



## Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών

Δ.Π.Μ.Σ «Σχεδιασμός και κατασκευή υπογείων έργων»

**Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Το παράδειγμα του σταθμού Αγ. Παρασκευής στο Μετρό Αθήνας.**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΤΖΑΜΠΟΓΛΟΥ ΠΛΟΥΤΑΡΧΟΥ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΡΟΖΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**ΑΘΗΝΑ 2013**





**Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο**

**Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων –Μεταλλουργών**

**Δ.Π.Μ.Σ «Σχεδιασμός και κατασκευή υπογείων έργων»**

Τίτλος Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας

**Παραμετρική ανάλυση αντιστήριξης βαθιάς εκσκαφής με  
φρεατοπασσάλους και προεντεταμένες αγκυρώσεις. Το  
παράδειγμα του σταθμού Αγ. Παρασκευής στο Μετρό  
Αθήνας**

**ΤΖΑΜΠΟΓΛΟΥ ΠΛΟΥΤΑΡΧΟΥ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΡΟΖΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

Εγκρίθηκε από τριμελή επιτροπή στις 5-3-2013

**Ρόζος Δημήτριος, αναπληρωτής καθηγητής του Ε.Μ.Π** \_\_\_\_\_

**Λουπασάκης Κωσταντίνος, λέκτορας του Ε.Μ.Π** \_\_\_\_\_

**Νομικός Παύλος, επίκουρος καθηγητής του Ε.Μ.Π** \_\_\_\_\_

**Αθήνα 2013**

# Περιεχόμενα

<b>Σύνοψη</b>	<b>1</b>
<b>Abstract</b>	<b>2</b>
<b>Περίληψη</b>	<b>3</b>
<b>Πρόλογος</b>	<b>6</b>
<b>1 ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ</b>	<b>9</b>
1.1 Παρουσίαση εταιρείας	9
1.2 Αρχαιολογικές έρευνες στο πλαίσιο των έργων ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ	10
1.3 Αττικό Μετρό για ΑΜΕΑ	11
1.4 Πρόοδος συνολικά του έργου	12
1.5 Πρόοδος επέκτασης Γραμμής 3- Συνοπτικό ημερολόγιο εργασιών	14
1.5.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΟΔΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	14
<b>2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ-ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ</b>	<b>26</b>
2.1 Γενικά	26
2.2 Γεωμορφολογία- Υδρογραφικό δίκτυο	27
2.3 Γεωλογικές συνθήκες	31
2.3.1 Γεωλογικοί σχηματισμοί στην ευρύτερη περιοχή	31
2.3.1.1 Αλπικό υπόβαθρο	31
2.3.1.2 Πλειοκαινικοί ηπειρωτικοί σχηματισμοί	32
2.3.1.3 Πλειοπλειστοκαινικές αποθέσεις	32
2.3.2 Γεωλογικές συνθήκες στη στενή περιοχή του Σταθμού	34
2.4 Υδρογεωλογικές συνθήκες	36
2.4.1 Γενικά	36
2.4.2 Πιεζομετρικές γεωτρήσεις	37
2.4.3 Υδρολιθολογική συμπεριφορά των σχηματισμών στην περιοχή του σταθμού	40
2.5 Πιεζομετρία υπόγειων υδροφόρων	41
2.5.1 Παρατηρήσεις από στοιχεία πιεζομετρίας του 1981	42



2.5.2	Παρατηρήσεις από στοιχεία πιεζομετρίας του 1997	43
2.5.3	Παρατηρήσεις από στοιχεία πιεζομετρίας του 2001	45
2.5.4	Παρατηρήσεις από στοιχεία πιεζομετρίας 2003	47
2.5.5	Παρατηρήσεις από στοιχεία πιεζομετρίας του 2007	49
2.5.6	<b>Στάθμη υπόγειων υδάτων σταθμού Αγ. Παρασκευής</b>	52
<b>2.6</b>	<b>Δοκιμές υδροπερατότητας</b>	57
<b>2.7</b>	<b>Ποιότητα υπόγειων υδάτων</b>	62
<b>3</b>	<b>ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ</b>	<b>66</b>
3.1	Γενικά	66
<b>3.2</b>	<b>Γεωερευνητικά προγράμματα</b>	66
<b>3.3</b>	<b>Δοκιμές προσδιορισμού φυσικο-μηχανικών χαρακτηριστικών</b>	70
3.3.1	Φυσικά χαρακτηριστικά ανά σχηματισμό	71
3.3.2	Μηχανικά χαρακτηριστικά ανά σχηματισμό	73
3.4	Αποτελέσματα ιδιοτήτων εδάφους μετά από σύνθεση αξιολόγηση και επεξεργασία δεδομένων-Τομή σχεδιασμού.	75
<b>4</b>	<b>ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ</b>	<b>78</b>
4.1	Γενικά- Περιγραφή σταθμού	78
4.2	Ανάλυση κατασκευαστικής διαδικασίας προσωρινής αντιστήριξης.	80
4.2.1	Φάση 0	83
4.2.2	Φάση 1	83
4.2.3	Φάση 2	83
4.2.4	Φάση 3	83
4.2.5	Φάση 4	85
4.2.6	Φάση 5	85
4.2.7	Φάση 6	85
4.2.8	Φάση 7	86
<b>5</b>	<b>Πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων Plaxis 2D και εφαρμογή του στην κατασκευή του σταθμού μετρό της Αγίας Παρασκευής.</b>	<b>88</b>

5.1	Γενικά στοιχεία	88
5.2	Παρουσίαση του λογισμικού PLAXIS	88
5.2.1	Καταστατικοί νόμοι συμπεριφοράς εδάφους	91
5.3	Εισαγωγή δεδομένων-input program	94
5.3.1	Εισαγωγή "General Settings"	95
5.3.2	Βασικό παράθυρο Σχεδιασμού-Εισαγωγή γεωμετρίας	97
5.3.3	Καθορισμός ιδιοτήτων εδαφικού υλικού, πλακών, αγκυρίων και πακτωμένου τμήματος αγκυρίων.	100
5.3.3.1	Καθορισμός εδαφικού υλικού	101
5.3.3.2	Καθορισμός πλακών εκτοξευμένου σκυροδέματος	105
5.3.3.3	Καθορισμός πακτωμένου τμήματος.	107
5.3.3.4	Καθορισμός αγκυρίων	109
5.3.4	Διακριτοποίηση μοντέλου προσομοίωσης	110
5.3.5	Αρχικές συνθήκες-initial conditions	110
5.3.5.1	Υδροστατικές τάσεις	111
5.3.5.2	Γεωστατικές τάσεις	113
5.4	Εκτέλεση υπολογισμών (calculations)	114
5.5	Εξαγωγή αποτελεσμάτων - Output	118
5.6	Παραγωγή διαγραμμάτων – Curves.	121
<b>6 Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης- Παραμετρικές αναλύσεις.</b>		<b>124</b>
6.1	Γενικά στοιχεία	124
6.2	1 <sup>η</sup> σειρά παραμετρικών αναλύσεων	125
6.3	2 <sup>η</sup> σειρά παραμετρικών αναλύσεων	135
6.4	3 <sup>η</sup> Σειρά Παραμετρικών Αναλύσεων	143
<b>7 Συμπεράσματα</b>		<b>149</b>
<b>8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>		<b>153</b>
<b>Παράρτημα</b>		<b>156</b>

# Σχήματα

Σχήμα 1.1. Σχέδιο ανάπτυξης γραμμών METRO Αθήνας, .....	10
Σχήμα 2.1. Οριζοντιογραφία με τις θέσεις του σταθμού. ....	26
Σχήμα 2.2. Τομή κατά μήκος της χάραξης όπου φαίνονται τα γεωμετρικά στοιχεία της σήραγγας και η θέση των σταθμών. ....	27
Σχήμα 2.3. Τοπογραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής εκσκαφής του σταθμού «Αγία Παρασκευή».....	28
Σχήμα 2.4. Τρισδιάστατο μοντέλο αναγλύφου. ....	28
Σχήμα 2.5. Τοπογραφικός Χάρτης, κλίμακας 1:25000, (από J.A. Koupert). ....	29
Σχήμα 2.6. Υδρογραφικό δίκτυο τμήματος λεκανοπεδίου Αθηνών από τις δυτικές υπώρειες του ψαμμίτη (Δ. Παπανικολαού – Π. Μαρίνος, 2002). ....	30
Σχήμα 2.7. Ο γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής με τις ενδεικτικές θέσεις των σταθμών της Γραμμής 3 του Μετρό (Παπανικολάου, 2002). ....	33
Σχήμα 2.8. Γεωλογική μηκοτομή του σταθμού Αγία Παρασκευή (Εδαφομηχανική Α.Ε. 2007) .....	35
Σχήμα 2.9. Πιεζομετρικός χάρτης υγρής περιόδου το 1981 (Γ. Κούνης 1981). ....	43
Σχήμα 2.10. Πιεζομετρικός χάρτης υγρής περιόδου (Κουμαντάκης, 1996). ....	44
Σχήμα 2.11. Χάρτης του λεκανοπεδίου των Αθηνών, που φαίνονται οι εκτιμηθείσες τιμές ετήσιας διακύμανσης σε κάθε δήμο (Κουμαντάκης, 1996). ....	45
Σχήμα 2.12. Πιεζομετρικός χάρτης υγρής περιόδου του 2001.....	46
Σχήμα 2.13. Χάρτης ισοβαθών καμπυλών υγρής περιόδου του 2001. ....	47
Σχήμα 2.14. Πιεζομετρικός χάρτης υγρής περιόδου του 2003.....	48
Σχήμα 2.15. Χάρτης ισοβαθών καμπυλών υπόγειου νερού υγρής περιόδου του 2003. ....	48
Σχήμα 2.16. Πιεζομετρικός χάρτης Ιουνίου του 2007. ....	50
Σχήμα 2.17. Χάρτης ισοβαθών καμπυλών Ιουνίου του 2007.....	51
Σχήμα 2.18. Μεταβολή της στάθμης του υπόγειου νερού συναρτήσει του χρόνου στα πιεζόμετρα που έχουν διανοιχθεί στην περιοχή του σταθμού «Αγία Παρασκευή» (Γεωγνώση Εδαφομηχανική Α.Τ.Ε., 2007) .	55
Σχήμα 2.19. Διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού κατά μήκος της χάραξης για διαφορετικές χρονικές περιόδους. (Γεωγνώση Εδαφομηχανική Α.Τ.Ε., 2007) .....	56
Σχήμα 2.20. Διάγραμμα διακύμανσης της περατότητας συναρτήσει του βάθους στο σταθμό «Αγία Παρασκευή».....	60
Σχήμα 2.21. Κατανομή των περατοτήτων κατά μήκος του σταθμού «Αγία Παρασκευή». ....	61
Σχήμα 3.1. Κάτοψη σταθμού όπου εμφανίζονται οι ακριβείς θέσεις των γεωτρήσεων. ....	69
Σχήμα 3.2. Σκαρίφημα με τη γεωλογική μηκοτομή της περιοχής του σταθμού που θα χρησιμοποιηθεί στο πρόγραμμα Plaxis. ....	77
Σχήμα 4.1. Κάτοψη σταθμού Αγ. Παρασκευής. ....	79
Σχήμα 4.2. Κάτοψη σταθμού στην οποία παρουσιάζονται τα ξεχωριστά τμήματα εργασιών. ....	80
Σχήμα 4.3. Κάτοψη ορύγματος σταθμού όπου εμφανίζονται οι ακριβείς θέσεις των πασσάλων. ....	82
Σχήμα 4.4. Κατά πλάτος τομή του σταθμού των 7 φάσεων εκσκαφής. ....	87

Σχήμα 5.1. Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα διδιάστατου προσομοιώματος πεπερασμένων στοιχείων με επίπεδη παραμόρφωση και διδιάστατου αξονοσυμμετρικού προσομοιώματος (Plaxis, 2009). .....	89
Σχήμα 5.2. Εφαρμογές γεωτεχνικών αναλύσεων στις οποίες χρησιμοποιούνται στοιχεία πλακών, αγκυρίων και διεπιφάνειας (Plaxis, 2009). .....	89
Σχήμα 5.3. Βασική ιδέα ενός ελαστικού- τέλεια πλαστικού μοντέλου. ....	92
Σχήμα 5.4. Υπερβολή μοντέλου κρατυνόμενης ελαστοπλαστικής συμπεριφοράς. ....	93
Σχήμα 5.5. Εισαγωγή γενικών στοιχείων του μοντέλου. ....	96
Σχήμα 5.6. Εισαγωγή βασικών διαστάσεων σχεδίασης. ....	97
Σχήμα 5.7. Βασικό παράθυρο σχεδιασμού. Προσδιορισμός γραμμής εργαλείων. ....	98
Σχήμα 5.8. Βασική γεωμετρία προβλήματος. ....	99
Σχήμα 5.9. Καθορισμός ιδιοτήτων εδαφικού υλικού, αγκυρίων και διαφραγματικών τοίχων. ....	100
Σχήμα 5.10. Καρτέλα γενικών στοιχείων εδαφικού υλικού. ....	102
Σχήμα 5.11. Καρτέλα εισαγωγής παραμέτρων εδαφικού υλικού. ....	103
Σχήμα 5.12. Καρτέλα εισαγωγής στοιχείων διεπιφάνειας. ....	104
Σχήμα 5.13. Καρτέλα εισαγωγής ιδιοτήτων διαφραγματικού τοίχου. ....	107
Σχήμα 5.14. Καρτέλα εισαγωγής ιδιοτήτων γεωυφάσματος (πακτωμένου τμήματος αγκυρίου). ....	108
Σχήμα 5.15. Καρτέλα εισαγωγής ιδιοτήτων αγκυρίων. ....	109
Σχήμα 5.16. Πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων. ....	111
Σχήμα 5.17. Επίπεδο υδροφόρου ορίζοντα. ....	112
Σχήμα 5.18. Πίεση πόρων νερού. ....	112
Σχήμα 5.19. Παράθυρο εύρεσης συντελεστή $K_0$ για συγκεκριμένο $\Sigma Mweight$ . ....	113
Σχήμα 5.20. Παράθυρο κατανομής ενεργών τάσεων. ....	114
Σχήμα 5.21. Καρτέλα εισαγωγής γενικών στοιχείων για κάθε φάση εκσκαφής. ....	115
Σχήμα 5.22. Καρτέλα εισαγωγής παραμέτρων για κάθε φάση εκσκαφής. ....	116
Σχήμα 5.23. Καρτέλα εισαγωγής <i>multipliers</i> για κάθε φάση εκσκαφής. ....	117
Σχήμα 5.24. Συνολικές μετακινήσεις. ....	118
Σχήμα 5.25. Μέγιστες μετακινήσεις πασσάλου δυτικού (αριστερά) και ανατολικού (δεξιά) τοιχίου για απόσταση πασσάλων 1,5m. ....	119
Σχήμα 5.26. Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις πασσάλου δυτικού (αριστερά) και ανατολικού (δεξιά) τοιχίου για απόσταση πασσάλων 1,5m. ....	120
Σχήμα 5.27. Καμπτικές ροπές πασσάλου δυτικού (αριστερά) και ανατολικού (δεξιά) τοιχίου για απόσταση πασσάλων 1,5m. ....	121
Σχήμα 6.1. Συνολικές μετακινήσεις πασσάλου δυτικού (αριστερά) και ανατολικού (δεξιά) τοιχίου για απόσταση πασσάλων 2,5m. ....	127
Σχήμα 6.2. Καμπτικές ροπές πασσάλου δυτικού (αριστερά) και ανατολικού (δεξιά) τοιχίου για απόσταση πασσάλων 2,5m. ....	128
Σχήμα 6.3. Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις πασσάλου δυτικού (αριστερά) και ανατολικού (δεξιά) τοιχίου για απόσταση πασσάλων 2,5m. ....	129

Σχήμα 6.4. Συνολικές μετακινήσεις πασσάλου δυτικού (αριστερά) και ανατολικού (δεξιά) τοιχίου για απόσταση πασσάλων 2,5m και απόλυτη τιμή προέντασης αγκυρίων 600 kN. ....	137
Σχήμα 6.5. Συνολικές μετακινήσεις πασσάλου δυτικού (αριστερά) και ανατολικού (δεξιά) τοιχίου για απόσταση πασσάλων 2,5m και απόλυτη τιμή προέντασης αγκυρίων 720 kN. ....	138
Σχήμα 6.6. Συνολικές μετακινήσεις πασσάλου δυτικού (αριστερά) και ανατολικού (δεξιά) τοιχίου για απόσταση πασσάλων 2,5m και απόλυτη τιμή προέντασης αγκυρίων 840 kN. ....	138
Σχήμα 6.7. Συνολικές μετακινήσεις πασσάλου δυτικού (αριστερά) και ανατολικού (δεξιά) τοιχίου για απόσταση πασσάλων 2,5m και απόλυτη τιμή προέντασης αγκυρίων 942 kN. ....	139
Σχήμα 6.8. Συνολικές μετακινήσεις πασσάλου δυτικού (αριστερά) και ανατολικού (δεξιά) τοιχίου για μήκος έμπιξης πασσάλων 2m. ....	144

# Πίνακες

Πίνακας 2.1. Θέσεις κύριων και δευτερευόντων ρεμμάτων που τέμνουν τον άξονα της σήραγγας (Γεώγνωση - Εδαφομηχανική, 2007).....	30
Πίνακας 2.2. Αποτελέσματα απογραφής υδροληπτικών έργων.....	39
Πίνακας 2.3. Μετρήσεις στάθμης υπόγειου νερού στα πιεζόμετρα του παλαιότερου γεωερευνητικού προγράμματος (2001) .....	52
Πίνακας 2.4. Μετρήσεις στάθμης υπογείου νερού στα πιεζόμετρα της συμπληρωματικής γεωτεχνικής έρευνας στο σταθμό «Αγία Παρασκευή»(2007).....	53
Πίνακας 2.5. Αποτελέσματα επί τόπου δοκιμών περατότητας στο σταθμό Αγ. Παρασκευής (2001) .....	58
Πίνακας 2.6. Αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών περατότητας στο σταθμό Αγίας Παρασκευής (συμπληρωματική γεωτεχνική έρευνα, 2007) .....	59
Πίνακας 2.7. Αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων νερού και οι οριακές τιμές του αντίστοιχου βαθμού προσβολής του σκυροδέματος - Παράμετρος PH. ....	62
Πίνακας 2.8. Αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων νερού και οι οριακές τιμές του αντίστοιχου βαθμού προσβολής του σκυροδέματος-Παράμετρος $NH_4^+$ (mg/l). ....	63
Πίνακας 2.9. Αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων νερού και οι οριακές τιμές του αντίστοιχου βαθμού προσβολής του σκυροδέματος-Παράμετρος $Mg^{+2}$ (mg/l). ....	63
Πίνακας 2.10. Αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων νερού και οι οριακές τιμές του αντίστοιχου βαθμού προσβολής του σκυροδέματος - Παράμετρος $CO_2$ (mg/l).....	64
Πίνακας 2.11. Αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων νερού και οι οριακές τιμές του αντίστοιχου βαθμού προσβολής του σκυροδέματος - Παράμετρος $SO_4^{2-}$ (mg/l).....	64
Πίνακας 2.12. Αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων νερού και οι οριακές τιμές του αντίστοιχου βαθμού προσβολής του σκυροδέματος - Παράμετρος $Cl^{-1}$ (mg/l). ....	64
Πίνακας 3.1. Δειγματοληπτικές γεωτρήσεις που διανοίχθηκαν στους σταθμούς Αγίας Παρασκευής στα πλαίσια του γεωερευνητικού προγράμματος του ΚΕΔΕ (1979 - 1980).....	66
Πίνακας 3.2. Δειγματοληπτικές γεωτρήσεις που διανοίχθηκαν στο σταθμό «Αγία Παρασκευή» στα πλαίσια του γεωερευνητικού προγράμματος της ΓΕΟPLAN Ε.Π.Ε (2000 - 2001).....	67
Πίνακας 3.3. Γεωτρήσεις που διανοίχθηκαν στην Αγ. Παρασκευή στα πλαίσια της συμπληρωματικής γεωτεχνικής έρευνας από την Εδαφομηχανική ΑΤΕ και τη Γεώγνωση Α. Ε. (2007).....	68
Πίνακας 3.4. Περιοχή σταθμού «ΑΓ. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ» φυσικές ιδιότητες ανά σχηματισμό. ....	71
Πίνακας 3.5. Περιοχή σταθμού «ΑΓ. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ» μηχανικές ιδιότητες ανά σχηματισμό. ....	73
Πίνακας 3.6. Τιμές ανά σχηματισμό που θα εισαχθούν στο πρόγραμμα Plaxis.....	75
Πίνακας 5.1. Μήκη και εφαρμοζόμενα φορτία αγκυρίων. ....	99
Πίνακας 5.2. Τιμές εισαγωγής ανά εδαφικό σχηματισμό. ....	104
Πίνακας 6.1. Μεταβολή τιμών δομικών στοιχείων συναρτήσει της απόστασης των πασσάλων. ....	125

Πίνακας 6.2. Μεταβολή της δύναμης προέντασης των αγκυρίων συναρτήσει της απόστασης των πασσάλων. .....	126
Πίνακας 6.3. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα 1 <sup>ης</sup> σειράς παραμετρικών αναλύσεων.....	131
Πίνακας 6.4. Απόλυτες τιμές δύναμης προέντασης συναρτήσει της απόστασης των πασσάλων.....	136
Πίνακας 6.5. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα 2 <sup>ης</sup> σειράς παραμετρικών αναλύσεων για τις μετακινήσεις του πασσάλου του δυτικού τοιχίου. ....	140
Πίνακας 6.6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα 2ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων για τις μετακινήσεις του πασσάλου του ανατολικού τοιχίου. ....	140
Πίνακας 6.7. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετακινήσεων πασσάλου δυτικού τοιχίου για τη 3 <sup>η</sup> σειρά παραμετρικών αναλύσεων.....	144
Πίνακας 6.8. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετακινήσεων πασσάλου ανατολικού τοιχίου για τη 3 <sup>η</sup> σειρά παραμετρικών αναλύσεων.....	145

## Διαγράμματα

Διάγραμμα 5.1. Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσεως της απόστασης από τον πάσσαλο του ανατολικού τοιχίου (απόσταση πασσάλων 2,5 m) . . . . .	122
Διάγραμμα 5.2. Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσεως της απόστασης από το πάσσαλο του δυτικού τοιχίου (απόσταση πασσάλων 2,5 m) . . . . .	123
Διάγραμμα 6.1. Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσεως της απόστασης από το πάσσαλο του δυτικού τοιχίου (απόσταση πασσάλων 2,5 m) . . . . .	130
Διάγραμμα 6.2. Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσεως της απόστασης από τον πάσσαλο του ανατολικού τοιχίου (απόσταση πασσάλων 2,5 m) . . . . .	130
Διάγραμμα 6.3. Μέγιστες μετακινήσεις πασσάλων σε συνάρτηση με την απόσταση των πασσάλων. Αποτελέσματα 1 <sup>ης</sup> σειράς παραμετρικών αναλύσεων. . . . .	132
Διάγραμμα 6.4. Μετακινήσεις πασσάλων στη στέψη σε συνάρτηση με την απόσταση των πασσάλων. Αποτελέσματα 1ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων. . . . .	133
Διάγραμμα 6.5. Απόλυτες τιμές καμπτικών ροπών σε συνάρτηση με την απόσταση των πασσάλων. Αποτελέσματα 1ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων. . . . .	134
Διάγραμμα 6.6. Απόλυτες τιμές μέγιστων διατμητικών δυνάμεων σε συνάρτηση με την απόσταση των πασσάλων. Αποτελέσματα 1ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων. . . . .	135
Διάγραμμα 6.7. Επηρεασμός προέντασης αγκυρίων (kN/m) στις μέγιστες μετακινήσεις του πασσάλου του δυτικού τοιχίου. Αποτελέσματα 2ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων. . . . .	141
Διάγραμμα 6.8. Επηρεασμός προέντασης αγκυρίων (kN/m) στις μέγιστες μετακινήσεις του πασσάλου του ανατολικού τοιχίου. Αποτελέσματα 2ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων. . . . .	141
Διάγραμμα 6.9. Επηρεασμός προέντασης αγκυρίων (kN/m) στις μετακινήσεις της στέψης του πασσάλου του δυτικού τοιχίου. Αποτελέσματα 2ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων. Διάγραμμα 6.10. Επηρεασμός προέντασης αγκυρίων (kN/m) στις μετακινήσεις της στέψης του πασσάλου του ανατολικού τοιχίου. Αποτελέσματα 2ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων. . . . .	142
Διάγραμμα 6.11. Μέγιστες μετακινήσεις του πασσάλου της δυτικής πλευράς συναρτήσεως του μήκους έμπιξης. Αποτελέσματα 3ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων. . . . .	145
Διάγραμμα 6.12. Μέγιστες μετακινήσεις του πασσάλου της ανατολικής πλευράς συναρτήσεως του μήκους έμπιξης. Αποτελέσματα 3ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων. . . . .	146
Διάγραμμα 6.13. Μετακινήσεις στη στέψη του πασσάλου της δυτικής πλευράς συναρτήσεως του μήκους έμπιξης. Αποτελέσματα 3ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων. . . . .	146
Διάγραμμα 6.14. Μετακινήσεις στη στέψη του πασσάλου της ανατολικής πλευράς συναρτήσεως του μήκους έμπιξης. Αποτελέσματα 3ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων. . . . .	147
Διάγραμμα 6.15. Μετακινήσεις στη κλείδα του πασσάλου της δυτικής πλευράς συναρτήσεως του μήκους έμπιξης. Αποτελέσματα 3ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων. . . . .	147
Διάγραμμα 6.16. Μετακινήσεις στη κλείδα του πασσάλου της ανατολικής πλευράς συναρτήσεως του μήκους έμπιξης. Αποτελέσματα 3ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων. . . . .	148



## Σύνοψη

Ο σταθμός της Αγίας Παρασκευής αποτελεί επέκταση της γραμμής 3 του METRO ΑΘΗΝΩΝ. Στο σταθμό αυτό δεν είχε προηγηθεί καμία κατασκευή πέρα από αυτή του φρέατος της Αγίας Παρασκευής, το οποίο χρησιμοποιούταν ως φρέαρ εξαερισμού. Η μέθοδος κατασκευής του ορύγματος είναι γενικά αυτή της ανοιχτής εκσκαφής με εξαίρεση το νότιο φρέαρ εξαερισμού και της νότιας σήραγγας που περνάει κάτω από την οδό της Αγίας Παρασκευής.

Η ιδιαιτερότητα αυτού του σταθμού οφείλεται στο ότι στη θέση αυτή είχε ήδη κατασκευασθεί και ήταν σε λειτουργία η σήραγγα της Γραμμής 3 του Μετρό, η οποία είχε διανοιχθεί με μηχανήμα ολομέτωπης κοπής (TBM) και είναι επενδεδυμένη με προκατασκευασμένα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος. Επιπλέον η κατασκευαστική μέθοδος που εφαρμόσθηκε θα έπρεπε να εξασφαλίζει ότι ο συνολικός χρόνος της διακοπής της λειτουργίας της Γραμμής 3 δεν θα υπερέβαινε τους (6) έξι μήνες. Για αυτό το λόγο η αλληλουχία κατασκευής ήταν κρίσιμος παράγοντας καθόσον έπρεπε να ληφθούν όλα τα αναγκαία μέτρα για την ασφάλεια και την ελαχιστοποίηση μετακινήσεων της υφιστάμενης σήραγγας και του Φρέατος κατά τη διάρκεια των εργασιών κατασκευής, αλλά και της μόνιμης επένδυσης του Σταθμού.

Στη παρούσα διπλωματική γίνεται διερεύνηση της ευστάθειας των πρανών με το πρόγραμμα διδιάστατων στοιχείων Plaxis. Στη συνέχεια πραγματοποιούνται παραμετρικές αναλύσεις με σκοπό να διαπιστωθεί πώς επηρεάζουν τη συνολική ευστάθεια της κατασκευής ορισμένες παράμετροι όπως η απόσταση και το μήκος έμπιξης των πασσάλων, καθώς και ο βαθμός προέντασης των αγκυρίων.

## **Abstract**

The station of Agia Paraskeui is an extension of “Athens’s Metro” line 3. In this station, there has not been any other construction beyond the pit of Agia Paraskeui, which was utilized as a ventilation shaft. In general, the construction method of the trench is with open excavation apart from the southern ventilation shaft and the southern tunnel that passes under the road of Agia Paraskeui.

This station can be distinguished due to the fact that in its position had already been constructed and operated the tunnel of Metro’s line 3, which had been excavated by a Tunnel Boring Machine (TBM) and its wall lining had been covered with precast of reinforced concrete. Moreover, the applied construction method should ensure that the operation of the line would not be paused more than six (6) months. That is why the construction sequence was a very critical factor since it should be taken into consideration all the necessary measures for safety, the minimizing of the movement of the already existed tunnel and chute and the work of the station’s permanent lining.

In the particular thesis, an exploration of the stability of slopes is performed, with the use of the software “Plaxis” which is based on the finite element method for 2-Dimensional geotechnical analysis. In addition, several parametric analyses are accomplished in order to determine how they affect the overall stability of the structure such as the distance and length of piles or the degree of prestressing anchors.

## Περίληψη

Στον Σταθμό "Αγία Παρασκευή" δεν είχε προηγηθεί καμία κατασκευή αν και η γραμμή του ΜΕΤΡΟ λειτουργούσε κανονικά και στο αντικείμενο του Έργου κατασκευής του Σταθμού περιλαμβάνονταν όλες οι εργασίες που απαιτούντο για την υλοποίησή του, δηλαδή εκσκαφή και προσωρινή αντιστήριξη, μόνιμη επένδυση όλων των επιπέδων του Σταθμού, αποβάθρες, σκυροδέματα πληρώσεως, αρχιτεκτονικά τελειώματα, κλπ. Η μέθοδος κατασκευής ήταν γενικώς αυτή της ανοικτής εκσκαφής (cut & cover) με την ιδιαιτερότητα, ότι στη θέση αυτή έχει ήδη κατασκευασθεί και ήταν σε λειτουργία η σήραγγα της Γραμμής 3 του Μετρό, η οποία είχε διανοιχθεί με μηχανήμα ολομέτωπης κοπής (TBM) και ήταν επενδεδυμένη με προκατασκευασμένα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος. Ο Σταθμός συνορεύει προς βορρά με το υφιστάμενο φρέαρ Η/Μ εξοπλισμού (Φρέαρ Αγ. Παρασκευής).

Η αλληλουχία κατασκευής στις συγκεκριμένες ιδιαιτερότητες ήταν κρίσιμος παράγοντας καθόσον έπρεπε να ληφθούν όλα τα αναγκαία μέτρα για την ασφάλεια και την ελαχιστοποίηση μετακινήσεων της υφιστάμενης σήραγγας και του Φρέατος κατά τη διάρκεια των εργασιών κατασκευής, καθώς και της μόνιμης επένδυσης του Σταθμού με την σήραγγα και με το φρέαρ, με τρόπο που να εξασφαλίζεται η στατική επάρκεια και η υδατοστεγανότητα όλων των κατασκευών. Για την υλοποίηση των εργασιών κατασκευής του Σταθμού και των συνδέσεων με την υπάρχουσα σήραγγα απαιτήθηκε προσωρινή διακοπή της λειτουργίας της Γραμμής 3 από το Σταθμό Εθνική Άμυνα" έως το Σταθμό "Δουκ. Πλακεντίας". Η κατασκευαστική μέθοδος που εφαρμόστηκε έπρεπε να εξασφαλίζει ότι ο συνολικός χρόνος της προβλεπόμενης διακοπής της λειτουργίας της Γραμμής 3 δεν υπερβαίνει τους (6) έξι μήνες. Πριν και μετά τη διακοπή αυτή έπρεπε να γίνουν όλες οι απαραίτητες ενέργειες ώστε να εξασφαλιστεί η απρόσκοπτη και ασφαλής λειτουργία του συστήματος του ΜΕΤΡΟ.

Γενικά η όλη κατασκευαστική διαδικασία χωρίστηκε σε 6 στάδια:

**1<sup>ο</sup> Στάδιο.** Στο στάδιο αυτό έγινε κατασκευή φρεατοπασσάλων περιμετρικά της προβλεπόμενης εκσκαφής του Σταθμού. Οι πάσσαλοι ήταν οι απαιτούμενοι για την αντιστήριξη της πλήρους (τελικής) εκσκαφής του ορύγματος του Σταθμού. Η εκσκαφή έγινε κατά φάσεις με τοποθέτηση προεντεταμένων αγκυρίων και εκτοξευόμενου σκυροδέματος με δομικό πλέγμα. Τονίζεται ότι στην περίμετρο του

υπάρχοντος γειτονικού Φρέατος Αγ. Παρασκευής υφίστατο η αντιστήριξη που είχε γίνει με φρεατοπασσάλους σκυροδέματος και προεντεταμένα αγκύρια, οπότε η βόρεια πλευρά του Σταθμού δεν χρειάστηκε να αντιστηριχτεί καθ' όλο το μήκος της, ενώ η διάτρηση για τους νέους πασσάλους στην περιοχή των υπαρχόντων αγκυρώσεων έγινε με την δέουσα προσοχή. Οι υπάρχοντες αυτοί πάσσαλοι και ο κεφαλόδεσμος εντός του μεσοδιαστήματος μεταξύ του ορύγματος του Σταθμού και του Φρέατος καθαιρέθηκαν.

**2<sup>ο</sup> Στάδιο.** Κατά τη διάρκεια αυτού έγινε εκσκαφή και αντιστήριξη του Σταθμού κατά φάσεις έως μια στάθμη τουλάχιστον τριών (3) μέτρων πάνω από την κλείδα της υπάρχουσας σήραγγας. Σε όλο αυτό το χρονικό διάστημα η Γραμμή του Μετρό συνέχιζε κανονικά τη λειτουργία της. Πριν την έναρξη της κατασκευής και καθ' όλη τη διάρκειά της γινόταν παρακολούθηση με κατάλληλους αισθητήρες της επένδυσης της σήραγγας (προκατασκευασμένα τμήματα σκυροδέματος) για τον έλεγχο παραμορφώσεων.

**3<sup>ο</sup> Στάδιο.** Αποτελεί το στάδιο της διακοπής της λειτουργίας της Γραμμής αφού προηγήθηκαν οι εργασίες αποσύνδεσης, μετακίνησης, παράκαμψης, κλπ του Η/Μ εξοπλισμού της σήραγγας.

**4<sup>ο</sup> Στάδιο.** Κατά το στάδιο αυτό έγινε επανεκκίνηση της εκσκαφής ενώ η επένδυση της σήραγγας καθαιρούνταν σταδιακά και απομακρυνόταν. Επίσης έγινε η ολοκλήρωση της εκσκαφής και της αντίστοιχης αντιστήριξης. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάστηκε στα άκρα του σταθμού ώστε η καθαίρεση της επένδυσης της σήραγγας να γίνει προσεκτικά για να μην βλαφτεί καθόλου η επένδυση των αμέσως γειτονικών τμημάτων της σήραγγας που διατηρούνται επί τόπου.

**5<sup>ο</sup> Στάδιο.** Αποτελεί το στάδιο κατασκευής του μονίμου φορέα του Σταθμού ως μια κλασσική κατασκευή ανοικτού ορύγματος, δηλαδή τοποθέτηση του συστήματος προσωρινής αποστράγγισης στον πυθμένα του σκάμματος, τοποθέτηση του συστήματος υδατοστεγάνωσης, τοποθέτηση οπλισμών και σκυροδέτηση του πυθμένα του Σταθμού, καθώς και κατασκευής του πρώτου τμήματος των τοιχίων, κλπ. Πρέπει να τονιστεί ότι σε αυτό το στάδιο δόθηκε προσοχή στη συναρμογή του φορέως του Σταθμού αφενός με τα γειτονικά τμήματα της επένδυσης σήραγγας και αφετέρου με την υπάρχουσα κατασκευή του Η/Μ Φρέατος και από στατικής άποψης και από πλευρά υδατοστεγανότητας.

**6<sup>ο</sup> Στάδιο.** Κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού έγινε επαναλειτουργία της Γραμμής μετά την ολοκλήρωση τουλάχιστον της μόνιμης κατασκευής του Σταθμού έως και την πλάκα δαπέδου του επιπέδου κεντρικού χώρου, συμπεριλαμβανομένων των αποβάθρων. Φυσικά είχε αποκατασταθεί η σιδηροδρομική επιδομή και τα Η/Μ συστήματα μέσα στη σήραγγα και όπου αλλού απαιτούνταν. Πριν την έναρξη κυκλοφορίας των συρμών, είχαν τοποθετηθεί όλα τα απαραίτητα προστατευτικά μέρη (πχ κατακόρυφα πανέλα στο άκρο και κατά μήκος των αποβάθρων) που απομόνωσαν τις εργασίες στο Σταθμό από το εν λειτουργία σύστημα.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας πέρα από τη παρουσίαση της πρωτοπόρας για τα Ελληνικά δεδομένα κατασκευής, πραγματοποιήθηκε και διερεύνηση της ευστάθειας των πρανών με το πρόγραμμα διδιάστατων στοιχείων Plaxis. Για να επιτευχθεί αυτό χρειάστηκε να γίνει επεξεργασία τόσο των γεωλογικών στοιχείων της περιοχής (που προέκυψαν από τις δοθείσες γεωτρήσεις), όσο και των κατασκευαστικών στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στο έργο.

Αρχικά έχοντας τα απαραίτητα στοιχεία από την επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε η διερεύνηση της ευστάθειας των πρανών. Στη συνέχεια υλοποιήθηκαν τρεις παραμετρικές αναλύσεις με σκοπό να διαπιστωθεί κατά πόσο επηρεάζουν την ευστάθεια των πρανών η απόσταση και το μήκος έμπιξης των πασσάλων καθώς και η προένταση των αγκυρίων.

Με βάση αυτές τις παραμετρικές αναλύσεις εξάγονται τελικά συμπεράσματα για το ποσοστό επηρεασμού ορισμένων παραγόντων όσον αφορά την αντιστήριξη των πρανών και κατ'επέκταση τη καλύτερη κατασκευαστική λύση.

## Πρόλογος

Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία αποτελεί προέκταση της προπτυχιακής διπλωματικής του υπογράφοντος που πραγματοποιήθηκε το 2011, με αφορμή το ενδιαφέρον για το έργο αυτό που προήλθε από την παρουσία μου στον σταθμό του METRO της Αγίας Παρασκευής στα πλαίσια της πρακτικής μου άσκησης το καλοκαίρι του 2009. Το αντικείμενο της διπλωματικής αυτής ήταν η παρουσίαση της κατασκευής του σταθμού μετρό της Αγίας Παρασκευής, ενός πρωτοπόρου έργου για τα ελληνικά δεδομένα καθώς πραγματοποιήθηκε χωρίς να έχει προβλεφθεί ότι θα διανοιχθεί στη συγκεκριμένη περιοχή και οι διαδικασίες εκσκαφής πραγματοποιήθηκαν, ενώ η υφιστάμενη υπόγεια σήραγγα TBM του μετρό βρισκόταν σε λειτουργία.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας των τοίχων αντιστήριξης (συνολικού ύψους 24 m) που δημιουργούνταν κατά τη κατασκευή του σταθμού. Η διερεύνηση πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο διδιάστατων παραμετρικών αναλύσεων στο πρόγραμμα Plaxis.

Αναλυτικότερα η εργασία δομείται σε επτά συνολικά κεφάλαια:

Στο 1ο κεφάλαιο παρουσιάζονται στοιχεία για την εταιρία της Αττικό Μετρό καθώς και για τα έργα που έχει πραγματοποιήσει. Επιπλέον στο κεφάλαιο αυτό περιέχεται συνοπτικό ημερολόγιο με τις εργασίες που πραγματοποιήθηκαν για την επέκταση της γραμμής 3 του μετρό.

Στο 2ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γεωλογικά και υδρογεωλογικά στοιχεία που προέκυψαν από τις μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή του σταθμού.

Στο 3ο κεφάλαιο δίνεται μία τυπική γεωτεχνική τομή σχεδιασμού, καθώς και οι τιμές των φυσικών και των μηχανικών παραμέτρων στην περιοχή του σταθμού "Αγ. Παρασκευή", όπως αυτές προέκυψαν από την επεξεργασία των γεωτρήσεων.

Στο 4ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι εργασίες εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης του σταθμού. Οι εργασίες αυτές διακρίθηκαν σε 8 φάσεις. Σε κάθε

φάση παρουσιάζονται οι δραστηριότητες που μας αφορούν για το πρόγραμμα Plaxis.

Στο 5ο κεφάλαιο παρουσιάζεται αρχικά το θεωρητικό μοντέλο του προγράμματος Plaxis και στη συνέχεια γίνεται ενδελεχής αναφορά για τα τέσσερα υποπρογράμματα που αποτελούν το Plaxis με αναλυτική παρουσίαση των βημάτων που πραγματοποιήθηκαν, καθώς και των στοιχείων που χρειάστηκαν για κάθε παράμετρο.

Στο 6ο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά οι τρεις φάσεις των παραμετρικών αναλύσεων που διενεργήθηκαν στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής.

Στο 7 κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας σχετικά με τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε, καθώς και της αλληλεπίδρασης των 3 παραμετρικών αναλύσεων με την ευστάθεια των πρηνών.

Θερμές ευχαριστίες οφείλονται σε ορισμένα πρόσωπα, των οποίων η βοήθεια, καθώς και η συμπαράσταση τους αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα για την πραγματοποίηση αυτής της διπλωματικής. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής κ. Ρόζο Δημήτριο αναπληρωτή καθηγητή του Ε.Μ.Π., για την ευνοϊκή υποδοχή, την ενθάρρυνση μιας ιδέας, που χωρίς το ενδιαφέρον, την καθημερινή καθοδήγηση και υποστήριξη του δεν θα είχε μετατραπεί σε αυτή την εργασία.

Επίσης, ευχαριστώ ιδιαίτερα τον κύριο Λουπασάκη Κωσταντίνο λέκτορα του Ε.Μ.Π., για την πολύωρη ενασχόλησή του με την παρούσα διπλωματική, για την άψογη αντιμετώπιση και παροχή συμβουλών και υλικού όσο αφορά το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων.

Τέλος, ευχαριστώ το μέλος της επιτροπής εξέτασης της διπλωματικής κύριο Νομικό Παύλο επίκουρο καθηγητή του Ε.Μ.Π. για το χρόνο που διέθεσε για την αξιολόγηση της εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Μάρκο Νόβακ από τα κεντρικά της Αττικό Μετρό Α.Ε. για όλο το υλικό που μου παραχώρησε όποτε αυτό κατέστη απαραίτητο.

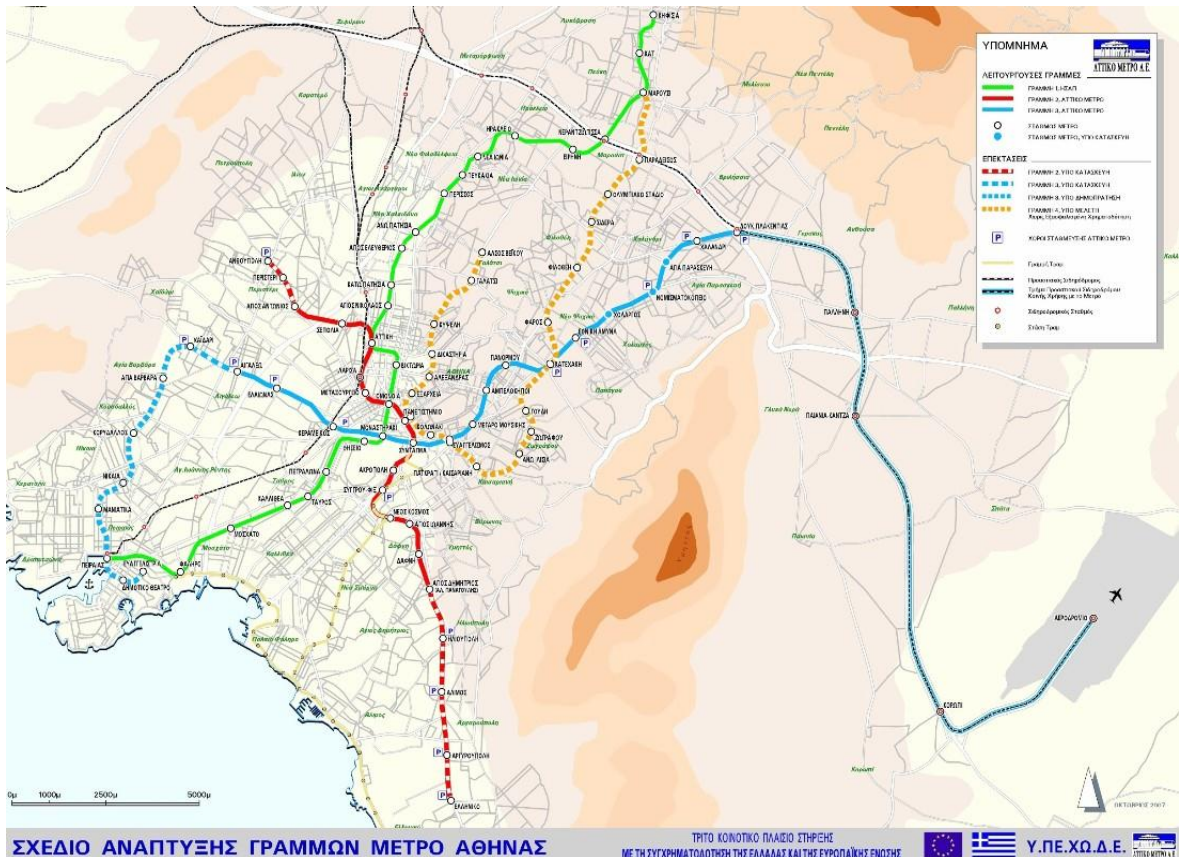


# 1 ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ

## 1.1 Παρουσίαση εταιρείας

Σύμφωνα με τον ιστότοπο [www.attikometro.gr](http://www.attikometro.gr), η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΑΕ είναι μια σύγχρονη εταιρεία δημοσίου συμφέροντος, με προσωπικό υψηλής επιστημονικής κατάρτισης, η οποία με υπεύθυνο σχεδιασμό και συστηματική δουλειά υλοποιεί την ανάπτυξη του δικτύου του Μετρό της Αθήνας. Σήμερα (Σχήμα 1.1), οι δύο Γραμμές του Μετρό της Αθήνας έχουν συνολικό μήκος περίπου 51,1 χλμ (συμπεριλαμβανομένων των 20,7 χλμ γραμμής του προαστιακού από τον σταθμό ΔΟΥΚΙΣΣΗΣ ΠΛΑΚΕΝΤΙΑΣ προς Αεροδρόμιο), διαθέτουν σύγχρονους σταθμούς που εξυπηρετούν 700.000 επιβάτες ανά ημέρα. Επίσης, η Γραμμή 1 του ΗΣΑΠ εξυπηρετεί αντίστοιχα περισσότερους από 415.000 επιβάτες ανά ημέρα. Έτσι μαζί με το Τραμ και τον Προαστιακό, το Μετρό συμβάλλει στη σύνθεση ενός σύγχρονου συγκοινωνιακού δικτύου και στην αναβάθμιση της ποιότητας ζωής στο λεκανοπέδιο.

Η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΑΕ προχωρά στην υλοποίηση νέων επεκτάσεων του δικτύου και ήδη σε εξέλιξη βρίσκεται ο διαγωνισμός για την περαιτέρω επέκταση της Γραμμής 3 από το Χαϊδάρι μέχρι τον Πειραιά (7,6 χλμ., 6 σταθμοί), προκειμένου ο Δήμος Πειραιά να αποκτήσει 3 Σταθμούς Μετρό και να συνδεθεί με το Αεροδρόμιο. Επίσης, το Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων εξετάζει όλους τους πιθανούς τρόπους χρηματοδότησης για την κατασκευή μιας νέας Γραμμής, η οποία αναμένεται να αλλάξει δραστικά τον συγκοινωνιακό χάρτη της Αθήνας, αφού υπολογίζεται να εξυπηρετεί μέχρι και 500.000 επιβάτες την ημέρα, αλλά και να αναβαθμίσει σημαντικά τη ζωή στο Λεκανοπέδιο. Πρόκειται για τη νέα Γραμμή 4, μήκους 33 χλμ με 29 Σταθμούς (προϋπολογισμού 3,3 δισ. €), η οποία θα καλύψει την διαδρομή Περισσός – Άλσος Βεΐκου – Πανεπιστήμιο – Ευαγγελισμός – Βύρωνα – Κατεχάκη – Μαρούσι – Λυκόβρυση, καθώς και τις περιοχές Παγκράτι, Βύρωνα, Υμηττός και Ηλιούπολη.



Σχήμα 1.1. Σχέδιο ανάπτυξης γραμμών METRO Αθήνας,

## 1.2 Αρχαιολογικές έρευνες στο πλαίσιο των έργων ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ

Μία από τις μοναδικές ιδιαιτερότητες του Μετρό της Αθήνας είναι ότι η κατασκευή του αποτέλεσε παράλληλα αφορμή για την υλοποίηση ενός σπουδαίου αρχαιολογικού έργου. Συγκεκριμένα, στο πλαίσιο της κατασκευής του Μετρό της Αθήνας, πραγματοποιήθηκε η μεγαλύτερη αρχαιολογική ανασκαφή στην πρωτεύουσα (έκτασης 79.000 τ.μ.), η οποία έφερε στο φως περισσότερα από 50.000 αρχαιολογικά ευρήματα.

Από την αρχή του σχεδιασμού του έργου, το Υπουργείο Πολιτισμού ενημέρωσε τους μελετητές για τον πλούτο των αρχαιοτήτων του Αθηναϊκού υπεδάφους και για τους περιορισμούς που επέβαλε το χρέος για την προστασία τους. Έτσι, τόσο κατά τον σχεδιασμό όσο και κατά την κατασκευή του έργου έγιναν οι αναγκαίες προβλέψεις και μετατροπές. Οι ανασκαφές, η συντήρηση, μεταφορά, έκθεση, κ.λ.π των αρχαίων ευρημάτων αποτέλεσε συντονισμένη

προσπάθεια τριών φορέων: της ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. (ΑΜ), της Κοινοπραξίας ΟΛΥΜΠΙΑΚΟ ΜΕΤΡΟ (Κ/Ξ ΟΜ) που κατασκεύασε το βασικό έργο και του Υπουργείου Πολιτισμού (ΥΠΠΟ), το οποίο σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία έχει την ευθύνη και επιστασία όλων των αρχαιολογικών δραστηριοτήτων. Οι αρμόδιες αρχαιολογικές υπηρεσίες του ΥΠΠΟ επέβλεψαν όλες τις φάσεις του αρχαιολογικού έργου, ενώ η Αττικό Μετρο χρηματοδότησε όλες τις αρχαιολογικές ανασκαφές και παράλληλα συντόνισε τους αναδόχους των έργων και όλους τους εμπλεκόμενους φορείς και υπηρεσίες (ιστότοπος, [www.attikometro.gr](http://www.attikometro.gr)).

Σήμερα, σε έξι κεντρικούς σταθμούς του Μετρό, αρχαία αντικείμενα εκτίθενται για πρώτη φορά σε δημόσιο χώρο πίσω από καλαίσθητες προθήκες προσκαλώντας και προκαλώντας τον κάθε βιαστικό επιβάτη, έλληνα ή ξένο να τα κοιτάξει και να τα περιεργασθεί.

### **1.3 Αττικό Μετρό για ΑΜΕΑ**

Οι σταθμοί και οι συρμοί του Μετρό Αθήνας είναι απολύτως φιλικό στην εξυπηρέτηση ατόμων με αναπηρία. Μολονότι οι προβλέψεις δεν περιλαμβάνονταν στο αρχικό αντικείμενο της σύμβασης η Αττικό Μετρό θεώρησε απαραίτητο να πραγματοποιηθούν οι παρακάτω διευκολύνσεις στις Γραμμές 2 και 3 του Μετρό Αθήνας στα πλαίσια της εξυπηρέτησης των Ατόμων με Αναπηρία (ιστότοπος, [www.attikometro.gr](http://www.attikometro.gr)).

Ειδικότερα:

Α) Για άτομα που κινούνται χωρίς αμαξίδια έχουν προβλεφθεί

- Διαγραμμίσεις στο πρώτο και τελευταίο Σκαλοπάτι των σταθερών κλιμάκων
- Ενδείξεις κατεύθυνσης και κομβία έκτακτης ανάγκης για τη διακοπή λειτουργίας των κυλιόμενων κλιμάκων.
- Χείλος αποβάθρας - πρόσθετη προειδοποιητική διαγράμμισης.
- Βελτιώσεις επιπέδου φωτισμού.
- Προσβάσιμα καθίσματα στην αποβάθρα.
- Κάμερες κλειστού κυκλώματος τηλεόρασης.
- Πυκνές γρίλιες βατών φρεατίων.
- «Οδηγοί τυφλών».

## Β) Για Χρήστες Αναπηρικών Αμαξιδίων

- Ανελκυστήρες κατάλληλοι για χρήση από ΑΜΕΑ σε όλους τους σταθμούς.
- Ηχογραφημένες ανακοινώσεις στις καμπίνες των ανελκυστήρων.
- Ενδοεπικοινωνία με τον Υπεύθυνο Σταθμού στις καμπίνες των ανελκυστήρων.
- Κεκλιμένα επίπεδα (ράμπες) υψομετρικών αλλαγών.

## 1.4 Πρόοδος συνολικά του έργου

Το μεγαλύτερο μέτωπο έργων Μετρό που έχει ποτέ υλοποιηθεί στην Ελλάδα προχωράει σήμερα με εντατικούς ρυθμούς. Το τελευταίο διάστημα κατασκευάστηκαν Σταθμοί Μετρό σε μια σειρά νέων περιοχών της Αθήνας, στο Περιστέρι, στην Ανθούπολη, στο Χαϊδάρι, στο Χολαργό, στο Χαλάνδρι, στην Αγία Παρασκευή (ιστότοπος, [www.attikometro.gr](http://www.attikometro.gr)).

Τον Μάιο 2007 δόθηκε σε λειτουργία η επέκταση της Γραμμής 3 του Μετρό από το Μοναστηράκι προς το Αιγάλεω, μήκους 4,3 χμ., με 3 σύγχρονους Σταθμούς. Το δίκτυο του Μετρό συνεχίζει να επεκτείνεται με νέους Σταθμούς και ήδη σε προχωρημένο στάδιο κατασκευής βρίσκεται η περαιτέρω επέκταση της Γραμμής 3 προς το Χαϊδάρι, μήκους 1,5 χλμ. με έναν νέο Σταθμό. Σημειώνεται ότι στην ίδια εργολαβία έχει ενταχθεί και η κατασκευή Χώρου Στάθμευσης Ι.Χ. οχημάτων, ακριβώς δίπλα από τον Σταθμό, συνολικής χωρητικότητας 380 θέσεων Ι.Χ.

Παράλληλα, ένας από τους μεγαλύτερους Δήμους της χώρας, ο Δήμος Περιστερίου, θα αποκτήσει σύντομα δύο νέους Σταθμούς Μετρό, μετά την επιτυχή ολοκλήρωση και λειτουργία του Σταθμού ΑΓΙΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ το καλοκαίρι του 2004 θα προστεθούν οι σταθμοί ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ και ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ, ενώ στην ίδια εργολαβία έχει ενταχθεί και η ενοποίηση και ανάπλαση της ομώνυμης πλατείας του Δήμου, η οποία καλύπτει μια συνολική έκταση 10.000 τμ. Παράλληλα, ολοκληρώθηκαν το καλοκαίρι του 2008 οι εργασίες διάνοιξης των υπολοίπων 350 μέτρων σήραγγας και το σύνολο της επέκτασης της Γραμμής (1,5 χλμ.) έχει πλέον κατασκευαστεί. Οι σταθμοί αυτοί αναμένεται να δωθούν στο επιβατικό κοινό τον Απρίλιο του 2013.

Το έργο της επέκτασης της Γραμμής 2 προς το Ελληνικό θα προσθέσει στο δίκτυο του Μετρό της Αθήνας 5,5 χλμ υπόγειας Γραμμής και 4 νέους Σταθμούς (ΗΛΙΟΥΠΟΛΗ, ΑΛΙΜΟΣ, ΑΡΓΥΡΟΥΠΟΛΗ, ΕΛΛΗΝΙΚΟ). Σήμερα, οι σταθμοί αυτοί είναι στη τελευταία φάση κατασκευής και αναμένεται να δοθούν στο επιβατικό κοινό τους επόμενους μήνες με πιο πιθανή ημερομηνία τον Ιούλιο του 2013. Το Μηχάνημα Διάνοιξης Σηράγγων, με αφετηρία το φρέαρ «Σούρμενα», αθόρυβα και δίχως καμία όχληση στη λειτουργία της πόλης, ολοκλήρωσε την κατασκευή των 5295 μέτρων σήραγγας τον Δεκέμβριο του 2008 και σήμερα έχει πλέον απομακρυνθεί από το έργο.

Τα τελευταία τρία χρόνια τελείωσαν και οι εργασίες σε τρεις νέους Σταθμούς της Γραμμής 3 (ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ,ΧΟΛΑΡΓΟΣ και ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ).

Ο σταθμός ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ δόθηκε στο επιβατικό κοινό στις 2 Σεπτεμβρίου 2009. Με την ίδια εργολαβία, στον Σταθμό ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ ( που είναι ο πρώτος Σταθμός Μετρό επί της Λεωφ. Μεσογείων που συναντούν οι προερχόμενοι από την Αγία Παρασκευή, τα Μεσόγεια και τα Ανατολικά παράλια της Αττικής) κατασκευάστηκε Σταθμός Μετεπιβίβασης από και προς λεωφορειακές γραμμές. Επιπλέον δόθηκε στις 23-07-2010 στο κοινό και υπόγειος χώρος στάθμευσης συνολικής χωρητικότητας 630 θέσεων Ι.Χ. οχημάτων.

Ο σταθμός Χολαργού που δόθηκε σε λειτουργία στις 23-7-2010, οριοθετείται σε βάθος 22 μέτρων υπογείως της Λεωφ. Μεσογείων στο ύψος της συμβολής της με την οδό Φανερωμένης και προβλέπεται να εξυπηρετεί ημερησίως περίπου 20.000 επιβάτες, προερχόμενους κυρίως από του Δήμους Χολαργού και Χαλανδρίου, αλλά και Νέου Ψυχικού, οι οποίοι θα έχουν πλέον τη δυνατότητα να διανύουν με το Μετρό την απόσταση μέχρι το Σύνταγμα σε εννέα λεπτά.

Ο σταθμός της Αγίας Παρασκευής που ήταν και ο πιο δύσκολος από πλευράς κατασκευής (αφού δεν είχε προβλεφθεί αρχικά η διάνοιξη του) δόθηκε στο επιβατικό κοινό στις 30-12-2010 και αναμένεται να εξυπηρετεί σε καθημερινή βάση 20.000 επιβάτες, οι οποίοι θα διανύουν, την απόσταση Αγία Παρασκευή - Σύνταγμα σε 13 λεπτά, ενώ μέχρι πρότινος χρειαζόνταν περισσότερα από 45. Ο ακριβής αλλά και πρωτοπόρος για τα ελληνικά δεδομένα τρόπος κατασκευής αυτού του σταθμού θα παρουσιαστεί αναλυτικά σε αυτή την διπλωματική εργασία.

Τέλος το Μετρό της Αθήνας, επεκτείνεται και προς την Αγία Βαρβάρα, τον Κορυδαλλό, τη Νίκαια, τα Μανιάτικα και τον Πειραιά, με 6 νέους Σταθμούς και 7,6 χλμ. υπόγειας γραμμής. Η Αττικό Μετρό Α.Ε. επαναδημοπράτησε στις 21 Νοεμβρίου 2008 τον σχετικό διαγωνισμό και στις 13 Φεβρουαρίου 2009, 6 τεχνικοί όμιλοι/ κοινοπραξίες εκδήλωσαν το ενδιαφέρον τους για την κατασκευή του έργου.

## **1.5 Πρόοδος επέκτασης Γραμμής 3- Συνοπτικό ημερολόγιο εργασιών**

Στις 16 Μαρτίου 2007 υπεγράφη η σύμβαση για την ολοκλήρωση των Σταθμών ΧΟΛΑΡΓΟΣ και ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ, καθώς και για την κατασκευή του Σταθμού ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ της Γραμμής 3.

Ο σταθμός ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ δόθηκε στο επιβατικό κοινό στις αρχές του Σεπτεμβρίου του 2009, ακολούθησε τον Ιούλιο του 2010 ο Σταθμός ΧΟΛΑΡΓΟΣ και τον Δεκέμβριο της ίδιας χρονιάς τέθηκε σε λειτουργία και ο Σταθμός ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.

Η συγκοινωνιακή σημασία αυτών των τριών σταθμών είναι ιδιαίτερα μεγάλη καθώς προβλέπεται να εξυπηρετούν καθημερινά περισσότερους από 60.000 επιβάτες, μειώνοντας δραστικά τον χρόνο μετακίνησης πχ. Αγ. Παρασκευή – Σύνταγμα μόλις σε 12 λεπτά, ενώ σήμερα χρειάζονται τουλάχιστον 45 λεπτά με ΙΧ σε ώρα αιχμής!

### **1.5.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΟΔΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ**

Σύμφωνα με τον ιστότοπο, [www.attikometro.gr](http://www.attikometro.gr), διαχρονικά η πρόοδος του έργου στο σύνολο της επέκτασης της γραμμής 3 του ΜΕΤΡΟ ήταν η ακόλουθη:

#### Μάρτιος 2007.

- Υπογράφηκε η σύμβαση για την ολοκλήρωση των σταθμών ΧΟΛΑΡΓΟΣ και ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ και την κατασκευή σταθμού ΑΓΙΑΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ. Ξεκίνησαν οι εργοταξιακές εγκαταστάσεις στους σταθμούς.

#### Απρίλιος 2007.

- Πραγματοποιήθηκαν διερευνητικές τομές του εδάφους για την ύπαρξη δικτύων ΟΚΩ και οι γεωτρήσεις για την τοποθέτηση γεωτεχνικών οργάνων στους τρεις σταθμούς.

#### Μάιος 2007.

- Ολοκληρώθηκε η κυκλοφοριακή ρύθμιση επί των Οδών Πολυδούρη και Μακαρίου, στον σταθμό ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.
- Πραγματοποιήθηκαν παρακάμψεις δικτύων ΟΚΩ και ξεκίνησαν οι εργασίες κατασκευής του φρεατίου ανελκυστήρα στο ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ.
- Υλοποιήθηκαν κυκλοφοριακές ρυθμίσεις πλησίον του σταθμού ΧΟΛΑΡΓΟΣ.

#### Ιούνιος 2007.

- Ολοκληρώθηκε η εργοταξιακή εγκατάσταση για τη δεύτερη είσοδο/έξοδο του σταθμού ΧΟΛΑΡΓΟΣ και πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες κυκλοφοριακές ρυθμίσεις.

#### Ιούλιος 2007.

- Τοποθετήθηκαν πάσσαλοι περιμετρικά του σταθμού ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ
- Ολοκληρώθηκε η προσωρινή αντιστήριξη και εκδοκαφή του φρέατος ανελκυστήρα στο ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ.
- Σε εξέλιξη ευρίσκοντο οι εργοταξιακές εγκαταστάσεις και ολοκληρώθηκε η κατασκευή πασσάλων στην είσοδο του σταθμού ΧΟΛΑΡΓΟΣ.

#### Αύγουστος 2007.

- Πραγματοποιήθηκε η στεγανοποίηση και η σκυροδέτηση του φρέατος ανελκυστήρα στο ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ.
- Ολοκληρώθηκε η κατασκευή πασσάλων στον σταθμό ΧΟΛΑΡΓΟΣ. Ξεκίνησε η εκσκαφή και η κατασκευή της δυτικής εισόδου του σταθμού.

#### Σεπτέμβριος 2007.

- Ολοκληρώθηκε η σκυροδέτηση του ανελκυστήρα και ξεκίνησαν οι εργασίες των επιχρισμάτων στο σταθμό ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ.

- Κατασκευάστηκαν οι πάσσαλοι στην αριστερή είσοδο του προαναφερθέντος σταθμού.
- Ολοκληρώθηκε η κατασκευή πασσάλων στην ανατολική και τη δυτική είσοδο στον σταθμό ΧΟΛΑΡΓΟΣ.

#### Οκτώβρης 2007.

- Ολοκληρώθηκαν οι εργασίες τοιχοποιίας στο σταθμό ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ, ενώ σε τελικό στάδιο βρίσκονταν οι εργασίες επιχρισμάτων.
- Συνεχίζονταν οι εργασίες εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης στο κυρίως φρέαρ στο σταθμό ΧΟΛΑΡΓΟΣ
- Ολοκληρώθηκαν οι εργασίες κατασκευής των πασσάλων και ξεκίνησαν οι εργασίες εκσκαφής στο σταθμό ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.
- Ολοκληρώθηκε η κυκλοφοριακή ρύθμιση επί της οδού Αγ.Παρασκευής και ξεκίνησαν οι εργασίες εκσκαφής του ομώνυμου σταθμού.

#### Νοέμβριος 2007.

- Σε εξέλιξη ευρίσκοντο οι προκαταρκτικές εργασίες για τοποθέτηση γρανιτών στο δάπεδο του κτιρίου του σταθμού ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ.
- Σε εξέλιξη ευρίσκοντο οι εργασίες εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης στο κυρίως φρέαρ του σταθμού ΧΟΛΑΡΓΟΣ.
- Σε εξέλιξη ευρίσκοντο οι εργασίες εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης στο σταθμό ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.

#### Δεκέμβρης 2007.

- Συνεχίζονταν οι εργασίες εκσκαφής στο σταθμό ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.
- Σε εξέλιξη ευρίσκοντο οι εργασίες τοποθέτησης θυρών, οι βαφές, η διάστρωση δαπέδου και η τοποθέτηση πλακιδίων στο σταθμό ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ.
- Ολοκληρώθηκε η εκσκαφή και η προσωρινή αντιστήριξη της συνδετήριας σήραγγας από το επίπεδο έκδοσης εισιτηρίων έως τις εισόδους/εξόδους του σταθμού ΧΟΛΑΡΓΟΣ.



- Ξεκίνησαν οι εργασίες εκσκαφής για την κατασκευή του 3<sup>ου</sup> όροφου υπογείου χώρου στάθμευσης συνολικής χωρητικότητας 470 Ι.Χ. οχημάτων.

#### Ιανουάριος 2008.

- Σε εξέλιξη ευρίσκοντο οι εργασίες εκσκαφής στο σταθμό ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.
- Σε εξέλιξη ευρίσκοντο οι εργασίες τοποθέτησης θυρών, οι βαφές, η διάστρωση βιομηχανικού δαπέδου και η τοποθέτηση κεραμικών πλακιδίων στο σταθμό ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ.
- Σε φάση ολοκλήρωσης βρισκόταν η εκσκαφή και η προσωρινή αντιστήριξη των 2 από τις 4 κεκλιμένες σήραγγες προς το επίπεδο των αποβάθρων στο σταθμό ΧΟΛΑΡΓΟΣ. Στο Νότιο Φρέαρ Εξαερισμού εκτελούνταν αρχαιολογικές ανασκαφές.

#### Φεβρουάριος 2008.

- Σε στάδιο ολοκλήρωσης ευρίσκοντο οι εργασίες εκσκαφής στο σταθμό ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.
- Σε εξέλιξη ευρίσκοντο οι εργασίες για την αρχιτεκτονική διαρρύθμιση του σταθμού ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ ενώ παράλληλα ξεκίνησαν οι εργασίες τοποθέτησης σωληνώσεων ύδρευσης. Στην ανατολική είσοδο του σταθμού σε εξέλιξη ήταν η εκσκαφή και η προσωρινή αντιστήριξη της σήραγγας.
- Σε εξέλιξη ήταν η εκσκαφή των δυο διαδρόμων πρόσβασης κοινού από τις δυο εισόδους/εξόδους του σταθμού ΧΟΛΑΡΓΟΣ προς το πρώτο επίπεδο του σταθμού.

#### Μάρτιος 2008.

- Σε στάδιο ολοκλήρωσης ήταν οι εργασίες εκσκαφής στο σταθμό ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ
- Σε εξέλιξη ήταν οι εργασίες τοποθέτησης σωληνώσεων ύδρευσης στο σταθμό ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ.

- Στο σταθμό ΧΟΛΑΡΓΟΣ ολοκληρώθηκε η εκσκαφή των δυο διαδρόμων πρόσβασης κοινού από τις δυο εισόδους/εξόδους προς το πρώτο επίπεδο του σταθμού.

#### Απρίλης 2008.

- Σε στάδιο ολοκλήρωσης ήταν οι εργασίες τοποθέτησης σωληνώσεων ύδρευσης στο σταθμό ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ , ενώ σε φάση ολοκλήρωσης είναι και η εκσκαφή του φρέατος της ανατολικής εισόδου του σταθμού.
- Ολοκληρώθηκε η εκσκαφή του κυρίως φρέατος και ξεκίνησαν οι εργασίες αποστράγγισης στον σταθμό ΧΟΛΑΡΓΟΣ. Σε φάση ολοκλήρωσης ευρίσκετο η εκσκαφή της «Εισόδου 1» του σταθμού.

#### Μάιος 2008.

- Ολοκληρώθηκαν οι εργασίες προσωρινής αντιστήριξης στο σταθμό ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.
- Σε εξέλιξη ήταν οι εργασίες βαφών, η εγκατάσταση γρανιτών, η ανάρτηση των ψευδοροφών στο σταθμό ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ, ενώ ολοκληρώθηκαν οι εργασίες τοποθέτησης σωληνώσεων ύδρευσης.

#### Ιούνιος 2008.

- Σε εξέλιξη ήταν οι εργασίες εγκατάστασης ανελκυστήρων στο σταθμό ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ.
- Σε εξέλιξη ήταν οι εργασίες υδατοστεγάνωσης του ομώνυμου χώρου στάθμευσης.
- Στο Νότιο Φρέαρ εξαερισμού του σταθμού ΧΟΛΑΡΓΟΣ ολοκληρώθηκε η αφαίρεση των αρχαιολογικών ευρημάτων και ξεκίνησαν οι εργασίες εγκατάστασης πασσάλων αντιστήριξης.

#### Ιούλιος 2008.

- Στο σταθμό ΧΟΛΑΡΓΟΣ ήταν σε εξέλιξη η υδατοστεγάνωση των κεκλιμένων κλιμάκων προς τις αποβάθρες και η κατασκευή των εισόδων/εξόδων του σταθμού.

- Σε προχωρημένο στάδιο ήταν η εκσκαφή του σταθμού ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ και ξεκίνησε η εκσκαφή της Νότιας Εισόδου.

#### Αύγουστος 2008.

- Σε εξέλιξη ήταν οι εργασίες τοποθέτησης γρανιτών στο δάπεδο και στους τοίχους στο σταθμό ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ.
- Ολοκληρώθηκαν οι εργασίες εκσκαφής της ανατολικής εισόδου/εξόδου στο σταθμό ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.
- Σε εξέλιξη ήταν οι εργασίες τοποθέτησης των κυλιόμενων κλιμάκων στο σταθμό ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ.

#### Σεπτέμβριος 2008.

- Σε εξέλιξη ήταν η εγκατάσταση ανελκυστήρων στο σταθμό ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ.
- Στις αρχές του νέου έτους αναμένεται η διακοπή λειτουργίας του τμήματος της Γραμμής 3 Εθνική Άμυνα-Δ.Πλακεντίας-Αεροδρόμιο προκειμένου να καθαιρεθεί τμήμα της υφιστάμενης σήραγγας και να ολοκληρωθεί η εκσκαφή του σταθμού ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.

#### Οκτώβριος 2008.

- Στο κτήριο του σταθμού ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ σε προχωρημένο στάδιο ευρίσκοντο οι εργασίες τοποθέτησης γρανιτών στο δάπεδο και στους τοίχους, η τοποθέτηση του σκελετού της ανοξείδωτης επένδυσης στα κυκλικά υποστηλώματα, η τοποθέτηση μεταλλικών θυρών, καθώς και η τοποθέτηση κεραμικών πλακιδίων και γαλβανισμένων κιγκλιδωμάτων στους τεχνικούς χώρους.
- Στο υπόγειο χώρο στάθμευσης στο ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ ήταν σε εξέλιξη η κατασκευή της πλάκας θεμελίωσης.

#### Νοέμβριος 2008.

- Στο σταθμό ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ ολοκληρώθηκε η εγκατάσταση των 10 κυλιόμενων κλιμάκων και των 3 ανελκυστήρων.

- Στον υπόγειο χώρο στάθμευσης στο ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ σε προχωρημένο στάδιο ήταν η κατασκευή του φέροντος οργανισμού του κτηρίου.

#### Δεκέμβριος 2008.

- Σε προχωρημένο στάδιο κατασκευής ήταν οι δυο είσοδοι/έξοδοι του σταθμού ΧΟΛΑΡΓΟΣ, οι διάδρομοι πρόσβασης προς το επίπεδο έκδοσης εισιτηρίων καθώς και το φρέαρ εξαερισμού.
- Ολοκληρώθηκε η κατασκευή των 3 υπογείων του χώρου στάθμευσης 630 θέσεων ΙΧ στο ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ.

#### Ιανουάριος 2009.

Η αναγκαία διακοπή του τμήματος της Γραμμής 3 Εθνική Άμυνα- Δ.Πλακεντίας- Αεροδρόμιο για την κατασκευή του σταθμού ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ προγραμματίστηκε για τις 14 Φεβρουαρίου 2009 και είχε διάρκεια ένα εξάμηνο. Στο χρονικό αυτό διάστημα καθαιρέθηκε τμήμα της υφιστάμενης Γραμμής στο ύψος των υπό κατασκευή σταθμών ΧΟΛΑΡΓΟΣ και ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.

#### Φεβρουάριος 2009.

- Σε εξέλιξη ήταν η καθαίρεση της σήραγγας της Γραμμής 3, μήκους 120μ. στον υπό κατασκευή σταθμό ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.
- Σε προχωρημένο στάδιο ήταν οι εργασίες για την εγκατάσταση διάτρητων μεταλλικών πανέλων τοίχου καθώς και ανοξειδωτης επένδυσης στα κυκλικά υποστυλώματα του σταθμού ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ.
- Στο σταθμό ΧΟΛΑΡΓΟ ήταν σε εξέλιξη οι εργασίες αρχιτεκτονικών τελειωμάτων και η εγκατάσταση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού.

#### Μάρτιος 2009.

- Ολοκληρώθηκε η καθαίρεση της σήραγγας Γραμμής 3, μήκους 120 μ, στο σταθμό ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ. Σε εξέλιξη ήταν η σκυροδέτηση της θεμελίωσης του σταθμού και η κατασκευή της υδατοστεγάνωσης.

- Στο σταθμό ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ σε εξέλιξη ήταν οι εργασίες τοποθέτησης γρανιτών στο δάπεδο και η τοποθέτηση κεραμικών πλακιδίων στους τεχνικούς χώρους. Σε εξέλιξη ήταν η εγκατάσταση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού στους σταθμούς ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ και ΧΟΛΑΡΓΟ.

#### Απρίλιος 2009.

- Σε στάδιο ολοκλήρωσης (72%) ήταν οι εργασίες σκυροδέτησης των αποβάθρων του σταθμού ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ. ΑΓ ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.
- Σε εξέλιξη ήταν οι προεργασίες για τη διαμόρφωση του χώρου στη δεύτερη είσοδο του σταθμού ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ, η οποία οριοθετείται στην απέναντι πλευρά της Λεωφ. Μεσογείων, στην οδό Κονδυλάκη.
- Στον υπόγειο χώρο στάθμευσης 630 θέσεων ΙΧ οχημάτων στο σταθμό ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ οι εργασίες υδατοστεγάνωσης της οροφής ευρίσκοντο σε στάδιο ολοκλήρωσης καθώς και η κατασκευή ράμπας εισόδου/εξόδου.

#### Μάιος 2009.

- Σε προχωρημένο στάδιο ευρίσκοντο οι εργασίες σκυροδέτησης της πλάκας έκδοσης εισιτηρίων του σταθμού ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.
- Σε στάδιο ολοκλήρωσης ήταν οι εργασίες αρχιτεκτονικών τελειωμάτων στο σταθμό ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ.
- Σε τελικό στάδιο ευρίσκοντο οι εργασίες εγκατάστασης ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού στο σταθμό ΧΟΛΑΡΓΟΣ.

#### Ιούνιος 2009.

- Σε εξέλιξη ήταν η κατασκευή της πλάκας δαπέδου του πρώτου υπογείου (επίπεδο έκδοσης εισιτηρίων) στο σταθμό ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.
- Ολοκληρώθηκε η τοποθέτηση κυλιόμενων κλιμάκων και ανελκυστήρων στο σταθμό ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ.
- Σε στάδιο ολοκλήρωσης ήταν οι αρχιτεκτονικές εργασίες στο σταθμό ΧΟΛΑΡΓΟΣ.

#### Ιούλιος 2009.

- Ολοκληρώθηκε η κατασκευή όλων των υπογείων επιπέδων του σταθμού ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.
- Ξεκίνησαν οι δοκιμές των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων του σταθμού ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ.
- Ολοκληρώθηκε η κατασκευή του υπογείου χώρου στάθμευσης (χωρητικότητας 630 θέσεων ΙΧ οχημάτων) και σε προχωρημένο στάδιο ήταν η εγκατάσταση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού.

#### Αύγουστος 2009.

- Σε στάδιο ολοκλήρωσης ήταν οι δοκιμές για την επαναλειτουργία του τμήματος της Γραμμής 3 προς το Αεροδρόμιο και για τη λειτουργία του νέου σταθμού στο ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ.
- Ξεκίνησε η εγκατάσταση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού στον 3<sup>ο</sup> όροφο υπόγειο χώρο στάθμευσης στο σταθμό ΝΟΜΙΣΜΑΤΙΚΟΠΕΙΟ.
- Σε εξέλιξη ήταν η κατασκευή του σταθμού μετεπιβίβασης από και προς Λεωφορειακές Γραμμές στην επιφάνεια του προαναφερόμενου σταθμού.

#### Σεπτέμβριος 2009.

- Στις 2 Σεπτεμβρίου άνοιξε τις πύλες του για το επιβατικό κοινό ο σταθμός ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ και επαναλειτούργησε το τμήμα της Γραμμής 2 Εθνική Άμυνα-Αεροδρόμιο.
- Ολοκληρώθηκε η κατασκευή Μετεπιβίβασης στο ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ, όπου συνολικά 12 λεωφορειακές γραμμές θα έχουν αφετηρία/τέρμα στο σταθμό αυτό.

#### Οκτώβριος 2009.

- Σε στάδιο ολοκλήρωσης ήταν η εγκατάσταση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού στο σταθμό ΧΟΛΑΡΓΟΣ, ενώ πραγματοποιήθηκε η εγκατάσταση όλων των κυλιόμενων κλιμάκων και των ανελκυστήρων για τα άτομα με περιορισμένη κινητικότητα.

- Σε τελικό στάδιο ευρίσκετο η μελέτη για την διαμόρφωση του επιφανειακού χώρου (δύο υφιστάμενα εργοτάξια εκατέρωθεν της Λεωφ. Μεσογείων) του σταθμού ΧΟΛΑΡΓΟΣ.
- Ξεκίνησε η αρχιτεκτονική διαρρύθμιση του σταθμού ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.

#### Νοέμβριος 2009.

- Ολοκληρώθηκε η εγκατάσταση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού στο σταθμό ΧΟΛΑΡΓΟΣ και σύντομα ξεκινούν οι δοκιμές των συστημάτων.
- Ξεκίνησε η αποκατάσταση/ανάπλαση του επιφανειακού χώρου στα δύο εργοτάξια των εισόδων/εξόδων του προαναφερόμενου σταθμού.
- Σε εξέλιξη ήταν η τοποθέτηση μαρμάρων , πλακιδίων, γρανιτών στους κοινόχρηστους χώρους του σταθμού ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.

#### Δεκέμβριος 2009.

- Ολοκληρώθηκαν τα αρχιτεκτονικά τελειώματα στο επίπεδο αποβάθρων στο σταθμό ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ, ενώ σε εξέλιξη βρίσκονται στους υπόλοιπους χώρους του σταθμού.
- Σε εξέλιξη ήταν οι εργασίες αποκατάστασης στους επιφανειακούς χώρους του σταθμού ΧΟΛΑΡΓΟΣ.

#### Ιανουάριος 2010.

- Σε λειτουργία τέθηκε ο σταθμός μεταβίβασης στο ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ από τον οποίο θα ξεκινούν 9 λεωφορειακές γραμμές.
- Αναμένετο να τεθεί σύντομα σε λειτουργία και ο υπόγειος χώρος στάθμευσης στο ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ χωρητικότητας 630 θέσεων ΙΧ.

#### Φεβρουάριος 2010.

- Συνεχίζονταν οι εργασίες εγκατάστασης και δοκιμών ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και δικτύων στους σταθμούς ΧΟΛΑΡΓΟΣ και ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.

#### Μάρτιος 2010.

- Στο τελικό στάδιο βρίσκονταν πλέον οι δοκιμές των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων στο σταθμό ΧΟΛΑΡΓΟΣ.

#### Απρίλιος 2010.

- Σε εξέλιξη εβρίσκετο η αποκατάσταση στο επίπεδο οδού στο σταθμό ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.
- Σε τελικό στάδιο ήταν η κατασκευή αρχιτεκτονικών τελειωμάτων στην Νότια και Δυτική είσοδο του σταθμού ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.
- Τελικές δοκιμές πραγματοποιούνται στα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα του σταθμού ΧΟΛΑΡΓΟΣ. Αμέσως μετά την ολοκλήρωση τους ο σταθμός θα δοθεί στο επιβατικό κοινό.
- Στο τελικό στάδιο βρίσκονταν πλέον οι δοκιμές των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων στον σταθμό ΧΟΛΑΡΓΟΣ. Αμέσως μετά την ολοκλήρωση τους ο σταθμός θα τεθεί σε λειτουργία.

#### Μάιος 2010.

- Σε εξέλιξη βρίσκονταν οι χρωματισμοί, η τοποθέτηση ψευδοροφών και τα υπόλοιπα αρχιτεκτονικά τελειώματα στο σταθμό ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ, ενώ συνεχιζόταν η αποκατάσταση στο επίπεδο οδού.

#### Ιούνιος 2010.

- Έχει ολοκληρωθεί η εκσκαφή , προσωρινή αντιστήριξη και μόνιμη επένδυση του σταθμού ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.
- Σε εξέλιξη ήταν τα αρχιτεκτονικά τελειώματα (δαπεδοστρώσεις, χρωματισμοί, ψευδοροφές κ.α) στο σταθμό ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ, στη νότια και δυτική είσοδο.
- Πραγματοποιούνται οι τελικές δοκιμές των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων στον σταθμό ΧΟΛΑΡΓΟΣ. Ο σταθμός αναμένεται να παραδοθεί στο επιβατικό κοινό τον Ιούλιο.

#### Ιούλιος 2010.

- Παραδόθηκε ο σταθμός ΧΟΛΑΡΓΟΣ στο επιβατικό κοινό.
- Σε προχωρημένο στάδιο βρίσκονταν τα αρχιτεκτονικά τελειώματα (δαπεδοστρώσεις, χρωματισμού, ψευδοροφές κ.α) στο σταθμό ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ και στους δυο εισόδους/εξόδους του.



- Ξεκίνησαν οι εργασίες αποκατάστασης του επιφανειακού χώρου του εργοταξίου στον προαναφερόμενο σταθμό.

#### Αύγουστος 2010.

- Ολοκληρώθηκαν οι αρχιτεκτονικές εργασίες στο σταθμό ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ και σε προχωρημένο στάδιο βρίσκεται η εγκατάσταση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού.
- Σε εξέλιξη εβρίσκετο η αποκατάσταση του εργοταξίου και η ανάπλαση του χώρου.

#### Σεπτέμβριος 2010.

- Σε στάδιο ολοκλήρωσης ήταν η αποκατάσταση του εργοταξίου και η ανάπλαση του χώρου.

#### Οκτώβριος 2010.

- Ολοκληρώθηκαν οι εργασίες αποκατάστασης στη βόρεια είσοδο/έξοδο του σταθμού ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.

#### Νοέμβριος 2010.

- Σε προχωρημένο στάδιο εβρίσκετο η κατασκευή ανοξείδωτου στεγάστρου της κυρίας εισόδου/εξόδου του σταθμού.

#### Δεκέμβριος 2010.

- Στις 30 Δεκεμβρίου πραγματοποιήθηκε η θέση σε λειτουργία του σταθμού ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ.

## 2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ-ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ

### 2.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα στοιχεία τα οποία συγκεντρώθηκαν και επεξεργάστηκαν αναφορικά με τις εργασίες κατασκευής του υποσταθμού του μετρό της Αγίας Παρασκευής και τις δυσκολίες που αντιμετωπίστηκαν.

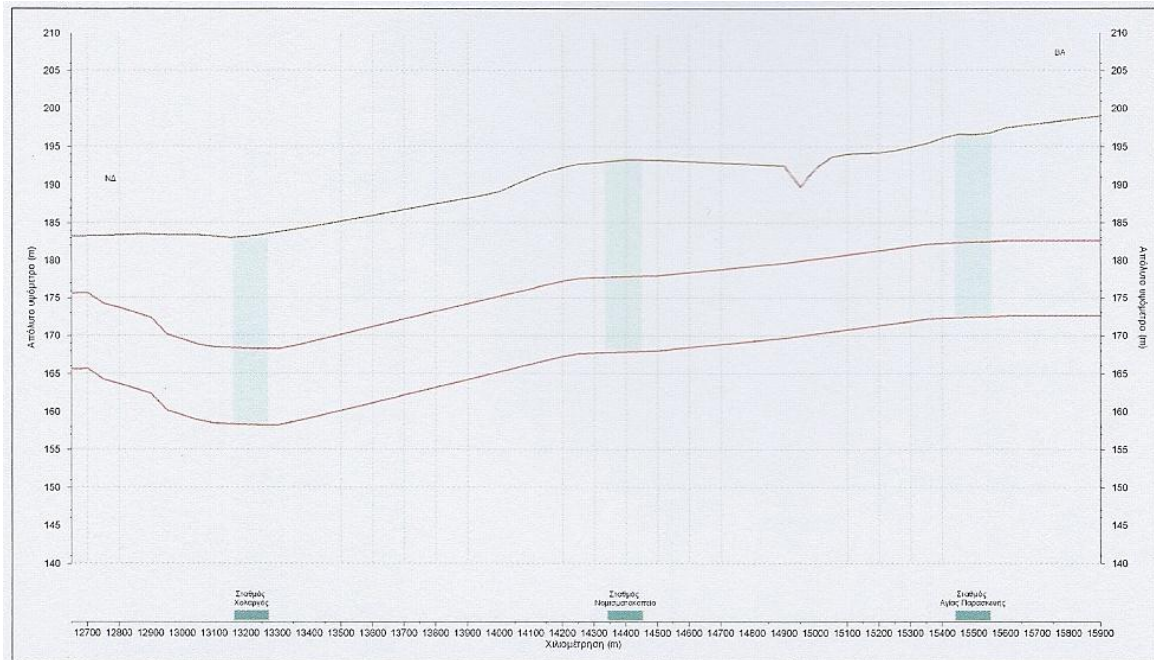
Τα στοιχεία αυτά εμπεριέχονται στις γεωτεχνικές - τεχνικογεωλογικές και υδρογεωλογικές έρευνες πεδίου που συντάχθηκαν για τις σχετικές αναλύσεις ευστάθειας των πρανών και τις εξ' αυτών προκύπτουσες μεθόδους βελτίωσης ή και αντιστήριξης των σχηματισμών προκειμένου να συμβάλλουν στην ασφαλή και οικονομική κατασκευή του έργου.

Ο σταθμός «Αγία Παρασκευή» βρίσκεται μεταξύ των οδών Αγίας Παρασκευής, Μαρίας Πολυδούρη, Αμμοχώστου και Κουρτέση (Σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1. Οριζοντιογραφία με τις θέσεις του σταθμού.

Η χωροθέτηση του σταθμού είναι μεταξύ των χ.θ. 15+440 και χ.θ. 15+550, το απόλυτο υψόμετρο του εδάφους είναι περίπου στο +197 m και το τελικό υψόμετρο του πυθμένα είναι +172,60m. Επομένως, το βάθος εκσκαφής του σταθμού αγγίζει τα 24,40m (σχήμα 2.2).



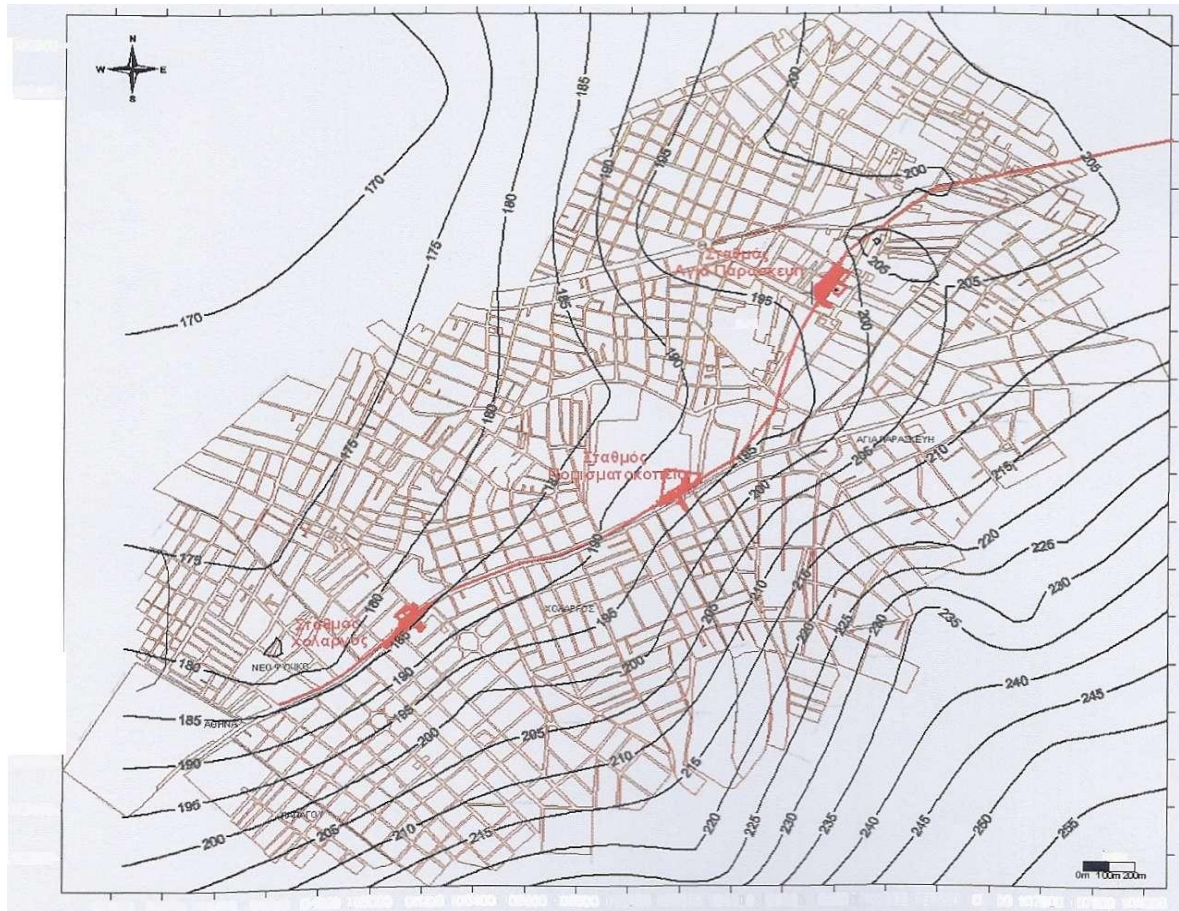
Σχήμα 2.2. Τομή κατά μήκος της χάραξης όπου φαίνονται τα γεωμετρικά στοιχεία της σήραγγας και η θέση των σταθμών.

## 2.2 Γεωμορφολογία- Υδρογραφικό δίκτυο

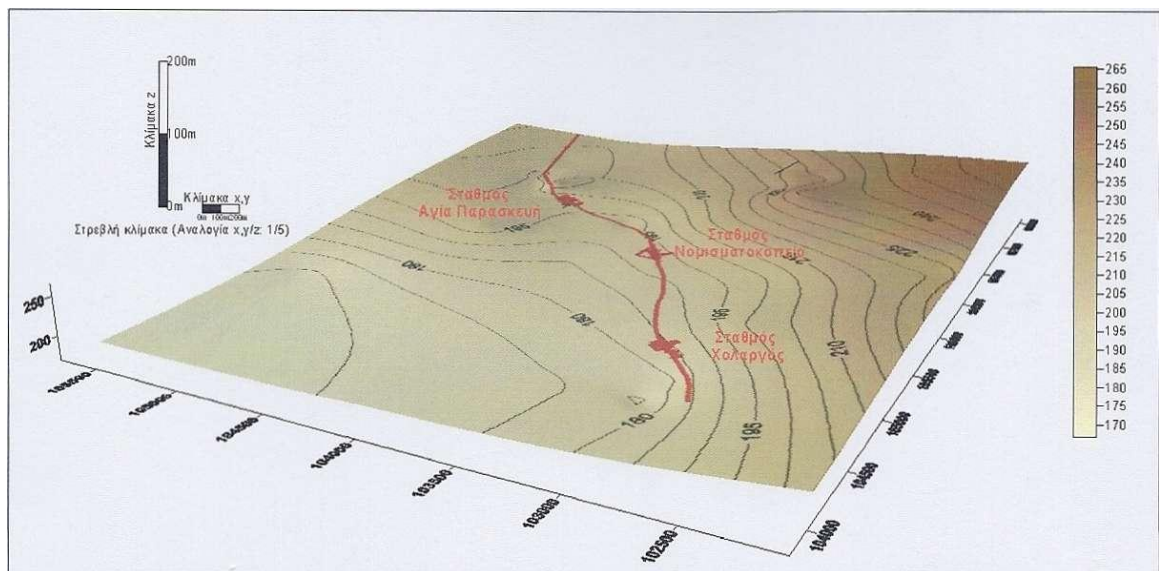
Η ευρύτερη περιοχή κατασκευής των τριών σταθμών της επέκτασης της γραμμής 3 του μετρό «Χολαργός», «Νομισματοκοπέια» και «Αγία Παρασκευή» βρίσκεται μεταξύ των βορειοανατολικών απολήψεων του Υμηττού βορειοδυτικά, και Τουρκοβουνίων δυτικά.

Στα Σχήματα 2.3 και 2.4 φαίνεται ο τοπογραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής διάνοιξης των σταθμών και το τρισδιάστατο μοντέλο του αναγλύφου του εδάφους. Σύμφωνα με τα σχήματα αυτά στην περιοχή του σταθμού «Αγία Παρασκευή» διαπιστώνεται ότι οι υψομετρικές διαφορές είναι πολύ μικρές. Στο τρισδιάστατο μοντέλο η κλίμακα έπρεπε να παραμορφωθεί (στο Σχήμα 2.4 η αναλογία x,y/z είναι 1/5) για να φανούν οι υψομετρικές διαφορές.





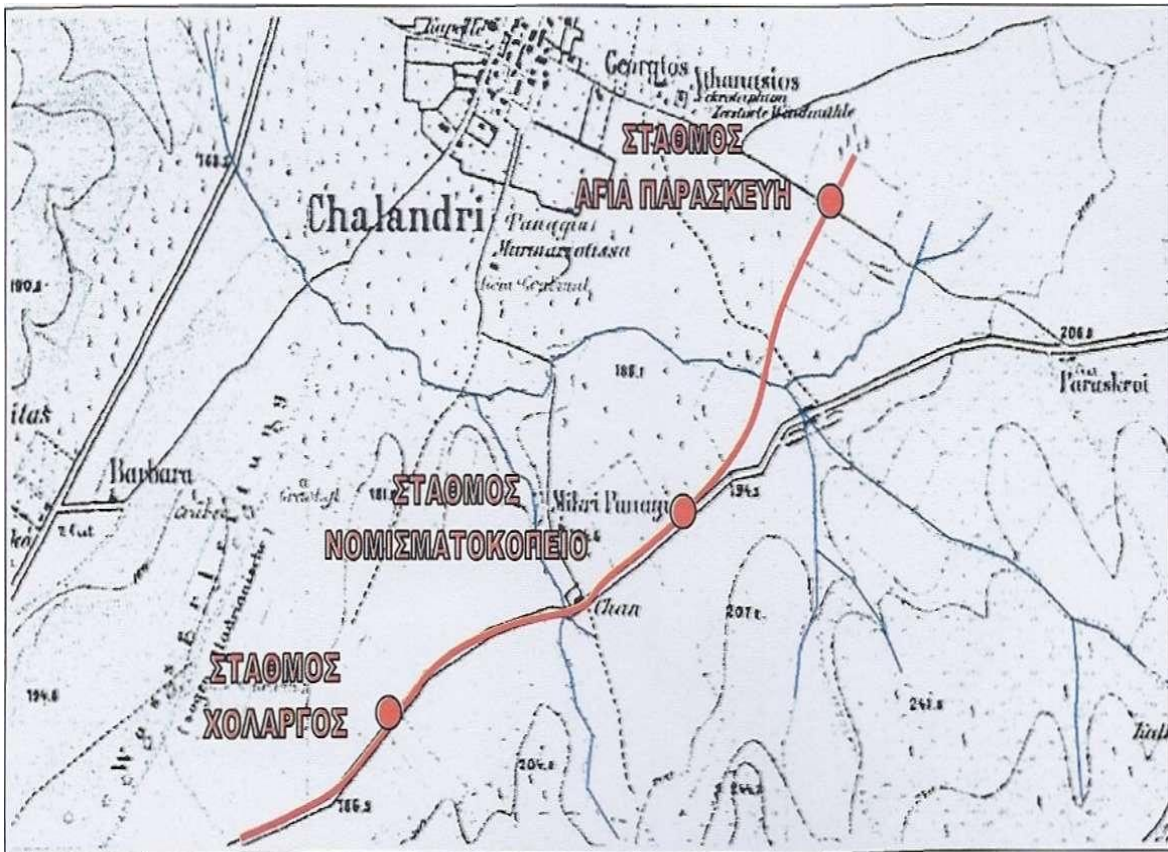
Σχήμα 2.3.Τοπογραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής εκσκαφής του σταθμού «Αγία Παρασκευή».



Σχήμα 2.4.Τρισδιάστατο μοντέλο αναγλύφου.

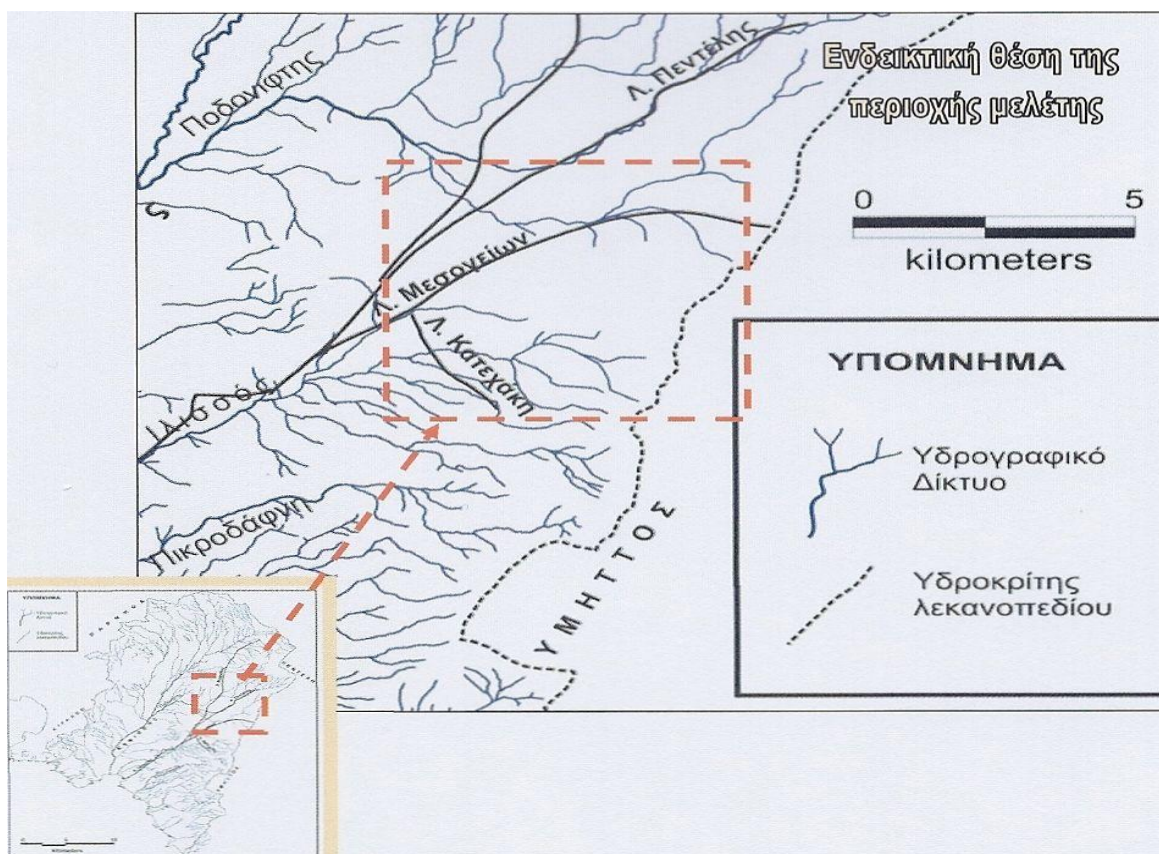
Σε γενικές γραμμές, το έργο βρίσκεται σε πεδινό ανάγλυφο με ήπιες κλίσεις της τάξης 2-5° προς τα Δ - ΒΔ.

Όσον αφορά στο υδρογραφικό δίκτυο, αυτό με βάση τους νέους και παλαιότερους τοπογραφικούς χάρτες φαίνεται ότι είναι δενδριτικής μορφής (Σχήματα 2.5 και 2.6). Κλάδοι της 1<sup>ης</sup>, 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> τάξεως ξεκινούν από τις νότιες, νοτιοδυτικές παρειές της Πεντέλης και τις βόρειο, βορειοδυτικές παρειές του Υμηττού. Η κύρια διεύθυνση των κλάδων είναι ΑΝΑ - ΔΒΔ και η δευτερεύουσα ΒΑ - ΝΔ. Ο χαρακτήρας αυτός αφορά σε γεωλογικούς σχηματισμούς με μέτρια ή μικρή περατότητα.



Σχήμα 2.5. Τοπογραφικός Χάρτης, κλίμακας 1:25000,(από J.A. Koupert).





Σχήμα 2.6. Υδρογραφικό δίκτυο τμήματος λεκανοπεδίου Αθηνών από τις δυτικές υπώρειες του ψαμμίτη (Δ. Παπανικολαού – Π. Μαρίνος, 2002).

Σύμφωνα με τον Πίνακα 2.1, στις προβλεπόμενες θέσεις του σταθμού δεν αναμένεται συνάντηση των κύριων ή δευτερευόντων κλάδων ενεργών ρεμμάτων.

Πίνακας 2.1 Θέσεις κύριων και δευτερευόντων ρεμμάτων που τέμνουν τον άξονα της σήραγγας (Γεώγνωση - Εδαφομηχανική, 2007).

A/A	Χιλιόμετρηση	Χαρακτήρας
1	13+900	Κύριο ρέμμα
2	14+950	Κύριο ρέμμα
3	15+000	Δευτερεύον ρέμμα

## 2.3 Γεωλογικές συνθήκες

### 2.3.1 Γεωλογικοί σχηματισμοί στην ευρύτερη περιοχή

Η γεωλογική σύσταση της περιοχής έχει αποτελέσει αντικείμενο σειράς μελετών και εκθέσεων (ΚΕΔΕ 1979 - 1980, Geoplan 2001 β και Γεώγνωση Α.Ε. - Εδαφομηχανική ΑΤΕ , 2007 α) οι οποίες συνοψίζονται και αποτυπώνονται στο χάρτη (Παπανικολάου 2002) τμήμα του οποίου παρατίθεται στο Σχήμα 2.7 .

Αναλυτικότερα στη γεωλογική διάρθρωση της περιοχής συμμετέχουν οι ακόλουθοι σχηματισμοί (από τους παλαιότερους στους νεότερους).

#### 2.3.1.1 Αλπικό υπόβαθρο

Το σύστημα του «Αθηναϊκού Σχιστόλιθου» αποτελεί το γεωλογικό υπόβαθρο του λεκανοπεδίου της Αθήνας. Πρόκειται για ένα έντονα ετερογενές σύστημα φλυσχοειδούς χαρακτήρα. Λιθολογικά αποτελείται από ημιμεταμορφωμένους και μεταμορφωμένους αργιλικούς και ψαμμιτικούς σχιστόλιθους, μεταίλυόλιθους, μεταψαμμίτες και φυλλίτες, οι οποίοι περικλείουν ενστρώσεις κρυσταλλικών ασβεστόλιθων και βασικών εκρηξιγενών πετρωμάτων (περιδοτίτες, διαβάσεις). Ο σχηματισμός τοπικά παρουσιάζει χαρακτηριστικά έντονης αποσάθρωσης και κερματισμού, με αποτέλεσμα να διαμορφώνεται μανδύας αποσάθρωσης μεγάλους πάχους.

Το σχιστολιθικό υπόβαθρο συναντάται κυρίως στην περιοχή του σταθμού «Χολαργός»(νοτιοδυτικά της Αγίας Παρασκευής),ο οποίος έχει διανοιχθεί σε μεταψαμμίτες με τοπικά ασβεστιτικούς με κατά θέσεις λεπτές ενστρώσεις ή μικρού σχετικώς πάχους οριζοντες μεταίλυολίθων. Στο χώρο του σταθμού «Αγία Παρασκευή» το αλπικό υπόβαθρο δεν συναντήθηκε από καμία δειγματοληπτική γεώτρηση (μέγιστο βάθος διάτρησης 30.5 m).

Στους σχηματισμούς του «Αθηναϊκού Σχιστολίθου» έχουν αποθεθεί ασύμφωνα, πλειοπλειστοκαινικές αποθέσεις, η έκταση και το πάχος των οποίων μεταβάλλεται σημαντικά από θέση σε θέση.

### **2.3.1.2 Πλειοκαινικοί ηπειρωτικοί σχηματισμοί**

Πρόκειται για σχηματισμούς από άμμους και αργίλους. Είναι γενικά αδιατάρακτα ή λίγο διαταραγμένα ιζήματα με κλίσεις που σπάνια ξεπερνούν τις 5°, αποτελούμενα από άμμους και αργίλους με αραιές, μη ρυθμικές και όχι εκτεταμένες παρεμβολές λιγνιτικών οριζόντων πολύ μικρού πάχους (5-20 cm). Το χρώμα τους είναι ερυθρωπό, πορτοκαλί ή ανοιχτοκίτρινο και το πάχος τους είναι λίγες δεκάδες μέτρα. Στην ακολουθία των σχηματισμών συμμετέχουν λευκές και κίτρινες μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, αλλά και χαλαρά πολύμεικτα κροκαλοπαγή και ψαμμίτες.

### **2.3.1.3 Πλειοπλειστοκαινικές αποθέσεις**

Οι σχηματισμοί αυτοί λιθολογικά συνίστανται από ερυθρές αργίλους και κροκαλοπαγή. Καστανέρυθρες στιφρές αμμώδεις άργιλοι, ιλύες και αργιλώδεις άμμοι συναντώνται επίσης κατά θέσεις με παρουσία χαλικών. Στα κατώτερα τμήματα συναντώνται οριζόντες συγκολλημένων κυρίως κροκαλολατυποπαγών με επικράτηση των ψαμμιτικών τεμαχίων.

Οι πλειοπλειστοκαινικές αποθέσεις και ειδικότερα οι Πλειοκαινικοί ηπειρωτικοί σχηματισμοί επικρατούν στις περιοχές εκσκαφής του σταθμού «Αγία Παρασκευή» (Σχήμα 2.7, P11). Το πάχος τους είναι σημαντικό κατά θέσεις και ξεπερνάει τα 30 m σε τμήματα του σταθμού.

Τοπικά οι σχηματισμοί αυτοί καλύπτονται από τεχνητές επιχώσεις το πάχος των οποίων φθάνει τα 5 m.





- Πλειοκαινικοί ηπειρωτική σχηματισμοί.
- Σχιστόλιθοι Μεσοζωικής ηλικίας.
- Πλευρικά κορήματα και ριτίδια.

Σχήμα 2.7. Ο γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής με τις ενδεικτικές θέσεις των σταθμών της Γραμμής 3 του Μετρό (Παπανικολάου, 2002).

### 2.3.2 Γεωλογικές συνθήκες στη στενή περιοχή του Σταθμού

Τα στοιχεία για τον καθορισμό των γεωλογικών συνθηκών προέρχονται από την αξιολόγηση των μελετών της Γεώγνωσης Α.Ε. και Εδαφομηχανικής ΑΤΕ 2007. Στο Σχήμα 2.8 δίνεται η γεωλογική μηκοτομή του Σταθμού «Αγία Παρασκευή». Πάνω στις γεωλογικές αυτές συνθήκες αναλύεται και το υδρογεωλογικό καθεστώς της περιοχής του σταθμού.

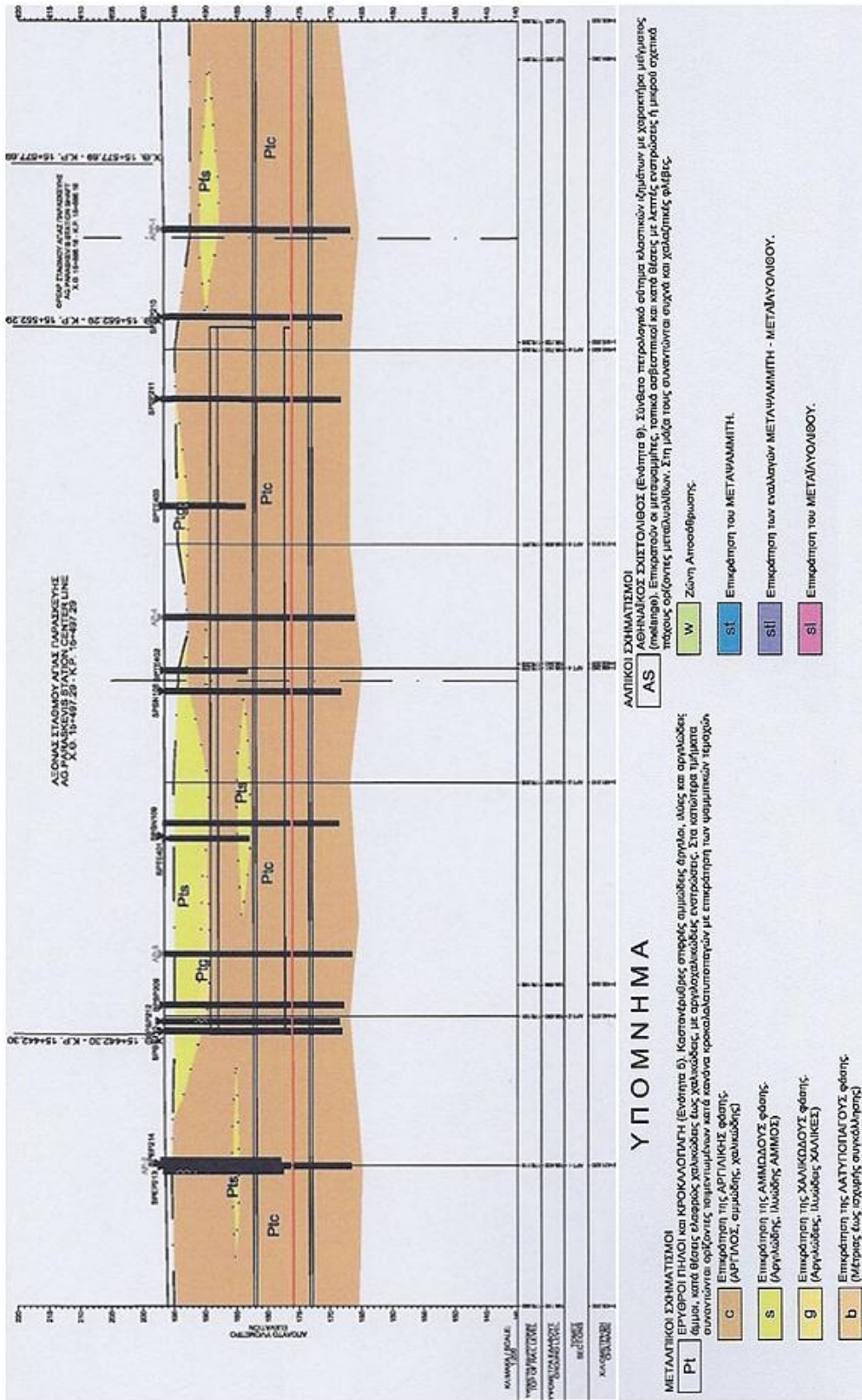
Σύμφωνα με το Σχήμα 2.8 ο Σταθμός αναμένεται να διανοιχθεί σε μεταλλικούς σχηματισμούς και ειδικότερα σε πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα. Οι συγκεκριμένοι σχηματισμοί αποτελούν ηπειρωτικές αποθέσεις οι οποίες συνίσταται κυρίως από στιφρές έως σκληρές αργίλους, κατά θέσεις ελαφρώς χαλικώδεις έως χαλικώδεις. Στο ανώτερο τμήμα παρουσιάζουν γενικά πιο αμμώδη χαρακτήρα αργιλώδους, χαλικώδους άμμου.

Αναλυτικότερα, επιφανειακά και σχεδόν σε όλη την έκταση του σταθμού επικρατούν αμμώδεις (Pts) και χαλικώδεις (Ptg) φάσεις. Στη συνέχεια και σε μεγαλύτερο βάθος επικρατεί αργιλική φάση (Ptc) με μερικές παρεμβολές φακοειδών αμμωδών ενστρώσεων (Pts).

Κατά την εκσκαφή του φρέατος «Αγία Παρασκευή» κυρίως στα βαθύτερα επίπεδα, σημειώθηκαν συχνές, αλλά μικρού όγκου αποκολλήσεις, λόγω εισροών υπόγειου νερού. Αυτό σημαίνει ότι η στάθμη αναμενόταν στα χαμηλότερα σημεία της λεκάνης που επρόκειτο να διαμορφωθεί, στο χώρο του Σταθμού.

Για τις ανάγκες της γεωτεχνικής έρευνας και τις μελέτες έργων κατασκευής του σταθμού στην περιοχή της Αγίας Παρασκευής διακρίθηκαν 3 διακριτοί ορίζοντες.

Για τη παρούσα διπλωματική και για την εισαγωγή των γεωλογικών δεδομένων στην προεπιλεγθείσα τομή του προγράμματος PLAXIS, πραγματοποιήθηκε διαχωρισμός των εδαφών σε 5 λιθολογικές φάσεις (τεχνικογεωλογικές ενότητες).



Σχήμα 2.8. Γεωλογική μηκοτομή του σταθμού Αγία Παρασκευή (Εδαφομηχανική Α.Ε. 2007)

## 2.4 Υδρογεωλογικές συνθήκες

### 2.4.1 Γενικά

Σκοπός αυτής της ενότητας είναι να δοθούν οι παράμετροι εκείνες που αποκαλύπτουν το υδρογεωλογικό καθεστώς στο χώρο του σταθμού. Έτσι με βάση τις μελέτες που έγιναν πριν τη κατασκευή του Σταθμού, γίνεται:

- Ο καθορισμός των υδραυλικών παραμέτρων ( $k$ ,  $T$ ,  $S$ ),
- Η διακριτοποίηση των υδροφόρων οριζόντων όπου υπάρχει,
- Η διερεύνηση της συμπεριφοράς του υδροφόρου ορίζοντα στις υφιστάμενες συνθήκες πριν την κατασκευή του Έργου,
- Η εκτίμηση της συμπεριφοράς του υδροφόρου ορίζοντα κατά τη κατασκευή και λειτουργία του έργου,
- Η διερεύνηση των ποιοτικών χαρακτήρων των υπόγειων νερών και οι επιπτώσεις τους στα υλικά κατασκευών.

Οι εργασίες που εκτελέστηκαν κατά τη διάρκεια των διαφόρων μελετών και βοήθησαν στη διερεύνηση των ανωτέρω αλλά και στην εξαγωγή συμπερασμάτων για τις παραμέτρους που μελετήθηκαν από πλευράς υδρογεωλογικών συνθηκών στη ευρύτερη περιοχή της Αγίας Παρασκευής χωρίζονται σε (ΓΕΩΓΝΩΣΗ Α.Ε. – ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΤΕ , 2007 β):

A) Εργασίες Γραφείου που γενικά αναφέρονται σε:

- Συγκέντρωση των βιβλιογραφικών δεδομένων για τα γεωμορφολογικά, γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης ζώνης κατασκευής των σταθμών,
- Καταγραφή όλων των πιεζομετρικών γεωτρήσεων που έχουν ανορυχθεί στη περιοχή του σταθμού της γραμμής 3 του ΜΕΤΡΟ,
- Συγκέντρωση των μετρήσεων στάθμης του υπόγειου νερού στα πιεζόμετρα που διανοίχθηκαν στα πλαίσια του γεωερευνητικού προγράμματος της επέκτασης

της Γραμμής 3 προς Σταυρό από τη GEOPLAN 2001 και στα πιεζόμετρα της Συμπληρωματικής Γεωτεχνικής Έρευνα στα πλαίσια της διάνοιξης των σταθμών,

- Αξιολόγηση των επί τόπου σημειακών δοκιμών περατότητας (δοκιμές πίπτοντος φορτίου (Maag), δοκιμές σταθερού φορτίου (Le franc) και δοκιμές Lugeon) που εκτελέστηκαν κατά τη διάρκεια των γεωερευνητικών προγραμμάτων του 2001 και 2007,
- Διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών των γεωλογικών σχηματισμών,
- Διερεύνηση της συμπεριφοράς των υδροφόρων οριζόντων στις υφιστάμενες συνθήκες, πριν και κατά την κατασκευή των σταθμών καθώς και κατά την λειτουργία τους,
- Καθορισμός των υδραυλικών παραμέτρων από βιβλιογραφικές πηγές και επί τόπου δοκιμές και έρευνες (σημειακές ή μη),
- Κατασκευή πιεζομετρικών χαρτών και χαρτών ισοβαθών καμπυλών,
- Διερεύνηση βιβλιογραφικά της εμφάνισης ή μη φαινομένων αρτεσιανισμού των υπόγειων υδάτων στην ευρύτερη περιοχή της χάραξης,
- Διερεύνηση και αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υπόγειων υδάτων ως προς τις επιπτώσεις τους στα υλικά κατασκευών.

B) Εργασίες Πεδίου που περιλαμβάνουν:

- Απογραφή υδροληπτικών έργων σε ζώνη πλάτους περίπου 1 km γύρω από τον υπό κατασκευή σταθμό,
- Μετρήσεις της στάθμης κατά την απογραφή στα υδροληπτικά έργα και στις γεωτρήσεις,
- Επιτόπια αυτοψία στην ευρύτερη περιοχή του έργου για να διερευνηθεί η πιθανή ή μη εμφάνιση φαινομένων αρτεσιανισμού των υπόγειων υδάτων.

#### 2.4.2 Πιεζομετρικές γεωτρήσεις

Αρχικά και στα πλαίσια της εργασίας γραφείου πρώτος στόχος ήταν η καταγραφή όλων των γεωτρήσεων που έχουν ανορυχθεί στην περιοχή των σταθμών της επέκτασης της γραμμής 3 του μετρό.

Η απογραφή που έγινε (ΓΕΩΓΝΩΣΗ Α.Ε. – ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΤΕ , 2007 β) στα πλαίσια της διερεύνησης του καθεστώτος εκμετάλλευσης των ευρύτερων περιοχών των υπό κατασκευή σταθμών της γραμμής 3 συμπεριλαμβανομένου και αυτού της Αγίας Παρασκευής περιλαμβάνει 23 υδροληπτικά έργα και επικαιροποιεί τις καταγραφές στα έργα (Πίνακας 2.2):

α) του 1997 με τίτλο «Έρευνα Υδρογεωλογικών Συνθηκών και Καθεστώς Εκμετάλλευσης Υπόγειων Νερών Λεκανοπεδίου Αθηνών» του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (1996- 1997) με επιστημονικό υπεύθυνο τον καθηγητή κ. Π Κουμαντάκη.

β) από τη Geoplan ΕΠΕ 2001α στα πλαίσια της απογραφής υδροληπτικών έργων.

Για την αρτιότερη και πληρέστερη απογραφή των υδροληπτικών σημείων καταγράφηκαν τα εξής, για κάθε περίπτωση:

- Γενικά στοιχεία που αφορούν στην περιοχή (διεύθυνση, δήμος κλπ) και τον ιδιοκτήτη ή χρήστη,
- Τεχνικά στοιχεία από πληροφορίες των ιδιοκλήτων/ χρηστών και από τεχνικές εκθέσεις,
- Υδραυλικά στοιχεία από τεχνικές εκθέσεις, πληροφορίες των ιδιοκλήτων/ χρηστών και μετρήσεις της υδροστατικής στάθμης κατά την διάρκεια της απογραφής,
- Γεωλογικά στοιχεία τα οποία σχετίζονται με τον τύπο του υδροφορέα και το βάθος των υδροφόρων οριζώντων,
- Στοιχεία σχετικά με τις συνθήκες εκμετάλλευσης (παροχές άντλησης και χρήση νερού) από την βιβλιογραφία, από πληροφορίες των ιδιοκλήτων/ χρηστών και κατοίκων της περιοχής.

Πίνακας 2.2. Αποτελέσματα απογραφής υδροληπτικών έργων.

Όνομα υδροληπτικού έργου	Είδος	Χ	Υ	Z	Βάθος υδροληπτικού έργου	A.Y στάθμης	Βάθος στάθμης	Ημερομηνία	Παροχή m <sup>3</sup> /y
M1	Π	106789.80	104820.00	198		192	6		
M2	Π	106742.33	104698.01	197		191.5	5.5		
M3	Π	106653.51	104617.86	196		190.5	5.5		
M4	Π	106819.46	104609.49	198		188.8	9.2		
M5	Π	106691.35	104564.27	196					
M6	Π	106668.05	104739.40	197					
M7	Π	106896.81	104771.38	206		199.5	6.5		
M8	Π	106887.55	104752.24	205					
M9	Π	106896.79	104707.40	204					
M10	Π	106857.11	104587.84	200					
M 1 1	Π	106727.92	104462.45	196		189.7	6.3		
M12	Γ/Π	104554.32	103055.62	176					
M13	Π	104610.00	103018.45	176					
M14	Π	104585.81	103072.50	175		164.2	10.8		
M15	Π	104609.38	103198.82	176					
M16	Γ	106197.65	103937.86	190		179	11		
M17	Π	106083.66	103783.82	191		179	12		
M18	Γ	106158.51	103861.00	191		179.4	11.6		
M19	Π	106385.04	103893.88	193		180.3	12.7		
M20	Π	105970.00	103620.35	191					
NΨ3	Π	104734.20	102934.10	182	20	166	16	2007	
NΨ4	Π	104847.90	102974.40	179		164.7	14.5	2007	
NΨ5	Π	104610.00	103047.20	174		160.6	13.2	2001	



### 2.4.3 Υδρολιθολογική συμπεριφορά των σχηματισμών στην περιοχή του σταθμού

Η υδρολιθολογική και υδρολογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών εξαρτάται φυσικά από την λιθολογική σύσταση τους, το περιβάλλον απόθεσης, την κοκκομετρία και το βαθμό συνεκτικότητας των ιζημάτων, καθώς και το βαθμό τεκτονισμού και κερματισμού της βραχομάζας . Αναλυτικότερα η υδρογεωλογική συμπεριφορά των πλειοπλειστοκαινικών σχηματισμών που δομούν την περιοχή μελέτης έχει ως εξής:

Οι σχηματισμοί αυτοί παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία ως προς την υδρολιθολογική και υδρολογική συμπεριφορά τους, λόγω της συμμετοχής διαπερατών, ημιπερατών και αδιαπέρατων φάσεων, οι οποίες διαμορφώνονται σε αποσφηνούμενες στρώσεις και φακούς, τόσο κατά την κατακόρυφη όσο και κατά την οριζόντια έννοια. Οι επικρατούσες λιθολογικές φάσεις (άργιλοι) τους προσδίδουν γενικώς χαρακτηριστικά αδιαπέρατου σχηματισμού. Όμως οι αμμώδεις ορίζοντες καθώς και τα κροκαλοπαγή παρουσιάζουν περατότητα και μπορούν να διαμορφώσουν υπό πίεση ή και μερικώς υπό πίεση υδροφόρους ορίζοντες μέσα στο αργιλικό περιβάλλον, εφόσον στα ακανόνιστα αυτά στρώματα επιτρέπεται κάποια τροφοδοσία από τις διηθήσεις της επιφάνειας. Γενικώς, πάντως η υδρογεωλογική σημασία της κατάστασης αυτής είναι ότι μπορούν μόνο τοπικά να προκύψουν εισροές στις εκσκαφές. Δηλαδή δεν μπορεί να υπάρξει γενική υδροφορία και το όποιο νερό συναντηθεί μπορεί να ελεγχθεί με τοπικές αποστραγγίσεις. Αυτές αντιμετωπίζοντο έγκαιρα, καθώς υπήρχε κίνδυνος μετακίνησης των υλικών αυτών σε κατάσταση κορεσμού μέσα στην εκσκαφή και σχετική μετανάστευση της κοιλότητας που θα σχηματιζόταν στην επιφάνεια (εδαφική υποχώρηση), με αντίστοιχη εκδήλωση βυθίσματος.

Αναλυτικότερα υπό πίεση και μερικώς υπό πίεση υδροφόροι αναπτύσσονται στα υδροπερατά μέλη των νεογενών αποθέσεων, όταν αυτών υπέρκεινται αδιαπέρατα μέλη των ίδιων αποθέσεων ή των τεταρτογενών. Η δυναμικότητά τους εξαρτάται από το αθροιστικό πάχος των αδρόκοκκων φάσεων, την υδροπερατότητα και τις συνθήκες τροφοδοσίας και επαναπλήρωσής τους. Ο Κουμαντάκης (1996) σε έρευνα για τις υδρογεωλογικές συνθήκες του Λεκανοπεδίου Αθηνών τους κατατάσσει ως φτωχής - μέτριας δυναμικότητας και αναφέρει ότι πλούσιοι υδροφόροι αυτών των μορφών δεν έχουν συναντηθεί στο Λεκανοπέδιο εκτός από



σπάνιες περιπτώσεις. Συνεπώς, στην περίπτωση μιας κατασκευής, το ενδιαφέρον εντοπίζεται στο ύψος του υδραυλικού τους φορτίου, που λόγω της δυσκολίας ανανέωσής του πέφτει πολύ με οποιαδήποτε επέμβαση (άντληση ή εκσκαφή).

Στις βαθιές γεωτρήσεις που εκμεταλλεύονται υδροφόρα στρώματα του πλειο-πλειστοκαίνου (βάθη από 40 m έως 130 m ή και 180 m), οι παροχές κυμαίνονται από 24-36 m<sup>3</sup>/h και οι ειδικές παροχές από 0,5-0,9 m<sup>2</sup>/h. Οι παροχές αυτές **είναι** μικρής διάρκειας και δεν αντιστοιχούν σε διαρκή εκμετάλλευση.

Οι υδροφορείς των ανωτέρων αποθέσεων είναι κυρίως φρεάτιοι. Η δυναμικότητά τους ποικίλει από περιοχή σε περιοχή ανάλογα με το αθροιστικό πάχος των αδρομερών φάσεων. Επίσης τοπικά αναμένεται και η παρουσία επικρεμάμενων υδροφορέων, εξαιτίας της παρουσίας αδιαπέρατων αργιλικών παρεμβολών. Η τροφοδοσία από διηθήσεις είναι μέτρια, λόγω της έντονης παρουσίας αργιλικού υλικού στην επιφάνεια και της ετερογένειας του υλικού, καθώς εξάλλου έχουν μειωθεί σημαντικά λόγω της οικιστικής ανάπτυξης.

Γενικά, οι πλειο-πλειστοκαινικές αποθέσεις μπορούν να θεωρηθούν ως ενιαίο υδροφόρο μέσο με ακατάστατη μεταβολή της περατότητας τόσο σε βάθος όσο και σε έκταση. Σαν σύνολο έχουν μικρή έως το πολύ τοπικά μέτρια περατότητα. Ακόμα και εκεί όπου υπάρχουν τοπικά αμμώδεις ορίζοντες η δυσκολία της τροφοδοσίας της ανανέωσης των αποθεμάτων τους είναι τέτοια που τους μειώνει την υδρογεωλογική σημασία.

Όσον αφορά στις υδραυλικές παραμέτρους των πλειο-πλειστοκαινικών αποθέσεων στην ευρύτερη περιοχή της Αγία Παρασκευής δεν βρέθηκαν, από βιβλιογραφικές πηγές, στοιχεία δοκιμαστικών αντλήσεων. Δοκιμές υδροπερατότητας έγιναν στις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις των γεωερευνητικών προγραμμάτων.

## **2.5 Πιεζομετρία υπόγειων υδροφόρων**

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την τροφοδοσία των υποκείμενων υδροφόρων συστημάτων στην περιοχή μελέτης και συνεπώς προκαλούν διακυμάνσεις ή ανωμαλίες στη πιεζομετρική στάθμη είναι οι εξής (ΓΕΩΓΝΩΣΗ Α.Ε. – ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΤΕ, 2007 β):

- Διαφοροποιημένη πιεζομετρική εικόνα, εξαιτίας των αντλήσεων σε παρακείμενη περιοχή κατά την χρονική περίοδο των μετρήσεων ή στο πρόσφατο

παρελθόν. Η απόκλιση εξαρτάται από τις υδραυλικές παραμέτρους της περιοχής καθώς επίσης από την παροχή και την διάρκεια της άντλησης των υδροληπτικών έργων,

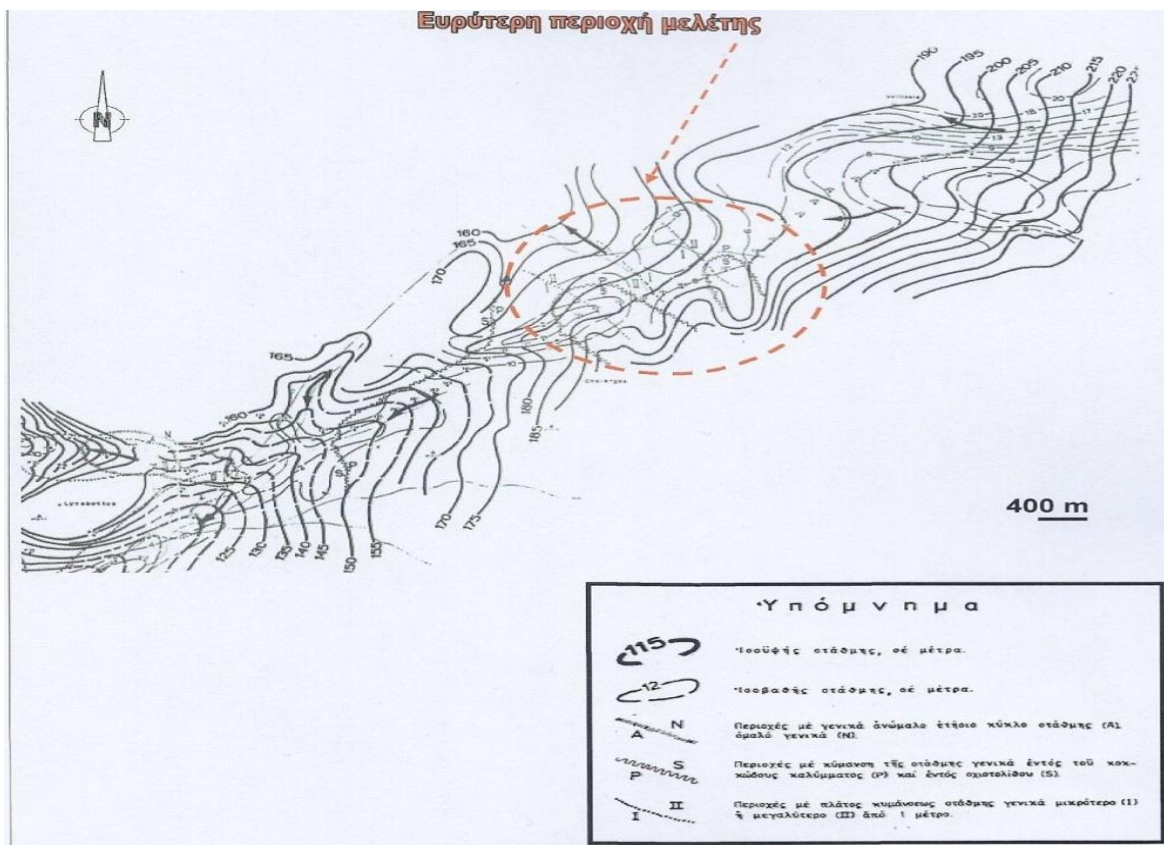
- Εντοπισμένη τροφοδοσία λόγω φυσικών ή ανθρωπογενών παρεμβάσεων,
- Μείωση της τροφοδοσίας λόγω κάλυψης της περιοχής από ασφαλτόδρομους και βιομηχανικές εγκαταστάσεις,
- Επίδραση της σήραγγας επέκτασης της Γραμμής 3 προς Σταυρό. Η κατασκευή της σήραγγας είχε σαν αποτέλεσμα τον τοπικό υποβιβασμό της στάθμης στο διάστημα της κατασκευής (2002 - 2003), καθώς αυτή αποστράγγιζε τη στενή περιοχή και διαφοροποιούσε την εκεί πιεζομετρία.

### **2.5.1 Παρατηρήσεις από στοιχεία πιεζομετρίας του 1981**

Στο Σχήμα 2.9 φαίνεται ο πιεζομετρικός χάρτης της υγρής περιόδου του 1981 που κατασκευάστηκε από το ΙΓΜΕ (Γ.Δ. Κουνής, 1981) στα πλαίσια της μελέτης του Μητροπολιτικού Σιδηροδρόμου των Αθηνών. Σε αυτόν φαίνεται ότι η πιεζομετρική στάθμη στην ευρύτερη περιοχή κατασκευής των σταθμών της Γραμμής 3, άρα και αυτού της Αγίας Παρασκευής, που κυμαίνεται από α.υ. +180 έως το α.υ.+195. Στην ευρύτερη περιοχή διέρχεται ένας άξονας αποστράγγισης, ο οποίος έχει κατεύθυνση σχεδόν Α-Δ και φορά προς τα Δ. Μικροί άξονες αποστράγγισης υπάρχουν με πολύ στενό εύρος, χαρακτηριστικό μικρών περατοτήτων.

Με βάση αυτόν τον πιεζομετρικό χάρτη, διαπιστώνεται ότι από πλευράς πιεζομετρικών καμπυλών, η πιο περατή ζώνη (μέσα στα πλαίσια των μέτριων περατοτήτων όλης της περιοχής) είναι αυτή της Αγίας Παρασκευής, όπου υπάρχει ο κύριος υδρογραφικός άξονας αποστράγγισης της περιοχής και οι ισοϋψείς καμπύλες είναι αραιές.

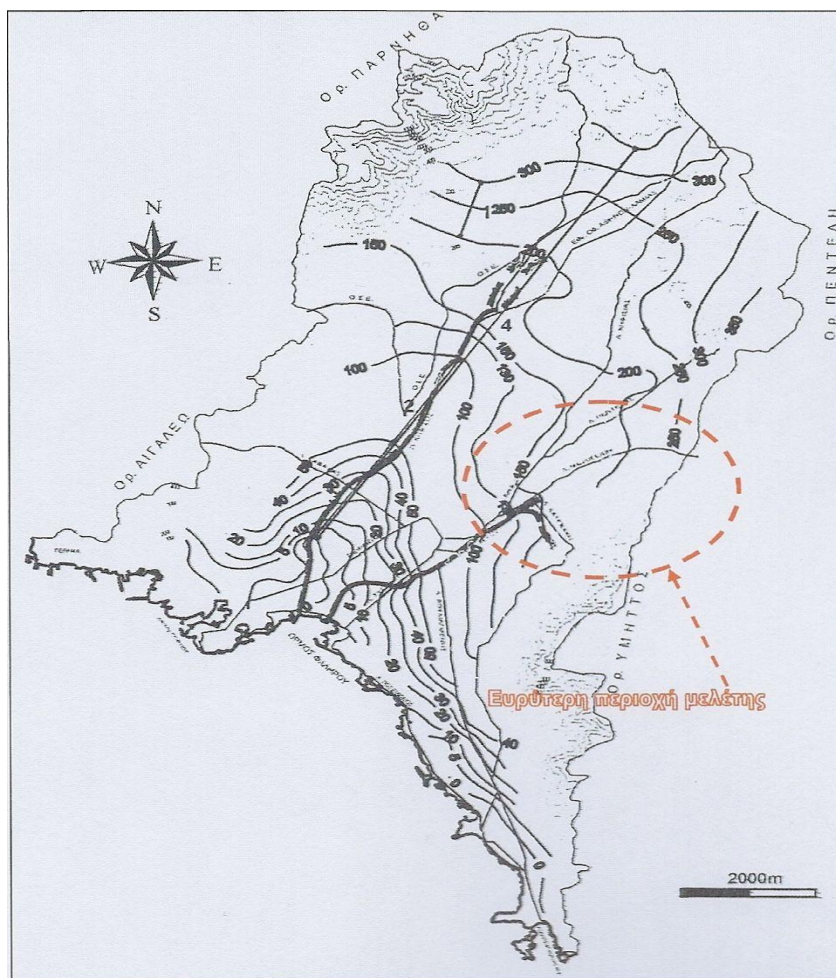
Σύμφωνα με τον Γ. Δ. Κούνη (1981) το πλάτος ετήσιας διακύμανσης της στάθμης της ευρύτερης περιοχής μελέτης είναι μεγαλύτερο του 1 -2m.



Σχήμα 2.9. Πιεζομετρικός χάρτης υγρής περιόδου τοθ 1981 (Γ. Κούνης 1981).

### 2.5.2 Παρατηρήσεις από στοιχεία πιεζομετρίας του 1997

Ο Κουμαντάκης, 1997, στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος με τίτλο «Έρευνα Υδρογεωλογικών Συνθηκών και Καθεστώς Εκμετάλλευσης Υπόγειων Νερών Λεκανοπεδίου Αθηνών» του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (1996- 1997) παρουσιάζει το γενικό πιεζομετρικό χάρτη του λεκανοπεδίου των Αθηνών (Σχήμα 2.10). Ο πιεζομετρικός αυτός χάρτης είναι της υγρής περιόδου του 1997, όπου φαίνεται η γενική εικόνα του λεκανοπεδίου των Αθηνών. Από αυτόν διαπιστώνεται ότι η περιοχή έρευνας βρίσκεται μακριά από τους κύριους υδρογραφικούς άξονες αποστράγγισης του λεκανοπεδίου.



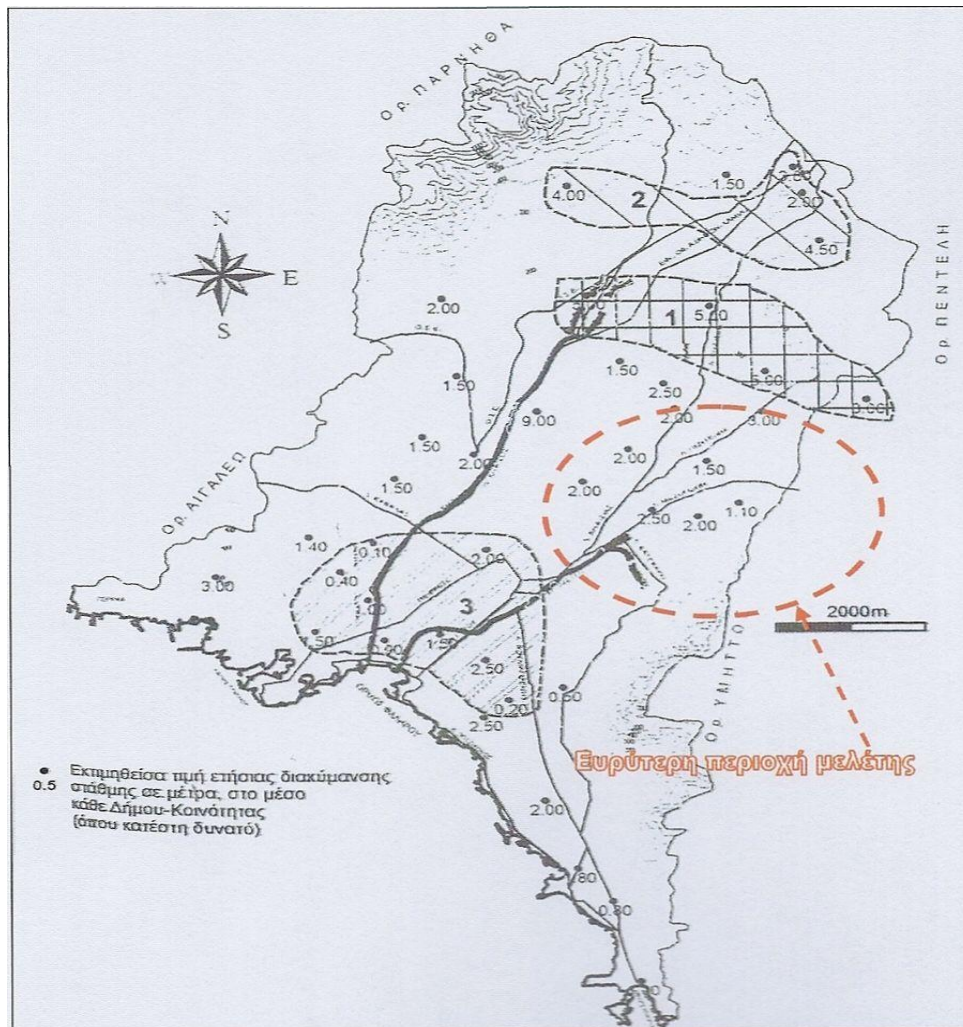
Σχήμα 2.10. Πιεζομετρικός χάρτης υγρής περιόδου (Κουμαντάκης, 1996).

Στο σχήμα 2.11 φαίνονται οι εκτιμηθείσες από την ίδια μελέτη («Έρευνα Υδρογεωλογικών Συνθηκών και Καθεστώς Εκμετάλλευσης Υπόγειων Νερών Λεκανοπεδίου Αθηνών») τιμές ετήσιας διακύμανσης της στάθμης των υπόγειων υδάτων για κάθε δήμο της Αττικής. Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης η ετήσια διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού κυμαίνεται από 1.5 m έως 2.5 m.

Οι αναλυτικές μετρήσεις στάθμης στις συγκεκριμένες έρευνες δεν περιλαμβάνουν διακυμάνσεις της στάθμης μέσα σε ένα ετήσιο κύκλο. Υπάρχουν μετρήσεις στάθμης πριν το 2001 με μικρή ετήσια διακύμανση πράγμα που δημιουργεί ερωτηματικά για περιοχές με μικρές τιμές περατοτήτων.

Η θέση της στάθμης ενδιαφέρει για τις εκτιμήσεις του φορτίου κατά τη φάση κατασκευής και θα αναλυθεί στη συνέχεια.



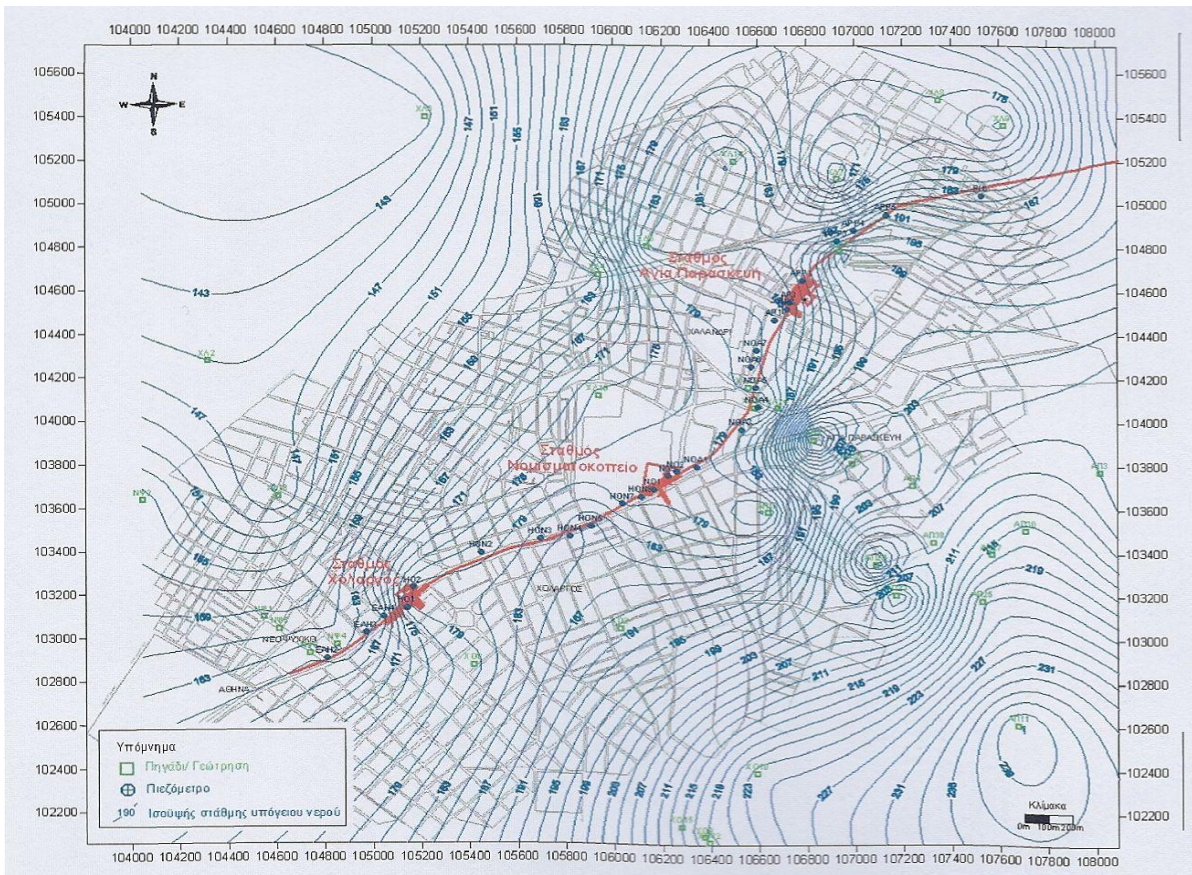


Σχήμα 2.11. Χάρτης του λεκανοπεδίου των Αθηνών, που φαίνονται οι εκτιμηθείσες τιμές ετήσιας διακύμανσης σε κάθε δήμο (Κουμαντάκης, 1996).

### 2.5.3 Παρατηρήσεις από στοιχεία πιεζομετρίας του 2001

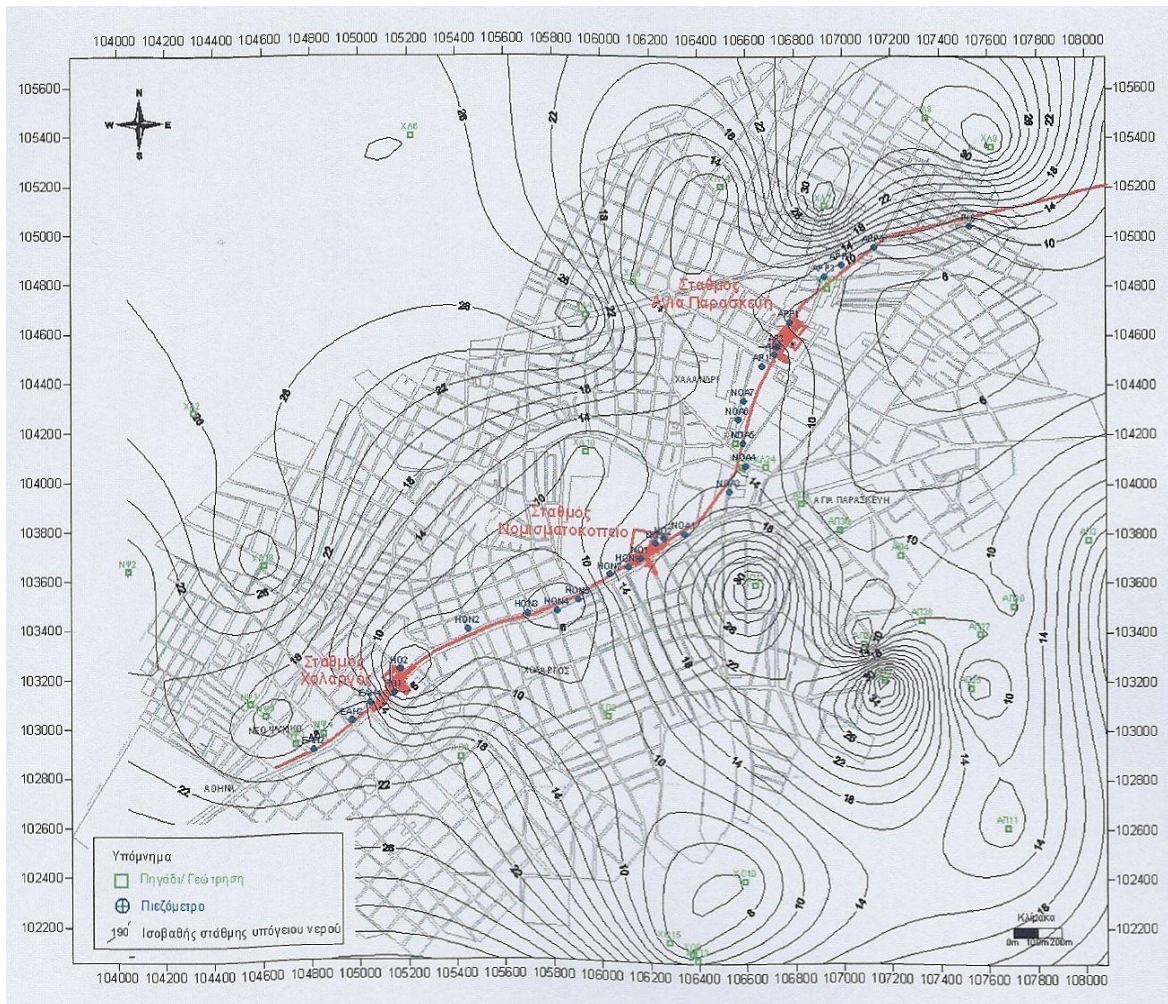
Στα πλαίσια της υδρογεωλογικής μελέτης της επέκτασης της Γραμμής 3 προς Σταυρό από τη Γεορίαν ΕΠΕ (2001 α) κατασκευάσθηκαν χάρτες ισοϋψών και ισοβαθών καμπυλών υπόγειων υδάτων της υγρής περιόδου του 2001. Στα Σχήματα 2.12 και 2.13 δίνονται οι χάρτες που προέκυψαν από τη επεξεργασία των στοιχείων της πιεζομετρίας του 2001. Από τον πιεζομετρικό χάρτη της υγρής περιόδου του 2001 διακρίνεται ένας γενικός άξονας από Α προς Δ που περνάει

από την περιοχή μεταξύ των σταθμών «Αγίας Παρασκευής» και «Νομισματοκοπείο». Σε αυτόν φαίνονται κώνοι υποβιβασμού στάθμης υδροφόρου νερού προφανώς σε σημεία αντλήσεων της περιοχής, που αλλοιώνουν αυτή την εικόνα. Το γεγονός ότι αλλοιώνεται η εικόνα αυτή με άντληση μικρών παροχών νερού, είναι δείγμα της μικρής γενικής περατότητας της περιοχής. Οι χάρτες των σχημάτων 2.12 και 2.13 διαφοροποιούνται αν και είναι της ίδιας περιόδου καθώς ο ένας αναφέρεται σε ισοϋψείς καμπύλες και ο άλλος σε ισοβαθείς. Υπενθυμίζεται εδώ ότι Ισοϋψής καμπύλη ονομάζεται η καμπύλη εκείνη που ενώνει όλα τα σημεία που βρίσκονται στο ίδιο υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας ή από άλλη επιφάνεια, η οποία ορίζεται ως επίπεδο αναφοράς. Ειδικότερα στο σταθμό «Αγίας Παρασκευής» η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα κυμαίνεται από απόλυτο υψόμετρο +183 (βάθος 13 m) στο νοτιοδυτικό άκρο του στο απόλυτο υψόμετρο +190 (βάθος 9 m) στο βορειοδυτικό άκρο του.



Σχήμα 2.12. Πιεζομετρικός χάρτης υγρής περιόδου του 2001.





Σχήμα 2.13. Χάρτης ισοβαθών καμπυλών υγρής περιόδου του 2001.

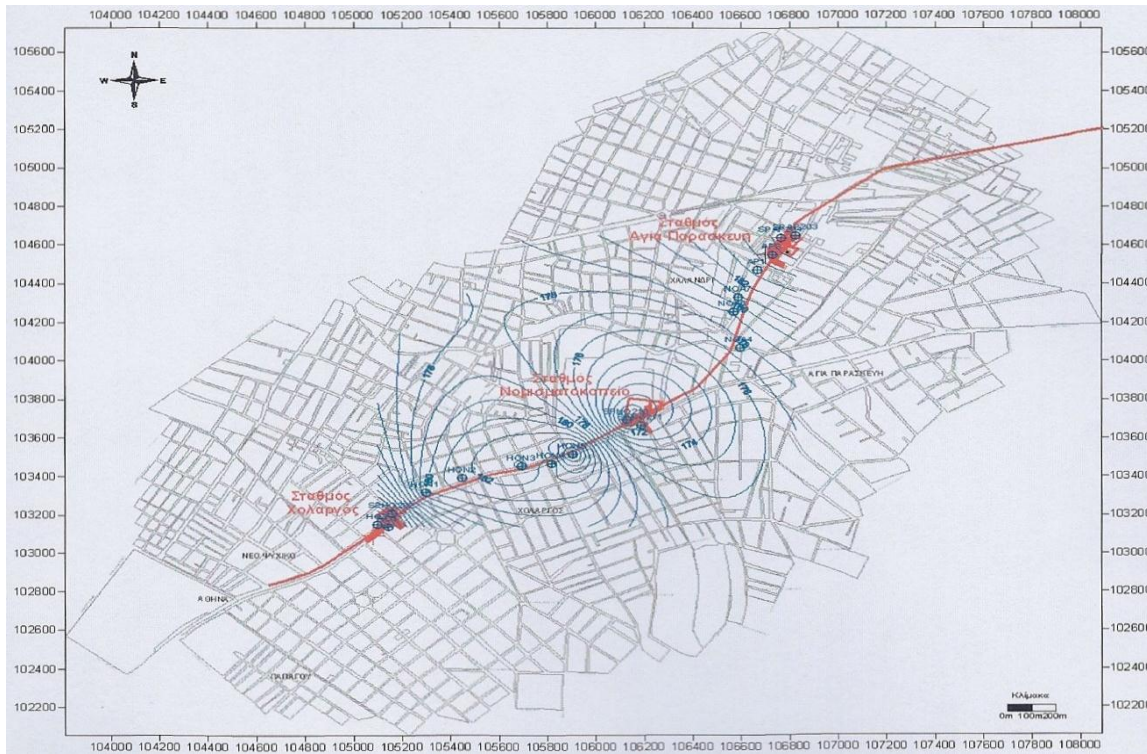
#### 2.5.4 Παρατηρήσεις από στοιχεία πιεζομετρίας 2003

Για την διερεύνηση της πιεζομετρίας της περιοχής μελέτης (Μαρίνος,2003) κατά τη διάνοιξη της σήραγγας από το μηχάνημα εδαφικής εξισοροπιστικής πίεσης (EPB) κατασκευάστηκε επίσης πιεζομετρικός χάρτης (Μάρτιος 2003) και χάρτης ισοβαθών καμπυλών. Οι μετρήσεις στάθμης που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια παρακολούθησης του έργου κατά μήκος της χάραξης χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του.

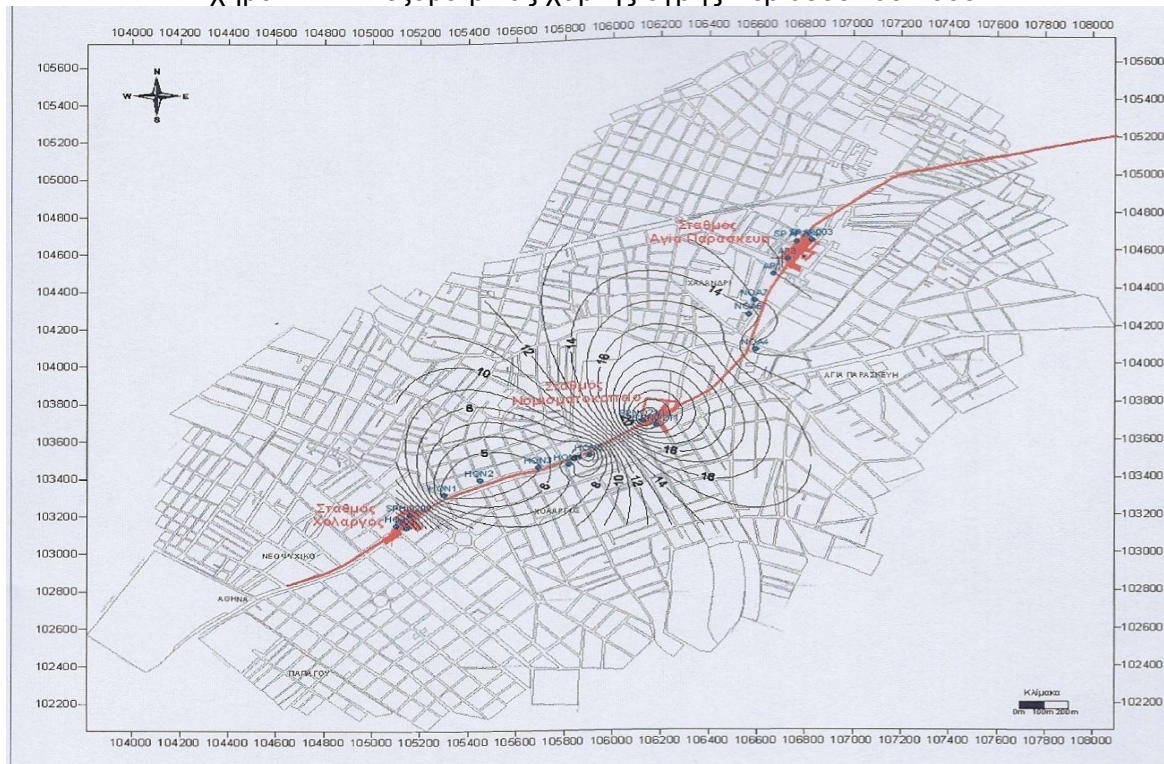
Από τους χάρτες αυτούς (Σχήματα 2.14 και 2.15) φαίνεται ότι η κατασκευή της σήραγγας είχε σαν αποτέλεσμα την ταπείνωση της στάθμης του υδροφόρου οριζοντα λόγω στράγγισης και συγκέντρωσης των υδάτων προς τη σήραγγα. Σύμφωνα με το πιεζομετρικό χάρτη στο σταθμό «Αγία Παρασκευή» η



προκαλούμενη ταπείνωση της στάθμης από την κατασκευή της σήραγγας ήταν μικρή( λιγότερο από 5 m).



Σχήμα 2.14. Πιεζομετρικός χάρτης υγρής περιόδου του 2003.



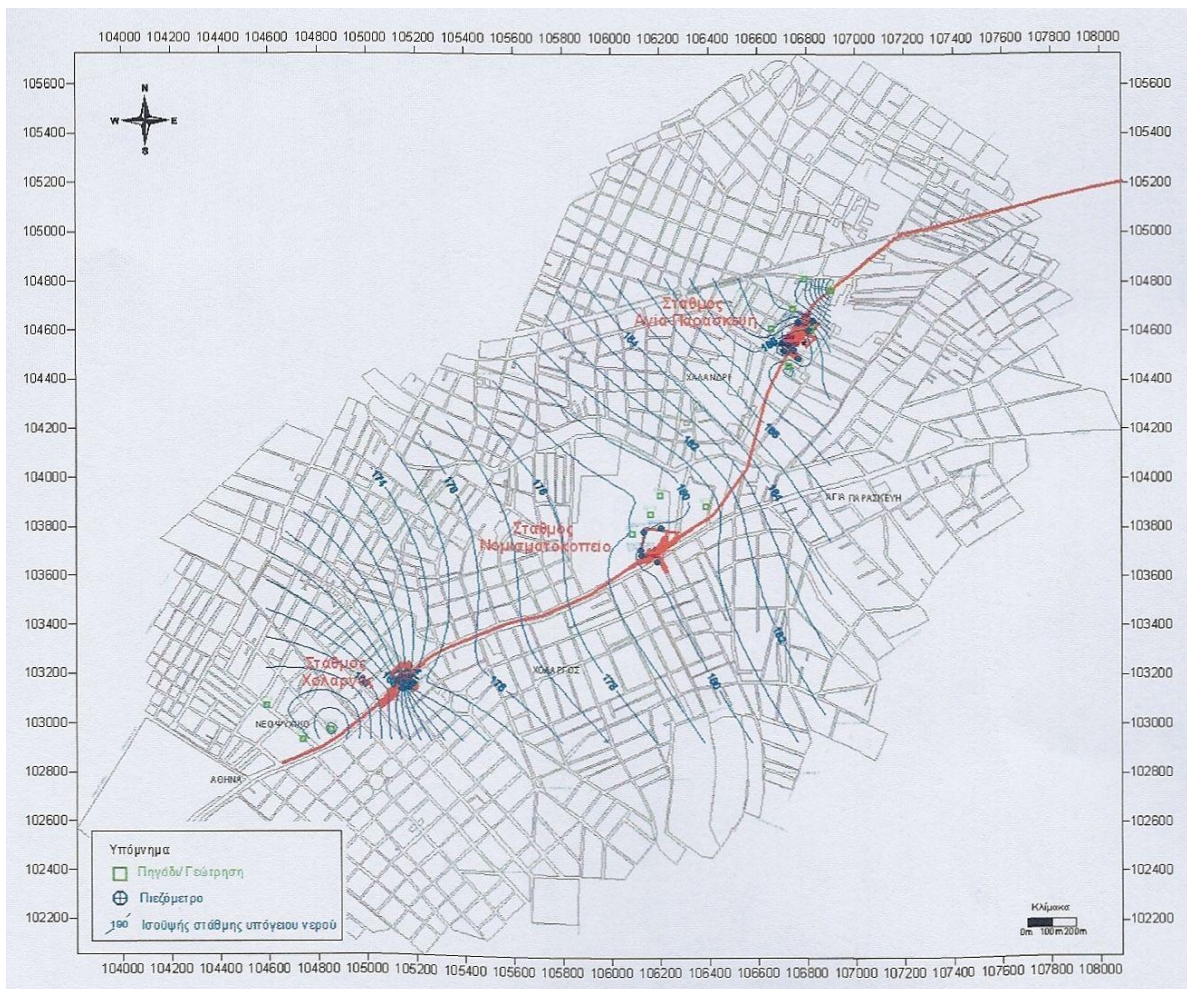
Σχήμα 2.15. Χάρτης ισοβαθών καμπυλών υπόγειου νερού υγρής περιόδου του 2003.



### 2.5.5 Παρατηρήσεις από στοιχεία πιεζομετρίας του 2007

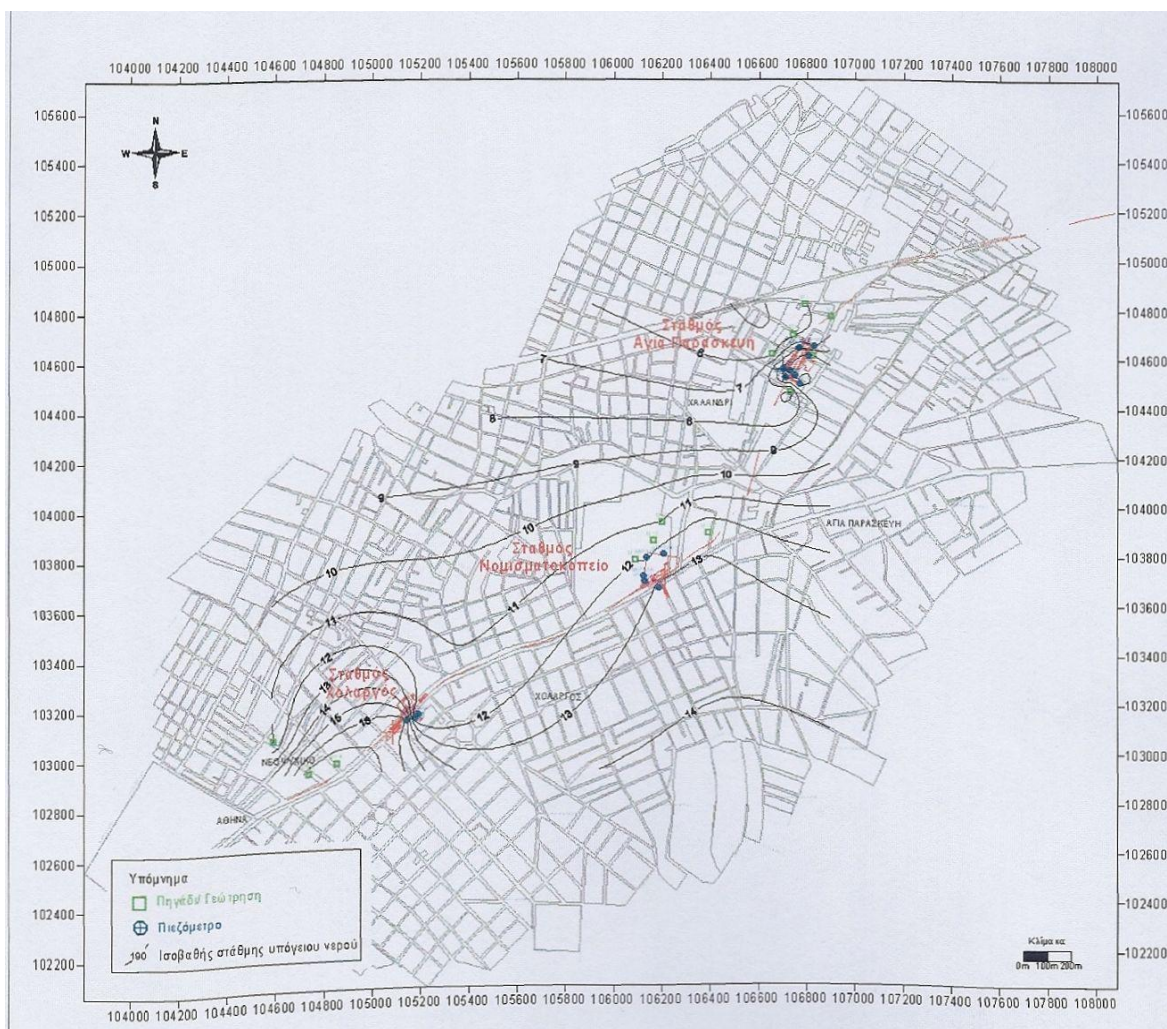
Για την διερεύνηση της πιεζομετρίας και την κατασκευή πιεζομετρικού χάρτη του Ιουνίου 2007 (Σχήματα 2.16, 2.17), χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις στάθμης κατά μήκος της χάραξης που πραγματοποιούνται στα πλαίσια παρακολούθησης του έργου καθώς και οι μετρήσεις στάθμης στην ευρύτερη περιοχή του σταθμού «Αγίας Παρασκευής» (Γεωγνώση Εδαφομηχανική Α.Τ.Ε., 2007 β).

Η επιλογή των θέσεων για μετρήσεις στάθμης έγινε με κύριο κριτήριο την κατά το δυνατό πλήρη κάλυψη της στενής περιοχής του εν λόγω σταθμού, ώστε να επιτευχθεί η δημιουργία ενός ομοιόμορφου καννάβου μετρήσεων. Κατά την διαδικασία αυτή αντιμετωπίστηκαν διάφορα προβλήματα όπως το γεγονός ότι στην πλειοψηφία τους τα υδροληπτικά έργα δεν είχαν πιεζομετρικούς σωλήνες με αποτέλεσμα οι μετρήσεις να γίνονται εντός των γεωτρήσεων. Αυτό δεν ήταν πάντοτε εφικτό γιατί συχνά οι κεφαλές τους ήταν κλειδωμένες και συνεπώς η πρόσβαση σε αυτές ήταν αδύνατη. Επιπλέον μερικά από τα υδροληπτικά έργα δεν λειτουργούσαν την χρονική περίοδο των μετρήσεων. Συνεπώς η εκτέλεση μετρήσεων εντός αυτών ήταν αδύνατη λόγω, της πιθανής απώλειας σταθμήμετρου και της καταστροφής του αντλητικού συγκροτήματος. Τέλος ένας σημαντικός αριθμός υδροληπτικών έργων είχαν σκεπαστεί ή εγκαταλειφθεί. Όλα τα παραπάνω είχαν σαν αποτέλεσμα να μην ήταν εφικτή η πραγματοποίηση μετρήσεων σε όλα τα επιλεγέντα σημεία.



Σχήμα 2.16. Πιεζομετρικός χάρτης Ιουίου του 2007.

Ο κάθε υδροφόρος ορίζοντας στις πλειο-πλειστοκαινικές αποθέσεις, εφόσον δεν επικοινωνεί υδραυλικά κατά την κατακόρυφη έννοια, διαμορφώνει κανονικά μια ξεχωριστή πιεζομετρική επιφάνεια. Επειδή στα σημεία που λήφθηκαν μετρήσεις στάθμης, οι υδροφόροι ορίζοντες που συναντήθηκαν δεν ήταν απομονωμένοι μεταξύ τους, πρέπει να θεωρηθεί ότι οι μετρήσεις στάθμης αντιστοιχούν σε μία «πλασματική» πιεζομετρία. Η μετρούμενη αυτή στάθμη βρίσκεται ανάμεσα σε αυτές του φρεάτιου και του υπό πίεση ορίζοντα, λόγω της στράγγισης που προκαλεί ο χαμηλότερης πιεζομετρίας ορίζοντα στον ανώτερο. Πάντως, λόγω της μικρής περατότητας των δυο οριζόντων, η πλασματική αυτή θέση δεν θα είναι πολύ χαμηλότερα από τη θέση της υψηλότερης πιεζομετρίας. Λόγω της υδραυλικής επικοινωνίας και παρά τις διαφορετικές περατότητες που υπάρχουν μεταξύ των διαφόρων οριζόντων στις αποθέσεις αυτές, η υψηλή υδροφορία είναι αυτή που προσεγγίζει και ενδιαφέρει ως προς την άσκηση φορτίου στις κατασκευές.



Σχήμα 2.17. Χάρτης ισοβαθών καμπυλών Ιουνίου του 2007

Παρατηρώντας έτσι τον σχετικό πιεζομετρικό χάρτη διαπιστώνεται ότι στην ευρύτερη περιοχή μελέτης το υπόγειο νερό κινείται από τα βορειοανατολικά προς τα νοτιοδυτικά.

Στο σταθμό «Αγία Παρασκευή» το απόλυτο υψόμετρο της στάθμης του υπόγειου νερού βρίσκεται στο + 188m στο νοτιοδυτικό άκρο του και στο +192m στο βορειοανατολικό άκρο του, τιμές που διαφέρουν σημαντικά από αυτές του 1981(+180m και 195m αντίστοιχα). Δηλαδή τα όρια και συνεπώς το εύρος κύμανσης είναι πολύ περιορισμένα.



## 2.5.6 Στάθμη υπόγειων υδάτων σταθμού Αγ. Παρασκευής

Στους πίνακες που ακολουθούν στη συνέχεια (Πίνακας 2.3 και Πίνακας 2.4) δίνονται οι μετρήσεις της στάθμης των υπογείων υδάτων παλαιότερων πιεζομέτρων από την περίοδο του 2001 και αυτών που διανοίχτηκαν στην περιοχή του σταθμού «Αγία Παρασκευή» στα πλαίσια της συμπληρωματικής γεωτεχνικής μελέτης του έργου το 2007

Πίνακας 2.3. Μετρήσεις στάθμης υπόγειου νερού στα πιεζόμετρα του παλαιότερου γεωερευνητικού προγράμματος (2001)

Γεώτρηση	Βάθος Γεώτρησης	Απόλυτο Υψόμετρο	Βάθος στάθμης υπογείου νερού				
			Νοέμβριος 2000	Δεκέβριος 2000	Ιανουάριος 2001	Φεβρουάριος 2001	Μάρτιος 2001
ΕΑΗ4	30.00	183.12		18.60	18.50	18.30	18.20
ΗΟ1	29.10	184.57		6.30	5.80	5.60	5.40
ΗΟ2	30.00	183.29		4.20	4.10	4.20	3.80
ΗΟ3	30.00	183.12			5.60		
ΗΟΝ8	29.50	192.89		15.70	15.30	14.80	
ΝΟ1	30.10	193.15	16.50		15.50	15.10	14.80
ΝΟ2	30.50	192.79	16.90		15.10	14.90	14.80
ΝΟ3	30.50	192.66			15.00	14.80	14.70
ΑΡΡ1	30.05	197.00		10.20	9.90	9.60	9.30
ΑΡ2	30.10	196.75		15.00	14.50	14.00	13.70
ΑΡ3	30.00	196.61			13.90	13.10	12.90

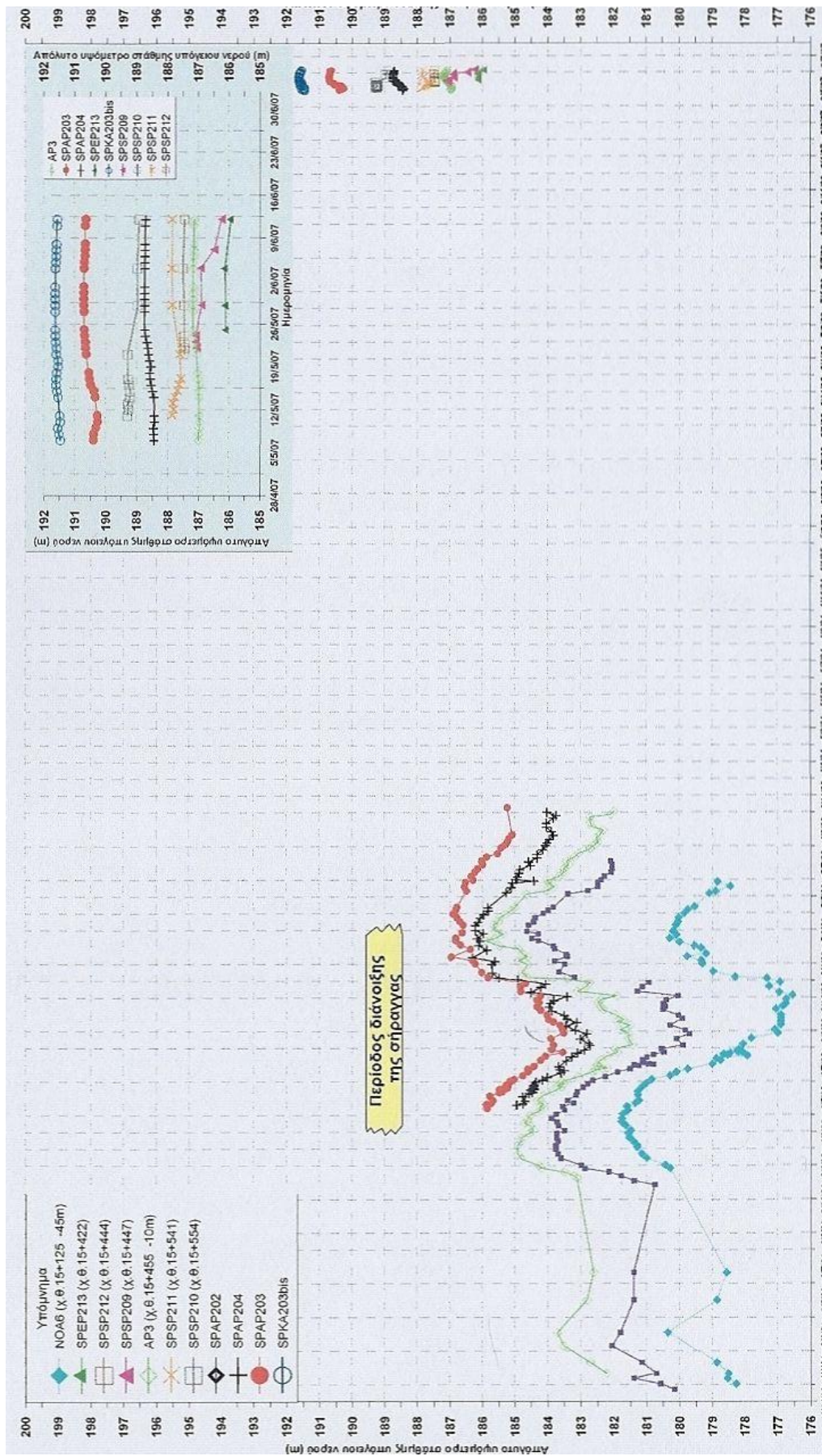
Πίνακας 2.4. Μετρήσεις στάθμης υπογείου νερού στα πιεζόμετρα της συμπληρωματικής γεωτεχνικής έρευνας στο σταθμό «Αγία Παρασκευή»(2007)

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ	ΒΑΘΟΣ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟΥ	ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΔΑΦΟΥΣ	11/05/2007	12/05/2007	13/05/2007	14/05/2007	15/05/2007	16/05/2007	17/05/2007	18/05/2007	19/05/2007	20/05/2007	21/05/2007	22/05/2007	23/05/2007	24/05/2007	25/05/2007	4/06/2007	7/06/2007	8/06/2007	11/06/2007	12/06/2007	19/06/2007
				SP211	28.70	27.90	197.11	9.25	9.29	9.27	9.33	9.42	9.46	9.54				9.50					9.25	
SP210	28.60	27.80	195.85	7.55	7.60	7.57	7.62	7.64	7.60	7,57				7.55					7.87				7.93	8.12
KP214	19.30	18.70	197.20	10.35	10.37	10.39	10.35	10.37	10.37	10.35				10.41					10.37				10.41	10.60
EP213	19.10	18.00	196.64										5.88	5.90	5.90	5.90	5.88	10.03	10.01				10.20	10.40
SP212	28.40	28.00	196.64											9.47	9.49	9.47	9.47		9.43				9.49	9.71
SP209	28.50	28.00	196.37												9.32	9.29	9.29		9.46	9.90			10.13	10.68

Για την επεξεργασία και αξιολόγηση των μετρήσεων στάθμης του υπόγειου νερού κατασκευάστηκαν διαγράμματα στάθμης συναρτήσεως του χρόνου για το σταθμό. Οι μετρήσεις στάθμης που αφορούν στο έτος 2001 έχουν ληφθεί από τα στοιχεία του γεωερευνητικού προγράμματος που έγινε στη φάση μελέτης της επέκτασης της Γραμμής 3 προς το Σταυρό (Αττικό Μετρό, 2001), οι μετρήσεις του χρονικού διαστήματος μεταξύ 2001 και 2004 έχουν ληφθεί κατά τη διάρκεια κατασκευής της σήραγγας και οι μετρήσεις του 2007 στα πλαίσια των εργασιών παρακολούθησης του υπό κατασκευή έργου. Επίσης έχει κατασκευαστεί διάγραμμα μεταβολής της στάθμης των υπογείων υδάτων κατά μήκος της σήραγγας (Σχήμα 2.19) για διάφορες χρονικές περιόδους, δηλαδή πριν τη διάνοιξη της σήραγγας της επέκτασης της Γραμμής 3 (2000 - 2001), κατά τη διάρκεια κατασκευής της (2002 - 2003) και στα πλαίσια της μελέτης για την κατασκευή των τριών νέων σταθμών(2007). Σε αυτό το διάγραμμα και στη χιλιομετρική θέση 15+500 μπορεί εύκολα να παρατηρηθούν οι διακυμάνσεις της στάθμης του υπόγειου νερού (για αυτές τις περιόδους) στη περιοχή κατασκευής του σταθμού της Αγίας Παρασκευής. Σημειώνεται ότι στην ευρύτερη περιοχή του σταθμού δεν διαπιστώθηκε ούτε βιβλιογραφικά ούτε από επιτόπιες αυτοψίες η εμφάνιση φαινομένων αρτεσιανισμού των υπόγειων υδάτων.

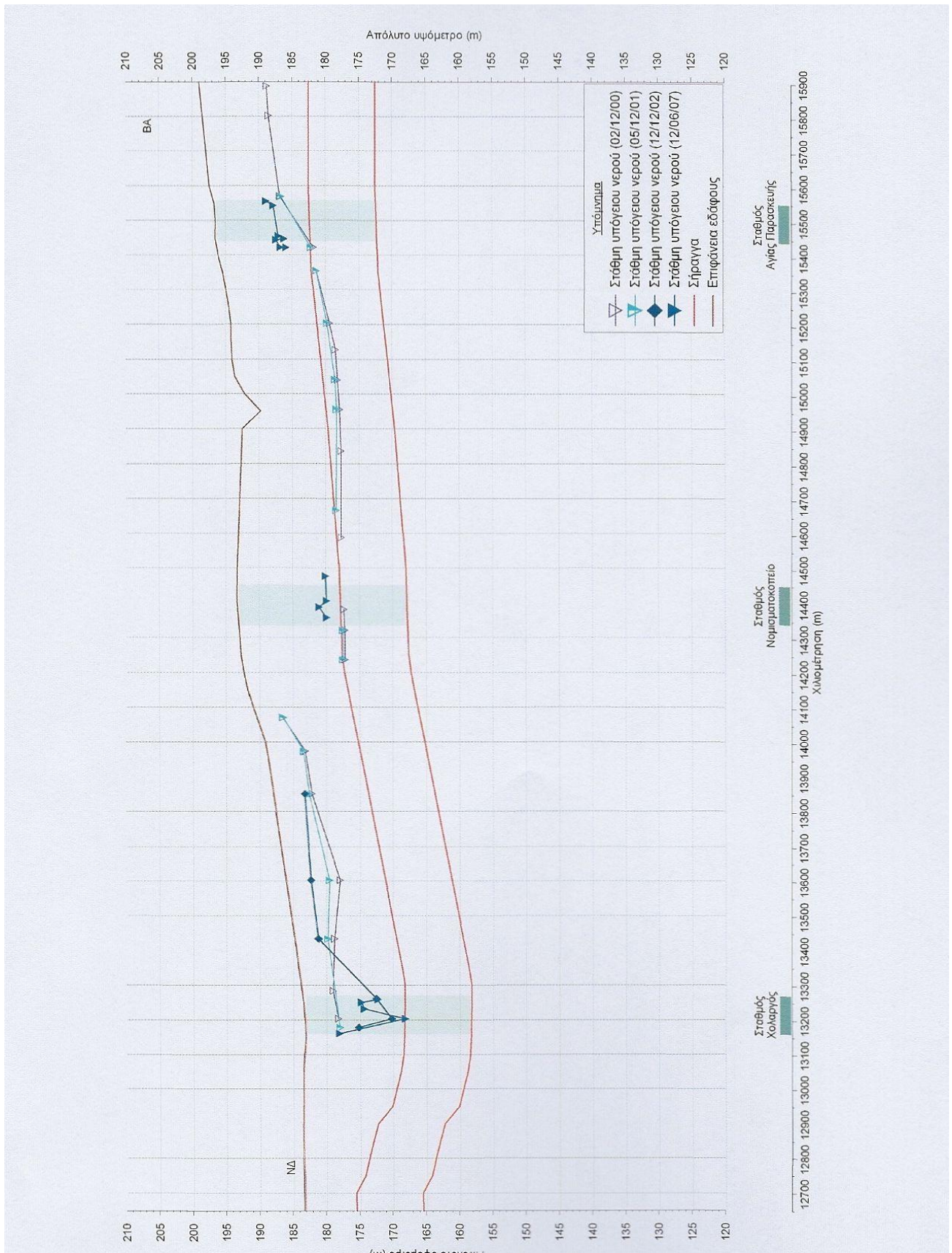
Εξάλλου στη περιοχή του σταθμού «Αγία Παρασκευή» πριν τη διάνοιξη της σήραγγας το 2001 η υψηλότερη στάθμη του υπόγειου νερού βρισκόταν σε απόλυτο υψόμετρο +186 περίπου (Σχήμα 2.18) ενώ η ανώτατη στάθμη του υπόγειου νερού (2007) βρισκόταν σε α. υ. + 191. Σε γενικές γραμμές στη περιοχή του σταθμού «Αγία Παρασκευή» παρατηρείτο άνοδος της στάθμης από τη περίοδο 2001 έως τη περίοδο 2007 της τάξεως των 5 m (Σχήμα 2.18), εν αντιθέσει με τη περίοδο 1981 έως 2001 που παρατηρήθηκε πτώση της στάθμης.

Η μέγιστη πτώση στάθμης που καταγράφηκε κατά τη διάνοιξη της σήραγγας ήταν μικρή της τάξεως των 4 m. Η μικρή πτώση της στάθμης εξηγείται απ' το γεγονός ότι στην περιοχή συναντώνται από πρακτικώς αδιαπέρατοι σχηματισμοί έως ελαφρώς περατοί. Όσον αφορά στη διακύμανση της στάθμης κατά μήκος των σταθμών του ΜΕΤΡΟ (Σχήμα 2.19) παρατηρείται ότι στην περιοχή του σταθμού Αγία Παρασκευή η στάθμη εβρίσκετο περίπου 2.5 m υψηλότερα σε σχέση με αυτή που είχε μετρηθεί πριν την εκσκαφή της σήραγγας. Η στάθμη εβρίσκετο σε βάθος 9 m περίπου.



Σχήμα 2.18. Μεταβολή της στάθμης του υπογείου νερού συναρτήσει του χρόνου στα πιεζόμετρα που έχουν διανοιχθεί στην περιοχή του σταθμού «Αγία Παρασκευή» (Γεωγνώση Εδαφομηχανική Α.Τ.Ε., 2007)





Σχήμα 2.19. Διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού κατά μήκος της χάραξης για διαφορετικές χρονικές περιόδους. (Γεωγνώση Εδαφομηχανική Α.Τ.Ε., 2007)



## 2.6 Δοκιμές υδροπερατότητας

Κατά τη διάρκεια των διατρητικών εργασιών εκτελέσθηκαν επί τόπου δοκιμές για τον προσδιορισμό της διαπερατότητας των γεωλογικών σχηματισμών. Το 2001 (GEOPLAN, 2001 γ) εκτελέστηκαν δοκιμές περατότητας πίπτοντος φορτίου (Maag) και σταθερού φορτίου (Lefranc). Στα πλαίσια της συμπληρωματικής γεωτεχνικής έρευνας του έργου (2007) εκτελέσθηκαν επί τόπου δοκιμές περατότητας όλες πίπτοντος φορτίου. Το γεγονός ότι δεν εκτελέσθηκαν δοκιμές Lefranc είναι χαρακτηριστικό της μικρής περατότητας της περιοχής του έργου.

Οι τιμές περατότητας που προέκυψαν από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των επί τόπου δοκιμών και ταξινομήθηκαν στις επόμενες παραγράφους, είναι γενικώς μικρές και σε λίγες περιπτώσεις είναι μέτριες. Σημειώνεται επίσης ότι κατά την εκτέλεση των επί τόπου δοκιμών περατότητας δεν παρατηρήθηκαν ολικές απώλειες ύδατος στις περιοχές των σταθμών.

Σε αυτό το σημείο θεωρείται χρήσιμο να παρουσιαστεί η διαδικασία εκτέλεσης των επί τόπου δοκιμών περατότητας:

### • Δομική πίπτοντος φορτίου (Maag)

Κατά τη δοκιμή αυτή μετριέται η πτώση της στάθμης της στήλης του νερού μέσα στη σωληνωμένη γεώτρηση (με ασωλήνωτο το κάτω τμήμα αυτής, μικρού σχετικώς μήκους, το οποίο αποτελεί και το δοκιμαζόμενο τμήμα), σε συνάρτηση με το χρόνο. Χρησιμοποιείται στην περίπτωση λεπτόκοκκων εδαφικών υλικών, δηλαδή υλικών με χαμηλή υδροπερατότητα.

### • Δομική σταθερού φορτίου (Lefranc)

Κατά τη δοκιμή αυτή μετριέται η παροχή του νερού που παροχετεύεται στη γεώτρηση, ώστε η στάθμη του νερού μέσα στη σωλήνωση της επένδυσης της γεώτρησης να είναι σταθερή. Γενικά ο υπολογισμός του συντελεστή υδροπερατότητας εξαρτάται από τη σχέση της θέσης του εισπιασμένου τμήματος της γεώτρησης σχετικά με τη στάθμη του υπεδαφικού νερού.

Χρησιμοποιείται στην περίπτωση αδρόκοκκων εδαφικών υλικών, δηλαδή υλικών με αυξημένη υδροπερατότητα.

Στη περιοχή του σταθμού «Αγία Παρασκευή» εκτελέσθηκαν συνολικά 42 επί τόπου δοκιμές περατότητας, 2 από αυτές ήταν σταθερού φορτίου και οι υπόλοιπες

μεταβλητού φορτίου. Στους Πίνακες 2.5 και 2.6 δίνονται για κάθε γεώτρηση, το βάθος της δοκιμής, ο τύπος της δοκιμής, η υπολογιζόμενη μέση ενδεικτική τιμή του συντελεστή διαπερατότητας καθώς και η συνοπτική περιγραφή του σχηματισμού στον οποίο εκτελέστηκε η δοκιμή. Σε αυτούς τους πίνακες παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το βάθος της γεώτρησης μειώνεται η υδροπερατότητα. Επίσης στο Πίνακα 2.6 ο τύπος δοκιμής που χρησιμοποιείται είναι μόνο αυτός του πίπτοντος φορτίου, καθώς από την προκαταρκτική έρευνα του 2001 είχε προηγηθεί διερεύνηση της στρωματογραφίας και ήταν γνωστή η στάθμη του υπόγειου νερού.

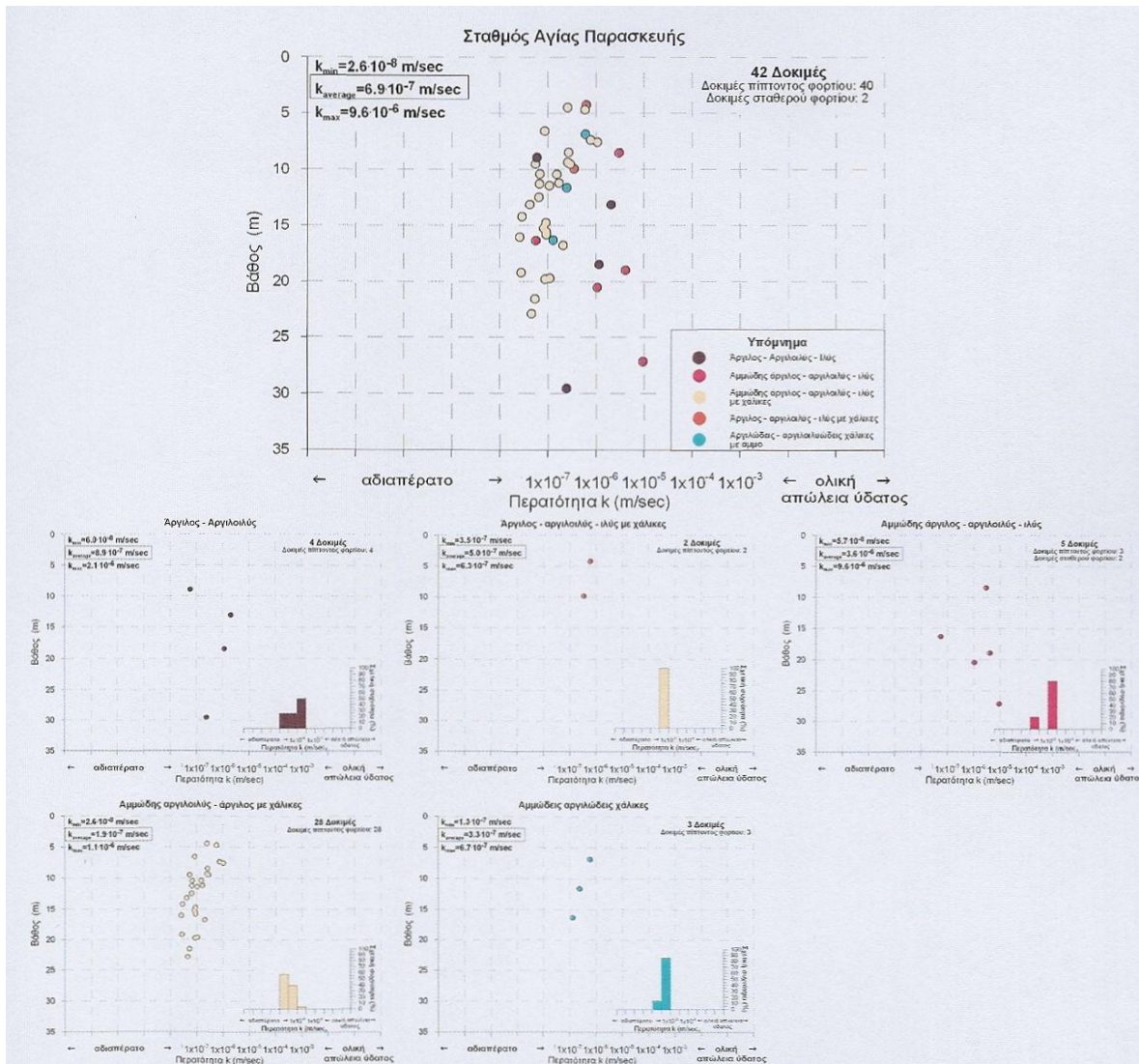
Πίνακας 2.5. Αποτελέσματα επί τόπου δοκιμών περατότητας στο σταθμό Αγ. Παρασκευής (2001)

Γεώτρηση	Βάθος δοκιμής (m)		Τύπος δοκιμής	Περατότητα (m/ sec)	Λιθολογία
	Από	Έως			
AP2	8.00	9.00	Maag	$3 \cdot 10^{-5}$	Αμμώδης αργιλοϊλός
	18.95		Lefranc	$0,42 \cdot 10^{-5}$	Αργιλοϊλός με άμμο
	27.15		Lefranc	$0,96 \cdot 10^{-5}$	Αργιλοϊλός με άμμο
AP3	8.40	9.40	Maag	$6 \cdot 10^{-7}$	Αργιλοϊλός
	12.60	13.60	Maag	$2,09 \cdot 10^{-6}$	Αργιλοϊλός
	20.00	21.00	Maag	$1,09 \cdot 10^{-6}$	Αργιλοϊλός με άμμο
APP1	9.40	10.40	Maag	$0,35 \cdot 10^{-6}$	Αργιλοϊλός με χάλικες
	17.95	18.95	Maag	$1,19 \cdot 10^{-6}$	Αργιλοϊλός
	29.05	30.05	Maag	$2,45 \cdot 10^{-7}$	Αργιλοϊλός

Πίνακας 2.6. Αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών περατότητας στο σταθμό Αγίας Παρασκευής (συμπληρωματική γεωεχνική έρευνα, 2007)

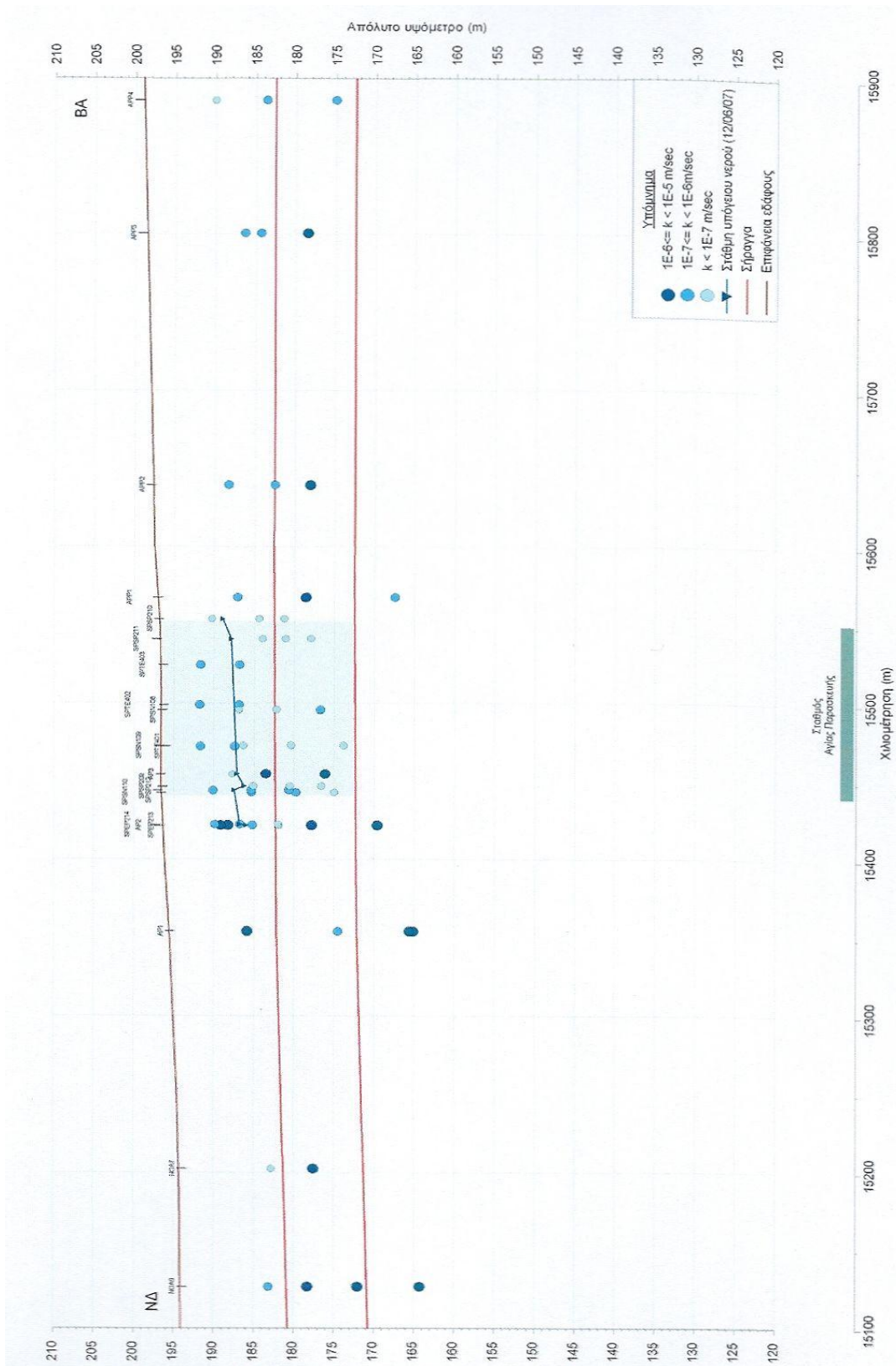
Γεώτρηση	Βάθος δοκιμής (m)		Τύπος δοκιμής	Περατότητα (m/ sec)	Λιθολογία
	Από	Έως			
SPSN108	8.9	10.1	Maag	$0,55 \cdot 10^{-7}$	Αμμώδης άργιλος με χάλικες
	13.6	14.8	Maag	$2,98 \cdot 10^{-8}$	Αμμώδης άργιλος με χάλικες
	19.2	20.2	Maag	$1,11 \cdot 10^{-7}$	Αμμώδης άργιλος με χάλικες
SPSN109	9.3	11.5	Maag	$0,69 \cdot 10^{-7}$	Άργιλος με άμμο και χάλικες
	15.5	17.2	Maag	$0,57 \cdot 10^{-7}$	Αμμώδης ιλύς με άμμο
	22.1	23.7	Maag	$4,62 \cdot 10^{-8}$	Αμμώδης άργιλος με χάλικες
SPSN110	10.1	12.3	Maag	$1,73 \cdot 10^{-7}$	Αμμώδης άργιλος με χάλικες
	16.2	17.3	Maag	$2,12 \cdot 10^{-7}$	Αμμώδης άργιλος με χάλικες
	20.8	22.3	Maag	$0,55 \cdot 10^{-7}$	Αμμώδης άργιλος με χάλικες
SPSP209	10.15	12.4	Maag	$0,68 \cdot 10^{-7}$	Αμμώδης άργιλος με χάλικες
	14.45	17.2	Maag	$0,95 \cdot 10^{-7}$	Αμμώδης άργιλος με χάλικες
	17.65	21.9	Maag	$0,89 \cdot 10^{-7}$	Αμμώδης άργιλος με χάλικες
SPSP210	6.05	7.1	Maag	$0,87 \cdot 10^{-7}$	Αμμώδης άργιλος με χάλικες
	11.9	13	Maag	$0,66 \cdot 10^{-7}$	Αμμώδης άργιλος με χάλικες
	14.95	16.2	Maag	$0,94 \cdot 10^{-7}$	Αμμώδης άργιλος με χάλικες
SPSP211	12.05	14.2	Maag	$0,43 \cdot 10^{-7}$	Άργιλος με άμμο και αραιά λατύπες
	13.05	19	Maag	$0,26 \cdot 10^{-7}$	Άργιλος με άμμο και αραιά λατύπες
	15.7	22.7	Maag	$0,28 \cdot 10^{-7}$	Άργιλος με άμμο και αραιά λατύπες
SPSP212	6.1	7.6	Maag	$0,61 \cdot 10^{-6}$	Αργιλώδης αμμώδης χαλικές
	11	12.2	Maag	$0,25 \cdot 10^{-6}$	Αμμώδης άργιλος με χάλικες
	15.7	16.9	Maag	$1,31 \cdot 10^{-7}$	Αμμώδης άργιλος με χάλικες
SPEP213	7.05	8	Maag	$1,09 \cdot 10^{-6}$	Αμμώδης άργιλος με χάλικες
	10.05	12.8	Maag	$1,08 \cdot 10^{-7}$	Αμμώδης άργιλος με χάλικες
	13.25	16.2	Maag	$0,91 \cdot 10^{-7}$	Αμμώδης άργιλος με χάλικες
SPEP214	6.05	8.6	Maag	$0,78 \cdot 10^{-6}$	Αμμώδης άργιλος με χάλικες
	9.05	11.8	Maag	$1,54 \cdot 10^{-7}$	Αμμώδης άργιλος με χάλικες
	13.85	16.6	Maag	$0,83 \cdot 10^{-7}$	Αμμώδης άργιλος με χάλικες
SPTE401	3.6	4.8	Maag	$0,63 \cdot 10^{-6}$	Ιλύς με χάλικες
	7.1	9.8	Maag	$2,70 \cdot 10^{-7}$	Αμμώδης άργιλος με χάλικες
SPTE402	3.7	5.2	Maag	$2,57 \cdot 10^{-7}$	Αμμώδης ιλύς και χάλικες
	8.5	10.2	Maag	$2,57 \cdot 10^{-7}$	Αμμώδης ιλύς και χάλικες
SPTE403	4	5.3	Maag	$0,59 \cdot 10^{-6}$	Αμμώδης άργιλος με χάλικες
	9	10	Maag	$2,93 \cdot 10^{-7}$	Αμμώδης άργιλος με χάλικες

Από τις τιμές του Πίνακα 2.6 προκύπτουν διαγράμματα διακύμανσης της περατότητας συναρτήσει του βάθους για κάθε σχηματισμό, καθώς και το συγκεντρωτικό διάγραμμα της υδροπερατότητας όλων των σχηματισμών που εντοπίστηκαν στην περιοχή (Σχήμα 2.20). Οι τιμές των περατοτήτων κυμαίνονται από  $0.26 \cdot 10^{-7}$  m/sec (πρακτικά αδιαπέρατο) έως  $0.96 \cdot 10^{-5}$  m/sec, με μέση τιμή  $0.69 \cdot 10^{-6}$  m/sec.



Σχήμα 2.20. Διάγραμμα διακύμανσης της περατότητας συναρτήσει του βάθους στο σταθμό «Αγία Παρασκευή».

Στη μηκοτομή του Σχήματος 2.21 φαίνονται οι τιμές της περατότητας των σχηματισμών που απαντώνται κατά μήκος του σταθμού της «Αγίας Παρασκευής» καθώς και τα γεωμετρικά στοιχεία της σήραγγας.



Σχήμα 2.21. Κατανομή των περατοτήτων κατά μήκος του σταθμού «Αγία Παρασκευή».

## 2.7 Ποιότητα υπόγειων υδάτων

Πριν την έναρξη του έργου εκτελέστηκαν χημικές αναλύσεις σε δείγματα υπόγειου νερού (ΓΕΩΓΝΩΣΗ Α.Ε. – ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Τ.Ε. , 2007 β) ώστε να διαπιστωθεί εάν αυτό προσβάλλει ή όχι το σκυρόδεμα και κατ' επέκταση την κατασκευή του έργου. Για τον έλεγχο της βλαπτικότητας των υπόγειων νερών λήφθηκαν δείγματα υπόγειου νερού από τα εγκαταστημένα πιεζόμετρα των γεωτρήσεων. Στα δείγματα αυτά εκτελέστηκαν χημικές αναλύσεις.

Οι παράμετροι βλαπτικότητας που εξετάστηκαν είναι οι παρακάτω:

- ΡΗ
- Αμμωνία  $\text{NH}_4$
- Κατιόντα  $\text{Mg}^{+2}$
- Διοξείδιο του άνθρακα  $\text{CO}_2$
- Θειικά  $\text{SO}_4^{2-}$
- Χλωριόντα  $\text{Cl}^{-1}$

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων, που πραγματοποιήθηκαν δίνονται στους Πίνακες 2.7 έως 2.12 που ακολουθούν. Στους πίνακες αυτούς φαίνονται και οι οριακές τιμές των διαφόρων χημικών στοιχείων ή ενώσεων που βλάπτουν το σκυρόδεμα, όπως αναγράφονται στο Νέο Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΦΕΚ 315 Β717.04.97)

Πίνακας 2.7. Αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων νερού και οι οριακές τιμές του αντίστοιχου βαθμού προσβολής του σκυροδέματος - Παράμετρος ΡΗ.

Σταθμός	Γεώτρηση	Βάθος δειγματοληψίας (m)	Αποτελέσματα ανάλυσης ΡΗ	Οριακές τιμές βαθμού προσβολής σκυροδέματος για την παράμετρο ΡΗ			
				Ασθενής	Μέτριος	Ισχυρός	Πολύ ισχυρός
Αγία Παρασκευή	ΑΡ3	23.0	7.3±0.04	5,5-6,5	4,5-5,5	4,0-4,5	<4,0
	ΑΡ3	-	7.7±0.04				

Πίνακας 2.8. Αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων νερού και οι οριακές τιμές του αντίστοιχου βαθμού προσβολής του σκυροδέματος-Παράμετρος  $\text{NH}_4^+$  (mg/l).

Σταθμός	Γεώτρηση	Βάθος δειγματοληψίας (m)	Αποτελέσματα ανάλυσης $\text{NH}_4^+$ (mg/l)	Οριακές τιμές βαθμού προσβολής σκυροδέματος για την παράμετρο $\text{NH}_4^+$			
				Ασθενής	Μέτριος	Ισχυρός	Πολύ ισχυρός
Αγία Παρασκευή	AP3	23.0	0.062	15-30			
	AP3	-	0.289	15-30	30-60	60 -100	>100

Πίνακας 2.9. Αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων νερού και οι οριακές τιμές του αντίστοιχου βαθμού προσβολής του σκυροδέματος-Παράμετρος  $\text{Mg}^{+2}$ (mg/l).

Σταθμός	Γεώτρηση	Βάθος δειγματοληψίας (m)	Αποτελέσματα ανάλυσης $\text{Mg}^{+2}$ (mg/l)	Οριακές τιμές βαθμού προσβολής σκυροδέματος για την παράμετρο $\text{Mg}^{+2}$			
				Ασθενής	Μέτριος	Ισχυρός	Πολύ ισχυρός
Αγία Παρασκευή	AP3	23.0	37	100-300	300- 1500	1500- 3000	>3000
	AP3	-	57				

Πίνακας 2.10. Αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων νερού και οι οριακές τιμές του αντίστοιχου βαθμού προσβολής του σκυροδέματος - Παράμετρος CO<sub>2</sub> (mg/l).

Σταθμός	Γεώτρηση	Βάθος δειγματοληψίας (m)	Αποτελέσματα ανάλυσης CO <sub>2</sub> (mg/l)	Οριακές τιμές βαθμού προσβολής σκυροδέματος για την παράμετρο CO <sub>2</sub>			
				Ασθενής	Μέτριος	Ισχυρός	Πολύ ισχυρός
Αγία Παρασκευή	AP3	23.0	<1	15-30	30-60	60-100	>100
	AP3	-	18				

Πίνακας 2.11. Αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων νερού και οι οριακές τιμές του αντίστοιχου βαθμού προσβολής του σκυροδέματος - Παράμετρος SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (mg/l).

Σταθμός	Γεώτρηση	Βάθος δειγματοληψίας (m)	Αποτελέσματα ανάλυσης SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	Οριακές τιμές βαθμού προσβολής σκυροδέματος για την παράμετρο SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>			
				Ασθενής	Μέτριος	Ισχυρός	Πολύ ισχυρός
Αγία Παρασκευή	AP3	23.0	113±4.5	200*- 400	600	3000	6000
	AP3	--	147±4.5				

Πίνακας 2.12. Αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων νερού και οι οριακές τιμές του αντίστοιχου βαθμού προσβολής του σκυροδέματος - Παράμετρος Cl<sup>-</sup> (mg/l).

Σταθμός	Γεώτρηση	Βάθος δειγματοληψίας (m)	Αποτελέσματα ανάλυσης Cl <sup>-</sup> (mg/l)	Οριακές τιμές βαθμού προσβολής σκυροδέματος για την παράμετρο Cl <sup>-</sup>			
				Ασθενής	Μέτριος	Ισχυρός	Πολύ ισχυρός
Αγία Παρασκευή	AP3	23.0	204±2.9	...	—	—	—
	AP3	-	247±3.4				



Με βάση τους παραπάνω πίνακες, το ΡΗ του υπόγειου νερού κυμαίνεται από 7.2 μέχρι 7.7, δηλαδή είναι εκτός των οριακών τιμών βλαπτικότητας του σκυροδέματος. Εκτός των οριακών τιμών προσβολής του σκυροδέματος είναι και τα  $\text{NH}_4^+$  και  $\text{Mg}^{+2}$ , που κυμαίνονται από 0.052 έως 0.289 και από 23 μέχρι 57 αντίστοιχα. Όσον αφορά την περιεκτικότητα σε  $\text{SO}_4$ , στο υπόγειο νερό της περιοχής κατασκευής των σταθμών είναι λιγότερα από 200 mg/l και συνεπώς δεν απαιτούνται ιδιαίτερα μέτρα για τη προστασία του σκυροδέματος.

Σχετικώς με το  $\text{CO}_2$  υπάρχει μία τιμή που δείχνει ελαφρώς μεγαλύτερη από το κάτω όριο της βλαπτικότητας του σκυροδέματος. Τέλος, θεωρήθηκε ότι οι τιμές της συγκέντρωσης των  $\text{Cl}^-$  είναι ασυνήθιστα μεγάλες για περιοχή μακριά από πηγή ρύπανσης. Η συγκέντρωση των  $\text{Cl}^-$  είναι στα όρια του «πόσιμου» νερού (240 mg/l).

### 3 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

#### 3.1 Γενικά

Αντικείμενο αυτού του κεφαλαίου, είναι να παρουσιαστούν τυπικές γεωτεχνικές τομές σχεδιασμού καθώς και οι τιμές των φυσικών και των μηχανικών παραμέτρων στην περιοχή του σταθμού "Αγ. Παρασκευή" που είναι αναγκαίες για την εισαγωγή στο πρόγραμμα PLAXIS, προκειμένου να διεξαχθούν οι σχετικές επιλύσεις ευστάθειας και αντιστήριξης. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν αντλούνται από τις μελέτες (ΓΕΩΓΝΩΣΗ Α.Ε.-ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Τ.Ε. γ, 2007) (ΓΕΩΓΝΩΣΗ Α.Ε.- ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Τ.Ε. ε, 2007) και( Έκθεση Γ. Γκαζέτα και Ν.Γερόλυμου, 2008).

#### 3.2 Γεωερευνητικά προγράμματα

Στην περιοχή διάνοιξης του σταθμού πραγματοποιήθηκαν 3 φάσεις γεωερευνητικών προγραμμάτων. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι όλα τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για το PLAXIS προέρχονται από τα στοιχεία των γεωτρήσεων που εκτελέσθηκαν το 2007. Αναλυτικότερα οι 3 φάσεις είναι οι εξής:

1. Στα πλαίσια του γεωερευνητικού προγράμματος κατά μήκος της επέκτασης από το σταθμό Εθνικής Άμυνας προς το Σταυρό ανορύχθηκαν 22 γεωτρήσεις (388 - 390, 392 - 397 και 560 – 572) (ΚΕΔΕ 1979 - 1980). Από αυτές, στη στενή περιοχή κατασκευής του σταθμού «Αγία Παρασκευή» ανορύχθηκαν οι γεωτρήσεις 562 και 563 (Πίνακας 3.1).

Πίνακας 3.1. Δειγματοληπτικές γεωτρήσεις που διανοίχθηκαν στους σταθμούς Αγίας Παρασκευής στα πλαίσια του γεωερευνητικού προγράμματος του ΚΕΔΕ (1979 - 1980).

Σταθμός	Γεώτρηση	Χιλιόμετρηση	Απόσταση από τον άξονα(m)
Αγίας Παρασκευής	562	15+450	+11
	563	15+670	+35

2. Η GEOPLAN Ε.Π.Ε τη χρονική περίοδο 2001 β, στα πλαίσια του γεωερευνητικού προγράμματος κατά μήκος της προαναφερθείσας επέκτασης, εκτέλεσε 48 δειγματοληπτικές γεωτρήσεις. Από αυτές τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις οι 4 βρίσκονται στη στενή περιοχή της Αγίας Παρασκευής και τα στοιχεία παρουσιάζονται στο Πίνακα 3.2. Πιο συγκεκριμένα, καταγράφονται η χιλιομέτρηση της κάθε μιας, οι ακριβείς συντεταγμένες και η απόστασή της από τον άξονα της υπό κατασκευή σήραγγας.

Πίνακας 3.2. Δειγματοληπτικές γεωτρήσεις που διανοίχθηκαν στο σταθμό «Αγία Παρασκευή» στα πλαίσια του γεωερευνητικού προγράμματος της GEOPLAN Ε.Π.Ε (2000 - 2001).

Σταθμός	Γεώτρηση	Χιλιομέτρηση	Απόσταση	Συντεταγμένες		
			άξονα (m)*	Χ	Υ	Z
Αγία Παρασκευή	AP2	15+421	-5	106718.5	104519.1	196.8
	AP3	15+454	-10	106728.3	104551.3	196.6
	AP4	15+507	+5	106768.5	104589.2	196.7
	APP1	15+567	-14	106780.4	104651.2	197.0

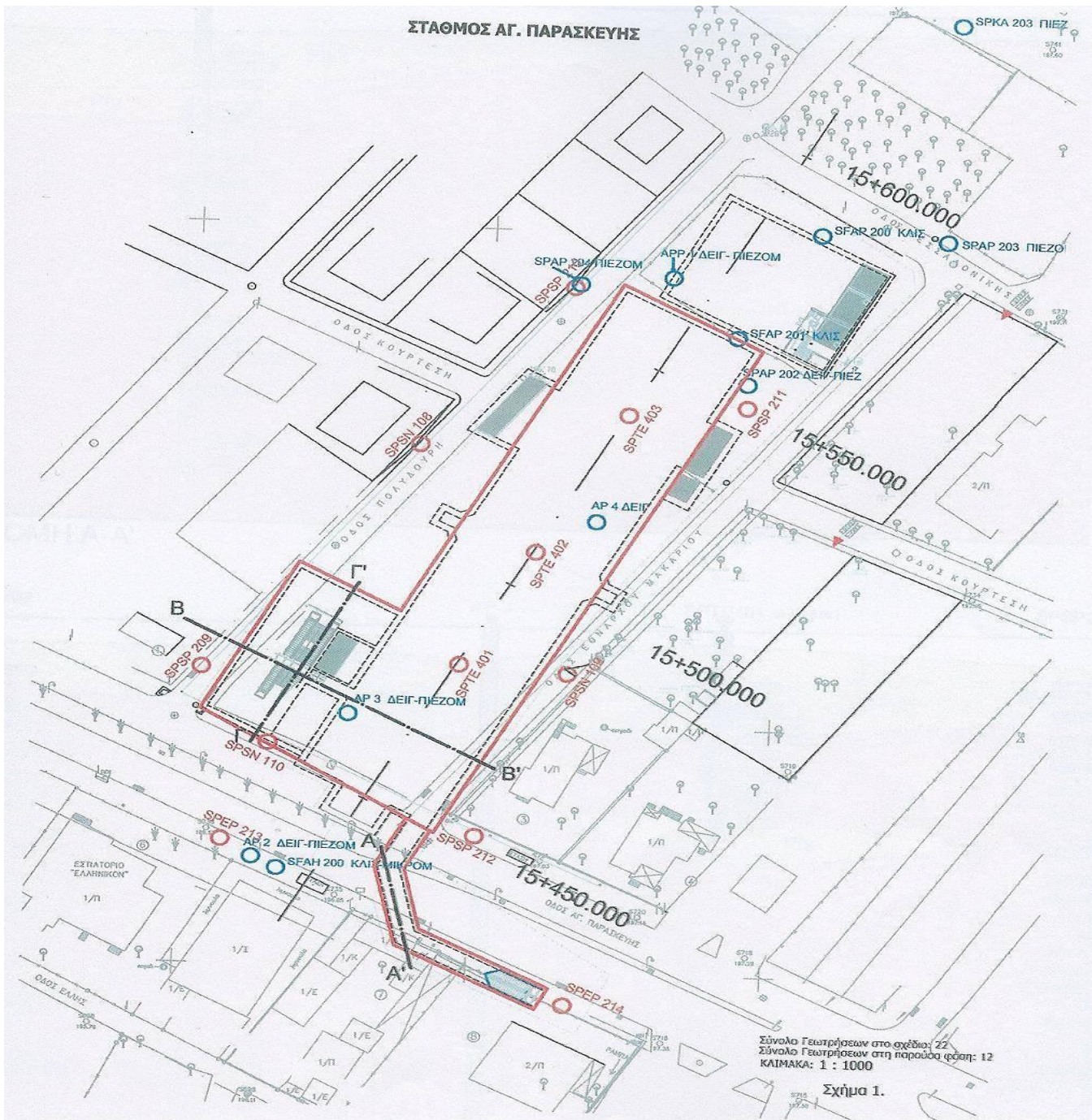
\* Σημείωση: Το αρνητικό πρόσημο δηλώνει ότι η γεώτρηση βρίσκεται βόρεια και δυτικά του άξονα του σταθμού

3. Τέλος στα πλαίσια της νεότερης συμπληρωματικής γεωτεχνικής έρευνας για την κατασκευή των σταθμών Χολαργό-Νομισματοκοπείο-Αγία Παρασκευή (2007) εκτελέστηκαν 30 γεωτρήσεις εκ των οποίων οι 12 αφορούν το σταθμό «Αγία Παρασκευή» και παρουσιάζονται στο Πίνακα 3.3.

Στη κάτοψη του Σχήματος 3.1 παρουσιάζονται οι ακριβείς θέσεις των γεωτρήσεων όλων των ερευνών που χρησιμοποιήθηκαν.

Πίνακας 3.3. Γεωτρήσεις που διανοίχθηκαν στην Αγ. Παρασκευή στα πλαίσια της συμπληρωματικής γεωτεχνικής έρευνας από την Εδαφομηχανική ΑΤΕ και τη Γεώγνωση Α. Ε. (2007).

Σταθμός	Γεώτρηση	Χιλιομέτρηση	Συντεταγμένες		
			χ	γ	ζ
Αγία Παρασκευή	SPEP213	15+421	106709.4	104523.9	196.6
	SPEP214	15+422	106767.5	104493.7	197.2
	SPSN108	15+496	106731.0	104596.1	196.4
	SPSN109	15+473	106761.9	104554.2	196.7
	SPSN110	15+443	106716.8	104543.8	196.5
	SPSP209	15+447	106699.9	104557.3	196.4
	SPSP210	15+554	106767.2	104642.8	196.8
	SPSP211	15+541	106804.2	104608.8	197.1
	SPSP212	15+444	106748.4	104528.8	196.9
	SPTE401	15+473	106746.8	104561.8	195.9
	SPTE402	15+499	106759.0	104584.9	196.2
	SPTE403	15+524	106770.9	104607.6	196.3



Σχήμα 3.1. Κάτοψη σταθμού όπου εμφανίζονται οι ακριβείς θέσεις των γεωτρήσεων.

### 3.3 Δοκιμές προσδιορισμού φυσικο-μηχανικών χαρακτηριστικών

Όλα τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των εδαφών που προσδιορίζονται εργαστηριακά (Ρόζος,2007), εξαρτώνται άμεσα από γεωλογικούς παράγοντες και κυρίως από:

- την ορυκτολογική σύσταση,
- τον ιστό του εδαφικού υλικού,
- τη μάζα του στο σύνολο της, (δομή)
- την πλήρωση με νερό των πόρων του εδάφους

Επίσης, η μηχανική συμπεριφορά της εδαφικής μάζας ελέγχεται από την ομοιογένεια, συνέχεια και ισοτροπία, που με τη σειρά τους εξαρτώνται από τις γεωλογικές συνθήκες γένεσης των εδαφών και της όλης γεωλογικής ιστορίας τους. Τα φυσικά χαρακτηριστικά και οι μηχανικές ιδιότητες των εδαφών στη συγκεκριμένη μελέτη προσδιορίζονται με τις δοκιμές:

- Ταξινόμησης
- Υδροπερατότητας
- Αντοχής σε θλίψη και σε διάτμηση
- Στερεοποίησης

Όπως τονίστηκε και προηγουμένως όλα τα στοιχεία που θα αναλυθούν προέρχονται από την επεξεργασία των στοιχείων των 12 γεωτρήσεων που πραγματοποιήθηκαν το 2007.

Σύμφωνα με τη περιγραφή των σχηματισμών και λαμβάνοντας υπόψη τη κοκκομετρία αυτών, χωρίστηκε (για το πρόγραμμα PLAXIS) η περιοχή του σταθμού «Αγία Παρασκευή» σε 5 διαφορετικές λιθολογικές φάσεις:

Φάση 1α. Αμμώδης Αργιλοίλος.

Φάση 1β. Αμμούχος ιλυώδης άργιλος.

Φάση 2α. Ιλυώδης άμμος.

Φάση 2β. Αργιλική άμμος.

Φάση 3. Χαλικώδης ορίζοντας.



Στη συνέχεια αυτής της παραγράφου καταγράφονται συγκεντρωμένα τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των πέντε λιθοφάσεων που εντοπίστηκαν στην περιοχή όπου κατασκευάστηκε ο σταθμός της Αγίας Παρασκευής. Για κάθε φάση δίνεται το πλήθος των δοκιμών που αναφέρονται σε αυτή, η μέγιστη και ελάχιστη τιμή που προκύπτει καθώς και ο μέσος όρος όλων των δοκιμών.

### 3.3.1 Φυσικά χαρακτηριστικά ανά σχηματισμό

Στον Πίνακα 3.4 αρχικά παρουσιάζονται η κοκκομετρία, τα όρια Attemberg, το φαινόμενο και ειδικό βάρος καθώς και η φυσική υγρασία των σχηματισμών.

Πίνακας 3.4. Περιοχή σταθμού «ΑΓ. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ» φυσικές ιδιότητες ανά σχηματισμό.

Κωδικός Γεωλογικού σχηματισμού		Χαλίκια	Άμμος	Ίλος	Αργίλος	Αργιλοίλος	WL	WP	IP	Υγρασία (%)	γw (kN/m <sup>3</sup> )	γd (kN/m <sup>3</sup> )	Ειδικό βάρος
1A	ΠΛΗΘΟΣ ΤΙΜΩΝ	33	33	33	33	33	33	33	33	33	2	2	10
	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	0	11	32	15	55	20	15	11	9,8	21,9	19,8	2,69
	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	22	43	58	43	68	36	19	20	17,5	22,7	20,3	2,71
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	4,2	30,3	38,9	26,8	63,3	30,2	16,4	15,3	13,5	22,3	20	2,7
1B	ΠΛΗΘΟΣ ΤΙΜΩΝ	18	18	18	18	18	18	18	18	18	1	1	3
	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	0	15	27	32	55	30	16	14	8,1	22,3	19,7	2,71
	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	18	40	37	45	81	42	19	25	17,3	22,3	19,7	2,72
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	4,4	25,7	32,6	37,8	69	35	17	17,9	12,1	22,3	19,7	2,7
2A	ΠΛΗΘΟΣ ΤΙΜΩΝ	16	16	16	16	16	16	16	16	16	3	3	2
	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	1	33	11	10	26	16	15	12	7,2	20,7	17,6	2,71
	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	31	67	36	25	50	33	18	17	19,7	22,3	20,2	2,71
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	11,6	45,8	26,5	17,2	38	24,1	16,1	13,6	20	21,6	19	2,7
2B	ΠΛΗΘΟΣ ΤΙΜΩΝ	5	5	5	5	5	5	5	5	5			2
	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	1	38	15	15	32	16	15	9	7			2,68
	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	20	64	31	30	32	29	16	13	13,6			2,7
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	11,2	49,6	21	20	32	24,4	15,7	11,3	10,9			2,69
3	ΠΛΗΘΟΣ ΤΙΜΩΝ	5	5	5	5	5	5	5	5	5			
	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	36	23	19	13	5	19	14	13	6,6			
	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	52	43	20	20	30	33	16	19	16,3			
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	41	32,4	19,5	16,5	20,3	28	15	16	11,5			

Σύμφωνα με αυτό το πίνακα θα ήταν χρήσιμο να αναφερθούν τα εξής:

Η βασική ιδιότητα πάνω στην οποία βασίζεται η ταξινόμηση των εδαφών είναι η κοκκομετρική τους σύσταση και προσδιορίζεται με δύο μεθόδους (Ρόζος, 2007):

Το κοσκίνισμα για τα αδρόκοκκα εδάφη

Τη μέθοδο της καθίζησης για τις πολύ λεπτόκοκκες αργιλοίλεις.

Αναφορικά με τα όρια συνεκτικότητας ο Ρόζος, 2007 αναφέρει τα εξής:

Όριο υδαρότητας (Liquid limit, LL) ονομάζεται το όριο πέρα από το οποίο ένα λεπτόκοκκο έδαφος που συμπεριφερόταν ως ρευστό μέσο (λόγω υψηλού ποσοστού περιεχόμενης

υγρασίας), με προοδευτική αφαίρεση υγρασίας αναλαμβάνει διατμητικές τάσεις και υφίσταται πλαστικές παραμορφώσεις, δηλαδή αρχίζει να συμπεριφέρεται σαν πλαστικό μέσο.

Με επιπλέον μείωση της υγρασίας ο όγκος του εδάφους μειώνεται και υπάρχει ένα άλλο όριο όπου το έδαφος παύει πλέον να συμπεριφέρεται σαν πλαστικό μέσο και μεταπίπτει σε εύθρυπτο υλικό. Το όριο αυτό ονομάζεται όριο πλαστικότητας (Plastic limit, PL).

**Ο δείκτης πλαστικότητας (Plasticity index, PI)** καθορίζει την περιοχή της υγρασίας όπου το έδαφος συμπεριφέρεται σαν πλαστικό υλικό και εκφράζεται με τη διαφορά των ορίων υδαρότητας ( $w_L$ ) και πλαστικότητας ( $w_p$ ), δηλαδή  $I_p = w_L - w_p$ .

**Η φυσική υγρασία** αποτελεί τη μάζα του νερού που περιέχεται στο σχηματισμό που εξετάζεται και αποδίδεται σαν την εκατοστιαία αναλογία της μάζας του δείγματος σε ξηρή κατάσταση, σύμφωνα με τον τύπο:

$$wc(\%) = M_w / M_s$$

όπου  $wc$  = Η περιεχόμενη υγρασία (φυσική υγρασία και φυσική κατάσταση),  $M_w$  = Η μάζα του νερού και  $M_s$  = Μάζα των στερεών.

**Ειδικό βάρος** ενός πετρώματος ορίζεται ως ο αδιάστατος λόγος του βάρους του σε ξηρή κατάσταση προς τον όγκο των στερεών συστατικών του επί το  $\gamma_w$ .

**Φαινόμενο βάρος** για κάθε υλικό (και όχι μόνο για τα εδάφη) ορίζεται ως ο λόγος του βάρους ( $W$ ) προς τον όγκο ( $V$ ) του υλικού. Όσον αφορά στα εδάφη (για τα οποία χρησιμοποιείται επίσης ο όρος Ολικό Ειδικό Βάρος,  $\gamma_t$ ) όπου στο βάρος και τον όγκο του εδάφους συμπεριλαμβάνονται τα στερεά και οι πόροι του εδάφους με το περιεχόμενό τους (νερό και αέρας). ( $V_a$  = όγκος αέρα)

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_w + V_a} \text{ (gr / cm}^3\text{)}$$



### **Δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης**

Όταν ασκείται μια συμπιεστική τάση στο έδαφος (Ρόζος, 2007) τότε εμφανίζεται τάση μείωσης του όγκου, είτε με συμπίεση των κενών των πόρων που οδηγεί σε επαναδιάταξη των δομικών εδαφικών μονάδων είτε (σε περίπτωση κορεσμού) με την απομάκρυνση (στράγγιση) του νερού από τους πόρους. Αυτή διαρκεί μέχρι την εξισορρόπηση της αυξημένης πίεσης πόρων λόγω των ασκούμενων τάσεων. Συνεπώς στα αργιλικά εδάφη ο χρόνος ολοκλήρωσης της στερεοποίησης είναι μακρύς.

Για τη μέτρηση των σχετικών παραμέτρων χρησιμοποιείται στο εργαστήριο η δοκιμή του οιδήμετρου, δηλαδή η δοκιμή συμπιεστότητας. Κύριοι δείκτες που μετρώνται είναι:

Ο δείκτης συμπιεστότητας ( $C_c$ )

Ο συντελεστής στερεοποίησης ( $C_v$ )

Ο συντελεστής μεταβολής του όγκου ( $m_v$ )

Για την ολοκλήρωση της δοκιμής εφαρμόζονται διαδοχικά φορτία, το καθένα για 24 ώρες. Έτσι προσδιορίζεται ο λόγος κενών ( $e$ ) σε κάθε βαθμίδα φόρτισης. Στη συνέχεια χαράσσεται η καμπύλη  $e-P$  και βρίσκεται η κλίση της κατά τη φόρτιση. Με τα δεδομένα αυτά υπολογίζονται τα  $C_c$ ,  $C_v$ ,  $m_v$ , ενώ έμμεσα μπορεί να γίνει ο προσδιορισμός του  $k$  (συντελεστή υδροπερατότητας).

**Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη** αποτελεί μονοαξονική δοκιμή χωρίς αποστράγγιση και προσδιορίζει ποσοτικά το βαθμό συνεκτικότητας. Δηλαδή η πλευρική πίεση είναι η ατμοσφαιρική

**Διατμητική αντοχή** είναι η μέγιστη αντίσταση του εδάφους στην άσκηση της διατμητικής τάσης, για τις επί τόπου συνθήκες. Αστοχία στο εδαφικό υλικό συμβαίνει όταν η διατμητική τάση γίνει ίση με τη διατμητική αντοχή.

**Τριαξονική δοκιμή** ορίζεται η δοκιμή στην οποία η θραύση επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ορθών τάσεων αλλά κάτω από διαφορετικές πλευρικές πιέσεις και διακρίνεται σε τρεις τύπους (Ρόζος,2007):

Δοκιμή UU. Χρησιμοποιείται όταν απαιτείται η γνώση της άμεση συμπεριφοράς του εδαφικού σχηματισμού από πλευράς διατμητικής αντοχής.

Δοκιμή CU/PP. Είναι μια εργαστηριακή δοκιμή και χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των  $\phi'$  και  $c'$ , δηλαδή της γωνίας τριβής και της συνοχής αναφορικά με τις ενεργές τάσεις.

Δοκιμή CD. Ο τύπος αυτός της δοκιμής (αργή για πλήρη αποστράγγιση) χρησιμοποιείται όταν απαιτείται η γνώση της μακρόχρονης συμπεριφοράς του εδαφικού σχηματισμού από πλευράς διατμητικής αντοχής (πχ. ορύγματα δρόμων).

Στη παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκαν οι δύο αρχικοί τύποι.

### 3.4 Αποτελέσματα ιδιοτήτων εδάφους μετά από σύνθεση αξιολόγηση και επεξεργασία δεδομένων-Τομή σχεδιασμού.

Σε αυτή τη παράγραφο παρουσιάζονται τα στοιχεία που χρειάζονται (για τους πέντε σχηματισμούς) στο πρόγραμμα input του Plaxis καθώς και με ποιό τρόπο αυτά προκύπτουν. Στο Πίνακα 3.6 παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα δεδομένα για κάθε σχηματισμό.

Πίνακας 3.6. Τιμές ανά σχηματισμό που θα εισαχθούν στο πρόγραμμα Plaxis.

	$\gamma_{unsat}$	$\gamma_{sat}$	$K_x$	$K_\psi$	$E_{ref}$	$\nu$	$c_{ref}$	$\phi$	$R_{inter}$
1A	22,1	22,63	0,018835	0,018835	28000	0,25	30	25	0,7
1B	22,3	22,44	0,006927	0,006927	31000	0,25	30	30	0,7
2A	21,6	21,96	0,03672	0,03672	29000	0,25	25	35	0,7
2B	21,6	21,96	0,03672	0,03672	32000	0,25	25	35	0,7
3	23	24	0,05279	0,05279	41000	0,25	20	40	0,7

Οι τιμές των  $K_x$ ,  $K_\psi$ , προκύπτουν από το μέσο όρο των δοκιμών υδροπερατότητας (Maag) που πραγματοποιήθηκαν.

Η τιμή του  $\gamma_{unsat}$  αναφέρεται στο φαινόμενο βάρος.

Η τιμή  $\gamma_{sat}$  προκύπτει, βρίσκοντας το πορώδες ( $n = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_s}$ ), από το τύπο  $\gamma_{sat} = \gamma_d + n \gamma_w$ .

Ο συντελεστής διεπιφάνειας θεωρείται  $R_{inter} = 0.7$ .

Το  $E_{ref}$  προσδιορίζεται στη τριαξονική δοκιμή από το διάγραμμα αποκλίνουσας τάσης-παραμόρφωσης (%) και από το τύπο:  $E_{ref} = \Delta(\sigma_1 - \sigma_3) / \Delta\epsilon$ .

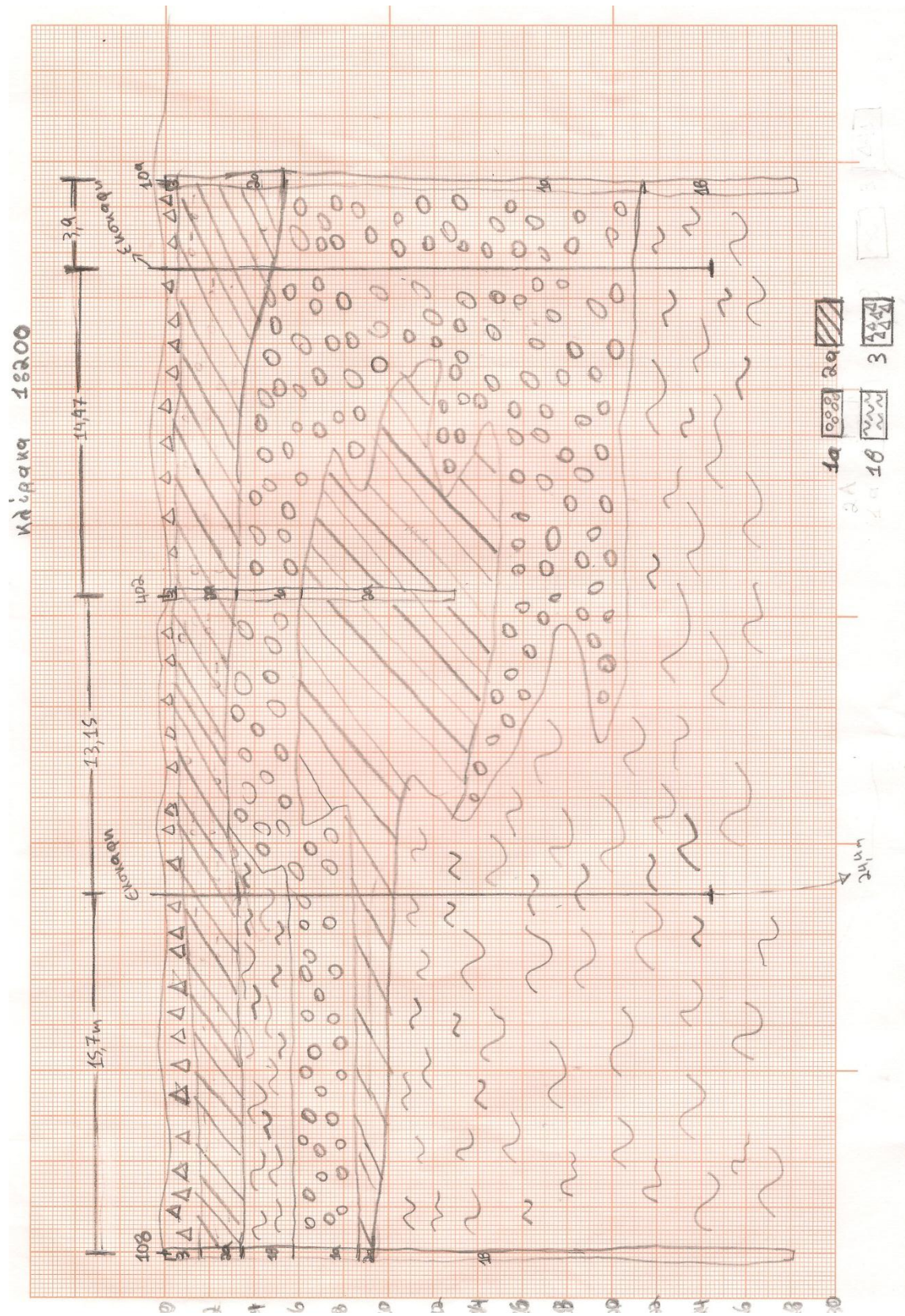
Ο λόγος Poisson θεωρείται ίσος με 0,25.

Τα  $c_{ref}$  και  $\phi$  αναφέρονται στη συνοχή και γωνία τριβής αντίστοιχα.

Η γωνία διασταλτικότητας θεωρείται  $\psi = 0^\circ$ .

Τέλος στο Σχήμα 3.2, παρουσιάζεται η τομή σχεδιασμού που θα χρησιμοποιηθεί στο Plaxis. Σε αυτή διακρίνεται η στρωματογραφική διάρθρωση της περιοχής καθώς και τα ύψη εκσκαφής για τη δυτική και ανατολική πλευρά.





Σχήμα 3.2. Σκαρίφημα με τη γεωλογική μηκοτομή της περιοχής του σταθμού που θα χρησιμοποιηθεί στο πρόγραμμα Plaxis.

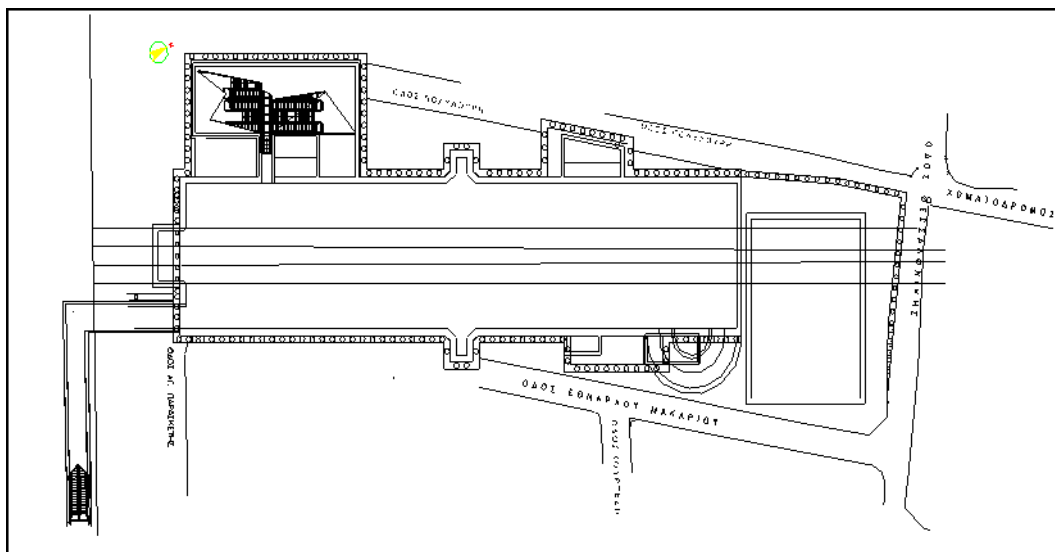
## **4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ**

Στο παρόν κεφαλαίο γίνεται η ανάλυση της κάθε φάσης κατασκευής με έμφαση στις λεπτομέρειες που λήφθηκαν υπόψη κατά τον σχεδιασμό των αναλύσεων στο PLAXIS. Κυρίως παρουσιάζεται το βάθος κάθε σταδίου εκσκαφής, το ύψος έμπιξης των αγκυρίων, το μήκος αυτών, καθώς και άλλοι παράγοντες που είναι απαραίτητοι ώστε να κατασκευαστεί η γεωμετρία στη προεπιλεγμένη τομή του PLAXIS.

### **4.1 Γενικά- Περιγραφή σταθμού**

Ο σταθμός "ΑΓ. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ" (Σχήμα 4.1) έχει μήκος 112.0m, πλάτος 27 m, ενώ σε τμήμα του σταθμού το πλάτος γίνεται 47.00 m. Το συνολικό ύψος στο κύριο τμήμα του σταθμού είναι 24.40 m (Αττικό Μετρό, 2008).

Στο Νοτιοδυτικό τμήμα της κάτοψης (δυτική είσοδος), στη γωνία μεταξύ των οδών Αγ. Παρασκευής και Πολυδούρη, προβλέφθηκε ορθογωνική επέκταση της κάτοψης, με διαστάσεις 33,00X19,50 και βάθος 14,50 m, η οποία περιλαμβάνει σχάρες εξαερισμού και κλιμακοστάσια πρόσβασης στο σταθμό. Ένα δεύτερο συγκρότημα κλιμακοστασίου πρόσβασης κατασκευάστηκε στο νότιο πεζοδρόμιο της οδού Αγ. Παρασκευής, το οποίο επικοινωνεί με το 2<sup>ο</sup> επίπεδο του σταθμού στη νότια πλευρά του μέσω υπόγειας διόδου (Νότια είσοδος). Στις δύο διαμήκειες πλευρές της κάτοψης έγιναν πρόσθετες τοπικές ορθογώνιες προεξοχές οι οποίες περιλαμβάνουν φρέατα ανελκυστήρων, εξαερισμού και βοηθητικά κλιμακοστάσια. Σε επαφή με τη βόρεια πλευρά του σταθμού υφίσταται το υπόγειο φρέαρ εξαερισμού Αγίας Παρασκευής, με διαστάσεις κάτοψης 33,00X24,00 m και βάθος 23,00 m, από την κατώτερη στάθμη του οποίου διέρχεται η γραμμή 3. Το φρέαρ κατασκευάστηκε το 2002 με μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης ( cut and cover ). σε ορθογωνικό ανοικτό όρυγμα, με αντιστήριξη των κατακόρυφων παρειών από κατακόρυφους φρεατοπασσάλους και προεντεταμένα αγκύρια εδάφους.



Σχήμα 4.1. Κάτοψη σταθμού Αγ. Παρασκευής.

Γενικά ο σταθμός κατασκευάστηκε στο μεγαλύτερο μέρος του με μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης ( cut and cover ) σε ανοιχτό όρυγμα του οποίου οι παρειές αντιστηρίζονται προσωρινά με φρεατοπασσάλους  $\Phi$  1.00 m, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και προεντεταμένα αγκύρια. Η εκσκαφή πραγματοποιήθηκε σταδιακά. Στις πρώτες έξι φάσεις η υφιστάμενη γραμμή του Μετρό λειτουργούσε. Κατά την έβδομη και όγδοη φάση σταμάτησε η λειτουργία του Μετρό και ολοκληρώθηκε η εκσκαφή του ορύγματος.

Η αλληλουχία κατασκευής στις συγκεκριμένες ιδιαιτερότητες του Σταθμού είναι κρίσιμος παράγοντας καθώς πρέπει να ληφθούν όλα τα αναγκαία μέτρα για την ασφάλεια και την ελαχιστοποίηση μετακινήσεων της υφιστάμενης σήραγγας και του Φρέατος κατά τη διάρκεια των εργασιών κατασκευής, καθώς και της μόνιμης επένδυσης του Σταθμού με την σήραγγα και με το φρέαρ με τρόπο που να εξασφαλίζεται η στατική επάρκεια και η υδατοστεγανότητα όλων των κατασκευών. Τέλος η κατασκευαστική μέθοδος που εφαρμόστηκε έπρεπε να εξασφαλίζει ότι ο συνολικός χρόνος της προβλεπόμενης διακοπής της λειτουργίας της Γραμμής 3 δεν υπερβαίνει τους (6) έξι μήνες.

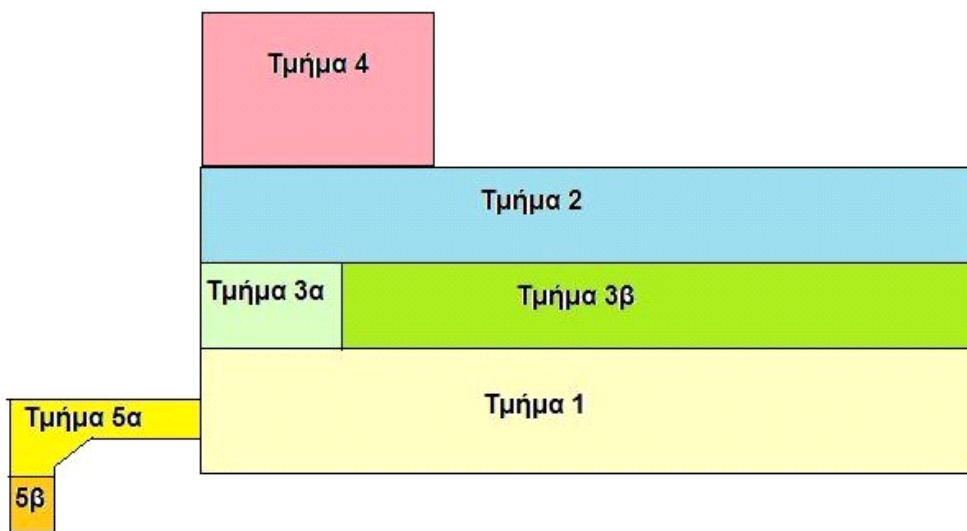
Το τμήμα της νότιας εισόδου του σταθμού που διέρχεται κάτω από την οδό Αγ. Παρασκευής, διανοίχτηκε με τη νέα αυστριακή μέθοδο (NATM), ενώ το κλιμακοστάσιο στο πεζοδρόμιο της οδού Αγίας Παρασκευής με τη μέθοδο εκσκαφής και επανεπίχωσης ( cut and cover ).



## 4.2 Ανάλυση κατασκευαστικής διαδικασίας προσωρινής αντιστήριξης.

Οι εργασίες κατασκευής του συστήματος προσωρινής αντιστήριξης (ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ , 2007) περιλαμβάνουν εγκατάσταση συστοιχίας πασσάλων στην περίμετρο του σταθμού και σταδιακή εκσκαφή, ακολουθούμενη από εγκατάσταση και τάνυση αγκυρίων. Η εκσκαφή υποστηρίζεται από συστοιχία καταγραφικών οργάνων τα οποία τοποθετήθηκαν επί των πασσάλων σε διάφορα υψόμετρα και σε αρκετές θέσεις στην περίμετρο του σταθμού.

Οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν στο σταθμό χωρίζονται σε 5 διαφορετικά τμήματα. Οι βασικές περιοχές εκσκαφής είναι αυτές των δύο πλευρικών τάφρων (τμήμα 1 ανατολική πλευρά και τμήμα 2 δυτική πλευρά) εκατέρωθεν της σήραγγας. Επιπλέον υπήρξε το τμήμα επάνω από την υφιστάμενη σήραγγα όπου σχηματίζεται ένα τραπέζιο (τμήματα 3α και 3β), το βάρος του οποίου είναι αναγκαίο για τον περιορισμό των κατακόρυφων μετακινήσεων (ανυψώσεων) της σήραγγας εντός των επιτρεπομένων ορίων κατά την περίοδο λειτουργίας της γραμμής. Επιπλέον υπήρξαν δυο τμήματα στα οποία πραγματοποιήθηκαν ξεχωριστές εργασίες. Αυτή της δυτικής εισόδου (τμήμα 4) και αυτής της νότιας εισόδου (τμήματα 5α και 5β). Χρήσιμο θεωρείται να τονιστεί ότι πάνω από το τμήμα 5<sup>α</sup> βρίσκεται η οδός της Αγία Παρασκευής Αναλυτικά τα τμήματα στο σύνολο του ορύγματος συνοψίζονται σκαριφηματικά στο Σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.2. Κάτοψη σταθμού στην οποία παρουσιάζονται τα ξεχωριστά τμήματα εργασιών.

Οι μετρήσεις που αναλύονται κυρίως αναφέρονται στο ανατολικό τμήμα (τμήμα 1) και δυτικό τμήμα (τμήμα 2) του σταθμού καθώς ήταν τα κρισιμότερα, από άποψης μετακινήσεων και συνολικής ευστάθειας των πρανών, κατά την διάρκεια της κατασκευής. Τα δύο αυτά τμήματα θεωρούνται τα κρισιμότερα για τους εξής λόγους: (α) Το βάθος εκσκαφής γίνεται μέγιστο στην εν λόγω περιοχή και ίσο με 24 m, (β) το βάθος έμπιξης των πασσάλων στο τελευταίο στάδιο εκσκαφής είναι το ελάχιστο και ίσο με 3.5 m, και (γ) η μεγάλη μήκους ευθύγραμμη διάταξη των πασσάλων στο νοτιοανατολικό τμήμα του σταθμού, 53 m περίπου, ακυρώνει την τοξωτή λειτουργία του εδάφους κατά την διαμήκη διεύθυνση (κάθετα στην διατομή).

Το προσωρινό σύστημα αντιστηρίξεως αποτελείται από συστοιχία πάσσαλων και από προεντεταμένα αγκύρια, των οποίων ο αριθμός ανά τις διάφορες διατομές του σταθμού, το υψόμετρο, η γωνία κλίσεως, και η δύναμη προεντάσεως καθορίστηκαν στη μελέτη σχεδιασμού. Η διάταξη των πασσάλων φαίνεται στο Σχήμα 4.3.

Για τη λεπτομερέστερη παρουσίαση των εργασιών η κατασκευαστική διαδικασία προσωρινής αντιστήριξης χωρίστηκε σε 7 διαφορετικές φάσεις. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι εργασίες που έγιναν στα τμήματα 1,2 και 3 καθώς εκεί βρίσκεται η τομή που επιλέχτηκε για τις αναλύσεις στο PLAXIS.





#### 4.2.1 Φάση 0

Σε αυτή τη φάση πραγματοποιήθηκε η διάτρηση και σκυροδέτηση 154 πασσάλων περιμετρικά του σταθμού, εκσκαφή σε βάθος 1m, κατασκευή του κεφαλόδεσμου και του τοιχίου αυτού. Η διάμετρος των πασσάλων, όπως αναφέρθηκε είναι από  $d=0,80$  έως 1,00m, ενώ το μήκος και το βάθος έμπιξής τους ποικίλει ανάλογα με τις επιτόπου συνθήκες.

#### 4.2.2 Φάση 1

Πραγματοποιήθηκε η πρώτη φάση εκσκαφής σε όλη την έκταση του σταθμού από τα 195,77 m στα 192,7 m. Στη συνέχεια ακολούθησε διάτρηση αγκυρίων στους πασσάλους σε υψόμετρο 193,7 m σε όλη την περίμετρο του ορύγματος. Το μήκος των αγκυρίων ήταν 28,55 m με κλίση  $15^{\circ}$ . Μετά από αυτή, αλλά και κάθε φάση εκσκαφής, στα κατακόρυφα πρηνή ακολουθούσε αντιστήριξη με τοποθέτηση διπλού πλέγματος T188 και εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος C20/25 πάχους 15 εκατοστών. Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου παρουσιάζεται μία κατά πλάτος τομή (Σχήμα 4.4), όπου δείχνει για κάθε φάση τα ύψη εκσκαφής, τα ύψη έμπιξης, τα μήκη και τη γωνία κλίσης των αγκυρίων.

#### 4.2.3 Φάση 2

Συνεχίστηκε η εκσκαφή από το υψόμετρο 192,7m έως 188,6 m. Πραγματοποιήθηκε η εγκατάσταση και τάνυση των προεντεταμένων αγκυρίων των πασσάλων σε υψόμετρο 189,6 m. Το μήκος των αγκυρίων ήταν 26,4 m με κλίση  $15^{\circ}$ . Κατά τη διάρκεια κάθε φάσης ανάμεσα στα αγκύρια έγιναν διατρήσεις αποστραγγιστικών οπών μήκους 5 μέτρων, με κλίση  $10^{\circ}$  και φοράς αντίθετης αυτής των αγκυρίων, με σκοπό την εκτόνωση των πλευρικών ωθήσεων, ανά αποστάσεις που κρίνονταν κατάλληλες επί τόπου.

#### 4.2.4 Φάση 3

Από αυτή τη φάση και μετά η εκσκαφή άρχισε να πραγματοποιείται τμηματικά, και όχι στο σύνολο της επιφάνειας του ορύγματος, ανάλογα με τις ανάγκες και τις προδιαγραφές του έργου. Οι βασικές περιοχές εκσκαφής και για τις επόμενες φάσεις είναι αυτές των δύο πλευρικών τάφρων (τμήμα 1 ανατολική πλευρά και τμήμα 2 δυτική πλευρά) εκατέρωθεν της σήραγγας και με ακραίο όριο τους πασσαλότοιχους, με πλάτος πυθμένα 5,00 m, ώστε να

παραμένει άνωθεν της σήραγγας τραπεζοειδές πρίσμα γαιών (τμήμα 3α 3β), το βάρος του οποίου είναι αναγκαίο για τον περιορισμό των κατακόρυφων μετακινήσεων (ανυψώσεων) της σήραγγας εντός των επιτρεπομένων ορίων κατά την περίοδο λειτουργίας της γραμμής. Επιπλέον υπήρξαν δυο τμήματα στα οποία πραγματοποιήθηκαν ξεχωριστές εργασίες. Αυτή της δυτικής εισόδου (τμήμα 4) και αυτής της νότιας εισόδου (τμήμα 5α και 5β). Σκαριφηματικά τα τμήματα αυτά εμφανίζονται στο σχήμα 4.2 της παρούσας παραγράφου. Όπως τονίστηκε και προηγουμένως για τη παρούσα διπλωματική εργασία θα αναλυθούν μόνο τα τμήματα 1,2 και 3.

Από τη παρούσα φάση ξεκινάει και η άντληση των υπογείων υδάτων καθώς η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται στο +188 άρα πλέον η εκσκαφή βρίσκεται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Η άντληση των υδάτων έγινε με την κατασκευή τάφρων βάθους 1 m περίπου και διαστάσεων 1\*1, στις οποίες τοποθετήθηκε μία αντλία 3 ιντσών. Διαμέσου σωλήνα PVC 2,5 ιντσών, τα αντλούμενα ύδατα, οδηγήθηκαν σε δεξαμενή καθίζησης και από εκεί με βαρυτικό αγωγό σε φρεάτιο του δικτύου όμβριων της οδού. Ομοίως μετά το τέλος κάθε φάσης εκσκαφής στο τελικό υψόμετρο ακολουθούνταν παρόμοια διαδικασία για την άντληση των υδάτων.

Αναλυτικότερα οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν στις τρεις περιοχές στην Φάση 3 είναι:

1. Το τμήμα 1 (ανατολική πλευρά) όπου πραγματοποιήθηκε εκσκαφή μέχρι το +185,6m και έγινε τοποθέτηση και τάνυση προεντεταμένων αγκυρίων των πασσάλων στο +186,5 m. Το μήκος των αγκυρίων ήταν 24,75 m με κλίση  $15^{\circ}$ .
2. Το τμήμα 2 (δυτική πλευρά) στην οποία η εκσκαφή προχώρησε έως το +183,5 m και έγινε τοποθέτηση και τάνυση προεντεταμένων αγκυρίων των πασσάλων στο +184,5 m. Το μήκος των αγκυρίων ήταν 23,65 m με κλίση  $15^{\circ}$ .
3. Το τμήμα 3 πάνω από την υφιστάμενη σήραγγα όπου η εκσκαφή σταμάτησε στο +188,6 m, με εξαίρεση ένα τμήμα μήκους 12m (τμήμα 3 β) που εκσκάφθηκε έως το +185,6 m και ξεκίνησε η διάτρηση των δοκών προπορείας για την κατασκευή του Νότιου Φρέατος Εξαερισμού.

#### 4.2.5 Φάση 4

Στην φάση 4 πραγματοποιήθηκαν οι κάτωθι εργασίες, αναφερόμενοι πάντα στις τρεις ενδιαφερόμενες περιοχές :

Στο τμήμα 1 (ανατολική πλευρά) πραγματοποιήθηκε εκσκαφή έως το υψόμετρο +182,2 m έγινε τοποθέτηση και τάνυση μίας επιπλέον σειράς προεντεταμένων αγκυρίων των πασσάλων στο +184,5 m. Το μήκος των αγκυρίων ήταν 23,1m με κλίση 15°

2.Στο τμήμα 2 (δυτική πλευρά) δεν πραγματοποιήθηκε καμία εργασία.

3.Στο τμήμα 3 (πάνω από τη υφιστάμενη σήραγγα) δεν πραγματοποιήθηκε περαιτέρω εκσκαφή και άρχισαν να διαμορφώνονταν τα πρανή του κεντρικού πρίσματος με την εκσκαφή της ανατολικής και δυτικής πλευράς.

#### 4.2.6 Φάση 5

Στην φάση 5 πραγματοποιήθηκαν οι κάτωθι εργασίες, αναφερόμενοι πάντα στις τρεις ενδιαφερόμενες περιοχές :

1.Στο τμήμα 1 (ανατολική πλευρά) η εκσκαφή προχώρησε έως τα +178,8 m και τοποθετήθηκε σειρά αγκυρίων στα +180 m τα οποία τανύθηκαν και προεντετάθηκαν. Το μήκος των αγκυρίων ήταν 21,3 m με κλίση 15°.

2.Ομοίως στο τμήμα 2 (δυτική πλευρά) η εκσκαφή έφτασε έως στα +178,8 m και τοποθετήθηκε σειρά αγκυρίων στα +180 m τα οποία τανύθηκαν και προεντετάθηκαν. Το μήκος των αγκυρίων ήταν 21,3 m με κλίση 15°.

3.Στην περιοχή πάνω από τη σήραγγα (τμήμα 3) δεν υπήρχε περαιτέρω εκσκαφή. Σε όλο το χρονικό διάστημα κατά το οποίο δεν πραγματοποιήθηκαν εργασίες εκσκαφής, το συγκεκριμένο τμήμα χρησιμοποιήθηκε, με την κατάλληλη διαμόρφωση ράμπας, ως διάδρομος κίνησης των φορτηγών για απομάκρυνση των προϊόντων εκσκαφής

#### 4.2.7 Φάση 6

Από αυτό τη φάση σταμάτησε η λειτουργία του μετρό και ξεκίνησε η καθαίρεση των δικτύων, η αποσυναρμολόγηση και απομάκρυνση τροχιών και εξαρτημάτων στην υφιστάμενη σήραγγα. Κατά την καθαίρεση της υφιστάμενης σήραγγας, που είχε διανοιχθεί με TBM προκειμένου να εξασφαλιστεί η συγκράτηση και ενίσχυση των τριών πρώτων δακτυλίων των προκατασκευασμένων στοιχείων της παραμένουσας σήραγγας, πραγματοποιήθηκε η τοποθέτηση ισάριθμων μεταλλικών δακτυλίων αμέσως μετά το

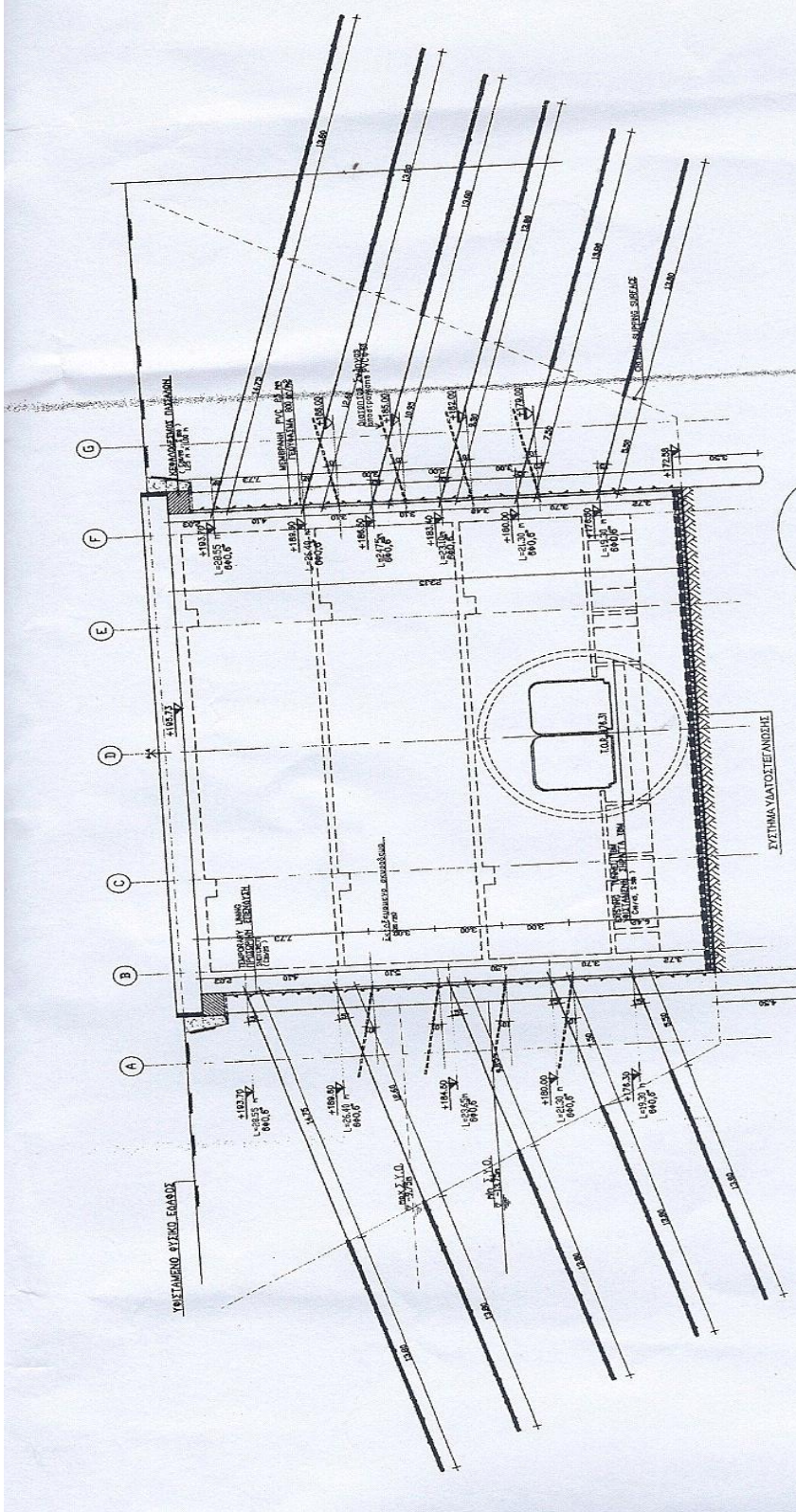
πέρας του νοτίου φρέατος εξαερισμού με εσωτερικά κυκλικά χαλύβδινα τόξα, των οποίων η ακαμψία ενισχύθηκε με διάταξη εσωτερικής δικτύωσης από οριζόντιες, κατακόρυφες και λοξές ευθύγραμμες ράβδους.

Οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν και μας ενδιαφέρουν στις 3 περιοχές της προκείμενης φάσης είναι:

1. Εκσκαφή στη ανατολική πλευρά έως τα 175,6 m, τοποθέτηση και τάνυση προεντεταμένων αγκυρίων των πασσάλων στα 176,3 m. Το μήκος των αγκυρίων ήταν 19,3 m με κλίση  $15^{\circ}$ .
2. Ομοίως εκσκαφή στην δυτική πλευρά έως τα 175,6 m, τοποθέτηση και τάνυση προεντεταμένων αγκυρίων των πασσάλων στα 176,3 m. Το μήκος των αγκυρίων ήταν 19,3 m με κλίση  $15^{\circ}$ .
3. Στην περιοχή επάνω από την υφιστάμενη σήραγγα πραγματοποιήθηκε εκσκαφή του τραπεζίου από τα 188,6 m που ήταν στα 175,6 m και καθαιρέθηκε το άνω μέρος της σήραγγας του Μετρό (μέχρι το ύψος της εκσκαφής δηλαδή τα 175,6m).

#### 4.2.8 Φάση 7

Σε αυτή τη φάση, η εκσκαφή προχώρησε στο σύνολο του ορύγματος στα 172,58m, δηλαδή στη τελική στάθμη του σταθμού. Πραγματοποιήθηκε διάστρωση εκτοξευόμενου σκυροδέματος στους πασσάλους, χωρίς εγκατάσταση προεντεταμένων αγκυρίων. Συνεχίστηκε τμηματικά η καθαίρεση της σήραγγας καθώς και οι εργασίες διάνοιξης και κατασκευής του νότιου φρέατος εξαερισμού. Παρατίθεται κατά πλάτος τομή (Σχήμα 4.4) που δείχνει όλες τις φάσεις εκσκαφής.



Σχήμα 4.4. Κατά πλάτος τομή του σταθμού των 7 φάσεων εκσκαφής.

## **5 Πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων Plaxis 2D και εφαρμογή του στην κατασκευή του σταθμού μετρό της Αγίας Παρασκευής.**

### **5.1 Γενικά στοιχεία**

Το Plaxis είναι ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμεύει για την επίλυση γεωτεχνικών προβλημάτων με χρήση δυσδιάστατων αναλύσεων παραμορφώσεων και τάσεων. Χωρίζεται σε 4 υποπρογράμματα: α) Εισαγωγή δεδομένων (Input), β) Εκτέλεση υπολογισμών (Calculations), γ) Εξαγωγή αποτελεσμάτων (Output), δ) Παραγωγή διαγραμμάτων (Curves). Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει αρχικά μία θεωρητική παρουσίαση του λογισμικού Plaxis. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα βήματα που ακολουθούνται στα τέσσερα υποπρογράμματα μαζί με τις παραμέτρους που χρειάζονται από το πρόγραμμα ώστε να πραγματοποιηθούν οι αναλύσεις.

### **5.2 Παρουσίαση του λογισμικού PLAXIS**

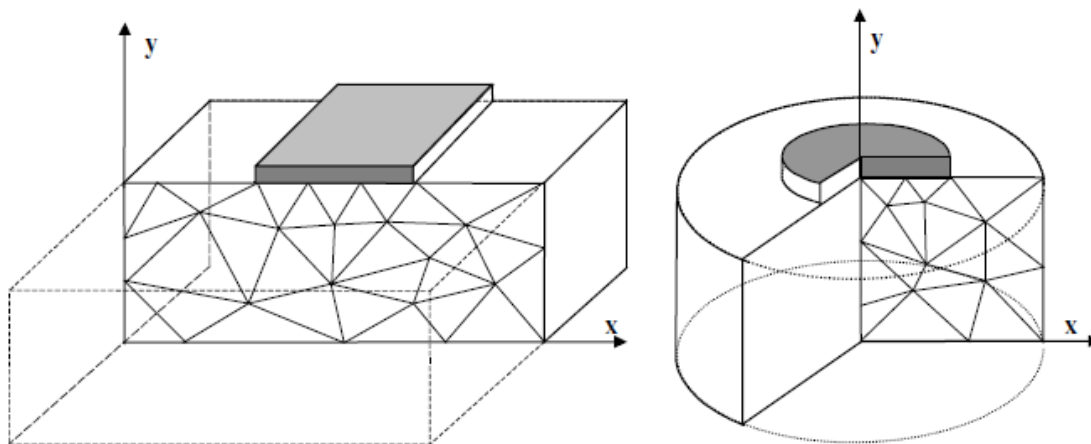
#### Θεωρητικό υπόβαθρο αναλύσεων- διακριτοποίηση εδαφικού μέσου

Για την επίλυση γεωτεχνικών προβλημάτων με τη χρήση του Plaxis, 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 στου κόμβους. Για την περιγραφή της συμπεριφοράς των στοιχείων που προκύπτουν από τη διακριτοποίηση τους συνεχούς μέσου χρησιμοποιούνται μαθηματικά προσωμοιώματα (Ρίζος, 2010).

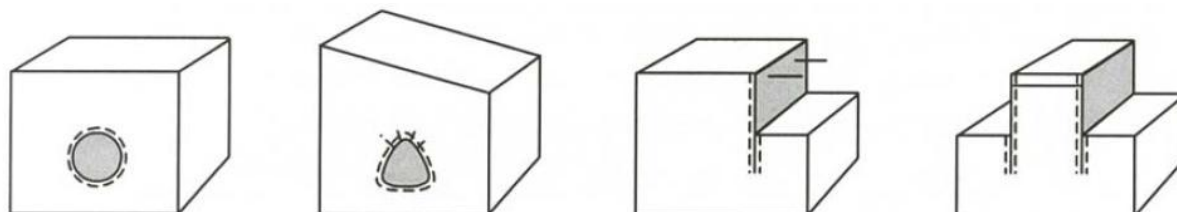


Η προσομοίωση φυσικών προβλημάτων στον κώδικα πεπερασμένων στοιχείων PLAXIS βασίζεται στη μόνωση δισδιάστατων αξονοσυμμετρικών προσομοιωμάτων (axisymmetric model) ή δισδιάστατων προσομοιωμάτων πεπερασμένων στοιχείων με επίπεδη παραμόρφωση (plane strain model) με δύο βαθμούς ελευθερίας σε κάθε κόμβο ( $\chi$  και  $\psi$  διεύθυνση). Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα και των δύο μορφών προσομοιωμάτων φαίνονται στο Σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.1. Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα διδιάστατου προσομοιώματος πεπερασμένων στοιχείων με επίπεδη παραμόρφωση και διδιάστατου αξονοσυμμετρικού προσομοιώματος (Plaxis, 2009).

Για τη διακριτοποίηση του χώρου που περιλαμβάνει εδαφικά υλικά, απαραίτητη θεωρείται η προσομοίωση της συμπεριφοράς τμημάτων κατασκευών, όπως είναι οι τοίχοι αντιστήριξης, πλάκες, κελύφη. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ανάλογων στοιχείων πλακών (plate elements), (Σχήμα 5.2). Οι πλάκες είναι κατασκευαστικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται για να προσομοιώσουν λεπτές κατασκευές με δυσκαμψία και αξονική ακαμψία που εκτείνονται στη Z-διεύθυνση (Ρίζος 2010).



Σχήμα 5.2. Εφαρμογές γεωτεχνικών αναλύσεων στις οποίες χρησιμοποιούνται στοιχεία πλακών, αγκυρίων και διεπιφάνειας (Plaxis, 2009).

Αρχικά οι σημαντικότεροι παράμετροι των ιδιοτήτων των υλικών των πλακών περιλαμβάνουν την καμπτική δυσκαμψία EI και τη δυστένεια EA.

Η αξονική δυσκαμψία (EA) και η καμπτική δυσκαμψία (EI) των πασσάλων προκύπτει από τους τύπους:

$$EA_1 = \frac{E(\text{kPa}) \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4} (\text{m}^2)}{x(\text{m})}$$

$$EI_1 = \frac{E(\text{kPa}) \cdot \pi \cdot \frac{d^4}{64} (\text{m}^4)}{x(\text{m})}$$

όπου

d: Διάμετρος πασσάλων (m)

x: Απόσταση πασσάλων (m)

E: Μέτρο Ελαστικότητας υλικού (kPa)

Η αξονική δυσκαμψία (EA) και η καμπτική δυσκαμψία (EI) του τοιχίου μεταξύ των πασσάλων προκύπτει από τους τύπους:

$$EA_2 = \frac{E(\text{kPa}) \cdot (x - d) \cdot w (\text{m}^2)}{x(\text{m}^2)}$$

$$EI_2 = \frac{E(\text{kPa}) \cdot \frac{(x - d) \cdot w^3}{12} (\text{m}^4)}{x(\text{m}^2)}$$

όπου

d: Διάμετρος πασσάλων (m)

x: Απόσταση πασσάλων (m)

w: Πάχος τοιχίου (m)

E: Μέτρο ελαστικότητας τοιχίου (kPa)

Η συνολική αξονική δυσκαμψίας (EA) αλλά και καμπτική δυσκαμψία (EI) προκύπτει από το άθροισμα των δύο ανωτέρων όρων.

Από αυτές τις δύο παραμέτρους υπολογίζεται επίσης και το ισοδύναμο πάχος πλάκας  $d_{\text{equal}}$  από την εξίσωση:

$$de_{\text{equal}} = \sqrt{\frac{12 EI}{EA}}$$

Όσον αφορά τη δυστένεια του αγκυρίου, αυτή υπολογίζεται από το τύπο :

$$EA = E \cdot A_s$$

Όπου

E: Μέτρο ελαστικότητας αγκυρίου (kPa)

A<sub>s</sub>: Συνολική επιφάνεια διατομής (cm)

Τέλος η δυστένεια του πακτωμένου τμήματος του αγκυρίου υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\sum EA = E_b \cdot A_b + E \cdot A_s = E_b \cdot \left( \frac{\pi \cdot d^2}{4} - A_s \right) 10^{-4} \text{ m}^2 + E \text{ (kPa)} \cdot A_s \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Όπου

d : διάμετρος του βολβού πάκτωσης (cm)

A<sub>s</sub>: Συνολική επιφάνεια διατομής (cm)

E: Μέτρο ελαστικότητας αγκυρίου (kPa)

E<sub>b</sub>: Μέτρο ελαστικότητας τσιμεντοκονιάματος (kPa)

Η παραπάνω τιμή αναφέρεται σε μεμονωμένο αγκύριο. Η τιμή που καταχωρείται στο πρόγραμμα αναφέρεται στη δυστένεια αγκυρίου ανά τρέχον μέτρο. Επομένως η τιμή είναι:

$$EA = \frac{\sum EA \text{ (kN)}}{x \text{ (m)}}$$

### 5.2.1 Καταστατικοί νόμοι συμπεριφοράς εδάφους

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

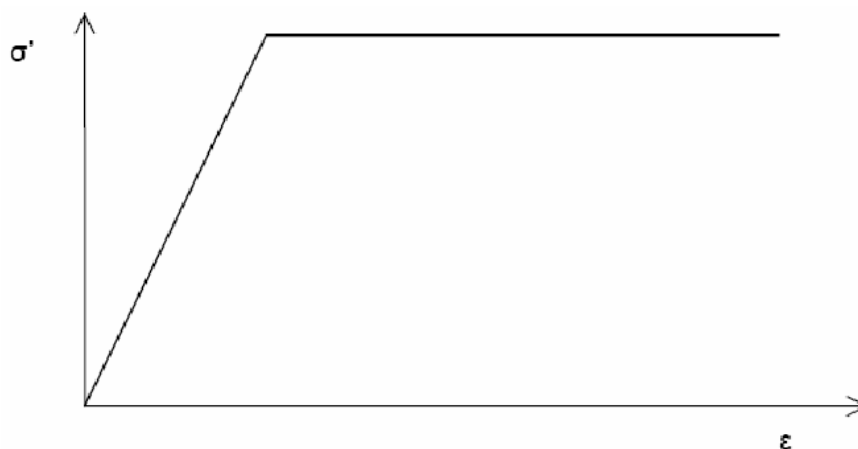
**Linear Elastic:** Πρόκειται για ένα γραμμικό ελαστικό μοντέλο, το οποίο ακολουθεί το νόμο του Hooke και εκφράζεται από δύο παραμέτρους:

- E: μέτρο ελαστικότητας
- V: λόγος Poisson

Γενικά αυτό το μοντέλο είναι μη ρεαλιστικό και πρέπει να περιορίζεται η χρήση του για προσομοίωση του εδάφους.

**Mohr-Coulomb:** Πρόκειται για ένα ελαστικό-τέλεια πλαστικό μοντέλο (Σχήμα 5.3). Χρησιμοποιείται για μία 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 ( $\text{kN/m}^3$ )
- $\nu$ : λόγος του Poisson
- $\phi$ : γωνία εσωτερικής τριβής ( $^\circ$ )
- c: συνοχή ( $\text{kN/m}^2$ )
- $\psi$ : γωνία διογκωσιμότητας ( $^\circ$ )



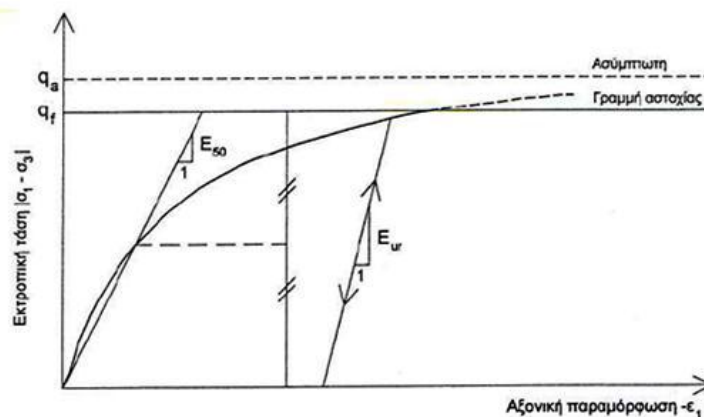
Σχήμα 5.3. Βασική ιδέα ενός ελαστικού-τέλεια πλαστικού μοντέλου.

**Joined rock model:** Είναι ένα ανισοτροπικό ελαστικό τέλεια πλαστικό μοντέλο το οποίο προσημειώνει τη συμπεριφορά της βραχομάζας, συμπεριλαμβανομένου των ασυνεχειών (στρώση σχιστότητα, διακλάσεις). Μπορεί να λάβει υπόψη του έως τρία συστήματα ασυνεχειών. Κάθε σύστημα έχει τις δικές τους παραμέτρους c και  $\phi$ . Ο άρρηκτος βράχος θεωρείται ότι συμπεριφέρεται ελαστικά με σταθερές τις παραμέτρους

E, ν. Μειωμένες μηχανικά χαρακτηριστικά μπορεί να οριστούν για μία εκ των διευθύνσεων, την θεωρούμενη ως διεύθυνση στρώσης.

**Hardening soil model:** Πρόκειται για ένα μοντέλο με ενσωματωμένο νόμο κράτυνσης, διατμητικής και σφαιρικής συνιστώσας. Η σχέση τάσεων- παραμορφώσεων απεικονίζεται από την υπερβολή του σχήματος 5.4 . Μερικά βασικά χαρακτηριστικά του μοντέλου είναι τα παρακάτω:

- Δυσκαμψία που εξαρτάται από την τάση σύμφωνα με έναν εκθετικό νόμο (παράμετρο εισαγωγής- $m$ )
- Πλαστικές παραμορφώσεις εξαιτίας κύριας συμπίεσης (παράμετρος εισαγωγής- $E_{50,ref}$ )
- Πλαστικές παραμορφώσεις εξαιτίας κύριας συμπίεσης (παράμετρος εισαγωγής- $E_{oed-ref}$ )
- Ελαστική αποφόρτιση-επαναφόρτιση (παράμετρος εισαγωγής- $E_{ur,ref}, \nu_{ur}$ )
- Αστοχία βάση του κριτηρίου Mohr-Coulomb (παράμετροι εισαγωγής  $c, \phi, \psi$ )



Σχήμα 5.4. Υπερβολή μοντέλου κρατυνόμενης ελαστοπλαστικής συμπεριφοράς.

**Hardening soil model with small-strain stiffness:** Το μοντέλο με μικρές παραμορφώσεις είναι μία τροποποίηση του παραπάνω μοντέλου το οποίο λαμβάνει υπόψη του τις αυξημένες τιμές δυσκαμψίας στις μικρές παραμορφώσεις. Σε μικρά επίπεδα παραμόρφωσης τα περισσότερα εδάφη επιδεικνύουν μία υψηλότερη ακαμψία από ότι στα φορτία λειτουργίας. Αυτή η συμπεριφορά περιγράφεται στο μοντέλο με τη προσθήκη δυο επιπλέον παραμέτρων που περιγράφουν τη διαδρομή των τάσεων,

το μέτρο διάτμησης για μικρές παραμορφώσεις,  $G^{ref}$  και μια παράμετρο που ορίζει το επίπεδο τάσεων στο οποίο το μέτρο διάτμησης είναι μειωμένο κατά 70%,  $\gamma_{0.7}$ .

**Soft soil creep model:** Πρόκειται για ένα μοντέλο για τη περιγραφή μαλακών εδαφών με θεώρηση του φαινομένου του ερπυσμού. Μπορεί να περιγράψει μαλακά εδάφη τα οποία η συμπεριφορά τους εξαρτάται από το χρόνο όπως κανονικά στερεοποιημένες αργίλους.

Στον συγκεκριμένο καταστατικό νόμο, το πρόγραμμα χρησιμοποιεί ως βασικό δείκτη της δυσκαμψίας του εδαφικού υλικού, το μέτρο ελαστικότητας του Young (E). Οι τιμές που επιλέγονται για το μέτρο ελαστικότητας που εισάγεται στους υπολογισμούς, πρέπει αν έχουν μελετηθεί επαρκώς, δεδομένου ότι τα περισσότερα εδαφικά υλικά εμφανίζουν μη γραμμική συμπεριφορά από τα πρώτα κιόλας βήματα φόρτισης.

**Soft soil model:** Πρόκειται για ένα μοντέλο συμπεριφοράς μαλακών εδαφών και δίνει ρεαλιστικότερα αποτελέσματα σε περιπτώσεις κανονικά στερεοποιημένων εδαφών και πρωτογενών φορτίσεων.

**Modified Cam- Clay model:** Χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση αργιλικών εδαφών. Αυτό το μοντέλο εντάχθηκε πρόσφατα στο Plaxis έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα σύγκρισης με άλλους κώδικες.

### 5.3 Εισαγωγή δεδομένων-input program

Σε αυτή τη παράγραφο γίνεται μία αναλυτική παρουσίαση όλων των δεδομένων που χρειάζονται εισαγωγή στο πρόγραμμα. Τα δεδομένα εισαγωγής αναφέρονται στη διαδικασία κατασκευής που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Η διαδικασία επίλυσης έχει τα εξής στάδια: Αρχικά κατασκευάζεται το γενικό περίγραμμα του χώρου στον οποίο πραγματοποιήθηκε η εκσκαφή και γίνεται ο διαχωρισμός των εδαφικών στρωμάτων, όπως προκύπτουν από τις γεωτρήσεις. Το σχήμα της κατασκευής έχει δοθεί στη παράγραφο 3.4. Στη συνέχεια εισάγεται ο διαφραγματικός, τα ακύρια στα προβλεπόμενα ύψη και μήκη και διαχωρίζονται τα επτά

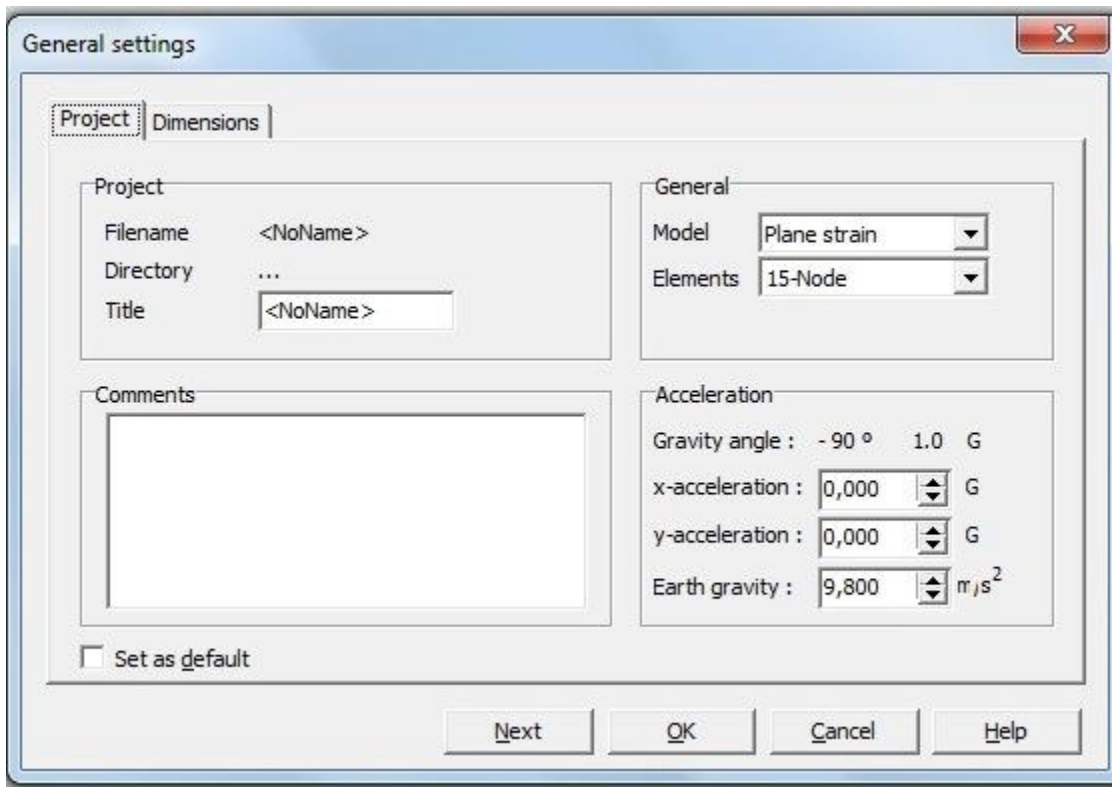


κατασκευαστικά στάδια. Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται ώστε το μοντέλο επίλυσης να μην περιλαμβάνει μόνο την αρχική κατάσταση. Τοποθετούνται οι συνοριακές συνθήκες και τέλος εισάγονται οι ιδιότητες των εδαφικών στρωμάτων των αγκυρίων και του διαφραγματικού τοίχου. Παρακάτω παρατίθεται αναλυτικά όλη η διαδικασία.

### 5.3.1 Εισαγωγή "General Settings"

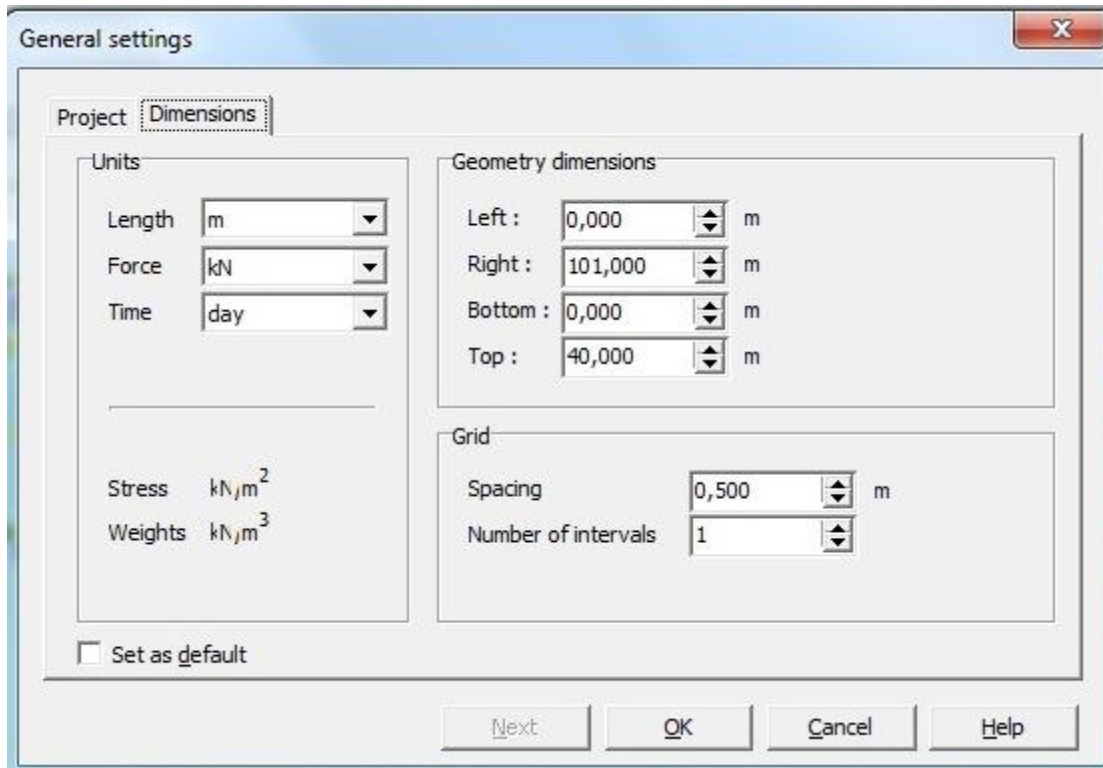
Μετά την εκκίνηση του προγράμματος και αφού έχει γίνει η επιλογή "New Project" εμφανίζεται το παράθυρο "General Settings" το οποίο αποτελείται από δύο φύλλα.

Στο πρώτο φύλλο "Project" (Σχήμα 5.5) δίνεται ο τίτλος του αρχείου ("title") καθώς και κάποιες παρατηρήσεις που πιθανώς να χρειάζονται ("Comments"). Στο πεδίο "General" επιλέγεται το μοντέλο επίπεδης παραμόρφωσης ή αξονομετρικού προσομοιώματος και τον αριθμό των πεπερασμένων στοιχείων του καννάβου. Σε αυτήν τη περίπτωση επιλέγεται "Model"- Plaine strain και "Elements"-15Node. Στο πεδίο "Acceleration" δεν χρειάζεται να προστεθούν κάποιες τιμές γιατί στο πλαίσιο της παρούσας ανάλυσης δεν πραγματοποιούνται επιλύσεις για δυναμικές φορτίσεις.



Σχήμα 5.5. Εισαγωγή γενικών στοιχείων του μοντέλου.

Στο δεύτερο φύλλο “Dimensions” (Σχήμα 5.6) στο πεδίο “Units” προσδιορίζονται οι μονάδες των μεγεθών. Επιλέγεται για Length-m, Force-kN, Time-s. Στο πεδίο “Geometry dimensions” γίνεται η εισαγωγή των διαστάσεων που θα πραγματοποιηθεί η μελέτη (Left-0, Right-101, Bottom 0, top 40) ενώ στο πεδίο “grid” επιλέγεται η απόσταση και ο αριθμός των διαστημάτων του καννάβου. Σε αυτήν την περίπτωση επιλέγεται Spacing-0,5 και “Number of intervals”-1. Αφού ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται επικύρωση με το “ok” και εμφανίζεται ένα παράθυρο “Input” στο οποίο δημιουργείται το γεωμετρικό μοντέλο.



Σχήμα 5.6. Εισαγωγή βασικών διαστάσεων σχεδίασης.

### 5.3.2 Βασικό παράθυρο Σχεδιασμού-Εισαγωγή γεωμετρίας

Σε αυτή τη παράγραφο πραγματοποιείται αρχικά η περιγραφή των απαραίτητων εικονιδίων και των επιδράσεων που έχουν στο γεωμετρικό μοντέλο ( Σχήμα 5.7) . Στη συνέχεια παρουσιάζεται η γεωμετρία του προβλήματος, όπου εξετάζεται στη παρούσα διπλωματική.

Με το εικονίδιο “Geometry line” ορίζεται το περίγραμμα μελέτης του συγκεκριμένου μοντέλου καθώς επίσης μέσω αυτού γίνεται ο διαχωρισμός των στρώσεων του εδάφους και των διαφορετικών σταδίων εκσκαφής

Με το εικονίδιο “Plate” σχεδιάζονται οι διαφραγματικοί τοίχοι.

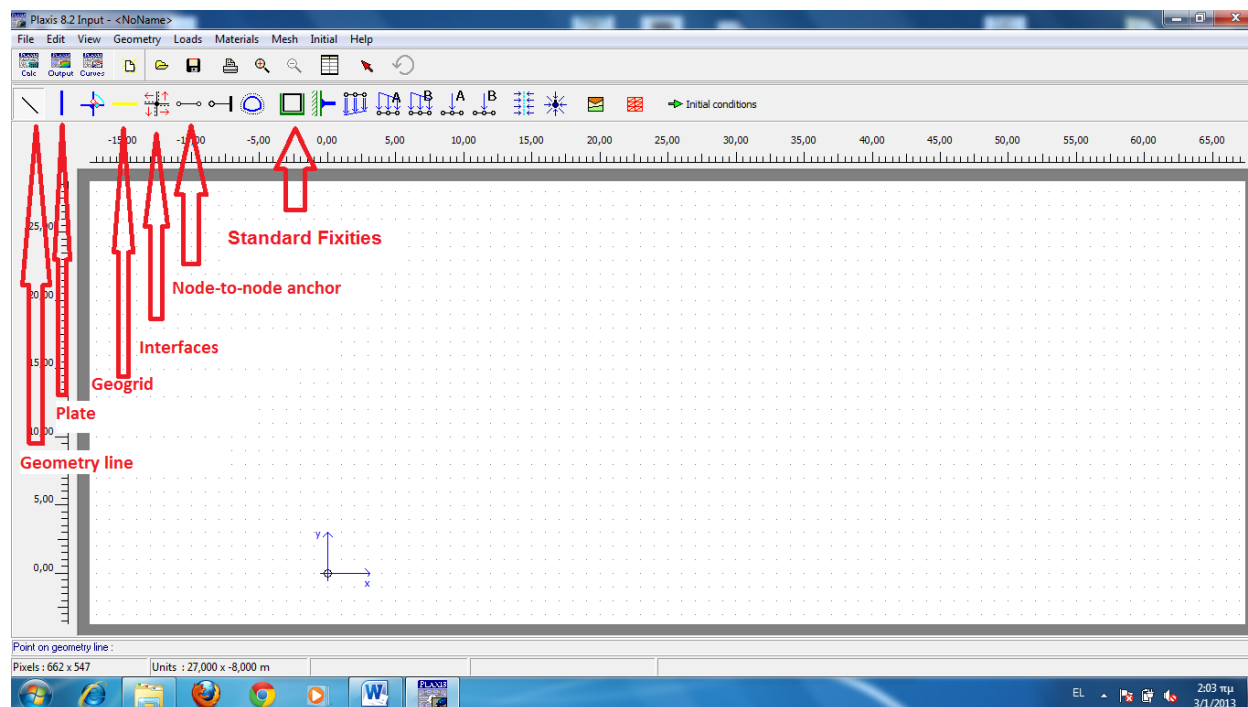
Με το εικονίδιο “Interfaces” ορίζεται η διεπαφή ανάμεσα στους διαφραγματικούς τοίχους και το έδαφος.

Με το εικονίδιο “node-to-node-anchor” επιτυγχάνεται η εισαγωγή των αγκυρίων ενώ με το “geogrid” επιτυγχάνεται η εισαγωγή του πακτωμένου τμήματος των αγκυρίων. Γενικά το Plaxis χρησιμοποιεί γεώφασμα για την προσωμοίωση αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης. Το γεώφασμα λειτουργεί ως ελαστικό μέσο και υποβάλλεται μόνο σε εφελκυστικές και σε θλιπτικές τάσεις.

Τέλος με το εικονίδιο “Standard Fixities” δημιουργούνται οι συνοριακές συνθήκες. Με την εντολή αυτή ενεργοποιούνται οι εξής κανόνες (Ρίζος Π, 2010):

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, με τις οποίες η  $\psi$ - συντεταγμένη είναι ίση με την χαμηλότερη τιμή της  $\psi$ - συντεταγμένης στο μοντέλο, και αποκτά πάκτωση ( $u_x=u_\psi=0$ ). Δοκοί οι οποίες φτάνουν και τέμνουν το σύνορο του γεωμετρικού μοντέλου υφίστανται δέσμευση της στροφής ( $\varphi_z=0$ ) στο συγκεκριμένο σημείο του συνόρου, εάν το σημείο αυτό είναι δεσμευμένο τουλάχιστον κατά μία διεύθυνση.

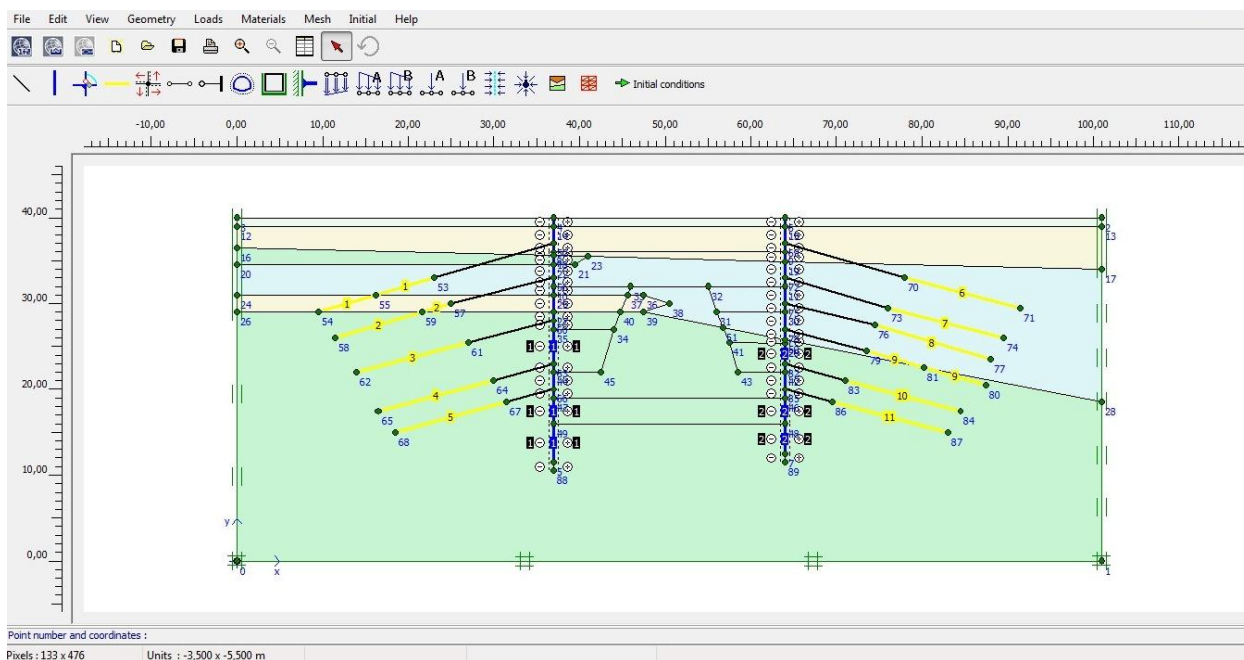


Σχήμα 5.7. Βασικό παράθυρο σχεδιασμού. Προσδιορισμός γραμμής εργαλείων.

Το πλάτος της εκσκαφής του σταθμού μετρό της Αγίας Παρασκευής κυμαίνεται από 27m έως 47 m. Στην επιλεγμένη διατομή που εξετάζεται στο Plaxis το πλάτος ανέρχεται στα 27 m. Το συνολικό ύψος των πασσάλων (συνυπολογίζοντας και το ύψος έμπιξης ) είναι 28,5 m για τη δυτική και 27,5m για την ανατολική πλευρά. Στο Πίνακα 5.1 δίνονται τα μήκη και η δύναμη προέντασης των αγκυριών, που τοποθετήθηκαν με κλίση 15 μοιρών, στις διάφορες φάσεις κατασκευής. Τέλος στο Σχήμα 5.8 δίνεται η βασική γεωμετρία της κατασκευής μαζί με τη στρωματογραφία του εδάφους σε εκείνη τη περιοχή.

Πίνακας 5.1. Μήκη και εφαρμοζόμενα φορτία αγκυριών.

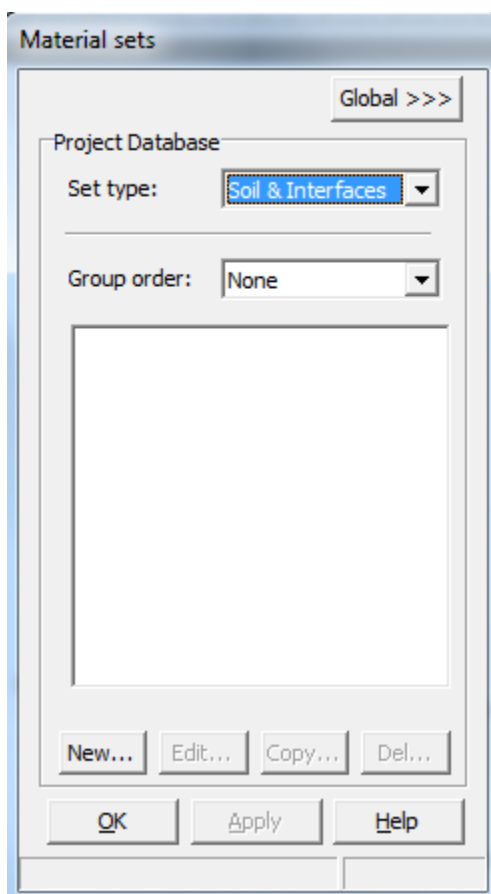
	Δυτική(m)		Ανατολική(m)	
	Μήκος(m)	Pn(kN)	Μήκος(m)	Pn(kN)
1 σειρά	28,55	942	28,55	942
2 σειρά	26,4	942	26,4	942
3 σειρά	23,7	780	24,75	585
4 σειρά	-		23,1	585
5 σειρά	21,3	780	21,3	585
6 σειρά	19,3	780	19,3	585



Σχήμα 5.8. Βασική γεωμετρία προβλήματος.

### 5.3.3 Καθορισμός ιδιοτήτων εδαφικού υλικού, πλακών, αγκυρίων και πακτωμένου τμήματος αγκυρίων.

Αφού κατασκευαστεί η βασική γεωμετρία του μοντέλου, επιλέγεται το εικονίδιο “Material Sets” από τη γραμμή εργαλείων. Αποτέλεσμα αυτής της ενέργειας είναι να ανοίξει ένα νέο παράθυρο (Σχήμα 5.9) στο οποίο παρέχεται η δυνατότητα να δημιουργηθούν υλικά με τα χαρακτηριστικά που έχουν προκύψει από την επεξεργασία των δειγμάτων των γεωτρήσεων που πραγματοποιήθηκε στην παράγραφο 3.3.



Σχήμα 5.9. Καθορισμός ιδιοτήτων εδαφικού υλικού, αγκυρίων και διαφραγματικών τοίχων.

Σε αυτό το παράθυρο στο πεδίο “Project Database” υπάρχει η δυνατότητα διαχωρισμού των δεδομένων των υλικών ανάλογα με τον τύπο στον οποίο αναφέρονται. Επιλέγοντας τη παράμετρο “Set type” εμφανίζονται οι εξής επιλογές:



“Soil and interfaces” για εδάφη και διεπιφάνειες,

“Plate” για πλάκες,

“geogrid” για πακτωμένο τμήμα αγκυρίου,

“Anchors” για αγκύρια.

Αφού γίνει η επιλογή του τύπου που χρειάζεται, επιλέγεται η εντολή “new” με αποτέλεσμα να αναδυθούν νέα παράθυρα. Στη συνέχεια θα αναλυθεί η διαδικασία εισαγωγής των παραμέτρων για κάθε τύπο υλικού ξεχωριστά.

### 5.3.3.1 Καθορισμός εδαφικού υλικού

Αφού επιλεγεί από το “Set type” το “soil and interfaces” κάνουμε αριστερό κλικ στο “new”.

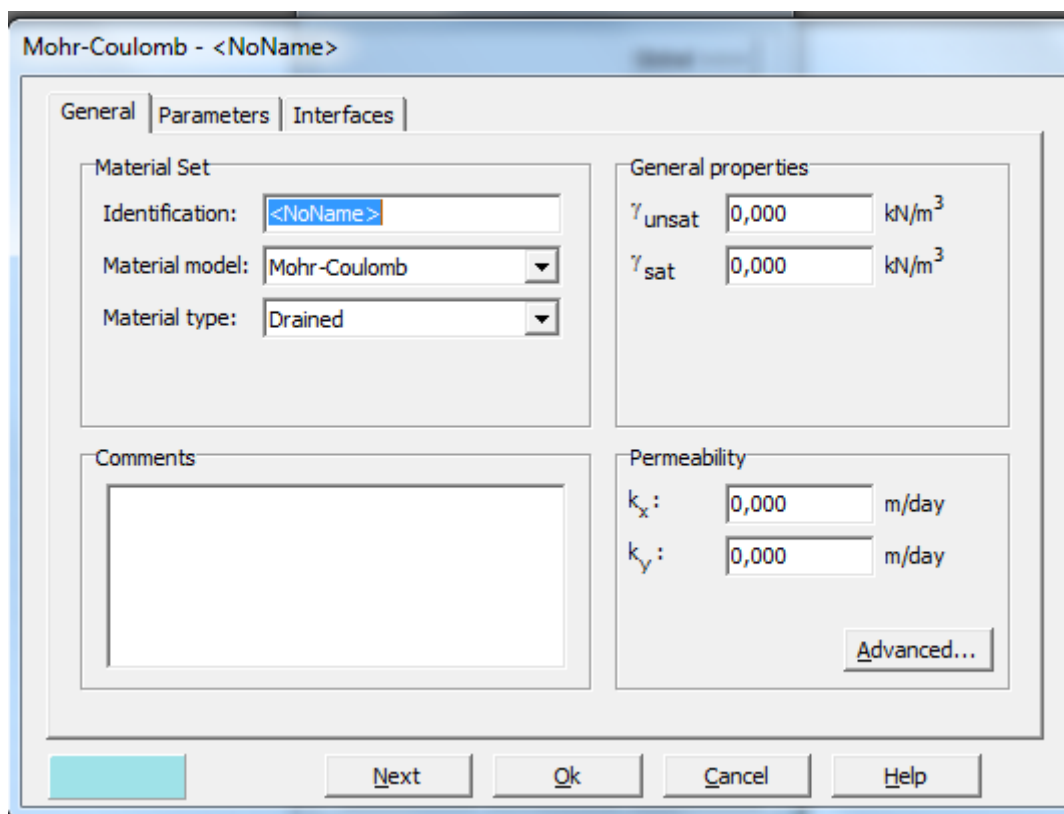
Στο παράθυρο που εμφανίζεται υπάρχουν τρία φύλλα πληροφοριών, τα “General”, “Parameters” και “Interfaces” στα οποία πρέπει να οριστούν πλήρως τα χαρακτηριστικά του κάθε εδαφικού υλικού.

Στο φύλλο “General” (Σχήμα 5.10) στο πεδίο “Material Set” μπορεί να δοθεί ένα όνομα στο εδαφικό υλικό πληκτρολογώντας το στο “identification” και επιπλέον να γίνουν κάποια σχόλια για αυτό στα “Comments”. Η προσομοίωση του εδαφικού υλικού γίνεται σύμφωνα με το ελαστικό- τέλεια πλαστικό καταστατικό νόμο κατά Mohr-Coulomb. Αυτό επιτυγχάνεται επιλέγοντας το “Mohr-Coulomb” από το “Material Model”. Όσο αφορά τις υδρογεωλογικές συνθήκες γίνεται η επιλογή “drained conditions” (στραγγιζόμενες συνθήκες) για όλους τους σχηματισμούς.

Στο πεδίο “General properties” εισάγονται οι τιμές του φαινόμενου βάρους ( $\gamma_{\text{unsat}}$ ) και του κορεσμένου φαινόμενου βάρους ( $\gamma_{\text{sat}}$ ). Τα ειδικά βάρη ενεργοποιούνται με τη βοήθεια του  $\Sigma M_{\text{weight}}$  πολλαπλασιαστή.

Στο πεδίο “Permeability” εισάγονται οι τιμές διαπερατότητας όπως αυτές προκύπτουν από τις δοκιμές διαπερατότητας που έγιναν και απαιτούνται για αναλύσεις στερεοποίησης και υπολογισμού υπόγειας ροής. Το πρόγραμμα κάνει το διαχωρισμό σε

$K_x$  και  $K_\psi$  γιατί σε κάποια είδη υπάρχει σημαντική διαφορά ανάμεσα στην οριζόντια και κατακόρυφη συνιστώσα. Ωστόσο για τη παρούσα εργασία θεωρήθηκε  $K_x = K_\psi$ .



Σχήμα 5.10. Καρτέλα γενικών στοιχείων εδαφικού υλικού.

Στο φύλλο “Parameters” (Σχήμα 5.11) προσδιορίζεται η σκληρότητα και ακαμψία του υλικού.

Στο πεδίο “Stiffness” εισάγεται το μέτρο ελαστικότητας ( $E_{ref}$ ) και ο λόγος Poisson ( $\nu$ ). Στο πεδίο “Alternatives” δε χρειάζεται να πραγματοποιηθεί καμία ενέργεια γιατί οι τιμές του μέτρου διάτμησης ( $G$ ) και του οιδιμετρικού μέτρου ελαστικότητας ( $E_{oed}$ ) υπολογίζονται αυτόματα, μόλις συμπληρωθούν οι τιμές του πεδίου “stiffness”, από τους τύπους:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} \quad \text{και}$$

$$E_{oed} = \frac{(1-\nu) \cdot E}{(1-2\nu) \cdot (1+\nu)}$$

Στο πεδίο “Strength” εισέρχεται η συνοχή ( $c_{ref}$ ), η γωνία τριβής ( $\phi$ ) και η διογκωσιμότητα ( $\psi$ ).

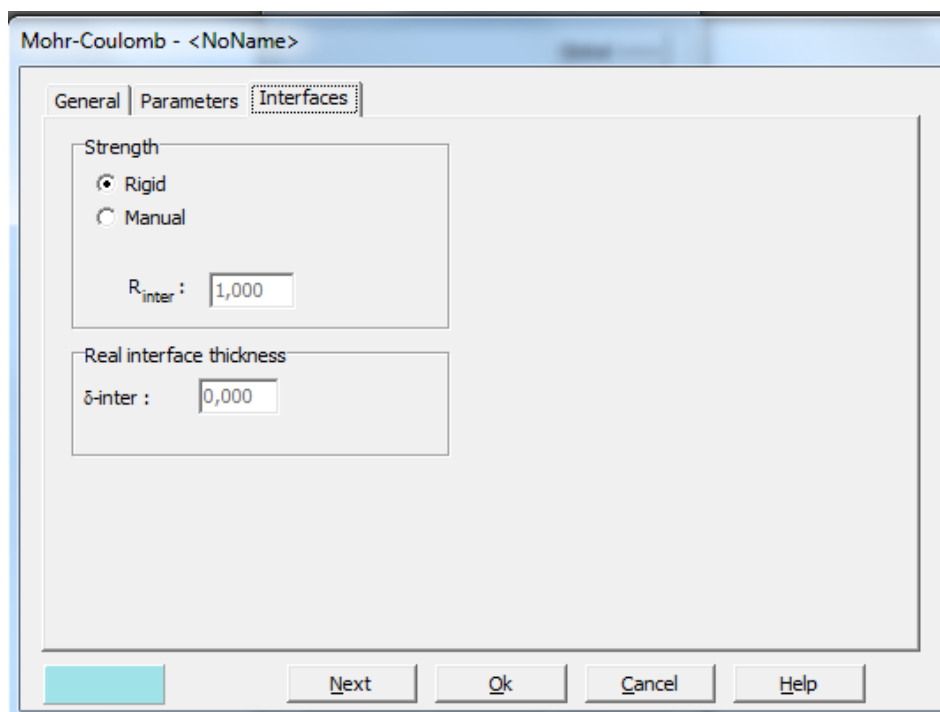
Στο πεδίο “Velocities” ανήκουν οι ταχύτητες σεισμικών κυμάτων, δεν χρειάζεται να πραγματοποιηθεί σε αυτό το πεδίο κάποια ενέργεια καθώς δεν πραγματοποιούνται δυναμικές επιλύσεις.

Επιπλέον μέσω της επιλογής “advanced” υπάρχει η δυνατότητα υπολογισμού της μεταβολής του μέτρου ελαστικότητας  $E$  και της συνοχής  $c$  συναρτήσει του βάθους.

Σχήμα 5.11. Καρτέλα εισαγωγής παραμέτρων εδαφικού υλικού.

Στο φύλλο “Interfaces” (Σχήμα 5.12) προσδιορίζονται οι ιδιότητες των στοιχείων της διεπιφάνειας. Με αυτές συνδέονται τα στοιχεία της κατασκευής με αυτά του εδάφους. Στις διεπιφάνειες αυτές δίνονται ιδιότητες όμοιες με αυτές του εδάφους μειωμένες κατά

συντελεστή  $R_{inter}$  ώστε να λαμβάνεται υπόψη η αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας θα επιλέξουμε  $R_{inter}=0,7$ .



Σχήμα 5.12. Καρτέλα εισαγωγής στοιχείων διεπιφάνειας.

Αφού συμπληρωθούν τα τρία φύλλα γίνεται επικύρωση με την εντολή “ok”. Αυτή η διαδικασία θα ακολουθηθεί και για τους επόμενους 4 σχηματισμούς. Στη συνέχεια ξαναδίνεται, για τη διευκόλυνση του αναγνώστη, ο συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 5.2) με τους αριθμούς των παραμέτρων για κάθε σχηματισμό όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3.

Πίνακας 5.2. Τιμές εισαγωγής ανά εδαφικό σχηματισμό.

	$\gamma_{unsat}$	$\gamma_{sat}$	$K_x$	$K_\psi$	$E_{ref}$	$\nu$	$c_{ref}$	$\phi$	$R_{inter}$
1A	22,1	22,63	0,018835	0,018835	28000	0,25	30	25	0,7
1B	22,3	22,44	0,006927	0,006927	31000	0,25	30	30	0,7
2A	21,6	21,96	0,03672	0,03672	29000	0,25	25	35	0,7
2B	21,6	21,96	0,03672	0,03672	32000	0,25	25	35	0,7
3	23	24	0,05279	0,05279	41000	0,25	20	40	0,7

Τέλος η τοποθέτηση κάθε γεωυλικού στο γεωμετρικό μοντέλο γίνεται είτε σέρνοντας το γεωυλικό από το “Material Set” με αριστερό κλικ στην περιοχή που αντιστοιχεί στη γεωμετρία είτε κάνοντας δεξί κλικ πάνω στο στρώμα μετά κλικ σε “Properties”, “Cluster”, “Change” και επιλογή του είδους του γεωυλικού που αντιστοιχεί.

### 5.3.3.2 Καθορισμός πλακών εκτοξευμένου σκυροδέματος

Αφού επιλεγεί από το “Set type” το “plates” κάνουμε αριστερό κλικ στο “new”.

Στο αναδυόμενο παράθυρο (Σχήμα 5.13) στο πεδίο “Material Set” υπάρχει η δυνατότητα να πληκτρολογηθεί ένα όνομα για τη πλάκα δίπλα στο “identification” και να προστεθούν κάποια σχόλια στο “comments”. Επιπλέον εκεί γίνεται η επιλογή τύπου του υλικού στο “Material type”. Στα πλαίσια αυτού του μοντέλου πρέπει να γίνει επιλογή ‘elastic’.

Στο πεδίο “Properties” πρέπει να γίνει η εισαγωγή της δυστένειας (EA), της καμπτικής δυσκαμψίας (EI), το πάχος του φορέα (d), το βάρος του φορέα (w) και ο λόγος Poisson (ν). Η απόσβεση Rayleigh alpha-beta θεωρούνται 0 αφού στη παρούσα εργασία δε γίνονται αναλύσεις με σεισμικά φορτία. Στη συνέχεια αναλύεται πως βρίσκεται καθένας από αυτούς τους τύπους.

Αρχικά θεωρήθηκε ότι υφίστανται πάσσαλοι με Φ 1,0m και είναι διατεταγμένοι ανά 1,5 m.

Η αξονική δυσκαμψία και η καμπτική δυσκαμψία του μεμονωμένου πασσάλου υπολογίζονται αρχικά από τους τύπους:

$$EA = 30 \cdot 10^6 \text{ kPa} \cdot \pi \cdot \frac{1^2}{4} \text{ m}^2 = 23,55 \cdot 10^6 \text{ kN}$$

$$EI = 30 \cdot 10^6 \text{ kPa} \cdot \pi \cdot \frac{1^4}{64} \text{ m}^4 = 1,471875 \cdot 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$$

Για να γίνει η εισαγωγή δεδομένων όμως πρέπει να αναχθούν ανά μέτρο μήκους. Επομένως αφού οι πάσσαλοι είναι διατεταγμένοι ανά 1,5m οι εισαγόμενες τιμές είναι:

$$EA_1 = \frac{23,55 \cdot 10^6 \text{ kN}}{1,5\text{m}} = 15,7 \cdot 10^6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$EI_1 = \frac{1,471875 \cdot 10^6 \text{ kN m}^2}{1,5\text{m}} = 0,98125 \cdot 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Στο σημείο αυτό πρέπει να προστεθεί και η συμβολή του ενδιάμεσου τοιχίου από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Ο ενδιάμεσος τοίχος είναι πάχους 15 cm. Επομένως η αξονική δυσκαμψία και η καμπτική δυσκαμψία υπολογίζονται ως εξής:

$$EA_2 = \frac{25 \cdot 10^6 \cdot (1,5 - 1) \cdot 0,15 \text{ kN}}{1,5 \text{ m}} = 1,25 \cdot 10^6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$EI_2 = \frac{25 \cdot 10^6 \cdot \frac{(1,5-1) \cdot 0,15^3}{12} \text{ kN} \cdot \text{m}^2}{1,5 \text{ m}} = 2,344375 \cdot 10^3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Άρα:

$$\sum EA = EA_1 + EA_2 = 15,7 \cdot 10^6 + 1,25 \cdot 10^6 = 16,95 \cdot 10^6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

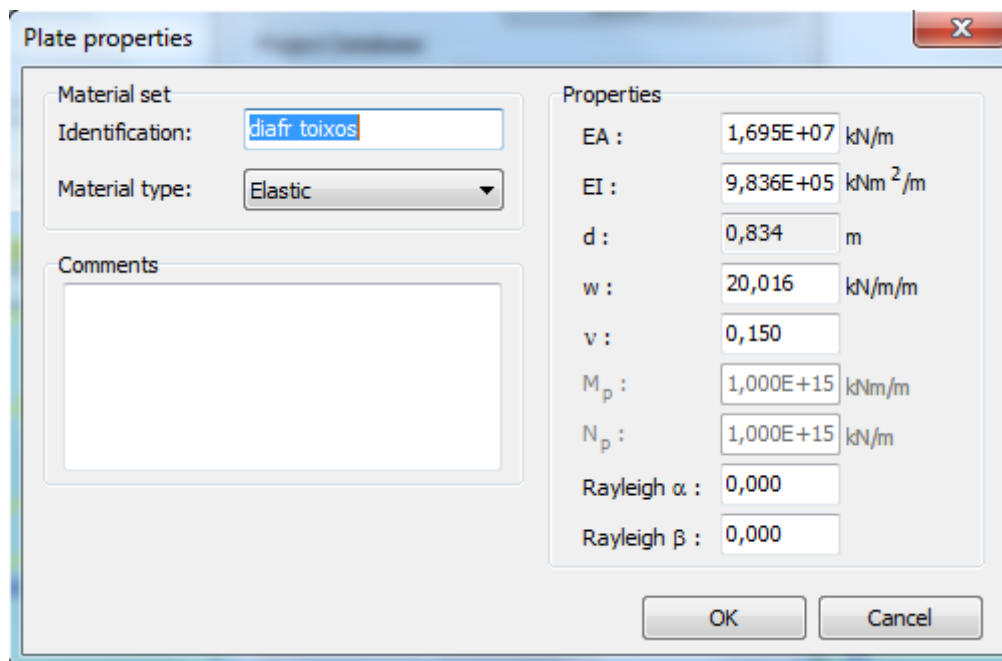
$$\sum EI = EI_1 + EI_2 = 0,98125 \cdot 10^6 + 2,344375 \cdot 10^3 = 983593 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Το πάχος του φορέα d υπολογίζεται αυτόματα με την εισαγωγή των EA και EI.

Το βάρος (w) των στοιχείων υπολογίζεται ως εξής:

$$w = \gamma \cdot d = 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 0,834\text{m} \cdot 1\text{m} \cdot 1\text{m} = 20,016 \text{ kN/m/m}$$

Τέλος η τιμή του δείκτη Poisson εισάγεται 0,15.



Σχήμα 5.13. Καρτέλα εισαγωγής ιδιοτήτων διαφραγματικού τοίχου.

Αφού γίνει η εισαγωγή όλων των απαραίτητων στοιχείων γίνεται η επικύρωση με το πλήκτρο “ok”. Η τοποθέτηση αυτών των στοιχείων της πλάκας γίνεται είτε σέρνοντας τα στοιχεία της πλάκας από το “Material Set” με αριστερό κλικ στην περιοχή που αντιστοιχεί στη γεωμετρία είτε κάνοντας δεξί κλικ πάνω στη πλάκα μετά κλικ σε “Properties”, “Plates chain”, “Change” και επιλογή του είδους της πλάκας που αντιστοιχεί.

### 5.3.3.3 Καθορισμός πακτωμένου τμήματος.

Αφού επιλεγεί από το “Set type” το “Geogrids” κάνουμε αριστερό κλικ στο “new”.

Στο αναδυόμενο παράθυρο (Σχήμα 5.14) στο πεδίο “Material Set” υπάρχει η δυνατότητα να πληκτρολογηθεί ένα όνομα για το γεώφασμα δίπλα στο “identification” και να προστεθούν κάποια σχόλια στο “comments”. Επιπλέον εκεί γίνεται η επιλογή τύπου του υλικού. Στα πλαίσια αυτού του μοντέλου πρέπει να γίνει επιλογή ‘elastic’.

Στο πεδίο “Properties” πρέπει να γίνει η εισαγωγή της δυστένειας EA. Η δυστένεια υπολογίζεται ως εξής:

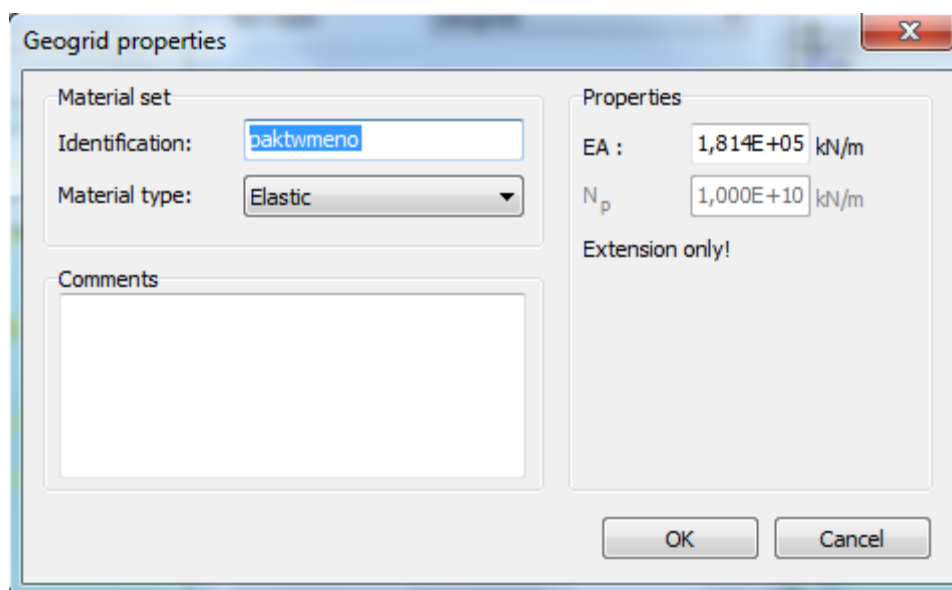


Αρχικά θεωρείται βολβός πάκτωσης  $\Phi$  0,1m και μήκους 13,8m. Επιπλέον από τις προδιαγραφές του έργου είναι γνωστό ότι τα αγκύρια αποτελούνται από 6 τένοντες  $\Phi$ 0,6” συνολικής διατομής  $A_s = 6 \cdot 1,39 = 8,34 \text{ cm}^2$ . Η συνολική δυστένεια είναι τα άθροισμα των μεγεθών των τενόντων του χάλυβα και του τσιμεντοκονιάματος.

$$EA = E_b \cdot A_b + E_s \cdot A_s = 15 \cdot 10^6 \left( \frac{\pi \cdot 10^2}{4} - 8,34 \right) 10^{-4} \text{ m}^2 + 200 \cdot 10^6 \text{ kPa} \cdot 8,34 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 272040 \text{ kN}$$

Η παραπάνω τιμή αναφέρεται σε μεμονωμένο αγκύριο. Η εισαγωγή πρέπει να γίνει ανά τρέχον μέτρο. Επομένως και αφού έχουμε πασσάλους ανά 1,5m η τιμή που εισάγεται είναι:

$$EA = \frac{272040 \text{ kN}}{1,5\text{m}} = 181360 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



Σχήμα 5.14. Καρτέλα εισαγωγής ιδιοτήτων γεφυφάσματος (πακτωμένου τμήματος αγκυρίου).

Όταν γίνει η εισαγωγή όλων των απαραίτητων στοιχείων γίνεται η επικύρωση με το πλήκτρο “ok”. Η τοποθέτηση αυτών των στοιχείων του γεφυφάσματος γίνεται είτε σέρνοντας τα στοιχεία της πλάκας από το “Material Set” με αριστερό κλικ στην περιοχή

που αντιστοιχεί στη γεωμετρία είτε κάνοντας δεξί κλικ πάνω στο γεωύφασμα μετά κλικ σε “Properties”, “Geogrid chain”, “Change” και επιλογή του είδους του γεωυφάσματος που αντιστοιχεί.

#### 5.3.3.4 Καθορισμός αγκυρίων

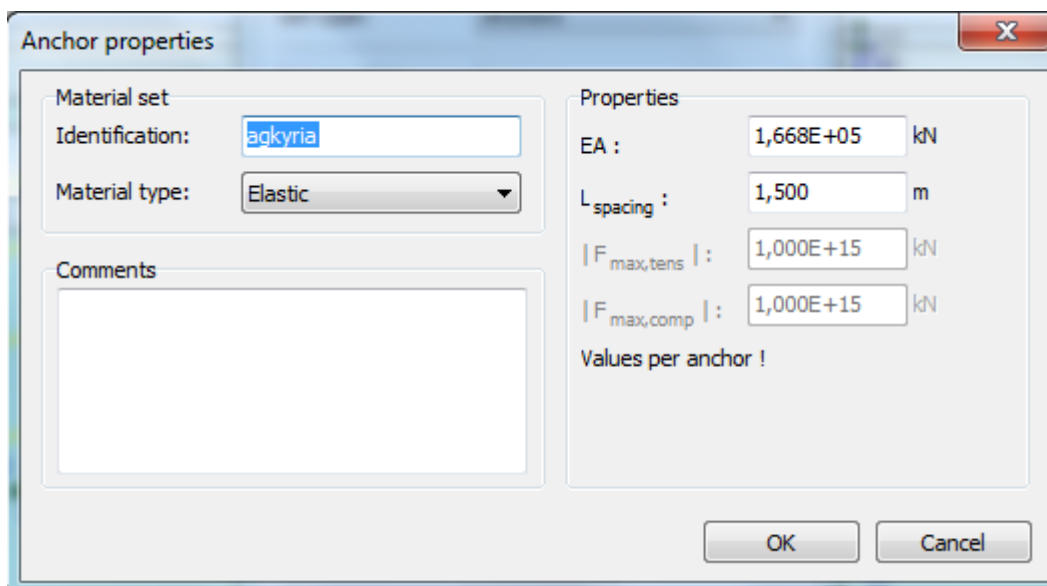
Αφού επιλεγεί από το “Set type” το “Anchors” κάνουμε αριστερό κλικ στο “new”.

Στο αναδυόμενο παράθυρο (Σχήμα 5.15) στο πεδίο “Material Set” υπάρχει η δυνατότητα να πληκτρολογηθεί ένα όνομα για το αγκύριο δίπλα στο “identification” και να προστεθούν κάποια σχόλια στο “comments”. Επιπλέον εκεί γίνεται η επιλογή τύπου του υλικού. Στα πλαίσια αυτού του μοντέλου πρέπει να γίνει επιλογή ‘elastic’.

Στο πεδίο “Properties” πρέπει να γίνει η εισαγωγή της δυστένειας (EA) καθώς και της απόστασης των αγκυρίων (Lspacing). Τα μεγέθη  $F_{max,tens}$  και  $F_{max,comp}$  είναι εξαρχής ορισμένα και ίσα με  $1,00E+15$ .

Όπως έχει τονιστεί και προηγουμένως η επιφάνεια διατομής του αγκυρίου είναι  $A_s=8,34$   $cm^2$ . Η ποιότητα του χάλυβα είναι S1700/1900, άρα  $E=200 \cdot 10^6$  kPa. Επομένως το EA υπολογίζεται ως εξής:

$$EA = E \cdot A_s = 200 \cdot 10^6 \text{ kPa} \cdot 8,34 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 166800 \text{ kN}$$



Σχήμα 5.15. Καρτέλα εισαγωγής ιδιοτήτων αγκυρίων.

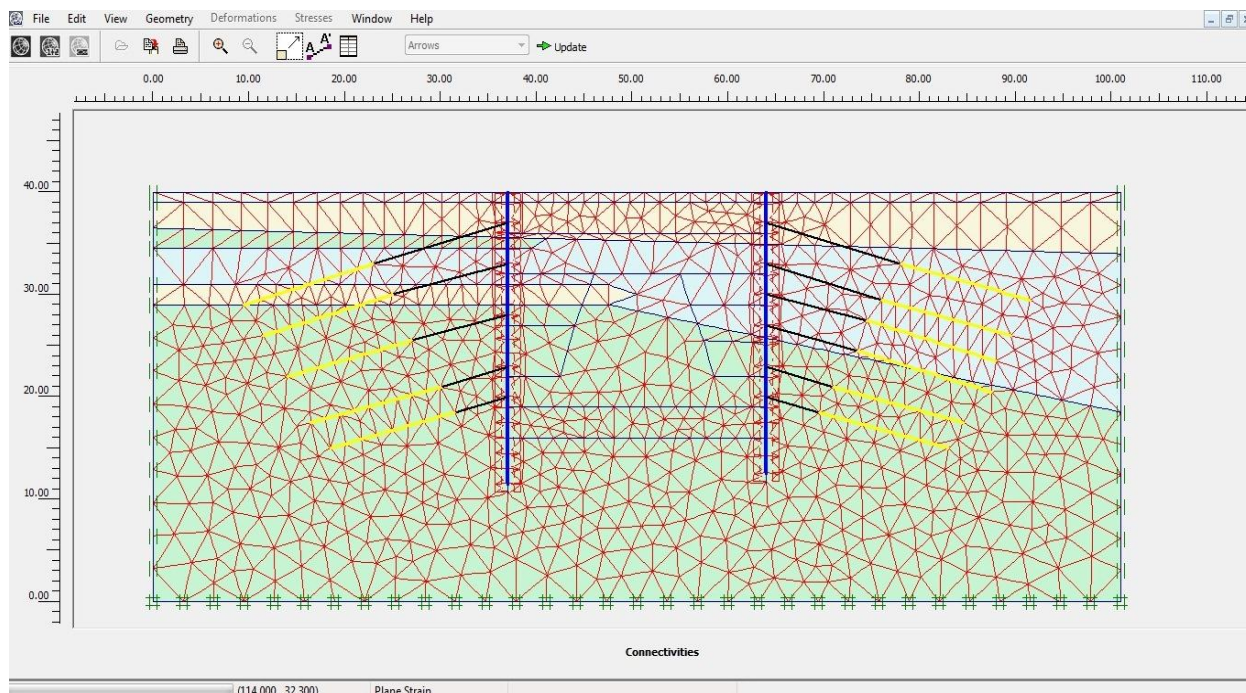
Όταν γίνει η εισαγωγή όλων των απαραίτητων στοιχείων γίνεται η επικύρωση με το πλήκτρο “ok”. Η τοποθέτηση αυτών των στοιχείων του αγκυρίου γίνεται είτε σέρνοντας τα στοιχεία της πλάκας από το “Material Set” με αριστερό κλικ στην περιοχή που αντιστοιχεί στη γεωμετρία είτε κάνοντας δεξί κλικ πάνω στο αγκύριο μετά κλικ σε “Properties”, “Node-to-node anchor”, “Change” και επιλογή του είδους του αγκυρίου που αντιστοιχεί.

#### 5.3.4 Διακριτοποίηση μοντέλου προσομοίωσης

Αφού έχει ολοκληρωθεί πλήρως η γεωμετρική προσομοίωση και έχουν προσδιορισθεί όλα τα χαρακτηριστικά των υλικών πρέπει να προχωρήσουμε στην δημιουργία πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων. Αυτό συμβαίνει πατώντας αριστερό κλικ στο “generate mesh” στη γραμμή εργαλείων (Σχήμα 5.16). Ο κάνναβος υποδιαιρείται αυτόματα και τυχαία (όσο αφορά το προσανατολισμό και τις θέσεις του) σε μικρότερα τριγωνικά στοιχεία. Για την επιλογή της κατάλληλης πυκνότητας καννάβου πρέπει στο μενού “Mesh” να γίνει αριστερό κλικ στην εντολή “Global coarseness”. Εκεί υπάρχουν πέντε επιλογές, από ‘Very coarse’ για πολύ χοντρό έως ‘very fine’ για πολύ λεπτό πλέγμα καννάβου. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα μέσω των εντολών, από το μενού “Mesh”, “refine cluster” και “refine line” να γίνει περαιτέρω πύκνωση του καννάβου σε σημεία που συγκεντρώνονται πολλές τάσεις ή υπάρχουν έντονες παραμορφώσεις. Η επικύρωση των εντολών πραγματοποιείται με την επιλογή “Update”. Για τη παρούσα διπλωματική επιλέχθηκε μέγεθος καννάβου “very fine”.

#### 5.3.5 Αρχικές συνθήκες-initial conditions

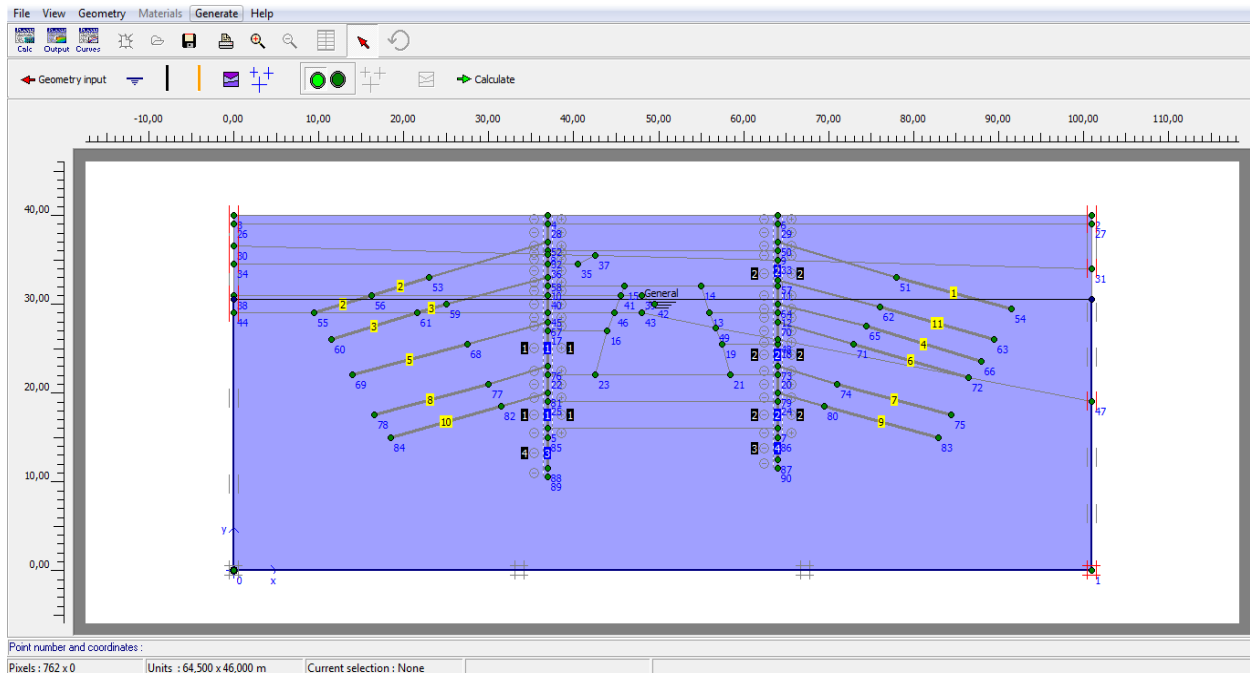
Αφού ολοκληρωθεί και η διακριτοποίηση του μοντέλου, πρέπει να υπολογιστούν οι αρχικές εντατικές συνθήκες. Αυτό επιτυγχάνεται επιλέγοντας το “initial conditions” στη γραμμή εργαλείων. Έχοντας επιλέξει την ένδειξη “initial conditions” το σχέδιό μας παίρνει άλλη μορφή και μια νέα γραμμή εργαλείων εμφανίζεται. Ο καθορισμός των αρχικών εντατικών συνθηκών χωρίζεται σε δύο στάδια. Αρχικά στο καθορισμό των υδροστατικών τάσεων και έπειτα στο καθορισμό των γεωστατικών τάσεων. Στη συνέχεια γίνεται η παρουσίαση του υπολογισμού αυτών των τάσεων.



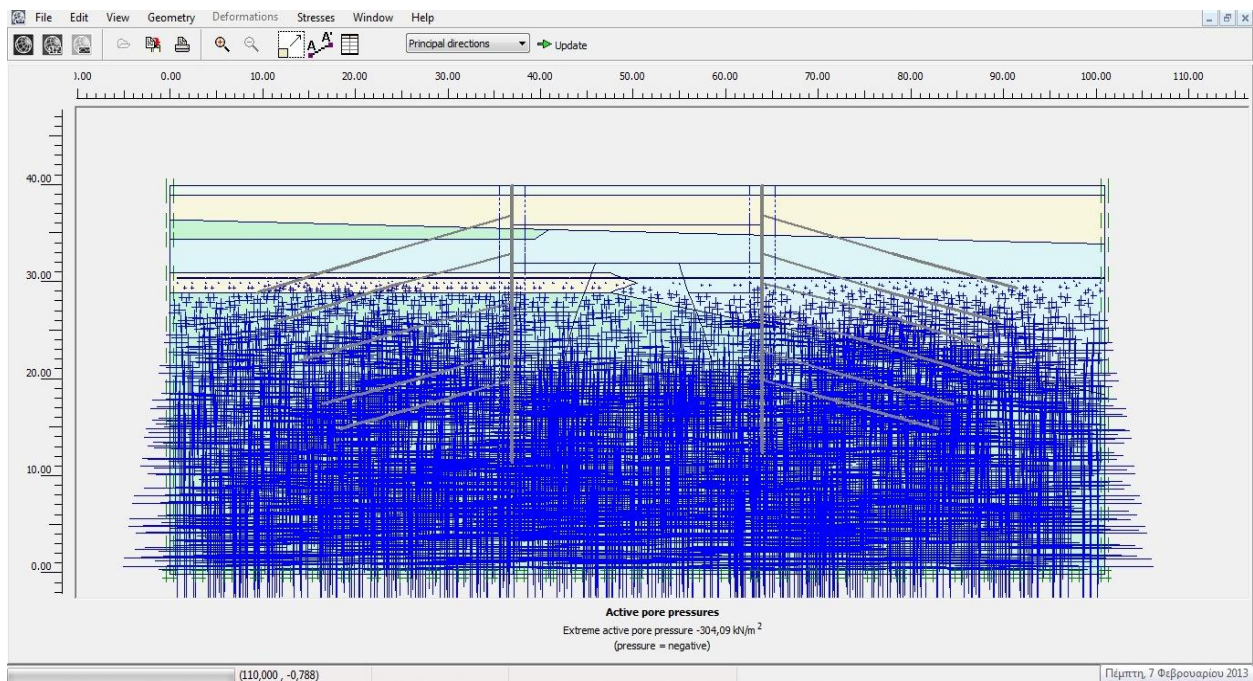
Σχήμα 5.16. Πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων.

### 5.3.5.1 Υδροστατικές τάσεις

Αφού γίνει έλεγχος ότι ο διακόπτης «Initial stresses and geometry configuration» είναι στη επιλογή “Pheatric level”, σχεδιάζεται το επίπεδο του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα στο σχέδιο (Σχήμα 5.17). Στη συνέχεια και με το πάτημα της εντολής “Generate water pressure” εμφανίζεται ένα παράθυρο με την πίεση του νερού των πόρων (Σχήμα 5.18) το οποίο για να κλείσει πρέπει να πατηθεί η επιλογή “Update”. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας θεωρήθηκε  $\gamma_{\text{water}}=10\text{kN/m}^3$ .



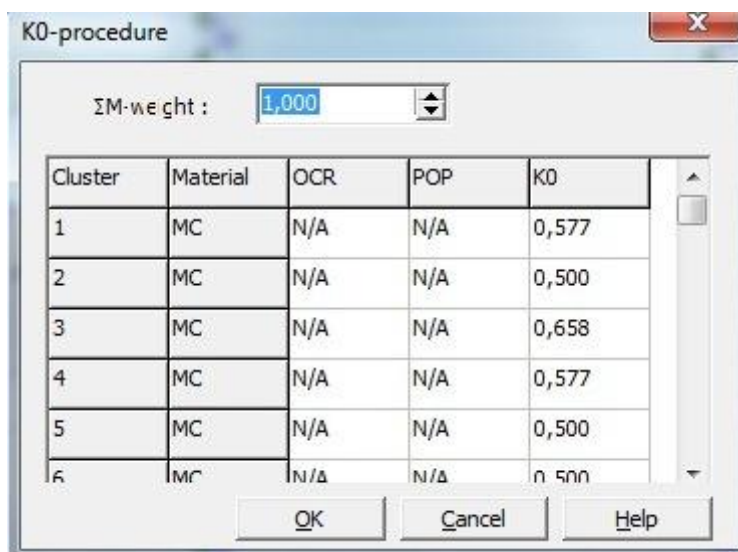
Σχήμα 5.17. Επίπεδο υδροφόρου ορίζοντα.



Σχήμα 5.18. Πίεση πόρων νερού.

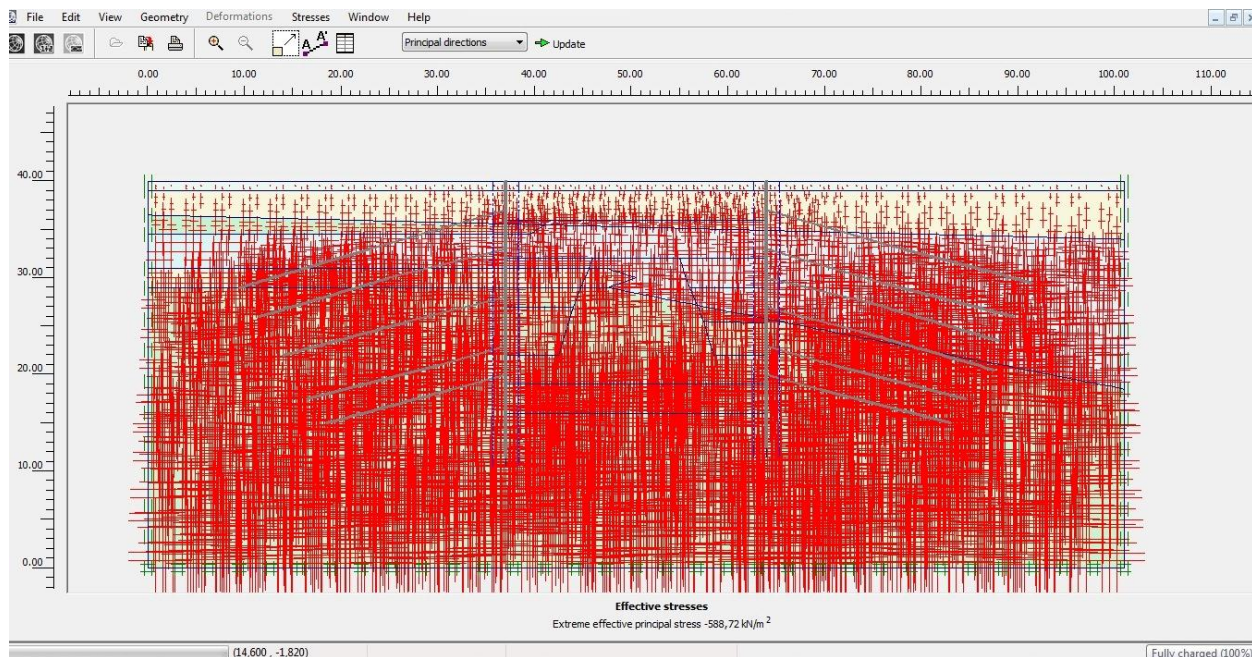
### 5.3.5.2 Γεωστατικές τάσεις

Μετά από τον υπολογισμό των υδροστατικών τάσεων γίνεται αλλαγή του διακόπτη «Initial stresses and geometry configuration» ώστε να είναι επικυρωμένος στα δεξιά. Εν συνέχεια πρέπει να επιλεγεί το “Generate initial stresses”, για τον υπολογισμό των κατακόρυφων και οριζόντιων γεωστατικών τάσεων. Πατώντας αυτό το εικονίδιο εμφανίζεται ένα παράθυρο που ζητά για συγκεκριμένο  $\Sigma M_{weight}$  τον καθορισμό του συντελεστή ουδετέρων ωθήσεων ( $K_0$ ) για κάθε γεωλογικό στρώμα (Σχήμα 5.19). Επικυρώνοντας με “ok” το Plaxis ανοίγει αυτόματα ένα νέο παράθυρο με την κατανομή των ενεργών τάσεων (Σχήμα 5.20). Γίνεται επικύρωση με “Update” και το πρόγραμμα μας επιστρέφει στο αρχικό σχέδιο. Τέλος πρέπει να τονιστεί ότι πριν από αυτή τη διαδικασία γίνεται η απενεργοποίηση όλων των τμημάτων ώστε να εισαχθούν έπειτα (στους υπολογισμούς) κατά τις αντίστοιχες φάσεις κατασκευής.



Σχήμα 5.19. Παράθυρο εύρεσης συντελεστή  $K_0$  για συγκεκριμένο  $\Sigma M_{weight}$ .





Σχήμα 5.20. Παράθυρο κατανομής ενεργών τάσεων.

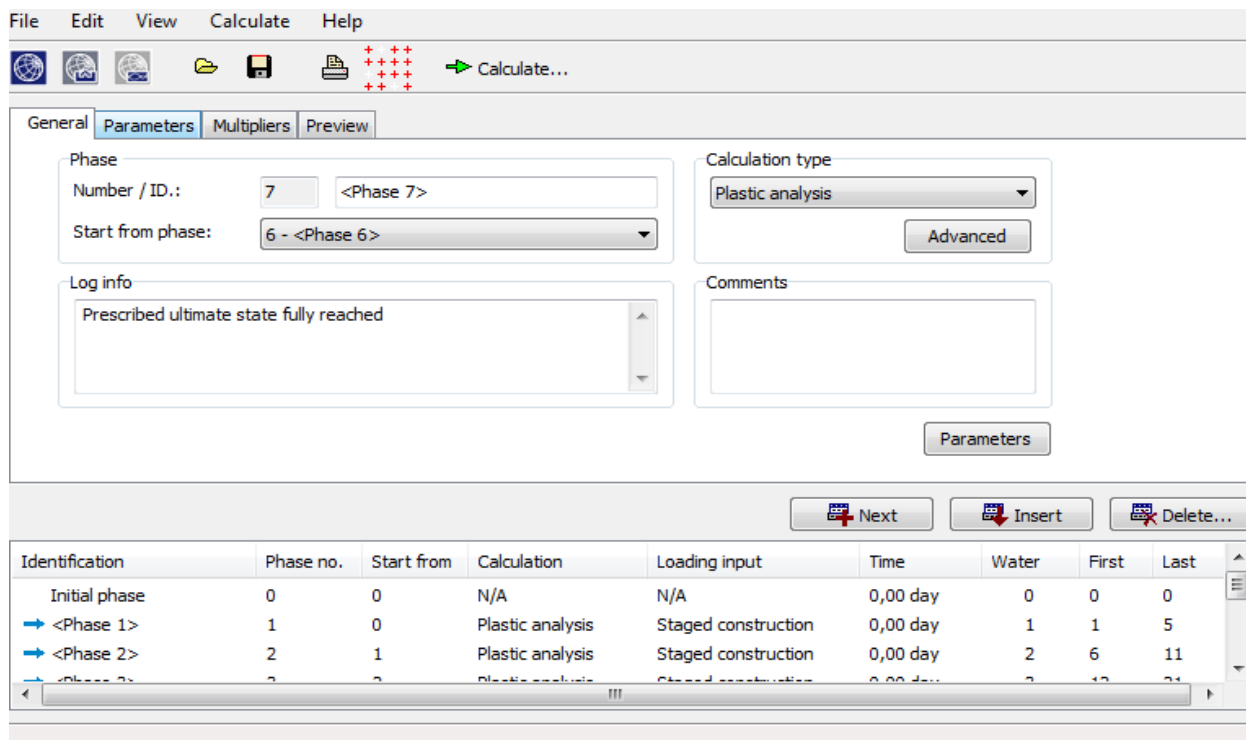
## 5.4 Εκτέλεση υπολογισμών (calculations)

Μετά την ολοκλήρωση της εισαγωγής δεδομένων, ακολουθεί ο προσδιορισμός των παραμέτρων και η εκτέλεση των υπολογισμών. Το πρόγραμμα, δίνει τη δυνατότητα να πραγματοποιηθεί η ανάλυση σε επιμέρους στάδια με την ενεργοποίηση των τμημάτων της κατασκευής που είναι απενεργοποιημένα. Για κάθε στάδιο υπάρχουν τρεις καρτέλες για τον πλήρη προσδιορισμό των παραμέτρων του.

Στη καρτέλα “General” (Σχήμα 5.21) στο πεδίο “Phase” γίνεται η εισαγωγή του ονόματος του σταδίου (“Number/ ID”) και επιλέγεται ποίο στάδιο είναι πριν από το συγκεκριμένο (“Start from phase”). Στο πεδίο “calculation type” ορίζεται ο τύπος των υπολογισμών που θα πραγματοποιηθεί. Οι επιλογές που υπάρχουν είναι: Πλαστική ανάλυση (“Plastic analysis”), στερεοποίηση (“consolidation analysis”), ανάλυση που αφορά το συντελεστή ασφαλείας (“Phi/c reduction”) και δυναμική ανάλυση (“Dynamic analysis”). Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής για κάθε φάση εκσκαφής χρησιμοποιήθηκε η πλαστική ανάλυση.

Η αρχική φάση (“Initial phase”) με τον αριθμό 0 αντιστοιχεί στο αρχικό εντατικό πεδίο που έχουμε βρεθεί προηγουμένως και εισάγεται αυτόματα.





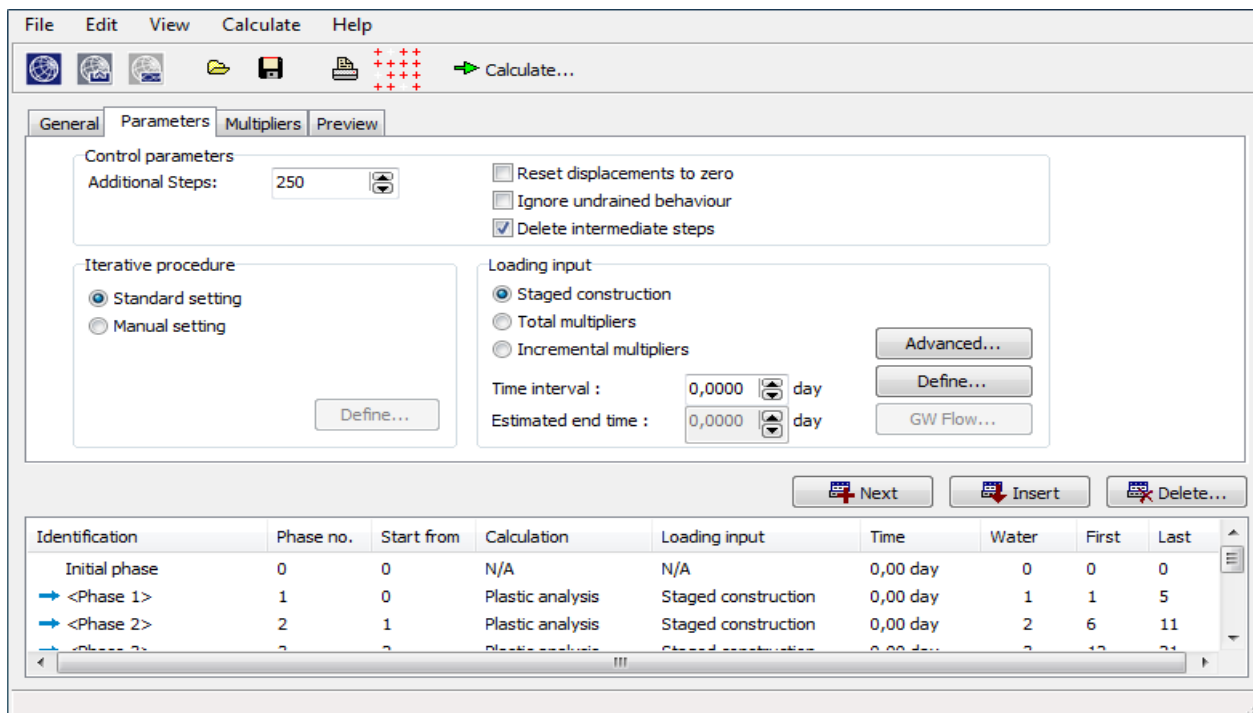
Σχήμα 5.21. Καρτέλα εισαγωγής γενικών στοιχείων για κάθε φάση εκσκαφής.

Στην καρτέλα “parameters” (Σχήμα 5.22) στο πεδίο “Control parameters” ορίζεται ο μέγιστος αριθμός βημάτων στα οποία πρέπει να πραγματοποιηθεί το συγκεκριμένο στάδιο (“Additional Steps”) και επιλέγεται αν πρέπει να μηδενιστούν οι μετακινήσεις του προηγούμενου σταδίου ή να αγνοηθούν οι αστράγγιστες συνθήκες ή να διαγραφούν οι τιμές για τα ενδιάμεσα τμήματα. Στο πεδίο “Loading input” μπορεί να επιλεγεί ο τρόπος εισαγωγής των φορτίσεων. Υπάρχουν 3 δυνατότητες: η επιλογή “Total multipliers” για συνολική επιβολή φορτίσεων, η “ Incremental multipliers” και η “Staged construction” για σταδιακή κατασκευή. Στην παρούσα εργασία σε όλες τις φάσεις έγινε η επιλογή ‘delete intermediate steps’, ο αριθμός βημάτων θεωρήθηκε 250 (προεπιλεγμένη τιμή προγράμματος) και επιλέχθηκε επιβολή φορτίων “staged construction”.

Με την εντολή “Define” (που βρίσκεται σε αυτή καρτέλα) γίνεται η επιλογή των τμημάτων ή στοιχείων που κατασκευάζονται στο συγκεκριμένο στάδιο. Αυτό επιτυγχάνεται επιλέγοντας τα στοιχεία που κατασκευάζονται, στο παράθυρο που ανοίγει και απεικονίζει το επίπεδο σχεδίασης.

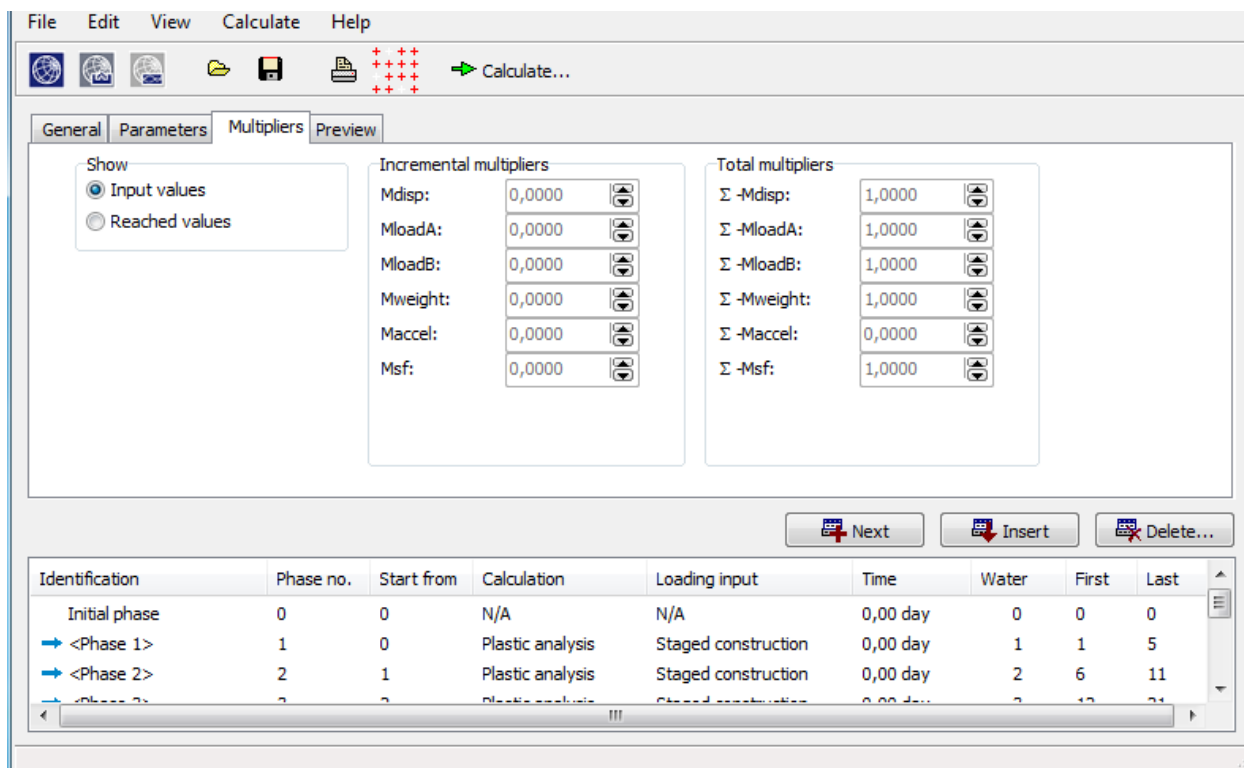
Η κατασκευαστική διαδικασία χωρίστηκε σε 7 στάδια:

- Στο πρώτο στάδιο πραγματοποιήθηκε εκσκαφή και εγκατάσταση 1<sup>ης</sup> σειράς αγκυρίων (ανατολική-δυτική πλευρά).
- Στο δεύτερο στάδιο εκσκαφή και εγκατάσταση 2<sup>ης</sup> σειράς αγκυρίων (ανατολική-δυτική πλευρά).
- Στο τρίτο στάδιο εκσκαφή και εγκατάσταση 3<sup>ης</sup> σειράς αγκυρίων (ανατολική-δυτική πλευρά) .
- Στο τέταρτο στάδιο εκσκαφή και εγκατάσταση 4<sup>ης</sup> σειράς αγκυρίων (ανατολική πλευρά)
- Στο πέμπτο στάδιο εκσκαφή και εγκατάσταση 5<sup>ης</sup> σειράς αγκυρίων (ανατολική πλευρά) και 4<sup>ης</sup> σειράς αγκυρίων (δυτική πλευρά).
- Στο έκτο στάδιο εκσκαφή και εγκατάσταση 6<sup>ης</sup> σειράς αγκυρίων (ανατολική πλευρά) και 5<sup>ης</sup> σειράς αγκυρίων (δυτική πλευρά).
- Στο έβδομο στάδιο εκσκαφή μέχρι τη τελική στάθμη χωρίς εγκατάσταση αγκυρίων.



Σχήμα 5.22. Καρτέλα εισαγωγής παραμέτρων για κάθε φάση εκσκαφής.

Στην Τρίτη καρτέλα “Multipliers” (Σχήμα 5.23), που χρησιμοποιείται μόνο για αναλύσεις “Total Multipliers”, ορίζονται οι πολλαπλασιαστές του σταδίου για να παραχθούν οι φορτίσεις.



Σχήμα 5.23. Καρτέλα εισαγωγής multipliers για κάθε φάση εκσκαφής.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι με την εντολή “Select points for curves” από τη γραμμή εργαλείων παρέχεται η δυνατότητα της επιλογής κάποιων αντιπροσωπευτικών σημείων της γεωμετρίας με σκοπό, μετά το πέρας των υπολογισμών, να παραχθούν διαγράμματα παραμορφώσεων συναρτήσει του βαθμού ολοκλήρωσης του σταδίου που αναφέρονται τα συγκεκριμένα σημεία. Σε περίπτωση μη επιλογής σημείων και έπειτα από την έναρξη των υπολογισμών δε παρέχεται η δυνατότητα εξαγωγής διαγραμμάτων.

Μετά την ολοκλήρωση των υπολογισμών η κάθε φάση φαίνεται ότι έχει ολοκληρωθεί επιτυχώς εάν είναι ‘σεκαρισμένη’ με πράσινο χρώμα ενώ αν έχει γίνει κάτι λάθος φαίνεται μήνυμα με κόκκινα χρώματα που αναφέρει τί έχει γίνει λάθος.

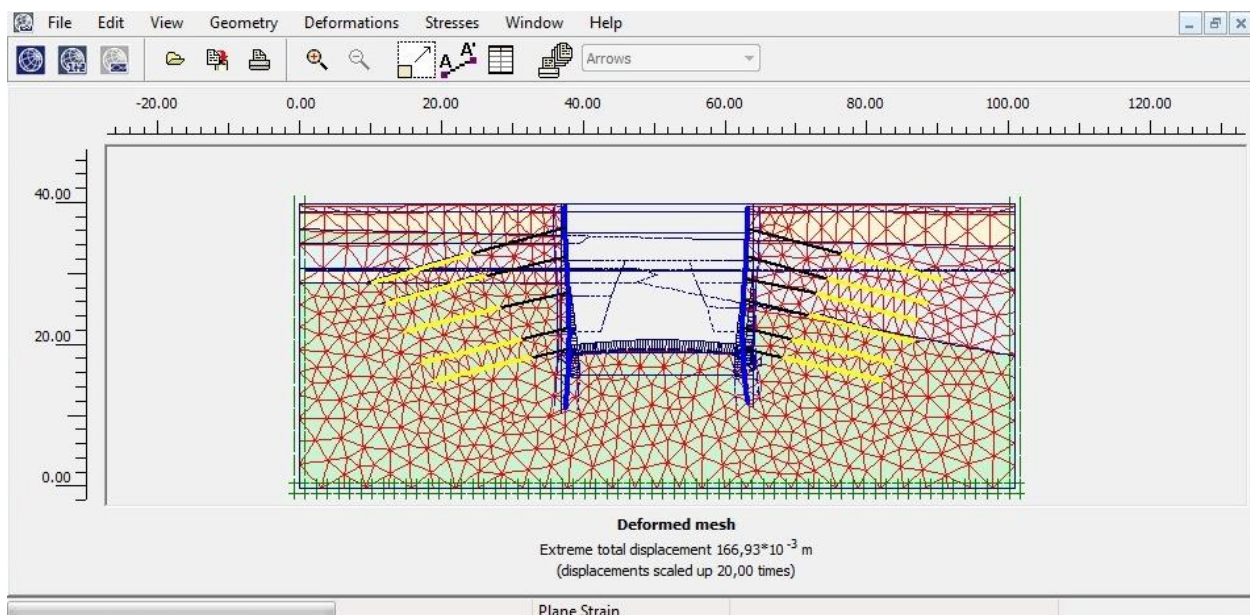
## 5.5 Εξαγωγή αποτελεσμάτων - Output

Μετά το τέλος των υπολογισμών υπάρχει η δυνατότητα, μέσω της εντολής “output”, της γραφικής παρουσίασης των αποτελεσμάτων των αναλύσεων. Επιλέγοντας ένα στάδιο του οποίου θέλουμε να δούμε τα αποτελέσματα και πατώντας την επιλογή ‘output’ παρουσιάζεται η τελική εικόνα που θα έχει το σχέδιό μας στο τέλος του συγκεκριμένου σταδίου. Το πρόγραμμα μας δίνει τη δυνατότητα να δούμε την κατανομή:

- Οριζόντιων κατακόρυφων και συνολικών μετατοπίσεων, επιταχύνσεων και ταχυτήτων (deformations menu),
- Ολικών και ενεργών τάσεων ( stresses menu).

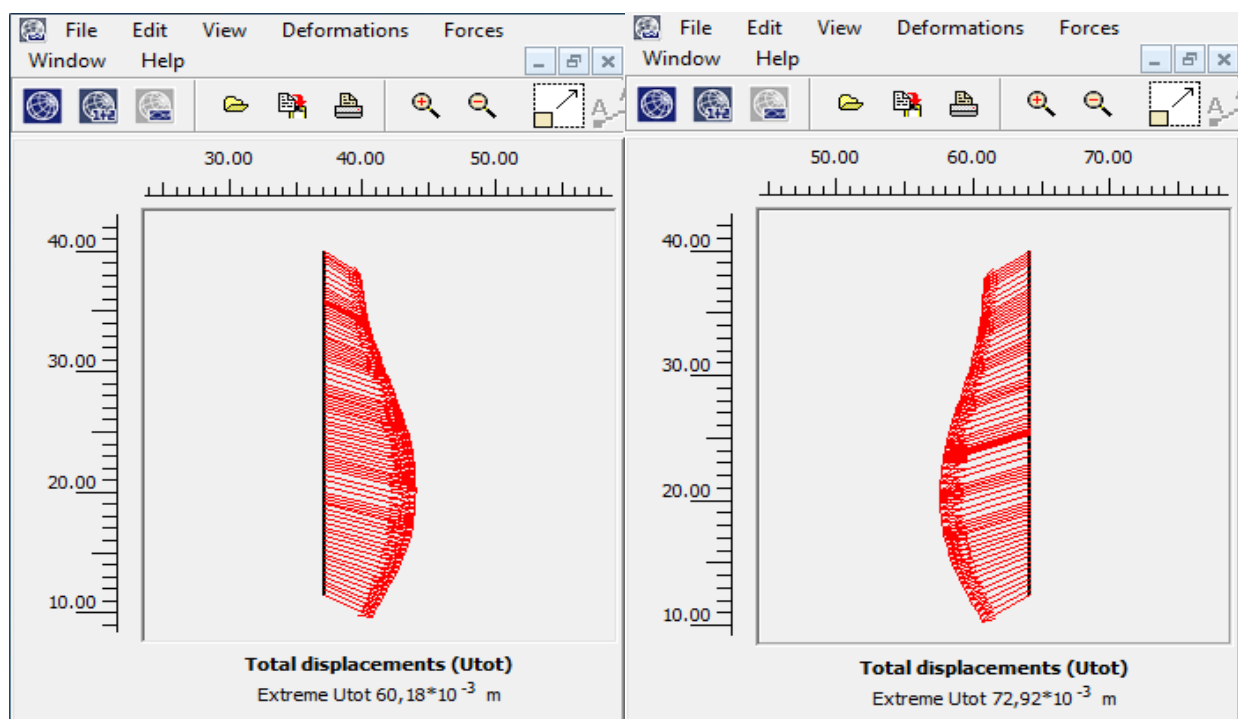
Τέλος για τη παρουσίαση αυτών των μεγεθών το πρόγραμμα μπορεί να χρησιμοποιήσει είτε χρωματικές διαβαθμίσεις είτε διανύσματα.

Σε αυτή τη παράγραφο δίνονται τα αποτελέσματα της βασικής επίλυσης (διάμετρος πασσάλων  $\Phi$  1m και απόσταση πασσάλων 1,5m), όπως προκύπτουν από το output program του Plaxis.. Αρχικά παρατίθεται το διάγραμμα (Σχήμα 5.24) των συνολικών μετακινήσεων (κατακόρυφων και οριζόντιων).



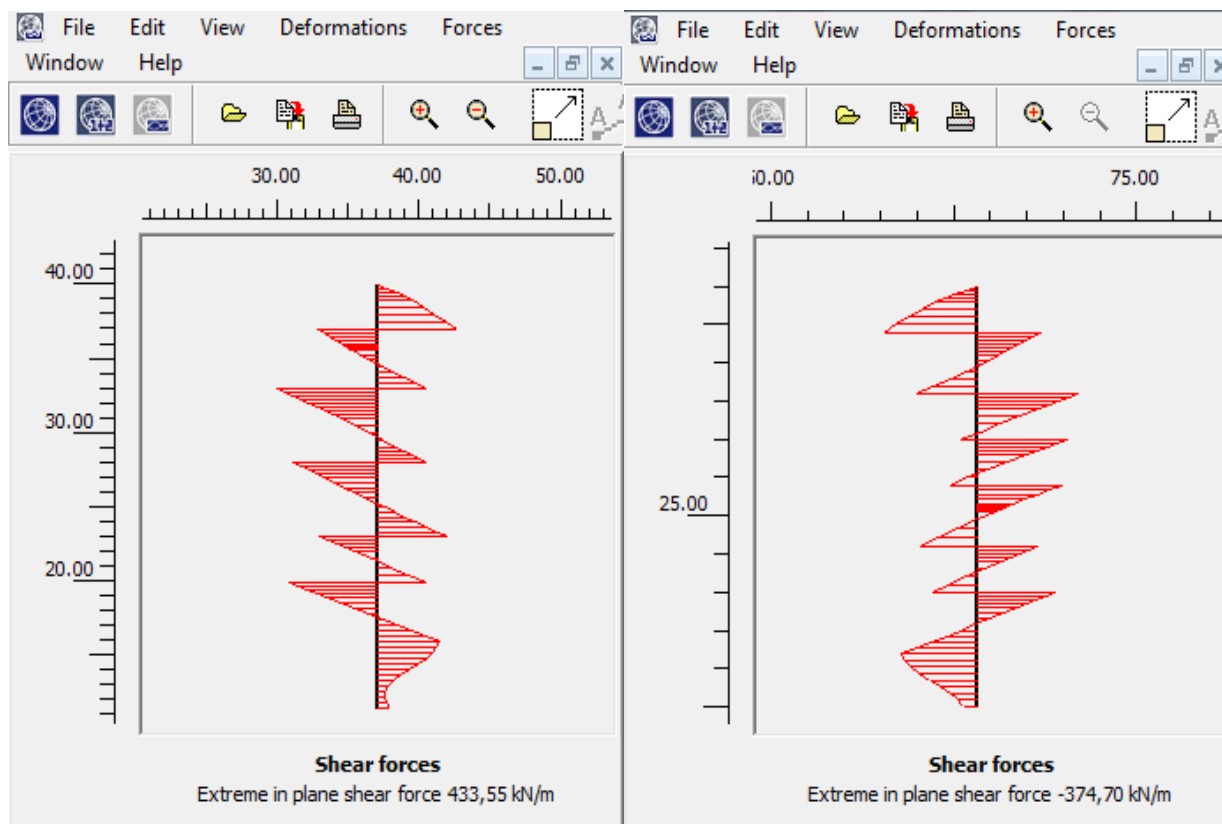
Σχήμα 5.24. Συνολικές μετακινήσεις.

Στη συνέχεια παρατίθενται δύο σχήματα (Σχήμα 5.25) που απεικονίζουν τις μετακινήσεις των πασσάλων λόγω των ωθήσεων του εδάφους κατά την 7 φάση εκσκαφής. Σε αυτά παρατηρείται ότι ο πάσσαλος του δυτικού τοιχίου υπόκεινται σε ακραίες μετακινήσεις 6,01 cm έναντι 7,29 cm του πασσάλου του ανατολικού τοιχίου. Στη περιοχή της στέψης οι μετακινήσεις στη περιοχή του πασσάλου του δυτικού τοιχίου είναι 2,3 cm ενώ σε αυτή του ανατολικού τοιχίου είναι 3,49 cm. Τέλος οι μετακινήσεις στη βάση των πασσάλων είναι 3 cm στο δυτικό και 3,58 cm στον ανατολικό τοιχίο.



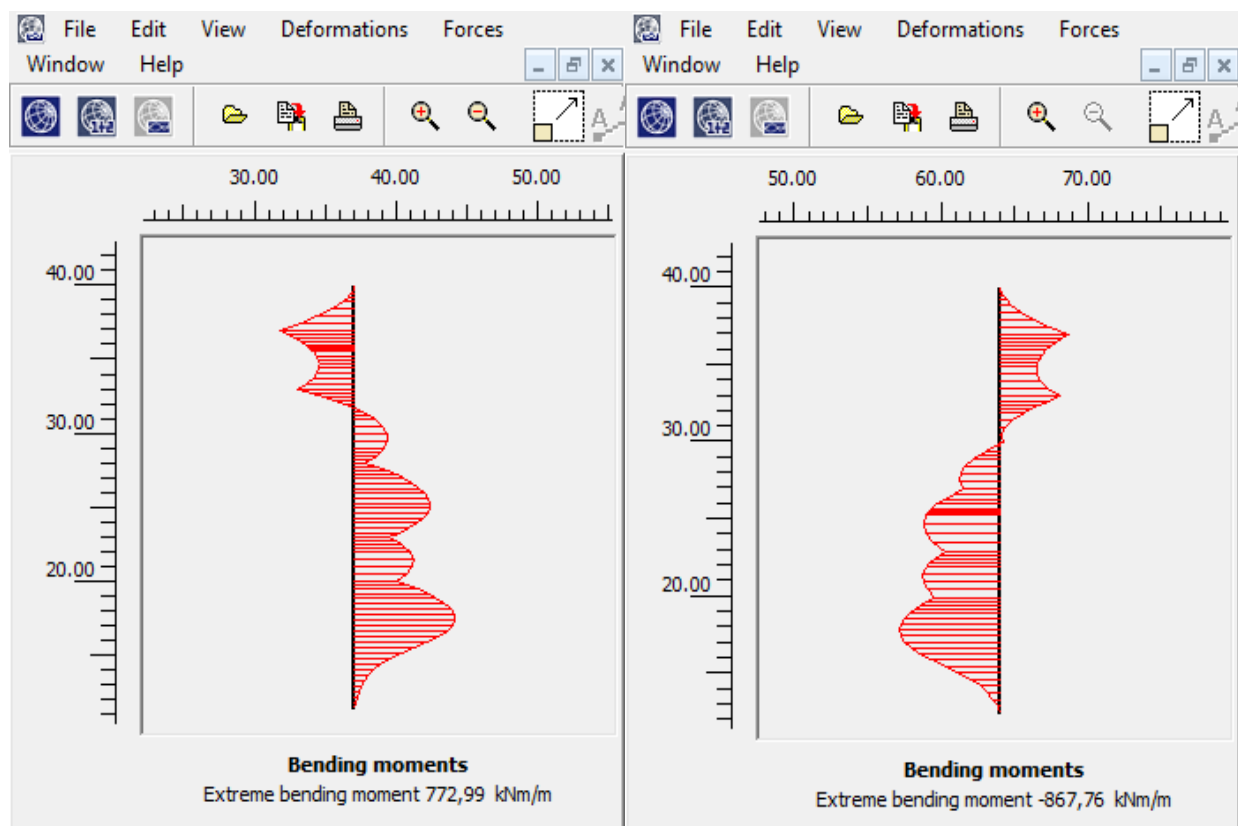
Σχήμα 5.25. Μέγιστες μετακινήσεις πασσάλου δυτικού (αριστερά) και ανατολικού (δεξιά) τοιχίου για απόσταση πασσάλων 1,5m.

Όσο αφορά τις μέγιστες διατμητικές δυνάμεις που ασκούνται στους πασσάλους όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.26 ανέρχονται στα 433,55 kN/m στον πάσσαλο του δυτικού τοιχίου και 374,7 kN/m στους ανατολικού τοιχίου. Επομένως οι διατμητικές δυνάμεις που ασκούνται στο πάσσαλο του δυτικού τοιχίου είναι μεγαλύτερες από αυτές που ασκούνται στον πάσσαλο του ανατολικού τοιχίου.



Σχήμα 5.26. Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις πασσάλου δυτικού (αριστερά) και ανατολικού (δεξιά) τοιχίου για απόσταση πασσάλων 1,5m.

Τέλος όσο αφορά τις καμπτικές ροπές των πασσάλων, όπως φαίνεται και στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 5.27) είναι μεγαλύτερες στον πάσσαλο του ανατολικού (867,6 kNm/m) από ότι σε αυτόν του δυτικού (772,99 kNm/m) τοιχίου.



Σχήμα 5.27. Καμπτικές ροπές πασσάλου δυτικού (αριστερά) και ανατολικού (δεξιά) τοιχίου για απόσταση πασσάλων 1,5m.

## 5.6 Παραγωγή διαγραμμάτων – Curves.

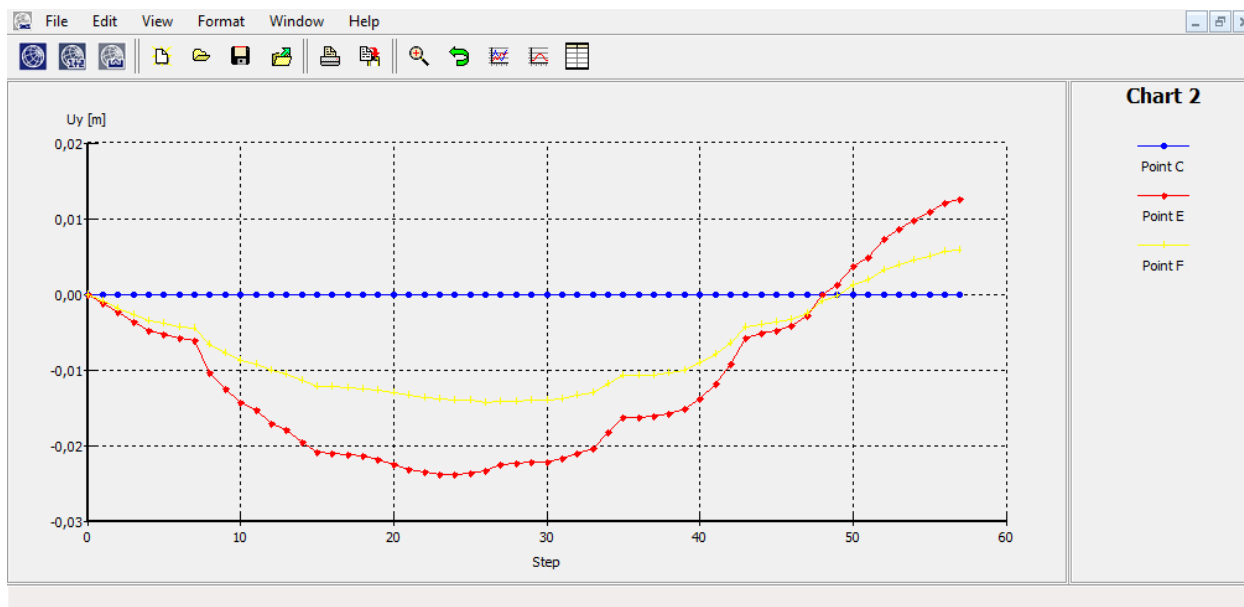
Το πρόγραμμα αυτό ενεργοποιείται επιλέγοντας την εντολή “Curves”. Με αυτό ο χρήστης δημιουργεί, σε διάφορα επιλεγμένα σημεία του σχεδίου, γραφικές παραστάσεις τις οποίες ορίζει ο ίδιος. Μέσω της ενεργοποίησης διαφόρων εντολών για τους αξονομετρικούς άξονες X και Ψ, επιτυγχάνεται η δημιουργία διαφορετικών διαγραμμάτων.

Στα πλαίσια της παρούσης ενότητας παρουσιάζεται, για τη βασική επίλυση, η μετακίνηση στον άξονα ψψ' σε διάφορα σημεία της επιφάνειας.

Στη ανατολική πλευρά επιλέχθηκε το σημείο της επιφάνειας του πασσάλου (C), ένα δεύτερο σημείο σε απόσταση 6 m από τον πάσσαλο (E) και ένα τρίτο σημείο 16 m από τον πάσσαλο (F). Σε αυτό το διάγραμμα (Διάγραμμα 5.1) παρατηρείται ότι η μέγιστη

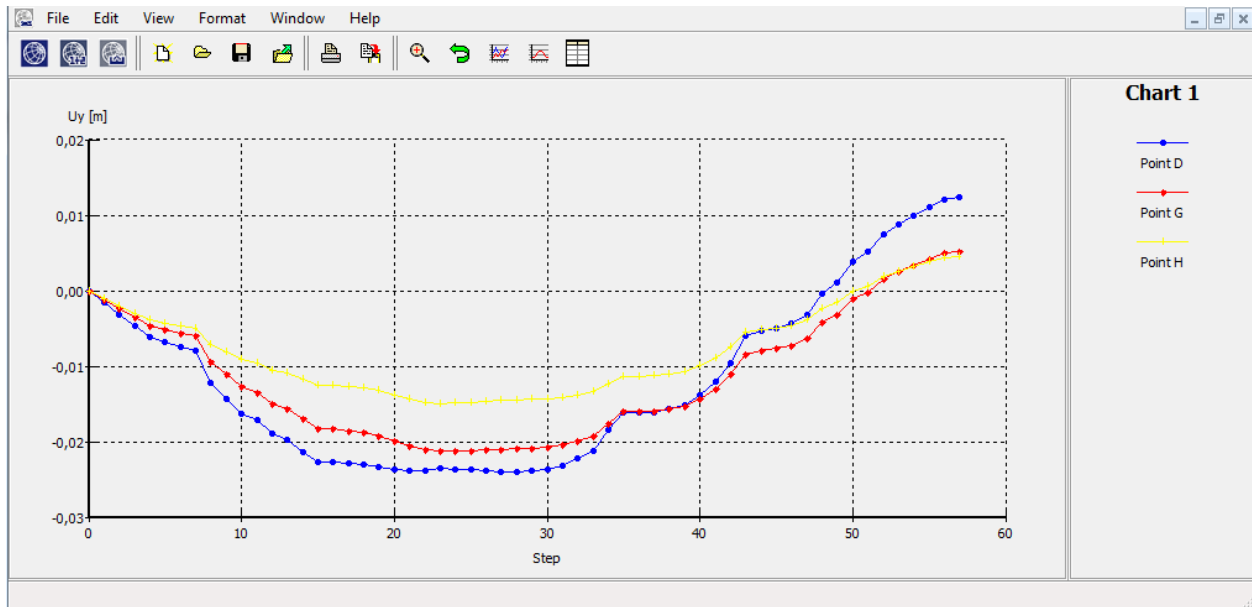


καθίζηση είναι της τάξης των 2 – 2,5 cm και εμφανίζεται σε απόσταση περίπου 6 m από τον πάσσαλο.



Διάγραμμα 5.1. Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της απόστασης από τον πάσσαλο του ανατολικού τοιχίου (απόσταση πασσάλων 2,5 m).

Στη δυτική πλευρά επιλέχθηκε σημείο 1 m (D) από το πάσσαλο, ένα δεύτερο σημείο σε απόσταση 8 m από το πάσσαλο (G) και ένα τρίτο σημείο σε απόσταση 14 m από τον πάσσαλο(H). Σε αυτό το διάγραμμα (Διάγραμμα 5.2) παρατηρείται, όπως και στο προηγούμενο, ότι οι μέγιστες μετακινήσεις αναμένονται στο 2 προς 3 βήμα εκσκαφής και μειώνονται όσο απομακρυνόμαστε από τα άκρα του πασσάλου.



Διάγραμμα 5.2. Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της απόστασης από το πάσσαλο του δυτικού τοιχίου (απόσταση πασσάλων 2,5 m) .

## 6 Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης- Παραμετρικές αναλύσεις.

### 6.1 Γενικά στοιχεία

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι παραμετρικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν προκειμένου να διερευνηθεί η επιρροή των διαφόρων παραμέτρων σχεδιασμού στην λειτουργία των μέτρων αντιστήριξης, όπως ο βαθμός προέντασης, η απόσταση των αγκυρίων και των πασσάλων, καθώς και το βάθος έμπηξης των πάσσαλων. Για την εκτέλεση των παραμετρικών αναλύσεων κάποιες εκ των παραμέτρων σχεδιασμού διατηρήθηκαν σταθερές σε όλες τις αναλύσεις. Οι κυριότερες από αυτές είναι το βάθος εκσκαφής, το μήκος των αγκυρίων, η διάμετρος των πασσάλων και τέλος τα μηχανικά χαρακτηριστικά των εδαφικών υλικών.

Πραγματοποιήθηκαν τρεις σειρές παραμετρικών αναλύσεων.

Στην πρώτη σειρά παραμετρικών αναλύσεων εξετάστηκε η επίδραση της απόστασης των πασσάλων στις συνολικές μετακινήσεις αυτών, καθώς και στις μέγιστες διατμητικές δυνάμεις και καμπτικές ροπές που αναπτύσσονται σε αυτούς. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκαν τέσσερις αναλύσεις για αποστάσεις πασσάλων (διαμέτρου  $\Phi$  1 m): α) 2,5 m (1Α ανάλυση), β) 2 m (1Β ανάλυση), γ) 1,5 m (1Γ ανάλυση) και δ) 1 m (1Δ ανάλυση).

Στην δεύτερη σειρά παραμετρικών αναλύσεων εξετάστηκε η επιρροή της προέντασης των αγκυρίων στις μετακινήσεις των πασσάλων (μέγιστες, στέψης, κλειδας). Για αυτό το λόγο πραγματοποιήθηκαν (για κάθε μία από τις αναλύσεις της 1<sup>ης</sup> σειράς) τέσσερις επιπλέον αναλύσεις με προένταση αγκυρίων (ίδια για όλες τις φάσεις) 600, 720, 840 και 942 kN.

Στην τρίτη σειρά παραμετρικών αναλύσεων εξετάστηκε η επίδραση του μήκους έμπηξης του πάσσαλου στις συνολικές μετακινήσεις αυτών. Για αυτό το λόγο πραγματοποιήθηκαν 4 αναλύσεις με μήκη έμπηξης : α) +1 m του αρχικού β) +2 m του

αρχικού, γ) -1 m του αρχικού και δ) -2 m αρχικού. Οι προαναφερόμενες αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν τόσο για το δυτικό όσο και για τον ανατολικό πασσαλότοιχο),

## 6.2 1<sup>η</sup> σειρά παραμετρικών αναλύσεων

Όπως τονίστηκε και προηγουμένως στη πρώτη παραμετρική ανάλυση πραγματοποιήθηκαν τέσσερις αναλύσεις αλλάζοντας τις αποστάσεις των πασσάλων. Μεταβάλλοντας την απόσταση των πασσάλων και κατ'επέκταση και των συνδεδεμένων σε αυτούς αγκύρια, οι δυνάμεις που ασκούνται κατανέμονται σε διαφορετικές επιφάνειες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αλλάζουν και οι τιμές εισαγωγής στο πρόγραμμα Plaxis. Παραδείγματος χάριν αν για απόσταση πασσάλων 1 m η αξονική δυσκαμψία του τοίχου είναι 100 kN/m, τότε για απόσταση πασσάλων 2 m η αξονική δυσκαμψία του τοίχου γίνεται  $\frac{100}{2} = 50$  kN/m. Οι παράμετροι που μεταβάλλονται για αυτό το λόγο είναι: η αξονική δυσκαμψία (EA) του πακτωμένου τμήματος του αγκυρίου, η αξονική δυσκαμψία (EA) και η απόσταση ( $L_{spacing}$ ) του αγκυρίου, καθώς και η δύναμη προέντασης του αγκυρίου (που εισάγεται στη φάση υπολογισμών). Τέλος από τη μεταβολή της απόστασης των πασσάλων επηρεάζεται η αξονική δυσκαμψία (EA) καμπτική (EI) το πάχος(d) και το βάρος(w) του διαφραγματικού τοίχου.

Στη συνέχεια δίνεται πίνακας (Πίνακας 6.1) που παρουσιάζει όλες τις νέες τιμές των δομικών στοιχείων που μεταβάλλονται ανάλογα με την διακύμανση της απόστασης των πασσάλων.

Πίνακας 6.1. Μεταβολή τιμών δομικών στοιχείων συναρτήσει της απόστασης των πασσάλων.

Ανάλυση	1A(2,5μ)	1B(2μ)	1Γ(1,5μ)	1Δ(1μ)
EA(δ/ου τοίχου) (kN/m)	11,67 E+06	13,65 E+06	16,95 E+06	23,55 E+06
EI(δ/ου τοίχου)(kN m)	592926	739452	983593	1471875
w(δ/ου τοίχου) (kN/m/m)	18,744	19,345	20,016	20,784
d(δ/ου τοίχου)(m)	0,781	0,806	0,834	0,866
EA(αγκυρίου) (kN/m)	166800	166800	166800	166800
$L_{spacing}$ (αγκυρίου) (m)	2,5	2	1,5	1
EA (πακτ. Αγκυρίου) (kN)	108816	136020	181360	272040

Τέλος στη φάση υπολογισμών, για τον ίδιο λόγο, αλλάζει η δύναμη προέντασης των αγκυρίων. Στο πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 6.2) δίνονται οι νέες τιμές της προέντασης των αγκυρίων ανάλογα με τη πλευρά και τη σειρά των αγκυρίων.

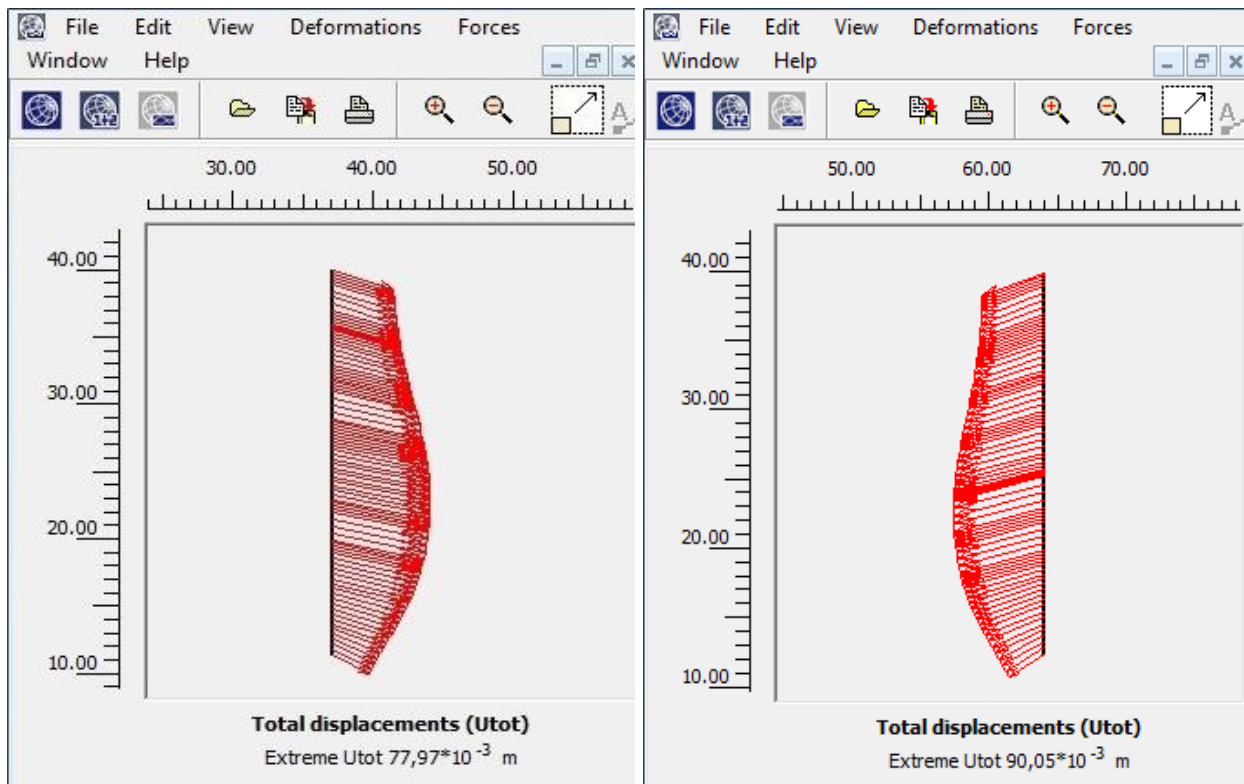
Πίνακας 6.2. Μεταβολή της δύναμης προέντασης των αγκυριών συναρτήσει της απόστασης των πασσάλων.

Ανάλυση	1A(2,5μ)		1B(2μ)		1Γ(1,5μ)		1Δ(1μ)	
	Δυτική	Ανατολική	Δυτική	Ανατολική	Δυτική	Ανατολική	Δυτική	Ανατολική
1η σειρά (kN/m)	376,8	376,8	471	471	628	628	942	942
2η σειρά (kN/m)	376,8	376,8	471	471	628	628	942	942
3η σειρά (kN/m)	312	234	390	282,5	520	376,6	780	565
4η σειρά (kN/m)	-	234		282,5		376,6		565
5η σειρά (kN/m)	312	234	390	282,5	520	376,6	780	565
6η σειρά (kN/m)	312	234	390	282,5	520	376,6	780	565

Μετά τον υπολογισμό των δεδομένων εισαγωγής, για κάθε μία από τις τέσσερις φάσεις, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις στο output program και στο curves του Plaxis. Από τις αναλύσεις αυτές εξήχθησαν συμπεράσματα για: α) τις παραμορφώσεις των πασσάλων (μέγιστες, στέψης, κλείδας), β) τις καμπτικές ροπές που αναπτύσσονταν στους πασσάλους, γ) τις μέγιστες διατμητικές δυνάμεις που ασκούνταν στους πασσάλους και δ) τις κατακόρυφες μετατοπίσεις σε διάφορες αποστάσεις από τους πασσάλους.

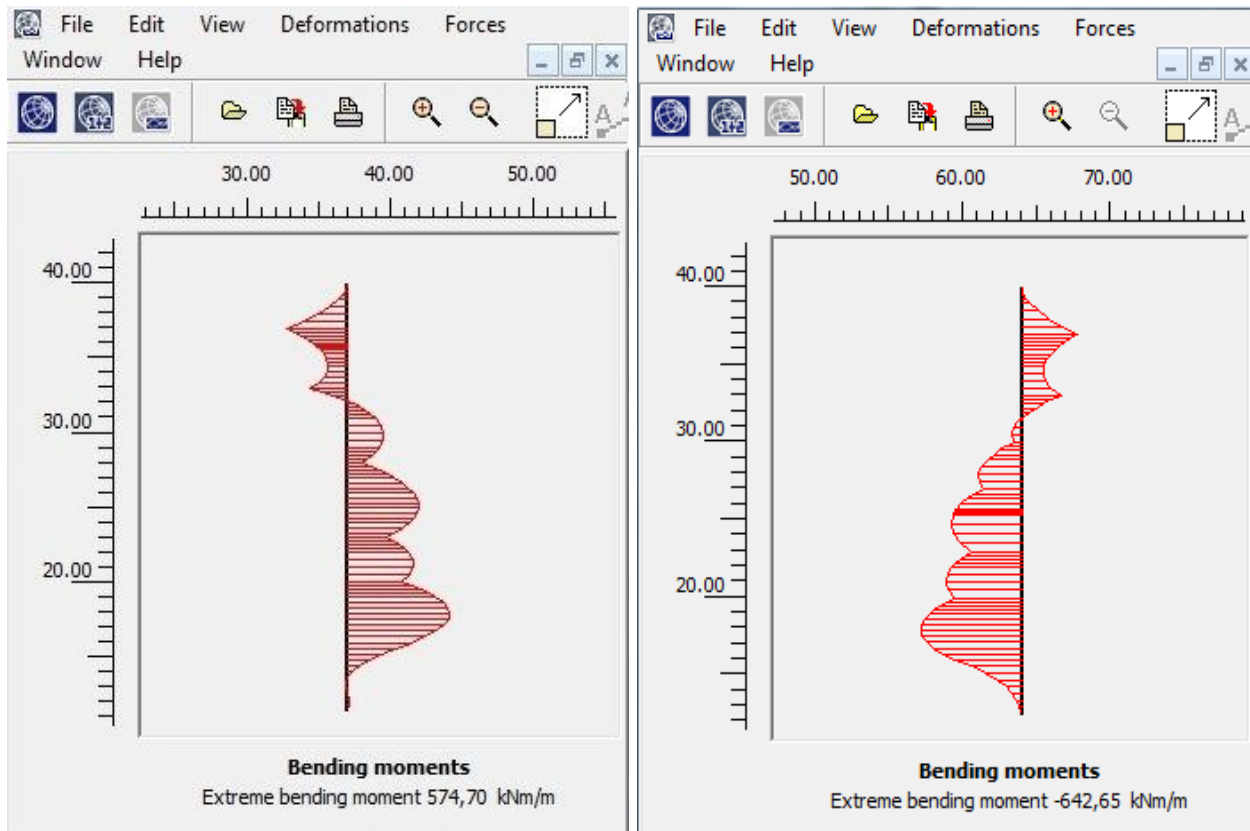
Σε αυτή τη παράγραφο δίνονται τα αποτελέσματα της 1A ανάλυσης, καθώς αυτή θεωρείται δυσμενέστερη (απόσταση πασσάλων 2,5m). Στο Παράρτημα 1 (σελ. 156) δίνονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα και των υπόλοιπων αναλύσεων.

Όσον αφορά τις συνολικές μετακινήσεις των πασσάλων, αυτές είναι περισσότερες στον πάσσαλο του ανατολικού τοιχίου, όπου η μέγιστη μετακίνηση φτάνει τα 9 cm έναντι των 7,7 cm του πασσάλου του δυτικού τοιχίου (Σχήμα 6.1). Στη στέψη οι μετακινήσεις ανέρχονται σε 5,94 cm για τον πάσσαλο της ανατολικής πλευράς και 4,7 cm για αυτόν της δυτικής πλευράς ενώ στη κλείδα οι μετακινήσεις είναι 3,36cm και 2,82cm αντίστοιχα.



Σχήμα 6.1. Συνολικές μετακινήσεις πασσάλου δυτικού (αριστερά) και ανατολικού (δεξιά) τοιχίου για απόσταση πασσάλων 2,5m.

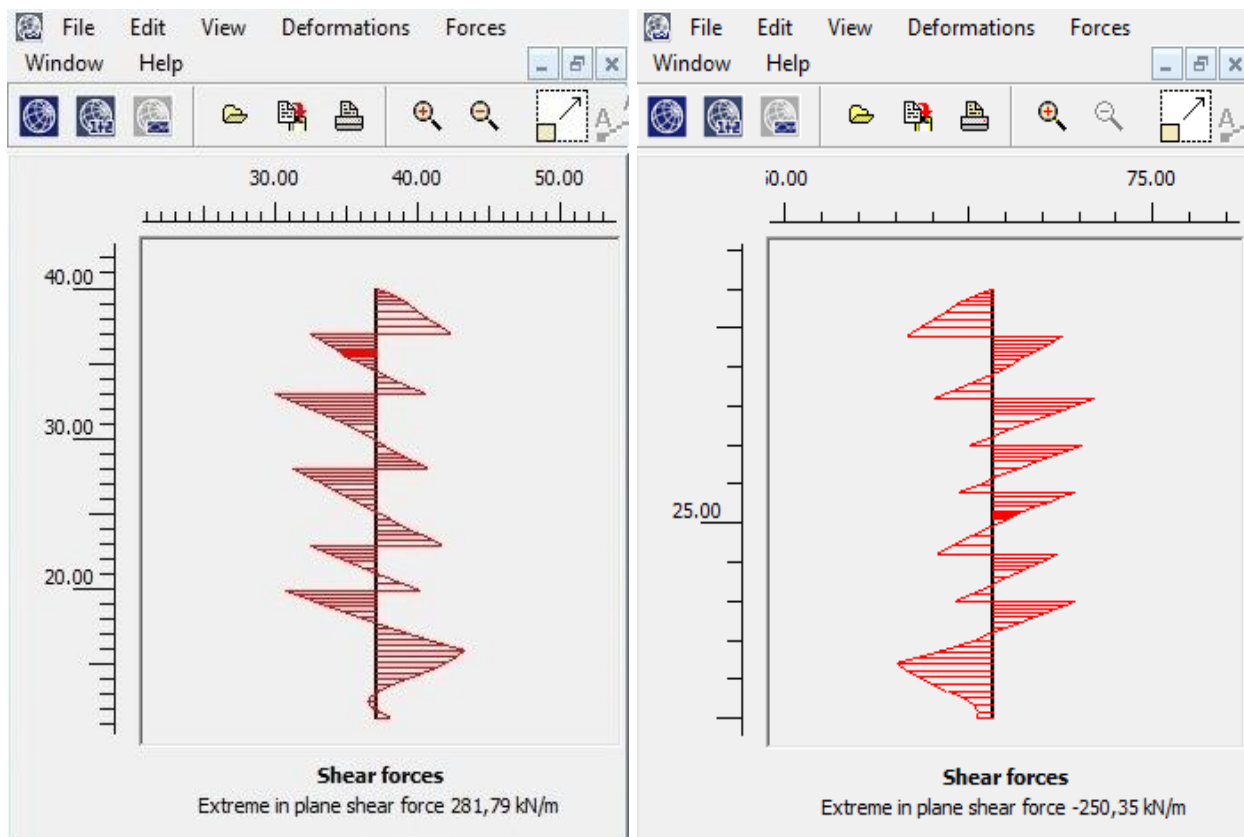
Όσον αφορά τις καμπτικές ροπές που αναπτύσσονται (Σχήμα 6.2), αυτές ήταν μεγαλύτερες στον πάσσαλο του ανατολικού τοιχίου (642,65 kNm/m) έναντι του δυτικού (574,4 kNm/m). Είναι χρήσιμο να τονιστεί ότι οι ροπές στο output program του Plaxis ανάγονται σε μονάδες μήκους. Για τον υπολογισμό της απόλυτης τιμής πρέπει στο αποτέλεσμα που δίνει το πρόγραμμα να πολλαπλασιασθεί η απόσταση των πασσάλων (στη συγκεκριμένη ανάλυση ήταν τα 2,5 m). Επομένως οι απόλυτες τιμές που προέκυψαν είναι 1436 kN m για τον πάσσαλο του ανατολικού τοιχίου και 1606 kN m για αυτόν του δυτικού τοιχίου.



Σχήμα 6.2. Καμππικές ροπές πασσάλου δυτικού (αριστερά) και ανατολικού (δεξιά) τοιχίου για απόσταση πασσάλων 2,5m.

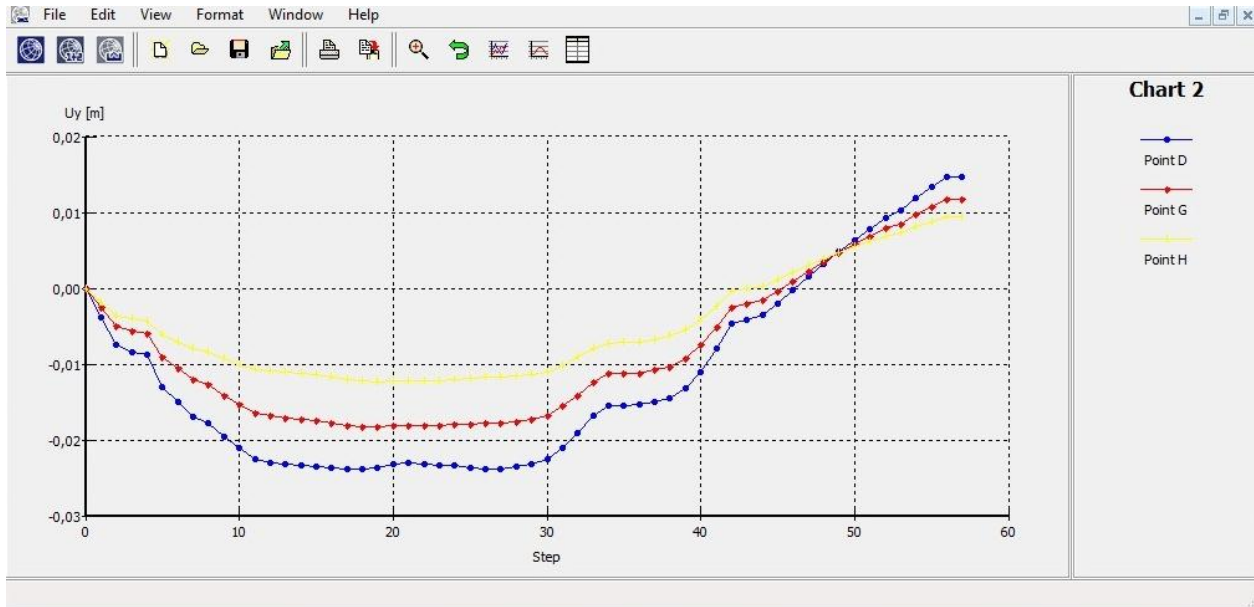
Επιπλέον, οι μέγιστες διαμητικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στον πάσσαλο του δυτικού τοιχίου (281,79 kN/m) είναι μεγαλύτερες από εκείνες του ανατολικού (250,35 kN/m) (Σχήμα 6.3). Θα πρέπει εδώ να τονιστεί ότι το μείον που εμφανίζεται στις δυνάμεις του ανατολικού πασσάλου δηλώνει την αντίθετη φορά της δύναμης. Για την εύρεση της απόλυτης τιμής πρέπει να γίνει και εδώ ο πολλαπλασιασμός με την απόσταση των πασσάλων, δηλαδή με 2,5 m (για την συγκεκριμένη ανάλυση). Άρα η απόλυτη τιμή διαμορφώθηκε σε 704,47 kN για τον πάσσαλο του δυτικού τοιχίου και 625,87 kN για αυτόν του ανατολικού τοιχίου.



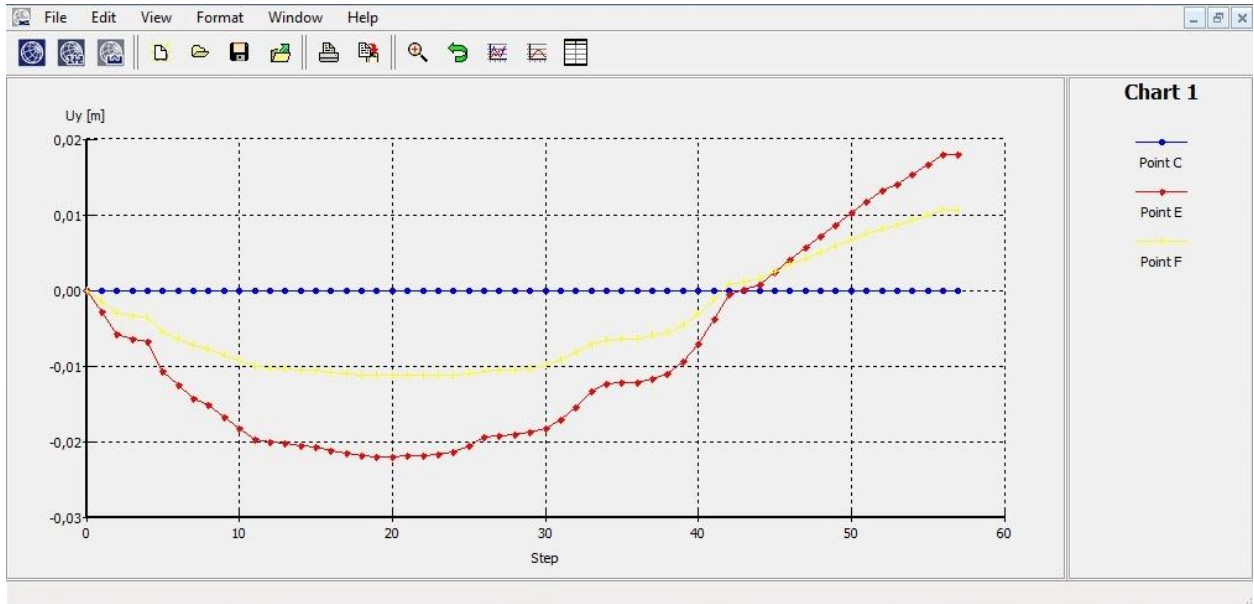


Σχήμα 6.3. Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις πασσάλου δυτικού (αριστερά) και ανατολικού (δεξιά) τοιχίου για απόσταση πασσάλων 2,5m.

Τέλος στο πρόγραμμα Curves επιλέχθηκε να γίνει η ανάλυση των μετακινήσεων στο ψ' σε διάφορες αποστάσεις από το πάσσαλο ανάλογα με τα βήματα εκσκαφής. Τα σημεία D, G και H αναφέρονται σε αποστάσεις 1, 8 και 14m από τον πάσσαλο δυτικού τοιχίου (Διάγραμμα 6.1) ενώ τα σημεία C, E και F αντιστοιχούν σε αποστάσεις 0, 6 και 16m από τον πάσσαλο του ανατολικού τοιχίου (Διάγραμμα 6.2). Όπως φαίνεται από το δύο διαγράμματα που παρουσιάζονται οι μέγιστες μετατοπίσεις αναμένονται μεταξύ 2<sup>ου</sup> και 3<sup>ου</sup> βήματος εκσκαφής και μειώνονται όσο απομακρυνόμαστε από το πάσσαλο



Διάγραμμα 6.1. Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της απόστασης από το πάσσαλο του δυτικού τοιχίου (απόσταση πασσάλων 2,5 m) .



Διάγραμμα 6.2. Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της απόστασης από τον πάσσαλο του ανατολικού τοιχίου (απόσταση πασσάλων 2,5 m).

Η ίδια διαδικασία, όπως τονίστηκε και προηγουμένως, ακολουθήθηκε και για τις τέσσερις φάσεις ανάλυσης. Για την εξαγωγή συμπερασμάτων, σχετικά με το ποσοστό επηρεασμού της απόστασης των πασσάλων στους προαναφερθέντες παράγοντες της

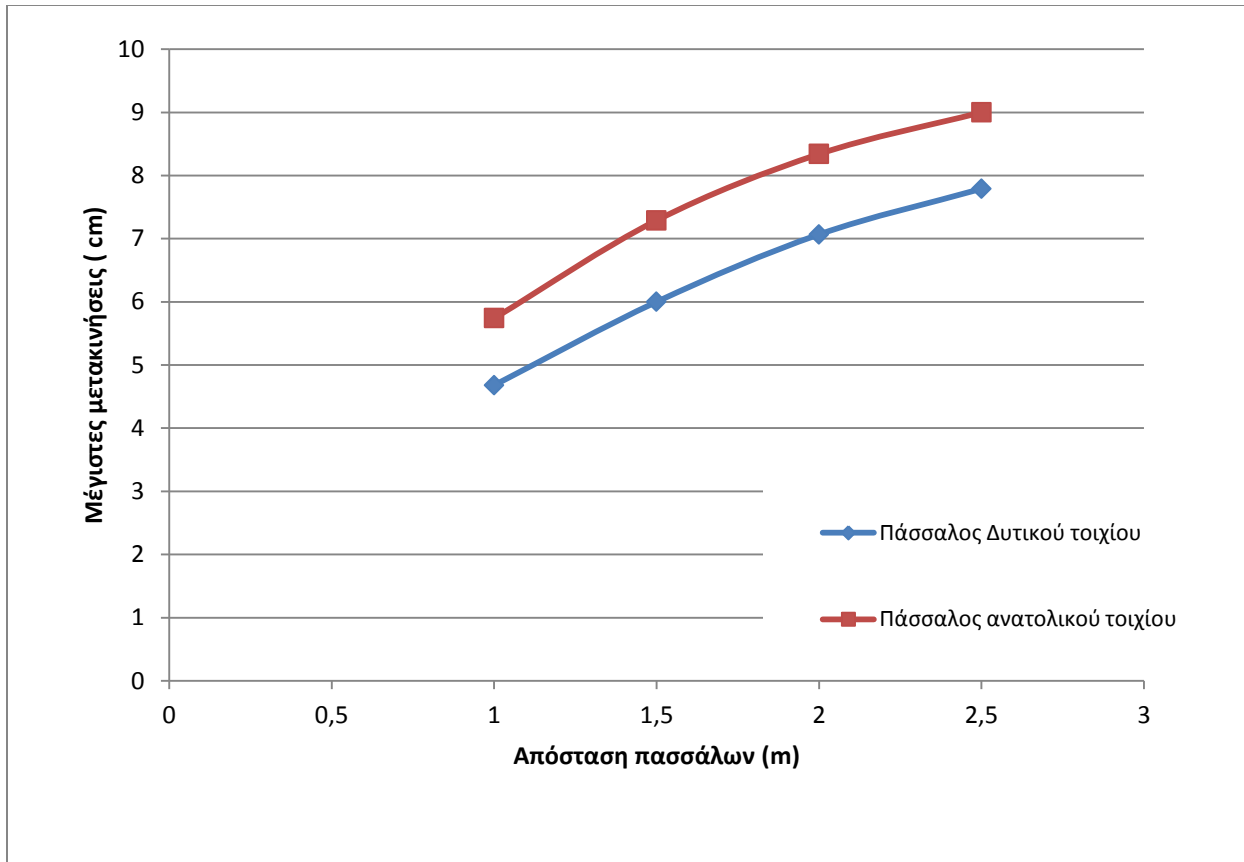
ανάλυσής μας, κατασκευάστηκε ένας συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 6.3) που δίνεται στη συνέχεια.

Πίνακας 6.3. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα 1<sup>ης</sup> σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

Ανάλυση	1A (2,5μ)		1B(2μ)		1Γ(1,5μ)		1Δ(1μ)	
	Δυτική	Ανατολική	Δυτική	Ανατολική	Δυτική	Ανατολική	Δυτική	Ανατολική
<b>total displacements (cm)</b>	7,79	9	7,067	8,34	6	7,29	4,68	5,74
<b>Στέψη (cm)</b>	4,7	5,94	3,8	5,03	2,3	3,49	-0,43	0,5
<b>Κλείδα (cm)</b>	2,82	3,36	2,89	3,45	3	3,58	3,2	3,8
<b>bending moments (kNm/m)</b>	574,4	642,65	657,75	737,87	772,9	867,76	925,36	1040
<b>bending moments (kNm)</b>	1436	1606	1315,5	1475,7	1159,4	1301,64	925,36	1040
<b>shear force (kN/m)</b>	281,79	250,35	341,95	301,14	433,55	374,7	589,31	498,19
<b>shear force (kN)</b>	704,47	625,87	683,9	602,28	650,3	562	589,31	498,19

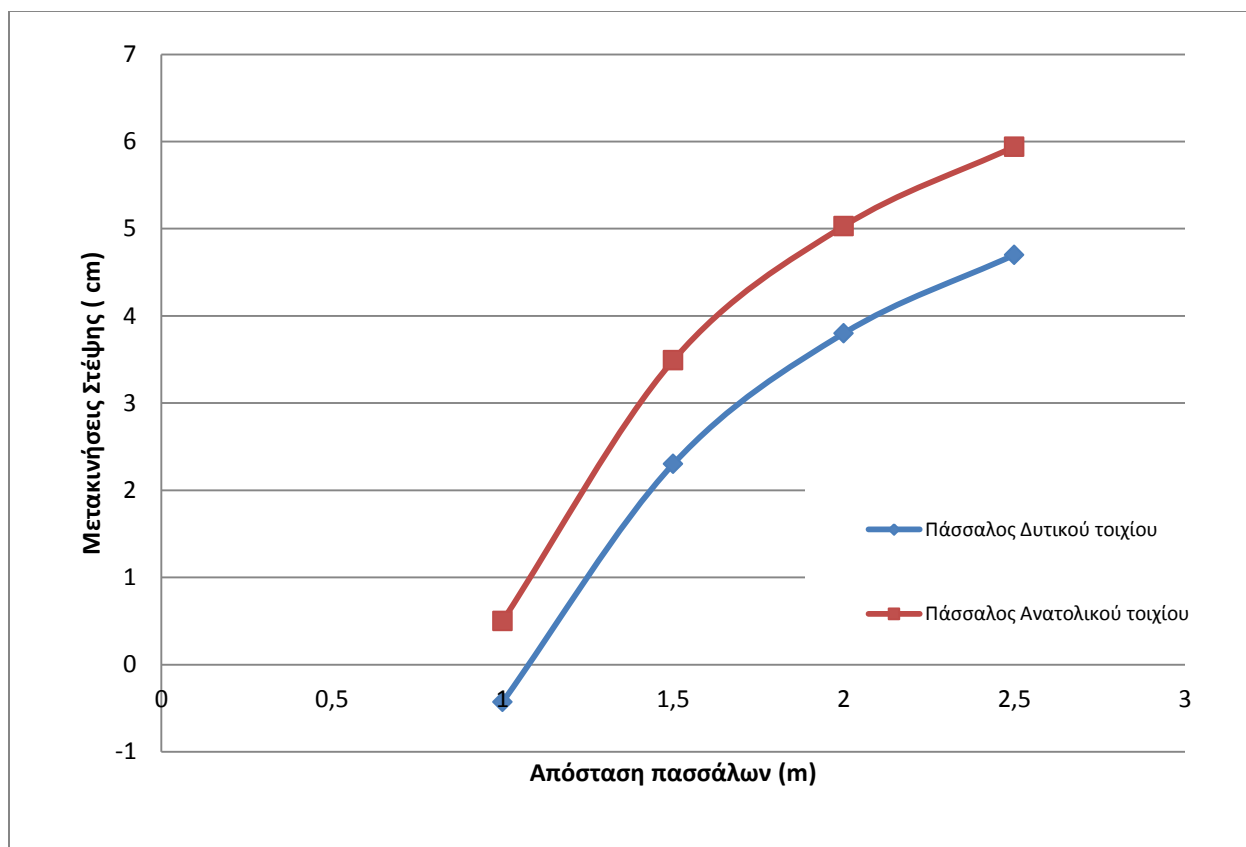
Από αυτό το πίνακα μπορούν να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα σε σχέση με το ποια είναι η επίδραση της απόστασης των πασσάλων στην συνολική κατασκευή.

1.Όσο αφορά τις μέγιστες μετακινήσεις των πασσάλων είναι φανερό ότι όσο μικραίνει η απόσταση των πασσάλων τόσο μικραίνουν και αυτές. Αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό παρατηρώντας στο διάγραμμα 6.3 τις συνολικές μετακινήσεις για τη 1A (απόσταση πασσάλων 2,5m) και 1Δ (απόσταση πασσάλων 1m) ανάλυση. Στη πρώτη περίπτωση οι μετακινήσεις ανέρχονται στα 7,79cm για τη δυτική πλευρά και στα 9cm για την ανατολική ενώ στη τελευταία περίπτωση μειώνονται στα 4,68cm και 5,74cm αντίστοιχα. Παρατηρείται μία μεταβολή από τη 1A στη 1Δ ανάλυση της τάξεως του 39% για τη δυτική πλευρά και του 48% για την ανατολική.



Διάγραμμα 6.3. Μέγιστες μετακινήσεις πασσάλων σε συνάρτηση με την απόσταση των πασσάλων. Αποτελέσματα 1<sup>ης</sup> σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

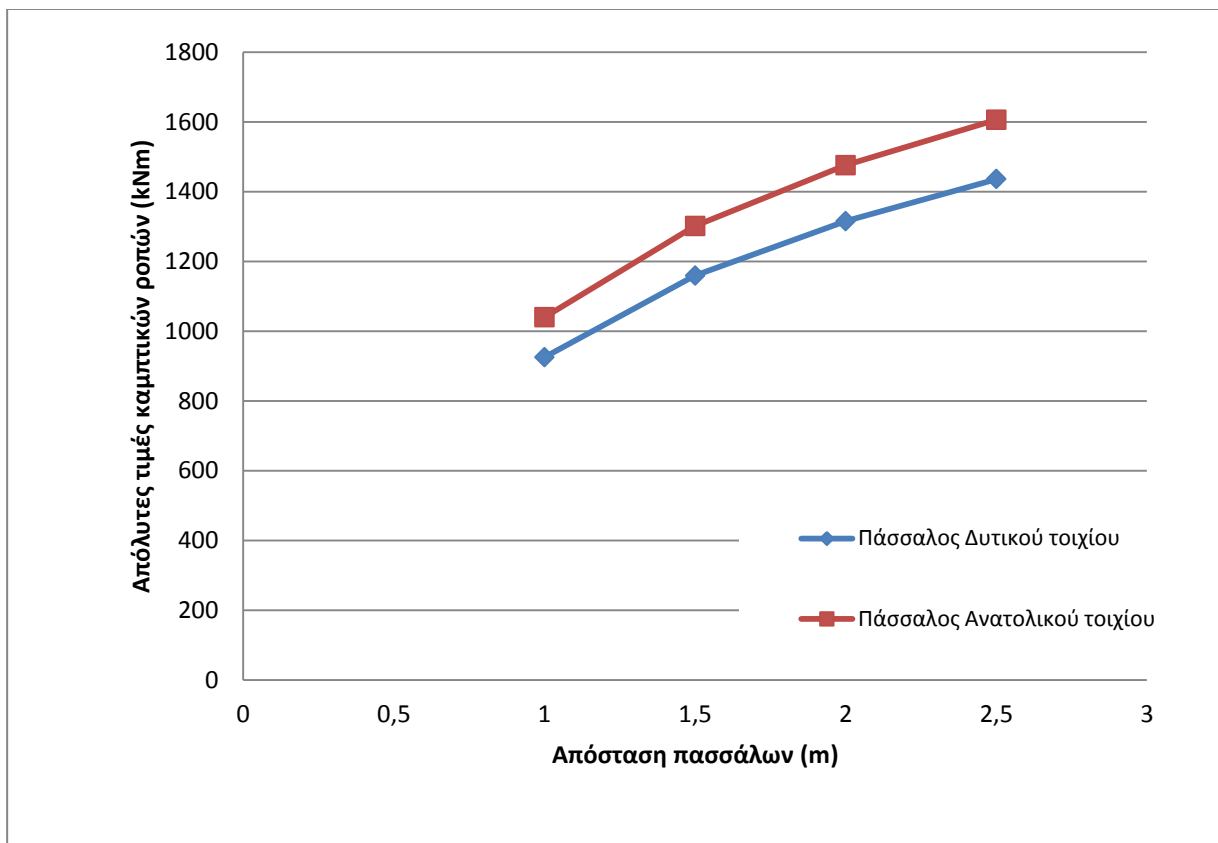
2.Όσον αφορά τις μετακινήσεις στη περιοχή της στέψης, παρατηρείται (Διάγραμμα 6.4) μία αναλογική μείωση των μετακινήσεων της στέψης και της απόστασης των πασσάλων. Μάλιστα η μεταβολή των μετακινήσεων πλησιάζει από τη 1Α στη 1Δ το 95% για τη δυτική πλευρά και το 90% για την ανατολική πλευρά.



Διάγραμμα 6.4. Μετακινήσεις πασσάλων στη στέψη σε συνάρτηση με την απόσταση των πασσάλων. Αποτελέσματα 1ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

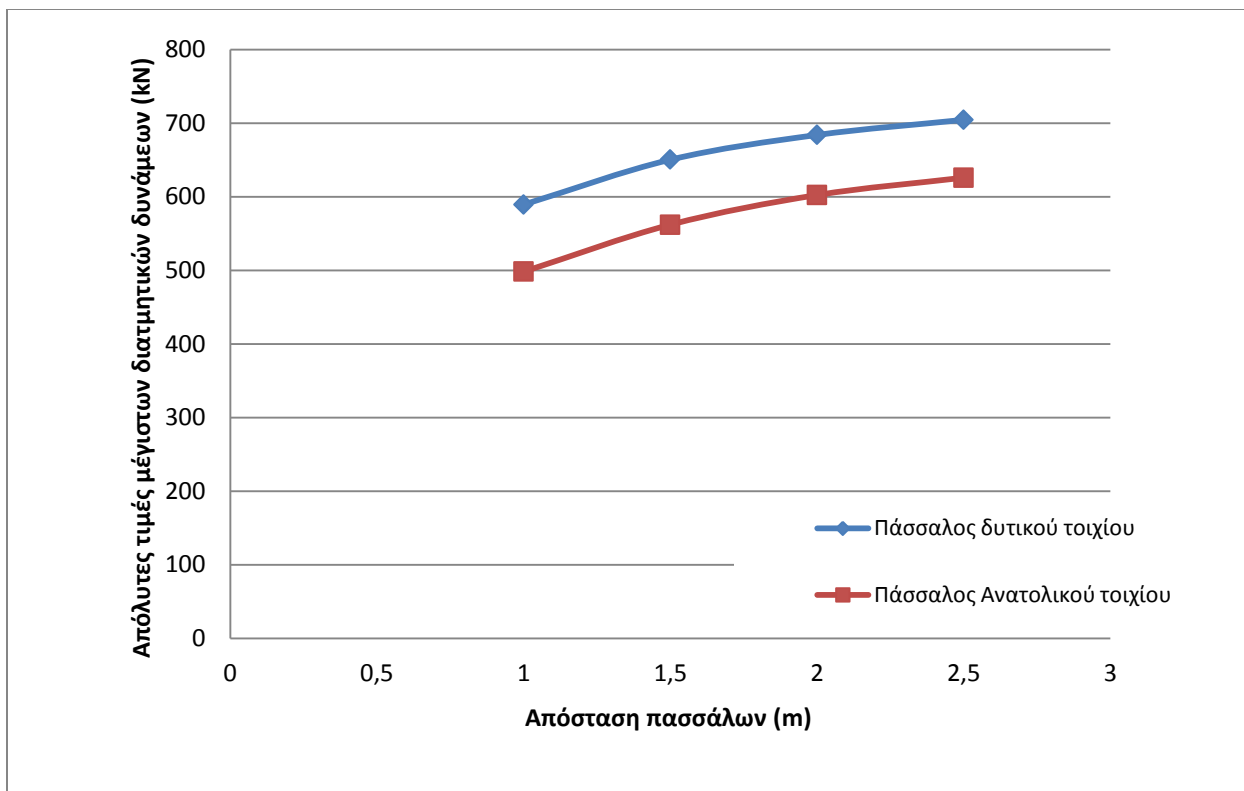
3.Όσον αφορά τις μετακινήσεις στη περιοχή της κλείδας, η διαφορά των μετακινήσεων δεν είναι σημαντικές καθώς αγγίζουν τα 4mm.

4.Όσον αφορά τις απόλυτες τιμές των καμπτικών ροπών παρατηρείται (Διάγραμμα 6.5) αναλογική μείωση αυτών με την μείωση της απόστασης των πασσάλων. Αναλυτικότερα η μεταβολή της ροπής από τη 1Α στη 1Δ ανάλυση είναι της τάξης του 35,5% τόσο για το πάσσαλο του δυτικού όσο και για του ανατολικού τοιχίου.



Διάγραμμα 6.5. Απόλυτες τιμές καμπτικών ροπών σε συνάρτηση με την απόσταση των πασσάλων. Αποτελέσματα 1ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

5. Τέλος όσο αφορά τις απόλυτες τιμές των μέγιστων διατμητικών δυνάμεων που ασκούνται στους πασσάλους, αυτές μειώνονται όσο ελαχιστοποιούνται οι αποστάσεις των πασσάλων (Διάγραμμα 6.6). Συγκεκριμένα από τη 1Δ στη 1Α ανάλυση η μεταβολή των διατμητικών δυνάμεων είναι της τάξης του 16,34% για το πάσσαλο του δυτικού τοιχίου και 20 % για αυτόν του ανατολικού τοιχίου.



Διάγραμμα 6.6. Απόλυτες τιμές μέγιστων διαμηθικών δυνάμεων σε συνάρτηση με την απόσταση των πασσάλων. Αποτελέσματα 1ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

### 6.3 2<sup>η</sup> σειρά παραμετρικών αναλύσεων

Στη 2<sup>η</sup> σειρά παραμετρικών αναλύσεων πραγματοποιήθηκαν, για κάθε μία από τη 1<sup>η</sup> σειρά παραμετρικών αναλύσεων, τέσσερις επιπλέον αναλύσεις (συνολικά 16). Σε αυτές τις αναλύσεις γινόταν αλλαγή της προέντασης των αγκυριών. Οι προεντάσεις που εφαρμόστηκαν ήταν ίδιες για όλες τις σειρές των αγκυριών και προσέγγιζαν: α) τα 600 kN, β) τα 720 kN, γ) τα 840 kN και δ) τα 942 kN. Μεταβάλλοντας την προένταση των αγκυριών μεταβάλλονταν και οι δυνάμεις που ασκούσαν από τα αγκύρια στις διαμορφωθείσες επιφάνειες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αλλάζουν και οι τιμές εισαγωγής στο πρόγραμμα Plaxis. Στο πίνακα 6.4 δίνονται οι τιμές των προεντάσεων που εισήχθησαν στο πρόγραμμα υπολογισμών του Plaxis.



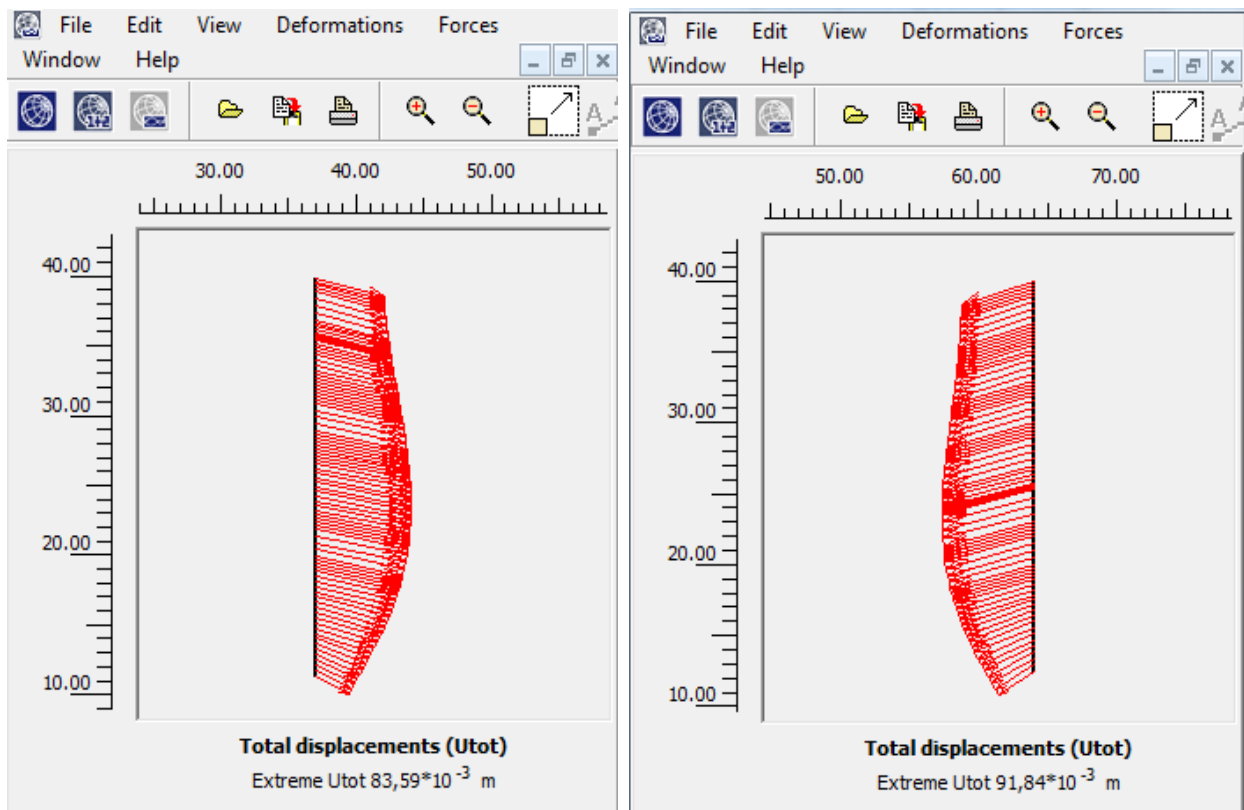
Πίνακας 6.4. Απόλυτες τιμές δύναμης προέντασης συναρτήσει της απόστασης των πασσάλων.

Απόλυτη τιμή(kN)	Αριθμός Ανάλυσης	<b>1A(2,5μ)</b> (kN/m)	<b>1B(2μ)</b> (kN/m)	<b>1Γ(1,5μ)</b> (kN/m)	<b>1Δ(1μ)</b> (kN/m)
600	1	240	300	400	600
720	2	288	360	480	720
840	3	336	420	560	840
942	4	376,8	471	628	942

Μετά τον υπολογισμό των δεδομένων εισαγωγής, για κάθε μία από τις δεκαέξι φάσεις, πραγματοποιήθηκαν απεικονίσεις στο output program του Plaxis. Από τις αναλύσεις αυτές εξήχθησαν συμπεράσματα για τις παραμορφώσεις των πασσάλων (μέγιστες, στέψης, κλείδας) σε σχέση με το βαθμό προέντασης των αγκυρίων.

Σε αυτή τη παράγραφο παρουσιάζονται οι τέσσερις αναλύσεις για απόσταση πασσάλων 2,5 m, περίπτωση όπου θεωρείται η δυσμενέστερη. Τα αποτελέσματα (με τα αντίστοιχα σχήματα) όλων των αναλύσεων δίνονται συγκεντρωτικά στο Παράρτημα 2 (σελ. 164) αυτής της εργασίας.

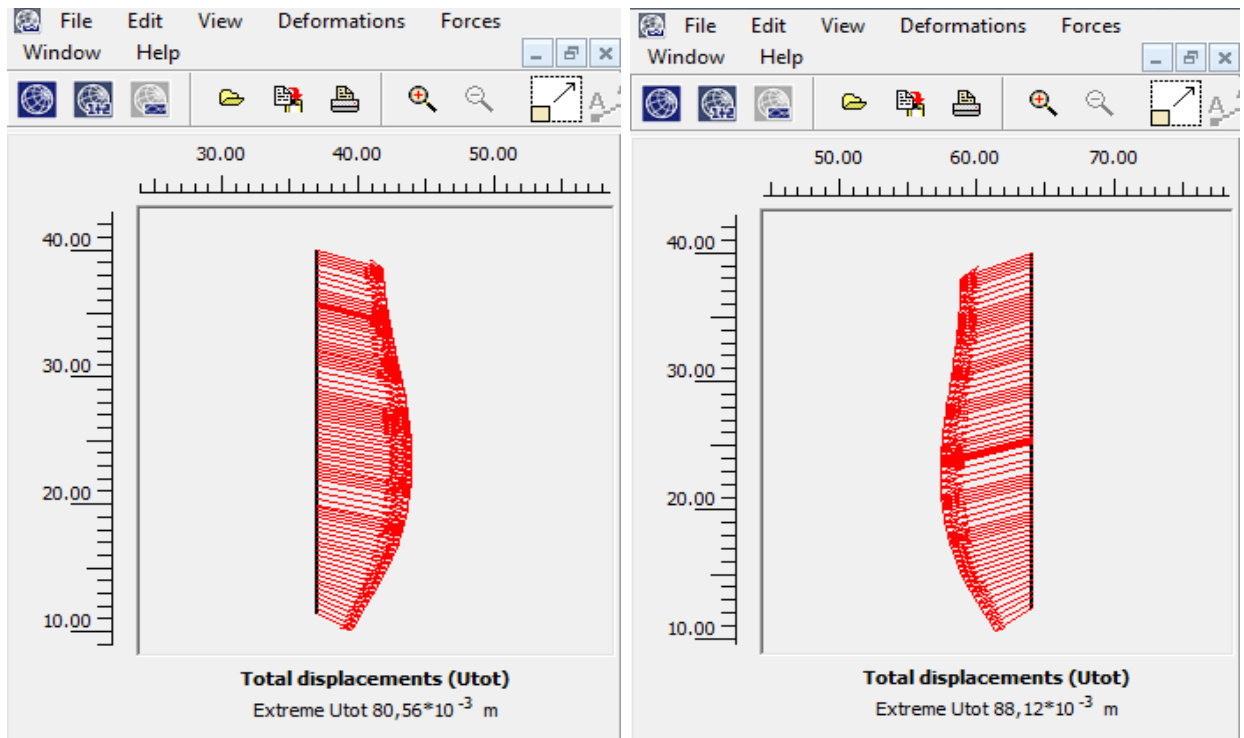
Στη πρώτη περίπτωση (Σχήμα 6.4) παρατηρείται ότι για προένταση αγκυρίων 600 kN η μέγιστη μετακίνηση προσεγγίζει τα 8,36 cm για τον πάσσαλο του δυτικού τοιχίου και 9,18 cm για τον πάσσαλο του ανατολικού τοιχίου. Αυτές οι μετακινήσεις αναμένονται σε βάθος 20 m περίπου και για τους δύο πασσάλους. Όσον αφορά τη στέψη, οι μετακινήσεις μειώνονται σε 5,83 cm για το πάσσαλο της δυτικής πλευράς και 6,96 cm για αυτόν της ανατολικής πλευράς. Τέλος στη κλείδα οι μετακινήσεις είναι της τάξης των 2,8 cm για τη δυτική και 3,35 cm για την ανατολική πλευρά.



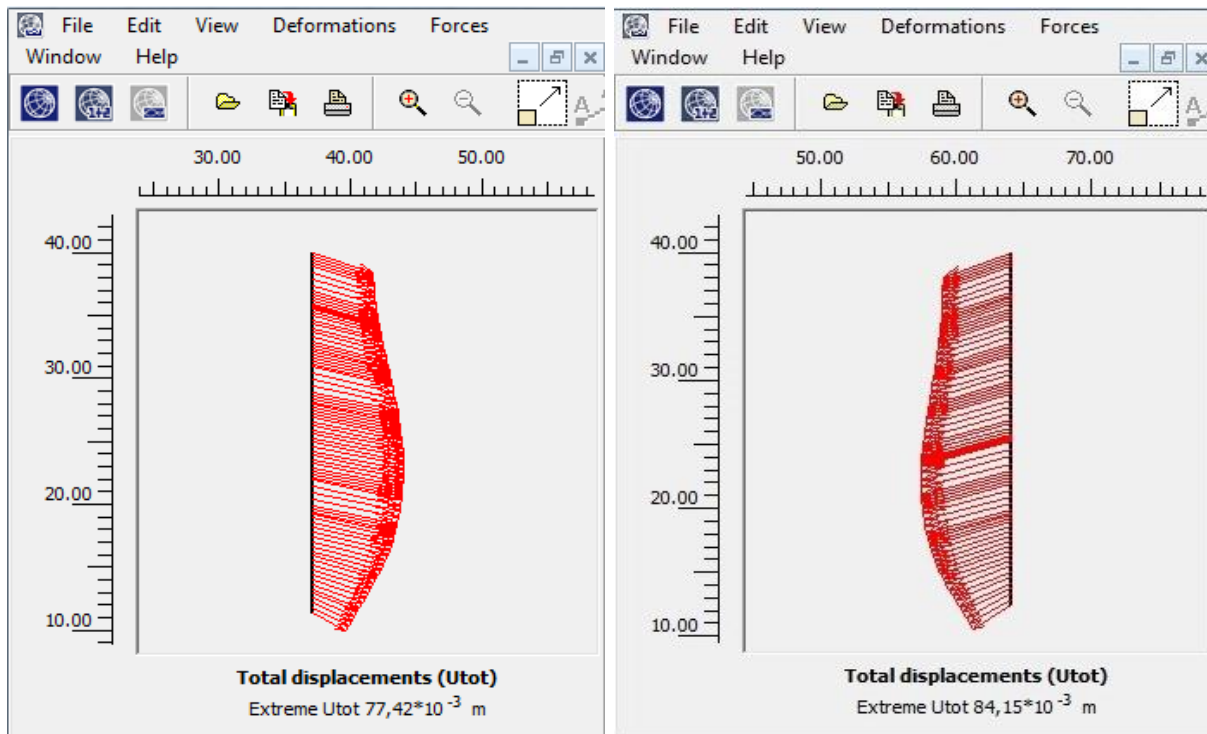
Σχήμα 6.4. Συνολικές μετακινήσεις πασσάλου δυτικού (αριστερά) και ανατολικού (δεξιά) τοιχίου για απόσταση πασσάλων 2,5m και απόλυτη τιμή προέντασης αγκυρίων 600 kN.

Στη δεύτερη περίπτωση (Σχήμα 6.5, προένταση αγκυρίων 720 kN) οι μέγιστες μετακινήσεις εμφανίζονται στα 20m της εκσκαφής και είναι 8,05 cm για το πάσσαλο του δυτικού τοιχίου και 8,81 cm για αυτόν του ανατολικού τοιχίου. Στη στέψη οι μετακινήσεις φτάνουν τα 5,44 cm για το πάσσαλο της δυτικής πλευράς και 6,65 cm για αυτόν της ανατολικής πλευράς ενώ στη κλείδα οι μετακινήσεις είναι 2,81 και 3,38 cm αντίστοιχα.

Στη τρίτη περίπτωση (Σχήμα 6.6, προένταση αγκυρίων 840 kN) οι μέγιστες μετακινήσεις εμφανίζονται και εδώ σε βάθος 20 m και προσεγγίζουν τα 7,74 cm για το πάσσαλο του δυτικού τοιχίου και 8,4 cm για αυτόν του ανατολικού τοιχίου. Στη περιοχή της στέψης οι μετακινήσεις ανέρχονται στα 5,04 cm για το πάσσαλο της δυτικής πλευράς και 6,1 cm για αυτόν της ανατολικής πλευράς ενώ στη περιοχή της κλείδας οι μετακινήσεις είναι 2,83 και 3,36 cm αντίστοιχα.

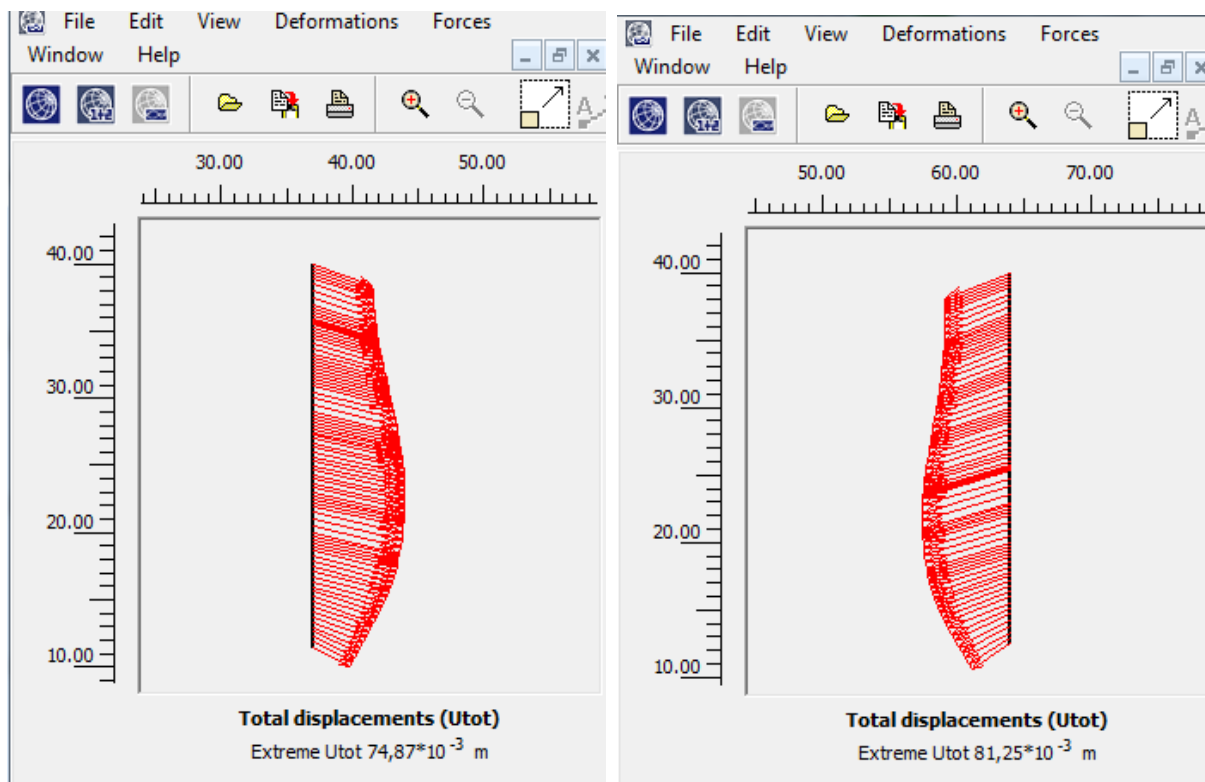


Σχήμα 6.5. Συνολικές μετακινήσεις πασσάλου δυτικού (αριστερά) και ανατολικού (δεξιά) τοιχίου για απόσταση πασσάλων 2,5m και απόλυτη τιμή προέντασης αγκυριών 720 kN.



Σχήμα 6.6. Συνολικές μετακινήσεις πασσάλου δυτικού (αριστερά) και ανατολικού (δεξιά) τοιχίου για απόσταση πασσάλων 2,5m και απόλυτη τιμή προέντασης αγκυριών 840 kN.

Τέλος στη τέταρτη περίπτωση (Σχήμα 6.7, προένταση αγκυρίων 942 kN) οι μέγιστες μετακινήσεις, που εμφανίζονται σε βάθος 20 m, ανέρχονται σε 7,487 cm για το πάσσαλο του δυτικού τοιχίου και 8,125 cm για αυτόν του ανατολικού τοιχίου. Στη περιοχή της στέψης οι μετακινήσεις προσεγγίζουν τα 4,71 cm για τον πάσσαλο της δυτικής πλευράς και 5,76 cm για αυτόν της ανατολικής ενώ στη περιοχή της κλειδας οι μετακινήσεις είναι 2,85 cm και 3,42 cm αντίστοιχα.



Σχήμα 6.7. Συνολικές μετακινήσεις πασσάλου δυτικού (αριστερά) και ανατολικού (δεξιά) τοιχίου για απόσταση πασσάλων 2,5m και απόλυτη τιμή προέντασης αγκυρίων 942 kN.

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τις υπόλοιπες αναλύσεις. Στους επόμενους πίνακες δίνονται τόσο για τον πάσσαλο του δυτικού τοιχίου (Πίνακας 6.5) όσο και για τον πάσσαλο του ανατολικού τοιχίου (Πίνακας 6.6) οι μέγιστες μετακινήσεις, οι μετακινήσεις στη στέψη και στη κλειδα για όλες τις αναλύσεις.

Πίνακας 6.5. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα 2<sup>ης</sup> σειράς παραμετρικών αναλύσεων για τις μετακινήσεις του πάσσαλου του δυτικού τοιχίου.

ΠΑΣΣΑΛΟΣ ΔΥΤΙΚΟΥ ΤΟΙΧΙΟΥ																
	1Α(2,5μ)				1Β(2μ)				1Γ(1,5μ)				1Δ(1μ)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Μέγιστες Μετ/εις (cm)	8,36	8,05	7,74	7,49	7,76	7,38	7	6,7	6,85	6,37	5,93	5,59	5,39	4,88	4,52	4,27
Μετ/εις Στέψη (cm)	5,83	5,44	5,04	4,71	5,18	4,69	4,19	3,76	4,15	3,48	2,82	2,24	2,26	1,31	0,38	0
Μετ/εις Κλείδα (cm)	2,78	2,81	2,83	2,85	2,846	2,88	2,9	2,93	2,94	2,98	3,02	3,06	3,13	3,18	3,24	3,29

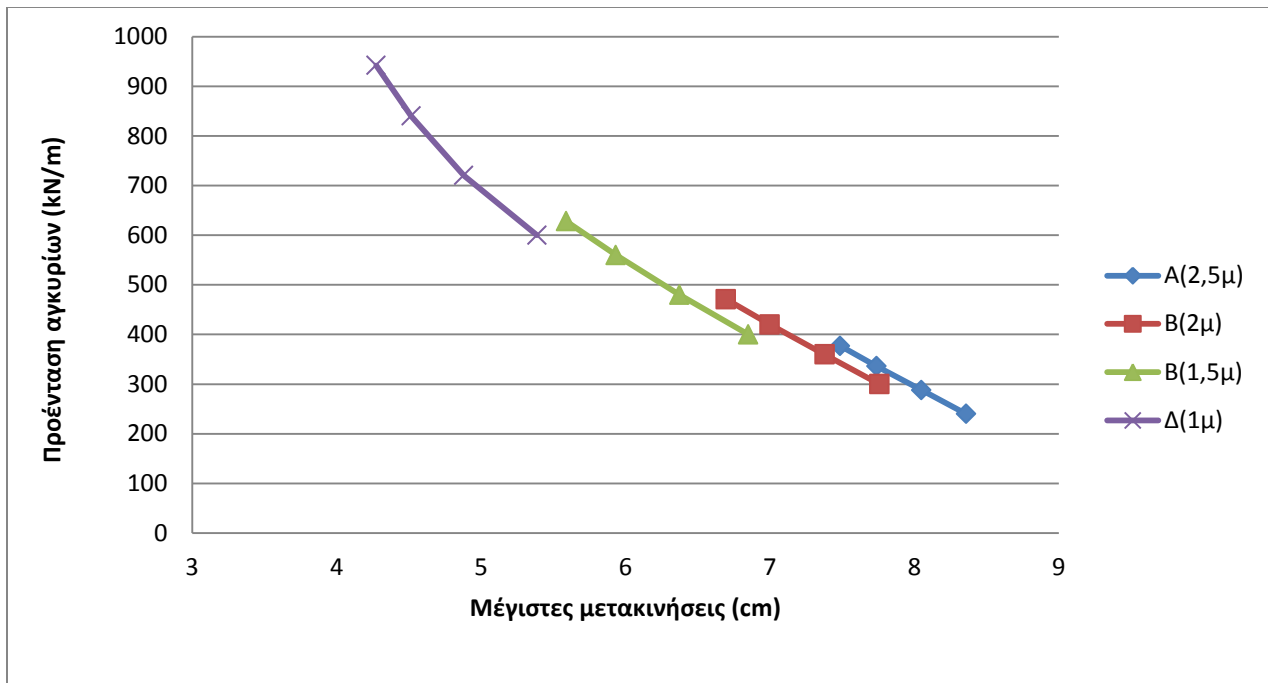
Πίνακας 6.6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα 2ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων για τις μετακινήσεις του πάσσαλου του ανατολικού τοιχίου.

ΠΑΣΣΑΛΟΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΥ ΤΟΙΧΙΟΥ																
	1Α(2,5μ)				1Β(2μ)				1Γ(1,5μ)				1Δ(1μ)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Μέγιστες Μετ/εις (cm)	9,18	8,81	8,4	8,13	8,48	8,04	7,59	7,24	7,46	6,9	6,42	6,04	5,85	5,34	5	4,77
Μετ/εις Στέψη (cm)	6,96	6,55	6,1	5,76	6,28	5,77	5,22	4,77	5,21	4,48	3,76	3,11	3,18	2,16	1,12	0,3
Μετ/εις Κλείδα (cm)	3,35	3,38	3,36	3,42	3,44	3,48	3,49	3,52	3,56	3,59	3,63	3,65	3,72	3,77	3,83	3,87

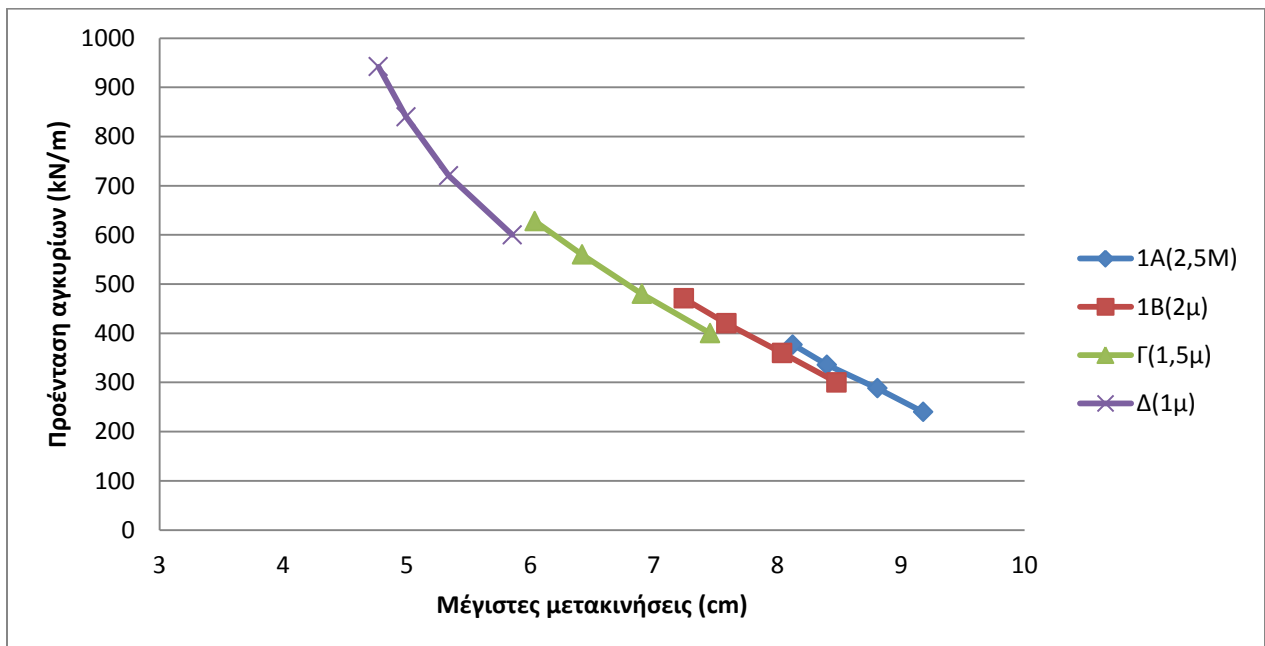
Από αυτούς τους πίνακες μπορούν να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα σε σχέση με το ποσοστό της επίδρασης της προέντασης των αγκυρίων στις μετακινήσεις των πάσσων.

Τα συμπεράσματα που εξάγονται τόσο για το πάσσαλο του δυτικού τοιχίου όσο και για αυτόν του ανατολικού είναι τα εξής:

1. Όσον αφορά τις μέγιστες μετακινήσεις συναρτήσει της δύναμης προέντασης των αγκυρίων, από το Διάγραμμα 6.7 (πάσσαλος δυτικού τοιχίου) και Διάγραμμα 6.8 (πάσσαλος ανατολικού τοιχίου) γίνεται αντιληπτή η αντιστρόφως ανάλογη μείωση της προέντασης των αγκυρίων και των μέγιστων μετακινήσεων στο πάσσαλο.

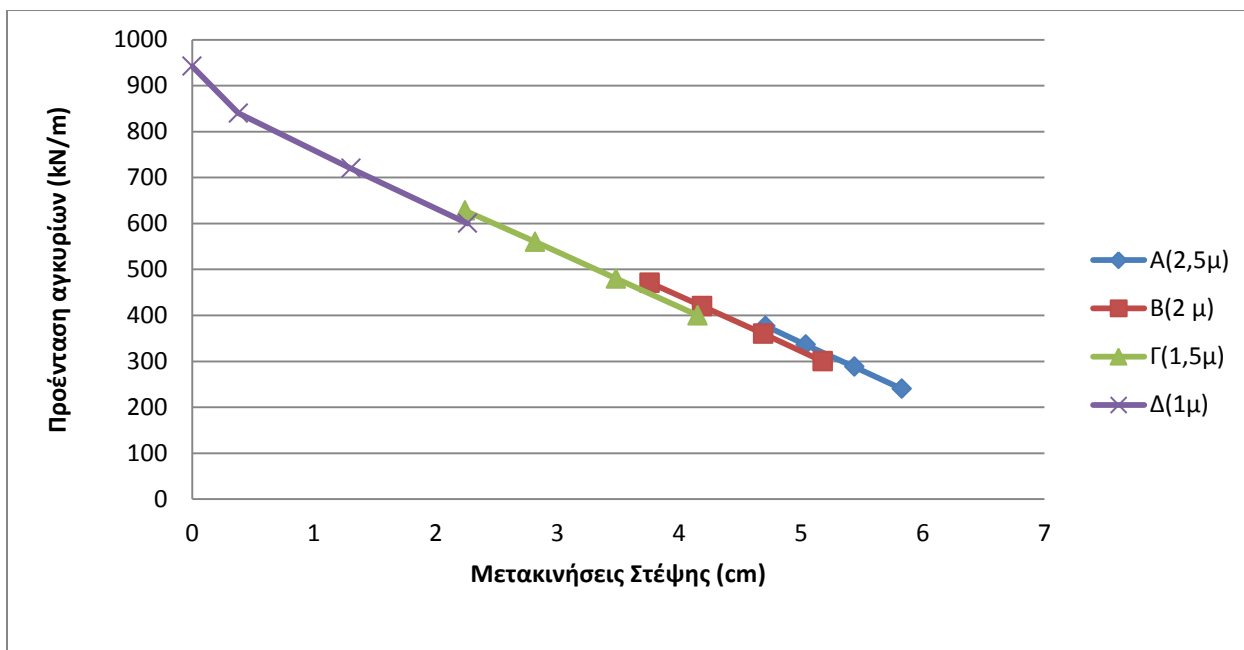


Διάγραμμα 6.7. Επηρεασμός προέντασης αγκυριών (kN/m) στις μέγιστες μετακινήσεις του πασσάλου του δυτικού τοιχίου. Αποτελέσματα 2ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

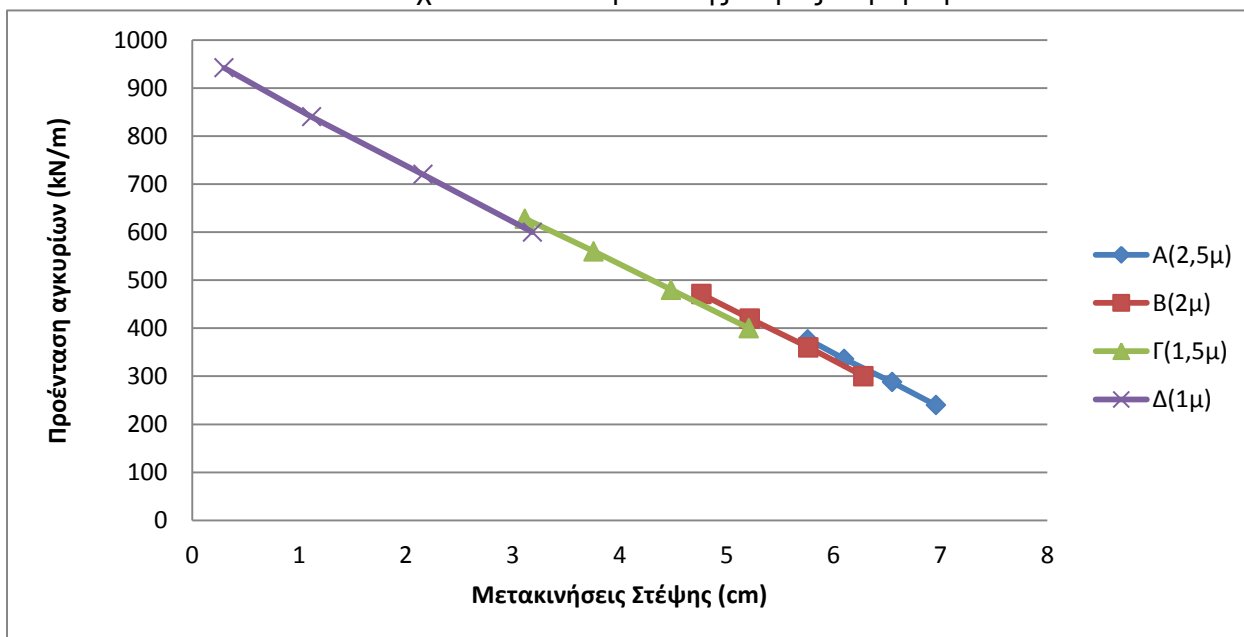


Διάγραμμα 6.8. Επηρεασμός προέντασης αγκυριών (kN/m) στις μέγιστες μετακινήσεις του πασσάλου του ανατολικού τοιχίου. Αποτελέσματα 2ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

2. Όσον αφορά τις μετακινήσεις στη στέψη συναρτήσει της προέντασης των αγκυριών, παρατηρείται από το Διάγραμμα 6.9 (πάσσαλος δυτικού τοιχίου) και Διάγραμμα 6.10 (πάσσαλος ανατολικού τοιχίου) ότι όσο αυξάνεται η προένταση των αγκυριών τόσο μειώνονται οι μετακινήσεις στη στέψη.



Διάγραμμα 6.9. Επηρεασμός προέντασης αγκυριών (kN/m) στις μετακινήσεις της στέψης του πασσάλου του δυτικού τοιχίου. Αποτελέσματα 2ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων.



Διάγραμμα 6.10. Επηρεασμός προέντασης αγκυριών (kN/m) στις μετακινήσεις της στέψης του πασσάλου του ανατολικού τοιχίου. Αποτελέσματα 2ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων.



3. Όσον αφορά τις μετακινήσεις στη κλείδα σε σχέση με την προένταση των αγκυρίων, οι μεταβολές που δίνουν είναι πολύ μικρές.

4. Τέλος από αυτά τα διαγράμματα μπορεί εύκολα να παρατηρήσει κάποιος το ποσοστό μείωσης των μετακινήσεων, για παρόμοιες προεντάσεις αγκυρίων, όταν ελαχιστοποιούνται οι αποστάσεις των πασσάλων.

#### **6.4 3<sup>η</sup> Σειρά Παραμετρικών Αναλύσεων**

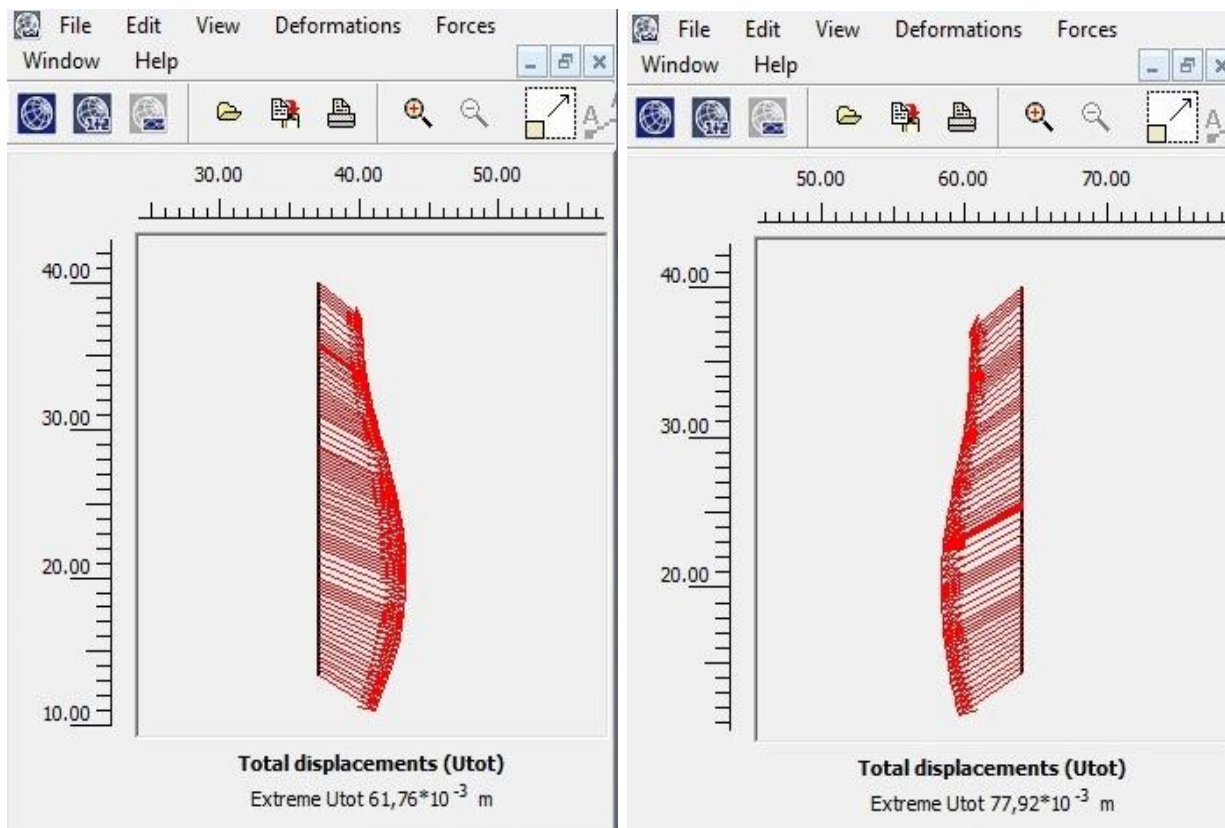
Στην 3<sup>η</sup> σειρά παραμετρικών αναλύσεων πραγματοποιήθηκαν τέσσερις αναλύσεις αλλάζοντας το μήκος έμπιξης των πασσάλων. Στην αρχική κατασκευή το μήκος έμπιξης έφτανε τα 3,5m για τον ανατολικό τοίχο εκσκαφών και τα 4,5m για το δυτικό. Οι 4 αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν αφορούν: α) +2 m έμπιξης πασσάλου και στις δύο πλευρές, β) +1 m έμπιξης, γ) -1 m έμπιξης δ) -2 m έμπιξης.

Οι παράμετροι που αλλάζουν, για αυτό το λόγο, είναι το συνολικό ύψος του διαφραγματικού τοίχου στο παράθυρο της βασικής γεωμετρίας.

Μετά τον υπολογισμό των δεδομένων εισαγωγής, για κάθε μία από τις τέσσερις φάσεις, πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση των αποτελεσμάτων στο output program του Plaxis. Από τις αναλύσεις αυτές εξήχθησαν συμπεράσματα για τις παραμορφώσεις των πασσάλων (μέγιστες, στέψης, κλείδας) σε σχέση με το μήκος έμπιξης των πασσάλων.

Σε αυτή τη παράγραφο παρουσιάζεται η ανάλυση για μήκος έμπιξης πασσάλων -2 m που θεωρείται και η δυσμενέστερη. Τα αποτελέσματα (με τα αντίστοιχα σχήματα) όλων των αναλύσεων δίνονται συγκεντρωτικά στο Παράρτημα 3 (σελ.169) αυτής της εργασίας.

Στη περίπτωση με μήκος έμπιξης πασσάλων -2 m του αρχικού (Σχήμα 6.8), η μέγιστη μετακίνηση προσεγγίζει τα 6,176 cm για το πάσσαλο της δυτικής πλευράς και 7,792 cm για αυτόν της ανατολικής. Αυτές οι μετακινήσεις αναμένονται σε βάθος 20 m περίπου και για τους δύο πασσάλους. Όσον αφορά τη στέψη, οι μετακινήσεις μειώνονται σε 2,775 cm για το πάσσαλο της δυτικής πλευράς και 4,463 cm για αυτόν της ανατολικής. Τέλος στη κλείδα οι μετακινήσεις είναι της τάξης των 3,735 cm και 5,475 cm αντίστοιχα.



Σχήμα 6.8. Συνολικές μετακινήσεις πασσάλου δυτικού (αριστερά) και ανατολικού (δεξιά) τοιχίου για μήκος έμπιξης πασσάλων 2m.

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τις υπόλοιπες αναλύσεις. Στους επόμενους πίνακες δίνονται τόσο για το πάσσαλο του δυτικού τοιχίου (Πίνακας 6.7) όσο και για το πάσσαλο του ανατολικού τοιχίου (Πίνακας 6.8) οι μέγιστες μετακινήσεις, οι μετακινήσεις στη στέψη και στη κλείδα για τα διάφορα μήκη έμπιξης πασσάλων.

Πίνακας 6.7. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετακινήσεων πασσάλου δυτικού τοιχίου για τη 3<sup>η</sup> σειρά παραμετρικών αναλύσεων.

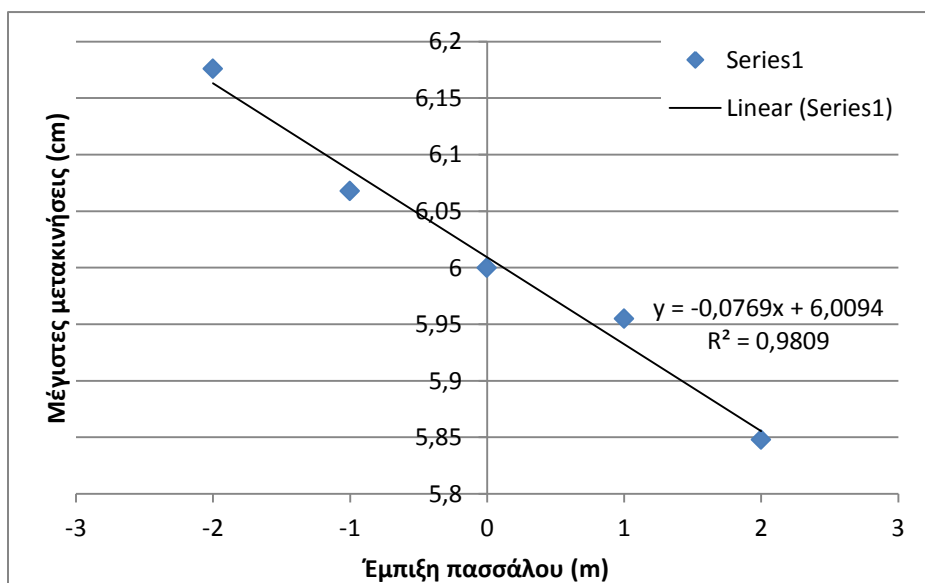
Πάσσαλος Δυτικού τοιχίου					
Μήκος πασσάλων	2μ(περισσότερο)	1μ (περισσότερο)	Αρχικός σχεδ/ος	1μ (λιγότερο)	2μ(λιγότερο)
Μέγιστες Μετ/εις(cm)	5,848	5,955	6	6,068	6,176
Μετ/εις Στέψη(cm)	1,891	2,055	2,3	2,458	2,775
Μετ/εις Κλείδα(cm)	2,803	2,858	3	3,252	3,735

Πίνακας 6.8. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετακινήσεων πασσάλου ανατολικού τοιχίου για τη 3<sup>η</sup> σειρά παραμετρικών αναλύσεων.

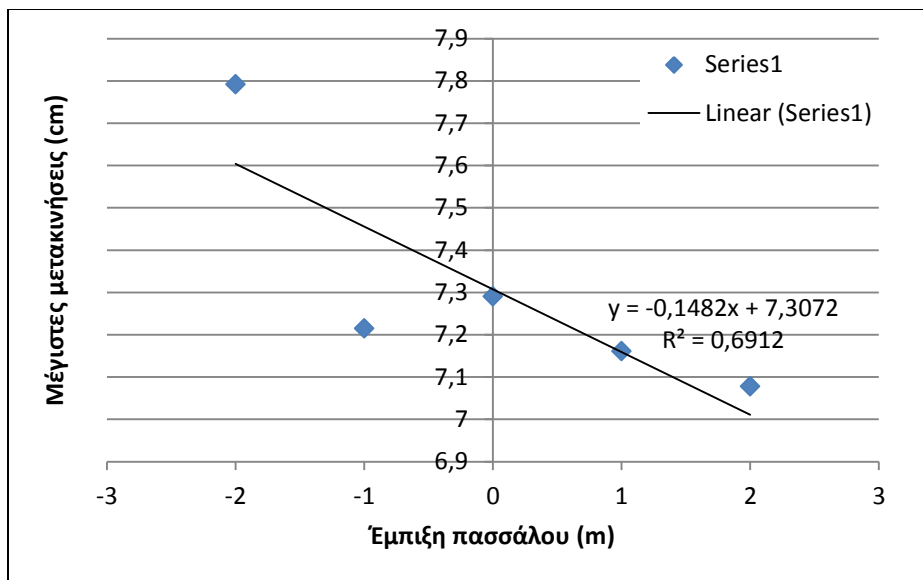
Πάσσαλος Ανατολικού τοιχίου					
Μήκος έμπιξης πασσάλων	2μ(περισσότερο)	1μ (περισσότερο)	Αρχικός σχεδ/ος	1μ (λιγότερο)	2μ(λιγότερο)
Μέγιστες Μετ/εις(cm)	7,078	7,161	7,29	7,215	7,792
Μετ/εις Στέψη(cm)	3,123	3,137	3,49	3,572	4,463
Μετ/εις Κλείδα(cm)	3,18	3,071	3,58	4,07	5,475

Από αυτούς τους πίνακες μπορούν να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα σε σχέση με το ποσοστό της επίδρασης του μήκους έμπιξης των πασσάλων στις μετακινήσεις αυτών. Τα συμπεράσματα που εξάγονται τόσο για το δυτικό όσο και για τον ανατολικό πάσσαλο είναι τα εξής:

1.Όσον αφορά τις μέγιστες μετακινήσεις συναρτήσει του μήκους έμπιξης των πασσάλων, από το Διάγραμμα 6.11 (πάσσαλος δυτικής πλευράς) και το Διάγραμμα 6.12 (πάσσαλος ανατολικής πλευράς) παρατηρείται μικρή μεταβολή των μετακινήσεων (της τάξης μερικών mm).

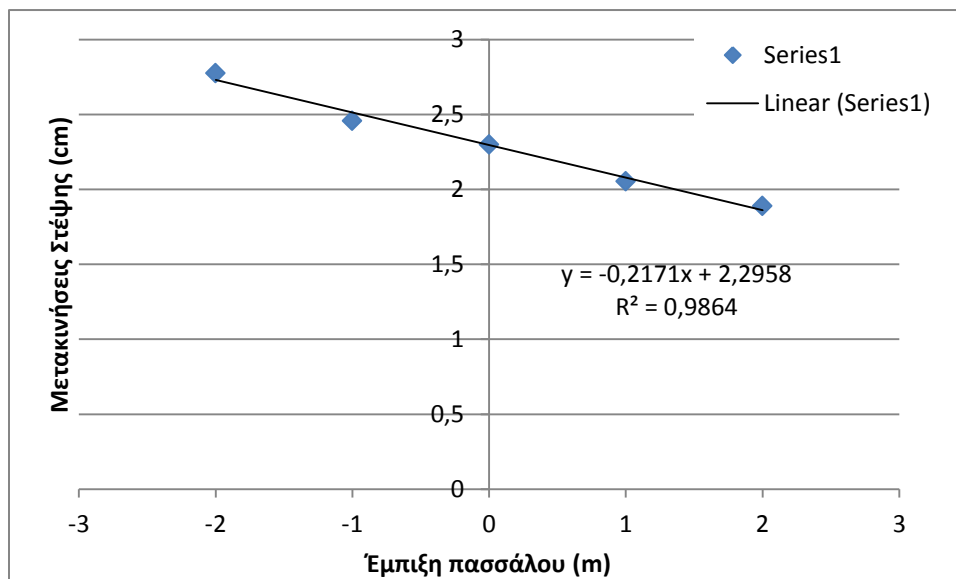


Διάγραμμα 6.11. Μέγιστες μετακινήσεις του πασσάλου της δυτικής πλευράς συναρτήσει του μήκους έμπιξης. Αποτελέσματα 3ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

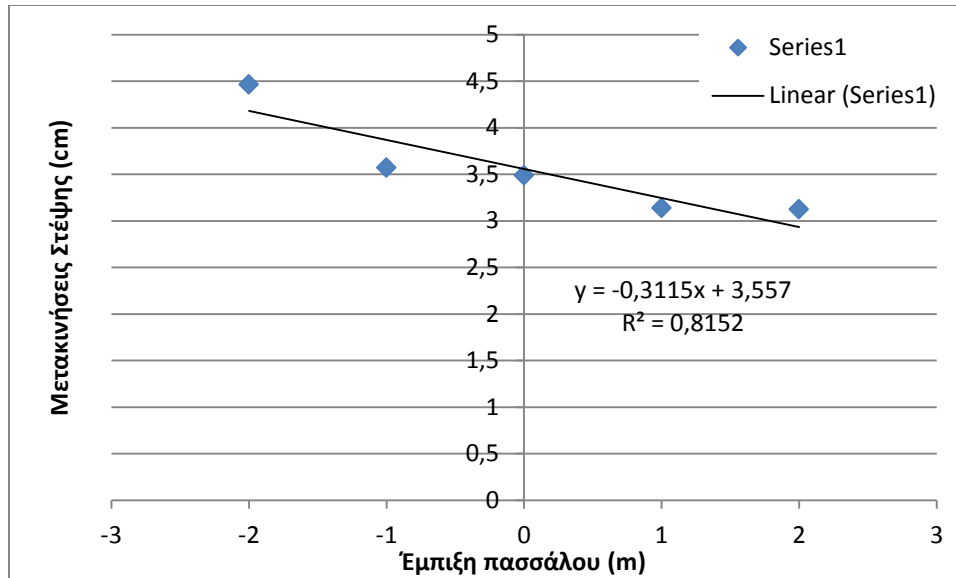


Διάγραμμα 6.12. Μέγιστες μετακινήσεις του πασσάλου της ανατολικής πλευράς συναρτήσει του μήκους έμπιξης. Αποτελέσματα 3ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

2. Όσον αφορά τις μετακινήσεις στη στέψη συναρτήσει του μήκους έμπιξης των πασσάλων, από το Διάγραμμα 6.13 (πάσσαλος δυτικής πλευράς) και το Διάγραμμα 6.14 (πάσσαλος ανατολικής πλευράς) παρατηρείται επίσης μικρή μεταβολή των μετακινήσεων ( της τάξης μερικών mm).

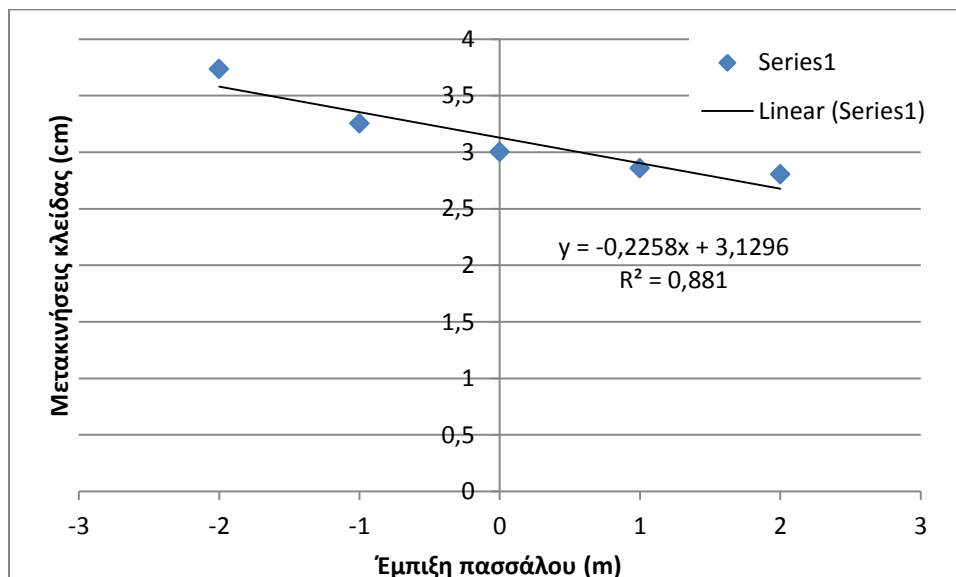


Διάγραμμα 6.13. Μετακινήσεις στη στέψη του πασσάλου της δυτικής πλευράς συναρτήσει του μήκους έμπιξης. Αποτελέσματα 3ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

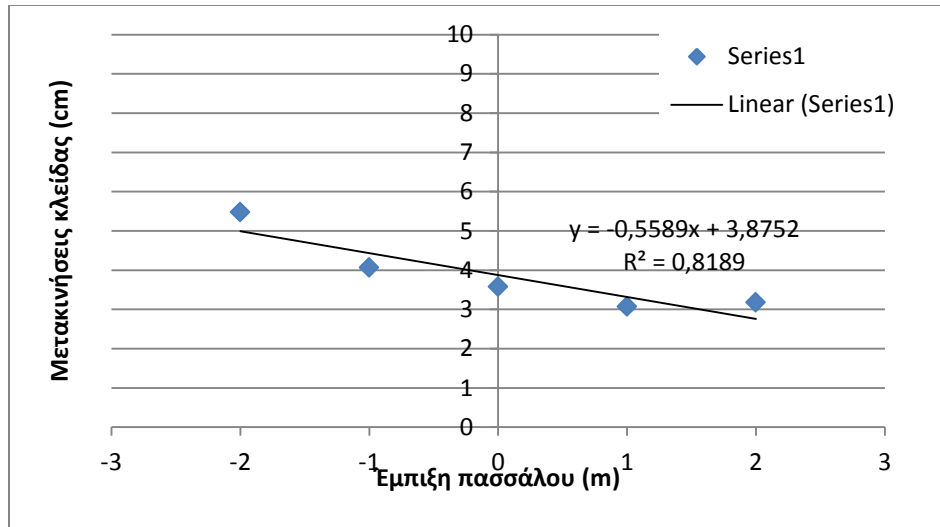


Διάγραμμα 6.14. Μετακινήσεις στη στέψη του πασσάλου της ανατολικής πλευράς συναρτήσει του μήκους έμπιξης. Αποτελέσματα 3ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

3. Όσον αφορά τις μετακινήσεις στην κλείδα συναρτήσει του μήκους έμπιξης των πασσάλων, από το Διάγραμμα 6.15 (πάσσαλος δυτικής πλευράς) και το Διάγραμμα 6.16 (πάσσαλος ανατολικής πλευράς) παρατηρείται μια αυξημένη αλλά επίσης μικρή μεταβολή των μετακινήσεων ( της τάξης μερικών mm έως 2 cm).



Διάγραμμα 6.15. Μετακινήσεις στη κλείδα του πασσάλου της δυτικής πλευράς συναρτήσει του μήκους έμπιξης. Αποτελέσματα 3ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων.



Διάγραμμα 6.16. Μετακινήσεις στη κλειδα του πασσάλου της ανατολικής πλευράς συναρτήσει του μήκους έμπιξης. Αποτελέσματα 3ης σειράς παραμετρικών αναλύσεων.

## 7 Συμπεράσματα

Αρχικά όπως τονίστηκε και προηγουμένως, η ιδιαιτερότητα αυτού του σταθμού οφείλεται στο ότι στη θέση του είχε ήδη κατασκευασθεί και ήταν σε λειτουργία η σήραγγα της Γραμμής 3 του Μετρό, η οποία είχε διανοιχθεί με μηχανήματα ολομέτωπης κοπής (TBM) και είναι επενδεδυμένη με προκατασκευασμένα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος. Επιπλέον η κατασκευαστική μέθοδος που εφαρμόστηκε θα έπρεπε να εξασφαλίζει ότι ο συνολικός χρόνος της διακοπής της λειτουργίας της Γραμμής 3 δεν θα υπερέβαινε τους (6) έξι μήνες. Για αυτό το λόγο η αλληλουχία κατασκευής ήταν κρίσιμος παράγοντας καθόσον έπρεπε να ληφθούν όλα τα αναγκαία μέτρα για την ασφάλεια και την ελαχιστοποίηση των μετακινήσεων της υφιστάμενης σήραγγας και του Φρέατος κατά τη διάρκεια των εργασιών κατασκευής, αλλά και της μόνιμης επένδυσης του Σταθμού.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκαν παραμετρικές αναλύσεις που σκοπό είχαν να αναδείξουν με ποιο τρόπο επηρεάζουν οι αλλαγές κάποιων παραμέτρων τη συνολική κατασκευή. Έτσι ανακεφαλαιώνοντας είναι δυνατόν να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

**Από τη 1<sup>η</sup> σειρά παραμετρικών αναλύσεων, παρατηρείται ότι:**

A) Όσο μικραίνει η απόσταση των πασσάλων, μειώνονται τόσο οι μέγιστες μετακινήσεις όσο και οι μετακινήσεις στην περιοχή της στέψης των πασσάλων.

B) Η μεταβολή των μετακινήσεων στη στέψη είναι πιο έντονη σε σύγκριση με αυτή των μέγιστων μετακινήσεων.

Γ) Στη περιοχή της κλείδας η διαφορές των μετακινήσεων δεν είναι σημαντικές.

Δ) Οι απόλυτες τιμές των καμπτικών ροπών και των μέγιστων διατμητικών δυνάμεων που ασκούνται στους πασσάλους μειώνονται αναλογικά με την ελάττωση της απόστασης των πασσάλων.

Γενικά όσο μικραίνει η απόσταση των πασσάλων τόσο αυξάνεται το κόστος κατασκευής του σταθμού. Αυτό συμβαίνει διότι στην ίδια περίμετρο εκσκαφής αντιστοιχούν



περισσότεροι πάσσαλοι και αντίστοιχα περισσότερα αγκύρια τα οποία εδράζονται στους πασσάλους. Ωστόσο τα αποτελέσματα που δίνουν στις μετακινήσεις της στέψης, που είναι σημαντικά, το ανάγουν στο πιο σημαντικό παράγοντα για την συνολική ευστάθεια της κατασκευής, καθώς το έργο βρίσκεται σε αστική περιοχή.

**Από τη 2<sup>η</sup> σειρά παραμετρικών αναλύσεων, παρατηρείται ότι:**

A) Όσο αυξάνεται η προένταση των αγκυρίων τόσο μειώνονται η μέγιστες μετακινήσεις και οι μετακινήσεις στη στέψη του πασσάλου.

B) Στη περιοχή της κλείδας η διαφορές των μετακινήσεων δεν είναι σημαντικές.

Γ) Γενικά ελαχιστοποιούνται οι μετακινήσεις όταν μειώνουμε τις αποστάσεις των πασσάλων για παρόμοιες προεντάσεις αγκυρίων.

Γενικά η προένταση των αγκυρίων μειώνει σε μεγάλο βαθμό τις μετακινήσεις σε σύγκριση με αγκύρια που δεν έχουν προενταθεί. Επιπλέον όσο αυξάνεται η δύναμη προέντασης των αγκυρίων τόσο μειώνονται οι μετακινήσεις. Ωστόσο αν η δύναμη προέντασης είναι πολύ μεγάλη, υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας πλαστικών ζωνών κατά μήκος των αγκυρίων. Κάτι τέτοιο και λαμβάνοντας υπόψη ότι το μήκος των αγκυρίων άγγιζε τα 25-30 m θα δημιουργούσε πρόβλημα στις κατασκευές σε μεγάλες αποστάσεις από το σταθμό.

**Από τη 3<sup>η</sup> σειρά παραμετρικών αναλύσεων παρατηρείται ότι** το μήκος έμπιξης των πασσάλων στο υπέδαφος δε επηρεάζει σημαντικά τις μέγιστες μετακινήσεις αλλά και τις μετακινήσεις στη στέψη και στη κλείδα του πασσάλου.

Αυτό οφείλεται στην ιδιαίτερη κατασκευή των πασσάλων, καθένας εκ των οποίων εξοπλίζεται με αρκετές σειρές αγκυρίων ( 6 για τον ανατολικό και 5 για το δυτικό). Με αυτή τη διάταξη, ο πάσσαλος αγκυρώνεται σε πολλά σημεία έχοντας μικρές ελεύθερες επιφάνειες. Έτσι το μήκος έμπιξης ανάγεται σε δευτερεύοντα παράγοντα για τη συνολική ευστάθεια της κατασκευής.

Σύμφωνα και με τις 3 σειρές των παραμετρικών αναλύσεων τα συμπεράσματα που εξάγονται, όσο αφορά την κατασκευαστική διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι τα εξής:

α. Η άργιλος εμφανίζει πολύ καλά χαρακτηριστικά κατά την κατασκευή όταν είναι στεγνή. Αποτελεί ιδανικό υλικό για την κατασκευή γεωτεχνικών έργων καθώς η ταχύτητα εκσκαφής είναι ικανοποιητική.

β. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο κατασκευής που ακολουθήθηκε φαίνεται ότι είναι δυνατόν να πραγματοποιούνται εργασίες εκσκαφών και αντιστηρίξεων παραπλεύρως της σήραγγας. Σύμφωνα μάλιστα και με τις μετρήσεις από τα όργανα γεωμηχανικής παρακολούθησης διαπιστώθηκε ότι δεν επηρεάστηκε η ήδη κατασκευασμένη σήραγγα και δεν προκλήθηκαν σημαντικές παραμορφώσεις.

γ. Για την αποφυγή κατάπτωσης του πρίσματος που δημιουργούνται πάνω από την υφιστάμενη σήραγγα ενώ η εκσκαφή προχωρούσε, καθώς επίσης και για την αποφυγή της άνωσης των τροχιών κατά τη διάρκεια λειτουργίας της, ήταν απαραίτητη η ενίσχυση του διαμορφούμενου πρίσματος με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και δομικό πλέγμα καθώς και η διάτρηση αγκυρίων και αποστραγγιστικών οπών.

δ. Σημαντική παράμετρος για την ασφάλεια της κατασκευής ήταν η αποστράγγιση που πραγματοποιήθηκε με τη διάνοιξη αποστραγγιστικών οπών κατά μήκος του πρικού ώστε να αποφευχθούν ολισθήσεις με αποτέλεσμα να συμβάλει και στο μικρό υποβιβασμό του υδροφόρου ορίζοντα στην περιοχή εκσκαφής.

ε. Ο προβλεπόμενος χρόνος διακοπής της λειτουργίας του Μετρό για (6) μήνες ήταν επαρκής ώστε να πραγματοποιηθούν όλες οι απαραίτητες εργασίες κατασκευής με αποτέλεσμα την όσο δυνατό μικρότερη επιβάρυνση του επιβατικού κοινού. Για το σκοπό αυτό όμως ήταν απαραίτητη η εντατικοποίηση των εργασιών κατασκευής και ο συντονισμός πολλών διαφορετικών εργασιών (ταυτόχρονες εργασίες προσωρινής και μόνιμης αντιστήριξης, ηλεκτρομηχανολογικές εργασίες).

Γενικά η κατασκευή του σταθμού στη συγκεκριμένη θέση, οπου δεν είχε προβλεφθεί κατά τη διάνοιξη της σήραγγας η δημιουργία του, ήταν πρωτοπόρα για τα Ελληνικά δεδομένα και αποκτήθηκε η απαιτούμενη εμπειρία και τεχνογνωσία για πιθανή μελλοντική κατασκευή σταθμού ακόμα και σε σημεία που δεν είχε προβλεφθεί η διάνοιξή τους. Πλέον μελλοντικά και με γνώμονα αυτό το έργο μπορεί να κατασκευαστεί

σταθμός, στη χάραξη των υφιστάμενων σηράγγων της Αττικό Μετρό, όποια και αν είναι η πληθυσμιακή εξέλιξη στην περιοχή των Αθηνών.

## 8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2001: « Μετρό Αθηνών- Επέκταση γραμμής 3 «Εθνική Άμυνα – Σταυρός», Γεωτεχνικά δεδομένα και φωτογραφίες πυρήνων Γεωτρήσεων. Γεωλογικά Γεωτεχνικά δεδομένα από έρευνες πεδίου 1979-1980». Αδημοσίευτη τεχνική έκθεση.
- ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2007: «Τεχνική περιγραφή των Σταθμών της γραμμής 3 του Μετρό 'Χολαργός', 'Νομισματοκοπείο', 'Αγία Παρασκευή'». Αδημοσίευτη τεχνική έκθεση.
- ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., 2008: «Σταθμός Αγ. Παρασκευής Εκσκαφή και προσωρινή αντιστήριξη, στατικοί υπολογισμοί». Αδημοσίευτη τεχνική έκθεση.
- Γκαζέτα Γ. και Γερόλυμου Ν. 2008: «Περιγραφή και ανάλυση της κατασκευαστικής ακολουθίας και συμπεριφοράς της προσωρινής αντιστήριξης, η νέα λύση.».
- ΓΕΩΓΝΩΣΗ Α.Ε. – ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Τ.Ε, 2007 α: «Γεωλογική, υδρογεωλογική και γεωτεχνική μελέτη - Αξιολόγηση αποτελεσμάτων γεωτεχνικών ερευνών του συνόλου του έργου. Έκθεση μελέτης γραφείου».
- ΓΕΩΓΝΩΣΗ Α.Ε. – ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Τ.Ε., 2007 β: «Υδρογεωλογική μελέτη των σταθμών της γραμμής 3 του Μετρό Χολαργός Νομισματοκοπείο και Αγία Παρασκευή».
- ΓΕΩΓΝΩΣΗ Α.Ε.-ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Τ.Ε., 2007 γ: «Έκθεση γεωτεχνικής αξιολόγησης σταθμός "ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ"».
- ΓΕΩΓΝΩΣΗ Α.Ε. - ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Τ.Ε., 2007 δ: «Έκθεση αξιολόγησης αποτελεσμάτων γεωτεχνικών ερευνών. Τμήματα: "Σταθμοί Χολαργού, Νομισματοκοπείου, Αγίας Παρασκευής"».
- ΓΕΩΓΝΩΣΗ Α.Ε.- ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Τ.Ε., 2007 ε «Έκθεση παρουσίασης αποτελεσμάτων συμπληρωματικής γεωτεχνικής έρευνας τμήμα: Σταθμός Αγίας Παρασκευής».
- Ιστότοπος [www.attikometro.gr](http://www.attikometro.gr)
- ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ, Ι., 1996 : «Έρευνα Υδρογεωλογικών Συνθηκών και Καθεστώς Εκμετάλλευσης Υπόγειων Νερών Λεκανοπεδίου Αθηνών. Α Φάση», *Οργανισμός Ρυθμιστικού Σχεδίου και Προστασίας Περιβάλλοντος Αθήνας. Ερευνητικό Πρόγραμμα Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων — Μεταλλουργών. Τομέας Γεωλογικών Επιστημών.*

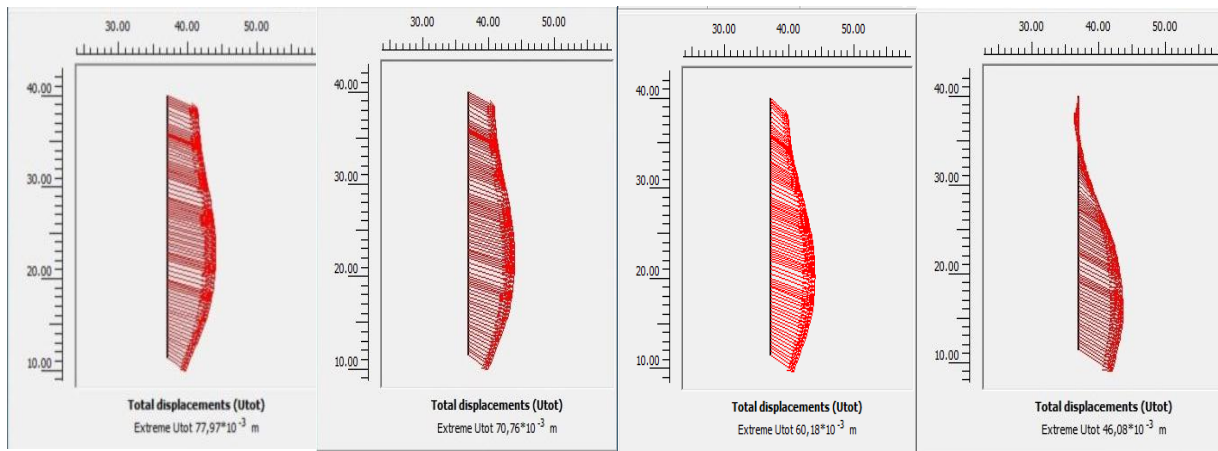
- ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ, Ι., 1997: «Έρευνα Υδρογεωλογικών Συνθηκών και Καθεστώς Εκμετάλλευσης Υπόγειων Νερών Λεκανοπεδίου Αθηνών. Α και Β Φάση». Οργανισμός Ρυθμιστικού Σχεδίου και Προστασίας Περιβάλλοντος Αθήνας. Ερευνητικό Πρόγραμμα Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών. Τομέας Γεωλογικών Επιστημών.
- ΚΟΥΝΗΣ, Γ., 1981: «Υδρογεωλογική Έρευνα Μετρό Αθηνών, Ι. Μετρήσεις. Υδρολογικές και Υδρογεωλογικές Έρευνες.» Τεύχος 34.1.Γ.Μ.Ε Αθηνών.
- ΚΟΥΝΗΣ, Γ et al, 1981: «Υδρογεωλογική Έρευνα Μετρό Αθηνών, 2. Ανάλυση Υδρογεωλογικών Συνθηκών. Υδρολογικές και Υδρογεωλογικές Έρευνες»· Τεύχος 34.1.Γ.Μ.Ε Αθηνών.
- Μαρίνος Γ., 2003: «Επί των επικρατουσών υδρογεωλογικών συνθηκών στην περιοχή της σήραγγας επέκτασης της Γραμμής 3 Αιγάλεω του Μητροπολιτικού Σιδηρόδρομου των αθηνών μεταξύ χ.θ 2+150 –χ.θ. 4+000. Τεχνικό σημείωμα εμπειρογνώμονος. Έκθεση 2<sup>η</sup> .Εκτίμηση υδραυλικών παραμέτρων».
- Παπανικολάου et al, 2002: «Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του σταθμού της αγίας Παρασκευής».
- Ρίζος Π, 2010: «Καθιζήσεις λόγω διάνοιξης δίδυμης σήραγγας του Μετρό της Θεσσαλονίκης στο τμήμα Νεος Σιδηρόδρομος Σταθμός- Αγία Σοφία.», μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία.
- Ρόζος Δ, 2007 : «ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ 1», εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- GEOPLAN, 2001 α: «Υδρογεωλογική μελέτη της περιοχής επέκτασης της Γραμμής 3 προς Σταυρό». Αδημοσίευτη τεχνική έκθεση για λογαριασμό της ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.
- GEOPLAN, 2001 β: «Μετρό Αθηνών - Επέκταση Γραμμής 3 «Εθνική Άμυνα - Σταυρός», Γεωτεχνικά Δεδομένα και Φωτογραφίες Πυρήνων Γεωτρήσεων (τόμος 5), Μητρώα Γεωτρήσεων». Αδημοσίευτη τεχνική έκθεση για λογαριασμό της ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.
- GEOPLAN, 2001 γ : «Μετρό Αθηνών - Επέκταση Γραμμής 3 «Εθνική Άμυνα - Σταυρός», Γεωτεχνικά Δεδομένα και Φωτογραφίες Πυρήνων Γεωτρήσεων (τόμος 5), Αποτελέσματα Δοκιμών Πεδίου - Δοκιμές Υδατοπερατότητας». Αδημοσίευτη τεχνική έκθεση για λογαριασμό της ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.
- Tutorial Plaxis 2D-VERSION 9.0

# Παράρτημα

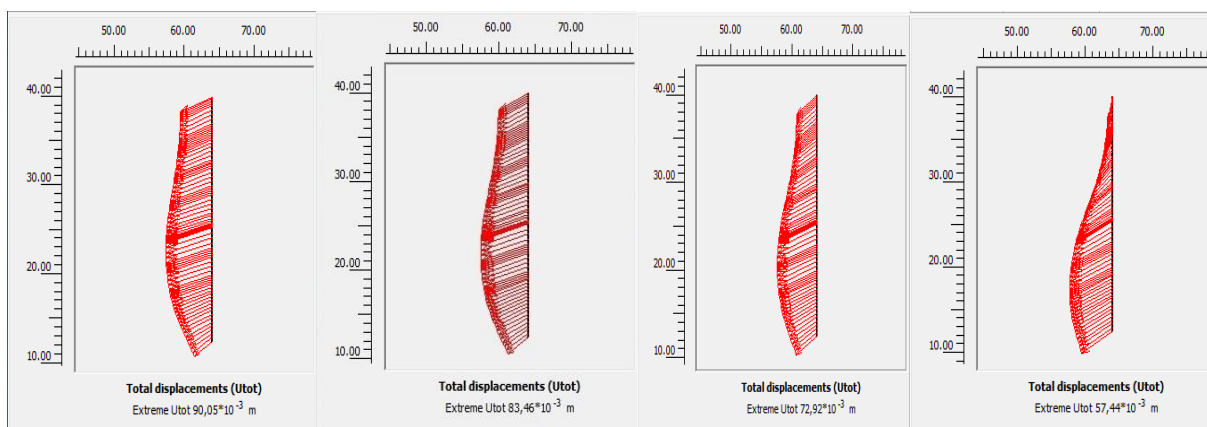
# Παράρτημα 1

## 1<sup>η</sup> παραμετρική ανάλυση

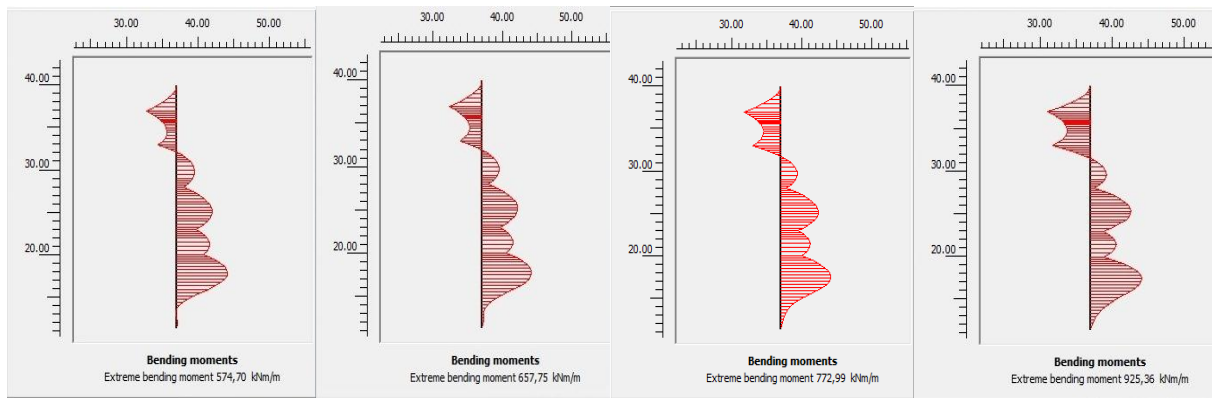




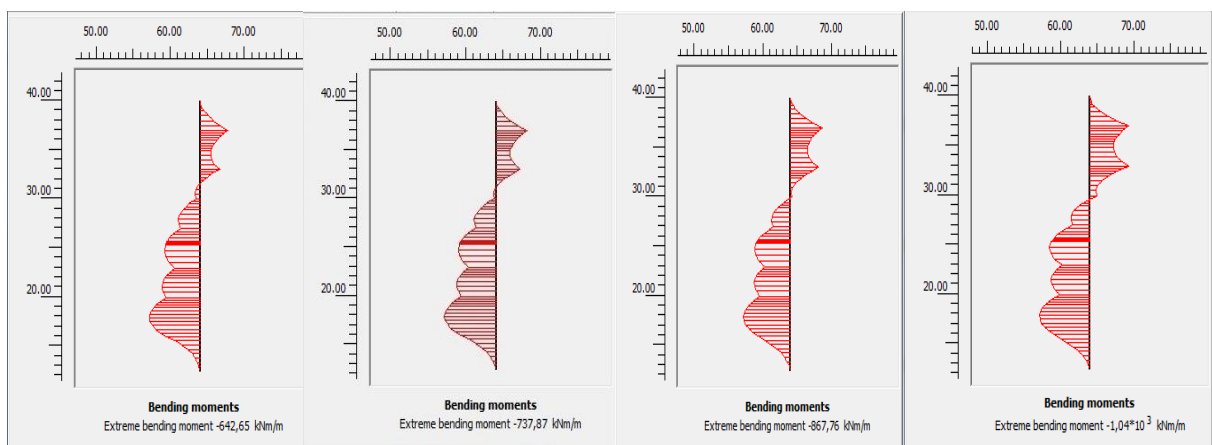
Μέγιστες μετακινήσεις του πασσάλου της δυτικής πλευράς για απόσταση πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) 2,5, 2, 1,5 και 1m αντίστοιχα.



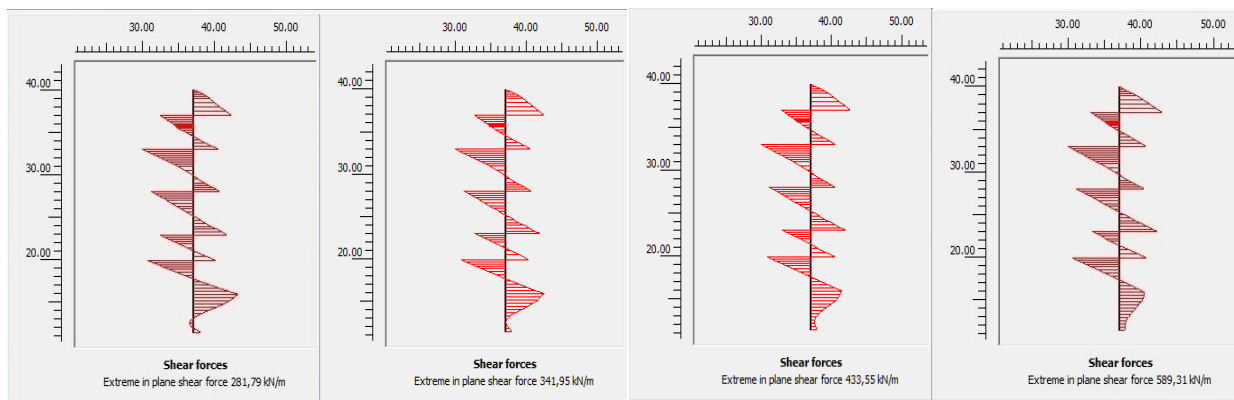
Μέγιστες μετακινήσεις του πασσάλου της ανατολικής πλευράς για απόσταση πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) 2,5, 2, 1,5 και 1m αντίστοιχα.



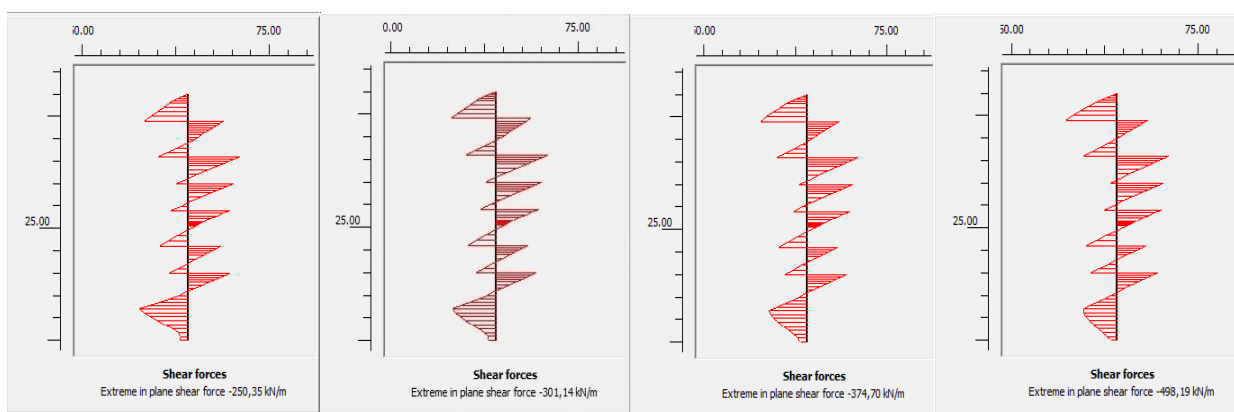
Μέγιστες καμπτικές ροπές του πασσάλου της δυτικής πλευράς για απόσταση πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) 2,5, 2, 1,5 και 1m αντίστοιχα.



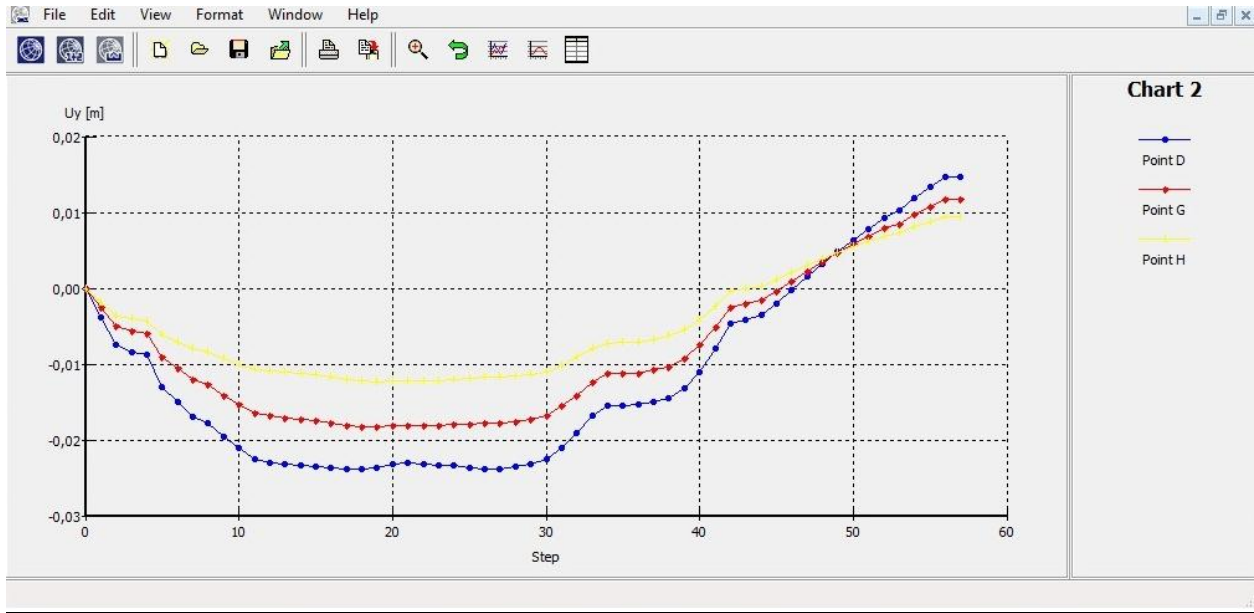
Μέγιστες καμπτικές ροπές του πασσάλου της ανατολικής πλευράς για απόσταση πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) 2,5, 2, 1,5 και 1m αντίστοιχα.



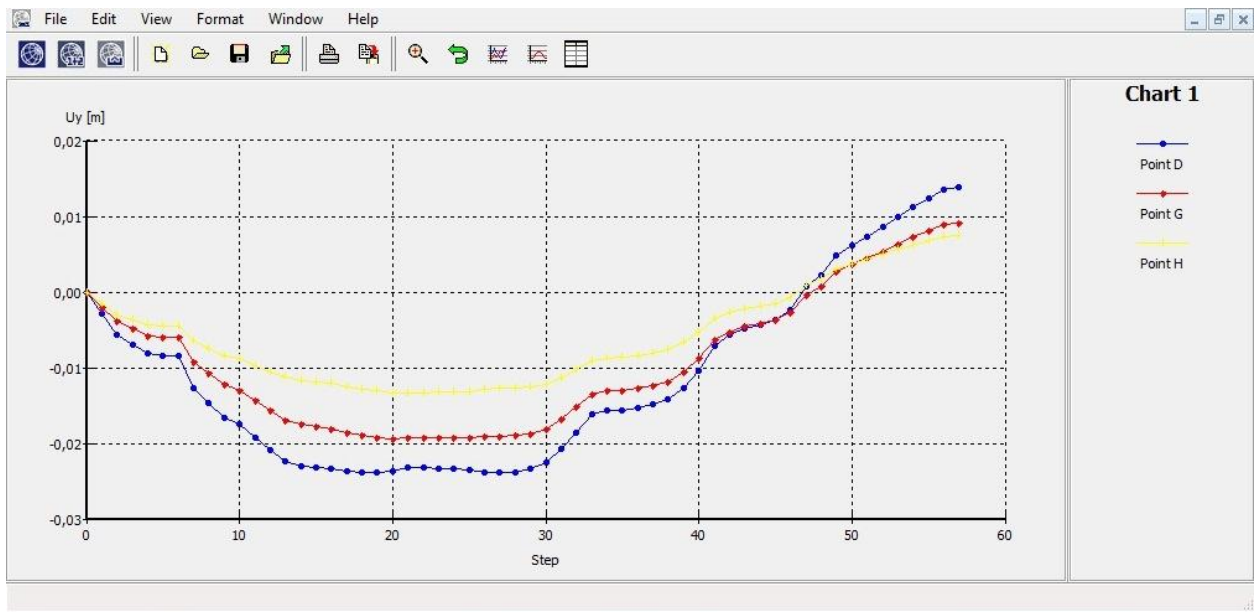
Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις του πασσάλου της δυτικής πλευράς για απόσταση πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) 2,5, 2, 1,5 και 1m αντίστοιχα.



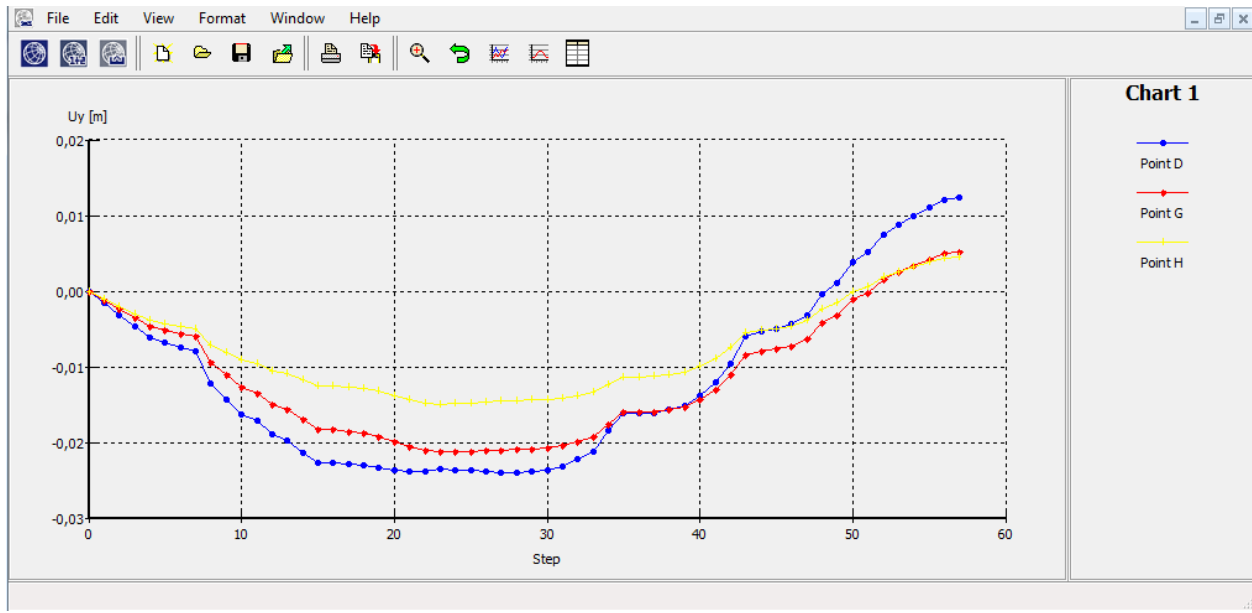
Μέγιστες διατμητικές δυνάμεις του πασσάλου της ανατολικής πλευράς για απόσταση πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) 2,5, 2, 1,5 και 1m αντίστοιχα.



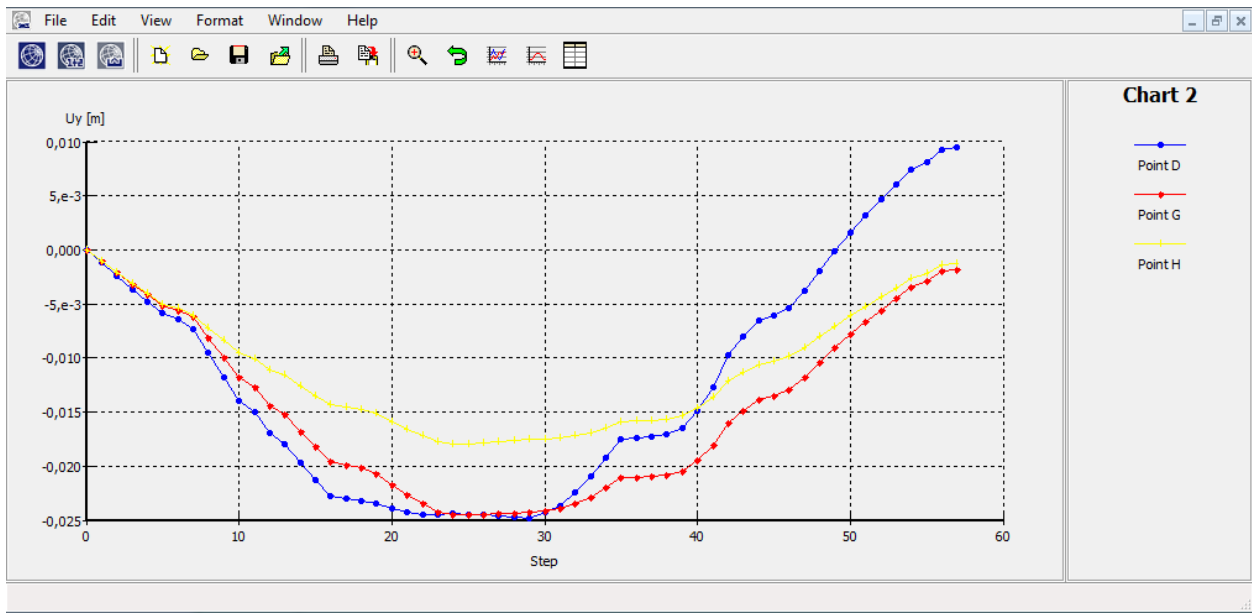
Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της απόστασης από το πάσσαλο της δυτικής πλευράς (απόσταση πασσάλων 2,5 m) .



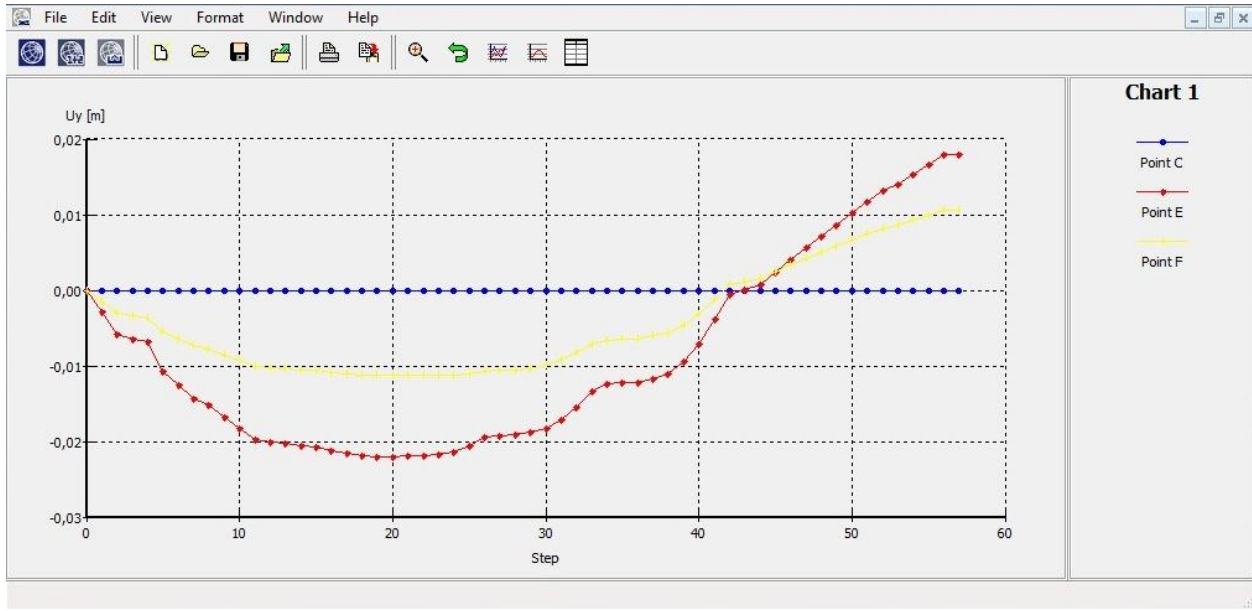
Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της απόστασης από το πάσσαλο της δυτικής πλευράς (απόσταση πασσάλων 2 m) .



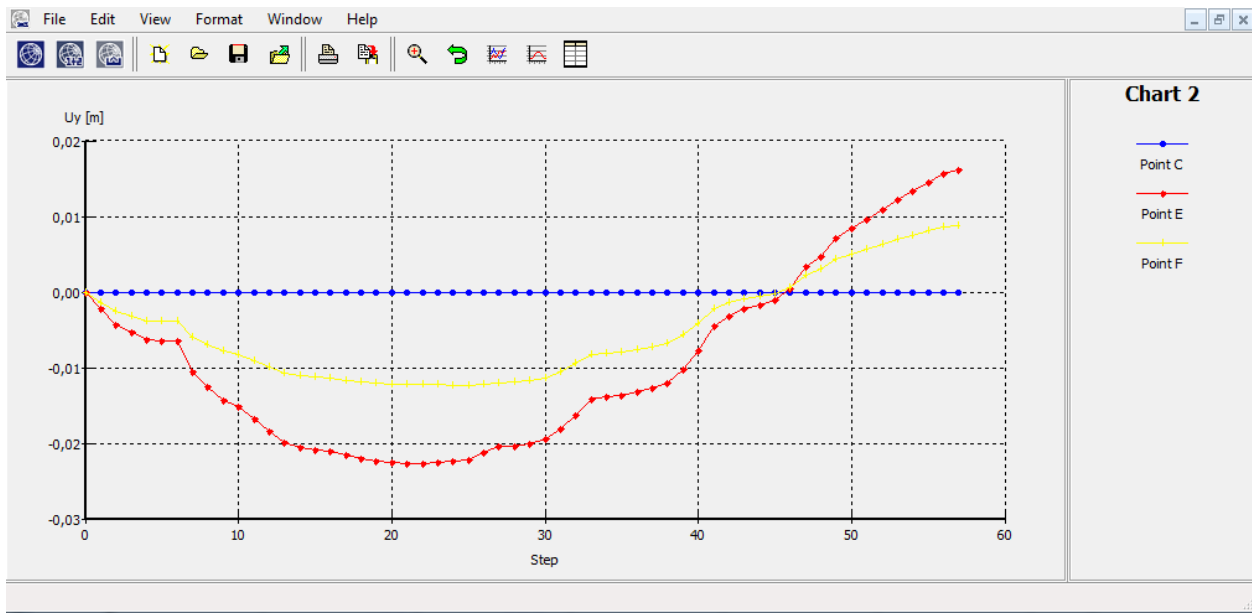
Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της απόστασης από το πάσσαλο της δυτικής πλευράς (απόσταση πασσάλων 1,5 m) .



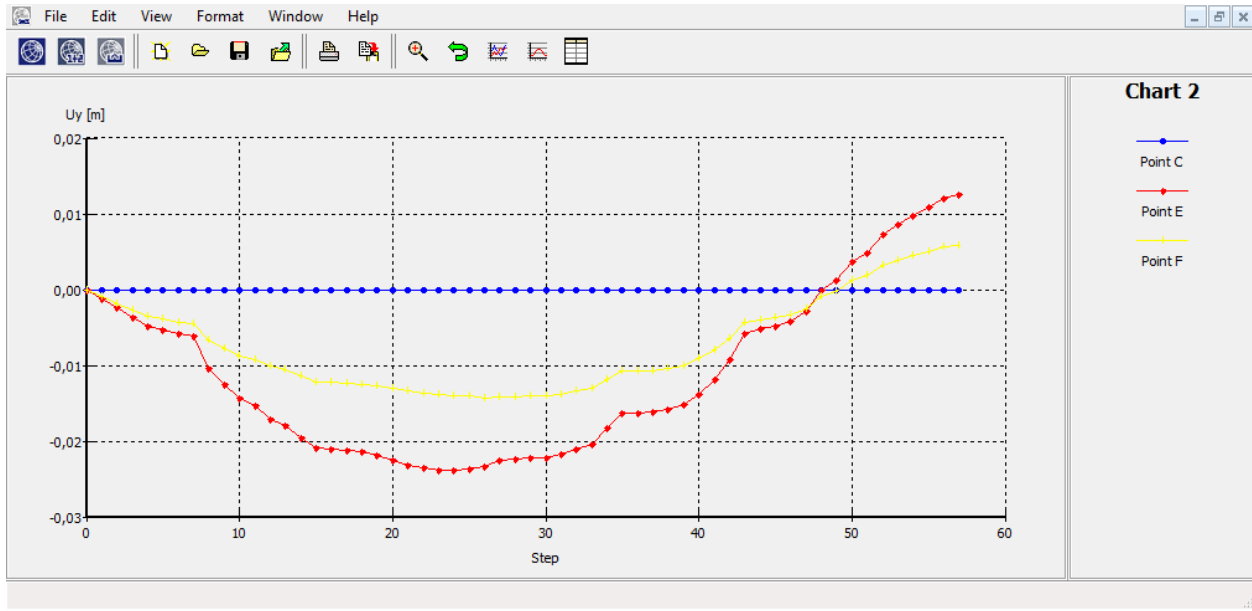
Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της απόστασης από το πάσσαλο της δυτικής πλευράς (απόσταση πασσάλων 1 m) .



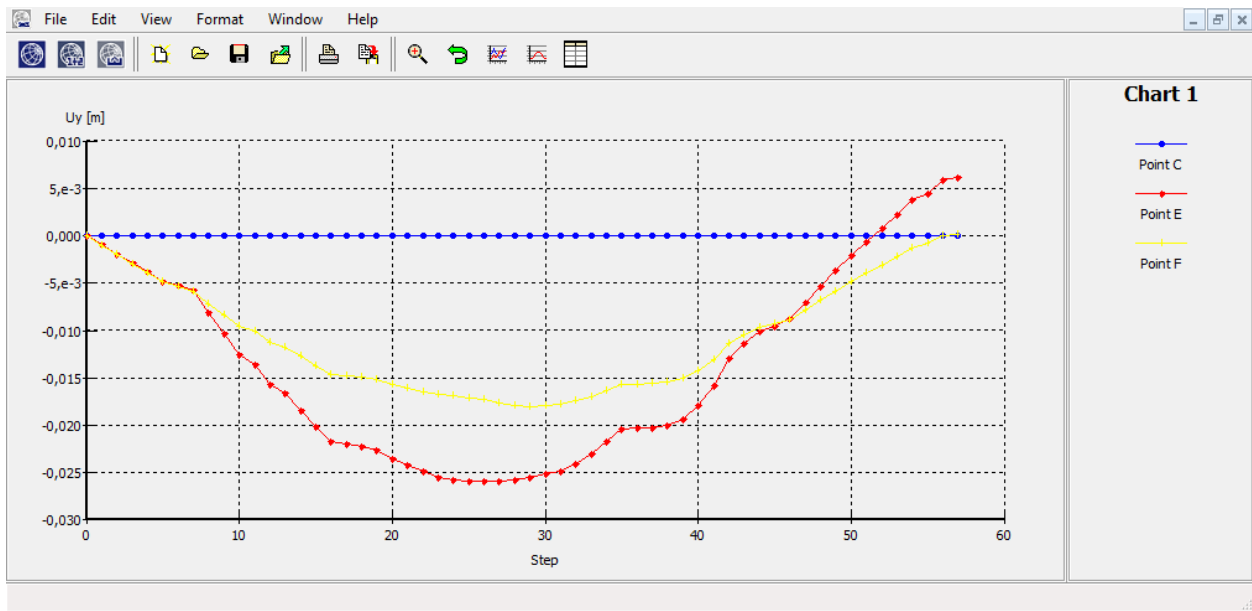
Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της απόστασης από το πάσσαλο της ανατολικής πλευράς (απόσταση πασσάλων 2,5 m).



Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της απόστασης από το πάσσαλο της ανατολικής πλευράς (απόσταση πασσάλων 2 m).



Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της απόστασης από το πάσσαλο της ανατολικής πλευράς (απόσταση πασσάλων 1,5 m).

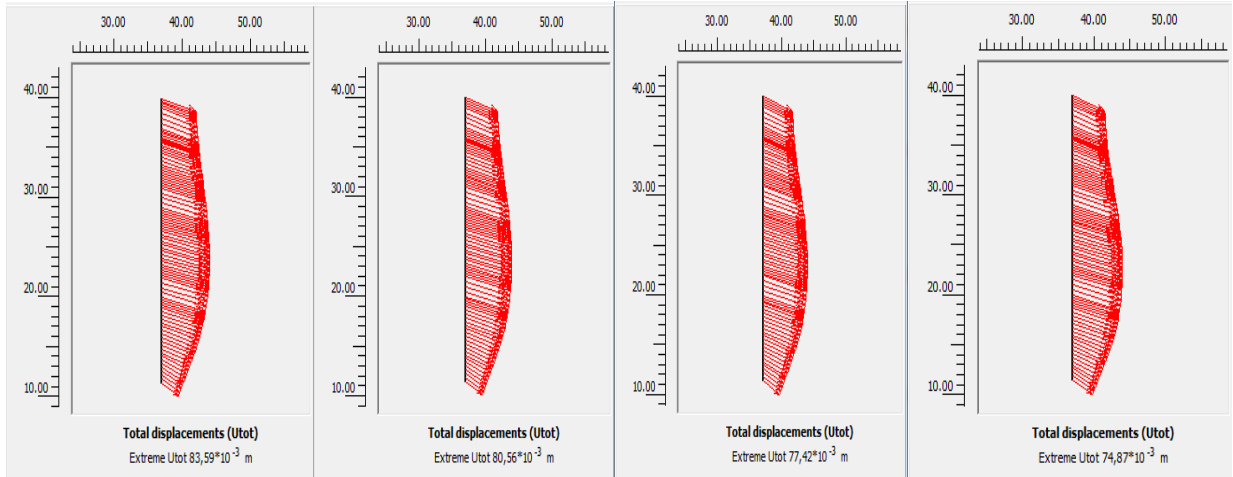


Κατακόρυφες μετακινήσεις συναρτήσει της απόστασης από το πάσσαλο της ανατολικής πλευράς (απόσταση πασσάλων 1 m).

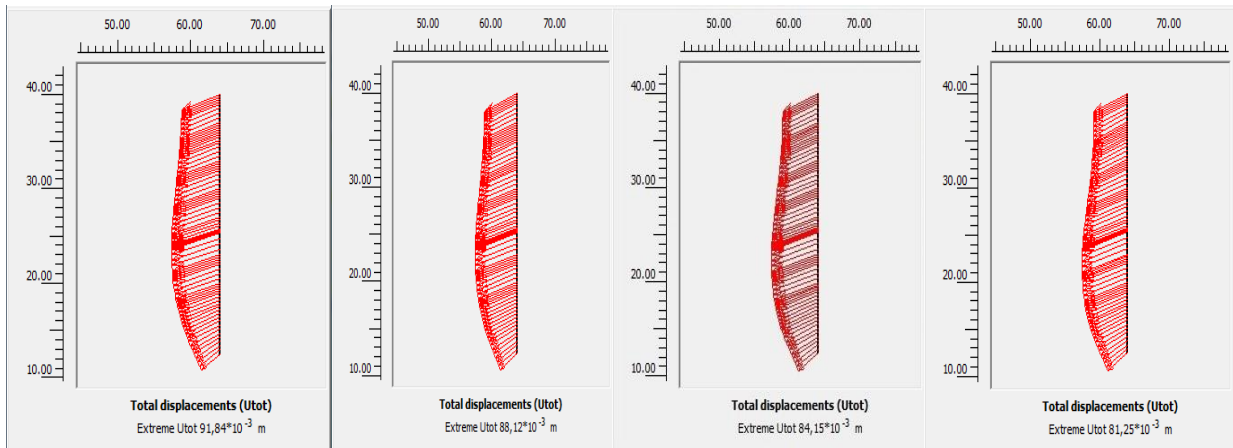


# Παράρτημα 2

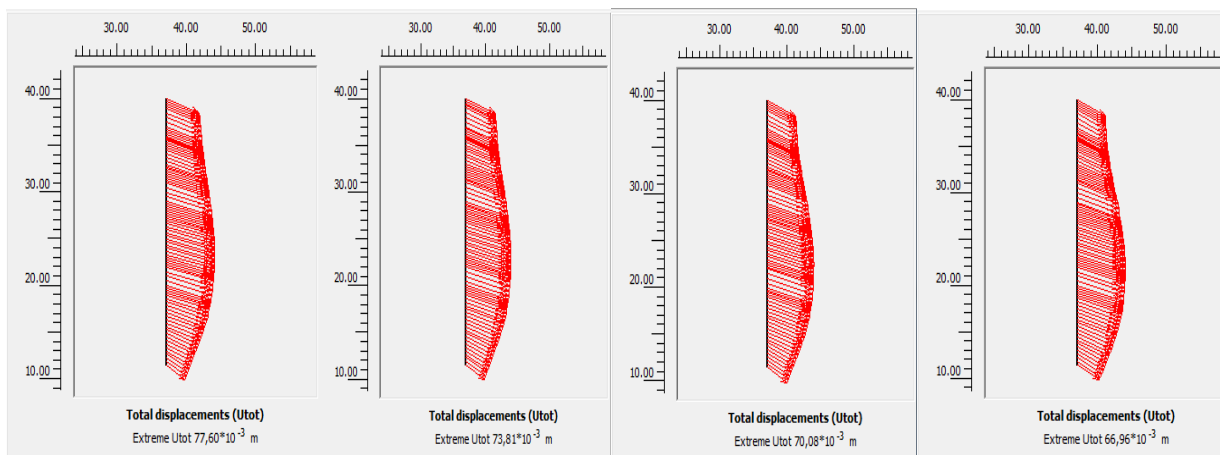
## 2<sup>η</sup> παραμετρική ανάλυση



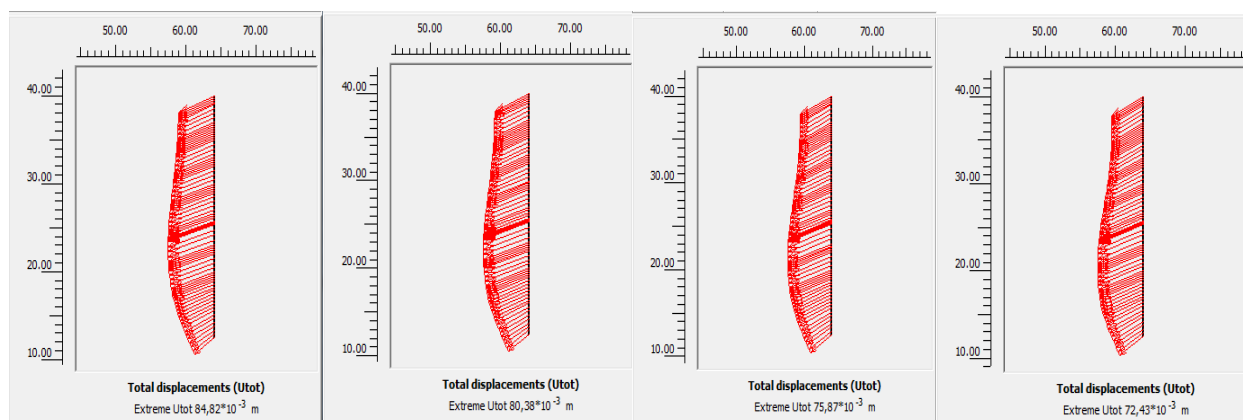
Μέγιστες μετακινήσεις του πασσάλου της δυτικής πλευράς για απόλυτη τιμή προέντασης αγκυρίων 600 kN και απόσταση πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) 2,5, 2, 1,5 και 1m αντίστοιχα.



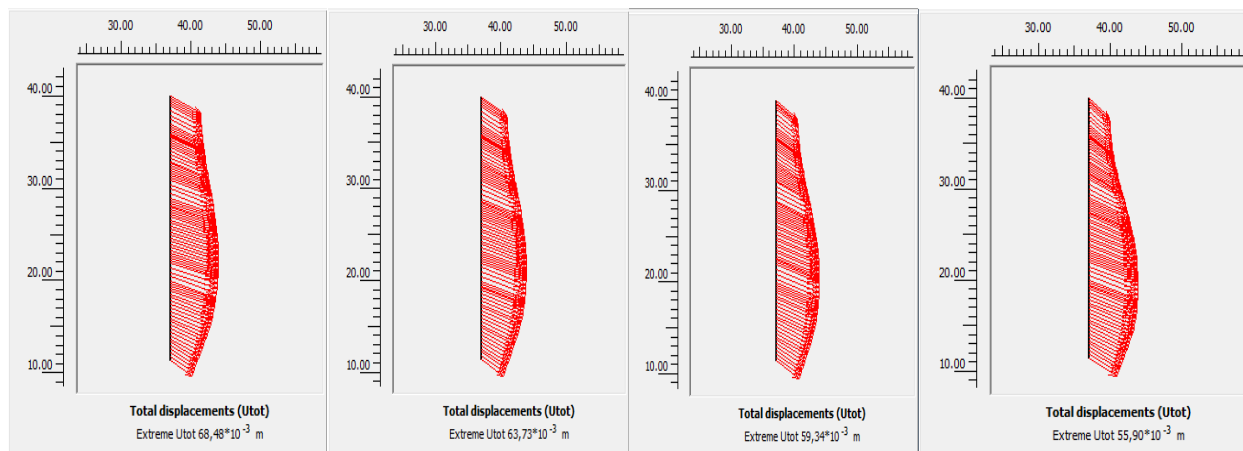
Μέγιστες μετακινήσεις του πασσάλου της ανατολικής πλευράς για απόλυτη τιμή προέντασης αγκυρίων 600 kN και απόσταση πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) 2,5, 2, 1,5 και 1m αντίστοιχα.



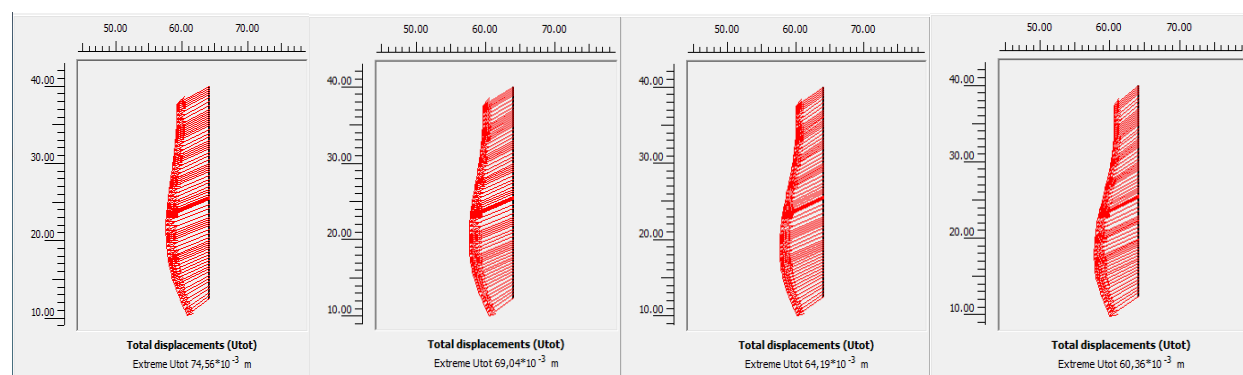
Μέγιστες μετακινήσεις του πασσάλου της δυτικής πλευράς για απόλυτη τιμή προέντασης αγκυρίων 720 kN και απόσταση πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) 2,5, 2, 1,5 και 1m αντίστοιχα.



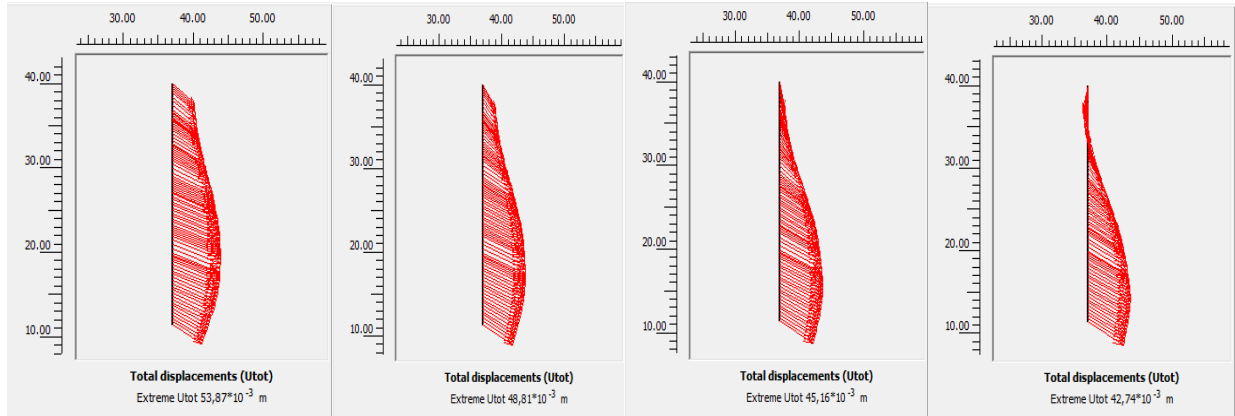
Μέγιστες μετακινήσεις του πασσάλου της ανατολικής πλευράς για απόλυτη τιμή προέντασης αγκυρίων 720 kN και απόσταση πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) 2,5, 2, 1,5 και 1m αντίστοιχα.



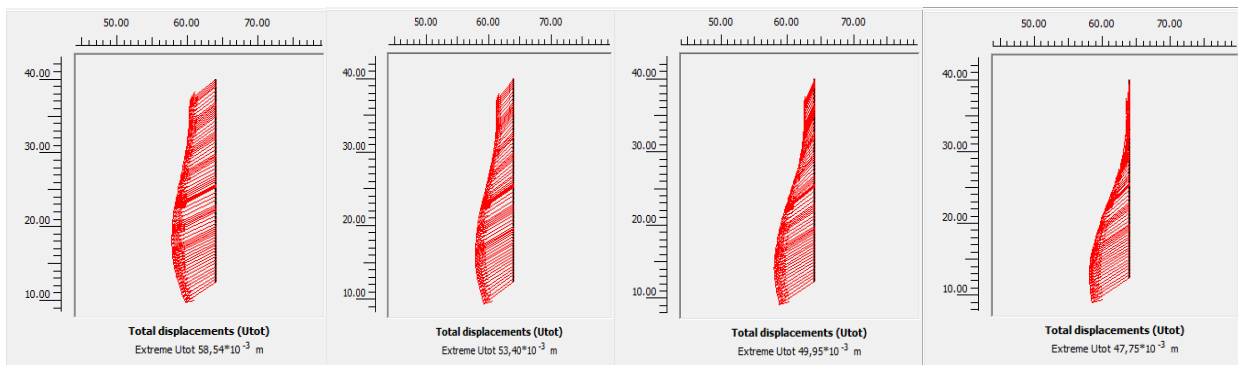
Μέγιστες μετακινήσεις του πασσάλου της δυτικής πλευράς για απόλυτη τιμή προέντασης αγκυρίων 840 kN και απόσταση πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) 2,5, 2, 1,5 και 1m αντίστοιχα.



Μέγιστες μετακινήσεις του πασσάλου της ανατολικής πλευράς για απόλυτη τιμή προέντασης αγκυρίων 840 kN και απόσταση πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) 2,5, 2, 1,5 και 1m αντίστοιχα.



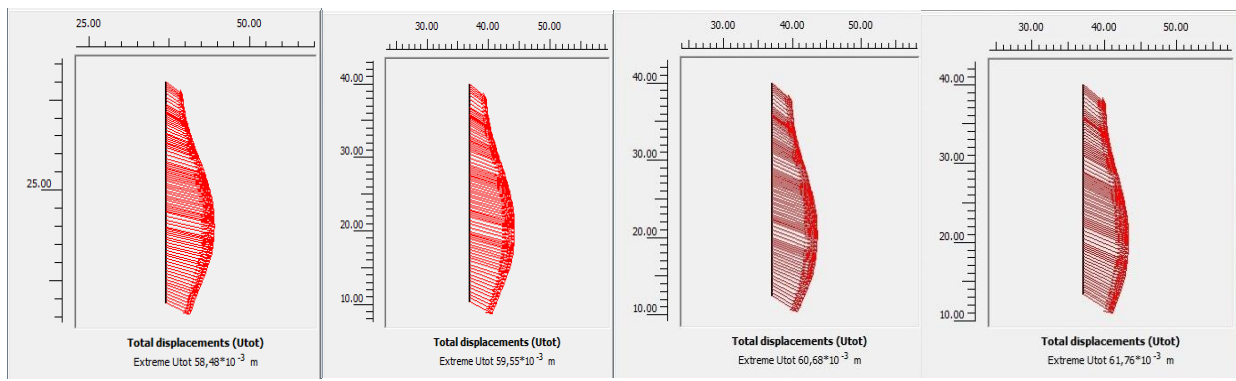
Μέγιστες μετακινήσεις του πασσάλου της δυτικής πλευράς για απόλυτη τιμή προέντασης αγκυρίων 942 kN και απόσταση πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) 2,5, 2, 1,5 και 1m αντίστοιχα.



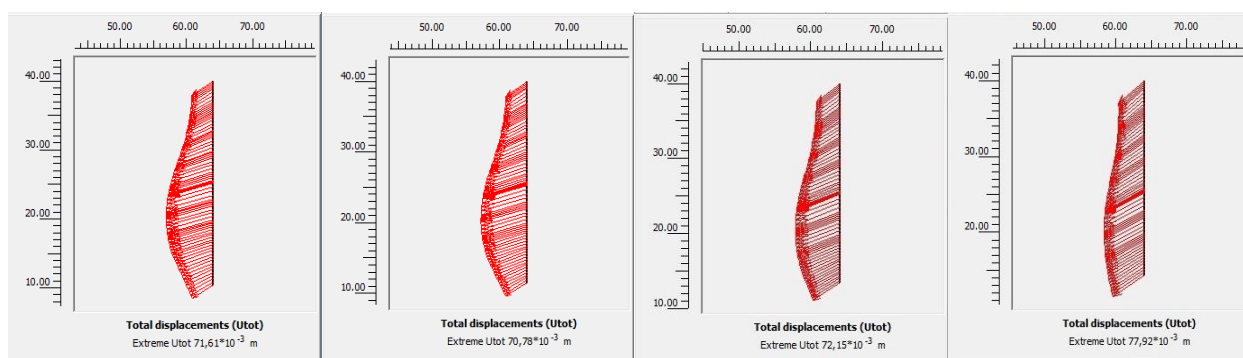
Μέγιστες μετακινήσεις του πασσάλου της ανατολικής πλευράς για απόλυτη τιμή προέντασης αγκυρίων 942 kN και απόσταση πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) 2,5, 2, 1,5 και 1m αντίστοιχα.

# Παράρτημα 3

## 3<sup>η</sup> παραμετρική ανάλυση



Μέγιστες μετακινήσεις του πασσάλου της δυτικής πλευράς για μήκος έμπιξης πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) +2, +1, -1 και -2 m αντίστοιχα.



Μέγιστες μετακινήσεις του πασσάλου της ανατολικής πλευράς για μήκος έμπιξης πασσάλων (από αριστερά προς τα δεξιά) +2, +1, -1 και -2 m αντίστοιχα.