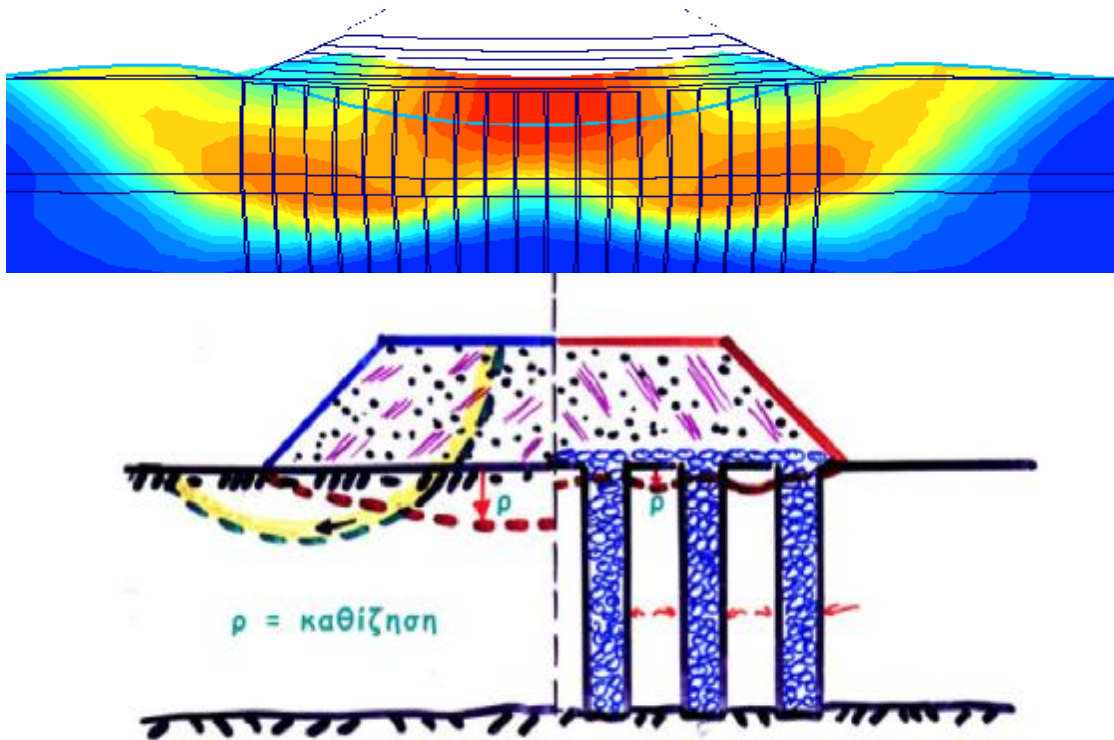


Τ. Ε. Ι. ΠΑΤΡΩΝ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΔΡΑΣΗ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ ΣΕ ΜΑΛΑΚΑ ΕΔΑΦΗ  
ΧΑΜΗΛΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ: Η περίπτωση των  
επιχωμάτων της Π.Α.Θ.Ε. στην περιοχή των  
Θερμοπυλών



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

ΓΙΑΝΝΑΚΟΥ ΜΙΧΑΛΗΣ

ΣΑΜΑΛΤΑΝΟΣ ΠΑΡΜΕΝΙΩΝ

ΠΑΡΓΑΝΑΣ ΛΑΜΠΡΟΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:  
ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΙΡΗΝΗ

ΚΛΟΥΚΙΝΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

2010

## Περίληψη

Στην παρούσα Πτυχιακή Εργασία εξετάζονται τα προβλήματα έδρασης επιχωμάτων σε περιοχές μαλακών εδαφών, χαμηλής αντοχής. Μια τέτοια περιοχή είναι η περιοχή του Δέλτα του π. Σπερχειού, στην περιοχή των Θερμοπυλών, όπου διέρχεται η νέα εθνική οδός (τμήμα της ΠΑΘΕ).

Κατά τους χειμερινούς μήνες, στη περιοχή Νέας κοίτης Σπερχειού, λόγω των υποκείμενων αργιλικών στρώσεων, παρατηρείται πλημμυρική απορροή όπου ο υδροφόρος ορίζοντας ανέρχεται άνω από την φυσική γραμμή του εδάφους, σε τακτά διαστήματα, από τις υπάρχοντες κατακρημνίσεις. Το υπέδαφος αποτελείται από εδαφικές στρώσεις, μαλακής αμμώδους αργίλου σε βάθος 3,5 m από την φυσική γραμμή εδάφους ενώ από το τέλος της πρώτης αργιλικής στρώσης παρατηρήθηκε αργιλώδης άμμος με ορισμένη αναλογία χαλικών και κροκάλων μέσης έως υψηλής πυκνότητας χωρίς κίνδυνο βαθιάς αστοχίας του επιχώματος.

Στο τμήμα της οδού όπου παρατηρείται το πρόβλημα απορροής ύδατος από Χ.Θ: 19 + 550 έως Χ.Θ: 26 + 238 «Κάμπος Λαμίας – Νέα κοίτη Σπερχειού» η αντιμετώπιση των σοβαρότατων προβλημάτων έδρασης επιχωμάτων αντιμετωπίστηκαν με Τεχνικά Έργα Υποδομής, εφαρμόζοντας κλασσικές μεθόδους αποστράγγισης υπόγειου νερού σε συνθήκες στερεοποίησης, για αντιμετώπιση καθιζήσεων και συνιζήσεων.

Περιγραφικά, στο τμήμα αυτό αναφέρεται ο συνδυασμός διαφόρων μεθόδων με την σταδιακή κατασκευή των επιχωμάτων και την παράλληλη εφαρμογή προφόρτισης. Επίσης η σταδιακή κατασκευή σταθεροποιητικών αναβαθμών και η έμπηξη κατακόρυφων πλαστικών στραγγιστηρίων, σε ορισμένα υποτμήματα της νέας οδού, και τελικά σε όλα τα τμήματα της οδού η κατασκευή χαλικοπασάλλων διαμέτρου 0,8 m, αποσκοπώντας σε στερεοποίηση διαρκείας ενός έτους, με καθίζηση 15-20 cm.

Σοβαρότατα προβλήματα έδρασης επιχωμάτων παρατηρήθηκαν και στην περιοχή πριν την Αρχή Α.Κ. Θερμοπυλών Χ.Θ: 12 + 540 έως 13 + 550 αλλά με μια δυσάρεστη διαφορά από το αναφερθέν ανωτέρω τμήμα, καθώς υπήρξε αστοχία του υφισταμένου επιχώματος ύψους 4,5 m στην Χ.Θ: 12 + 600 έως 12 + 750, δηλαδή λωρίδα 150 m υπέστη βαθιά ολίσθηση κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου Νοεμβρίου 2007 με σημαντικές καθιζήσεις που δεν προβλέφθηκαν, της τάξεως 10 – 36 cm.

Στην περιοχή όπου αστόχησε το επίχωμα, η στρωματογραφία του υπεδάφους αποτελείται από παχιά και πολύ μαλακά ιζήματα που έχουν αποθεθεί στη συγκεκριμένη θέση, με μια διαδικασία που είναι σε εξέλιξη εδώ και χιλιάδες έτη. Συγκεκριμένα η στρωματογραφία αποτελείται από την επιφανειακή στρώση από αργιλώδη – ιλυώδη άμμο πάχους 2 m, μία πρώτη αργιλική στρώση βάθους 4 – 10 m από την φυσική γραμμή του εδάφους και μια δεύτερη στιφρότερη αργιλική στρώση από εκεί και κάτω. Η αντοχή της αργίλου της πρώτης αργιλικής στρώσης είναι εξαιρετικά χαμηλή και κυμαίνεται μεταξύ 10 – 15 Kpa.

Η αστοχία του υπάρχοντος επιχώματος δυσχέρανε την επίλυση του προβλήματος, η οποία τελικώς δόθηκε με την εφαρμογή μιας πρωτοποριακής μεθόδου, της κατασκευής ελαφρύτερων επιχωμάτων που εφαρμόζονται σε άλλα Ευρωπαϊκά κράτη που αντιμετωπίζουν ίδια προβλήματα έδρασης επιχωμάτων σε μαλακά εδάφη. Η κατασκευή ελαφρού επιχώματος με χρήση διογκωμένης πολυστερίνης EPS (Φελιζόλ) αποτελεί καινοτομία για τα Ελληνικά δεδομένα.

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία χωρίζεται σε τέσσερα μέρη. Στα πρώτα δύο κεφάλαια αναφέρονται οι προδιαγραμμένες διατάξεις που ισχύουν για την κατασκευή επιχωμάτων, οι πιθανές αστοχίες των πρανών αλλά και της θεμελίωσης τους και τα πιο συνηθισμένα μέτρα πρόληψης ενάντια στις πιθανές αστοχίες. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στα προβλήματα έδρασης επιχωμάτων σε μαλακά αργιλικά εδάφη, μειωμένης αντοχής.

Στη συνέχεια (Κεφάλαιο 3) γίνεται αναλυτική παρουσίαση του υπό εξέταση έργου. Αναφέρονται οι γεωτεχνικές συνθήκες του υπεδάφους σε κάθε τμήμα του έργου μαζί με τον προτεινόμενο σχεδιασμό για την κατασκευή των επιχωμάτων και για τα μέτρα αντιμετώπισης των πιθανών προβλημάτων. Επίσης παρουσιάζεται το χρονικό της αστοχίας που συνέβη στο τμήμα από Χ.Θ: 12 + 600 έως 12 + 750.

Στα Κεφάλαια 4 και 5 πραγματοποιείται διεξοδική επίλυση των επιχωμάτων, τόσο δια χειρός με την μέθοδο Taylor, όσο και με την βοήθεια εξειδικευμένου προγράμματος επίλυσης, από την οποία προκύπτουν σπουδαιότατα συμπεράσματα, συμπεριλαμβανομένων και των οριακών καταστάσεων αστοχίας επιχωμάτων και των εκτιμήσεων για το μέγεθος και το χρόνο καθίζησης και στερεοποίησης.

Οι αναλύσεις έχουν σκοπό τον επανέλεγχο των επιχωμάτων έναντι ευστάθειας, φέρουσας ικανότητας και καθιζήσεων στερεοποίησης και τη σύγκριση με τις προβλέψεις της μελέτης και με τις παρατηρήσεις από το πεδίο, ειδικά για την περίπτωση της αστοχίας. Για την τελευταία περίπτωση, εξετάζονται όλα τα πιθανά σφάλματα και υποθέσεις που οδήγησαν στην αστοχία του συγκεκριμένου επιχώματος μήκους 150 m, ενώ σχολιάζεται η αποτελεσματικότητα των διάφορων μέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για τη βελτίωση της ευστάθειας. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων βρίσκονται σε άριστη συμφωνία με όλες τις μετρήσεις πεδίου ενώ στο τελευταίο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 6) παρουσιάζεται η νέα, πρωτοποριακή μέθοδος κατασκευής ελαφρών επιχωμάτων με τη χρήση διογκωμένης πολυστερίνης EPS (φελιζόλ) η οποία τελικώς επιλέχθηκε ως λύση στο προβληματικό τμήμα μετά την αστοχία και σχολιάζονται τα πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών μεθόδων.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....</b>	<b>VI</b>
-------------------------	-----------

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....</b>	<b>1</b>
------------------------	----------

## **Σχεδιασμός και κατασκευή επιχωμάτων σε έργα οδοποιίας**

<b>1.1. Εισαγωγή.....</b>	<b>1</b>
---------------------------	----------

<b>1.2. Σημασία χωματουργικών έργων και των επιχωμάτων.....</b>	<b>2</b>
---	----------

<b>1.3. Κατασκευαστικές προδιαγραφές επιχωμάτων.....</b>	<b>5</b>
--	----------

<i>1.3.1. Κατασκευή επιχωμάτων με κατάλληλα προϊόντα εκσκαφών η δανειοθαλάμων.....</i>	<i>6</i>
--	----------

<i>1.3.2. Γαιώδη υλικά για την κατασκευή επιχωμάτων οδικών έργων.....</i>	<i>8</i>
---	----------

<i>1.3.3. Υλικά βραχωδών επιχωμάτων οδικών και σιδηροδρομικών έργων..</i>	<i>9</i>
---	----------

<i>1.3.4. Κατασκευή γαιωδών και βραχωδών επιχωμάτων.....</i>	<i>11</i>
--	-----------

<i>1.3.5. Διάστρωση επιχωμάτων.....</i>	<i>13</i>
---	-----------

<i>1.3.6. Διάστρωση βραχωδών επιχωμάτων.....</i>	<i>17</i>
--	-----------

<i>1.3.7. Γενικές αρχές συμπύκνωσης επιχωμάτων οδικών και σιδηροδρομικών έργων.....</i>	<i>18</i>
---	-----------

<i>1.3.8. Μέθοδοι επιτόπου έλεγχου συμπύκνωσης.....</i>	<i>21</i>
---	-----------

<i>1.3.9. Ελάχιστες απαιτήσεις για τη συμπύκνωση γαιωδών επιχωμάτων...23</i>	
--	--

<i>1.3.10. Ελάχιστες απαιτήσεις για τη συμπύκνωση βραχωδών επιχωμάτων.....</i>	<i>23</i>
--	-----------

<i>1.3.11. Ειδικές απαιτήσεις για την κατασκευή των επιχωμάτων.....</i>	<i>25</i>
---	-----------

<b>1.4. Ειδικές απαιτήσεις θεμελίωσης επιχωμάτων.....</b>	<b>27</b>
---	-----------

<i>1.4.1. Συντελεστές ασφαλείας ελέγχων ευστάθειας.....</i>	<i>27</i>
---	-----------

<i>1.4.2. Φέρουσα Ικανότητα στρώσης έδρασης.....</i>	<i>29</i>
--	-----------

<b>1.5. Εξυγίανση Φυσικού εδάφους έδρασης επιχωμάτων.....</b>	<b>31</b>
---	-----------

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....</b>	<b>34</b>
<b>Αστοχίες επιχωμάτων και μέτρα αντιμετώπισης αυτών</b>	
<b>2.1. Κατολισθήσεις και ευστάθεια πρανών.....</b>	<b>34</b>
<b>2.2. Μέτρα αντιμετώπισης των προβλημάτων ευστάθειας επιχωμάτων.....</b>	<b>40</b>
<b>2.3. Μέτρα αντιμετώπισης των προβλημάτων έδρασης επιχωμάτων.....</b>	<b>60</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....</b>	<b>78</b>
<b>Παρουσίαση του υπό εξέταση έργου</b>	
<b>3.1. Γεωτεχνικές συνθήκες υπεδάφους της περιοχής.....</b>	<b>79</b>
<b>3.2. Σχεδιασμός επιχωμάτων βάση των γεωτεχνικών.....</b>	<b>80</b>
3.2.1. Πιθανά προβλήματα.....	80
3.2.2. προτεινόμενες κατασκευαστικές λύσεις.....	81
<b>3.3. Αναλυτική παρουσίαση σχεδιασμού.....</b>	<b>82</b>
3.3.1. Διαχωρισμός του έργου σε επιμέρους τμήματα.....	82
3.3.2. Α' Τμήμα επιχωμάτων ( X.Θ. 19 + 550 έως X.Θ. 19 + 900 ).....	84
3.3.3. Β' Τμήμα επιχωμάτων ( X.Θ. 19 + 900 έως X.Θ. 20 + 200 ).....	86
3.3.4. Γ' Τμήμα επιχωμάτων ( X.Θ. 20 + 200 έως X.Θ. 20 + 450 ).....	90
3.3.5. Δ' Τμήμα επιχωμάτων ( X.Θ. 20 + 450 έως X.Θ. 21 + 250 ).....	95
3.3.6. Ε' Τμήμα επιχωμάτων ( X.Θ. 21 + 250 έως X.Θ. 21 + 600 ).....	99
3.3.7. ΣΤ' Τμήμα επιχωμάτων ( X.Θ. 21 + 600 έως X.Θ. 22 + 880 )....	102
3.3.8. Ζ' Τμήμα επιχωμάτων ( X.Θ. 24 + 180 έως X.Θ. 26 + 100 ).....	106
3.3.9. Η' Τμήμα επιχωμάτων ( X.Θ. 26 + 100 έως X.Θ. 26 + 800 ).....	109
3.3.10. Θ' Τμήμα επιχωμάτων κλάδων κόμβου Ανθήλης ( X.Θ. 0 + 241 έως X.Θ. 0 + 560 ).....	112
<b>3.4. Προτεινόμενες λύσεις.....</b>	<b>116</b>
3.4.1. Εξυγιαντική – Στραγγιστική στρώση.....	116
3.4.2. Γεωφάσματα.....	116

3.4.3. Κατακόρυφα Πλαστικά Στραγγιστήρια.....	117
3.4.4. Χαλικοπασάλλοι.....	117
3.4.5. Πασαλλότοιχοι.....	118
3.4.6. Προφόρτιση – Επιφόρτιση.....	119
3.4.7. Οπλισμένα επιχώματα.....	119
<b>3.5. Περίπτωση τμήματος επιχωμάτων που βρέθηκε σε αστοχία Χ.Θ. 12 + 540 έως Χ.Θ. 13 + 550.....</b>	<b>120</b>

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....125**

**Έλεγχοι ευσταθούς φέρουσας ικανότητας και υπολογισμός καθιζήσεων λόγω στερεοποίησης**

<b>4.1. Επίλυση ευσταθούς επιχώματος με την μέθοδο Taylor.....</b>	<b>127</b>
<b>4.2. Επίλυση επιχώματος που παρουσιάζει αστοχία με τη μέθοδο Taylor.....</b>	<b>128</b>
<b>4.3. Παρατηρήσεις – συμπεράσματα επίλυσης επιχωμάτων με τη μέθοδο Taylor.....</b>	<b>130</b>
<b>4.4. Υπολογισμός καθιζήσεων και χρόνων στερεοποίησης για το επίχωμα που ευσταθεί.....</b>	<b>130</b>
4.4.1. Κατανομή τάσεων μέσα στο έδαφος.....	130
4.4.2. Υπολογισμός καθιζήσεων.....	133
4.4.3. Παρατηρήσεις – συμπεράσματα.....	136
<b>4.5. Υπολογισμός καθιζήσεων και χρόνων στερεοποίησης για το επίχωμα που αστόχησε.....</b>	<b>137</b>
4.5.1. Κατανομή τάσεων μέσα στο έδαφος.....	137
4.5.2. Υπολογισμός καθιζήσεων στερεοποίησης.....	140
4.5.3. Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.....	144
<b>4.6. Έλεγχοι Φέρουσας Ικανότητας.....</b>	<b>145</b>
4.6.1. Υπολογισμός Φέρουσας Ικανότητας για την περίπτωση του ευσταθούς επιχώματος.....	147

4.6.2. Υπολογισμός φέρουσας Ικανότητας για την περίπτωση επιχώματος που βρέθηκε σε αστοχία.....149

4.7. Συμπεράσματα – υπολογισμών.....151

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....152**

**Αριθμητικές αναλύσεις με τον κώδικα πεπερασμένων στοιχείων Plaxis v.8**

**5.1. Τμήματα επιχωμάτων που βρέθηκαν σε αστοχία.....153**

**5.2. Παρατηρήσεις – συμπεράσματα αριθμητικών αναλύσεων του επιχώματος που αστόχησε.....161**

5.2.1. Σύνοψη αποτελεσμάτων αριθμητικών αναλύσεων.....161

5.2.2. Συμπεράσματα αναλύσεων.....161

**5.3. Τμήματα επιχωμάτων που παρουσιάζουν ευστάθεια.....163**

**5.4. Παρατηρήσεις – συμπεράσματα αριθμητικών αναλύσεων για τα επιχώματα που παρουσιάζουν ευστάθεια.....165**

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....166**

**Εφαρμογή της μεθόδου κατασκευής ελαφρών επιχωμάτων με τη χρήση διογκωμένης πολυστερίνης EPS**

**6.1. Ιδιότητες της διογκωμένης πολυστερίνης EPS.....166**

6.1.1. Διαδικασία παραγωγής.....167

6.1.2. Πλεονεκτήματα της χρήσης του EPS.....167

6.1.3. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του γεωαφρού EPS.....169

**6.2. Διαδικασία κατασκευής ελαφρού επιχώματος γεωαφρού EPS.....169**

**6.3. Υπολογισμός Φέρουσας Ικανότητας παρουσία ελαφρού επιχώματος από διογκωμένη πολυστερίνη.....172**

**6.4. Αριθμητική ανάλυση Plaxis για τη περίπτωση του ελαφρού επιχώματος από EPS.....174**



<b>6.5. Παρατηρήσεις – συμπεράσματα για την περίπτωση του ελαφρού από EPS.....</b>	<b>175</b>
<b>6.6. Τελικές Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.....</b>	<b>175</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>177</b>

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον εποπτεύοντα καθηγητή κ. Κλουκίνα Παναγιώτη, διπλωματούχο Πολιτικό Μηχανικό - γεωτεχνικό, ο οποίος εκτός από την ανάθεση του θέματος, παρείχε μεγάλο όγκο πληροφοριών και λογισμικών – υπολογιστικών προγραμμάτων και κατέβαλε σημαντικό χρόνο για συναντήσεις με τους σπουδαστές της ομάδας (σχεδόν σε εβδομαδιαία βάση) και σε διορθώσεις, ώστε η Πτυχιακή εργασία να ολοκληρωθεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

Είμαστε υποχρεωμένοι επίσης να ευχαριστήσουμε την διπλωματούχο Πολιτικό Μηχανικό Τσάτσου Αλεξάνδρα που ήταν υπεύθυνη για την εκτέλεση της πρακτικής ασκήσεως του σπουδαστή Γιαννακού Μιχάλη συνέβαλε βοηθώντας στην εξοικείωση του παραπάνω σπουδαστή με σχεδιαστικά και λοιπά προγράμματα. Επίσης, η παρούσα πτυχιακή εργασία δε θα μπορούσε να εκπονηθεί χωρίς τη σημαντική συμβολή του πολιτικού Μηχανικού Τ.Ε. Αλέξανδρου Πετρίδη, ο οποίος εργάστηκε ως επιβλέπωντας στο συγκεκριμένο έργο, και μας παρείχε πολύ σημαντικά στοιχεία για το έργο (γεωτεχνικές συνθήκες, διατομές επιχωμάτων, τεχνικές εκθέσεις)

Τέλος, με την ευκαιρία της ολοκλήρωσης των σπουδών μας, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την Διπλωματούχο πολιτικό Μηχανικό Dr. Ειρήνη Βγενοπούλου, Καθηγήτρια στο τμήμα Έργων Υποδομής του Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΩΝ, οι διαλέξεις της οποίας μας βοήθησαν να υλοποιήσουμε ευκολότερα την παρούσα Πτυχιακή Εργασία και για την βοήθεια που παρείχε ώστε η εξέταση της Πτυχιακής Εργασίας να πραγματοποιηθεί το γρηγορότερο δυνατό, για να μπορέσουν οι σπουδαστές να συμμετάσχουν σε επερχόμενες κατατακτήριες διαδικασίες και να συνεχίσουν τις σπουδές τους σε

παραπάνω

επίπεδο.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## Σχεδιασμός και κατασκευή επιχωμάτων σε έργα οδοποιίας

### 1.1. Εισαγωγή

Η εξέλιξη της τεχνολογίας στο 2<sup>ο</sup> μισό του αιώνα έδωσε τεράστια ώθηση στον τομέα κατασκευής οδικών έργων. Η εκτέλεση των εργασιών στο εργοτάξιο οδοποιίας έγινε απλούστερη, ενώ προβλήματα δύσκολα, σχεδόν ανυπέρβλητα, βρήκαν πρόσφορες λύσεις μέσω της τεχνολογίας. Σήμερα πλέον, χωματουργικά έργα σε τεράστια κλίμακα πραγματοποιούνται με την χρήση πανίσχυρων μηχανημάτων και σύγχρονων γεωτεχνικών μεθόδων. Ωθηση, ωστόσο, πέρα από την τεχνολογία, έδωσε, στο χώρο κατασκευής έργων οδοποιίας, και η τεχνογνωσία που προήλθε από την εκτέλεση σημαντικών οδικών αρτηριών στην Ελλάδα, όπως είναι και ο αυτοκινητόδρομος ΠΑΘΕ, τμήμα του οποίου στην περιοχή του Δ.Σπερχειού Λαμίας εξετάζεται στην παρούσα εργασία.

Υπηρεσίες, μηχανικοί, κατασκευάστρες εταιρίες και φορείς επίβλεψης εξοικειώθηκαν με κλασικές αλλά και σύγχρονες μεθόδους κατασκευής, με υλικά και προϊόντα που προσφέρουν φθηνές και αποτελεσματικές λύσεις και με τον εξοπλισμό κατασκευής τεχνικών έργων οδοποιίας που δίδει μεγάλες δυνατότητες άρτιας και γρήγορης υλοποίησης των έργων.

Στην πραγματικότητα, στην οδοποιία, η εξέλιξη και η πρόοδος στο χώρο της κατασκευής παρέσυραν με αντίστοιχες αλλαγές και την φιλοσοφία των μελετών. Τεταγμένες χαράξεις, μεγάλες ακτίνες καμπυλότητας, μικρές κατά μήκος κλίσεις και βέλτιστη αντοχή βάσης – υποβάσεως σε γεωστατικό επίπεδο αποτελούν πλέον κανόνα για τις μεγάλου ενδιαφέροντος οδούς και αυτό οφείλεται στις δυνατότητες που προσφέρει η σύγχρονη κατασκευαστική πρακτική. Παράλληλα και οι απαιτήσεις του σημερινού χρήστη, είναι πολύ

μεγαλύτερες. Ένα πραγματικά υψηλό επίπεδο εξυπηρέτησης αποτελεί προϋπόθεση και υποχρέωση για τις υπό κατασκευή οδούς αλλά και για όλες εκείνες που μπορούν να βελτιωθούν και να αναβαθμιστούν, ενώ το συγκεκριμένο θέμα αποτελεί βασικό μέλημα των δημοσίων και δημοτικών διηθήσεων οδοποιίας.

## **1.2. Σημασία χωματουργικών έργων και των Επιχωμάτων**

Αν και, όπως προαναφέρθηκε, η διάνοιξη και η κατασκευή δρόμων έγινε απλούστερη τα τελευταία χρόνια λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας, η ίδια η κατασκευαστική διαδικασία ενός οδικού έργου παραμένει ένα πολυσύνθετο και πολυδιάστατο ζήτημα.

Ποικιλία τεχνικών αντικειμένων και, αντίστοιχα, εξοπλισμού, θέματα υλικών παρασκευαστηρίων κλιματικών συνθηκών και διαδοχής εργασιών συνθέτουν ένα πολυμορφικό πρόβλημα, στο οποίο παρούσα πάντοτε είναι και η οικονομική διάσταση. Το εγχείρημα, συνεπώς, κάθε άλλο παρά απλό είναι και οι δυσκολίες σε επίπεδο κατασκευής είναι καθημερινές και συχνά απρόβλεπτες. Ένα τεχνικό έργο οδοποιίας αποτελείται από ένα πλήθος προκαταρκτικών και κυρίων επιμέρους έργων, που για την υλοποίησή τους, έχουν προηγηθεί άλλες ανάλογες ενέργειες, εργασίες και κατασκευαστικές δραστηριότητες, όπως απεικονίζεται στη κατώτερη εκπόνηση γεωτεχνικής μελέτης.

Λόγω της φύσης τους, τα οδικά έργα καλύπτουν μια μεγάλη ποικιλία υποτομέων εφαρμογών άλλης κλίμακας τεχνικά έργα. Θεμελιώσεις, αντιστηρίξεις, υποστηρίξεις, γεωτεχνικά θέματα, αποστραγγίσεις, υδρολογικά ζητήματα, φρεάτια, τοίχοι υποστήριξης και αντιστήριξης, μικρά τεχνικά έργα και γεωτεχνικά υλικά όπου συνυπάρχουν σε ένα έργο οδοποιίας. Κατασκευές των οποίων ο σχεδιασμός ανήκει σε διαφορετικά γνωστικά πεδία, συνθέτουν τελικώς το οδικό έργο. Το κυριότερο πρόβλημα όπως παρουσιάζεται

παρακάτω είναι η δυσκολία ένταξης κατά τρόπο σωστό και λειτουργικό το σύνολο των κατασκευών αυτών στο εκτελούμενο συγκεκριμένο έργο.

Γενικός για την κατασκευή ενός τεχνικού έργου οδοποιίας, η διαδοχή των εργασιών ακολουθεί μια συγκεκριμένη σειρά και ανταποκρίνεται σε ένα προκαθορισμένο χρονοδιάγραμμα όπου ο χρόνος συγκρούεται με το κόστος χωρίς όμως να αποκλείονται και κάποιες παραλλαγές με την προϋπόθεση ότι οι προκαταρκτικές, οι κύριες και οι συμπληρωματικές εργασίες υλοποιούν ένα τεχνικό έργο είτε με κλασικές ή και νέες μεθόδους.

Όπως αναφέρεται ανωτέρω, στη σύγχρονη οδοποιία, επηρεασμένη σημαντικά από ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας κατά τις τελευταίες δεκαετίες, έχει μεταβάλει αισθητά τον φιλοσοφικό της προσανατολισμό, με αποτέλεσμα να επαναπροσδιοριστεί ο ρόλος και η σημασία των χωματουργικών και τεχνικών έργων στα πλαίσια της κατασκευής οδικών αρτηριών. Παλαιότερα, η εκτέλεση εκσκαφών και επιχωματώσεων με μηχανικά μέσα μικρότερης ισχύος, επέβαλλε ως κριτήριο για τη χάραξη μίας οδού τον ‘μικρό όγκο χωματισμών’, ‘τα μικρά βάθη ορυγμάτων και ύψη επιχωμάτων’, πράγμα που ουσιαστικά μεταφραζόταν σε πιστή παρακολούθηση του φυσικού ανάγλυφου μέσα στη ζώνη διάβασης της οδού. Εκσκαφές και επιχωματώσεις περιορισμένης έκτασης και ελάχιστα τεχνικά συνιστούσαν την πάγια πρακτική υλοποίησης οδικών έργων.

Χωματουργικά έργα και τεχνικά έργα αποτελούσαν μια δυσκολία σημαντικότερη, πολλές φορές ανυπέρβλητη, που μελετητές και κατασκευαστές προσπαθούσαν να παρακάμψουν και να αποφύγουν. Σήμερα, οι υψηλοί κυκλοφοριακοί φόρτοι και οι μεγάλες ταχύτητες των οχημάτων απαιτούν κατά κύριο λόγο οδικές αρτηρίες που να πληρούν τις συνθήκες ‘γεωμετρικής άνεσης’, έτσι ώστε να ικανοποιείται η απαίτηση για ασφαλή και ταχέα μετακίνηση των μεταφορικών μέσων. Η χάραξη ανταποκρίνεται πλέον στο βασικό κριτήριο της γεωμετρίας, ενώ χωματουργικές εργασίες σε μεγάλη έκταση μπορούν εύκολα να πραγματοποιούνται από τελειοποιημένα

μηχανήματα οδοποιίας, ικανά να ξεπερνούν οποιαδήποτε τεχνικά εμπόδια, που αποτελούσαν κατασκευαστικό φραγμό κατά το παρελθόν.

Συνέπεια του αναπροσανατολισμού αυτού υπήρξε η σημαντική αύξηση του όγκου των χωματουργικών έργων και του μεγέθους των τεχνικών έργων, όπου υπολογίζεται ότι, για κάθε χιλιόμετρο μήκους αυτοκινητόδρομου, ο όγκος των χωματισμών ξεπερνά τα 100.000 m<sup>3</sup> ενώ περισσότερα από δύο ‘μικρά τεχνικά έργα’, κατασκευάζονται στο ίδιο μήκος, χωρίς να συνυπολογίζονται τα έργα αντιστήριξης.

Η αξιοποίηση των νέων τεχνικών δυνατοτήτων μπορεί να δώσει μπορεί να δώσει λύσεις στο σύνολο των προβλημάτων της οδοποιίας και της εδαφομηχανικής ειδικά σε όσα περιστρέφονται γύρω στους δύο κατευθυντήριους άξονες της κατασκευής, δηλαδή την ασφάλεια και την οικονομία. Μια τέτοια υπερσύγχρονη μέθοδος είναι και η κατασκευή ελαφρών επιχωμάτων με χρήση πλαστικού υλικού πολυστυρενίου (φελιζόλ) που χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο έργο, όπως θα παρουσιαστεί στη συνέχεια της πτυχιακής. Λόγω των τεράστιων προβλημάτων που προκαλούν τα χωματουργικά έργα τόσο από τεχνικής όσο και από οικονομικής άποψης, η νέα μέθοδος των ελαφρών επιχωμάτων είναι πλήρως εφαρμόσιμη σε τέτοιου είδους προβλήματα που προκαλούνται από τα χωματουργικά έργα, είναι κατά κάποιο τρόπο ο αντικαταστάτης των εκσκαφών και επιχωματώσεων, εφόσον τα βαθιά ορύγματα, τα υψηλά επιχώματα καθώς και τα μεγάλα τεχνικά έργα του οδικού δικτύου θέτουν ειδικά προβλήματα που καλούνται να ανταποκριθούν σε απαίτησης υψηλής κατάρτισης και επαγγελματικής ικανότητας.

Μέσα στο χώρο των δραστηριοτήτων υλοποίησης των οδικών έργων τα, χωματουργικά έργα κατέχουν πολύ σημαντική θέση:

- Από πλευράς τεχνικής δυσκολίας, η υλοποίηση μίας γεωκατασκευής μπορεί να προκαλέσει δυσεπίλυτα θέματα, όπως ορύγματα σε ολισθαίνουσες

μάζες, επιχώματα σε χαλαρά εδάφη, μέτωπα σηράγγων σε περιοχές με γεωλογικά ρήγματα.

- Από πλευράς διαδικασίας και χρονοδιαγράμματος, τα χωματουργικά έργα διαρκούν μεγάλο χρονικό διάστημα και η υλοποίησή τους είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την συνέχεια και ολοκλήρωση του οδικού έργου.
- Από πλευράς οικονομικής επιβάρυνσης, και ανάλογα με τη φύση του έργου, το κόστος των χωματουργικών κυμαίνεται γύρω στο 40% του συνολικού προϋπολογισμού, αποτελεί ένα σημαντικό τμήμα του όλου συμβατικού τεχνικού αντικειμένου.

### **1.3. Κατασκευαστικές Προδιαγραφές Επιχωμάτων**

Τα επιχώματα αποτελούν τις κατ' εξοχήν γεωκατασκευές οδοποιίας. Αν και η κατασκευή τους αποτελεί συνήθη πρακτική για τα εργοτάξια οδικών έργων, ωστόσο τα ζητήματα, τα συναφή με την εκτέλεση των χωματουργικών εργασιών, είναι πολλά. Σε περιπτώσεις δε που τα επιχώματα είναι υψηλά ή εδράζονται επί συμπιεστών εδαφών, τα ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν γίνονται πιο σύνθετα.

Συνοπτικά τα θέματα που σχετίζονται με την κατασκευή επιχωμάτων είναι τα εξής:

- Επάρκεια και καταλληλότητα υλικών κατασκευής.
- Επιλογή εξοπλισμού διάστρωσης και διαμόρφωση στρώσεων.
- Καθορισμός διαδικασίας και επιλογή εξοπλισμού συμπύκνωσης.
- Καθορισμός έλεγχου συμπύκνωσης.
- Πρόβλεψη συνιζήσεων και καθιζήσεων.
- Έλεγχος ευστάθειας έναντι ολίσθησης πρανών και υπεδάφους.
- Επιλογή και σχεδιασμός διατάξεων αποστράγγισης.
- Επένδυση πρανών.

Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι πλέον σύγχρονες κατασκευαστικές προδιαγραφές για τα επιχώματα οδοποιίας, βάση του ΠΕΤΕΠ 02 – 07 – 01 – 00 / ΙΟΚ

*1.3.1. Κατασκευή επιχωμάτων με κατάλληλα προϊόντα εκσκαφών ή δανειοθαλάμων.*

Στην παρούσα υποενότητα περιγράφονται οι όροι τους οποίους πρέπει να πληρούν τα υλικά κατασκευής των επιχωμάτων, ο τρόπος κατασκευής αυτών και κάθε σχετική εργασία που αφορά στην κατασκευή νέων επιχωμάτων ή συμπλήρωση υφισταμένων, αναφορικά με τα επιχώματα οδικών και σιδηροδρομικών έργων που κατασκευάζονται από συνήθη, γαιώδη υλικά. Με τον όρο επίχωμα νοείται, γενικά, η υπερυψωμένη κατασκευή που δημιουργείται με διάστρωση και συμπύκνωση κατάλληλων εδαφικών υλικών, προϊόντων εκσκαφών ή δανείων, σε στρώσεις πάχους τέτοιου, ώστε, με τα μέσα συμπύκνωσης που διατίθενται, να επιτυγχάνεται η απαιτούμενη συμπύκνωση. Η κατασκευή υλοποιείται σε τμήματα κατάλληλων διαστάσεων, ώστε να μπορεί να γίνει χρήση μηχανικού εξοπλισμού υψηλής απόδοσης.

Τα επιχώματα τα οποία καλύπτει η συγκεκριμένη προδιαγραφή, διακρίνονται σε γαιώδη επιχώματα, αυτά δηλαδή που κατασκευάζονται με διάστρωση και συμπύκνωση γαιωδών υλικών, που προέρχονται από γαιώδεις και ημιβραχώδεις εκσκαφές ορυγμάτων ή εκσκαφές δανειοθαλάμων και σε βραχώδη επιχώματα, αυτά δηλαδή που κατασκευάζονται με διάστρωση και συμπύκνωση βραχωδών υλικών, που προέρχονται κατά κύριο λόγο από εκσκαφές σε βράχο. Δεν περιλαμβάνονται τα επιχώματα που κατασκευάζονται από ειδικά ελαφρά υλικά (π.χ. ιπτάμενη τέφρα, σκωρίες, αφρώδες ελαφροσκυρόδεμα, διογκωμένη πολυστερίνη, διογκωμένη άργιλο ή σχιστόλιθο, κυψελώδες κατασκευές, ελαστικό αυτοκινήτων, απορρίμματα πλαστικού κλπ.).



Τα επιχώματα οδικών και σιδηροδρομικών έργων αποτελούνται από τα τμήματα που δίδονται στον Πίνακα 2.1 που ακολουθεί.

**Πίνακας 1.1** Τμήματα κατασκευής γαιωδών και βραχωδών επιχωμάτων

ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΓΑΙΩΔΗ ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ	ΒΡΑΧΩΔΗ ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ
Θεμέλιο	Το τμήμα που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, μετά την εκρίζωση, τον καθαρισμό των ακατάλληλων υλικών και την κατάλληλη διαμόρφωση της επιφάνειας ώστε να ακυρώνεται το επίχωμα στο υποκείμενο έδαφος και επιπλέον στρώση πάχους 0,30 m πάνω από την αρχική επιφάνεια του φυσικού εδάφους.	Το κατώτερο μέρος του επιχώματος πάχους 0,30 m σε επαφή με το έδαφος στην αρχική του επιφάνεια (όταν δεν υπάρχουν επιφανειακά ακατάλληλα υλικά) και το τμήμα κάτω από αυτή, (μετά από το ενδεχόμενο απαιτούμενο καθαρισμό και απομάκρυνση ακατάλληλων υλικών) και διαμόρφωση αναβαθμών για αγκύρωση.
Πυρήνας	Το τμήμα του επιχώματος μεταξύ θεμέλιου και στέψης.	Το τμήμα του επιχώματος μεταξύ θεμέλιου και μεταβατικού επιχώματος.
Μεταβατικό τμήμα		Το τμήμα μεταξύ πυρήνα και στέψης, όπου η διαβάθμιση του υλικού των στρώσεων που το αποτελούν, πληροί ορισμένες απαιτήσεις (φίλτρο) και τοποθετείται για την αποφυγή διείσδυσης του υλικού της στέψης στο υποκείμενο βραχώδες τμήμα. Το πάχος του είναι 1m , εκτός αν ορίζεται διαφορετικά στους λοιπούς όρους δημοπράτησης.

Στέψη	Οδικό έργο	Το μέρος του επιχώματος κάτω από την στρώση έδρασης του οδοστρώματος (Σ.Ε.Ο.), που εκτείνεται σε βάθος, από την πάνω επιφάνεια της Σ.Ε.Ο. , ίσο προς 0,8 m – 1m σύμφωνα με την εκάστοτε μελέτη.	Το μέρος του επιχώματος πάνω από το μεταβατικό τμήμα που κατασκευάζεται από γεώδη υλικά όπως τα γαιώδη επιχώματα και αποτελεί (ολόκληρο ή μέρος του) τη στρώση έδρασης του οδοστρώματος (Σ.Ε.Ο.)
-------	------------	---	--

Αναφορικά με τους όρους που εμφανίζονται στον παραπάνω πίνακα, δίνονται οι ακόλουθοι ορισμοί:

Στρώση Έδρασης Οδοστρώματος (Σ.Ε.Ο.), είναι το αμέσως κάτω του οδοστρώματος έδαφος, διαμορφωμένο και συμπυκνωμένο σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές, το οποίο εκτείνεται σε βάθος που επηρεάζεται από το μέγεθος των κυκλοφορούντων φορτίων.

Στρώση Στράγγισης Οδοστρώματος (Σ.Σ.Ο.) ή στρώση Αντιπαγετικής Προστασίας (Α.Π.) είναι η αμέσως κάτω του οδοστρώματος κατάλληλα συμπυκνωμένη στρώση από ασύνδετο υλικό, η οποία έχει σκοπό να διευκολύνει την αποστράγγιση των υδάτων που τυχόν συγκεντρώνονται κάτω από το οδόστρωμα. Η Σ.Σ.Ο. αποτελεί μέρος της στρώσης έδρασης του οδοστρώματος και κατασκευάζεται όταν κρίνεται απαραίτητη από τη μελέτη λόγω υδρογεωλογικών και κλιματολογικών συνθηκών και χρησιμεύει και για την προστασία του οδοστρώματος από επίδραση παγετού. Σημειώνεται ότι στρώση αντιπαγετικής προστασίας σπανίως είναι απαραίτητη για τις ελληνικές συνθήκες και θα κατασκευάζεται μόνο μετά από μελέτη του κλίματος της περιοχής που θα περιλαμβάνει κλιματολογικά στοιχεία τουλάχιστον πενταετίας.

### 1.3.2. Γαιώδη υλικά για την κατασκευή επιχωμάτων οδικών έργων.

Για την κατασκευή επιχωμάτων είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν γαιώδη υλικά από τα προϊόντα εκσκαφής ορυγμάτων, ή σηράγγων ή ακόμη και από επιχώματα που καθαιρούνται. Τα προτιμητέα εδάφη για χρήση ως

υλικά επιχωμάτων περιγράφονται στο Πρότυπο ASTM 03282-93(2004) - Πρότυπη διαδικασία κατηγοριοποίησης εδαφών και μιγμάτων εδαφικών υλικών και αδρανών για την Κατασκευή έργων οδοποιίας.

Δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν ως υλικά επιχωμάτων τυρφώδη ή οργανικά εδάφη, με ποσοστό σε οργανικά υλικά >5% κ.β., λεπτόκοκκα εδάφη που παρουσιάζουν τάση διόγκωσης >100 CBR, σε συνδυασμό με παραμόρφωση ελεύθερης διόγκωσης >3% κατά την δοκιμή CBR, θιξοτροπικά εδάφη (π.χ. υπερευαίσθητη άργιλος), καθώς και εδάφη με περιεχόμενο ποσοστό διατομικής γης ή φυλλαρίων μαρμαρυγίας μεγαλύτερο του 20%, εδάφη που περιέχουν υδατοδιαλυτά ορυκτά, όπως ορυκτό αλάτι ή γύψο, σε ποσοστό μεγαλύτερο του 2% καθώς και ρυπογόνα υλικά (π.χ. βιομηχανικό υποπροϊόντα).

Η κατασκευή του επιχώματος και ειδικότερα ο τρόπος συμπύκνωσης καθορίζονται από την μελέτη, ανάλογα με το είδος του υλικού που χρησιμοποιείται για το σώμα του επιχώματος.

### *1.3.3. Υλικά βραχωδών επιχωμάτων οδικών και σιδηροδρομικών έργων.*

Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή βραχωδών επιχωμάτων, προέρχονται από εκσκαφές ή κατ' εξαίρεση, μετά από έγκριση της επιβλέπουσας Υπηρεσίας, ή εφ' όσον προβλέπεται από τη μελέτη είναι δυνατόν να χρησιμοποιούνται και υλικά προερχόμενα από δανειοθαλάμους. Σε κάθε περίπτωση, πριν αρχίσει η εκσκαφή των βραχωδών υλικών θα πρέπει να απομακρύνονται τα επιφανειακά εδαφικά υλικά ή η αποσαθρωμένη επιφανειακή στρώση βράχου που κρίνεται ως ακατάλληλη. Επίσης, θα απομακρύνονται τα τυχόν ακατάλληλα εδαφικά υλικά που εμφανίζονται μέσα στο βραχώδη σχηματισμό καθ όλη τη διάρκεια της εκσκαφής των βραχωδών υλικών. Η εκσκαφή θα γίνεται έτσι ώστε η κοκκομετρία και η μορφή των παραγομένων βραχωδών υλικών να είναι εντός των ορίων των απαιτήσεων για τα βραχώδη επιχώματα.

Αναφορικά με την κοκκομετρική διαβάθμιση, το υλικό θα πρέπει να ικανοποιεί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

Ø Η μέγιστη διάσταση κόκκων του υλικού προκειμένου περί οδικών έργων δεν πρέπει να υπερβαίνει τα  $2/3$  του πάχους της συμπυκνωμένης στρώσης.

Ø Η μέγιστη διάσταση κόκκων του υλικού, προκειμένου περί σιδηροδρομικών έργων δεν θα υπερβαίνει το  $1/2$  του πάχους της συμπυκνωμένης στρώσης.

Ø Η περιεκτικότητα κατά βάρος των διερχομένων από το κόσκινο των 22,4 mm θα είναι μικρότερη από 25%, και των διερχομένων από το κόσκινο ISO 565 ανοίγματος 0,063 mm θα είναι μικρότερη από 7%.

Ø Η μέγιστη διάσταση ( $D_{max}$ ) κόκκου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή επιχωμάτων είναι ίση με: 800 mm, προκειμένου για οδικά έργα με υλικά επιχωμάτων μη ευαίσθητα στο νερό (αμιγώς κοκκώδη), 600 mm, προκειμένου για σιδηροδρομικά έργα με υλικά επιχωμάτων μη ευαίσθητα στο νερό (αμιγώς κοκκώδη) και 500 mm, προκειμένου για οδικά και σιδηροδρομικά έργα με υλικά επιχωμάτων ευαίσθητα στο νερό (εδάφη με περιεκτικότητα σε αργιλικό υλικό).

Οι παραπάνω διαστάσεις νοούνται ως οι μέγιστες δυνατές και αφορούν τα πλέον κατάλληλα υλικά και μόνο εφ' όσον διατίθενται μηχανήματα συμπύκνωσης ικανότητας (άνω των 40 KN ανά μέτρο γραμμικού φορτίου). Επίσης οι ανωτέρω απαιτήσεις αφορούν το μη συμπυκνωμένο υλικό, το οποίο θα ελέγχεται πριν από τη διάστρωση του προς εξακρίβωση της τήρησης αυτών, διότι κατά τη διάστρωση και την συμπύκνωση το υλικό μπορεί να υποστεί αλλαγές που θα μεταβάλλουν την αρχική κοκκομετρική διαβάθμιση. Η επιβλέπουσα Υπηρεσία μπορεί να απαιτήσει μεταβολή των παραπάνω ορίων, με βάση τα συμπεράσματα και τις παρατηρήσεις από την κατασκευή του δοκιμαστικού επιχώματος, για το οποίο γίνεται αναφορά στην παρακάτω παράγραφο.

#### *1.3.4. Κατασκευή γαιωδών και βραχωδών επιχωμάτων.*

Η Κατασκευή των επιχωμάτων περιλαμβάνει κατά σειρά τα ακόλουθα στάδια και διεργασίες:

1. Προετοιμασία της επιφάνειας έδρασης του επιχώματος.
2. Κατασκευή Δοκιμαστικού Τμήματος.
3. Διάστρωση υλικών επιχωμάτων.
4. Συμπύκνωση κατά στρώσεις.

Πριν από τη διάστρωση και συμπύκνωση των υλικών των επιχωμάτων πρέπει να προηγείται κατάλληλη προετοιμασία της επιφάνειας έδρασης. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει καθαρισμό, εκρίζωση και απομάκρυνση των επιφανειακών ακατάλληλων υλικών ή φυτικής γης (θάμνοι, ρίζες, ριζόχομα, φυτική γη με υψηλό ποσοστό οργανικών κλπ.) σ' όλο το βάθος που απαιτείται και θα κατασκευάζεται μέρος του θεμελίου του επιχώματος, από κατάλληλα υλικά σύμφωνα με την παρούσα προδιαγραφή.

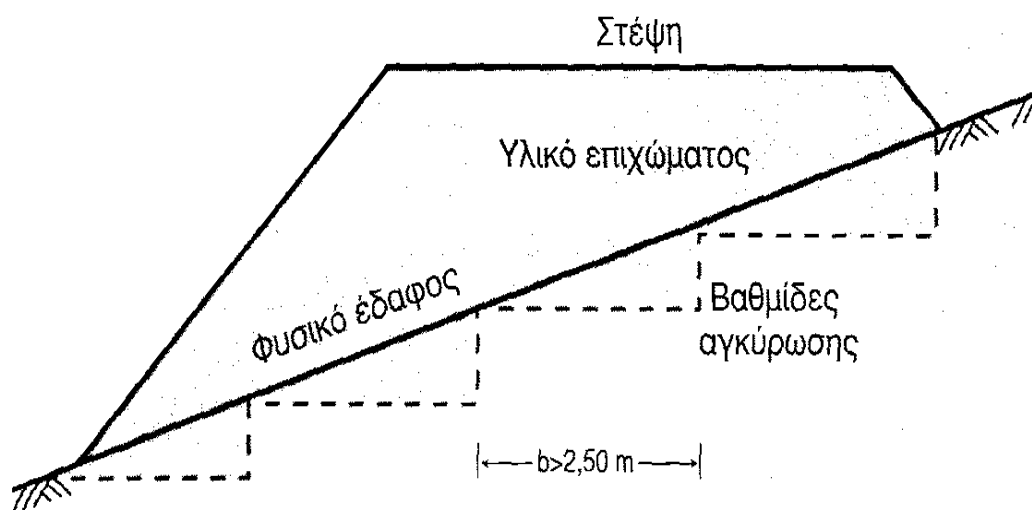
Εάν είναι αναγκαία η κατασκευή επιχώματος απ' ευθείας σε ασταθή, διαταραγμένα εδάφη, η επάνω σε μαλακές αργίλους (όπως τα επιχώματα του συγκεκριμένου έργου στο Δέλτα του ποταμού Σπερχειού στην περιοχή των Θερμοπυλών), θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για την σταθεροποίηση ή απομάκρυνση του υλικού αυτού, σύμφωνα με ειδική γεωτεχνική μελέτη. Αν μέχρι βάθους 1,0 m από τη στάθμη έδρασης του επιχώματος υπάρχει βράχος, τότε μπορεί να απομακρύνεται το υπερκείμενο του βράχου υλικό και η έδραση του επιχώματος να γίνεται κατ' ευθείαν πάνω στο βράχο, πάντοτε μετά από σχετική έγκριση της Υπηρεσίας.

Σε πυθμένες κοιλάδων και υγρές πλαγιές πρέπει να λαμβάνεται πρόνοια για την αποστράγγιση και γενικά για τον περιορισμό και απαγωγή των επιφανειακών υδάτων (ρυάκια κλπ), καθώς και των πηγαίων και υπόγειων υδάτων. Σε εδάφη κορεσμένα και/ή ευπαθή στο νερό, το τμήμα του

θεμελίου των επιχωμάτων πρέπει να κατασκευάζεται από ευχερώς αποστραγγισμένα υλικά ή βραχωδών προϊόντων ορυγμάτων, σε συνδυασμό με αποστραγγιστικές στρώσεις για την αποφυγή ανόδου του νερού των τριχοειδών, παράλληλα θα εξασφαλίζεται η λειτουργία «φίλτρου» μεταξύ του θεμελίου και του υπερκείμενου πυρήνα του επιχώματος.

Γενικά απαγορεύεται η διάστρωση υλικών σε έδαφος το οποίο έχει μαλακώσει από τη βροχή ή την κυκλοφορία. Στις περιπτώσεις αυτές, κατά την κρίση της Υπηρεσίας, το υλικό είτε θα αντικαθίσταται είτε θα επανασυμπυκνώνεται μετά τον περιορισμό του ποσοστού υγρασίας για την επίτευξη βέλτιστης συμπίκνωσης.

Όταν τα επιχώματα εδράζονται σε έδαφος υψηλής εγκάρσιας κλίσης (π.χ.  $i > 20\%$ ) ή σε ήδη κατασκευασμένα επιχώματα, απαιτείται, κλιμακωτή εκσκαφή της επιφάνειας έδρασης (αναβαθμοί), σύμφωνα με τη μελέτη εφαρμογής ή τις εντολές της Υπηρεσίας, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.1 που ακολουθεί. Βαθμίδες αγκύρωσης θα κατασκευάζονται επίσης και στις περιπτώσεις διαπλάτυνσης επιχωμάτων καθώς και στις περιπτώσεις κατασκευής του επιχώματος σε δυο φάσεις.



**Σχήμα 1.1** Κλιμακωτή εκσκαφή της επιφάνειας έδρασης (αναβαθμοί αγκύρωσης)

Η επιφάνεια έδρασης του επιχώματος θα συμπυκνώνεται επιμελώς σε πυκνότητα ίση κατ' ελάχιστο προς το 90% της μέγιστης πυκνότητας, που επιτυγχάνεται κατά την τροποποιημένη δοκιμή συμπίκνωσης. Η συμπίκνωση αυτή, σε περίπτωση που δεν υπάρχει ειδική γεωτεχνική μελέτη, θα εκτείνεται σε βάθος τουλάχιστον 40 cm και σε πλάτος 2 m πέραν από το πόδι του επιχώματος, ή μέχρι το όριο απαλλοτρίωσης, όταν υπάρχουν σχετικοί περιορισμοί πλάτους. Σε κατασκευές επιχωμάτων υπερύψωσης παλαιών υφιστάμενων οδών, όταν η διαφορά στάθμης μεταξύ των επιφανειών κύλισης παλαιάς και νέας οδού είναι μικρότερη από το συνολικό πάχος του προτεινομένου οδοστρώματος, (συμπεριλαμβανομένης και της τυχόν Στρώσης Στράγγισης Οδοστρώματος Σ.Σ.Ο.), τότε η τυχόν υπάρχουσα παλαιά ασφαλτική στρώση θα ανακυκλώνεται (φρεζάρισμα, απομάκρυνση, ενσωμάτωση ή επαναχρησιμοποίηση του υλικού), σύμφωνα με τους όρους της εκάστοτε σύμβασης.

#### *1.3.5. Διάστρωση επιχωμάτων.*

Μετά την προετοιμασία της επιφάνειας θεμελίωσης ακολουθεί η διάστρωση των στρώσεων του επιχώματος με τα κατάλληλα υλικά. Οι στρώσεις θα πρέπει να είναι συνεχείς, παράλληλες προς την άνω επιφάνεια του επιχώματος και ομοιόμορφου πάχους, τέτοιου ώστε, με τον υπάρχοντα εξοπλισμό, να επιτυγχάνεται ο απαιτούμενος βαθμός συμπίκνωσης σε όλο το πάχος. Τα διάφορα υλικά που προορίζονται για την κατασκευή επιχωμάτων θα αξιολογούνται, ώστε τα καλύτερης ποιότητας υλικά να διαστρώνονται στις ανώτερες στρώσεις των επιχωμάτων και ιδιαίτερα στη στρώση έδρασης. Δεν πρέπει να διαστρώνεται καμία στρώση αν δεν έχει επαληθευτεί ότι η υποκείμενη στρώση συμμορφώνεται προς τις απαιτήσεις συμπίκνωσης και σταθερότητας. Αν η υποκείμενη στρώση έχει μαλακώσει από υπέρβαση

υγρασίας, (π.χ. λόγω διήθησης υδάτων), δεν επιτρέπεται η διάστρωση της επόμενης.

Τα επιχώματα επί εδαφών μικρής φέρουσας ικανότητας αποτελούν αντικείμενο ειδικής μελέτης. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στη μη υπέρβαση του ορίου αντοχής του εδάφους (με κατάλληλη διαστασιολόγηση του πάχους των πρώτων στρώσεων) για να προστατευθεί το έδαφος από τις φορτίσεις των οχημάτων μεταφοράς υλικού και των μηχανημάτων συμπύκνωσης.

Το χαλαρό πάχος των στρώσεων (το πάχος πριν τη συμπύκνωση) εξαρτάται από το είδος των διατιθέμενων υλικών και μέσων συμπύκνωσης, θα είναι δε για τα γαιώδη υλικά μικρότερο των 30 cm. Είναι δυνατό, μετά από έγκριση της Υπηρεσίας, να επιτραπεί και μεγαλύτερο πάχος στρώσεων, εφ' όσον διατίθενται τα κατάλληλα μηχανήματα για την επίτευξη ομοιόμορφης πυκνότητας σε όλο το πάχος της στρώσης και με την προϋπόθεση ότι έχει κατασκευασθεί επιτυχώς δοκιμαστικό Τμήμα.

Κατά την εκτέλεση των εργασιών, η επιφάνεια των στρώσεων θα είναι επίπεδη και θα έχει την απαραίτητη εγκάρσια κλίση (4% κατ' ελάχιστο) για την εξασφάλιση της απορροής των νερών χωρίς κίνδυνο διάβρωσης ή υπερβολικής διαβροχής του σώματος του επιχώματος (εν γένει παράλληλη ανύψωση ως προς την επίκλιση της στέψης του επιχώματος). Ο Ανάδοχος πρέπει να παίρνει όλα τα απαραίτητα μέτρα προστασίας των υπό κατασκευή επιχωμάτων και ορυγμάτων από την επίδραση των ομβρίων και λοιπών αναβλύσεων νερών. Προς τούτο είναι απαραίτητη, η διαμόρφωση επαρκών τάφρων και χανδάκων αποστράγγισης.

Τα υλικά κάθε στρώσης θα είναι ομοιόμορφα με παρόμοια χαρακτηριστικά, αλλιώς θα αναμιγνύονται με κατάλληλο μηχανικό εξοπλισμό. Οργανικά υλικά που θα προκύπτουν από την εκσκαφή θα πρέπει να συλλέγονται επιτόπου με κατάλληλη διαλογή και να απομακρύνονται. Ευμεγέθη συμπαγή αργιλικά τεμάχια (συσσωματώματα) που θα προκύπτουν



από την εκσκαφή θα πρέπει να θρυμματίζονται σε ικανοποιητικό βαθμό, ώστε να αποφεύγεται η ανομοιομορφία και ο κίνδυνος απώλειας της δομής των τεμαχίων αυτών σε περίπτωση διαβροχής, μετά την κατασκευή.

Κατά την κατασκευή του επιχώματος θα πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα για την προστασία από διαβροχή. Η διάστρωση του υλικού θα πραγματοποιείται όταν οι καιρικές συνθήκες το επιτρέπουν και εντός μικρού χρονικού διαστήματος, ώστε να αποφεύγεται η παρατεταμένη έκθεση της προς συμπίκνωση στρώσης στην ηλιακή ακτινοβολία. Η επιφάνεια μεταξύ των στρώσεων θα πρέπει να έχει την απαραίτητη εγκάρσια κλίση για την εξασφάλιση της απορροής. Εάν η υποκείμενη στρώση έχει μαλακώσει από διαβροχή δεν θα γίνεται διάστρωση της επόμενης πριν την αποκατάσταση των απαιτούμενων ιδιοτήτων. Η αποκατάσταση αυτή μπορεί να επιτευχθεί είτε με αναμόχλευση και επανασυμπύκνωση με διέλευση κασικοπόδαρου, είτε σε περίπτωση έντονης διαβροχής με απόξεση και επανασυμπύκνωση του χαλαρωμένου τμήματος.

Η διάστρωση και συμπίκνωση θα γίνεται σε στρώσεις, που θα είναι συνεχείς, παράλληλες προς την υποδομή και ομοιόμορφου αρχικού πάχους (προ της συμπίκνωσης), όχι μεγαλύτερου του 0,25 m ώστε να επιτυγχάνεται ο απαιτούμενος βαθμός συμπίκνωσης σε όλο το πάχος. Η απαίτηση αυτή θα πρέπει να επαληθευθεί στο δοκιμαστικό επίχωμα. Αν η υγρασία του υλικού είναι διαφορετική της επιδιωκόμενης τιμής, τότε θα διορθώνεται με κατάλληλη ύγρανση ή και ξήρανση.

Για τη βελτιστοποίηση της μεθόδου κατασκευής αργιλικών επιχωμάτων, ο Ανάδοχος, πριν από την έναρξη κατασκευής επιχωμάτων από αργιλικά υλικά, θα κατασκευάσει δοκιμαστικό επίχωμα με στόχο α) την επιλογή του κατάλληλου μηχανικού εξοπλισμού συμπίκνωσης ώστε να επιτυγχάνεται αφ' ενός θρυμματισμός και ομογενοποίηση του διαστρωμένου υλικού, ομοιόμορφη κατανομή υγρασίας και ο μέγιστος απαιτούμενος βαθμός συμπίκνωσης, β) τον προσδιορισμό του απαιτούμενου αριθμού διελεύσεων

προκειμένου να επιτυγχάνεται ο μέγιστος βαθμός συμπύκνωσης, γ) τον προσδιορισμό του μέγιστου επιτρεπόμενου πάχους στρώσεων, ώστε να επιτυγχάνεται ομοιόμορφη συμπύκνωση καθ' ύψος του επιχώματος και η αποφυγή επιφανειών μειωμένης διατμητικής αντοχής (λείες επιφάνειες, συγκέντρωση υγρασίας κ.λ.π.).

Επιπλέον απαιτούνται τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των εδαφικών υλικών που θα χρησιμοποιηθούν και η προέλευσή τους (Όρια Atteberg, φυσικά υγρασία, χαρακτηριστικά υγρασίας - ξηρής πυκνότητας της τροποποιημένης δοκιμής proctor, διατμητική αντοχή από δοκιμές συμπυκνωμένων δειγμάτων στο 95% της μέγιστης ξηρής πυκνότητας της τροποποιημένης δοκιμής proctor. Επίσης πρέπει να είναι από τα πριν γνωστός ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού από τα οποία να διαπιστώνεται η καταλληλότητά του και σαφής περιγραφή των διεργασιών κατασκευής, όπως μεταφορά - διάστρωση - διαβροχή ή ξήρανση – συμπύκνωση. Τα πάχη στρώσεων που θα δοκιμασθούν και τα οποία θα ενδείκνυται για τον τύπο των υλικών και του εξοπλισμού. Το πάχος των στρώσεων θα σχετίζεται με τον τύπο του εξοπλισμού, π.χ. οδοντωτό τύμπανο — μήκος οδόντων.

Ο Ανάδοχος έχει την επιλογή να δοκιμάσει στην ίδια θέση δοκιμαστικού επιχώματος διαφορετικά εδαφικά υλικά, διαφορετικό μηχανικό εξοπλισμό όπως και διαφορετικά πάχη στρώσεων. Ο ελάχιστος αριθμός στρώσεων για κάθε μία από τις παραμέτρους αυτές θα είναι πέντε (5). Σε κάθε δοκιμαστικό επίχωμα θα πρέπει να υπάρχει παρακολούθηση και καταγραφής των στοιχείων κατασκευής του, όπως πάχος στρώσεων, αριθμός διελεύσεων, έλεγχος της υγρασίας συμπύκνωσης κ.λ.π. και επιτόπου έλεγχοι του βαθμού συμπύκνωσης (μετρήσεις της επί τόπου πυκνότητας και υγρασίας, χωροστάθμηση επιφανειών σε σχέση με τον αριθμό διελεύσεων κ.λ.π.). Έλεγχοι της επιτόπου πυκνότητας και υγρασίας θα γίνονται σε κάθε

συμπυκνωμένη στρώση όπως και μέτρηση του πάχους πριν και μετά τη συμπύκνωση.

Σημειώνεται ότι έλεγχος της πυκνότητας επί τόπου θα γίνεται σε οπή που θα έχει βάθος μεγαλύτερο από το βάθος της συμπυκνωμένης στρώσης κατά τουλάχιστον 5 cm έτσι ώστε να ελέγχεται η πυκνότητα σε όλο το πάχος της στρώσης συμπεριλαμβανομένης και της διεπιφάνειας μεταξύ των στρώσεων. Μετά την ολοκλήρωση των εργασιών και ελέγχων του δοκιμαστικού επιχώματος ο Ανάδοχος οφείλει να υποβάλλει έκθεση με όλα τα στοιχεία, αποτελέσματα και συμπεράσματα με βάση τα οποία θα οριστικοποιηθεί η μέθοδος κατασκευής των επιχωμάτων, σε ό, τι αφορά τον απαιτούμενο εξοπλισμό, τον αριθμό διελεύσεων και το πάχος των στρώσεων.

#### *1.3.6. Διάστρωση Βραχωδών επιχωμάτων.*

Η διάστρωση των βραχωδών επιχωμάτων θα πρέπει να γίνεται σε επάλληλες στρώσεις ομοιόμορφου πάχους παράλληλες στην επιφάνεια έδρασης. Γι αυτό και η αρχική επιφάνεια πρέπει να μορφώνεται με κατάλληλη κλίση που να επιτρέπει άμεση αποστράγγιση και αποχέτευση. Το τελικώς διαστρωμένο υλικό θα έχει ελάχιστη περιεκτικότητα λεπτόκοκκων υλικών 30% - 40%, ώστε να δύναται αυτά να περιβάλλουν τις χονδρόκοκκες βραχώδεις μάζες με τέτοιο τρόπο, ώστε να αποκλείεται ο σχηματισμός κενών μεταξύ των λίθων. Το υλικό κάθε στρώσης εκφορτώνεται στο έργο πάνω σε τμήμα ήδη διαστρωμένο της ίδιας στρώσης και κοντά στο άκρο προώθησης (μέτωπο κατασκευής). Από τη θέση αυτή προωθείται μέχρι το μέτωπο κατασκευής και διαστρώνεται πέραν αυτού με τρόπο που να ελαχιστοποιείται ο διαχωρισμός του. Το πάχος θα πρέπει να ανταποκρίνεται προς την ικανότητα συμπύκνωσης των μηχανημάτων που διατίθενται, ώστε να επιτυγχάνεται η απαιτούμενη συμπύκνωση.

Το χαλαρό πάχος των στρώσεων εξαρτάται από το είδος των διατιθέμενων υλικών και μέσων συμπύκνωσης, θα πρέπει δε να είναι για τα

βραχώδη υλικά μικρότερο των 40 cm. Είναι δυνατό, μετά από έγκριση της υπηρεσίας, να επιτραπεί και μεγαλύτερο χαλαρό πάχος στρώσεων, εφ' όσον διατίθενται τα κατάλληλα μηχανήματα για την επίτευξη ομοιόμορφης πυκνότητας σε όλο το πάχος της στρώσης και στο δοκιμαστικό τμήμα έχει αποδειχθεί ότι ικανοποιούνται οι απαιτήσεις της προδιαγραφής αυτής. Μεταξύ δύο διαδοχικών στρώσεων πρέπει να πληρούνται οι ακόλουθες συνθήκες:  $D_{15\%}/S_{85} < 5$  και  $D_{50}/S_{50} < 5$

### *1.3.7. Γενικές αρχές συμπίκνωσης επιχωμάτων οδικών και σιδηροδρομικών έργων.*

Για την επίτευξη βέλτιστων αποτελεσμάτων κατά τη διαδικασία συμπίκνωσης επιχωμάτων πρέπει να εξασφαλίζονται οι παρακάτω προϋποθέσεις:

1. Συμπύκνωση του υλικού σε ισοπαχείς στρώσεις, για ομοιόμορφη τελική συμπεριφορά του επιχώματος.
2. Κατάλληλη κοκκομετρία του υλικού (συστηματική αφαίρεση υπερμεγεθών κόκκων από το προσκομιζόμενο υλικό, πριν από την συμπίκνωση της στρώσης).
3. Επιλογή του καταλλήλου εξοπλισμού συμπίκνωσης, ως προς το βάρος, πλάτος, τις δυνατότητες εφαρμογής δόνησης και καθορισμός βάσει των στοιχείων αυτών, του αριθμού διελεύσεων που απαιτούνται για την προβλεπόμενη συμπίκνωση. Για τον προσδιορισμό του βαθμού συμπίκνωσης θα εφαρμόζεται η τροποποιημένη δοκιμή συμπίκνωσης proctor (E 105-86 Μέθοδος 11)

Η συμπίκνωση γίνεται με διάφορες μεθόδους ανάλογα με το υλικό για άμμους και χαλίκια η συμπίκνωση μπορεί να γίνει με δόνηση, διαβροχή ή κυλίνδρωση. Για μετρίως συνεκτικά εδάφη μπορούν να χρησιμοποιηθούν συμπτυκνωτές με αεροθαλάμους ή με δόντια (κατσικοπόδαρα). Η συμπίκνωση της αργίλου είναι δύσκολη, ιδιαίτερα εάν η φυσική υγρασίας

της είναι μεγαλύτερη από τη βέλτιστη (η οποία βρίσκεται κοντά στο όριο πλαστικότητας). Τα καλύτερα αποτελέσματα δίνουν οι συμπακνωτές με δόντια, κυρίως όταν η φυσική υγρασία είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από το όριο πλαστικότητας. Για φυσικά αμμώδη μη συνεκτικά εδάφη, η συμπακνωση μπορεί να γίνει με δονητικό συμπακνωτή ή με δυναμική συμπακνωση.

Η συμπακνωση θα πρέπει να αρχίζει παράλληλα προς τον άξονα της οδού και στα μεν ευθύγραμμα τμήματα από έξω προς τα μέσα, ενώ στις καμπύλες (με επίκλιση) από την χαμηλότερη προς την υψηλότερη στάθμη. Σε κάθε διαδρομή του οδοστρώτηρα οι οπίσθιοι τροχοί θα πρέπει να επικαλύπτουν πλήρως το ίχνος της προηγούμενης διέλευσής τους. Κατά το τελευταίο στάδιο της συμπακνωσης της ανώτερης στρώσης απαιτούνται συμπακνωτές με λείους κυλίνδρους.

Η συμπακνωση των υλικών (συνεκτικών ή μη) θα γίνεται υπό ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας ελαφρώς χαμηλότερο της βέλτιστης. Για το λόγω αυτό θα λαμβάνονται μέτρα προσαρμοζόμενα προς τις εκάστοτε κλιματολογικές και καιρικές συνθήκες. Όταν η περιεχόμενη υγρασία του διαστρωθέντος υλικού δεν είναι η βέλτιστη προς συμπακνωση, θα γίνεται διαβροχή κατά τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη ύγρανση του υλικού (εάν απαιτείται αύξηση της υγρασίας) ή εάν απαιτείται μείωση της υγρασίας θα γίνεται ξήρανση αυτού με αερισμό ή ανάμιξη με στεγνό εδαφικό υλικό ή με χημικά πρόσθετα όπως με μη σβησμένο ασβέστη, υδράσβεστο κλπ. μετά από σχετική έγκριση της Υπηρεσίας.

Ειδικότερα στην περίπτωση μη συνεκτικών εδαφών, εάν η διάστρωση και η συμπακνωση των υλικών εκτελείται σε εποχή ξηρασίας ή υψηλών θερμοκρασιών, το υλικό κάθε στρώσης θα αναμοχλεύεται και θα διαβρέχεται ομοιόμορφα πριν από τη συμπακνωση, μέχρι να επιτευχθεί η βέλτιστη περιεχόμενη υγρασία, η οποία πρέπει να διατηρείται καθ' όλη τη διάρκεια της συμπακνωσης.

Στην περίπτωση συνεκτικών εδαφών, εάν η περιεχόμενη υγρασία είναι υπερβολική και ανώτερη της βέλτιστης, τότε, θα επιδιώκεται η μείωση της περιεχόμενης υγρασίας μέχρι τη βέλτιστη με αναμόχλευση και αερισμό, με τη βοήθεια ειδικών μηχανικών μέσων. Σε ειδικές περιπτώσεις και εφ' όσον αυτό εγκρίνεται από την υπηρεσία, η ελάττωση της περιεχόμενης υγρασίας είναι δυνατό να επιτευχθεί με προσθήκη κατάλληλων υλικών (π.χ. ασβέστη ή υδρασβέστου). Σε καμία περίπτωση δεν επιτρέπεται να εκτελείται συμπύκνωση υπό συνθήκες περιεχόμενης υγρασίας ανώτερης της βέλτιστης. Λόγω των ανωτέρω, κατά την διάρκεια συνεχούς βροχόπτωσης απαγορεύεται η εκτέλεση εργασιών συμπύκνωσης.

Κάθε στρώση θα πρέπει να συμπυκνώνεται τουλάχιστον στον καθοριζόμενο ελάχιστο βαθμό συμπύκνωσης και θα ελέγχεται συνεχώς κατά το στάδιο της κατασκευής, με μέριμνα του Αναδόχου και παρουσία της Υπηρεσίας. Όταν δεν επιτυγχάνονται ικανοποιητικά αποτελέσματα, λόγω βροχής, αυξημένης υγρασίας των υλικών, παγετού ή βλάβης μηχανημάτων κλπ, θα διακόπτεται η εκτέλεση των εργασιών.

Στις περιπτώσεις μεγάλων επιχώσεων, εάν προβλέπεται από την μελέτη, τα επιχώματα θα διαπλατώνονται αναλόγως του ύψους τους, μέχρι ενός μέτρου σε κάθε πλευρά, για να επιτευχθεί ο απαιτούμενος βαθμός συμπύκνωσης σε ολόκληρο το πλάτος τους.

Όταν τα επιχώματα κατασκευάζονται χωρίς διαπλάτυνση, θα πρέπει να μειώνεται το πάχος διάστρωσης των υλικών προς συμπύκνωσή τους, σε πλάτος περίπου 2,0 m από την επιφάνεια του πρανούς και να χρησιμοποιούνται ελαφρότερα μηχανήματα (ενεργούνται από έξω προς τα μέσα) προκειμένου να εξασφαλίζεται η επίτευξη του απαιτούμενου βαθμού συμπύκνωσης.

### 1.3.8. Μέθοδοι επιτόπου ελέγχου συμπύκνωσης

Η συμπύκνωση της σκάφης των χωματουργικών, και όλων των στρώσεων του επιχώματος, θα συνεχίζεται μέχρι να επιτευχθεί πυκνότητα τουλάχιστον ίση με τα ποσοστά των εργαστηριακών τιμών (ΥΠΕΧΩΔΕ Ε105-86 Μέθοδος 11, EN 13286-2:2004) ανάλογα με το ύψος του επιχώματος. Για τον λόγο αυτό κατά τη διάρκεια των εργασιών θα εκτελούνται έλεγχοι συμπύκνωσης και από τα αποτελέσματά τους θα ορίζεται ο απαιτούμενος αριθμός διελεύσεων κατά περίπτωση υλικού. Εναλλακτικό συνιστάται η ευρεία χρήση οργάνων μέτρησης της πυκνότητας επιτόπου με τη μέθοδο των ραδιοϊσοτόπων, πρότυπη επιτόπου δοκιμή συμπύκνωσης εδαφικών υλικών και μιγμάτων εδάφους - αδρανών με πυρηνικές μεθόδους (μικρού βάθους) και A8TM 03017-04 πρότυπη δοκιμή επιτόπου προσδιορισμού της περιεκτικότητας σε νερό του εδαφικού υλικού και του βράχου με πυρηνικές μεθόδους (μικρού βάθους). Στις περιπτώσεις αυτές θα απαιτείται βαθμονόμηση για το εκάστοτε υλικό, πράγμα που μπορεί να γίνει κατά την κατασκευή του δοκιμαστικού τμήματος.

Η κατασκευή θα διακόπτεται όσες φορές διαπιστώνονται μη ικανοποιητικά αποτελέσματα, λόγω βροχής, ύγρανσης των υλικών, παγετού ή προβλημάτων στη λειτουργία του εξοπλισμού. Στις περιπτώσεις σημαντικών έργων και εφ' όσον διατίθενται τα απαιτούμενα όργανα, πέραν της κατασκευής των δοκιμαστικών τμημάτων, η συμπύκνωση θα ελέγχεται με τη μέθοδο δοκιμαστικής φόρτισης πλάκας. Κατά τη μέθοδο αυτήν η αντοχή του εδάφους προσδιορίζεται από το μέτρο παραμόρφωσης (E), σύμφωνα με τη σχέση:

$$E=1,5P R/S \text{ [MN/m}^2\text{]}$$

Όπου P = η εφαρμοζόμενη φόρτιση σε N

R = η ακτίνα της φωτιζόμενης κυκλικής πλάκας

S = η καθίζηση της πλάκας σε m

Οι τιμές του μέτρου παραμόρφωσης που προκύπτουν κατά τη δεύτερη φόρτιση χαρακτηρίζονται ως E2. Σε εδάφη υψηλής αναμενόμενης φέρουσας ικανότητας (π.χ. όταν περιέχονται λίθοι μεγαλύτεροι των 150 mm), θα ενδείκνυται η χρησιμοποίηση πλάκας διαμέτρου 60 cm. Οι πλάκες φόρτισης Φ 60 cm είναι κατάλληλες και για μαλακά συνεκτικά εδάφη, για τη μείωση πλάγιας διαρροής εδαφικών υλικών κατά τη δοκιμή που αλλοιώνει το αποτέλεσμα. Ο λόγος της τιμής δεύτερης φόρτισης προς την τιμή της πρώτης φόρτισης E2: E1 δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 2,20. Η απαίτηση αυτή δεν αφορά τα βραχώδη εδάφη.

Ο βαθμός συμπίκνωσης θα πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να προκύπτουν κατ' ελάχιστον τα ακόλουθα αποτελέσματα με τη μέθοδο της φορτιζόμενης πλάκας (μέσος όρος τουλάχιστον δύο δοκιμών) του Πίνακα 1.2. Επίσης το μέτρο παραμόρφωσης E2 συσχετίζεται με τον δείκτη CBR (σύμφωνα με τα πρότυπα DIN 18134 ή NE P94 118.1) όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.3.

**Πίνακας 1.2 Ελάχιστες αποδεκτές τιμές δοκιμής φόρτισης πλάκας**

Είδος εδάφους	E2 τιμή σε (MN/m <sup>2</sup> )
Για συνεκτικά εδάφη	30
Για στρώσεις έδρασης από συνεκτικά εδάφη	45
Για μη συνεκτικά εδάφη	60
Για στρώσεις έδρασης από μη συνεκτικά εδάφη	120

**Πίνακας 1.3 Συσχέτιση αποτελεσμάτων δοκιμής φόρτισης πλάκας με το λόγο CBR**

Είδος εδάφους				Ελάχιστη τιμή E2, (MN/m <sup>2</sup> ) για			
				CBR>20	CBR>10	CBR>5	CBR>3
(1)	Για	Συνεκτικά	εδάφη	45	35	25	18



	[διερχόμενο ποσοστό από το κόσκινο 180 565 ανοίγματος 0,063 mm μεγαλύτερο από 34% κ.β.)				
(2)	Για Κοκκώδη εδάφη [διερχόμενο ποσοστό από το κόσκινο ISO 585 ανοίγματος 0,063 mm μέχρι 34% κ.β.]	60	47	33	24

### 1.3.9. Ελάχιστες απαιτήσεις για τη συμπύκνωση γαιωδών επιχωμάτων.

Γενικώς τα επιχώματα οδικών έργων (στέψη, πυρήνας, θεμέλιο), εφ' όσον δεν γίνεται ιδιαίτερη μνεία στη μελέτη, θα εξασφαλίζεται ελάχιστη ξηρά φαινόμενη πυκνότητα τουλάχιστον ίση με το 90% της μέγιστης πυκνότητας που επιτυγχάνεται κατά την τροποποιημένη δοκιμή συμπύκνωσης proctor.

Για τα υλικά της Στρώσης Έδρασης Οδοστρώματος, εφ' όσον δεν γίνεται ιδιαίτερη μνεία στη μελέτη, θα εξασφαλίζεται ελάχιστη ξηρά φαινόμενη πυκνότητα τουλάχιστον ίση με το 95% της μέγιστης πυκνότητας που επιτυγχάνεται κατά την τροποποιημένη δοκιμή συμπύκνωσης.

Για επιχώματα ύψους ( $H > 10m$ ) μεγαλύτερου από 10 m, σε οδικά έργα μεγάλης σπουδαιότητας, θα εφαρμόζεται συμπύκνωση με ελάχιστη ξηρά φαινόμενη πυκνότητα τουλάχιστον ίση με το 95% της μέγιστης πυκνότητας που επιτυγχάνεται κατά την τροποποιημένη δοκιμή συμπύκνωσης proctor.

Για επιχώματα σιδηροδρομικών Έργων από γαιώδη υλικά, οι στρώσεις θα συμπυκνώνονται σε ξηρά φαινόμενη πυκνότητα τουλάχιστον ίση προς το 95% της μέγιστης πυκνότητας που επιτυγχάνεται κατά την τροποποιημένη δοκιμή συμπύκνωσης proctor.

### 1.3.10. Ελάχιστες απαιτήσεις για τη συμπύκνωση βραχωδών επιχωμάτων

Η μέθοδος συμπύκνωσης που θα επιλεγεί πρέπει να διασφαλίζει την

επίτευξη του απαιτούμενου βαθμού συμπύκνωσης. Προς τούτο, θα επιλέγεται ανάλογα με την κοκκομετρία του υλικού και το πάχος της στρώσης, ο τύπος του εξοπλισμού συμπύκνωσης και ο αριθμός διελεύσεων του. Όταν προβλέπεται σημαντικό επίχωμα από τη μελέτη του έργου, η εφαρμοστέα μεθοδολογία θα προσδιορίζεται με βάση τα συμπεράσματα που θα συνάγονται κατά την κατασκευή του. Κατάλληλος εξοπλισμός, θεωρείται ο ακόλουθος:

1. Βαρείς δονητικοί οδοστρωτήρες ρυμουλκούμενοι ή αυτοκινούμενοι στατικού γραμμικού φορτίου τουλάχιστον 40 Kg/cm. Ως στατικό γραμμικό φορτίο ορίζεται το φορτίο που αντιστοιχεί στο τύμπανο δια του πλάτους του.

2. Στατικοί οδοστρωτήρες με κυλίνδρους αποτελούμενους από δικτύωμα σιδηρών ράβδων βάρους 5,0-12,0 ton γραμμικού στατικού φορτίου 80 Kg/cm.

3. Απαιτούμενοι οδοστρωτήρες με κυλίνδρους με προεξοχές (κατσικοπόδαρα αυτοκινούμενα).

Γενικώς η συμπύκνωση θα θεωρείται ότι ολοκληρώθηκε όταν μεταξύ δύο διαδοχικών διελεύσεων του εξοπλισμού συμπύκνωσης, η υποχώρηση δεν θα υπερβαίνει τις ακόλουθες τιμές του Πίνακα 1.4.

Πίνακας 1.4 Μέγιστη επιτρεπόμενη υποχώρηση μεταξύ δύο διαδοχικών διελεύσεων του εξοπλισμού συμπύκνωσης

Τμήμα επιχώματος	τροποπ. δοκιμής	διελεύσεων	του οδοστρωτήρα (	mm της )
	proctor		)	95% proctor
			)	)

απο πρέπει να είναι από 3 έως 11 mm

Το μέγεθος της μακροχρόνιας καθίζησης περιβόλων μικρότερη από 0,1 mm πρέπει να είναι μικρότερη από 0,1 mm. Επιπλέον, κατάσκευη στρώσεων επιχώματος δεν πρέπει να έχει ελαστικότητα μεγαλύτερη από 10%.

α μέτρα επιτάχυνσης της καθίζησης (π.χ. επιφόρτιση, χει τη δυνατότητα να απαγορευό- κνωσης της ελεγχόμενης στρώσης θ α χρήση ποιοτικών χα α πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, ιδιαίτερα στις γαιώδη επιχώματα των επιχωμάτων

α προγραμματίζονται κατά τρόπο ώστε να x 40 cm

από λαμα έσεις υψομετρικών ελέγχων της

ων, και βάσει αυτών θ ρίνα, πάχους τουλάχιστον

και η εξελέξη τμήματα των α κατασκευαστηρίνα τις εως της Υπηρεσίας.

α αφαιρούνται, αι μετά την

τα καθορισμένα προϊόντα και ο

Η εφαρμοστέα

τον Εγκυκλιόβιζεται δ

.5 .

ιαφορετικά στη μ

ελέτη, έχουν εφαρμογή

Πίνακας 1.5 Ενδεικτικές κλίσεις πρανών επιχωμάτων ( $v : \beta$ )

Περίπτωση	Ύψος πρανούς επιχώματος (σε $m$ )	Κλίση πρανούς [ύψος προς βάση]
Κατά γενικό κανόνα (εφ' όσον το επιτρέπει το έδαφος)	Έως 1,5	1:3
	Από 1,5 έως 3,0	1:2
	Άνω από 3,0	2:3
Βραχώδη προϊόντα		1:1
Σε περίπτωση κινδύνου διαβρώσεως		1:3

Σε περιπτώσεις επιχωμάτων ύψους μεγαλύτερου από 10 μέτρα, όπως και σε ειδικές περιπτώσεις μικρότερου ύψους (ασταθή εδάφη, υψηλός υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας, μαλακό εδάφη με κινδύνους υποχωρήσεων κλπ.), συνιστάται να συντάσσεται μελέτη ευστάθειας επιχωμάτων με υπολογισμό γενικευμένης και εσωτερικής ευστάθειας, σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς.

Εάν προβλέπεται από τη Μελέτη, επί της επιφανείας των επιχωμάτων που κατασκευάζονται με βραχώδη προϊόντα, θα διαμορφώνεται ισοπεδωτική στρώση (στρώση φίλτρου) με αμμοχαλικώδη διαβαθμισμένα υλικά, συμπυκνωμένου πάχους έως 10 cm. Η στρώση φίλτρου θα κατασκευάζεται

μετά την πλήρη συμπύκνωση του επιχώματος σε στάθμες και επικλίσεις, σύμφωνα με τη μελέτη. Αντίστοιχα, και εάν προβλέπεται από τη μελέτη, ζώνη φίλτρου θα κατασκευάζεται και στην στάθμη έδρασης του επιχώματος, για την αποφυγή διείσδυσης της αργίλου του υπεδάφους εντός του σώματος επιχώματος. Η κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού κατασκευής του φίλτρου θα ικανοποιεί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

$$A. D15\% (\text{αμμοχάλικου}) / D85\% (\text{υπεδάφους}) \leq 5$$

$$B. D15\% (\text{αμμοχάλικου}) / D85\% (\text{υπεδάφους}) \geq 5$$

$$Γ. D50\% (\text{αμμοχάλικου}) / D50\% (\text{υπεδάφους}) \leq 25$$

#### 1.4. Ειδικές Απαιτήσεις Θεμελίωσης Επιχωμάτων

Στους γεωλογικούς - λιθολογικούς σχηματισμούς πάνω στους οποίους θα θεμελιωθεί το επίχωμα θα πρέπει να διερευνώνται και να καθορίζονται οι συνθήκες των υπογείων νερών και οι παράμετροι διατημητικής αντοχής και παραμόρφωσης. Αντιμετωπίζονται εδώ προβλήματα αποστράγγισης στη θεμελίωση και για χρησιμοποίηση στρώσης στράγγισης και αποστράγγισης πηγών. Προσδιορίζονται θέσεις ρηγμάτων, το μέγεθος της μακροχρόνιας καθίζησης και η κατανομή της στο χρόνο, όπως και προτάσεις βελτίωσης της ποιότητας των εδαφών σε περιπτώσεις παρουσίας μαλακών εδαφών. Οι θεμελιώσεις επιχωμάτων σε κατοφέρειες του αναγλύφου απαιτούν εξέταση της υποστήριξης του πόδα του επιχώματος (π.χ. οπλισμός εδάφους, φατνωματικοί τοίχοι, τοίχοι με συρματοκιβώτια κλπ).

##### 1.4.1. Συντελεστές ασφάλειας ελέγχων ευστάθειας

Σε όλα τα επιχώματα με ύψος μεγαλύτερο από 10 m μελετάται η ευστάθειά τους απέναντι σε ολίσθηση. Ολίσθηση μεγάλου βάθους που να διέρχεται από τη θεμελίωση και ολίσθηση μικρού βάθους εντός του επιχώματος. Ως κατακόρυφη φόρτιση θα λαμβάνονται τα 20 kPa ενιαία κατανεμημένης που αντιπροσωπεύει την κατακόρυφη πρόσθετη φόρτιση της

κυκλοφορίας. Λαμβάνεται πρόνοια για προστασία του επαχόμετος από διάβρωση και περιβαλλοντική αποκατάσταση (αισθητική). Οι ελάχιστοι συντελεστές ασφάλειας έναντι αστοχίας των επαχόμετων σύμφωνα δίνονται στον Πίνακα 1.6 που ακολουθεί.

Γεωτεχνική έρευνα στις θέσεις επαχόμετων απαιτείται σε θέσεις υψηλών επαχόμετων οδών ( $H > 10,0$  m) που εδράζονται σε γαιώδες έδαφος. Ειδικότερα για επισφαλές έδαφος θεμελίωσης (μαλακά εδάφη) θα γίνουν και σε επαχόμενα μικρού ή μέσου ύψους ( $H < 10,0$  m), σύμφωνα με πρόγραμμα που θα συντάξει ο ανάδοχος, όπως θα εγκριθεί από την Υπηρεσία. Για τα υπόλοιπα γαιώδη εδάφη θα γίνουν σε θέσεις που θα επιλέξει ο Ανάδοχος, σύμφωνα με όσα αναφέρονται για τους δανειοθαλάμους. Αυτές θα γίνουν γενικώς με την εκτέλεση ερευνητικών γεωτρήσεων, με σκοπό τον καθορισμό της κλίσης των πρηνών (και γενικότερα της θεμελίωσης του επαχόμετος) και την εκτίμηση των αναμενόμενων υποχωρήσεων.

**Πίνακας 1.6** Ελάχιστοι συντελεστές ασφάλειας πρηνών επαχόμετων σύμφωνα με τον πίνακα 1.7 κατηγορίας εδαφικού υλικού

α/α Συνδυασμοί Φέρουσας Ικανότητας	1 <sup>ος</sup>	2 <sup>ος</sup>	3 <sup>ος</sup>	4 <sup>ος</sup>
Σεισμός	N	N	O	O
Ανώτατη στάθμη υπόγειου ορίζοντα 50ετίας	N	O	N	O
Περίπτωση DIN 1054	-	-	2	1
Απαιτούμενος συντελεστής ασφάλειας	-	1,0	1,3	1,4

\* N: Ναι, λαμβάνεται υπόψη

\* O: Όχι, δεν είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη

Το είδος και η έκταση των εργαστηριακών δοκιμών θα εξαρτηθούν από τη φύση των εδαφών και το είδος των δειγμάτων.

α) Για τους γαιώδεις σχηματισμούς θα γίνονται, κατ' ελάχιστον, οι εργαστηριακές δοκιμές που αναφέρθηκαν για τις θέσεις ορυγμάτων. Επί πλέον θα γίνονται δοκιμές συμπίεστότητας.

β) Για τους βραχώδεις σχηματισμούς θα γίνονται, κατ' ελάχιστον, οι εργαστηριακές δοκιμές που αναφέρθηκαν και για τις θέσεις ορυγμάτων.

Για την περίπτωση ύπαρξης επιφανειακών γαιωδών σχηματισμών θα γίνεται δειγματοληψία (το πολύ ανά 500 m μήκους οδού και ανεξάρτητα προς το ύψος των επιχωμάτων) σε βάθος 0,30 m και δοκιμή προσδιορισμού των οργανικών (σύμφωνα με τη μέθοδο της υγράς οξειδωσης - Μέθοδος AASHTO T194). Σε περιπτώσεις έδρασης επιχωμάτων σε επικλινή εδάφη που καλύπτονται από μανδύες αποσάθρωσης οι έρευνες θα πρέπει να δίνουν επαρκή στοιχεία για την εκτίμηση της καταλληλότητας του επιφανειακού εδάφους για έδραση των επιχωμάτων, για την πιθανή ύπαρξη παλαιών επιφανειών ολίσθησης στη βάση του μανδύα, για το πάχος της τυχόν απαιτούμενης αφαίρεσης - αντικατάστασης με κοκκώδες υλικό και τυχόν απαιτούμενα μέτρα στράγγισης για υποβιβασμό των πιέσεων πόρων στο μανδύα, στην περίπτωση που δεν είναι δυνατή η καθ' ολοκληρίαν αφαίρεση του.

#### 1.4.2. Φέρουσα ικανότητα στρώσης έδρασης (Φ.Ι.Ε.)

Η ΦΙΕ της Στρώσης Έδρασης Οδοστρώματος (ΣΕΟ) καθορίζεται από την κατηγορία και το πάχος του υλικού με το οποίο κατασκευάζεται και από την κατηγορία του υλικού της υποκείμενης στρώσης. Το συνολικό πάχος της ΣΕΟ και της υποκείμενης στρώσης που θα παίρνεται υπόψη είναι μέχρι 1,0 m. Ως υποκείμενη στρώση στα ορύγματα λαμβάνεται το φυσικό έδαφος με τη χειρότερη ποιότητα, στα γαιώδη επιχώματα το υλικό της στέψης με το χειρότερο υλικό και στα βραχώδη επιχώματα το μεταβατικό τμήμα. Ο καθορισμός της φέρουσας ικανότητας της στρώσης έδρασης του Οδοστρώματος (Φ.Ι.Ε.) θα γίνεται με βάση τον πίνακα Β.

Έτσι π.χ. για οδόστρωμα αυτοκινητόδρομου (ΦΙΕ 2 ή ΦΙΕ 3) και σε περίπτωση γαιώδους επιχώματος με εδαφικό υλικό στέψης κατηγορίας Ε, μπορεί να χρησιμοποιηθεί υλικό Ε3 σε πάχος 50 cm οπότε προκύπτει η ΦΙΕ = 2, ή να χρησιμοποιηθεί υλικό Ε4 σε πάχος 50 cm οπότε προκύπτει η ΦΙΕ = 3.

Σε περίπτωση ορύγματος με έδαφος Ε0 θα απαιτηθούν 30 εκ. υλικού Ε1 και από πάνω 40 cm υλικού Ε3, ή 30 cm υλικού Ε2 και από πάνω 30 cm υλικού Ε3 για να αποκτηθεί ΦΙΕ = 2. Στη Στρώση Έδρασης Οδοστρώματος (Σ.Ε.Ο.) που καθορίζεται σύμφωνα με τα προηγούμενα περιλαμβάνεται και η Στρώση Στράγγισης των Οδοστρωμάτων (Σ.Σ.Ο.) ή Στρώση "Αντιπαγετικής Προστασίας" (Α.Π.), όπου κατασκευάζονται, σύμφωνα με τους όρους δημοπράτησης. Στα βραχώδη ορύγματα, εκτός της τυχόν στρώσης στράγγισης, περιλαμβάνεται επιπλέον και η απαιτούμενη ισοπεδωτική στρώση βραχωδών ορυγμάτων με την άνω επιφάνεια διαμορφωμένη με τις απαιτούμενες, από τη μελέτη αποστράγγισης, εγκάρσιες κλίσεις.

Στον καθορισμό της τιμής της ΦΙΕ η συμβολή της διαφοράς ποιότητας του υλικού της στρώσης στράγγισης ή αντιπαγετικής προστασίας από την ποιότητα του υλικού του υπολοίπου πάχους της αντίστοιχης στρώσης εδάφους δε λαμβάνεται υπόψη.









Διευκρινίζεται ότι σε περίπτωση που υπάρχουν κατάλληλα υλικά χωματισμών σε ικανές ποσότητες έτσι ώστε να εξασφαλίζεται τιμή  $20 > CBR > 10\%$  (Φ.Ι.Ε. = 2) ή  $CBR > 20\%$  (Φ.Ι.Ε. = 3) σε κάποιο βάθος (I) κάτω από την άνω επιφάνεια της Στρώσης Στράγγισης (ή Αντιπαγετικής Στρώσης), τότε είναι δυνατόν οι παραπάνω στρώσεις πάχους t, να θεωρηθούν ότι αποτελούν μέρος της τυχόν απαιτούμενης υπόβασης του οδοστρώματος, υπό την προϋπόθεση ότι :

α) Οι στρώσεις αυτές θα διαστρωθούν και θα συμπυκνωθούν σε ξηρά φαινόμενη πυκνότητα σύμφωνα με τα προβλεπόμενα για τις στρώσεις υπόβασης / βάσης [Ποσοστό 95% της μέγιστης ξηράς πυκνότητας της τροποποιημένης δοκιμής PROCTOR (E 105-86 Δοκιμή 11)].



β) Το συνολικό πάχος οδοστρώματος (περιλαμβανομένου του πάχους της στρώσης στράγγισης/αντιπαγετικής προστασίας), θα καλύπτει τις τυχόν προδιαγραφόμενες απαιτήσεις προστασίας από τον παγετό.

Πίνακας 1.7 Ελάχιστα πάχη στρώσης έδρασης οδοστρώματος.

ΕΠΙΧΩΜΑ	Το υλικό της στρώσης  $E_1$ 10	Φ I E 0
ΟΡΥΓΜΑ	 $E_1$ 40	$3 < CBR \leq 5$
ΕΠΙΧΩΜΑ	 $E_2$ 50	Φ I E 1
ΟΡΥΓΜΑ	 $E_2$ 30	$5 < CBR \leq 10$
ΕΠΙΧΩΜΑ	 $E_3$ 50	Φ I E 2
ΟΡΥΓΜΑ	 $E_3$ 30	$10 < CBR \leq 20$
ΕΠΙΧΩΜΑ	 $E_4$ 50	Φ I E 3
ΟΡΥΓΜΑ	 $E_4$ 30	$CBR > 20$

E0 έως E4 : Κατηγορία εδαφικού υλικού σύμφωνα με τον πίνακα 1.6 αυτής της προδιαγραφής.

M : Μεταβατικό τμήμα.

## 1.5. Εξυγίανση Φυσικού Εδάφους Έδρασης Επιχωμάτων

Η προετοιμασία του εδάφους έδρασης του επιχώματος περιλαμβάνει την αφαίρεση της φυτικής γης, στο πλάτος κατάληψης της οδού, την μόρφωση της επιφάνειας έδρασης και τη συμπίκνωση του εδάφους σε βαθμό 90% κατά Proctor μέχρι ένα βάθος 30 cm τουλάχιστον. Όταν το έδαφος έδρασης του επιχώματος αποτελείται, στα επιφανειακά του στρώματα, από υλικά με ισχυρά μηχανικά χαρακτηριστικά, οργανικά εδάφη, τύρφη, ιλυώδη και βουρκώδη εδάφη, απαιτείται μία “εξυγίανση” του εδάφους,

αντικατάστασή του, δηλαδή, από μια στρώση υγιών λίθων (κροκάλες, χονδρά σκύρα, θραυστοί λίθοι). Το πάχος της στρώσης αυτής δεν είναι μικρότερο από 0,50 m ενώ κατά συνήθη πρακτική ανέρχεται στο 20% του ύψους του επιχώματος.

Γεωφύρασμα τοποθετείται στον Πυθμένα της εξυγιαντικής στρώσης καθώς και, ανάλογα με τη φύση του υλικού επίχωσης, στη βάση του επιχώματος, προς της έναρξης κατασκευής του. Όταν η εγκάρσια κλίση του εδάφους έδρασης είναι μεγαλύτερη των 10°, απαιτείται η κατασκευή βαθμίδων αγκύρωσης, ούτως ώστε να μειωθούν οι κίνδυνοι ολίσθησης του επιχώματος. Παρεμβολή θραυστού υλικού, εν είδει στραγγιστικής κλίνης, και παράλληλα, τοποθέτηση γεωϋφάσματος ή γεωπλέγματος στην παρειά και στον πυθμένα των βαθμίδων αγκύρωσης είναι μέτρα βελτίωσης των συνθηκών ευστάθειας.

Η διάστρωση των υλικών επίχωσης μπορεί να ξεκινάει από το πλησιέστερο προς την πηγή απόληξης σημείο του επιχώματος ή αντίθετα από το περισσότερες απομακρυσμένο. Και οι δύο επιλογές παρουσιάζουν πλεονεκτήματα. Όταν επιλέγεται το πλησιέστερο σημείο για έναρξη της κατασκευαστικής διαδικασίας, τα οχήματα μεταφοράς κινούνται επί διαστρωμένης επιφάνειας την οποία και, υποχρεωτικώς, συμπτκνώνουν. Η εν συνεχεία δράση των οδοστρωτήρων μπορεί, κατά συνέπεια, να μειωθεί επειδή ήδη οι στρώσεις έχουν, εν μέρει, συμπτκνωθεί.

Αντίθετα, όταν η κατασκευή αρχίσει από το πιο μακρινό σημείο, τα οχήματα μεταφοράς εξακολουθούν να συμπτκνώνουν την υποκείμενη στρώση ή το έδαφος έδρασης ενώ και η μεταφορά των υλικών δεν εμποδίζεται από την εργοταξιακή διαδικασία συμπύκνωσης.

Μετά την ολοκλήρωση των προπαρασκευαστικών εργασιών επακολουθεί η διάστρωση δια του ισοπεδωτή των υλικών του επιχώματος σε στρώσεις, η διαβροχή και η συμπύκνωση κάθε στρώσης από τους οδοστρωτήρες. Όταν χρησιμοποιούνται βραχώδη ή ημιβραχώδη υλικά

επίχωσης, η διάστρωση και διαμόρφωση είναι προτιμότερο να γίνεται με προωθητή. Το βέλτιστο πάχος της στρώσης είναι συνάρτηση της ποιότητας του εδαφικού υλικού και του τύπου του χρησιμοποιούμενου οδοστρωτήρα.

Οι Ελληνικές προδιαγραφές ορίζουν μέγιστο πάχος 20 cm για γαιώδη υλικά και 40 cm για βραχώδη.

Ωστόσο, οι τύποι των οδοστρωτήρων που διατίθενται σήμερα είναι σε θέση να επιτύχουν μία σωστή συμπίκνωση και για μεγαλύτερη πάχη στρώσεων. Στο κεφάλαιο της συμπίκνωσης αναφέρονται πάχη για στρώσεις επιχώματος που φθάνουν μέχρι και 1 m, υπό την προϋπόθεση φυσικά ότι θα χρησιμοποιηθεί ο κατάλληλος οδοστρωτήρας.

Η διάστρωση εδαφικών υλικών επίχωσης πρέπει να γίνεται σε ομοιόμορφες ισοπαχείς στρώσεις, κατά κανόνα επίπεδες. Το πάχος της διαστρωνόμενης μάζας είναι πολύ σημαντικό και πρέπει να είναι απόλυτα σωστό στη φάση αυτήν ούτως ώστε και το πάχος της συμπτυκνωμένης στρώσης να είναι το ζητούμενο από τις προδιαγραφές.

Η συμπίκνωση που θα επακολουθήσει δεν μπορεί να αλλάξει τα αρχικά δεδομένα. Έτσι, ένα μικρότερο ή μεγαλύτερο πάχος αρχικής στρώσης θα οδηγήσει αντίστοιχα σε μικρότερο ή μεγαλύτερο πάχος συμπτυκνωμένης στρώσης.

Η εκτίμηση του αρχικού πάχους είναι αντικείμενο μελέτης με βάση τα χαρακτηριστικά συμπίκνωσης του υλικού. Στη φάση της διάστρωσης, το υλικό έχει μια πολύ μικρή τιμή πυκνότητας λόγω αναμόχλευσης. Ανάλογα με το είδος του εδαφικού υλικού, το αρχικό πάχος στρώσης μπορεί να είναι ως και κατά 50% μεγαλύτερο από το πάχος της συμπτυκνωμένης στρώσης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Αστοχίες επιχωμάτων και μέτρα αντιμετώπισης αυτών

Βασικά θέματα σχεδιασμού είναι τα θέματα ευστάθειας, καθιζήσεων και συνιζήσεων. Το πρόβλημα της ευστάθειας περιλαμβάνει τη γενική ευστάθεια (έναντι βαθιάς ολίσθησης) και την τοπική ευστάθεια (πρανών). Καθιζήσεις, κυρίως, και συνιζήσεις θα πρέπει να προσδιορίζονται προ της κατασκευής και ανάλογα μέτρα θα πρέπει να λαμβάνονται στη συνέχεια.

Ανεξαρτήτως των μέτρων γεωτεχνικού χαρακτήρα, που περιγράφονται σε ξεχωριστό κεφάλαιο, θα πρέπει, το τελικό ύψος επιχώματος να προσαυξάνεται κατά το συνολικό μέγεθος συνίζησης και καθίζησης ώστε η τελική στάθμη χωματουργικών να είναι εκείνη που προβλέπεται, μετά την ολοκλήρωση των προβλεπόμενων φαινομένων στερεοποίησης και παραμόρφωσης από τη μελέτη του έργου.

#### 2.1 Κατολισθήσεις και ευστάθεια πρανών.

Πρανή ονομάζονται οι εξωτερικές επιφάνειες, συνήθως κεκλιμένες, των εδαφικών σχηματισμών. Τα φυσικά πρανή έχουν προκύψει ως αποτέλεσμα γεωλογικών φαινομένων, στο πέρασμα των αιώνων, και έχουν ισορροπήσει σε κεκλιμένα επίπεδα, ακανόνιστου σχήματος και μορφής, ανάλογα με τη διαστρωμάτωση και τα χαρακτηριστικά των γεωσχηματισμών, την υπόγεια δίαυτα και τη φυτοκάλυψη.

Ευρίσκονται, τις περισσότερες φορές, σε μόνιμη και σταθερή ισορροπία, η οποία είναι, ωστόσο, δυνατό να διαταραχθεί από τη μεταβολή των υδραυλικών συνθηκών ή από τη δράση δυναμικών φορτίων. τα τεχνητά πρανή, στα οποία ανήκουν και τα πρανή των έργων οδοποιίας, δημιουργούνται κατά νη φάση εκτέλεσης χωματουργικών εργασιών, ως

επίπεδες επιφάνειες ενιαίας κλίσης κατά τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η ευστάθεια των γεωκατασκευών.

Ο προσδιορισμός της εκάστοτε βέλτιστης κλίσης και της τελικής διαμόρφωσης των τεχνητών πρανών, έτσι ώστε αφενός να περιορίζεται ο όγκος των χωματουργικών εργασιών και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και αφετέρου να εξασφαλίζεται η ευστάθεια της εδαφικής μάζας, αποτελεί βασικό και κρίσιμο αντικείμενο γεωτεχνικού σχεδιασμού. Ανάμεσα στις περισσότερες ισχυρές κλίσεις που επιτάσσει η οικονομία και το περιβάλλον και τις πιο ήπιες που υπαγορεύει η ασφάλεια των κατασκευών, ο μελετητής καλείται να προσδιορίσει τη χρυσή τομή και να δώσει την ενδεδειγμένη λύση για τη διαμόρφωση κάθε ορύγματος και επιχώματος ξεχωριστά σε ένα έργο οδοποιίας.

Ολισθήσεις πρανών συμβαίνουν όταν η ισορροπία φυσικών ή τεχνητών πρανών διαταραχθεί και η διατμητική αντοχή του εδάφους ή του βράχου δεν επαρκεί ώστε να αντισταθεί στις δυνάμεις βαρύτητας και, ενδεχομένως, στα δυναμικά φορτία που προκαλούν την αστοχία. Στην πραγματικότητα, τα φαινόμενα αστοχίας πρανών παρατηρούνται συνήθως κατά ή μετά από περιόδους βροχοπτώσεων. Η δράση του ύδατος στο εσωτερικό των γεωσχηματισμών επιφέρει μείωση των δυνάμεων διατμητικής αντοχής και, επακόλουθα, μείωση της αντίστασης σε ολίσθηση. Στις περιπτώσεις αυτές αναπτύσσονται μικρότερης ή μεγαλύτερη έκτασης κατολισθήσεις με απρόβλεπτες συνέπειες για ανθρώπους και κατασκευές.

Ο όρος “ολίσθηση πρανών” καλύπτει μία μεγάλη ποικιλία γεωτεχνικών αστοχιών, που έμμεσα ή άμεσα συνδέονται με την κατασκευή οδικών έργων. Οι διάφορες μορφές ολίσθησης πρανών χαρακτηρίζονται από το υλικό της γεωκατασκευής, το γεωμετρικό σχήμα της αστοχίας, την ταχύτητα του φαινομένου, την έκταση και τη διάρκειά του. Η ορολογία, η οποία χρησιμοποιείται, ακόμη και διεθνώς, δεν είναι σταθερή και, κατά συνέπεια, η διάκριση μεταξύ ροών, καταπτώσεων, ολισθήσεων,

καταρρεύσεων και φαινομένων ερπυσμού είναι δύσκολη. Μία συνοπτική περιγραφή του φαινομένου είναι συχνά απαραίτητη για να προσδιορισθεί επακριβώς το είδος της κάθε αστοχίας.

Στατιστικές μελέτες σε πραγματικές περιπτώσεις γεωκατασκευών οδικών έργων έδειξαν ότι το μεγαλύτερο ποσοστό ολισθήσεων εμφανίζονται γαιώδη πρηνή ορυγμάτων. Συγκεκριμένα σε ένα αντιπροσωπευτικό σύνολο ολισθήσεων παρατηρήθηκαν τα εξής ποσοστά:

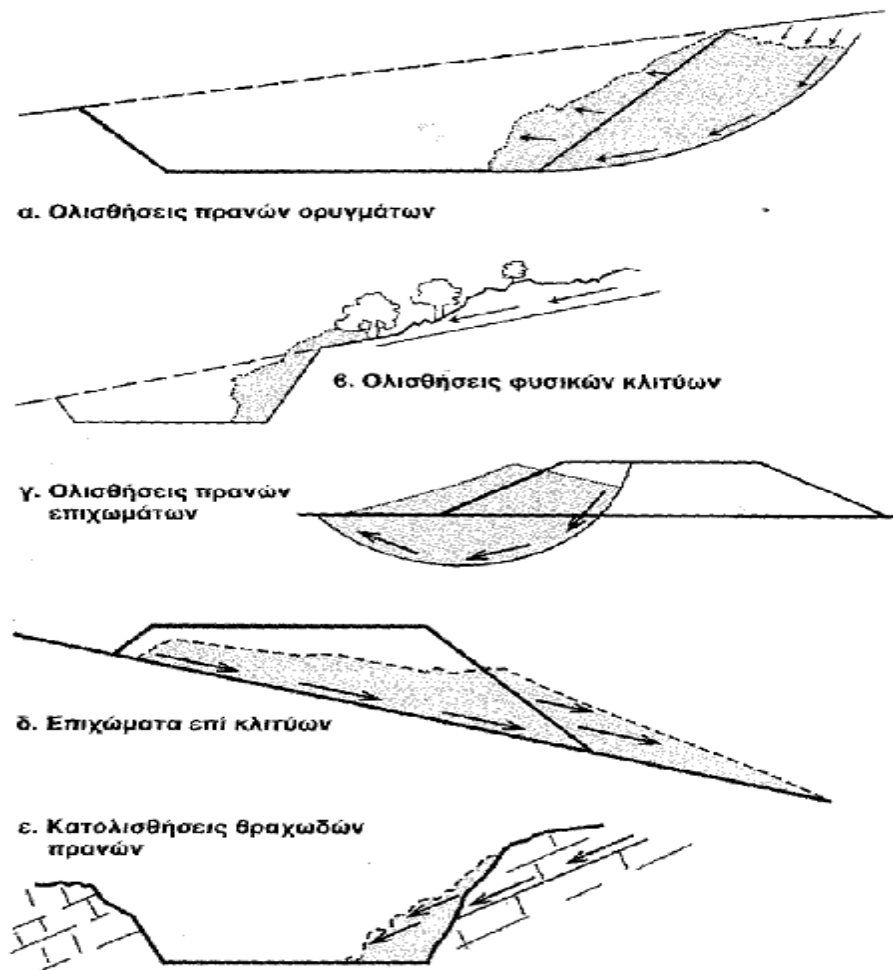
- γαιώδη πρηνή ορυγμάτων 40%
- φυσικά πρηνή 20%
- επιχώματα επί κλιτύων 15%
- πρηνή επιχωμάτων 15%
- πρηνή βραχωδών σχηματισμών 10%

Η κατανομή αυτή θα πρέπει να θεωρείται φυσιολογική, δεδομένου ότι τα πρηνή των ορυγμάτων είναι γεωκατασκευές οδοποιίας, που διαμορφώνονται με κλίσεις αισθητά πιο απότομες από εκείνες της φυσικής ισορροπίας και κινδυνεύουν περισσότερο, είτε λόγω ανεπάρκειας σχεδιασμού είτε λόγω απρόβλεπτης μεταβολής των επί τόπου συνθηκών. Εάν τα μέτρα προστασίας και σταθεροποίησης δεν είναι επαρκή, η εδαφική μάζα θα ολισθήσει μέχρις ότου ευρεθεί εκ νέου σε κατάσταση φυσικής ισορροπίας, σε επιφάνειες περισσότερο ήπιας κλίσης.

Αντίθετα, τα πρηνή των επιχωμάτων είναι γεωκατασκευές εξ ολοκλήρου τεχνητές. Διαμορφώνονται σε επίπεδα με κλίσεις, κατά τεκμήριο, ασφαλείς, ενώ και η απουσία υπόγειας υδροφορίας είναι ευεργετική για την ευστάθεια του επιχώματος. Κατά συνέπεια, αναμενόμενο είναι τα ποσοστά αστοχιών να παραμένουν μικρά.

Οι ολισθήσεις πρηνών ανάλογα με το γεωμετρικό τους σχήμα και την εν γένει μορφή της αστοχίας κατατάσσονται στις περιστροφικές ολισθήσεις. Οι πρώτες μορφές, σφαιρικές, κυλινδρικές, λογαριθμικής καμπύλης, είναι χαρακτηριστικές των συνεκτικών εδαφών (συνεκτικά). Οι δεύτερες, επίπεδες

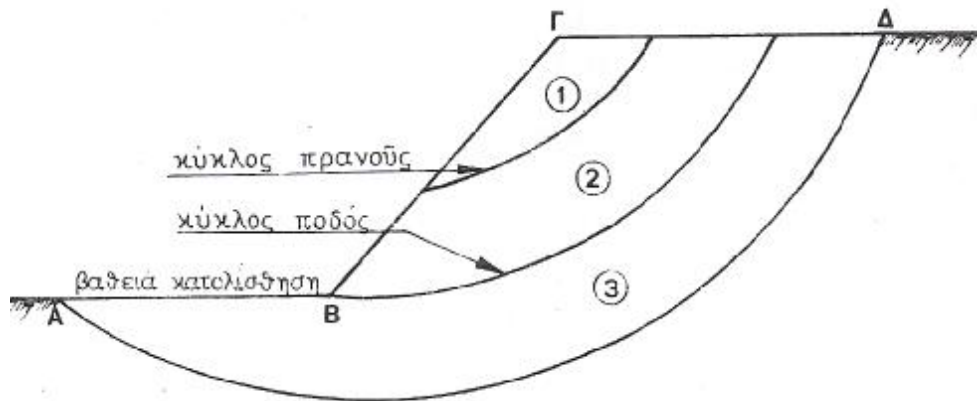
ή πολυγωνικές συμβαίνουν σε περιπτώσεις πρανών ψαθυρών εδαφών (μη συνεκτικά) και βραχωδών σχηματισμών. Οι ολισθήσεις γαιωδών πρανών αναπτύσσονται συνήθως κατά κυλινδρικές επιφάνειες. Όταν η έκτασή τους, κατά την έννοια του άξονα της οδού είναι περιορισμένη, η καμπύλη επιφάνεια ολίσθησης σε πρανή ορυγμάτων μοιάζει περισσότερο με «κουτάλι» ή «κοχύλι». Στις περιπτώσεις αυτές οι αστοχίες αναφέρονται ως «πεταλοειδείς» ή «κοχυλιοειδείς» ολισθήσεις. Τυπικές μορφές αστοχιών πρανών παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.1.



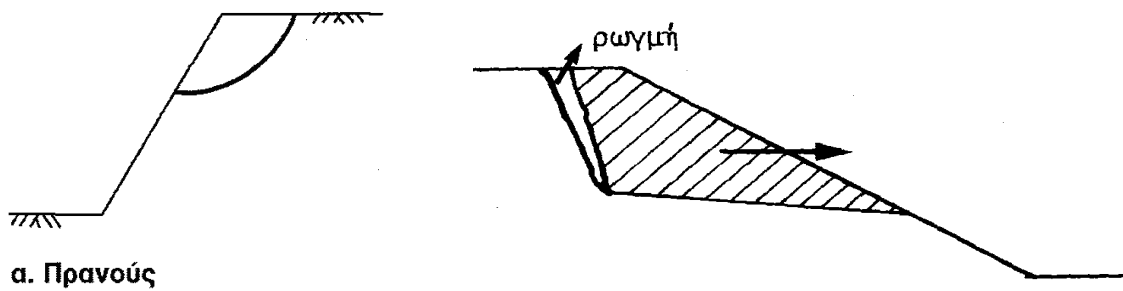
Σχήμα 2.1 Τυπικές μορφές αστοχίας πρανών

Ανάλογα με την έκταση της αστοχίας κατά την έννοια του ύψους του πρανούς αλλά και το βάθος της ολισθαίνουσας μάζας, διακρίνονται τρία είδη

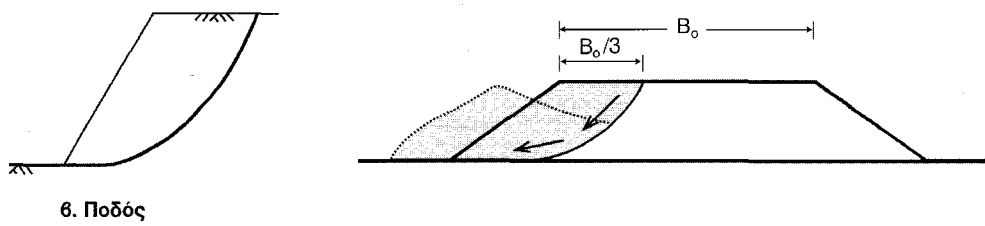
ολισθήσεων: πρानούς ή μετώπου, ποδός και βαθειά όπως απεικονίζεται στα Σχήματα 2.2 έως 2.5.



Σχήμα 2.2 Κύκλοι ολίσθησης πρानών επιχωμάτων

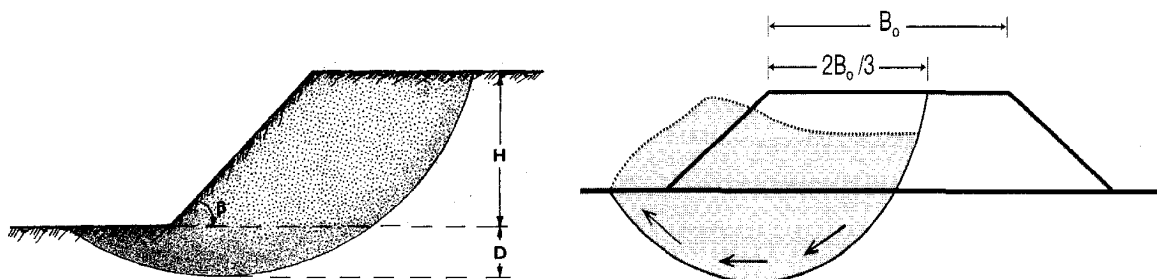


Σχήμα 2.3 Μικρή αστοχία – κύκλος πρानούς (1)



β. Ποδός

Σχήμα 2.4 Αστοχία Ποδός (2)



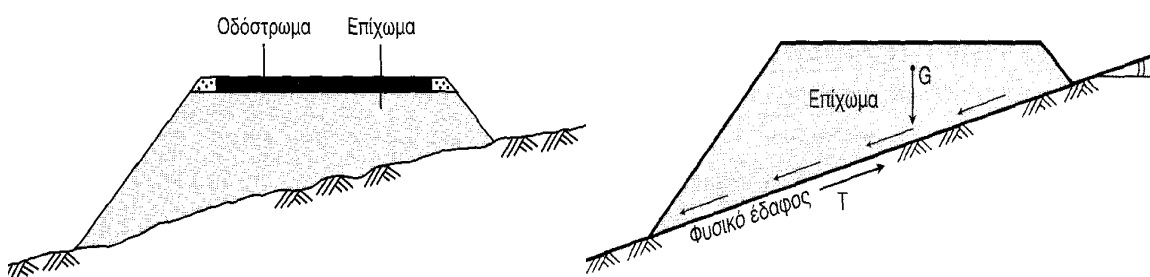


### Σχήμα 2.5 Βαθεία αστοχία (3)

Οι ολισθήσεις φυσικών κλιτύων αναπτύσσονται συνήθως κατά επίπεδες επιφάνειες όταν, λόγω κατασκευής του τεχνικού έργου, διαταραχθεί η ισορροπία της ευρύτερης περιοχής και συχνά της περιοχής ανάντη του έργου. Στη φάση των εκσκαφών, η απομάκρυνση γαιωδών μαζών από τον πόδα ενός ασταθούς φυσικού πρανού μπορεί να προκαλέσει μετακίνηση ασταθών σχηματισμών. Επίπεδες είναι και οι ολισθήσεις επιχωμάτων επί κεκλιμένων επιφανειών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.6.

Η κλασσική οδοποιία απαγορεύει την Κατασκευή επιχωμάτων σε περιοχές έντονου ανάγλυφου, όπως είναι τα φυσικά πρανή λοφωδών ή ορεινών περιοχών. Αν και η σύγχρονη τεχνολογία έχει ανατρέψει παλαιούς θεμελιώδεις κανόνες, ωστόσο, η κατασκευή επιχωμάτων σε επιφάνειες ισχυρών κλίσεων φυσικού εδάφους ( $i > 1/3$ ) θεωρείται επισφαλής.

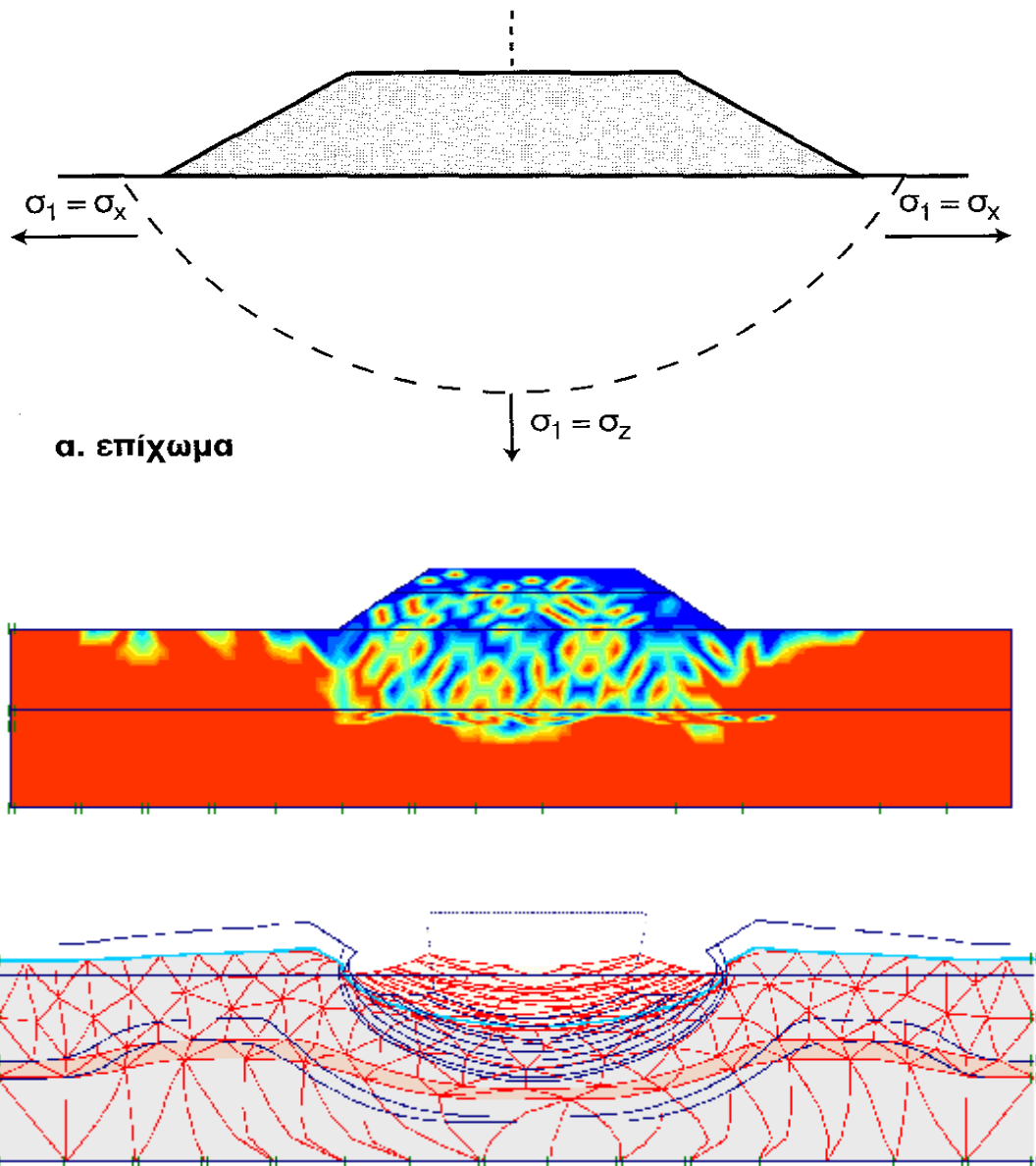
Οι ολισθήσεις πρανών επιχωμάτων μπορεί να είναι επίπεδες, για ψαθυρά υλικά επιχώματος, ή περιστροφικές, σε περιπτώσεις συνεκτικών εδαφικών.



Σχήμα 2.6 Ολίσθηση επί κλιτύου

Για την περίπτωση της έδρασης επιχωμάτων σε μαλακά εδάφη, παρατηρείται μια μορφή αστοχία λειτουργικότητας λόγω πολύ μεγάλων βυθίσεων και παραμορφώσεων. Στο Σχήμα 2.7 παρουσιάζονται η κατανομή τάσεων και οι παραμορφώσεις, όπως δίνονται θεωρητικά και όπως

προέκυψαν από αριθμητικές αναλύσεις με πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων.



Σχήμα 2.7 Κατανομή τάσεων και παραμορφώσεις λόγω έδρασης επιχώματος σε μαλακό έδαφος.

## 2.2 Μέτρα αντιμετώπισης των προβλημάτων ευστάθειας επιχωμάτων

Τα κύρια προβλήματα έδρασης και ευστάθειας επιχωμάτων προέρχονται από τις ισχυρές τέμνουσες δυνάμεις που προέρχονται από σεισμικές εδράσεις, όταν οι γεωτεχνικές συνθήκες, είναι οι δυσμενέστερες

στην περιοχή όπου εδράζονται τα επιχώματα, απαιτούνται μέτρα αντιμετώπισης αστοχιών, που μπορεί να είναι, αστοχία πρηνούς, αστοχία ποδός και βαθιά αστοχία επιχώματος.

Ένα άλλο ύπουλο φαινόμενο που παρατηρείται έντονα στα αμμώδη εδάφη είναι η ρευστοποίηση του εδάφους, όπου η άμμος παρουσία ύδατος του υδροφόρου ορίζοντα, κατά της διάρκειας της σεισμικής έδρασης, συμπεριφέρεται σαν λασπώδες ρευστό με μηδενική σχεδόν αντοχή. Το φαινόμενο αυτό είναι υπεύθυνο για αστοχία θεμελίου και ειδικότερα για την βύθιση που παρουσιάζουν οι κατασκευές μέσα στο έδαφος. Επίσης ένας άλλος λόγος όπου παρατηρούνται αστοχίες σε συνήθη επιχώματα είναι η μειωμένη αντοχή των υποκείμενων στρώσεων.

Παρακάτω ακολουθούν τα γενικότερα μέτρα αντιμετώπισης των διαφόρων προβλημάτων:

#### 1) Οπλισμένα επιχώματα.

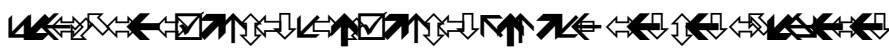


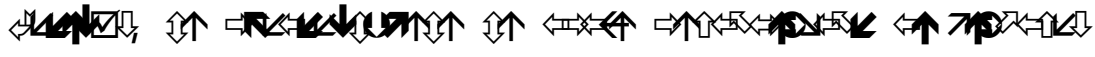





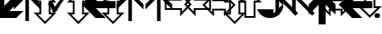
Τα οπλισμένα επιχώματα είναι μια ειδική τεχνική κατασκευής επιχωμάτων που εφαρμόζεται σε περιπτώσεις περιορισμένου εύρους κατάληψης και, συνήθως, σε επιχώματα μεγάλου ύψους. Η διαμόρφωση πρηνών με απότομες κλίσης γίνεται μέσω ενίσχυσης ή όπλισης του εδάφους.

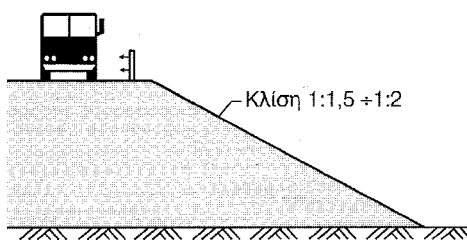
Οπλισμένα επιχώματα ονομάζονται γεωκατασκευές στις οποίες τα υλικά επίχωσης ενισχύονται με παρεμβολή μεταλλικών και, κυρίως, συνθετικών στοιχείων. Σήμερα, η ενίσχυση των επιχωμάτων γίνεται πρωτίστως με γεωφάσματα ή με γεωπλέγματα. Η εφαρμογή της αρχής της “οπλισμένης γης” στην κατασκευή επιχωμάτων καλύπτει ένα ευρύ πεδίο, ωστόσο, αναφέρονται συνήθως ως “οπλισμένα επιχώματα” οι γεωκατασκευές με πρηνή που έχουν ενισχυθεί με συνθετικά ή μεταλλικά στοιχεία.

Η ενίσχυση αυτή των επιχωμάτων επιτρέπει την αύξηση της κλίσης των πρηνών, που για τα συνήθη επιχώματα κυμαίνεται μεταξύ 1:1,5 και 1:2, μέχρι και σε γωνία 90°, τη διαμόρφωση, δηλαδή, κατακόρυφου πρηνούς. Ακόμη, μέσω της ενίσχυσης των επιχωμάτων αντιμετωπίζονται φαινόμενα

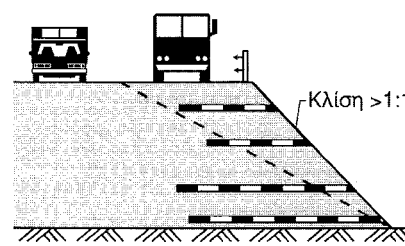
παραμορφώσεων, καθιζήσεων και συνιζήσεων αλλά και βελτίωση των συνθηκών ευστάθειας.

Οι εφαρμογές, συνεπώς, του οπλισμένου εδάφους στην περίπτωση των οδικών επιχωμάτων είναι οι ακόλουθες: όπλιση πρανών για βελτίωση ευστάθειας του επιχώματος έναντι περιστροφικής ολίσθησης ενίσχυση παρειάς για βελτίωση ευστάθειας έναντι επίπεδης επιφανειακής / τοπικής αστοχίας

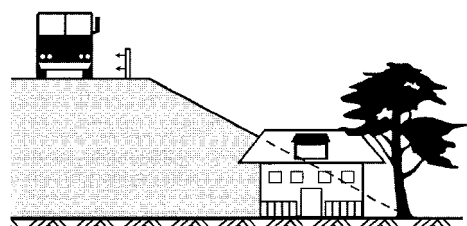
- 0 
- 0 
- 
- 
- 
- 1) 
- 
- 2) 
- 3) 
- 4) 



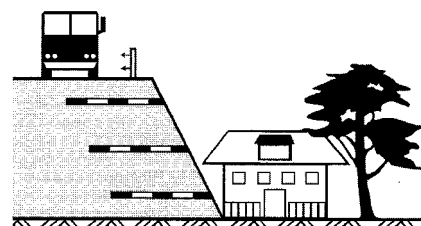
α. Συμβατικό επίχωμα



β. Οπλισμένο επίχωμα



α. Συμβατικό επίχωμα

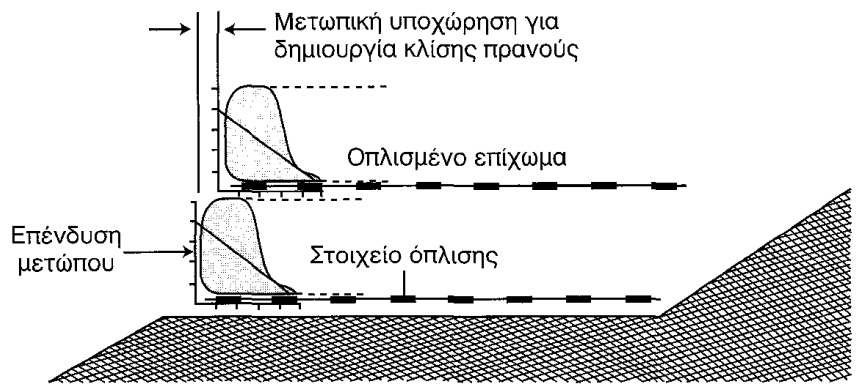


β. Οπλισμένο επίχωμα



Επιπλέον, η κατασκευή της οροφής (2050cm) γίνεται με  
 επένδυση με...

στη συνέχεια, η κατασκευή της οροφής γίνεται με επένδυση με  
 επένδυση με υλικό που έχει αντοχή σε τριβή και σε συμπίεση. Η οροφή  
 είναι κατασκευασμένη με πλάτος 45°, η κατασκευή της οροφής  
 γίνεται με υλικό που έχει αντοχή σε τριβή και σε συμπίεση 3060cm  
 και ύψος 2m. Η επένδυση της οροφής γίνεται με υλικό που έχει  
 αντοχή σε τριβή και σε συμπίεση. Η κατασκευή της οροφής γίνεται  
 με υλικό που έχει αντοχή σε τριβή και σε συμπίεση.

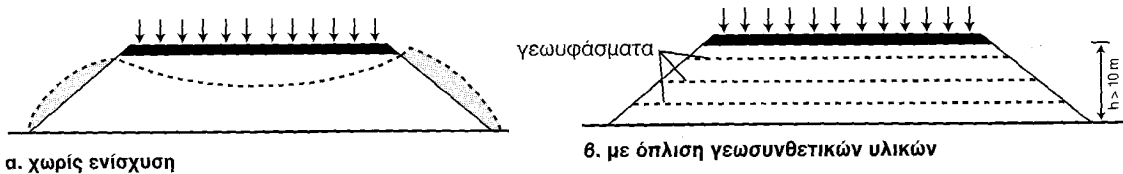


Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ΕΤΕΚ, η κατασκευή της οροφής...

Η κατασκευή της οροφής γίνεται με υλικό που έχει αντοχή σε τριβή και σε συμπίεση. Η οροφή  
 είναι κατασκευασμένη με πλάτος 45°, η κατασκευή της οροφής  
 γίνεται με υλικό που έχει αντοχή σε τριβή και σε συμπίεση 3060cm  
 και ύψος 2m. Η επένδυση της οροφής γίνεται με υλικό που έχει  
 αντοχή σε τριβή και σε συμπίεση. Η κατασκευή της οροφής γίνεται  
 με υλικό που έχει αντοχή σε τριβή και σε συμπίεση.

Η κατασκευή της οροφής γίνεται με υλικό που έχει αντοχή σε τριβή και σε συμπίεση. Η οροφή  
 είναι κατασκευασμένη με πλάτος 45°, η κατασκευή της οροφής  
 γίνεται με υλικό που έχει αντοχή σε τριβή και σε συμπίεση 3060cm  
 και ύψος 2m. Η επένδυση της οροφής γίνεται με υλικό που έχει  
 αντοχή σε τριβή και σε συμπίεση. Η κατασκευή της οροφής γίνεται  
 με υλικό που έχει αντοχή σε τριβή και σε συμπίεση.

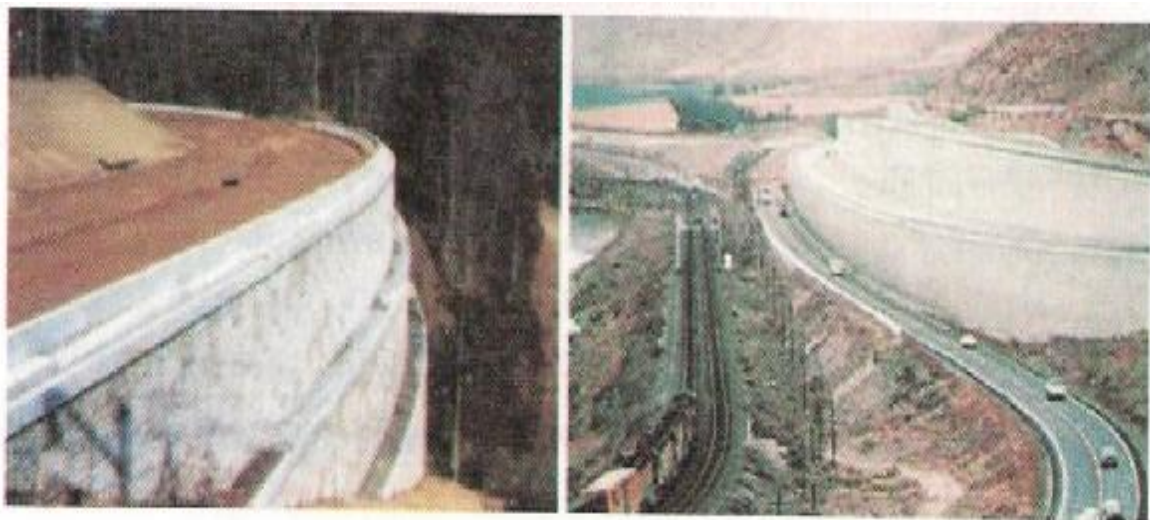
Στην περίπτωση αυτή, η ετήσια μέση διακύμανση 2-3 mm (1-2%) μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη για την επιθυμητή απόδοση. Η απόδοση είναι πολύ χαμηλή και η διακύμανση είναι μεγάλη. Η απόδοση είναι πολύ χαμηλή και η διακύμανση είναι μεγάλη. Η απόδοση είναι πολύ χαμηλή και η διακύμανση είναι μεγάλη.



ΣΥΝΤ 2.10 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ

**ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ**

Η επιστροφή είναι η διαδικασία επιστροφής της επιφάνειας της οδοστρώματος στην αρχική κατάσταση μετά από την εφαρμογή της φόρτισης. Η επιστροφή είναι η διαδικασία επιστροφής της επιφάνειας της οδοστρώματος στην αρχική κατάσταση μετά από την εφαρμογή της φόρτισης. Η επιστροφή είναι η διαδικασία επιστροφής της επιφάνειας της οδοστρώματος στην αρχική κατάσταση μετά από την εφαρμογή της φόρτισης.



ΣΥΝΤ 2.11 ΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ ΟΔΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ

Η στήριξη της οδού κατά την επιστροφή είναι η διαδικασία στήριξης της οδοστρώματος κατά την επιστροφή στην αρχική κατάσταση μετά από την εφαρμογή της φόρτισης. Η στήριξη της οδού κατά την επιστροφή είναι η διαδικασία στήριξης της οδοστρώματος κατά την επιστροφή στην αρχική κατάσταση μετά από την εφαρμογή της φόρτισης.





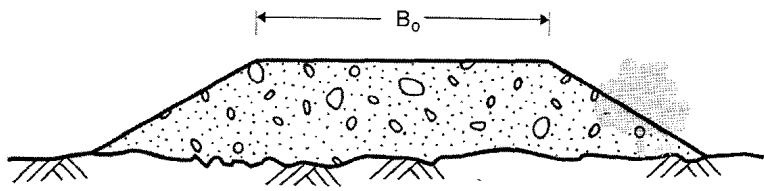




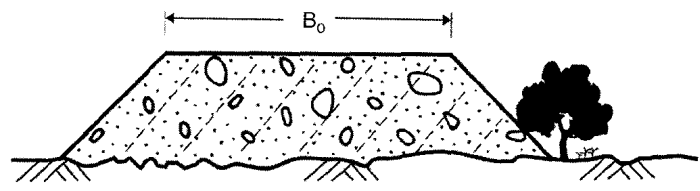
πλάτος οφείδεται να είναι μεγαλύτερο από το πλάτος της οδού, προκειμένου να είναι δυνατόν να τοποθετηθούν οι πελάτες και οι πελάτες.

Οι πελάτες που είναι μικρότεροι από το πλάτος της οδού, πρέπει να τοποθετούνται στην οδό, ενώ οι πελάτες που είναι μεγαλύτεροι από το πλάτος της οδού, πρέπει να τοποθετούνται στην πλατφόρμα. Η απόσταση μεταξύ των πελάτων πρέπει να είναι τουλάχιστον 1,50 μ.

Οι πελάτες που είναι μεγαλύτεροι από το πλάτος της οδού, πρέπει να τοποθετούνται στην πλατφόρμα. Η απόσταση μεταξύ των πελάτων πρέπει να είναι τουλάχιστον 1,50 μ.



α. Συμβατική κατασκευή



β. Σταθεροποιημένη κατασκευή

ΣΥΝΤΑΚΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

V) ΟΡΓΑΝΟΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Η οργάνωση της κατασκευής πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να είναι δυνατόν να τοποθετηθούν οι πελάτες και οι πελάτες. Η απόσταση μεταξύ των πελάτων πρέπει να είναι τουλάχιστον 1,50 μ.

Οι πελάτες που είναι μικρότεροι από το πλάτος της οδού, πρέπει να τοποθετούνται στην οδό, ενώ οι πελάτες που είναι μεγαλύτεροι από το πλάτος της οδού, πρέπει να τοποθετούνται στην πλατφόρμα. Η απόσταση μεταξύ των πελάτων πρέπει να είναι τουλάχιστον 1,50 μ.



የግንባታ ስራዎች ለማስፈጸም የሚያስፈልጉትን ሰነድ ለማግኘት ለሚገባው ሰነድ ላይ ማሳሰቢያ ማድረግ ይገባል።

ለሰነድ ማግኘት የሚያስፈልጉትን ሰነድ ለማግኘት ለሚገባው ሰነድ ላይ ማሳሰቢያ ማድረግ ይገባል። ለሰነድ ማግኘት የሚያስፈልጉትን ሰነድ ለማግኘት ለሚገባው ሰነድ ላይ ማሳሰቢያ ማድረግ ይገባል። ለሰነድ ማግኘት የሚያስፈልጉትን ሰነድ ለማግኘት ለሚገባው ሰነድ ላይ ማሳሰቢያ ማድረግ ይገባል።

የሰነድ ማግኘት ለሚገባው ሰነድ ላይ ማሳሰቢያ ማድረግ ይገባል። ለሰነድ ማግኘት የሚያስፈልጉትን ሰነድ ለማግኘት ለሚገባው ሰነድ ላይ ማሳሰቢያ ማድረግ ይገባል። ለሰነድ ማግኘት የሚያስፈልጉትን ሰነድ ለማግኘት ለሚገባው ሰነድ ላይ ማሳሰቢያ ማድረግ ይገባል።

- የሰነድ ማግኘት ለሚገባው ሰነድ ላይ ማሳሰቢያ ማድረግ ይገባል።
- የሰነድ ማግኘት ለሚገባው ሰነድ ላይ ማሳሰቢያ ማድረግ ይገባል።
- የሰነድ ማግኘት ለሚገባው ሰነድ ላይ ማሳሰቢያ ማድረግ ይገባል።

የሰነድ ማግኘት ለሚገባው ሰነድ ላይ ማሳሰቢያ ማድረግ ይገባል። ለሰነድ ማግኘት የሚያስፈልጉትን ሰነድ ለማግኘት ለሚገባው ሰነድ ላይ ማሳሰቢያ ማድረግ ይገባል።

የሰነድ ማግኘት ለሚገባው ሰነድ ላይ ማሳሰቢያ ማድረግ ይገባል። ለሰነድ ማግኘት የሚያስፈልጉትን ሰነድ ለማግኘት ለሚገባው ሰነድ ላይ ማሳሰቢያ ማድረግ ይገባል። ለሰነድ ማግኘት የሚያስፈልጉትን ሰነድ ለማግኘት ለሚገባው ሰነድ ላይ ማሳሰቢያ ማድረግ ይገባል።

- የሰነድ ማግኘት ለሚገባው ሰነድ ላይ ማሳሰቢያ ማድረግ ይገባል።



ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΥΓΙΕΙΝΗΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΟΥΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΣΧΗΜΑ 2.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

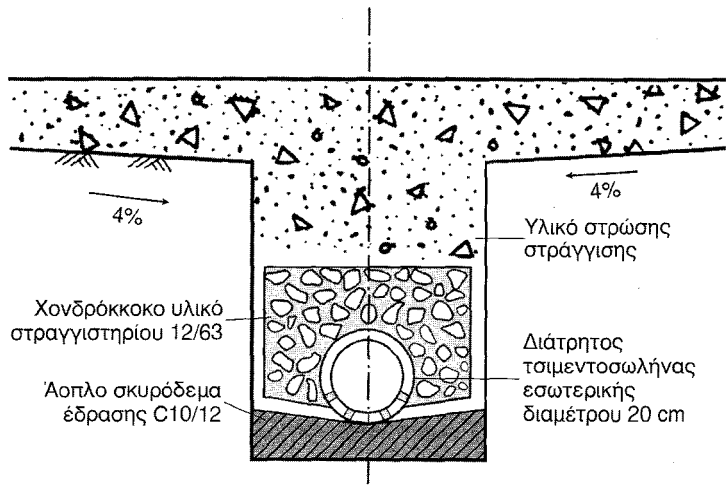
Έργα αποστράγγισης	Διατομή σε όρυγμα			Διατομή σε επίχωμα		
	Οδόστρωμα	Σκάφη	Πρανή	Οδόστρωμα	Επίχωμα	Υπέδαφος
Γραμμικά στραγγιστήρια	**	**	—	*	—	—
Αποστραγγιστικές τάφροι	—	*	—	*	—	*
Στραγγιστικές στρώσεις	**	—	—	*	**	—
Στραγγιστικές κλίνες	—	*	—	—	—	**
Υπο-οριζόντια στραγγιστήρια	—	—	**	—	*	—
Κατακόρυφοι σωλήνες αποστράγγισης	—	—	—	—	—	**
Πλαστικά στραγγιστήρια	**	—	—	*	—	**
Φίλτρα πρανούς	—	—	**	—	**	—
Σήραγγες αποστράγγισης	—	—	**	—	—	—
Φρεάτια εκτόνωσης	—	*	*	—	—	**
Φρεάτια διήθησης	—	—	*	—	—	**

\*\* Αποστράγγιση, \* Απορρόφηση, — Ανεπιθύμη

Σύμφωνα με τις προτεινόμενες διατομές, οι οδοστρώματα και οι σκάφες πρέπει να κατασκευάζονται με πάχος 50 cm και να καλύπτονται με πλάκες ή με άλλα υλικά που να έχουν την δυνατότητα να αποστραγγίζουν το νερό και να το συλλέγουν σε ειδικά φρεάτια. Τα φρεάτια πρέπει να κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην επιτρέπουν την είσοδο των στερεών υλικών και να έχουν την δυνατότητα να καθαρίζονται εύκολα. Τα φρεάτια πρέπει να κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην επιτρέπουν την είσοδο των στερεών υλικών και να έχουν την δυνατότητα να καθαρίζονται εύκολα.





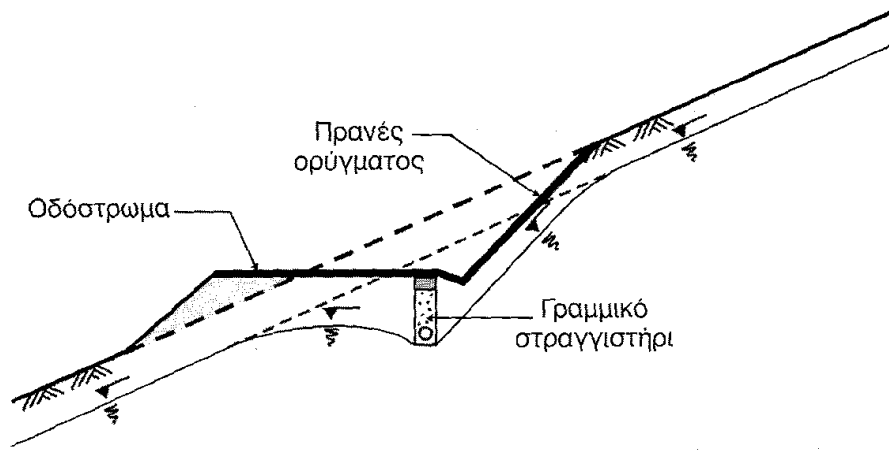


ΣΧΗΜΑ 2.14 ΣΥΝΘΕΣΗ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΣΤΡΩΣΕΩΣ

Στην περίπτωση αυτή, η στρώση στράγγισης αποτελείται από υλικό με κόκκο 12/63 cm, το οποίο τοποθετείται πάνω στο άοπλο σκυρόδεμα έδρασης C10/12. Η διάτρητος τσιμεντοσωλήνας έχει εσωτερική διάμετρο 20 cm. Η οριζόντια απόσταση μεταξύ των στρώσεων στράγγισης είναι 4%.

Οι στρώσεις στράγγισης πρέπει να είναι κατασκευασμένες από υλικό με κόκκο 12/63 cm, το οποίο τοποθετείται πάνω στο άοπλο σκυρόδεμα έδρασης C10/12. Η διάτρητος τσιμεντοσωλήνας έχει εσωτερική διάμετρο 20 cm. Η οριζόντια απόσταση μεταξύ των στρώσεων στράγγισης είναι 4%.

Η διάτρητος τσιμεντοσωλήνας έχει εσωτερική διάμετρο 20 cm. Η οριζόντια απόσταση μεταξύ των στρώσεων στράγγισης είναι 4%.



ΣΧΗΜΑ 2.6 ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΚΚΛΙΣΗΣ

Επιπλέον, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η κλίση του οδοστρώματος πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την κλίση του πραγούς ορύγματος. Αυτό εξασφαλίζει την αποτελεσματική απορροφή του νερού από την επιφάνεια του οδοστρώματος και την αποφυγή της συσσώρευσης νερού στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Η κλίση του οδοστρώματος πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,5%.

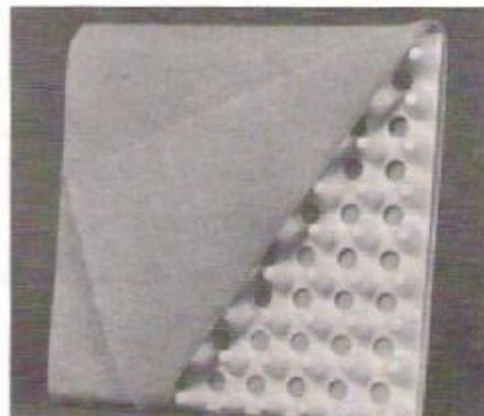
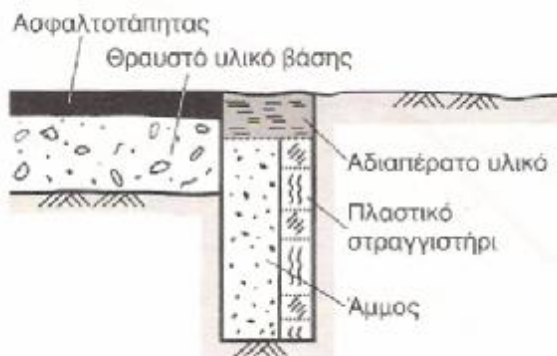
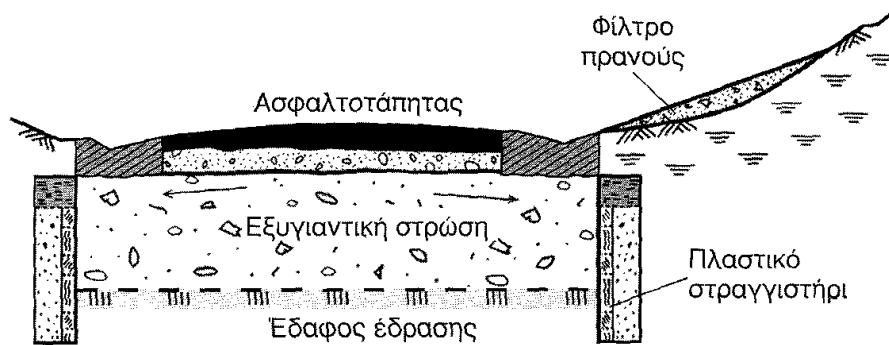
Επιπλέον, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η κλίση του οδοστρώματος πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την κλίση του πραγούς ορύγματος. Αυτό εξασφαλίζει την αποτελεσματική απορροφή του νερού από την επιφάνεια του οδοστρώματος και την αποφυγή της συσσώρευσης νερού στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Η κλίση του οδοστρώματος πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,5%.

VIII) ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΚΚΛΙΣΗΣ

Επιπλέον, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η κλίση του οδοστρώματος πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την κλίση του πραγούς ορύγματος. Αυτό εξασφαλίζει την αποτελεσματική απορροφή του νερού από την επιφάνεια του οδοστρώματος και την αποφυγή της συσσώρευσης νερού στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Η κλίση του οδοστρώματος πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,5%.

Στο χώρο που είναι μεγαλύτερο από 2,5 cm, η κοίτη είναι 25 cm και η δομή είναι η ίδια με την προηγούμενη. Η δομή είναι ίδια με την προηγούμενη. Η δομή είναι ίδια με την προηγούμενη.

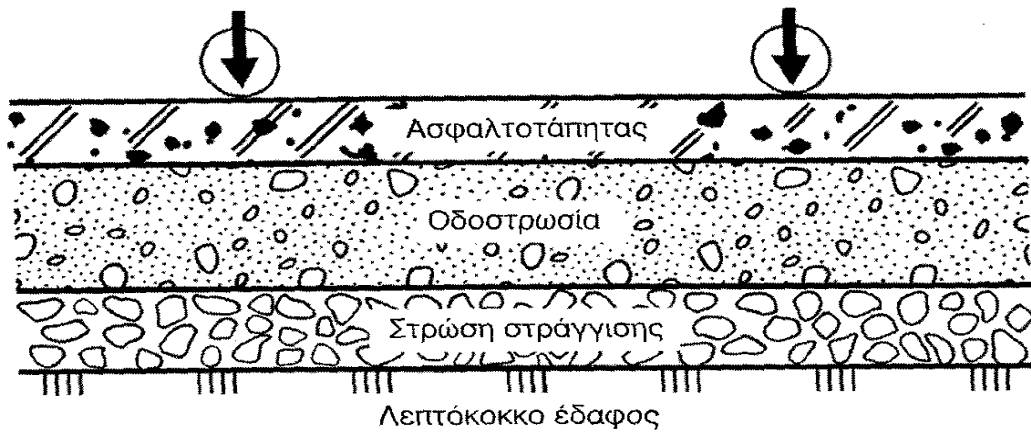
Στη κοίτη είναι η ίδια με την προηγούμενη. Η δομή είναι ίδια με την προηγούμενη. Η δομή είναι ίδια με την προηγούμενη.



Σύστημα 2.16: Ημίστερο υλικό στην κοίτη







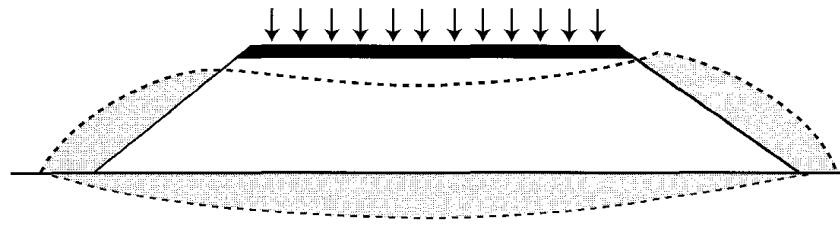
ΣΧΗΜΑ 2.17 Οδοστρωσία με στρώση στράγγισης

### 2.3 Οδοστρωσία με στρώση στράγγισης

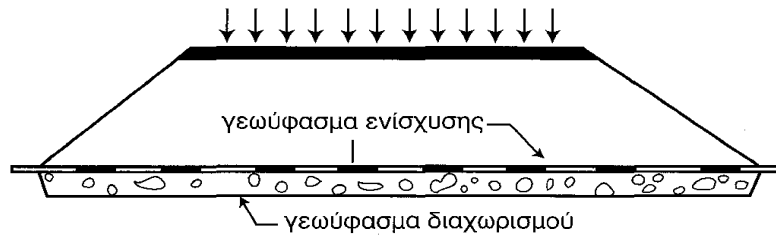
Η οδοστρωσία με στρώση στράγγισης αποτελείται από:

- Ασφαλτοτάπητα πάχους 3-5 cm.
- Οδοστρωσία πάχους 10-15 cm.
- Στρώση στράγγισης πάχους 5-10 cm.
- Λεπτόκοκκο έδαφος πάχους 10-20 cm.

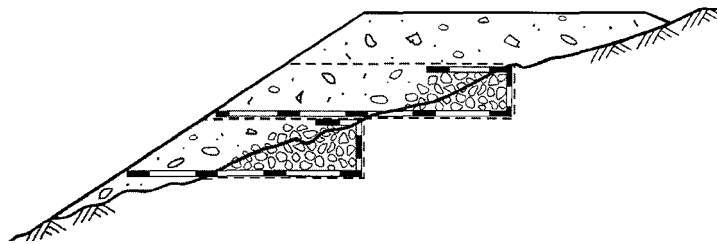
Η στρώση στράγγισης αποτελείται από πέλες ή άμμο με μέγεθος κόκκου 0,25-0,5 mm. Η στρώση στράγγισης έχει την λειτουργία να απορροφά το νερό που συσσωρεύεται στην οδοστρωσία και να το μεταφέρει στην επιφάνεια του εδάφους. Η οδοστρωσία με στρώση στράγγισης είναι κατάλληλη για οδοστρώσεις με υψηλό φορτίο κυκλοφορίας και για περιοχές με υψηλό υδατικό δυναμικό. Η οδοστρωσία με στρώση στράγγισης είναι επίσης κατάλληλη για οδοστρώσεις με υψηλό φορτίο κυκλοφορίας και για περιοχές με υψηλό υδατικό δυναμικό. Η οδοστρωσία με στρώση στράγγισης είναι επίσης κατάλληλη για οδοστρώσεις με υψηλό φορτίο κυκλοφορίας και για περιοχές με υψηλό υδατικό δυναμικό.



α. χωρίς ενίσχυση



β. με εξυγιαντική κλίση και ενίσχυση



**ΣΧΗΜΑ 2.18**

**ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ**

1. Ποια είναι η λειτουργία του γεώφασματος ενίσχυσης και του γεώφασματος διαχωρισμού;

2. Ποια είναι η λειτουργία της εξυγιαντικής κλίσης;

3. Ποια είναι η λειτουργία του γεώφασματος ενίσχυσης και του γεώφασματος διαχωρισμού;

4. Ποια είναι η λειτουργία της εξυγιαντικής κλίσης;

5. Ποια είναι η λειτουργία του γεώφασματος ενίσχυσης και του γεώφασματος διαχωρισμού;

6. Ποια είναι η λειτουργία της εξυγιαντικής κλίσης;

7. Ποια είναι η λειτουργία του γεώφασματος ενίσχυσης και του γεώφασματος διαχωρισμού;

8. Ποια είναι η λειτουργία της εξυγιαντικής κλίσης;

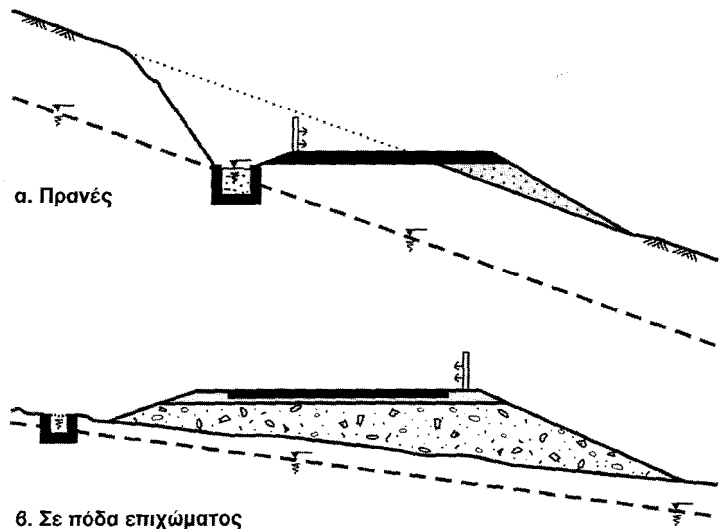
9. Ποια είναι η λειτουργία του γεώφασματος ενίσχυσης και του γεώφασματος διαχωρισμού;

10. Ποια είναι η λειτουργία της εξυγιαντικής κλίσης;

από την επιφάνεια του εδάφους και να μην υπάρχει κίνηση του νερού προς τα κάτω. Η διαμόρφωση του εδάφους πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να μην υπάρχει κίνηση του νερού προς τα κάτω.

Οι διατάξεις αυτές, οι οποίες είναι απαραίτητες για την προστασία του εδάφους από την κίνηση του νερού, πρέπει να είναι τέτοιας φύσης, ώστε να μην υπάρχει κίνηση του νερού προς τα κάτω. Η διαμόρφωση του εδάφους πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να μην υπάρχει κίνηση του νερού προς τα κάτω.

Οι διατάξεις αυτές, οι οποίες είναι απαραίτητες για την προστασία του εδάφους από την κίνηση του νερού, πρέπει να είναι τέτοιας φύσης, ώστε να μην υπάρχει κίνηση του νερού προς τα κάτω. Η διαμόρφωση του εδάφους πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να μην υπάρχει κίνηση του νερού προς τα κάτω.



**Σελίδα 2. 1987**

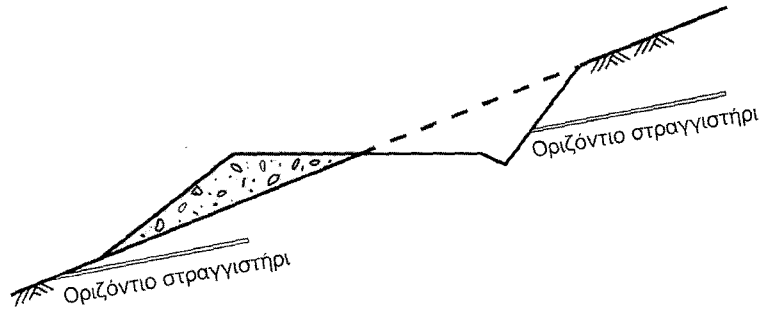
Οι διατάξεις αυτές, οι οποίες είναι απαραίτητες για την προστασία του εδάφους από την κίνηση του νερού, πρέπει να είναι τέτοιας φύσης, ώστε να μην υπάρχει κίνηση του νερού προς τα κάτω.

Οι διατάξεις αυτές, οι οποίες είναι απαραίτητες για την προστασία του εδάφους από την κίνηση του νερού, πρέπει να είναι τέτοιας φύσης, ώστε να μην υπάρχει κίνηση του νερού προς τα κάτω. Η διαμόρφωση του εδάφους πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να μην υπάρχει κίνηση του νερού προς τα κάτω.





**ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ**



**ΣΧΗΜΑ 2.20 ΟΡΟΦΗΜΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ**

**V) ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ:**

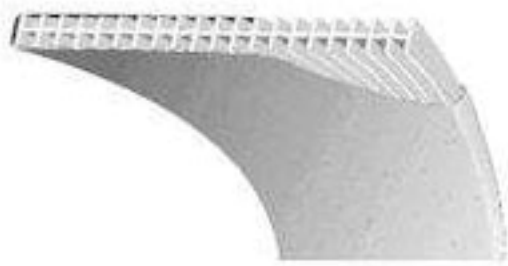
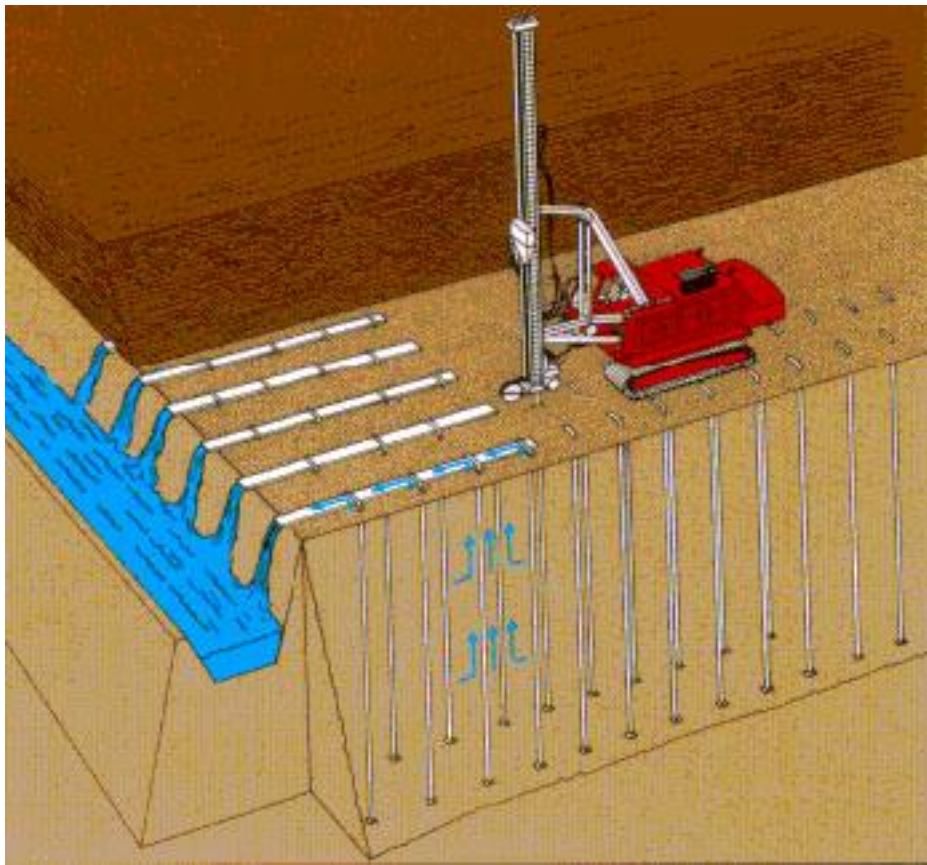
Το έργο αφορά στην κατασκευή και στην αποκατάσταση των οδοστρώματων των οδών που περιλαμβάνονται στο πρόγραμμα. Η κατασκευή των οδοστρώματων θα γίνει σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζονται στο πρόγραμμα.

Οι ανάγκες για την κατασκευή των οδοστρώματων θα καλυφθούν με την προμήθεια των υλικών που απαιτούνται. Η κατασκευή των οδοστρώματων θα γίνει σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζονται στο πρόγραμμα. Η κατασκευή των οδοστρώματων θα γίνει σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζονται στο πρόγραμμα.

Οι ανάγκες για την κατασκευή των οδοστρώματων θα καλυφθούν με την προμήθεια των υλικών που απαιτούνται. Η κατασκευή των οδοστρώματων θα γίνει σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζονται στο πρόγραμμα. Η κατασκευή των οδοστρώματων θα γίνει σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζονται στο πρόγραμμα.

Οι ανάγκες για την κατασκευή των οδοστρώματων θα καλυφθούν με την προμήθεια των υλικών που απαιτούνται. Η κατασκευή των οδοστρώματων θα γίνει σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζονται στο πρόγραμμα. Η κατασκευή των οδοστρώματων θα γίνει σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζονται στο πρόγραμμα.

← 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.



2.21 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.





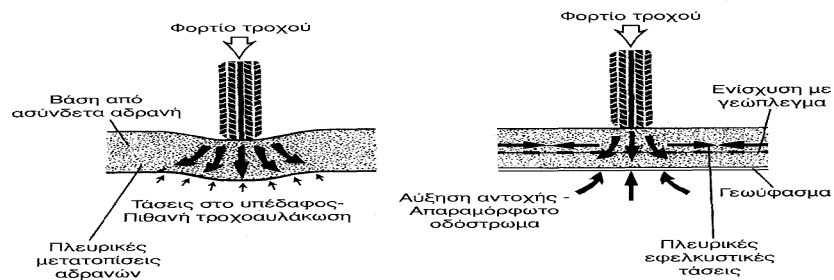
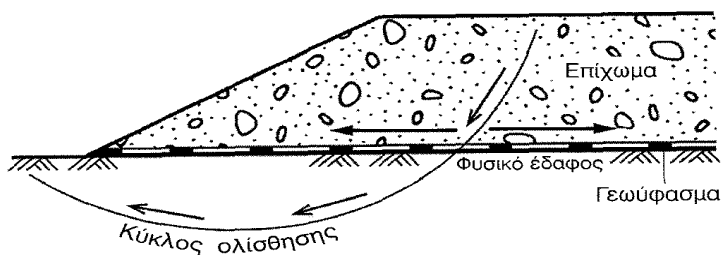


ΣΧΗΜΑ 2.2 <img alt="Decorative graphic element consisting of arrows and geometric shapes."/>

Τύπος	Λειτουργίες					
	Διαχωρισμός	Όπλιση	Ζώνες διήθησης	Αποστράγγιση	Υδατο-στεγάνωση	Προστασία έναντι διάβρωσης
Γεώφρασμα	**	*	**	**	—	*
Γεώπλεγμα	*	**	—	—	—	*
Γεωδίχτυ	*	—	—	**	—	—
Γεομεμβράνη	*	*	—	—	**	—
Συνδυασμένα γεωσυνθετικά	*	**	*	*	*	*
Γεωκυψέλες	—	—	—	*	—	**

\*\* <img alt="Decorative graphic element consisting of arrows and geometric shapes."/> \* <img alt="Decorative graphic element consisting of arrows and geometric shapes."/> — <img alt="Decorative graphic element consisting of arrows and geometric shapes."/>

ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΠΕΡΙΟΧΗ - ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ, ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ  
 ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ  
 ΚΑΙ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ  
 ΚΑΙ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ  
 ΚΑΙ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ  
 ΚΑΙ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ

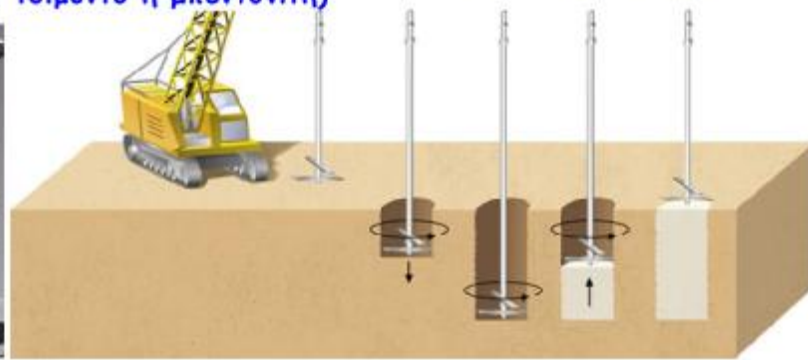


ΣΧΗΜΑ 2.22 <img alt="Decorative graphic element consisting of arrows and geometric shapes."/>

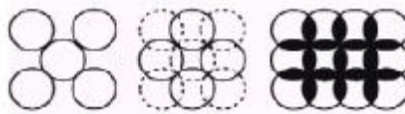




Ανάμιξη του εδάφους με κάποιο υλικό «σταθεροποίησης»  
(π.χ. τσιμέντο ή μπεντονίτη)



Τρυπάνι ↑  
Πιθανές διατάξεις →



ΣΧΗΜΑ 2.23

α) ΟΡΡ

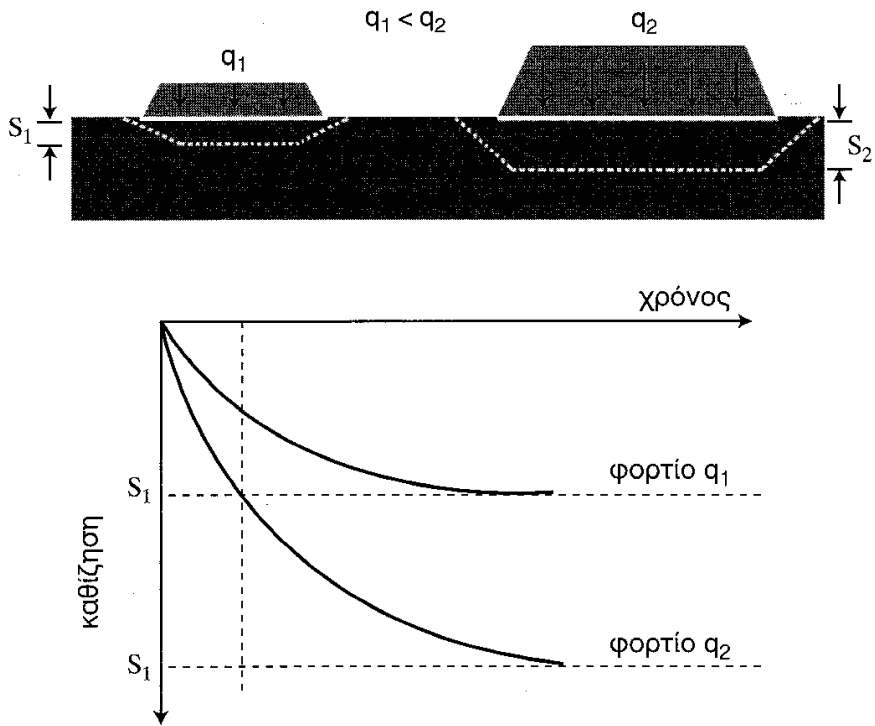
ΟΡΡ είναι ο οριζόντιος ρολλέρ που χρησιμοποιείται για την ανάμιξη του εδάφους με κάποιο υλικό «σταθεροποίησης» (π.χ. τσιμέντο ή μπεντονίτη). Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν από την παρουσία υδατικών κοκκίων στο έδαφος, καθώς και για την βελτίωση της αντοχής του εδάφους. Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν από την παρουσία υδατικών κοκκίων στο έδαφος, καθώς και για την βελτίωση της αντοχής του εδάφους.

Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν από την παρουσία υδατικών κοκκίων στο έδαφος, καθώς και για την βελτίωση της αντοχής του εδάφους. Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν από την παρουσία υδατικών κοκκίων στο έδαφος, καθώς και για την βελτίωση της αντοχής του εδάφους.

Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν από την παρουσία υδατικών κοκκίων στο έδαφος, καθώς και για την βελτίωση της αντοχής του εδάφους. Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν από την παρουσία υδατικών κοκκίων στο έδαφος, καθώς και για την βελτίωση της αντοχής του εδάφους.

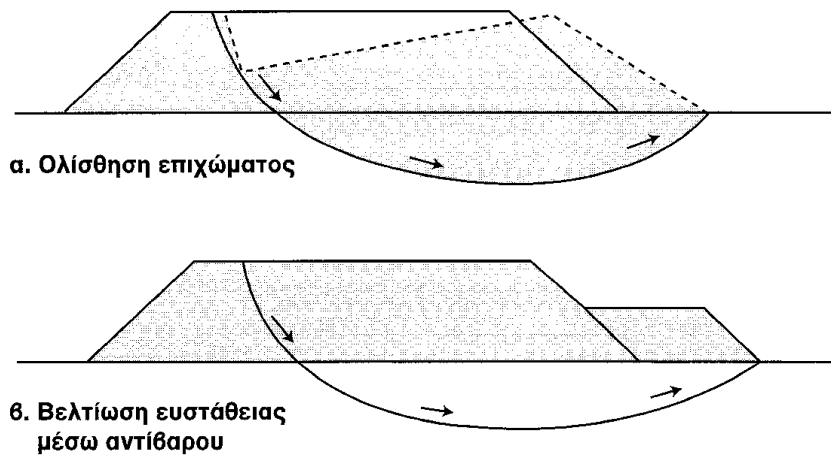






Σχ. 2.25

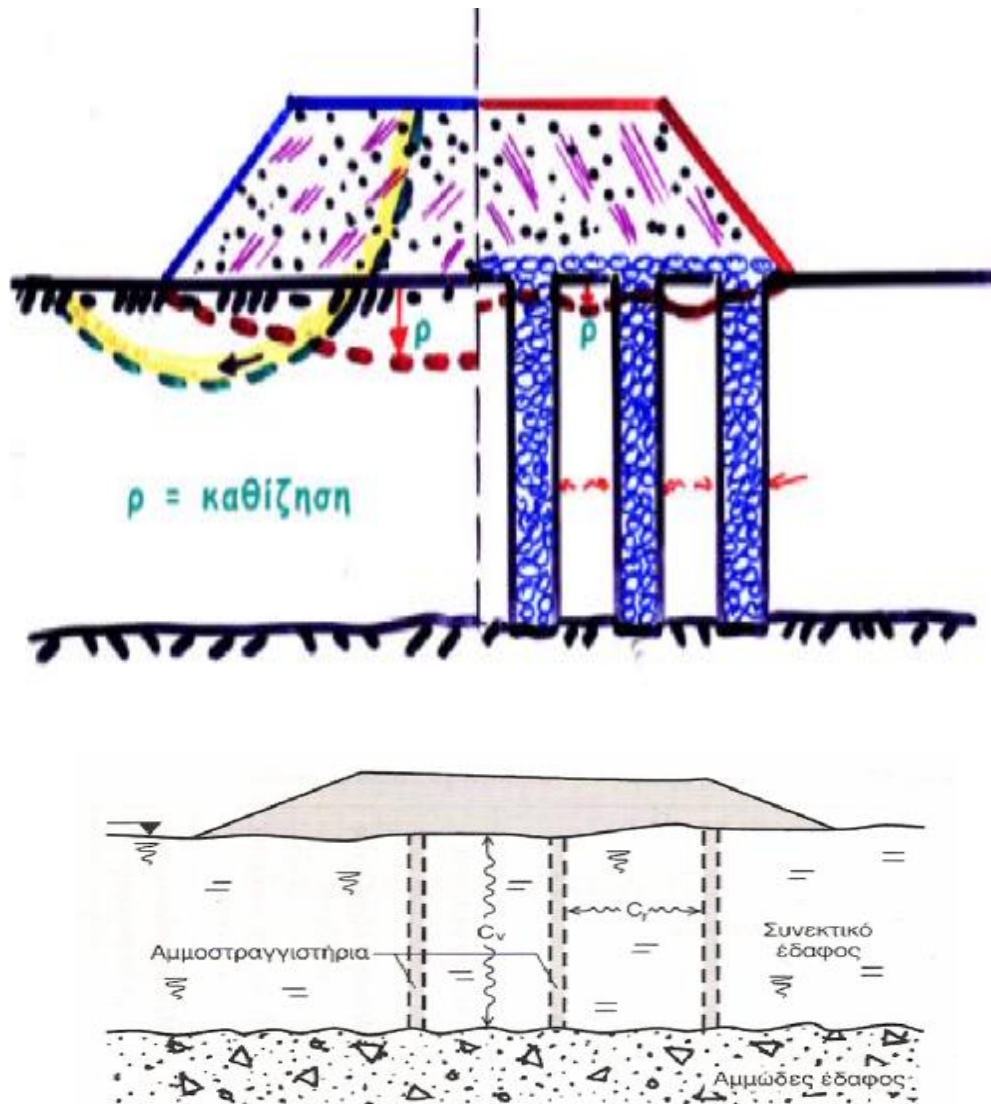
□ Η κατασκευή πλευρικών αναχωμάτων. Πρόκειται για Τεχνική που χρησιμοποιείται για αποτροπή της ολίσθησης του επιχώματος, μέσω της αύξησης των δυνάμεων και της ροπής αντίστασης.



Σχήμα 2.26 Βελτίωση ευστάθειας με πλευρικό αντίβαρο

□ Η σταδιακή κατασκευή. Όταν το συνολικό φορτίο του επιχώματος είναι μεγάλο, ο κίνδυνος ολίσθησης είναι σημαντικός σε υπεδάφη μικρής διατμητικής αντοχής ( $c_u < 0,5 \text{ kg/cm}^2$ ). Δια της σταδιακής κατασκευής επιχώματος επί συνεκτικού υπεδάφους, εξασφαλίζεται προοδευτική αύξηση της διατμητικής αντοχής στο υπέδαφος παράλληλα με την αύξηση της ενεργού κατακόρυφης τάσης  $\sigma$ , με την προϋπόθεση ότι επιτυγχάνεται η απαραίτητη στερεοποίηση. Εργαστηριακές εμπειρίες έχουν καταγράψει μια σχέση της μορφής  $\Delta c = a \Delta \sigma$ , με συντελεστή  $a = 0,20$ . Έτσι η σταδιακή αύξηση της ενεργού τάσης δημιουργεί σε κάθε χρονική στιγμή τις απαραίτητες συνθήκες ευστάθειας του επιχώματος.

□ Η εκτέλεση αμμοστραγγιστηρίων και χαλικοπασσάλων που ενδείκνυται για βελτίωση λεπτόκοκκων εδαφών. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για επιτάχυνση του φαινομένου της στερεοποίησης. Κατά την εφαρμογή της τεχνικής αυτής η αποστράγγιση εκτελείται προς τα αμμοστραγγιστήρια διανύοντας μικρότερες αποστάσεις. Οι χαλικοπάσσαλοι, παράλληλα με την παραπάνω ευεργετική επίδραση, παραλαμβάνοντας ένα μέρος του φορτίου, μειώνουν κατά ένα ποσοστό το μέγεθος της τελικής καθίζησης.



Σχήμα 2.27 Ευεργετική επίδραση αμμοστραγγιστηρίων

□ Η χημική επεξεργασία. Είναι μέθοδος που αποσκοπεί στη βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του εδάφους έδρασης του επιχώματος μέσω διάχυσης καταλλήλων ενεμάτων (τσιμέντου, ασφαλτοϋδαρών, μπεντονίτη). Συνήθως η τεχνική των ενεμάτων χρησιμοποιείται σε χονδρόκοκκα εδάφη και κατακερματισμένους βράχους. Πολλές από τις ως άνω μεθόδους, αλλά και ορισμένες άλλες, συνδυάζονται με χρήση γεωσυνθετικών υλικών που αποτελούν πλέον ένα ικανότατο εργαλείο για αντιμετώπιση προβλημάτων μηχανικής συμπεριφοράς σε γεωκατασκευές οδοποιίας.

Πίνακας 2.3 Χρησιμότητα μεθόδων βελτίωσης υπεδάφους

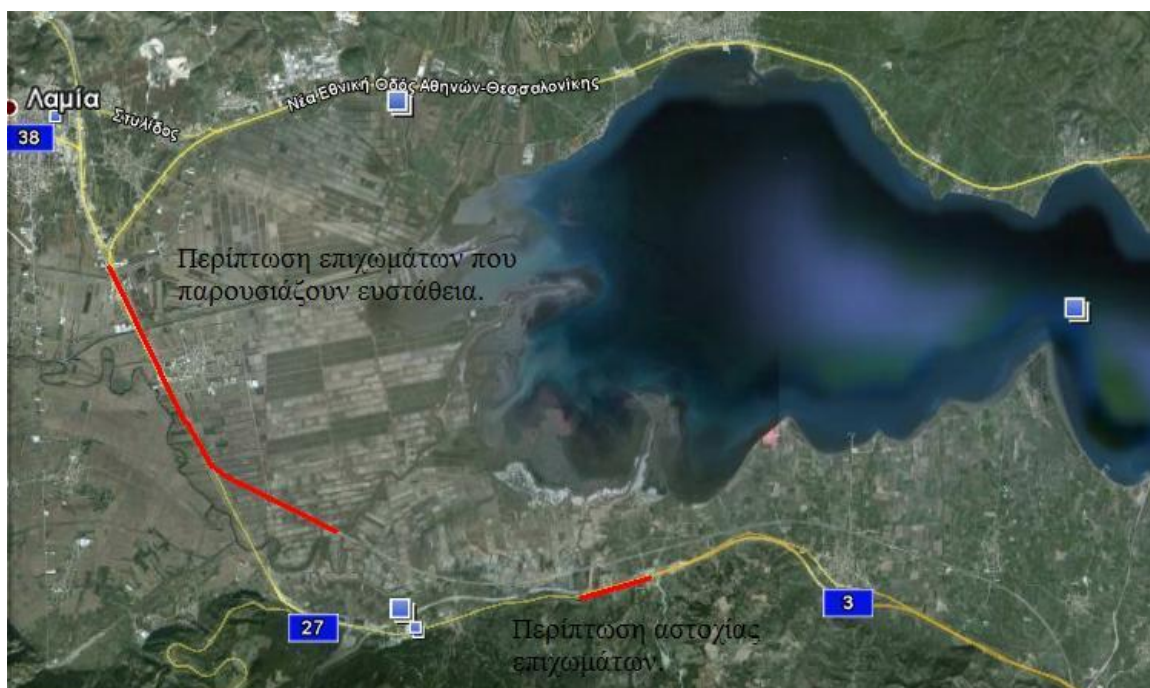
a/a	Μέθοδος	Αύξηση φέρουσας ικανότητας	Μείωση ή εξομάλυνση καθίζησης	Μείωση της διάρκειας καθίζησης	Μείωση πιθανότητας ρευστοποίησης	Βελτίωση ευστάθειας έναντι ολίσθησης
1.	Δονητική συμπίκνωση	**	*	—	**	(*)
2.	Αντικατάσταση δι' εκρηκτικών	*	*	—	(*)	—
3.	Δυναμική συμπίκνωση	**	*	—	**	(*)
4.	Προφόρτιση	*	—	*	—	—
5.	Κατακόρυφα στραγγιστήρια	(*)	*	**	—	(*)
6.	Πλευρικά αναχώματα	—	(*)	—	—	**
7.	Εξυγάνωση	(*)	(*)	—	(*)	(*)
8.	Χαλικοπάσσαλοι	**	**	*	*	(*)
9.	Τσιμεντενέσεις	*	*	—	—	*
10.	Διατάξεις γεωσυνθετικών	(*)	*	—	—	(*)

\*\* ευρέως διαδεδομένα, \* συνήθης μέθοδος, -- σπανίως εφαρμόσιμη

## Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 3

### Π α ρ ο υ σ ί α σ η τ ο υ υ π ό ε ξ έ τ α σ η έ ρ γ ο υ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται στοιχεία σχεδιασμού και κατασκευής των επιχωμάτων του αυτοκινητοδρόμου Π.Α.Θ.Ε. στο τμήμα «Σκάρφεια – Λαμία», Υποτμήμα «Αρχή Α.Κ. Θερμοπυλών – Νέα κοίτη Σπερχειού (Χ.Θ. 18+000 έως 26+800). Συγκεκριμένα στην περιοχή μετά τη Χ.Θ. 19+600 περίπου, του τμήματος αυτού. Στο αντικείμενο περιλαμβάνονται εκτός από τα επιχώματα του αυτοκινητοδρόμου και τα υψηλά επιχώματα των κλάδων του κόμβου Ανθήλης, στην περιοχή από τη Χ.Θ. 26+050 έως τη Χ.Θ. 26+300 του αυτοκινητοδρόμου. Αναφέρονται οι γεωτεχνικές συνθήκες του υπεδάφους της περιοχής αλλά και τα μέτρα που ελήφθησαν για την αντιμετώπιση των προβλημάτων έδρασης των επιχωμάτων. Στη φωτογραφία του Σχήματος 3.1 που ακολουθεί σημειώνονται με κόκκινη γραμμή το προαναφερθέν τμήμα καθώς και μια ακόμα θέση στην οποία σημειώθηκε αστοχία, η οποία αναλύεται στα επόμενα κεφάλαια.



Σχήμα 3.1 Η περιοχή του έργου



### 3.1. Γεωτεχνικές συνθήκες υπεδάφους της περιοχής

Σε όλη την έκταση της εξεταζόμενης περιοχής τα επιχώματα του αυτοκινητοδρόμου και των κλάδων του κόμβου Ανθήλης εδράζονται σε πρόσφατες αποθέσεις του Δέλτα του π. Σπερχειού, με μεγάλο πάχος, που ξεπερνά τα 60m το οποίο είναι το μέγιστο βάθος των γεωτρήσεων και σύμφωνα με τις αναφορές, μεγαλύτερο των 200m.

Πρόκειται για εναλλαγές κυρίως αργιλικών και ιλυωδών στρώσεων, και σε μικρότερη έκταση και πάχος αμμοϊλυωδών στρώσεων ή παρεμβολών. Ανεξάρτητα από τη σύστασή τους, χαρακτηρίζονται από πτωχά φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά και είναι κατά κανόνα κανονικά στερεοποιημένες, με χαμηλή αντοχή και υψηλή συμπιεστότητα.

Παρά τη διαφοροποίηση που παρατηρείται ως προς τη σύσταση και το πάχος των διαφόρων στρώσεων, σε γενικές γραμμές η στρωματογραφία του εδάφους από τη Χ.Θ. 20+200 έως το τέλος του έργου εμφανίζει με το βάθος τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

i. Φυτική γη, τεχνητές επιχώσεις και επιφανειακό μανδύα, με περιεκτικότητα σε άμμο και σποραδικά χαλίκια, συνολικού πάχους μικρότερο από 0,5 - 1,0m

ii. Στη συνέχεια και έως βάθος της τάξης των 4,7m, το έδαφος χαρακτηρίζεται από καστανό έως καστανότεφρο χρώμα, πολύ χαμηλή αντοχή και ιλυώδη κυρίως σύσταση. Νοτίως του π. Σπερχειού έχει περισσότερο αμμοϊλυώδη σύσταση, ενώ προς το τέλος του έργου στην περιοχή του κόμβου Ανθήλης, περισσότερο αργιλική σύσταση.

iii. Σε μεγαλύτερο βάθος έως 12,15m περίπου, το έδαφος εμφανίζει καλύτερα χαρακτηριστικά, με κυρίαρχη παρουσία στρώσης στιφρής αργίλου, στις περισσότερες θέσεις, καθώς και αμμωδών στρώσεων, μέσης πυκνότητας.

iv. Ακολουθούν σε μεγαλύτερο βάθος στρώσεις τεφρής έως πρασινότεφρης, κανονικά στερεοποιημένης αργίλου και ιλύος, με αμμοϊλυώδεις παρεμβολές, υψηλή συμπιεστότητα και αντοχή αυξανόμενη

γενικά με το βάθος. Με τοπικές διαφοροποιήσεις από θέση σε θέση, σε βάθος μεταξύ 20m και 30m - 35m κυριαρχούν γενικά οι ιλυώδεις στρώσεις, με υψηλότερη περιεκτικότητα σε άμμο, ενώ σε βάθος μικρότερο των 20m και μεγαλύτερο των 30m - 40m, ανάλογα με τη θέση, οι αργιλικές στρώσεις.

Έντονες διαφοροποιήσεις εντοπίζονται:

- Στην περιοχή του π. Σπερχειού και σε ζώνες εύρους περίπου 200m εκατέρωθεν της κοίτης, όπου απαντώνται επιφανειακά αμμοχαλικώδεις αποθέσεις της κοίτης, πάχους 5,7m.

- Στην περιοχή της διάβασης προς Δαμάστα έως τη Χ.Θ. 20+200, στα όρια της πεδινής περιοχής, οι χαλαρές αποθέσεις έχουν περιορισμένο πάχος, της τάξης των 15 - 20m, με πολύ εντονότερη παρουσία στρώσεων χαλαρής άμμου - αμμοϊλύος.

Όλη η περιοχή χαρακτηρίζεται από υψηλή στάθμη υπογείων υδάτων, με στάθμη υδροφόρου ορίζοντα ελαφρώς χαμηλότερα (0,0 - 1,5m) από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ σε περιπτώσεις πλημμυρών κατά τη χειμερινή περίοδο η στάθμη ανέρχεται πάνω από την επιφάνεια.

Στην περιοχή της Κ/Δ προς Δαμάστα, διαπιστώθηκε ύπαρξη ορίζοντα με αρτεσιανή πίεση, στο κατώτερο τμήμα των δελταϊκών αποθέσεων, προς την επαφή του με τους υποκείμενους αμμοχαλικώδεις σχηματισμούς.

Τέλος επισημαίνεται ότι η περιοχή χαρακτηρίζεται από υψηλή σεισμικότητα και η εδαφοδυναμική μελέτη που εκπονήθηκε, υπέδειξε αφενός υψηλές επιταχύνσεις στην εδαφική επιφάνεια, αφετέρου την παρουσία κατά θέσεις χαλαρών αμμωδών και αμμοϊλυωδών στρώσεων, που υπόκεινται σε απώλεια της αντοχής τους και ρευστοποίηση.

### 3.2. Σχεδιασμός επιχωμάτων βάσει των γεωτεχνικών συνθηκών

#### 3.2.1. Πιθανά προβλήματα

Σε όλη την έκταση της υπό μελέτη περιοχής εμφανίζονται χαλαροί συμπιεστοί σχηματισμοί σε μεγάλα βάθη, με δυνατότητα ρευστοποίησης

κατά θέσεις, οι οποίοι, σε συνδυασμό με τα μεγάλα ύψη και τις μεγάλες διαστάσεις των επιχωμάτων που προβλέπεται να κατασκευαστούν, δημιουργούν σοβαρά προβλήματα, που μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

1. Ευστάθειας των επιχωμάτων σε στατική και σεισμική καταπόνηση, τόσο στη φάση κατασκευής όσο και στη φάση λειτουργίας.

2. Καθιζήσεων των επιχωμάτων σε στατική και μετά από σεισμική καταπόνηση.

Με βάση τα γεωτεχνικά, εδαφοδυναμικά και τα γεωμετρικά στοιχεία γίνεται διαχωρισμός του έργου σε επιμέρους τμήματα. Σε κάθε εξεταζόμενη θέση, προσδιορίζεται κατ' αρχήν το πρόβλημα που αντιμετωπίζεται ως εξής: Πρώτον, εξετάζεται η ευστάθεια των επιχωμάτων σε στατική και σεισμική καταπόνηση, ανάλογα με την τελική γεωμετρία τους σύμφωνα με τις εδαφικές συνθήκες και δεύτερον, εκτιμώνται οι αναμενόμενες καθιζήσεις, καθώς και η χρονική εξέλιξή τους, ούτως ώστε να προσδιοριστούν οι καθιζήσεις που αναμένονται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του έργου.

### 3.2.2. Προτεινόμενες κατασκευαστικές λύσεις

Στην περίπτωση που δεν ικανοποιούνται τα απαιτούμενα κριτήρια ευστάθειας ή καθιζήσεων, αναφέρονται και συνιστώνται σε δεύτερο στάδιο οι λύσεις οι οποίες θα εξασφαλίζουν την ευστάθεια, τη λειτουργικότητα και τέλος την οικονομία των έργων. Οι λύσεις αυτές περιλαμβάνουν την εφαρμογή έργων βελτίωσης ή ενίσχυσης υπεδάφους για την αντιμετώπιση της ευστάθειας σε στατική φόρτιση, σε σεισμική φόρτιση ή και για τις δύο περιπτώσεις, καθώς και προβλήματα καθιζήσεων (λειτουργικότητα).

Ενδεικτικά αναφέρονται:

- α. Σταδιακή κατασκευή των επιχώσεων.
- β. Εφαρμογή προφόρτισης – επιφόρτισης.
- γ. Κατασκευή σταθεροποιητικών αναβαθμών.
- δ. Τοποθέτηση πλαστικών στραγγιστηρίων .

- ε. Τοποθέτηση γεωυφασμάτων.
- στ. Κατασκευή χαλικοπασσάλων.
- ζ. Συνδυασμός των παραπάνω μέτρων.

Με βάση τα παραπάνω γίνεται η εφαρμογή των μέτρων αλλά και ο συνδυασμός των οποίων, όπως επιλέχτηκαν για την λειτουργικότητα του έργου. Στην περίπτωση αυτή πραγματοποιήθηκε αριθμητική εφαρμογή για ένα επίχωμα το οποίο θεωρήθηκε αντιπροσωπευτικό, πανομοιότυπο με τα άλλα, για όλη την περιοχή με ίδια στρωματογραφία υπεδάφους όπως παρουσιάζεται στον κατωτέρω πίνακα.

Μετά την αρχική επιλογή των κατάλληλων μέτρων, ακολουθεί ο λεπτομερής σχεδιασμός και διαστασιολόγηση των μέτρων αντιμετώπισης, ο οποίος θα περιλαμβάνει ακριβείς εκτιμήσεις της χρονικής εξέλιξης καθιζήσεων και βελτίωσης αντοχής υπεδάφους, υπολογισμούς ευστάθειας και καθιζήσεων σε διάφορες θέσεις και κατασκευαστικά σχέδια για τα προτεινόμενα μέτρα (Π.χ. κάρναβο εφαρμογής και βάθος πλαστικών στραγγιστηρίων ή χαλικοπασσάλων, απαιτούμενη προφόρτιση κτλ.), με την απαραίτητη προμέτρηση και κοστολόγηση. Ο τελικός σχεδιασμός οφείλει επίσης να περιλαμβάνει προτάσεις σχετικά με τον έλεγχο της ποιότητας κατασκευής και τον έλεγχο της συμπεριφοράς των προτεινόμενων λύσεων.

### 3.3. Αναλυτική παρουσίαση σχεδιασμού του έργου

#### **3.3.1. Διαχωρισμός του έργου σε επιμέρους τμήματα**

*Με βάση τις γεωτεχνικές συνθήκες που διαπιστώθηκαν, αλλά και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του έργου, για τη μελέτη έδρασης των επιχωμάτων γίνεται διαχωρισμός σε εννέα κυρίως τμήματα (Α,Θ) και σε επιμέρους υποτμήματα, όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:*

**Πίνακας 3.1 Χαρακτηριστικά επιμέρους τμήματα του έργου**

Τμήμα:	Χ.Θ.		Ύψος επιχώματος (m)		Παρατηρήσεις:
	Από	Έως	Max	Min	
A1	19+550	19+780	7,0	5,0	Λόγω εγκάρσιων κλίσεων του εδάφους του επιχώματος μεταβάλλεται κατά πλάτος της διατομής. Το μέγιστο ύψος αναφέρεται στο δεξί (καπάντη) άκρος επιχώματος.
A2	19+780	19+900	4,0	1,0	
B1	19+900	20+080	7,5	6,5	Διαμορφώνεται νέο επίχωμα σε τμήμα της διατομής.
B2	20+080	20+200	7,5	6,5	
Γ1	20+200	20+350	6,5	5,0	
Γ2	20+350	20+450	5,0	4,0	
Δ1	20+450	20+660	4,0	3,6	Άξονας σε κυμαινόμενη απόσταση από Ε.Ο.
Δ2	20+660	21+080	5,0	4,0	Επέκταση επιχώματος μόνο δεξιά του υφισταμένου.
Δ3	21+080	21+250	5,0	4,0	Διαπλάτυνση, επέκταση επιχώματος και αριστερά του υφισταμένου.
E	21+250	21+600	5,8	4,0	Από Χ.Θ. 21+435 έως Χ.Θ. 21+525 γέφυρα π. Σπερχειού.
ΣΤ1	21+600	22+260	5,5	4,0	
ΣΤ2	22+260	22+880	4,0	3,5	
Z1	24+180	24+600	4,7	4,0	Επέκταση επιχώματος μόνο δεξιά του υφισταμένου.
Z2	24+400	24+600	4,7	4,0	Διαπλάτυνση, επέκταση επιχώματος και αριστερά του υφισταμένου.
Z3	25+600	26+100	1,0	1,0	
H1	26+100	26+800	4,2	4,0	
H2	26+218	26+238	4,2	4,0	Περιοχή θεμελίωσης της γεφύρας Άνω διάβαση κόμβου Ανθήλης
Θ			9,5	4,0	Επιχώματα κλάδων κόμβου Ανθήλης

Από τη αναφορά εξαιρείται το τμήμα του αυτοκινητοδρόμου από τη Χ.Θ. 22+880 έως τη Χ.Θ. 24+180, το οποίο αποτελεί αντικείμενο μελέτης της

*ΕΡΓΑ ΟΣΕ, καθώς είναι το τμήμα της διάβασης της σιδηροδρομικής γραμμής Αθήνα – Θεσσαλονίκη. Στις υποκείμενες στρώσεις της μαλακής αργίλου, αμμοχαλικώδεις αποθέσεις δεν αναμένονται αστοχίες, ενώ οι καθιζήσεις στις στρώσεις αυτές, για τα επιχώματα του αυτοκινητοδρόμου, ύψους έως 7m, θα είναι μικρές και θα συντελεστούν σύντομα.*

### *3.3.2. Α' Τμήμα Επιχωμάτων ( Χ.Θ. 19+550 έως Χ.Θ. 19+900)*

*Τα επιχώματα του τμήματος αυτού εδράζονται σε επικλινές έδαφος εκ' των οποίων το μεγαλύτερο μέρος επιχωμάτων εδράζεται σε συνεκτικούς σχηματισμούς υψηλής αντοχής με κλίση πρανών επιχωμάτων (υ:β) 2/3 και μέγιστο ύψος  $H = 7 \text{ m}$  που λόγω εγκάρσιων κλίσεων του εδάφους μεταβάλλεται κατά πλάτος της διατομής.*

*Σύμφωνα με την αναφορά το φαινόμενο ειδικό βάρος των επιχωμάτων κυμαίνεται  $26,5 \text{ KN} / \text{m}^3$  όπου το θραυστό υλικό συλλέχτηκε από το λατομείο Προοδευτικής Α.Τ.Ε. που βρίσκεται στην περιοχή Θερμοπυλών. Το ξηρό συμπυκνωθέν ειδικό βάρος κυμαίνεται  $25 \text{ KN} / \text{m}^3$  και ισχύει για όλα τα επιχώματα του έργου.*

*Τα επιχώματα εδράζονται σε υψηλά υψόμετρα στα οποία η στρωματογραφία προσεγγίζει τις αναφορές του ανωτέρω πίνακα με χαρακτηριστικό πλεονέκτημα, το μεγαλύτερο μέρος της διατομής να εδράζεται σε υψηλής αντοχής αμμοχαλικώδεις σχηματισμούς (πλευρικών κορημάτων) στα οποία δεν αναμένονται ιδιαίτερα προβλήματα.*

*Ακολούθως μετά την Χ.Θ. 19 + 780 τα επιχώματα λόγω χαμηλών υψομέτρων χάραξης της ερυθράς γραμμής διέρχονται μεταξύ δύο διαδοχικών φυσικών πρανών, όπου μετά την αναφερθείσα Χ.Θ. διαπιστώθηκε η ύπαρξη επιφανειακής μαλακής, καστανότεφρης έως μελανότεφρης αμμώδους αργίλου με σποραδικά χαλίκια μέγιστου πάχους μικρότερο από 3,5 m από την επιφάνεια φυσικού εδάφους.*

*Σε μεγαλύτερο πάχος συναντώνται πλευρικά κορήματα, αμμοχαλικώδους κυρίως σύστασης με ικανοποιητική αντοχή χαμάλης συμπιεστότητας, σε αντίθεση, το πάχος των χαλαρών αποθέσεων αυξάνεται κατάντη της περιοχής έδρασης των επιχωμάτων.*

*Το πρόβλημα του τμήματος αυτού των επιχωμάτων δεν είναι τόσο ανησυχητικό, ελέγχθηκε η ευστάθεια του τελικού επιχώματος το οποίο εδράζεται εξολοκλήρου σε ικανοποιητικής αντοχής εδαφικούς σχηματισμούς με χαλαρές αποθέσεις να συναντώνται στο πόδα του επιχώματος. Από τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν προκύπτει ικανοποιητική συμπεριφορά του επιχώματος τόσο σε στατική όσο και σε σεισμική έδραση.*

*Επίσης ελέγχθηκε η ευστάθεια του επιχώματος στην περιοχή που συναντώνται οι στρώσεις μαλακής αργίλου σε όλο το πλάτος έδρασης του επιχώματος σύμφωνα με τα διατιθέμενα γεωλογικά στοιχεία.*

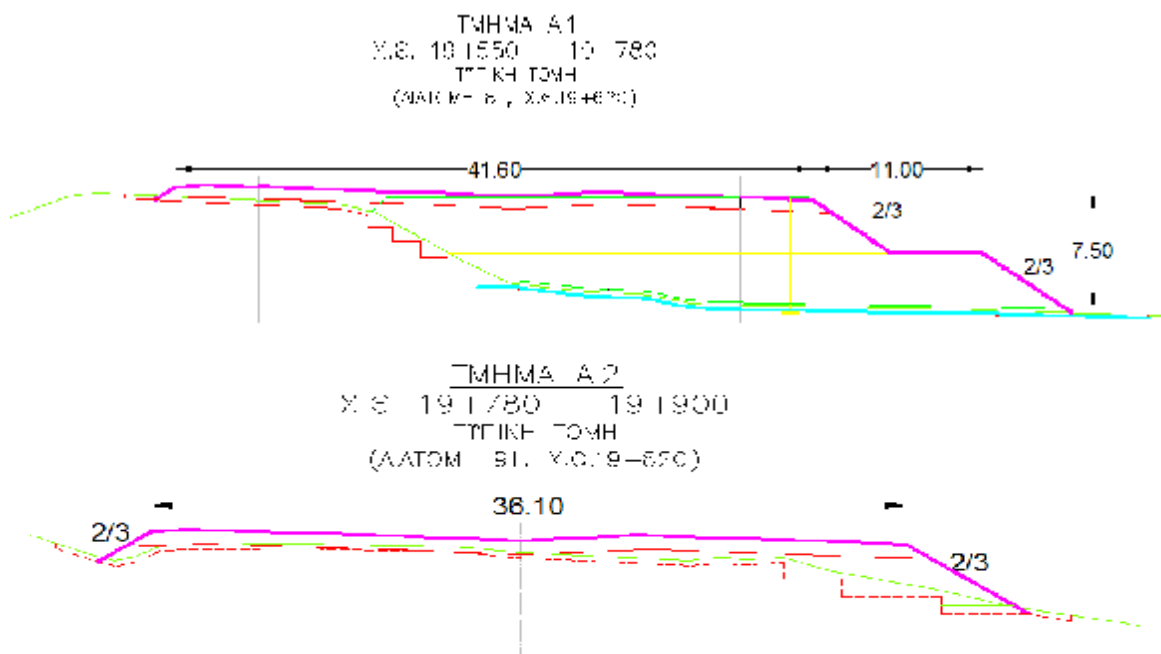
*Από τις αναλύσεις που έγιναν συμπεραίνεται ότι, σε περίπτωση που δεν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα αναμένεται αστοχία ποδός επιχώματος κατά την φάση της κατασκευής, συγκεκριμένα αναμένεται ολίσθηση της ανώτερης μαλακής αργιλικής στρώσης. Επίσης παρατηρήθηκαν μεγάλες παραμορφώσεις κατά την φάση της λειτουργίας της κατασκευής, όπου οι συντελεστές ασφαλείας είναι οριακά αποδεκτά.*

*Έπειτα, υπολογίστηκε, η συνολική καθίζηση στο μέσο του επιχώματος και η εξέλιξη της στερεοποίησης της υποκείμενης αργιλικής στρώσης, η οποία ανέρχεται της τάξεως 20 cm, με χρονικό διάστημα στερεοποίησης 6 μηνών. Εκτιμάται ότι μετά την στράγγιση υπάρχει βελτίωση της αντοχής της υποκείμενης μαλακής αργιλικής στρώσης.*

*Όσον αφορά για την αστοχία ποδός του επιχώματος, αντιμετωπίστηκε, αφαιρώντας την μαλακή στρώση σε όλο το πάχος της οποίας, αντικαταστάθηκε με πάχος 0,5 m εξυγιαντικής στρώσης από αδρανή υλικά ξηρού ειδικού βάρους 24,5 KN/ m<sup>3</sup> που λήφθηκαν, επίσης από το λατομείο Προοδευτικής Α.Τ.Ε. Παράλληλα υλοποιήθηκε η σταδιακή*

κατασκευή σταθεροποιητικών αναβαθμών στους οποίους κρίθηκε κατάλληλα, η αγκύρωση τους.

Για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των καθιζήσεων και την επίτευξη της στερεοποίησης στο επιθυμητό χρονικό διάστημα των 6 μηνών εφαρμόστηκε προφόρτιση στο επίχωμα για 3 μήνες με ύψος  $H = 4 \text{ m}$  και εν τέλει  $H = 7 \text{ m}$  μετά τους 3 μήνες χρόνος επιφόρτισης, σαν το τελικό ύψος των επιχωμάτων του αναφερθέν τμήματος. Λόγω των παραπάνω προβλημάτων, όπως αναφέρεται, η κλίση των πρανών των επιχωμάτων εκλέχθηκε ( $\nu:\beta$ ) 2/3 ως η βέλτιστη ισχυρή κλίση σύμφωνα με όσα λεχθήκαν για την αντιμετώπισης αστοχία ποδός του επιχώματος. Το αναφερθέν επίχωμα απεικονίζεται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2 Τοπικές διατομές Α' Τμήματος επιχωμάτων

### 3.3.3. Β' Τμήμα Επιχωμάτων (Χ.Θ. 19+900 έως Χ.Θ. 20+200)

Η έδραση των επιχωμάτων σε αυτό το τμήμα της οδού γίνεται στα χαλαρά εδάφη της πεδινής περιοχής του Δέλτα π. Σπερχειού. Λόγω των



αποθέσεων του Δέλτα π. Σπερχειού αναμένονται να υπάρξουν προβλήματα στη κατασκευή των επιχωμάτων.

Μετά την Χ.Θ. 20 + 080 κατασκευάζεται νέο επίχωμα συνολικού ύψους  $H = 7,4 \text{ m}$  στο σύνολο της διατομής το οποίο εδράζεται εξολοκλήρου σε χαλαρές δελταϊκές αποθέσεις που στην περιοχή έχουν σημαντικό πάχος 15 – 20 cm. Για τέτοια πάχη στρώσεων δεν προκλήθηκε καμιά ανησυχία στο αναφερθέν υποτιμήμα, όπου στην εξεταζόμενη περιοχή οι μαλακές αποθέσεις χαρακτηρίζονται από περισσότερο αμμώδη – αμμοίλυδα σύστασης σε σχέση με το υπόλοιπο τμήμα του έργου.

Η διαφοροποίηση αυτή, όπως και το περιορισμένο πάχος των χαλαρών στρώσεων δημιουργεί πλεονεκτήματα στην κατασκευή έργου λόγω ευμενέστερων συνθηκών στερεοποίησης που λαμβάνει χώρα σε μεγάλες ικανοποιητικές ταχύτητες. Αλλά προκύπτουν σοβαρότατα προβλήματα, έναντι ρευστοποίησης του εδάφους λόγω της ύπαρξης της αναφερθείσας υποκείμενης αμμώδους – αμμοίλυδους στρώσης και του χαμηλού επιπέδου του φρεατίου, υδροφόρου ορίζοντα που βρίσκεται σε βάθος 12m από την επιφάνεια του φυσικού εδάφους, όπου προκαλεί υψηλές επιταχύνσεις γαιών στην επιφάνεια των εδραζόμενων επιχωμάτων του αναφερόμενου τμήματος, η νέα εντατική κατάσταση προέρχεται από την ενίσχυση του σεισμικού κραδασμού.

Λογικότερα αναμενόταν η αντίδραση αυτή, εφόσον στο προηγούμενο τμήμα όπως αναφερθήκαμε βρισκόταν σε υψηλότερα υψόμετρα που συνήθως παρατηρείται μικρότερη επιτάχυνση των γαιών.

Με αυτά τα προβλήματα υπάρχουν, σύμφωνα με τις αναφορές, ο κίνδυνος αστοχία του επιχώματος στην φάση της κατασκευής με κύκλους ολίσθησης που διέρχονται από την ανώτερη μαλακή στρώση και από τις βαθύτερες αργιλικές στρώσεις οι οποίες βρίσκονται σε μεγαλύτερο βάθος της τάξεως των 15m από την γραμμή του φυσικού εδάφους.

Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενος, υπάρχει μεγάλος κίνδυνος αστοχίας έναντι σεισμικής έδρασης, βάση αυτού, υπολογίστηκε η εξέλιξη της κατακόρυφης στερεοποίησης και το μέγεθος των μετακατασκευαστικών υποχωρήσεων για διάστημα προφορτίσεως 1 έτους που στη συνέχεια θα έχει απορριφτεί με την εφαρμογή των κατάλληλων μέτρων. Επίσης πραγματοποιήθηκε η εκτίμηση της αντοχής των υποκείμενων στρώσεων που κυμαίνεται 10-15 Kpa και το μέγεθος της συνολικής καθίζησης που κυμαίνεται της τάξεως 25 cm που προέρχεται από της βαθύτερες αργιλικές στρώσεις.

Για την αντιμετώπιση όσων αναφέρθηκαν, σε αυτό το τμήμα επιχωμάτων, λήφθηκαν τα κατάλληλα μέτρα, όπου προκύπτει η ανάγκη ισχυρών μέτρων βελτίωσης του υπεδάφους για την καλύτερη, ευμενέστερη έδραση των επιχωμάτων.

Όπως κρίθηκε συνήθη μέτρα προφορτίσης με επιφόρτιση και πλαστικά κατακόρυφα στραγγιστήρια δεν ήταν αποτελεσματικά, καθώς με αυτά δεν επιτυγχάνονται η βελτίωση της αντοχής. Επίσης η έμπηξη κατακόρυφων πλαστικών στραγγιστηρίων ήταν αδύνατη λόγω της ύπαρξης χαλίκων. Μη αποτελεσματική μέθοδος για την επίτευξη της στράγγισης στο προβλεπόμενο χρονικό διάστημα αποτελούσε και η δυναμική συμπύκνωση λόγω του μεγάλου βάθους που βρισκόντουσαν οι αργιλικές στρώσεις.

Λύση στο πρόβλημα έδωσε η εφαρμογή χαλικοπασάλλων, που όπως κρίθηκε, η βέλτιστη διάμετρος των οποίων είναι 80 cm σε τετραγωνικό κάναβο 2,5 m και έδραση στην υποκείμενη αμμοχαλικόδη στρώση πλευρικών κορημάτων βάθους 15 – 20 m σε συνδυασμό προφόρτισης. Με την εφαρμογή των χαλικοπάσαλλων επιτυγχάνεται αφενός η αύξηση της μηχανικής αντοχής αλλά και των ιδιοτήτων των υποκείμενων αργιλικών στρώσεων, αφετέρου ταχύτερη στράγγιση πραγματοποιείται με πλεονέκτημα αποτόνωσης των υδατικών υπερπιέσεων και περιορισμού του ενδεχομένου ρευστοποίησης εδάφους.

Επίσης εκτιμήθηκε η μέγιστη συγκέντρωση τάσεων στους χαλικοπασάλλους ώστε με την κατάλληλη διάμετρο 80 cm να υποχώρηση μαζί με τις υποκείμενες αργιλικές στρώσεις, όπου οι καθιζήσεις εκτιμήθηκαν της τάξεως των 30cm με βέλτιστο χρόνο στερεοποίησης 6 μηνών, όπως και στο προηγούμενο 1<sup>ο</sup> τμήματος επιχωμάτων της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας.

Στο υφιστάμενο τμήμα ο συντελεστής ασφαλείας των επιχωμάτων, εκτιμείται,  $SFs = 3,5$

Σύμφωνα με τις αναφορές η παρουσία των χαλίκων, άμμου και ασβεστολιθικών κροκάλων σε βάθος 15m – 20m, πιθανότατα μπορεί να διεισδύσουν μέσα στους χαλικοπασάλλους τουλάχιστον 50cm στην πιο δυσμενέστερη περίπτωση, οι οποίοι, εδράζονται σε όλο το πλάτος του κατώτερου ισχυρού υποβάθρου. Οι χαλικοπασάλλοι θα είναι επενδυμένοι, εσωτερικός με λεπτόκοκκο αδρανές υλικό 30 cm από την εσωτερική επιφάνεια των οποίων θα εμποδίζει την διείσδυση.

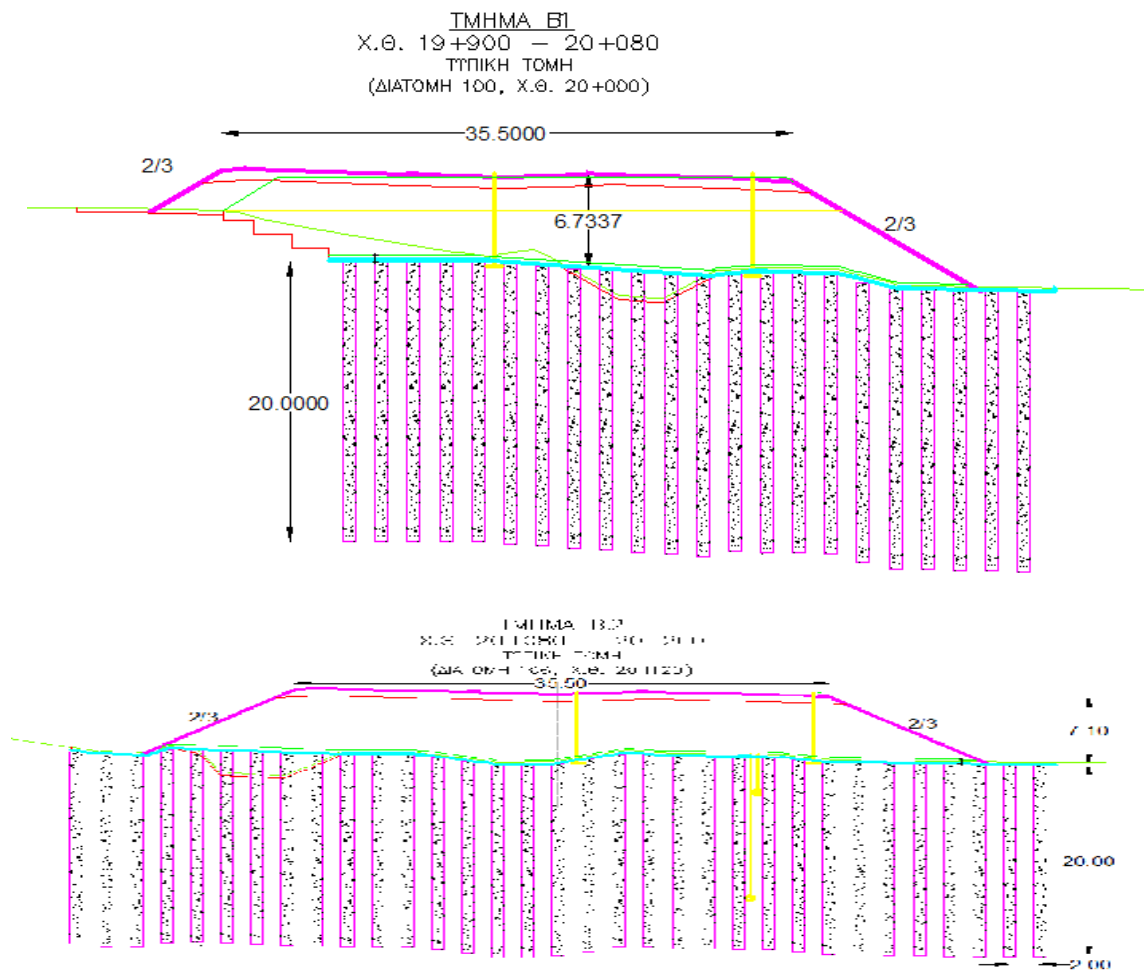
Το δεύτερο μέτρο που λήφθηκε υπόψη και εφαρμόστηκε ήταν η αφαίρεση της του φυσικού εδάφους κατά 30cm και αναλόγως όπως κυμαίνεται το πάχος των φυτικών στρώσεων οι οποίες εμποδίζουν την έξοδο του ύδατος που συντελεί στη στράγγιση των υποκείμενων αργιλικών στρώσεων.

Στο εκσκαφθέν τμήμα κρίθηκε κατάλληλο όπως και στο προηγούμενο τμήμα επιχωμάτων να τοποθετηθεί εξυγιαντική στρώση ξηρού ειδικού βάρους 24,5 KN/m<sup>3</sup> πάχους 50cm στις κεφαλές των χαλικοπασάλλων.

Γεώφρασμα διαχωρισμού τοποθετήθηκε σε όλο το πλάτος έδρασης του επιχώματος μεταξύ στρώσης στράγγισης και φυσικού εδάφους για την προστασία της στρώσης στράγγισης από την διείσδυση των λεπτόκοκκων υλικών.

Τέλος εκλέχθηκαν οι διαστάσεις του επιχώματος όπως προέκυψε από τις αναλύσεις σε δυναμική και σεισμική έδραση, οι οποίες έχουν σαν μέγιστο

ύψος επιχώματος  $H = 7,4m$  με βέλτιστη ισχυρή κλίση  $2/3$ , με σταδιακή κατασκευή προφόρτισης ύψους  $H = 5m$  και με χρονικό διάστημα παραμονής 3 μηνών για την αύξηση της αντοχής της πρώτης στρώσης υποκείμενης στρώσης, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 3.3, όπου το πλάτος στέψης είναι ίσο με  $b = 35,5 m$ , έχοντας ξηρό συμπυκνωμένο ειδικό βάρος επιχώματος  $\gamma = 25 KN/m^3$



Σχήμα 3.3 Τοπικές διατομές Β' Τμήματος επιχωμάτων

### 3.3.4. Γ' Τμήμα Επιχωμάτων ( Χ.Θ. 20+200 εώς Χ.Θ. 20 +450)

Στο σύνολο του τμήματος αυτού ο αυτοκινητόδρομος κατασκευάζεται σε νέο επίχωμα που εδράζεται στα χαλαρά εδάφη της πεδινής περιοχής π. Σπερχειού.

Το ύψος του επιχώματος λόγω της διαφοροποίησης της γραμμής του φυσικού εδάφους από το προηγούμενο αναφερθέν 2<sup>ο</sup> τμήματος επιχωμάτων, ανέρχεται σε ύψος  $H = 6,5m$  με ξηρό ειδικό βάρος  $25 \text{ KN/m}^3$  και σταδιακά μειώνεται προς το τέλος του επιχώματος σε ύψος  $H = 4m$ . Το πλάτος της στέψης του επιχώματος διατηρείται σταθερό  $35,5m$  όπως και στο προηγούμενο τμήμα, ενώ στο τέλος διαφοροποιείται στα  $35m$  με κλίση πρανών επιχωμάτων ( $\nu:\beta$ )  $2/3$  σε όλο το μήκος του τμήματος αυτού.

Εφόσον η χάραξη της οδού συνεχίζεται στην πεδινή περιοχή του Δέλτα π. Σπερχειού, οι γεωτεχνικές συνθήκες εμφανίζουν, σε σχέση, με το προηγούμενο τμήμα κάποιες διαφορές.

Καθώς το ισχυρό υπόβαθρο βυθίζεται απότομα στα όρια της πεδινής περιοχής το πάχος των υποκείμενων, πρόσφατων μαλακών δελτοϊκών αποθέσεων αυξάνεται. Η αύξηση του βάθους των υποκείμενων στρώσεων είχε επιρροή στα έργα που προβλεπόντουσαν να εφαρμοστούν.

Οι χαλαρές αποθέσεις που κυριαρχούσαν στο προηγούμενο τμήμα, έως βάθους  $12-15m$ , και υπόκεινταν σε ρευστοποίηση και απώλειας αντοχής των στρώσεων σε περίπτωση σεισμικής έδρασης, στο υφιστάμενο τμήμα έχουν περιορισμένο πάχος.

Όπως αναφερθήκαμε προηγουμένως, το ισχυρό υπόβαθρο βυθίζεται στα όρια της πεδινής περιοχής, παράλληλα βυθίζεται και ο φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας, όπου το βάθος του οποίου, συναντάται στα  $30m$  από την φυσική επιφάνεια του εδάφους.

Με την καινούργια διάταξη της στρωματογραφίας, μειωμένο πάχος αμμοίλυδων συμπιεστών στρώσεων και μεγάλο βάθος της φρεάτια γραμμής, οι συνθήκες ευστάθειας του υφισταμένου τμήματος των επιχωμάτων αυξάνονται, σε σχέση, με το προηγούμενο τμήμα με περιορισμένη δυναμικότητα.

Οι καθιζήσεις στο αναφερόμενο τμήμα επιχωμάτων αναμενόντουσαν σε μειωμένο αριθμό απ' ότι παρουσιαζόντουσαν στο προηγούμενο τμήμα με

βραδύτερο χρόνο στερεοποίησης λόγω των βαθύτερο αργιλικών στρώσεων που παρουσιάζονται στη νέα στραματογραφία.

Το κυρίως πρόβλημα που συναντήθηκε και αντιμετωπίστηκε με κατάλληλα τεχνικά έργα βελτίωσης, ήταν οι μεγάλες διαστάσεις του επιχώματος που κατένεμαν μεγάλες τάσεις λόγω φορτίου μέσα στο μαλακό συμπιεστό αμμοίλυδη – αργιλώδη έδαφος, πτωχής αντοχής, όπου υπήρξε φόβος έναντι μικρής αστοχίας.

Οι φόβοι από αστοχία του επιχώματος προερχόντουσαν, κυρίως, από τις επερχόμενες σεισμικές εδράσεις παρότι η παρουσία περιορισμένων παχών μαλακών συμπιεστών εδαφών ήταν μικρή, που σε συνδυασμό με το μεγάλο βάθος της αναφερθέν στραματογραφίας θα έδιναν οδυνηρά αποτελέσματα στην έδραση των επιχωμάτων του υφιστάμενου τμήματος.

Επομένως η λύση των προβλημάτων στο τμήμα αυτό ήταν η ενίσχυση του υπεδάφους με την εφαρμογή πασσαλότοιχων οι οποίοι αποτελούνταν από τσιμέντο – ασβέστη σε αναλογίες 50 – 50 αναμιγμένοι την ίδια στιγμή μέσα στο έδαφος. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται βαθιά ανάμιξη (*deep mixing*), πρόκειται για μέθοδο ενίσχυσης, αντοχής του εδάφους όταν αυτό δεν συνοδεύεται από τα ανωτέρω αναφερθέν προβλήματα δηλαδή την παρουσία υδροφόρου ορίζοντα κοντά στην φυσική επιφάνεια του εδάφους και τα μεγάλα πάχη μαλακών συμπιεστών εδαφών, για την υφιστάμενη περίπτωση, η μέθοδος ήταν εφαρμόσιμη σύμφωνα με τις γεωτεχνικές συνθήκες που επικρατούσαν.

Για λόγους ασφαλείας, στην έδραση των επιχωμάτων σε χαλαρά συμπιεστά εδάφη η διάμετρος των πασσαλότοιχων με βαθιά ανάμιξη είναι 80cm όπως και των χαλικοπασάλλων που παρατηρήθηκαν στο προηγούμενο τμήμα. Γενικά σε αυτό ο τμήμα αντικατέστησαν τους χαλικοπασάλλους με πασσαλότοιχους στους οποίους κρίθηκε ότι είναι περισσότερο χρήσιμη για την βελτίωση των υποκείμενων στρώσεων. Ο λόγος για τον οποίο δεν εφαρμόστηκαν χαλικοπασάλλοι στο υφιστάμενο τμήμα ήταν ο βραδύτερος

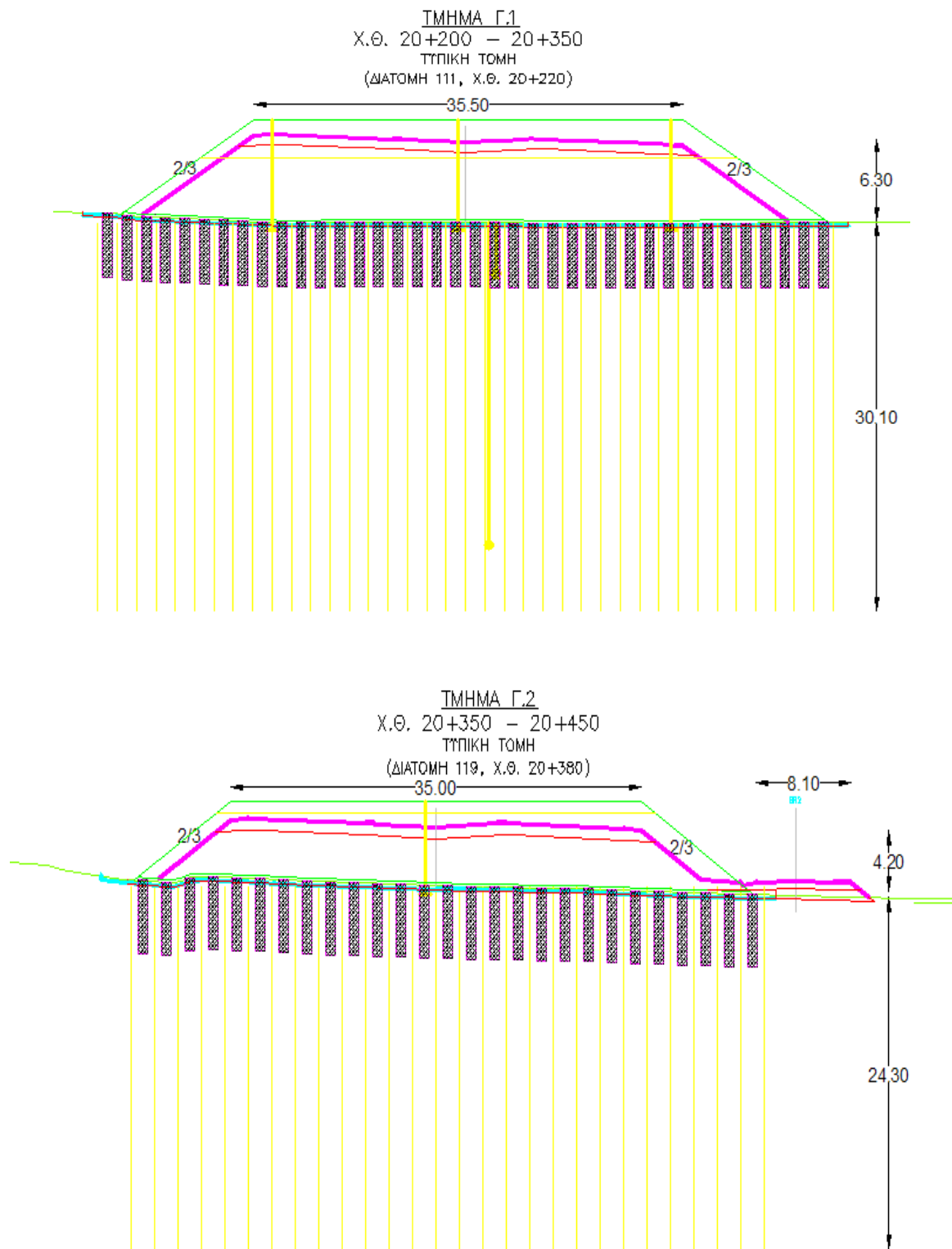
χρόνος στερεοποίησης όπως αναφερθήκαμε και πιο πάνω, η παρουσία των συμπιεστών αργιλικών εδαφών και συγκεκριμένα συμπιεστών αμμοϊλυαδών στρώσεων με την οποιαδήποτε εφαρμογή χαλικοπασάλλων θα αποτελούσαν σκόπιμη και μη αποδοτική λύση.

Η λύση της βελτίωσης των υποκείμενων εδαφικών στρώσεων μέσω βαθιάς ανάμειξης (deep mixing) πλεονέκτη σε θέμα κόστους και όπως λήφθηκε η αναλογία 50 - 50 τσιμέντου – ασβέστη μειώνει ακόμα περισσότερο το κόστος κατασκευής των πασσαλότοιχων.

Επίσης αξίζει να αναφερθεί η βελτίωση αντοχής του εδάφους με την εφαρμογή της μεθόδου βαθιάς ανάμειξης σε αναλογία 50 – 50 τσιμέντου ασβέστη ειδικού βάρους  $\gamma = 1\text{KN/m}^3$  ανερχόταν από 15 Κρα στην τελική τιμή αντοχής της τάξεως 150 Κρα σε βάθος 5m.

Οι στήλες χαλικοπασάλλων με βαθιά ανάμειξη παρουσιάζονται σε τετραγωνικό κάναβο με πλευρά 2m. Στην συνέχεια ακλούθησαν τα ίδια βήματα κατασκευής όπως εφαρμόστηκαν και στο προηγούμενο τμήμα των επιχωμάτων. Αφαίρεση του φυσικού εδάφους 30cm εκσκαφής λόγω ύπαρξης φυτικής γης και αντικατάσταση με εξυγιαντική στρώση 50 cm που συμβάλει στην ομοιομορφή έδραση επιχώματος.

Επίσης κρίθηκε αναγκαίο η τοποθέτηση κατακόρυφων πλαστικών στραγγιστηριών μήκους 30cm σε κάναβο πλευράς 1,6m σε όλη την επιφάνεια έδρασης του υφιστάμενου επιχώματος για την επιτάχυνση της στερεοποίησης που προέρχεται από τις μετά - κατασκευαστικές υποχωρήσεις όπως θα υποδείκνυαν οι μάρτυρες καθίζησης, το μέγιστο βάθος έμπηξης των κατακόρυφων πλαστικών στραγγιστηριών ήταν 30m από την φυσική γραμμή του εδάφους που θα λειτουργούν αποτελεσματικά σε συνδυασμό επιβολής προφορτίσεως σε ύψος  $H = 8\text{m}$ , δυο μετρά μεγαλύτερο από το κατασκευαστικό για 3 – 4 μήνες. Το υπόψη τμήμα παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.4 Τυπικές διατομές Γ' Τμήματος επιχωμάτων

Ο συνδυασμός αυτός κατακόρυφων πλαστικών στραγγιστηρίων και εφαρμογής επιφόρτισης έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη της στερεοποίησης



των χαλαρών συμπιεστών αργιλικών στρώσεων στο επιθυμητό χρονικό διάστημα των 6 μηνών όπως και στα προηγούμενα τμήματα με ίδιες τιμές καθίζησης της τάξεως 15 – 20 cm.

Τέλος εφαρμόστηκε επένδυση από γεώφασμα μεταξύ εξυγιαντικής στρώσης και επιφάνειας έδρασης επιχώματος ούτως ώστε να εμποδιστή η διείδυση των λεπτόκοκκων υλικών. Το ξηρό ειδικό βάρος επιχώματος – εξυγιαντικής στρώσης είναι ίδιο με τα προηγούμενα τμήματα επιχωμάτων No1 – No2  $\gamma = 25 \text{ KN} / \text{m}^3$ , με τα ίδια αδρανή υλικά που εξορύσσονται από το λατομείο Προοδευτικής Α.Τ.Ε.

### 3.3.5. Δ' Τμήμα Επιχωμάτων (Χ.Θ. 20 + 450 εώς Χ.Θ. 21 + 250)

Όπως προβλέπεται, οι διαστάσεις των επιχωμάτων του τμήματος αυτού αλλά και των προηγούμενων τμημάτων παραμένουν σταθερές με πλάτος στέψης  $b = 35\text{m}$  και κλίση πρανών επιχωμάτων ( $\nu:\beta$ ) 2/3, υπάρχει μια μικρή επαναφορά πλάτους στέψης  $b = 35,5 \text{ m}$  μετά την Χ.Θ. 20 + 760 εώς 21 + 080.

Στο Σχήμα 3.5 παρουσιάζονται μερικά από τα επιχώματα, τα οποία εξελίσσουν σταδιακή διαπλάτυνση του δεξιού κλάδου στην Χ.Θ. 21 + 160 εκ των οποίων το ξηρό ειδικό βάρος παραμένει το ίδιο  $\gamma = 25 \text{ KN}/\text{m}^3$  όπου λήφθηκε από το λατομείο Προοδευτικής Α.Τ.Ε. όπως και στα προηγούμενα τμήματα.

Το εξεταζόμενο τμήμα βρίσκεται στην πεδινή περιοχή, πλησίον της κοίτης του π. Σπερχειού όπου συναντήθηκαν μεγάλα πάχη χαμηλής αντοχής και υψηλής συμπιεστότητας δελταϊκές αποθέσεις που δημιούργησαν δυσμενής συνθήκες σχετικά με την έδραση, την ευστάθεια και την λειτουργία των επιχωμάτων.

Επιπλέον η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται στην επιφάνεια του φυσικού εδάφους. Ενώ σε περίπτωση πλημμύρας η ευρύτερη

περιοχή της κοιλάδας του π Σπερχειού κατακλύζεται και η στάθμη των υδάτων ανέρχεται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους.

Στο υφιστάμενο τμήμα εκτιμήθηκαν υψηλές σεισμικές επιταχύνσεις που δημιουργούν προσθετά προβλήματα σχετικά με την ευστάθεια των επιχωμάτων. Επίσης υπάρχει κίνδυνος ρευστοποίησης των μαλακών αμμοϊλυωδών στρώσεων που παρουσιάζεται σε βάθος 0 – 3,5 m.

Το υπόψη τμήμα έχει κάποιες διαφοροποιήσεις σε σχέση με το προηγούμενο. Παρατηρούνται βελτιωμένα χαρακτηριστικά στις υποκείμενες εδαφικές στρώσεις όπως υψηλότερη αντοχή με μειωμένο κίνδυνο αστοχίας, υψηλότερη πυκνότητα των βαθύτερων αμμοιδών στρώσεων με μειωμένο κίνδυνο ρευστοποίησης, χαμηλότερη συμπιεστότητα των βαθύτερων αμμοιδών στρώσεων λόγω της υπερπίεσης των πόρων του εδάφους από τα παρόντα ύδατα του υδροφόρου ορίζοντα με περιορισμό των καθιζήσεων. Το σημαντικότερο μειονέκτημα που παρουσιάζεται στο υφιστάμενο τμήμα, όπως αναφερθήκαμε προηγούμενος είναι η δυσμενέστερη σεισμική δράση και η υψηλές ενεργές επιταχύνσεις που μπορούν να παρουσιαστούν να εμφανιστούν στην πεδινή περιοχή της κοίτης του π Σπερχειού.

Η λύση των αναφερθέν ανωτέρω προβλημάτων του υπόψη τμήματος προήλθε με την εφαρμογή μικρών τεχνικών έργων, ευκολότερα, σε σχέση με το προηγούμενα τμήματα.

Το βέλτιστο ύψος επιχώματος χωρίς την παρουσία μέτρων αποστράγγισης των υποκείμενων στρώσεων εκτιμήθηκε  $H = 5m$  ενώ για μεγαλύτερα ύψη  $H = 7,5m$  προϋποθέτουν συνθήκες στράγγισης της πρώτης χαλαρής αμμοϊλυώδης στρώσης πάχους 3,5m. Έτσι κρίθηκε κατάλληλη η εφαρμογή κατασκευής πασαλλότοιχων οι οποίοι θα συντελούσαν στην ενίσχυση του εδάφους με την μέθοδο βαθιάς ανάμειξης (*deep mixing*) όπως εφαρμόστηκε στο προηγούμενο τμήμα επιχωμάτων, οι πασαλλότοιχοι έχουν διάμετρο 80cm σε κάναβο πλευράς 1,6m μεγίστου βάθους 30m από την φυσική επιφάνεια του εδάφους, όπου παρατηρείται φέρουσα ικανότητα 150

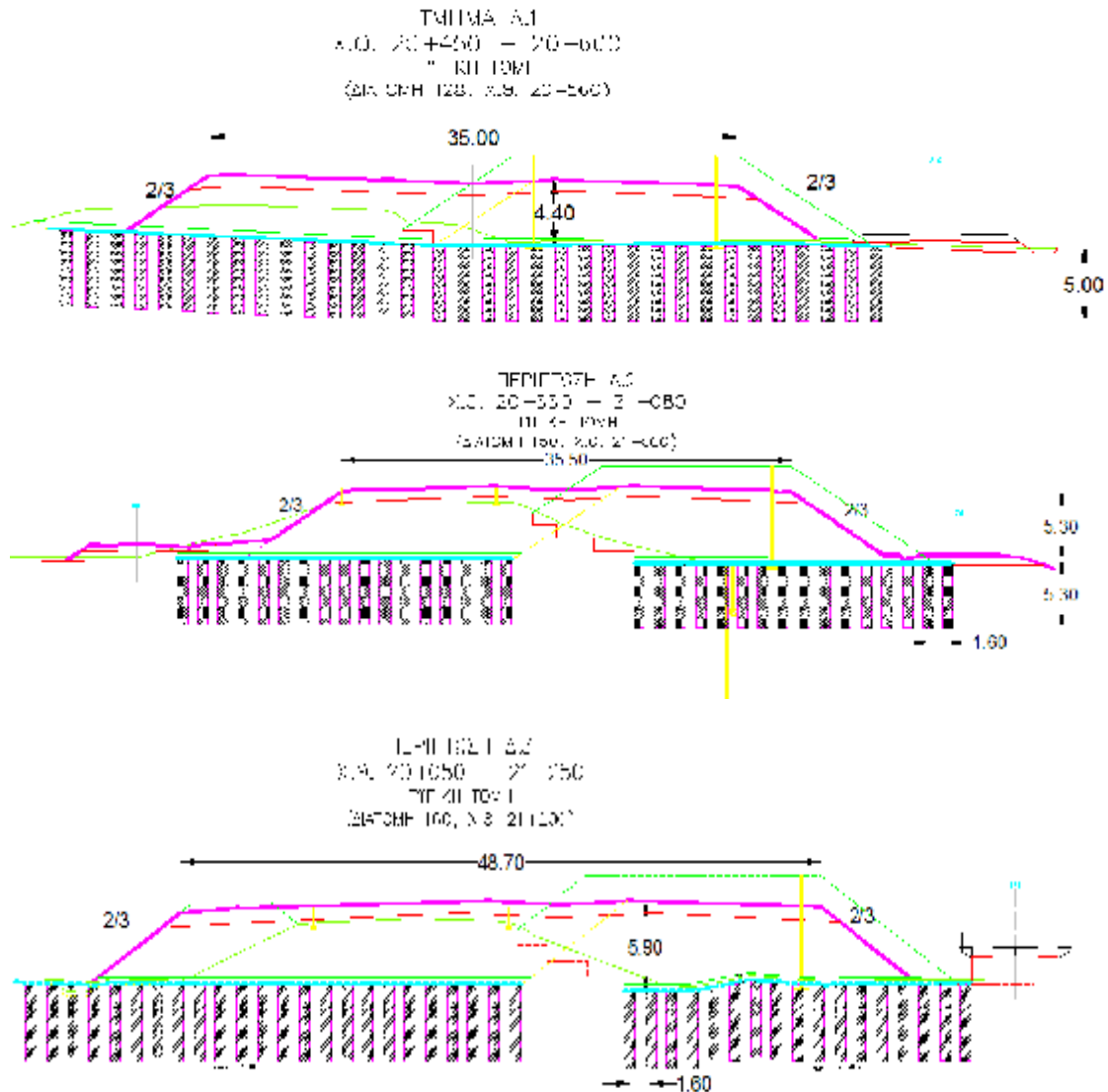
*Κρα σε αντίθεση με μετρικό έδαφος που παρουσιάζει αντοχή 15 Κρα. Η λύση της εφαρμογής βαθιάς ανάμειξης ήταν αναγκαία λόγω του μεγάλου βάθους των υποκείμενων στρώσεων.*

*Η διαμόρφωση αναβαθμών αποτελεί μια σημαντική καινοτομία στο παρόν τμήμα αλλά και στο έργο, ο σκοπός που εφαρμόστηκε κατασκευή αναβαθμών ύψους 1m, στο δεξιό τμήμα, ήταν για την επερχόμενη αγκύρωση των οποίων θα έδιναν λύση στο πρόβλημα της ευστάθειας των επιχωμάτων στις δυσμενέστερες συνθήκες έναντι σεισμικής έδρασης που θα αναπτύσσονταν απειλητικά στη περιοχή.*

*Οι συνολικές καθιζήσεις των βαθύτερων αργιλικών στρώσεων εκτιμήθηκαν της τάξεως 15 – 20 cm με χρόνο στερεοποίησης 12 μηνών, χρόνος που θεωρήθηκε εκτός χρονοδιαγράμματος του έργου. Και πάλι σε αυτό το πρόβλημα βρέθηκε λύση, η εφαρμογή προφόρτισης – επιφόρτισης μείωσε το χρόνο στερεοποίησης στο επιθυμητό αποτέλεσμα των 6 μηνών όπως και στα προηγούμενα τμήματα επιχωμάτων.*

*Αλλά στο υφιστάμενο τμήμα υπάρχει μια μικρή διαφορά από τα άλλα τμήματα, δεν υλοποιήθηκε η κατασκευή των χαλικοπασάλλων, λόγω της αδυναμίας τους να στερεοποιήσουν τα πλημμυριζόμενα αργιλικά εδάφη από τα ύδατα της κοίτης του π Σπερχειού, αλλά ούτε η έμπηξή πλαστικών κατακόρυφων στραγγιστηρίων λόγω της ύπαρξης χαλίκων και κροκαλών μέσα στις υποκείμενες στρώσεις, εν τέλη, παρατηρήθηκε ότι με τα δύο ανωτέρω αναφερθέν μετρά δεν παρουσιαζόταν βελτίωση της αντοχής των υποκείμενων στρώσεων.*

*Αναμενόταν βελτίωση, μόνο, με την εφαρμογή προφόρτισης – επιφόρτισης συνολικού ύψους  $H = 9m$  για 3 – 4 μήνες, ενώ ακολούθως στους επόμενους μήνες θα διαμορφωνόταν το τελικό ύψος επιχώματος  $H = 7,5m$  όπου οι βαθύτερες αργιλικές στρώσεις τύγγαναν στερεοποίησης στο επιθυμητό χρονικό διάστημα παρουσίας στρώση στράγγισης.*



Σχήμα 3.5 Τυπικές διατομές Δ' Τμήματος επιχωμάτων

Επαναλήφθηκαν τα ίδια βήματα που υλοποίησης της κατασκευής των επιχωμάτων του υπόψη τμήματος όπως και στα προηγούμενα, αφαίρεση φυτικής γης με εκσκαφής 30cm και αντικατάσταση της με εξυγιαντική στρώση ξηρού ειδικού βάρους 50cm για την ομοιόμορφη έδραση των επιχωμάτων, η οποία συνοδεύεται με στρώση στράγγισης, όπου θα συντέλεση στη υλοποίηση της στερεοποίησης στο επιθυμητό χρονικό διάστημα, όπως αναφέρθηκε πιο πάνω.

Ο συντελεστής ασφαλείας λόγω της ανωτέρω αναφερθέν νέας κατάστασης της στρωματογραφίας λήφθηκε  $SFs = 1,38$  σύμφωνα με τις

αναφορές εξέτασης των επιχωμάτων της συγκεκριμένης περιοχής και τέλος το υφιστάμενο τμήμα αποτελεί ίσος το οικονομικότερο απ' όλα τα τμήματα που αναφέρονται στη παρούσα Πτυχιακή Εργασία εφόσον εφαρμόστηκαν μικρά τεχνικά έργα σε αντίθεση με τα άλλα τμήματα.

### 3.3.6. Ε' Τμήμα επιχωμάτων (Χ.Θ. 21+250 εώς Χ.Θ. 21+600)

Στο εξεταζόμενο τμήμα επιχωμάτων της κατασκευασθείσας οδού, βρίσκεται εκατέρωθεν της κοίτης του π Σπερχειού και αποτελούν προσβάσεις στην γέφυρα του ποταμού. Γεωτεχνικά το τμήμα αυτό διαφοροποιείται από τα υπόλοιπα λόγω της ύπαρξης αμμοχαλίκωδων αποθέσεων της κοίτης πάχους της τάξεως των 5,7m.

Η γέφυρα του π Σπερχειού προβλεπόταν να έχει μήκος 90m όπου κατασκευάστηκε στην Χ.Θ. 21+435 έως Χ.Θ. 21+525 του αυτοκινητοδρόμου.

Όπως και στα προηγούμενα τμήματα, τα επιχώματα στο εξεταζόμενο τμήματα, έχουν πλάτος στέψης  $b = 35,5m$  και τελικού ύψους 4 – 5,8 m ξηρού ειδικού βάρους  $\gamma = 25KN/m^3$  συνολικού μήκους 260m με βέλτιστη κλίση πρανών ( $\nu:\beta$ ) 2/3 όπως κρίθηκε κατάλληλη σύμφωνα με τις παρακάτω εκτιμήσεις.

Τα υφιστάμενα γεωλογικά στοιχεία της εξεταζόμενης περιοχής, η ύπαρξη μεγάλου πάχους, χαμηλής αντοχής και υψηλής συμπιεστότητας αποθέσεις της κοίτης πάχους 5,7m αλλά και η παρουσία αμμοχαλικάδης στρώσης δημιουργεί ευμενέστερες συνθήκες σε σχέση με τα υπόλοιπα τμήματα επιχωμάτων του έργου, καθώς περιορίζεται ο κίνδυνος αστοχίας, το μέγεθος των συνολικών υποχωρήσεων και επιτυγχάνεται ο ρυθμός στερεοποίησης.

Όπως και στα προηγούμενα τμήματα, παρόμοιος, και σε αυτό το τμήμα υπήρξε κίνδυνος ρευστοποίησης του εδάφους σε περίπτωση σεισμού. Επίσης το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται σχεδόν στην επιφάνεια

του φυσικού εδάφους και σε περίπτωση πλημμύρας η ευρύτερη περιοχή κατακλύζεται από τα ύδατα, όπως και στο προηγούμενο τμήμα επιχωμάτων.

Τα προβλήματα έδρασης επιχωμάτων, όπως αναφέρεται και στην αρχή, είναι παρόμοια με τα προηγούμενα προβλήματα του 4<sup>ου</sup> τμήματος επιχωμάτων, έτσι, η λύση των οποίων αναμένονταν σχεδόν με την ίδια αντιμετώπιση, δηλαδή εφαρμόστηκαν μικρά τεχνικά έργα που συντέλεσαν υπέρ της έδρασης των επιχωμάτων του υπόψη τμήματος.

Η διαμόρφωση αναβαθμών ύψους 1m και πλάτους 2,5m κατασκευάστηκαν για την αγκύρωση των επιχωμάτων στο δεξιό ανατολικό πρανές, συγκρατώντας ολόκληρο το επίχωμα σε ευστάθεια σε περίπτωση σεισμικής έδρασης, εφόσον και σε αυτό το τμήμα παρουσιάζονται υψηλές ενεργές επιταχύνσεις γαιών.

Εφαρμόστηκαν, όπως, και στα προηγούμενα τμήματα εκσκαφές για την αφαίρεση της φυτικής γης πάχους 30cm και αντικατάσταση της οποίας με εξυγιαντική – στραγγιστική στρώση πάχους 50cm που συμβάλει στην αποστράγγιση αλλά και στην ομοιόμορφη έδραση των επιχωμάτων του υπόψη τμήματος.

Κατασκευάστηκαν επιχώματα προφόρτισης, ως συνήθως, συνολικού ύψους  $H = 6,5m$  έως  $H = 7,8m$  με επιφόρτιση ύψους 2m πέραν του τελικού ύψους των επιχωμάτων που αφαιρέθηκε πέραν του διαστήματος προφόρτισης. Το ύψος προφόρτισης ανερχόταν στα  $H = 5m$  στους 3 πρώτους μήνες έναρξης της κατασκευής, η επιφόρτιση συμβάλει στη αποφυγή μεγάλων πλαστικών παραμορφώσεων και στον περιορισμό των μετακατασκευαστικών υποχωρήσεων και των δευτερογενών καθιζήσεων που εκτιμήθηκαν της τάξεως 7,14cm, σαφώς μικρότερες από το προηγούμενο τμήμα λόγω της ύπαρξης χαλίκων σε όλο το μέγεθος της υφιστάμενης στραματογραφίας που είναι πανομοιότυπη με την προηγούμενη.

Οι τελικές συνολικές καθιζήσεις εκτιμήθηκαν της τάξεως 20cm με χρόνο στερεοποίησης, χωρίς να ληφθούν μετρά αποστράγγισης, 12 μήνες

αφενός και βέλτιστο χρόνο στερεοποίησης, αφετέρου με την παρουσία έργων αποστράγγισης της τάξεως 6 μηνών όπως εφαρμόστηκε και στο προηγούμενο τμήμα.

Ο χρόνος παραμονής της επιφόρτισης σε αυτό το τμήμα επιχωμάτων για λόγους ασφαλείας κρίθηκε 12 μήνες χωρίς την χρήση χαλικοπασάλλων, πασσαλότοιχων και κατακόρυφων πλαστικών στραγγιστηρίων.

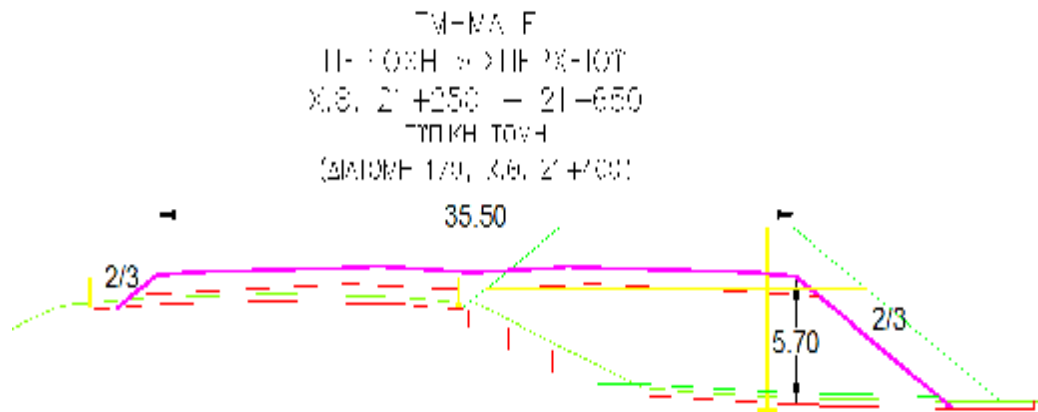
Όπως αντιλαμβανόμαστε, το προηγούμενο αλλά και το υπόψη τμήμα επιχωμάτων συγκαταλέγονται από τα οικονομικότερα τμήματα, από κατασκευαστικής άποψης, εφόσον υλοποιήθηκαν μικρής εμβέλειας κλασσικά τεχνικά έργα υπέρ της έδρασης.

Η ύπαρξη χαλίκων στο υπέδαφος ανεβάζει σε μικρό βαθμό την αντοχή των υποκείμενων στρώσεων αλλά καθιστά αδύνατη την έμπηξη των κατακόρυφων πλαστικών στραγγιστηρίων. Επίσης λόγω της ύπαρξης της φρεάτιας γραμμής στο επίπεδο του φυσικού εδάφους οι χαλικοπασάλλοι αλλά και τα κατακόρυφα πλαστικά αδυνατούν να στραγγίσουν της υποκείμενες κορεσμένες αργιλικές στρώσεις.

Η σημαντικότερη διαφορά που απεικονίζεται στο υφιστάμενο τμήμα σε σχέση με το προηγούμενο ήταν το ασυμπίεστο έδαφος που ώθησε τους μελετητές και κατασκευαστές να εφαρμόσουν πασσαλότοιχους για την ενίσχυση της αντοχής του εδάφους με τη μέθοδο της βαθιάς ανάμειξης (*deep mixing*), σε αυτό το τμήμα η παρουσία συμπιεστών εδαφών απομάκρυνε από τα σχέδια την εφαρμογή της μεθόδου βαθιάς ανάμειξης (*deep mixing*) έχοντας πλεονέκτημα έναντι οικονομίας.

Επομένως η λύση της προφορτίσεως – επιφορτίσεως όπως αναφέρεται και πιο πάνω, κάθειρξη της οποίας, σε μεγάλο χρονικό διάστημα της τάξεως 12 μηνών λύνει τα προβλήματα στερεοποίησης που συναντήθηκαν στο υπόψη τμήμα, όπου με συνδυασμός, μόνο με την εξυγιαντική – στραγγιστική στρώση επιτυγχάνεται ο επιθυμητός χρόνος στερεοποίησης της τάξεως των 6 μηνών.

Το παρόν τμήμα επιχωμάτων παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.6, με διαφοροποιήσεις, όπως αναφέρεται ανωτέρω, χωρίς την παρουσία χαλικοπασάλλων, πασσαλότοιχων και κατακόρυφων πλαστικών στραγγιστηρίων.



Σχήμα 3.6 Τυπικές διατομές Ε' Τμήματος επιχωμάτων

### 3.3.7. ΣΤ' Τμήμα επιχωμάτων (Χ.Θ. 21+600 έως Χ.Θ. 22+880)

Μετά την περιοχή της κοίτης Χ.Θ. 21+600 και έως τη αρχή της πρόσβασης στη σιδηροδρομικής γραμμής Χ.Θ. 22+880 τα επιχώματα του εξεταζομένου τμήματος έχουν ξηρό ειδικό βάρος  $\gamma = 25\text{KN/m}^3$  πλάτος στέψης  $b = 35\text{m}$  με τελική κλίση πρανών ( $\nu:\beta$ ) 2/3 και μέγιστο ύψος επιχώματος  $H=5\text{m}$ .

Στην εξεταζόμενη περιοχή συναντώνται, όπως και στην ευρύτερη περιοχή μεγάλου πάχους, χαμηλής αντοχής και υψηλής συμπίεστότητας δελταϊκές αποθέσεις. Οι συνθήκες της στραματογραφίας διαμορφώνονται σε σχέση με το προηγούμενο τμήμα, με την απουσία της αμμοχαλικόδους στρώσεως και την ύπαρξη, ως συνήθως, βαθιών υποκείμενων αργιλοϊλυάδων στρώσεων που δημιουργούν, ιδιαίτερα για τα υψηλά επιχώματα δυσμενής συνθήκες ευστάθειας.

Η στάθμη του υπόγειου ορίζοντα βρίσκεται και σε αυτό το τμήμα επιχωμάτων σχεδόν στην επιφάνεια του φυσικού εδάφους. Σε περίπτωση



πλημμύρας, όπως προβλέφθηκε, η περιοχή κατακλύζεται και η στάθμη των υδάτων ανέρχεται πάνω από τη επιφάνεια του εδάφους.

Το βασικότερο πρόβλημα, του υπόψη τμήματος, εντοπίστηκε στη βαθιά υποκείμενη αργιλώδη στρώση όπου εκτιμήθηκε ο κίνδυνος έναντι ρευστοποίησης, σε περίπτωση ισχυρής σεισμικής έδρασης, με υψηλές επιταχύνσεις γαιών εφόσον είναι πολύ χαλαρή παρά το υψηλό ποσοστό λεπτόκοκκων συστατικών, δεν εμφανίζει πλαστικότητα.

Το μεγάλο πάχος των αργιλικών στρώσεων, εμφανίζεται, σαν δευτερεύων πρόβλημα που έχει ως αποτέλεσμα το σημαντικό μέγεθος της βραδείας εξέλιξης των υποχωρήσεων με κρίσιμη ολίσθηση των ανωτέρω στρώσεων.

Λόγω της ομοιόμορφης στραματογραφίας οι καθιζήσεις εκτιμήθηκαν 35cm στο μέσο της διατομής με τεράστιο χρόνο στερεοποίησης και σύμφωνα με τις αναφορές υπαρχή σοβαρότατος κίνδυνος έναντι αστοχίας του επιχώματος λόγω των πιο πάνω αναφερθέν προβλημάτων με συντελεστή ασφαλείας  $SFs < 1$ , η οποία προκύπτει από ισχυρή σεισμική έδραση.

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στο μεγάλο κύκλο ολίσθησης που προβλέφθηκε, της τάξεως 7m μέσα στο υποκείμενο αργιλικό έδαφος, που σε αυτή τη περίπτωση εξήχθησαν οι λύσεις για την αποφυγή της αναφερθέν βαθιάς αστοχίας.

Σχεδιάστηκε η διαμόρφωση αναβαθμών αγκύρωσης ύψους της τάξης 1m και πλάτους 2,5m στο δεξιό ανατολικό πρανάς του επιχώματος ώστε να αποφευκτεί η οποιαδήποτε, παρουσιασθείσα, μικρή αστοχία που μπορεί να προκληθεί λόγω σεισμικής έδρασης.

Ενισχύθηκε το έδαφος με την χρήση πασαλλότοιχων διαμέτρου 80cm, σε βάθος της τάξεως 7m σε όλο το πλάτος της έδρασης των υφισταμένων επιχωμάτων με κάναβο πλευράς 2m χρησιμοποιώντας την μέθοδο βαθιάς ανάμειξης (deep mixing) σε αναλογίες τσιμέντου – ασβέστη, 50 – 50

αντίστοιχος. Έτσι με την αναφερθέν μέθοδο, το υπόψη τμήμα βελτιώνει την αντοχή των υποκείμενων στρώσεων.

Ακολουθήθηκε πυγαία τακτική αντιμετώπισης των καθιζήσεων με κύριο προτέρημα την εφαρμογή και τοποθέτηση εξυγιαντικής – στραγγιστικής στρώσης πάχους 50cm ξηρού ειδικού βάρους  $\gamma = 25 \text{ KN/m}^3$  στο εκσκαφθέν τμήμα 30cm που υλοποιήθηκε για την αφαίρεση της υπάρχουσας φυτικής γης.

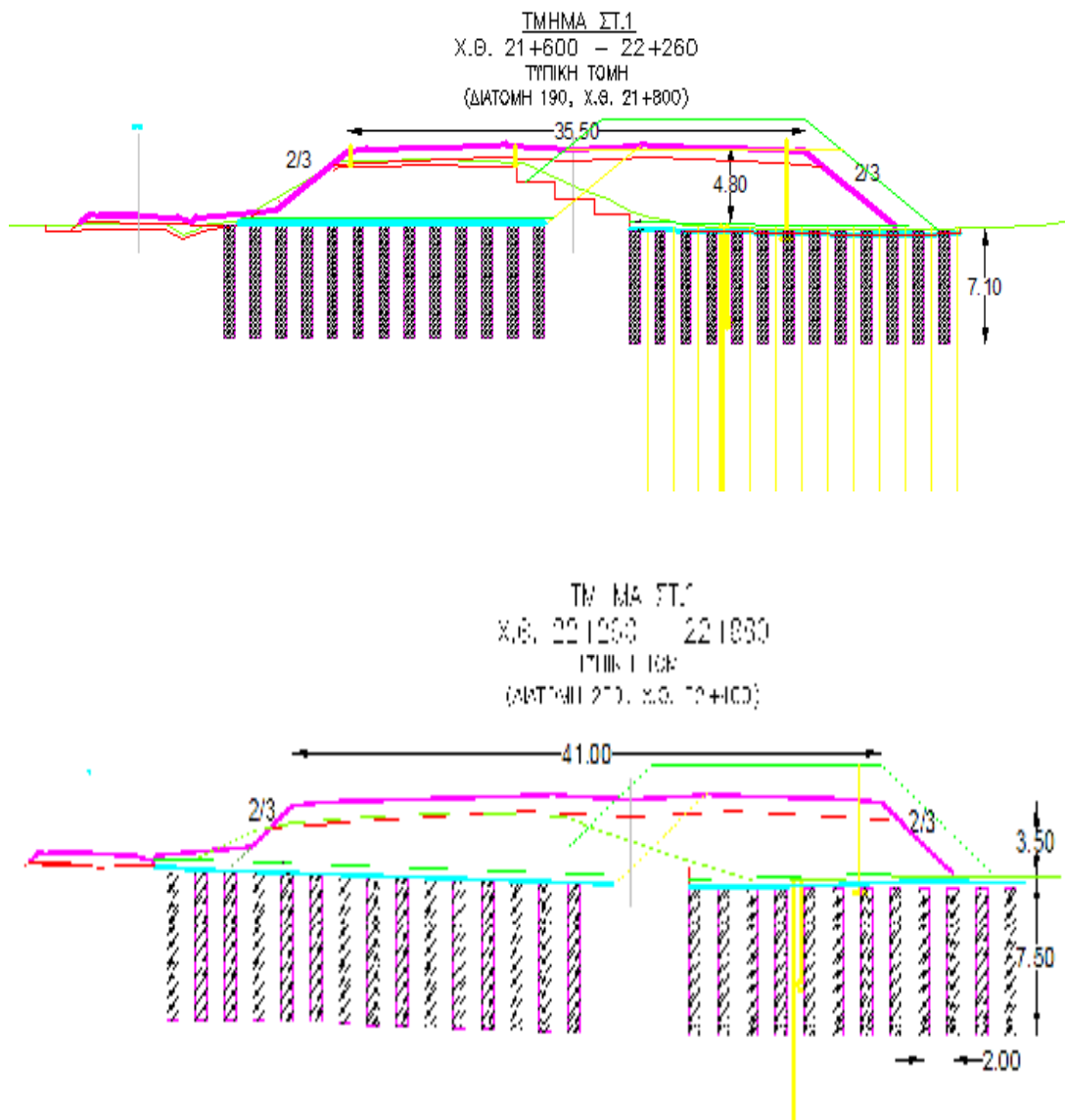
Όπως αναφέρθηκε η εξυγιαντική στρώση συντελεί στην ομοιόμορφη έδραση των επιχωμάτων αλλά με την στραγγιστική στρώση πραγματοποιείται η αποστράγγιση της κατωτέρω υπεδάφιας στρώσης, που με συνδυασμό, επιβολής προφορτίσεως, ύψους επιχώματος  $H=5\text{m}$  και επιφόρτισης, μεγαλύτερου από 5m ύψους επιχώματος, έχοντας μέγιστη διάρκεια παραμονής 12 μηνών όπως και στο προηγούμενο τμήμα.

Στο υφιστάμενο τμήμα υπάρχει μια διαφορά σε σχέση με το προηγούμενα τμήματα. Εδώ εφαρμόστηκε για πρώτη φορά η έμπηξη κατακόρυφων πλαστικών στραγγιστηρίων για την αντιμετώπιση της βραδείας στερεοποίησης που εξελίσσεται με γοργούς ρυθμούς, αντί της χρήσης, χαλικοπασάλλων διαμέτρου 80 cm που απαιτούν επίμονη εργασία για την κατασκευή τους. Κρίθηκαν κατάλληλα τα κατακόρυφα πλαστικά στραγγιστήρια διότι απουσίαζαν οι χάλικες και οι κροκάλες από τις υποκείμενες μαλακές στρώσεις, και ως, η οικονομικότερη λύση αποτέλεσε το καταλληλότερο μέτρο εφαρμογής σε μακροχρόνια προβλήματα στερεοποίησης, όπως του υφισταμένου τμήματος.

Τα κατακόρυφα πλαστικά στραγγιστήρια τοποθετήθηκαν σε κάναβο πλευράς 2m, μήκους 15m σε όλο το πλάτος έδρασης των επιχωμάτων που στη συνέχεια με την επιβολή προφόρτισης – επιφόρτισης, ο επιθυμητός χρόνος στερεοποίησης εξήλθε στους 6 μήνες όπως και στα προηγούμενα τμήματα. Επίσης αξίζει να αναφερθεί ότι η επιβολή της επιφορτίσεως δεν αποτελεί μέτρο, μόνο, έναντι της στερεοποίησης αλλά χρησιμοποιείται

συνήθως για το προσδιορισμό των μετακατασκευαστικών υποχωρήσεων, γενικός σε όλη τη ευρύτερη παροχή του κάμπου της Λαμίας.

Τέλος η επένδυση με γεωφάσματα μεταξύ επιχωμάτων και εξυγιαντικής – στραγγιστικής στρώσης συντέλεσε στη παρεμπόδιση της διεισδύσεως των λεπτόκοκκων υλικών από τις ανώτερες στρώσεις. Το υπόψη τμήμα απεικονίζεται στο Σχήμα 3.7 που ακολουθεί.



Σχήμα 3.7 Τυπικές διατομές ΣΤ Τμήματος επιχωμάτων

### 3.3.8. Ζ' Τμήμα επιχωμάτων (Χ.Θ. 24+180 έως Χ.Θ.26+100)

Μετά την Χ.Θ. 24+180 στο τέλος των επιχωμάτων πρόσβασης στη διάβαση της σιδηροδρομικής γραμμής και έως τη περιοχή του κόμβου Ανθήλης στη Χ.Θ. 26+100 ανυψώνονται τα επιχώματα του παρόντος τμήματος, μέγιστου ύψους  $H = 5m$  ξηρού ειδικού βάρους  $\gamma = 25 \text{ KN/m}^3$  με πλάτος στέφης  $35m$  και κλίση πρανών ( $\nu:\beta$ )  $2/3$

Στην εξεταζόμενη περιοχή συναντώνται, όπως και στην ευρύτερη περιοχή, μεγάλου πάχους χαμηλής αντοχής και υψηλής συμπίεστότητας δελτοϊκές αποθέσεις. Τα κυριότερα προβλήματα που ευθύνονται στην έδραση των επιχωμάτων εντοπίστηκαν στην αυξημένη παρουσία αργιλικών στρώσεων, που συντελούν στο μεγάλο μέγεθος και τη βραδεία εξέλιξη των καθιζήσεων, ενώ δημιουργούν δυσμενής συνθήκες ευστάθειας λόγω της χαμηλής αντοχής τους.

Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα ανέρχεται σχεδόν στη στάθμη του φυσικού εδάφους και σε οποιαδήποτε περίπτωση απορροής υδάτων, κατακλύζεται η ευρύτερη περιοχή με τη στάθμη των υπόγειων νερών ανέρχεται στην επιφάνεια του φυσικού εδάφους.

Όπως παρατηρείται τα προβλήματα σχεδόν αγγίζουν τις περιπτώσεις των προηγούμενων τμημάτων χωρίς κίνδυνο ρευστοποίησης εδάφους σε περίπτωση σεισμού. Λόγω όμως της δυσμενής στραμογραφίας εκτιμώνται υψηλές σεισμικές επιταχύνσεις που δημιουργούν προσθετά προβλήματα σχετικά με την έδραση και την ευστάθεια των επιχωμάτων.

Το μεγάλο πάχος των αργιλικών στρώσεων έχει ως αποτέλεσμα το σημαντικό μέγεθος της βραδείας εξέλιξης των καθιζήσεων με μεγάλους χρόνους στερεοποίησης. Από τις συγκεκριμένες αναφορές, οι εκτιμώμενες καθιζήσεις ανέρχονται της τάξεως  $30cm$  στο μέσο της διατομής, ενώ  $10cm$  οι μετα-κατασκευαστικές υποχωρήσεις. Το μεγάλο μέγεθος και η μεταβολή των εκτιμώμενων καθιζήσεων κατά πλάτος της διατομής, προκάλεσαν προβλήματα λειτουργίας του έργου στο υπόψη τμήμα.

*Εξαιτίας της εκτεταμένης παρουσίας αργιλικών στρώσεων, χαμηλής διαπερατότητας, η εξέλιξη της στερεοποίησης κατά το διάστημα της προφορτίσεως, κρίθηκε μη ικανοποιητική.*

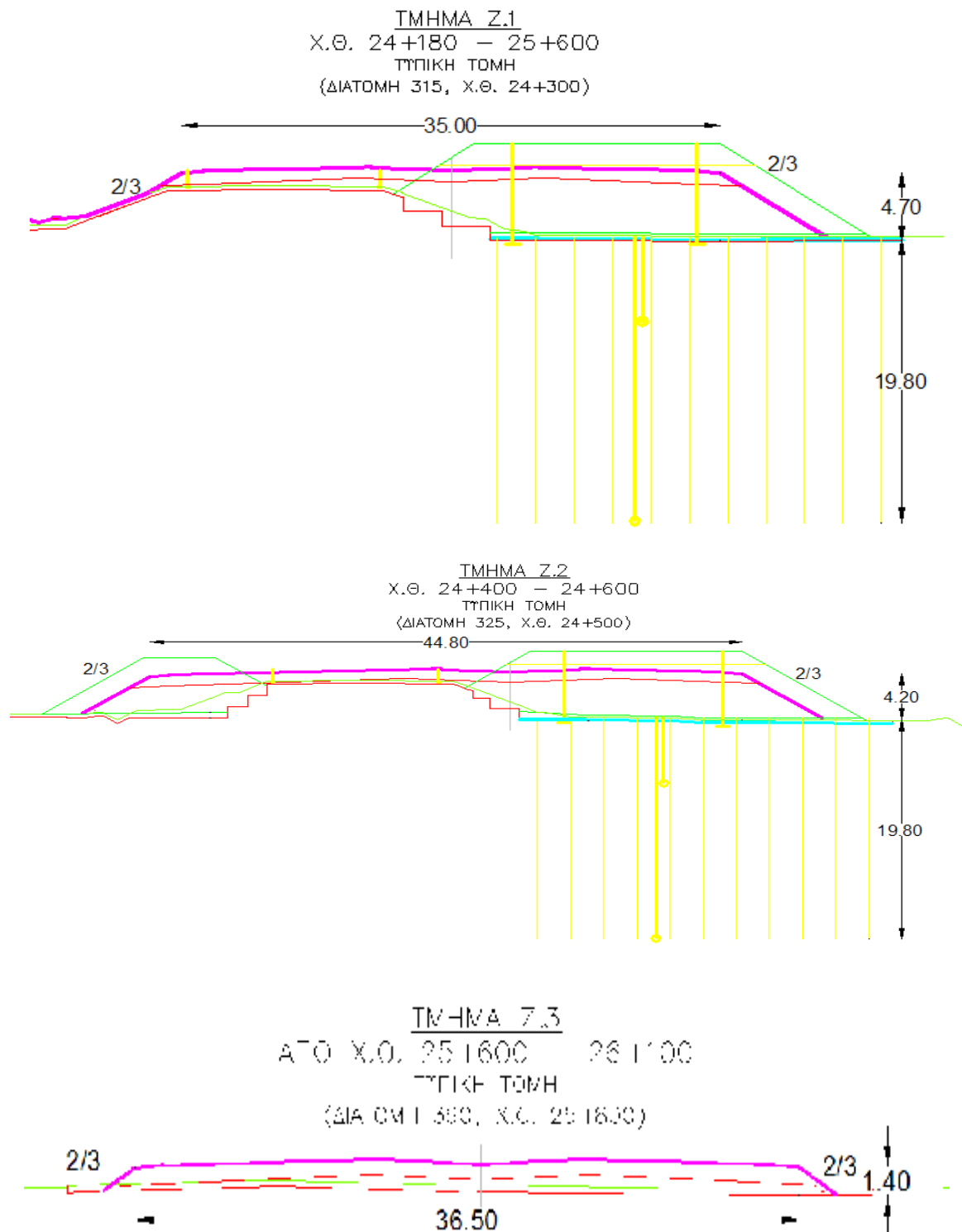
*Σε τέτοιες προβληματικές περιπτώσεις, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις, λήφθηκαν μέτρα επιφόρτισης, μόνο, με ύψος επιχώματος 2m πέραν του κατασκευαστικού ύψους  $H = 4,5m$  παρουσία κατακόρυφων πλαστικών στραγγιστηρίων σε κάναβο πλευράς 2m, μέγιστου μήκους 20m, εφόσον απουσιάζουν οι στρώσεις χαλίκων και κροκάλων.*

*Σημειώνεται επίσης, λόγω της επερχόμενης ισχυρής σεισμικής έδρασης, οι φόβοι για αστοχία εντός της ανώτερης στρώσης είναι οριακή. Ακόλουθος, παρόλο, όπως εκτιμήθηκε η παρουσία προφορτίσεως κρίθηκε μη ικανοποιητική για τα αποτελέσματα των εξελισσόμενων καθιζήσεων, εφαρμόστηκε η επιβολή προφορτίσεως – επιφορτίσεως με παράλληλη έμπηξη και λειτουργία πλαστικών κατακόρυφων στραγγιστηρίων για την αντιμετώπιση των υποχωρήσεων, που εν τέλει απαιτήθηκαν.*

*Στα προηγούμενα τμήματα η διαμόρφωση αναβαθμών αγκύρωσης κρίθηκε αναγκαία με διαστάσεις, ύψους  $H = 1m$  και πλάτους 2,5m για την αποφυγή έναντι μικρής αστοχίας του δεξιού ανατολικού πρανούς, που επίσης στο υφιστάμενο επίχωμα υλοποιήθηκαν οι αναφερθέν αναβαθμοί αγκύρωσης. Αφαιρέθηκε τη συνέχεια με εκσκαφή 30cm η φυτική γη και αντικατεστάθη από στραγγιστική – εξυγιαντική στρώση πάχους 50cm όπου λειτούργησε στην αποστράγγιση των υποκείμενων αργιλικών στρώσεων, μαζί με τη βοήθεια, που προσκόμισαν τα κατακόρυφα πλαστικά στραγγιστήρια. Η εξυγιαντική στρώση, όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα τμήματα, συμβάλει στην ομοιόμορφη έδραση των επιχωμάτων.*

*Η κατασκευή της επιφόρτισης προβλέφθηκε, ώστε, να συμβάλει στο περιορισμό των μεταγενέστερων, μετακατασκευαστικών υποχωρήσεων για την ομαλή λειτουργία του έργου, ενώ η προφόρτιση συντέλεσε για την αντιμετώπιση της βραδείας στερεοποίησης, που συνεργάζεται με τα*

κατακόρυφα πλαστικά στραγγιστήρια πέραν των 3 μηνών, διαστήματος παραμονής. Το παρόν τμήμα απεικονίζεται στο Σχήμα 3.8.



Σχήμα 3.8 Τυπικές διατομές Ζ Τμήματος επιχωμάτων

Το εκτιμώμενο χρονικό διάστημα της στερεοποίησης χωρίς τα μέτρα που αναγγέλθηκαν ανέρχεται στους 12 μήνες, ενώ με τα ανωτέρω αφορμισθέν μέτρα, παρατηρείται, το βέλτιστο επιθυμητό χρονικό διάστημα των 6 μηνών.

Αξίζει να αναφερθεί ότι σε αυτό το τμήμα δεν απαιτήθηκε η ενίσχυση της αντοχής των υποκείμενων στρώσεων με την χρήση πασσαλότοιχων με την μέθοδο βαθιάς ανάμειξης (deep mixing) αναλογίας τσιμέντου – ασβέστη 50 – 50 αντιστοίχως, λόγω της επιτυχημένης υλοποίησης των παραπάνω, αναγγελθέν, μικρών τεχνικών έργων.

Επίσης στο υπόψη τμήμα δεν έγινε, ούτε, η χρήση των χαλικοπασάλλων όπως στα προηγούμενα τμήματα, εφόσον αντικαταστάθηκαν από τα πλαστικά κατακόρυφα στραγγιστήρια.

Τέλος το υπόψη τμήμα αποτελεί ίσως ένα από τα οικονομικότερα τμήματα της κατασκευασμένης οδού, διότι, όντος απομακρυσμένο από την κοίτη του π Σπερχειού, η αντοχή των υποκείμενων στρώσεων αυξάνεται αναλόγως της απομακρυσμένης μηκοτομικής απόστασης.

### 3.3.9. Η' Τμήμα επιχωμάτων (Χ.Θ. 26+100 Χ.Θ. 26+800)

Από τη Χ.Θ. 26+100 στην περιοχή του κόμβου Ανθήλης και έως το τέλος του έργου στη Χ.Θ. 26+800 τα επιχώματα του εξεταζομένου τμήματος έχουν σταθερό ύψος  $H=4m$  και πλάτος στέψης  $b = 38m$  με ξηρό ειδικό βάρος  $\gamma = 25KN/m^3$ .

Στην εξεταζόμενη περιοχή συναντώνται, όπως και στην ευρύτερη περιοχή, μεγάλου πάχους, χαμηλής αντοχής και υψηλής συμπίεστικότητας δελταικές αποθέσεις, όπως παρατηρήθηκε και στα προηγούμενα τμήματα επιχωμάτων.

Όπως αντιλαμβανόμαστε τα αλυσίδα πρόβλήματα που αφορούν την ευστάθεια και την έδραση των επιχωμάτων απασχόλησαν και το υπόψη τμήμα.

Τα κυριότερα γεωτεχνικά προβλήματα εντοπίζονται στην αυξημένη παρουσία αργιλικών στρώσεων, που συντελούν στο μεγάλο μέγεθος και τη βραδεία εξέλιξη των καθιζήσεων και στη χαμηλή αντοχή της ανώτερης αργιλοϊλυώδους στρώσης έως μέσο βάθος 5,5m περίπου και στην υψηλή στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα που βρίσκεται σχεδόν στην επιφάνεια του φυσικού εδάφους. Όπως αναφερθήκαμε και στα προηγούμενα τμήματα, σε περίπτωση, πλημμύρας η περιοχή κατακλύζεται και η στάθμη των υδάτων ανέρχεται άνω από την φυσική γραμμή του εδάφους. Επιβεβαιώθηκε, όμως ότι δεν υπάρχει κίνδυνος ρευστοποίησης του εδάφους, όπως αντιλαμβανόμαστε, το υφιστάμενο τμήμα επιχωμάτων παρουσιάζει ομοιότητες με το προηγούμενο τμήμα, εφόσον, διατρέχονται τα ίδια γεωτεχνικά προβλήματα.

Δηλαδή, το μεγάλο πάχος των υποκείμενων αργιλικών στρώσεων, που έχει ως αποτέλεσμα το σημαντικό μέγεθος και τη βραδεία εξέλιξη των υποχωρήσεων που εκτιμήθηκαν της τάξεως 30cm στο άξονα της οδού και 10cm ως μετα - κατασκευαστικές υποχωρήσεις με τεράστιους χρόνους στερεοποίησης.

Σημειώνεται επίσης ότι για ύψος επιχώματος  $H = 4m$  και προφορτίσεως  $H=5m$  προέκυψαν ικανοποιητικοί συντελεστές ασφαλείας ενώ για μεγαλύτερα ύψη, οι συντελεστές ασφαλείας αναδεικνύουν κινδύνους έναντι αστοχίας επιχώματος, εφόσον, κυμάνθηκαν σε οριακές τιμές,  $SFs = 1$ .

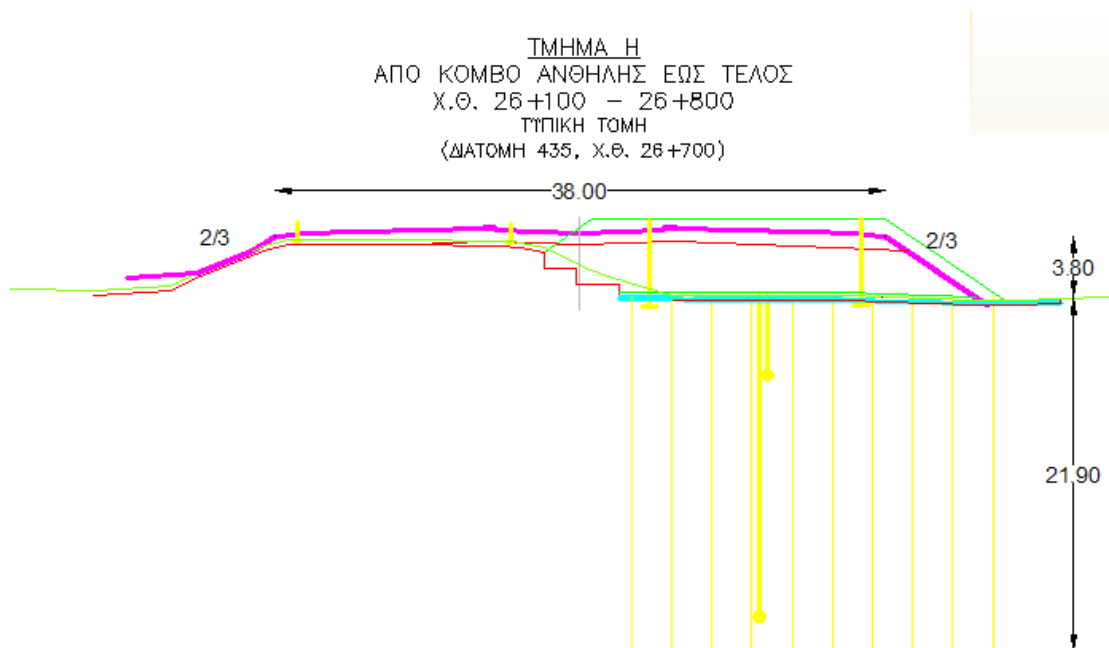
Η λύση των ανωτέρω προβλημάτων, ήταν πανομοιότυπη με το 7<sup>ο</sup> τμήματος επιχωμάτων. Διαμορφώθηκαν αναβαθμοί αγκύρωσης ύψους 1m και πλάτους 2,5m στο δεξιό ανατολικό πρηνές ώστε να αποφευκτεί ο κίνδυνος έναντι μικρής αστοχίας από ισχυρή σεισμική έδραση, αφαιρέθηκε με εκσκαφή 30cm η φυτική γη και αντικαταστάθηκε από εξυγιαντική – στραγγιστική πάχους 50cm για την αποστράγγιση αλλά και για την ομοιόμορφη έδραση των επιχωμάτων.



Τοποθετήθηκαν γεωφάσματα διαχωρισμού μεταξύ φυσικού εδάφους και στραγγιστικής στρώσης ώστε να μην υπάρξει διείσδυση των λεπτόκοκκων υλικών εντός των κατωτέρω στρώσεων.

Κατασκευάστηκαν επιχώματα προφορτίσεως συνολικού ύψους  $H = 5\text{m}$  με επιφόρτιση ύψους  $1\text{m}$ , πέραν του τελικού ύψους επιχώματος, πέραν του διαστήματος προφορτίσεως. Η τελική κλίση προανά των επιχωμάτων του υπόψη τμήματος διαμορφώθηκε (υ:β)  $2/3$ . Η επιφόρτιση, όπως αναφέρεται, συμβάλει στο περιορισμό των μετακατασκευαστικών υποχωρήσεων και των δευτερογενών καθιζήσεων κατά πλάτος της διατομής του αυτοκινητοδρόμου.

Κρίθηκε, κατάλληλο, η παραμονή της προφορτίσεως για εκτεταμένο χρονικό διάστημα της τάξεως  $1$  έτους ενώ με τη λήψη των ανωτέρω μέτρων ο επιθυμητός χρόνος στερεοποίησης ανήλθε στη βέλτιστη επιθυμητή τιμή των  $6$  μηνών.



Σχήμα 3.9 Τυπικές διατομές Η' Τμήματος επιχωμάτων

Τέλος για την ικανοποιητική εξέλιξη των καθιζήσεων κρίθηκε κατάλληλη η έμπηξη κατακόρυφων πλαστικών στραγγιστηριών πού όπως εκτιμήθηκε, λόγω απουσίας χαλίκων και κροκάλων από τις υποκείμενες

στρώσεις, η εξής μέθοδος, ήταν εφαρμόσιμη. Τα κατακόρυφα πλαστικά στραγγιστήρια διατάχθηκαν σε κάναβο πλευράς 2,5m , μήκους 22m σε όλο το πλάτος της έδρασης των παρόντων επιχωμάτων.

Χωρίς να απαιτείται η χρήση ενίσχυση του εδάφους με τη μέθοδο της βαθιάς ανάμειξης (*deep mixing*) λόγω ικανοποιητικών τιμών αντοχής, το υφιστάμενο τμήμα επιχωμάτων συγκαταλέγεται στα οικονομικότερα τμήματα του παρόντος έργου.

### 3.3.10. Θ' Τμήμα επιχωμάτων κλαδών κόμβου Ανθήλης ( X.Θ. 0 + 241 έως X.Θ. 0 + 560)

Στην περιοχή διαμόρφωσης του κόμβου Ανθήλης συναντώνται, όπως και στην ευρύτερη περιοχή, μεγάλου πάχους, χαμηλής αντοχής και υψηλής συμπίεστότητας δελτοϊκές αποθέσεις με κυριότερα γεωτεχνικά προβλήματα στην περιοχή του κόμβου Ανθήλης εντοπίζονται στην αυξημένη παρουσία αργιλικών στρώσεων, που συντελούν στο μεγάλο μέγεθος και τη βραδεία εξέλιξη των καθιζήσεων και στη χαμηλή αντοχή της ανώτερης αργιλικής – αργιλοϊλυώδους στρώσης έως μέσο βάθος 5,5m περίπου, που δημιουργεί προβλήματα για την ευστάθεια των επιχωμάτων.

Λόγω της περισσότερο αργιλικής σύστασης του εδάφους στην περιοχή αυτή δεν προκύπτει ιδιαίτερος κίνδυνος ρευστοποίησης σε περίπτωση ισχυρής σεισμικής έδρασης. Ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας στην περιοχή βρίσκεται σχεδόν στην φυσική επιφάνεια του εδάφους και σε περίπτωση πλημμύρας η περιοχή κατακλύζεται και η στάθμη των υδάτων ανέρχεται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους.

Η μικρή διαφοροποίηση της στρωματογραφίας μεταξύ της περιοχής αριστερά, δυτικά του αυτοκινητοδρόμου και δεξιά, ανατολικά της οδού λήφθηκε υπόψη με την εκτέλεση διαφορετικών αναλύσεων για κάθε περιοχή, σε ότι αφορά τη στερεοποίηση και την εκτίμηση των συνολικών καθιζήσεων, και με αντίστοιχη προσαρμογή των απαιτούμενων μέτρων.

Στην περιοχή του κόμβου Ανθήλης δημιουργούνται υψηλά επιχώματα για την πρόσβαση στη Γέφυρα Άνω Διάβασης του Κλάδου Α από τον αυτοκινητοδρόμο ΠΑΘΕ. Τα επιχώματα ανέρχονται στο μέγιστο ύψος  $H = 9,5m$  με πλάτος στέψης  $b=13m$  και ξηρού ειδικού βάρους  $\gamma = 25KN/m^3$  με κλίση πρανών ( $\nu:\beta$ ) 2/3.

Λόγω του πολύ μεγάλου ύψους των επιχωμάτων εξετάστηκε λύση που συμπεριλάμβανε αύξηση του μήκους της γέφυρας, με αντίστοιχο περιορισμό του μέγιστου ύψους των επιχωμάτων πρόσβασης. Συγκεκριμένα διερευνήθηκε το μέγιστο ύψος του επιχώματος, με το οποίο εξασφαλίστηκε η ομαλή κατασκευή και λειτουργία της οδού, η αποφυγή αστοχιών και ο περιορισμός των μετακατασκευαστικών υποχωρήσεων, με τις ακόλουθες προϋποθέσεις, χρόνος κατασκευής επιχώματος και εφαρμογής μέτρων βελτίωσης και προφόρτισης  $T = 2$  έτη.

Βελτίωση συνθηκών έδρασης επιχώματος με συνήθη και χαμηλού κόστους μέτρα όπως και στα προηγούμενα τμήματα, προφορτίσεις, σταθεροποιητικοί αναβαθμοί, πλαστικά στραγγιστήρια και αποφυγή εφαρμογής δαπανηρών μέτρων όπως χαλικοπάσσαλοι ή πασσαλότοιχοι μεγάλου μήκους, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη τεχνικοοικονομικά λύση, εφόσον η στραματογραφία διατηρείται σταθερή σε σχέση με το προηγούμενο τμήμα.

Ελέγχθηκε η ευστάθεια επιχώματος κλάδου Α ύψους  $H = 9,5m$ , περίπου ίσο με το μέγιστο ύψος επιχώματος που προκύπτει για το ελάχιστο απαιτούμενο μήκος της γέφυρας Άνω Διάβασης. Προκύπτει σοβαρός κίνδυνος άμεση θραύσης κατά την κατασκευή του επιχώματος λόγω αστοχίας του εδάφους έδρασης, με συντελεστή ασφαλείας πολύ μικρότερο της μονάδας.

Συμπεραίνεται ότι για την κατασκευή των υψηλών επιχωμάτων στην περιοχή θα απαιτηθούν μέτρα βελτίωσης και σταδιακή κατασκευή. Με διαδοχικές αναλύσεις προσδιορίζεται το ασφαλές μέγιστο ύψος επιχώματος

του οποίου η κατασκευή είναι άμεσα δυνατή, χωρίς προηγούμενη βελτίωση του εδάφους. Το ύψος αυτό προέκυψε ίσο με  $H = 5m$ . Για μεγαλύτερα ύψη προκύπτει κίνδυνος αστοχίας επιχώματος – εδάφους, με κύκλους ολίσθησης που διέρχονται εντός της ανώτερης εδαφικής στρώσης, πάχους της τάξης των  $5,5m$  όπως αναφέρθηκε ανωτέρω.

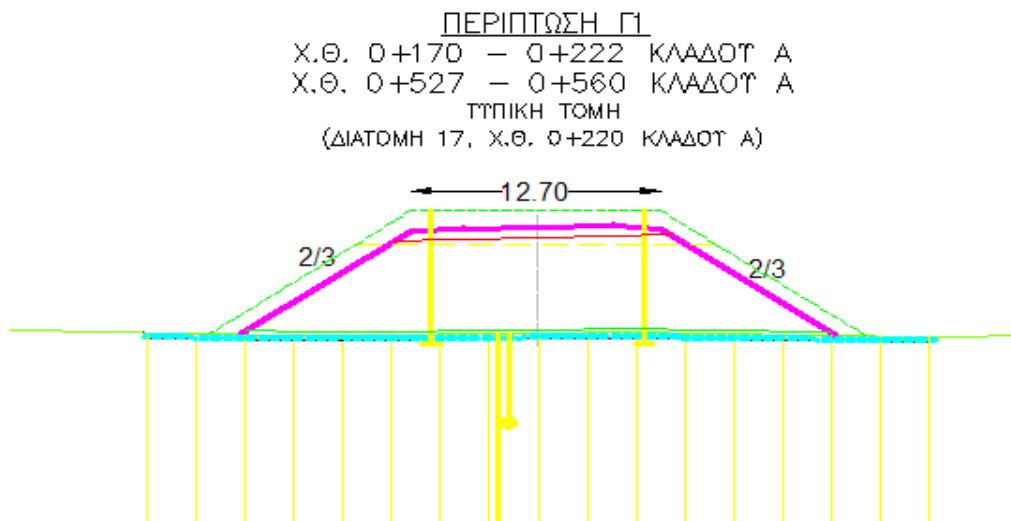
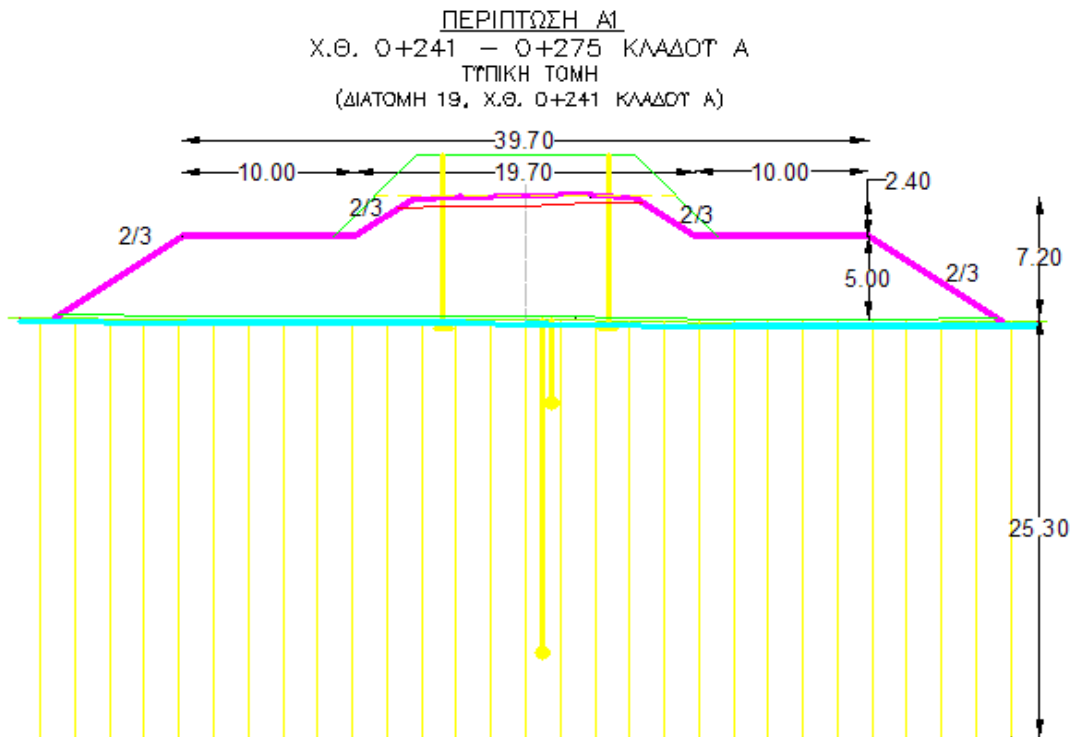
Οι συνθήκες έδρασης σε σχέση με την αντιμετώπιση τέτοιας μορφής αστοχιών βελτιώνονται σημαντικά με την τοποθέτηση αντίβαρων σταθεροποιητικών αναβαθμών εκατέρωθεν του κυρίου επιχώματος.

Με την κατασκευή σταθεροποιητικών αναβαθμών, με το μέγιστο δυνατό ύψος  $H = 5m$  και πλάτος της τάξης των  $10m$ , προσδιορίζεται το ασφαλές μέγιστο ύψος επιχώματος του οποίου η κατασκευή είναι άμεσα δυνατή, χωρίς προηγούμενη βελτίωση του εδάφους.

Το ύψος αυτό προέκυψε ίσο με  $H = 7,5m$  με την χρήση των ανωτέρω μέτρων. Οι καθιζήσεις στο υπόψη τμήμα εκτιμήθηκαν της τάξεως  $25cm$  με την παράλληλη εφαρμογή κατακόρυφων πλαστικών σφραγιστηρίων, όπως κρίθηκε κατάλληλο λόγω της απουσίας χαλίκων και κροκάλων, ενώ χωρίς τη λήψη μέτρων αποστράγγισης η τιμές των καθιζήσεων ανέρχονται στα  $80cm$  περίπου, οι στρώσεις στις οποίες λαμβάνουν χώρα εκτείνονται έως και σε μεγάλο βάθος από την επιφάνεια και απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα για την ολοκλήρωση των καθιζήσεων.

Τα κατακόρυφα πλαστικά σφραγιστήρια διατάχθηκαν σε τετραγωνικό κάναβο πλευράς  $2,5m$  μήκους  $22m$  σε όλο το πλάτος της έδρασης των επιχωμάτων του υπόψη τμήματος ώστε να συντελέσουν στην επιτάχυνση της στερεοποίησης και την βελτίωση της αντοχής των υποκείμενων στρώσεων.

Αξίζει να αναφερθεί ότι το ίδιο ύψος των επιχωμάτων του υφισταμένου τμήματος αποτελεί μέτρο προφόρτισης με χρόνο παραμονής 2 έτη. Ο βέλτιστος χρόνος στερεοποίησης ανέρχεται στους 8 μήνες με την λήψη μέτρων αποστράγγισης.



Σχήμα 3.10 Τυπικές διατομές Θ' Τμήματος επιχωμάτων

Ακολουθηθήκαν τα ίδια μέτρα κατασκευής επιχωμάτων όπως και στα προηγούμενα τμήματα, υλοποιήθηκε εκσκαφή 30cm για την αφαίρεση της φυτικής γης και στην συνέχεια η αντικατάσταση της με εξυγιαντική – στραγγιστική στρώσης πάχους 50cm που συντελεί στην αποστράγγιση αλλά και στην ομοιόμορφη έδραση των επιχωμάτων.

Επενδύθηκε με γεωφάσμα, μεταξύ, εξυγιαντικής - στραγγιστικής στρώσης και φυσικού εδάφους ώστε να μην υπάρξει διείσδυση εντός των κατωτέρω στρώσεων.

Επιφόρτιση 1m πραγματοποιήθηκε με φόβους έναντι αστοχίας επιχώματος, με χρόνο παραμονής 3 – 4 μηνών, με την παράλληλη διαμόρφωση αναβαθμών αγκύρωσης ύψους 1m και πλάτους 2,5m όπως και στα αναφερθέν προηγούμενα τμήματα.

Σημειώνεται, επίσης ότι το υπόψη τμήμα δεν διαφέρει καθόλου σε σχέση με τα προηγούμενα από άποψης κατασκευαστικών μέτρων, διαφοροποιείται όμως στα υψηλά ύψη επιχωμάτων που προκάλεσαν καθυστερήσεις στους χρόνους προφορτίσεων – επιφορτίσεων.

### 3.4. Προτεινόμενες λύσεις βελτίωσης συνθηκών έδρασης επιχωμάτων

#### 3.4.1. Εξυγιαντική – Στραγγιστική στρώση

Κατά τη φάση κατασκευής του έργου παρατηρήθηκε η αφαίρεση της φυτικής γης με εκσκαφή πάχους 30cm και η αντικατάσταση της από εξυγιαντική – στραγγιστική στρώση πάχους 50cm.

Η εξυγιαντική στρώση συντελεί στην ομοιόμορφη έδραση των επιχωμάτων ενώ η στραγγιστική στρώση συντελεί στην αποστράγγιση των επιχωμάτων από τα υπάρχοντα όμβρια ύδατα ή της φρεάτιας γραμμής. Σε όλα τα τεχνικά έργα οδοποιίας χρησιμοποιείται εξυγιαντική – στραγγιστική στρώση για την αντιμετώπιση των ανωτέρω προβλημάτων ενώ τεχνοοικονομικά κρίνεται μη δαπανηρή λύση.

#### 3.4.2. Γεωφάσματα

Όπως παρατηρήθηκε, τα γεωφάσματα, αποτελούν ευρέως διαδεδομένη μέθοδο προστασίας των αδρανών υλικών των υπερκατασκευών στρώσεων που συντελούν στη έδραση των επιχωμάτων. Χρησιμοποιούνται

για την επένδυση της εξυγιαντικής – στραγγιστικής στρώσης και προστασία της οποίας, από διείσδυση των λεπτόκοκκων υλικών, σε όλες τις περιπτώσεις των τμημάτων των επιχωμάτων του παρόντος έργου χρησιμοποιήθηκαν τα γεωφύσματα.

#### 3.4.3. Κατακόρυφα πλαστικά στραγγιστήρια

Χρησιμοποιούνται μόνο σε περιπτώσεις όπου απουσιάζουν χάλικες και κροκάλες από τις υποκείμενες στρώσεις, ώστε να πραγματοποιηθεί σε ταχύτερους ρυθμούς η στερεοποίηση των κατώτερων αργιλικών στρώσεων.

Στο υπόψη έργο παρατηρήθηκε η εφαρμογή τους μόνο στις υπάρχουσες στρώσεις που έσφυζαν από περίσσεια αργιλικής σύστασης εδαφών. Τεχνοοικονομικά αποτελεί μη δαπανηρή αλλά και εφαρμόσιμο μέτρο αντιμετώπισης του προβλήματος.

Με λίγα λόγια τα κατακόρυφα πλαστικά στραγγιστήρια αποτελούν μέτρα αντικατάστασης των χαλικοπασάλλων στις κατάλληλες εδαφικές συνθήκες όπως αναφέρεται ανωτέρω.

#### 3.4.4. Χαλικοπάσσαλοι

Ίσως η κλασικότερη μέθοδο επιτάχυνσης της στερεοποίησης σε όλα τα τεχνικά έργα οδοποιίας. Πρόκειται για κατακόρυφες στήλες συγκεκριμένης διαμέτρου από χάλικες που συντελούν στην εκτόνωση των υπερπίεσεων των πόρων του εδαφικού υλικού και συγκεκριμένα των αργιλικών στρώσεων. Αποτελεί δαπανηρή μέθοδο αντιμετώπισης του προβλήματος λόγω της μακράς και επίπονης κατασκευής τους και όπως αναφέρθηκε χρησιμοποιούνται συνήθως σε δυσμενής κατηγορίες εδαφών, στο στάδιο όπου δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν μη δαπανηρές μέθοδοι αντιμετώπισης των προβλημάτων στερεοποίησης όπως τα κατακόρυφα πλαστικά στραγγιστήρια που αδυνατούν να χρησιμοποιηθούν όταν υπάρχουν αμμοχαλικώδεις στρώσεις.

Στο υπόψη έργο παρατηρήθηκε συνδυασμός των ανωτέρω αναφερθέν μέτρων σύμφωνα με τη βέλτιστη οικονομική συμφέρουσα λύση.

#### 3.4.5. Πασσαλότοιχοι

Τοίχοι Βερολίνου που στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν στο πλάτος έδρασης των επιχωμάτων, διαμέτρου 80cm, κατασκευασμένη με τη μέθοδο της βαθιάς ανάμειξης (deep mixing) αναλογίας 50 - 50 τσιμέντου – ασβέστη αντίστοιχος. Χρησιμοποιήθηκαν για την βελτίωση αντοχής των υποκείμενων μαλακών στρώσεων στο στάδιο όπου τα αναφερθέν ανωτέρω μέτρα αδυνατούν να δώσουν την επιθυμητή λύση.

Συνήθως οι τοίχοι Βερολίνου συναντώνται για την υποστήριξη ή την αντιστήριξη τεχνικών έργων οδοποιίας όταν η δυνατότητα εκσκαφής λόγω ύπαρξης υπαρχόντων κατασκευών κρίνεται ακατάλληλη.

Η εξέλιξη των τοίχων Βερολίνου (πασαλλότοιχων) λόγω τεχνοοικονομικών σκοπών εφαρμόζεται και την ενίσχυση εδαφών που παρουσιάζουν προβλήματα φέρουσας ικανότητας.

Η μέθοδος της βαθιάς ανάμειξης αποσκοπεί στη ταυτόχρονη ανάμειξη τσιμέντου – ασβέστη μέσα στο έδαφος, ώστε να αποφευχθούν άλλες εργασίες αλλά και πολύτιμος χρόνος κατά την υλοποίηση της κατασκευής. Στη συγκεκριμένη περίπτωση του υφισταμένου έργου εκτιμήθηκε η κατάλληλη αναλογία τσιμέντου – ασβέστη (50 – 50) παρά (100%) τσιμέντου ώστε το μειωμένο κόστος να μην ανέλθει στα επιθυμητά όρια.

Γενικός η αναφερόμενη μέθοδος συγκαταλέγεται στις δαπανηρότερες και εφαρμόζεται στο στάδιο όπου η έμπηξη των κατακόρυφων πλαστικών στραγγιστηρίων είναι αδύνατη.



### 3.4.6. Προφόρτιση – επιφόρτιση.

Όταν για λόγους όπως η ύπαρξη βαθιάς εδαφικής στρώσης, εμφανίζονται αδυναμίες συμπίκνωσης, ολόκληρης της χαλαρής στρωματογραφίας με μηχανικά μέσα, τότε η φύση λαμβάνει δράση. Με το ίδιο βάρος του επιχώματος η συμπίκνωση πραγματοποιείται για μεγάλο χρονικό διάστημα αντιμετωπίζοντας της αρχικές - πρωτεύουσες καθιζήσεις, η μέθοδος συμπίκνωσης καλείται προφόρτιση.

Ενώ για την αντιμετώπιση δευτερογενών καθιζήσεων η επιπλέον εδαφική, υψομετρική, αύξηση του επιχώματος πέραν του κατασκευαστικού καλείται επιφόρτιση. Στο υπόψη έργο χρησιμοποιήθηκαν μέτρα “ φυσικής ” συμπίκνωσης καθ’ όλη τη διάρκεια κατασκευής του έργου.

### 3.4.7. Οπλισμένα επιχώματα

Σε μεμονωμένες περιπτώσεις όπου οι επιταχύνσεις των γαιών αυξήθηκαν ραγδαία σύμφωνα με την εδαφοδυναμική μελέτη με κίνδυνο έναντι αστοχίας (μικρής ή ποδός) λόγω σεισμικής έδρασης, η αντιμετώπιση του προβλήματος εφαρμόστηκε με αγκυρώσεις των πρανών των επιχωμάτων παρουσία αναβαθμών, που διευκόλυναν, την τοποθέτηση των αγκυρίων στα υφιστάμενα παρακινδυνευμένα πρανή κλίσης (υ:β) 2/3.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι οπλισμού επιχωμάτων, αλλά η συγκεκριμένη αποτελεί τεχνοοικονομικά εφαρμόσιμη στο υπόψη έργο. Γενικώς οι αγκυρώσεις χρησιμοποιούνται για την ευστάθεια βραχοδών πρανών ορυγμάτων και για την ευστάθεια βραχοδών πετρωμάτων για την κατασκευή υπογείων έργων.

Η συγκεκριμένη μέθοδος, όπου εφαρμόστηκαν, αγκυρώσεις παρουσία αναβαθμών αποτελεί μέρος της μεγάλης κατηγορίας οπλισμένων επιχωμάτων έχοντα μικρά οικονομικά οφέλη. Κυρίως τα επιχώματα στη γενική περίπτωση οπλίζονται όταν η ευστάθεια των πρανών δεν υλοποιείται με ισχυρές κλίσεις.

*Τα παραπάνω έργα υποδομής συνδυάζονται μεταξύ τους αναλόγως των υποκείμενων γεωτεχνικών συνθηκών που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή με το οικονομικότερο δυνατό κόστος.*

### *3.5. Περίπτωση Τμήματος Επιχωμάτων που βρέθηκε σε αστοχία Χ.Θ. 12+540 έως Χ.Θ. 13+550*

*Το Νοέμβριο του 2007 κατά τη διάρκεια προφορτίσεως επιχώματος μήκους  $L = 150m$  από Χ.Θ. 12+600 έως Χ.Θ. 12+750 και ύψους  $H = 4,5m$  στη θέση Σκαρφεία – Α/Κ Θερμοπυλών εμφανίστηκαν σημαντικές οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις του κατασκευασμένου επιχώματος.*

*Πριν εμφανιστούν οι υποχωρήσεις ακολούθησαν οι εξής διαδικασίες στο υπό εξέταση τμήμα:*

- α) Εκσκαφή και απομάκρυνση επιφανειακού φυσικού εδάφους σε βάθος περίπου 0,50m σε όλο το πλάτος της οδού.*
- β) Διάστρωση εξυγιαντικής στρώσης στο εσωτερικό της εκσκαφής, πάχους περίπου 0,50m.*
- γ) Κατασκευή στραγγιστικής στρώσης στη βάση του επιχώματος, πάχους περίπου 1,0m.*
- δ) Διακοπή εργασιών κατασκευής του επιχώματος επί περίπου 12 μήνες.*
- ε) Ταχεία κατασκευή επιχώματος, συνολικού ύψους μέχρι περίπου 4,50m, τον μήνα Νοέμβριο 2007.*

*Οι μετακινήσεις που εμφανίστηκαν σε όλο το μήκος της λωρίδας επιχώματος των 150m, στην πρώτη υποκείμενη αργιλική στρώση ανερχόντουσαν της τάξεως των 50cm ενώ στη βαθύτερη αργιλική στρώση κυμαίνονταν στα 60cm. Σημειώνεται επίσης ότι παρατηρήθηκε μέγιστη βύθιση σε υπάρχον τεχνικό έργο «οχετού» που άγγιζε τη τιμή 1,10m, απόδειξη της συνολικής εδαφικής παραμόρφωσης – υποχώρησης.*

Στο αναφερθέν τμήμα, σημειώνεται ότι έγινε εφαρμογή μέτρων αποστράγγισης για την επιτάχυνση της βραδείας στερεοποίησης με την χρήση χαλικοπασάλλων σε κάναβο πλευράς 2,5m διαμέτρου 80cm που ευρίσκονται σε όλο το πλάτος έδρασης επιχωμάτων. Παρατηρήθηκε διείσδυση των αργιλικών υποκείμενων στρώσεων μέσα στην διατομή των παρόντων χαλικοπασάλλων που ανέρχεται της τάξεως των 30cm με αποτέλεσμα την μείωση της ενεργούς διατομής και της ικανότητας στράγγισης σε μικρότερα χρονικά διαστήματα.

Ιδιαίτερη εντύπωση προκάλεσε η στάθμη του φρεάτιου υδροφόρου ορίζοντα σε ορύγματα που ανοίχτηκαν μετά την εκδήλωση του φαινομένου και την απομάκρυνση μεγάλου πάχους του επιχώματος που προέκυψε ότι ο φρεάτιος ορίζοντας ανερχόταν σχεδόν στην φυσική επιφάνεια του εδάφους, συγκεκριμένα, 80cm κάτω από την υφιστάμενη επιφάνεια των επιχωμάτων.

Οι γεωτεχνικές συνθήκες που επικρατούν είναι οι δυσμενέστερες στην ευρύτερη περιοχή πριν την Α/Κ Θερμοπυλών, σε σχέση, με τα τμήματα που ευσταθούν στην περιοχή του κάμπου της Λαμίας.

Επικρατεί επιφανειακή στρώση, πάχους 0,2 έως 0,5m, με φυτικά και ρίζες. Σημειώνεται ότι η στρώση αυτή αφαιρέθηκε και αντικαταστάθηκε με την εξυγιαντική - στραγγιστική στρώση όπως προβλεπόταν για το έργο, καστανή άργιλος, πάχους 0,0 έως 1,5m (εμφανίζεται μόνο σε περιορισμένο αριθμό γεωτρήσεων), μέσης συνεκτικότητας, από μαλακή έως στιφρή.

Πολύ μαλακή έως μαλακή, κυανού-γκρίζου χρώματος άργιλος (CL, CH), πάχους από 4,0 έως 10,0m, γκρίζου χρώματος ιλυώδης άμμος, αργιλώδης άμμος ή άμμος (SM, SC, SW), πάχους 0,0 έως 7,0m (δεν εμφανίστηκε σε μερικές γεωτρήσεις ενώ το κάτω όριο της δεν εντοπίστηκε σε άλλες).

Γκρίζα άργιλος ή εναλλαγές στρώσεων αργίλου/άμμου έως το ισχυρό υπόβαθρο της περιοχής που εκτιμάται ότι βρίσκεται σε βάθος περίπου 30m από την επιφάνεια του εδάφους.

Από τις παραπάνω στρώσεις, αυτές που αναμένεται να έχουν σημαντική επίδραση στην ασφάλεια του έργου (υπέρβαση αντοχών, καθιζήσεις) είναι η στρώση πολύ μαλακής έως μαλακής αργίλου (Άργιλος I) που εμφανίζεται κοντά στην επιφάνεια του φυσικού εδάφους και η στρώση αργίλου (Άργιλος II) που εμφανίζεται σε μεγαλύτερο βάθος. Οι ιδιότητες αυτών των εδαφικών υλικών έχουν προσδιοριστεί εργαστηριακά επί δειγμάτων που λήφθηκαν από τις γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν για τις ανάγκες του έργου.

Πίνακας 3.2 Απλοποιημένη στραματογραφία στη θέση της αστοχίας

+1,5m			
+0,5m	Στραγγιστική Στρώση		
0m	Εξυγιαντική Στρώση		
	Άργιλος I	$\gamma_{ολ} = 17,5 \text{ kN/m}^3$	
		$e_o = 1,30, C_c = 0,42$	
		$C_v = 0,041 \text{ cm}^2/\text{min}$	
-4 έως -10m		$S_u = 12 \text{ kPa}$	
	Α μ μ ο ς, ι λ υ ώ δ η ς	-	α ρ γ ι λ ώ δ η ς
	(πάχος από 0 έως 2 m)		
	Α ρ γ ι λ ο ς II	$\gamma_{ολ} = 18,5 \text{ kN/m}^3$	
		$e_o = 1,20, C_c = 0,42$	
	(σταθερό πάχος 10 m)	$C_v = 0,041 \text{ cm}^2/\text{min}$	
		$S_u = 40 \text{ kPa}$	
-30	Α ρ γ ι λ ο ς / Α μ μ ο ς		
Ισχυρό υπόβαθρο			

Το συγκεκριμένο υπέδαφος στερεοποιήθηκε επί 12 μήνες υπό την τάση που ασκούσε πάνω του η στραγγιστική στρώση ύψους 1,5 m. Στους πίνακες που ακολουθούν απεικονίζεται η επαύξηση των τάσεων έδρασης αλλά και η

ολική αναμενόμενη καθίζηση αντιστοιχώς για την αρχική φάση κατασκευής του έργου η οποία αποφόρτισε το έδαφος έδρασης του επιχώματος από υλικό πάχους περίπου 0,5m και, ακολούθως, φόρτισε με αδρανή πάχους περίπου 1,5m .

Θεωρείται ότι η καθαρή επιφόρτιση του φυσικού εδάφους αντιστοιχεί σε ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο 20kPa επί λωρίδας πλάτους 50m . Η αύξηση των κατακόρυφων τάσεων στο έδαφος έχει ως εξής:

Πίνακας 3.3

Βάθος (m)	Αύξηση κατακόρυφων τάσεων (kPa)	
	Στον άξονα	Στο άκρο
5	20	10
10	20	10
15	≈18,5	10
25	≈16,5	≈10

Οι αυξήσεις αυτές είναι οι μέγιστες και ελαττώονται με την απόσταση από τον άξονα. Η μέγιστη αύξηση των κατακόρυφων τάσεων στο έδαφος έχει ως εξής:

Πίνακας 3.4

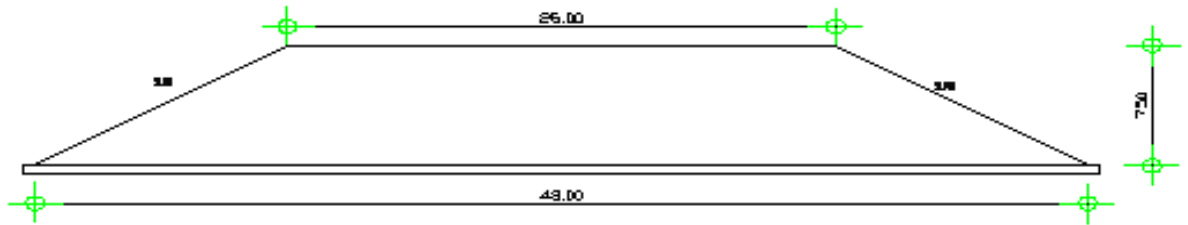
Απόσταση από τον άξονα (μ)	Αύξηση κατακόρυφων τάσεων (kPa)	
	Στον άξονα	Στο άκρο
4μ	0,26	0,16
10μ	+0,16	+0,09
10μ	0,36	0,20
10μ	+0,10	+0,05

Οι αυξήσεις αυτές είναι οι μέγιστες και ελαττώονται με την απόσταση από τον άξονα. Η μέγιστη αύξηση των κατακόρυφων τάσεων στο έδαφος έχει ως εξής:





ፊር ወይንም ሕንፃው ላይ የተሰጠው የአጠቃላይ የጠንቀቃ መጠን የሕንፃው የጠንቀቃ መጠን ነው።



የጠንቀቃ መጠን በሕንፃው ላይ የተሰጠው የአጠቃላይ የጠንቀቃ መጠን ነው።

ለሕንፃው 4.1 ርቀት ስር የሕንፃው የጠንቀቃ መጠን የሕንፃው የጠንቀቃ መጠን ነው።

ጸብ (μ)	ሕንፃው የጠንቀቃ መጠን	χ (κΠb)	γ (l)	χ <sub>ፖ</sub> (κΠb)	Eσ (MΠb)	© (KN/μ <sup>3</sup> )
< 3,5	ርቀት ስር የሕንፃው የጠንቀቃ መጠን፣ የሕንፃው ስፋት ስር	0	24	15	2	18
> 3,5	ሕንፃው የጠንቀቃ መጠን፣ ሕንፃው የጠንቀቃ መጠን ስር	0	35		30	20

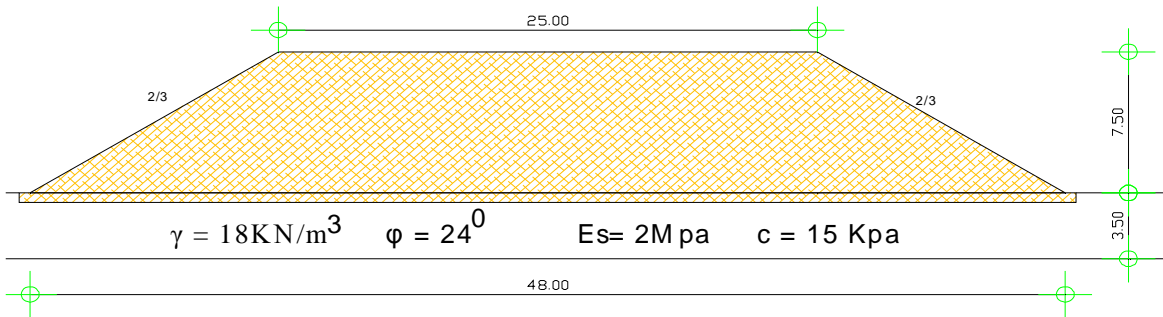
በሕንፃው ላይ የተሰጠው የአጠቃላይ የጠንቀቃ መጠን የሕንፃው የጠንቀቃ መጠን ነው። ሕንፃው የጠንቀቃ መጠን የሕንፃው የጠንቀቃ መጠን ነው።



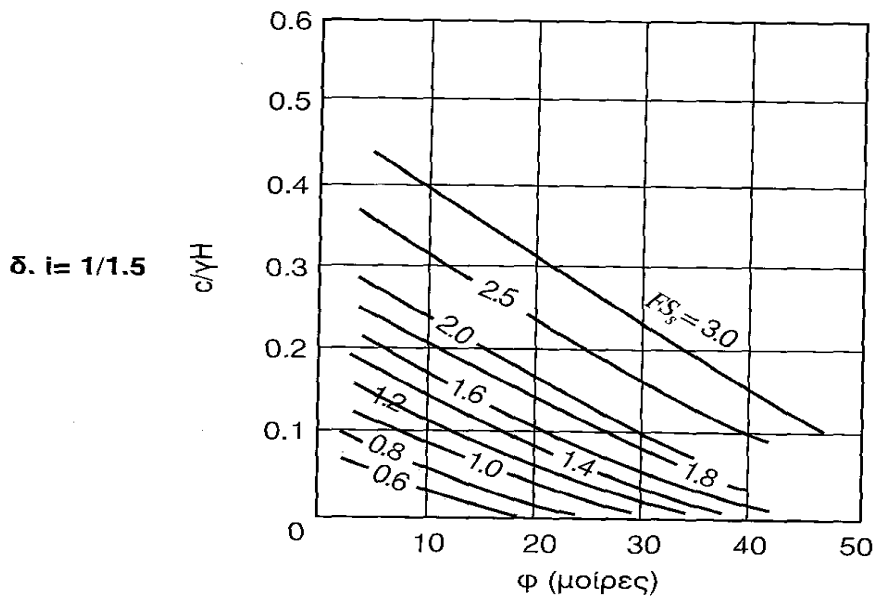
1) ⇒ ΠΙΣΤΩΣΗ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΗΝΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΝ  
 2) ⇒ ΠΙΣΤΩΣΗ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΗΝΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΝ  
 3) ⇒ ΠΙΣΤΩΣΗ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΗΝΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΝ

4.1. Τυπικό επίχωμα που ευσταθεί

Η ευστάθεια του επίχωματος εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους και το ύψος του. Η ανάλυση γίνεται με τη μέθοδο των τριγωνικών κοπών (Taylor). Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην παραδοχή ότι η κλίση του επίχωματος είναι ομοιόμορφη. Η ανάλυση γίνεται με τη μέθοδο των τριγωνικών κοπών (Taylor). Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην παραδοχή ότι η κλίση του επίχωματος είναι ομοιόμορφη.



Σχήμα 4.2 Τυπικό επίχωμα που ευσταθεί



Σχήμα 4.3 Νομογράφημα Taylor για i = 1/1,5

Χωρίς κίνδυνο βαθιάς αστοχίας, για  $C = 15\text{kPa}$  και  $\gamma = 18\text{ KN/m}^3$

$$C / \gamma \times H = 15\text{kPa} / 18 \times 7,5 = 0,11$$

Τότε, από γράφημα του Σχήματος 4.3, για  $\varphi = 24^\circ$  προκύπτει  $SFs = 1,7$

Το μέγιστο ύψος  $MAX H$  επιχώματος που μπορεί να τοποθετηθεί στο συγκεκριμένο έδαφος προκύπτει ως εξής:

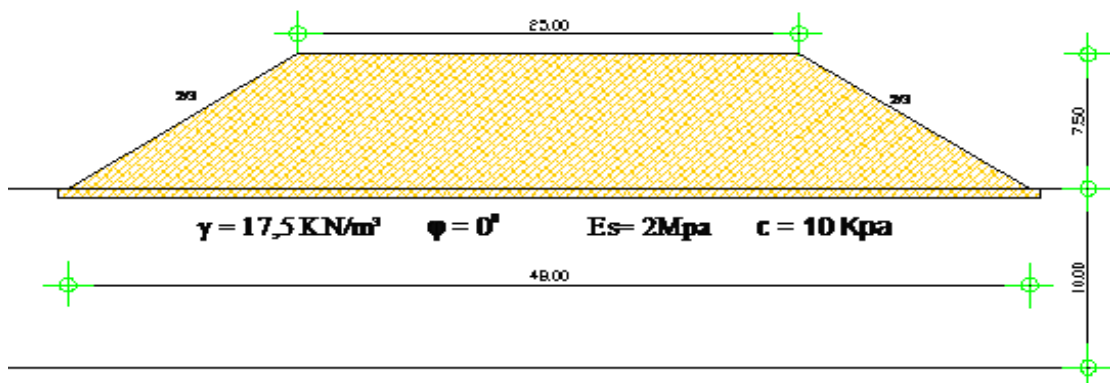
Για  $SFs = 1$  (οριακό) και  $i = 2/3$ , από το γράφημα λαμβάνουμε

$$C / \gamma \times H = 0,025 \Rightarrow H = C / 0,025 \times \gamma \Rightarrow H = 15 / 0,025 \times 18 \Rightarrow$$

$$H = 33,33\text{m}$$

#### 4.2. Επίλυση επιχώματος που παρουσιάζει αστοχία με τη μέθοδο Taylor

Πραγματοποιείται η επίλυση του επιχώματος αστόχησε σύμφωνα με τη μέθοδο του Taylor. Υπολογίζονται οι εξής λόγοι:  $C_E / \gamma \times H$  και  $C / \gamma \times H$  και χρησιμοποιούνται τα νομογραφήματα των Σχημάτων 4.3 και 4.5 για κλίση πρανών ( $\alpha:\beta$ ) 2/3

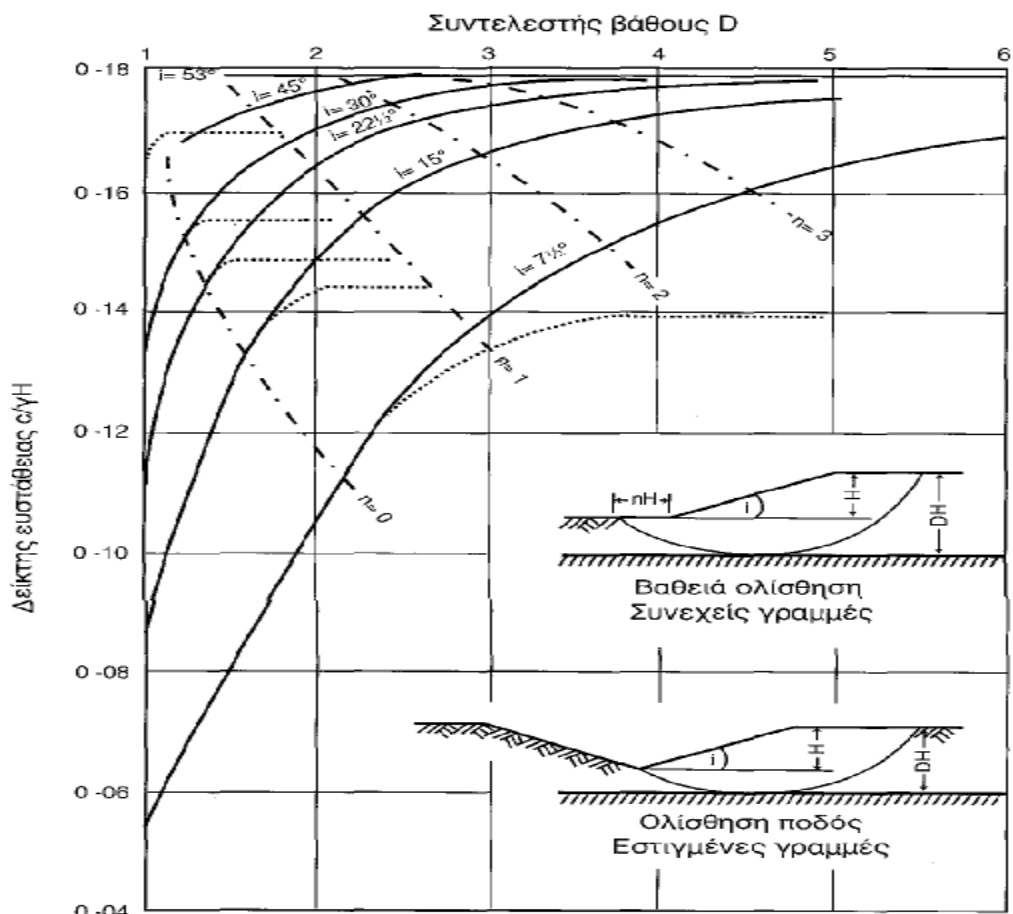


Σχήμα 4.4 Η περίπτωση του επιχώματος που αστόχησε

$$i = 2/3 \Rightarrow \alpha = 33,69^\circ$$

Θεωρώντας κύκλο βαθιάς αστοχίας μέχρι το βάθος των 10 m (σε ολόκληρη δηλαδή την πρώτη αργιλική στρώση), λαμβάνουμε,

$$HD = 7,5 + 10 = 17,5\text{m} \Rightarrow D = 17,5\text{m} / H \Rightarrow D = 17,5 / 7,5 = 2,3 H$$



Σχήμα 4.5 Νομογράφημα Taylor για πλήρως συνεκτικό έδαφος

Από διάγραμμα  $C_E / \gamma \times H = 0,16 \Rightarrow C_E = 0,16 \times 17,5 \times 7,5 \Rightarrow C_E = 21 \text{ Kpa}$

Ο συντελεστής ασφάλειας είναι:

$$SFs = C / C_E \Rightarrow SFs = 10 / 21 \Rightarrow SFs = 0,5$$

Επομένως, επιβεβαιώνεται η περίπτωση της αστοχίας

Το μέγιστο ύψος MAX H επιχώματος που μπορεί να κατασκευαστεί προκύπτει:

$$\text{Για } SFs = 1 \text{ (οριακό)}, J = 2/3 \text{ και για } \varphi = 0^\circ$$

$$\text{Από γράφημα: } C / \gamma \times H = 0,15 \Rightarrow H = 10 / 0,15 \times \gamma \Rightarrow$$

$$H = 10 / 0,15 \times 17,5 \Rightarrow H = 3,81 \text{ m}$$

Παρατηρούμε ότι το μέγιστο ύψος που υπολογίσαμε είναι αρκετά κοντά στα 4,5 m που πραγματοποιήθηκε η αστοχία.

#### 4.3. Παρατηρήσεις – συμπεράσματα επίλυσης επιχώματων με την μέθοδο Taylor

Από τις αναλύσεις που προηγήθηκαν οδηγούμαστε στα ακόλουθα συμπεράσματα:

- 1) Για την περίπτωση όπου το επίχωμα ευσταθεί, ο συντελεστής ασφαλείας βρέθηκε  $SFs = 1,7$  για  $H = 7,5m$  ενώ το μέγιστο ύψος  $H_{max} = 33 m$ .
- 2) Για την περίπτωση που το επίχωμα αστόχησε, ο συντελεστής ασφαλείας βρέθηκε  $SFs = 0,5$  και το μέγιστο ασφαλές ύψος επιχώματος  $H_{max} = 3,81m$ .
- 3) Το επίχωμα αστοχίας με τη χονδρική μέθοδο του Taylor βρέθηκε να αστοχεί για ύψος επιχώματος μεγαλύτερο από το  $H_{max} = 3,81m$ , κάτι που έπρεπε να προβλεφθεί από τους υπεύθυνους μελετητές του έργου.
- 4) Η μέθοδος Taylor, αν και χρησιμοποιήθηκε προσεγγιστικά, καθώς ισχύει για ομοιογενές έδαφος. Στην πραγματικότητα, οι υπολογισμοί με τη μέθοδο Taylor είναι συντηρητικοί, γιατί το εδαφικό υλικό του επιχώματος είναι αρκετά πιο ισχυρό από το έδαφος έδρασης. Εντούτοις, απέδωσε την πραγματική εικόνα των επιχωμάτων, δίνοντας συντελεστές ασφαλείας τέτοιους που έπρεπε να έχουν προσέξει οι μηχανικοί του έργου ώστε να αποφευχθεί η αστοχία του επιχώματος το Νοέμβριο του 2007.

#### 4.4. Υπολογισμός καθιζήσεων και χρόνων στερεοποίησης για το επίχωμα που ευσταθεί

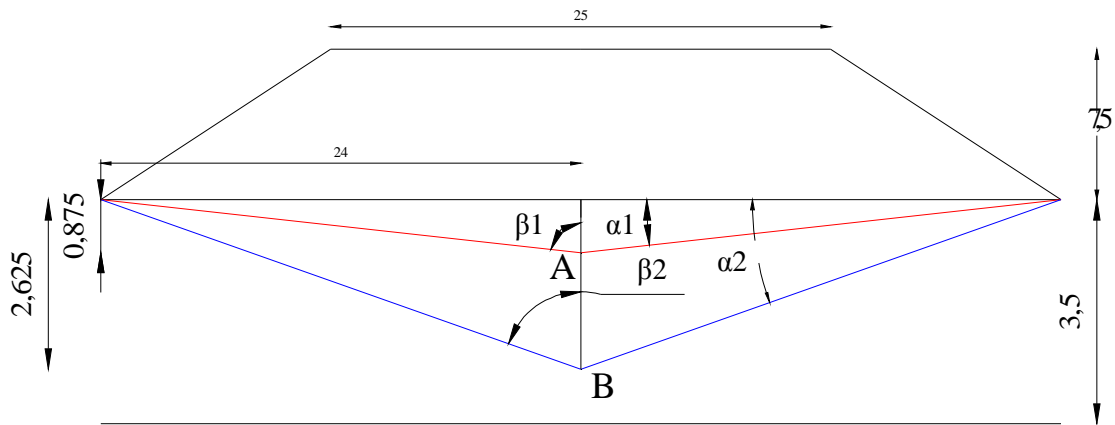
##### 4.4.1. Κατανομή Τάσεων μέσα στο έδαφος

Υπολογίζεται η κατανομή των τάσεων λόγω του βάρους του επιχώματος με την μέθοδο Boussinesq, με βάση τη σχέση:

$$\sigma_z = q / \pi (\beta + \sin\beta\cos 2\alpha), \text{ όπου οι γωνίες } \beta \text{ και } \alpha \text{ σε radians}$$

Για λόγους σύγκρισης και μόνο, πραγματοποιείται ξανά ο υπολογισμός με την μέθοδο 2/1 η οποία δε δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα για αργιλικά εδάφη, αλλά εφαρμόζεται πιο καλά για κοκκώδη. Για τους υπολογισμούς

καθιζήσεων λαμβάνονται υπόψη μόνο τα αποτελέσματα της μεθόδου κατά Boussinesq, εκτιμώντας επίσης της τάσεις λόγω φορτίου στα εικονιζόμενα σημεία που παρουσιάζονται στα αντίστοιχα τμήματα.



Σχήμα 4.6 Εφαρμογή μεθόδου Boussinesq για την περίπτωση του επιχώματος που ευσταθεί

$$Pd = 25 \text{ KN/m}^3 \times 7,5 \text{ m} = 187,5 \text{ KN/ m}^2$$

$$Q = 5 \text{ KN/ m}^2$$

$$P_{ολ} = 192,5 \text{ KN/ m}^2$$

Πίνακας 4.2 Κατανομή τάσεων λωρίδας απείρου μήκους κατά Boussinesq

Βάθος (m)	b/2	b	a	2a	sinb	cos2a	sin2a	$\sigma_Z$ (kpa)
0,875	0	0	0,036	0,073	0	0,997345	0,07282	0
2,625	1,4619	2,924	0,109	0,218	0,2162	0,976357	0,216164	192,1789
3,5	1,426	2,852	0,145	0,29	0,2856	0,958351	0,285593	191,6212
4	1,4056	2,811	0,165	0,33	0,3243	0,945946	0,324324	191,1567

όπου  $\sigma_z$  σχήμα. αντίφασ. αντ.  $\sigma_z = 179,41$  (πολ. x) = (πολ. x) =  $192,48$

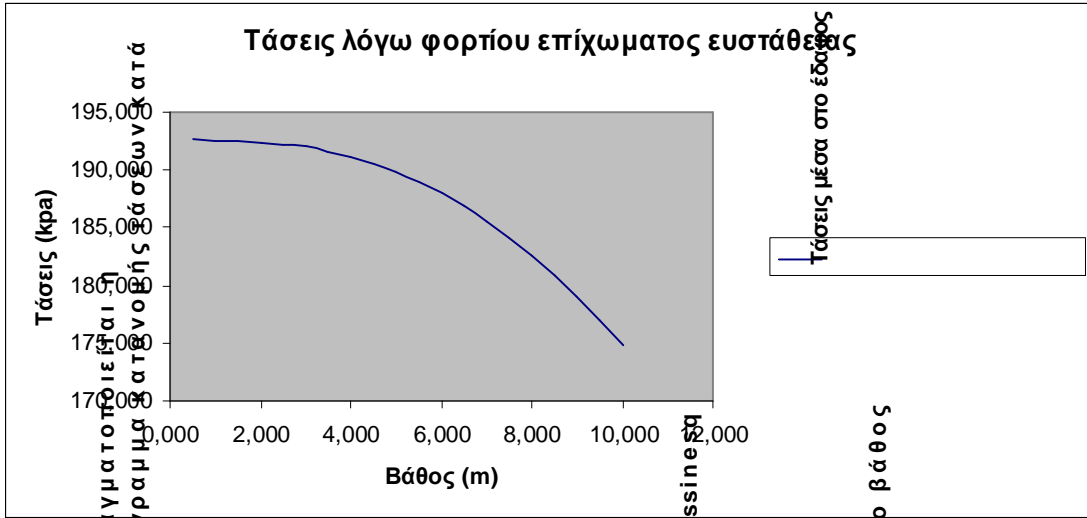
$$L = \left( \frac{K \rho a B}{Z} + \frac{B}{\beta \cos} \right) / \left( \frac{B}{\beta \cos} + \frac{Z}{3,5} \right) \Rightarrow$$

$$L = 48 + 3,5 \Rightarrow \sigma_z = (192,5 / 1) = (192,5 / \pi (2,92 + 3,06)) \sin$$

$$\sigma_z = (192,5 / 1) = (192,5 / \pi (2,92 + 3,06)) \sin$$

$$L = 51,5 \text{ m}$$

$$\sigma_z = 179,41 \text{ (πολ. x)} = 192,48$$



Boussinesq  
 με το βάθος

Πίνακας 4.3

4,00	1,00	0,00	0,00	0,00
72,00	7,23	0,00	0,00	0,00
40,00	0,00	0,00	0,00	0,00
32,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22521,52	6,61	0,00	0,00	0,00
0,5	0,00	0,00	0,00	0,00

Διεξήχθη ο έλεγχος του φορτίου σύμφωνα με τον κανονισμό ΚΑΘΙΣΕΩΝ για την περίπτωση αυτή. Τα αποτελέσματα είναι τα ακόλουθα:

Πίνακας υπολογισμού Καθιζήσεων για

Κατανομή τάσεων με τη μέθοδο 2/1

Παράρτημα που αφορά στην κατανομή των καθιζήσεων κατά την επιρροή των αυτοκινήτων στην οδό με βάση την προτεινόμενη κατηγορία φορτίου

Βουσσινέσκι και συγκεκριμένα οι τάσεις που

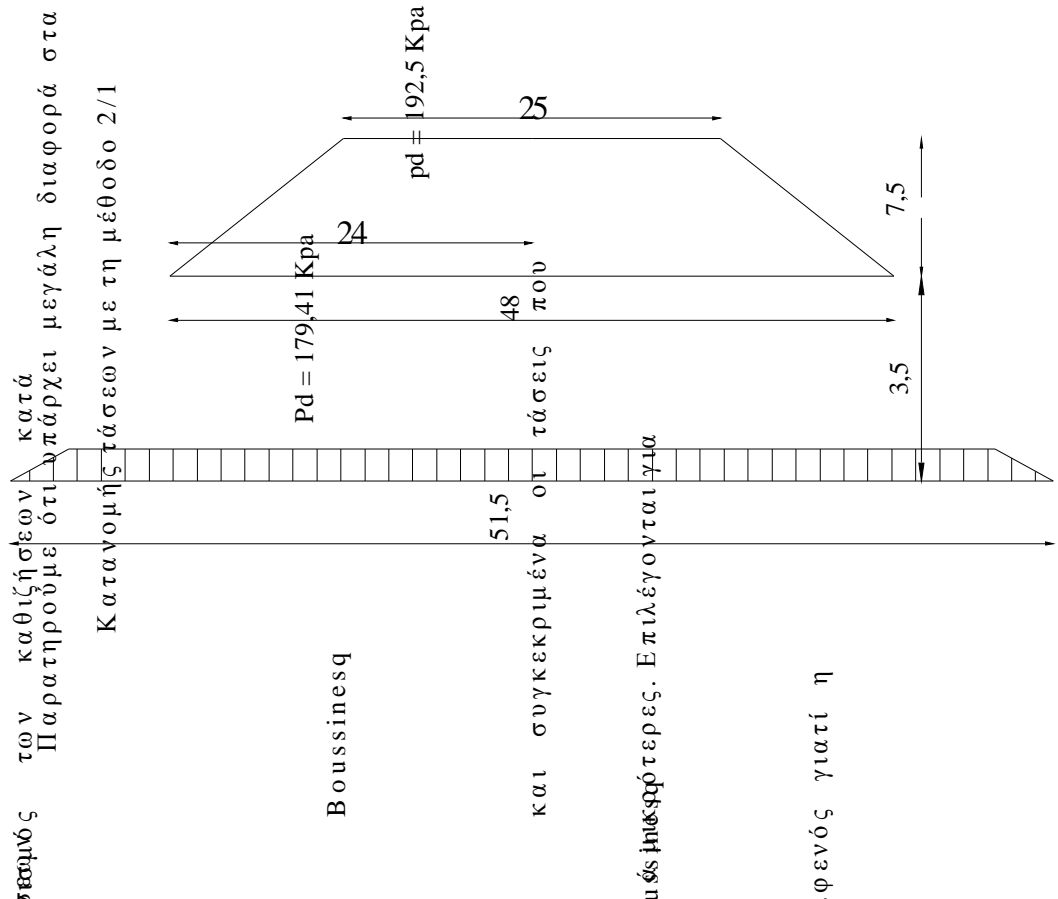
Βουσσινέσκι. Επιλέγονται

, αφενός γιατί η

ώστε να εφαρμοστεί η Terzaghi ενώ

αρχ /

τελ



$t = 1,6$  years

$t = 1,6$  years

$t = 1,6$  years

$t = 1,6$  years

$t = 1,6$  years

$t = 1,6$  years

$t = 1,6$  years

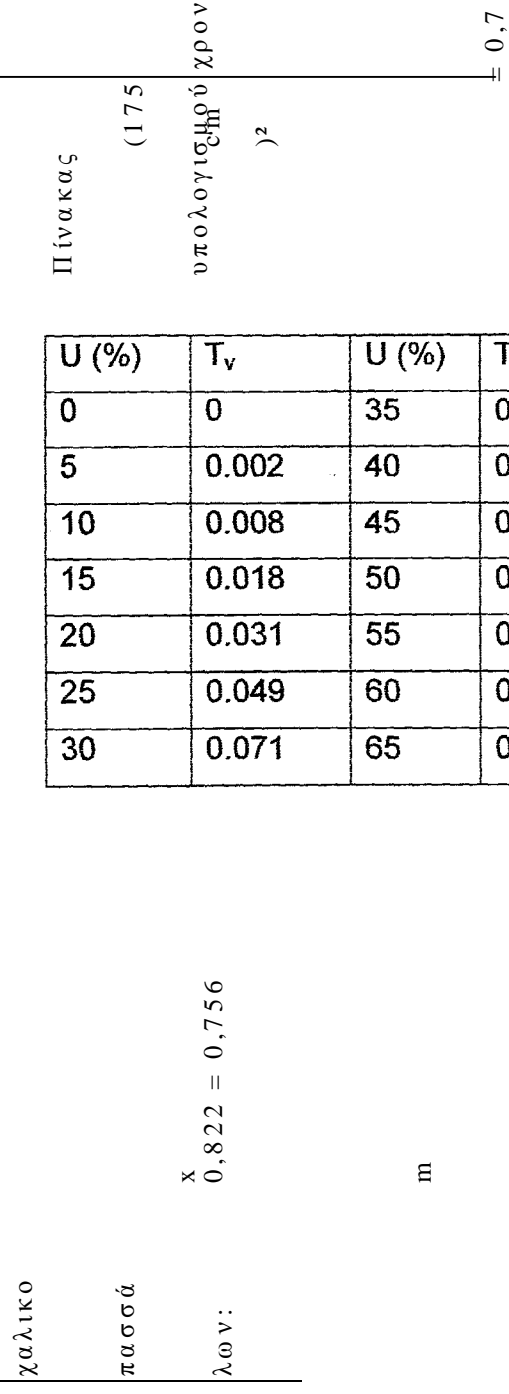
$t = 1,6$  years

$t = 1,6$  years



παρουσιάζει χαρακτηριστικά εντάσεων, όπως φαίνεται στην εικόνα, όπου ο άξονας οριζώντιος είναι η συχνότητα και ο άξονας κατακόρυφος είναι η ένταση. Η συχνότητα είναι 365 x 2π x 10<sup>3</sup> rad/s και η ένταση είναι 365000 cm<sup>2</sup>/min.

Ο χρόνος που απαιτείται ώστε να στερεοποιηθεί η αργιλική στρώση



U (%)	T <sub>v</sub>	U (%)	T <sub>v</sub>	U (%)	T <sub>v</sub>
0	0	35	0.096	70	0.403
5	0.002	40	0.126	75	0.477
10	0.008	45	0.159	80	0.567
15	0.018	50	0.197	85	0.684
20	0.031	55	0.239	90	0.848
25	0.049	60	0.286	95	1.129
30	0.071	65	0.340	100	1.129

U = 92

Στο 1 έτος

ποιείται,

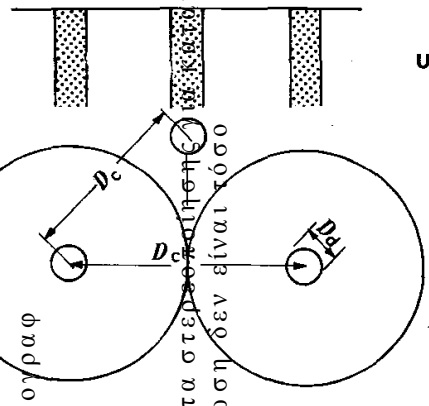
τις υπέλογισαν με βάση τον νόμο του Νεύτωνα, με αποτέλεσμα να προκύψουν τα αποτελέσματα που φαίνονται παρακάτω. Η διαφορά μεταξύ των δύο αποτελεσμάτων είναι 40%.

Ο πόρος Γ κέρνεται από την επιφάνεια του υδραυλικού τμήματος.

Παρατηρήσεις

Με παρουσία χαλκικών σσάλων ο χρόνος στερεοποίησης πέφτει κατά 0,318, 318

Η τοποθέτηση



Νομογράφο

$$\min \frac{x}{(250D)^2} = 0,77 \frac{x}{\text{cm}^2} \frac{T_v}{\text{year}}$$

$$0,21 \sqrt[3]{0,041}$$

συμπεράσματα  
πιτάχυνση του φθάνομένου βελτίωση δεν είναι τόσο

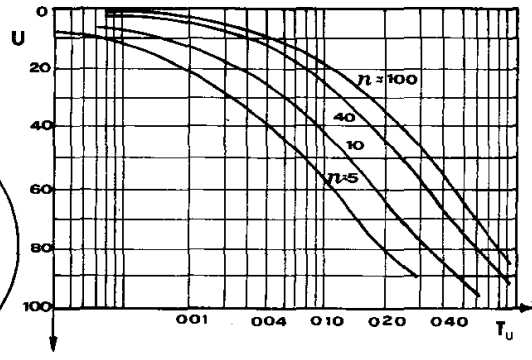
αι του σχετικώς ισχυρού υποβάθρου κάτω από

$$n = \frac{D_c}{D} \frac{C}{v} \frac{D}{x} \frac{T}{R} = 3,125 \text{ για } R = 0,8 = 0,564$$

$$U = 9 \frac{\%}{\text{cm}^2/\text{min}}$$

cm

2/ min



$$D_c = 2,5 \text{ m}$$

cm

γίνεται σε

Για καταλυτική διαδικασία που ακολουθεί μηχανισμό σπινδύλιου και παράγει προϊόντα που περιέχουν οξυγόνο.

.1

Υπολογισμός καταλύσεων και χρόνων στερεοποίησης για  
κατανομή τάσεων.

Με εντελώς όμοιο τρόπο με την προηγούμενη ενότητα, με βάση τις πληροφορίες που παρέχονται στο αρχικό κείμενο.

m

προκύπτει

$$P_{ολ.} = 192,5 \text{ KN/}$$

στο έδαφος

m

βάθους.

ό αποτελεσμα σε ότι αφορά τη στερεοπο

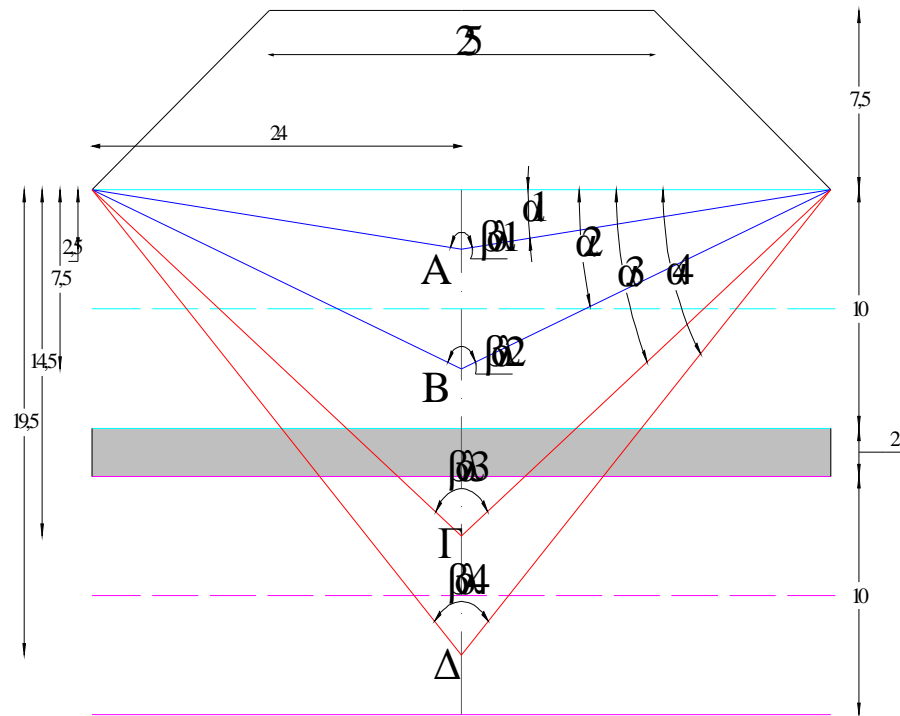
m Boussinesq

και τη μέθοδο 2/1.

7 μήνες. Για αυτό το

ήθηκαν

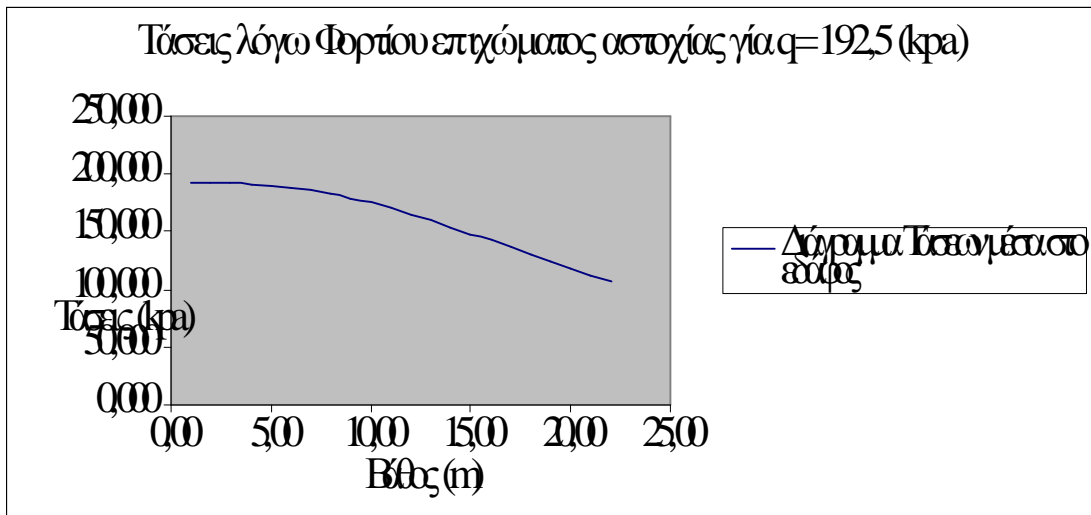
το



Σχήμα 4.10 Εφαρμογή μεθόδου Boussinesq για την περίπτωση του επιχώματος που αστόχησε

Πίνακας 4.5 Κατανομή τάσεων λωρίδας απείρου μήκους κατά Boussinesq

Βύθος (m)	b/2	b	a	2a	sinb	cos2a	sin2a	$\sigma_z$ (kpa)
2,50	1,467	2,934	0,104	0,208	0,206	0,979	0,206	192,235
7,50	1,268	2,536	0,303	0,606	0,569	0,822	0,569	184,156
14,50	1,027	2,055	0,543	1,087	0,885	0,465	0,885	151,206
19,50	0,888	1,777	0,682	1,365	0,979	0,205	0,979	121,222



Σχήμα 4.11 Διάγραμμα κατανομής τάσεων κατά Boussinesq, με το βάθος

Τάσεις λόγω φορτίου σε συγκεκριμένα σημεία:

$$\begin{aligned}\sigma_{ZA} &= q/\pi (\beta + \sin\beta \cos 2\alpha) = 192,5/\pi (2,93 + \sin 2,93 \cos 0,207) \\ &= 192,12 \text{ Kpa}\end{aligned}$$

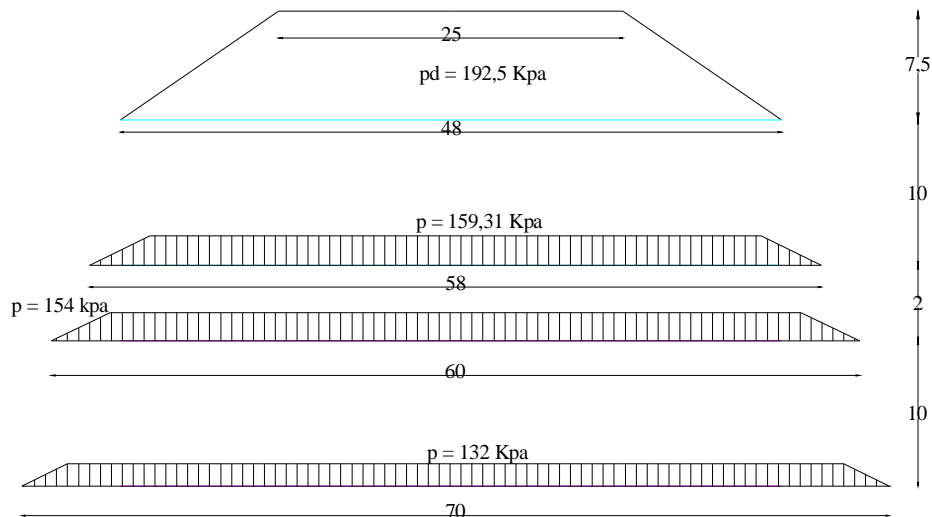
$$\begin{aligned}\sigma_{ZB} &= q/\pi (\beta + \sin\beta \cos 2\alpha) = 192,5/\pi (2,54 + \sin 2,54 \cos 0,606) \\ &= 184,14 \text{ Kpa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{Z\Gamma} &= q/\pi (\beta + \sin\beta \cos 2\alpha) = 192,5/\pi (2,05 + \sin 2,05 \cos 1,08) \\ &= 151,24 \text{ Kpa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{Z\Delta} &= q/\pi (\beta + \sin\beta \cos 2\alpha) = 192,5/\pi (1,77 + \sin 1,77 \cos 1,36) \\ &= 121,43 \text{ Kpa}\end{aligned}$$

#### Δεύτερη μέθοδος κατανομής Τάσεων με Μέθοδος 2/1

Σε αυτή τη φάση, όπως και προηγουμένως διεξαγωγής των υπολογισμών, πραγματοποιείται η μέθοδος 2/1 η οποία είναι ιδανική μόνο για



Σ χ ή μ α 4.12 Κατανομή τάσεων με τη μέθοδο 2/1

$$\sigma_{Z1} = (p_{ολ} \times B) / (B + Z) \Rightarrow \sigma_{Z1} = (192,5 \times 48) / (48 + 10) = 159,31 \text{ Kpa}$$

$$L1 = (B + Z) \Rightarrow L1 = 48 + 10 \Rightarrow L1 = 58 \text{ m}$$

$$\sigma_{Z2} = (p_{ολ} \times B) / (B + Z) \Rightarrow \sigma_{Z2} = (192,5 \times 48) / (48 + 12) = 154 \text{ Kpa}$$

$$L2 = (B + Z) \Rightarrow L2 = 48 + 12 \Rightarrow L2 = 60 \text{ m}$$

$$\sigma_{Z3} = (p_{ολ} \times B) / (B + Z) \Rightarrow \sigma_{Z3} = (192,5 \times 48) / (48 + 22) = 132 \text{ Kpa}$$

$$L3 = (B + Z) \Rightarrow L3 = 48 + 22 \Rightarrow L3 = 70 \text{ m}$$

Όπως αναφέρεται ανωτέρω η μέθοδος αυτή είναι ιδανική για αμμώδη εδάφη και όχι για αργιλικά, διότι παρατηρείται μείωση των τάσεων λόγω φορτίου πολύ πιο περισσότερο από τη μέθοδο κατά Boussinesq.

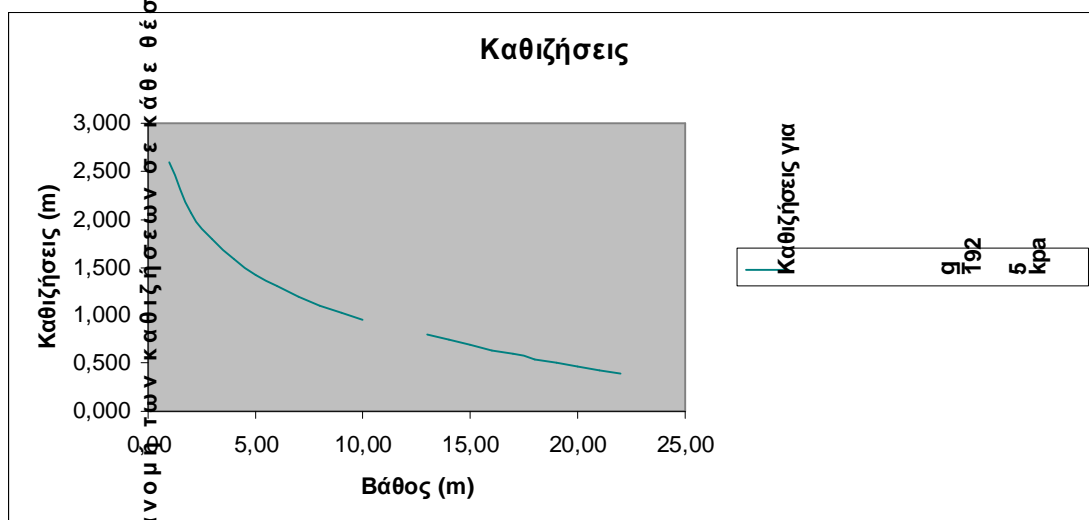
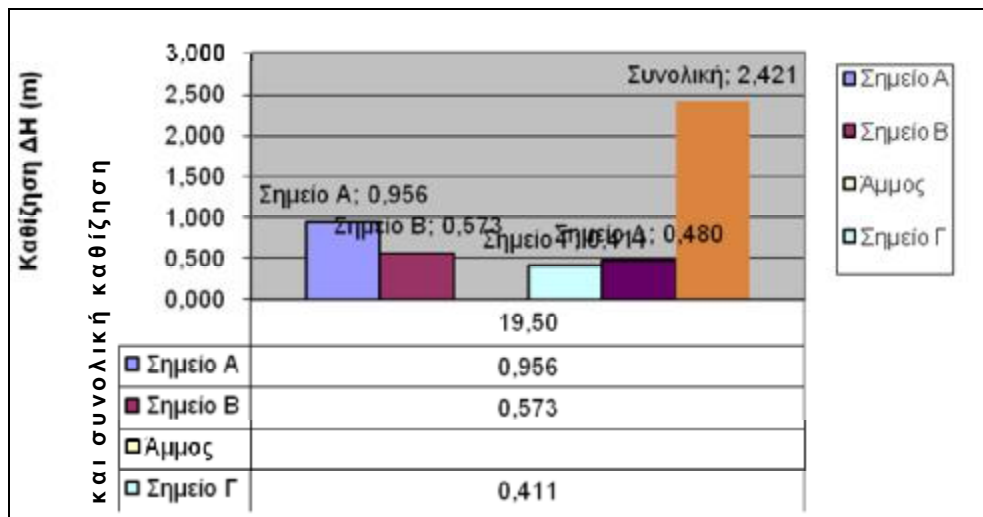
#### 4.5.2. Υπολογισμός Καθιζήσεων στερεοποίησης

Όπως και στη προηγούμενη περίπτωση διεξάγεται ο υπολογισμός των καθιζήσεων κατά Terzaghi λαμβάνοντας τη σχέση  $\Delta H = H_0 \times (C_c / 1 + e) \times \log(\sigma_{τελ} / \sigma_{αρχ})$  ενώ προηγείται ο υπολογισμός των αρχικών γεωστατικών

τάσεων σαρχ ενώ στη συνέχεια προστίθενται οι τάσεις λόγω φορτίου κατά Boussinesq ώστε να εκτιμηθούν οι τελικές ορθές τάσεις στελ

Πίνακας 4.6 Πίνακας υπολογισμού καθιζήσεων για τάση  $q = 192,5 \text{ Kpa}$

Βάθος (m)	σν (kpa)	u (kpa)	σαρχ (kpa)	στρώσεις ανά βάθος	στελ (kpa) για $q=192,5$	στελ (kpa) για $q=117,5$	$\Delta H$ (m) για $q=192,5$
2,50	43,750	25,000	18,750	1,000	210,985	136,088	1,911
7,50	131,250	75,000	56,250	2,000	240,406	168,657	1,147
10,00							
11,00							
12,00							
14,50	227,500	145,000	82,500	1,000	233,706	174,795	0,822
19,50	246,000	195,000	51,000	2,000	172,222	124,992	0,961



Σχήμα 4.13

Κατανομή των καθιζήσεων σε κάθε θέση





Διάσχυριση των αποτελεσμάτων με τη μέθοδο των ελαστικών (Elasticity Method) για την ανάλυση της συμπεριφοράς του υλικού υπό φόρτιση.

$$= \frac{13,11}{525600 \text{ min}} \times 0,041 \text{ cm}^2/\text{min} = 0,0001013$$

$$\frac{C_V}{\text{cm}^2} / 0,041 \text{ cm}^2/\text{min} = t = 0,041$$

$$\text{cm}^2 \log \log = 1,20$$

$$d = 500$$

$$6890243 \text{ cm} \text{ διπλή στρά } m$$

$$\text{min} = > \text{ΥΥΙΟΗ}$$

$$= 33. \text{ Επομένως,}$$

αργιλικών επιφανειακών στρώσεων που είναι πολύ λεπτά και έχουν πάχος περίπου 0,21 cm. Η ταχύτητα της ροής είναι 0,41 cm<sup>2</sup>/min. Η διαφορά των υψών είναι 0,51 m.

2) Στα 13,11 m παρουσιάζονται στρώσεις αργιλικών επιφανειακών στρώσεων που είναι πολύ λεπτά και έχουν πάχος περίπου 0,21 cm. Η ταχύτητα της ροής είναι 0,41 cm<sup>2</sup>/min. Η διαφορά των υψών είναι 0,51 m.

7 μήνες, που είναι σημαντική για τη διατήρηση της υγρασίας του εδάφους. Η διαφορά των υψών είναι 0,51 m.

φείλεται στο ότι οι υποκείμενες αργιλικές στρώσεις είναι συμπεράσματα 3,125 για  $n = 0,21$

$$n = \frac{D_c}{D_d} = \frac{0,21}{0,51} = 0,41$$

από διάγραμμα  $T_D = 0,21$  ρότερο χρονικό διάστημα σε  $n = 0,41$

Η παρουσία μεγάλων  $n = 155$  m και ΔΗ  $n = 0,8$  (διάμετρος)

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕ ΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΕΝΑΝΤΙ ΤΗΣ ΚΑΤΑΡΤΙΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΤΟΔΟΤΗΣΙΑΣ ΤΩΝ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ

$$= \left( \frac{Y}{Df} - \frac{\bar{Y}}{N} \right)^2 + \left( \frac{X}{Nq} - \frac{\bar{X}}{N} \right)^2$$

Έλεγχοι  
 Με το νομογράφημα του  
 Φέρουσα

από την γωνία εσωτερικής τριβής. Πραγματοποιούνται

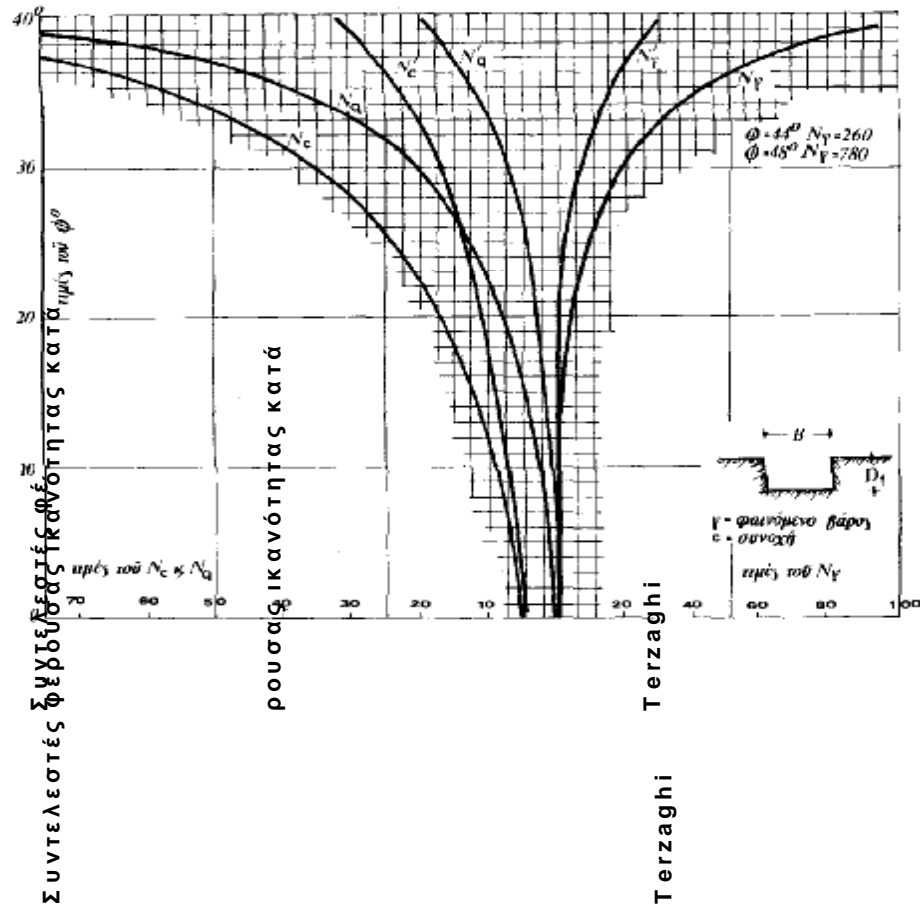
$$\left( \frac{X}{Nc} + 0,5 \right)^2$$
 Ικανότητα

Terzaghi  

$$\frac{X}{B} + \frac{X}{N} + \frac{Y}{N} + \frac{X}{N} + \frac{Y}{N}$$
 και συγκριμένα με τη  
 υργικότητας της ενεργούς

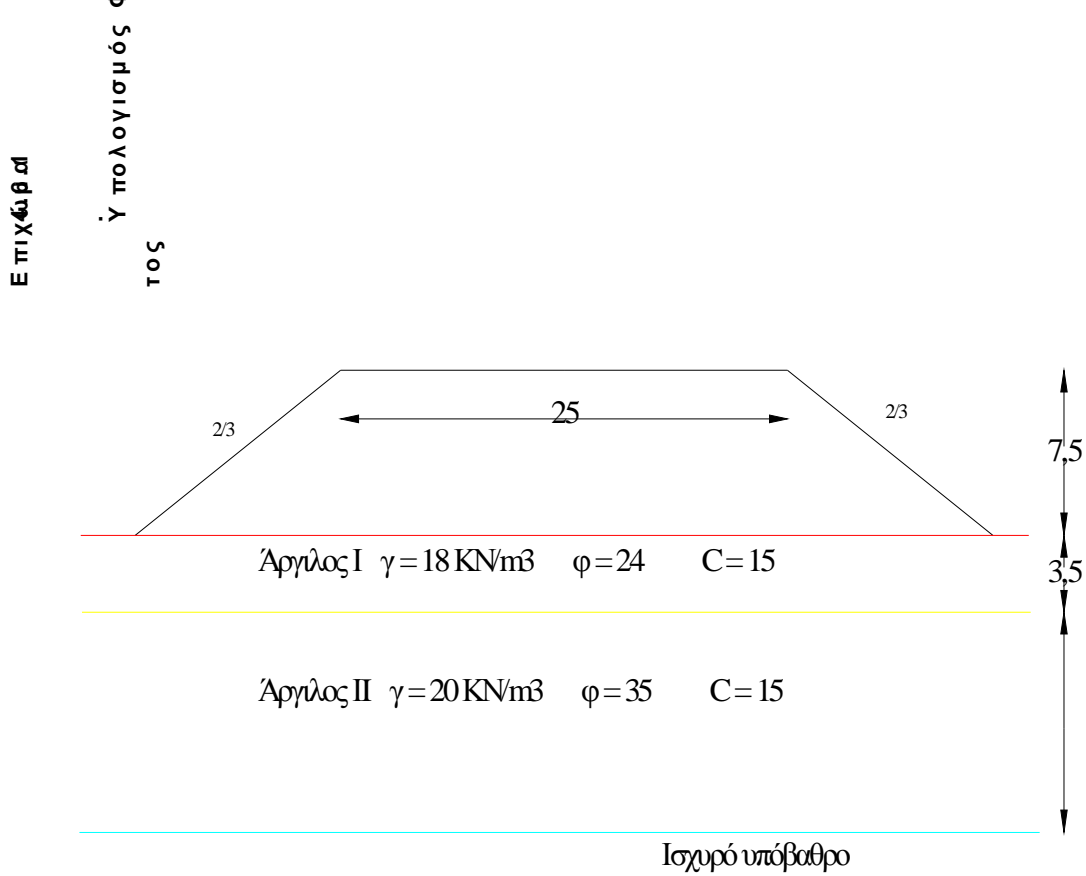
βοήθεια  
 7 μήνες με  
 λεσμάτων.

ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑ ΤΕΡΖΑΓΗ



Πίνακας 4.7 Σχήμα 4.14

$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N_q/N_c$	$\tan \phi$	$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N_q/N_c$	$\tan \phi$
0	5.14	1.00	0.00	0.20	0.00	26	22.25	11.35	12.54	0.53	0.49
1	5.21	1.03	0.02	0.20	0.02	27	23.54	13.20	14.47	0.55	0.51
2	5.33	1.20	0.15	0.21	0.03	28	25.09	14.73	16.72	0.57	0.53
3	5.50	1.31	0.24	0.22	0.05	29	27.03	16.41	19.29	0.59	0.55
4	5.71	1.43	0.36	0.23	0.07	30	29.14	18.00	22.10	0.61	0.58
5	6.00	1.57	0.46	0.25	0.08	31	31.67	20.63	25.99	0.63	0.60
6	6.31	1.72	0.57	0.25	0.11	32	34.49	23.18	30.27	0.65	0.62
7	7.16	1.89	0.71	0.26	0.12	33	37.61	26.09	35.10	0.69	0.65
8	7.63	2.05	0.85	0.27	0.14	34	41.16	29.44	41.03	0.70	0.67
9	7.92	2.25	1.02	0.28	0.16	35	45.12	33.30	48.03	0.72	0.70
10	8.35	2.47	1.22	0.30	0.18	36	49.59	37.75	56.19	0.75	0.73
11	8.80	2.71	1.44	0.31	0.19	37	54.63	42.92	65.69	0.77	0.75
12	9.38	2.97	1.69	0.32	0.21	38	60.35	48.93	76.61	0.80	0.78
13	9.91	3.23	1.97	0.33	0.23	39	67.87	55.85	89.25	0.82	0.81
14	10.37	3.59	2.29	0.35	0.25	40	75.31	64.20	103.91	0.85	0.83
15	10.88	3.94	2.65	0.36	0.27	41	83.86	73.10	120.22	0.88	0.87
16	11.63	4.21	3.06	0.37	0.29	42	93.71	82.38	138.55	0.91	0.90
17	12.34	4.77	3.53	0.38	0.31	43	105.11	93.02	159.51	0.94	0.93
18	13.10	5.23	4.07	0.40	0.32	44	118.37	115.31	183.61	0.97	0.97
19	13.93	5.69	4.70	0.42	0.34	45	133.43	124.13	211.23	1.01	1.00
20	14.63	6.40	5.29	0.43	0.35	46	150.10	158.51	242.35	1.03	1.04
21	15.82	7.07	6.20	0.45	0.37	47	173.01	187.23	283.67	1.03	1.07
22	16.08	7.82	7.13	0.46	0.40	48	199.26	222.31	333.61	1.12	1.11
23	18.05	8.61	8.20	0.48	0.42	49	229.90	265.31	412.10	1.15	1.15
24	19.32	9.69	9.44	0.50	0.45	50	265.88	319.07	532.89	1.20	1.19



Σχήμα 4.15 Στρωματογραφία υπεδάφους για το τυπικό ευσταθές επίχωμα

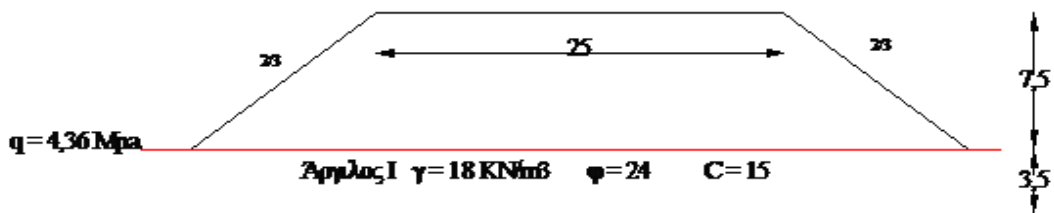
A) Επιφάνεια Έδρασης

Για  $\phi = 24^\circ$  από γράφημα  $N_c = 19,32$  ,  $N_g = 9,60$  ,  $N_\gamma = 9,44$

$N_g/N_c = 0,5$

$q = (0) + (15 \times 19,32) + (0,5 \times 48 \times 18 \times 9,44) = 4367,88 \text{ kPa}$

$= 4,367 \text{ Mpa}$



Σχήμα 4.16 Υπολογισμός φέρουσας ικανότητας για την επιφάνεια έδρασης

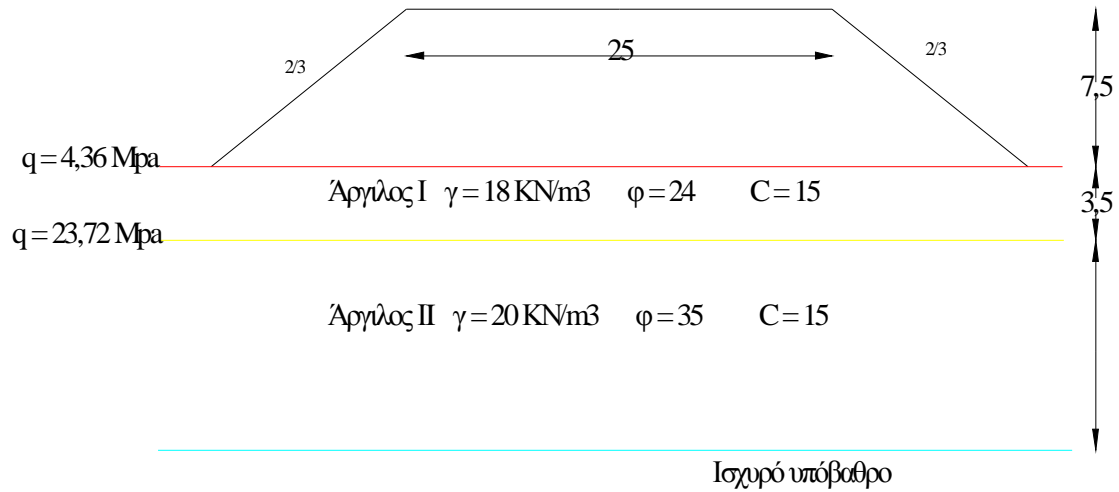
B) Επιφάνεια δεύτερης στρώσης:

Για  $D_f = 3,5 \text{ m}$ ,  $\phi = 35^\circ$  από γράφημα  $N_c = 40,12$   $N_g = 33,30$

$N_\gamma = 48,03$

$$q = (18 \times 3,5 \times 9,60) + (15 \times 40,12) + (0,5 \times 48 \times 20 \times 48,03)$$

$$= 23721 \text{ Kpa} = 23,72 \text{ Mpa}$$



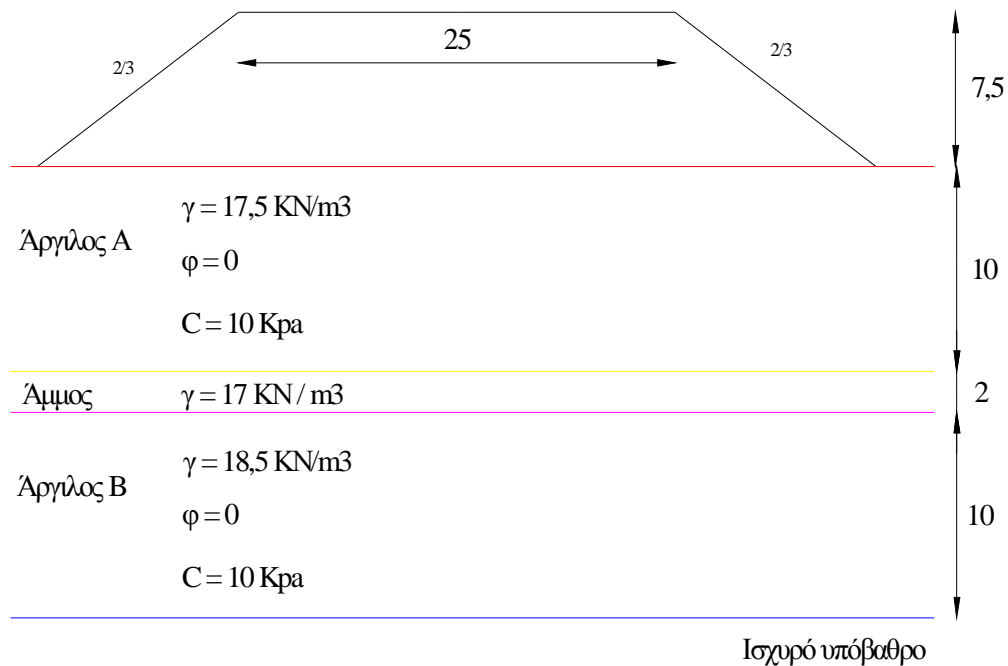
Σχήμα 4.17 Υπολογισμός φέρουσας ικανότητας για την αμμώδη στρώση

Πίνακας 4.8 Σύγκριση τάσεων θεμελίωσης και φέρουσας ικανότητας

Βάθος (m)	Τάσεις λόγω φορτίου (kpa)	Φέρουσα ικανότητα (kpa)	Παρατηρήσεις
0	$P_d = 192,5$	$q = 4367,88$	$P_d < q$ Ευστάθεια
3,5	$P_d = 191,5$	$q = 23721$	$P_d \ll q$ Ευστάθεια

Η τάση λόγω εξωτερικού φορτίου είναι μικρότερη της των τιμών φέρουσας ικανότητας γι' αυτό παρατηρείται ευστάθεια και στις δύο στρώσεις. Επίσης παρατηρούμε ότι η φέρουσα ικανότητα του εδάφους αυξάνει με το βάθος λόγω της προσθήκης του όρου  $N_q$ .

4.6.2. Υπολογισμός Φέρουσας Ικανότητας για τη περίπτωση επιχώματος που βρέθηκε σε αστοχία.



Σχήμα 4.18 Στρωματογραφία υπεδάφους για το επίχωμα που αστόχησε

A) Επιφάνεια έδρασης:

$$q = (\gamma \times D_f \times N_q) + (C \times N_c) + (0,5 \times B \times \gamma \times N_\gamma)$$

Για  $\phi = 0^\circ$  από γράφημα  $N_c = 5,14$   $N_q = 1$   $N_\gamma = 0$

$$q = (10 \times 5,14) + (0,5 \times 48 \times 17,5 \times 0) = 51,4 \text{ Kpa}$$

B) Αρχή αμμώδους επιφάνειας έδρασης:  $D_f = 10\text{m}$

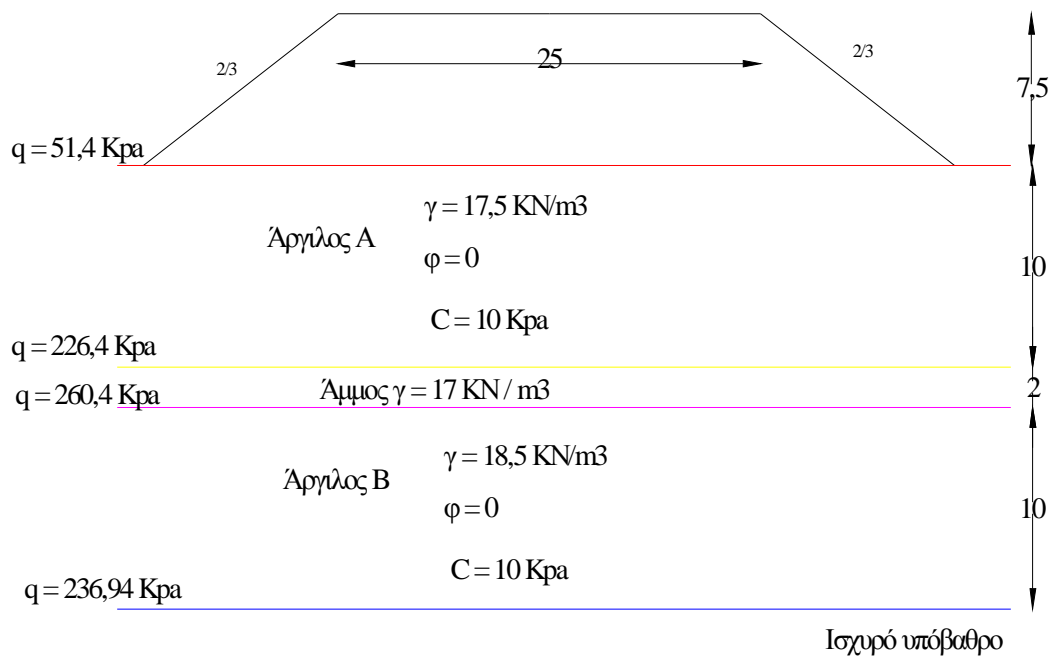
$$q = (17,5 \times 10 \times 1) + (10 \times 5,14) + (0,5 \times 48 \times 17 \times 0) = 226,4 \text{ Kpa}$$

Γ) Αρχή δεύτερης αργιλικής στρώσης:  $D_f = 12\text{m}$

$$q = [(17,5 \times 10) + (17 \times 2) \times 1] + (10 \times 5,14) = 260,4 \text{ Kpa}$$

Δ) Αρχή έδρασης ισχυρού υποβάθρου:

$$q = (17,5 \times 10 \times 1) + (17 \times 2 \times 1) + (18,5 \times 10 \times 1) + (133,88 \times 500) + (0,5 \times 48 \times 271,8 \times 26) = 236,94 \text{ Mpa}$$



Σχήμα 4.19 Υπολογισμός φέρουσας ικανότητας των διαφόρων εδαφικών στρώσεων

Πίνακας 4.9 Σύγκριση τάσεων θεμελίωσης και φέρουσας ικανότητας

Βάθος (m)	Τάσεις λόγω φορτίου (Kpa)	Φέρουσα ικανότητα (Kpa)	Παρατηρήσεις
0	$Pd = 192,5$	$q = 51,4$	$Pd > q$ Αστοχία
10	$Pd = 174,83$	$q = 226,4$	$Pd < q$ Ευστάθεια
12	$Pd = 164,42$	$q = 260,4$	$Pd < q$ Ευστάθεια
22	$Pd = 107,11$	$q = 236,94$	$Pd \ll q$ Ευστάθεια

Παρατηρείται ότι πρόβλημα αναφορικά με τη φέρουσα ικανότητα παρουσιάζει μόνο η μαλακή αργιλική στρώση Α.



Πίνακας 4.10 Σύγκριση τάσεων θεμελίωσης και φέρουσας ικανότητας, για ύψος επιχώματος  $H = 4,5\text{m}$  ( $q = 117,5 \text{ Kpa}$ )

Βάθος (m)	Τάσεις λόγω φορτίου (Kpa)	Φέρουσα ικανότητα (Kpa)	Παρατηρήσεις
0	$P_d = 117,5$	$q = 51,4$	$P_d > q$ Αστοχία
10	$P_d = 106,81$	$q = 226,4$	$P_d < q$ Ευστάθεια
12	$P_d = 100,72$	$q = 260,4$	$P_d < q$ Ευστάθεια
22	$P_d = 65,32$	$q = 236,94$	$P_d \ll q$ Ευστάθεια

Παρατηρείται ότι πρόβλημα φέρουσας ικανότητας παρουσιάζει μόνο η μαλακή αργιλική στρώση Α.

Επίσης παρατηρείται αστοχία μόνο της Α μαλακής αργιλικής στρώσης με ανάλογο ύψος επιχώματος  $H = 4,5\text{m}$  και με τις ανωτέρω αναγγελθέν υποχωρήσεις.

#### 4.7. Συμπεράσματα υπολογισμών

Από τους υπολογισμούς που προηγήθηκαν, αποδεικνύεται ότι το υπέδαφος έδρασης του επιχώματος που τελικώς αστόχησε, παρουσιάζει μειωμένη ικανότητα ανάληψης φορτίου, λόγω χαμηλής φέρουσας ικανότητας της επιφανειακής αργιλικής στρώσης και σημαντικά μεγάλες καθιζήσεις στερεοποίησης σε ένα αρκετά μεγάλο βάθος κάτω από το επίχωμα.

Αντίθετα, τα επιχώματα στα υπόλοιπα τμήματα παρουσιάζουν ευστάθεια με ικανοποιητικό συντελεστή ασφάλειας, ενώ οι καθιζήσεις που αναμένονται είναι σχετικά μικρότερες και αντιμετωπίζονται με απλά μέτρα ενίσχυσης (χαλικοπάσσαλοι).

Τα συμπεράσματα αυτά ελέγχονται με βάση ακριβέστερες αναλύσεις με λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων (Plaxis), οι οποίες παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 5 που ακολουθεί.

## Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 5

Αριθμητικές αναλύσεις με τον κώδικα πεπερασμένων στοιχείων

Plaxis v.8

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίλυσης των δυο χαρακτηριστικών περιπτώσεων επιχωμάτων με τη βοήθεια λογισμικού υπολογιστικού προγράμματος (Plaxis v.8) ώστε να προσδιοριστούν με ακρίβεια, οι συντελεστές ασφάλειας και οι υποχωρήσεις και να συγκριθούν με τις μετρηθείσες, ειδικά για το επίχωμα που αστόχησε. Στόχος της επίλυσης με υπολογιστικό πρόγραμμα είναι η διεξαγωγή συμπερασμάτων – παρατηρήσεων αλλά και των αιτιών που προκάλεσαν την εκδήλωση του φαινομένου, την αστοχία του επιχώματος στο τμήμα πριν την περιοχή Α/Κ Θερμοπυλών.

Το υπολογιστικό πρόγραμμα Plaxis είναι ένα από τα συνηθέστερα λογισμικά προγράμματα, το οποίο, πραγματοποιεί επιλύσεις με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων δίνοντας αποτελέσματα υποχωρήσεων, παραμορφώσεων, τιμές συντελεστών ασφαλείας για πρανή επιχωμάτων και άλλων κατασκευών του τομέα της εδαφομηχανικής ακόμη και της βραχομηχανικής για την κατασκευή υπογείων έργων.

Η αναλυτική λύση των εξισώσεων με τις οποίες περιγράφονται τα διάφορα τεχνικά προβλήματα είναι δυνατή μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, όπου οι καταπονήσεις και τα γεωμετρικά σχήματα είναι πάρα πολύ απλά. Όμως, λόγω της ανάγκης που υπήρχε να λυθούν και πιο σύνθετα προβλήματα, αναπτύχθηκαν διάφορες προσεγγιστικές μέθοδοι.

Μία τέτοια μέθοδος είναι και η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων. Αυτή η μέθοδος είναι μεν προσεγγιστική, αλλά μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα και έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα προβλήματα. Το μειονέκτημά της είναι οι αυξημένες απαιτήσεις σε

υπολογιστική ισχύ, ιδίως όταν εφαρμόζεται σε σύνθετα μοντέλα. Αυτό όμως το μειονέκτημα ξεπεράστηκε τα τελευταία χρόνια χάρη στη ραγδαία ανάπτυξη των υπολογιστών. Η επιτυχία αυτής της μεθόδου ήταν τόσο μεγάλη, που ακόμα και σήμερα χρησιμοποιείται στην έρευνα και στην βιομηχανία για τον υπολογισμό και τη μελέτη διάφορων κατασκευών.

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι μία εξέλιξη των μητρικών μεθόδων και έγινε από διάφορους σπουδαίους επιστήμονες όπως ο Ιωάννης Αργύρης, ο Clough, ο Ritz και άλλοι. Για να εφαρμοστεί η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων απαιτούνται τα εξής στάδια:

α) Εισάγεται η γεωμετρία της κατασκευής σε ένα πρόγραμμα CAD και δημιουργείται το τρισδιάστατο μοντέλο.

β) Χωρίζεται το μοντέλο σε πεπερασμένα στοιχεία και αφού ετοιμαστεί ο κάρναβος επιλέγεται το είδος της επίλυσης και εισάγονται τα επιπλέον δεδομένα που απαιτούνται. Παραδείγματος χάριν, αν επιλεγεί να λυθεί το μοντέλο σε στατική καταπόνηση θα πρέπει να δοθούν τα δεδομένα για τις δυνάμεις και τις στηρίξεις.

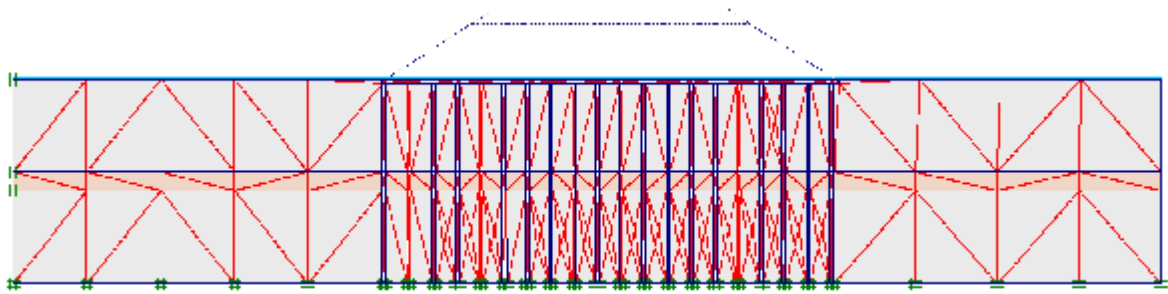
Αυτή η διαδικασία γίνεται με προγράμματα που αποκαλούνται pre processor. Όταν ετοιμαστούν τα δεδομένα για επίλυση, εισάγονται σε ένα πρόγραμμα το ποίο θα κάνει την επίλυση του προβλήματος. Τέτοιου είδους προγράμματα λέγονται solver και χρησιμοποιούν για τις επιλύσεις αριθμητικές μεθόδους. Όταν τελειώσει η επίλυση τα αποτελέσματα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα πρόγραμμα, που αποκαλείται post processor, για να μπορέσει ο μελετητής να δει τα αποτελέσματα

### 5.1. Τμήμα Επιχωμάτων που βρέθηκαν σε αστοχία

Αρχικά πραγματοποιείται η επίλυση του επιχώματος όπου εκδηλώθηκε η αστοχία με πλάτος στέψης  $b = 25\text{m}$ , ξηρού ειδικού βάρους  $\gamma = 25\text{KN/m}^3$  και ύψους  $H = 7,5\text{m}$  με κλίση πρανών  $(\nu:\beta) 2/3$ . Επίσης, η επίλυση με τη βοήθεια του λογισμικού επιτρέπει την προσομοίωση των πραγματικών

συνθηκών έδρασης του επιχώματος, δηλαδή προστέθηκε η εξυγιαντική - στραγγιστική στρώση πάχους 50cm επίσης ξηρού ειδικού βάρους  $\gamma = 25 \text{ KN/m}^3$  και η παρουσία χαλικοπασσάλων διαμέτρου 80cm σε τετραγωνικό κάναβο πλευράς 2,5m, τα οποία δεν λήφθηκαν υπόψη στους υπολογισμούς που προηγήθηκαν.

Στο παρακάτω Σχήμα 5.1, απεικονίζεται το αριθμητικό μοντέλο με το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι αναλύσεις. Τα σύνορα του προβλήματος τοποθετούνται αρκετά μακριά από το επίχωμα ενώ οι συνοριακές συνθήκες θεωρούνται ότι περιγράφονται από συνθήκες πάκτωσης στη βάση (μηδενική μετατόπιση) και κατακόρυφη κύλιση πλευρικά (μηδενική οριζόντια μετατόπιση)



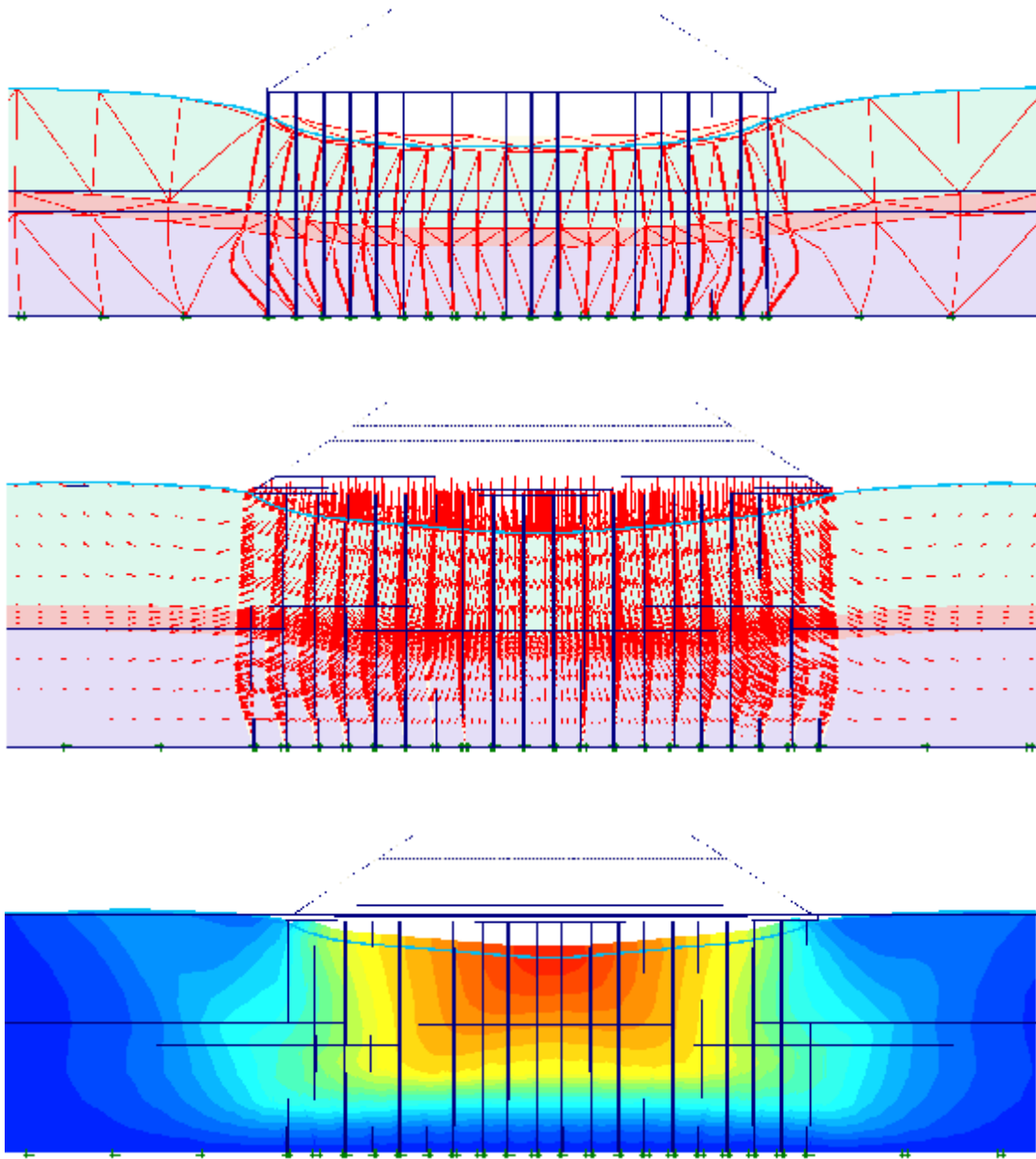
Σχήμα 5.1 Κάνναβος πεπερασμένων στοιχείων για τη διατομή της αστοχίας

Η επίλυση διεξάγεται κατά στάδια. Πιο συγκεκριμένα, διενεργείται η σταδιακή κατασκευή του παρόντος επιχώματος σε στρώσεις 1m πάχους και σε κάθε τέτοιο βήμα πραγματοποιείται επίλυση του επιχώματος για την εύρεση πλαστικών παραμορφώσεων και δεύτερη επίλυση για τον υπολογισμό του συντελεστού ασφαλείας. Το επίχωμα ύψους 7,5 m, χωρίζεται σε 8 τέτοιες στρώσεις, αλλά η επίλυση χρειάστηκε μόνο 5 βήματα, καθώς στο 5<sup>ο</sup> βήμα, στο οποίο επιχειρήθηκε να αυξηθεί το ύψος του επιχώματος από 4 σε 5m σημειώθηκε πράγματι αστοχία, που σημαίνει ότι το αριθμητικό μας μοντέλο αποτελεί καλή προσομοίωση της πραγματικής κατάστασης του επιχώματος. Αναλυτικότερα, τα αποτελέσματα βήμα – βήμα έχουν ως εξής:

1<sup>ο</sup> Βήμα:

Για την 1<sup>η</sup> στρώση οι υποχωρήσεις υπολογίστηκαν : 0,011m

Ο συντελεστής ασφαλείας υπολογίστηκε: SFs = 2,748

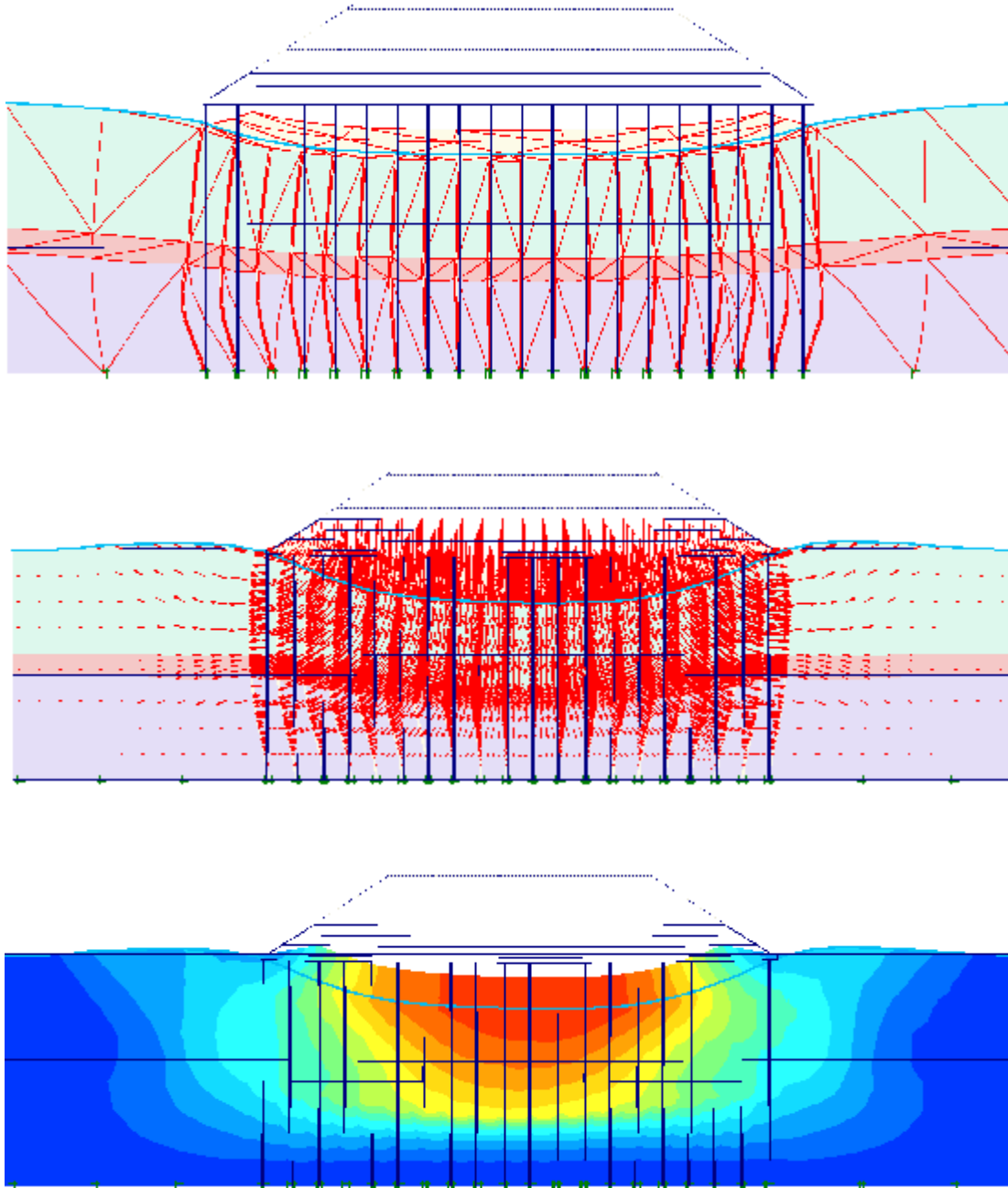


Σχήμα 5.2 Παραμορφώσεις και μετατοπίσεις κατά το 1<sup>ο</sup> Στάδιο κατασκευής του επιχώματος (H = 1m)

2<sup>ο</sup> Βήμα:

Για την 2<sup>η</sup> στρώση οι υποχωρήσεις υπολογίστηκαν : 0,023m

Ο συντελεστής ασφαλείας υπολογίστηκε: SFs = 1,826

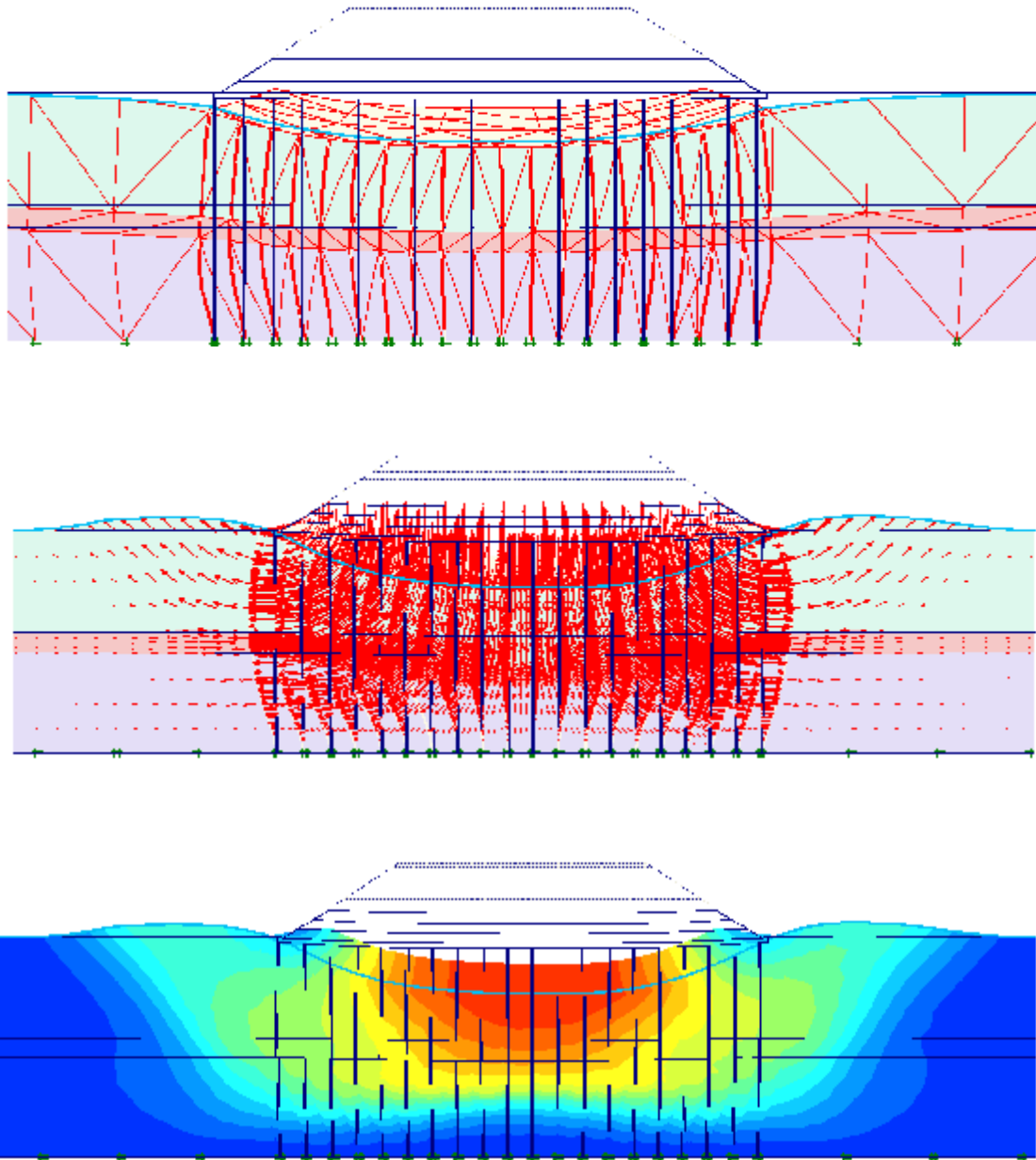


Σχήμα 5.3 Παραμορφώσεις και μετατοπίσεις κατά το 2<sup>ο</sup> Στάδιο κατασκευής του επιχώματος (H = 2m)

3<sup>ο</sup> Βήμα:

Για την 3<sup>η</sup> στρώση οι υποχωρήσεις υπολογίστηκαν : 0,044 m

Ο συντελεστής ασφαλείας υπολογίστηκε: SFs = 1,403

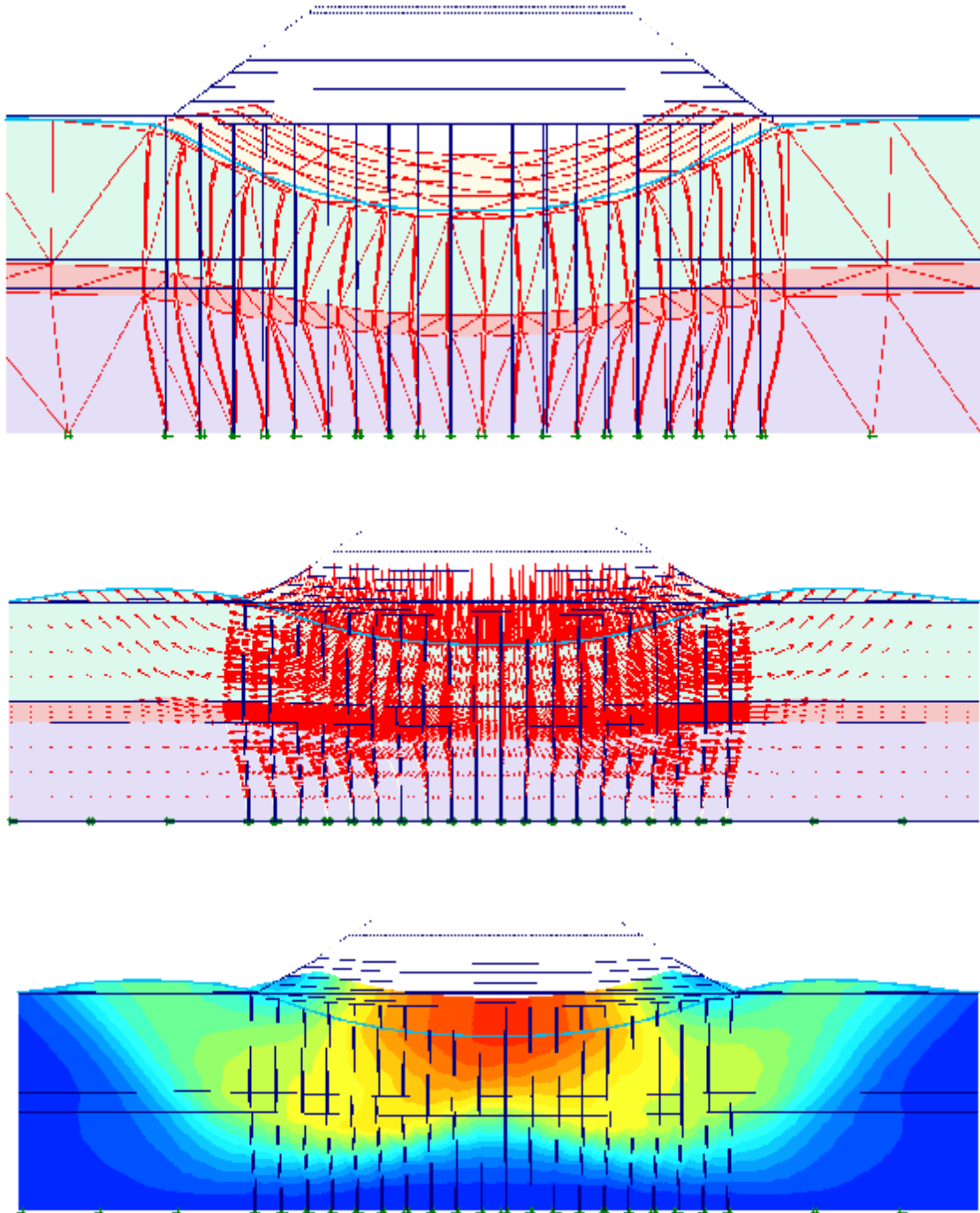


Σχήμα 5.4 Παραμορφώσεις και μετατοπίσεις κατά το 3<sup>ο</sup> Στάδιο κατασκευής του επιχώματος (H = 3 m)

4<sup>ο</sup> Βήμα :

Για την 4<sup>η</sup> στρώση οι υποχωρήσεις υπολογίστηκαν : 0,133m

Ενώ ο συντελεστής ασφαλείας υπολογίστηκε: SFs = 1,184 (σχεδόν οριακή τιμή)



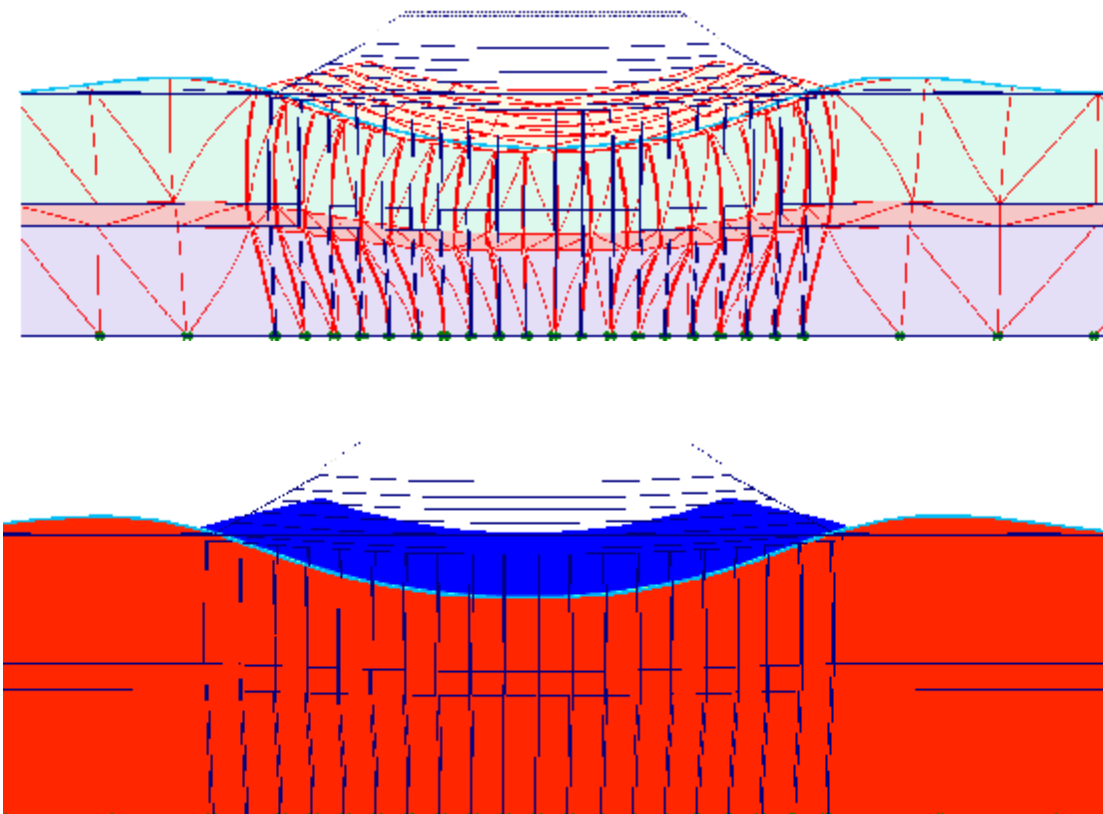
Σχήμα 5.5 Παραμορφώσεις και μετατοπίσεις κατά το 4<sup>ο</sup> Στάδιο κατασκευής του επιχώματος (H = 4m)



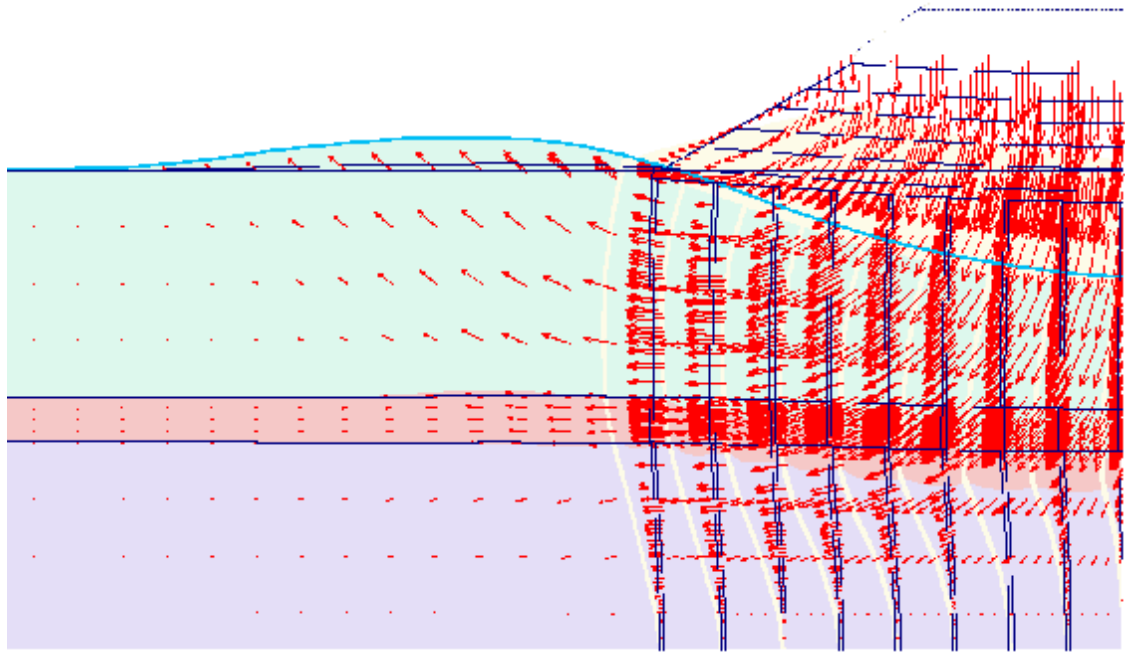
### 5<sup>ο</sup> Βήμα:

Για την 5<sup>η</sup> στρώση παρουσιάζεται αστοχία επιχώματος (για ύψος επιχώματος 4m έως 5m) με μέγιστη τιμή υποχωρήσεων 0,97m.

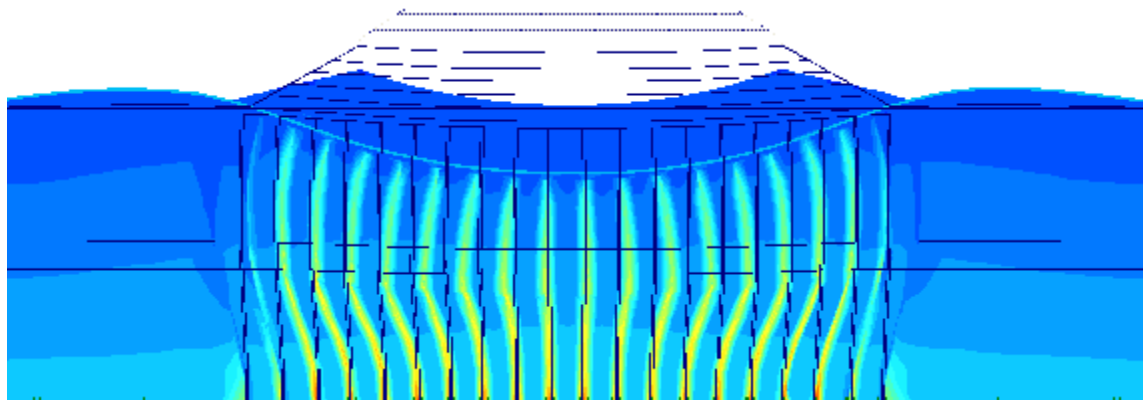
Ο συντελεστής ασφαλείας υπολογίστηκε μικρότερος της μονάδος, SFs < 1 για μηχανισμό αστοχίας τύπου θεμελίου, που αποτελείται από κύκλο ολίσθησης ο οποίος εφάπτεται στη βαθύτερη αμμώδη στρώση.



Σχήμα 5.6 Παραμορφώσεις και μετατοπίσεις κατά το 5<sup>ο</sup> Στάδιο κατασκευής του επιχώματος (H = 5m)



Σχήμα 5.7 Μηχανισμός αστοχίας βαθιάς ολίσθησης λόγω υπέρβασης αντοχής της θεμελίωσης.



Σχήμα 5.8 Θλιπτικές τάσεις και παραμορφώσεις στους χαλικοπασσάλους της θεμελίωσης

## 5.2. Παρατηρήσεις – συμπεράσματα αριθμητικών αναλύσεων του επιχώματος που αστόχησε

### 5.2.1. Σύνοψη αποτελεσμάτων αριθμητικών αναλύσεων

Συμφώνα με τα αριθμητικά αποτελέσματα της προηγούμενης ενότητας παρατηρούνται:

- 1) Αστοχία επιχώματος υπό μορφή θεμελίου, το επίχωμα βυθίζεται μέσα στην υποκείμενη στρωματογραφία.
- 2) Η αστοχία παρουσιάζεται σε ύψος 4,5 m.
- 3) Υποχωρήσεις της τάξεως του 1m σε όλο το πλάτος έδρασης του επιχώματος.
- 4) Μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις στους χαλικοπασάλλους.
- 5) Στα 4m ύψους επιχώματος υπολογίστηκε οριακός συντελεστής ασφαλείας κοντά στη μονάδα, ενώ στα 5m ύψους επιχώματος, ο συντελεστής ασφαλείας υπολογίστηκε μικρότερος της μονάδος.

### 5.2.2. Συμπεράσματα αναλύσεων

Με βάση τα παραπάνω καταλήγουμε στα ακόλουθα συμπεράσματα:

1) Όσον αναφορά στην ερμηνεία της αστοχίας, συμπεραίνεται ότι κατά την κατασκευαστική διαδικασία της προφορτίσεως, οι μελετητές του υπόψη τμήματος, ενώ γνώριζαν τον κίνδυνο αστοχίας, επέβαλαν ως φορτίο προφόρτισης το οριακό ύψος του επιχώματος  $H = 4.5m$ , προκειμένου να πετύχουν τη μέγιστη δυνατή στερεοποίηση. Το γεγονός ότι η αστοχία συνέβη αρκετό καιρό μετά την κατασκευή του επιχώματος και μάλιστα μέσα στη χειμερινή περίοδο (Νοέμβριος 2007) μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η αστοχία οφείλεται στο συνδυασμό των παρακάτω παραγόντων: α) Το επίχωμα προφόρτισης κατασκευάστηκε εξ αρχής με οριακό συντελεστή ασφαλείας, β) Ο κορεσμός του επιχώματος και η αύξηση του ολικού ειδικού βάρους οδήγησε στην υπέρβαση του συντελεστή ασφαλείας και γ) Η

παρουσία των χαλικοπασσάλων δεν οδήγησε στον επιθυμητό βαθμό στερεοποίησης που θα οδηγούσε σε ικανή αύξηση της διατμητικής αντοχής του αργιλικού εδαφικού στρώματος έδρασης.

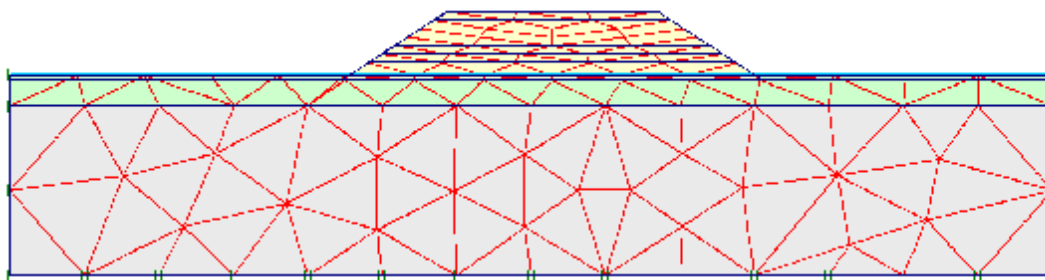
2) Είναι φανερό ότι με τις δεδομένες εδαφικές συνθήκες δεν θα ήταν δυνατή η κατασκευή του επιχώματος στο τελικό ύψος των 7.5m όπως δηλαδή προέβλεπε ο αρχικός σχεδιασμός. Η μοναδική περίπτωση για να γίνει κάτι τέτοιο κατορθωτό θα ήταν η χρονοβόρα διαδικασία της στερεοποίησης σε αρκετά μεγάλο ποσοστό του υποκείμενου μαλακού αργιλικού στρώματος, κάτι στο οποίο υπολόγιζαν οι μελετητές αλλά τελικώς δεν έγινε σύμφωνα με τις προβλέψεις. Ενδεχομένως, θα μπορούσαν εξ αρχής να καταφύγουν στη λύση του ελαφρού επιχώματος από διογκωμένη πολυστερίνη η οποία τελικώς επελέγη και θα παρουσιαστεί στο επόμενο κεφάλαιο. Με τον τρόπο αυτό, από τεχνοοικονομικής απόψεως, θα μπορούσαν να επιτύχουν ταχύτερη και οικονομικότερη κατασκευή μεγιστοποιώντας την ασφάλεια. Επιπλέον, με τη λύση αυτή δε θα χρειαζόνταν τα διάφορα μέτρα ενίσχυσης της αντοχής του υπεδάφους (π.χ. χαλικοπάσσαλοι) τα οποία τελικώς απεδείχθησαν άχρηστα και προκάλεσαν μόνο οικονομική επιβάρυνση στο έργο.

3) Τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων του υπολογιστικού προγράμματος Plaxis επαληθεύουν πλήρως τις μετρήσεις και τις αναφορές της αστοχίας, τόσο ως προς τον πιθανό μηχανισμό αστοχίας, όσο και ως προς τα μεγέθη. Χαρακτηριστική είναι η τιμή των υποχωρήσεων της τάξης του 1,10m που αναφέρεται σε οχετό του υφιστάμενου τμήματος του επιχώματος που έγινε η εκδήλωση του φαινομένου, το οποίο είναι πάρα πολύ κοντά στην εκτίμηση των υποχωρήσεων της τάξεως του 1m που έδωσε το πρόγραμμα Plaxis.

### 5.3. Τμήμα Επιχωμάτων που παρουσιάζουν Ευστάθεια

Πραγματοποιείται η επίλυση του επιχώματος με πλάτος στέψης  $b = 25\text{m}$  ξηρού ειδικού βάρους  $\gamma = 25\text{KN/m}^3$  και ύψους  $H = 7,5\text{m}$  με κλίση πρανών (υ:β)  $2/3$ . Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι λόγω της χρήσης λογισμικού προγράμματος λήφθηκε υπόψη η πραγματική κατάσταση των συνθηκών όπου εδράζεται το επίχωμα, δηλαδή προστέθηκε και ο υπολογισμός, συν την εξυγιαντική - στραγγιστική στρώση πάχους  $50\text{cm}$  ξηρού ειδικού βάρους  $\gamma = 25\text{KN/m}^3$ , η οποία δεν είχε ληφθεί υπόψη στο προηγούμενο κεφάλαιο της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας.

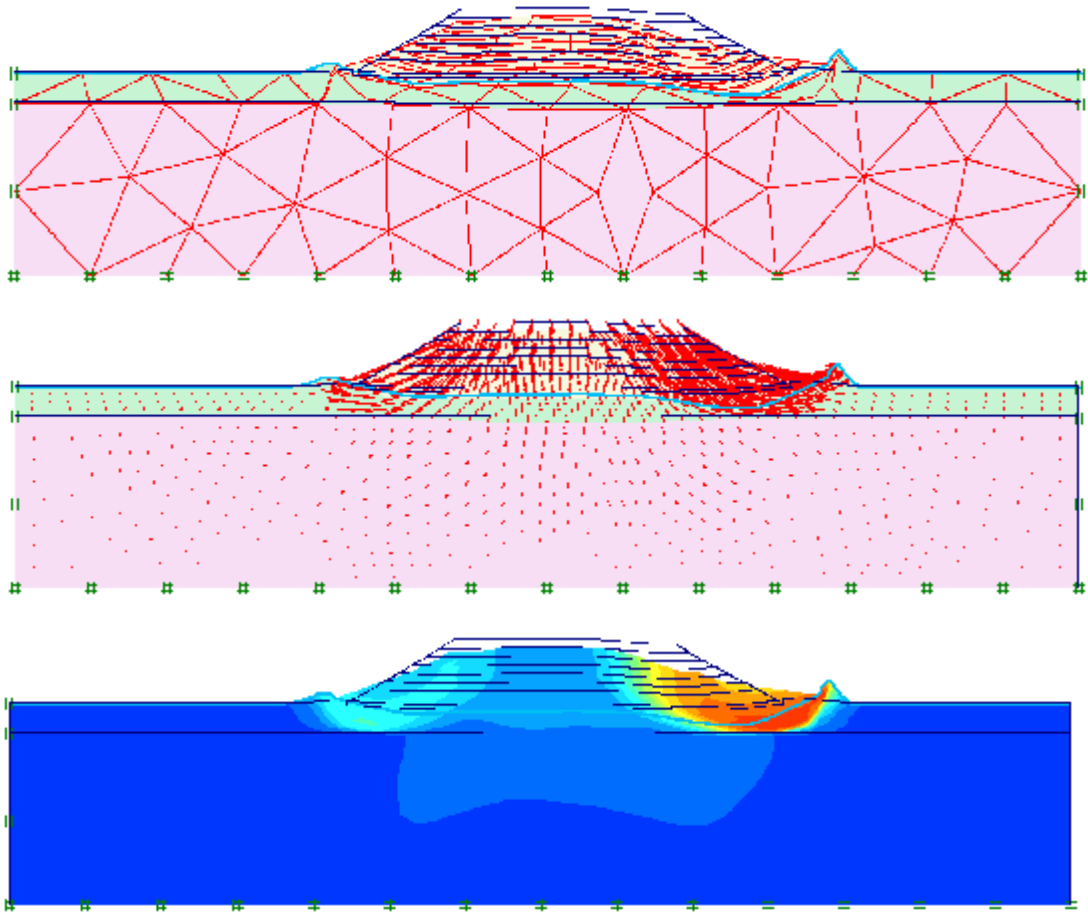
Στο Σχήμα 5.9 παρουσιάζεται το υπολογιστικό προσομοίωμα για την περίπτωση μιας τυπικής διατομής η οποία δεν αστοχεί. Όπως φαίνεται και από το σχήμα, δεν υπάρχουν μέτρα αποστράγγισης για την βοήθεια επιτάχυνσης της στερεοποίησης (χαλικοπάσσαλοι).



Σχήμα 5.9 Κάνναβος τετρασεμένων στοιχείων για μια τυπική διατομή που δεν αστοχεί

Λόγω της ευστάθειας του επιχώματος, δε διενεργείται αριθμητική επίλυση κατά στάδια, αλλά πραγματοποιείται σε ένα μόνο βήμα επίλυση επιχώματος για την εκτίμηση πλαστικών παραμορφώσεων και έπειτα ενεργείται έλεγχος για την εύρεση συντελεστού ασφαλείας. Στην πραγματικότητα βέβαια, όλα τα επιχώματα κατασκευάζονται σταδιακά, ανά στρώσεις πάχους  $0,5\text{m}$  ή  $1\text{m}$  ούτως ώστε να συμπικνώνονται.

Τα αποτελέσματα δίνουν υποχώρηση  $0,00833\text{m} = 8,33\text{mm}$  και συντελεστή ασφαλείας  $SFs = 3,526$  (Ευστάθεια), για τον δυνητικό μηχανισμό αστοχίας που απεικονίζεται στο Σχήμα 5.10. Ο συγκεκριμένος μηχανισμός αποτελείται από έναν κύκλο βαθιάς ολίσθησης που εφάπτεται στην ισχυρότερη αμμώδη στρώση σε βάθος 3,5m.



Σχήμα 5.10 Υποχωρήσεις και δυνητικός μηχανισμός αστοχίας για την τυπική διατομή που δεν αστοχεί

#### 5.4. Παρατηρήσεις - συμπεράσματα αριθμητικών αναλύσεων για τα επιχώματα που παρουσιάζουν ευστάθεια

Με βάση το σύντομο υπολογισμό που πραγματοποιήθηκε παρατηρήθηκε:

- 1) Κίνδυνος αστοχίας του δεξιού τμήματος του πρανούς. Όπως αναφέρθηκε και στο σχετικό εδάφιο του Κεφαλαίου 3 της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, εφαρμόστηκαν για αυτό το λόγο αναβαθμοί αγκύρωσης πλάτους 2,5m και ύψους 1m.
- 2) Ευστάθεια του παρόντος επιχώματος με το προβλεπόμενο κατασκευαστικό ύψος των 7,5m.
- 3) Ο συντελεστής ασφαλείας του υφιστάμενου επιχώματος εκτιμάται ικανοποιητικός, με τιμή  $SFs = 3,526$  και με αντίστοιχες υποχωρήσεις 8,33 mm.
- 4) Τα αριθμητικά αποτελέσματα από το υπολογιστικό πρόγραμμα Plaxis, συμφωνούν με τις σχετικές αναφορές.
- 5) Γενικά, φαίνεται ότι τα επιχώματα του συγκεκριμένου τμήματος ευσταθούν, αλλά υπάρχουν αρκετά σημαντικές διακυμάνσεις από θέση σε θέση, καθώς η πραγματική γεωμετρία επιχώματος και η στρωματογραφία του υπεδάφους διαφέρει από το παραπάνω ιδεατό υπολογιστικό επίχωμα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### Εφαρμογή της μεθόδου κατασκευής ελαφρών επιχωμάτων με χρήση διογκωμένης πολυστερίνης (EPS ή Φελιζόλ)

Η αντικατάσταση γαιωδών επιχωμάτων με διογκωμένη πολυστερίνη συνηθίζεται να εφαρμόζεται σε χώρες του εξωτερικού, κυρίως Καναδά και Σκανδιναβικές χώρες, που αντιμετωπίζουν προβλήματα έδρασης επιχωμάτων σε μαλακά εδάφη. Για τον ελληνικό χώρο αποτελεί σημαντική καινοτομία στη κατασκευή των αυτοκινητοδρόμων Π.Α.Θ.Ε., όπου η πρώτη εφαρμογή πραγματοποιήθηκε στο αναφερθέν τμήμα πριν την περιοχή Α/Κ Θερμοπυλών Χ.Θ. 12 + 600 έως Χ.Θ. 12 + 750 δηλαδή στο τμήμα όπου παρουσιάστηκε η εκδήλωση του φαινομένου αστοχίας τύπου θεμελίου του υπόψη επιχώματος.

Κρίθηκε αναγκαίο, να αντικατασταθεί το φυσικό γαιώδες τμήμα επιχωμάτων σε μια λωρίδα 150 m λόγω αδυναμίας ανέγερσης του στα 7,5m, καθώς παρουσιάστηκε αστοχία υπό μορφή θεμελίου στα 4,5m ύψους επιχώματος. Σύμφωνα με τα συμπεράσματα των αναλύσεων των προηγούμενων κεφαλαίων, λόγω της αστοχίας, δεν θα ήταν δυνατή η κατασκευή του γαιώδους επιχώματος στο ύψος των 7,5m ενώ από την άλλη η χάραξη της ερυθράς της οδού δεν μπορεί να μεταβληθεί λόγω της συναρμογής του επιχώματος με την υπάρχουσα γέφυρα της περιοχής (βλ. Σχήμα 6.2)

#### 6.1. Ιδιότητες της διογκωμένης πολυστερίνης (EPS)

Το διογκωμένο πολυστυρένιο ως πρώτη ύλη μετατρέπεται σε αφρό με προδιογκώση και μορφοποίηση με την χρήση ατμού. Το EPS είναι κυψελωτό πλαστικό με κλειστή πολυεδρική κυτταρική δομή, στην οποία οφείλονται οι πολύ υψηλές μηχανικές ιδιότητες που σε συνδυασμό με την μεγάλη



απορροφητικότητα των κραδασμών σε περίπτωση πρόσκρουσης το καθιστά μια πολύ καλή επιλογή ως υλικό συσκευασίας.

Ανήκει στη κατηγορία των πλαστικών, είναι παράγωγο του πετρελαίου (BASF, 1950) Η πολύ χαμηλή θερμική αγωγιμότητα σε συνδυασμό με την ευκολία στη κοπή, στη μορφοποίηση και την ελαστικότητα του, το καθιστούν επίσης ένα πολύ καλό και λειτουργικό υλικό για την οικοδομική βιομηχανία.

#### 6.1.1. Διαδικασία παραγωγής

Η διαδικασία παραγωγής του διογκωμένου πολυστυρενίου περιλαμβάνει τα ακόλουθα πέντε βασικά στάδια:

1. Προδιόγκωση: Οι κόκκοι διογκώνονται με την βοήθεια του ατμού σε δοχεία με ανάδευση σε ατμοσφαιρική ή και υψηλότερη πίεση.
2. Ωρίμανση: Οι διογκωμένοι κόκκοι παραμένουν σε αεριζόμενα σιλό για να επέλθει η εξισορρόπηση πίεσης, να αποδεσμεύσουν συμπυκνωμένη υγρασία και να μειώσουν την συγκέντρωση του διογκωτικού παράγοντα στην αρχική αναλογία.
3. Μορφοποίηση: Οι κόκκοι μορφοποιούνται σε κύβους ή ειδικά σχήματα με την βοήθεια ατμού διαχεόμενου μέσα από διάτρητα αλουμινένια καλούπια.
4. Κοπή: Από κατάλληλη αποθηκευτική περίοδο απαραίτητη για ψύξη, μείωση περιεκτικότητας νερού και διαστασιολογική σταθεροποίηση, οι κύβοι κόβονται σε πλάκες ή σε συγκεκριμένα σχήματα με την χρήση θερμαινόμενων συρμάτων. Είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν άλλες εξειδικευμένες τεχνικές όπως η διάτρηση.
5. Τελική επεξεργασία: Για την παραγωγή συστημάτων μόνωσης οι πλάκες μπορούν να συγκολληθούν με πλαστικά, μεμβράνες, μέταλλα κτλ.

#### 6.1.2 Πλεονεκτήματα της χρήσης του EPS

Πέρα από τη χρήση του ως μονωτικού υλικού στα κοινά οικοδομικά έργα, τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται και σαν δομικό υλικό σε διάφορες

εφαρμογές, όπως πχ για την κατασκευή επιχωμάτων δρόμων και σιδηροδρόμων, αρμών διαστολής γεφυρών, ως αποσβεστήρας εδαφικών ωθήσεων κ.α.

Στην ανάπτυξη των παραπάνω εφαρμογών έδωσαν ώθηση τα σημαντικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει το υλικού, όπως:

- $\bullet$   $\langle \Pi \Lambda \rangle \otimes \Rightarrow \Pi \square \square \Sigma \Gamma \Pi \Sigma 8\% \langle \Pi \rangle \langle$ .
- $\oplus \Sigma \Sigma \otimes \Lambda \langle \Sigma \rangle \Rightarrow \Pi \langle \Pi \rangle \lambda$ .
- $\Pi \Lambda \Lambda \Rightarrow \square \square \Gamma^{\text{TM}} \Lambda \Sigma \Pi \Pi \Lambda \Gamma \Pi \Pi$ .
- $\cup \Pi \Pi \Lambda \Gamma \Pi \Rightarrow \Pi \langle \lambda \rangle \parallel k$ .
- $\bullet$   $\langle \Pi \Lambda \Rightarrow \Gamma \square \square \Sigma \langle \Pi \parallel k \rangle^{\text{TM}} \langle \Pi \Lambda \rangle \langle \Gamma \square \rangle \langle \lambda \rangle \rangle \Pi \Lambda \Sigma \lambda$ .
- $\text{Σ} \parallel \Pi \Rightarrow \Pi \lambda \rangle \Pi \square \Pi \langle \square \rangle^{\text{TM}} \Rightarrow \Gamma \Pi \lambda$ .
- $\oplus \Sigma \Gamma \Lambda \langle \Pi \rangle \lambda \Rightarrow \Pi \square \square \lambda \otimes \langle \lambda \rangle \langle \Lambda \Sigma \Gamma \square \rangle \Pi^{\text{TM}} \Rightarrow \Pi \Lambda \Rightarrow \langle \Lambda \rangle \langle \Gamma \Pi \otimes \Lambda \rangle \langle \Gamma \Sigma \rangle \langle \Gamma \Pi \rangle \langle \Lambda \rangle \Pi \langle \Sigma \Gamma \otimes \Lambda \rangle \langle \lambda \rangle \Pi \Pi \Lambda \Gamma \lambda$ .
- $\langle \Pi \rangle \langle \lambda \rangle \Pi \Rightarrow \Gamma^{\text{TM}} \parallel \Sigma \square \lambda \rangle \lambda \langle \square \rangle \langle \lambda \rangle \langle \lambda \rangle \langle \Sigma \Gamma \Sigma \otimes \Lambda \rangle \langle \lambda \rangle \Pi \Pi \Sigma \langle \lambda \rangle \langle \lambda \rangle \langle \lambda \rangle \lambda \otimes \Pi \Pi \Sigma \Pi \langle \otimes \rangle \Lambda \lambda \parallel k \lambda$ .
- $\otimes \Pi \Gamma \Pi \Rightarrow \Pi \Pi \Pi \Gamma^{\text{TM}} \Rightarrow \Pi \lambda \rangle \Gamma \Gamma \otimes$ .
- $\oplus \Pi \Lambda \langle \Sigma \lambda \rangle \lambda \leftarrow$
- $\oplus \Pi \Lambda \langle \Sigma \rangle \langle \lambda \rangle k \Pi \otimes \Lambda \Sigma \langle \Gamma \Sigma \rangle \lambda \rangle \lambda \langle \Gamma \rangle \langle \lambda \rangle \Lambda \langle \Lambda \rangle \Pi$ .

$\otimes \Gamma \square \Lambda \Pi \Lambda \Sigma \langle \Gamma \square \Sigma \Gamma \otimes \Lambda \Lambda \lambda \rangle \Pi \Pi \lambda \rangle \Lambda \Sigma \Sigma \lambda \langle \Lambda \rangle$ :

- $\text{Σ}^{\text{TM}} \langle \lambda \rangle \Pi \Lambda \Pi \lambda$ .
- $100\% \langle \lambda \rangle \langle \lambda \rangle \Lambda \Lambda \Pi \Gamma \Pi \square \square \Lambda \Rightarrow \lambda \langle \lambda \rangle \parallel \Pi \Sigma \Pi \otimes \langle \lambda \rangle$ .
- $\otimes \Sigma \square \Sigma \Gamma \Pi \Lambda \langle \Sigma \rangle \otimes \langle \Gamma \text{HX} \otimes \Lambda$
- $\otimes \langle \lambda \rangle \Pi \Rightarrow \Lambda \langle \Sigma \rangle \lambda \rangle \leftarrow \Pi \lambda \rangle \langle \Sigma \rangle \Pi \lambda \langle \Sigma \rangle \square \Pi \square \Gamma \Pi \Lambda \Sigma^{\text{TM}} \Pi \lambda \langle \lambda \rangle \langle \lambda \rangle \langle \lambda \rangle \Sigma \square \Gamma \Lambda \lambda \Pi \lambda \Lambda \Lambda \lambda \langle \Sigma \rangle \Pi \Pi \Lambda \Gamma \Pi \lambda \langle \lambda \rangle \Pi \lambda \langle \lambda \rangle$ .

6.1.3.  $\sqrt{J}$  Μορφή Γενικών Κριτηρίων Γραμμής EPS

ΕΓ Γραμμή Ξηλίου Φιδιου ΕΠΣ Ξηλίου Κηφίλλυ  
 λεικλ 6.1 Ξηλίου Ξηλίου λεικλ Ξηλίου Κηφίλλυ ΕΠΣ  
 λεικλ Ξηλίου Ξηλίου λεικλ Ξηλίου Κηφίλλυ Ξηλίου Κηφίλλυ  
 λεικλ Ξηλίου Ξηλίου λεικλ Ξηλίου Κηφίλλυ Ξηλίου Κηφίλλυ  
 λεικλ Ξηλίου Ξηλίου λεικλ Ξηλίου Κηφίλλυ Ξηλίου Κηφίλλυ

λεικλ λεικλ 6.1  $\sqrt{J}$  Μορφή Γενικών Κριτηρίων Γραμμής EPS

**ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ EPS**

**Τύποι EPS ανεξάρτητα από την χρήση τους**

ΤΥΠΟΣ EPS	EN 13163	Μονάδα μέτρησης	EPS 60	EPS 100	EPS 150	EPS 200	EPS 250
Θερμική αγωγιμότητα	EN 12667 or EN 12939	'Lambda' mW/m <sup>2</sup> K	38	36	35	34	34
Θλίψη 10%	EN 826	CS(10) kPa	60	100	150	200	250
Αντοχή στην κάμψη	EN 12089	BS kPa	100	150	200	250	350
Σταθερότητα διαστάσεων	EN 1603	DS(N) %	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%
<b>Παλιός τύπος προϊόντος</b>		kg/m <sup>3</sup>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>35</b>

6.2.  $\sqrt{J}$  Μορφή Γενικών Κριτηρίων Συστημάτων Γραμμής EPS

Αντικείμενο Συστημάτων Γραμμής Ξηλίου Κηφίλλυ  
 λεικλ Ξηλίου Κηφίλλυ Ξηλίου Κηφίλλυ λεικλ Ξηλίου Κηφίλλυ  
 λεικλ Ξηλίου Κηφίλλυ λεικλ Ξηλίου Κηφίλλυ λεικλ Ξηλίου Κηφίλλυ  
 λεικλ Ξηλίου Κηφίλλυ λεικλ Ξηλίου Κηφίλλυ λεικλ Ξηλίου Κηφίλλυ  
 λεικλ Ξηλίου Κηφίλλυ λεικλ Ξηλίου Κηφίλλυ λεικλ Ξηλίου Κηφίλλυ  
 λεικλ Ξηλίου Κηφίλλυ λεικλ Ξηλίου Κηφίλλυ λεικλ Ξηλίου Κηφίλλυ





6.3. Πόσο είναι το μέγεθος της δύναμης που ασκείται στο μέσο της ράβδου από την επιρροή της θερμότητας;

Λύση: Η δύναμη που ασκείται στο μέσο της ράβδου από την επιρροή της θερμότητας είναι ίση με το γινόμενο της θερμικής διαστολής με την τάση που δημιουργείται λόγω της ελαστικής αντιστάσεως της ράβδου. Η τάση που δημιουργείται λόγω της ελαστικής αντιστάσεως της ράβδου είναι ίση με το γινόμενο της θερμικής διαστολής με τον συντελεστή της θερμικής διαστολής.

Επομένως, η δύναμη που ασκείται στο μέσο της ράβδου από την επιρροή της θερμότητας είναι ίση με το γινόμενο της θερμικής διαστολής με την τάση που δημιουργείται λόγω της ελαστικής αντιστάσεως της ράβδου. Η τάση που δημιουργείται λόγω της ελαστικής αντιστάσεως της ράβδου είναι ίση με το γινόμενο της θερμικής διαστολής με τον συντελεστή της θερμικής διαστολής.

$$\theta = (\alpha \Delta T N) + (X \xi N \chi) + (0,5 \xi B \xi \alpha \Delta T N)$$

Η δύναμη που ασκείται στο μέσο της ράβδου από την επιρροή της θερμότητας είναι ίση με το γινόμενο της θερμικής διαστολής με την τάση που δημιουργείται λόγω της ελαστικής αντιστάσεως της ράβδου. Η τάση που δημιουργείται λόγω της ελαστικής αντιστάσεως της ράβδου είναι ίση με το γινόμενο της θερμικής διαστολής με τον συντελεστή της θερμικής διαστολής.

Επομένως, η δύναμη που ασκείται στο μέσο της ράβδου από την επιρροή της θερμότητας είναι ίση με το γινόμενο της θερμικής διαστολής με την τάση που δημιουργείται λόγω της ελαστικής αντιστάσεως της ράβδου. Η τάση που δημιουργείται λόγω της ελαστικής αντιστάσεως της ράβδου είναι ίση με το γινόμενο της θερμικής διαστολής με τον συντελεστή της θερμικής διαστολής.

$$\begin{aligned} \Gamma \delta &= \alpha \xi \eta = 0,30 \times 7,5 \mu = 2,25 \text{ KN}/\mu \\ \Theta &= 5 \text{ KN}/\mu \\ \Pi \ll &= 7,25 \text{ KN}/\mu \end{aligned}$$

©k J□ λλΓ□ k>λ| |>Γ Π ←π (Σξ 3, 3, 3 ⊗ Γ Σ Γ □ λλκΓ ΣξΓ:

$$\begin{aligned} \Gamma_{\text{A}} &= \theta / \square (\text{R} + \alpha \nu \text{R} \chi \text{o} \alpha \lambda) = 7,25 / \square (2,93 + \alpha \nu 2,93 \chi \text{o} \alpha 1,207) \\ &= 7,24 \text{ Κπ}\alpha \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Gamma_{\text{B}} &= \theta / \square (\text{R} + \alpha \nu \text{R} \chi \text{o} \alpha \lambda) = 7,25 / \square (2,54 + \alpha \nu 2,54 \chi \text{o} \alpha 1,606) \\ &= 6,94 \text{ Κπ}\alpha \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Gamma_{\text{C}} &= \theta / \square (\text{R} + \alpha \nu \text{R} \chi \text{o} \alpha \lambda) = 7,25 / \square (2,05 + \alpha \nu 2,05 \chi \text{o} \alpha 1,08) \\ &= 5,94 \text{ Κπ}\alpha \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Gamma_{\text{D}} &= \theta / \square (\text{R} + \alpha \nu \text{R} \chi \text{o} \alpha \lambda) = 7,25 / \square (1,77 + \alpha \nu 1,77 \chi \text{o} \alpha 1,36) \\ &= 4,57 \text{ Κπ}\alpha \end{aligned}$$

€Γ □ <>□ ←ΤΓΠ |>ξ|κΓ ΣξΓΣΠ ←κ Π ΛΠ Σ ΠΠΠ (Σ | λΠ|J ξ Π <λ| κ, Τξ|κξ Πξ Γξ ΣξΓξ Γξ Λξ Σξ Πξ κξ Πξ 7, λ□ Γξ<ξκΓ Πξ □ <>λ| ←Π □ λλκΓ Π:

$$\text{φξ } \lambda = 0 \text{ } \lambda \text{ } \text{R} \text{ } \alpha \text{ } \nu \text{ } \text{R} \text{ } \chi \text{ } \text{o} \text{ } \alpha \text{ } \lambda = 5,14 \quad \text{N}\gamma = 1 \quad \text{N}\alpha = 0$$

$$\theta = (\alpha \xi \Delta \phi \xi \text{N}\theta) + (\text{X} \xi \text{N}\gamma) + (0,5 \xi \text{B} \xi \alpha \xi \text{N}\alpha)$$

$$\theta = (10 \xi 5,14) + (0,5 \xi 48 \xi 17,5 \xi 0) = 51,4 \text{ Κπ}\alpha$$

Δξλ| <λ 6.2 ÷ λΣΠ Πλ λΠ|J ξ Π <λ| κξ

κξΠΠ (μ)	Τξ Σξ Γξ Πξ □ λλκΓ (Κπ)\alpha	λΠ.Π <λ  κ (Κπ)\alpha	Δ<>λ  >ξΣξ
0	ΓB = 7,24	θ = 51,4	ΓB << θ ⊕ ΓκΣξ ΓΣα3. = 7,1