαθμού σύγκλισης – αποτόνωσης δεν εφαρμόζεται πάντα ολόκληρο. Εξαρτάται από την ακαμψία του περιβάλλοντος πετρώματος. Ο υπολογισμένος βαθμός σύγκλισης – αποτόνωσης φαίνεται στο στάδιο των αποτελεσμάτων (output program).

Η επιλογή “NATM tunnel” γίνεται όταν θέλουμε να δημιουργήσουμε μια σήραγγα που περιλαμβάνει μια επένδυση και μια διεπιφάνεια στο εξωτερικό. Κάθε τμήμα ορίζεται από ένα τόξο. Το εξωτερικό περίγραμμα αποτελείται από δυο γραμμές εάν βάλουμε θετική τιμή στην παράμετρο “Thickness”. Είναι δυνατόν να εφαρμόσουμε μια επένδυση στο εξωτερικό περίγραμμα, ώστε να προσομοιώσουμε ένα συνδυασμό μιας εξωτερικής επένδυσης (εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ως προσωρινή επένδυση) και μια εσωτερική επένδυση (τελική επένδυση). Η επένδυση θεωρείται

ως ασυνεχής γι' αυτό το λόγο, η ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση των τμημάτων της επένδυσης γίνεται ξεχωριστά για το κάθε τμήμα.

Έπειτα, αφού έχουμε δώσει στο πρόγραμμα τις επιλογές μας επιλέγουμε το πλήκτρο ok. Ένα σημείο αναφοράς για το κέντρο της σήραγγας πρέπει να επιλεγεί είτε μέσω του κέρσορα είτε μέσω συγκεκριμένων συντεταγμένων που θα ορίσουμε εμείς.

**3.7 Διαστασιολόγηση μόνιμης επένδυσης – Plates**

Η κατηγορία σκυροδέματος C40/50 που χρησιμοποιήθηκε για τα προκατασκευασμένα στοιχεία, επομένως η χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου είναι  $f_{ck}=40$  MPa. Άρα το ισοδύναμο μέτρο ελαστικότητας δίνεται από τον τύπο:

$$E_{cm} = 9,5 \cdot (f_{ck} + 8)^{1/3} = 3,57 \cdot 10^7 \text{ kPa}$$

Για να υπολογίσουμε την δυστένεια (axial stiffness) EA, καθώς και την δυσκαμψία (flexural rigidity) EI του φορέα μας κάνουμε τα εξής:

*Εμβαδόν φορέα στην επίπεδη παραμόρφωση:  $A = b \cdot h$*

Το b αφορά την διάσταση εκτός επιπέδου που θεωρείται μονάδα, το h την διάσταση εντός επιπέδου που είναι το πάχος των στοιχείων.

$$A = 1\text{m} \cdot 0,30\text{m} = 0,30\text{m}^2$$

Ροπή αδράνειας:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{1\text{m} \cdot 0,30^3}{12} = 0,00225\text{m}^4$$

Δυστένεια:

$$EA = 3,57 \cdot 10^7 \text{ kPa} \cdot 0,30\text{m}^2 = 1,071 \cdot 10^7 \text{ kN/m σήραγγας}$$

Δυσκαμψία:

$$EI = 3,57 \cdot 10^7 \text{ kPa} \cdot 0,00225\text{m}^4 = 8,0325 \cdot 10^4 \text{ kNm}^2/\text{m σήραγγας}$$

Όσον αφορά το βάρος των στοιχείων ισχύει ο τύπος:

$$w = \gamma_{σκ} \cdot h = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,3\text{m} = 7,5 \text{ kN/m/m σήραγγας}$$

Ο δείκτης Poisson κυμαίνεται από 0 έως 0,2 και λαμβάνουμε την τιμή  $\nu = 0,2$  (Σχήμα 3.18).

Το πρόγραμμα δεν περιέχει τη βισκώδη απόσβεση στα εδαφικά μοντέλα. Συνεπώς, πρέπει να οριστεί από τον χρήστη σύμφωνα με δυο παραμέτρους απόσβεσης (Rayleigh damping). Οι παράμετροι *alpha* ( $\alpha$ ) και *beta* ( $\beta$ ) είναι οι λεγόμενοι συντελεστές του Rayleigh και συνδέονται μεταξύ τους με την εξίσωση:

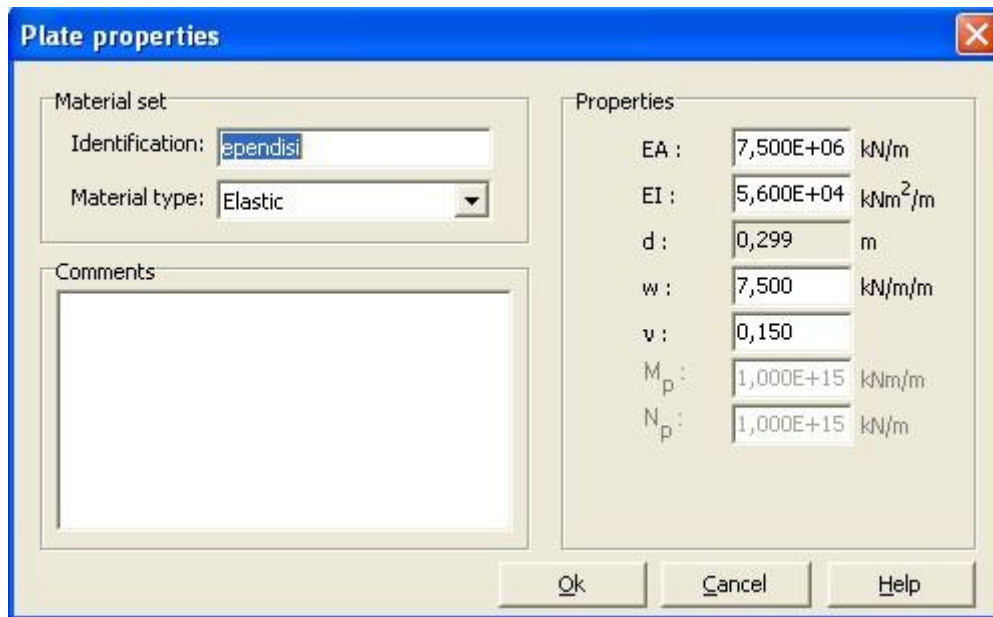
$$C = \alpha \cdot M + \beta \cdot K$$

Η απόσβεση Rayleigh αποτελεί ένα από τα πιο κατάλληλα μέτρα απόσβεσης, το οποίο συνδυάζει την επίδραση της απόσβεσης με την μάζα και την δυσκαμψία του συστήματος. Ο συντελεστής “Rayleigh alpha” είναι η παράμετρος που καθορίζει την επιρροή της μάζας στην απόσβεση του συστήματος, ενώ ο συντελεστής “Rayleigh beta” είναι η παράμετρος που καθορίζει την επιρροή της δυσκαμψίας. Οι συντελεστές αυτοί μπορούν να καθοριστούν από τουλάχιστον δυο δεδομένες τιμές της απόσβεσης  $\xi_i$ , οι οποίες ανταποκρίνονται σε δύο συχνότητες ταλάντωσης  $\omega_i$ . Η σχέση των  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\xi$ ,  $\omega$  είναι η εξής:

$$\alpha + 2 \cdot \beta \cdot \omega_i = 2 \cdot \omega_i \xi_i$$

Θέτοντας δυο τιμές του  $\xi$ , αφού υπολογιστούν οι δύο αντίστοιχες τιμές  $\omega$ , από το σύστημα των δυο εξισώσεων βρίσκονται οι τιμές των  $\alpha$  και  $\beta$ .

Στην ανάλυση που πραγματοποιήσαμε οι συντελεστές αυτοί λήφθηκαν 0 (Σχήμα 3.18), αφού οι δυναμικές αναλύσεις (με σεισμικά φορτία) δεν αποτελούν μέρος της εργασίας.



Σχήμα 3.18: Εισαγωγή παραμέτρων για προκατασκευασμένα στοιχεία

### **3.8 Διακριτοποίηση μοντέλου προσομοιώματος με πεπερασμένα στοιχεία**

Αφού οριστούν πλήρως τα υλικά εδάφους και κατασκευής, στη συνέχεια πρέπει να οριστεί ο κάρναβος των πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιεί το λογισμικό για κάθε επίλυση. Ο κάρναβος θα υποδιαιρεθεί αυτόματα σε μικρότερα τριγωνικά στοιχεία, με την εντολή “Generate mesh” από το “Input” όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.19. Το δίκτυο αυτό εμφανίζεται σε ακατάστατη μορφή, όπου η θέση αλλά και ο προσανατολισμός των τριγωνικών στοιχείων γίνεται τυχαία από το πρόγραμμα.

Όσο πιο πυκνό είναι το δίκτυο των πεπερασμένων στοιχείων, τόσο πιο λεπτομερής θα είναι η ανάλυση, αλλά ανάλογα θα αυξηθεί και ο χρόνος υπολογισμού. Το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα επιλογής του ποσοστού πύκνωσης των πεπερασμένων στοιχείων. Οι επιλογές πύκνωσης που παρέχονται είναι οι επόμενες και μπορούν να αλλάξουν από την επιλογή “Global coarseness” από το μενού “Mesh”.

- Very coarse
- Coarse
- Medium
- Fine
- Very fine

Μπορεί από το μενού “Mesh” να γίνει επιπλέον πύκνωση του κάρναβου, είτε περιοχής εδάφους με την επιλογή “Refine cluster”, είτε γύρω από κάποιο στοιχείο επένδυσης με την επιλογή “Refine line”. Ο κάρναβος επικυρώνεται με την επιλογή “Update”.

Στην περίπτωσή μας χρησιμοποιούμε την πύκνωση “Fine”, επιλέγοντας την εντολή “Refine cluster” για το υλικό που υπάρχει μέσα στις δυο σήραγγες και την εντολή “Refine line” δυο φορές, και εξαναγκάζουμε έτσι να γίνει πύκνωση των στοιχείων μέσα στις σήραγγες και στο πάνω σύνορο αντίστοιχα, όπου θέλουμε μεγαλύτερη ακρίβεια για να προσεγγίσουμε καλύτερα τις επιφανειακές καθιζήσεις.

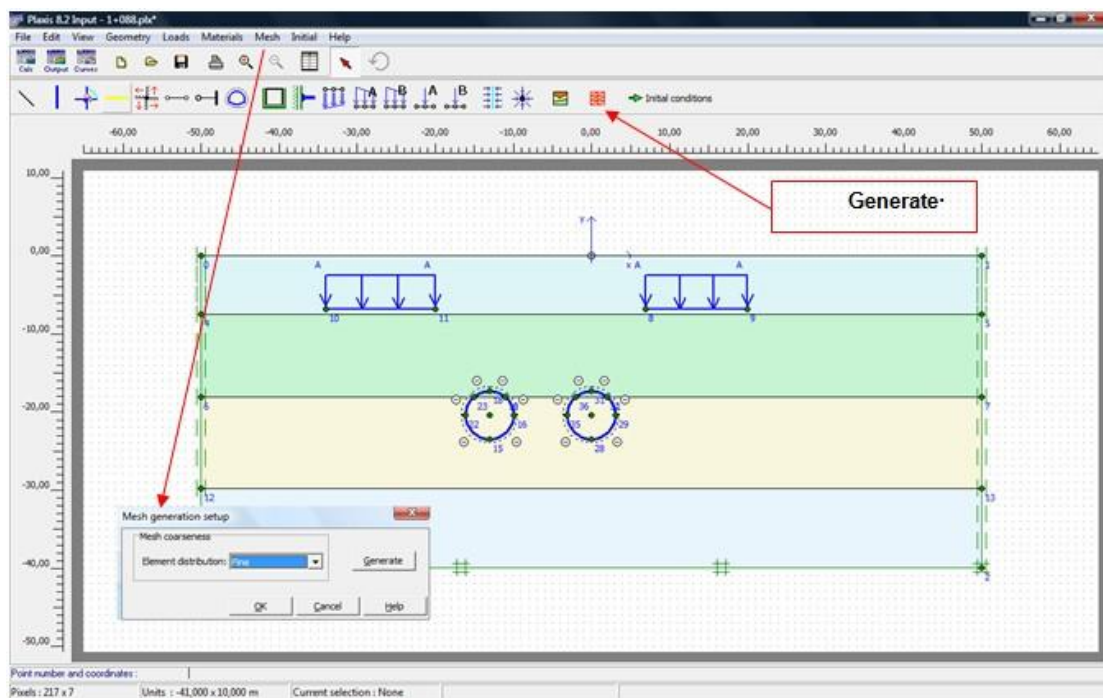
### Κεφάλαιο 3

Το μέσο μέγεθος του πεπερασμένου στοιχείου  $l_e$  δίνεται από τη σχέση:

$$l_e = \sqrt{\frac{(x_{\max} - x_{\min}) \cdot (y_{\max} - y_{\min})}{n_c}}$$

όπου:  $x_{\max, \min}$  και  $y_{\max, \min}$ : οι συντεταγμένες του καννάβου

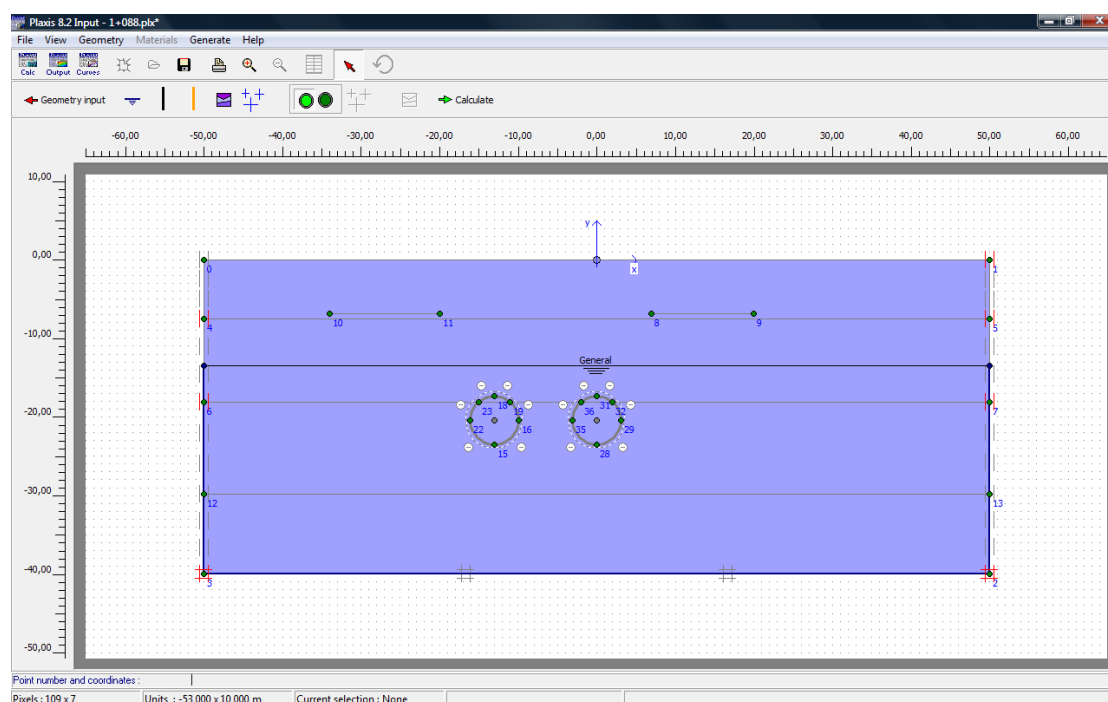
$n_c$ : παράμετρος που εξαρτάται από την κατάσταση πύκνωσης που έχει επιλεγεί (Very coarse  $\rightarrow n_c = 25$ , Coarse  $\rightarrow n_c = 50$ , Medium  $\rightarrow n_c = 100$ , Fine  $\rightarrow n_c = 200$ , Very fine  $\rightarrow n_c = 400$ )



Σχήμα 3.19: Δημιουργία καννάβου πεπερασμένων στοιχείων

### 3.9 Πρόγραμμα υπολογισμού αρχικών συνθηκών – Initial Conditions

Στο σημείο αυτό υπολογίζονται οι αρχικές συνθήκες του μοντέλου. Αυτό περιλαμβάνει τον υπολογισμό των αρχικών υδροστατικών και γεωστατικών τάσεων. Στις αναλύσεις δημιουργούνται υδροστατικές τάσεις κάτω από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Με την εντολή “Phreatic level” έχοντας πατήσει την εντολή “Initial Conditions” τοποθετούμε την στάθμη του υπόγειου ορίζοντα (Σχήμα 3.20). Η πίεση του νερού των πόρων εμφανίζεται με το πάτημα του εικονιδίου με τους μπλε σταυρούς μέσω της εντολής “Generate water pressures”. Αλλάζοντας τον διακόπτη στην ένδειξη “Initial stresses and geometry configuration” και με το πάτημα του εικονιδίου με τους κόκκινους σταυρούς υπολογίζονται οι κατακόρυφες και οριζόντιες αρχικές γεωστατικές τάσεις ( $\sigma_{yy}$  και  $\sigma_{xx}$  αντίστοιχα). Πρέπει να καθορίσουμε τον συντελεστή ουδετέρων τάσεων  $K_0$  για κάθε γεωλογικό στρώμα, ο οποίος καθορίζει το ποσοστό του βάρους του εδάφους που θα ληφθεί υπόψη στην ανάλυση.

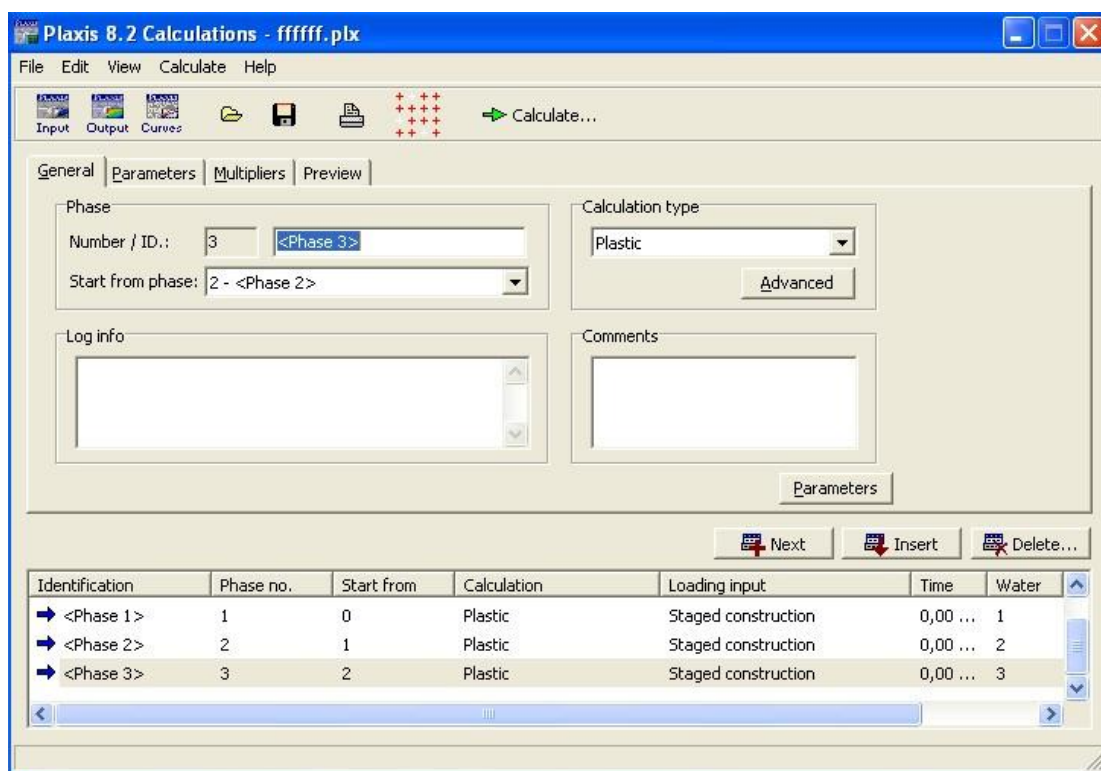


Σχήμα 3.20: Καθορισμός της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα



### 3.10 Πρόγραμμα υπολογισμών – Calculation Program

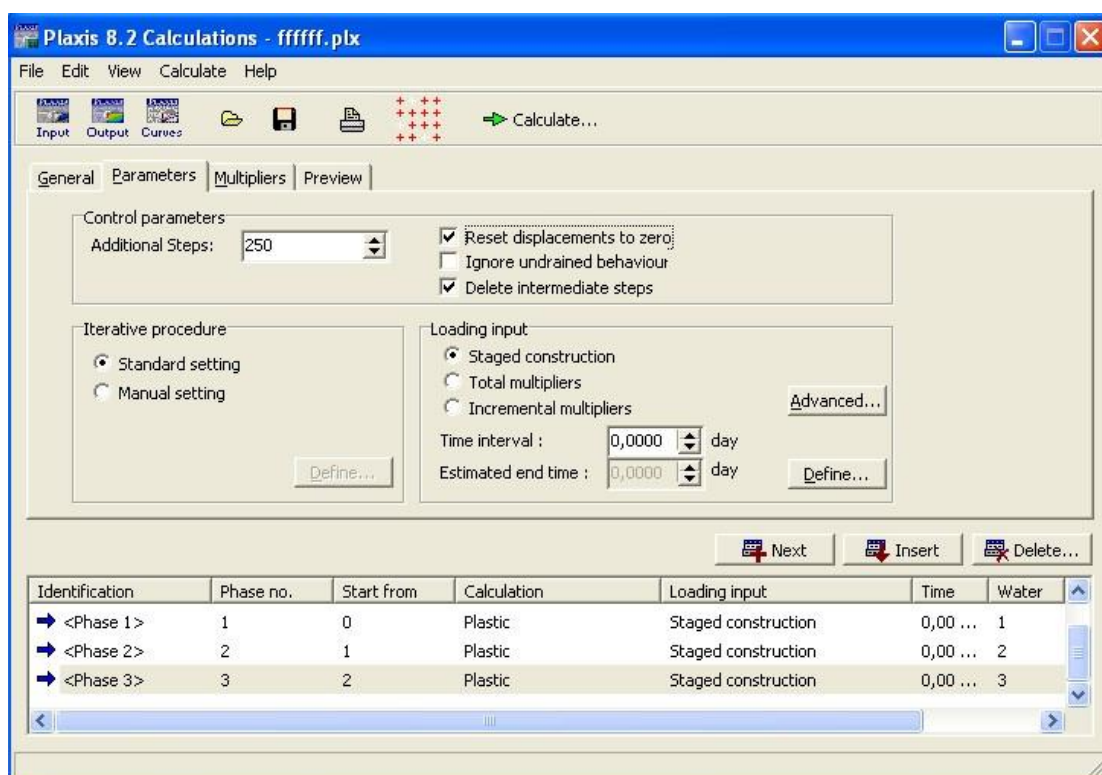
Σε αυτή τη φάση του προγράμματος προσδιορίζονται οι παράμετροι των υπολογισμών που θα πραγματοποιηθούν καθώς γίνεται και η ίδια ανάλυση. Το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να πραγματοποιήσει την ανάλυση σε επιμέρους στάδια. Για κάθε στάδιο υπάρχουν τρεις καρτέλες για τον πλήρη προσδιορισμό των παραμέτρων του κάθε σταδίου (step). Στην πρώτη καρτέλα “General” ορίζονται ο τύπος των υπολογισμών που θα πραγματοποιηθούν. Οι επιλογές που υπάρχουν στο πρόγραμμα είναι “Plastic”, “Consolidation”, και “Phi/c reduction” και “Dynamic analysis” (Σχήμα 3.21). Επίσης, ορίζεται το όνομα του περιγραφόμενου σταδίου καθώς και από το τέλος ποιου σταδίου αρχίζει αυτό.



Σχήμα 3.21: Γενικά χαρακτηριστικά ανάλυσης στο πρόγραμμα υπολογισμών

Στην δεύτερη κατά σειρά καρτέλα (Σχήμα 3.22), ορίζονται οι παράμετροι της ανάλυσης που πραγματοποιούνται σε κάθε στάδιο. Έτσι, ορίζεται ο μέγιστος

αριθμός βημάτων, στα οποία θα πρέπει να ολοκληρωθεί το συγκεκριμένο στάδιο, το γεγονός αν θέλουμε να κρατήσουμε τιμές για όλα τα βήματα υπολογισμού, ή να μηδενιστούν οι μετακινήσεις του προηγούμενου σταδίου και αν θέλουμε να αγνοήσουμε τις αστράγγιστες συνθήκες. Επίσης, μπορεί να επιλεγεί ο τρόπος της εισαγόμενης φόρτισης. Έτσι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε η επιλογή “Total multipliers” για συνολική επιβολή των φορτίσεων που ορίζονται στην καρτέλα “Multipliers”, είτε η επιλογή “Staged construction” για διαφοροποίηση του μοντέλου της κατασκευής.



Σχήμα 3.22: Παράμετροι ανάλυσης στο πρόγραμμα υπολογισμών

Με την εντολή “Define” όπως βλέπουμε στο παραπάνω σχήμα επιλέγουμε τα βήματα που θέλουμε να εκτελούνται σε κάθε στάδιο.

Στο πρώτο στάδιο γίνεται η εφαρμογή των γεωστατικών φορτίων και των φορτίων επιφόρτισης στο επίπεδο του εδάφους.

Στο δεύτερο στάδιο γίνεται η διάνοιξη της πρώτης σήραγγας και ενεργοποίηση των προκατασκευασμένων δακτυλίων, καθώς και η αφαίρεση του νερού μέσα από τη

σήραγγα με την εντολή “Cluster dry”. Επίσης, πρέπει να μηδενίσουμε τις μετακινήσεις του πρώτου σταδίου, διότι θέλουμε να μετρήσουμε τις μετακινήσεις από εδώ και πέρα. Επομένως, επιλέγουμε με κλικ την εντολή “Reset displacements to zero”.

Στο τρίτο στάδιο γίνεται η διάνοιξη της δεύτερης σήραγγας και η ενεργοποίηση της επένδυσης και η αφαίρεση του νερού όπως και προηγουμένως.



#### **Κεφάλαιο 4. Διαδικασία Αναλύσεων – Παρουσίαση Αποτελεσμάτων**

Στο παρόν κεφάλαιο πρόκειται να αναλυθούν τέσσερα διαφορετικά γεωτεχνικά προσομοιώματα προκειμένου να καταλήξουμε σε αντιπροσωπευτικά συμπεράσματα.

Κάθε γεωτεχνικό πρότυπο απεικονίζει τη δίδυμη σήραγγα του Μετρό Θεσσαλονίκης στην περιοχή του Σταθμού Πανεπιστήμιο. Οι διαφοροποιήσεις μεταξύ τους έγκειται στη θέση του κτιρίου, που βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους σε σχέση με τον άξονα των σηράγγων, καθώς επίσης και στις γεωτεχνικές συνθήκες – παραμέτρους του συγκεκριμένου τμήματος.

Πραγματοποιούνται αναλύσεις με τη βοήθεια του προγράμματος Plaxis V8 ακολουθώντας τα βήματα που περιγράφηκαν στο Κεφάλαιο 3.

Αρχικά και στα τέσσερα κτίρια θα γίνει μελέτη της ανάπτυξης των καθιζήσεων αλλάζοντας την ανηγμένη απώλεια όγκου, δηλαδή τον λόγο  $V_s/V$  από 0,8% σε 1,2% (εκφράζεται ως ποσοστό)- Κεφάλαιο 3.6.

Στη συνέχεια, στα δύο τελευταία κτίρια (Κτίρια 3 και 4), κρατώντας σταθερό τον λόγο  $V_s/V$ , σε πρώτη φάση θα μειώσουμε το μέτρο ελαστικότητας  $E$  κατά 33% περίπου και σε δεύτερη φάση θα το αυξήσουμε κατά 50%.

Επισημαίνεται ότι η επιλογή των τιμών του λόγου  $V_s/V$  δεν είναι τυχαίες. Από μελέτες έχει επιβεβαιωθεί ότι η ανηγμένη απώλεια όγκου στο Μετρό Θεσσαλονίκης έφτασε το 0,8% και 1,2%. Δεδομένου ότι η τιμή του λόγου αυτού σε ανάλογες συνθήκες φτάνει μέχρι το 1% συνήθως, αντιλαμβανόμαστε ότι αναφερόμαστε στις ανώτερες τιμές που μπορεί να λάβει. Στην πραγματικότητα μέσα από αυτή τη διαδικασία γίνεται διαπίστωση της επίδρασης της αλλαγής του λόγου αυτού στην εκδήλωση των μετακινήσεων – παραμορφώσεων κατά τη διάνοιξη των σηράγγων.

Αντιθέτως, η επιλογή των τιμών αύξησης και μείωσης του μέτρου ελαστικότητας  $E$  ήταν τυχαία. Σκοπός ήταν να διερευνηθεί η συμπεριφορά των μετακινήσεων με

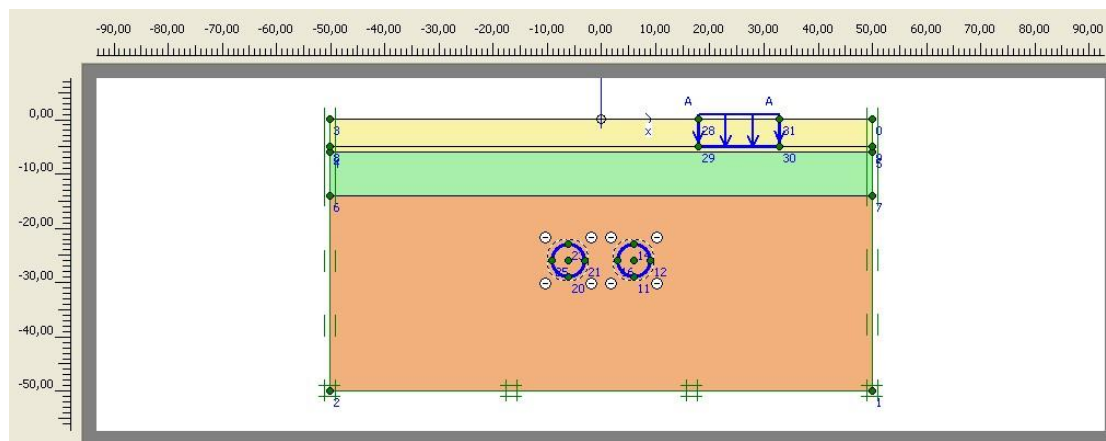
πιθανή απόκλιση από τις πραγματικές τιμές του μέτρου ελαστικότητας από τον μελετητή μηχανικό.

Τέλος δεν θα μπορούσε να παραληφθεί ότι οι τιμές των παράμορφώσεων που πρόκειται να υπολογιστούν από το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων αφορούν σε πρόσθετες μετακινήσεις λόγω της διάνοιξης των σηράγγων, καθώς στο στάδιο 1 κατά την επίλυση των αναλύσεων γίνεται μηδενισμός των μετακινήσεων λόγω ιδίων βαρών του κτιρίου. Στην πραγματικότητα θα έπρεπε να προσθεθούν μεταξύ τους όμως οι μετατοπίσεις λόγω ιδίων βαρών των κτιρίων και μόνο δεν είναι γνωστες.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι αναλύσεις για κάθε κτίριο ξεχωριστά. Στα κτίρια 1 και 2 έγινε αλλαγή μόνο της ανηγμένης απώλειας όγκου (λόγος  $V_s/V$ ) ενώ στα κτίρια 3 και 4 δεν έγινε αλλαγή μόνο στον λόγο  $V_s/V$  αλλά και στο μέτρο ελαστικότητας  $E$ .

### 4.1 Κτίριο 1

Παρακάτω στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζεται η γεωτεχνική τομή που περιγράφει την περιοχή του Κτιρίου 1 έτσι όπως διαμορφώθηκε στο γεωτεχνικό πρόγραμμα Plaxis.



Σχήμα 4.1: Γεωτεχνικό Πρότυπο – Κτίριο 1

Στον Πίνακα 4.1 παρατίθενται όλα τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των εδαφικών σχηματισμών - στρώσεων που εμφανίζονται στη συγκεκριμένη περιοχή.

Πίνακας 4.1			
Γεωτεχνικές παράμετροι – Εδαφικές στρώσεις Κτιρίου 1			
Γεωτεχνικές Παράμετροι	Στρώση 1 (0-6)m	Στρώση 2 (6-14)m	Στρώση 3 (14-50)m
$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	20	21	21,5
$K_x$ (cm/sec)	$1 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$
$K_y$ (cm/sec)	$0,5 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$
$\phi'$ (°)	32°	28°	27°
$C'$ (kPa)	10	35	125
$E$ (MPa)	15	70	300
$\nu$	0,3	0,3	0,3
$K_o$	0,47	0,60	0,60

**Υπόμνημα:**

**Στρώση 1:** Τεχνητές επιχώσεις Επιφανειακές εδαφικές ζώνες μαλακής, μέσης έως στιφρής αμμώδους αργίλου με χάλικες (CL) έως ιλυώδους – αργιλώδους άμμου με χάλικες (SM – SC), χαλαρής έως μέσης πυκνότητας αποθέσεως (πάχος στρώσεως 6m).

**Στρώση 2:** Αμμώδης άργιλος (CL) στιφρή, με ζώνες αργιλώδους ή ιλυώδους άμμου (SC,SM), με χάλικες, μέσης πυκνότητας αποθέσεως (πάχος στρώσεως 8m).

**Στρώση 3:** Αμμώδης άργιλος (CL), σκληρή με ενστρώσεις πυκνού αργιλώδους αμμοχάλικου (SC,SM), έως πολύ ασθενής αργιλόλιθος, ιλυόλιθος ή λατυποπαγές.

Υποθέτουμε ότι η αρχή των νοητών αξόνων (X-Y) του σχήματος 4.1 βρίσκεται στη μέση των αξόνων των δύο σηράγγων όσο αφορά τον άξονα X'X και στην επιφάνεια του εδάφους όσο αφορά τον άξονα Y'Y.

Η Στρώση 1 φτάνει σε βάθος 6 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους, η Στρώση 2 συναντάται από τα -6 μέτρα έως τα -14 μέτρα και τέλος η Στρώση 3 από τα -14 μέτρα και κάτω.

Η δεξιά σήραγγα βρίσκεται στα (6,-26)m ενώ η αριστερή στα (-6,-26)m. Η διάμετρος τους είναι 6 m και βρίσκονται και οι δύο εντός του Στρώματος 3.

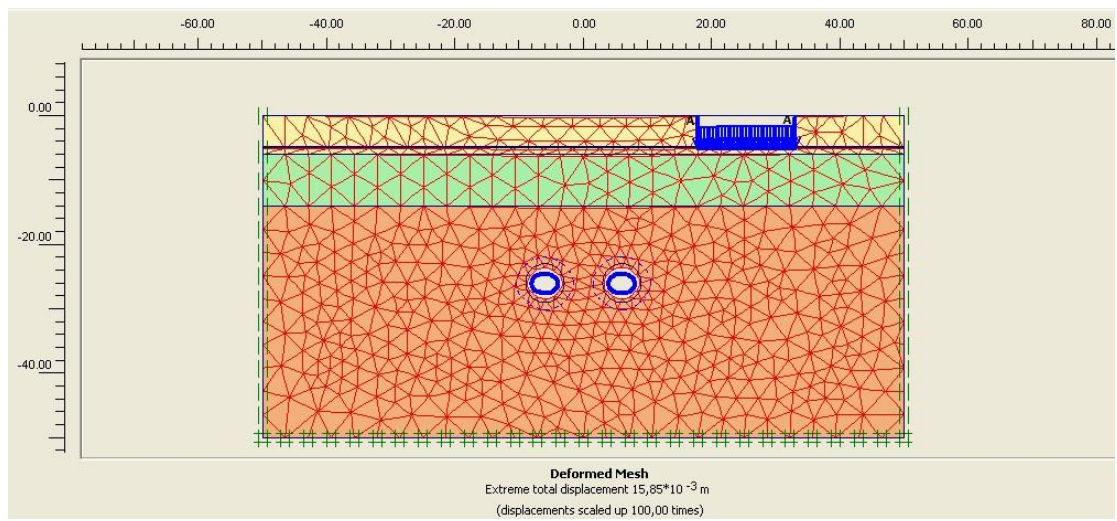
Ο υδροφόρος ορίζοντας εντοπίζεται στα -5 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους.

Τέλος το Κτίριο 1 βρίσκεται στη θέση από (18,0) έως (33,0) δηλαδή 18m από την αρχή των αξόνων ενώ η στάθμη θεμελίωσής του ορίζεται στα 5m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Η απόσταση μεταξύ της στάθμης θεμελίωσης και του κέντρου των σηράγγων είναι  $h=21m$  και έχει φορτίο 100KPa.

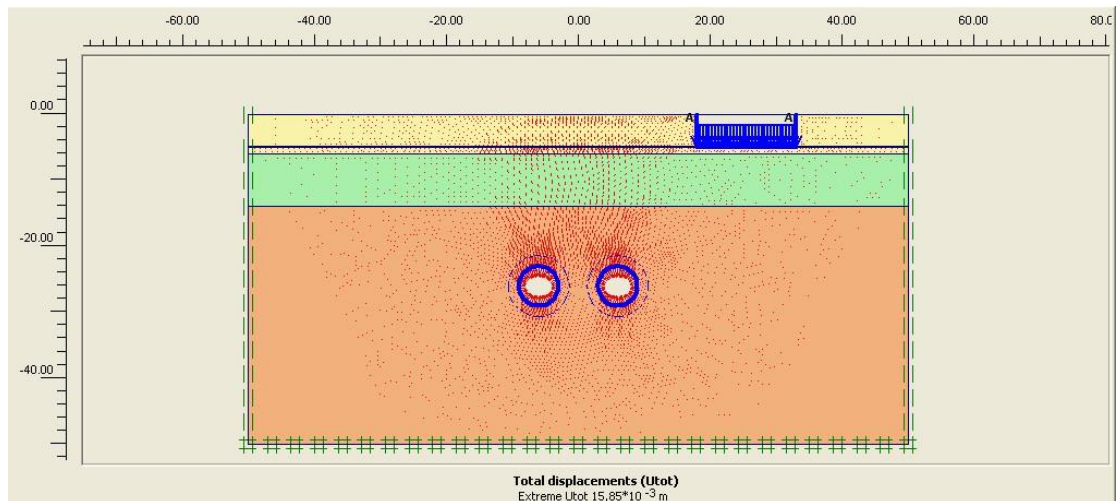
Παρακάτω στις ενότητες 4.1.1 και 4.1.2 φαίνεται ότι έγινε αλλαγή μόνο της ανηγμένης απώλειας όγκου (λόγος  $V_s/V$ ) από 0,8% σε 1,2%. Για κάθε περίπτωση παρουσιάζονται το πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων όπως αυτό προέκυψε με το τέλος της ολοκλήρωσης όλων των σταδίων καθώς και οι μετατοπίσεις.



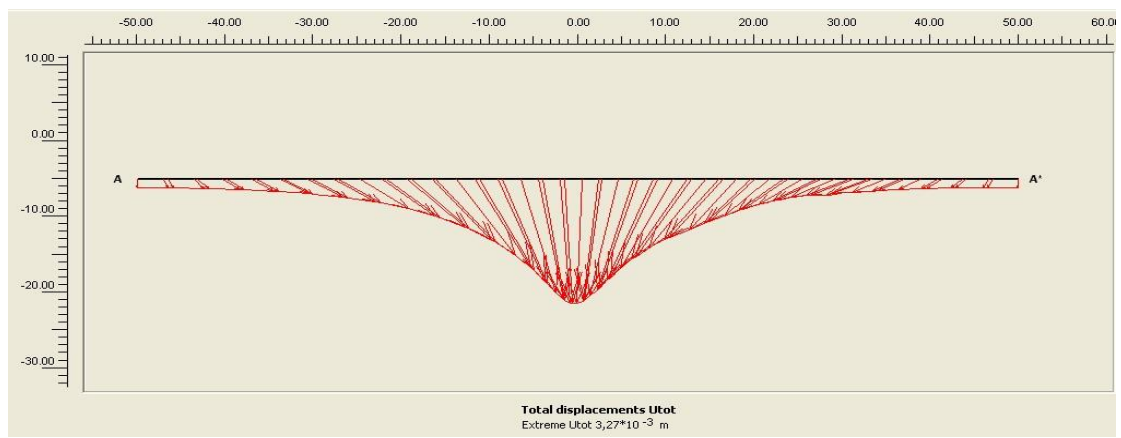
**4.1.1 Κτίριο 1 Ανηγμένη Απώλεια Όγκου  $V_s / V = 0,8 \%$**



**Σχήμα 4.2: Κτίριο 1 – Παραμορφωμένο Πλέγμα Πεπερασμένων Στοιχείων ( $V_s / V = 0,8 \%$ )**

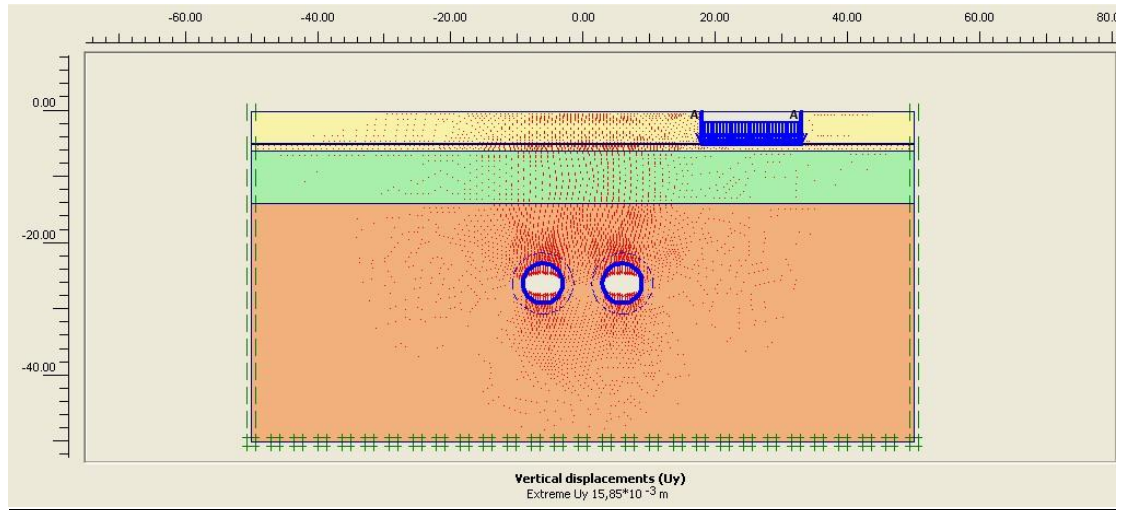


**Σχήμα 4.3: Κτίριο 1 – Ολικές Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ )**

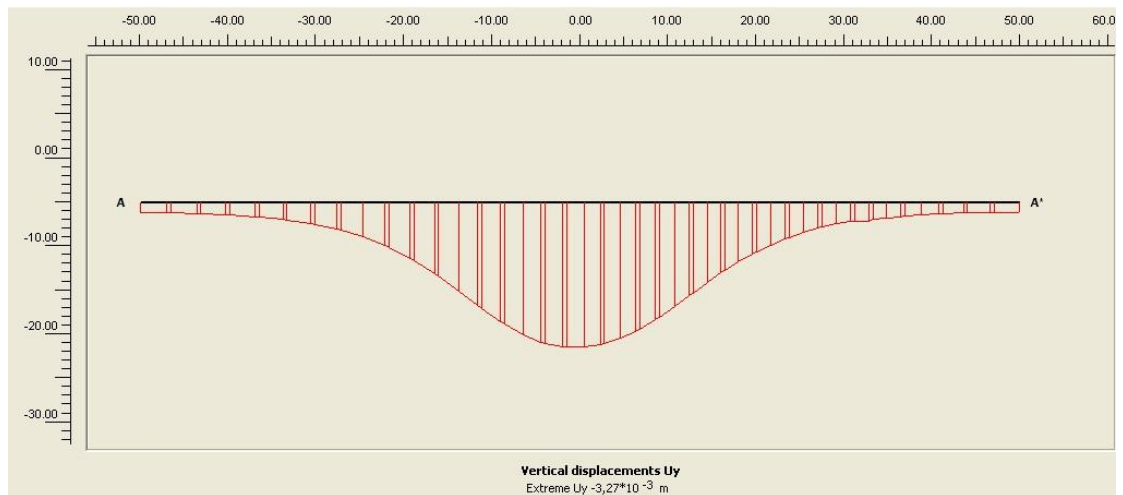


**Σχήμα 4.4: Κτίριο 1 – Διανύσματα Μετατοπίσεων ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) – Τομή A-A'**

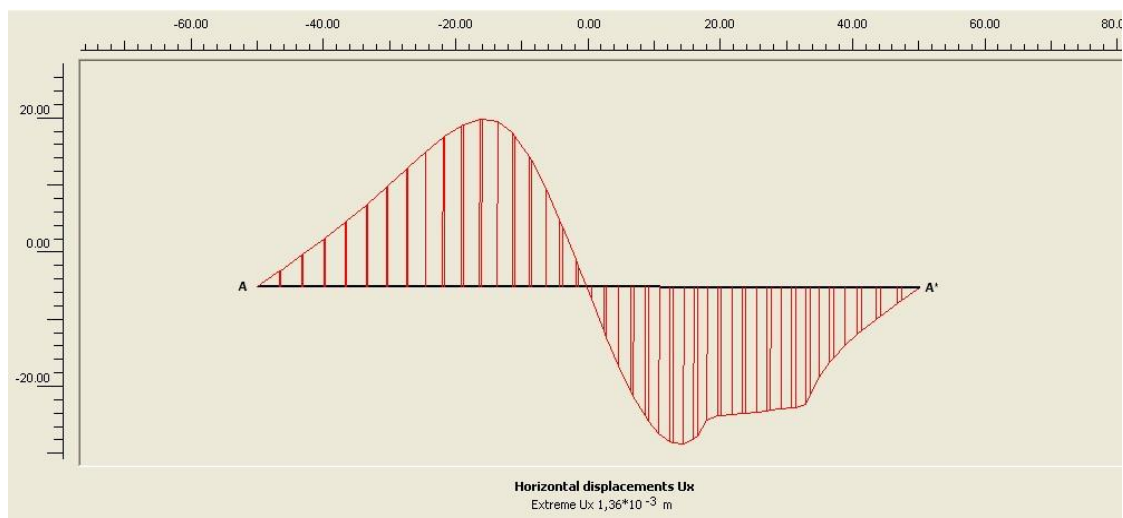
## Κεφάλαιο 4



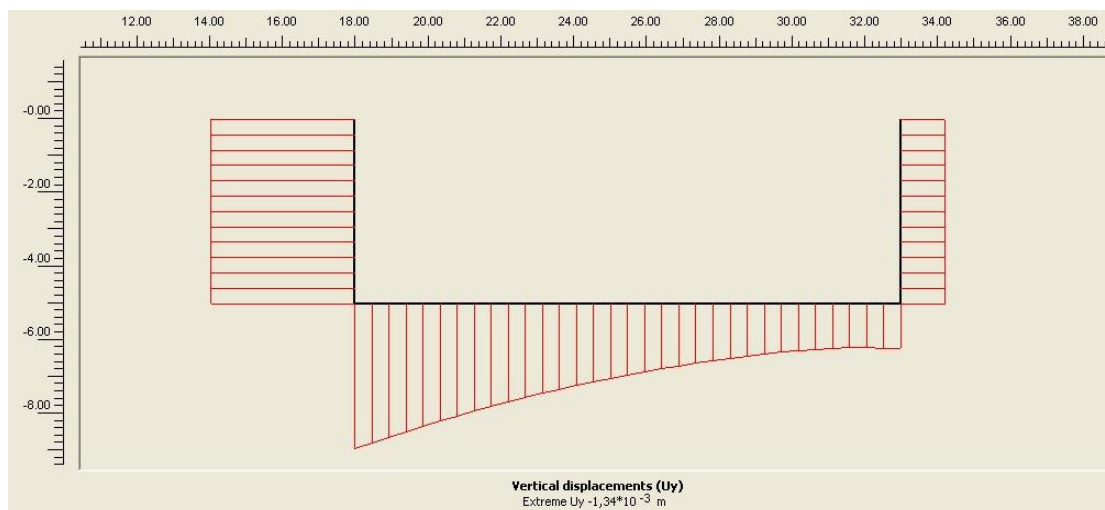
Σχήμα 4.5: Κτίριο 1 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ )



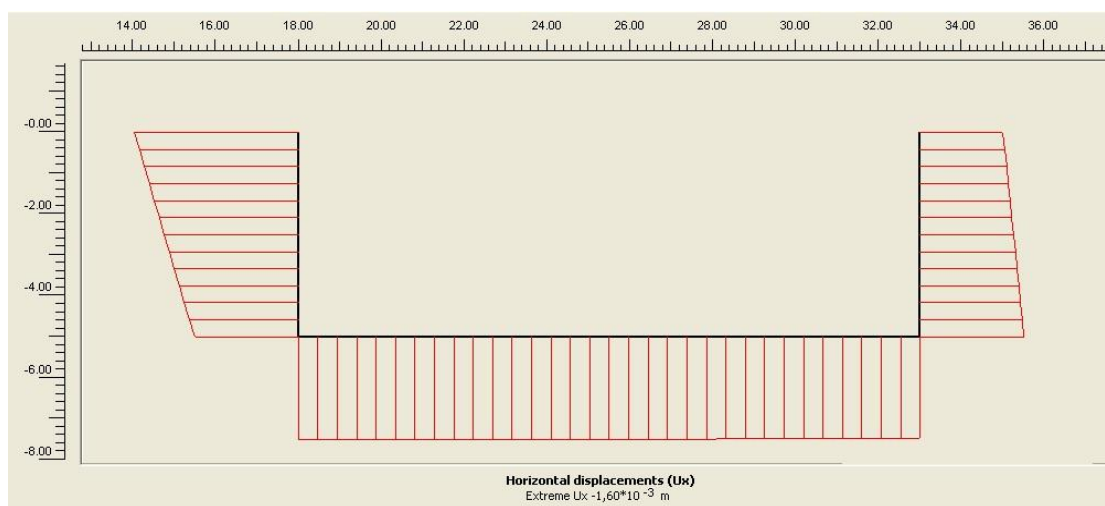
Σχήμα 4.6: Κτίριο 1 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) – Τομή A-A'



Σχήμα 4.7: Κτίριο 1 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) – Τομή A-A'



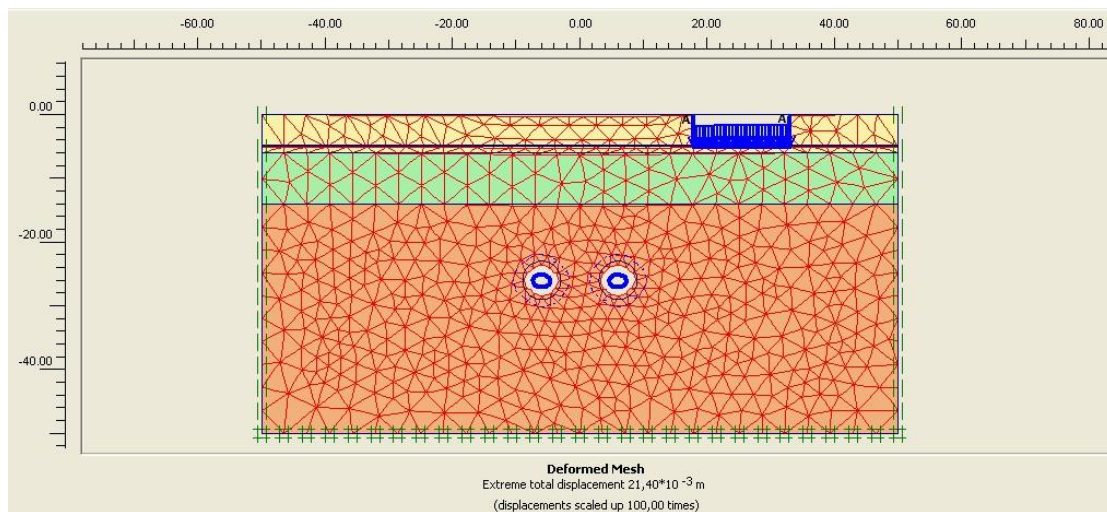
Σχήμα 4.8: Κτίριο 1 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) – Άκρα κτιρίου 1



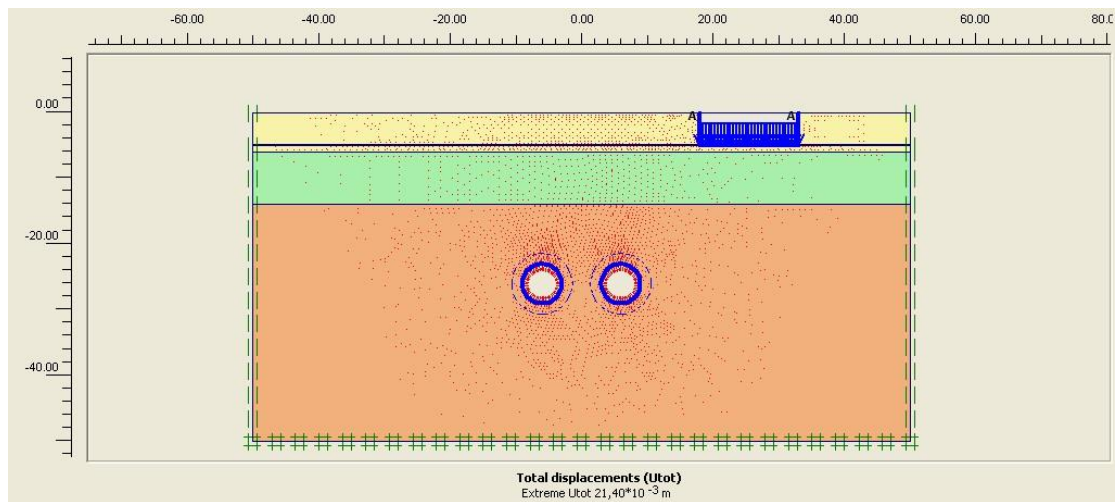
Σχήμα 4.9: Κτίριο 1 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) – Άκρα κτιρίου 1

Πίνακας 4.2		
Περιοχή Κτιρίου 1 – Μετατοπίσεις		
$V_s / V = 0,8 \%$		
Θέση Μετατοπίσεως	$U_y$ (mm)	$U_x$ (mm)
Μέγιστη Μετατόπιση περιοχής A-A'	-3,27	1,36
Εγγύς Άκρο Κτιρίου - Β	-1,345	-0,810
Άκρο Κτιρίου - Γ	-0,418	-0,810

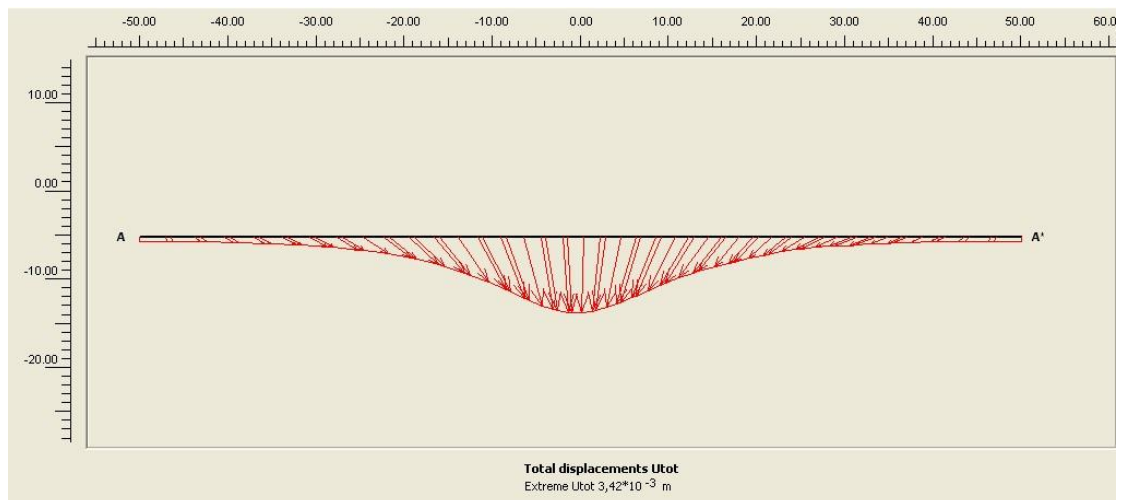
**4.1.2 Κτίριο 1 Ανηγμένη Απώλεια Όγκου  $V_s / V = 1,2 \%$**



**Σχήμα 4.10: Κτίριο 1 – Παραμορφωμένο Πλέγμα Πεπερασμένων Στοιχείων ( $V_s / V = 1,2 \%$ )**



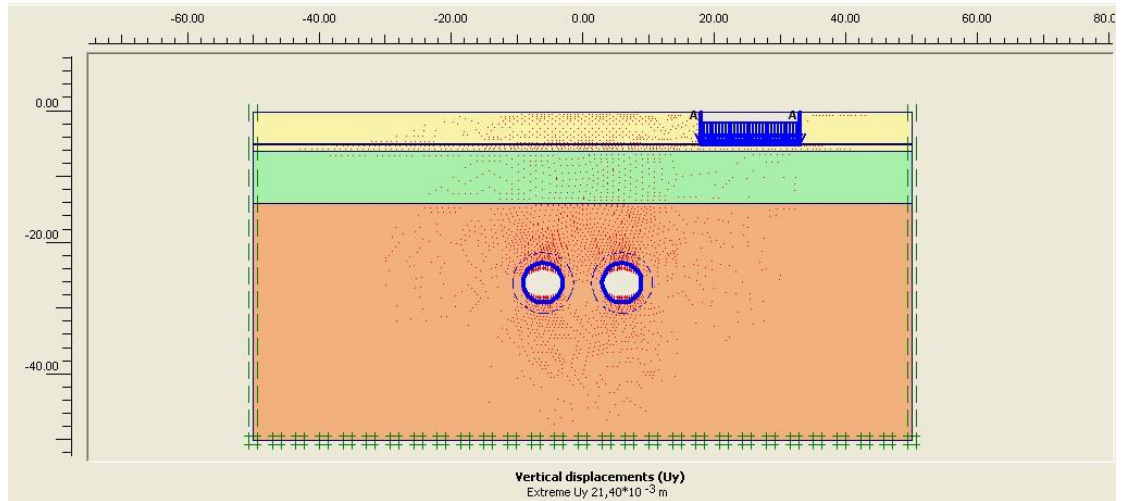
**Σχήμα 4.11: Κτίριο 1 – Ολικές Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ )**



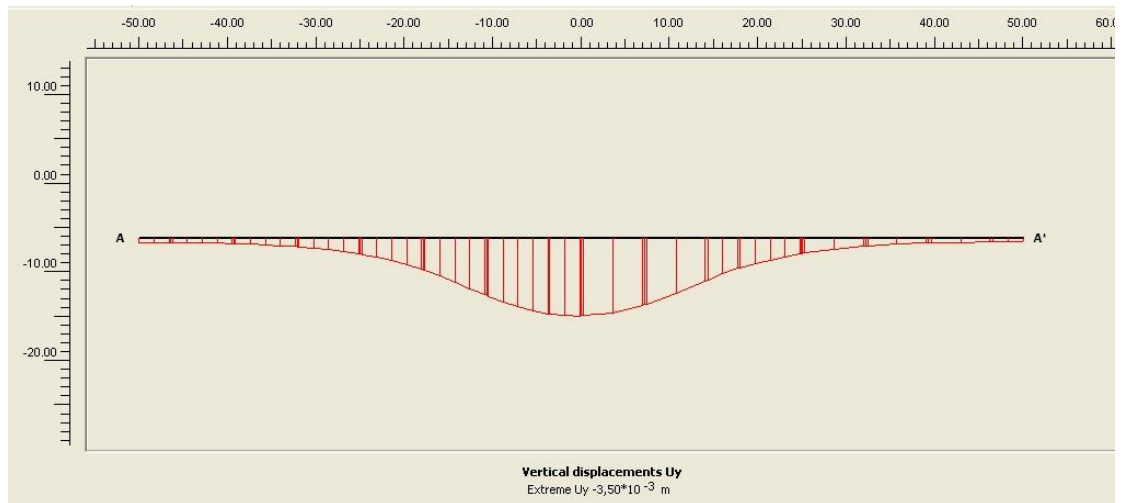
**Σχήμα 4.12: Κτίριο 1 – Διανύσματα Μετατοπίσεων ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) – Τομή A-A'**



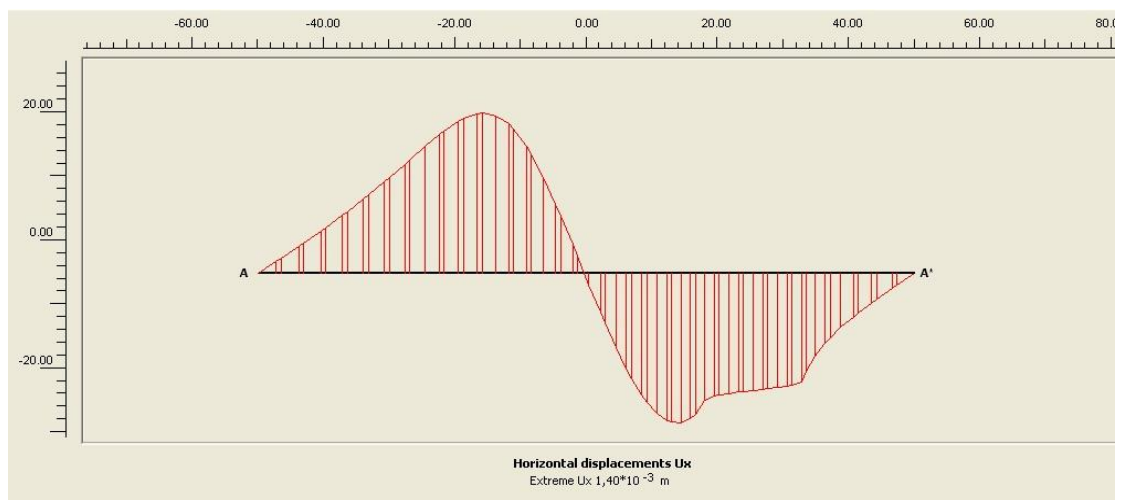
## Κεφάλαιο 4



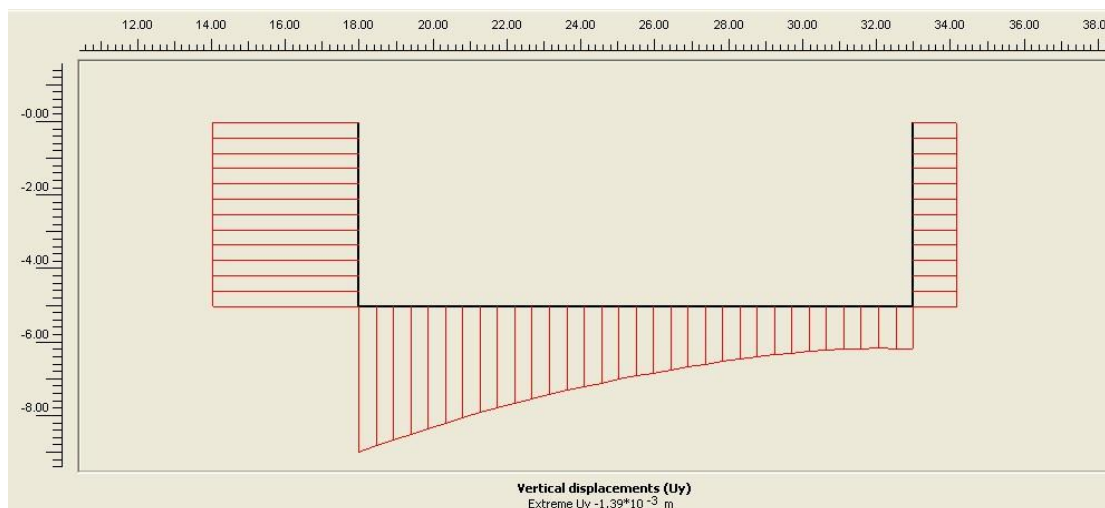
Σχήμα 4.13: Κτίριο 1 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ )



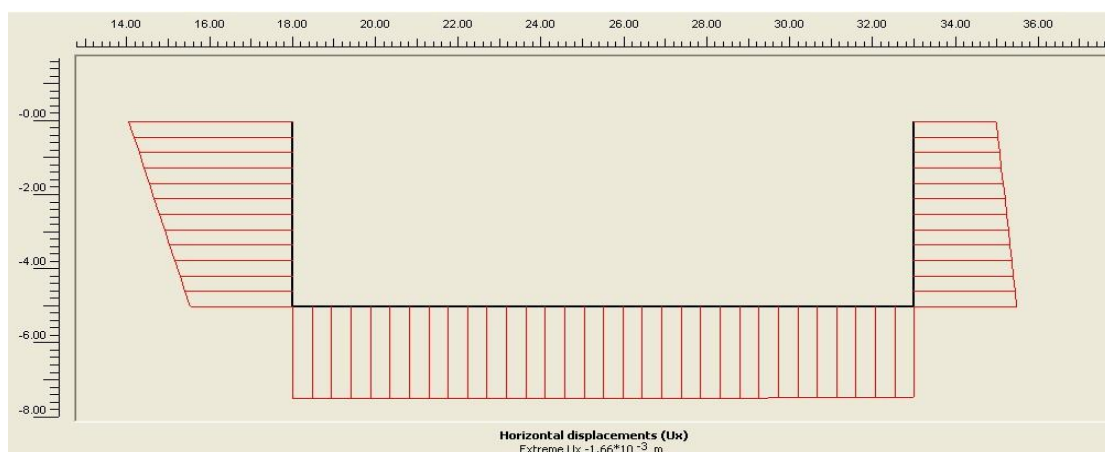
Σχήμα 4.14: Κτίριο 1 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) – Τομή A-A'



Σχήμα 4.15: Κτίριο 1 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) – Τομή A-A'



Σχήμα 4.16: Κτίριο 1 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2\%$ ) – Άκρα κτιρίου 1

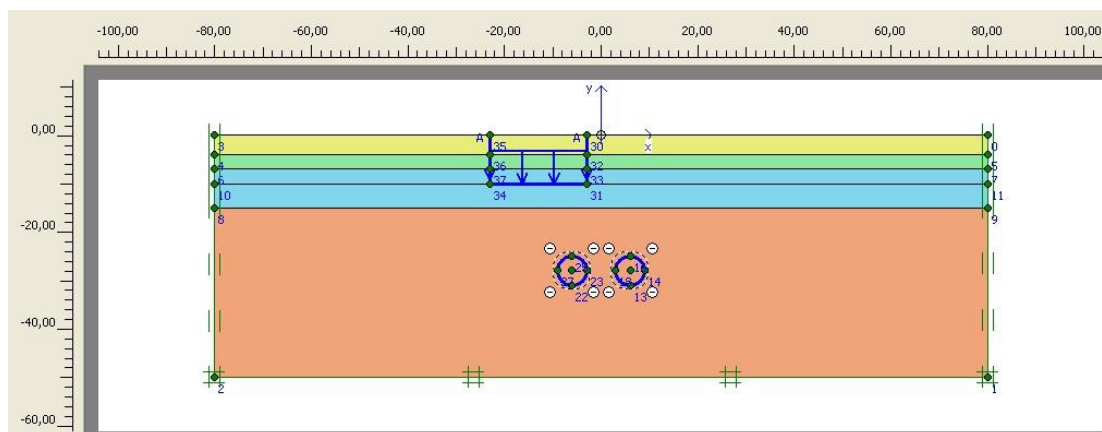


Σχήμα 4.17: Κτίριο 1 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 1,2\%$ ) – Άκρα κτιρίου 1

Πίνακας 4.3		
Περιοχή Κτιρίου 1 – Μετατοπίσεις		
$V_s / V = 1,2\%$		
Θέση Μετατοπίσεως	Uy (mm)	Ux (mm)
Μέγιστη Μετατόπιση περιοχής A-A'	-3,50	1,40
Εγγύς Άκρο Κτιρίου - Β	-2,649	1,272
Άκρο Κτιρίου - Γ	-0,765	1,272

## 4.2 Κτίριο 2

Παρακάτω στο Σχήμα 4.18 παρουσιάζεται η γεωτεχνική τομή που περιγράφει την περιοχή του Κτιρίου 2 έτσι όπως διαμορφώθηκε στο γεωτεχνικό πρόγραμμα Plaxis.



Σχήμα 4.18: Γεωτεχνικό Πρότυπο – Κτίριο 2

Πίνακας 4.4				
Γεωτεχνικές Παράμετροι – Εδαφικές Στρώσεις Κτιρίου 2				
Γεωτεχνικές Παράμετροι	Στρώση 1 (0-4)m	Στρώση 2 (4-7)m	Στρώση 3α (7-15)m	Στρώση 3β (15-50)m
$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	20	21	21,5	21,5
$K_x$ (cm/sec)	$1 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$
$K_y$ (cm/sec)	$5 \times 10^{-4}$	$2,5 \times 10^{-5}$	$2,5 \times 10^{-5}$	$2,5 \times 10^{-5}$
$\phi'$ (°)	32°	28°	27°	27°
$C'$ (KPa)	10	35	100	125
$E$ (MPa)	15	70	165	300
$\nu$	0,3	0,3	0,3	0,3
$K_0$	0,50	0,60	0,60	0,60

### Υπόμνημα :

**Στρώση 1:** Τεχνητές επιχώσεις Επιφανειακές εδαφικές ζώνες μαλακής, μέσης έως σιφρής αμμώδους αργίλου με χάλικες (CL) έως ιλυώδους – αργιλώδους άμμου με

χάλικες (SM – SC), χαλαρής έως μέσης πυκνότητας αποθέσεως(πάχος στρώσεως 4m).

**Στρώση 2:** Αμμώδης άργιλος (CL) στιφρή, με ζώνες αργιλώδους ή ιλυώδους άμμου (SC,SM), με χάλικες, μέσης πυκνότητας αποθέσεως (πάχος στρώσεως 3m).

**Στρώση 3α:** Αμμώδης άργιλος (CL) πολύ στιφρή έως σκληρή με ενστρώσεις πυκνής αργιλώδους άμμου με χάλικες(SC,SM) (πάχος στρώσεως 8m).

**Στρώση 3β:** Αμμώδης άργιλος (CL), σκληρή με ενστρώσεις πυκνού αργιλώδους αμμοχάλικου (SC,SM), έως πολύ ασθενής αργιλόλιθος, ιλυόλιθος ή λατυποπαγές.

Η Στρώση 1 φτάνει σε βάθος 4 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους, η Στρώση 2 συναντάται από τα -4 μέτρα έως τα -7 μέτρα, η Στρώση 3α από τα -7 έως τα -15 μέτρα ενώ η Στρώση 3β ξεκινά από τα -15 μέτρα και εκτίνεται σε βάθος κάτω από το δάπεδο των σηράγγων.

Η δεξιά σήραγγα βρίσκεται στα (6,-28)m ενώ η αριστερή στα (-6,-28)m. Η διάμετρος τους είναι 6 m και βρίσκονται και οι δύο εντός του Στρώματος 3β.

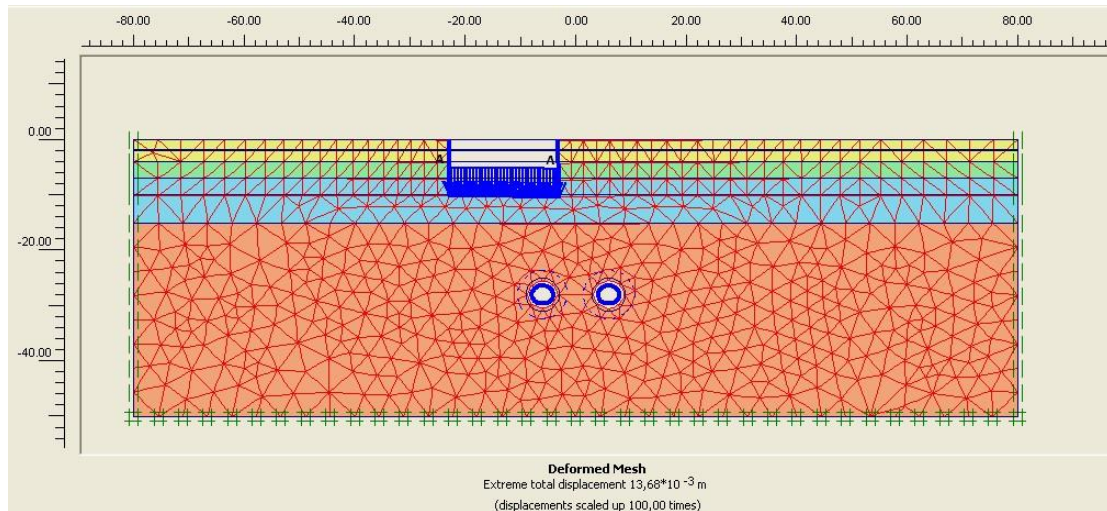
Ο υδροφόρος ορίζοντας εντοπίζεται στα -2 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους.

Τέλος το Κτίριο 2 βρίσκεται στη θέση από (-23,0) έως (-3,0) δηλαδή μόλις 3m από το κέντρο των αξόνων των δύο σηράγγων ενώ η στάθμη θεμελίωσής του ορίζεται στα 10m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Η απόσταση του σημείου θεμελίωσης από ο κέντρο των σηράγγων είναι  $h=18m$  και έχει φορτίο 160 ΚΡα.

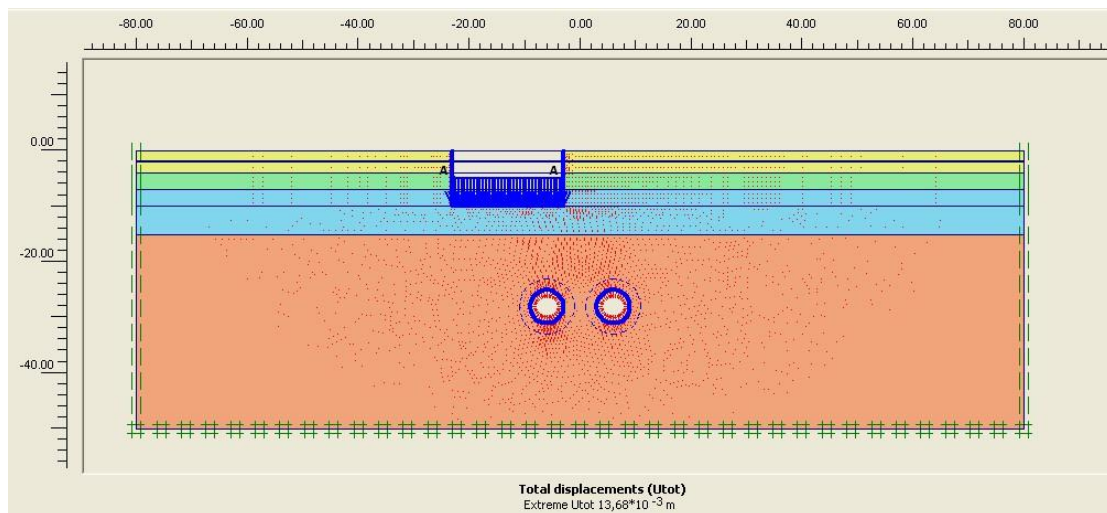
Παρακάτω στις ενότητες 4.2.1 και 4.2.2 φαίνεται ότι έγινε αλλαγή μόνο της ανηγμένης απώλειας όγκου (λόγος  $V_s/V$ ) από 0,8% σε 1,2% όπως και στο Κτίριο 1. Για κάθε περίπτωση παρουσιάζονται το πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων όπως αυτό προέκυψε με το τέλος της ολοκλήρωσης όλων των σταδίων καθώς και οι μετατοπίσεις.



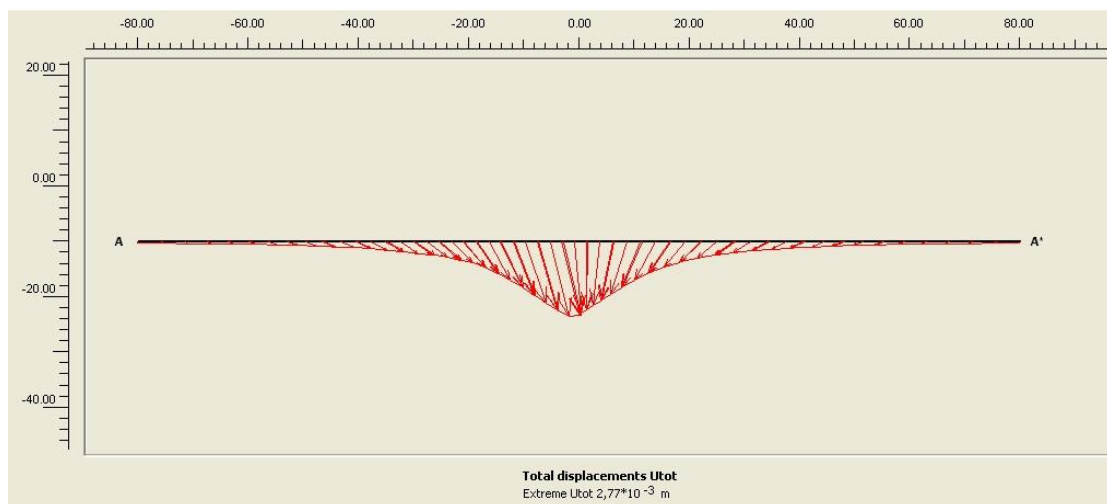
**4.2.1 Κτίριο 2 Ανηγμένη Απώλεια Όγκου  $V_s / V = 0,8 \%$**



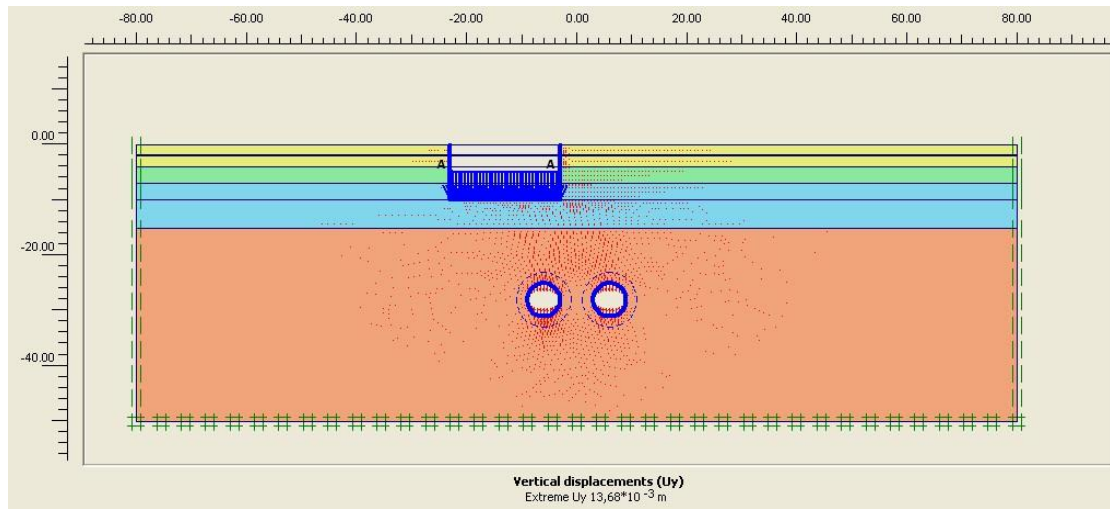
**Σχήμα 4.19: Κτίριο 2 – Παραμορφωμένο Πλέγμα Πεπερασμένων Στοιχείων ( $V_s / V = 0,8 \%$ )**



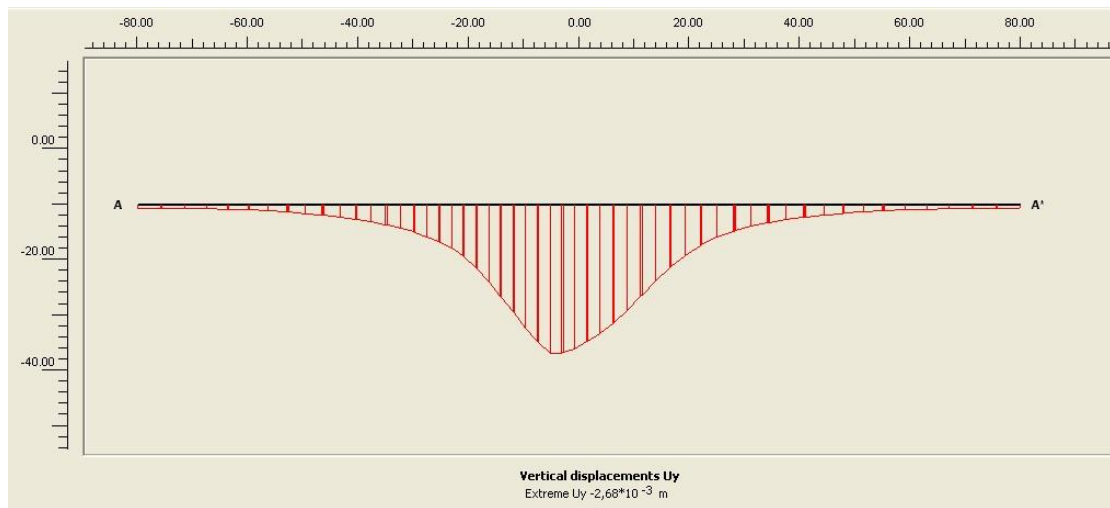
**Σχήμα 4.20: Κτίριο 2 – Ολικές Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ )**



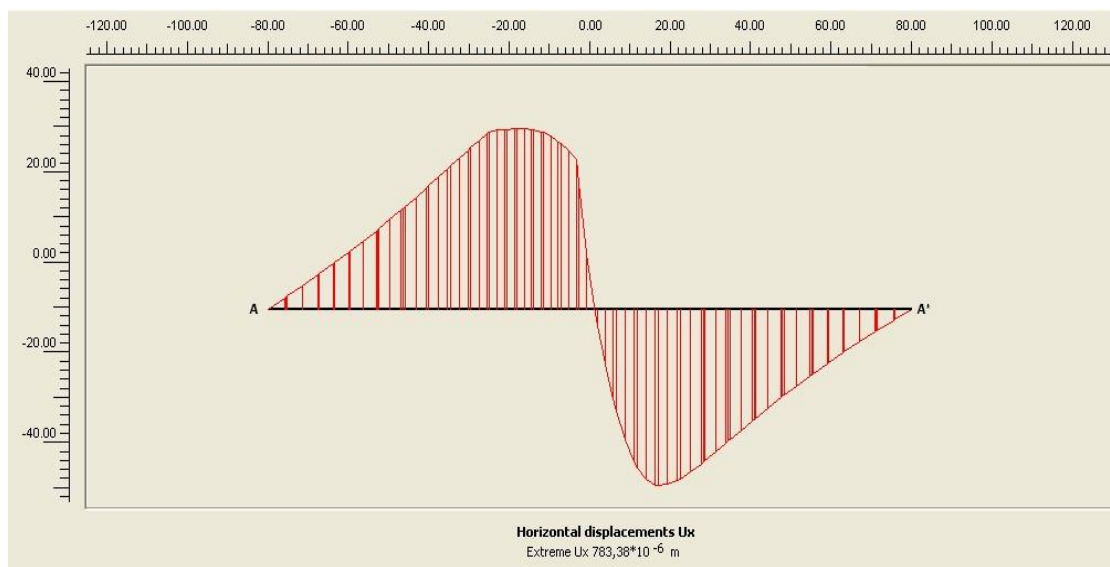
**Σχήμα 4.21: Κτίριο 2 – Διανύσματα Μετατοπίσεων ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) – Τομή A-A'**



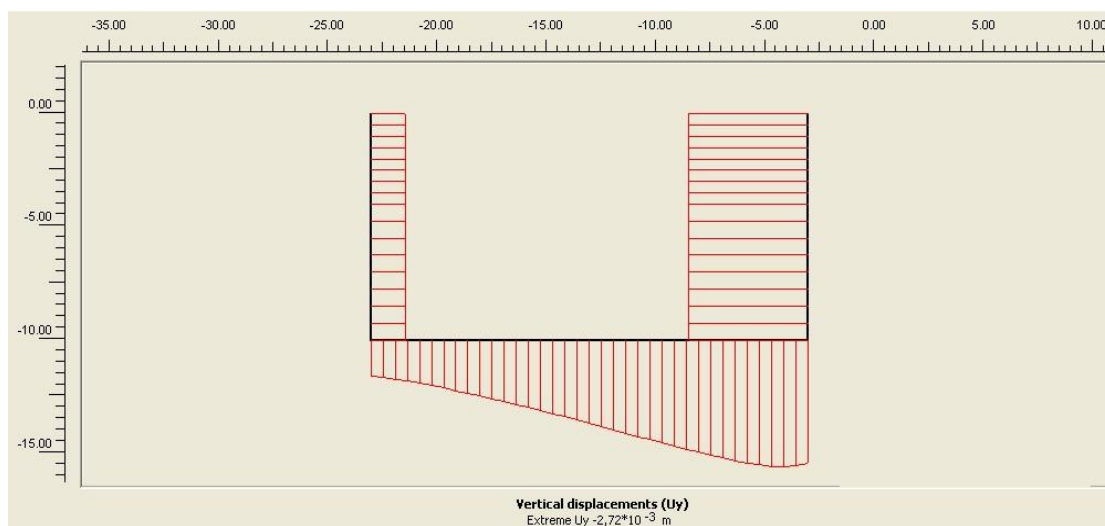
Σχήμα 4.22: Κτίριο 2 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ )



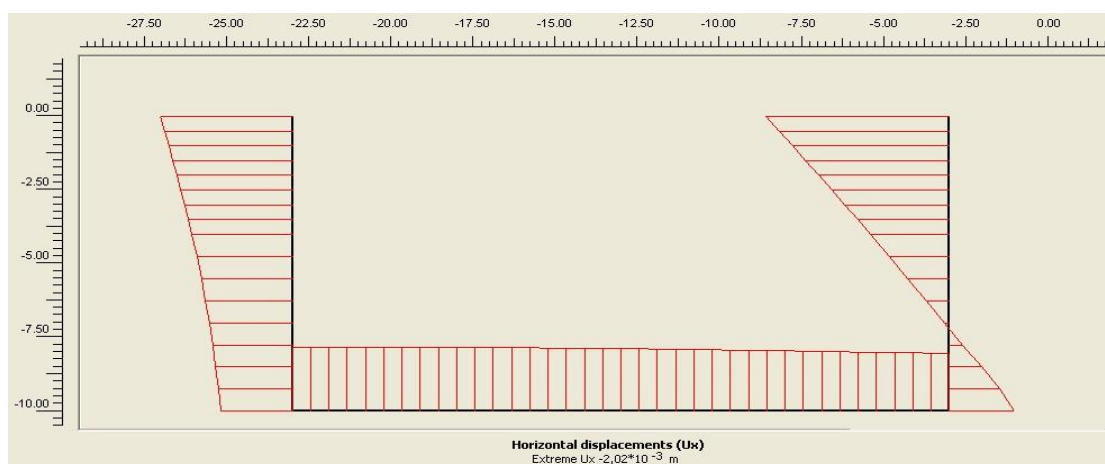
Σχήμα 4.23: Κτίριο 2 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) – Τομή A-A'



Σχήμα 4.24: Κτίριο 2 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) – Τομή A-A'



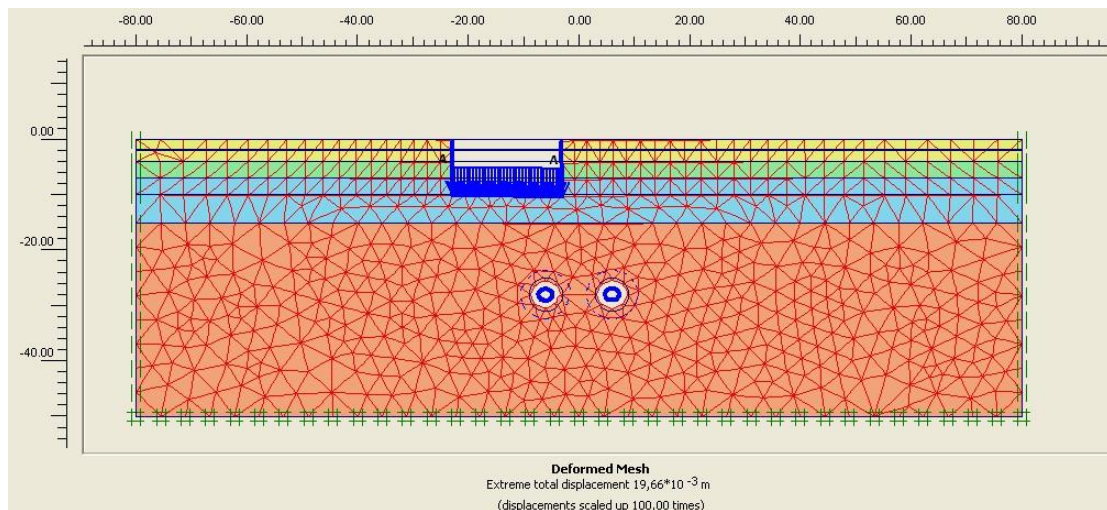
Σχήμα 4.25: Κτίριο 2 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) – Άκρα κτιρίου 2



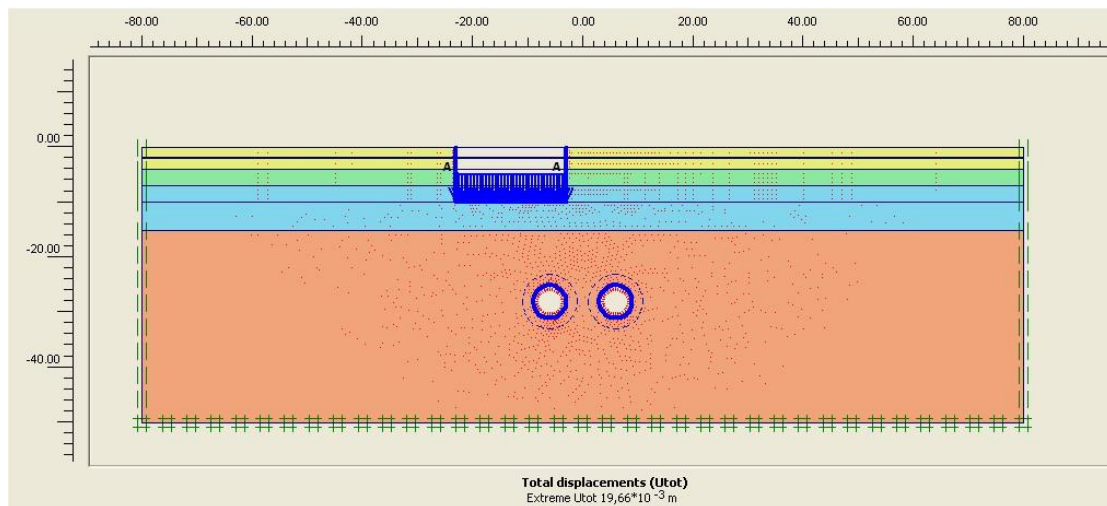
Σχήμα 4.26: Κτίριο 2 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) – Άκρα κτιρίου 2

Πίνακας 4.5		
Περιοχή Κτιρίου 2 – Μετατοπίσεις		
$V_s / V = 0,8 \%$		
Θέση Μετατοπίσεως	$U_y$ (mm)	$U_x$ (mm)
Μέγιστη Μετατόπιση περιοχής A-A'	-2,68	0,783
Εγγύς Άκρο Κτιρίου - Β	-2,649	1,272
Άκρο Κτιρίου - Γ	-0,765	1,272

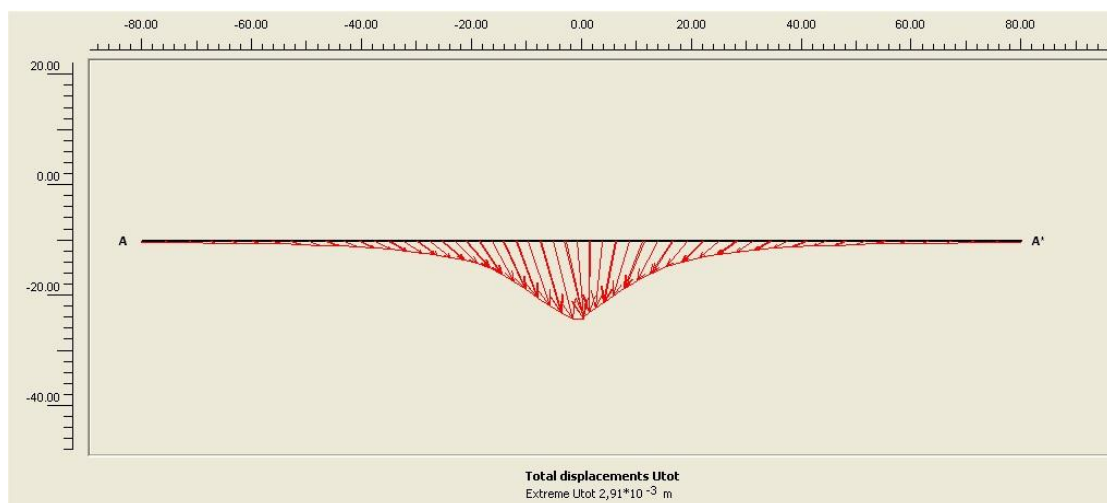
**4.2.2 Κτίριο 2 Ανηγμένη Απώλεια Όγκου  $V_s / V = 1,2 \%$**



**Σχήμα 4.27: Κτίριο 2 – Παραμορφωμένο Πλέγμα Πεπερασμένων Στοιχείων ( $V_s / V = 1,2 \%$ )**



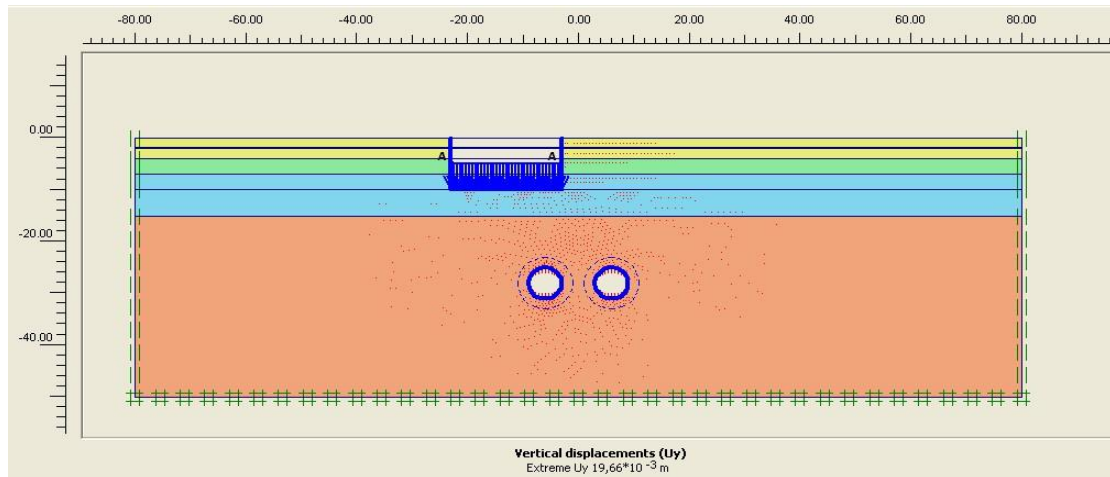
**Σχήμα 4.28: Κτίριο 2 – Ολικές Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ )**



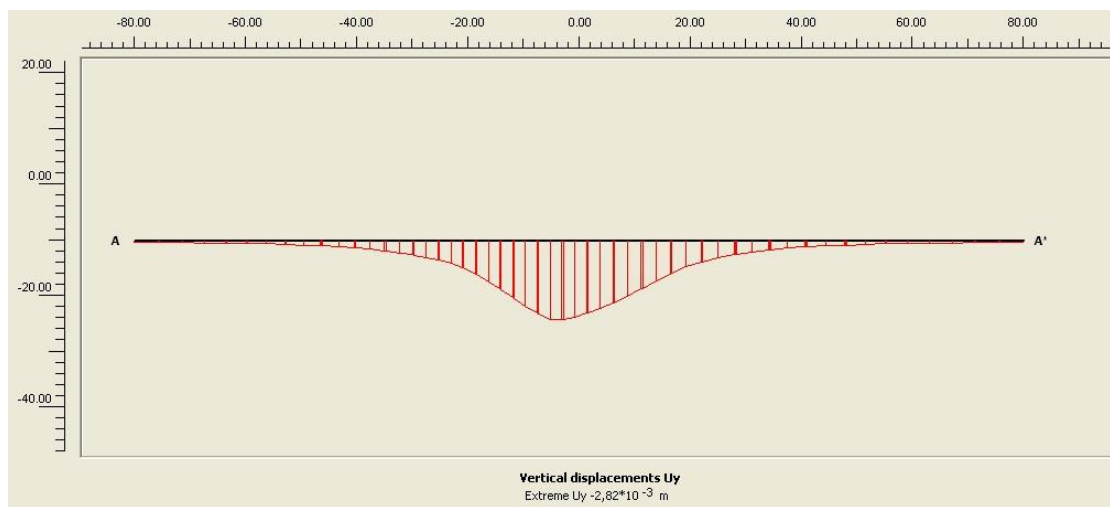
**Σχήμα 4.29: Κτίριο 2 - Διανύσματα Μετατοπίσεων ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) – Τομή A-A'**



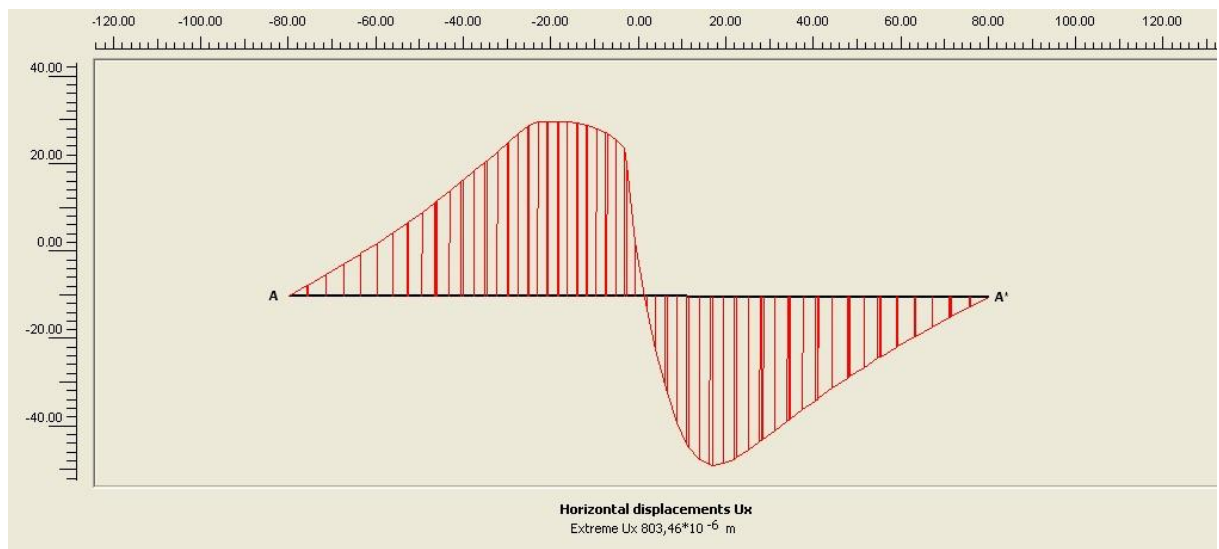
## Κεφάλαιο 4



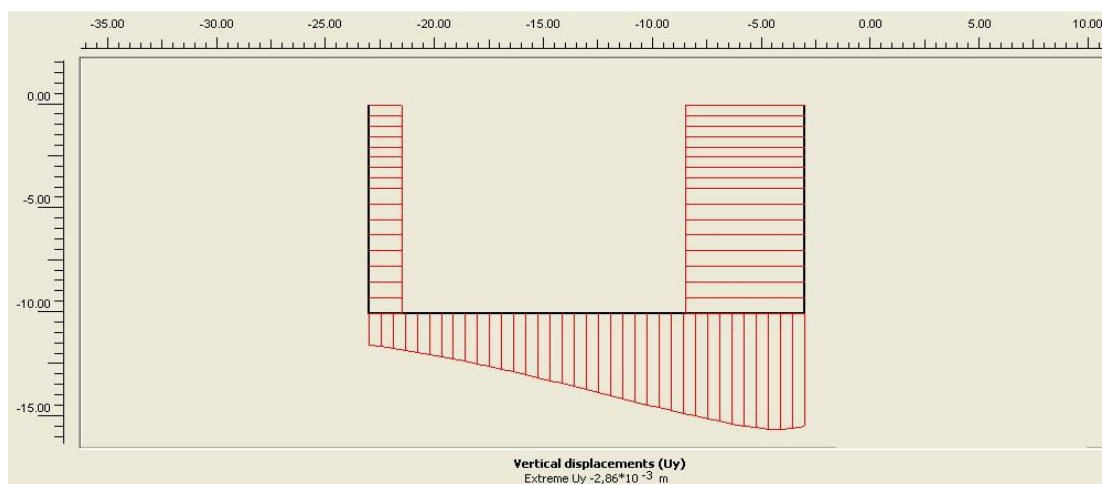
Σχήμα 4.30: Κτίριο 2 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ )



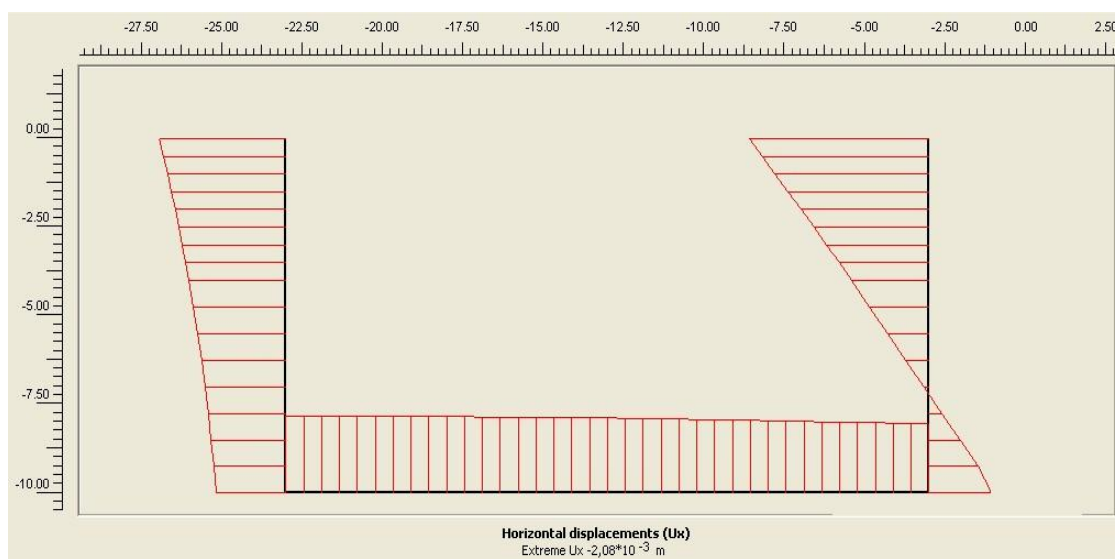
Σχήμα 4.32: Κτίριο 2 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) – Τομή A-A'



Σχήμα 4.32: Κτίριο 2 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) – Τομή A-A'



**Σχήμα 4.33: Κτίριο 2 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2\%$ ) – Άκρα κτιρίου 2**

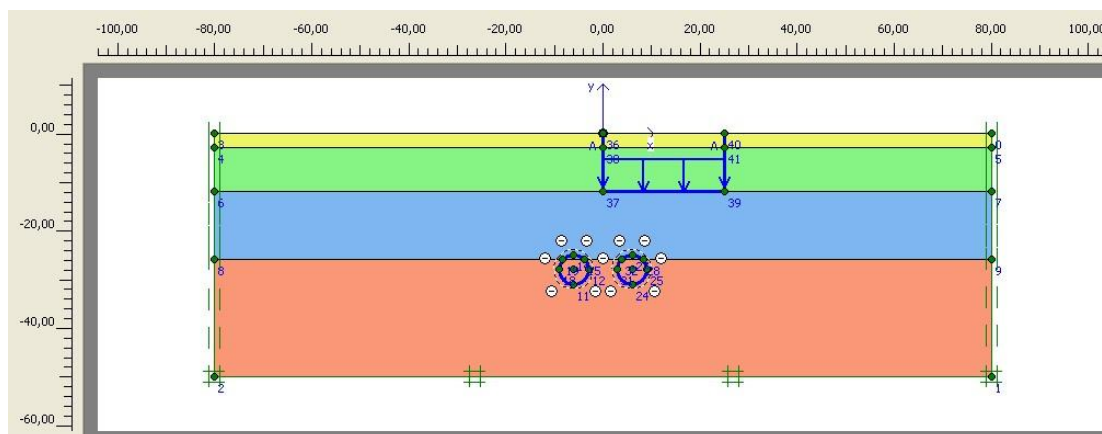


**Σχήμα 4.35: Κτίριο 2 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 1,2\%$ ) – Άκρα κτιρίου 2**

<b>Πίνακας 4.6</b>		
<b>Περιοχή Κτιρίου 2 – Μετατοπίσεις</b>		
<b><math>V_s / V = 1,2\%</math></b>		
<b>Θέση Μετατοπίσεως</b>	<b>Uy (mm)</b>	<b>Ux (mm)</b>
Μέγιστη Μετατόπιση περιοχής A-A'	-2,82	0,803
Εγγύς Άκρο Κτιρίου - Β	-2,786	1,286
Άκρο Κτιρίου - Γ	-0,789	1,286

### 4.3 Κτίριο 3

Παρακάτω στο Σχήμα 4.23 παρουσιάζεται η γεωτεχνική τομή που περιγράφει την περιοχή του Κτιρίου 3 έτσι όπως διαμορφώθηκε στο γεωτεχνικό πρόγραμμα Plaxis.



Σχήμα 4.36: Γεωτεχνικό Μοντέλο – Κτίριο 3

Πίνακας 4.7				
Γεωτεχνικές Παράμετροι – Εδαφικές Στρώσεις Κτιρίου 3				
Γεωτεχνικές Παράμετροι	Στρώση 1 (0-3)m	Στρώση 2α (3-12)m	Στρώση 2β (12-26)m	Στρώση 3 (26-50)m
$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	20	21	21,5	21,5
$K_x$ (cm/sec)	$1 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$
$K_y$ (cm/sec)	$0,5 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$
$\phi'$ (°)	32°	26°	28°	28°
$C'$ (KPa)	10	35	50	125
$E$ (MPa)	15	59	81	300
$\nu$	0,3	0,3	0,3	0,3
$K_0$	0,47	0,60	0,60	0,60

#### Υπόμνημα:

**Στρώση 1:** Τεχνητές επιχώσεις Επιφανειακές εδαφικές ζώνες μαλακής, μέσης έως σιφρής αμμώδους αργίλου με χάλικες (CL) έως λυώδους – αργιλώδους άμμου με

χάλικες (SM – SC), χαλαρής έως μέσης πυκνότητας αποθέσεως (πάχος στρώσεως 3m).

**Στρώση 2α:** Αμμώδης άργιλος (CL) στιφρή, με ζώνες αργιλώδους ή ιλυώδους άμμου (SC,SM), με χάλικες, μέσης πυκνότητας αποθέσεως (πάχος στρώσεως 9m).

**Στρώση 2β:** Αμμώδης άργιλος (CL) πολύ στιφρή έως σκληρή με ενστρώσεις πυκνής αργιλώδους άμμου με χάλικες(SC,SM) (πάχος στρώσεως 14m)

**Στρώση 3:** Αμμώδης άργιλος (CL), σκληρή με ενστρώσεις πυκνού αργιλώδους αμμοχάλικου (SC,SM), έως πολύ ασθενής αργιλόλιθος, ιλιόλιθος ή λατυποπαγές.

Η Στρώση 1 φτάνει σε βάθος 3 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους, η Στρώση 2α συναντάται από τα -3 μέτρα έως τα -12 μέτρα, η Στρώση 2β από τα -12 έως τα -26 μέτρα ενώ η Στρώση 3 ξεκινά από τα -26 μέτρα και εκτίνεται σε βάθος κάτω από το δάπεδο των σηράγγων.

Η δεξιά σήραγγα βρίσκεται στα (6,-28)m ενώ η αριστερή στα (-6,-28)m. Η διάμετρος τους είναι 6 m και βρίσκονται και οι δύο εντός των Στρωμάτων 2β και 3.

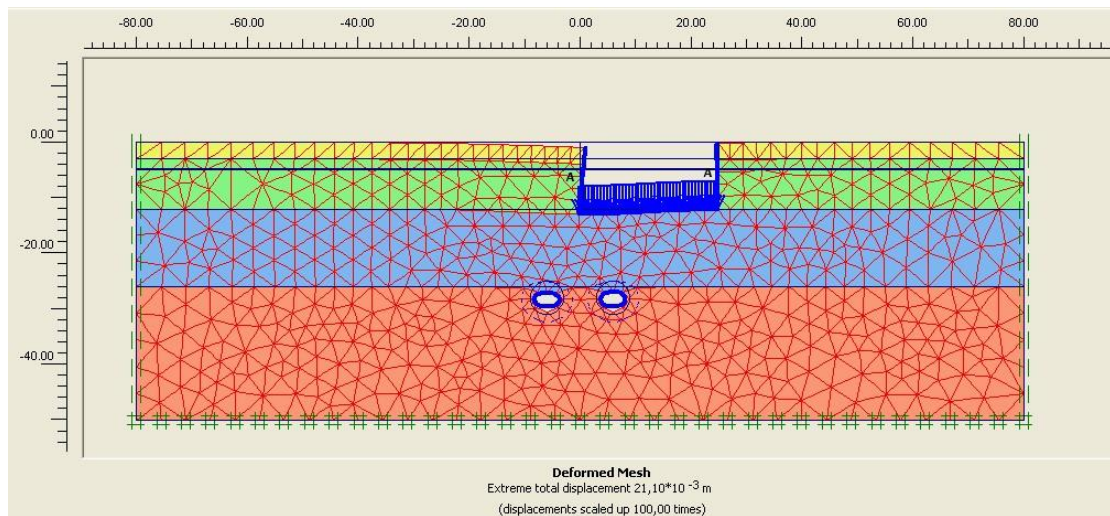
Ο υδροφόρος ορίζοντας εντοπίζεται στα -5 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους.

Τέλος το Κτίριο 3 βρίσκεται στη θέση από (0,0) έως (25,0) ενώ η στάθμη θεμελίωσής του ορίζεται στα 12m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Η απόσταση του σημείου θεμελίωσης από ο κέντρο των σηράγγων είναι  $h=16m$  και έχει φορτίο 160 ΚΡα.

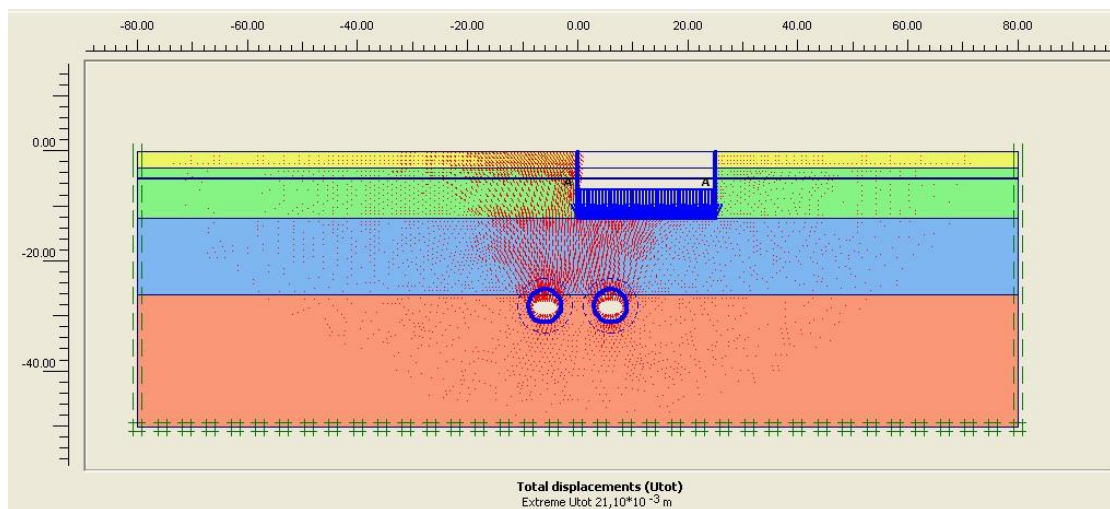
Στο Κτίριο 3 όπως αναλύεται στις παρακάτω υποενότητες σε πρώτη φάση έγινε αλλαγή του λόγου  $V_s/V$  από 0,8% σε 1,2% υποενότητες 4.3.1 και 4.3.2. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μεταβολή στην τιμή του μέτρου ελαστικότητας αρχικά μειούμενο κατά 33% και έπειτα αυξανόμενο κατά 50% για τις δύο τιμές του λόγου  $V_s/V$  όπως παρουσιάζεται στις υποενότητες 4.3.3 έως 4.3.6 Για κάθε συνδυασμό μεταβολής παρουσιάζονται το πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων όπως αυτό προέκυψε με το τέλος της ολοκλήρωσης όλων των σταδίων καθώς και οι μετατοπίσεις.



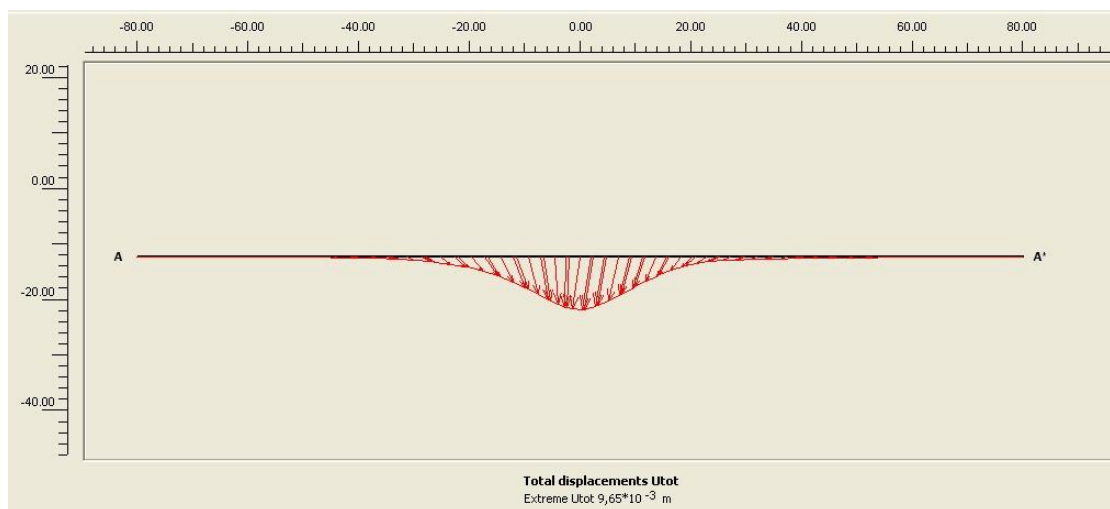
**4.3.1 Κτίριο 3 Ανηγμένη Απώλεια Όγκου  $V_s / V = 0,8 \%$**



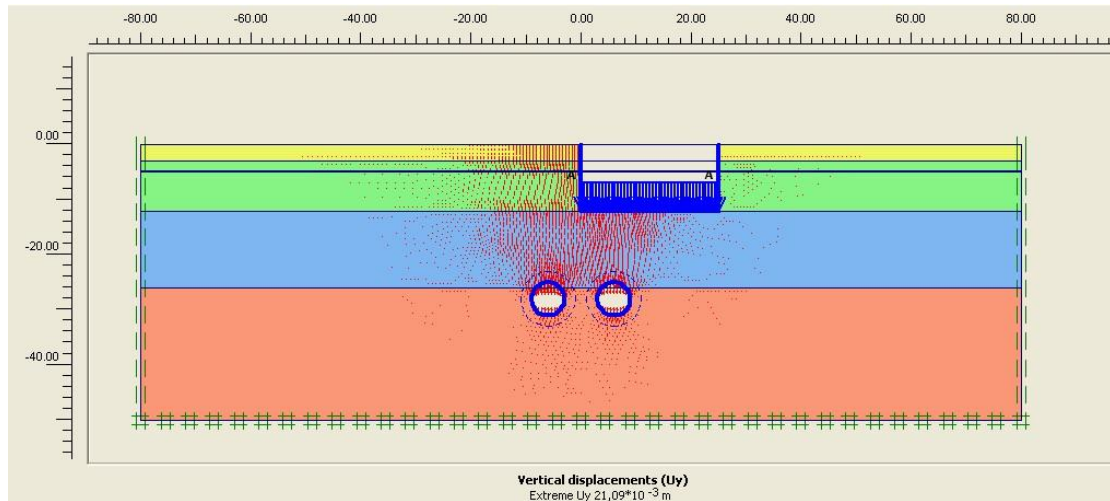
**Σχήμα 4.37: Κτίριο 3 – Παραμορφωμένο Πλέγμα Πεπερασμένων Στοιχείων ( $V_s / V = 0,8 \%$ )**



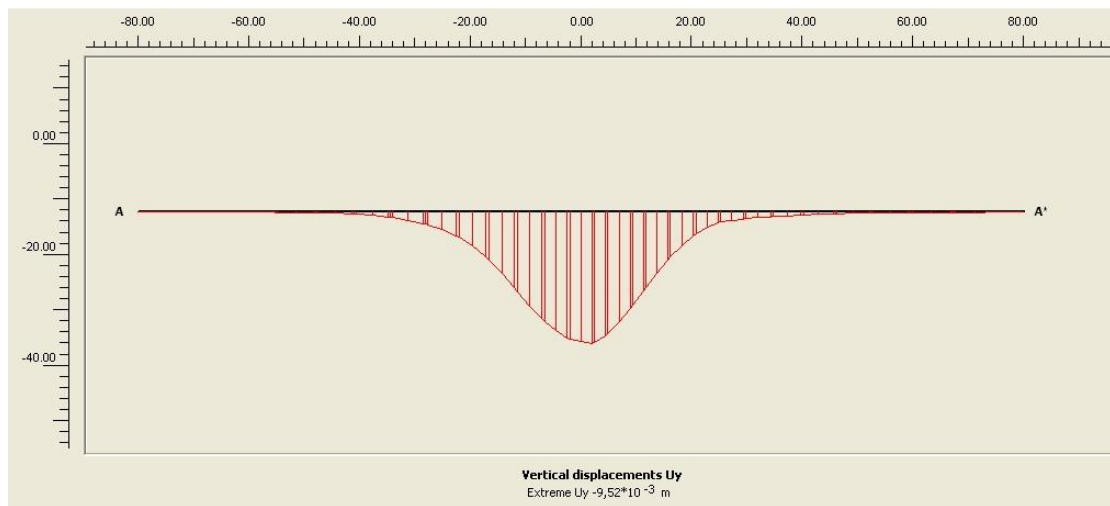
**Σχήμα 4.38: Κτίριο 3 – Ολικές Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ )**



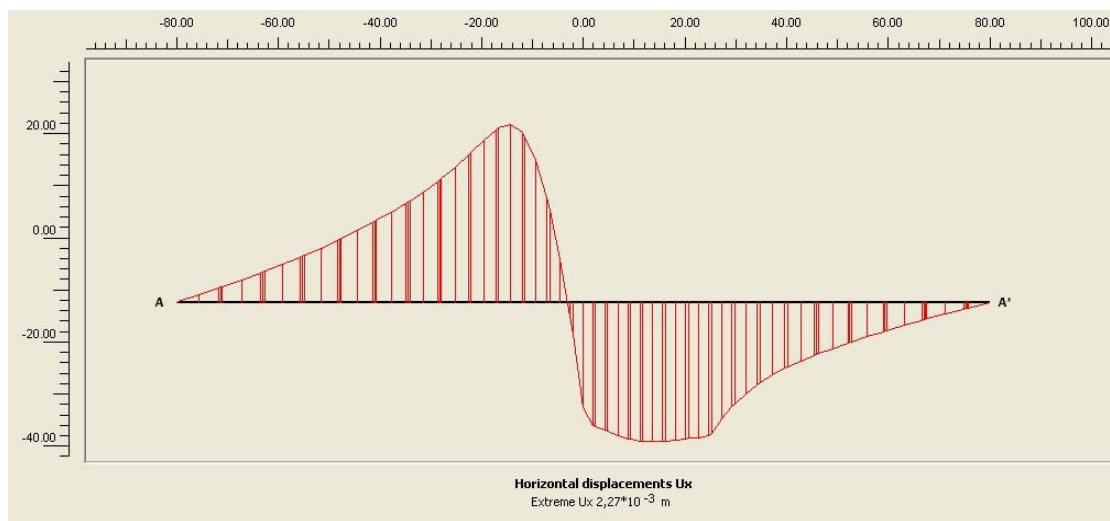
**Σχήμα 4.39: Κτίριο 3 – Διανύσματα Μετατοπίσεων ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) – Τομή A-A'**



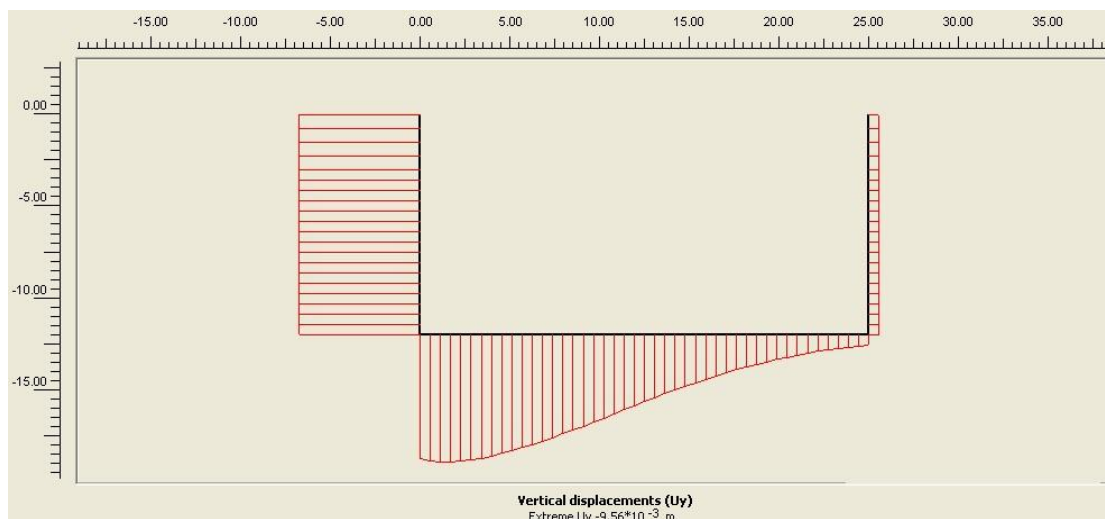
Σχήμα 4.40: Κτίριο 3 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ )



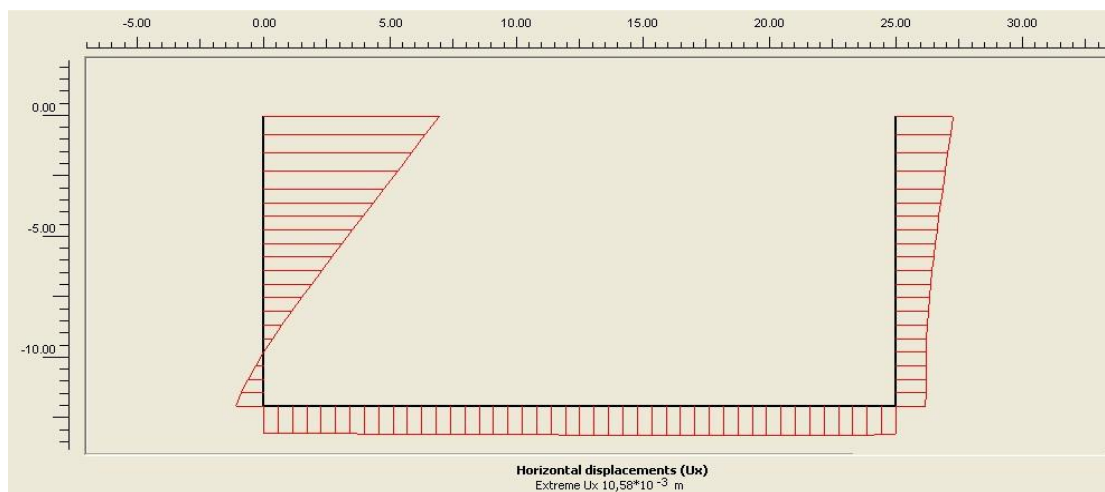
Σχήμα 4.41: Κτίριο 3 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) – Τομή A-A'



Σχήμα 4.42: Κτίριο 3 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) – Τομή A-A'



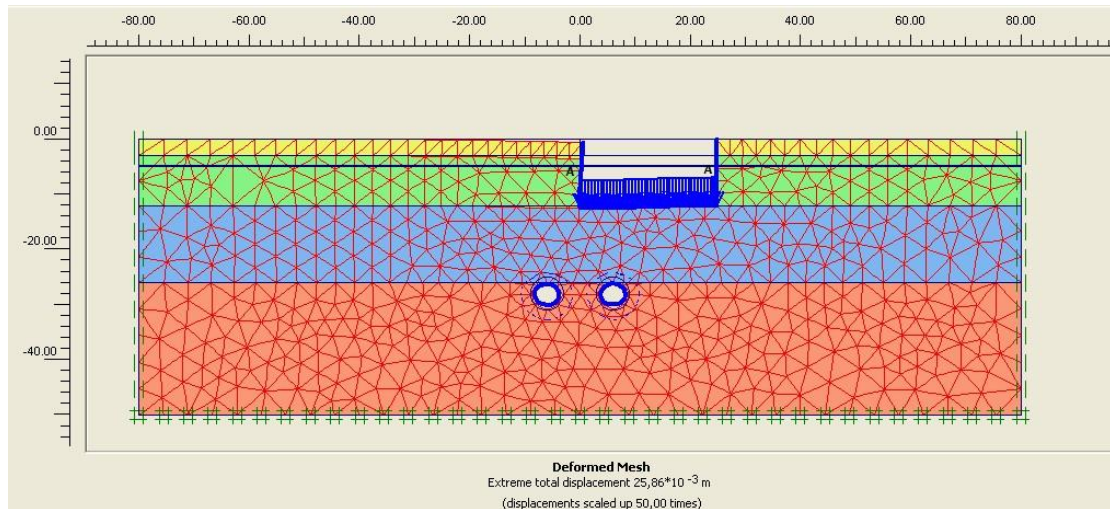
Σχήμα 4.43: Κτίριο 3 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) – Άκρα Κτιρίου 3



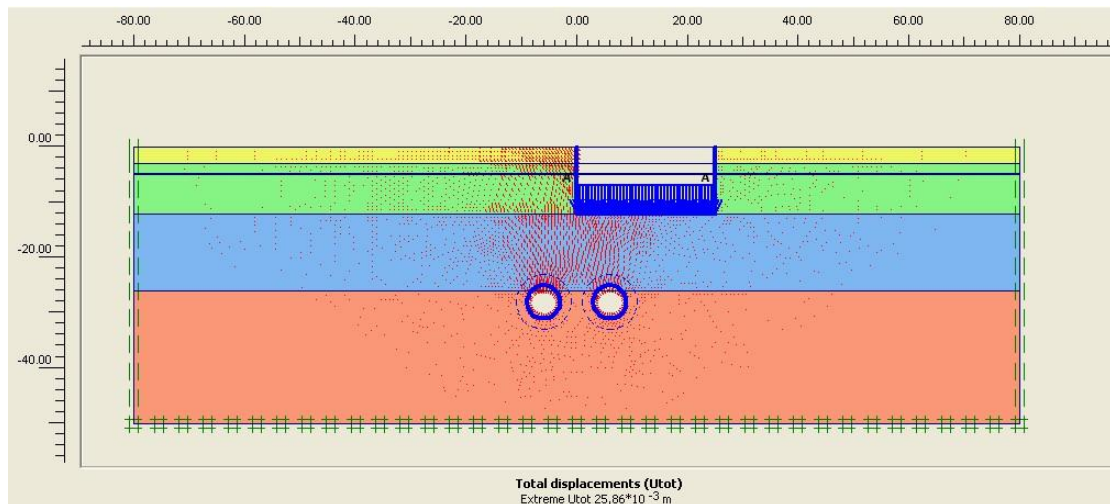
Σχήμα 4.44: Κτίριο 3 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) – Άκρα Κτιρίου 3

Πίνακας 4.8		
Περιοχή Κτιρίου 3 – Μετατοπίσεις		
$V_s / V = 0,8 \%$		
Θέση Μετατοπίσεως	$U_y$ (mm)	$U_x$ (mm)
Μέγιστη Μετατόπιση περιοχής A-A'	-9,52	2,27
Εγγύς Άκρο Κτιρίου - Β	-9,280	-3,432
Άκρο Κτιρίου - Γ	-0,780	-3,432

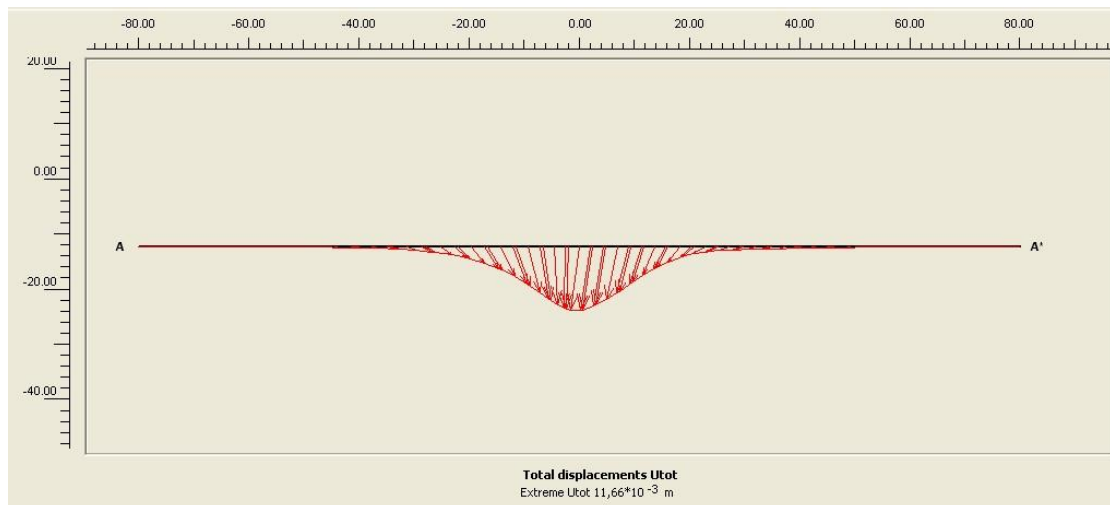
**4.3.2 Κτίριο 3 Ανηγμένη Απώλεια Όγκου  $V_s / V = 1,2 \%$**



**Σχήμα 4.45: Κτίριο 3 – Παραμορφωμένο Πλέγμα Πεπερασμένων Στοιχείων ( $V_s / V = 1,2 \%$ )**

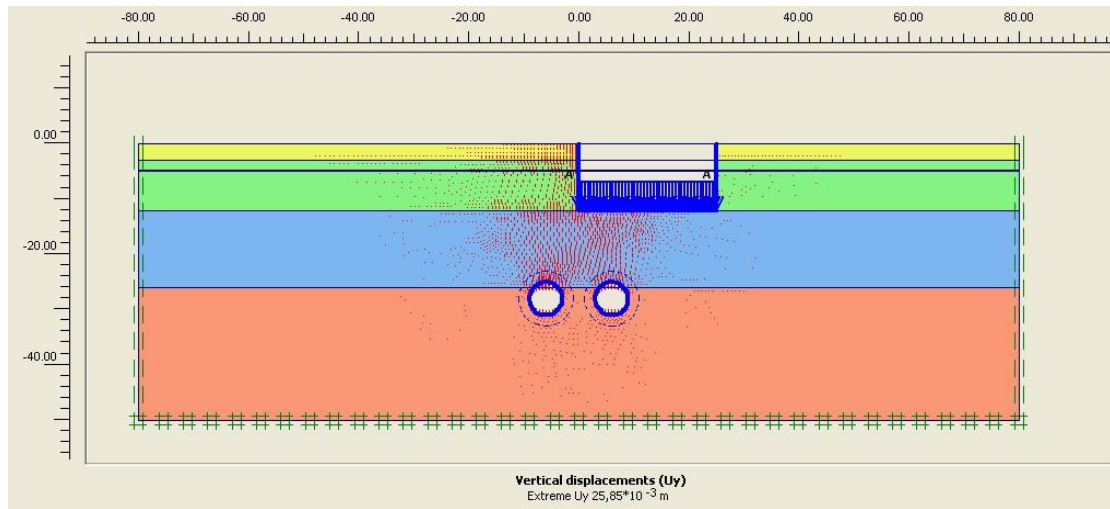


**Σχήμα 4.46: Κτίριο 3 – Ολικές Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ )**

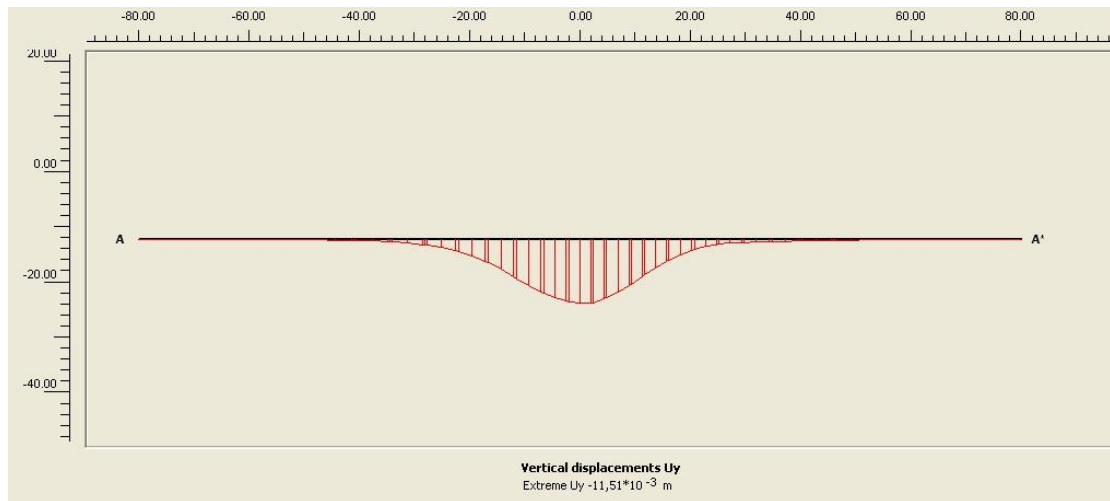


**Σχήμα 4.47: Κτίριο 3 – Διανύσματα Μετατοπίσεων ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) – Τομή A-A'**

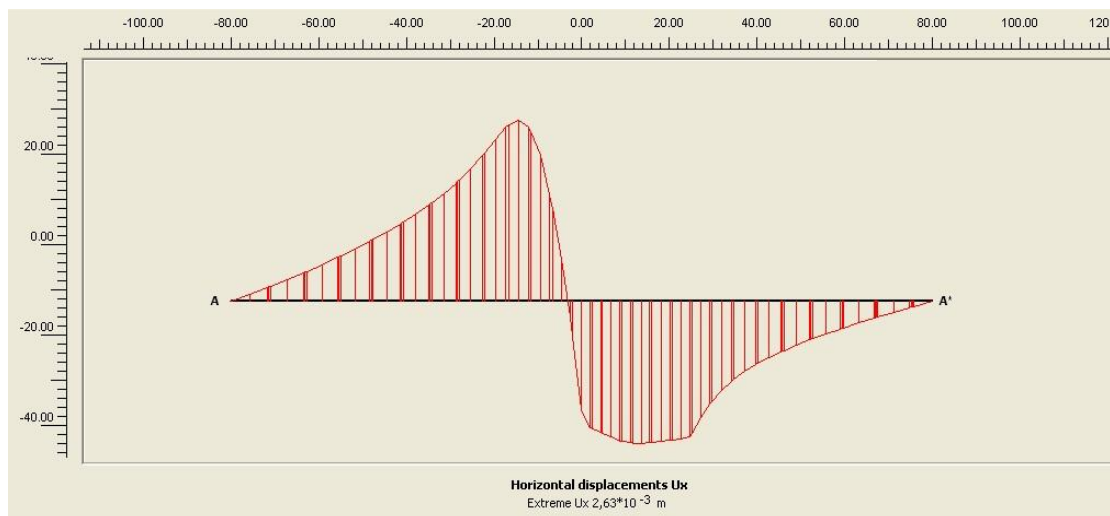




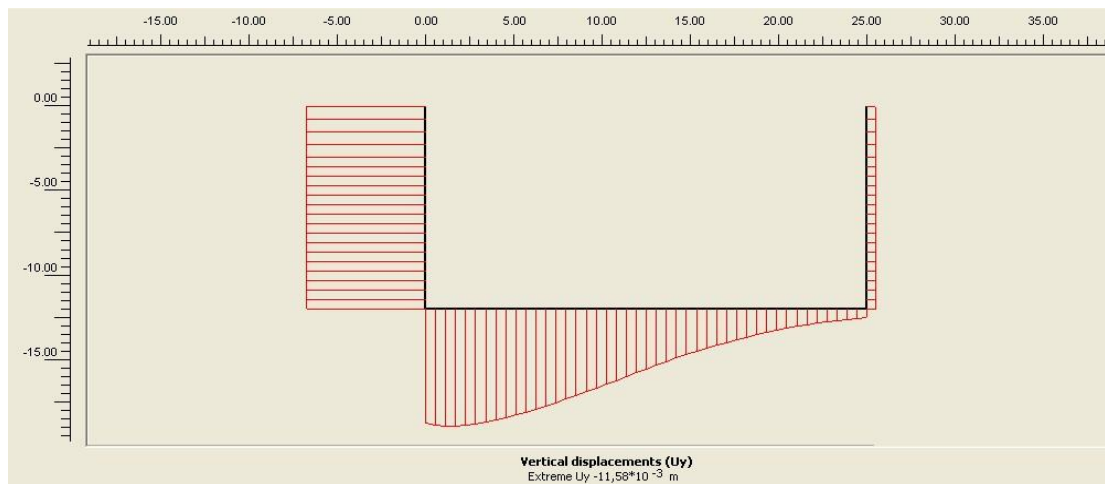
Σχήμα 4.48: Κτίριο 3 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ )



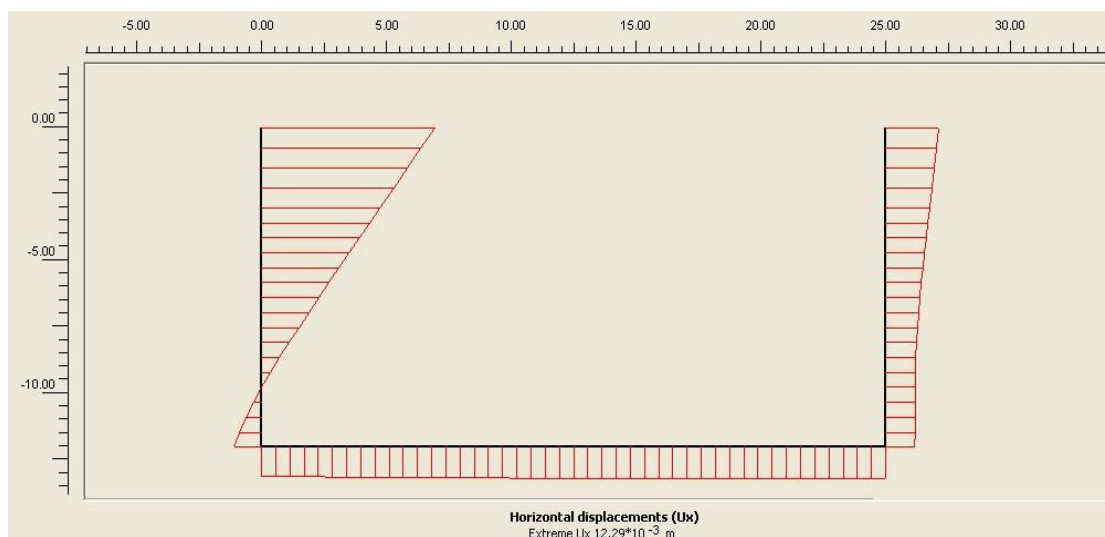
Σχήμα 4.49: Κτίριο 3 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) – Τομή A-A'



Σχήμα 4.50: Κτίριο 3 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) – Τομή A-A'



Σχήμα 4.51: Κτίριο 3 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) – Άκρα Κτιρίου 3



Σχήμα 4.52: Κτίριο 3 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) – Άκρα Κτιρίου 3

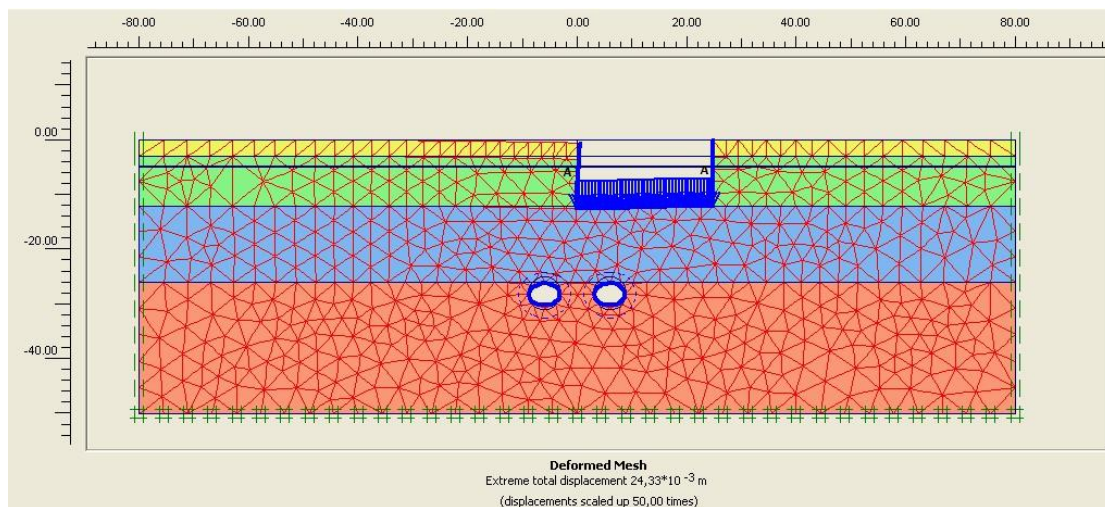
Πίνακας 4.9

Περιοχή Κτιρίου 3 – Μετατοπίσεις

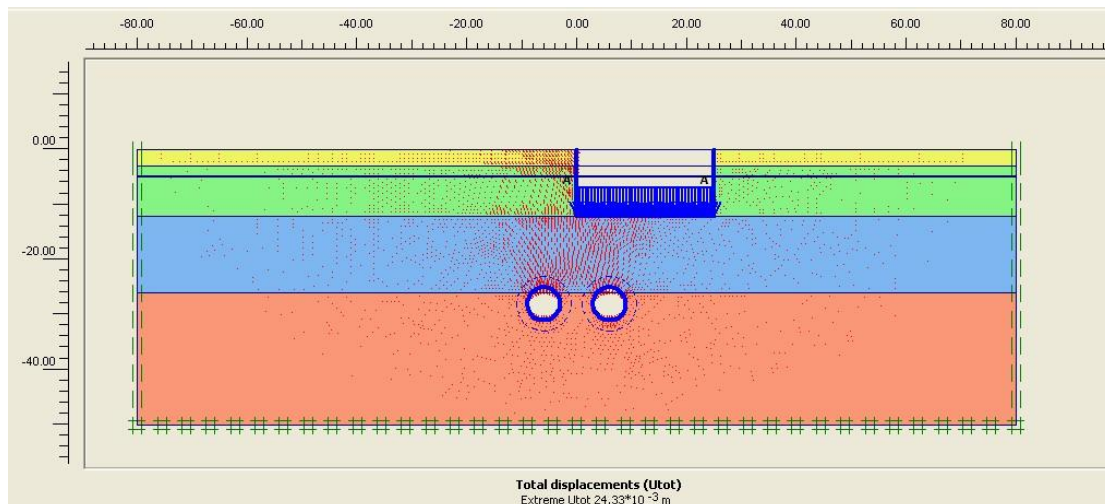
$V_s / V = 1,2 \%$

Θέση Μετατοπίσεως	Uy (mm)	Ux (mm)
Μέγιστη Μετατόπιση περιοχής A-A'	-11,52	2,63
Εγγύς Άκρο Κτιρίου - Β	-11,278	-3,774
Άκρο Κτιρίου - Γ	-0,856	-3,774

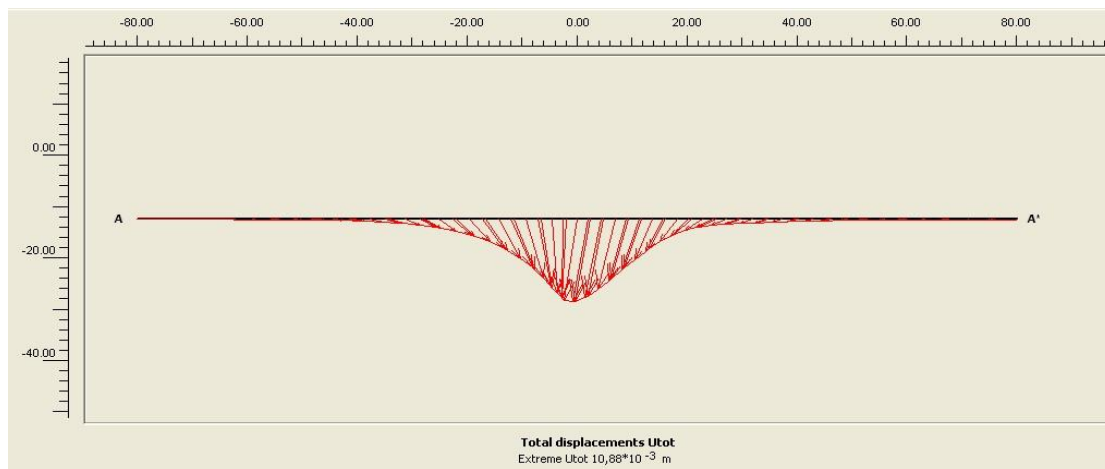
**4.3.3 Κτίριο 3 Βαθμός Σύγκλισης – Αποτόνωσης  $V_s / V = 0,8 \%$  &  $E' = 0,67 \times E$**



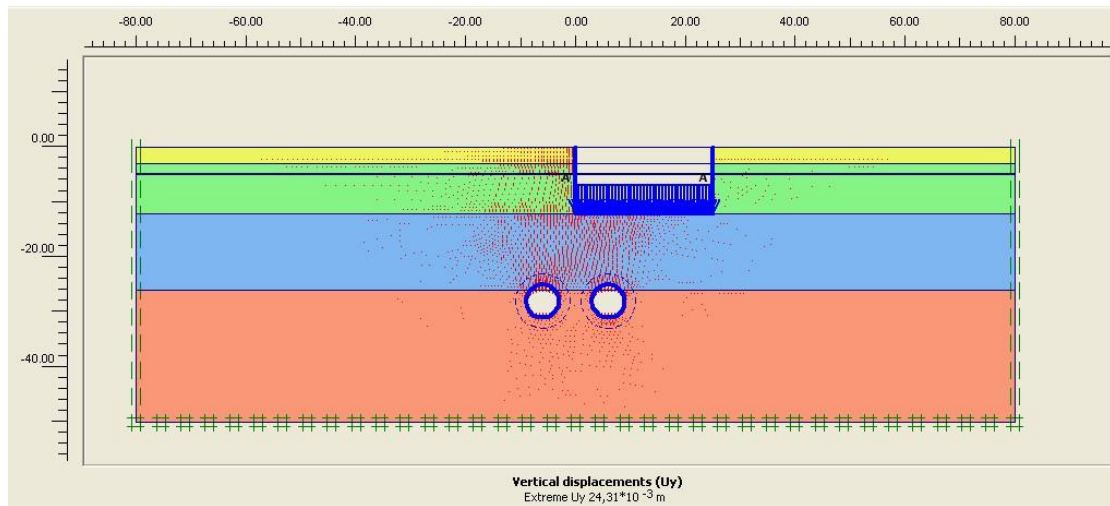
**Σχήμα 4.53: Κτίριο 3 – Παραμορφωμένο Πλέγμα Πεπερασμένων Στοιχείων ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) &  $E' = 0,67 \times E$**



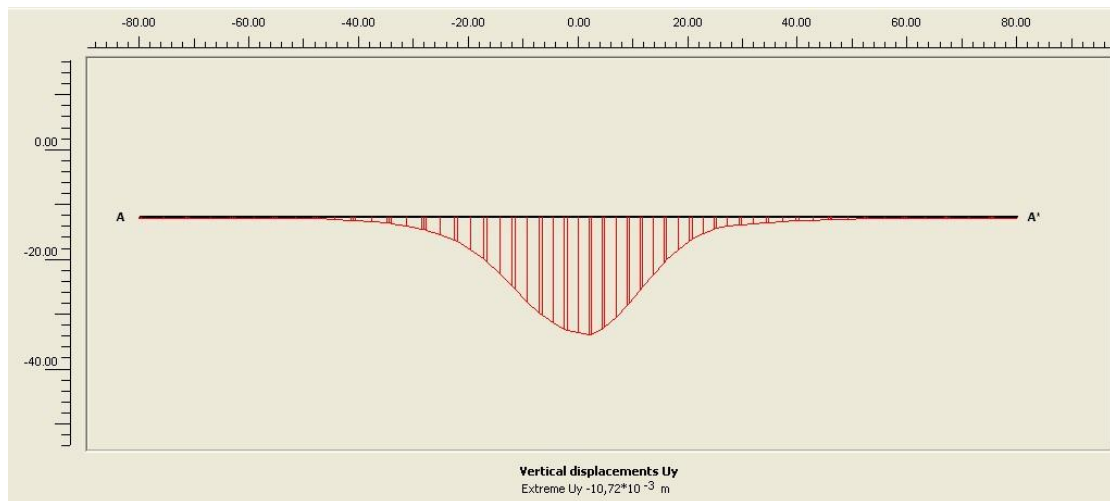
**Σχήμα 4.54: Κτίριο 3 – Ολικές Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) &  $E' = 0,67 \times E$**



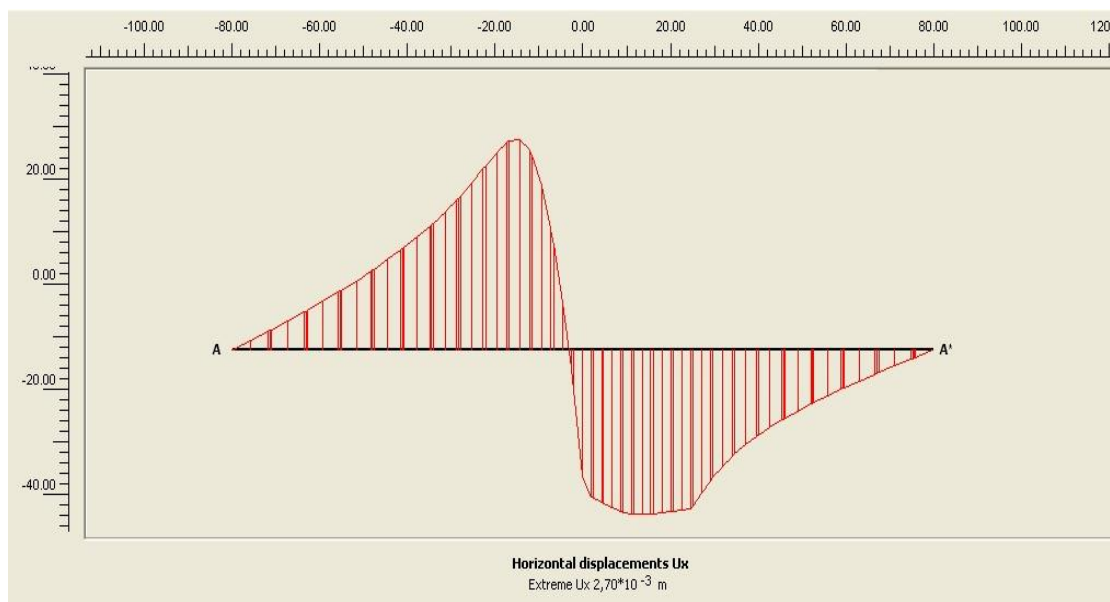
**Σχήμα 4.55: Κτίριο 3 – Διανύσματα Μετατοπίσεων ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) &  $E' = 0,67 \times E$  – Τομή A-A'**



Σχήμα 4.56: Κτίριο 3 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) &  $E' = 0,67 \times E$

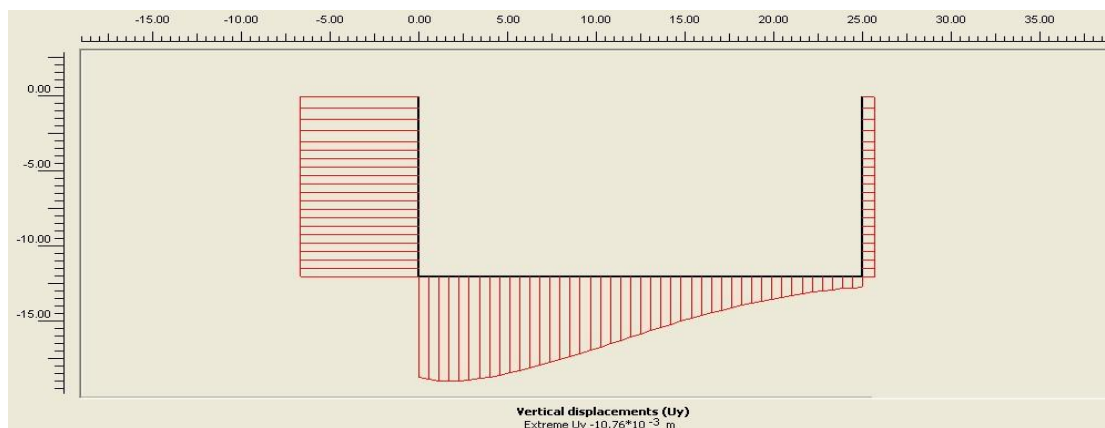


Σχήμα 4.57: Κτίριο 3 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) &  $E' = 0,67 \times E$  – Τομή A-A'

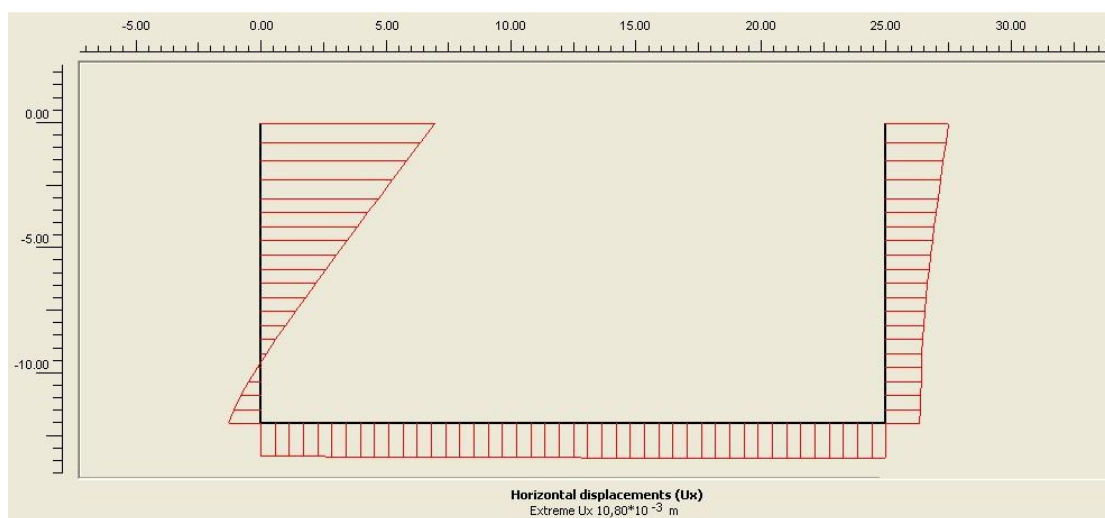


Σχήμα 4.58: Κτίριο 3 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) &  $E' = 0,67 \times E$  – Τομή A-A'





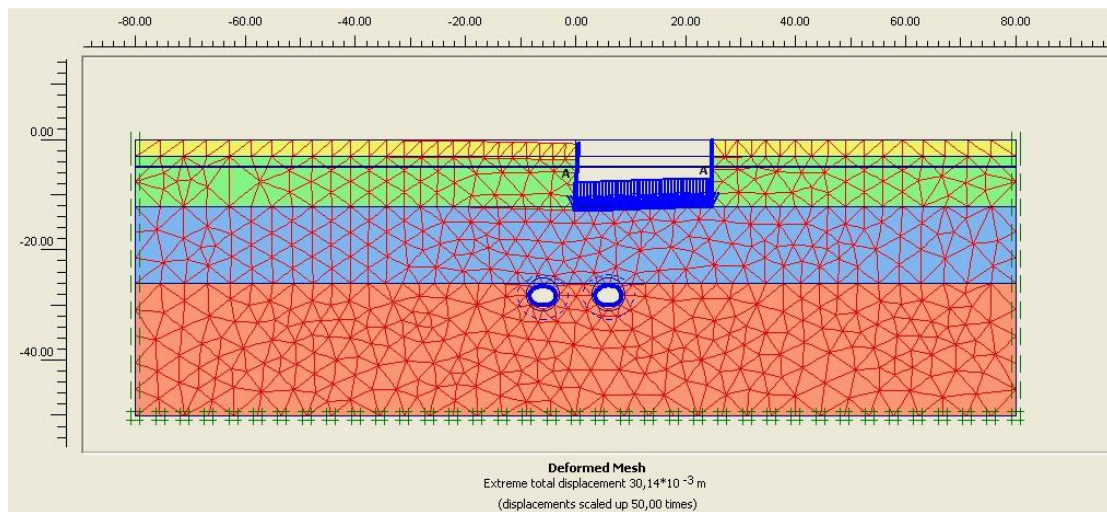
Σχήμα 4.59: Κτίριο 3 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) &  $E' = 0,67x E$  – Άκρα Κτιρίου 3



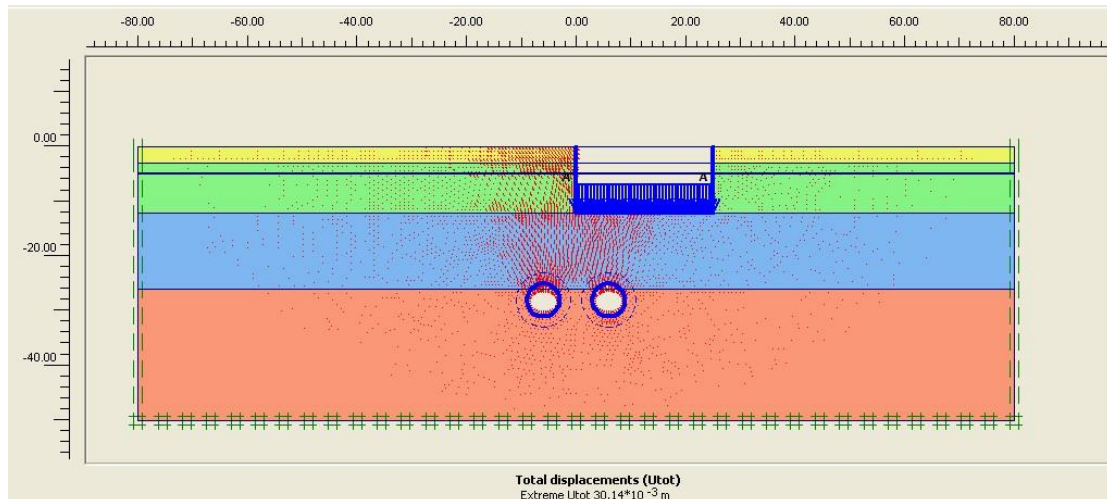
Σχήμα 4.60: Κτίριο 3 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) &  $E' = 0,67x E$  – Άκρα Κτιρίου 3

Πίνακας 4.10		
Περιοχή Κτιρίου 3 – Μετατοπίσεις		
$V_s / V = 0,8 \%$ & $E' = 0,67x E$		
Θέση Μετατοπίσεως	Uy (mm)	Ux (mm)
Μέγιστη Μετατόπιση περιοχής A-A'	-10,72	2,70
Εγγύς Άκρο Κτιρίου - Β	-10,377	-3,906
Άκρο Κτιρίου - Γ	-1,039	-3,906

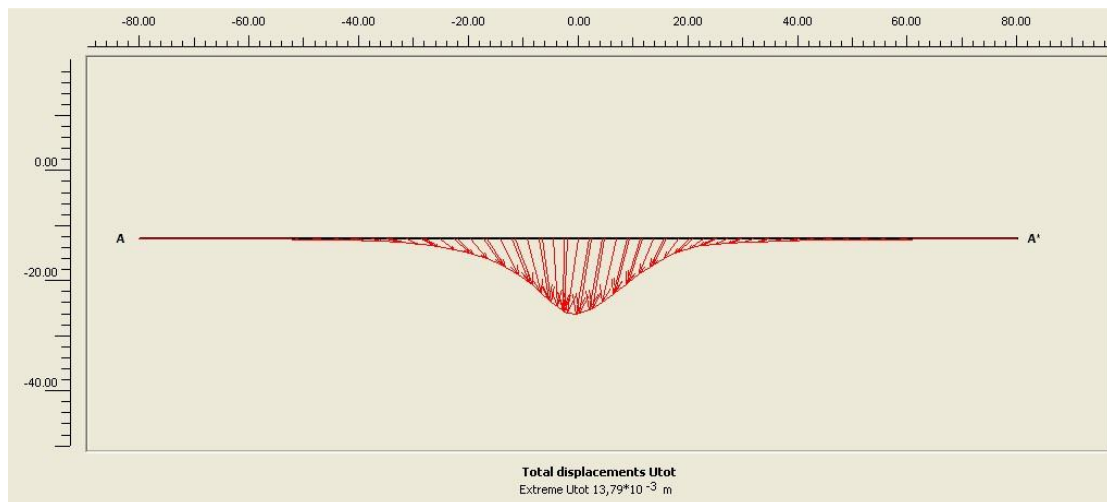
**4.3.4 Κτίριο 3 Ανηγμένη Απώλεια Όγκου  $V_s / V = 1,2\%$  &  $E' = 0,67 \times E$**



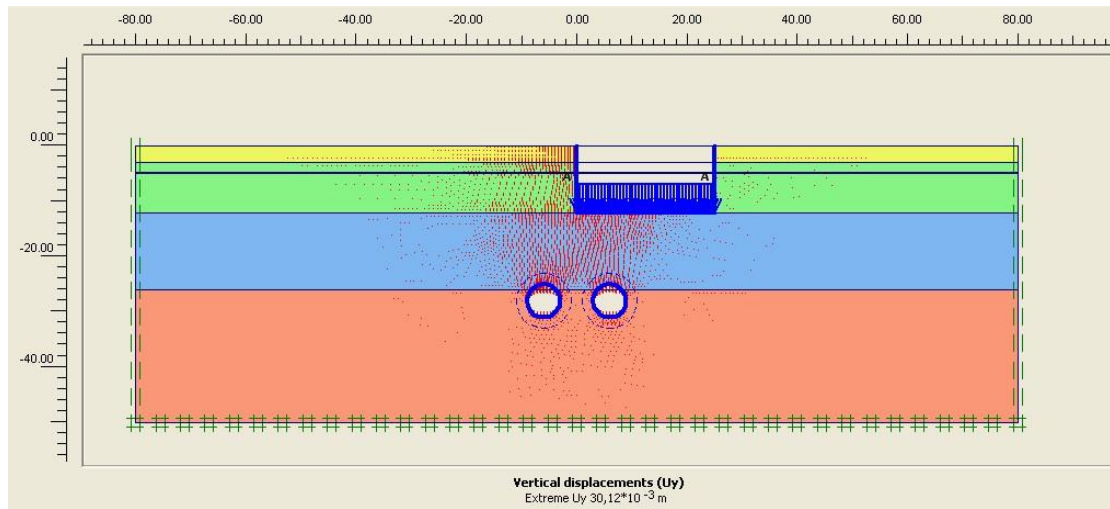
**Σχήμα 4.61: Κτίριο 3 – Παραμορφωμένο Πλέγμα Πεπερασμένων Στοιχείων ( $V_s / V = 1,2\%$ ) &  $E' = 0,67 \times E$**



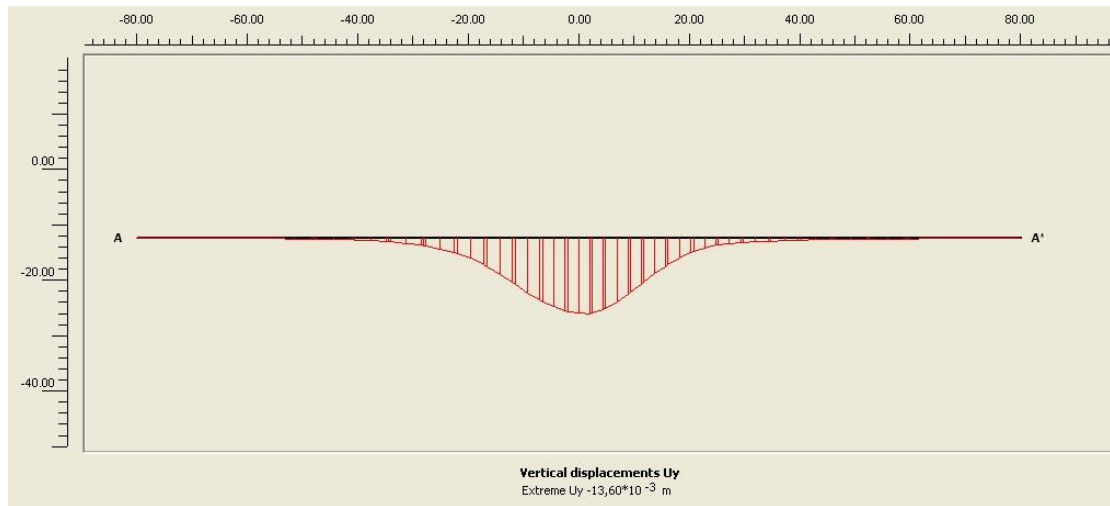
**Σχήμα 4.62: Κτίριο 3 – Ολικές Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 1,2\%$ ) &  $E' = 0,67 \times E$**



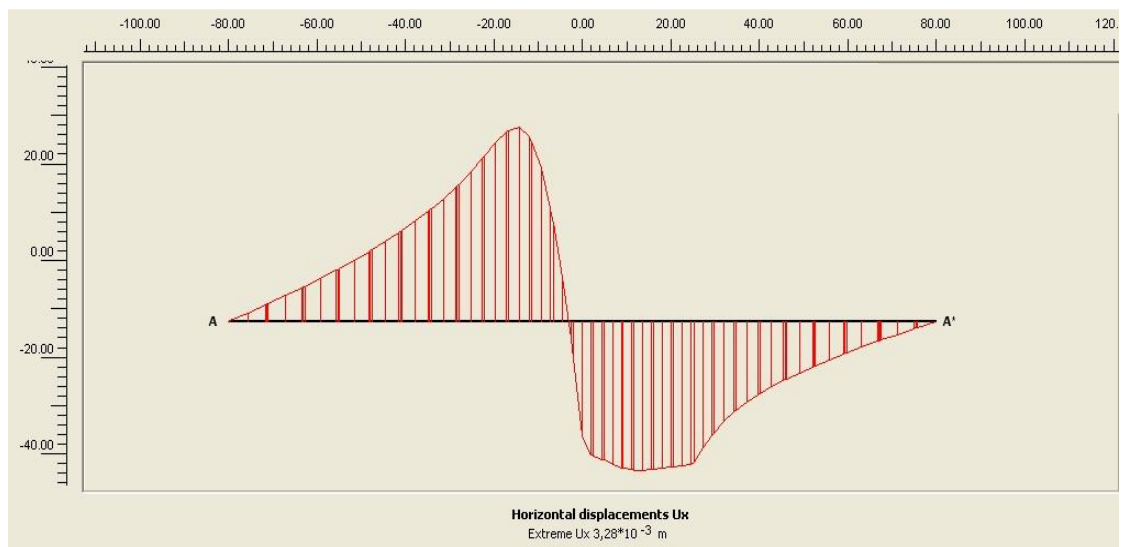
**Σχήμα 4.63: Κτίριο 3 – Διανύσματα Μετατοπίσεων ( $V_s / V = 1,2\%$ ) &  $E' = 0,67 \times E$  – Τομή A-A'**



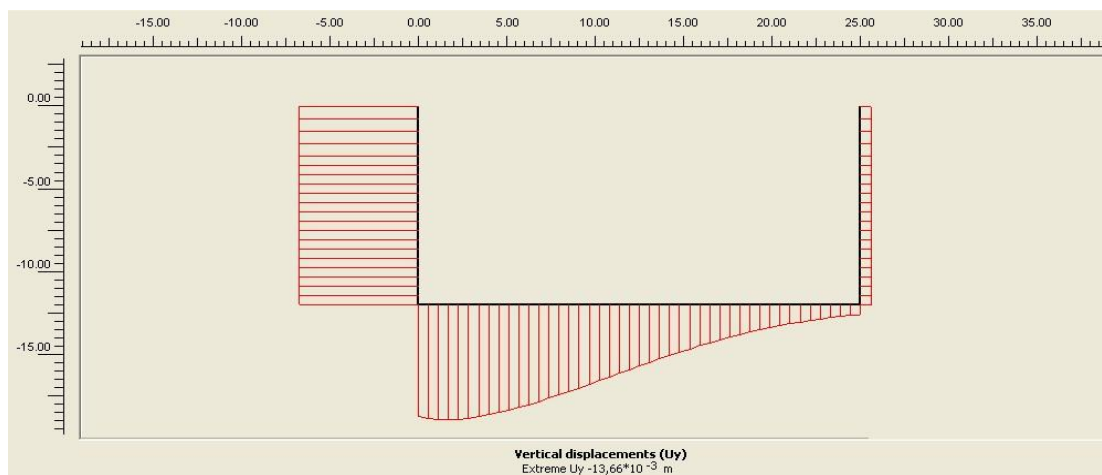
Σχήμα 4.64: Κτίριο 3 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) &  $E' = 0,67 \times E$



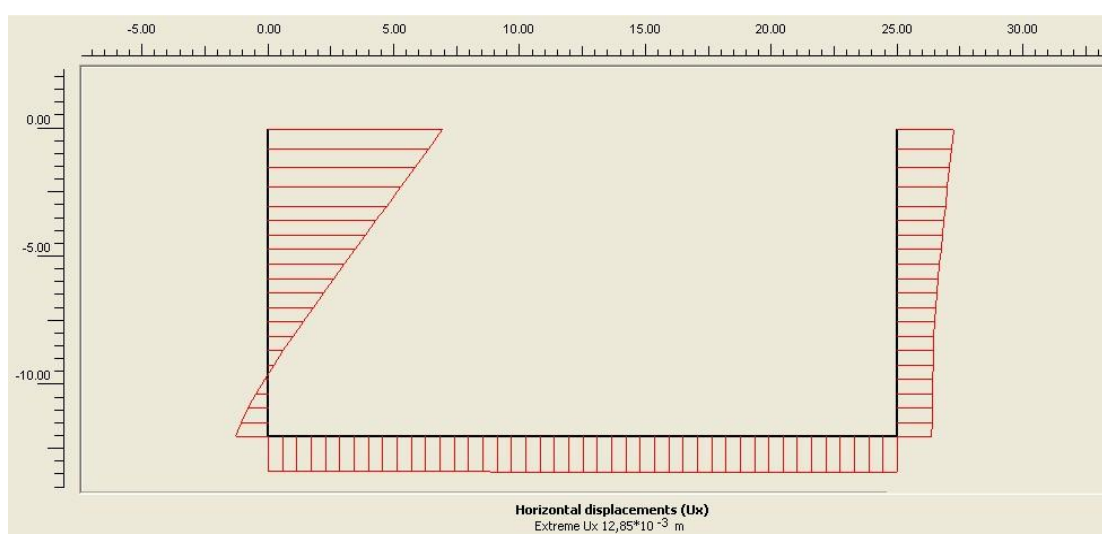
Σχήμα 4.65: Κτίριο 3 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) &  $E' = 0,67 \times E$  – Τομή A-A'



Σχήμα 4.66: Κτίριο 3 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) &  $E' = 0,67 \times E$  – Τομή A-A'



Σχήμα 4.67: Κτίριο 3 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) &  $E' = 0,67x E$  – Άκρα Κτιρίου 3



Σχήμα 4.68: Κτίριο 3 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) &  $E' = 0,67x E$  – Άκρα Κτιρίου 3

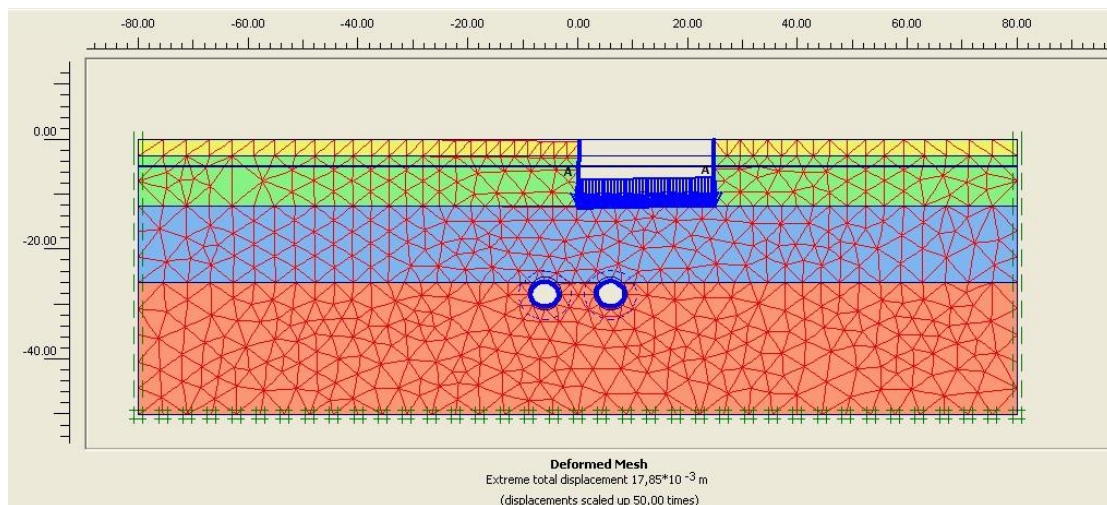
**Πίνακας 4.11**

**Περιοχή Κτιρίου 3 – Μετατοπίσεις**

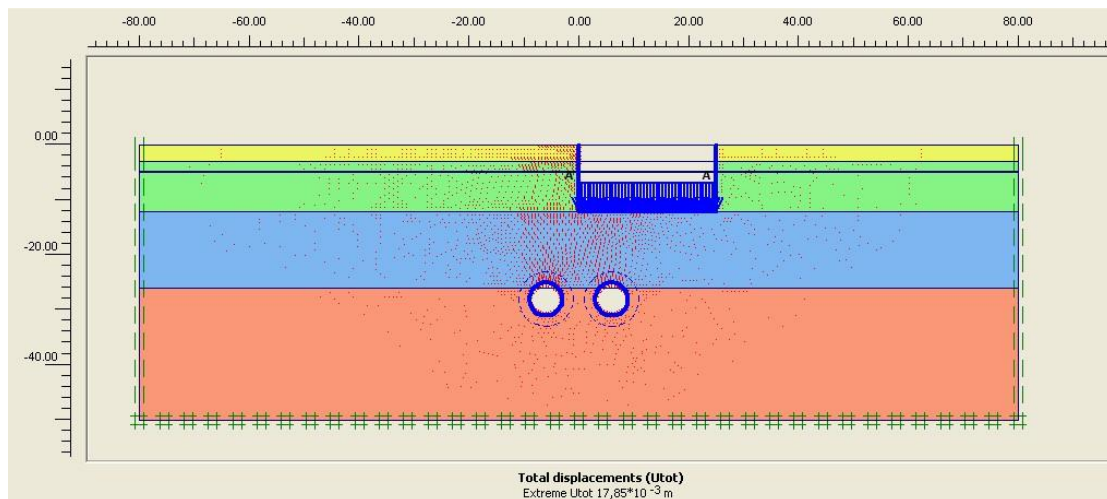
**$V_s / V = 1,2 \%$  &  $E' = 0,67x E$**

Θέση Μετατοπίσεως	Uy (mm)	Ux (mm)
Μέγιστη Μετατόπιση περιοχής A-A'	-13,60	3,28
Εγγύς Άκρο Κτιρίου - Β	-13,238	-4,138
Άκρο Κτιρίου - Γ	-1,199	-4,138

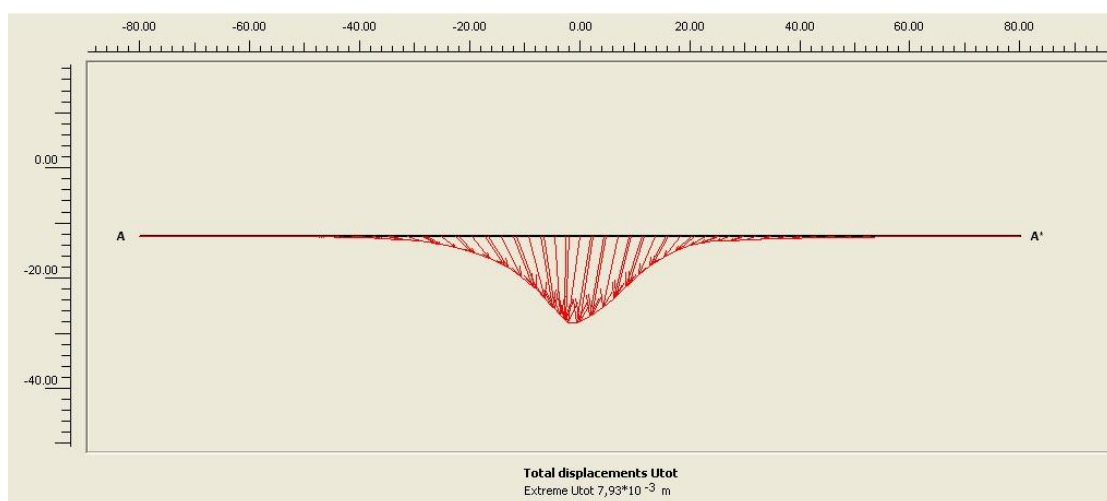
**4.3.5 Κτίριο 3 Ανηγμένη Απώλεια Όγκου  $V_s / V = 0,8\%$  &  $E'=1,5x E$**



**Σχήμα 4.69: Κτίριο 3 – Παραμορφωμένο Πλέγμα Πεπερασμένων Στοιχείων ( $V_s / V = 0,8\%$ ) &  $E'=1,5x E$**

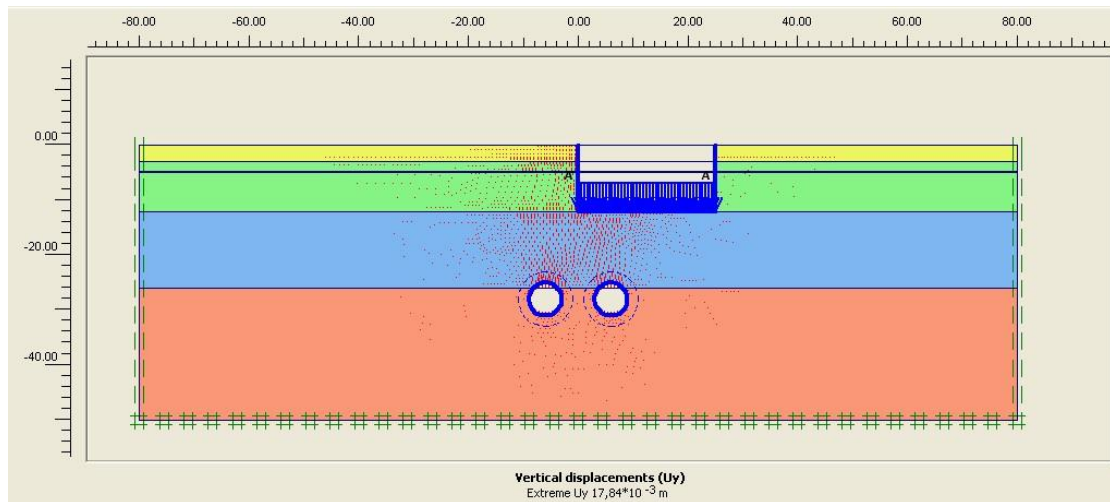


**Σχήμα 4.70: Κτίριο 3 – Ολικές Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 0,8\%$ ) &  $E'=1,5x E$**

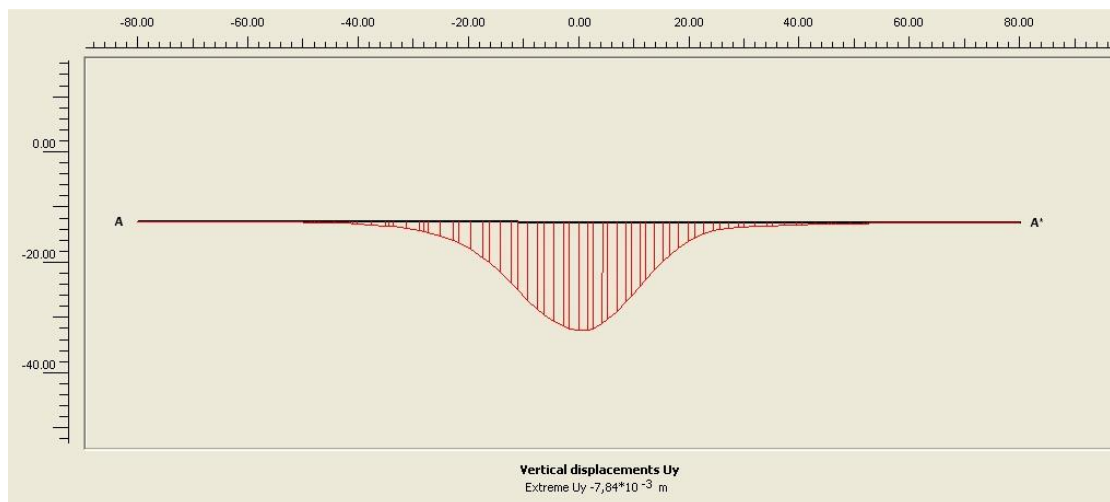


**Σχήμα 4.71: Κτίριο 3 – Διανύσματα Μετατοπίσεων ( $V_s / V = 0,8\%$ ) &  $E'=1,5x E$  – Τομή A-A'**

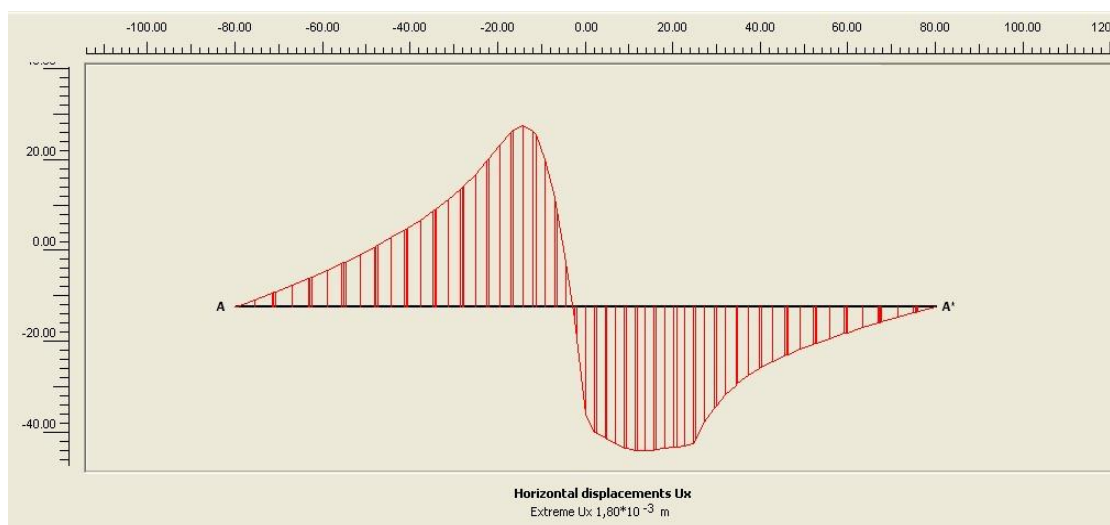




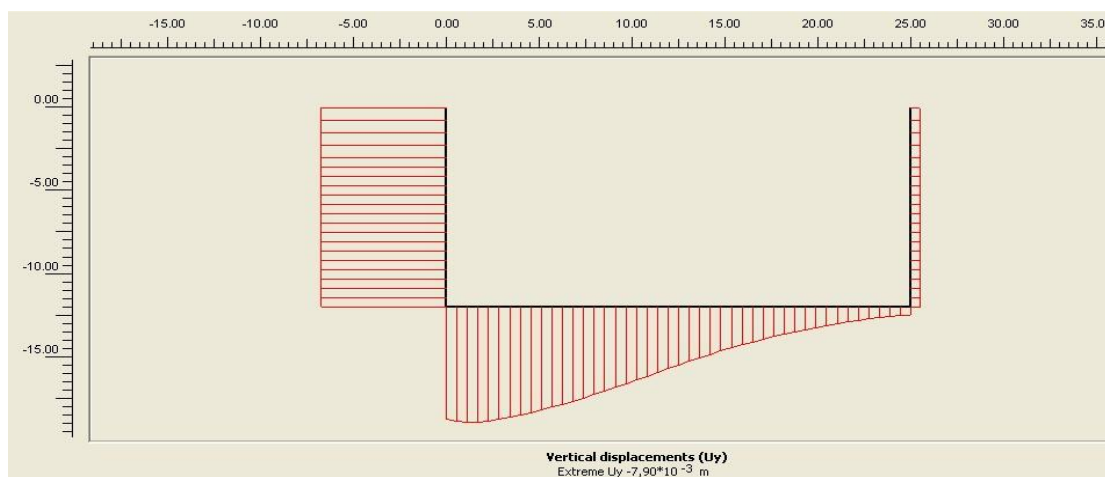
Σχήμα 4.72: Κτίριο 3 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) &  $E' = 1,5x E$



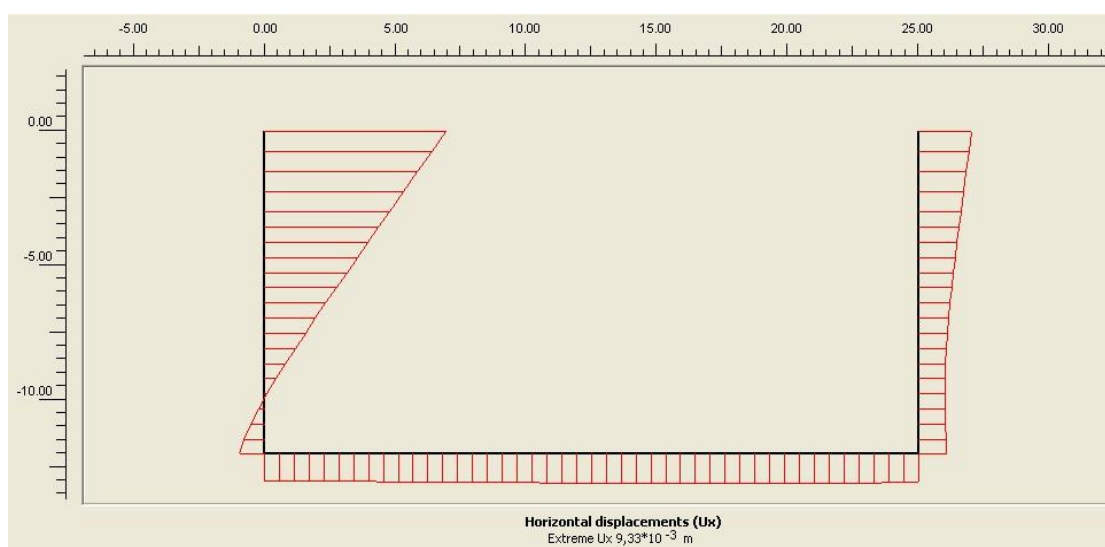
Σχήμα 4.73: Κτίριο 3 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) &  $E' = 1,5x E$  – Τομή A-A'



Σχήμα 4.74: Κτίριο 3 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) &  $E' = 1,5x E$  – Τομή A-A'



**Σχήμα 4.75: Κτίριο 3 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) &  $E' = 1,5 \times E$  – Άκρα Κτιρίου 3**



**Σχήμα 4.76: Κτίριο 3 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) &  $E' = 1,5 \times E$  – Άκρα Κτιρίου 3**

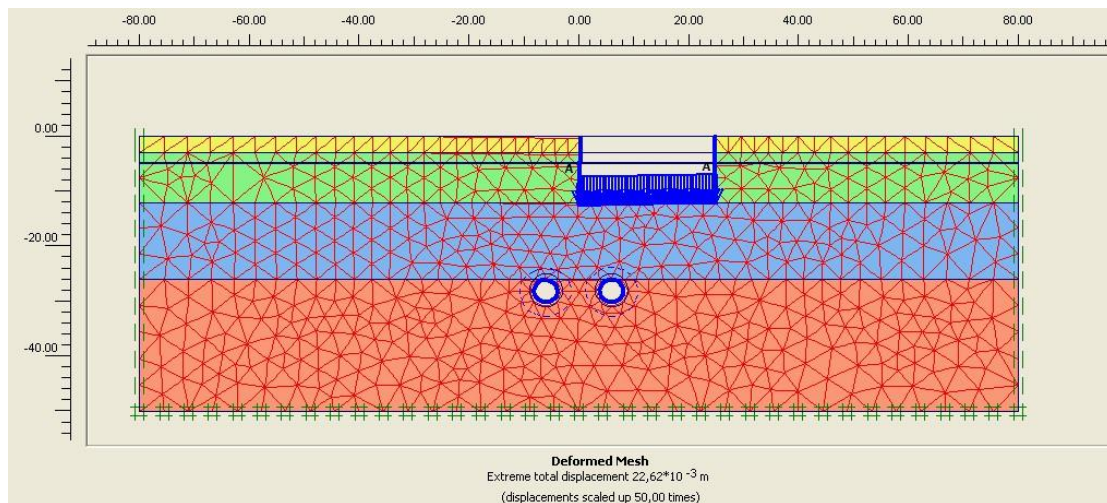
**Πίνακας 4.12**

**Περιοχή Κτιρίου 3 – Μετατοπίσεις**

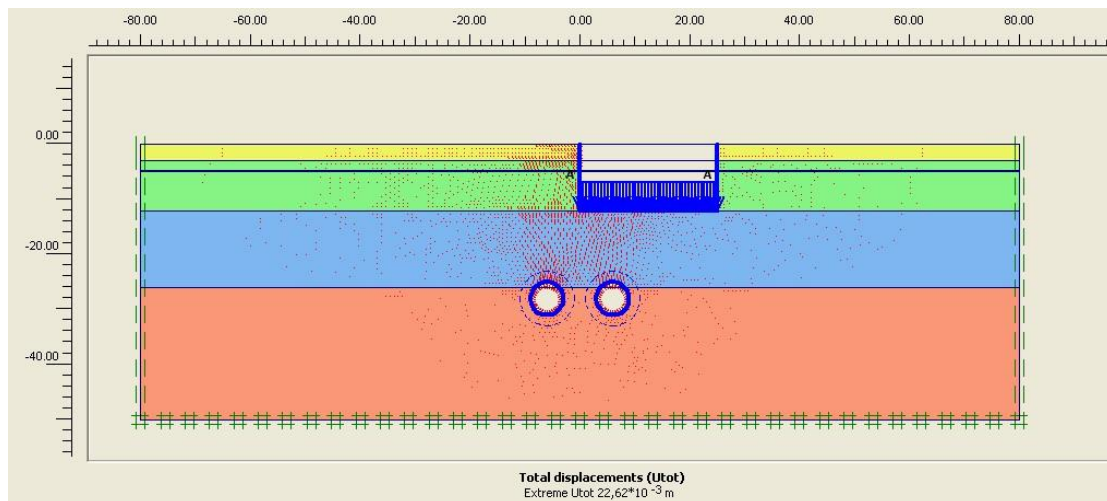
**$V_s / V = 0,8 \%$  &  $E' = 1,5 \times E$**

Θέση Μετατοπίσεως	Uy (mm)	Ux (mm)
Μέγιστη Μετατόπιση περιοχής A-A'	-7,84	1,80
Εγγύς Άκρο Κτιρίου - Β	-7,715	-2,739
Άκρο Κτιρίου - Γ	-0,557	-2,739

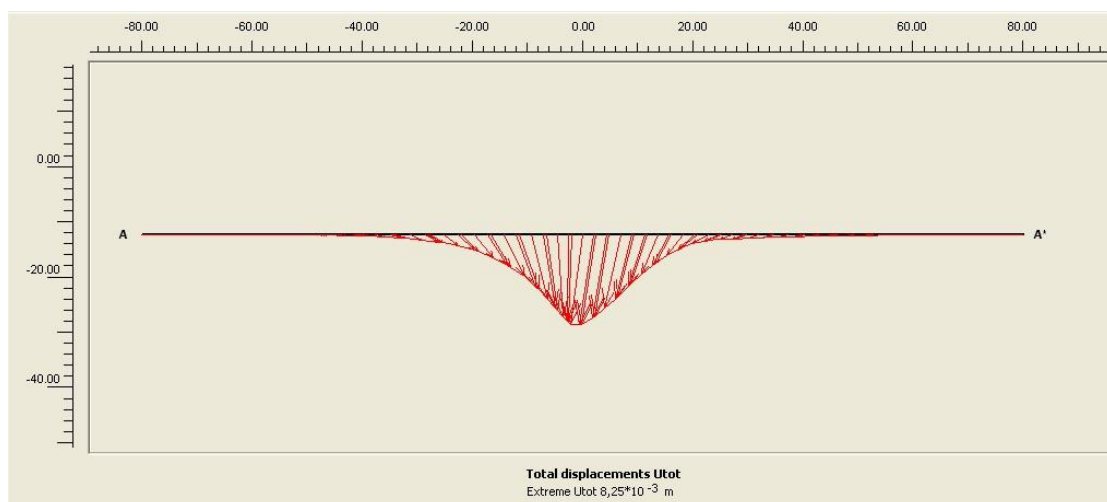
**3.3.6 Κτίριο 3 Ανηγμένη Απώλεια Όγκου  $V_s / V = 1,2\%$  &  $E'=1,5x E$**



**Σχήμα 4.77: Κτίριο 3 – Παραμορφωμένο Πλέγμα Πεπερασμένων Στοιχείων ( $V_s / V = 1,2\%$ ) &  $E'=1,5x E$**

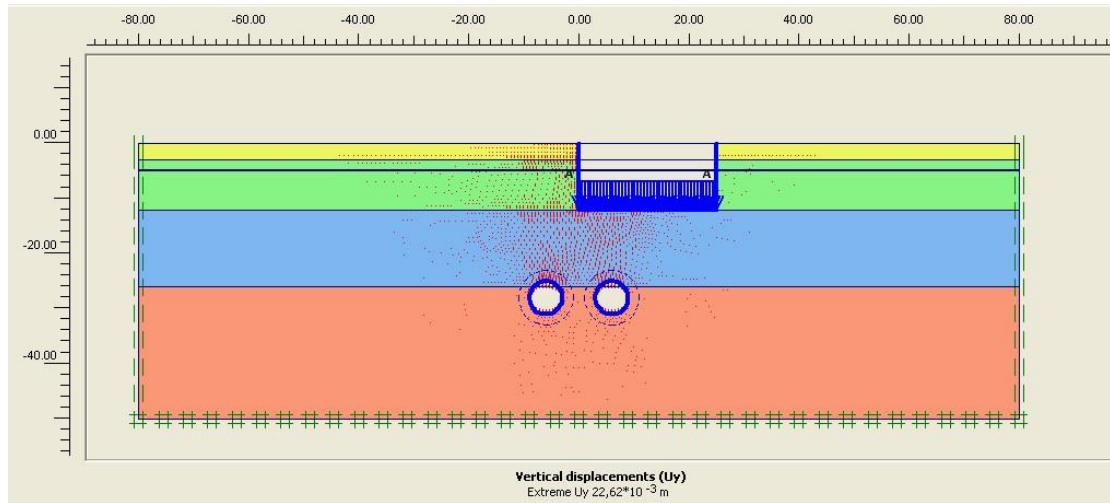


**Σχήμα 4.78: Κτίριο 3 – Ολικές Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 1,2\%$ ) &  $E'=1,5x E$**

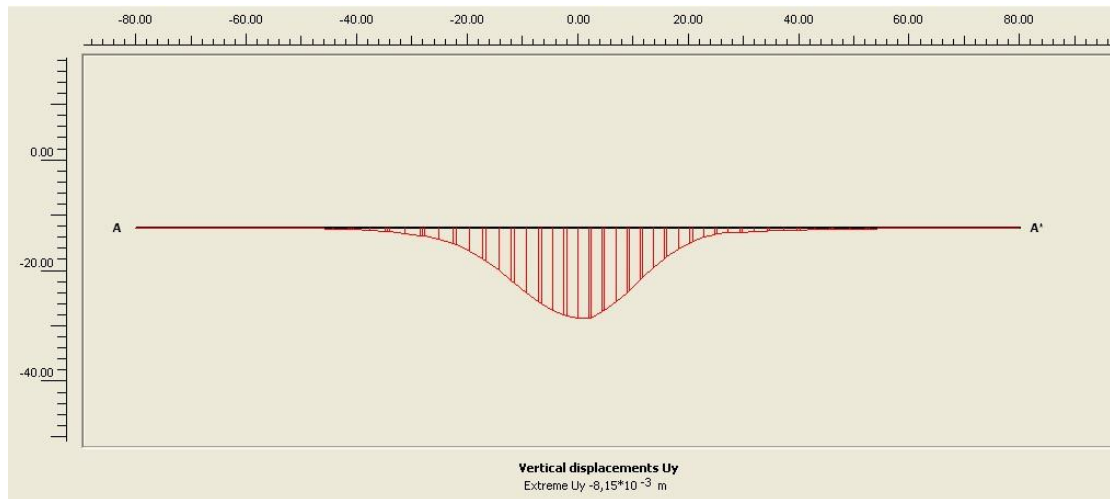


**Σχήμα 4.79: Κτίριο 3 – Διανύσματα Μετατοπίσεων ( $V_s / V = 1,2\%$ ) &  $E'=1,5x E$  – Τομή A-A'**

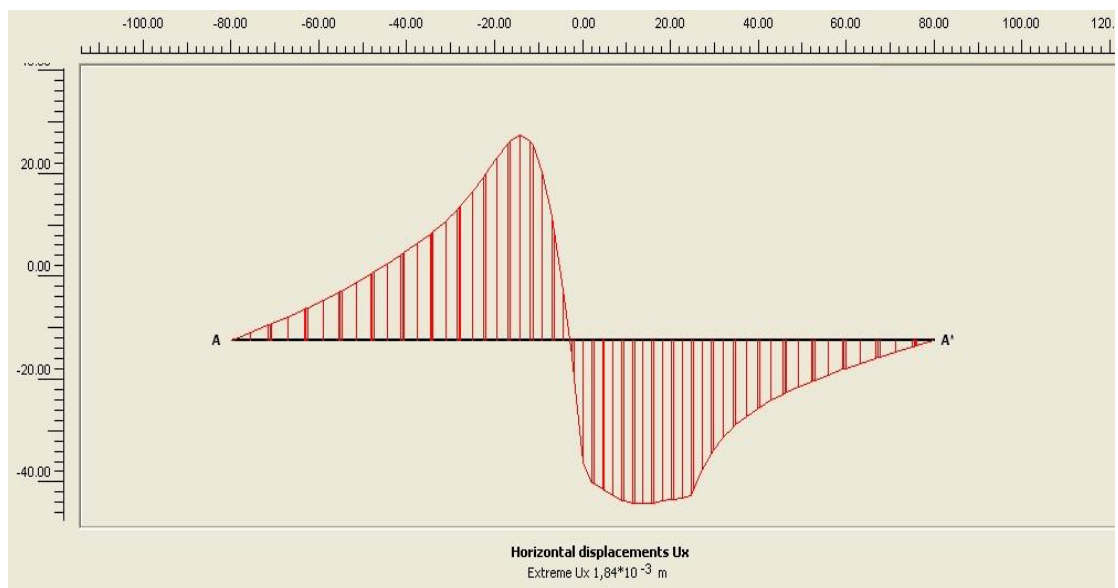




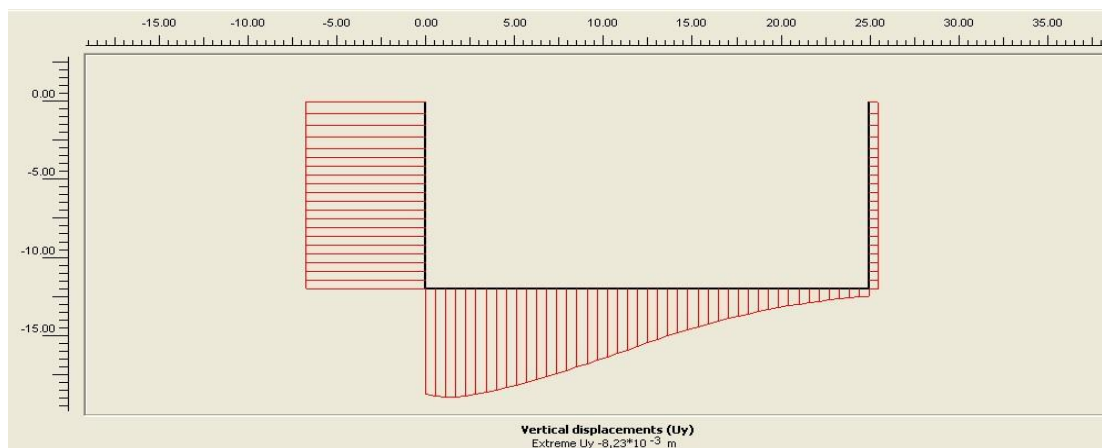
Σχήμα 4.80: Κτίριο 3 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) &  $E' = 1,2 \times E$



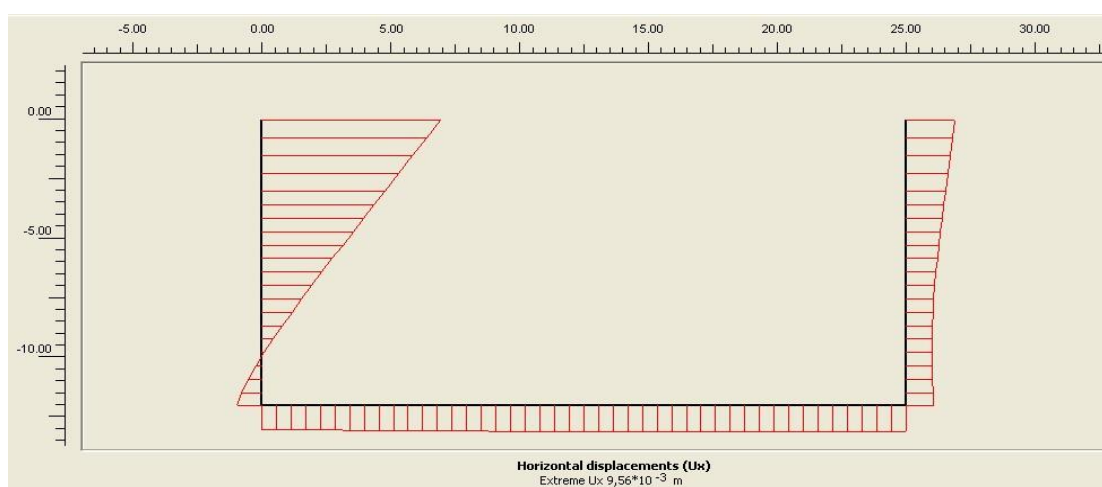
Σχήμα 4.81: Κτίριο 3 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) &  $E' = 1,5 \times E$  – Τομή A-A'



Σχήμα 4.82: Κτίριο 3 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) &  $E' = 1,5 \times E$  – Τομή A-A'



**Σχήμα 4.83: Κτίριο 3 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) &  $E' = 1,5x E$  – Άκρα Κτιρίου 3**



**Σχήμα 4.84: Κτίριο 3 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) &  $E' = 1,5x E$  – Άκρα Κτιρίου 3**

**Πίνακας 4.13**

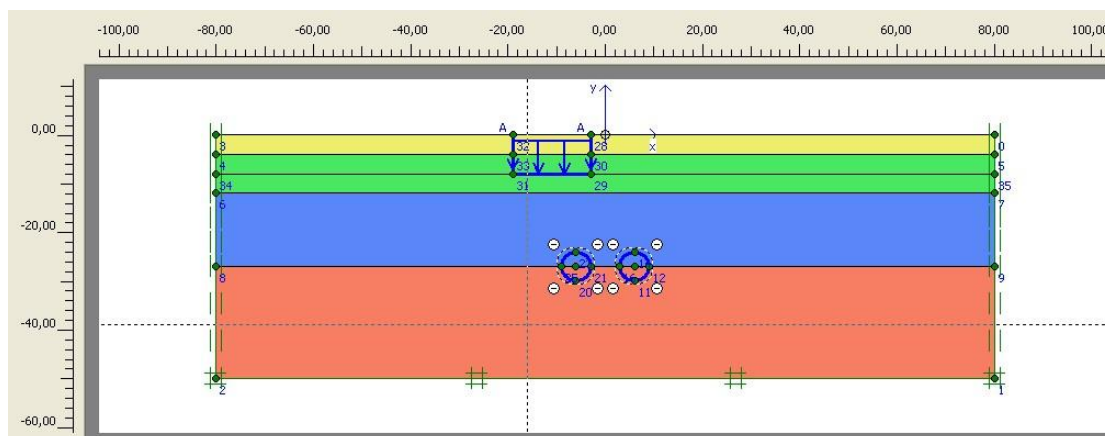
**Περιοχή Κτιρίου 3 – Μετατοπίσεις**

**$V_s / V = 1,2 \%$  &  $E' = 1,5x E$**

Θέση Μετατοπίσεως	Uy (mm)	Ux (mm)
Μέγιστη Μετατόπιση περιοχής A-A'	-8,15	1,84
Εγγύς Άκρο Κτιρίου - Β	-8,047	-2,613
Άκρο Κτιρίου - Γ	-0,562	-2,613

#### 4.4 Κτίριο 4

Παρακάτω στο Σχήμα 4.54 παρουσιάζεται η γεωτεχνική τομή που περιγράφει την περιοχή του Κτιρίου 4 έτσι όπως διαμορφώθηκε στο γεωτεχνικό πρόγραμμα Plaxis.



Σχήμα 4.85: Γεωτεχνικό Μοντέλο – Κτίριο 4

Πίνακας 4.14				
Γεωτεχνικές Παράμετροι – Εδαφικές Στρώσεις Κτιρίου 3				
Γεωτεχνικές Παράμετροι	Στρώση 1 (0-4)m	Στρώση 2α (4-12)m	Στρώση 2β (12-27)m	Στρώση 3 (27-50)m
$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	20	21	21,5	21,5
$K_x$ (cm/sec)	$1 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$
$K_y$ (cm/sec)	$0,5 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$
$\phi'$ (°)	32°	36°	28°	28°
$C'$ (KPa)	10	35	50	125
$E$ (MPa)	15	59	81	300
$\nu$	0,3	0,3	0,3	0,25
$K_0$	0,47	0,60	0,60	0,60

#### Υπόμνημα:

**Στρώση 1:** Τεχνητές επιχώσεις Επιφανειακές εδαφικές ζώνες μαλακής, μέσης έως σιφρής αμμώδους αργίλου με χάλικες (CL) έως ιλυώδους – αργιλώδους άμμου με

χάλικες (SM – SC), χαλαρής έως μέσης πυκνότητας αποθέσεως (πάχος στρώσεως 4m).

**Στρώση 2α:** Αμμώδης άργιλος (CL) στιφρή, με ζώνες αργιλώδους ή ιλυώδους άμμου (SC,SM), με χάλικες, μέσης πυκνότητας αποθέσεως(πάχος στρώσεως 8m).

**Στρώση 2β:** Αμμώδης άργιλος (CL) πολύ στιφρή έως σκληρή με ενστρώσεις πυκνής αργιλώδους άμμου με χάλικες(SC,SM) (πάχος στρώσεως 15m).

**Στρώση 3:** Αμμώδης άργιλος (CL), σκληρή με ενστρώσεις πυκνού αργιλώδους αμμοχάλικου (SC,SM), έως πολύ ασθενής αργιλόλιθος, ιλιόλιθος ή λατυποπαγές.

Η Στρώση 1 φτάνει σε βάθος 4 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους, η Στρώση 2α συναντάται από τα -4 μέτρα έως τα -12 μέτρα, η Στρώση 2β από τα -12 έως τα -27 μέτρα ενώ η Στρώση 3 ξεκινά από τα -26 μέτρα και εκτίνεται σε βάθος κάτω από το δάπεδο των σηράγγων.

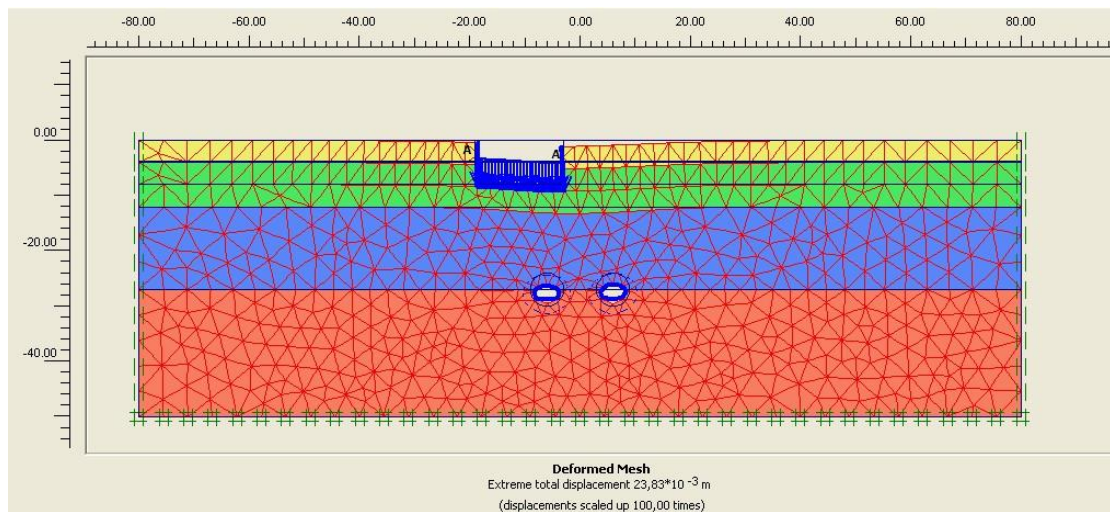
Η δεξιά σήραγγα βρίσκεται στα (6,-27)m ενώ η αριστερή στα (-6,-27)m. Η διάμετρος τους είναι 6 m και βρίσκονται και οι δύο εντός των Στρωμάτων 2β και 3.

Ο υδροφόρος ορίζοντας εντοπίζεται στα -4 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους.

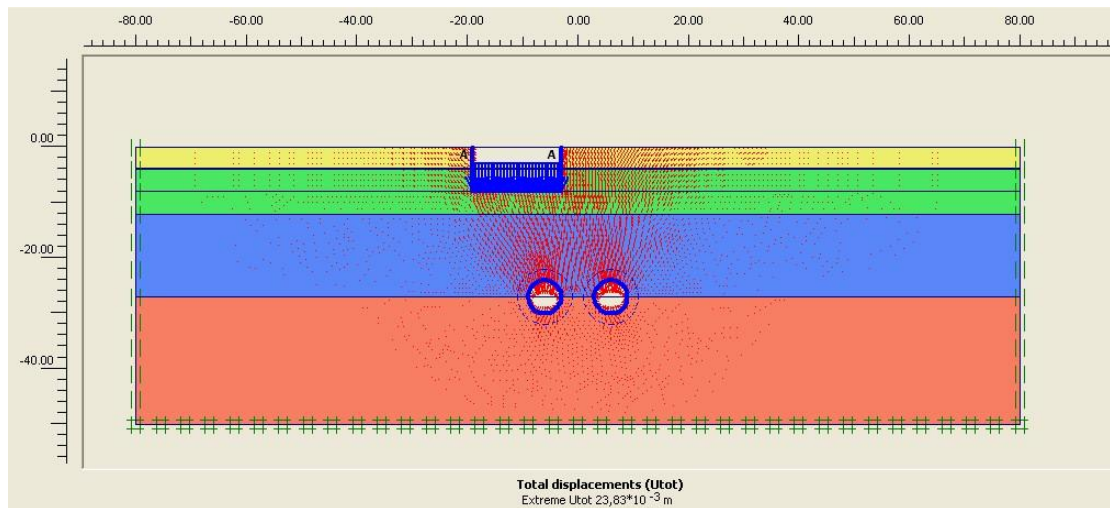
Τέλος το Κτίριο 2 βρίσκεται στη θέση από (-19,0) έως (-3,0) ενώ η στάθμη θεμελίωσής του ορίζεται στα 8m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Η απόσταση του σημείου θεμελίωσης από ο κέντρο των σηράγγων είναι  $h=19m$  και έχει φορτίο 200 ΚΡα.

Στο Κτίριο 4 επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία που έλαβε χώρα στο Κτίριο 3. Έτσι και εδώ σε πρώτη φάση έγινε αλλαγή του λόγου  $V_s/V$  από 0,8% σε 1,2% υποενότητες 4.4.1 και 4.4.2. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μεταβολή στην τιμή του μέτρου ελαστικότητας μειούμενο κατά 33% και αυξανόμενο κατά 50% για τις δύο τιμές του λόγου  $V_s/V$  όπως παρουσιάζεται στις υποενότητες 4.4.3 έως 4.4.6. Για κάθε συνδυασμό μεταβολής παρουσιάζονται το πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων όπως αυτό προέκειψε με το τέλος της ολοκλήρωσης όλων των σταδίων καθώς και οι μετατοπίσεις.

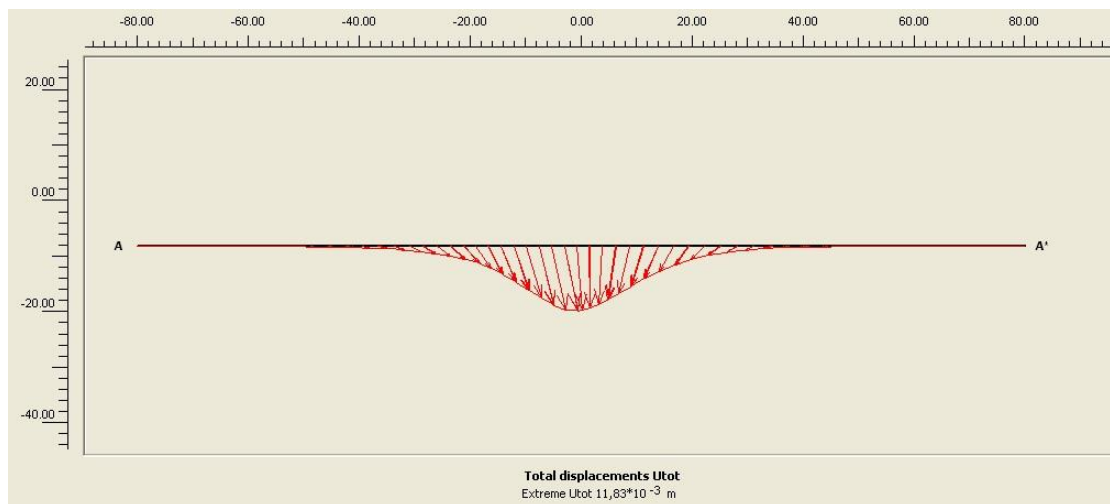
**4.4.1 Κτίριο 4 Ανηγμένη Απώλεια Όγκου  $V_s / V = 0,8 \%$**



**Σχήμα 4.86: Κτίριο 4 – Παραμορφωμένο Πλέγμα Πεπερασμένων Στοιχείων ( $V_s / V = 0,8 \%$ )**

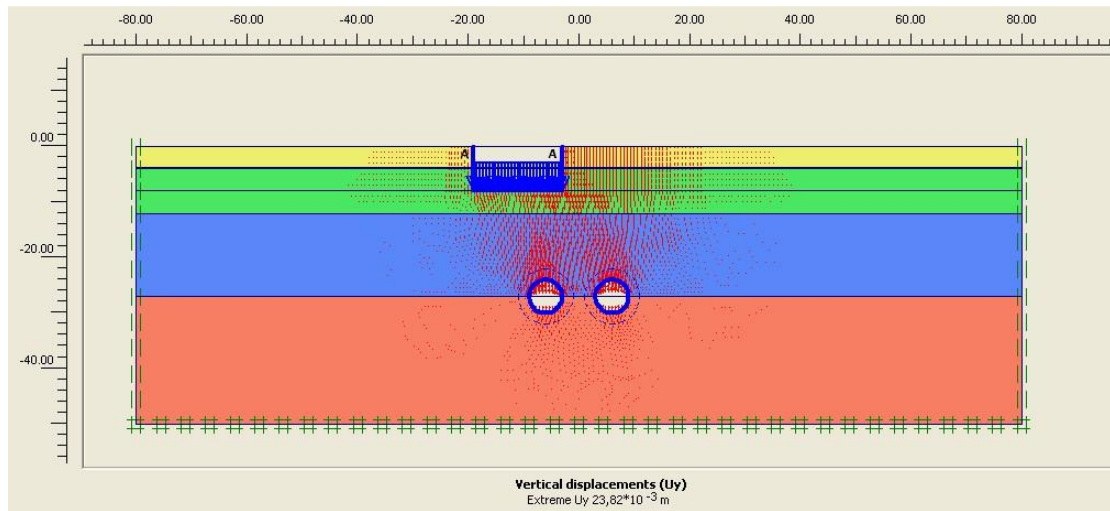


**Σχήμα 4.87: Κτίριο 4 – Ολικές Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ )**

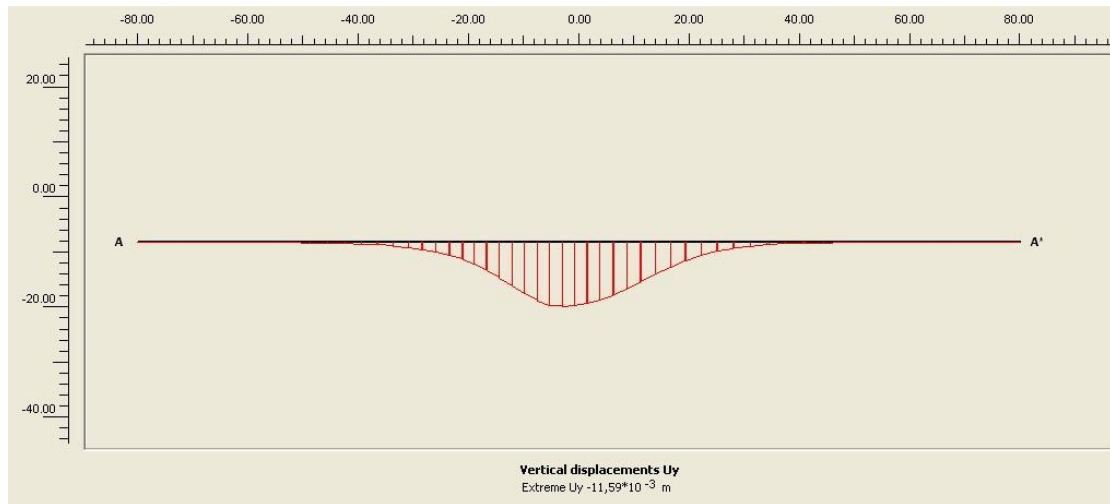


**Σχήμα 4.88: Κτίριο 4 – Διανύσματα Μετατοπίσεων ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) – Τομή A-A'**

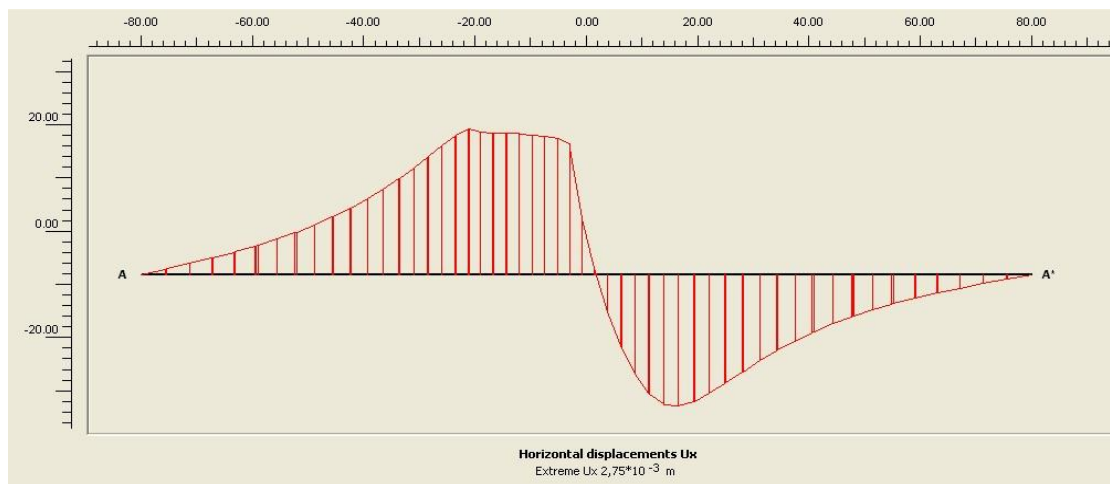
## Κεφάλαιο 4



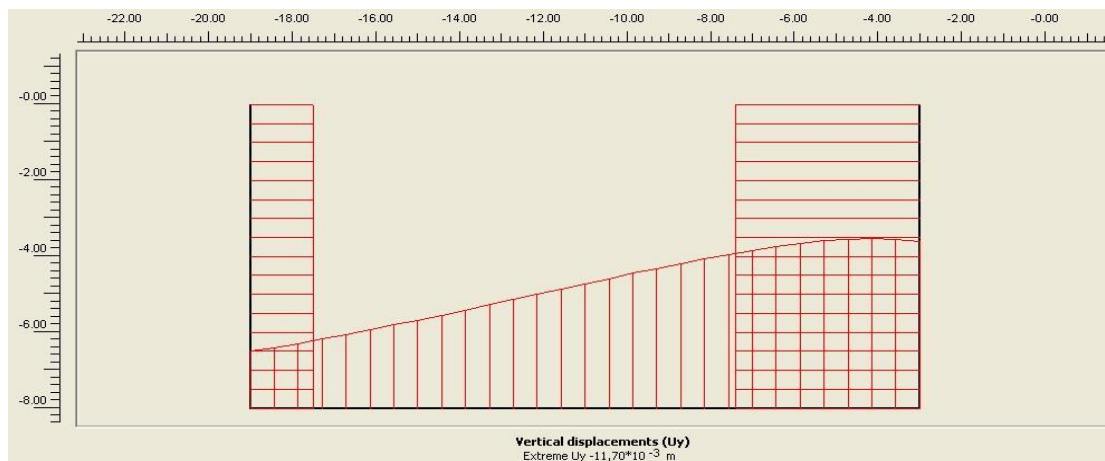
Σχήμα 4.89: Κτίριο 4 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ )



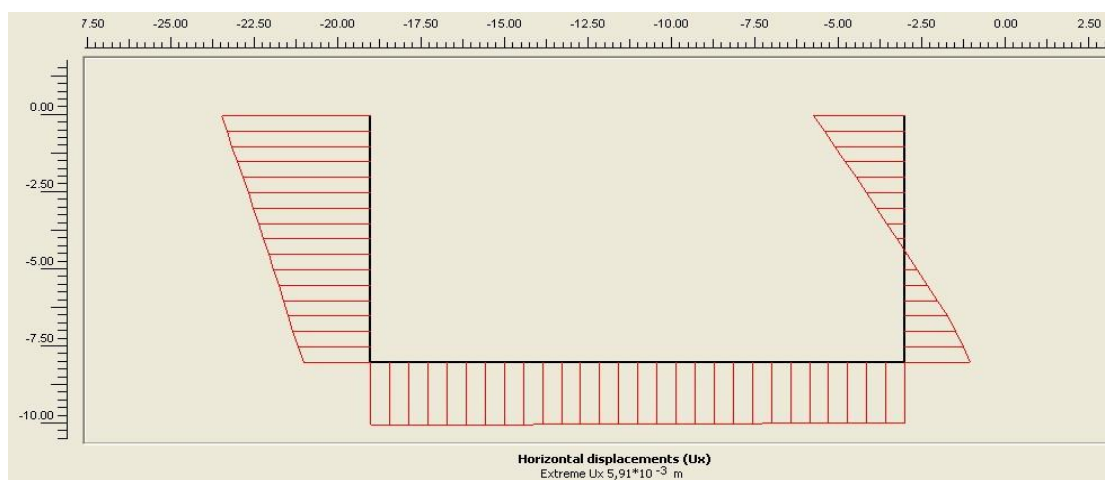
Σχήμα 4.90: Κτίριο 4 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) – Τομή A-A'



Σχήμα 4.91: Κτίριο 4 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) – Τομή A-A'



Σχήμα 4.92: Κτίριο 4 – Καθιζήσεις (Vs / V = 0,8 %) – Άκρα Κτιρίου 4

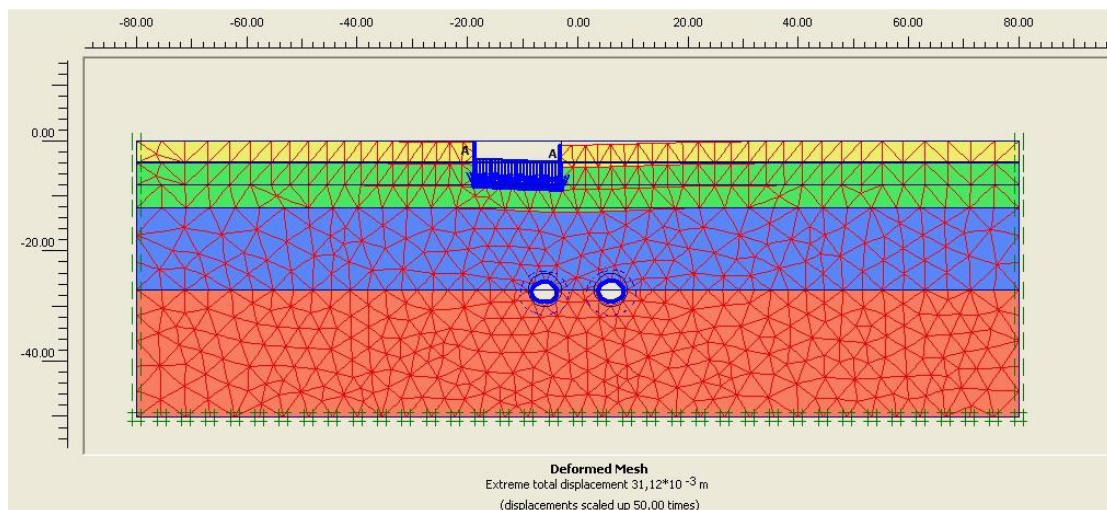


Σχήμα 4.93: Κτίριο 4 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις (Vs / V = 0,8 %) – Άκρα Κτιρίου 4

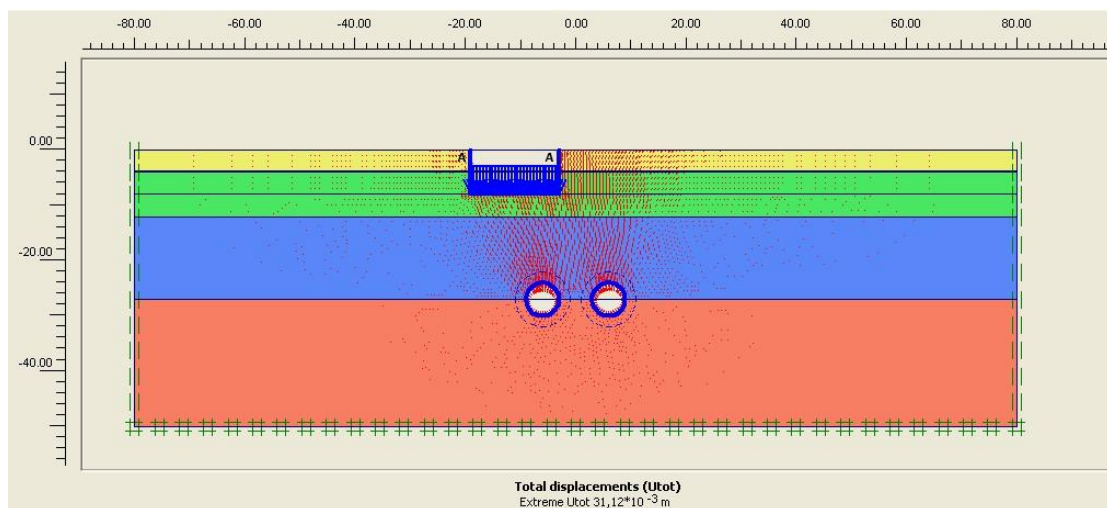
Πίνακας 4.15		
Περιοχή Κτιρίου 4 – Μετατοπίσεις		
Vs / V = 0,8 %		
Θέση Μετατοπίσεως	Uy (mm)	Ux (mm)
Μέγιστη Καθίζηση περιοχής A-A'	11,59	2,8
Εγγύς Άκρο Κτιρίου - Β	-11,509	-3,609
Άκρο Κτιρίου - Γ	-3,917	-3,609



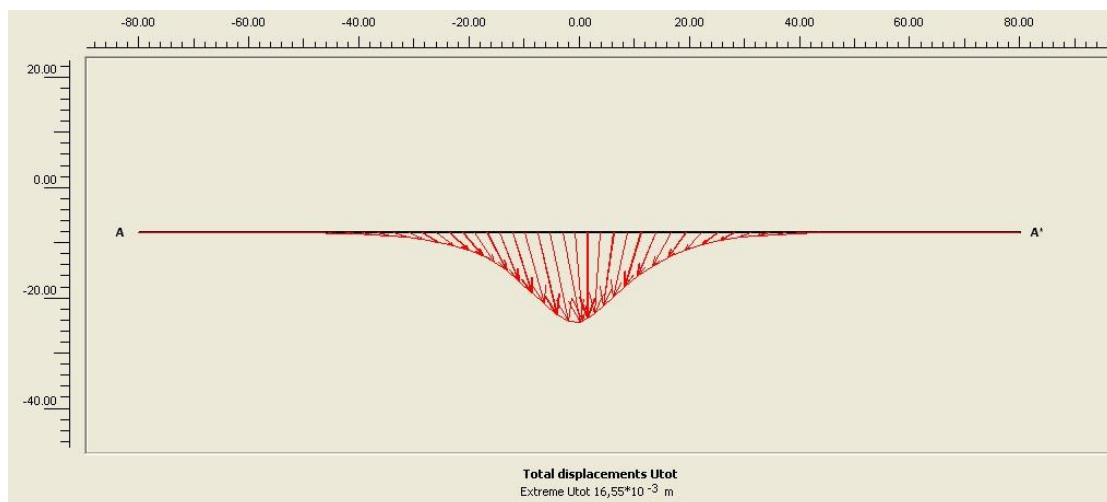
**4.4.2 Κτίριο 4 Ανηγμένη Απώλεια Όγκου  $V_s / V = 1,2 \%$**



**Σχήμα 4.94: Κτίριο 4– Παραμορφωμένο Πλέγμα Πεπερασμένων Στοιχείων ( $V_s / V = 1,2 \%$ )**



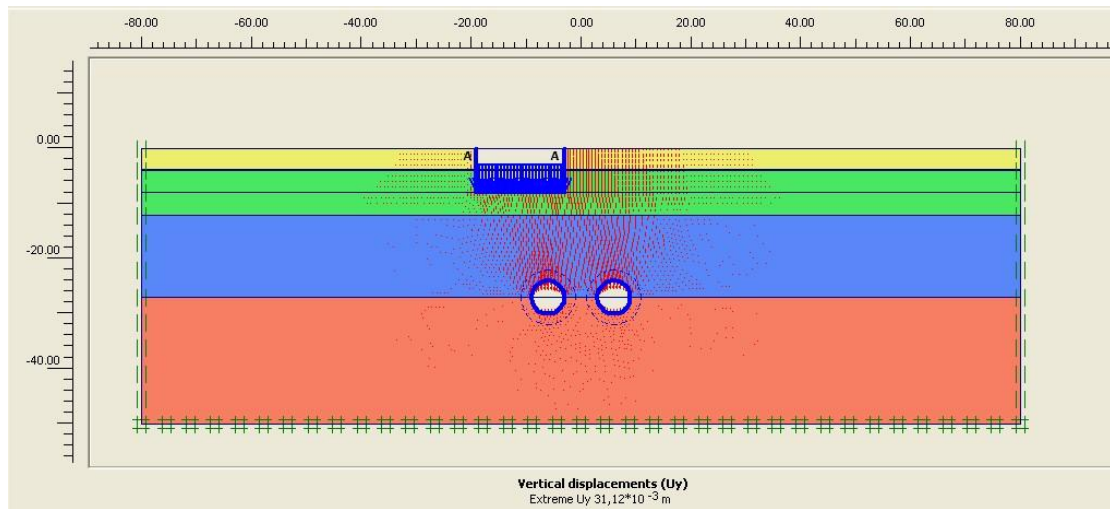
**Σχήμα 4.95: Κτίριο 4 – Ολικές Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ )**



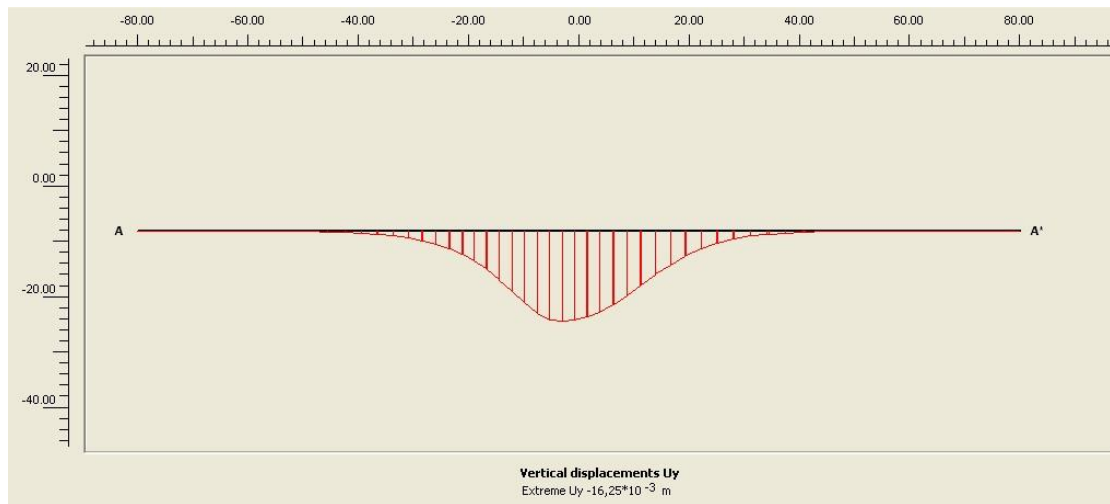
**Σχήμα 4.96: Κτίριο 4 – Διανύσματα Μετατοπίσεων ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) – Τομή A-A'**



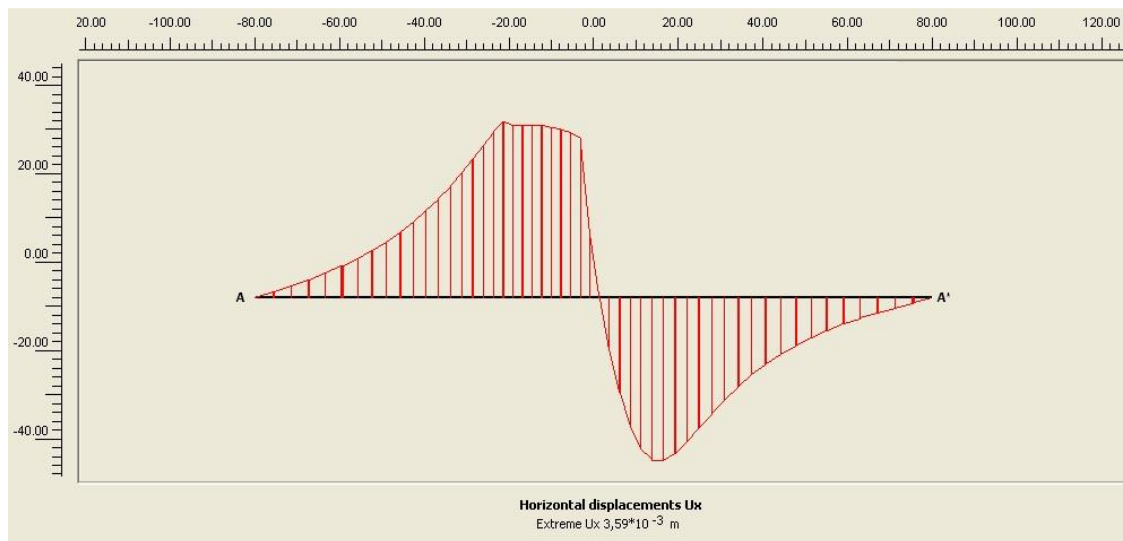
## Κεφάλαιο 4



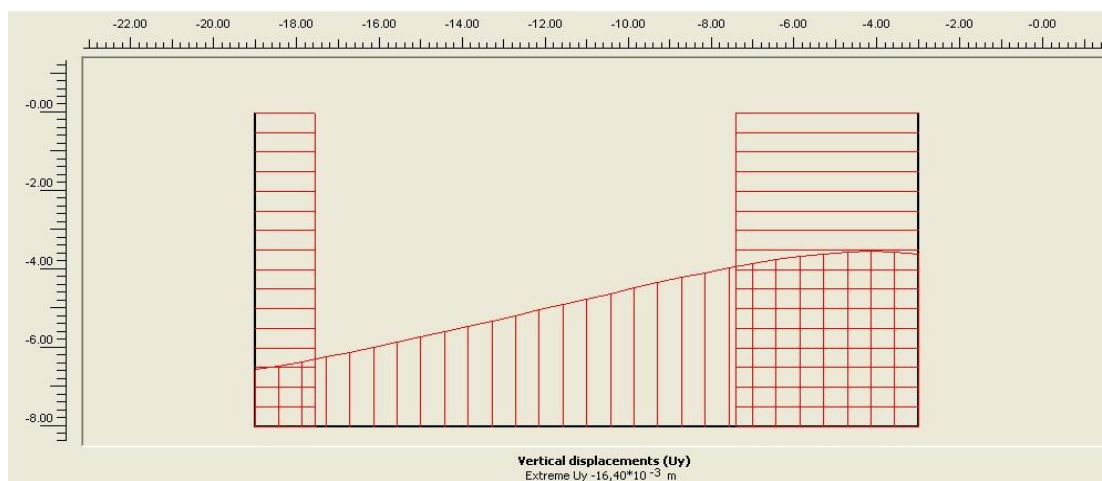
Σχήμα 4.97: Κτίριο 4 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ )



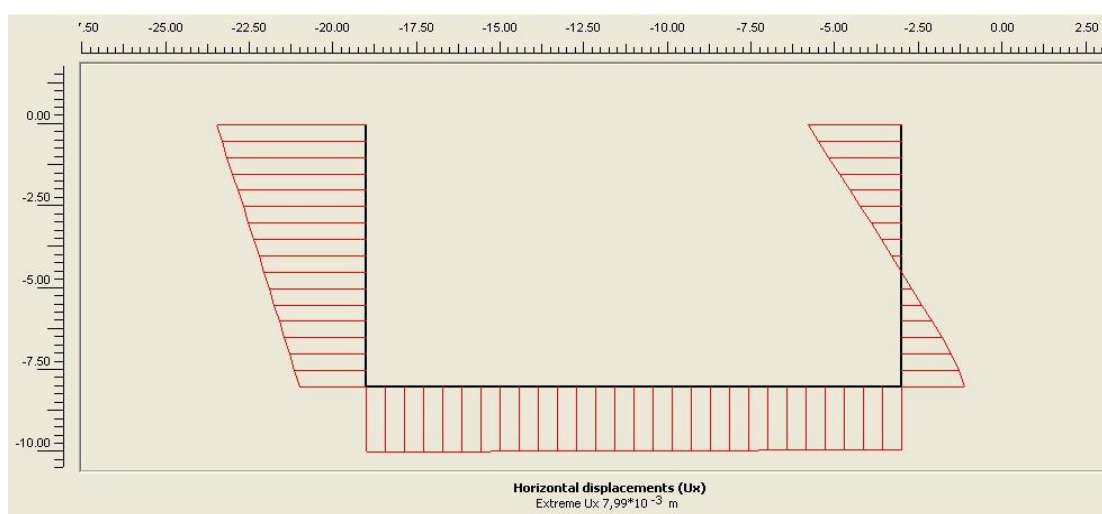
Σχήμα 4.98: Κτίριο 4 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) – Τομή A-A'



Σχήμα 4.99: Κτίριο 4 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) – Τομή A-A'



Σχήμα 4.100: Κτίριο 4 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) – Άκρα Κτιρίου 4



Σχήμα 4.101: Κτίριο 4 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) – Άκρα Κτιρίου 4

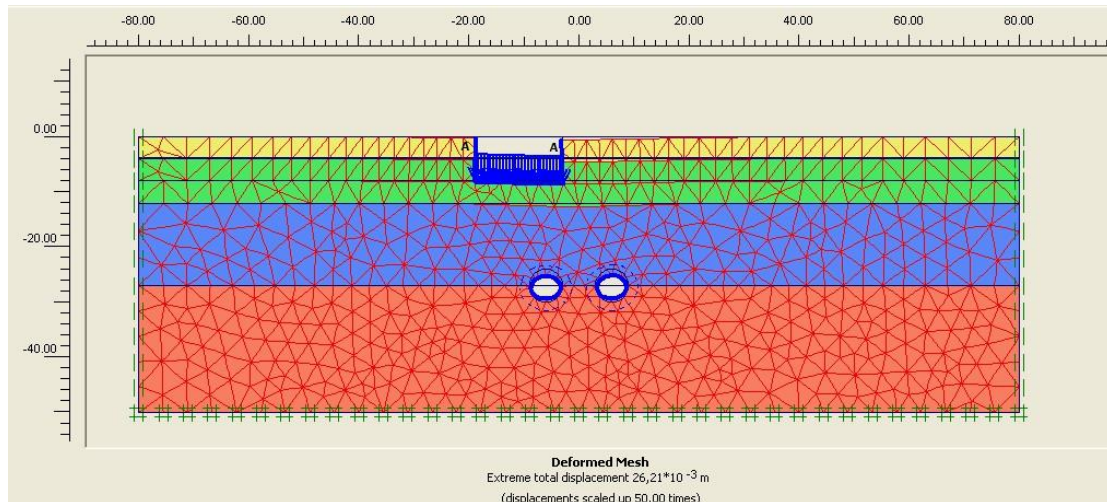
Πίνακας 4.16

Περιοχή Κτιρίου 4 – Μετατοπίσεις

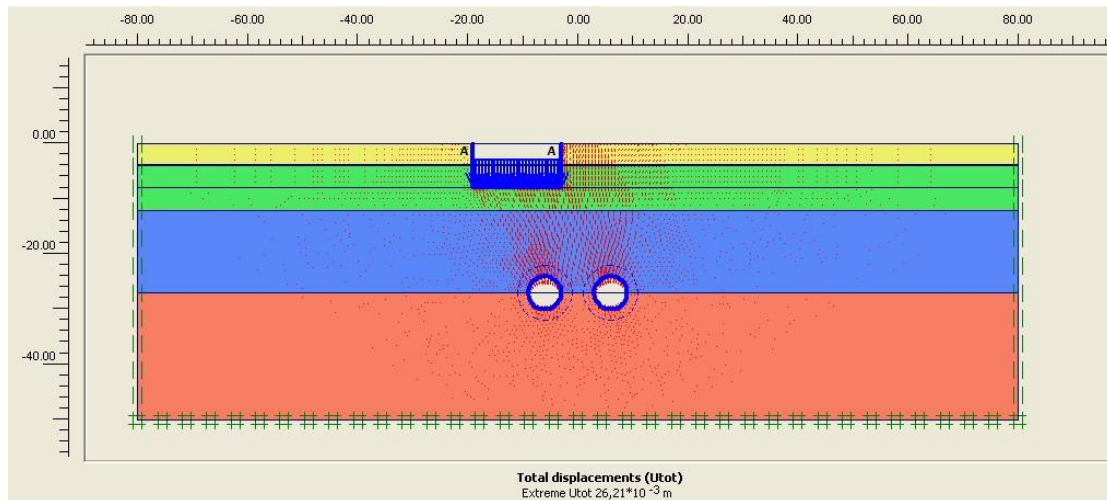
$V_s / V = 1,2 \%$

Θέση Μετατοπίσεως	Uy (mm)	Ux (mm)
Μέγιστη Καθίζηση περιοχής A-A'	-16,25	3,59
Εγγύς Άκρο Κτιρίου - Β	-16,146	-4,996
Άκρο Κτιρίου - Γ	-5,299	-4,996

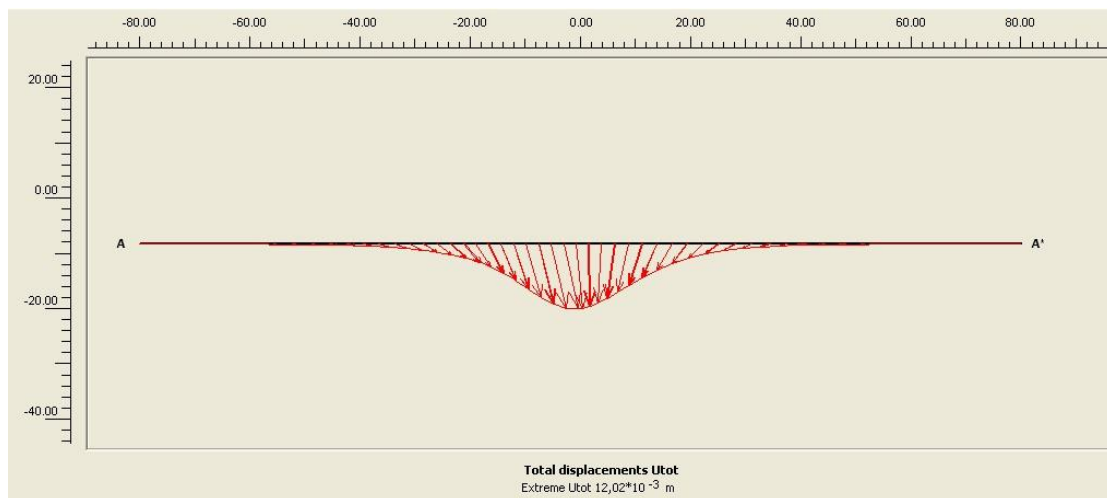
**4.4.3 Κτίριο 4 Ανηγμένη Απώλεια Όγκου  $V_s / V = 0,8 \%$  &  $E'=0,67xE$**



**Σχήμα 4.102: Κτίριο 4 – Παραμορφωμένο Πλέγμα Πεπερασμένων Στοιχείων ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) &  $E'=0,67xE$**

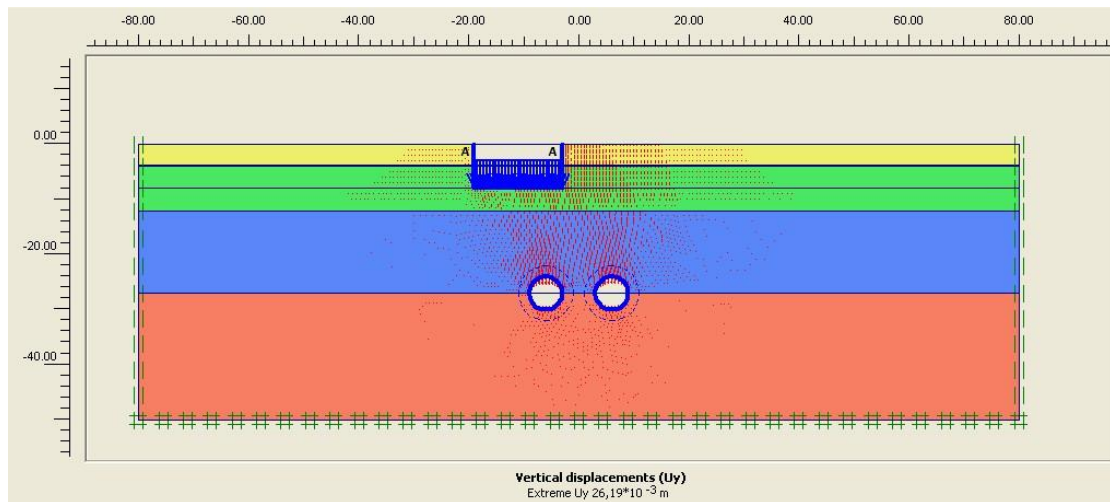


**Σχήμα 4.103:Κτίριο 4 – Ολικές Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) &  $E'=0,67xE$**

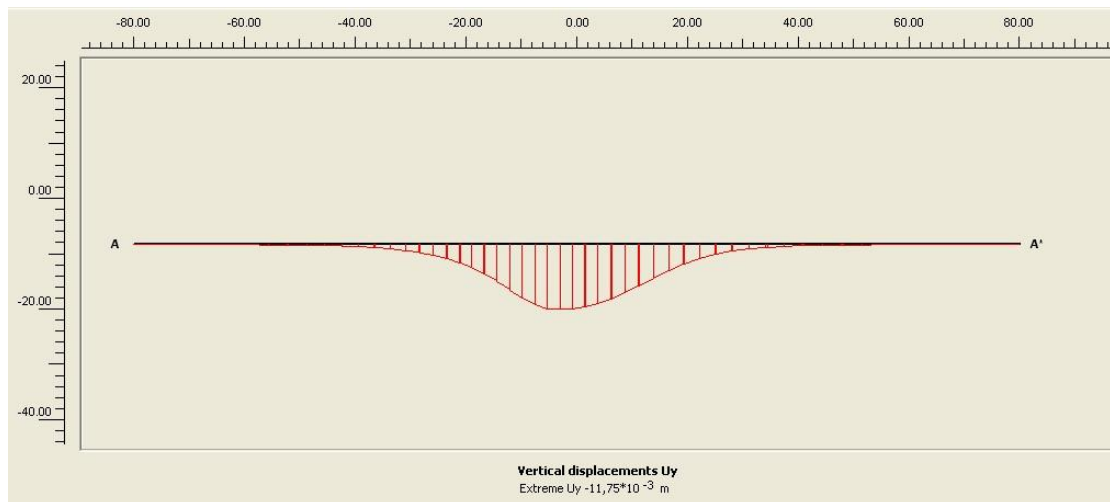


**Σχήμα 4.104: Κτίριο 4 – Διανύσματα Μετατοπίσεων ( $V_s / V = 0,8 \%$ )&  $E'=0,67xE$  – Τομή A-A'**

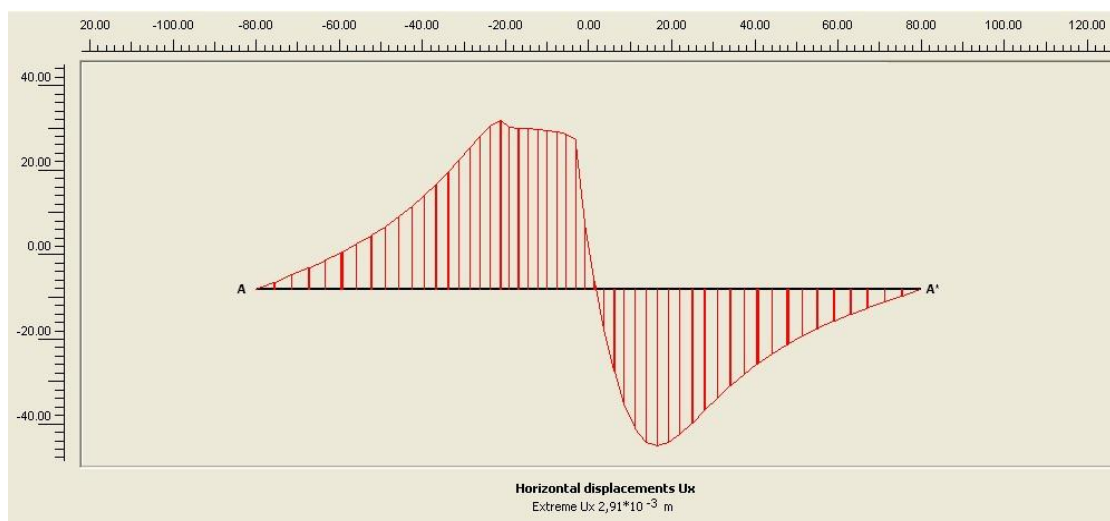
## Κεφάλαιο 4



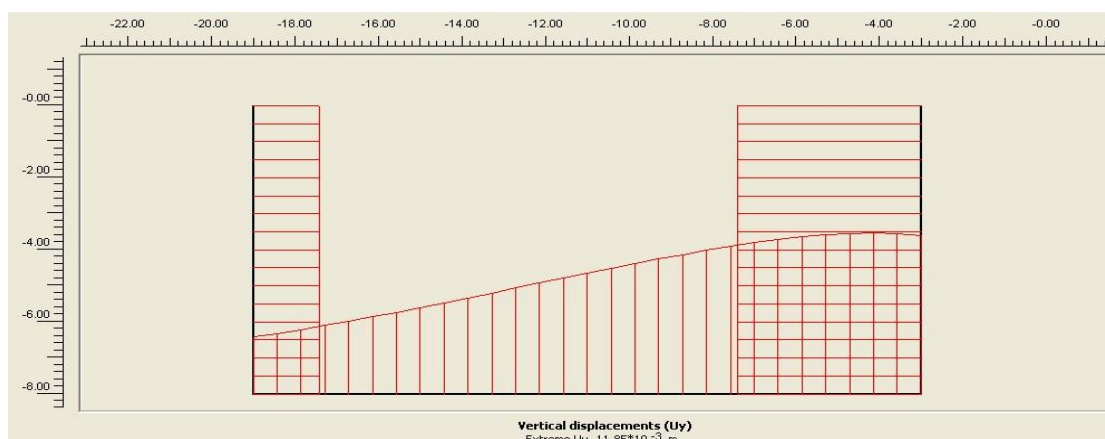
Σχήμα 4.105: Κτίριο 4 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) &  $E' = 0,67 \times E$



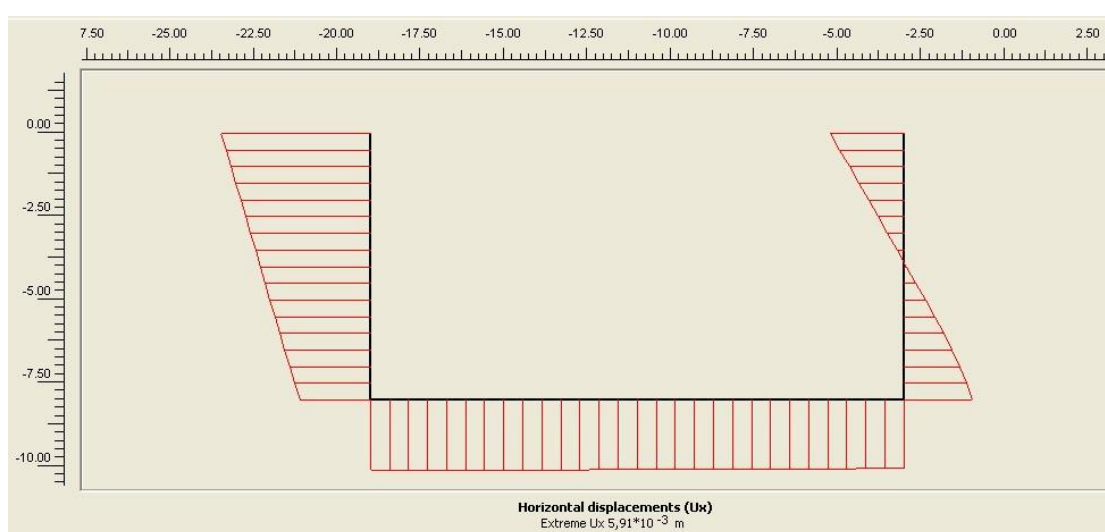
Σχήμα 4.106: Κτίριο 4 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) &  $E' = 0,67 \times E$  – Τομή A-A'



Σχήμα 4.107: Κτίριο 4 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) &  $E' = 0,67 \times E$  – Τομή A-A'



Σχήμα 4.108: Κτίριο 4 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) &  $E' = 0,67 \times E$  – Άκρα Κτιρίου 4

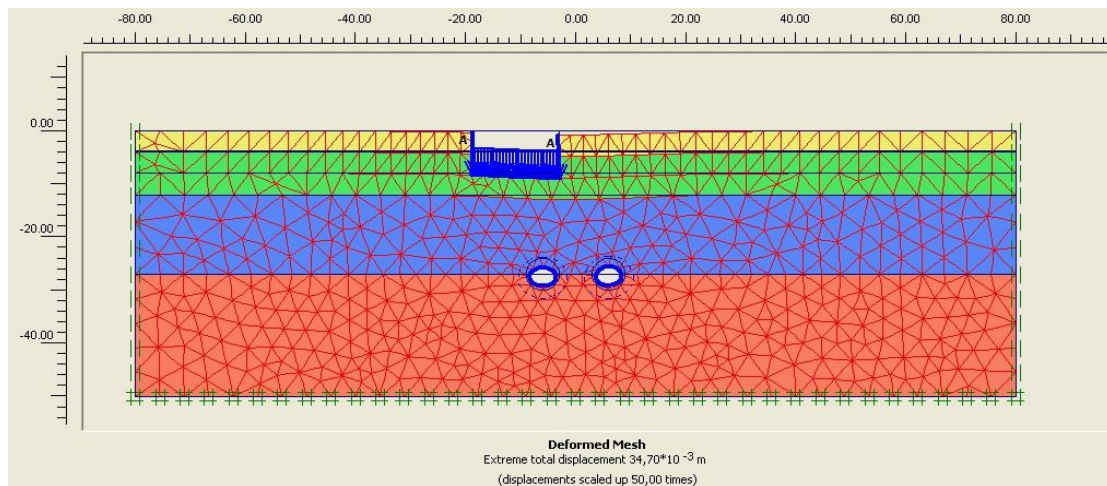


Σχήμα 4.109: Κτίριο 4 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) &  $E' = 0,67 \times E$  – Άκρα Κτιρίου 4

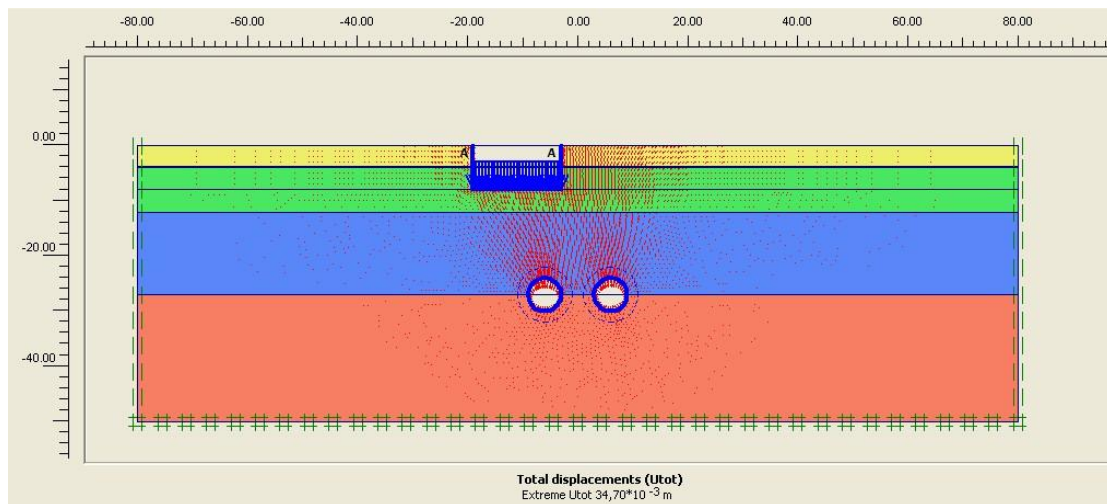
Πίνακας 4.17		
Περιοχή Κτιρίου 4 – Μετατοπίσεις		
$V_s / V = 0,8 \%$ & $E' = 0,67 \times E$		
Θέση Μετατοπίσεως	$U_y$ (mm)	$U_x$ (mm)
Μέγιστη Καθίζηση περιοχής A-A'	-11,75	2,91
Εγγύς Άκρο Κτιρίου - Β	-11,655	-4,253
Άκρο Κτιρίου - Γ	-4,179	-4,253



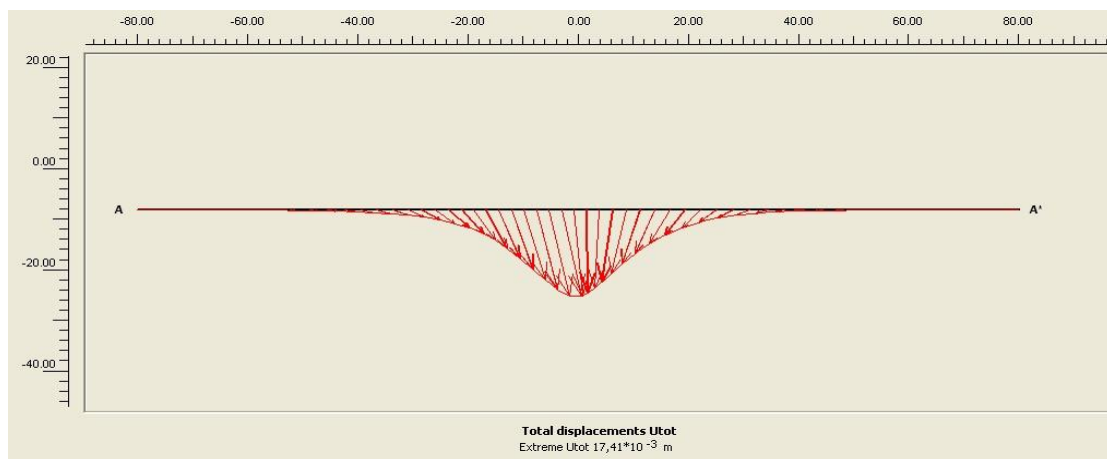
**4.4.4 Κτίριο 4 Ανηγμένη Απώλεια Όγκου  $V_s / V = 1,2 \%$  &  $E' = 0,67x E$**



**Σχήμα 4.110: Κτίριο 4 – Παραμορφωμένο Πλέγμα Πεπερασμένων Στοιχείων ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) &  $E' = 0,67x E$**

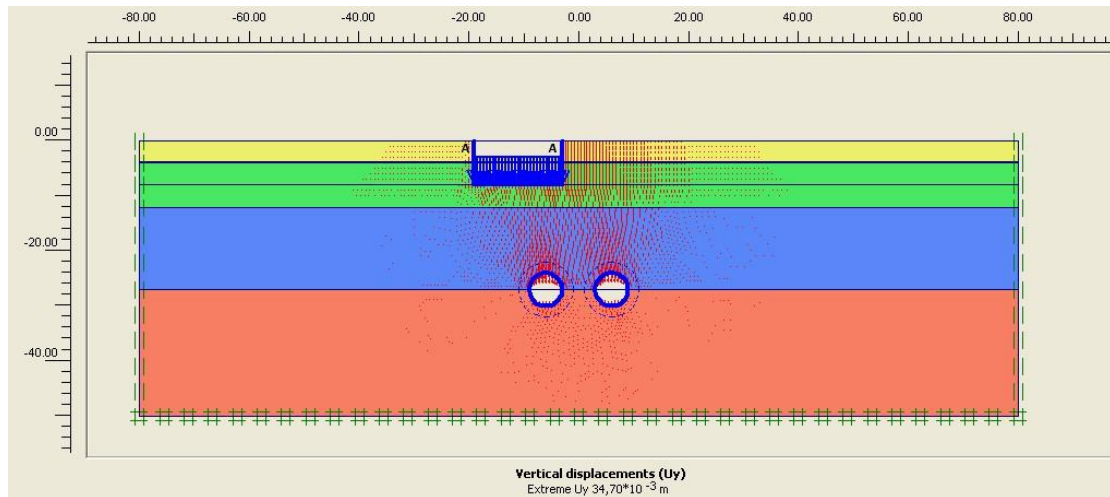


**Σχήμα 4.111: Κτίριο 4 – Ολικές Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) &  $E' = 0,67x E$**

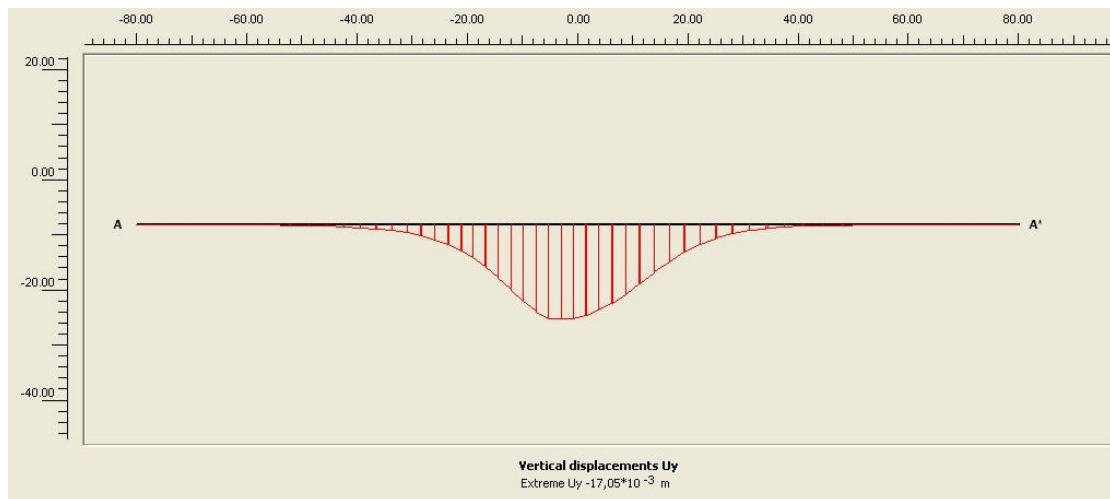


**Σχήμα 4.112: Κτίριο 4 – Διανύσματα Μετατοπίσεων ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) &  $E' = 0,67x E$  – Τομή Α-Α'**

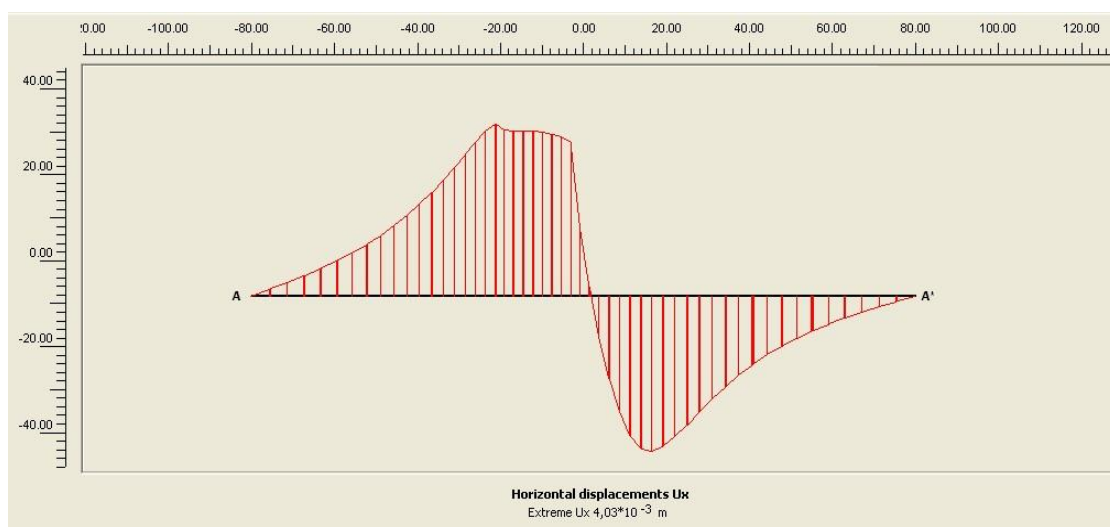
## Κεφάλαιο 4



Σχήμα 4.113: Κτίριο 4 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2\%$ ) &  $E' = 0,67 \times E$

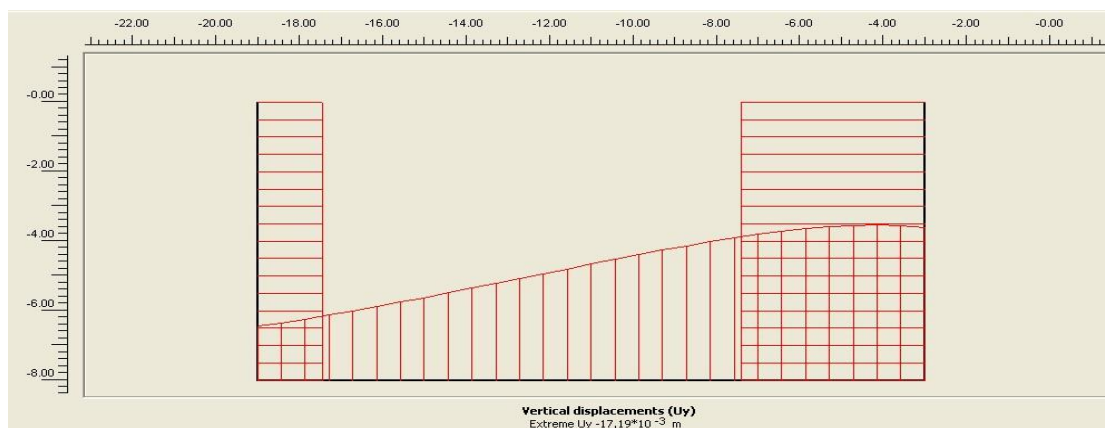


Σχήμα 4.114: Κτίριο 4 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2\%$ ) &  $E' = 0,67 \times E$  – Τομή A-A'

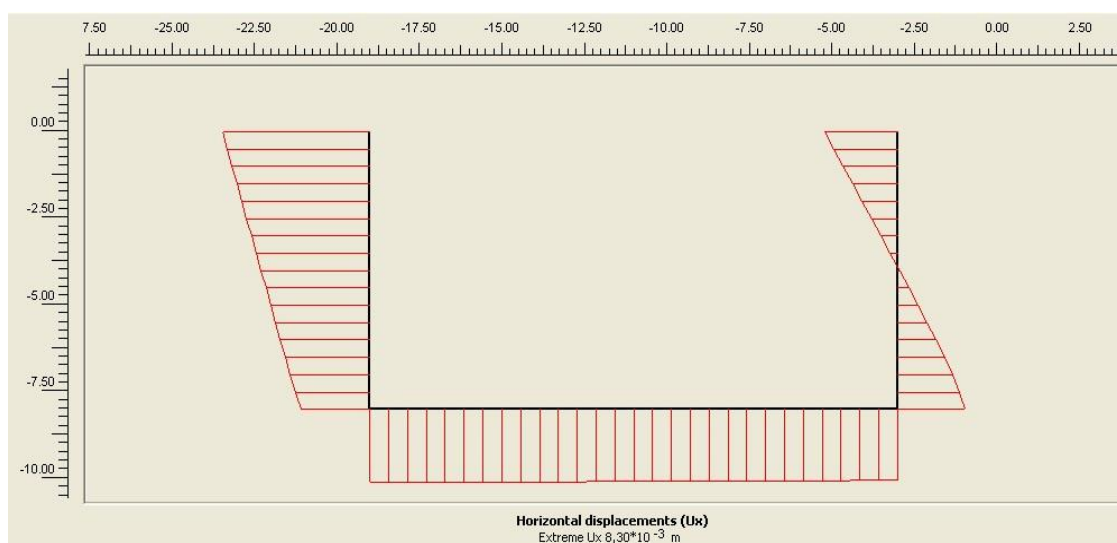


Σχήμα 4.115: Κτίριο 4 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 1,2\%$ ) &  $E' = 0,67 \times E$  – Τομή A-A'

## Κεφάλαιο 4



**Σχήμα 4.116: Κτίριο 4 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2\%$ ) &  $E' = 0,67x E$  – Άκρα Κτιρίου 4**



**Σχήμα 4.117: Κτίριο 4 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 1,2\%$ ) &  $E' = 0,67x E$  – Άκρα Κτιρίου 4**

**Πίνακας 4.18**

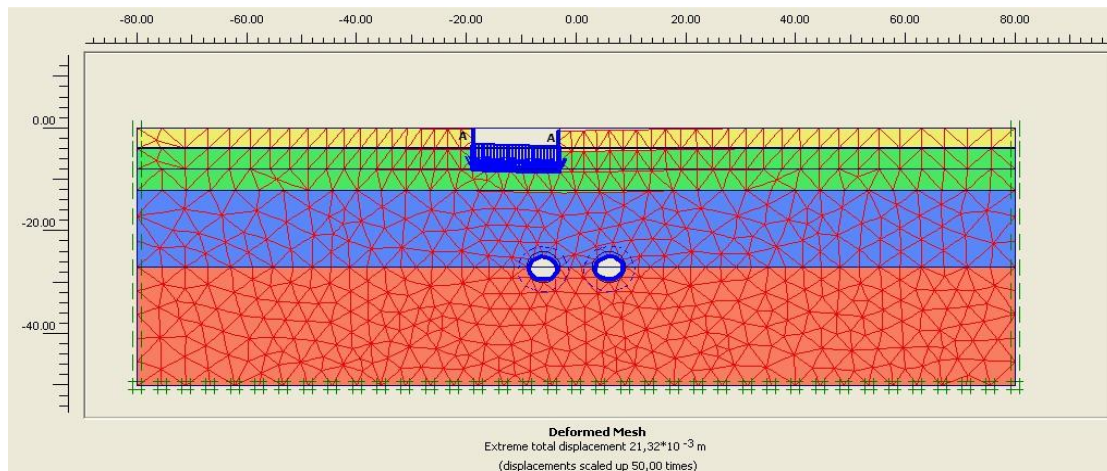
**Περιοχή Κτιρίου 4 – Μετατοπίσεις**

**$V_s / V = 1,2\%$  &  $E' = 0,67x E$**

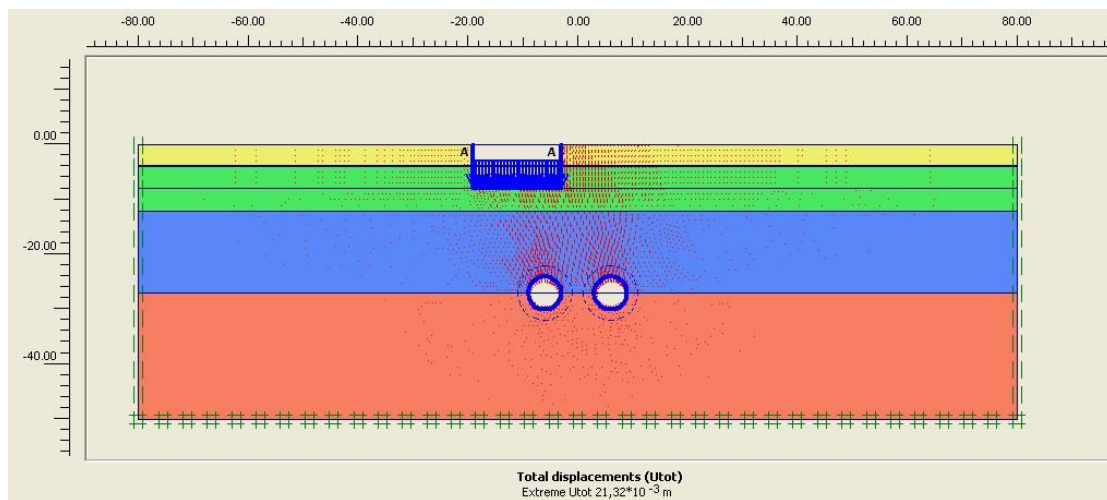
Θέση Μετατοπίσεως	Uy (mm)	Ux (mm)
Μέγιστη Καθίζηση περιοχής A-A'	-17,05	4,03
Εγγύς Άκρο Κτιρίου - Β	-16,928	-5,740
Άκρο Κτιρίου - Γ	-5,966	-5,740



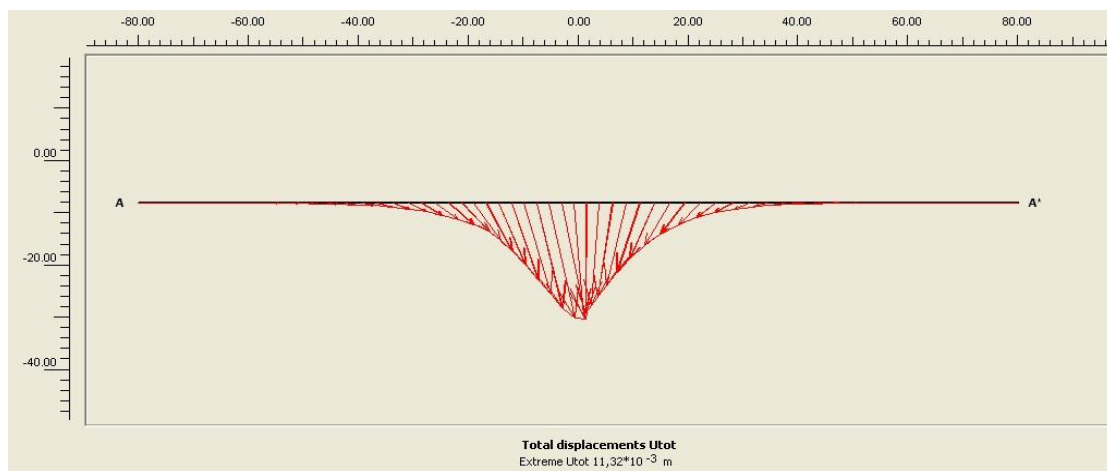
**4.4.5 Κτίριο 4 Ανηγμένη Απώλεια Όγκου  $V_s / V = 0,8\%$  &  $E' = 1,5x E$**



**Σχήμα 4.118: Κτίριο 4 – Παραμορφωμένο Πλέγμα Πεπερασμένων Στοιχείων ( $V_s / V = 0,8\%$ ) &  $E' = 1,5x E$**

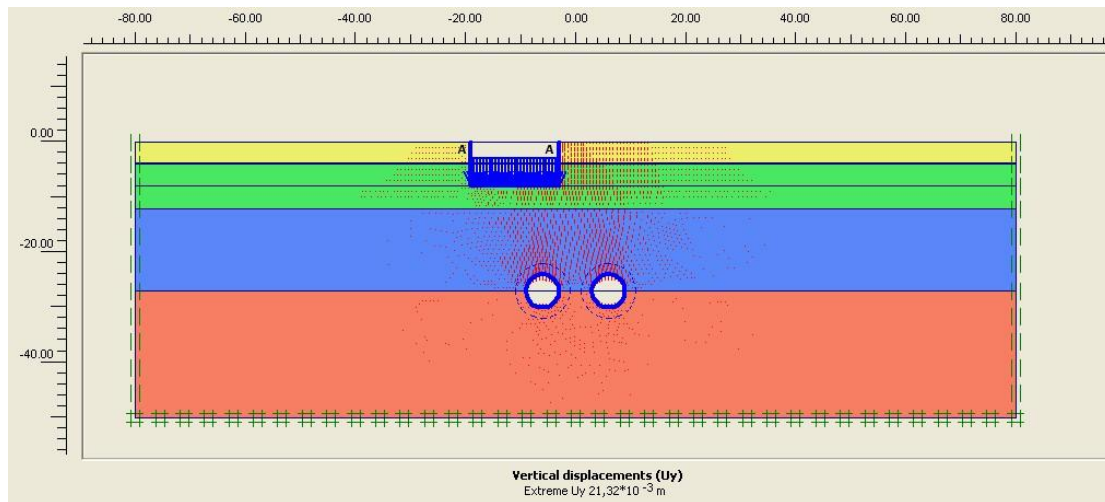


**Σχήμα 4.119: Κτίριο 4 – Ολικές Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 0,8\%$ ) &  $E' = 1,5x E$**

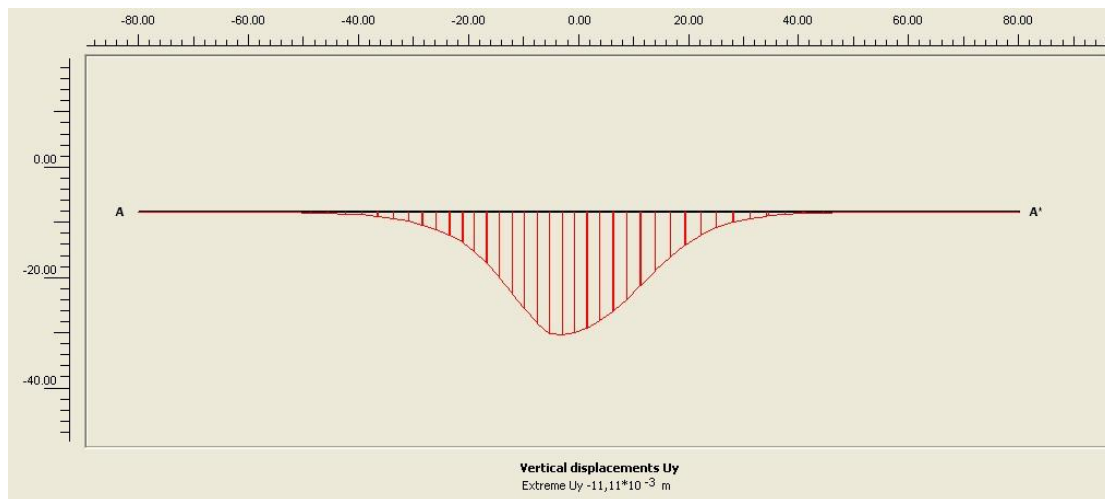


**Σχήμα 4.120: Κτίριο 4 – Διανύσματα Μετατοπίσεων ( $V_s / V = 0,8\%$ ) &  $E' = 1,5x E$  – Τομή A-A'**

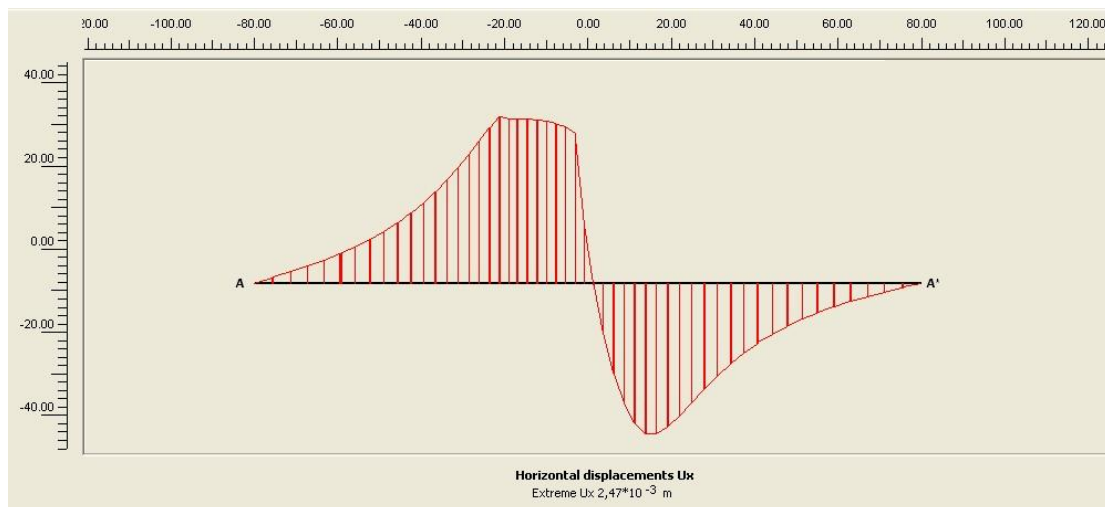
## Κεφάλαιο 4



Σχήμα 4.121: Κτίριο 4 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 0,8\%$ ) &  $E' = 1,5 \times E$

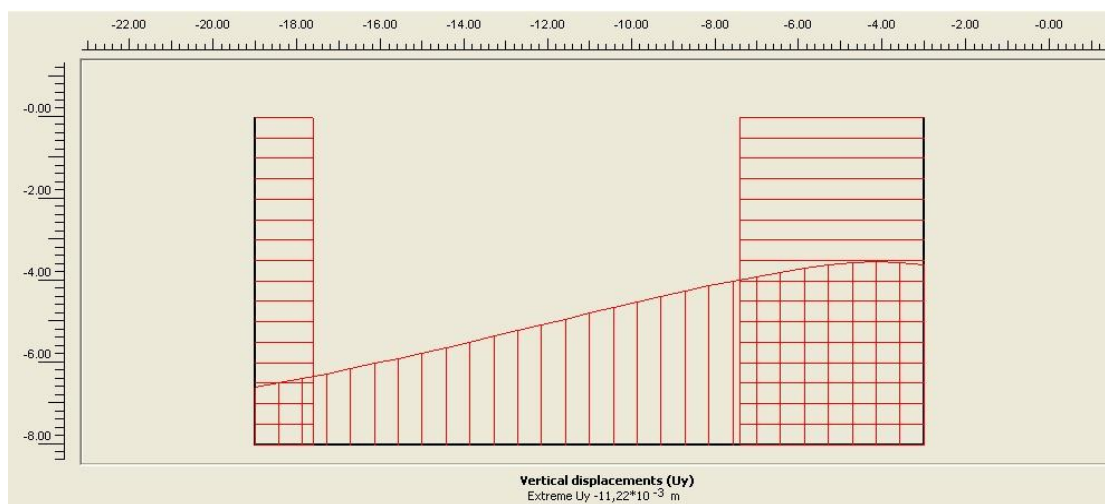


Σχήμα 4.122: Κτίριο 4 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 0,8\%$ ) &  $E' = 1,5 \times E$  – Τομή A-A'

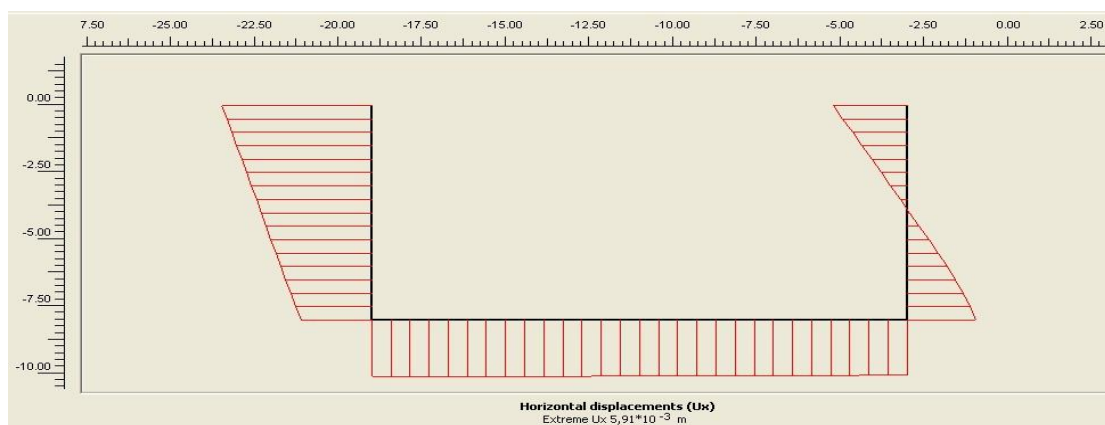


Σχήμα 4.123: Κτίριο 4 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 0,8\%$ ) &  $E' = 1,5 \times E$  – Τομή A-A'

## Κεφάλαιο 4



**Σχήμα 4.124: Κτίριο 4 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) &  $E' = 1,5 \times E$  – Άκρα Κτιρίου 4**



**Σχήμα 4.125: Κτίριο 4 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 0,8 \%$ ) &  $E' = 1,5 \times E$  – Άκρα Κτιρίου 4**

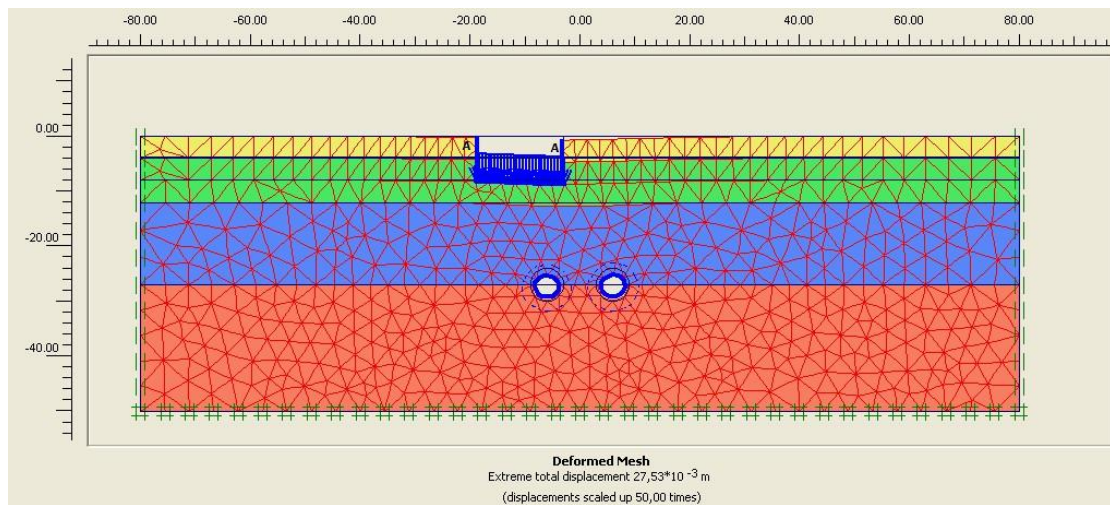
**Πίνακας 4.19**

**Περιοχή Κτιρίου 4 – Μετατοπίσεις**

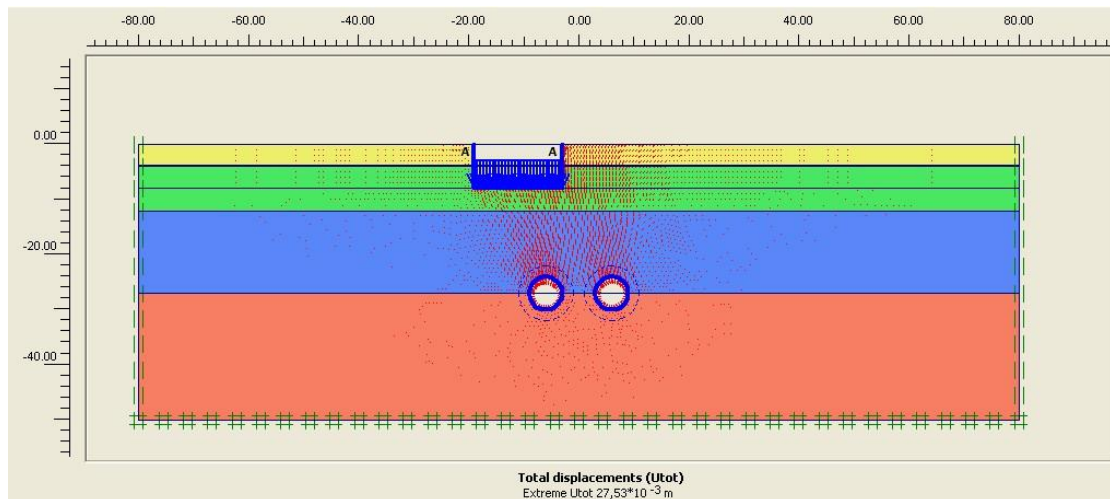
**$V_s / V = 0,8 \%$  &  $E' = 1,5 \times E$**

Θέση Μετατοπίσεως	Uy (mm)	Ux (mm)
Μέγιστη Καθίζηση περιοχής A-A'	-11,11	2,47
Εγγύς Άκρο Κτιρίου - Β	-11,045	-2,916
Άκρο Κτιρίου - Γ	-3,528	-2,916

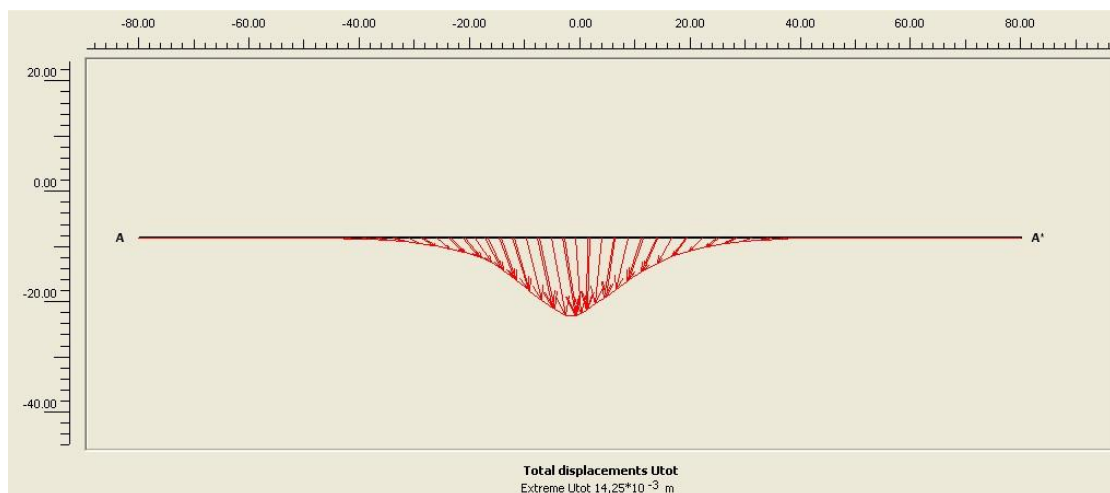
**4.4.6 Κτίριο 4 Ανηγμένη Απώλεια Όγκου  $V_s / V = 1,2 \%$  &  $E'=1,5x E$**



**Σχήμα 4.126: Κτίριο 4 – Παραμορφωμένο Πλέγμα Πεπερασμένων Στοιχείων ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) &  $E'=1,5x E$**

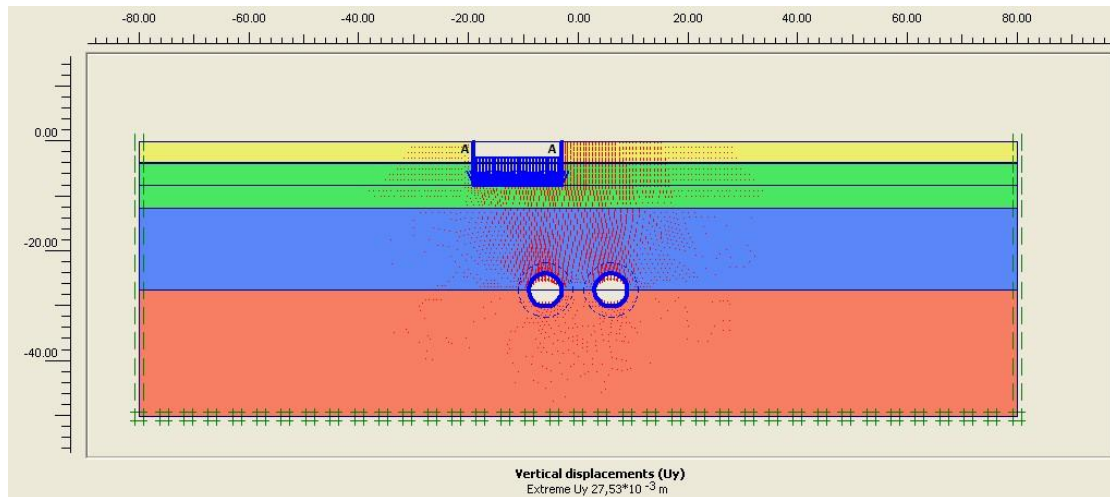


**Σχήμα 4.127: Κτίριο 4 – Ολικές Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) &  $E'=1,5x E$**

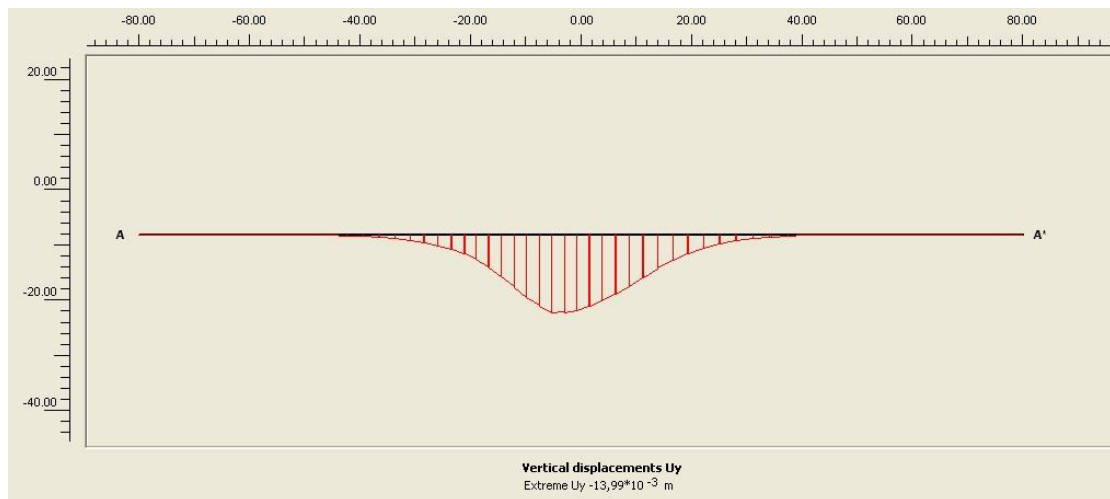


**Σχήμα 4.128: Κτίριο 4 – Διαγράμματα Μετατοπίσεων ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) &  $E'=1,5x E$  – Τομή A-A'**

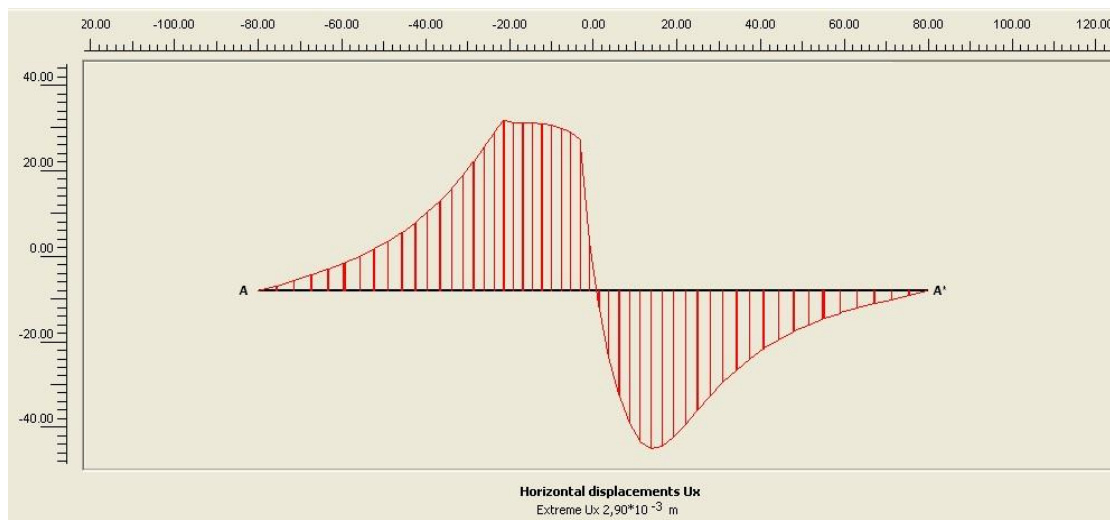
## Κεφάλαιο 4



Σχήμα 4.129: Κτίριο 4 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) &  $E' = 1,5 \times E$

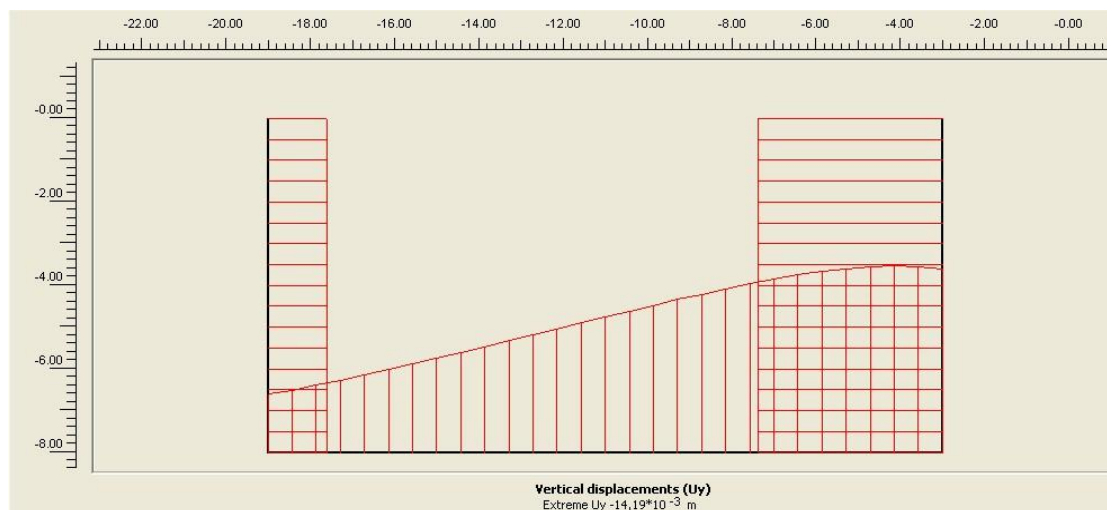


Σχήμα 4.130: Κτίριο 4 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) &  $E' = 1,5 \times E$  – Τομή A-A'

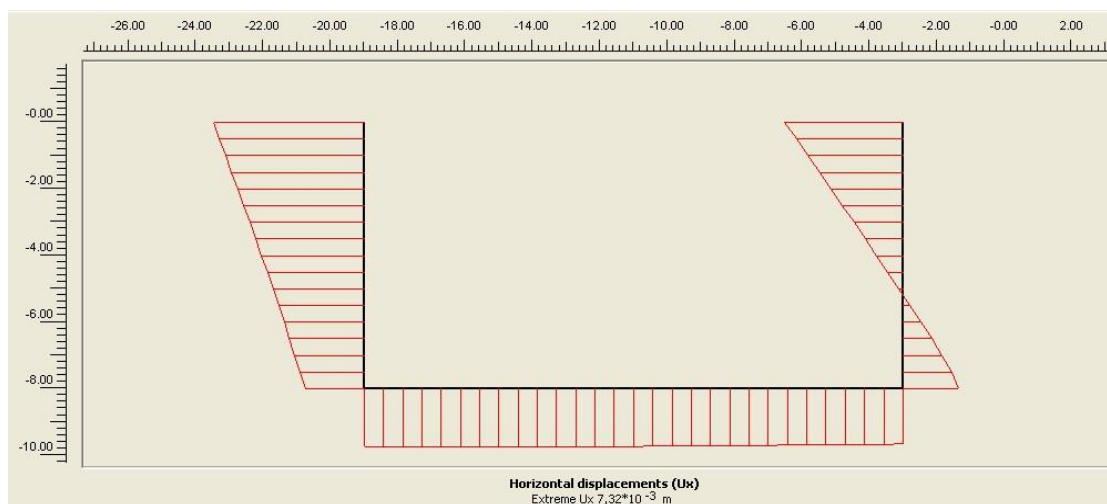


Σχήμα 4.131: Κτίριο 4 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) &  $E' = 1,5 \times E$  – Τομή A-A'





**Σχήμα 4.132: Κτίριο 4 – Καθιζήσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) &  $E' = 1,5 \times E$  – Άκρα Κτιρίου 4**



**Σχήμα 4.133: Κτίριο 4 – Οριζόντιες Μετατοπίσεις ( $V_s / V = 1,2 \%$ ) &  $E' = 1,5 \times E$  – Άκρα Κτιρίου 4**

<b>Πίνακας 4.20</b>		
<b>Περιοχή Κτιρίου 4 – Μετατοπίσεις</b>		
<b><math>V_s / V = 1,2 \%</math> &amp; <math>E' = 1,5 \times E</math></b>		
<b>Θέση Μετατοπίσεως</b>	<b>Uy (mm)</b>	<b>Ux (mm)</b>
Μέγιστη Καθίζηση περιοχής A-A'	-13,99	2,90
Εγγύς Άκρο Κτιρίου - Β	-13,904	-4,107
Άκρο Κτιρίου - Γ	-4,409	-4,107

**4.5 Παρατηρήσεις – Αξιολογήσεις**

Έχοντας φέρει σε πέρας τις αναλύσεις με τη βοήθεια του γεωτεχνικού προγράμματος Plaxis V8 (Κεφάλαιο 3) είναι δυνατή πλέον η επεξεργασία τους για την διεξαγωγή συμπερασμάτων. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα και τα σχόλια για τις περιοχές των τεσσάρων κτιρίων που μελετήθηκαν.

**Περιοχή Κτιρίου 1**

Στον Πίνακα 4.21 που ακολουθεί αναγράφονται τα αποτελέσματα των καθιζήσεων και των οριζοντίων μετατοπίσεων όπως αυτά προέκυψαν από τις αναλύσεις του προγράμματος.

<b>Πίνακας 4.21</b>				
<b>Περιοχή Κτιρίου 1</b>				
<b>Συγκριτικός Πίνακας Μετατοπίσεων</b>				
	<b>Vs / V = 0,8 %</b>		<b>Vs / V = 1,2 %</b>	
Θέση Μετατοπίσεως	Uy (mm)	Ux (mm)	Uy (mm)	Ux (mm)
Μέγιστη Μετατόπιση περιοχής A-A'	-3,27	1,36	-3,50	1,40
Εγγύς Άκρο Κτιρίου - B	-1,345	-0,810	-1,385	-0,829
Άκρο Κτιρίου - Γ	-0,418	-0,810	-0,409	-0,829

\*Όπου A-A' οριζόντια τομή στη βάση του κτιρίου.

Από τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα γίνεται αντιληπτό ότι διατηρώντας το μέτρο ελαστικότητας E σταθερό και μεταβάλλοντας τον λόγο Vs/V (ανηγμένη απώλεια όγκου) από 0,8% σε 1,2% παρατηρείται μεταβολή των μέγιστων μετατοπίσεων και μάλιστα με την αύξηση του λόγου προκαλείται αύξησή τους.

Συγκεκριμένα κατά 0,23 mm η μέγιστη τιμή της καθίζησης και 0,04 mm η μέγιστη τιμή της οριζόντιας μετακίνησης.

Αν θελήσουμε να τα εκφράσουμε σε ποσοστό τότε:

$$\frac{\left(\frac{V_s}{V}\right)_{\text{τελ}} - \left(\frac{V_s}{V}\right)_{\text{αρχ}}}{\left(\frac{V_s}{V}\right)_{\text{αρχ}}} = \frac{1,2 - 0,8}{0,8} = 0,5$$

$$\frac{(U_y)_{\text{τελ}} - (U_y)_{\text{αρχ}}}{(U_y)_{\text{αρχ}}} = \left| \frac{-3,50 + 3,27}{-3,27} \right| = 0,07$$

Επομένως για αύξηση του λόγου  $V_s/V$  κατά 50% προέκυψε αύξηση της τιμής των καθιζήσεων κατά 7%.

Το **σημείο καμπής** φαίνεται να βρίσκεται στα **15m** περίπου από την αρχή των νοητών αξόνων.

Η **γωνιακή στροφή θεμελίωσης** δίνεται από τη σχέση:

$$\omega \cong \varepsilon\phi\theta = \frac{S_B - S_T}{L} \eta$$

Όπου  $S_B$  και  $S_T$  είναι η τιμή της καθίζησης που εμφανίζεται στα άκρα του κτιρίου και  $L$  το μήκος του.

Επομένως η γωνιακή στροφή θεμελίωσης του Κτιρίου 1 για λόγο  $h/D = 3.5$  με  $h=21m$  (h:σημείο θεμελίωσης του κτιρίου) ,  $L=15m$  και απόσταση από την αρχή των αξόνων 18m είναι:

<b>Πίνακας 4.22</b>		
<b>Περιοχή Κτιρίου 1</b>		
<b>απόκλιση θεμελιώσεως <math>\omega \cong \varepsilon\phi\theta</math></b>		
$\omega \cong \varepsilon\phi\theta$	$V_s / V = 0,8 \%$	$V_s / V = 1,2 \%$
	$0,618 \times 10^{-4}$	$0,651 \times 10^{-4}$



Πίνακας 4.23					
Επιτρεπόμενα Όρια Γωνίας Στρωφής Κατά Tomlinson (1980)					
Τύπος Κατασκευής	Τύπος Ζημιάς	Επιτρεπόμενα όρια			
		Επιτρεπόμενες τιμές γωνιακής στρωφής $\omega$			
		Skempton Mc Donald (1956)	Meyerhof (1947)	Polshin & Tokar (1957)	Bjerrum (1963)
Κτίρια με σκελετό και οπλισμένες φέρουσες τοιχοποιίες	*Βλάβη στο φέροντα οργανισμό	1/150	1/250	1/150	1/150
	*Ρηγματώσεις στους τοίχους	1/300*	1/500	1/500	1/500

Ο πίνακας 4.23 συνοψίζει τις επιτρεπόμενες τιμές της γωνιακής στρωφής σύμφωνα με τους ερευνητές Skempton Mc Donald, Meyerhof, Polshin & Tokar και Bjerrum πέρα των οποίων εκδηλώνονται ρηγματώσεις ή βλάβες στον φέροντα οργανισμό του κτιρίου.

Από τον πίνακα 4.22 παρατηρείται ότι οι καθιζήσεις δε φαίνεται να έχουν επιδράσει στο φέροντα οργανισμό του κτιρίου καθώς η γωνία στρωφής που προκύπτει από τις αναλύσεις είναι τάξη μεγέθους μικρότερη από τα επιτρεπόμενα όρια που θέτουν οι προαναφερθέντες ερευνητές. Συγκεκριμένα η δυσμενέστερη περίπτωση εμφανίζεται για λόγο  $V_s/V=1,2$  και προκύπτει ότι  $\omega=1/15360 < 1/500$ .

Αξιοσημείωτο είναι ότι για αύξηση στο λόγο  $V_s/V$  κατά 50% παρουσιάστηκε αύξηση στη τιμή της γωνιακής στρωφής κατά 5,3%.

**Περιοχή Κτιρίου 2**

Στον Πίνακα 4.24 που ακολουθεί αναγράφονται τα αποτελέσματα των καθιζήσεων και των οριζοντίων μετατοπίσεων όπως αυτά προέκυψαν από τις αναλύσεις του προγράμματος.

<b>Πίνακας 4.24</b>				
<b>Περιοχή Κτιρίου 2</b>				
<b>Συγκριτικός Πίνακας Μετατοπίσεων</b>				
Θέση Μετατοπίσεως	<b>Vs / V = 0,8 %</b>		<b>Vs / V = 1,2 %</b>	
	Uy (mm)	Ux (mm)	Uy (mm)	Ux (mm)
Μέγιστη Μετατόπιση περιοχής Α-Α'	-2,68	0,783	-2,82	0,803
Εγγύς Άκρο Κτιρίου - Β	-2,649	1,272	-2,786	1,286
Άκρο Κτιρίου - Γ	-0,765	1,272	-0,789	1,286

\*Όπου Α-Α' οριζόντια τομή στη βάση του κτιρίου.

Από τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα γίνεται αντιληπτό ότι διατηρώντας το μέτρο ελαστικότητας E σταθερό και μεταβάλλοντας τον λόγο Vs/V (ανηγμένη απώλεια όγκου) από 0,8% σε 1,2% παρατηρείται μεταβολή των μετατοπίσεων και μάλιστα με την αύξηση του λόγου προκαλείται αύξηση των μέγιστων μετατοπίσεων όπως και στην περιοχή του Κτιρίου 1. Συγκεκριμένα κατά 0,14 mm η μέγιστη τιμή της καθίζησης και 19,94 mm η μέγιστη τιμή της οριζόντιας μετακίνησης.

Εκφρασμένο σε ποσοστό είναι:

$$\frac{\left(\frac{Vs}{V}\right)_{\text{τελ}} - \left(\frac{Vs}{V}\right)_{\text{αρχ}}}{\left(\frac{Vs}{V}\right)_{\text{αρχ}}} = \frac{1,2 - 0,8}{0,8} = 0,5$$

$$\frac{(Uy)_{\text{τελ}} - (Uy)_{\text{αρχ}}}{(Uy)_{\text{αρχ}}} = \left| \frac{-2,82 + 2,68}{-2,68} \right| = 0,05$$

Επομένως για αύξηση του λόγου  $V_s/V$  κατά 50% προέκυψε αύξηση της τιμής των καθιζήσεων κατά 5%.

Το **σημείο καμπής** φαίνεται να βρίσκεται στα **17m** περίπου από την αρχή των νοητών αξόνων.

Η απόκλιση θεμελίωσης του Κτιρίου 2 για **λόγο  $h/D = 3,5$**  , με  **$h=21m$ ,  $L=20m$**  και απόσταση από την αρχή των αξόνων 3m είναι:

<b>Πίνακας 4.25</b> <b>Περιοχή Κτιρίου 2</b> <b>απόκλιση θεμελίωσης <math>\omega \cong \epsilon\phi\theta</math></b>		
	$V_s / V = 0,8 \%$	$V_s / V = 1,2 \%$
$\omega \cong \epsilon\phi\theta$	$9,42 \times 10^{-5}$	$9,985 \times 10^{-5}$

Από τον πίνακα 4.25 παρατηρείται ότι οι καθιζήσεις δε φαίνεται να έχουν επιδράσει στο φέροντα οργανισμό του κτιρίου καθώς η γωνία στροφής που προκύπτει από τις αναλύσεις είναι τάξη μεγέθους μικρότερη από τα επιτρεπόμενα όρια (Πίνακας 4.23). Συγκεκριμένα για τη δυσμενέστερη περίπτωση που παρουσιάζεται για λόγο  $V_s/V=1,2$  προκύπτει ότι  $\omega=1/10615 \cong 1/10000 < 1/500$ .

Αξιοσημείωτο είναι ότι για αύξηση στο λόγο  $V_s/V$  κατά 50% παρουσιάστηκε αύξηση στη τιμή της γωνιακής στροφής κατά 5,99%

**Περιοχή Κτιρίου 3**

Στον Πίνακα 4.23 που ακολουθεί αναγράφονται τα αποτελέσματα των καθιζήσεων και των οριζοντίων μετατοπίσεων όπως αυτά προέκυψαν από τις αναλύσεις του προγράμματος.

<b>Πίνακας 4.25</b>				
<b>Περιοχή Κτιρίου 3</b>				
<b>Συγκριτικός Πίνακας Μετατοπίσεων</b>				
	<b>Vs / V = 0,8 %</b>		<b>Vs / V = 1,2 %</b>	
Θέση Μετατοπίσεως	Uy (mm)	Ux (mm)	Uy (mm)	Ux (mm)
Μέγιστη Μετατόπιση περιοχής A-A'	-9,52	2,27	-11,52	2,63
Εγγύς Άκρο Κτιρίου - Β	-9,280	-3,432	-11,278	-3,774
Άκρο Κτιρίου - Γ	-0,780	-3,432	-0,856	-3,774
	<b>E'=0,67xE</b>			
	<b>Vs / V = 0,8 %</b>		<b>Vs / V = 1,2 %</b>	
Θέση Μετατοπίσεως	Uy (mm)	Ux (mm)	Uy (mm)	Ux (mm)
Μέγιστη Μετατόπιση περιοχής A-A'	-10,72	2,70	-13,60	3,28
Εγγύς Άκρο Κτιρίου - Β	-10,377	-3,906	-13,238	-4,138
Άκρο Κτιρίου - Γ	-1,039	-3,906	-1,199	-4,138
	<b>E'=1,5xE</b>			
	<b>Vs / V = 0,8 %</b>		<b>Vs / V = 1,2 %</b>	
Θέση Μετατοπίσεως	Uy (mm)	Ux (mm)	Uy (mm)	Ux (mm)
Μέγιστη Μετατόπιση περιοχής A-A'	-7,84	1,80	-8,15	1,84
Εγγύς Άκρο Κτιρίου - Β	-7,715	-2,739	-8,047	-2,613
Άκρο Κτιρίου - Γ	-0,557	-2,739	-0,562	-2,613

\*Όπου A-A' οριζόντια τομή στη βάση του κτιρίου.

Στην περιοχή του Κτιρίου 3 γίνεται παρέμβαση στα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους αλλάζοντας αρχικά τον λόγο  $V_s/V$  και στη συνέχεια το μέτρο ελαστικότητας  $E$ .

#### Μεταβολή λόγου $V_s/V$ και σταθερό Μέτρο Ελαστικότητας $E$

Από τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα γίνεται αντιληπτό ότι διατηρώντας το μέτρο ελαστικότητας  $E$  σταθερό και μεταβάλλοντας τον λόγο  $V_s/V$  (ανηγμένη απώλεια όγκου) από 0,8% σε 1,2% παρατηρείται μεταβολή των μέγιστων μετατοπίσεων και μάλιστα με την αύξηση του λόγου προκαλείται αύξηση των μετατοπίσεων όπως στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις. Συγκεκριμένα κατά 2 mm η μέγιστη τιμή της καθίζησης και 0,36 mm η μέγιστη τιμή της οριζόντιας μετακίνησης.

Αν θελήσουμε να τα εκφράσουμε σε ποσοστό τότε:

$$\frac{\left(\frac{V_s}{V}\right)_{\text{τελ}} - \left(\frac{V_s}{V}\right)_{\text{αρχ}}}{\left(\frac{V_s}{V}\right)_{\text{αρχ}}} = \frac{1,2 - 0,8}{0,8} = 0,5$$

$$\frac{(U_y)_{\text{τελ}} - (U_y)_{\text{αρχ}}}{(U_y)_{\text{αρχ}}} = \left| \frac{-11,52 + 9,52}{-9,52} \right| = 0,21$$

Επομένως για αύξηση του λόγου  $V_s/V$  κατά 50% προέκυψε αύξηση της τιμής των καθιζήσεων κατά 21%.

#### Μεταβολή Μέτρου Ελαστικότητας $E$ μειωμένου κατά 33%

Ο λόγος  $V_s/V$  θεωρείται 0,8%.

Διατηρώντας τον λόγο  $V_s/V=0,8\%$  σταθερό και μειώνοντας την τιμή του μέτρου ελαστικότητας  $E$  πολλαπλασιάζοντας το με 0,67 (μείωση κατά 33%) παρατηρείται μεταβολή των μετατοπίσεων και μάλιστα αύξησή τους. Συγκεκριμένα κατά 1,2mm η μέγιστη τιμή της καθίζησης και 0,43 mm η μέγιστη τιμή της οριζόντιας μετακίνησης.

Εκφρασμένο σε ποσοστό τότε:

$$\frac{(E)_{\text{τελ}} - (E)_{\text{αρχ}}}{(E)_{\text{αρχ}}} = \left| \frac{0,67E - E}{E} \right| = 0,33$$

$$\frac{(Uy)_{\text{τελ}} - (Uy)_{\text{αρχ}}}{(Uy)_{\text{αρχ}}} = \left| \frac{-10,72 + 9,52}{-9,52} \right| = 0,126$$

Επομένως με τη μείωση του Μέτρου Ελαστικότητας κατά 33% προέκυψε αύξηση των καθιζήσεων κατά 12,6%.

Ο λόγος  $V_s/V$  θεωρείται 1,2%.

Διατηρώντας τον λόγο  $V_s/V=1,2\%$  σταθερό και μειώνοντας την τιμή του μέτρου ελαστικότητας  $E$  πολλαπλασιάζοντας το με 0,67 (μείωση κατά 33%) παρατηρείται μεταβολή των μετατοπίσεων και μάλιστα αύξησή τους. Συγκεκριμένα κατά 2,08 mm η μέγιστη τιμή της καθίζησης και 0,65 mm η μέγιστη τιμή της οριζόντιας μετακίνησης.

Αν θελήσουμε να τα εκφράσουμε σε ποσοστό τότε:

$$\frac{(E)_{\text{τελ}} - (E)_{\text{αρχ}}}{(E)_{\text{αρχ}}} = \left| \frac{0,67E - E}{E} \right| = 0,33$$

$$\frac{(Uy)_{\text{τελ}} - (Uy)_{\text{αρχ}}}{(Uy)_{\text{αρχ}}} = \left| \frac{-13,60 + 11,52}{-11,52} \right| = 0,18$$

Επομένως με τη μείωση του Μέτρου Ελαστικότητας κατά 33% προέκυψε αύξηση των καθιζήσεων κατά 18%.

Μεταβολή Μέτρου Ελαστικότητας  $E$  αυξανόμενο κατά 50%

Ο λόγος  $V_s/V$  θεωρείται 0,8%.

Διατηρώντας τον λόγο  $V_s/V=0,8\%$  σταθερό και αυξάνοντας την τιμή του μέτρου ελαστικότητας  $E$  πολλαπλασιάζοντας το με 1,5 (αύξηση κατά 50%) παρατηρείται μεταβολή των μετατοπίσεων και μάλιστα μείωσή τους. Συγκεκριμένα κατά 1,68 mm

η μέγιστη τιμή της καθίζησης και 0,47 mm η μέγιστη τιμή της οριζόντιας μετακίνησης.

Αν θελήσουμε να τα εκφράσουμε σε ποσοστό τότε:

$$\frac{(E)_{\text{τελ}} - (E)_{\text{αρχ}}}{(E)_{\text{αρχ}}} = \left| \frac{1,5E - E}{E} \right| = 0,50$$

$$\frac{(Uy)_{\text{τελ}} - (Uy)_{\text{αρχ}}}{(Uy)_{\text{αρχ}}} = \left| \frac{-7,84 + 9,52}{-9,52} \right| = 0,176$$

Επομένως με αύξηση του Μέτρου Ελαστικότητας κατά 50% προέκυψε μείωση των καθιζήσεων κατά 17,6%.

Ο λόγος Vs/V θεωρείται 1,2%.

Διατηρώντας τον λόγο Vs/V=1,2% σταθερό και αυξάνοντας την τιμή του μέτρου ελαστικότητας E πολλαπλασιάζοντας το με 1,5 (αύξηση κατά 50%) παρατηρείται μεταβολή των μετατοπίσεων και μάλιστα μείωσή τους. Συγκεκριμένα κατά 3,37 mm η μέγιστη τιμή της καθίζησης και 0,79 mm η μέγιστη τιμή της οριζόντιας μετακίνησης.

Αν θελήσουμε να τα εκφράσουμε σε ποσοστό τότε:

$$\frac{(E)_{\text{τελ}} - (E)_{\text{αρχ}}}{(E)_{\text{αρχ}}} = \left| \frac{1,5E - E}{E} \right| = 0,50$$

$$\frac{(Uy)_{\text{τελ}} - (Uy)_{\text{αρχ}}}{(Uy)_{\text{αρχ}}} = \left| \frac{-8,15 + 11,52}{-11,52} \right| = 0,293$$

Επομένως με αύξηση του Μέτρου Ελαστικότητας κατά 50% προέκυψε μείωση των καθιζήσεων κατά 29,3%.

Το **σημείο καμπής** φαίνεται να βρίσκεται στα **15m** περίπου απο την αρχή των νοητών αξόνων.

Η απόκλιση θεμελίωσης του Κτιρίου 3 για λόγο  $h/D = 2,675$  όπου  $h=21m$ ,  $L=25m$  και απόσταση από την αρχή των αξόνων  $0m$  είναι:

<b>Πίνακας 4.26</b>		
<b>Περιοχή Κτιρίου 3</b>		
<b>απόκλιση θεμελιώσεως <math>\omega \cong \epsilon\phi\theta</math></b>		
$\omega \cong \epsilon\phi\theta$	<b><math>V_s / V = 0,8 \%</math></b>	<b><math>V_s / V = 1,2 \%</math></b>
	$3,4 \times 10^{-4}$	$4,168 \times 10^{-4}$
	<b><math>E' = 0,67 \times E</math></b>	
	<b><math>V_s / V = 0,8 \%</math></b>	<b><math>V_s / V = 1,2 \%</math></b>
	$3,735 \times 10^{-4}$	$4,816 \times 10^{-4}$
	<b><math>E' = 1,5 \times E</math></b>	
	<b><math>V_s / V = 0,8 \%</math></b>	<b><math>V_s / V = 1,2 \%</math></b>
	$2,863 \times 10^{-4}$	$2,994 \times 10^{-4}$

Από τον πίνακα 4.26 παρατηρείται ότι οι καθιζήσεις δε φαίνεται να έχουν επιδράσει στο φέροντα οργανισμό του κτιρίου καθώς η γωνία στροφής που προκύπτει από τις αναλύσεις είναι τάξη μεγέθους μικρότερη από τα επιτρεπόμενα όρια που θέτουν οι προαναφερθέντες ερευνητές (Πίνακας 4.23).

- Με αύξηση του λόγου  $V_s/V$  από 0,8% σε 1,2% προέκυψε δυσμενέστερη τιμή για τον λόγο  $V_s/V=1,2\%$ . Έτσι υπολογίστηκε ότι  $\omega=1/2399 \cong 1/2400 < 1/500$ .

Αξιοσημείωτο είναι ότι για αύξηση στο λόγο  $V_s/V$  κατά 50% παρουσιάστηκε αύξηση στη τιμή της γωνιακής στροφής κατά 23%

- Με μείωση του Μέτρου Ελαστικότητας κατά 33% προέκυψε δυσμενέστερη τιμή για τον λόγο  $V_s/V=1,2\%$ . Έτσι υπολογίστηκε ότι  $\omega=1/2076 < 1/500$ .

Αξιοσημείωτο είναι ότι για μείωση του Μέτρου Ελαστικότητας κατά 33% παρουσιάστηκε αύξηση στη τιμή της γωνιακής στροφής κατά 16%



- Με αύξηση του Μέρους Ελαστικότητας κατά 50% προέκυψε δυσμενέστερη τιμή για τον λόγο  $V_s/V=1,2\%$ . Έτσι υπολογίστηκε ότι  $\omega=1/3340 < 1/500$ .

Αξιοσημείωτο είναι ότι για αύξηση για αύξηση του Μέρους Ελαστικότητας κατά 50% παρουσιάστηκε αύξηση στη τιμή της γωνιακής στροφής κατά 28%.

**Περιοχή Κτιρίου 4**

Στον Πίνακα 4.24 που ακολουθεί αναγράφονται τα αποτελέσματα των καθιζήσεων και των οριζοντίων μετατοπίσεων όπως αυτά προέκυψαν από τις αναλύσεις του προγράμματος.

<b>Πίνακας 4.27</b>				
<b>Περιοχή Κτιρίου 4</b>				
<b>Συγκριτικός Πίνακας Μετατοπίσεων</b>				
	<b>Vs / V = 0,8 %</b>		<b>Vs / V = 1,2 %</b>	
Θέση Μετατοπίσεως	Uy (mm)	Ux (mm)	Uy (mm)	Ux (mm)
Μέγιστη Μετατόπιση περιοχής A-A'	11,59	2,8	-16,25	3,59
Εγγύς Άκρο Κτιρίου - Β	-11,509	-3,609	-16,146	-4,996
Άκρο Κτιρίου - Γ	-3,917	-3,609	-5,299	-4,996
	<b>E'=0,67xE</b>			
	<b>Vs / V = 0,8 %</b>		<b>Vs / V = 1,2 %</b>	
Θέση Μετατοπίσεως	Uy (mm)	Ux (mm)	Uy (mm)	Ux (mm)
Μέγιστη Μετατόπιση περιοχής A-A'	-11,75	2,91	-17,05	4,03
Εγγύς Άκρο Κτιρίου - Β	-11,655	-4,253	-16,928	2,916
Άκρο Κτιρίου - Γ	-4,179	-4,253	-5,966	2,916
	<b>E'=1,5xE</b>			
	<b>Vs / V = 0,8 %</b>		<b>Vs / V = 1,2 %</b>	
Θέση Μετατοπίσεως	Uy (mm)	Ux (mm)	Uy (mm)	Ux (mm)
Μέγιστη Μετατόπιση περιοχής A-A'	-11,11	2,48	-13,99	2,90
Εγγύς Άκρο Κτιρίου - Β	-11,045	-5,740	-13,904	-4,107
Άκρο Κτιρίου - Γ	-3,528	-5,740	-4,409	-4,107

\*Όπου A-A' οριζόντια τομή στη βάση του κτιρίου.

Στην περιοχή του Κτιρίου 4 γίνεται παρέμβαση στα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους αλλάζοντας αρχικά τον λόγο  $V_s/V$  και στη συνέχεια το μέτρο ελαστικότητας  $E$ .

#### Μεταβολή λόγου $V_s/V$ και σταθερό Μέτρο Ελαστικότητας $E$

Από τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα γίνεται αντιληπτό ότι διατηρώντας το μέτρο ελαστικότητας  $E$  σταθερό και μεταβάλλοντας τον λόγο  $V_s/V$  (ανηγμένη απώλεια όγκου) από 0,8% σε 1,2% παρατηρείται μεταβολή των μέγιστων μετατοπίσεων και μάλιστα με την αύξηση του λόγου προκαλείται αύξηση των μετατοπίσεων όπως στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις. Συγκεκριμένα κατά 4,66 mm η μέγιστη τιμή της καθίζησης και 0,79 mm η μέγιστη τιμή της οριζόντιας μετακίνησης.

Αν θελήσουμε να τα εκφράσουμε σε ποσοστό τότε:

$$\frac{\left(\frac{V_s}{V}\right)_{\text{τελ}} - \left(\frac{V_s}{V}\right)_{\text{αρχ}}}{\left(\frac{V_s}{V}\right)_{\text{αρχ}}} = \frac{1,2 - 0,8}{0,8} = 0,5$$

$$\frac{(U_y)_{\text{τελ}} - (U_y)_{\text{αρχ}}}{(U_y)_{\text{αρχ}}} = \left| \frac{-16,25 + 11,59}{-11,59} \right| = 0,40$$

Επομένως για αύξηση του λόγου  $V_s/V$  κατά 50% προέκυψε αύξηση της τιμής των καθιζήσεων κατά 40%.

#### Μεταβολή Μέτρου Ελαστικότητας $E$ μειωμένου κατά 33%

Ο λόγος  $V_s/V$  θεωρείται 0,8%.

Διατηρώντας τον λόγο  $V_s/V=0,8\%$  σταθερό και μειώνοντας την τιμή του μέτρου ελαστικότητας  $E$  πολλαπλασιάζοντας το με 0,67 (μείωση κατά 33%) παρατηρείται μεταβολή των μετατοπίσεων και μάλιστα αύξησή τους. Συγκεκριμένα κατά 0,16 mm η μέγιστη τιμή της καθίζησης και 0,11 mm η μέγιστη τιμή της οριζόντιας μετακίνησης.

Αν θελήσουμε να τα εκφράσουμε σε ποσοστό τότε:

$$\frac{(E)_{\text{τελ}} - (E)_{\text{αρχ}}}{(E)_{\text{αρχ}}} = \left| \frac{0,67E - E}{E} \right| = 0,33$$

$$\frac{(Uy)_{\text{τελ}} - (Uy)_{\text{αρχ}}}{(Uy)_{\text{αρχ}}} = \left| \frac{-11,75 + 11,59}{-11,59} \right| = 0,014$$

Επομένως με τη μείωση του Μέτρου Ελαστικότητας κατά 33% προέκυψε αύξηση των καθιζήσεων κατά 1,4%.

Ο λόγος  $V_s/V$  θεωρείται 1,2%.

Διατηρώντας τον λόγο  $V_s/V=1,2\%$  σταθερό και μειώνοντας την τιμή του μέτρου ελαστικότητας  $E$  πολλαπλασιάζοντας το με 0,67 (μείωση κατά 33%) παρατηρείται μεταβολή των μετατοπίσεων και μάλιστα αύξησή τους. Συγκεκριμένα κατά 5,2 mm η μέγιστη τιμή της καθίζησης και 0,44 mm η μέγιστη τιμή της οριζόντιας μετακίνησης.

Αν θελήσουμε να τα εκφράσουμε σε ποσοστό τότε:

$$\frac{(E)_{\text{τελ}} - (E)_{\text{αρχ}}}{(E)_{\text{αρχ}}} = \left| \frac{0,67E - E}{E} \right| = 0,33$$

$$\frac{(Uy)_{\text{τελ}} - (Uy)_{\text{αρχ}}}{(Uy)_{\text{αρχ}}} = \left| \frac{-17,05 + 16,25}{-16,25} \right| = 0,049$$

Επομένως με τη μείωση του Μέτρου Ελαστικότητας κατά 33% προέκυψε αύξηση των καθιζήσεων κατά 4,9%.

Μεταβολή Μέτρου Ελαστικότητας  $E$  αυξανόμενο κατά 50%

Ο λόγος  $V_s/V$  θεωρείται 0,8%.

Διατηρώντας τον λόγο  $V_s/V=0,8\%$  σταθερό και αυξάνοντας την τιμή του μέτρου ελαστικότητας  $E$  πολλαπλασιάζοντας το με 1,5 (αύξηση κατά 50%) παρατηρείται

μεταβολή των μετατοπίσεων και μάλιστα μείωσή τους. Συγκεκριμένα κατά 0,48 mm η μέγιστη τιμή της καθίζησης και 0,32 mm η μέγιστη τιμή της οριζόντιας μετακίνησης.

Αν θελήσουμε να τα εκφράσουμε σε ποσοστό τότε:

$$\frac{(E)_{\text{τελ}} - (E)_{\text{αρχ}}}{(E)_{\text{αρχ}}} = \left| \frac{1,5E - E}{E} \right| = 0,50$$

$$\frac{(Uy)_{\text{τελ}} - (Uy)_{\text{αρχ}}}{(Uy)_{\text{αρχ}}} = \left| \frac{-11,11 + 11,59}{-11,59} \right| = 0,041$$

Επομένως με αύξηση του Μέτρου Ελαστικότητας κατά 50% προέκυψε μείωση των καθιζήσεων κατά 4,1%.

Ο λόγος  $V_s/V$  θεωρείται 1,2%.

Διατηρώντας τον λόγο  $V_s/V=1,2\%$  σταθερό και αυξάνοντας την τιμή του μέτρου ελαστικότητας  $E$  πολλαπλασιάζοντας το με 1,5 (αύξηση κατά 50%) παρατηρείται μεταβολή των μετατοπίσεων και μάλιστα μείωσή τους. Συγκεκριμένα κατά 2,26 mm η μέγιστη τιμή της καθίζησης και 0,69 mm η μέγιστη τιμή της οριζόντιας μετακίνησης.

Αν θελήσουμε να τα εκφράσουμε σε ποσοστό τότε:

$$\frac{(E)_{\text{τελ}} - (E)_{\text{αρχ}}}{(E)_{\text{αρχ}}} = \left| \frac{1,5E - E}{E} \right| = 0,50$$

$$\frac{(Uy)_{\text{τελ}} - (Uy)_{\text{αρχ}}}{(Uy)_{\text{αρχ}}} = \left| \frac{-13,99 + 16,25}{-16,25} \right| = 0,139$$

Επομένως με αύξηση του Μέτρου Ελαστικότητας κατά 50% προέκυψε μείωση των καθιζήσεων κατά 13,9%.

Το **σημείο καμπής** φαίνεται να βρίσκεται στα **15m** περίπου απο την αρχή των νοητών αξόνων.

Η απόκλιση θεμελίωσης του Κτιρίου 4 για λόγο  $h/D = 3,17$  όπου  $h=21m$ ,  $L=16m$  και απόσταση από την αρχή των αξόνων 3m είναι:

<b>Πίνακας 4.28</b>		
<b>Περιοχή Κτιρίου 4</b>		
<b>απόκλιση θεμελιώσεως <math>\omega \cong \epsilon\phi\theta</math></b>		
$\omega \cong \epsilon\phi\theta$	<b><math>V_s / V = 0,8 \%</math></b>	<b><math>V_s / V = 1,2 \%</math></b>
	$4,745 \times 10^{-4}$	$6,779 \times 10^{-4}$
	<b><math>E' = 0,67 \times E</math></b>	
	<b><math>V_s / V = 0,8 \%</math></b>	<b><math>V_s / V = 1,2 \%</math></b>
	$4,672 \times 10^{-4}$	$6,85 \times 10^{-4}$
	<b><math>E' = 1,5 \times E</math></b>	
	<b><math>V_s / V = 0,8 \%</math></b>	<b><math>V_s / V = 1,2 \%</math></b>
	$4,698 \times 10^{-4}$	$5,934 \times 10^{-4}$

Από τον Πίνακα 4.28 παρατηρείται ότι οι καθιζήσεις δε φαίνεται να έχουν επιδράσει στο φέροντα οργανισμό του κτιρίου καθώς η γωνία στροφής που προκύπτει από τις αναλύσεις είναι τάξη μεγέθους μικρότερη από τα επιτρεπόμενα όρια που θέτουν οι προαναφερθέντες ερευνητές (Πίνακας 4.23).

- Με αύξηση του λόγου  $V_s/V$  από 0,8% σε 1,2% προέκυψε δυσμενέστερη τιμή για τον λόγο  $V_s/V=1,2\%$ . Έτσι υπολογίστηκε ότι  $\omega=1/2140 < 1/500$ .

Αξιοσημείωτο είναι ότι για αύξηση στο λόγο  $V_s/V$  κατά 50% παρουσιάστηκε αύξηση στη τιμή της γωνιακής στροφής κατά 43%.

- Με μείωση του Μέτρου Ελαστικότητας κατά 33% προέκυψε δυσμενέστερη τιμή για τον λόγο  $V_s/V=1,2\%$ . Έτσι υπολογίστηκε ότι  $\omega=1/1459 < 1/500$ .

Αξιοσημείωτο είναι ότι για μείωση του Μέτρου Ελαστικότητας κατά 33% παρουσιάστηκε αύξηση στη τιμή της γωνιακής στροφής κατά 1%.

- Με αύξηση του Μέτρου Ελαστικότητας κατά 50% προέκυψε δυσμενέστερη τιμή για τον λόγο  $V_s/V=1,2\%$ . Έτσι υπολογίστηκε ότι  $\omega=1/1685 < 1/500$ .

Αξιοσημείωτο είναι ότι για αύξηση για αύξηση του Μέτρου Ελαστικότητας κατά 50% παρουσιάστηκε αύξηση στη τιμή της γωνιακής στροφής κατά 12%.





## **Κεφάλαιο 5. Γενικά Συμπεράσματα**

### **5.1 Γενικές γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες**

Η περιοχή που μελετήθηκε στη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασία ανήκει στην περιοχή του Σταθμού Πανεπιστημίου της Θεσσαλονίκης.

Οι γεωλογικές συνθήκες που συναντώνται στην περιοχή είναι αρχικά το Στρώμα των Τεταρτογενών Επιχωματώσεων που πρόκειται για επιφανειακές εδαφικές ζώνες. Συνίστανται από σταθερές έως τοπικά στιφρές, καστανές, αμμώδεις αργίλους (**CL**) με χάλικες, χαμηλής πλαστικότητας και από χαλαρές έως μέτρια πυκνές, καστανές, αργιλώδεις / ιλυώδεις άμμους (**SC-SM**) με χάλικες. Στη συνέχεια συναντάται το Στρώμα των Τεταρτογενών Ιζημάτων το οποίο αποτελείται από σταθερές έως στιφρές, καστανές έως καστανοπράσινες, αμμώδεις άργιλους (**CL**), χαμηλής πλαστικότητας και από μέτρια πυκνές, καστανές, αργιλώδεις / ιλυώδεις άμμους (**SC-SM**) με χάλικες. Τέλος συναντώνται τα Νεογενή ιζήματα της Σειράς των Ερυθρών Αργίλων. Η στρώση αυτή συνίσταται από πολύ στιφρές έως σκληρές, κυανοπράσινες και πρασινοκάστανες έως ερυθρές, αμμώδεις άργιλους (**CL-CI**), έως πολύ ασθενείς αργιλόλιθους – ιλυολίθους, μέσης έως τοπικά χαμηλής πλαστικότητας, με ασυνεχείς ενστρώσεις πολύ πυκνών, καστανέρυθρων, αργιλωδών άμμων (**SC**) με χάλικες και αργιλωδών χαλικών (**GC**) με άμμο έως καλά συγκολλημένων λατυποπαγών.

Επίσης για τη διεξαγωγή των γεωτεχνικών παραμέτρων εκτελέστηκαν επιτόπου δοκιμές, όπως Διείσδυσης SPT, Πρεσσιόμετρου, Διαπερατότητας – Maag και (Lugeon), προκειμένου να καταλήξουμε στις γεωτεχνικές τομές σχεδιασμού που φαίνονται στα Σχήματα 2.44 και 2.45 της παραγράφου 2.2.5.

Αναφορικά με την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα εντοπίζεται σε βάθη από δύο (2) έως πέντε (5) μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

## **5.2 Αναλύσεις Ευαισθησίας**

Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις ευαισθησίας:

➤ Άυξηση της ανηγμένης απώλειας όγκου – λόγος  $V_s/V$

Η επιλογή των τιμών του λόγου  $V_s/V$  δεν ήταν τυχαίες. Από μελέτες έχει επιβεβαιωθεί ότι η ανηγμένη απώλεια όγκου στο Μετρό Θεσσαλονίκης έφτασε το 0,8% έως και το 1,2%. Δεδομένου ότι η τιμή του λόγου αυτού φτάνει μέχρι το 1% συνήθως, αντιλαμβανόμαστε ότι αναφερόμαστε στις ανώτερες τιμές που μπορεί να λάβει. Στην πραγματικότητα μέσα από τη διαδικασία της μεταβολής του λόγου αυτού, γίνεται διαπίστωση της επίδρασής του στην μεταβολή των αποτελεσμάτων των μετατοπίσεων κατά τη διάνοιξη των σηράγγων.

➤ Μεταβολή Μέτρου ελαστικότητας E

Η επιλογή των τιμών αύξησης και μείωσης του μέτρου ελαστικότητας E ήταν τυχαία. Σκοπός ήταν να διερευνηθεί η συμπεριφορά των μετατοπίσεων σε πιθανή απόκλιση από τις πραγματικές τιμές του μέτρου ελαστικότητας από τον μελετητή μηχανικό. Δηλαδή μελετήθηκε πόσο μπορεί να επιδράσει η αβεβαιότητα του ακριβή προσδιορισμού του Μέτρου Ελαστικότητας στα αποτελέσματα των μετατοπίσεων.

Συγκεκριμένα οι τιμές του λόγου  $V_s/V$  στο Μετρό Θεσσαλονίκης κυμάνθηκαν στα χαμηλά όρια περίπου στο 0,4% ενώ οι μέγιστες στο 1% έως και 1,2%. Για τα εύρη των μεγίστων τιμών του λόγου  $V_s/V$  (0,8% και 1,2%) πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις μέσα από τις οποίες υπολογίστηκαν οι κατακόρυφες και οριζόντιες μετατοπίσεις λόγω της διάνοιξης των σηράγγων.

Επίσης, αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν για το Μέτρο Ελαστικότητας E. Η τιμή του Μέτρου ελαστικότητας μειώθηκε κατά 33% και αυξήθηκε κατά 50% προκειμένου να μελετηθεί αν οι αλλαγές αυτές επιδρούν στην μεταβολή των κατακόρυφων και οριζοντίων μετατοπίσεων λόγω της διάνοιξης των σηράγγων.

Στο Κτίριο 1 προκλήθηκε αύξηση των μετατοπίσεων λόγω αύξησης του λόγου  $V_s/V$ . Συγκεκριμένα 0,23 mm οι κατακόρυφες μετατοπίσεις και 0,04 mm οι οριζόντιες μετατοπίσεις.

Στο Κτίριο 2 εκδηλώθηκε ακριβώς η ίδια συμπεριφορά. Υπήρξε αύξηση των μετατοπίσεων λόγω αύξησης του λόγου  $V_s/V$ . Συγκεκριμένα 0,14 mm οι κατακόρυφες μετατοπίσεις και 19,94 mm οι οριζόντιες μετατοπίσεις.

Στο Κτίριο 3 πραγματοποιήθηκε μεταβολή και των δύο παραμέτρων. Όσο αφορά τη μεταβολή του του λόγου  $V_s/V$  υπήρξε και εδώ αύξηση των μετατοπίσεων. Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε αύξηση 2 mm στις κατακόρυφες μετατοπίσεις και 0,36 mm στην τιμή των οριζοντίων μετακινήσεων. Αναφορικά με το Μέτρο Ελαστικότητας  $E$  παρατηρήθηκε αύξηση των μετατοπίσεων με την μείωσή του και αντίστροφα μείωση των μετατοπίσεων με την αύξησή του. Αναλυτικότερα για μείωση του  $E$  κατά 33% παρατηρήθηκε αύξηση 1,2 mm και 2,08 mm για σταθερό λόγο  $V_s/V$  0,8% και 1,2% αντίστοιχα στις κατακόρυφες μετατοπίσεις και 0,43 mm και 0,65 mm για σταθερό λόγο  $V_s/V$  0,8% και 1,2% αντίστοιχα στην τιμή των οριζοντίων μετακινήσεων. Με την αύξηση του  $E$  κατά 50% παρατηρήθηκε μείωση 1,68 mm και 3,37 mm για σταθερό λόγο  $V_s/V$  0,8% και 1,2% αντίστοιχα στις κατακόρυφες μετατοπίσεις και 0,47 mm και 0,79 mm για σταθερό λόγο  $V_s/V$  0,8% και 1,2% αντίστοιχα στην τιμή των οριζοντίων μετακινήσεων.

Στο Κτίριο 4 όπως και στην παραπάνω περίπτωση πραγματοποιήθηκε μεταβολή και των δύο παραμέτρων. Όσο αφορά τη μεταβολή του του λόγου  $V_s/V$  υπήρξε και εδώ αύξηση των μετατοπίσεων. Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε αύξηση 4,66 mm στις κατακόρυφες μετατοπίσεις και 0,79 mm στην τιμή των οριζοντίων μετακινήσεων. Αναφορικά με το Μέτρο Ελαστικότητας  $E$  παρατηρήθηκε αύξηση των μετατοπίσεων με την μείωσή του και αντίστροφα μείωση των μετατοπίσεων με την αύξησή του. Αναλυτικότερα για μείωση του  $E$  κατά 33% παρατηρήθηκε αύξηση 0,16 mm και 5,2 mm για σταθερό λόγο  $V_s/V$  0,8% και 1,2% αντίστοιχα στις κατακόρυφες μετατοπίσεις και 0,11 mm και 0,44 mm για σταθερό λόγο  $V_s/V$  0,8% και 1,2% αντίστοιχα στην τιμή των οριζοντίων μετακινήσεων. Με την αύξηση του  $E$  κατά 50% παρατηρήθηκε μείωση 0,48 mm και 2,26 mm για σταθερό λόγο  $V_s/V$  0,8% και 1,2%

αντίστοιχα στις κατακόρυφες μετατοπίσεις και 0,32 mm και 0,69 mm για σταθερό λόγο  $V_s/V$  0,8% και 1,2% αντίστοιχα στην τιμή των οριζοντίων μετακινήσεων.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων και στα τέσσερα κτίρια έδειξαν ανάλογη συμπεριφορά (Πίνακες 4.21, 4.22, 4.23 και 4.24). Για αύξηση του λόγου  $V_s/V$  είχαμε αύξηση τόσο των κατακόρυφων όσο και των οριζόντιων μετατοπίσεων. Επίσης η μείωση του Μέτρου Ελαστικότητας κρατώντας σταθερό τον λόγο  $V_s/V$  προκάλεσαι αύξηση των μετακινήσεων ενώ αντίστροφα η αύξησή του προκάλεσαι την μείωσή τους.

### **5.3 Γωνιακή στροφή κτιρίων.**

Με το πέρας των αναλύσεων παρατηρήθηκε ότι η τιμή των μετατοπίσεων στα άκρα των κτιρίων μεταβλήθηκε ελάχιστα. Οι μεταβολές ήταν της τάξεως των 1/1685 έως 1/15360 τιμές που θεωρούνται αμεληταίες και καθόλου ανησυχιτικές. Συνεπώς οι μετατοπίσεις που προκλήθηκαν λόγω διάνοιξης των σηράγγων και λόγω μεταβολής της ανηγμένης απώλειας όγκου και του μέτρου ελαστικότητας δε φαίνεται να δημιουργούν ρωγματώσεις ή προβλήματα στο φέροντα οργανισμό του κτιρίου.

## **Βιβλιογραφία**

1. Αττικό Μετρό. Technical reports of Heliniko extension.
2. Web Site της αττικό Μετρό, [www.ametro.gr](http://www.ametro.gr)
3. Α. Αναγνωστόπουλος, Η Μιχάλης (2008). Σημειώσεις αντιστηρίξεων και καθιζήσεων λόγω εκσκαφών.
4. Μ. Καββαδάς (2000). << Σημειώσεις σχεδιασμού υπογείων έργων – Καθιζήσεις >>.
5. Διπλωματική Εργασία Παντελή Ρίζου. <<Διάνοιξη δίδυμης σήραγγας στο Μετρό Θεσσαλονίκης από το τμήμα Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός έως Σταθμός Αγία Σοφία>>
6. Richard J. Finno, M. ASCE, Frank T. Voss. Jr., M. ASCE, Edwin Rossow and J. Tanner Blackburn. <<Evaluating Damage Potential in Buildings Affected by Excavations>>
7. D. M. Potts, BSC (Eng), Phd (Cantab), MICE, CEng, and T.I. Addenbrooke, BEng, ACGI, MSc, DIC. <<A structure's influence on tunneling – induced ground movements.>>
8. J.N. Franzius Dipl Ing, Phd, DIC, D.M. Potts BSc, PhD, DSC, FREng, FICE and J.B. Burland CBE, FRS, FREng FICE, FIStructE. <<The response of surface structures to tunnel construction.>>