



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

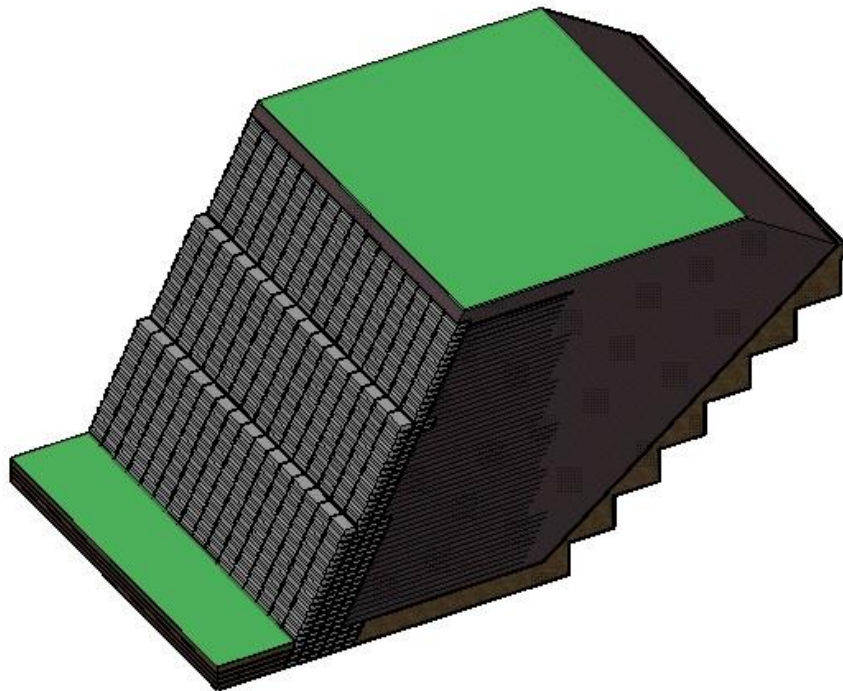
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ**

## Διπλωματική Εργασία

Παραμετρικές Αναλύσεις Παραμορφώσεων  
και Ευστάθειας Οπλισμένων Επιχωμάτων  
Έργων Οδοποιίας

---

**Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί**



**Επιβλέπων καθηγητής :Κ. Λουπασάκης, Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ**

**ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2017**

Επιβλέπων: Λουπασάκης Κωνσταντίνος  
Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις ...../...../2017

Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Επικ. Καθηγητής

(Υπογραφή).....

Μπενάρδος Ανδρέας, Επικ. Καθηγητής

(Υπογραφή).....

Νομικός Παύλος, Επικ. Καθηγητής

(Υπογραφή).....

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2017



*Η παρούσα διπλωματική εργασία αφιερώνεται στους γονείς μου  
Σαμάντ και Άννα, στην αδερφή μου Σοφία, στη θεία μου Αθηνά και  
στη γιαγιά μου Γιαννούλα.*

*Αφιερώνεται στην οικογένεια μου και στους φίλους μου ...*

*Εκατομμύρια είχαν δει το μήλο να πέφτει,  
αλλά μόνο ο Νεύτων ρώτησε γιατί.*

*Bernard Baruch*



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω το κύριο Κωνσταντίνο Λουπασάκη Επίκουρο Καθηγητή της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων –Μεταλλουργών για την διαρκή και αμέριστη βοήθεια του ,όπου χωρίς αυτή δε θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την αδερφή μου Σοφία Μπενζελούν-Αραμπί διακοσμήτρια εσωτερικών χώρων για τη συμβολή της στο σχεδιασμό του τρισδιάστατου μοντέλου του επιχώματος του εξωφύλλου.

Επίσης θα ήθελα να πω ένα ευχαριστώ στο κύριο Γεώργιο Βλαχόπουλο Τοπογράφο Μηχανικό ( ΕΜΠ) για την προθυμία του να μου μεταλαμπαδεύσει νέες γνώσεις.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου αλλά και τους φίλους μου που με στήριξαν σε όλη μου τη πορεία πριν και κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.



## ΠΕΡΙΟΧΟΜΕΝΑ

	<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	21
	<b>ABSTRACT</b> .....	22
<b>1.</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	23
<b>2.</b>	<b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ</b> .....	25
<b>2.1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	25
<b>2.2</b>	<b>ΑΟΠΛΑ ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ</b> .....	25
<b>2.2.1</b>	<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΟΠΛΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ</b> .....	25
<b>2.2.2</b>	<b>ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΟΠΛΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ</b> .....	26
<b>2.2.3</b>	<b>ΥΛΙΚΑ ΑΟΠΛΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ</b> .....	27
2.2.3.1	ΥΛΙΚΑ ΓΑΙΩΔΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ.....	27
2.2.3.2	ΥΛΙΚΑ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ.....	28
<b>2.3</b>	<b>ΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ</b> .....	28
<b>2.3.1</b>	<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ</b> .....	29
2.3.1.1	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ .....	30
2.3.1.2	ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΠΑΡΕΙΑΣ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ.....	32
<b>2.4</b>	<b>ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ</b> .....	34
<b>2.4.1</b>	<b>ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ ΣΕ ΟΔΙΚΑ ΚΑΙ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΑ ΕΡΓΑ</b> .....	34
<b>2.4.2</b>	<b>ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΩΝ</b> .....	37
<b>2.4.3</b>	<b>ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ ΣΕ ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ</b> .....	38
<b>2.4.4</b>	<b>ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ ΩΣ ΤΕΧΝΙΚΉ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ</b> .....	41
<b>2.4.5</b>	<b>ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ ΑΝΑΣΧΕΣΗΣ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΕΩΝ</b> .....	42
<b>2.4.6</b>	<b>ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ ΣΤΑ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΑ ΤΕΛΜΑΤΑ</b> .....	43



2.5	<b>ΕΛΑΦΡΑ ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ</b> .....	44
2.5.1	<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΛΑΦΡΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΓΕΩΛΑΦΡΟ</b> .....	44
2.5.2	<b>ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΛΑΦΡΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΓΕΩΛΑΦΡΟ</b> ....	45
2.5.3	<b>ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΛΑΦΡΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΓΕΩΛΑΦΡΟ</b> ...	46
<hr/>		
3.	<b>ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ</b> ...	49
3.1	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	49
3.2	<b>ΕΘΝΙΚΗ ΟΔΟΣ ΤΡΙΚΑΛΩΝ-ΑΡΤΑΣ/ΤΜΗΜΑ: ΣΗΡΑΓΓΑ ΠΑΧΤΟΥΡΙΟΥ ΕΩΣ ΑΓΙΑ ΚΥΡΙΑΚΗ</b> .....	49
3.2.1	<b>ΓΕΩΠΛΕΓΜΑΤΑ</b> .....	50
3.3	<b>ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΣ ΠΑΤΡΩΝ-ΑΘΗΝΑΣ- ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ-ΕΥΖΩΝΩΝ ( ΠΑΘΕ )</b> .....	54
3.3.1	<b>ΓΕΩΜΕΜΒΡΑΝΕΣ</b> .....	56
3.4	<b>ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ</b> .....	58
3.4.1	<b>ΥΨΗΛΟ ΕΠΙΧΩΜΑ ΚΟΜΒΟΥ ΜΕΤΣΟΒΟΥ-ΤΜΗΜΑ 3.2</b> ....	58
3.4.1.1	<b>ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ</b> .....	59
3.4.2	<b>ΕΠΙΧΩΜΑ Γ3 –ΤΜΗΜΑ 5.2 - 5.3</b> .....	62
3.4.2.1	<b>ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΑ</b> .....	63
3.4.3	<b>ΕΠΙΧΩΜΑ ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗ– ΤΜΗΜΑ 5.2-5.3</b> .....	65
3.4.3.1	<b>ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗ VLS</b> .....	67
3.5	<b>ΙΔΡΥΜΑ ΣΤΑΥΡΟΣ ΝΙΑΡΧΟΣ</b> .....	69
<hr/>		
4.	<b>ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ PLAXIS 2D</b> .....	73
4.1	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	73
4.2	<b>ΓΕΝΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ</b> .....	73

<b>4.3</b>	<b>ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ PLAXIS 2D</b> .....	75
<b>4.3.1</b>	<b>ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PLAXIS INPUT</b> .....	75
<b>4.3.2</b>	<b>ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PLAXIS CALCULATIONS</b> .....	83
<b>4.3.3</b>	<b>ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PLAXIS OUTPUT</b> .....	87
<b>4.3.4</b>	<b>ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PLAXIS CURVES</b> .....	88
<hr/>		
<b>5.</b>	<b>ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ</b> .....	91
<b>5.1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	91
<b>5.2</b>	<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ</b> .....	94
<b>5.3</b>	<b>1<sup>η</sup> ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ</b> .....	97
<b>5.3.1</b>	<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΕΝΑ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΟ ΣΕ ΚΑΘΕ ΑΝΑΒΑΘΜΟ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ</b> .....	97
<b>5.3.2</b>	<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΡΙΑ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ ΣΕ ΚΑΘΕ ΑΝΑΒΑΘΜΟ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ</b> .....	99
<b>5.3.3</b>	<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΕΣΣΕΡΑ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ ΣΕ ΚΑΘΕ ΑΝΑΒΑΘΜΟ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ</b> .....	101
<b>5.3.4</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 1<sup>η</sup> ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ</b> .....	102
<b>5.4</b>	<b>2<sup>η</sup> ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ</b> .....	104
<b>5.4.1</b>	<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΕΝΑ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΟ ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ ΚΑΙ ΕΝΑ ΟΠΙΣΘΕΝ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΣΤΟ ΠΟΔΙ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ</b> .....	105
<b>5.4.2</b>	<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΔΥΟ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ ΚΑΙ ΔΥΟ ΟΠΙΣΘΕΝ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΣΤΟ ΠΟΔΙ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ</b> .....	106
<b>5.4.3</b>	<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΡΙΑ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ ΚΑΙ ΤΡΙΑ ΟΠΙΣΘΕΝ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΣΤΟ ΠΟΔΙ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ</b> .....	108

5.4.4	ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΕΣΣΕΡΑ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ ΚΑΙ ΤΕΣΣΕΡΑ ΟΠΙΣΘΕΝ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΣΤΟ ΠΟΛΙ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ .....	109
5.4.5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 2 <sup>ης</sup> ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	111
5.5	3 <sup>η</sup> ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	113
5.5.1	ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΝΑ ΠΑΤΑΡΙ ΜΗΚΟΥΣ 0,8 ΜΕΤΡΩΝ.....	114
5.5.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΝΑ ΠΑΤΑΡΙ ΜΗΚΟΥΣ ΕΝΟΣ (1) ΜΕΤΡΟΥ.....	115
5.5.3	ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΝΑ ΠΑΤΑΡΙ ΜΗΚΟΥΣ 1,2 ΜΕΤΡΩΝ.....	117
5.5.4	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 3 <sup>ης</sup> ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	118
5.6	4 <sup>η</sup> ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	120
5.6.1	ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΝΑ ΠΑΤΑΡΙ ΜΗΚΟΥΣ ΕΝΟΣ ΜΕΤΡΟΥ ΧΩΡΙΣ ΘΕΜΕΛΕΙΩΣΗ	121
5.6.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΝΑ ΠΑΤΑΡΙ ΜΗΚΟΥΣ ΕΝΟΣ ΜΕΤΡΟΥ ΜΕ ΜΙΑ ΣΕΙΡΑ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΣΤΗ ΘΕΜΕΛΕΙΩΣΗ.....	122
5.6.3	ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΝΑ ΠΑΤΑΡΙ ΜΗΚΟΥΣ ΕΝΟΣ ΜΕΤΡΟΥ ΜΕ ΜΙΑ ΣΕΙΡΑ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΣΤΗ ΘΕΜΕΛΕΙΩΣΗ.....	124
5.6.4	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 4 <sup>ης</sup> ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	125
5.7	5 <sup>η</sup> ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	127
5.7.1	ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΔΥΟ ΠΑΤΑΡΙΑ ΜΗΚΟΥΣ ΕΝΟΣ ΜΕΤΡΟΥ.....	128
5.7.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΠΕΝΤΕ	

	<b>ΠΑΤΑΡΙΑ ΜΗΚΟΥΣ ΕΝΟΣ ΜΕΤΡΟΥ.....</b>	<b>130</b>
<b>5.7.3</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 5ης ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....</b>	<b>131</b>
<b>5.8</b>	<b>ΕΠΙΛΥΣΗ ΑΟΠΛΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ.....</b>	<b>133</b>
<hr/>		
<b>6.</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>135</b>
<b>6.1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>135</b>
<b>6.2</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>135</b>
<b>6.3</b>	<b>ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΠΡΟΤΑΣΗ.....</b>	<b>137</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>141</b>
	<b>ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΕΣ.....</b>	<b>142</b>
	<b>ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ.....</b>	<b>142</b>

## ΠΙΝΑΚΕΣ

2.1	Τμήματα γαιωδών και βραχωδών επιχωμάτων σε οδικά και σιδηροδρομικά έργα .....	26
3.1	Εύρος τιμών χαρακτηριστικών ιδιοτήτων γεωπλεγμάτων.....	53
3.2	Ενδεικτικές τιμές τεχνικών χαρακτηριστικών γεωμεμβρανών.....	56
3.3	Ενδεικτικές τιμές χαρακτηριστικών των συρματοκιβωτίων.....	60
3.4	Ενδεικτικό εύρος τιμών των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων από ποιοτικό έλεγχο γευφασμάτων.....	65
<hr/>		
5.1	Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά υλικού πλήρωσης του προς εξέταση οπλισμένου επιχώματος.....	92
5.2	Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά εξυγιαντικής στρώσης του προς εξέταση οπλισμένου επιχώματος.....	93

5.3	Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά υλικού πλήρωσης των συρματοκιβωτίων του προς εξέταση οπλισμένου επιχώματος.....	93
5.4	Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 1 <sup>ης</sup> ομάδας παραμετρικών αναλύσεων.....	103
5.5	Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 1 <sup>ης</sup> ομάδας παραμετρικών αναλύσεων για τα σημεία παρατήρησης.....	103
5.6	Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 2 <sup>ης</sup> ομάδας παραμετρικών αναλύσεων.....	112
5.7	Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 2 <sup>ης</sup> ομάδας παραμετρικών αναλύσεων για τα σημεία παρατήρησης.....	112
5.8	Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 3 <sup>ης</sup> ομάδας παραμετρικών αναλύσεων.....	119
5.9	Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 3 <sup>ης</sup> ομάδας παραμετρικών αναλύσεων για τα σημεία παρατήρησης.....	119
5.10	Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 4 <sup>ης</sup> ομάδας παραμετρικών αναλύσεων.....	126
5.11	Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 4 <sup>ης</sup> ομάδας παραμετρικών αναλύσεων για τα σημεία παρατήρησης.....	126
5.12	Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 5 <sup>ης</sup> ομάδας παραμετρικών αναλύσεων.....	132
5.13	Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 5 <sup>ης</sup> ομάδας παραμετρικών αναλύσεων για τα σημεία παρατήρησης.....	132

## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

5.1	Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας σε συνάρτηση με τον αριθμό των συρματοκιβωτίων σε κάθε αναβαθμό του επιχώματος.....	103
-----	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

5.2	Γραφική παράσταση μετακινήσεων σε συνάρτηση με τον αριθμό των συρματοκιβωτιών σε κάθε αναβαθμό του επιχώματος.....	104
5.3	Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας σε συνάρτηση με τον αριθμό συρματοκιβωτιών συμμετρικά τοποθετημένων στηθεμελίωση.....	112
5.4	Γραφική παράσταση συνολικών μετακινήσεων σε συνάρτηση με τον αριθμό συρματοκιβωτιών συμμετρικά τοποθετημένων στηθεμελίωση.....	113
5.5	Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας σε συνάρτηση με το μήκος του παταριού.....	119
5.6	Γραφική παράσταση μετακινήσεων σε συνάρτηση με το μήκος του παταριού.....	120
5.7	Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας σε συνάρτηση με τον αριθμό σειρών συρματοκιβωτιών στη θεμελίωση του παταριού.....	127
5.8	Γραφική παράσταση μετακινήσεων σε συνάρτηση με τον αριθμό σειρών συρματοκιβωτιών στη θεμελίωση του παταριού.....	127
5.9	Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας σε συνάρτηση με τον αριθμό των παταριών.....	132
5.10	Γραφική παράσταση μετακινήσεων σε συνάρτηση με τον αριθμό των παταριών.....	133

## EIKONEΣ

2.1	Σύγκριση άοπλου και οπλισμένου επιχώματος.....	29
2.2	Μέρη οπλισμένου επιχώματος.....	30
2.3	A) Χαλύβδινοι οπλισμοί , B) Πολυμερικοί Οπλισμοί.....	31
2.4	Γεωπλέγμα ως υλικό οπλισμού επιχώματος. ....	32

2.5	Χαλύβδινος οπλισμός ως υλικό οπλισμού επιχώματος.....	32
2.6	Επίχωμα με επένδυση από προκατασκευασμένες πλάκες.....	33
2.7	Επίχωμα με επένδυση από συρματοκιβώτια .....	33
2.8	Επίχωμα με επένδυση από αναδιπλώσεις γεωπλεγμάτων.....	34
2.9	Οπλισμένο επίχωμα με συρματοκιβώτια σε έργο οδοποιίας.....	35
2.10	Οπλισμένο επίχωμα οδοποιίας στη φάση κατασκευής.....	35
2.11	Επίχωμα σε σιδηροδρομικό έργο.....	36
2.12	Χρήση οπλισμένου επιχώματος ως ηχοπέτασμα.....	36
2.13	Οπλισμένο επίχωμα με συρματοκιβώτια ως μέσο αντιστήριξης.....	37
2.14	Οπλισμένο επίχωμα για την αντιστήριξης δρόμου.....	38
2.15	Κατασκευή επιχώματος για την επέκταση λιμένα Brisbane στην Αυστραλία .....	39
2.16	Διαδικασίες κατασκευή επιχώματος για την επέκταση λιμένα Brisbane στην Αυστραλία .....	39
2.17	Επίχωμα για προστασία των όχθων υδατορέματος.....	40
2.18	Επίχωμα ως επένδυση στη θεμελίωση γέφυρας.....	40
2.19	Επίχωμα για προφόρτιση στη φάση κατασκευής.....	41
2.20	Επίχωμα για προφόρτιση .....	42
2.21	Επίχωμα ανάσχεσης βραχοπτώσεων.....	42
2.22	Επίχωμα ανάσχεσης βραχοπτώσεων στην Αυστρία.....	43
2.23	Τρόποι διεύρυνσης χώρου αποθήκευσης μεταλλευτικών αποβλήτων μέσω κατασκευής φραγμάτων. ....	43
2.24	Επίχωμα μεταλλευτικού τέλματος στο LoganLake.....	44
2.25	A) Στάδια κατασκευής , B) Τυπική δομή ελαφρού .....	45
2.26	Επίχωμα οδοποιίας στην Εθνική Οδό Μαλιακού.....	47
2.27	Μεταβατικό επίχωμα γέφυρας .....	47
2.28	Επιχώματα αποκατάστασης/βελτίωσης ευστάθειας πρανών.....	47

2.29	Ελαφρύ επίχωμα πάνω από υπόγειο τερματικό σταθμό μετρό για ανύψωση εδάφους , στο Dusseldorf της Γερμανίας.....	48
2.30	Επίχωμα πάνω από σήραγγα στο οποίο έγινε δεντροφύτεψη για βελτίωση αισθητικής του χώρου, στο Αμβούργο της Γερμανίας .....	48
3.1	Τυπική Διατομή Επιχώματος .....	50
3.2	Άποψη επιχώματος κατά τη φάση κατασκευής.....	50
3.3	Διάστρωση εδαφικού υλικού πίσω από τους σάκους με το εδαφικό υλικό.....	51
3.4	Γεώπλεγμα τυλιγμένο πίσω από τους σάκους του εδαφικού υλικού...	52
3.5	Τελική όψη επιχώματος.....	52
3.6	Γεωπλέγματα ως οπλισμός σε επίχωμα με επένδυση συρματοκιβωτίων..	54
3.7	Τυπική διατομή επιχώματος και διάταξης μέτρων βελτίωσης.....	55
3.8	Άποψη ελαφρού επιχώματος κατά τη φάση κατασκευής.....	55
3.9	Γεωμεμβράνες κατά τη φάση κατασκευής μεταλλευτικού τέλματος ....	57
3.10	Γεωμβράνη για τη προστασία του γεωαφρού.....	57
3.11	Νότια άποψη του επιχώματος.....	58
3.12	Ανατολική άποψη επιχώματος.....	59
3.13	Δομή συρματοκιβωτίου με και χωρίς διάφραγμα .....	60
3.14	Επίχωμα με επένδυση από συρματοκιβώτια.....	61
3.15	Γέμισμα συρματοκιβωτίου.....	61
3.16	Άποψη του επιχώματος κατά τη φάση κατασκευής.....	62
3.17	Άποψη του επιχώματος προς τα κατόντη μετά την ολοκλήρωση των εργασιών.....	63
3.18	Γεωφάσματα ως οπλισμός σε επίχωμα με επένδυση συρματοκιβωτίων	64
3.19	Μη υφαντό γεωφάσμα ενίσχυσης επιχώματος σιδηροδρομικού έργου	64
3.20	Άποψη του επιχώματος κατά τη φάση κατασκευής. ....	66



3.21	Τελική μορφή επιχώματος.....	66
3.22	Τοποθέτηση προκατασκευασμένων στοιχείων από σκυρόδεμα.....	67
3.23	Διάφορα σχέδια προκατασκευασμένων στοιχείων από σκυρόδεμα.....	68
3.24	Οπλισμένη γη με προκατασκευασμένα πάνελ ως ακρόβαθρο γέφυρας	68
3.25	Κάτοψη Κέντρου Πολιτισμού Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος.....	69
3.26	Κέντρου Πολιτισμού Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος.....	70
3.27	Εργασίες επίχωσης λόφου , νότια άποψη.....	70
3.28	Διάστρωση αδρανών υλικών με την παρεμβολή συνθετικών πλεγμάτων για την κατασκευή της «οπλισμένης γης».....	71
3.29	Πλήρωση συρματοκιβωτίων με το αδρανές υλικό.....	72
<hr/>		
4.1	α) 15 κομβικά στοιχεία, β) 6 κομβικά στοιχεία.....	74
4.2	α) 12 σημεία τάσεων, β) 3 σημεία τάσεων.....	75
4.3	Παράθυρο εισαγωγής γενικών ρυθμίσεων , καρτέλα Project.....	76
4.4	Παράθυρο εισαγωγής γενικών ρυθμίσεων , καρτέλα Dimensions.....	77
4.5	Γεωμετρία οπλισμένου επιχώματος.....	78
4.6	Παράθυρο εισαγωγής χαρακτηριστικών γεωπλέγματος.....	79
4.7	Παράθυρο εισαγωγής υλικών και στοιχείων.....	80
4.8	Επιλογή παραμέτρων των υλικών στην καρτέλα General.....	81
4.9	Επιλογή παραμέτρων των υλικών στην καρτέλα Parametrs.....	81
4.10	Επιλογή παραμέτρων των υλικών στην καρτέλα Interfaces.....	82
4.11	Υποδιαίρεση του μοντέλου σε τριγωνικά στοιχεία.....	82
4.12	Καθορισμός αρχικών συνθηκών του μοντέλου.....	83
4.13	Καθορισμός γεωμετρίας όλων των κατασκευαστικών φάσεων.....	85
4.14	Εκτέλεση υπολογισμών σε εξέλιξη.....	86
4.15	Παράθυρο υποπρογράμματος Calculations μετά τη λήξη των υπολογισμών.....	86

4.16	Αποτελέσματα συνολικών παραμορφώσεων γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής.....	87
4.17	Αποτελέσματα συνολικών παραμορφώσεων γεωμετρίας κατά το τέταρτο στάδιο κατασκευής.....	88
4.18	Αποτύπωση δυνητικής επιφάνειας αστοχίας επιχώματος.....	88
4.19	Τυπικό διάγραμμα μετατοπίσεων των σημείων παρατήρησης.....	89
<hr/>		
5.1	Βασικά στοιχεία επιχώματος.....	93
5.2	Σημεία παρατήρησης μετακινήσεων στο οπλισμένο επίχωμα.....	94
5.3	Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος αναφοράς κατά το τελικό στάδιο κατασκευή.....	96
5.4	Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος αναφοράς κατά το τελικό στάδιο κατασκευής.....	96
5.5	Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος αναφοράς.....	97
5.6	Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με ένα συρματοκιβώτιο ανά αναβαθμό κατά το τελικό στάδιο κατασκευής.....	98
5.7	Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με ένα συρματοκιβώτιο ανά αναβαθμό .....	99
5.8	Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με τρία συρματοκιβώτια ανά αναβαθμό κατά το τελικό στάδιο κατασκευής.....	100
5.9	Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με τρία συρματοκιβώτια ανά αναβαθμό.....	100
5.10	Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με τέσσερα συρματοκιβώτια ανά αναβαθμό κατά το τελικό στάδιο κατασκευής.....	101
5.11	Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με τέσσερα συρματοκιβώτια ανά αναβαθμό.....	102
5.12	Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με δυο συρματοκιβώτια τοποθετημένα συμμετρικά ανα σειρά στο πόδι κατά το τελικό στάδιο	

Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί

κατασκευής.....	105
5.13 Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με δύο συρματοκιβώτια τοποθετημένα συμμετρικά ανά σειρά στο πόδι του.....	106
5.14 Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με τέσσερα συρματοκιβώτια τοποθετημένα συμμετρικά στο πόδι κατά το τελικό στάδιο κατασκευής	107
5.15 Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με τέσσερα συρματοκιβώτια τοποθετημένα συμμετρικά ανά σειρά στο πόδι του.....	107
5.16 Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με έξι συρματοκιβώτια τοποθετημένα συμμετρικά ανά σειρά στο πόδι του κατά το τελικό στάδιο κατασκευής.....	108
5.17 Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με έξι συρματοκιβώτια τοποθετημένα συμμετρικά ανά σειρά στο πόδι του.....	109
5.18 Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με οχτώ συρματοκιβώτια τοποθετημένα συμμετρικά ανά σειρά στο πόδι κατά το τελικό στάδιο κατασκευής.....	110
5.19 Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με οχτώ συρματοκιβώτια τοποθετημένα συμμετρικά ανά σειρά στο πόδι του....	110
5.20 Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με ένα πατάρι μήκους 0,8 μέτρων κατά το τελικό στάδιο κατασκευής.....	114
5.21 Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με ένα πατάρι μήκους 0,8 μέτρων.....	115
5.22 Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με ένα πατάρι μήκους 1 μέτρου κατά το τελικό στάδιο κατασκευής.....	116
5.23 Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με ένα πατάρι μήκους ενός μέτρου.....	116
5.24 Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με ένα πατάρι μήκους 1,2 μέτρων κατά το τελικό στάδιο κατασκευής.....	117
5.25 Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με ένα πατάρι	

μήκους 1,2 μέτρων.....	118
5.26 Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με ένα πατάρι μήκους ενός μέτρου χωρίς θεμελίωση κατά το τελικό στάδιο κατασκευής.....	121
5.27 Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με ένα πατάρι μήκους ενός μέτρου χωρίς θεμελίωση.....	122
5.28 Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με ένα πατάρι μήκους ενός μέτρου με μια σειρά συρματοκιβωτίων στη θεμελίωση κατά το τελικό στάδιο κατασκευής.....	123
5.29 Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με ένα πατάρι μήκους ενός μέτρου με μια σειρά συρματοκιβωτίων στη θεμελίωση.....	123
5.30 Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με ένα πατάρι μήκους ενός μέτρου με τρεις σειρές συρματοκιβωτίων στη θεμελίωση κατά το τελικό στάδιο κατασκευής.....	124
5.31 Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με ένα πατάρι μήκους ενός μέτρου με τρεις σειρές συρματοκιβωτίων στη θεμελίωση του.....	125
5.32 Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με δύο πατάρια μήκους ενός μέτρου κατά το τελικό στάδιο κατασκευής.....	129
5.33 Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με δύο πατάρια μήκους ενός μέτρου.....	129
5.34 Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με πέντε πατάρια μήκους ενός μέτρου κατά το τελικό στάδιο κατασκευής.....	130
5.35 Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με πέντε πατάρια μήκους ενός μέτρου.....	131
5.36 Παραμόρφωση γεωμετρίας άοπλου επιχώματος σε ύψος 15 μέτρων.....	133
5.37 Αποτύπωση επιφάνειας αστοχίας άοπλου επιχώματος.....	134
<hr/>	
6.1 Τομή προτεινόμενου επιχώματος.....	138
6.2 Παραμόρφωση γεωμετρίας προτεινόμενου επιχώματος.....	139

6.3	Αποτύπωση δυνητικής επιφάνειας αστοχίας του προτεινόμενου.....	139
6.4	Τρισδιάστατο μοντέλο του προτεινόμενου επιχώματος.....	140

---

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος σπουδών του τμήματος Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Ολοκληρώθηκε τον Ιούνιο του 2017 υπό την επίβλεψη του κ Κ. Λουπασάκη, Επικ. Καθηγητή του τομέα των Γεωλογικών Επιστημών της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών.

Η Διπλωματική Εργασία έχει τίτλο :

***Παραμετρικές Αναλύσεις Παραμορφώσεων και Ευστάθειας Οπλισμένων Επιχωμάτων Έργων Οδοποιίας.***

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο έλεγχος της ευστάθειας οπλισμένου επιχώματος με επένδυση συρματοκιβωτίων πραγματοποιώντας παραμετρικές αναλύσεις. Το υπολογιστικό πακέτο το οποίο χρησιμοποιήθηκε είναι το Plaxis 2D, ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων το οποίο έχει εφαρμογές σε γεωτεχνικά έργα όπως τοίχοι αντιστήριξης, σήραγγες, σταθεροποίηση πρανών κ.α

Η διπλωματική εργασία αποτελείται από τα εξής έξι κεφάλαια :

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή

Κεφάλαιο 2 - Εκτενής περιγραφή άοπλων και οπλισμένων επιχωμάτων καθώς και των ελαφρών επιχωμάτων.

Κεφάλαιο 3 –Ανάλυση βασικών υλικών που χρησιμοποιούνται στη κατασκευή οπλισμένων επιχωμάτων, μέσα από παραδείγματα εφαρμογών στον Ελλαδικό χώρο

Κεφάλαιο 4 – Αναλυτική περιγραφή του υπολογιστικού πακέτου Plaxis 2D, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση των παραμετρικών αναλύσεων.

Κεφάλαιο 5 – Αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων των παραμετρικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν.

Κεφάλαιο 6 – Συμπεράσματα και προτάσεις

## ABSTRACT

The present thesis was conducted as part of Undergraduate Studies in the Department of Mining-Metallurgical engineering of the National Technical University of Athens. It was completed in June 2017 under the supervision of Mr. C. Loupasaki, Assist. Professor in the field of Geological Sciences of the School of Mining and Metallurgical Engineering.

The title of diploma thesis is :

### *Parametric Analysis for Deformations and Stability of Reinforced Embankments as roadwork*

The purpose of this thesis is to examine the conditions of stability of reinforced embankments with gabion facing by making parametric analysis. The program used for the analysis is the Plaxis 2D, a finite element program which finds several geotechnical applications such as retaining walls , tunnels , slopes stabilization etc.

The thesis consists of the six following chapters:

Chapter 1 –Introduction

Chapter 2 – Includes a detailed description of embankments with and without reinforcement elements as well as embankments using expanded polystyrene (geofoam) fill.

Chapter 3 – Description of basic elements used in reinforced embankments through examples of embankment applications in Greece.

Chapter 4 – Includes a description of the computational package Plaxis 2D which was used to carry out parametric analysis.

Chapter 5 – Contains a detailed presentation of parametric analysis made in this thesis.

Chapter 6 – Contains the conclusions of this thesis and also some recommendations.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τόσο τα άοπλα, όσο και τα οπλισμένα επιχώματα βρίσκουν εφαρμογή σε πάρα πολλά γεωτεχνικά έργα, όπως οδικά και σιδηροδρομικά έργα, σε μεταλλεία για τη δημιουργία μεταλλευτικών τελμάτων, για τη διαμόρφωση τοπίων ακόμα και για τη προστασία από βραχοπτώσεις. Η πολυχρηστικότητα, η οικονομικότητα καθώς και η φιλικότητα τους προς το περιβάλλον, καθιστούν τις κατασκευές από οπλισμένη γη ένα πρωτοποριακό εργαλείο. Έτσι κρίνεται αναγκαία η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο πραγματοποιούνται οι αστοχίες και οι παραμορφώσεις τους, ώστε να είναι δυνατή η εξασφάλιση της ασφάλειας με το ελάχιστο δυνατό κόστος.

Για τους παραπάνω λόγους η διεξαγωγή της παρούσας διπλωματικής πραγματοποιήθηκε με στόχο την διερεύνηση των επιλογών διαστασολόγησης οπλισμένου επιχώματος μέσω παραμετρικών αναλύσεων. Για τις παραμετρικές αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων Plaxis 2D. Να σημειωθεί ότι το επίχωμα που προσομοιώθηκε δεν αφορά πραγματική κατασκευή.

Σκοπός των παραμετρικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν είναι να αναδειχθεί η σημασία του τρόπου κατασκευής του επιχώματος, δηλαδή πως μέσα από την αλλαγή διάφορων γεωμετρικών χαρακτηριστικών όπως η διάταξη των συρματοκιβωτίων στο πόδι του επιχώματος, η δημιουργία παταριών, το πλάτος της επένδυσης με συρματοκιβώτια μπορεί να επιδράσει είτε αρνητικά είτε θετικά στην ευστάθεια του οπλισμένου πρσανούς και στο μέγεθος των παραμορφώσεων.





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2–ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή των άοπλων και οπλισμένων επιχωμάτων, καθώς επίσης και των ελαφρών επιχωμάτων ή αλλιώς των επιχωμάτων που κατασκευάστηκαν με διογκούμενη πολυστερίνη ή αλλιώς γεωαφρό. Να σημειωθεί ότι δίνεται έμφαση στο τρόπο κατασκευής τους, στα υλικά αλλά και στις εφαρμογές τους

### 2.2 ΑΟΠΛΑ ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ

Επίχωμα νοείται, 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 (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2006).

Τα επιχώματα κατηγοριοποιούνται σε (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2006) :

- **Γαιώδη επιχώματα**, τα οποία κατασκευάζονται με διάστρωση και συμπύκνωση γαιωδών υλικών, που προέρχονται από γαιώδεις και ημιβραχώδεις εκσκαφές ορυγμάτων ή εκσκαφές δανειοθαλάμων.
- **Βραχώδη επιχώματα** τα οποία κατασκευάζονται με διάστρωση και συμπύκνωση βραχωδών υλικών, που προέρχονται κατά κύριο λόγο από εκσκαφές σε βράχο.

#### 2.2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΟΠΛΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ

Τα επιχώματα αποτελούνται από τρία βασικά τμήματα. Από το θεμέλιο που είναι το κατώτερο τμήμα του επιχώματος, από τη στέψη που είναι το ανώτερο, τον πυρήνα, ενώ τα βραχώδη επιχώματα έχουν άλλο ένα τμήμα το μεταβατικό. Στο

Πίνακα 2.1 αναλύονται περαιτέρω τα τμήματα οδικών και σιδηροδρομικών επιχωμάτων.

Πίνακας 2.1 : Τμήματα γαιωδών και βραχωδών επιχωμάτων σε οδικά και σιδηροδρομικά έργα (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2006)

ΟΝΟΜΑΣΙΑ		ΓΑΙΩΔΗ ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ	ΒΡΑΧΩΔΗ ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ
<b>Θεμέλιο</b>		Το τμήμα, που βρίσκεται κάτω από την αρχική επιφάνεια του εδάφους, μετά την εκρίζωση, τον καθαρισμό των ακατάλληλων υλικών και την κατάλληλη διαμόρφωση της επιφάνειας, ώστε να αγκυρώνεται 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 τον ενδοχόμενος απαιτούμενο καθαρισμό, εκρίζωση, ή/ και απομάκρυνση ακατάλληλων υλικών) και διαμόρφωση αναβαθμών για αγκύρωση.
<b>Πυρήνας</b>		Το τμήμα του επιχώματος μεταξύ θεμελίου και στέψης.	Το τμήμα του επιχώματος μεταξύ θεμελίου και μεταβατικού τμήματος.
<b>Μεταβατικό τμήμα</b>			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 1,0 m, εκτός αν ορίζεται διαφορετικά στους λοιπούς όρους δημοπράτησης.
<b>Στέψη</b>	<b>Οδικό έργο</b>	Το μέρος του επιχώματος κάτω από τη Στρώση Έδρασης του Οδοστρώματος (ΣΕΟ), που εκτείνεται σε βάθος, από την πάνω επιφάνεια της ΣΕΟ, ίσο προς 0,80 - 1,00 m σύμφωνα με την εκάστοτε μελέτη.	Το μέρος του επιχώματος πάνω από το μεταβατικό τμήμα που κατασκευάζεται από γαιώδη υλικά όπως στα γαιώδη επιχώματα και αποτελεί (ολόκληρο ή μέρος του) τη ΣΕΟ.
	<b>Σιδηροδρομικό έργο</b>	Το μέρος του επιχώματος κάτω από τη Στρώση Διαμόρφωσης (ΣΔ), που εκτείνεται σε βάθος (από την άνω επιφάνειά της) ίσο προς 1,00 m.	Το μέρος του επιχώματος πάνω από το μεταβατικό τμήμα, που κατασκευάζεται από γαιώδη υλικά, όπως στα γαιώδη επιχώματα και ταυτίζεται με τη ΣΔ.

## 2.2.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΛΟΠΛΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ

Η κατασκευή των επιχωμάτων περιλαμβάνει κατά σειρά τα ακόλουθα στάδια / διεργασίες (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2006):

1. **Προετοιμασία της επιφάνειας έδρασης:** Πριν από τη διάστρωση και συμπύκνωση των υλικών των επιχωμάτων γίνεται καθαρισμός, εκρίζωση και απομάκρυνση των ακατάλληλων επιφανειακών υλικών ή φυτικής γης (θάμνοι, ρίζες, ριζόχομα, φυτική γη με υψηλό ποσοστό οργανικών κλπ.) σ' όλο το βάθος, που απαιτείται.

2. **Κατασκευή δοκιμαστικού τμήματος** : Το δοκιμαστικό τμήμα κατασκευάζεται με σκοπό τη διεύρυνση διάφορων παραγόντων στη συμπίκνωση όπως το ύψος της στρώσης, οι διελεύσεις του μηχανήματος συμπίκνωση και η διαβροχή καθώς επίσης και για να γίνει επανέλεγχος των προδιαγραφών .

3. **Διάστρωση υλικών** : Η διάστρωση των στρώσεων με τα κατάλληλα υλικά πραγματοποιείται ύστερα από την προετοιμασία της επιφάνειας θεμελίωσης. Οι στρώσεις θα πρέπει να είναι συνεχείς, παράλληλες προς την άνω επιφάνεια του επιχώματος και να έχουν ομοιόμορφο πάχος τέτοιο ώστε με τον υπάρχοντα εξοπλισμό, να επιτυγχάνεται ο απαιτούμενος βαθμός συμπίκνωσης σε όλο το πάχος. Για τα βραχώδη επιχώματα απαιτείται η αρχική επιφάνεια να μορφώνεται με κατάλληλη κλίση ώστε να επιτρέπεται η άμεση αποστράγγιση/αποχέτευση.

4. **Συμπύκνωση κατά στρώσεις** : Τέλος γίνεται η συμπίκνωση. 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 δόντια. Για τη συμπίκνωση της αργίλου που είναι δύσκολη λόγω της μεγάλης της φυσικής υγρασίας δίνουν καλύτερα αποτελέσματα οι συμπτυκνωτές με δόντια. Για τα βραχώδη επιχώματα κατάλληλοι θεωρούνται οι βαρείς δονητικοί οδοστρωτήρες, οι στατικοί οδοστρωτήρες με κυλίνδρους καθώς και οι οδοντωτοί οδοστρωτήρες.

## 2.2.3 ΥΛΙΚΑ ΑΟΠΛΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ

### 2.2.3.1 ΥΛΙΚΑ ΓΑΙΩΔΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ

Για την κατασκευή επιχωμάτων είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν γαιώδη υλικά από τα προϊόντα εκσκαφής ορυγμάτων, ή σηράγγων ή ακόμη και από επιχώματα που καθαιρούνται (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2006).

Δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν τα παρακάτω :

- Λεπτόκοκκα εδάφη που παρουσιάζουν τάση διόγκωσης
- Ρυπογόνα υλικά (π.χ βιομηχανικά εδάφη που περιέχουν ρύπους)
- Εδάφη που περιέχουν υδατοδιαλυτά ορυκτά (π.χ αλάτι) σε ποσοστό μεγαλύτερο του 2%

- Θιξοτροπικά εδάφη ( π.χ υπερευαίσθητη άργιλος)
- Τυρφώδη ή οργανικά εδάφη με ποσοστό σε οργανικά μεγαλύτερο του 5%

### 2.2.3.2 ΥΛΙΚΑ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ

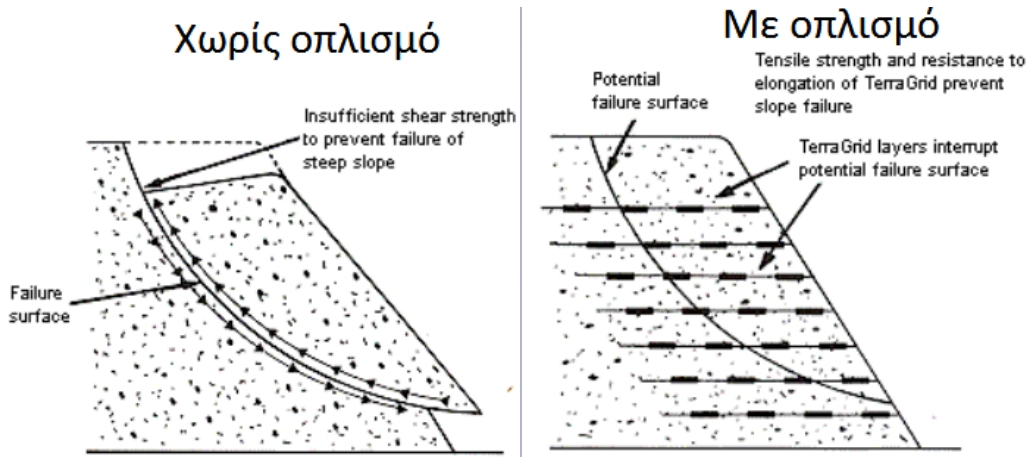
Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι πετρώδη προϊόντα που προέρχονται από εκσκαφές βραχωδών ορυγμάτων. Κατ' εξαίρεση και μετά από έγκριση της Υπηρεσίας τα υλικά μπορεί να προέρχονται από δανειοθαλάμους. Στις περιπτώσεις αυτές οι θέσεις εκσκαφής θα υποδεικνύονται από την Υπηρεσία ή θα εγκρίνονται από την Υπηρεσία σύμφωνα με την Ε. Σ. Υ. και τους λοιπούς ειδικούς όρους Δημοπράτησης (Καψαμπέλη, 2006).

Τα πετρώματα από τα οποία προέρχονται τα βραχώδη υλικά διακρίνονται σε (Καψαμπέλη, 2006) :

- Κατάλληλα: Σε αυτά περιλαμβάνονται οι γρανίτες, πορφυρίτες, γρανοδιορίτες, γάβροι διαβάσες, οφίτες, ανδεσίτες, βασάλτες, δολομίτες, μάρμαρα κ.α.
- Ακατάλληλα: περιλαμβάνονται οι σερπεντίνες, φυλίτες, ανυδρίτες, γύψος, διαλυτοί βράχοι και γενικά τα πετρώματα που αποσυντίθενται με την έκθεσή τους στις επιδράσεις του καιρού ή που θραύονται σε σημαντικό βαθμό ή κονιοποιούνται ή αποκτούν δυσμενή υφή με τη συμύκνωση.
- Εκείνα που απαιτούν ειδική μελέτη.

## 2.3 ΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ

Η Οπλισμένη Γη είναι κατασκευή βαρύτητας που κτίζεται σταδιακά με γαίες (χαμηλού κόστους δομικά στοιχεία που μπορούν να παραλάβουν θλιπτικά φορτία, όχι όμως εφελκυστικά φορτία) και με στοιχεία οπλισμού (ικανά να παραλάβουν εφελκυστικά φορτία) και κατά περίπτωση, με στοιχεία κάλυψης του μετωπικού τους πρανούς. Έτσι είναι δυνατή η κατασκευή πρανών, τοίχων μεγαλύτερου ύψους ή και κλίσης από όσο θα ήταν δυνατόν με τη χρήση μη οπλισμένων γαιών δεδομένης αντοχής ( Εικόνα 2.1 ) (Τσατσανιφος,2014).



Εικόνα 2.1 : Σύγκριση άοπλου και οπλισμένου επιχώματος (Μπελόκας, 2015)

### 2.3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ

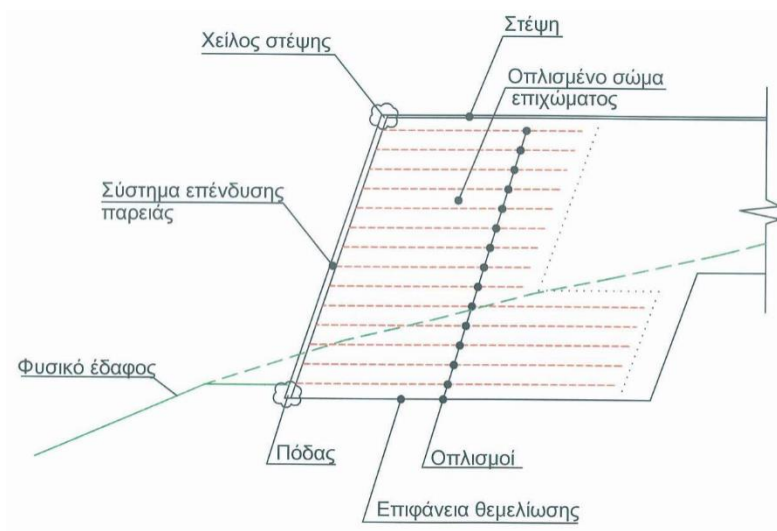
Ως οπλισμένα επιχώματα, καλούνται όλα τα επιχώματα τα οποία περιλαμβάνουν οποιονδήποτε τύπου οπλισμό (χαλύβδινες λωρίδες, πλέγματα, γεωφάσματα), είτε στο σύνολο του ύψους αυτών, είτε τοπικά στην βάση ή την στέψη (Νάσκος, 2007).

Διακρίνονται (Νάσκος, 2007):

- Σε οπλισμένα επιχώματα με απότομες έως και κατακόρυφες κλίσεις πρανών, η ευστάθεια των οποίων δεν θα μπορούσε να εξασφαλισθεί χωρίς όπλιση. Ως εκ τούτου, πρόκειται για οπλισμένα επιχώματα αντιστήριξης (retaining structures).
- Σε επιχώματα ήπιας κλίσης πρανών που περιλαμβάνουν όπλιση είτε στην θεμελίωση αυτών, είτε στην στέψη, για λόγους π.χ. ενίσχυσης της φέρουσας ικανότητας του υπεδάφους ή και αντιμετώπισης διαφορεικών καθιζήσεων σε ειδικές περιπτώσεις.

Τα οπλισμένα επιχώματα παρουσιάζουν ορισμένες διαφορές στη δομή τους σε σχέση με τα άοπλα, οι οποίες οφείλονται στην ύπαρξη οπλισμού και εξωτερικής επένδυσης. Να σημειωθεί ότι για την επίχωση των οπλισμένων επιχωμάτων, είναι κατάλληλα όλα τα γεωϋλικά που θεωρούνται κατάλληλα και για τα άοπλα επιχώματα (Ενότητα 2.2.3). Επίσης όσον αφορά τη κατασκευή τους δεν παρουσιάζονται διαφορές πέρα του ότι προηγείται της διάστρωσης και της συμπίκνωσης του υλικού, η τοποθέτηση οπλισμού ο οποίος αγκυρώνεται στα

σταθερά δομικά στοιχεία της πρόσοψης. Στην Εικόνα 2.2 παρουσιάζονται τα μέρη ενός οπλισμένου επιχώματος.



Εικόνα 2.2 : Μέρη οπλισμένου επιχώματος (Νάσκος, 2007)

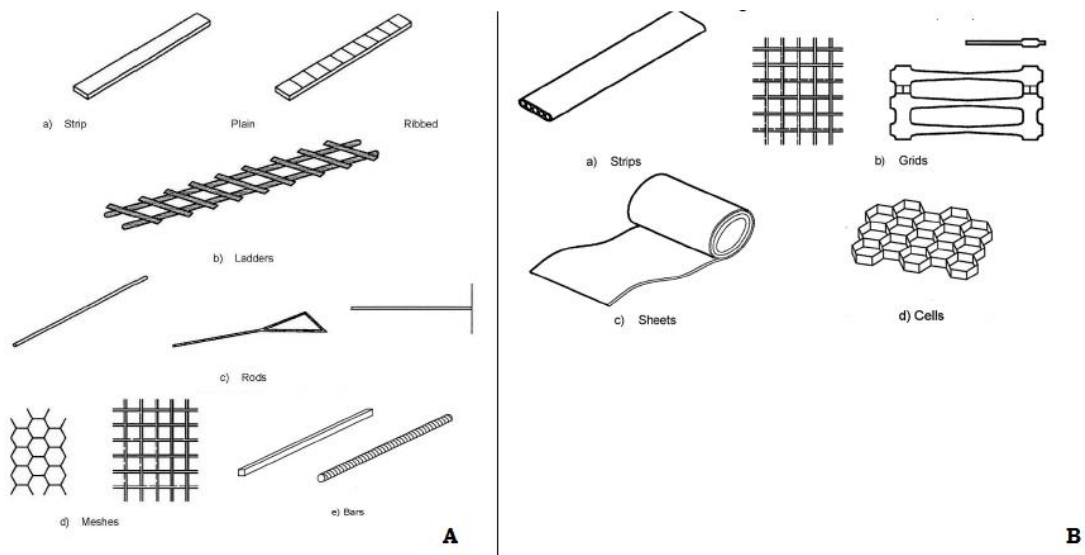
### 2.3.1.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ

Στην οπλισμένη γη, οι γαίες παραμένουν συνεχώς υπό θλιπτικό φορτίο και οι οπλισμοί παραλαμβάνουν τα εφελκυστικά φορτία και μέσω διατμητικών τάσεων τα μεταβιβάζουν στις γαίες. Ο μηχανισμός αυτός έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της διατμητικής αντοχής του σύμμεικτου συστήματος (Τσατσανιφός, 2014). Οι οπλισμοί οι οποίοι χρησιμοποιούνται είναι :

- **Χαλύβδινοι οπλισμοί** (Νάσκος, 2007): Οι χαλύβδινοι οπλισμοί σε μόνιμες κατασκευές είναι γαλβανισμένοι, αναλόγως του τύπου τους και των απαιτήσεων διάρκειας χρήσης και συνήθως έχουν επικάλυψη PVC για προστασία. Οι οπλισμοί αυτοί μπορεί να είναι οπλισμοί χαλύβδινες λωρίδες, ράβδοι, χαλύβδινα πλέγματα. Τα χαρακτηριστικά μηχανικής αντοχής που πρέπει να δίνονται για τους χαλύβδινους οπλισμούς συνίστανται στην αντοχή σε εφελκυσμό έναντι θραύσης του χάλυβα, καθώς και σε επιμέρους παραμέτρους που να επιτρέπουν τον υπολογισμό του συντελεστή τριβής του οπλισμού σε εξόλκευση, εφόσον είναι γνωστή η γωνία τριβής του υλικού επίχωσης (Εικόνα 2.3Α και 2.5 ).

- **Πολυμερικοί οπλισμοί** : Οι πολυμερικοί οπλισμοί ή αλλιώς γεωσυνθετικά υλικά κατασκευάζονται από συνθετικές ίνες που προέρχονται από διάφορα πολυμερή (πολυπροπυλένιο, πολυεστέρα, πολυαμίδιο και πολυαιθυλένιο). Στα επιχώματα κύρια χρησιμοποιούνται τα γεωφάσματα, γεωκυψέλες, γεωπλέγματα και τα γεωσύνθετα (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007). Τα χαρακτηριστικά μηχανικής αντοχής που πρέπει να δίνονται για τους πολυμερικούς οπλισμούς συνίστανται στις τιμές αντοχής σε εφελκυσμό για τις δεδομένες συνθήκες τοποθέτησης, περιβάλλοντος και θερμοκρασίας και διάρκεια χρήσης του έργου (Εικόνα 2.3B και 2.4 ) (Νάσκος, 2007).

Οι οπλισμοί τοποθετούνται σε διαδοχικά οριζόντια επίπεδα κατά την ανέγερση του επιχώματος και συνδέονται με το σύστημα επένδυσης της παρειάς. Σε περίπτωση χρήσης πολυμερικού τύπου οπλισμών, ακολουθεί ελαφρά τάνση και προσωρινή στερέωση του πίσω άκρου τους επί της εκάστοτε συμπυκνωμένης επιφάνειας επίχωσης, πριν την τοποθέτηση και την διάστρωση της επόμενης στρώσης υλικού επιχώματος (Τσατσανίφορος,2014).



Εικόνα 2.3 : A) Χαλύβδινοι οπλισμοί , B) Πολυμερικοί Οπλισμοί (Νάσκος ,2007)





Εικόνα 2.4 Γεωπλέγμα ως υλικό οπλισμού επιχώματος (www.thracegroup.com)



Εικόνα 2.5 Χαλύβδινος οπλισμός ως υλικό οπλισμού επιχώματος (www.thracegroup.com)

### 2.3.1.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΠΑΡΕΙΑΣ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ

Τα στοιχεία εξωτερικής επένδυσης του επιχώματος προστατεύουν το έδαφος και τα στοιχεία οπλισμού από τη διάβρωση και συγκρατούν το υλικό πλήρωσης. Επίσης, καθώς αποτελούν το πλέον ορατό κομμάτι του έργου, μπορούν να καθορίσουν και την αισθητική του (Tadesse, 2006).

Γενικότερα οι κατηγορίες επενδύσεων είναι τρεις (Νάσκος, 2007) :

- *Δύσκαμπτες επενδύσεις* όπως προκατασκευασμένες πλάκες ή αρθρωτά συνδεδεμένοι δόμοι από σκυρόδεμα (Εικόνα 2.6).

Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί

- *Ημιεύκαμπτες επενδύσεις* όπως χαλύβδινα πλέγματα,συρματοπλέγματα - συρματοκιβώτια, ημιελλειπτικά χαλύβδινα ελάσματα (Εικόνα 2.7).
- *Πλήρως εύκαμπτες επενδύσεις* όπως αναδιπλώσεις γεωπλεγμάτων, ανεξάρτητες επενδύσεις παρειάς με γεωδύκτια και φυτικές γαίες (Εικόνα 2.8).



Εικόνα 2.6 Επίχωμα με επένδυση από προκατασκευασμένες πλάκες  
([www.retainingsolutions.com](http://www.retainingsolutions.com))



Εικόνα 2.7 Επίχωμα με επένδυση από συρματοκιβώτια ([www.gabion.gr](http://www.gabion.gr))



Εικόνα 2.8 : Επίχωμα με επένδυση από αναδιπλώσεις γεωπλεγμάτων

([www.tencate.com](http://www.tencate.com))

## 2.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ

### 2.4.1 ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ ΣΕ ΟΔΙΚΑ ΚΑΙ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΑ ΕΡΓΑ

Σε έργα οδοποιίας χρησιμοποιούνται τα άοπλα και τα οπλισμένα επιχώματα. Τα οπλισμένα κατασκευάζονται στις περιπτώσεις όπου είναι ανέφικτη η εφαρμογή των ήπιων κλίσεων που απαιτούν τα άοπλα επιχώματα και άρα όταν δεν μπορεί να διατεθεί το απαιτούμενο πλάτος. Συνεπώς μπορούν να αντικαταστήσουν έργα υψηλών τοίχων ποδός σε περιπτώσει υψηλών εγκάρσιων κλίσεων φυσικού εδάφους καθώς και έργα γεφύρωσης. Τέλος οπλισμένα επιχώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τέτοια έργα ακόμα και ως ηχητικά πετάσματα (Νάσκος, 2007). Τα ηχοπετάσματα έχουν μεγάλη κλίση και για αυτό δε κατασκευάζονται άοπλα συνήθίζεται να δεντροφυτεύονται για καλύτερη αισθητική. Να σημειωθεί ότι η κατασκευή οπλισμένων επιχωμάτων αποφεύγεται όταν είναι δυνατή η κατασκευή άοπλου και αυτό διότι το κόστος τους είναι μεγαλύτερο εξαιτίας των στοιχείων οπλισμού.



Εικόνα 2.9 : Οπλισμένο επίχωμα με συρματοκιβώτια σε έργο οδοποιίας, ο κόμβος Μετσόβου. ([www.geognosi.gr](http://www.geognosi.gr))



Εικόνα 2.10 : Οπλισμένο επίχωμα οδοποιίας στη φάση κατασκευής ([www.geognosi.gr](http://www.geognosi.gr))



Εικόνα 2.11 Επίχωμα σε σιδηροδρομικό έργο ([www.tencate.com](http://www.tencate.com))



Εικόνα 2.12 : Χρήση οπλισμένου επιχώματος μεηχοπέτασμα στην στέψη  
([www.tenax.net](http://www.tenax.net))

## 2.4.2 ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΩΝ

Τα επιχώματα αντιστήριξης δρουν ως οπλισμένα αντίβαρα απότομης κλίσης σε κατολισθαίνουσες ή επικίνδυνες προς κατολίσθηση περιοχές, με δημιουργία τεχνητής βαθμίδας στη στέψη του επιχώματος, η οποία παρέχει πρόσθετη παθητική προστασία στον κατάντη χώρο (Νάσκος, 2007). Εφαρμόζονται επίσης σε εδάφη με κακή φέρουσα ικανότητα καθώς μπορούν να παραλάβουν τις διαφορικές καθιζήσεις πολύ καλύτερα από άλλες πιο άκαμπτες λύσεις και άρα η χρήση τους κρίνεται κατάλληλη και στις σεισμικές ζώνες.

Τα επιχώματα αυτά χρησιμοποιούνται σε φυσικά πρανή, αλλά και σε πρανή στα οποία έχει γίνει περικοπή (ορύγματα) με σκοπό την εγκατάσταση ενός νέου αυτοκινητόδρομου ή για τη δημιουργία οικοδομήσιμης γης σε επικλινές οικόπεδο. Το έδαφος στο οποίο έχει γίνει περικοπή μπορεί να είναι ασταθές όταν γίνεται τροποποίηση της γωνίας κλίσης του πέρα από τη φυσική του γωνία ηρεμίας.



Εικόνα 2.13 : Οπλισμένο επίχωμα με συρματοκιβώτια ως μέσο αντιστήριξης

([www.geognosi.gr](http://www.geognosi.gr))



Εικόνα 2.14 : Οπλισμένο επίχωμα για την αντιστήριξης δρόμου (www.tencate.com)

### 2.4.3 ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ ΣΕ ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ

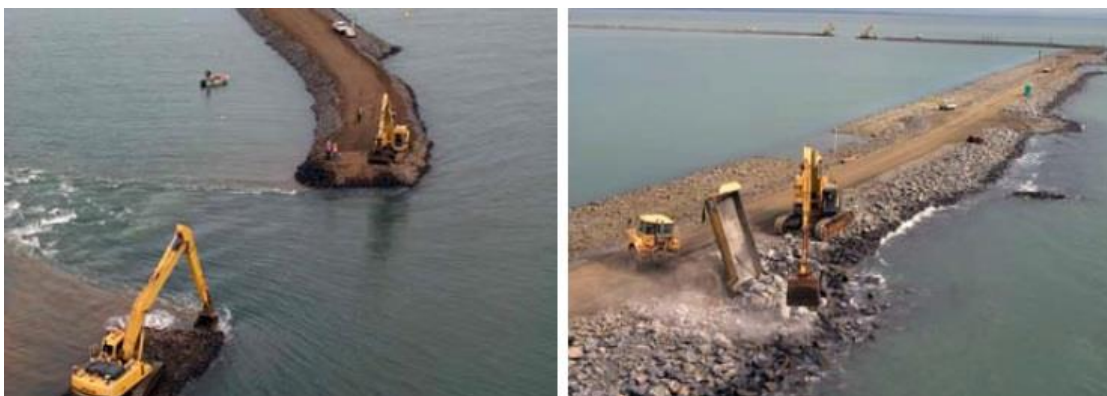
Τα επιχώματα βρίσκουν χρήση και στα λιμενικά έργα. Στην Εικόνα 2.15 φαίνεται η επέκταση λιμανιού στην Αυστραλία ενώ στην Εικόνα 2.16 οι διαδικασίες που εκτελούνται η διάστρωση του βραχώδους υλικού πάνω στο επίχωμα. Επίσης στα λιμενικά έργα χρησιμοποιούν τα επιχώματα ως υλικά πλήρωσης σε κατακόρυφα κρηπιδώματα.

Ευρεία εφαρμογή βρίσκουν τα επιχώματα και στα υδραυλικά έργα. Γίνεται χρήση τους για επένδυση των θεμελιώσεων γεφυρών, ώστε να προστατευθούν τα θεμέλια από τη διάβρωση . Επίσης χρησιμοποιούνται για να προστατεύονται τα πρανή στις όχθες των ποταμών και των ρεμάτων και γενικά εφαρμόζονται σε διάφορα αντιπλημμυρικά έργα .

Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί



Εικόνα 2.15 : Κατασκευή επιχώματος για την επέκταση λιμένα Brisbane στην Αυστραλία  
([www.tencate.com](http://www.tencate.com))



Εικόνα 2.16 : Διαδικασίες κατασκευή επιχώματος για την επέκταση λιμένα Brisbane στην  
Αυστραλία ([www.tencate.com](http://www.tencate.com))





Εικόνα 2.17 : Επίχωμα για προστασία των όχθων του Μετσοβίτικου ποταμού αλλά και για την κατασκευή αντίβαρου σε κατολισθένουσα μάζα. (από Λουπασάκης)



Εικόνα 2.18 : Επίχωμα ως επένδυση στη θεμελίωση γέφυρας (www.panmetal.gr)

## 2.4.4 ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ ΩΣ ΤΕΧΝΙΚΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Εξαιτίας της περιορισμένης διαπερατότητας των εδαφικών υλικών η κίνηση του νερού διαμέσου των πόρων απαιτεί χρόνο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την παρατήρηση υστέρησης μεταξύ της επιβολής της φόρτισης και της εκδήλωσης των παραμορφώσεων. Για την επιτάχυνση λοιπόν της στερεοποίησης του σχηματισμού γίνεται επιβολή προφορτίσεων ή επιφορτίσεων. Δηλαδή επιβάλλονται φορτία ίσα ή μεγαλύτερα από τα φορτία της τελικής κατασκευής, προκειμένου να παραληφθούν όλες οι παραμορφώσεις στην επιφάνεια θεμελίωσης πριν από την έναρξη της κατασκευής.

Οι προφορτίσεις ή επιφορτίσεις πραγματοποιούνται με την κατασκευή επιχωμάτων σε όλη την έκταση της επιφάνειας θεμελίωσης. Τα επιχώματα διατηρούνται για όσο χρονικό διάστημα απαιτείται προκειμένου να ολοκληρωθεί η στερεοποίηση του σχηματισμού θεμελίωσης (Λουπασάκης, 2015). Τα επιχώματα αυτά κατασκευάζονται άοπλα, καθώς η μόνη τους χρήση είναι η επιβολή του βάρους τους στο σχηματισμό.



Εικόνα 2.19 : Επίχωμα για προφόρτιση στη φάση κατασκευής ([www.civcal.media.hku.hk](http://www.civcal.media.hku.hk))



Εικόνα 2.20 : Επίχωμα για προφόρτιση ( [www.civcal.media.hku.hk](http://www.civcal.media.hku.hk))

#### 2.4.5 ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ ΑΝΑΣΧΕΣΗΣ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

Τα επιχώματα προστασίας από βραχοπτώσεις είναι παθητικά συστήματα και αποτελούν ιδανική λύση όταν δεν μπορεί να εγκατασταθεί σύστημα σταθεροποίησης της επιφάνειας (π.χ. για πολύ μεγάλες πλαγιές) ή όπου η ανάσχεση της πτώσης των βράχων δεν είναι δυνατή επειδή ολόκληρη η πλαγιά είναι απρόσιτη. Χρησιμοποιούνται συνήθως ως προστασία από φυσικούς κινδύνους, κατολισθήσεις, βραχοπτώσεις, χιονοστιβάδες, υδρογεωλογικά προβλήματα κ.α. Τα επιχώματα αυτά μπορούν να αντέξουν πολλαπλές κρούσεις και εκδηλώσεις βραχοπτώσεων χωρίς επιδιόρθωση. Κατασκευάζονται κυρίως από οπλισμένη γη. ( [www.maccaferri.com](http://www.maccaferri.com)).



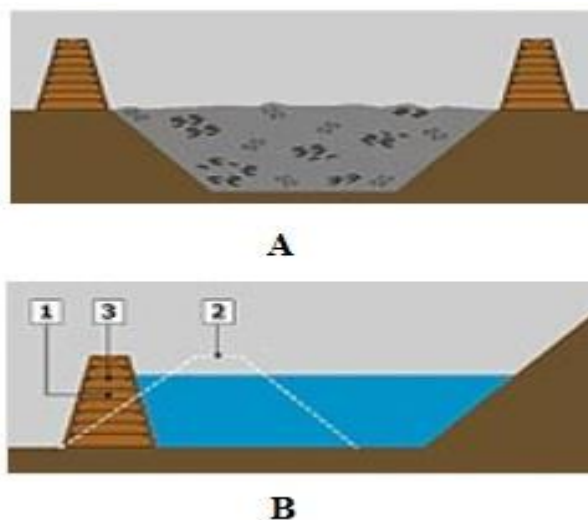
Εικόνα 2.21 : Επίχωμα ανάσχεσης βραχοπτώσεων ( [www.maccaferri.com](http://www.maccaferri.com)).



Εικόνα 2.22 : Επίχωμα ανάσχεσης βραχοπτώσεων στην Αυστρία ([www.tancate.com](http://www.tancate.com))

#### 2.4.6 ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ ΣΤΑ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΑ ΤΕΛΜΑΤΑ

Τα επιχώματα στα μεταλλευτικά τέλματα, λειτουργούν ως φράγματα για τη συγκράτηση των αποβλήτων από τη μεταλλευτική δραστηριότητα. Τα επιχώματα αυτά μπορεί να είναι είτε άοπλα, είτε οπλισμένα. Ωστόσο οι όλο και αυξανόμενες απαιτήσεις για μεγαλύτερο χώρο αποθήκευσης τους, δημιουργεί την ανάγκη κατασκευής οπλισμένων επιχωμάτων. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.23 τα οπλισμένα επιχώματα παρέχουν μεγαλύτερη ικανότητα αποθήκευσης όπου με τον αριθμός 1 συμβολίζεται το οπλισμένο, ενώ με το 2 το άοπλο επίχωμα.



Εικόνα 2.23 : Τρόποι διεύρυνσης χώρου αποθήκευσης μεταλλευτικών αποβλήτων μέσω κατασκευής φραγμάτων. ([www.tenax.net](http://www.tenax.net))



Εικόνα 2.24 : Επίχωμα μεταλλευτικού τέλματος στο LoganLake ([www.tailings.info](http://www.tailings.info))

## 2.5 ΕΛΑΦΡΑ ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ

Η δυσκολία έδρασης των επιχωμάτων σε μαλακά ή ασταθή εδάφη οδήγησε στην αναζήτηση εναλλακτικών λύσεων πέραν της ενίσχυσης του εδάφους. Η λύση που προέκυψε ήταν η χρησιμοποίηση ελαφρύτερων υλικών κατασκευής (ιπτάμενη τέφρα, σκωρίες, διογκωμένη άργιλος, ελαστικά, απορρίμματα πλαστικού, αφρός ελαφροσκυροδέματος, διογκωμένη πολυστερίνη). Η διογκούμενη πολυστερίνη ή αλλιώς γεωαφρός κυριάρχησε μεταξύ αυτών εξαιτίας του πολύ χαμηλού της βάρους και της μη ύπαρξης απαίτησης προφορτίσεων και άλλων ειδών βελτιώσεων.

### 2.5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΛΑΦΡΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΓΕΩΑΦΡΟ

Η διογκωμένη πολυστερίνη είναι ένα ελαφρύ, άκαμπτο, κυβελοειδούς μορφής αφρώδες πλαστικό υλικό, που παράγεται από συμπαγείς κόκκους πολυμερούς στυρενίου, μετά από θέρμανση με ατμό. Τοποθετούμενη σε ειδικές φόρμες (καλούπια) παράγει ορθογώνια παραλληλεπίπεδα τεμάχια πάχους  $\geq 0,5\text{m}$  και πλάτους  $\geq 1,0\text{m}$  που τοποθετούνται με αλληλεμπλοκή ώστε να μη δημιουργούνται κατακόρυφοι αρμοί. Πρόκειται για χημικώς καθαρό και σταθερό στο χρόνο υλικό, ανθεκτικό έναντι ανόργανων υλών, που διαλύεται όμως από οργανικούς διαλύτες (π.χ. βενζίνη) (Παπαχαράλαμπος κ.α ,2010).

## 2.5.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΛΑΦΡΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΓΕΩΑΦΡΟ

Η διογκούμενη πολυστερίνη μπορεί να αντικαταστεί μέρος του επιχώματος ή το σύνολο του και μπορεί να τοποθετηθεί σε συναρμογή με άλλες κατασκευές. Ο γεωαφρός υλικό καλύπτεται με στεγανωτικά υλικά (π.χ γεωμεμβράνες) και επιχωμάτωναται. Σκοπός της επιχωμάτωσης και της στεγανοποίησης είναι η προστασία του γεωαφρού από την έκχυση πετρελαιοειδών, καθώς επίσης και την προστασία του από την ανύψωση λόγω άνωσης. Τέλος προτείνεται σε περιπτώσεις επιχωμάτων οδοποιίας η επικάλυψη με οπλισμένο σκυρόδεμα για καλύτερη κατανομή των κινητών φορτίων.

Στην Εικόνα 2.25 παρουσιάζονται τα στάδια κατασκευής ελαφρού επιχώματος οδοποιίας στο 198ο χιλιόμετρο της Εθνικής οδού Αθηνών Λαμίας (ΠΑΘΕ Ε75) στην παράκαμψη Θερμοπυλών.



Εικόνα 2.25 : Α) Στάδια κατασκευής , Β) Τυπικήδομή ελαφρού επιχώματος με γεωαφρό (www.rizakos.eu)

## 2.5.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΛΑΦΡΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΓΕΩΑΦΡΟ

Τα ελαφριά επιχώματα από διογκούμενη πολυστερίνη μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ([www.rizakos.eu](http://www.rizakos.eu)) :

- **Επιχώματα οδοποιίας** (Εικόνα 2.26) : Είναι κατάλληλα τα επιχώματα αυτά σε έργα οδοποιίας καθώς δεν απαιτούνται χρονοβόρες εργασίες βελτίωσης του συμπιεστού φυσικού εδάφους όπως επίχωμα προφόρτισης και στερεοποίηση. Έτσι μειώνεται το κόστος κατασκευής καθώς επίσης και το κόστος συντήρησης κατά τη λειτουργία του έργου.
  - **Μεταβατικά επιχώματα γεφυρών** (Εικόνα 2.27): Τα επιχώματα από γεωαφρό είναι κατάλληλα για τη χρήση τους ως επιχώματα γεφυρών γιατί εκτός από την μείωση του βάρους της κατασκευής, οι καθιζήσεις του συμπιεστού εδάφους είναι αμελητέες καθώς επίσης τα οριζόντια φορτία στο ακρόβαθρο της γέφυρας είναι αρκετά μειωμένα.
  - **Επιχώματα αποκατάστασης/βελτίωσης ευστάθειας πρανών** (Εικόνα 2.28) : Είναι κατάλληλα για την αποκατάσταση οδών καθώς η διαδικασία τοποθέτησης τους είναι ταχεία .
  - **Ελαφρά επιχώματα πάνω από υπόγειες κατασκευές** (Εικόνα 2.29) : Με τη χρήση ελαφρών επιχωμάτων στα υπόγεια έργα επιτυγχάνεται σημαντική απογείωση της επιφόρτισης των υπόγειων κατασκευών ενώ ταυτόχρονα παρέχεται η δυνατότητα ανύψωσης του εδάφους χωρίς επιβάρυνση της υπάρχουσας κατασκευής .
- Ελαφρά επιχώματα για διαμόρφωση τοπίων** (Εικόνα 2.30): Με τη χρήση ελαφρών επιχωμάτων είναι δυνατή η διαμόρφωση όγκου με μικρή επιφόρτιση των υποκείμενων εδαφών ή κατασκευών, ενώ παρέχεται μεγάλη ευελιξία στο σχεδιασμό. Ταυτόχρονα μπορούν να καλύψουν σήραγγες κατασκευασμένες με την μέθοδο του cut and cover.



Εικόνα 2.26 : Επίχωμα οδοποιίας στην Εθνική Οδό – πέταλο Μαλιακού ([www.unisol.gr](http://www.unisol.gr))



Εικόνα 2.27 : Μεταβατικό επίχωμα γέφυρας ( [www.styropan.gr](http://www.styropan.gr))



Εικόνα 2.28 : Επιχώματα αποκατάστασης/βελτίωσης ευστάθειας πρανών  
([www.styropan.gr](http://www.styropan.gr))





Εικόνα 2.29 : Ελαφρύ επίχωμα πάνω από υπόγειο τερματικό σταθμό μετρό για ανύψωση εδάφους , στο Dusseldorf της Γερμανίας ( [www.styropan.gr](http://www.styropan.gr))



Εικόνα 2.30 : Επίχωμα πάνω από σήραγγα στο οποίο έγινε δεντροφύτεψη για βελτίωση αισθητικής του χώρου, στο Αμβούργο της Γερμανίας ( [www.styropan.gr](http://www.styropan.gr))

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ

### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν συνοπτικά διάφορα παραδείγματα εφαρμογών επιχωμάτων στον Ελλαδικό χώρο. Σε κάθε ένα παράδειγμα γίνεται η περιγραφή του κεντρικού στοιχείου (π.χ συρματοκιβώτια, γεωφάσματα κλπ) του επιχώματος, ώστε να γίνει πιο κατανοητή η δομή του, αλλά και η λειτουργία των βασικών στοιχείων που μπορεί να το συνθέτουν. Να σημειωθεί ότι οι πληροφορίες για τα επιχώματα της Εγνατίας Οδού ανακτήθηκαν από την ιστοσελίδα της Εταιρίας Όμικρον Κάπα ([www.omikronkappa.gr](http://www.omikronkappa.gr)).

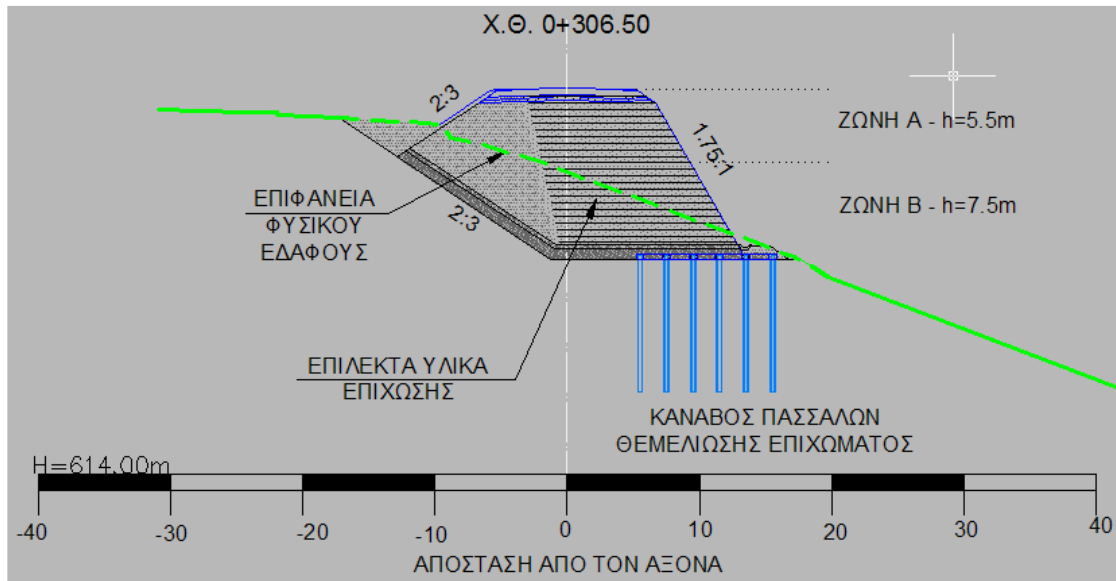
### 3.2 ΕΘΝΙΚΗ ΟΔΟΣ ΤΡΙΚΑΛΩΝ-ΑΡΤΑΣ/ΤΜΗΜΑ : ΣΗΡΑΓΓΑ ΠΑΧΤΟΥΡΙΟΥ ΕΩΣ ΑΓΙΑ ΚΥΡΙΑΚΗ

Το Έργο αφορά τη κατασκευή και αναβάθμιση του τμήματος από τη σήραγγα Παχτουρίου έως την Αγία Κυριακή, μήκους 3,5 χλμ. περίπου, στον άξονα εθνικής οδού Τρικάλων – Άρτας, που βελτιώνει σημαντικά τη διέλευση των οχημάτων μεταξύ των δύο νομών.

Το επίχωμα διαμορφώνεται σε απότομο πρανές και με δυσμενείς γεωτεχνικές συνθήκες εδάφους θεμελίωσης. Για την υποστήριξη και τη προστασία του από ρευστοποίηση, το επίχωμα εδράζεται πάνω σε πασσάλους, των οποίων ο κάρναβος φαίνεται στην Εικόνα 3.1.

Το επίχωμα έχει συνολικό ύψος 13 μέτρα και χωρίζεται σε δύο ζώνες. Η πρώτη ζώνη Α έχει ύψος 5,5 μέτρα και κλίση 2:3, ενώ η δεύτερη ζώνη Β έχει ύψος 7,5 μέτρα και κλίση 1,75:1. Για τη διαμόρφωση της όψης και τη συγκράτηση των υλικών επίχωσης χρησιμοποιούνται σάκοι πληρωμένοι με κοκκώδες υλικό γύρω από τους οποίους τοποθετείται γεωπλέγμα οπλισμού. Τέλος πάνω από αυτά τοποθετείται ειδικό πλέγμα γιούτα και γίνεται φύτευση με τη μέθοδο της υδροσποράς.

Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί



Εικόνα 3.1 : Τοπική Διατομή Επιχώματος (Φίκιρης και Μαυρομμάτη, 2007)



Εικόνα 3.2 : Άποψη επιχώματος κατά τη φάση κατασκευής (Φίκιρης και Μαυρομμάτη, 2007)

### 3.2.1 ΓΕΩΠΛΕΓΜΑΤΑ

Το σύστημα επένδυσης της παρειάς του επιχώματος αυτού είναι εύκαμπτο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση όπως ήδη προαναφέρθηκε η επένδυση γίνεται με αναδιπλώσεις γεωπλεγμάτων, σε άλλες περιπτώσεις τη θέση γεωπλεγμάτων μπορούν να πάρουν τα γεωφάσματα.

Τέτοιες επενδύσεις βρίσκουν εφαρμογή σε επιχώματα και σε άλλες χρήσεις οπλισμένων γαιών και συνήθως γίνεται φύτευση με τη μέθοδο της υδροσποράς για

καλύτερα αισθητικά αποτελέσματα. Το υλικό πλήρωσης μπορεί να είναι από μικρής έως μεγάλης κοκκομετρίας. Βέβαια στις περιπτώσεις πολύ λεπτομερών τεμαχιδίων εδάφους είναι καλύτερη η χρήση γεωφασμάτων ώστε να μην έχουμε απώλεια εδαφικού υλικού. Στην Εικόνα 3.3 3.4 και 3.5 φαίνονται οι φάσεις κατασκευής πρόσοψης με σάκους πληρωμένους με εδαφικό υλικό και αναδιπλώσεις γεωπλεγμάτων ενός διαφορετικού επιχώματος. Το γεώπλεγμα που χρησιμοποιείται για την επένδυση του επιχώματος των παρακάτω εικόνων είναι της εταιρείας TenCate και ονομάζεται Miragrid είναι μονοαξονικού τύπου και το εύρος τιμών αντοχής σε εφελκυσμό είναι 35 έως 250 KN/m .



Εικόνα 3.3 : Διάστρωση εδαφικού υλικού πίσω από τους σάκους με το εδαφικό υλικό  
([www.tencate.com](http://www.tencate.com))



Εικόνα 3.4 : Γεωπλέγμα τυλιγμένο πίσω από τους σάκους του εδαφικού υλικού  
([www.tencate.com](http://www.tencate.com))



Εικόνα 3.5 : Τελική όψη επιχώματος ([www.tencate.com](http://www.tencate.com))

Τα γεωπλέγματα είναι γωσυνθετικά υλικά που αποτελούνται από διαμήκη και εγκάρσια δομικά στοιχεία τα οποία σχηματίζουν κάναβο με τετράγωνα ή ορθογώνια ανοίγματα (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007). Κατασκευάζονται από πολυμερή υλικά όπως πολυεστέρα και πολυεστερίνη και χωρίζονται σε μονοαξονικά ή διαξονικά (Λουπασάκης, 2015). Χαρακτηριστικές ιδιότητες των γεωπλεγμάτων φαίνονται στον Πίνακα 3.1

Πίνακας 3.1 : Εύρος τιμών χαρακτηριστικών ιδιοτήτων γεωπλεγμάτων(Κούκης και Σαμπατακάκης ,2007)

Ιδιότητες	Εύρος τιμών
Βάρος (gr/m <sup>2</sup> )	150 – 1300
Μήκος ανοιγμάτων (mm)	12,7 – 80
Πλάτος ανοιγμάτων (mm)	5 – 64
Πάχος στοιχείου (mm)	0,75 – 4,25
Πάχος καννάβου (mm)	1,5 – 5,6
<b>Μονοαξονικός εφελκυσμός</b>	
Φορτίο θραύσης	12,5 – 210
Φορτίο για 5% παραμόρφωση	8,3 - 86

Τα γεωπλέγματα παρουσιάζουν μεγάλες αντοχές σεεφελκυσμό και παρουσιάζουν μεγάλο εύρος τιμών ανάλογα με τη χρήση τους. Χρησιμοποιούνται κύρια για τον οπλισμό-ενίσχυση των εδαφών, καθώς βελτιώνεται σημαντικά η διατμητική αντοχή του εδάφους λόγω της αλληλεπίδρασης γεωπλέγματος-εδάφους που συντελείται από την συγκράτηση των κόκκων του εδάφους στα ανοίγματα του γεωσυνθετικού (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007). Εκτός από τη μεγάλη αντοχή τους είναι απόλυτα περατά, άρα δεν παρέχουν καμία αντίσταση στη διέλευση νερού ενώ ταυτόχρονα έχουν πολύ μεγάλο χρόνο ζωής. Τέλος τα γεωπλέγματα βρίσκουν εφαρμογή όχι μόνο στην ενίσχυση των πρανών αλλά επίσης στο διαχωρισμό εδαφικών υλικών με διαφορετική κοκκομετρική διαβάθμιση, στην αντιστήριξη των πρανών και όταν το μέγεθος των οφθαλμών είναι μικρό παρέχουν και αντιδιαβρωτική προστασία (Λουπασάκης, 2015).



Εικόνα 3.6 : Γεωπλέγματα ως οπλισμός σε επίχωμα με επένδυση  
συρματοκιβωτίων([www.maccaferri.com](http://www.maccaferri.com))

### 3.3 ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΣ ΠΑΤΡΩΝ-ΑΘΗΝΑΣ- ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ-ΕΥΖΩΝΩΝ ( ΠΑΘΕ )

Στην περιοχή ΒΑ του οικισμού των Θερμοπυλών και νοτίως του Μαλιακού Κόλπου, ο αυτοκινητόδρομος ΠΑΘΕ διέρχεται από επίπεδη, βαλτώδη περιοχή, που καλύπτεται από σύγχρονες θαλάσσιες αποθέσεις, με πολύ πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά. Η περιοχή βρίσκεται σε υψόμετρο  $\approx +1\text{m}$ , με τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα σχεδόν στην επιφάνεια του εδάφους (Παπαχαλαράμπος κ.α, 2010).

Στην περιοχή αυτή διαμορφώθηκε ελαφρύ επίχωμα σε μήκος περίπου 820 μέτρων στον Αυτοκινητόδρομο και 210 μέτρα στον Κλάδο Θερμοπυλών. Τα υπόλοιπα επιχώματα μήκους περίπου 500 μέτρων και ύψους έως 2,5m, εδραζόμενα σε ελαφρώς καλύτερο έδαφος, κατασκευάστηκαν από γαιώδη υλικά, σε συνδυασμό με επιφόρτιση και πλαστικά στραγγιστήρια (Παπαχαλαράμπος κ.α ,2010).

Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί



Εικόνα 3.7 :Τυπική διατομή επιχώματος και διάταξης μέτρων βελτίωσης  
(Παπαχαραλάμπους κ.α ,2010)

Στη συναρμογή ελαφρού επιχώματος και συμβατικού επιχώματος διαμορφώνονται κλιμακωτοί αναβαθμοί, ύψους 0,5m και ακολουθεί τοποθέτηση κοκκώδους υλικού στο εύρος των αναβαθμών, διάστρωση γεωυφάσματος και στεγανωτικής μεμβράνης και τοποθέτηση των μπλοκ διογκωμένης πολυστερίνης σε κλιμακωτή διάταξη. Η κλίση των πρανών είναι 2:3 (υ:β). Στη βάση προβλέπεται εγκάρσιος διάτρητος πλαστικός σωλήνας για την αποφυγή εμποτισμού (Παπαχαραλάμπους κ.α ,2010).

Να σημειωθεί ότι τα τεμάχια γεωαφρού τοποθετούνται με αλληλοεμπλοκή ώστε να μην δημιουργούνται κατακόρυφοι αρμοί (Παπαχαραλάμπους κ.α ,2010).



Εικόνα 3.8 :Αποψη ελαφρού επιχώματος κατά τη φάση κατασκευής (Παπαχαραλάμπους κ.α ,2010)

Στο έργο αυτό τοποθετούνται διάφορα γεωσυνθετικά υλικά όπως γεωυφάσματα διαχωρισμού εδαφικού υλικού – γεωαφρού, γεωπλέγμα για την ενίσχυση της



βάσης καθώς επίσης και γεωμεμβράνη που έχει ως σκοπό την στεγανοποίηση και προστασία του γεωαφρού (Εικόνα 3.5).

### 3.3.1 ΓΕΩΜΕΜΒΡΑΝΕΣ

Κύριο στοιχείο προστασίας του ελαφρού επιχώματος όπως προαναφέρθηκε είναι η γεωμεμβράνη. Οι γεωμεμβράνες είναι γεωσυνθετικά υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται ως αδιαπέρατα διαφράγματα και ανάλογα με τη σύστασή τους κατηγοριοποιούνται σε (Λουπασάκη, 2015):

- *Γεωμεμβράνες πολυβιβλοχλωριδίου PVC* (Polyvinyl Chloride) οι οποίες είναι ιδιαίτερα εύπλαστες, προσαρμόζονται εύκολα σε ανώμαλες επιφάνειες.
- *Γεωμεμβράνες χαμηλής περιεκτικότητας σε πολυαιθυλένιο LDPE* (Low-density polyethylene) οι οποίες έχουν μικρή αντοχή στην ακτινοβολία UV.
- *Γεωμεμβράνες υψηλής περιεκτικότητας σε πολυαιθυλένιο HDPE* (High-density polyethylene) οι οποίες έχουν μεγάλη αντοχή σε χημικούς ρύπους, είναι δύσκαμπτες και διαρρηγνύονται

Τυπικά χαρακτηριστικά των γεωμεμβρανών HDPE και LDPE παρουσιάζονται στο Πίνακα 3.2

Πίνακας 3.2 : Ενδεικτικές τιμές τεχνικών χαρακτηριστικών γεωμεμβρανών (Λουπασάκης,15)

Λεία Γεωμεμβράνη	LPDE	HPDE	
Εφελκυστική Αντοχή (MPa)	≥14	≥17	≥25
Επιμήκυνση στην αστοχία (%)	≥400	≥450	≥550
Αντοχή σε σχισμό σε ορθή γωνία (N/mm)	≥50	≥80	≥110
Περιεκτικότητα σε αιθάλη (%)		≥2	
Συντελεστής περατότητας υδρατμών (g*cm/cm <sup>2</sup> *s*pa)		≤1.0*10 <sup>-16</sup>	

Οι γεωμεμβράνες εφαρμόζονται στα επιχώματα, ελαφρά και μη, για την προστασία τους και την στεγανοποίησή τους. Απαραίτητη δε, κρίνεται η εφαρμογή τους στα

επιχώματα μεταλλευτικών τελμάτων όπου παρεμποδίζουν την κυκλοφορία ρύπων διαμέσου του εδαφικού υλικού.

Άλλες ενδεικτικές χρήσεις τους είναι η στεγανοποίηση λιμνοδεξαμενών, χώρων απόθεσης υγρών και στερεών λυμάτων και απορριμμάτων και καθώς επίσης και η προστασία κατασκευών από την εισροή υπόγειων υδάτων (Λουπασάκης, 2015).



Εικόνα 3.9 : Γεωμεμβράνες κατά τη φάση κατασκευής μεταλλευτικού τέλματος  
([www.naue.com](http://www.naue.com))



Εικόνα 3.10 : Γεωμβράνη για τη προστασία του γεωαφρού ([www.xrgeomembranes.com](http://www.xrgeomembranes.com))

## 3.4 ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ

### 3.4.1 ΥΨΗΛΟ ΕΠΙΧΩΜΑ ΚΟΜΒΟΥ ΜΕΤΣΟΒΟΥ-ΤΜΗΜΑ 3.2

Το υψηλό επίχωμα κόμβου Μετσόβου τμήματος 3.2 έχει μήκος 110 μέτρα και μέγιστο πλάτος καταστρώματος 90 μέτρα ενώ το ύψος του φτάνει τα 50 μέτρα. Αποτελείται από δύο ζώνες μια άοπλη με κλίση 1:2 στη βάση του επιχώματος και μια οπλισμένη στην ανώτερη υψομετρικά βαθμίδα με κλίση 2:1 και 1:1 (Εικόνα 3.10).



Εικόνα 3.11: Νότια άποψη του επιχώματος ([www.omikronkappa.gr](http://www.omikronkappa.gr))

Η κατασκευή του επιχώματος γίνεται με χρήση ψαμμιτικού υλικού. Το οπλισμένου τμήμα του επιχώματος οπλίζεται με γεωπλέγματα μήκους 20 και 25 μέτρων ενώ η εξωτερική επένδυση γίνεται με συρματοκιβώτια διαστάσεων 1m x 1m x 2m και 1m x 0,5m x 2m ( για κλίσεις 1:1 και 2:1 αντίστοιχα ).



Εικόνα 3.12 : Ανατολική άποψη επιχώματος ([www.omikronkappa.gr](http://www.omikronkappa.gr))

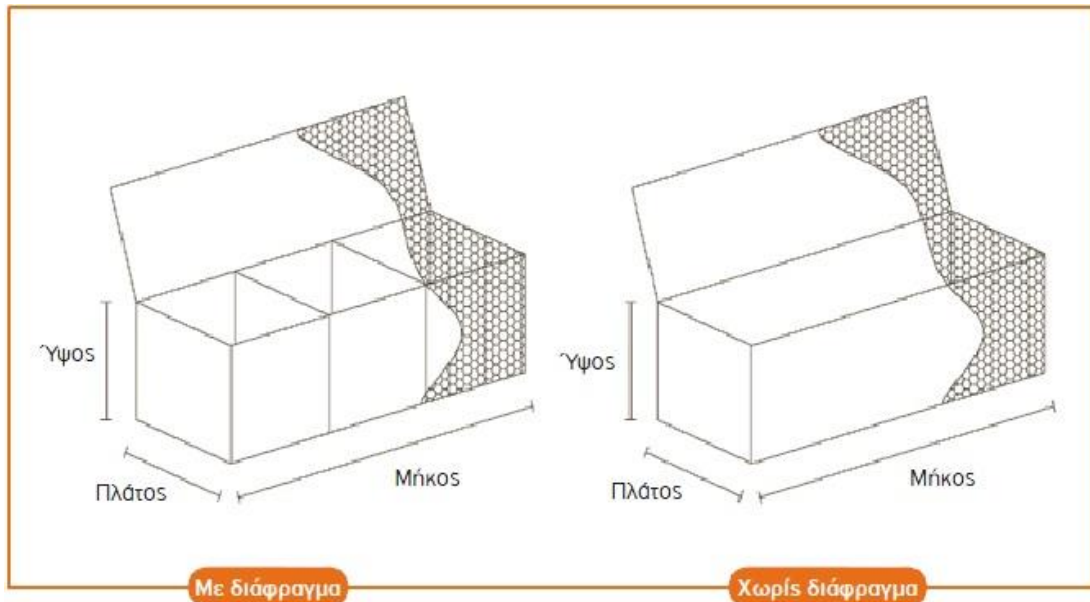
#### 3.4.1.1 ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ

Τα συρματόπλεκτα κιβώτια που χρησιμοποιούνται στη πρόσοψη του επιχώματος, αποτελούνται από συρματόπλεγμα που κόβεται κατά το ανάπτυγμα του ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου και ράβεται με σύρμα κατά τις ακμές του. Το εσωτερικό του κιβωτίου γεμίζει με πέτρες, που η διάμετρος τους είναι μεγαλύτερη από το βρόγχο του σύρματος (Κοφίτσας,1997).

Για τον περιορισμό των παραμορφώσεών τους και τη διατήρηση του σχήματός τους στο εσωτερικό τους υπάρχουν συρμάτινα διαφράγματα (Εικόνα 3.11). Τα διαφράγματα αυτά λειτουργούν ως αντηρίδες ενώ παράλληλα τα χωρίζουν και σε διαμερίσματα αποτρέποντας τη μετακίνηση των υλικών πλήρωσης. Το υλικό κατασκευής τους είναι συνήθως γαλβανισμένο σύρμα βαρέων τύπου με εφελκυστική αντοχή 350-500 N/mm<sup>2</sup>. Σε απλές περιπτώσεις εφαρμογής χρησιμοποιείται γαλβανισμένο πλέγμα περιφράξεων (Λουπασάκης,2015).

Όταν η λιθοπλήρωση τελειώσει, το κάλυμμα του κιβωτίου κλείνει και ράβεται και αυτό με σύρμα. Τα κιβώτια, όταν ακόμα είναι κενά, τοποθετούνται στην προκαθορισμένη θέση τους διαμορφώνοντας έτσι το σώμα του αναβαθμού (Κοφίτσας,1997).

Ενδεικτικά χαρακτηριστικά των συρματοκιβωτίων φαίνονται στο Πίνακα 3.3



Εικόνα 3.13 : Δομή συρματοκιβωτίου με και χωρίς διάφραγμα (www.panmetal.gr)

Πίνακας 3.3 : Ενδεικτικές τιμές χαρακτηριστικών των συρματοκιβωτίων(www.panmetal.gr)

Συρματοκιβώτια (Φάτνες) –gabions						
Ονομαστικές διαστάσεις			Αριθμός εσωτερικών διαφραγμάτων	Δυναμικό μονάδας (m <sup>3</sup> )	Επιφάνεια μονάδας (m <sup>2</sup> )	Βάρος μονάδας (kg)
Μήκος (μ)	Πλάτος (μ)	Ύψος (μ)				
1.0	1.0	1.0	0	1.00	6.00	12.00
1.5	1.0	1.0	0	1.50	8.00	16.00
2.0	0,5	0,5	1	0,50	4.75	9.50
2.0	1.0	0,5	1	1.00	7.50	16.00
2.0	1.0	1.0	1	2.00	11.00	23.00
3.0	1.0	0,5	2	1.50	11.00	23.00
3.0	1.0	1.0	2	3.00	16.00	33.00
3.5	1.0	0,5	3	1.75	13.00	27.00
3.5	1.0	1.0	3	3.50	19.00	39.00

Τα συρματοκιβώτια εκτός από την εφαρμογή τους στα έργα οπλισμένης γής, χρησιμοποιούνται ως επενδύσεις πρανών χειμάρρων, ποταμών και άλλων έργων.

Επίσης χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εγκάρσιων οδών, αναβαθμών και προβόλων ([www.panmetal.gr](http://www.panmetal.gr)).



Εικόνα 3.14: Επίχωμα με επένδυση από συρματοκιβώτια

([www.roadtraffic-technology.com](http://www.roadtraffic-technology.com))



Εικόνα 3.15 : Γέμισμα συρματοκιβωτίου ([www.gabion1.com](http://www.gabion1.com))

### 3.4.2 ΕΠΙΧΩΜΑ Γ3 –ΤΜΗΜΑ 5.2 - 5.3

Το υψηλό επίχωμα Γ3 του τμήματος 5.2-5.3 έχει μήκος 140 μέτρα και μέγιστο πλάτος καταστρώματος 50 μέτρα ενώ το ύψος του φτάνει τα 70 μέτρα. Αποτελείται από δύο ζώνες, όπου η πρώτη διαμορφώνεται στα πρώτα 25 μέτρα και έχει κλίση 2:3, ενώ από το τέλος της πρώτης ζώνης και μέχρι τη στέψη του επιχώματος έχουμε κλίση βαθμίδων 1:1 με αναβαθμούς ανά 10 μέτρα .

Το επίχωμα οπλίζεται με γεωφάσματα μέγιστου μήκους 50 μέτρων και μόνο στις τρεις ανώτερες υψομετρικά βαθμίδες με κλίση 1:1. Η τοποθέτηση των γεωφασμάτων γίνεται ανά 0,5 έως 1,0 μέτρο



Εικόνα 3.16 :Άποψη του επιχώματος κατά τη φάση κατασκευής (www.omikronkappa.gr)



Εικόνα 3.17 : Άποψη του επιχώματος προς τα κατόντη μετά την ολοκλήρωση των εργασιών

#### 3.4.2.1 ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το επίχωμα ο οπλισμός αποτελείται από γεωυφάσματα. Πρόκειται για περατά υφάσματα με ποικιλία χρήσεων και εφαρμογών στα γεωτεχνικά έργα. Οι δομικές τους ίνες κατασκευάζονται κυρίως από πολυπροπυλένιο και πολυεστέρα και η διάμετρος τους κυμαίνεται μεταξύ 10 και 30  $\mu\text{m}$ . Κύρια χαρακτηριστικά τους είναι η μεγάλη αντοχή σε εφελκυσμό και διάτρηση και η περατότητα η οποία διαφοροποιείται ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής του γεωυφάσματος. Ωστόσο φθείρονται όταν είναι εκτεθειμένα για μεγάλο χρονικό διάστημα στην ακτινοβολία (Λουπασάκης, 2015 ).

Τα γεωυφάσμα ανάλογα με τον τρόπο που κατασκευάζονται,κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες (Κούκης και. Σαμπατακάκης ,2007) :

- Τα **υφαντά** τα οποία κατασκευάζονται με κλασικές μεθόδους ύφανσης,δηλαδή διασταύρωση δύο κάθετων μεταξύ τους συστημάτων ινών που δημιουργούν δύο αλληλοσυνδεδεμένα στρώματα.
- Τα **μη υφαντά** στα οποία οι ίνες είναι ακανόνιστα τοποθετημένες και συνδέονται μεταξύ τους χρησιμοποιώντας σύγχρονες τεχνικές συγκόλλησης.





Εικόνα 3.18 : Γεωφάσματα ως οπλισμός σε επίχωμα με επένδυση συρματοκιβωτίων  
([www.tensar.co.uk](http://www.tensar.co.uk))



Εικόνα 3.19 : Μη υφαντό γεωφάσμα ενίσχυσης επιχώματος σιδηροδρομικού έργου  
([www.alibaba.com](http://www.alibaba.com))

Στο Πίνακα 3.4 παρουσιάζεται ένα ενδεικτικό εύρος τιμών των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων των γεωφασμάτων που έχει προκύψει από ποιοτικό έλεγχο για τα υφαντά και τα μη υφαντά .

Πίνακα 3.4 : Ενδεικτικό εύρος τιμών των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων από ποιοτικό έλεγχο γεωφασμάτων(Κούκης και Σαμπατακάκης ,2007)

Ιδιότητα	ASTM	Ανισο-τροπία	Μονάδες	Γεωφάσματα	
				Μη υφασμένα	Υφασμένα
<b>Διαστάσεις ρολού</b>					
μήκος			m	30 – 360	45 – 450
πλάτος			m	1.20 – 5.10	0.60 – 5.40
<b>Φυσικές ιδιότητες</b>					
πυκνότητα ινών			gr/cm <sup>3</sup>	0.90 – 1.40	0.90 – 1.40
πάχος	D5199		mm	0.88 – 7.20	0.18 – 4.00
μάζα ανά μονάδα επιφάνειας	D5251		gr/m <sup>2</sup>	61 – 1460	78 – 1350
φαινόμενο μέγεθος πόρων $O_{95}$	D4751		mm	0.04 – 0.71	0.15 – 2.00
<b>Μηχανικές ιδιότητες</b>					
αντοχή σε εφελκυσμό	D4595	κατά μήκος	kN/m	5 – 40	20 – 730
		εγκάρσια		5 – 30	20 – 250
επιμήκυνση στη μέγιστη δύναμη	D4595	κατά μήκος	%	65 – 95	10 – 25
		εγκάρσια		50 – 85	5 – 30

Άλλες χρήσεις των γεωφασμάτων πέρα από την ενίσχυση , είναι ο διαχωρισμός των υλικών, η στράγγιση, η προστασία του εδαφικού υλικού από διάβρωση και η προστασία άλλων γεωσυνθετικών υλικών.

### **3.4.3 ΕΠΙΧΩΜΑ ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗ– ΤΜΗΜΑ 5.2-5.3**

Το επίχωμα Τραβερτίνη του τμήματος 5.2-5.3 έχει μήκος 180 μέτρα και μέγιστο πλάτος καταστρώματος 30 μέτρα ενώ το ύψος του φτάνει τα 38 μέτρα. Βέβαια από τα 180 μέτρα του επιχώματος μόνο τα 10 μέτρα είναι οπλισμένα .

Η κατασκευή του επιχώματος γίνεται με τη χρήση υλικών από τοσσηματισμό του τραβερτίνη. Το οπλισμένο τμήμα του επιχώματος αποτελείται από δύο βαθμίδες. Στη βάση έχουμε μια κατακόρυφη βαθμίδα οπλισμένης γης ύψους 10m. Το σύστημα οπλισμένης γης είναι τύπου VSL δηλαδή αποτελείται από ένα συνδυασμό μεταλλικών ελασμάτων καιπροκατασκευασμένων στοιχείων σκυροδέματος (Εικόνα 3.11). Πάνω από τον τοίχο με οπλισμένη γη εκτείνεται μια βαθμίδα άοπλης γης με κλίση 2:3.



Εικόνα 3.20: Άποψη του επιχώματος κατά τη φάση κατασκευής ([www.omikronkappa.gr](http://www.omikronkappa.gr))



Εικόνα 3.21 : Τελική μορφή επιχώματος ([www.omikronkappa.gr](http://www.omikronkappa.gr))

### 3.4.3.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗ VSL (Vessel)

Η κατασκευή οπλισμένης γής με προκατασκευασμένα πάνελ αποτελεί μια δύσκαμπτη κατασκευή. Το επίχωμα οπλίζεται εσωτερικά ώστε να αυξηθεί η συνολική του αντοχή και να μειωθούν οι οριζόντιες ωθήσεις που ασκεί. Ο οπλισμός είναι οριζόντιος και πακτώνεται στα κατακόρυφα προκατασκευασμένα στοιχεία, τα οποία αποτελούν την εξωτερική επιφάνεια του τοίχου, δηλαδή την όψη. (Μπελόκας,2015)

Αυτό το σύστημα οπλισμένης γής έχει άμεση και εύκολη τοποθέτηση. Πρώτα τοποθετείται και ευθυγραμμίζεται η πρώτη σειρά από τα προκατασκευασμένα πάνελς. Στη συνέχεια τοποθετείται υλικό πλήρωσης του επιχώματος, το οποίο συμπυκνώνεται κατάλληλα. Αφού ολοκληρωθεί η συμπύκνωση τοποθετείται ο οπλισμός και ακυρώνεται στα στοιχεία της πρόσοψης. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι την ολοκλήρωση του επιχώματος στο επιθυμητό ύψος.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.13 τα προκατασκευασμένα στοιχεία τοποθετούνται ενάλλαξ. Αυτή η διάταξη εξασφαλίζει τη συνάφεια των στοιχείων σε περίπτωση μεγάλης καθίζησης του εδάφους .



Εικόνα 3.22 : Τοποθέτηση προκατασκευασμένων στοιχείων από σκυρόδεμα  
([www.vsl.com](http://www.vsl.com))

Τα προκατασκευασμένα υπάρχουν στο εμπόριο σε διάφορα σχέδια ανάλογα με τις απαιτήσεις του πελάτη. (Εικόνα 3.14 )

Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί



Εικόνα 3.23 : Διάφορα σχέδια προκατασκευασμένων στοιχείων από σκυρόδεμα  
([www.vsl.com](http://www.vsl.com))

Αυτό το σύστημα οπλισμένης γης βρίσκει ευρεία εφαρμογή σε τοίχους αντιστήριξης, ακρόβαθρα γεφυρών, λιμενικούς τοίχους και οπουδήποτε απαιτείται μια κάθετη δομή που να είναι σε θέση να αντέχει υψηλά φορτία.



Εικόνα 3.24 : Οπλισμένη γη με προκατασκευασμένα πάνελ ως ακρόβαθρο γέφυρας  
([www.odotechniki.com](http://www.odotechniki.com))

### 3.5 ΙΔΡΥΜΑ ΣΤΑΥΡΟΣ ΝΙΑΡΧΟΣ

Το Κέντρο Πολιτισμού Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος είναι ένα πρωτοποριακό έργο κατά το οποίο πραγματοποιήθηκαν πολλά έργα γεωτεχνικής φύσης όπως είναι ο τεχνητός λόφος. Ο τεχνητό λόφος είναι ουσιαστικά ένα επίχωμα, όπως θα δούμε στις επόμενες παραγράφους. Στην ενότητα αυτή θα δώσουμε περισσότερη έμφαση στο ίδιο το έργο καθώς η ανάλυση των διάφορων υλικών ενίσχυσης έχει πραγματοποιηθεί στις προηγούμενες ενότητες. Να σημειωθεί ότι όλα τα δεδομένα αυτής της ενότητας προέρχονται από την Ιστοσελίδα του Κέντρου Πολιτισμού Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος ([www.snfcc.org](http://www.snfcc.org)).

Το Κέντρο Πολιτισμού Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος (ΚΠΙΣΝ) είναι ένα προλειτουργικό και περιβαλλοντικά βιώσιμο κέντρο παιδείας, τέχνης και αναψυχής, που αποτελείται από το Πάρκο Σταύρος Νιάρχος, έκτασης 210.000 τ.μ., και τις νέες, υπερσύγχρονες εγκαταστάσεις της Εθνικής Βιβλιοθήκης της Ελλάδος (ΕΒΕ) και της Εθνικής Λυρικής Σκηνής (ΕΛΣ). Το Κέντρο Πολιτισμού Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος αποτελεί μια δωρεά του Ιδρύματος Σταύρος Νιάρχος στο Ελληνικό Δημόσιο. Κάτοψη του Κέντρου φαίνεται στην Εικόνα 3.16.



Εικόνα 3.25 : Κάτοψη Κέντρου Πολιτισμού Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος

([www.snfcc.org](http://www.snfcc.org))

Στο σχεδιασμό του έργου περιλαμβάνεται τεχνητός λόφος ύψους 14 μέτρων οποίος θα επεκτείνεται σε φυτεμένο δώμα πάνω από τα κτίρια της Εθνικής Βιβλιοθήκης της Ελλάδος (ΕΒΕ) και της Εθνικής Λυρικής Σκηνής (ΕΛΣ) με ψηλότερο σημείο στα 32 μέτρα. Στην Εικόνα 3.17 φαίνεται το έργο ολοκληρωμένο, το οικοδόμημα και ο τεχνητός λόφος.



Εικόνα 3.26 : Κέντρου Πολιτισμού Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος ([www.snfcc.org](http://www.snfcc.org))



Εικόνα 3.27 : Εργασίες επίχωσης λόφου , νότια άποψη ([www.snfcc.org](http://www.snfcc.org))

Ο λόφος κατασκευάζεται με σταδιακή προσθήκη στρώσεων εδαφικού υλικού, ενώ για το περιμετρικό σύστημα αντιστήριξης των επιχωμάτων γύρω από το Λόφο χρησιμοποιείται «οπλισμένη γη» (reinforced earth), πιο συγκεκριμένα ένα φυσικό τοίχωμα από διαδοχικές στρώσεις αδρανών λατομείου με την παρεμβολή συνθετικών πλεγμάτων. Στην βάση του τοιχώματος από οπλισμένη γη έχουν κατασκευασθεί 3.500 χαλικοπάσσαλοι, οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί να λειτουργούν ως θεμελίωση για την οπλισμένη γη και να αποτρέπουν τη ρευστοποίηση του υπεδάφους σε περίπτωση ισχυρής σεισμικής φορτισης.

Κατά τη διάρκεια κατασκευής του έργου, η μηχανική συμπεριφορά του τεχνητού Λόφου και του υπεδάφους ελέγχεται συνεχώς μέσω εκτεταμένου δικτύου συσκευών μέτρησης καθιζήσεων, των οριζόντιων παραμορφώσεων και των πιέσεων των πόρων. Ο ρυθμός της κατασκευής του Λόφου ρυθμίζεται ώστε να διασφαλιστεί η φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους και να αποτραπούν οι μακροχρόνιες καθιζήσεις με επιβλαβείς επιπτώσεις στον τελικά διαμορφωμένο χώρο του πάρκου που θα καλύπτει το Λόφο και στα όμορα κτίρια. Το σύστημα θα συνέχισε να λειτουργεί για προκαθορισμένο διάστημα μετά το πέρας κατασκευής του Λόφου.



Εικόνα 3.28 : Διάστρωση αδρανών υλικών με την παρεμβολή συνθετικών πλεγμάτων για την κατασκευή της «οπλισμένης γης» ([www.snfcc.org](http://www.snfcc.org))





Εικόνα 3.29 : Πλήρωση συρματοκιβωτίων με το αδρανές υλικό ([www.snfcc.org](http://www.snfcc.org))

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ PLAXIS 2D

### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνει η εκτενής περιγραφή του λογισμικού Plaxis 2D, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση αναλύσεων επιχωμάτων στη παρούσα διπλωματική εργασία. Η περιγραφή υποστηρίζεται με φωτογραφικό από την επίλυση του επιχώματος που θα χρησιμοποιήθηκε στο Κεφάλαιο 5 ως επίχωμα αναφοράς. Τα στοιχεία που παραθέτονται σε αυτό το κεφάλαιο προέρχονται από τα εγχειρίδια του προγράμματος, καθώς επίσης και από την αποκτηθείσα εμπειρία, μέσω των επιλύσεων που πραγματοποιήθηκαν, πάνω στο πρόγραμμα.

### 4.2 ΓΕΝΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Για κάθε έργο που πρόκειται να αναλυθεί με το πρόγραμμα Plaxis 2D είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί, πρώτα, ένα μοντέλο γεωμετρίας. Το γεωμετρικό μοντέλο είναι η δισδιάστατη αναπαράσταση ενός πραγματικού τρισδιάστατου προβλήματος. Το μοντέλο γεωμετρίας θα πρέπει να περιλαμβάνει ένα αντιπροσωπευτικό τμήμα του υπεδάφους σε διακριτά στρώματα του εδάφους, διαρθρωτικά αντικείμενα, στάδια κατασκευής και φορτίσεις. Το μοντέλο πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο ώστε τα όρια του να μην επηρεάζουν τα αποτελέσματα του προς εξέταση προβλήματος.

Το γεωμετρικό μοντέλο αποτελείται από τα εξής τρία είδη στοιχείων :

1. **Σημεία (Points)** : Τα σημεία καθορίζουν την αρχή και το τέλος μιας γραμμής. Μπορούν, ακόμα, να χρησιμοποιηθούν για τη για την τοποθέτηση των αγκυρών, των σημείων δυνάμεων, των σημείων σταθερότητας και για τις βελτιώσεις των πεπερασμένων στοιχείων των πλεγμάτων.
2. **Γραμμές (Lines)** : Οι γραμμές καθορίζουν τα φυσικά όρια του γεωμετρικού μοντέλου, τα όρια του μοντέλου καθώς επίσης και τις ασυνέχειες της γεωμετρίας. Ακόμα χρησιμοποιούνται για το διαχωρισμό στρωμάτων του

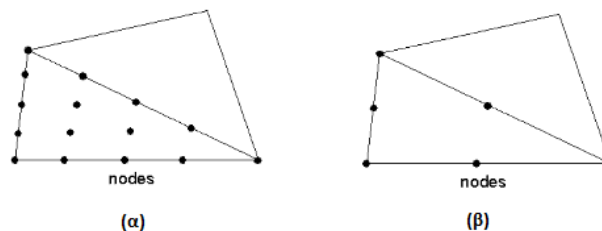
εδάφους με διαφορετικές ιδιότητες καθώς και για το διαχωρισμό σταδίων κατασκευής.

3. **Πολύγωνα(Clusters)** : Πολύγωνα είναι οι περιοχές που περικλείονται από γραμμές και τις οποίες το πρόγραμμα τις αναγνωρίζει αυτόματα. Μέσα σε ένα πολύγωνο οι ιδιότητες του εδάφους είναι ομοιογενείς. Τα δεδομένα που εισάγονται για το πολύγωνο, εφαρμόζονται σε κάθε στοιχείο του πολυγώνου.

Αφού ολοκληρωθεί η δημιουργία του γεωμετρικού μοντέλου, δημιουργείται αυτόματα ένα μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων, το οποίο βασίζεται στο συνδυασμό των πολυγώνων και των γραμμών που καθορίζουν τη γεωμετρία του προβλήματος.

Ένα πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων μπορεί να καθοριστεί από τους εξής τύπους στοιχείων :

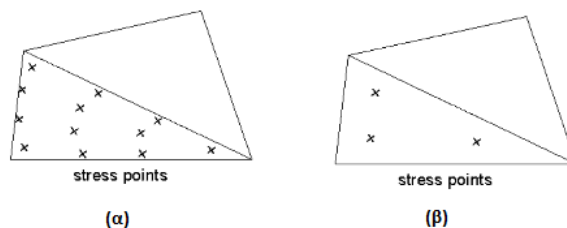
1. **Στοιχεία (Elements)** : Κατά την παραγωγή του πλέγματος, τα πολύγωνα διαιρούνται σε τριγωνικά στοιχεία. Η επιλογή μπορεί να γίνει μεταξύ 15 και 6 κομβικών στοιχείων. Τα 15 κομβικά στοιχεία παρέχουν ακριβή υπολογισμό των τάσεων και των φορτίων αστοχίας. Επιπλέον, τα 6 κομβικά τρίγωνα είναι καλύτερα όταν επιθυμείται ένας πιο γρήγορος υπολογισμός.
2. **Κόμβοι (Nodes)** : Τα γειτονικά στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους μέσω κοινών κόμβων. Κατά τη διάρκεια ενός υπολογισμού, οι μετατοπίσεις υπολογίζονται στους κόμβους. Οι κόμβοι μπορούν να προ-επιλεγούν για την παραγωγή των καμπυλών φόρτισης και μετατόπισης. Η κατανομή των κομβικών στοιχείων φαίνεται στην Εικόνα 4.1.



Εικόνα 4.1 : α) 15 κομβικά στοιχεία, β) 6 κομβικά στοιχεία (Brinkgreve , 2002)

3. **Σημεία τάσης (Stress Points)** : Σε αντίθεση με τις μετακινήσεις οι τάσεις υπολογίζονται στο εσωτερικό των στοιχείων. Το μοντέλο με τα 15 κομβικά

στοιχεία περιέχει 12 σημεία τάσεων ενώ το μοντέλο με τα 6 κομβικά στοιχεία 3 σημεία τάσεων, όπως ακριβώς φαίνεται στην Εικόνα 4.2.



Εικόνα 4.2 : α) 12 σημεία τάσεων, β) 3 σημεία τάσεων (Brinkgreve, 2002)

### 4.3 ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ PLAXIS 2D

Το υπολογιστικό πρόγραμμα Plaxis αποτελείται από 4 υποπρογράμματα:

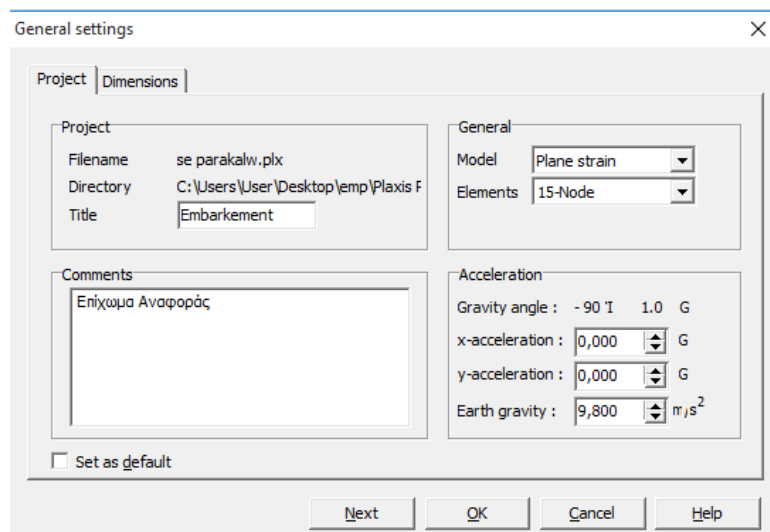
- **Input program** : Σε αυτό το περιβάλλον γίνεται η εισαγωγή του γεωμετρικού μοντέλου, των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των διάφορων τύπων εδαφών και καθορίζονται οι αρχικές συνθήκες του προβλήματος .
- **Calculations program**: Σε αυτό το περιβάλλον επιλέγεται η μέθοδος υπολογισμού του μοντέλου, καθορίζονται τα στάδια κατασκευής και εκτελούνται οι υπολογισμοί .
- **Output program** : Στο πρόγραμμα αυτό γίνεται, μετά την εκτέλεση των υπολογισμών, η εξαγωγή και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων όπως παραδείγματος χάριν οι ολικές μετατοπίσεις του εδάφους και δυνητικές αστοχίες.
- **Curves program**: Σε αυτό το περιβάλλον γίνεται η εξαγωγή διαγραμμάτων των αποτελεσμάτων των διάφορων αποτελεσμάτων που επιλέχθηκαν .

#### 4.3.1 ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PLAXIS INPUT

Με τη δημιουργία νέου αρχείου εμφανίζεται ένα παράθυρο γενικών ρυθμίσεων το General Settings το οποίο έχει δύο καρτέλες Project και Dimensions .

Στη καρτέλα Project (Εικόνα 4.3) εισάγεται ο τίτλος και μια προαιρετική περιγραφή, καθώς επίσης καθορίζονται το μοντέλο προσομοίωσης και αριθμός των κόμβων του μοντέλου .

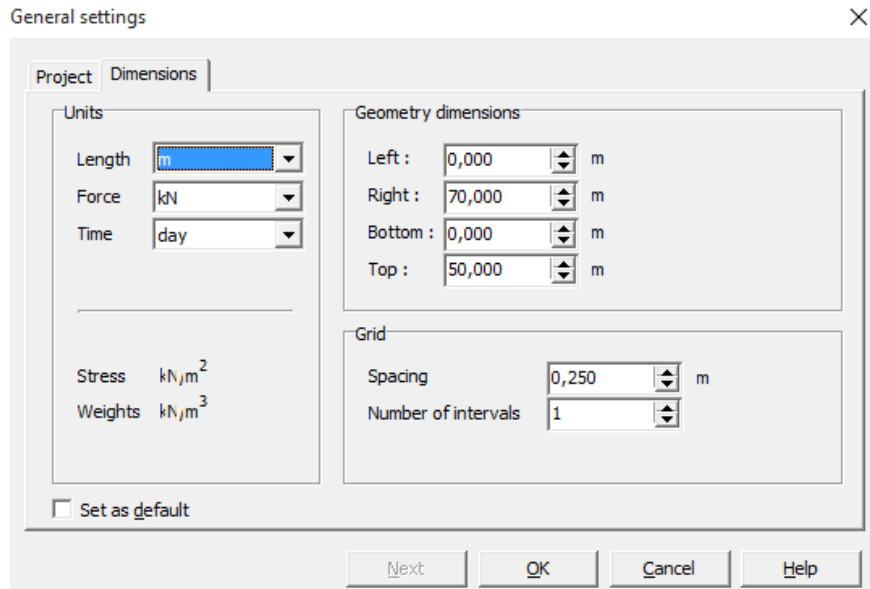
Το μοντέλο παραμόρφωσης (model) μπορεί να είτε επίπεδης παραμόρφωσης (plain strain) είτε με αξονοσυμμετρία (axisymmetric). Η κατάσταση επίπεδης παραμόρφωσης αναφέρεται σε περιπτώσεις προσομοιώσεων όπου οι συνιστώσες των τάσεων δεν μεταβάλλονται κατά την διεύθυνση ενός άξονα με αποτέλεσμα οι μετατοπίσεις σε αυτόν τον άξονα να θεωρούνται μηδενικές. Τέτοια παραδείγματα μπορεί να είναι φράγματα, επιχώματα και άλλες επιμήκεις κατασκευές. Η αξονοσυμμετρική παραμόρφωση χρησιμοποιείται κυρίως σε κυκλικές κατασκευές όπου η συντεταγμένη  $Y$  αναπαριστά την συμμετρική αξονική γραμμή. Ο αριθμός κόμβων επιλέγεται είτε 15 είτε 6 γύρω από κάθε τριγωνικό στοιχείο του καννάβου που θα δημιουργηθεί. Η επίλυση με την επιλογή των 15 κόμβων είναι ακριβέστερη αλλά ταυτόχρονα περισσότερο χρονοβόρα. Αυτό μπορεί να γίνει εύκολα κατανοητό καθώς με αυτή την επιλογή τίθενται περισσότερα σημεία προς εξέταση. Τέλος το πρόγραμμα Plaxis έχει προεπιλεγμένη τιμή βαρυτικής επιτάχυνσης  $9,8 \text{ m/s}^2$  και διεύθυνση  $-90^\circ$ , δηλαδή συμπίπτει με τον αρνητικό άξονα  $y$ .



Εικόνα 4.3 Παράθυρο εισαγωγής γενικών ρυθμίσεων, καρτέλα Projectsettings

Στη καρτέλα Dimensions (Εικόνα 4.4) καθορίζονται οι μονάδες των μεγεθών επίλυσης, δηλαδή το μήκος (Length) η δύναμη (Force) και ο χρόνος (Time) που ορίζονται είναι m, kN, day, αντίστοιχα. Στην ίδια καρτέλα εισάγονται οι διαστάσεις της επιφάνειας εργασίας καθώς επίσης και το βήμα κίνησης του κέρσορα μεταξύ των κόμβων. Αν το βήμα του κέρσορα οριστεί πολύ μικρό τότε

οι κόμβοι δεν εμφανίζονται στην επιφάνεια εργασίας, πράμα που διορθώνεται με μεγέθυνση.



Εικόνα 4.3 Παράθυρο εισαγωγής γενικών ρυθμίσεων, καρτέλα Dimensions

Για την επίλυση ενός γεωτεχνικού προβλήματος απαιτείται πρώτα η σχεδίαση της γεωμετρίας του και ο καθορισμός των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών που το συνθέτουν.

Για τη σχεδίαση του γεωτεχνικού προβλήματος της παρούσας διπλωματικής, δηλαδή του οπλισμένου επιχώματος, χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω εργαλεία.

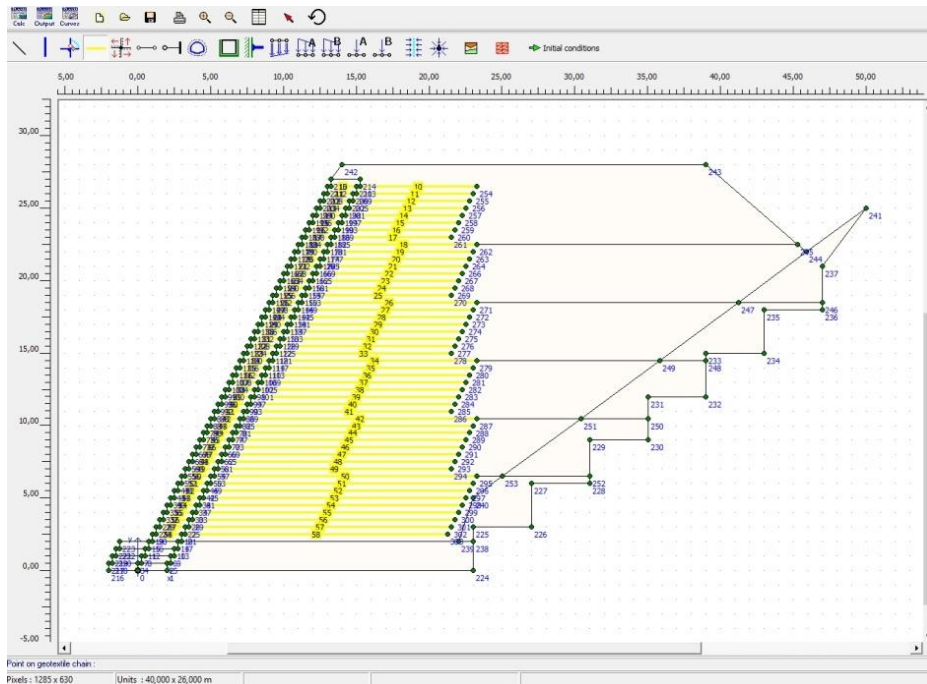


**Geometry Line:** Με το εργαλείο αυτό, πραγματοποιείται η σχεδίαση της γεωμετρίας του γεωτεχνικού προβλήματος καθώς επίσης και των σταδίων κατασκευής. Πρώτα γίνεται η σχεδίαση σημείων και κατ' επέκταση γραμμών. Τα σημεία αυτά μπορούν να εισαχθούν με την μορφή συντεταγμένων από την γραμμή εντολών στο κάτω μέρος του παραθύρου του υποπρογράμματος Plaxis Input. Οι συντεταγμένες πρέπει να γράφονται με την μορφή  $x ; y$  όπου για τη εισαγωγή δεκαδικών αριθμών το πρόγραμμα αναγνωρίζει μόνο το κόμμα (π.χ 8,5;6).

Στην Εικόνα 4.5 εμφανίζεται η γεωμετρία της τομής του επιχώματος που προσομοιώνεται στα πλαίσια της διπλωματικής μαζί με τα χαλύβδινα πλέγματα (τα οποία παρουσιάζονται στην επόμενη παράγραφο). Με τη βοήθεια των

Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί

γραμμών καθορίστηκαν έξι στάδια κατασκευής, ενώ το μέτωπο του επιχώματος επενδύθηκε με συρματοκυβώτια ύψους 0,5 μέτρα και πλάτους ενός μέτρου.



Εικόνα 4.5 : Γεωμετρία οπλισμένου επιχώματος

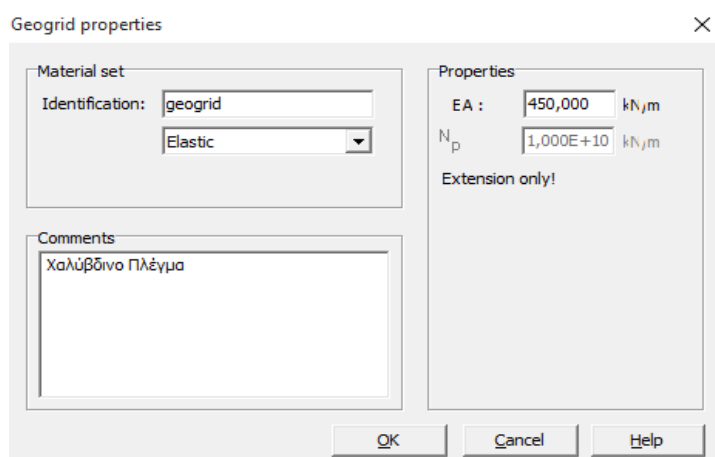


**Geogrid:** Με το εργαλείο αυτό εισάγονται στην γεωμετρία το γεωσυνθετικό υλικό ή υλικό οπλισμού (γραμμικό), το οποίο εμφανίζεται με κίτρινη γραμμή στην Εικόνα 4.5. Κατά τον ορισμό του υλικού μας που στην παρούσα διπλωματική είναι χαλύβδινο πλέγμα απαιτείται ο καθορισμός της ελαστικής ακαμψίας του υλικού EA (Εικόνα 4.6).

Η ελαστική ακαμψία ή αλλιώς δυστένεια του υλικού ορίζεται ως ο λόγος της αξονικής δύναμης ανά μονάδα πλάτους της αξονικής παραμόρφωσης και εκφράζεται από τον τύπο  $\frac{F}{DL/L}$  όπου L το μήκος του , ΔL η επιμήκυνση και F η αξονική δύναμη που επιβάλλεται.

Το μήκος των χαλύβδινων πλεγμάτων στο πρώτο στάδιο είναι 20 μέτρα, στο δεύτερο 18 μέτρα, στο τρίτο 16 μέτρα, στο τέταρτο 14 μέτρα, στο πέμπτο 12 μέτρα και στο έκτο 10 μέτρα (Εικόνα 4.5).

Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί



Εικόνα 4.6: Παράθυρο εισαγωγής χαρακτηριστικών γεωπλέγματος



**Standard Fixities:** Με την ολοκλήρωση της γεωμετρίας είναι απαραίτητος ο καθορισμός των συνοριακών συνθηκών του μοντέλου. Τα σημεία των συνοριακών συνθηκών δεν λαμβάνουν μετατοπίσεις. Με την επιλογή του εικονιδίου αυτού οι συνοριακές συνθήκες εισάγονται αυτόματα. Στις περιπτώσεις όπου η γεωμετρία του προβλήματος είναι περίπλοκη τότε πρέπει οι συνοριακές συνθήκες να εισαχθούν χειροκίνητα, μέσω της εντολής Total Fixities. Η εντολή αυτή επιλέγεται από το μενού → καρτέλα Loads → εντολή Total Fixities. Να σημειωθεί ότι υπάρχει η δυνατότητα διαχωρισμού των συνθηκών σε οριζόντιες (Horizontal Fixities) και κατακόρυφες (Vertical Fixities). Το επίχωμα της παρούσας διπλωματικής έχει δύσκολη γεωμετρία οπότε η εισαγωγή έγινε μέσω του κέρσορα.

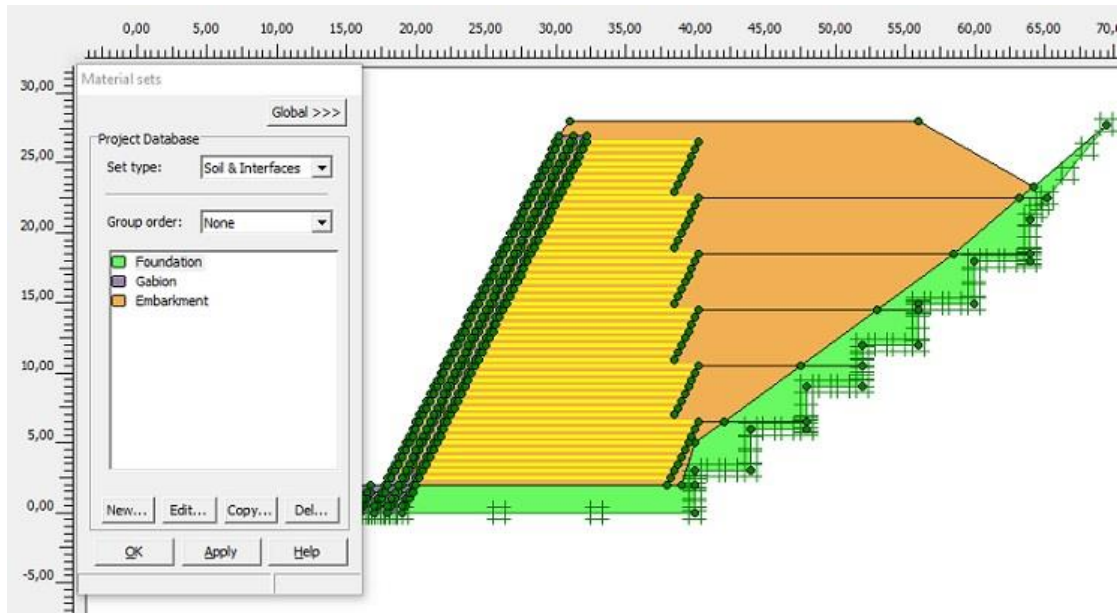


**Material Set:** Με την ολοκλήρωση του γεωμετρικού μοντέλου, πραγματοποιείται η εισαγωγή των μηχανικών και φυσικών χαρακτηριστικών των υλικών του, στη καρτέλα Material Set. Ως υλικά θεωρούνται οι περιοχές που περικλείονται από γραμμές δηλαδή τα πολύγωνα (clusters).

Σε αυτή τη καρτέλα δίνεται η δυνατότητα να δημιουργηθούν υλικά με συγκεκριμένες ιδιότητες επιλέγοντας new στην καρτέλα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.7.



Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί

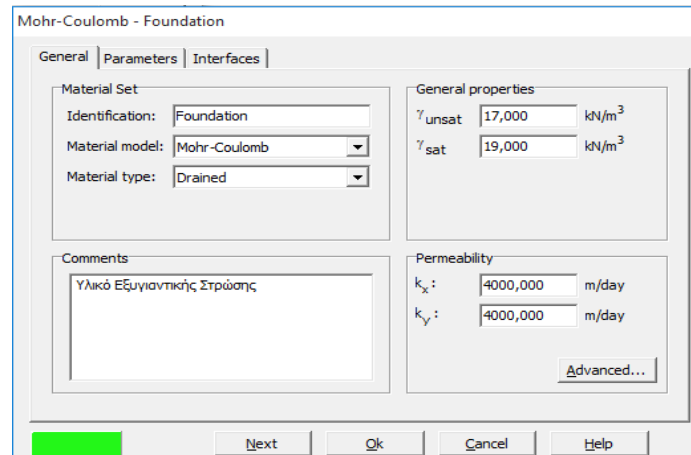


Εικόνα 4.7 :Παράθυρο εισαγωγής υλικών και στοιχείων

Με την επιλογή του new ανοίγει παράθυρο με τρεις καρτέλες. Στην καρτέλα General (Εικόνα 4.8) εκτός από το όνομα του υλικού, μας δίνεται η δυνατότητα να επιλέξουμε ανάμεσα σε διάφορους τύπους καταστατικής συμπεριφοράς εδάφους (Material Model). Συχνότερα χρησιμοποιείται το κριτήριο Mohr- Coulomb όπου το έδαφος θεωρείται ένα ελαστικοπλαστικό μέσο. Επιπλέον επιλέγεται ο τύπος στράγγισης του μοντέλου (Material Type) ανάμεσα σε Στραγγισμένο ( Drained ), Αστράγγιστο (Undrained) και Μη πορώδες υλικό (Non Porous). Στην ίδια καρτέλα προσδιορίζονται, επίσης, το ειδικό βάρος του εδάφους πάνω και κάτω από το φρεατικό επίπεδο,  $\gamma_{sat}$ ,  $\gamma_{unsat}$ , αντίστοιχα καθώς και η διαπερατότητα σε κάθετη και οριζόντια κατεύθυνση,  $k_x$ ,  $k_y$ , αντίστοιχα.

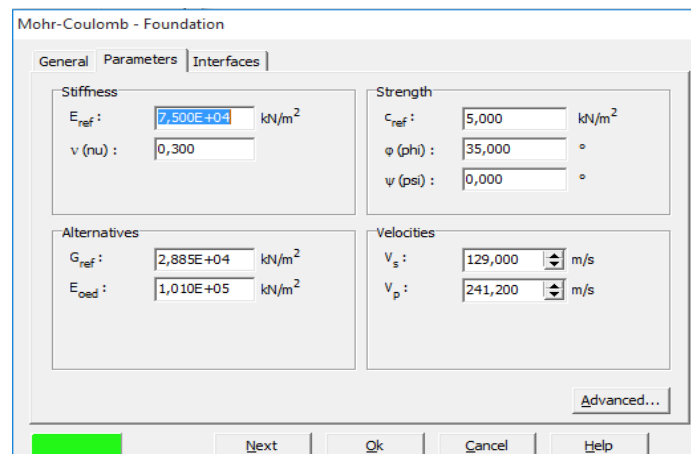
Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητο να διευκρινιστεί ότι η εξυγιαντική στρώση και υλικό πλήρωσης του επιχώματος θεωρήθηκαν ως υλικά που συμπεριφέρονται ελαστικά και τελείως πλαστικά και άρα μελετήθηκαν με το κριτήριο M-C ενώ το υλικό πλήρωσης των συρματοκιβωτίων θεωρήθηκε ότι συμπεριφέρεται τελείως ελαστικά σύμφωνα με προηγούμενη ερευνητική εμπειρία. Όλα τα υλικά του γεωτεχνικού μας προβλήματος θεωρήθηκαν ότι είναι στραγγισμένα.

Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί



Εικόνα 4.8 : Επιλογή παραμέτρων των υλικών στην καρτέλα General.

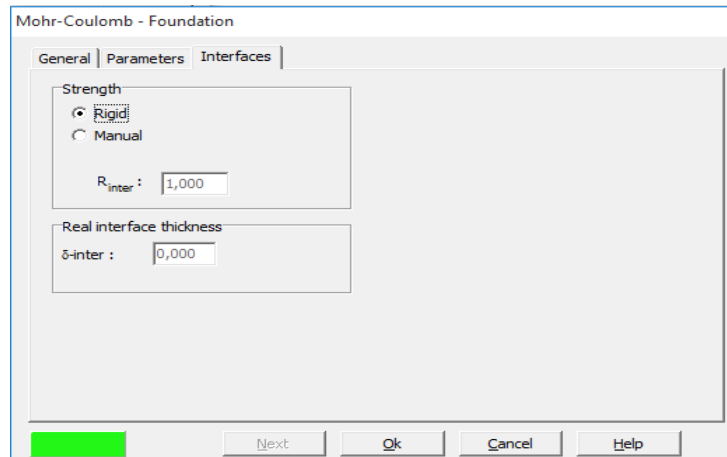
Στη καρτέλα Parameters ( Εικόνα 4.9). Εισάγονται οι παράμετροι της ακαμψίας και της σκληρότητας του εδαφικού μοντέλου που περιγράφουμε. Για το μοντέλο Mohr-Coulomb στο τμήμα Stiffness εισάγονται οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας  $E_{ref}$  και του λόγου Poisson,  $\nu$ , ενώ στο πεδίο Strength εισάγονται η συνοχή  $c_{ref}$ , η γωνία τριβής και η γωνία διογκωσιμότητας  $\psi$ . Στη περίπτωση του υλικού πλήρωσης του συρματοκιβωτίου όπου χρησιμοποιείται το κριτήριο Elastic υπολείπεται το πεδίο Strength.



Εικόνα 4.9 : Επιλογή παραμέτρων των υλικών στην καρτέλα Parameters.

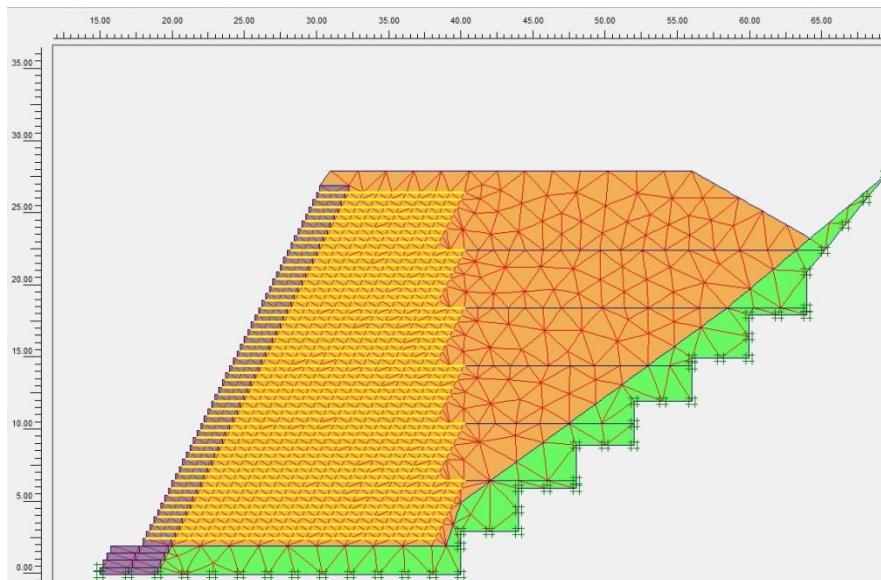
Στη καρτέλα Interfaces ορίζονται οι ιδιότητες των στοιχείων διεπιφάνειας, τα οποία χρησιμοποιούνται για την σύνδεση των στοιχείων επένδυσης της κατασκευής με αυτά του εδάφους. Στο παρόν γεωτεχνικό πρόβλημα δεν υπάρχουν τέτοια στοιχεία .

Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί

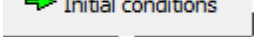


Εικόνα 4.10 : Επιλογή παραμέτρων των υλικών στην καρτέλα Interfaces.

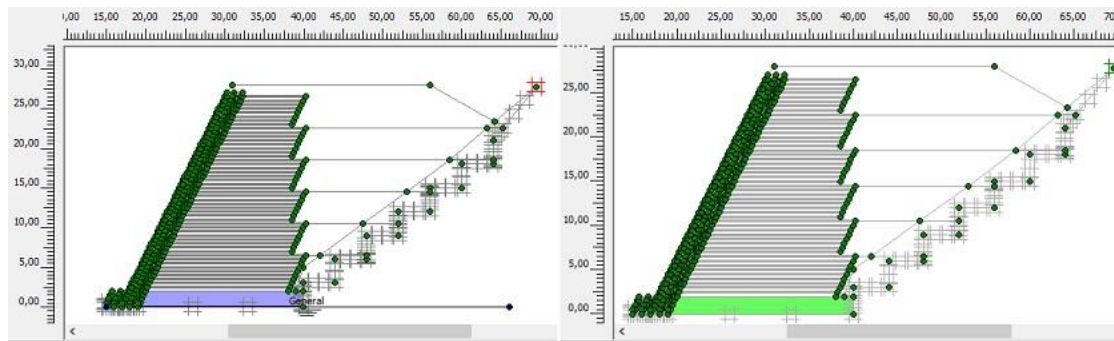
Αφού ολοκληρωθεί η σχεδίαση της γεωμετρίας και καθοριστούν τα στοιχεία με τα χαρακτηριστικά τους, γίνεται ο ορισμός του καννάβου των πεπερασμένων στοιχείων. Με το εργαλείο Global coarseness επιλέγεται η πυκνότητα των στοιχείων και με την επιλογή Generate Mesh γίνεται η παραγωγή του πλέγματος (Εικόνα 4.11).



Εικόνα 4.11 :Υποδιαίρεση του μοντέλου σε τριγωνικά στοιχεία

Τέλος, πριν από την έναρξη των υπολογισμών με το εικονίδιο  Initial conditions ενεργοποιούνται οι αρχικές συνθήκες του μοντέλου. Σε αυτή τη φάση ενεργοποιείται η γεωμετρία που προσομοιώνει το περιβάλλον πριν από το έργο (εκσκαφή, θεμελίωση κ.λπ.). Επίσης ενεργοποιούνται οι γεωστατικές τάσεις καθώς

και οι υδροστατικές με τον καθορισμό του υδροφόρου (Εικόνα 4.12). Να σημειωθεί ότι ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται κάτω από την κατασκευή του επιχώματος που προσομοιώνεται στη παρούσα διπλωματική, άρα δεν υπάρχουν υδροστατικές τάσεις .



Εικόνα 4.12 :Καθορισμός αρχικών συνθηκών του μοντέλου

### 4.3.2 ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PLAXIS CALCULATIONS

Με την εντολή Calculate γίνεται η μεταβίβαση από το υποπρόγραμμα Plaxis Input στο υποπρόγραμμα Plaxis Calculations. Σε αυτό το περιβάλλον πραγματοποιείται ο καθορισμός των παραμέτρων των υπολογισμών, ο καθορισμός των φάσεων κατασκευής και ο τύπος αυτών και τέλος πραγματοποιείται η ανάλυση .

Όταν ανοίξει το πρόγραμμα Calculations, ως μοναδικό στάδιο έχει το στάδιο Initial phase υπό τον αριθμό φάσης 0. Αυτό το στάδιο αντιπροσωπεύει την αρχική κατάσταση του έργου όπως αυτή οριστική στο υποπρόγραμμα Plaxis Input. Με την επιλογή Next εισάγεται η επόμενη φάση. Στην Καρτέλα General καθορίζεται ο τύπος και, προαιρετικά, το όνομα της φάσης .

Οι επιλογές τύπου της φάσης είναι :

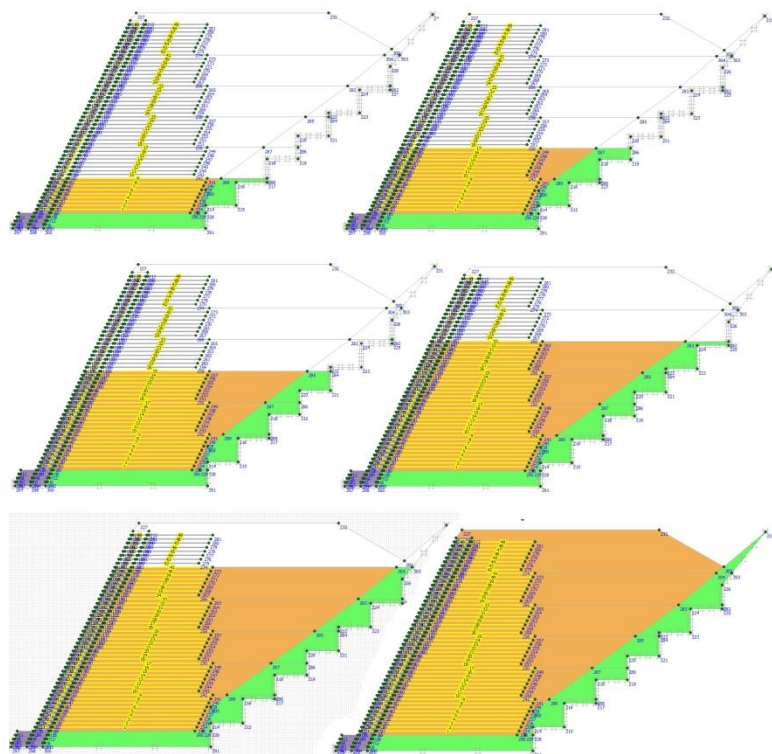
- Ελαστοπλαστική ανάλυση των παραμορφώσεων (Plastic)
- Ανάλυση στερεοποίησης (Consolidation)
- Προσδιορισμός συντελεστή ασφαλείας μέσω της σταδιακής μείωση των  $\phi$  και  $c$  παραμέτρων (Phi/c reduction)
- Δυναμική ανάλυση των παραμορφώσεων (Dynamic analysis).

Στη καρτέλα Parameters ορίζεται ο μέγιστος αριθμός βημάτων, στον οποίο θα πρέπει να ολοκληρωθεί η επίλυση της φάσης. Τέλος από την εντολή Define, ενεργοποιείται στιγμιαία το Plaxis Input όπου εκεί ενεργοποιείται το τμήμα εκείνο που προσομοιώνει τη φάση.

Το επίχωμα που προσομοιώνεται στα πλαίσια της διπλωματικής αποτελείται από 6 κατασκευαστικά στάδια (Εικόνα4.13). Ενώ η επίλυση του προβλήματος πραγματοποιείται σε 8 φάσεις. Πιο συγκεκριμένα :

- **Πρώτη φάση – Gravity Loading** : Επειδή η γεωμετρία του επιχώματος δεν είναι οριζόντια, δεν είναι δυνατό να εισαχθούν οι γεωστατικές τάσεις με τη χρήση της σταθεράς Ko. Έτσι εισάγεται μια νέα πλαστική φάση (Plastic) όπου το αβαρές σώμα που σχεδιάστηκε στο υποπρόγραμμα Plaxis Input αρχίζει να απόκτα σταδιακά βάρος με την σταδιακή αύξηση του συντελεστή βάρους  $M_{Sweight}$ .
- **Δεύτερη φάση – Πρώτο κατασκευαστικό στάδιο** : Στη δεύτερη φάση, ξεκινάει η κατασκευή του επιχώματος, όπου και ενεργοποιείται το πρώτο τμήμα του επιχώματος. Στη φάση αυτή ενεργοποιείται η εντολή Reset Displacement to zero ώστε να μηδενιστούν οι μετακινήσεις της προηγούμενης φάσης οι οποίες είναι ανεπιθύμητες .
- **Τρίτη φάση – Δεύτερο κατασκευαστικό στάδιο** : Στην τρίτη φάση, συνεχίζει η κατασκευή του επιχώματος όπου και ενεργοποιείται το δεύτερο τμήμα του.
- **Τέταρτη φάση – Τρίτο κατασκευαστικό στάδιο**: Στην τέταρτη φάση ενεργοποιείται το τρίτο τμήμα του επιχώματος.
- **Πέμπτη φάση – Τέταρτο κατασκευαστικό στάδιο**: Στην πέμπτη φάση ενεργοποιείται το τέταρτο τμήμα του επιχώματος.
- **Έκτη φάση – Πέμπτο κατασκευαστικό στάδιο**: Στην έκτη φάση ενεργοποιείται το πέμπτο τμήμα του επιχώματος.
- **Έβδομη φάση – Έκτο κατασκευαστικό στάδιο**: Στην έβδομη φάση ενεργοποιείται το έκτο τμήμα του επιχώματος.

- **Όγδοη φάση - Phi/c reduction:** Αφού ολοκληρωθούν τα κατασκευαστικά στάδια, εισάγεται άλλη μια φάση, που ονομάζεται Phi/c reduction, κατά την οποία μειώνεται σταδιακά η γωνία τριβής ( $\phi$ ) και η συνοχή ( $c$ ), μέχρις ότου να το πρανές να αστοχήσει πλασματικά. Με τη παραπάνω διαδικασία είναι δυνατός ο προσδιορισμός του συντελεστή ασφαλείας του έργου.

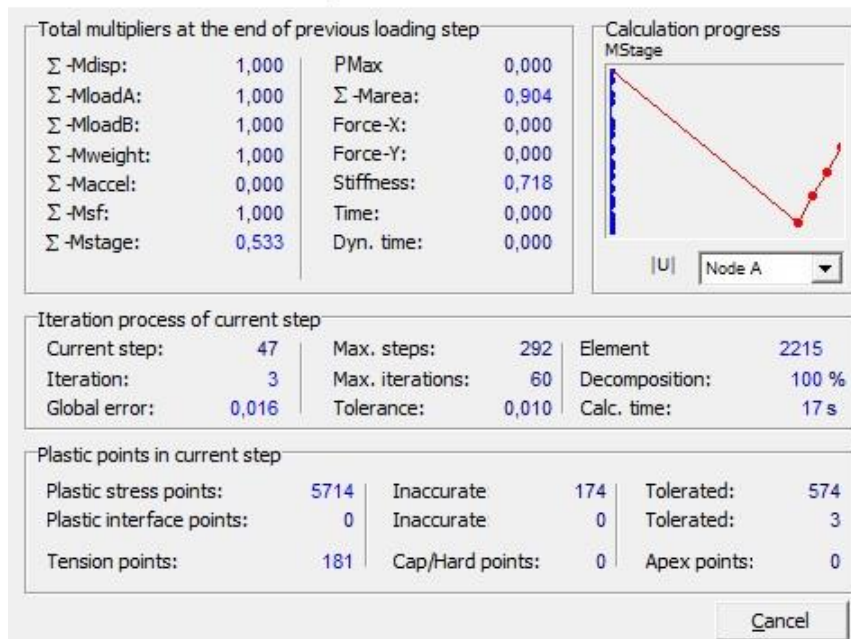


Εικόνα 4.13 : Καθορισμός γεωμετρίας όλων των κατασκευαστικών φάσεων

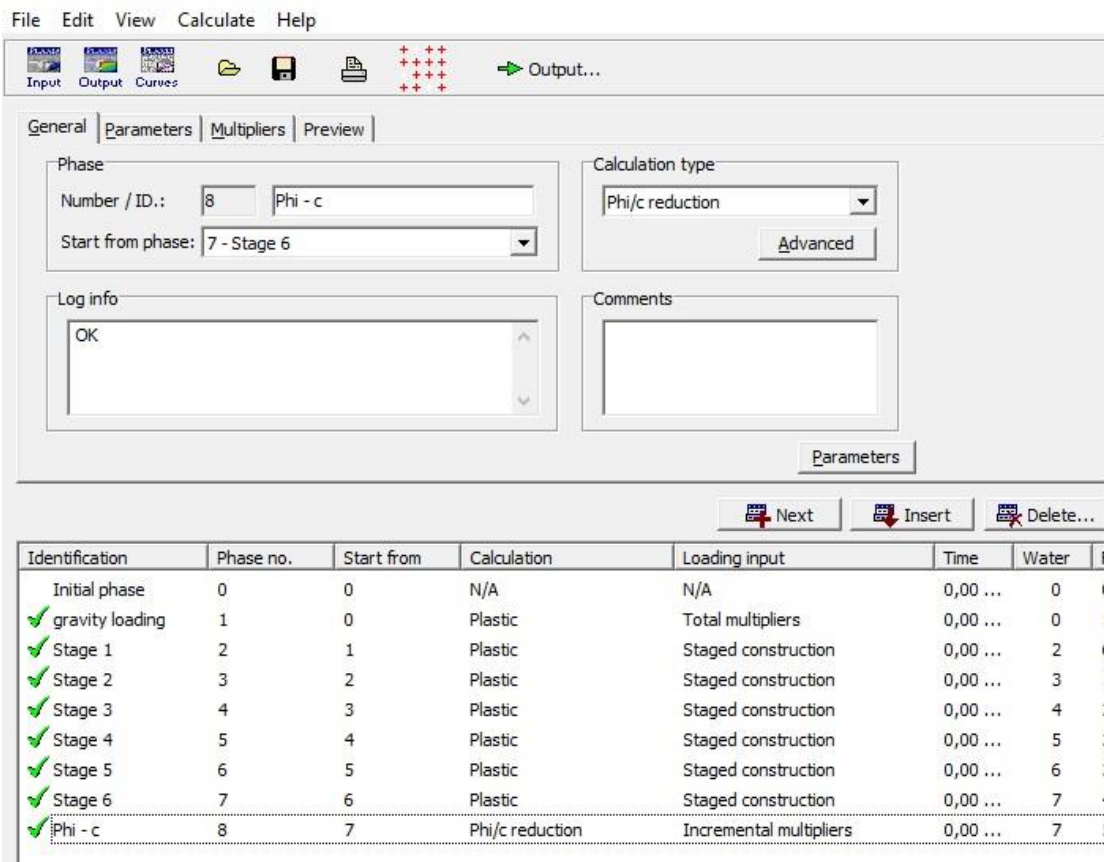
Αφού εισαχθούν όλες οι φάσεις /στάδια που αφορούν το πρόβλημα που πρόκειται να επιλυθεί, μπορούν να ξεκινήσουν οι υπολογισμοί με την εντολή Calculate. Πριν από τους υπολογισμούς μπορούν να επιλεχθούν κάποια σημεία παρατήρησης με σκοπό τη δημιουργία καμπυλών. Τέλος με την ολοκλήρωση της επίλυσης μεταβαίνουμε στο υποπρόγραμμα Plaxis Output για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί

Plaxis 8.2 Plastic Calculation - se parakalw - Plane Strain



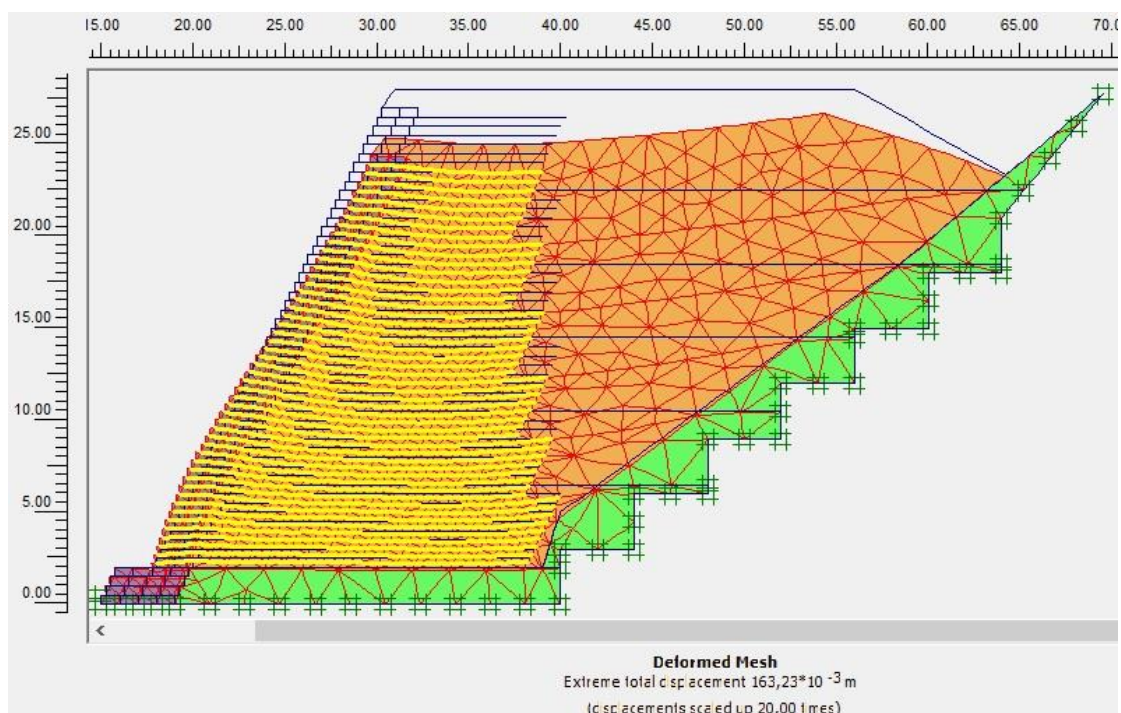
Εικόνα 4.14 : Εκτέλεση υπολογισμών σε εξέλιξη



Εικόνα 4.15: Παράθυρο υποπρογράμματος Calculations μετά τη λήξη των υπολογισμών

### 4.3.3 ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PLAXIS OUTPUT

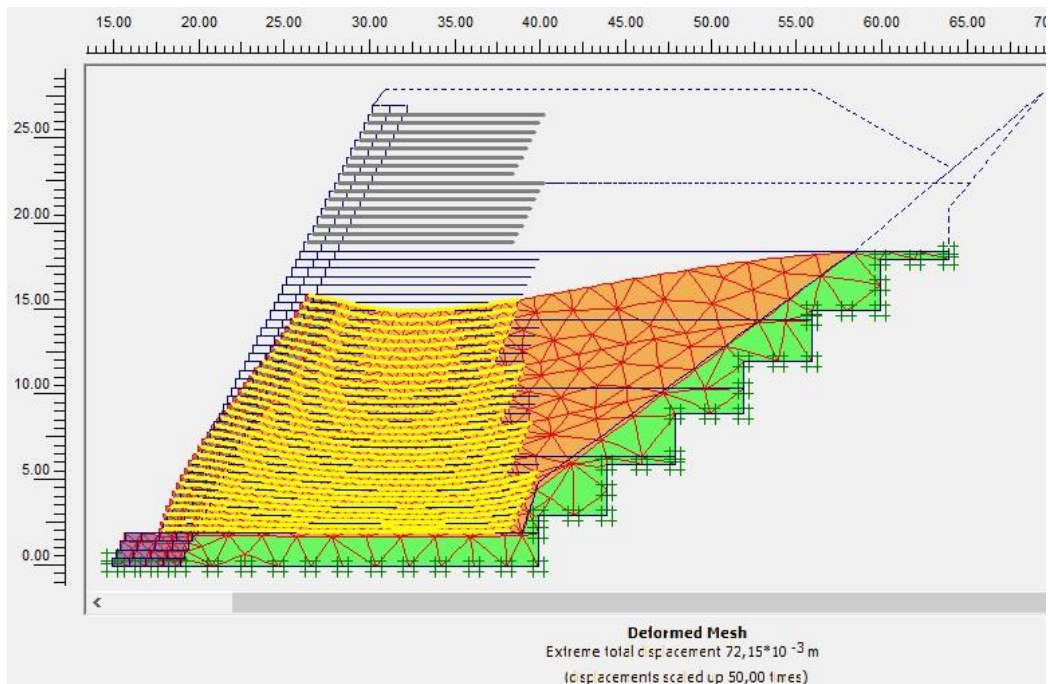
Στο περιβάλλον αυτού του υποπρογράμματος πραγματοποιείται η παρουσίαση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα μελέτης των ολικών μετατοπίσεων (Total Displacement), των ενεργών τάσεων (Effective Stresses), των ολικών τάσεων (Total stresses), των επαυξητικών τάσεων (Incremental Strains) με τις οποίες μπορεί να επιτευχθεί η αποτύπωση της δυναμικής επιφάνειας αστοχίας (Εικόνα 4.18). Επίσης είναι δυνατή και η παρουσίαση των παραμορφώσεων και αξονικών τάσεων που δέχεται ένα στοιχείο οπλισμού. Είναι χρήσιμο να σημειωθεί ότι το πρόγραμμα επιτρέπει την μελέτη του κάθε σταδίου κατασκευής ξεχωριστά ( Εικόνα 4.17).



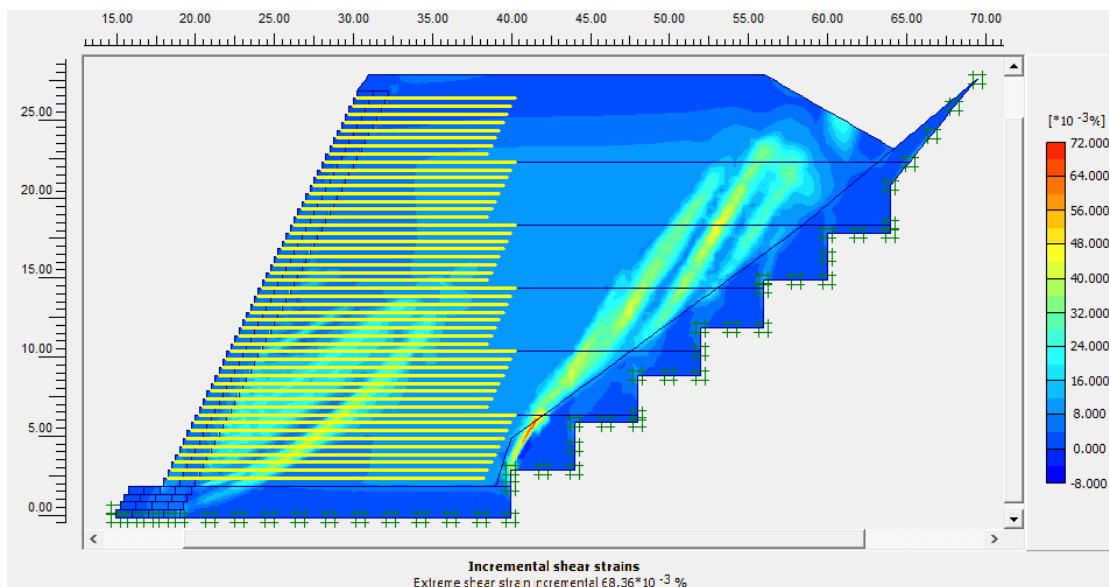
Εικόνα 4.16 : Αποτελέσματα συνολικών παραμορφώσεων γεωμετρίας κατά το τελικό στάδιο κατασκευής



Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί



Εικόνα 4.17 : Αποτελέσματα συνολικών παραμορφώσεων γεωμετρίας κατά το τέταρτο στάδιο κατασκευής

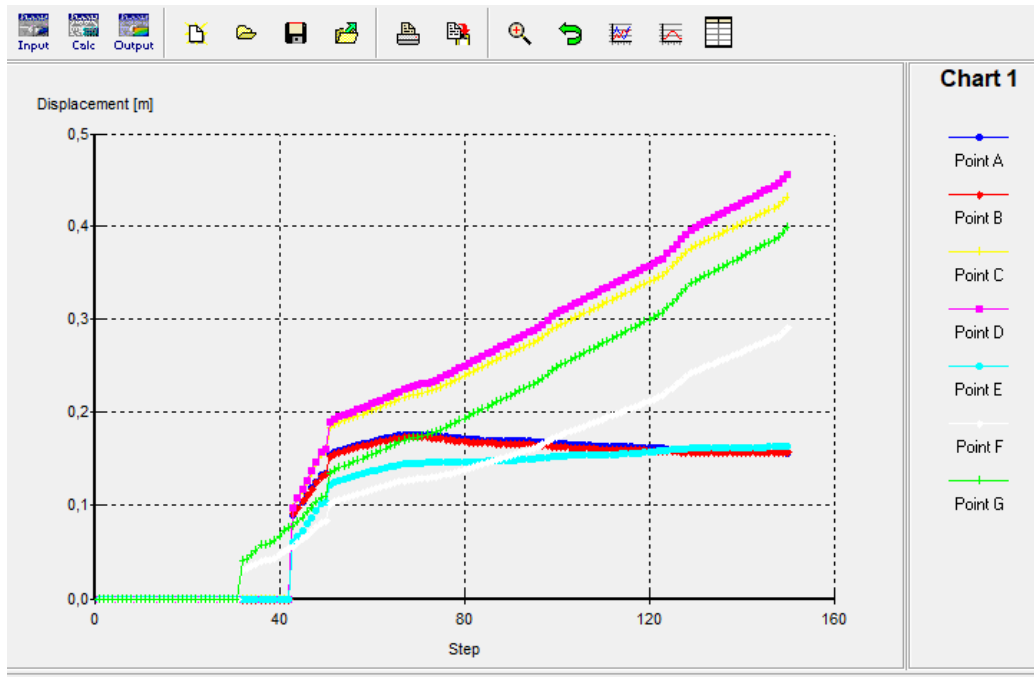


Εικόνα 4.18 : Αποτύπωση δυνητικής επιφάνειας αστοχίας επιχώματος

#### 4.3.4 ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PLAXIS CURVES

Στο υποπρόγραμμα Plaxis Curves είναι δυνατή η δημιουργία διαγραμμάτων τάσεων και των παραμορφώσεων (Εικόνα 4.20), μετακινήσεων καθώς επίσης και διαγραμμάτων συντελεστών ασφαλείας. Για τη δημιουργία των διαγραμμάτων είναι απαραίτητη η προεπιλογή σημείων παρατήρησης στο περιβάλλον του Plaxis

Calculations (Εικόνα 5.2). Να σημειωθεί επίσης ότι το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα κατασκευής διαγραμμάτων με σημεία από διαφορετικές επιλύσεις με σκοπό τη σύγκριση τους .



Εικόνα 4.19 : Τυπικό διάγραμμα μετατοπίσεων των σημείων παρατήρησης



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

### 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται η μελέτη των παραμετρικών αναλύσεων που έγιναν στα πλαίσια της εργασίας με το λογισμικό πρόγραμμα Plaxis 2D, εξάγονται πίνακες και τα σχετικά διαγράμματα. Συνολικά έγιναν πέντε σειρές παραμετρικών αναλύσεων οι οποίες είναι οι εξής:

Η **πρώτη ομάδα** παραμετρικών αναλύσεων εξετάζει την επιρροή που έχει ο αριθμός των συρματοκιβωτίων σε κάθε αναβαθμό του επιχώματος, στην ευστάθειά του. Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει επιλύσεις επιχώματος με ένα, τρία και τέσσερα συρματοκιβώτια σε κάθε αναβαθμό. Να σημειωθεί ότι το επίχωμα αναφοράς έχει δύο συρματοκιβώτια σε κάθε αναβαθμό.

Η **δεύτερη ομάδα** παραμετρικών αναλύσεων μελετά την επιρροή στην ευστάθεια που έχει ο αριθμός συρματοκιβωτίων ανά σειρά στο πόδι του επιχώματος. Περιλαμβάνει τέσσερις επιλύσεις του επιχώματος με δύο, τέσσερα, έξι και οχτώ συρματοκιβώτια τοποθετημένα συμμετρικά ως προς το κύριο σώμα της επένδυσης. Το κύριο σώμα έχει δύο συρματοκιβώτια ανά αναβαθμό στη θεμελίωση, τοποθετημένα μόνο στο εξωτερικό τμήμα της επένδυσης του επιχώματος.

Στην **τρίτη ομάδα** εξετάζεται ο βαθμός επιρροής της ύπαρξης παταριού στην ευστάθεια του επιχώματος. Πραγματοποιούνται τρεις παραμετρικές αναλύσεις για πατάρι μήκους 80, 100 και 120 εκατοστών. Το επίχωμα με πατάρι ενός μέτρου θα λειτουργήσει ως επίχωμα αναφοράς για τις επόμενες ομάδες παραμετρικών αναλύσεων.

Στη **τέταρτη ομάδα** παραμετρικών αναλύσεων εξετάζεται ο βαθμός επιρροής της θεμελιώσεως του παταριού στην ευστάθεια του επιχώματος. Πραγματοποιούνται επιλύσεις με καμία, μία και τρεις σειρές συρματοκιβωτίων στη θεμελίωση παταριού ενός μέτρου.

Στην **πέμπτη ομάδα** παραμετρικών αναλύσεων, ερευνάται ο βαθμός επιρροής του αριθμού των παταριών μήκους ενός μέτρου, στην συνολική ευστάθεια του επιχώματος. Περιλαμβάνονται δύο επιλύσεις με τρία και με πέντε πατάρια μήκους ενός μέτρου.

Πριν πραγματοποιηθούν οι παραπάνω παραμετρικές αναλύσεις, γίνεται η επίλυση του επιχώματος αναφοράς, του οποίου η δομή παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.1. Κατά την επίλυση εξετάζεται η ευστάθεια του και η παραμορφώσεις που δημιουργούνται, ώστε να μπορέσουν να γίνουν στη συνέχεια οι απαραίτητες συγκρίσεις.

Τέλος με την ολοκλήρωση των παραμετρικών αναλύσεων επιλύεται άοπλο επίχωμα, δηλαδή χωρίς τα γραμμικά στοιχεία οπλισμού και χωρίς την επένδυση από συρματοκιβώτια.

Κατά τη διάρκεια των παραμετρικών αναλύσεων τα μηχανικά χαρακτηριστικά της εξυγιαντικής στρώσης, του υλικού πλήρωσης του επιχώματος, του πλήρωσης των συρματοκιβωτίων και των γεωπλεγμάτων δεν μεταβλήθηκαν. Αλλά μεταβλήθηκαν, στις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, στοιχεία που διέπουν τη γεωμετρία του επιχώματος. Τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση των επιχωμάτων όλων των παραμετρικών αναλύσεων δίνονται στους Πίνακες 5.1 έως 5.3. Ενώ στην Εικόνα 5.1 φαίνονται τα βασικά στοιχεία που συνθέτουν το επίχωμα.

Πίνακας 5.1 : Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά υλικού πλήρωσης του προς εξέταση οπλισμένου επιχώματος

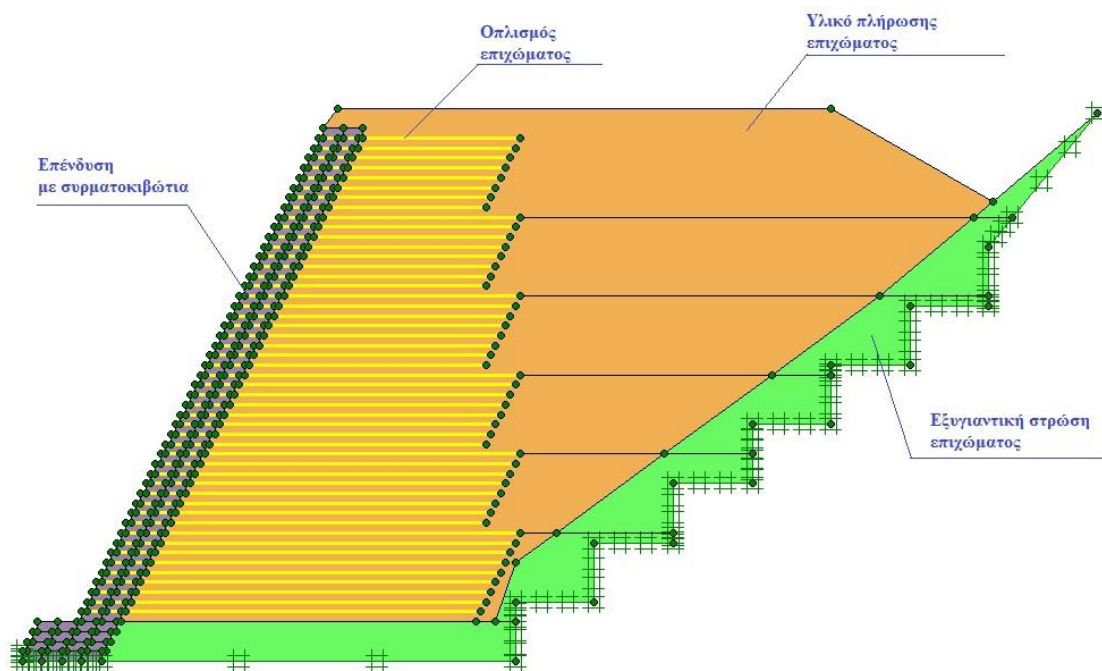
<b>Ξηρό φαινόμενο βάρος</b>	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
<b>Κορεσμένο φαινόμενο βάρος</b>	$\gamma_{\text{sat}} = 19 \text{ kN/m}^3$
<b>Μέτρο Ελαστικότητας</b>	$E = 25000 \text{ kPa}$
<b>Λόγος Poisson</b>	$\nu = 0.3$
<b>Συνοχή</b>	$C = 20 \text{ kPa}$
<b>Γωνία εσωτερικής τριβής</b>	$\phi = 35^\circ$

Πίνακας 5.2 : Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά εξυγιαντικής στρώσης του προς εξέταση οπλισμένου επιχώματος

<b>Ξηρό φαινόμενο βάρος</b>	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$
<b>Κορεσμένο φαινόμενο βάρος</b>	$\gamma_{\text{sat}} = 19 \text{ kN/m}^3$
<b>Μέτρο Ελαστικότητας</b>	$E = 75000 \text{ kPa}$
<b>Λόγος Poisson</b>	$\nu = 0.3$
<b>Συνοχή</b>	$C = 5 \text{ kPa}$
<b>Γωνία εσωτερικής τριβής</b>	$\phi = 35^\circ$

Πίνακας 5.3 : Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά υλικού πλήρωσης των συρματοκιβωτίων του προς εξέταση οπλισμένου επιχώματος

<b>Ξηρό φαινόμενο βάρος</b>	$\gamma = 17.7 \text{ kN/m}^3$
<b>Κορεσμένο φαινόμενο βάρος</b>	$\gamma_{\text{sat}} = 19.6 \text{ kN/m}^3$
<b>Μέτρο Ελαστικότητας</b>	$E = 100000 \text{ kPa}$
<b>Λόγος Poisson</b>	-
<b>Συνοχή</b>	-
<b>Γωνία εσωτερικής τριβής</b>	-



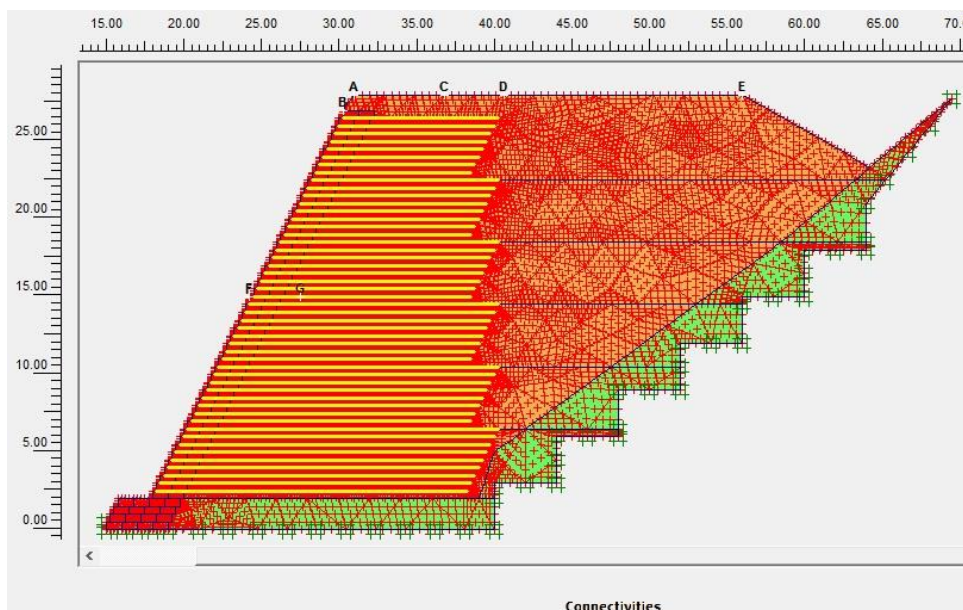
Εικόνα 5.1 : Βασικά στοιχεία επιχώματος

## 5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Στη πρώτη παραμετρική ανάλυση γίνεται η επίλυση του επιχώματος το οποίο θα χρησιμοποιηθεί ως επίχωμα αναφοράς. Με βάση αυτό θα γίνουν αρκετές συγκρίσεις με τις επόμενες παραμετρικές αναλύσεις.

Για να είναι καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων εισάγονται σημεία παρατήρησης σε κάθε σχεδιαστική δοκιμή, για τα οποία θα καταγράφονται οι μετακινήσεις (Εικόνα 5.2). Τα σημεία παρατήρησης είναι τα εξής :

- Το σημείο A που βρίσκεται στο χείλος στέψης του πρανούς.
- Το σημείο B που βρίσκεται στη κορυφή του πρώτου από την στέψη συρματοκιβωτίου.
- Τα σημεία C και D που τοποθετούνται στη στέψη του πρανούς εκεί όπου φαίνεται να εμφανίζονται οι μέγιστες μετακινήσεις.
- Το σημείο E που βρίσκεται στο άκρο της στέψης ,αντιδιαβητικά του A.
- Το σημείο F που βρίσκεται στη κορυφή του εικοστού πέμπτου (25<sup>ο</sup>) συρματοκιβωτίου από τη στέψη του επιχώματος
- Το σημείο G το οποίο τοποθετείται στο ίδιο ύψος με το σημείο F και τρία μέτρα δεξιά από το τέλος του δεύτερου συρματοκιβωτίου.



Εικόνα 5.2 : Σημεία παρατήρησης μετακινήσεων στο οπλισμένο επίχωμα

Σκοπός της ανάλυσης είναι να εξεταστεί η συνολική ευστάθεια του πρότυπου επιχώματος και οι μετακινήσεις που αναπτύσσονται. Το επίχωμα αναφοράς σχεδιάστηκε να έχει ύψος 25 μέτρα και θεμελίωση 2 μέτρα, ενώ η κλίση του είναι  $63^\circ$  και το μήκος της στέψης του 25 μέτρα. Η εξωτερική επένδυση του οπλισμένου πρανούς που δημιουργούμε είναι από συρματοκιβώτια, τα οποία έχουν διαστάσεις  $1 \times 0,5 \times 2$  (πλάτος, ύψος, μήκος). Τέλος τοποθετούνται ανά αναβαθμό στο επίχωμα, 2 συρματοκιβώτια. Ενώ στη θεμελίωση πέρα από τα δύο βασικά συρματοκιβώτια ανά σειρά, που αποτελούν το κορμό της επένδυσης, τοποθετούνται επιπλέον δύο και συγκεκριμένα από τη μεριά της παρειάς του πρανούς του επιχώματος.

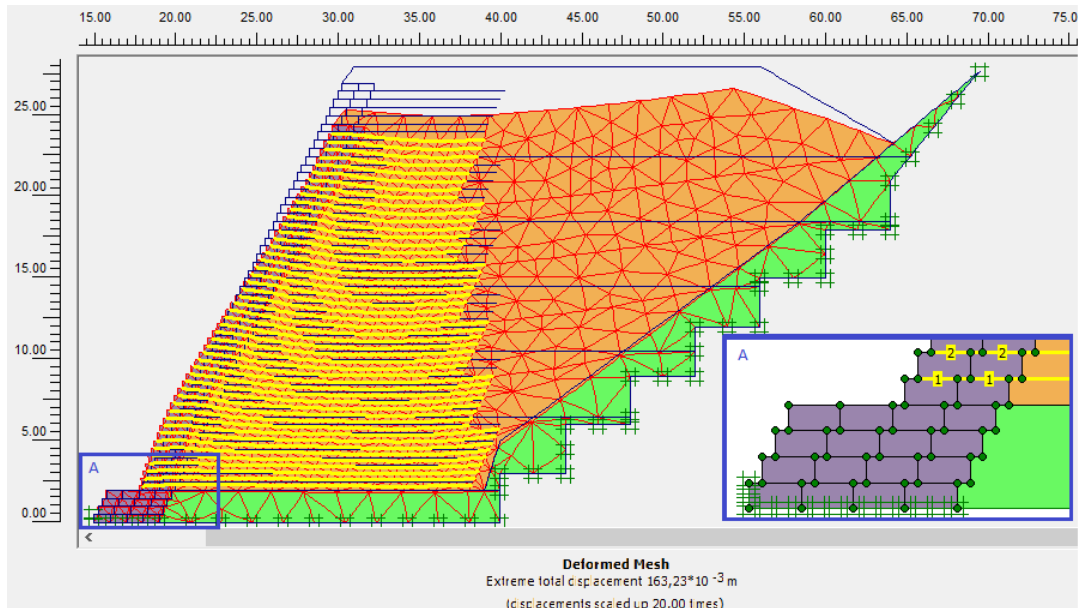
Τα στοιχεία οπλισμού του επιχώματος είναι χαλύβδινα πλέγματα τα οποία τοποθετούνται με απόσταση μισού μέτρου (εφόσον μισό μέτρο είναι το ύψος του συρματοκιβωτίων, τα σταθερά δομικά στοιχεία στα οποία αγκυρώνονται). Το μήκος των πλεγμάτων στο πρώτο στάδιο κατασκευής είναι 20 μέτρα, στο δεύτερο 18 μέτρα, στο τρίτο 16 μέτρα, στο τέταρτο 14 μέτρα, στο πέμπτο 12 μέτρα και στο έκτο 10 μέτρα. Τέλος η αξονική δυστένεια των οπλισμών είναι  $450\text{N/m}$  για παραμόρφωση 5%.

Οι λεπτομέρειες του επιχώματος όσον αφορά τον αριθμό των συρματοκιβωτίων στην παρειά και στη θεμελίωση του επιχώματος φαίνονται στο παράθυρο Α της Εικόνας 5.3.

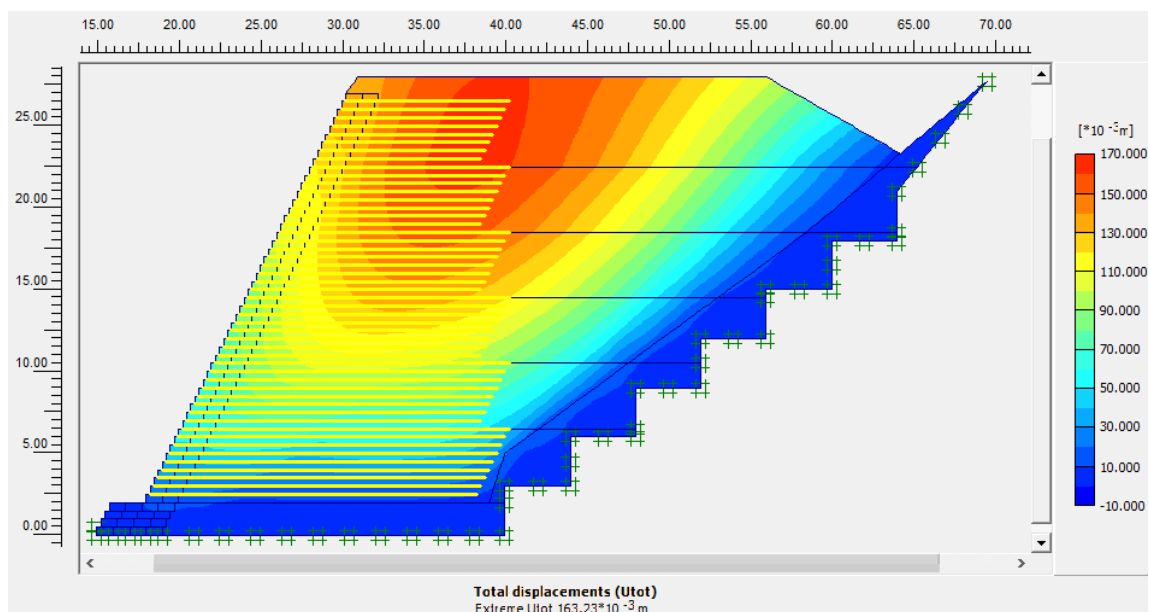
Τα αποτελέσματα της επίλυσης έδειξαν μέγιστες μετακινήσεις στη στέψη του πρανούς κοντά στο χείλος, οι οποίες εκτείνονται σε μικρή απόσταση προς το κύριο σώμα του, όπως φαίνεται στις Εικόνες 5.3 και 5.4. Να σημειωθεί ότι σε όλες τις παραμετρικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, οι μέγιστες μετακινήσεις που δημιουργούνται εντοπίζονται στο ίδιο σημείο (στέψη επιχώματος), ανεξαρτήτου μεγέθους. Έτσι για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων θα ληφθούν υπόψη εκτός από τις μετακινήσεις στα σημεία παρατήρησης και οι ολικές μετακινήσεις. Οι ολικές μετακινήσεις είναι της τάξης των 163 χιλιοστών.



Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί



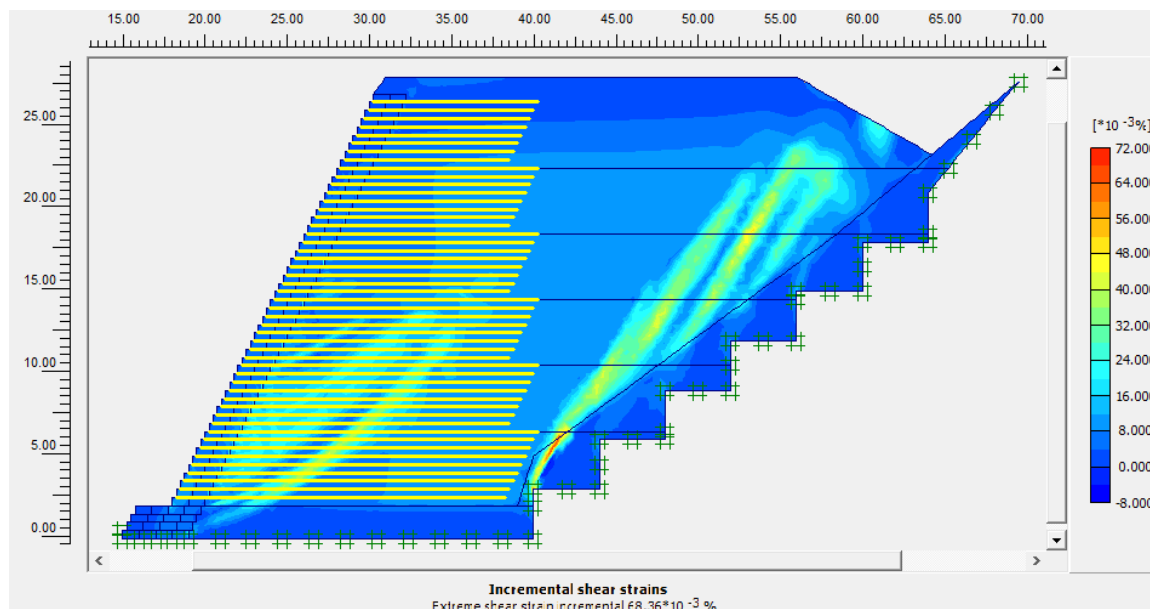
Εικόνα 5.3 : Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος αναφοράς κατά το τελικό στάδιο κατασκευής



Εικόνα 5.4 : Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος αναφοράς κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

Τα αποτελέσματα της παραμετρικής ανάλυσης έδειξαν ότι δημιουργούνται δύο μεγάλες ζώνες δυνητικής αστοχίας. Η πρώτη εντοπίζεται στο άοπλο σώμα του πρανού και ανάπτυξη, η οποία έχει τρεις συζυγείς εμφανίσεις, που υποδηλώνουν την περιστροφική αστοχία του επιχώματος. Η δεύτερη ζώνη αστοχίας διαμορφώνεται στη βάση του επιχώματος όπου οι επιφάνειες δυνητικής αστοχίας ξεκινάνε από τη θεμελίωση και εκτείνονται μέχρι τη μέση του οπλισμένου σώματος.

Να σημειωθεί ότι και σε αυτήν την περίπτωση εμφανίζονται συζυγείς επιφάνειες, οι οποίες βέβαια δεν είναι σαφείς. (Εικόνα 5.5 ) Ο συντελεστής ασφαλείας που υπολογίστηκε κατά τη διαδικασία phi/c-reduction είναι  $S_f = 1,44$ .



Εικόνα 5.5 : Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος αναφοράς

### 5.3 1<sup>η</sup> ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

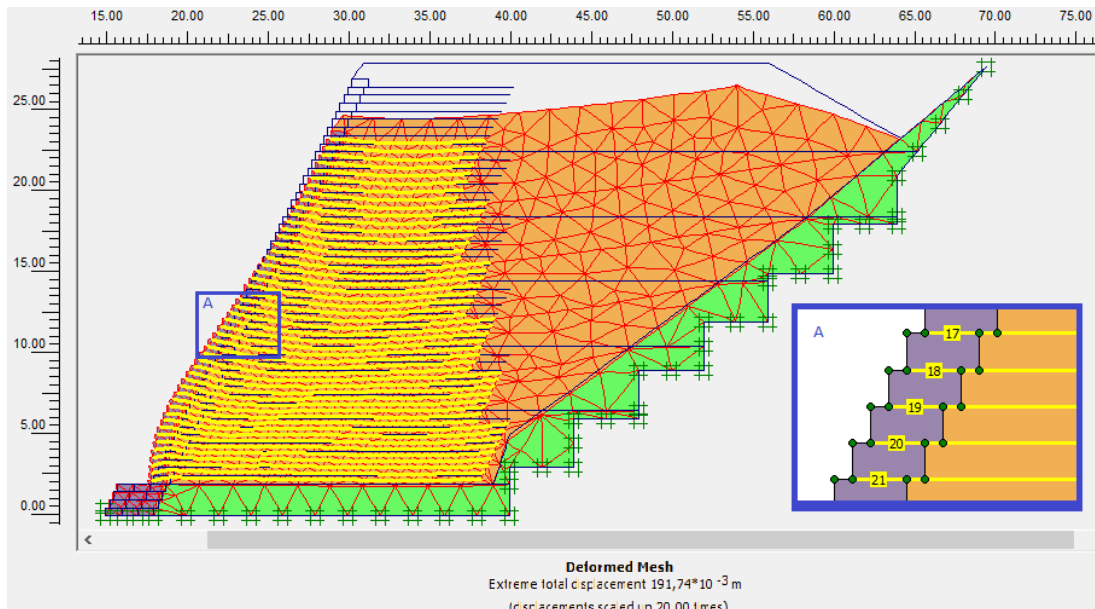
Η δεύτερη σειρά παραμετρικών αναλύσεων ερευνά την ευστάθεια του οπλισμένου επιχώματος και τις παραμορφώσεις του, όταν μεταβάλλονται τα συρματοκιβώτια ανα αναβαθμό ή σειρά στο επίχωμα. Στην Ενότητα αυτή θα γίνουν τρεις επιλύσεις με ένα, με τρία και με τέσσερα συρματοκιβώτια ανά σειρά στο επίχωμα.

#### 5.3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΕΝΑ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΟ ΣΕ ΚΑΘΕ ΑΝΑΒΑΘΜΟ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ

Σε αυτή την παραμετρική ανάλυση σχεδιάζεται επίχωμα με ένα συρματοκιβώτιο ανά σειρά όπως φαίνεται στο παράθυρο Α της Εικόνας 5.6. Οι ολικές μετακινήσεις που καταγράφονται είναι της τάξης των 192 χιλιοστών, ενώ ο συντελεστής που προκύπτει είναι  $S_f=1,28$ . Όπως είναι κατανοητό η αύξηση των μετακινήσεων καθώς και η μείωση του συντελεστή ασφαλείας οφείλονται στην μείωση των

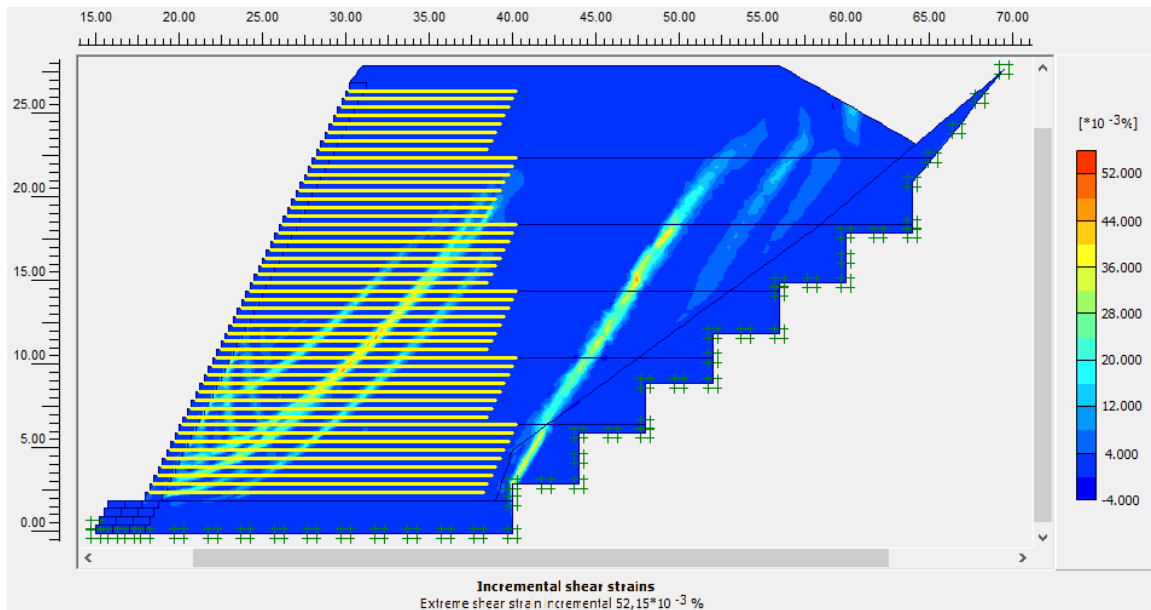
συρματοκιβωτίων και κατά συνέπεια του οπλισμού που αντιστηρίζει και δεν επιτρέπει την εκδήλωση των παραμορφώσεων.

Διαμορφώνονται συζυγείς επιφάνειες αστοχίας, οι οποίες είναι σαφείς και κυκλικές και δηλώνουν ότι το οπλισμένο επίχωμα δύναται να αστοχήσει περιστροφικά. Οι επιφάνειες ξεκινάνε από την θεμελίωση είτε από τα χαμηλότερα συρματοκιβώτια και εκτείνονται μέχρι ψηλά στο οπλισμένο σώμα του επιχώματος, δηλαδή εμφανίζονται μεγαλύτερες στην έκταση. Στο άοπλο μέρος του επιχώματος εμφανίζονται οι τρεις συζυγείς επιφάνειες που παρατηρήθηκαν και στο επίχωμα αναφοράς και δηλώνουν ότι το επίχωμα θα δύναται να αστοχήσει περιστροφικά, ωστόσο σε αυτή τη περίπτωση εμφανίζονται λιγότερο έντονες.



Εικόνα 5.6 : Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με ένα συρματοκιβώτιο ανά αναβαθμό κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί



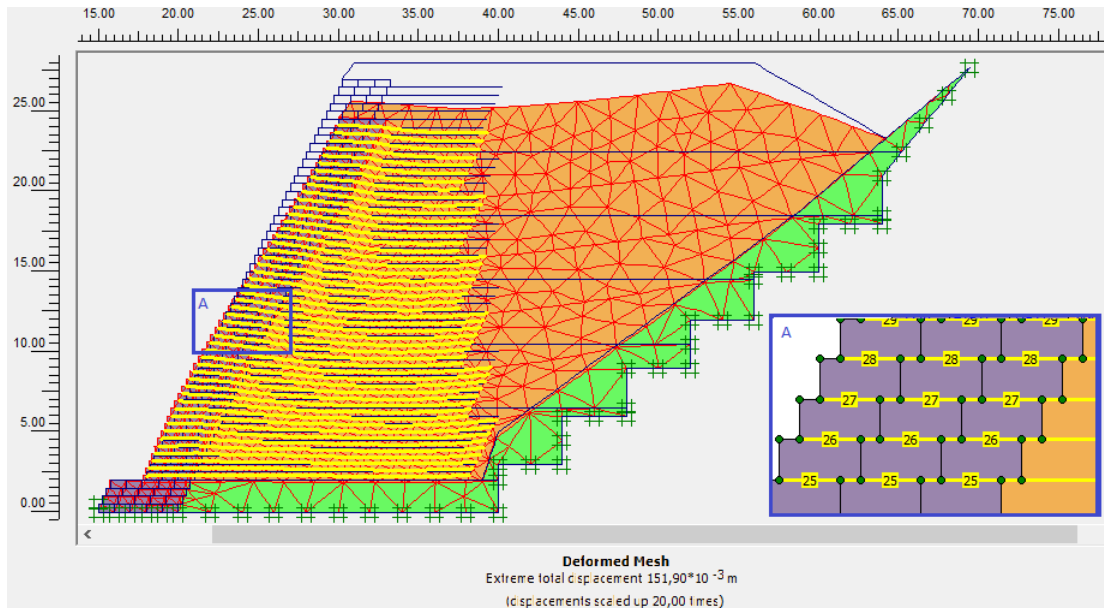
Εικόνα 5.7 : Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με ένα συρματοκιβώτιο ανά αναβαθμό

### 5.3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΡΙΑ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ ΣΕ ΚΑΘΕ ΑΝΑΒΑΘΜΟ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ

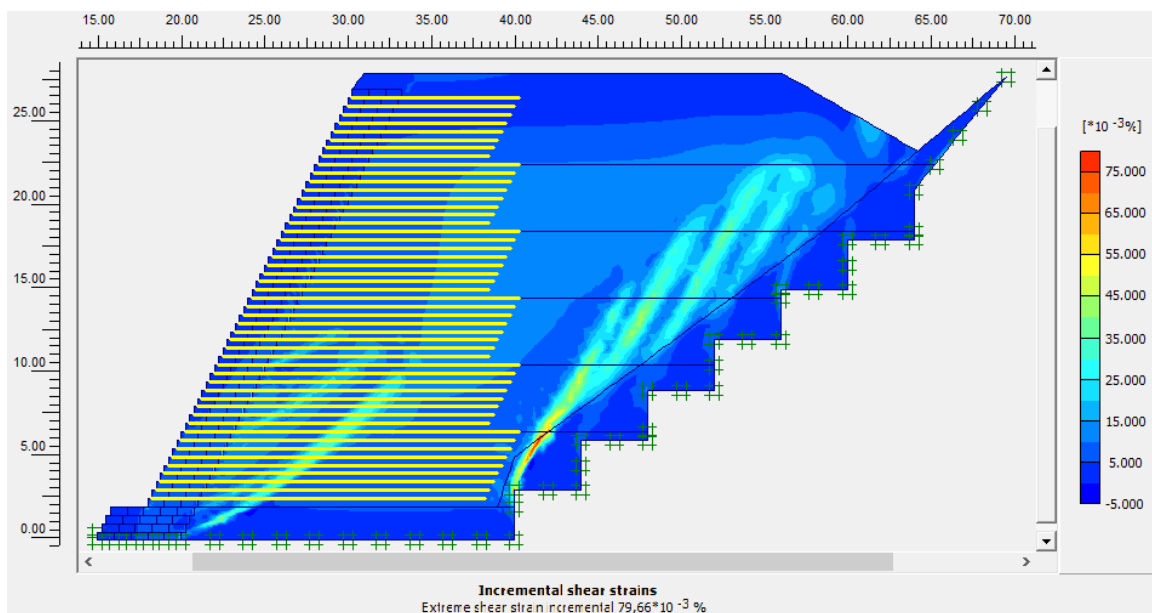
Σε αυτή τη παραμετρική ανάλυση επιλύουμε επίχωμα με τρία συρματοκιβώτια ανά σειρά. Οι ολικές μετακινήσεις που καταγράφονται είναι 152 χιλιοστά ενώ ο συντελεστής ασφαλείας 1,74.

Παρατηρείται μείωση των μετακινήσεων και αύξηση του συντελεστή ασφαλείας, που γίνεται κατανοητό ότι οφείλεται στην αύξηση των οπλισμών που εμποδίζουν την εκδήλωση των αστοχιών. Παράλληλα οι επιφάνειες δυνητικής αστοχίας που ξεκινάνε από τη θεμελίωση έχουν μικρότερη έκταση από ότι στο επίχωμα αναφοράς, ενώ στο άοπλο σώμα, οι επιφάνειες αυτές γίνονται πιο έντονες.

Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί



Εικόνα 5.8 : Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με τρία συρματοκιβώτια ανά αναβαθμό κατά το τελικό στάδιο κατασκευής



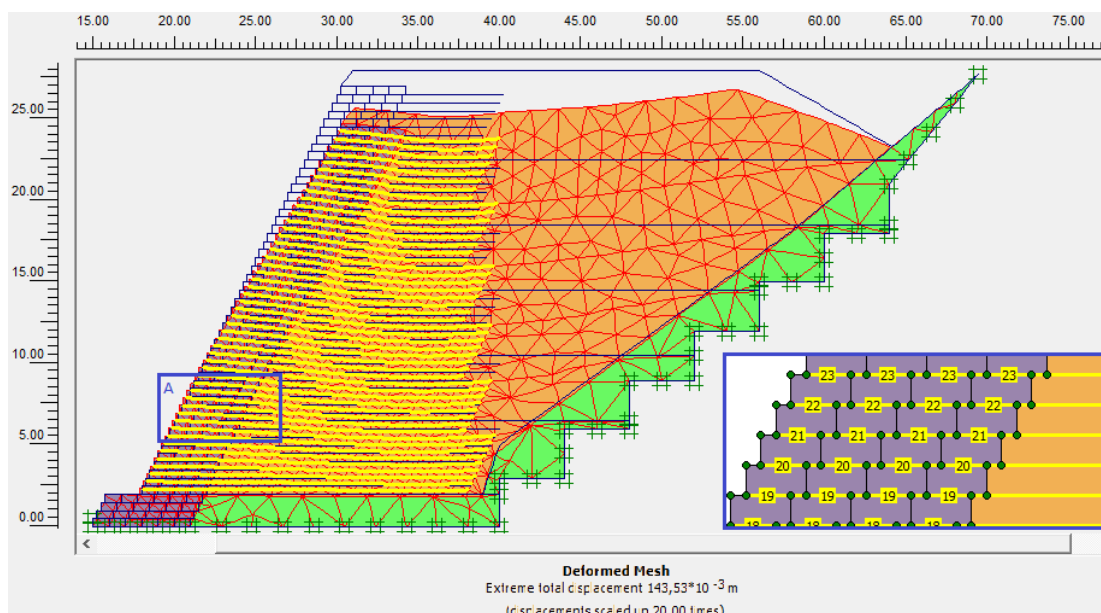
Εικόνα 5.9 : Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με τρία συρματοκιβώτια ανά αναβαθμό

### 5.3.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΕΣΣΕΡΑ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ ΣΕ ΚΑΘΕ ΑΝΑΒΑΘΜΟ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ

Στην επίλυση με τα τέσσερα συρματοκιβώτια ανά σειρά καταγράφηκαν ολικές μετακινήσεις τις τάξεις των 144 χιλιοστών και συντελεστής ασφαλείας  $S_f = 2,06$ .

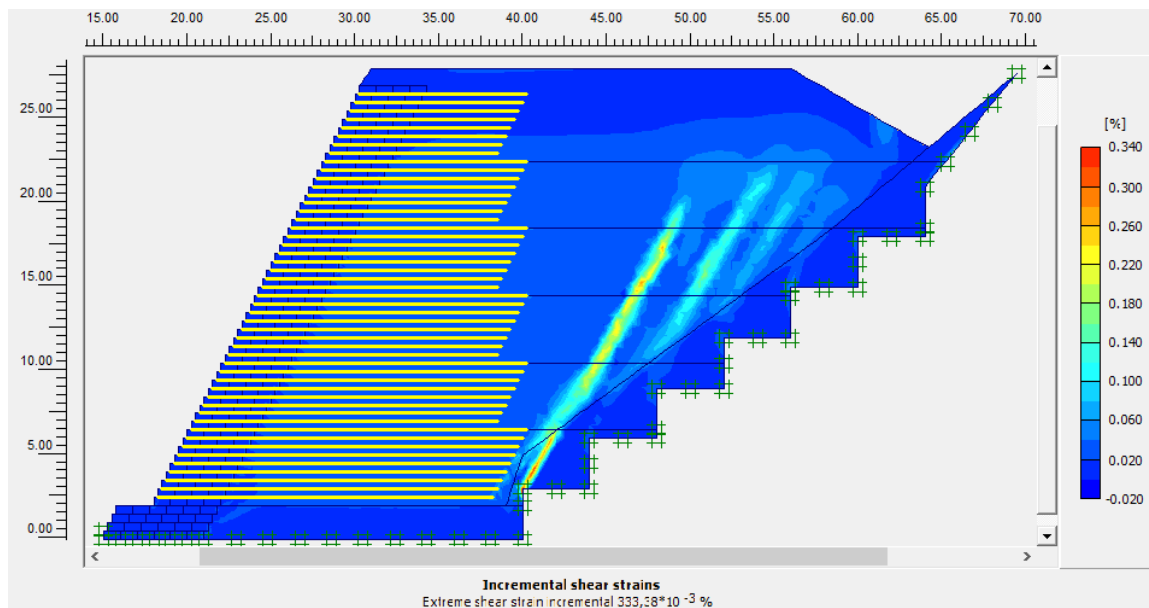
Η μείωση των μετακινήσεων και η αύξηση του συντελεστή ασφαλείας είναι σημαντική, ενώ παράλληλα είναι εμφανές ότι οι επιφάνειες δυνητικής αστοχίας στο μπροστινό τμήμα του πρανούς έχουν εξαλειφθεί. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι πλέον τα στοιχεία του οπλισμού έχουν εισέλθει ολοκληρωτικά στη ζώνη που εμφανίζεται η δημιουργία πλαστικών σημείων, εξαλείφοντας τα.

Οι επιφάνειες δυνητικής αστοχίας στο άοπλο σώμα του επιχώματος παραμένουν, αλλά παρουσιάζονται ασθενέστερες και άρα και σε αυτό το κομμάτι το μέγεθος των μετακινήσεων είναι πιο μικρό.



Εικόνα 5.10 : Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με τέσσερα συρματοκιβώτια ανά αναβαθμό κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί



Εικόνα 5.11 : Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με με τέσσερα συρματοκιβώτια ανά αναβαθμό

### 5.3.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 1<sup>η</sup> ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Σε αυτή την ομάδα παραμετρικών αναλύσεων εξετάστηκε η επιρροή του αριθμού συρματοκιβωτίων σε κάθε αναβαθμό του οπλισμένου επιχώματος. Οι συντελεστές ασφαλείας και οι μετακινήσεις για κάθε επίλυση καταγράφονται στους Πίνακες 5.4 και 5.5 ενώ κατασκευάζονται και τα σχετικά διαγράμματα.

Παρατηρείται ότι με την αύξηση των συρματοκιβωτίων μειώνονται αρκετά τόσο οι συνολικές μετακινήσεις, όσο και οι μετακινήσεις που καταγράφονται στα σημεία παρατήρησης. Ακόμα και ο συντελεστής παρουσιάζει αυξητική πορεία με την αύξηση των συρματοκιβωτίων όπως ακριβώς φαίνεται και στο Διάγραμμα 5.1. Τα παραπάνω αποτελέσματα γίνονται εμφανή και στο τρόπο που μεταβάλλονται οι επιφάνειες δυνητικής αστοχίας. Αρχικά έχουμε μια σαφή επιφάνεια αστοχίας η οποία ξεκινάει από τη θεμελίωση και εκτείνεται μέχρι ψηλά στο οπλισμένο σώμα του επιχώματος. Στη συνέχεια, με την προοδευτική αύξηση των συρματοκιβωτίων, οι επιφάνειες αυτές γίνονται ασαφής, η έκτασή τους μειώνεται και στο τέλος εξαφανίζονται καθώς πλέον τα συρματοκιβώτια έχουν καταλάβει εξολοκλήρου τη ζώνη εμφάνισης επιφανειών δυνητικής αστοχίας.

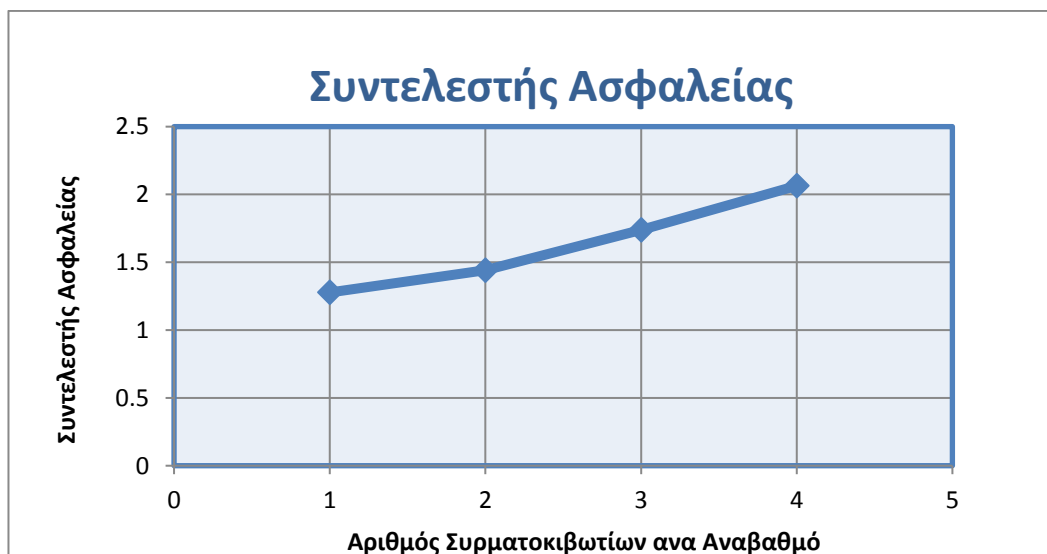
Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί

Πίνακας 5.4 : Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 1<sup>ης</sup> ομάδας παραμετρικών αναλύσεων

Συρματοκιβώτιο ανά σειρά στο επίχωμα	Συντελεστής ασφαλείας	Συνολικές Μετακινήσεις (mm)
1	1,28	192
2	1,44	163
3	1,74	152
4	2,06	144

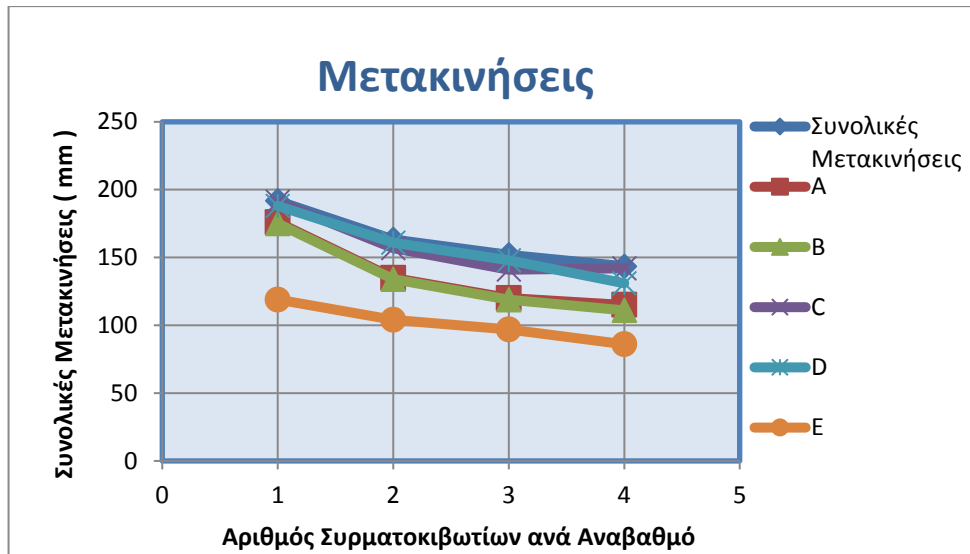
Πίνακας 5.5 : Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 1<sup>ης</sup> ομάδας παραμετρικών αναλύσεων για τα σημεία παρατήρησης

Συρματοκιβώτιο ανά σειρά στο επίχωμα	A	B	C	D	E
1	176	175	191	188	119
2	135	134	157	161	104
3	120	119	141	148	97
4	115	111	142	131	86



Διάγραμμα 5.1 : Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας σε συνάρτηση με τον αριθμό των συρματοκιβωτίων σε κάθε αναβαθμό του επιχώματος





Διάγραμμα 5.2 : Γραφική παράσταση μετακινήσεων σε συνάρτηση με τον αριθμό των συρματοκιβωτίων σε κάθε αναβαθμό του επιχώματος

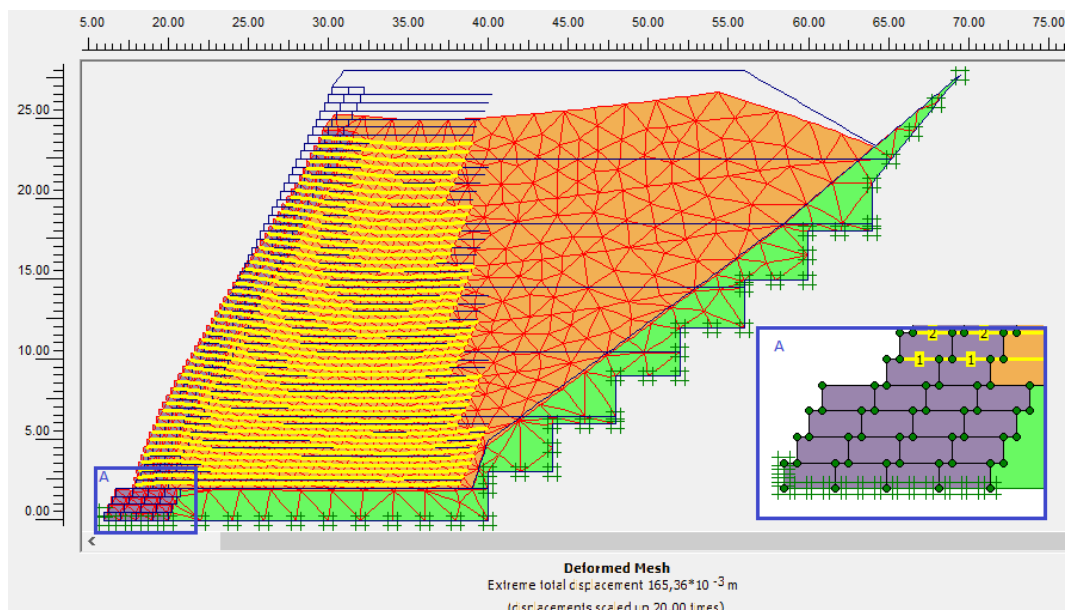
## 5.4 2<sup>η</sup> ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η δεύτερη σειρά παραμετρικών αναλύσεων ερευνά την ευστάθεια του οπλισμένου επιχώματος και τις παραμορφώσεις του, όταν μεταβάλλονται τα συρματοκιβώτια στη θεμελίωση του παταριού. Στις επιλύσεις που θα πραγματοποιηθούν σε αυτή την ενότητα τα συρματοκιβώτια τοποθετούνται συμμετρικά των δυο βασικών συρματοκιβωτίων του επιχώματος. Οι επιλύσεις που πραγματοποιήθηκαν είναι για δύο, τέσσερα, έξι και οχτώ συρματοκιβώτια ανά διαμορφωμένο αναβαθμό στη θεμελίωση του παταριού, συμμετρικά τοποθετημένα εκατέρωθεν του κορμού της επένδυσης του επιχώματος.

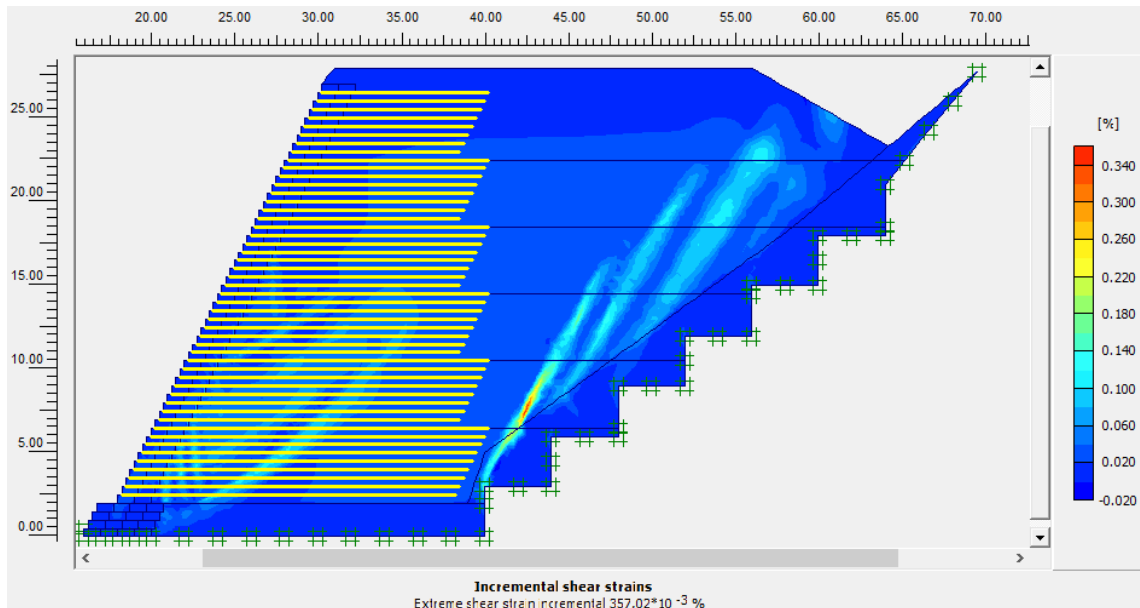
#### 5.4.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΕΝΑ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΟ ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ ΚΑΙ ΕΝΑ ΟΠΙΣΘΕΝΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΣΤΟ ΠΟΔΙ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ

Στην επίλυση με την τοποθέτηση ενός συρματοκιβωτίου έμπροσθεν και ενός συρματοκιβωτίου όπισθεν του κορμού της επένδυσης, κατεγράφησαν μετακινήσεις 165 χιλιοστών και συντελεστής ασφαλείας 1,46. Παρατηρείται συνεπώς αύξηση των μετακινήσεων αλλά και αύξηση του συντελεστή ασφαλείας. Η μικρή αύξηση του συντελεστή ασφαλείας φαίνεται να οφείλεται στη τοποθέτηση συρματοκιβωτίου πίσω από τη βασικά συρματοκιβώτια του κορμού της επένδυσης.

Οι επιφάνειες δυνητικής αστοχίας ξεκινάνε από το πόδι και αναπτύσσονται μέχρι τη μέση του οπλισμένου σώματος του επιχώματος. Ενώ στο άοπλο σώμα παρουσιάζονται οι επιφάνειες δυνητικής αστοχίας, οι οποίες όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις δηλώνουν την περιστροφική αστοχία του διαμορφωμένου οπλισμένου πρανούς.



Εικόνα 5.12 : Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με δυο συρματοκιβώτια τοποθετημένα συμμετρικά ανα σειρά στο πόδι κατά το τελικό στάδιο κατασκευής



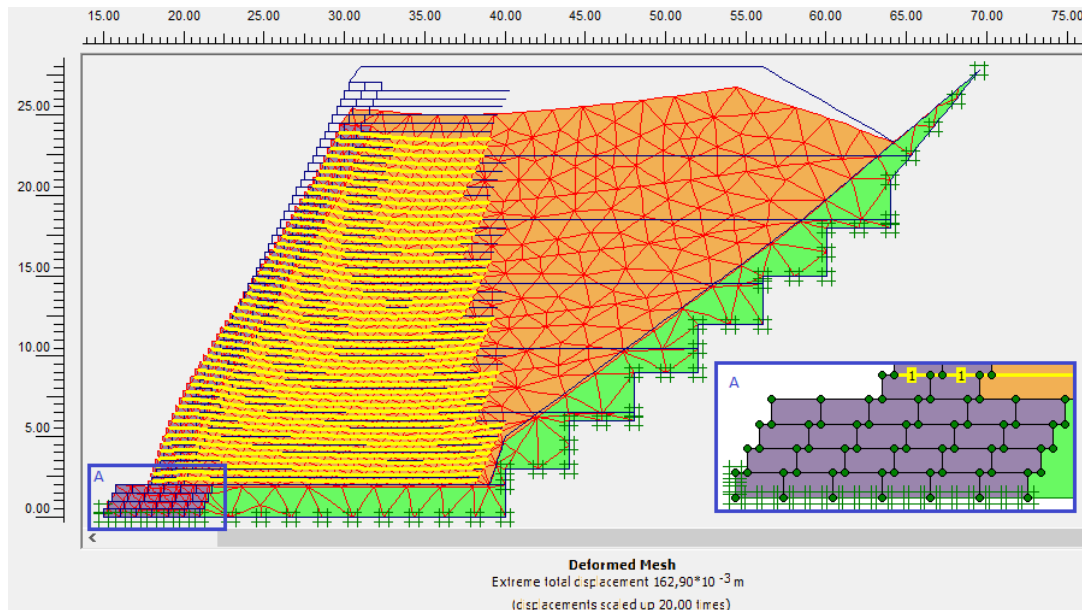
Εικόνα 5.13 : Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με δύο συρματοκιβώτια τοποθετημένα συμμετρικά ανά σειρά στο πόδι του

#### 5.4.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΔΥΟ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ ΚΑΙ ΔΥΟ ΟΠΙΣΘΕΝ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΣΤΟ ΠΟΔΙ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ

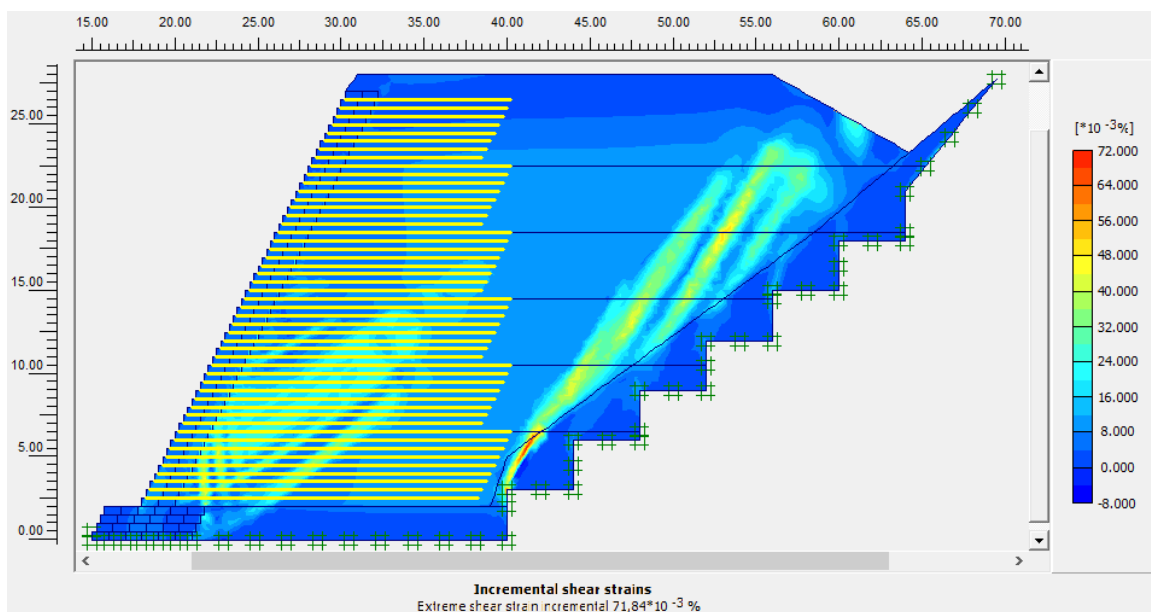
Σε αυτή τη παραμετρική ανάλυση επιλύουμε επίχωμα με τέσσερα συρματοκιβώτια τοποθετημένα συμμετρικά των βασικών συρματοκιβωτίων της επένδυσης. Οι ολικές μετακινήσεις που καταγράφονται σε αυτή τη περίπτωση είναι 163 χιλιοστά ενώ ο συντελεστής ασφαλείας 1,49. Οπότε δε παρατηρείται ουσιαστική μεταβολή.

Παράλληλα οι επιφάνειες δυνητικής αστοχίας που ξεκινάνε από τη θεμελίωση καθώς και αυτές στο άοπλο σώμα του επιχώματος φαίνεται να έχουν την ίδια ένταση και έκταση με το επίχωμα αναφοράς.

Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί



Εικόνα 5.14 : Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με τέσσερα συρματοκιβώτια τοποθετημένα συμμετρικά στο πόδι κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

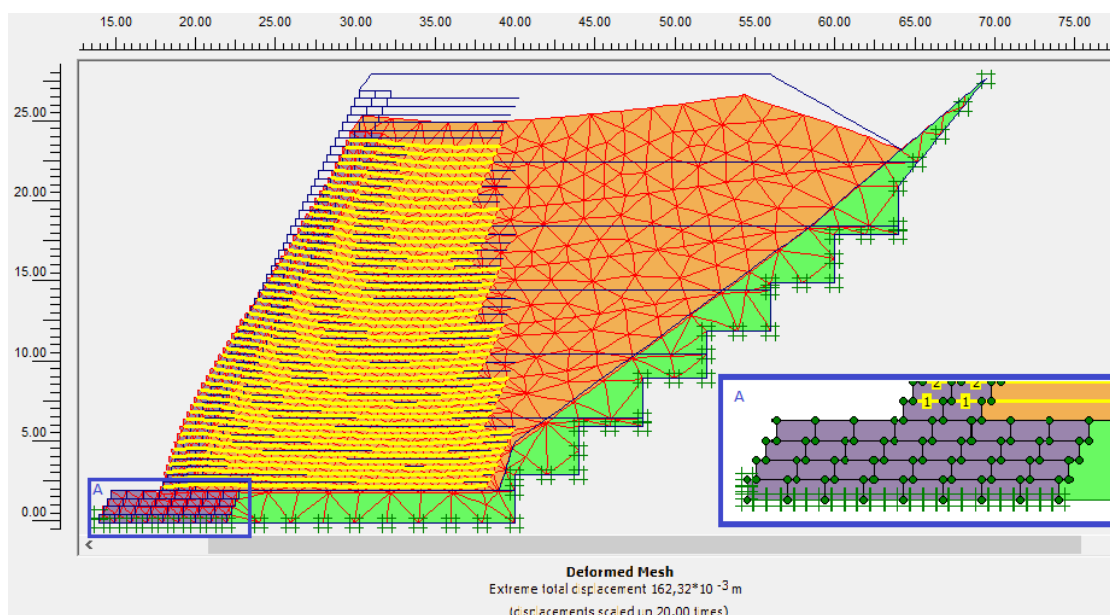


Εικόνα 5.15 : Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με τέσσερα συρματοκιβώτια τοποθετημένα συμμετρικά ανά σειρά στο πόδι του

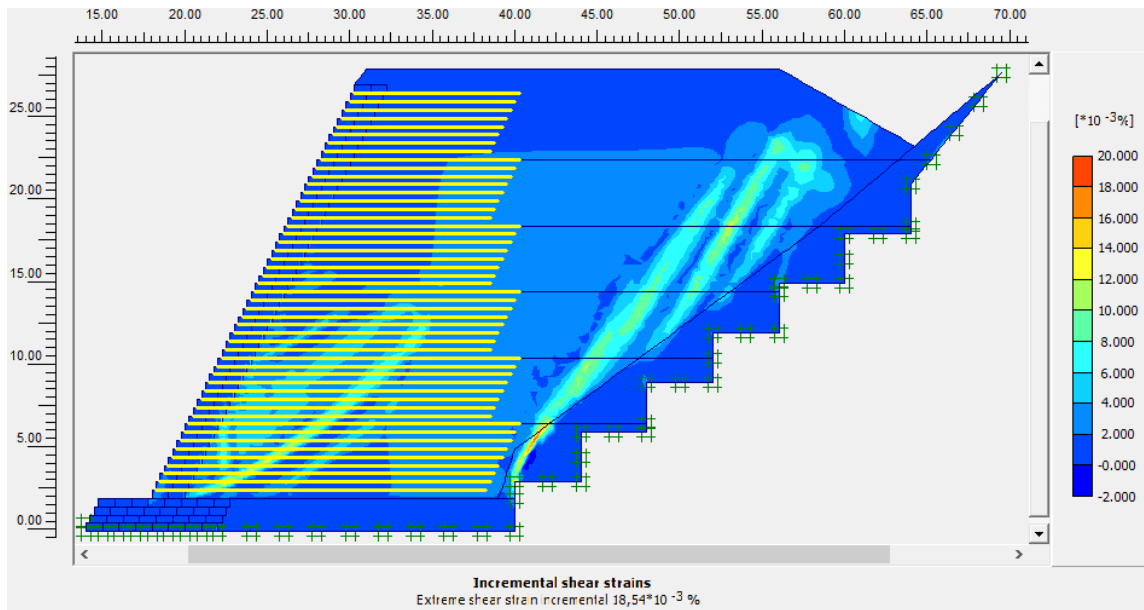
### 5.4.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΡΙΑ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ ΚΑΙ ΤΡΙΑ ΟΠΙΣΘΕΝ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΣΤΟ ΠΟΔΙ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ

Στην επίλυση με την τοποθέτηση τριών συρματοκιβωτίου έμπροσθεν και τριώνόπισθεντων δύο βασικών συρματοκιβωτίων του κορμού επένδυσης, σε κάθε αναβαθμόθεμελίωσης του επιχώματος,κατεγράφησαν μετακινήσεις 162 χιλ και συντελεστής ασφάλειας 1,49. Και σε αυτή την περίπτωση όπως και στις προηγούμενες δεν παρατηρείται ουσιαστική μεταβολή ούτε των μετακινήσεων αλλά ούτε και του συντελεστή ασφαλείας.

Ωστόσο, οι επιφάνειες δυνητικής αστοχίας του επιχώματος δε φαίνεται πλέον να αρχίζουν από τη θεμελίωση αλλά από τα πρώτα συρματοκιβώτια της επένδυσης. Οι επιφάνειες αυτές που ξεκινούσαν από τη θεμελίωση είναι μικρότερης έκτασης καθώς έχουν αποφορτιστεί εξαιτίας της εισόδου των συρματοκιβωτίων στην προβληματική περιοχή. Στο άοπλο σώμα του πρανούς οι επιφάνειες παραμένουν, πράγμα που είναι λογικό εφόσον δεν υπάρχει οπλισμός να εκτονώσει τα υπάρχοντα φορτία.



Εικόνα 5.16 : Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με έξι συρματοκιβώτια τοποθετημένα συμμετρικά ανα σειρά στο πόδι του κατά το τελικό στάδιο κατασκευής



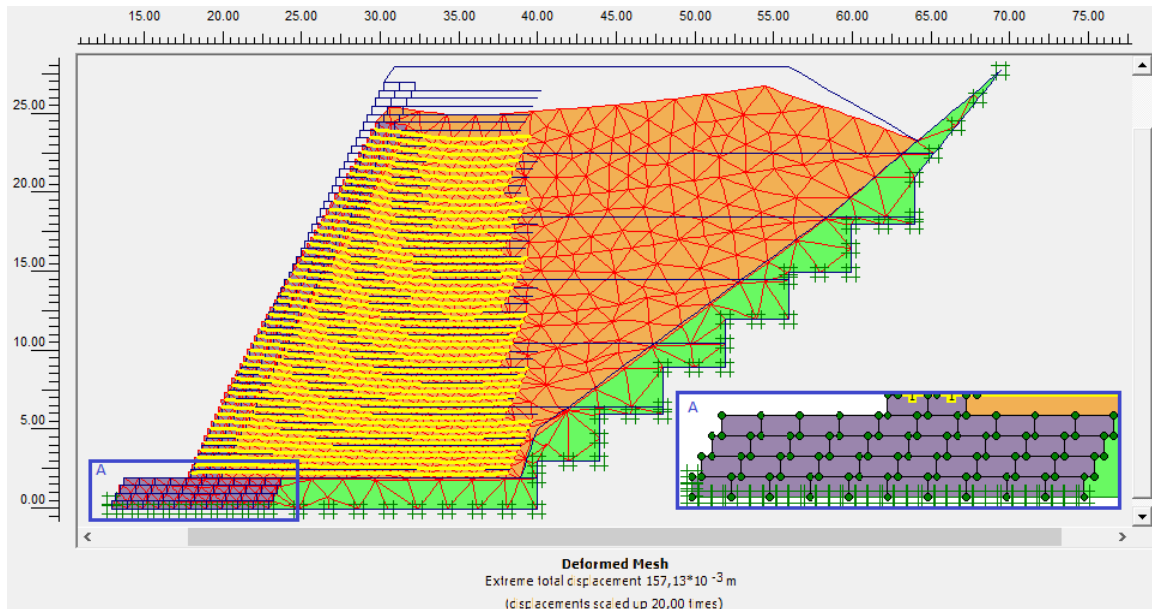
Εικόνα 5.17 : Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με έξι συρματοκιβώτια τοποθετημένα συμμετρικά ανά σειρά στο πόδι του

#### 5.4.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΕΣΣΕΡΑ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ ΚΑΙ ΤΕΣΣΕΡΑ ΟΠΙΣΘΕΝ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΣΤΟ ΠΟΔΙ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ

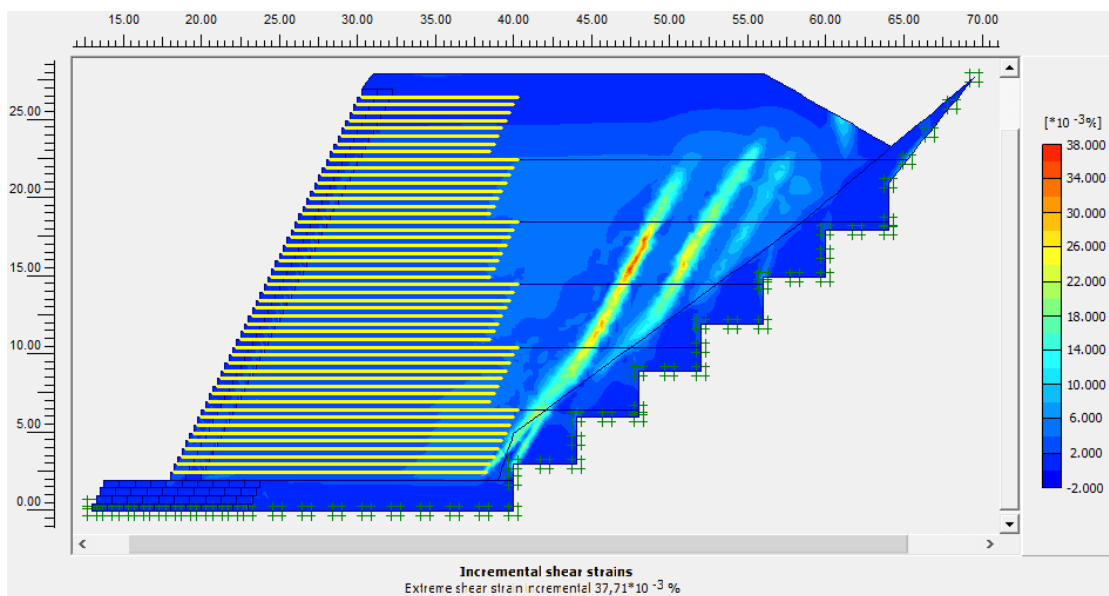
Σε αυτή τη παραμετρική ανάλυση επιλύουμε επίχωμα με οχτώ συρματοκιβώτια κατανομημένα εκατέρωθεν των βασικών συρματοκιβωτίων της επένδυσης. Οι ολικές μετακινήσεις που καταγράφονται σε αυτή τη περίπτωση είναι 157 χιλιοστά ενώ ο συντελεστής ασφαλείας είναι 2,07. Στη συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρείται μεγάλη αύξηση του συντελεστή ασφαλείας ενώ ταυτόχρονα υπάρχει και σημαντική μείωση των μετακινήσεων. Παράλληλα οι επιφάνειες δυνητικής αστοχίας που ξεκινούσαν από το πόδι του επιχώματος δεν υπάρχουν.

Όλα τα παραπάνω οφείλονται στο γεγονός ότι τα συρματοκιβώτια εισέρχονται στη κύρια ζώνη όπου αναπτύσσονται οι δυνητικές επιφάνειες αστοχίας, παραλαμβάνοντας έτσι τα φορτία που επρόκειτο να προκαλούσαν την εκδήλωση αυτών των αστοχιών. Τέλος οι τρεις συζυγείς επιφάνειες δυνητικής αστοχίας στο άοπλο σώμα του διαμορφωμένου πρανούς που δηλώνουν την ενδυνάμη

περιστροφική αστοχία του πρανούς συνεχίζουν να μένουν έντονες όπως και στο επίχωμα αναφοράς.



Εικόνα 5.18 : Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με οχτώ συρματοκιβώτια τοποθετημένα συμμετρικά ανά σειρά στο πόδι κατά το τελικό στάδιο κατασκευής



Εικόνα 5.19 : Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με οχτώ συρματοκιβώτια τοποθετημένα συμμετρικά ανά σειρά στο πόδι του

#### 5.4.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 2<sup>ης</sup> ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Σε αυτή την ομάδα παραμετρικών αναλύσεων εξετάστηκε η επιρροή του αριθμού συρματοκιβωτίων ανά σειρά στη θεμελίωση του επιχώματος. Οι συντελεστές ασφαλείας και οι μετακινήσεις για κάθε επίλυση καταγράφονται στους Πίνακες 5.6 και 5.7 ενώ κατασκευάζονται και τα σχετικά διαγράμματα.

Παρατηρείται ότι δεν υπάρχει ουσιαστική επίδραση της αύξησης των συρματοκιβωτίων στο πόδι του επιχώματος. Επίδραση παρατηρείται μόνο όταν τοποθετούνται τέσσερα συρματοκιβώτια ανά αναβαθμό της θεμελίωσης μπροστά και πίσω από τα βασικά συρματοκιβώτια του κορμού της επένδυσης.

Αυτό οφείλεται στο ότι τα συρματοκιβώτια εισέρχονται στη ζώνη όπου θα αναπτυχθούν δυνητικά αστοχίες και αποτρέπουν την εμφάνισή τους. Έτσι από την παραμετρική ανάλυση με την προσθήκη έξι συρματοκιβωτίων συμμετρικά της βασικής επένδυσης γίνεται αντιληπτή η αλλαγή του σημείου αρχής ανάπτυξης των επιφανειών δυνητικής αστοχίας, οι οποίες δε ξεκινούν από τη θεμελίωση αλλά από τα πρώτα συρματοκιβώτια πια.

Τέλος η ύπαρξη των συρματοκιβωτίων στην μπροστά από την επένδυση δεν φαίνεται να έχει ουσιαστική επίδραση στην απομείωση της εμφάνισης παραμορφώσεων.

Να σημειωθεί ότι είναι αμφίβολο το γεγονός ότι τα συμπεράσματα της συγκεκριμένης ομάδας παραμετρικών αναλύσεων μπορούν να προσαρμοστούν σε κάθε επίχωμα, καθώς φαίνεται να έχουν άμεση σχέση με το τρόπο που αναπτύσσονται οι επιφάνειες δυνητικής αστοχίας στη συγκεκριμένη γεωμετρία.



Πίνακας 5.6 : Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 2<sup>ης</sup> ομάδας παραμετρικών αναλύσεων

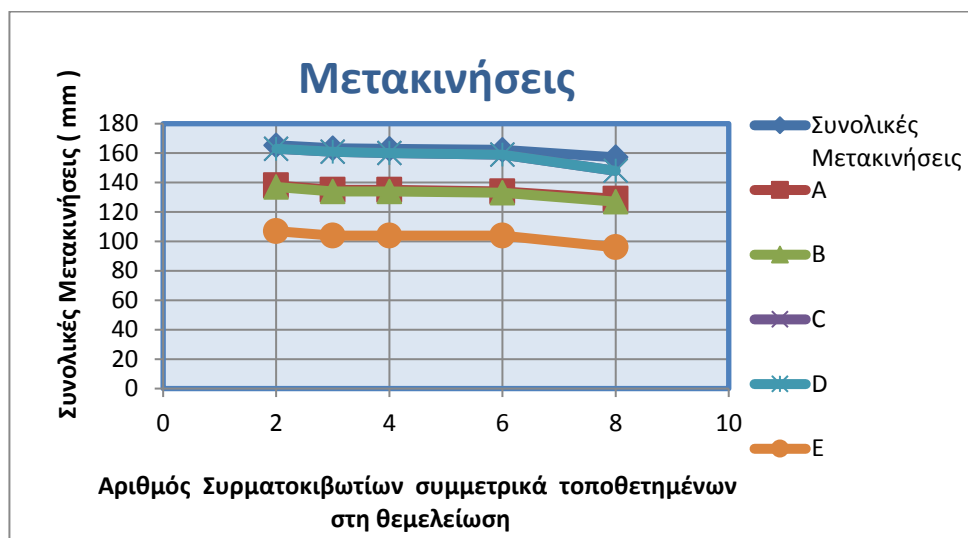
Συρματοκιβώτια συμμετρικά τοποθετημένα στο πόδι του επιχώματος	Συντελεστής ασφαλείας	Συνολικές Μετακινήσεις (mm)
2	1,46	165
Επίχωμα Αναφοράς	1,44	163
4	1,49	163
6	1,49	162
8	2,07	157

Πίνακας 5.7 : Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 2<sup>ης</sup> ομάδας παραμετρικών αναλύσεων για τα σημεία παρατήρησης

Συρματοκιβώτια συμμετρικά τοποθετημένα στο πόδι του επιχώματος	A	B	C	D	E
2	138	137	160	163	107
Επίχωμα Αναφοράς	135	134	157	161	104
4	135	134	157	160	104
6	134	133	156	159	104
8	129	127	156	148	96



Διάγραμμα 5.3 : Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας σε συνάρτηση με τον αριθμό συρματοκιβωτίων συμμετρικά τοποθετημένων στη θεμελίωση του επιχώματος



Διάγραμμα 5.4 : Γραφική παράσταση συνολικών μετακινήσεων σε συνάρτηση με τον αριθμό συρματοκιβωτίων συμμετρικά τοποθετημένων στη θεμελίωση του επιχώματος

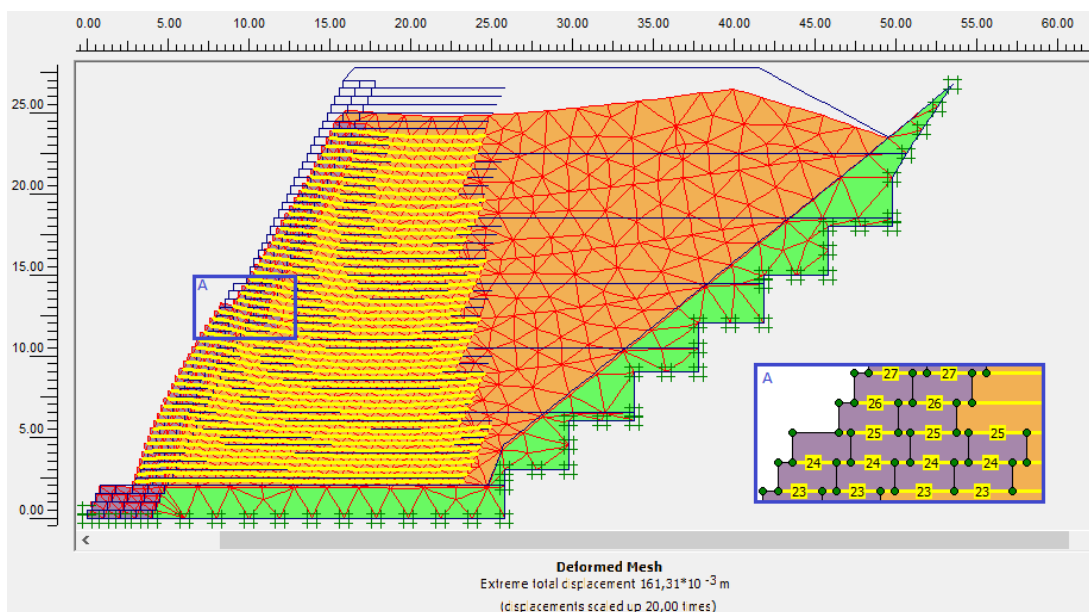
## 5.5 3<sup>η</sup> ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στη τέταρτη σειρά παραμετρικών αναλύσεων ερευνάται η ευστάθεια και οι παραμορφώσεις επιχώματος με ένα πατάρι, όταν το μήκος του μεταβάλλεται. Οι επιλύσεις επιχώματων με πατάρι είναι τρεις, με 80, 100 και 120 εκατοστά πατάρι. Να σημειωθεί ότι το πατάρι με μήκος ενός μέτρου θα θεωρηθεί ως επίχωμα αναφοράς για την παραμετρική ανάλυση της Ενότητας 5.6

Το πατάρι κατασκευάζεται σε ύψος 12,5 μέτρων από τη στέψη του επιχώματος και έχει θεμελίωση δύο σειρών συρματοκιβωτίων όπως φαίνεται και στο παράθυρο Α της Εικόνας 5.20. Η κλίση του οπλισμένου πρανούς που έχει κατασκευαστεί και για τις τρεις περιπτώσεις είναι  $62^\circ$  και το μήκος της στέψης διατηρείται σταθερό, δηλαδή 25 μέτρα.

### 5.5.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΝΑ ΠΑΤΑΡΙ ΜΗΚΟΥΣ 0,8 ΜΕΤΡΩΝ

Στην επίλυση με την κατασκευή οπλισμένου επιχώματος με ένα πατάρι μήκους 0,8 μέτρων καταγράφηκαν μετακινήσεις 161 χιλιοστών ενώ ο συντελεστής ασφάλειας είναι 1,49. Σε αυτή τη περίπτωση έχουμε μείωση των μετακινήσεων και αύξηση του συντελεστή ασφαλείας.

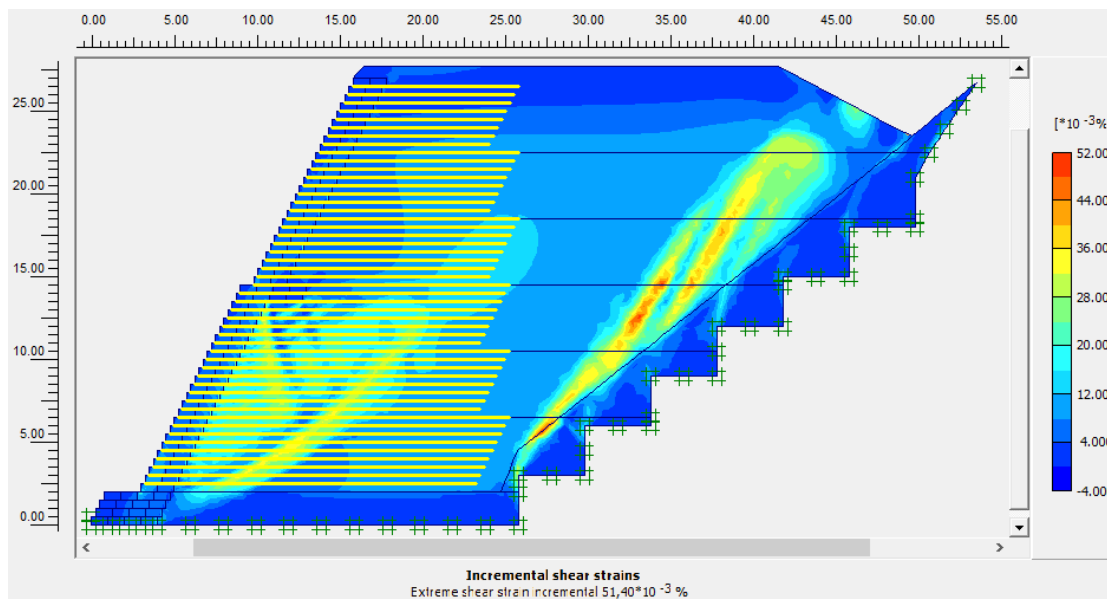


Εικόνα 5.20 : Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με ένα πατάρι μήκους 0,8 μέτρων κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

Όσον αφορά τις επιφάνειες δυνητικής αστοχίας στο μπροστινό μέρος του επιχώματος παρατηρείται ότι πέραν της δημιουργίας αυτών που εκτείνονται από τη θεμελίωση και μέχρι το ύψος του παταριού και είναι κυκλικές δημιουργούνται και κάποιες άλλες οι οποίες ξεκινούν από τη βάση της θεμελίωσης του παταριού και εκτείνονται σε μικρή απόσταση στο οπλισμένο σώμα του επιχώματος .

Η δημιουργία των δεύτερων επιφανειών οφείλεται στη πίεση που ασκεί στο εδαφικό υλικό πλήρωσης το βάρος των συρματοκιβωτίων. Τέλος οι επιφάνειες δυνητικής αστοχίας στο άοπλο μέρος του επιχώματος, φαίνεται να έχουν μεγαλύτερο μέγεθος καθώς επίσης και μεγαλύτερη έκταση.

Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί



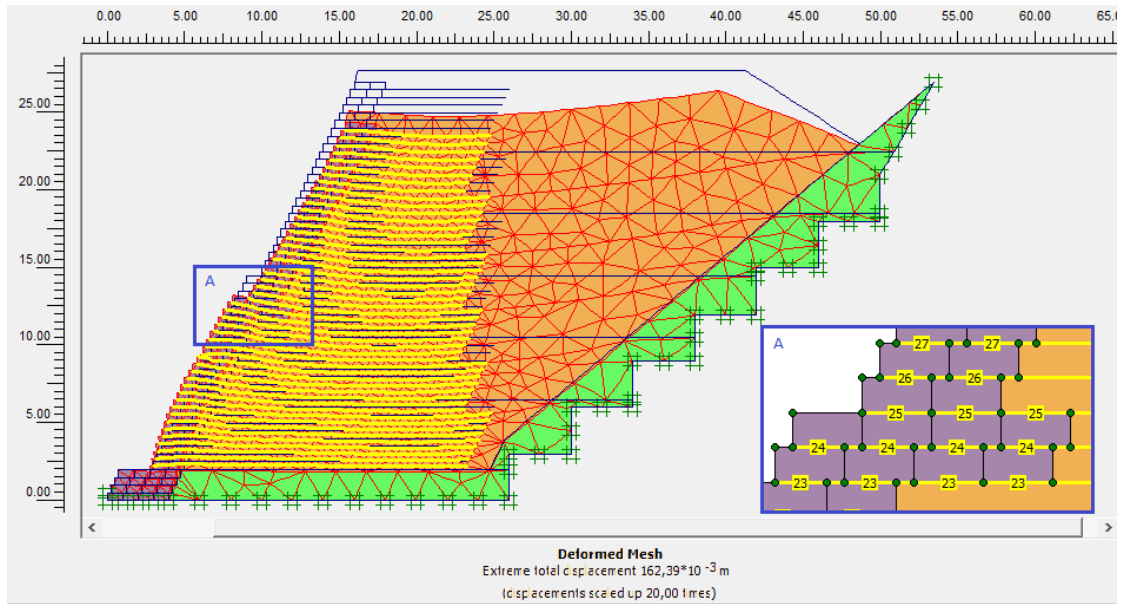
Εικόνα 5.21 : Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με ένα πατάρι μήκους 0,8 μέτρων

### 5.5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΝΑ ΠΑΤΑΡΙ ΜΗΚΟΥΣ ΕΝΟΣ (1) ΜΕΤΡΟΥ

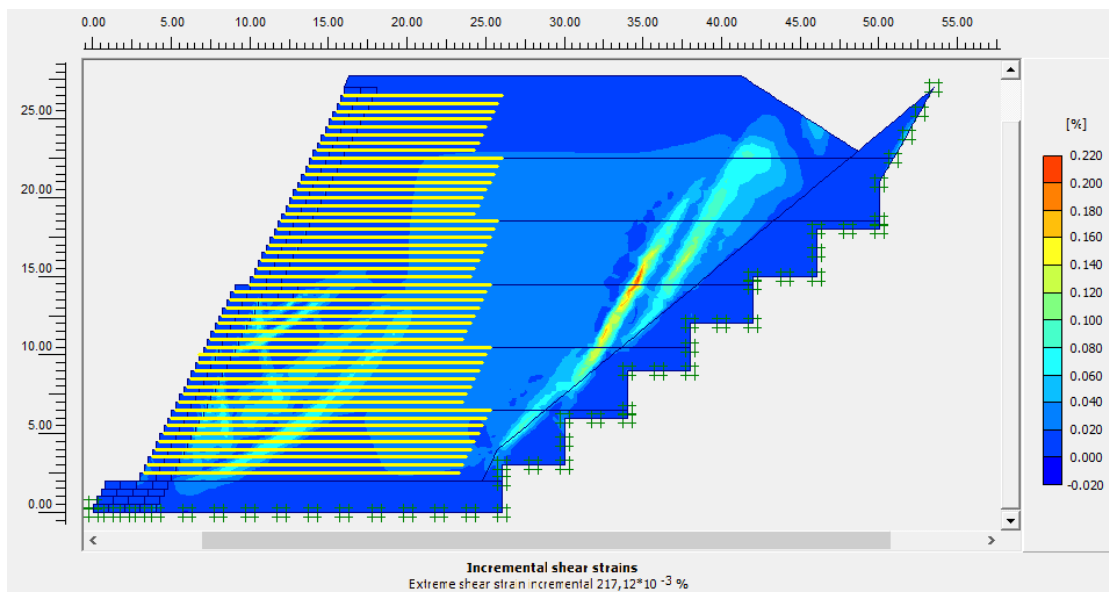
Σε αυτή τη παραμετρική ανάλυση επιλύεται επίχωμα με ένα πατάρι το οποίο έχει μήκος ενός μέτρου. Οι ολικές μετακινήσεις που καταγράφονται σε αυτή τη περίπτωση είναι της τάξης των 162 χιλιοστών ενώ ο συντελεστής ασφαλείας είναι 1,50. Παρατηρείται ότι, παρότι οι μετακινήσεις είναι πιο μικρές συγκριτικά με το επίχωμα αναφοράς, στο επίχωμα με πατάρι μήκους 0,8 μέτρων, παρουσιάζονται μεγαλύτερες. Το παραπάνω οφείλεται στο τρόπο τοποθέτησης των συρματοκιβωτίων. Όπως φαίνεται στο παράθυρο Α της Εικόνας 5.22 Τα συρματοκιβώτια που διαμορφώνουν το πατάρι του επιχώματος τοποθετούνται ακριβώς στις συρραφές τους

Και σε αυτή τη περίπτωση διαμορφώνονται επιφάνειες δυνητικής αστοχίας που ξεκινούν από την θεμελίωση του επιχώματος αλλά και από την θεμελίωση του παταριού, καθώς επίσης και επιφάνειες δυνητικής αστοχίας στο άοπλο σώμα του.

Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί



Εικόνα 5.22 : Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με ένα πατάρι μήκους 1 μέτρου κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

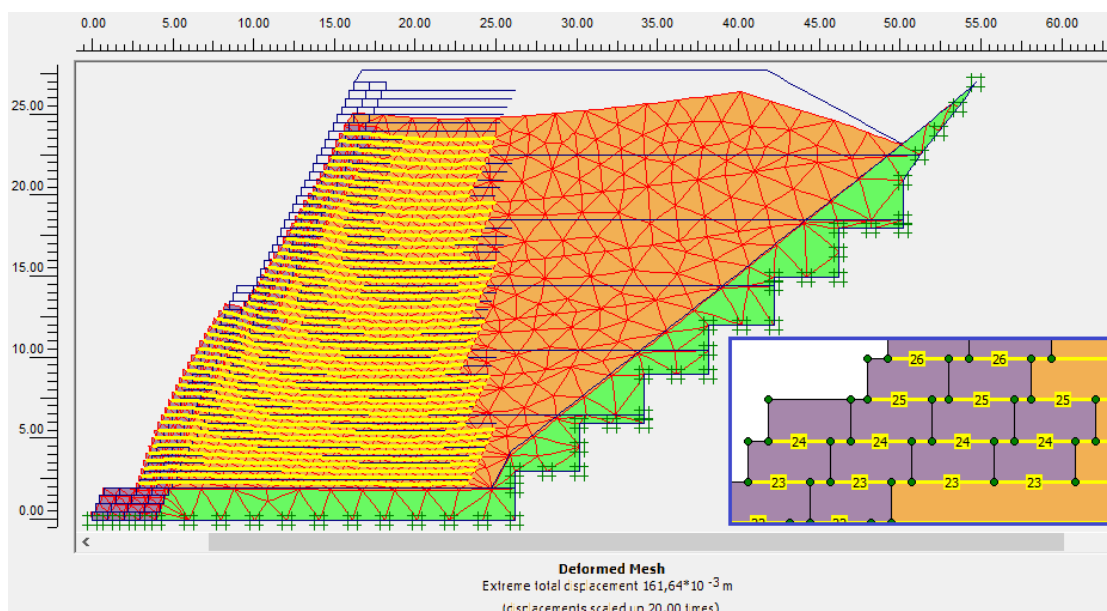


Εικόνα 5.23 : Αποτύπωση επιφάνειας δνητικής αστοχίας επιχώματος με ένα πατάρι μήκους ενός μέτρου

### 5.5.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΝΑ ΠΑΤΑΡΙ ΜΗΚΟΥΣ 1,2 ΜΕΤΡΩΝ

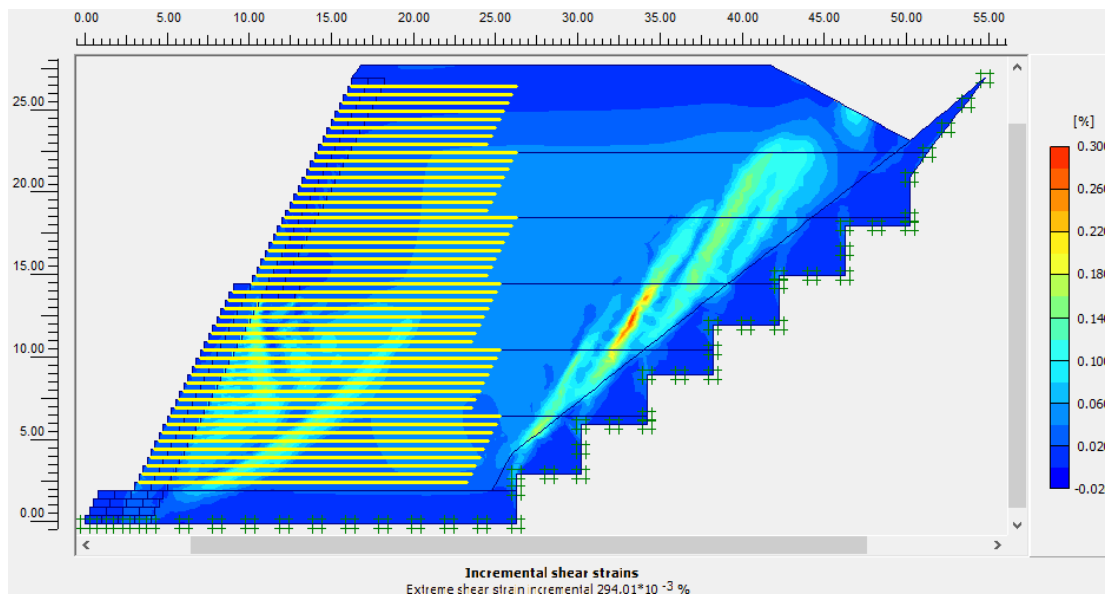
Η επίλυση που αφορά την κατασκευή οπλισμένου επιχώματος με ένα πατάρι μήκους 1,2 μέτρων κατέγραψε μετακινήσεις της τάξης των 162 χιλιοστών και συντελεστή ασφαλείας 1,50. Ούτε σε αυτή τη περίπτωση φαίνεται να υπάρχει ουσιαστική μεταβολή του μεγέθους των μετακινήσεων και του συντελεστή ασφαλείας.

Επιφάνειες δυνητικής αστοχίας όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις διαμορφώνονται τόσο στο μπροστινό και οπλισμένο τμήμα του επιχώματος που ξεκινούν από τη θεμελίωση του επιχώματος και τη θεμελίωση του παταριού. Τέλος στο άοπλο τμήμα του συνεχίζουν να εμφανίζονται συζυγείς επιφάνειες δυνητικής αστοχίας, που υποδηλώνουν ότι το επίχωμα δύναται να αστοχήσει περιστροφικά.



Εικόνα 5.24 : Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με ένα πατάρι μήκους 1,2 μέτρων κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί



Εικόνα 5.25 : Αποτύπωση επιφάνειας δνητικής αστοχίας επιχώματος με ένα πατάρι μήκους 1,2 μέτρων

#### 5.5.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 3<sup>ης</sup> ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Σε αυτή την ομάδα παραμετρικών αναλύσεων εξετάστηκε η επιρροή του αριθμού συρματοκιβωτίων ανά σειρά στη θεμελίωση του επιχώματος. Οι συντελεστές ασφαλείας και οι μετακινήσεις για κάθε επίλυση καταγράφονται στους Πίνακες 5.4 και 5.5 ενώ κατασκευάζονται και τα σχετικά διαγράμματα.

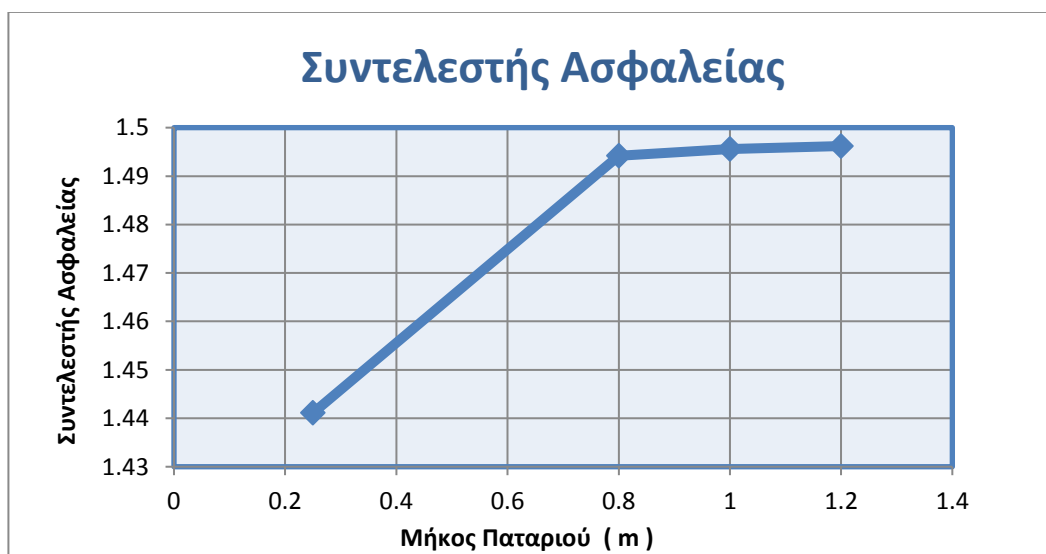
Από τα δεδομένα που προέκυψαν από τη σειρά των παραμετρικών αναλύσεων, κρίνεται σημαντική η ύπαρξη παταριού. Όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 5.5 υπάρχει απότομη αύξηση του συντελεστή ασφαλείας με τη δημιουργία του παταριού. Ωστόσο φαίνεται ότι το μήκος δεν επηρεάζει σημαντικά ούτε τις παραμορφώσεις αλλά ούτε και το συντελεστή ασφαλείας. Ακόμα ένα συμπέρασμα που προκύπτει από τις αναλύσεις αλλά δε σχετίζεται με τη δημιουργία παταριού είναι ότι είναι καλύτερα να αποφεύγεται η τοποθέτηση των συρματοκιβωτιων ακριβώς στις συρραφές τους γιατί όπως φαίνεται και από τα σημεία παρατήρησης στο ύψος του παταριού παρουσιάζονται μεγαλύτερες μετακινήσεις.

Πίνακας 5. 8: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 3<sup>ης</sup> ομάδας παραμετρικών αναλύσεων

Μήκος Παταριού	Συντελεστής ασφαλείας	Συνολικές Μετακινήσεις (mm)
0,25	1,44	163
0,8	1,49	161
1	1,50	162
1,2	1,50	162

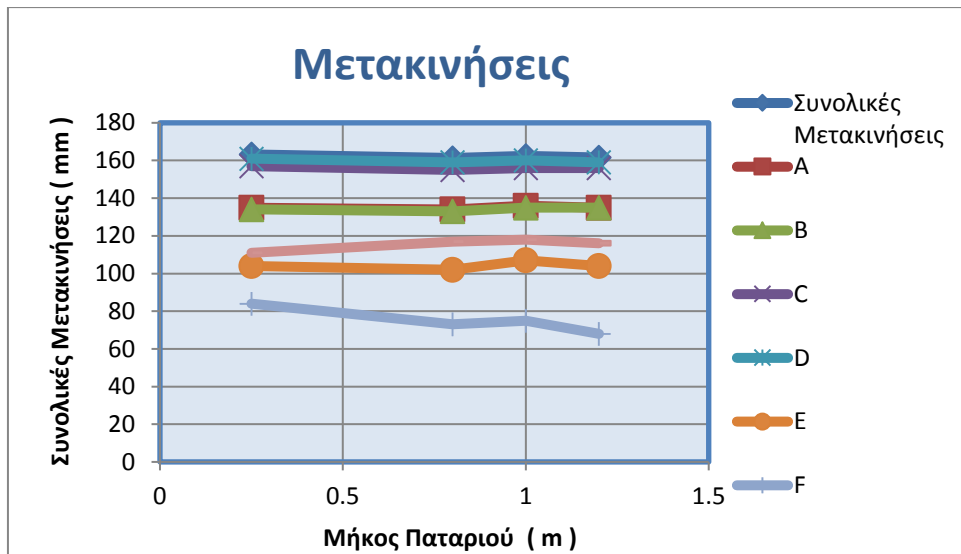
Πίνακας 5.9 : Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 3<sup>ης</sup> ομάδας παραμετρικών αναλύσεων για τα σημεία παρατήρησης

Μήκος Παταριού	A	B	C	D	E	F	G
0,25	135	134	157	161	104	84	111
0,8	134	133	155	159	102	73	117
1	136	135	156	160	107	75	118
1,2	135	135	156	159	104	68	116



Διάγραμμα 5.5 : Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας σε συνάρτηση με το μήκος του παταριού





Διάγραμμα 5.6 : Γραφική παράσταση μετακινήσεων σε συνάρτηση με το μήκος του παταριού

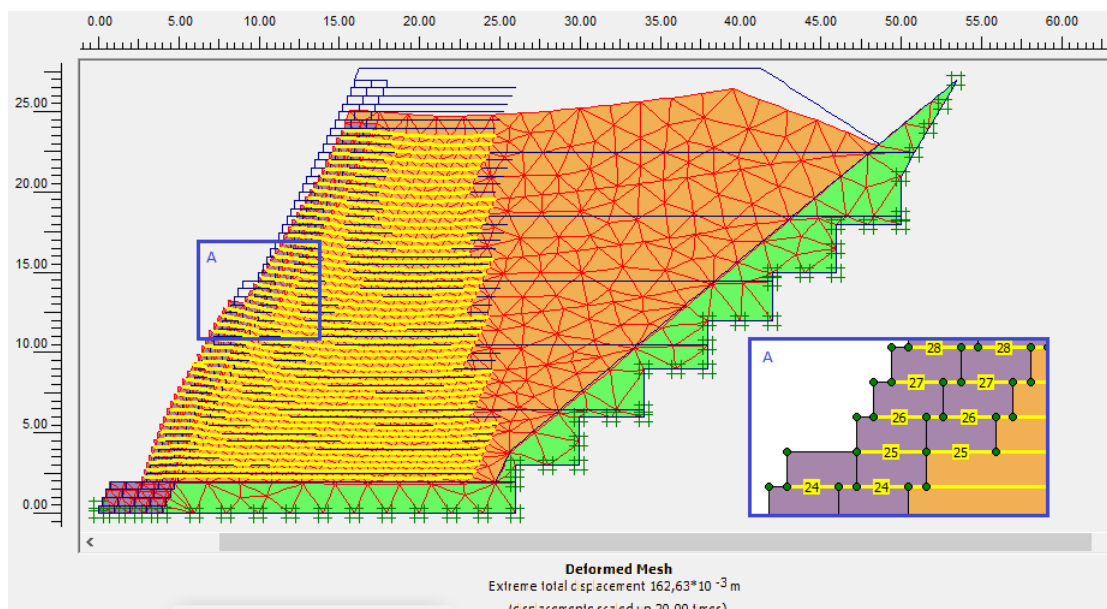
## 5.6 4<sup>η</sup> ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η τέταρτη σειρά παραμετρικών αναλύσεων ερευνά την ευστάθεια του οπλισμένου επιχώματος και τις παραμορφώσεις που διαμορφώνονται στο επίχωμα της 4<sup>ης</sup> παραμετρικής ανάλυσης με ένα πατάρι μήκους ενός μέτρου (Ενότητα 5.5.2), όταν μεταβάλουμε τον αριθμό των συρματοκιβωτίων στη θεμελίωση του παταριού.

Οι επιλύσεις που πραγματοποιούνται είναι τρεις, χωρίς θεμελίωση, με μία και τρεις σειρές συρματοκιβωτίων στη θεμελίωση του παταριού. Να σημειωθεί ότι στο επίχωμα αναφοράς αυτής της ενότητας η θεμελίωση του παταριού είναι με δύο σειρές συρματοκιβωτίων.

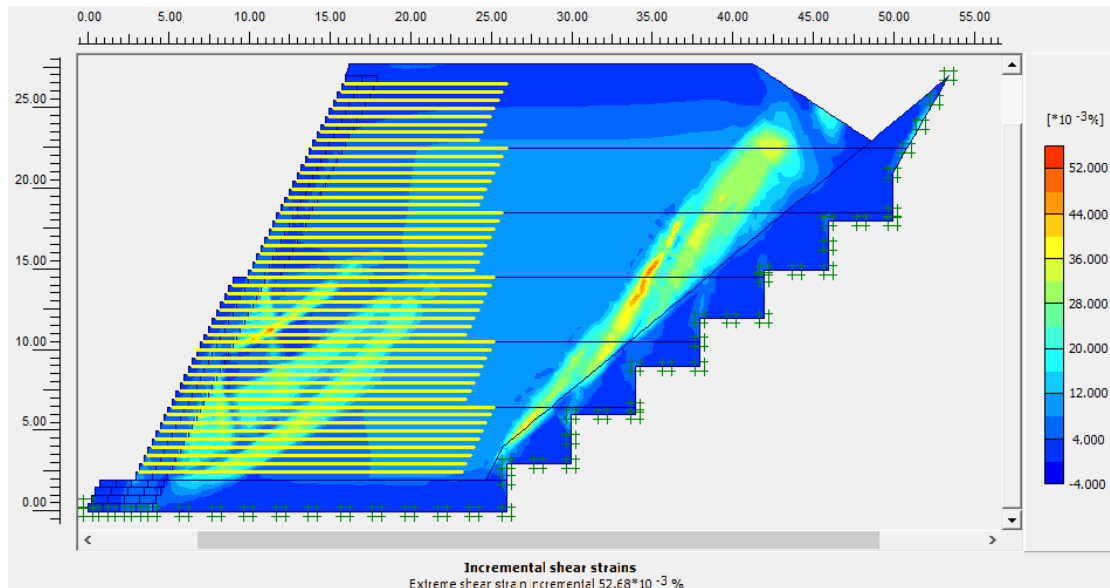
### 5.6.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΝΑ ΠΑΤΑΡΙ ΜΗΚΟΥΣ ΕΝΟΣ ΜΕΤΡΟΥ ΧΩΡΙΣ ΘΕΜΕΛΕΙΩΣΗ

Σε αυτή τη παραμετρική ανάλυση επιλύεται επίχωμα με ένα πατάρι μήκους ενός μέτρου, το οποίο δεν έχει θεμελίωση. Οι ολικές μετακινήσεις που καταγράφονται σε αυτή τη περίπτωση είναι της τάξης των 163 χιλιοστών ενώ ο συντελεστής ασφαλείας είναι 1,46. Παρατηρείται πολύ μικρή μείωση του συντελεστή ασφαλείας και αύξηση των μετακινήσεων. Οι επιφάνειες δυνητικής αστοχίας που αναπτύσσονται από το πατάρι προς τη βάση του επιχώματος εμφανίζονται πιο έντονες, γεγονός που είναι κατανοητό ότι οφείλεται στην απουσία υποστήριξης του παταριού. Ενώ οι υπόλοιπες επιφάνειες δυνητικής αστοχίας που αναπτύσσονται από το πόδι του πρανού αλλά και αυτές στο άοπλο τμήμα του, δεν φαίνεται να παρουσιάζουν διαφορές ούτε στον τρόπο που αναπτύσσονται (κυκλικές με συζυγίες), αλλά ούτε και στην ένταση.



Εικόνα 5.26 : Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με ένα πατάρι μήκους ενός μέτρου χωρίς θεμελίωση κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί



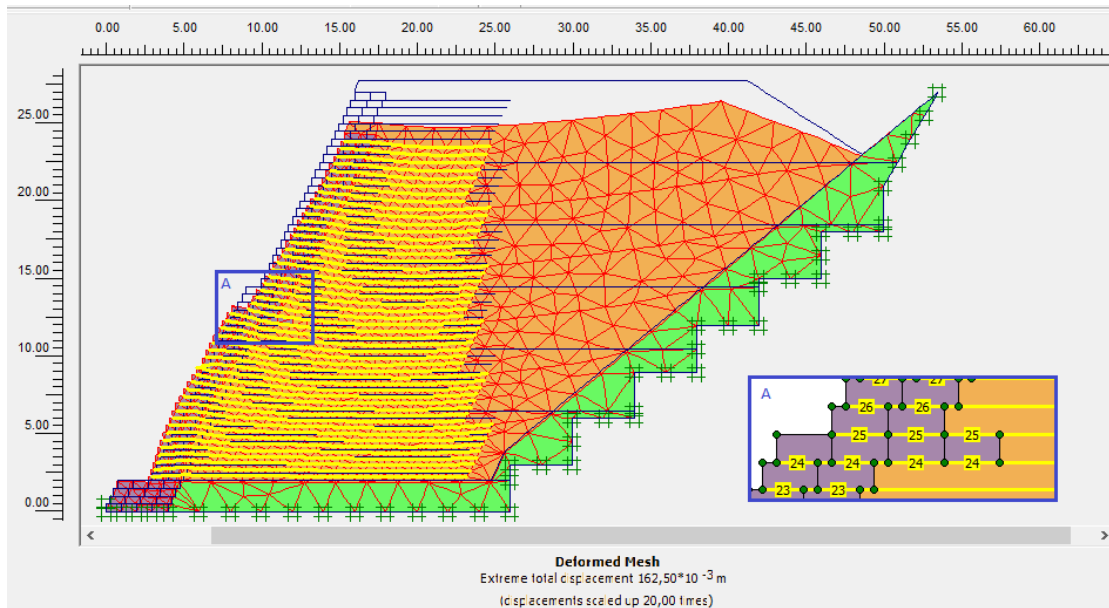
Εικόνα 5.27 : Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με ένα πατάρι μήκους ενός μέτρου χωρίς θεμελίωση

### 5.6.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΝΑ ΠΑΤΑΡΙ ΜΗΚΟΥΣ ΕΝΟΣ ΜΕΤΡΟΥ ΜΕ ΜΙΑ ΣΕΙΡΑ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΣΤΗ ΘΕΜΕΛΕΙΩΣΗ

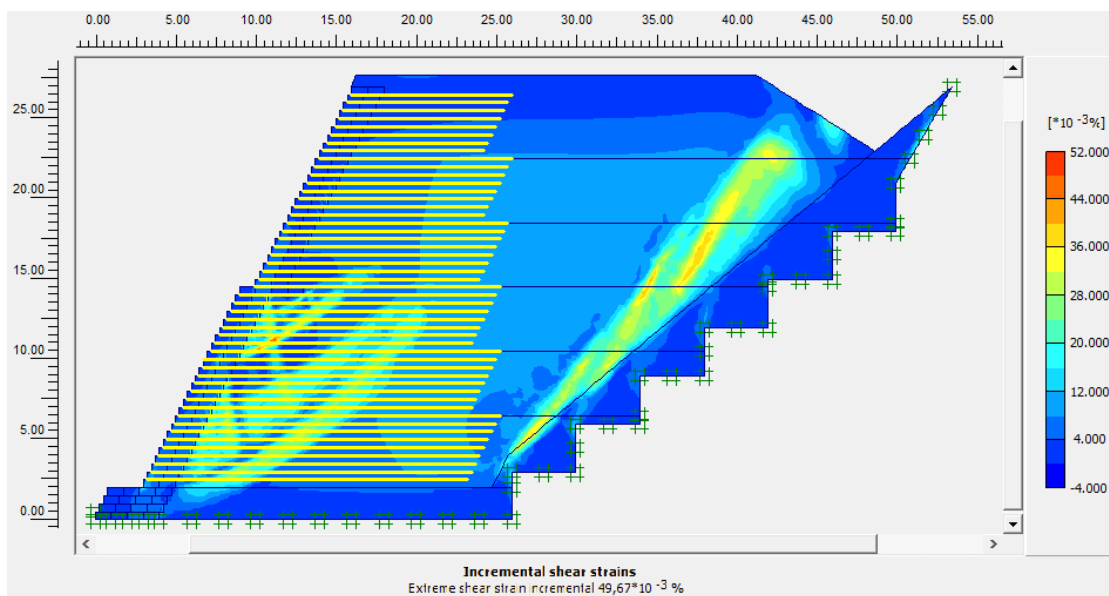
Η επίλυση που αφορά την κατασκευή οπλισμένου επιχώματος με ένα πατάρι μήκους ενός μέτρου και θεμελίωση μίας σειράς συρματοκιβωτίων, κατέγραψε μετακινήσεις της τάξης των 163 χιλιοστών και συντελεστή ασφαλείας 1,49. Στη περίπτωση αυτή δεν παρατηρείται ουσιαστική μεταβολή των μετακινήσεων και του συντελεστή ασφαλείας συγκριτικά πάντα με το επίχωμα αναφοράς.

Συζυγείς επιφάνειες δυνητικής αστοχίας ξεκινάνε από τη θεμελίωση του διαμορφωμένου οπλισμένου πρανούς και εκτείνονται μέχρι το ύψος του παταριού. Εμφανίζονται επίσης κυκλικές επιφάνειες δυνητικής αστοχίας που αρχίζουν από το πατάρι του πρανούς προς τη βάση. Τέλος στο άοπλο τμήμα φαίνεται να εμφανίζεται μια ζώνη δυνητικής ανάπτυξης μεγάλων παραμορφώσεων.

Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί



Εικόνα 5.28 : Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με ένα πατάρι μήκους ενός μέτρου με μια σειρά συρματοκιβωτίων στηθεμελίωση κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

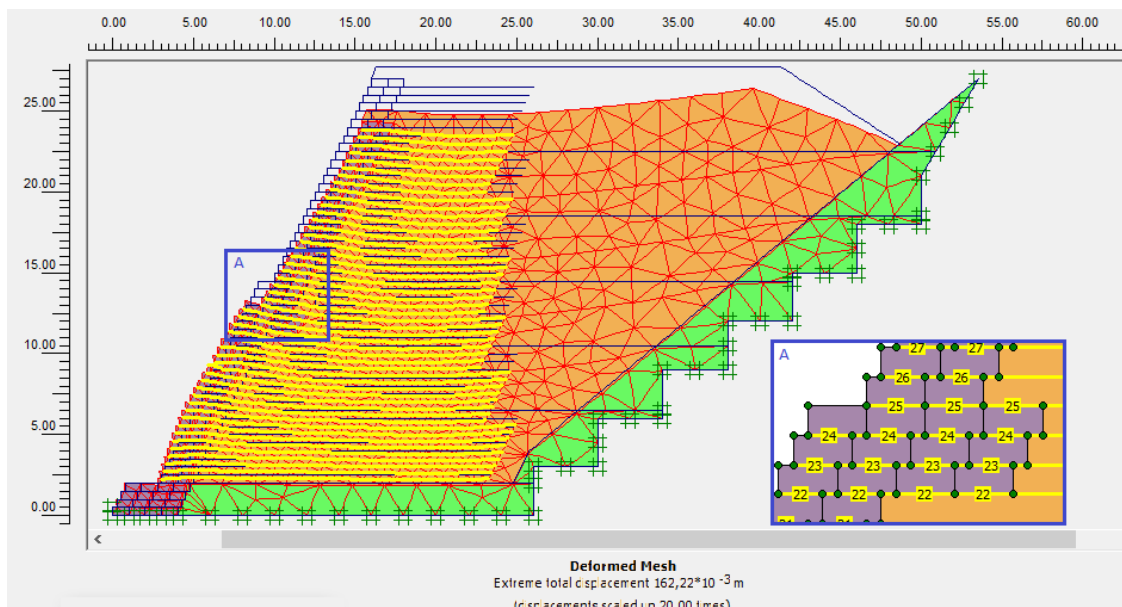


Εικόνα 5.29 : Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με ένα πατάρι μήκους ενός μέτρου μια σειρά συρματοκιβωτίων στηθεμελίωση

### 5.6.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΝΑ ΠΑΤΑΡΙ ΜΗΚΟΥΣ ΕΝΟΣ ΜΕΤΡΟΥ ΜΕ ΜΙΑ ΣΕΙΡΑ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΣΤΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ

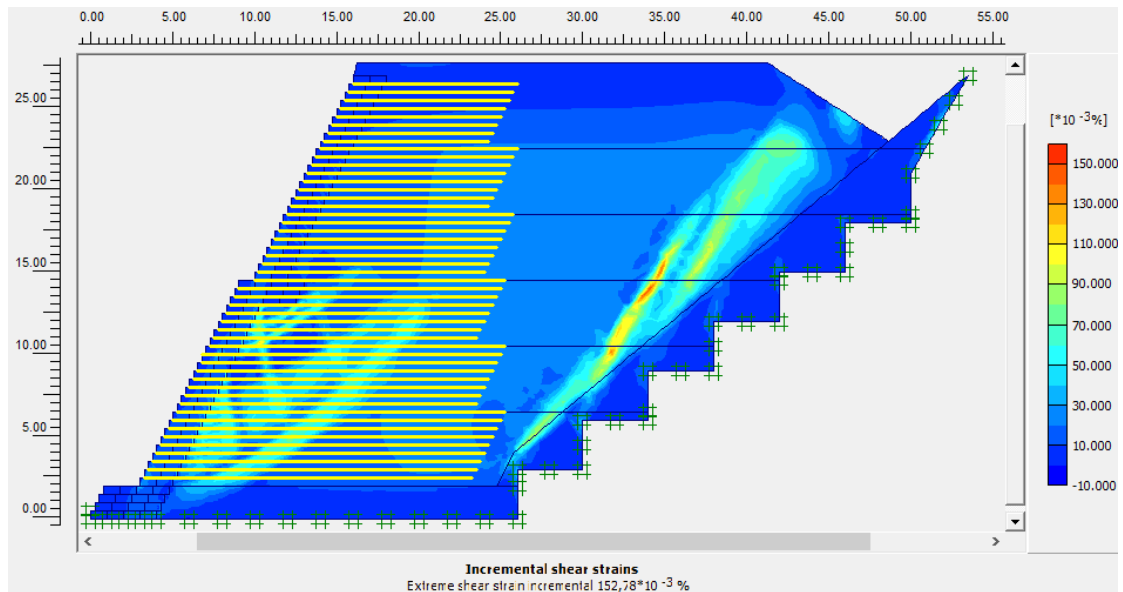
Στην επίλυση με την κατασκευή οπλισμένου επιχώματος με ένα πατάρι μήκους ενός μέτρου και τρεις σειρές συρματοκιβωτίων για θεμελίωση, καταγράφηκαν μετακινήσεις 162 χιλ ενώ ο συντελεστής ασφάλειας είναι 1,49.

Όπως και στην προηγούμενη επίλυση έτσι και σε αυτή δεν παρατηρούνται μεταβολές. Ούτε στα σημεία παρατήρησης που έχουν τοποθετηθεί στο ύψος του παταριού εμφανίζεται κάποιου είδους μεταβολή. Οι επιφάνειες δυνητικής αστοχίας στο άοπλο σώμα του επιχώματος αλλά και στο οπλισμένο που ξεκινούν από τη βάση του, συνεχίζουν να δηλώνουν την περιστροφική αστοχία του. Ενώ αυτές που αναπτύσσονται στη θεμελίωση του παταριού εμφανίζονται μικρότερες σε μέγεθος.



Εικόνα 5.30 : Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με ένα πατάρι μήκους ενός μέτρου με τρεις σειρές συρματοκιβωτίων στη θεμελίωση κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί



Εικόνα 5.31 : Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με ένα πατάρι μήκους ενός μέτρου με με τρεις σειρές συρματοκιβωτιων στη θεμελίωση του

#### 5.6.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 4<sup>ης</sup> ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Σε αυτή την ομάδα παραμετρικών αναλύσεων εξετάστηκε η επιρροή του αριθμού συρματοκιβωτίων ανά σειρά στη θεμελίωση του παταριού στην ευστάθεια και στις μετακινήσεις που εμφανίζονται σε επίχωμα με ένα πατάρι μήκους ενός μέτρου. Οι συντελεστές ασφαλείας και οι μετακινήσεις για κάθε επίλυση καταγράφονται στους Πίνακες 5.10 και 5.11 ενώ δημιουργούνται και τα σχετικά διαγράμματα.

Από τις παραμετρικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν προέκυψε ότι είναι σημαντική η ύπαρξη παταριού στη θεμελίωση καθώς όπως φαίνεται από το Διάγραμμα 5.7 του συντελεστή ασφαλείας έχουμε μεταβολή του συντελεστή από την απουσία στην ύπαρξη παταριού. Ωστόσο το μέγεθος της θεμελίωσης δεν φαίνεται να επηρεάζει τη συνολική ευστάθεια του οπλισμένου επιχώματος. Αυτό φαίνεται και από το διάγραμμα των μετακινήσεων όπου δεν εμφανίζεται καμία αυξομείωση στις καμπύλες.

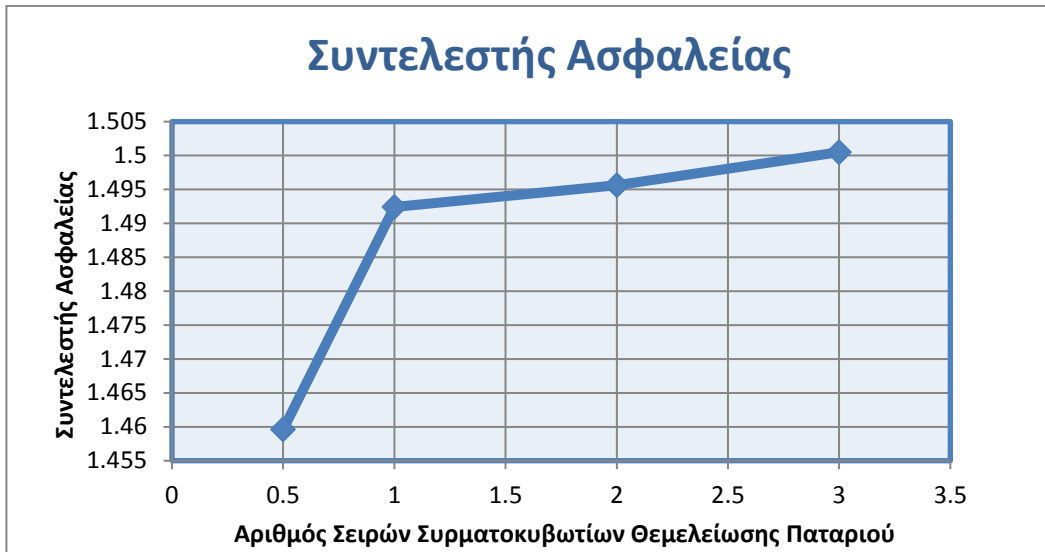
Τα παραπάνω οφείλονται στο γεγονός ότι η κατασκευή της θεμελίωσης του παταριού επιδρά μόνο σε ένα μικρό μέρος του παταριού και όχι σε όλο όπως συνέβη στη παραμετρική ανάλυση με τη προσθήκη επιπλέον συρματοκιβωτίων στην επένδυση του επιχώματος.

Πίνακας 5.10 : Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 4<sup>ης</sup> ομάδας παραμετρικών αναλύσεων

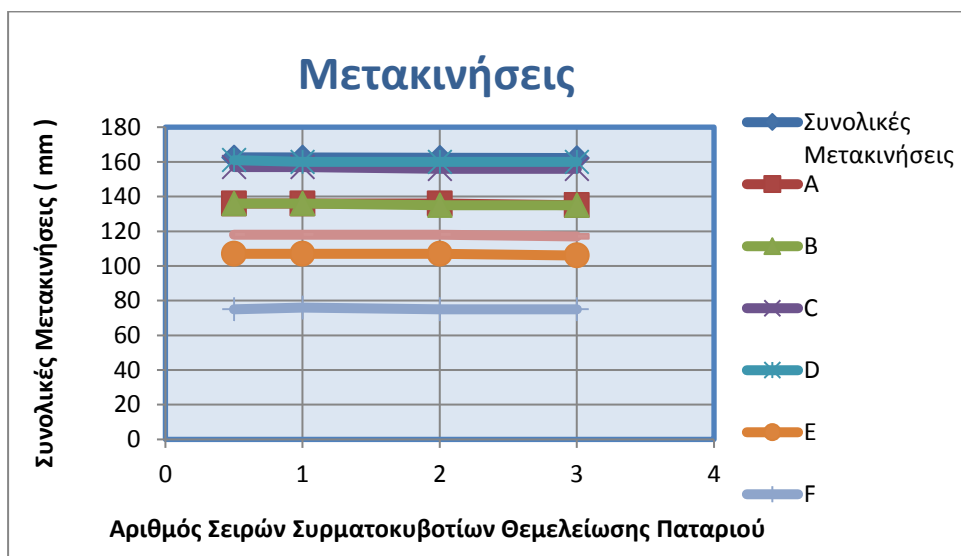
Αριθμός Σειρών Συρματοκιβωτιών Θεμελίωσης Παταριού	Συντελεστής ασφαλείας	Συνολικές Μετακινήσεις (mm)
<b>0</b>	<b>1,46</b>	<b>163</b>
<b>1</b>	<b>1,49</b>	<b>163</b>
<b>2</b>	<b>1,50</b>	<b>162</b>
<b>3</b>	<b>1,50</b>	<b>162</b>

Πίνακας 5.11 : Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 4<sup>ης</sup> ομάδας παραμετρικών αναλύσεων για τα σημεία παρατήρησης

Αριθμός Σειρών Συρματοκιβωτιών Θεμελίωσης Παταριού	A	B	C	D	E	F	G
<b>0</b>	<b>136</b>	<b>136</b>	<b>157</b>	<b>161</b>	<b>107</b>	<b>75</b>	<b>118</b>
<b>1</b>	<b>136</b>	<b>136</b>	<b>157</b>	<b>160</b>	<b>107</b>	<b>76</b>	<b>118</b>
<b>2</b>	<b>136</b>	<b>135</b>	<b>156</b>	<b>160</b>	<b>107</b>	<b>75</b>	<b>118</b>
<b>3</b>	<b>135</b>	<b>135</b>	<b>156</b>	<b>160</b>	<b>106</b>	<b>75</b>	<b>117</b>



Διάγραμμα 5.7 : Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας σε συνάρτηση με τον αριθμό σειρών συρματοκυβωτίων στη θεμελίωση του παταριού



Διάγραμμα 5.8 : Γραφική παράσταση μετακινήσεων σε συνάρτηση με τον αριθμό σειρών συρματοκυβωτίων στη θεμελίωση του παταριού

## 5.7 5<sup>η</sup> ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στην έκτη σειρά παραμετρικών αναλύσεων ερευνάται το πως επηρεάζεται η ευστάθεια του οπλισμένου επιχώματος και το μέγεθος των παραμορφώσεως του, όταν μεταβάλλεται ο αριθμός των παταριών. Οι επιλύσεις που πραγματοποιούνται



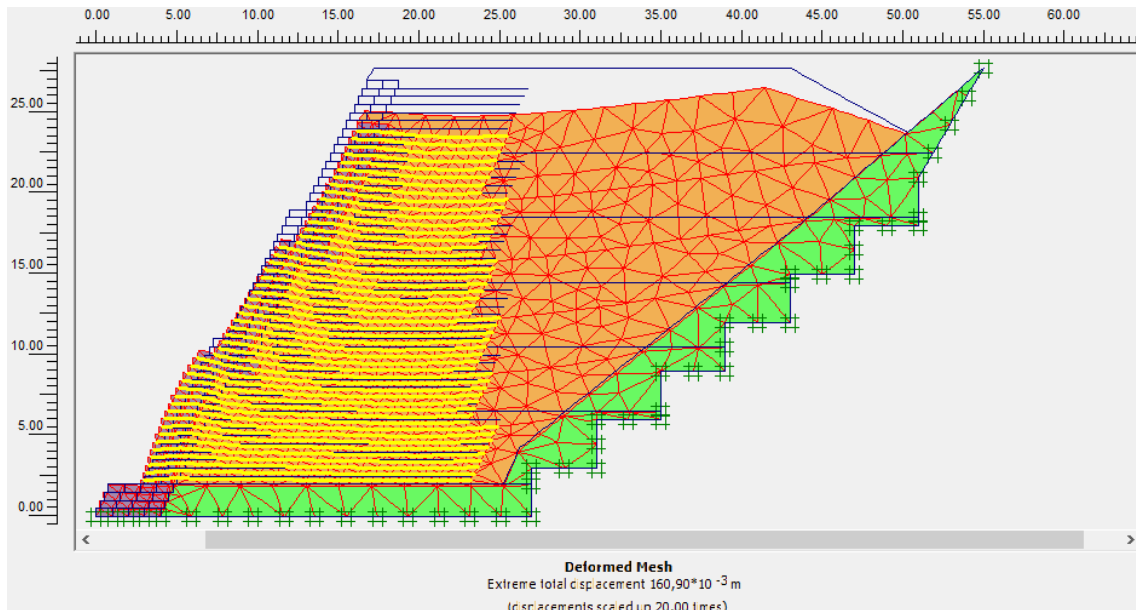
είναι για δύο, τρία και πέντε πατάρια και συγκρίνονται με το επίχωμα με ένα πατάρι και με το χωρίς πατάρι. Τα πατάρια που δημιουργούνται έχουν μήκος ένα μέτρο.

### 5.7.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΔΥΟ ΠΑΤΑΡΙΑ ΜΗΚΟΥΣ ΕΝΟΣ ΜΕΤΡΟΥ

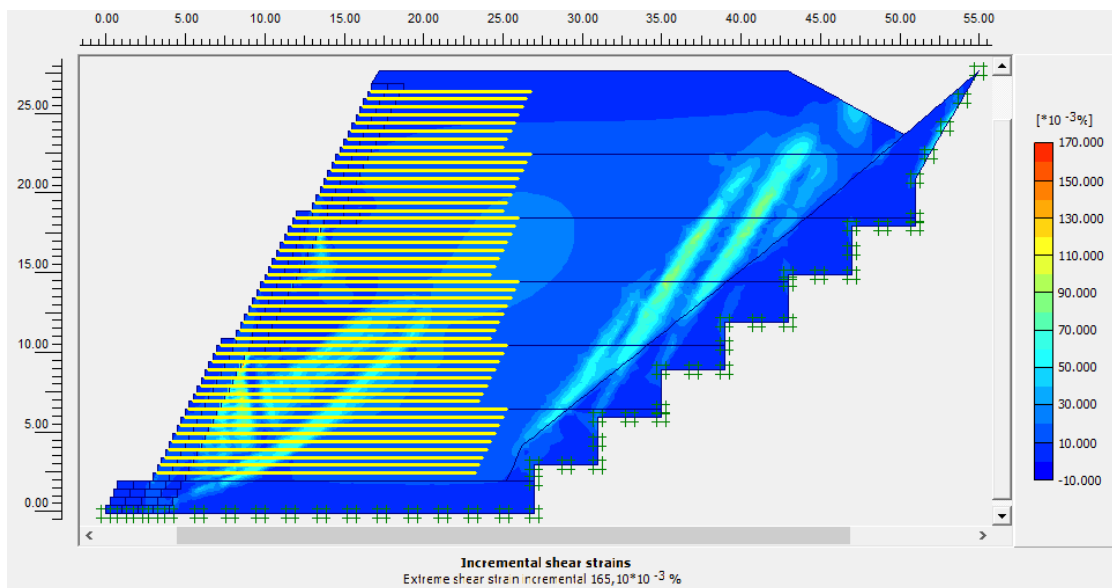
Σε αυτή τη παραμετρική ανάλυση επιλύεται επίχωμα με δύο πατάρια μήκους ενός μέτρου, με θεμελίωση δύο σειρών συρματοκιβωτίων. Τα πατάρια κατασκευάζονται στα 16 και 8 μέτρα από την στέψη του επιχώματος. Η νέα κλίση του οπλισμένου επιχώματος είναι  $61^\circ$

Οι ολικές μετακινήσεις που καταγράφονται σε αυτή τη περίπτωση είναι της τάξης των 161 χιλιοστών ενώ ο συντελεστής ασφαλείας είναι 1,5. Παρατηρείται μείωση των μετακινήσεων και αύξηση του συντελεστή ασφαλείας. Κα σε αυτή τη περίπτωση από τη βάση τη θεμελίωση του οπλισμένου πρανούς διαμορφώνονται συζυγείς επιφάνειες δυνητικής αστοχίας οι οποίες εκτείνονται μέχρι την μέση του οπλισμένου σώματος του επιχώματος. Τέτοιες επιφάνειες αναπτύσσονται και από τα δύο πατάρια και έχουν φορά προς τη βάση του. Τέλος δεν απουσιάζουν οι τρεις συζυγείς επιφάνειες στο άοπλο μέρος του επιχώματος, οι οποίες φαίνεται να είναι μικρότερες σε ένταση και έκταση από αυτές που διαμορφώνονται στα επιχώματα χωρίς και με ένα πατάρι.

Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί



Εικόνα 5.32 : Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με δύο πατάκια μήκους ενός μέτρου κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

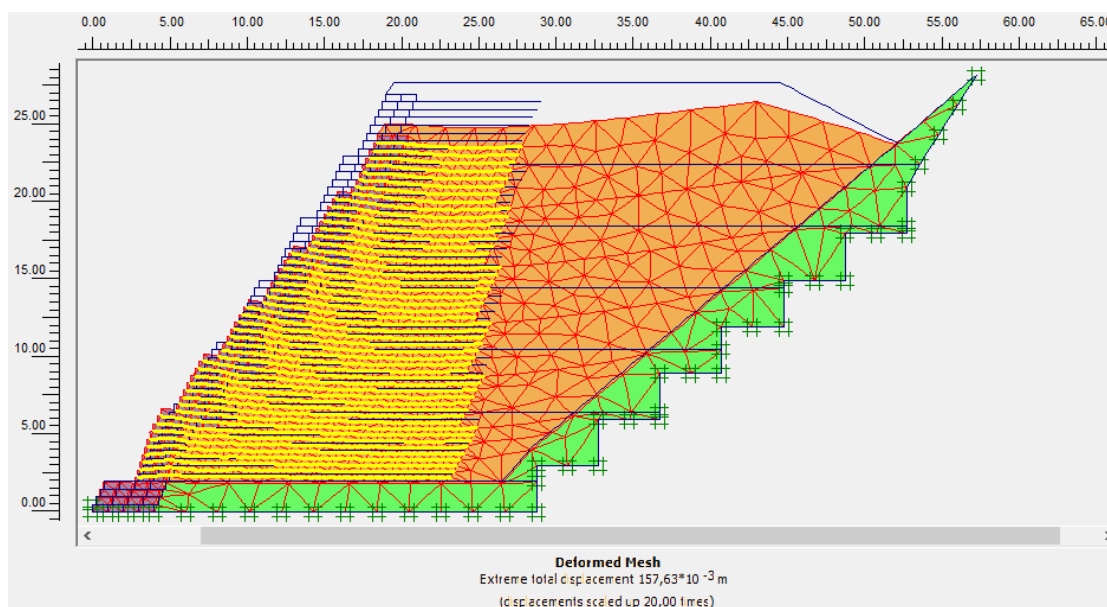


Εικόνα 5.33 : Αποτύπωση επιφάνειας δνητικής αστοχίας επιχώματος με δύο πατάκια μήκους ενός μέτρου

## 5.7.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΠΕΝΤΕ ΠΑΤΑΡΙΑ ΜΗΚΟΥΣ ΕΝΟΣ ΜΕΤΡΟΥ

Σε αυτή τη παραμετρική ανάλυση επιλύεται επίχωμα με πέντε πατάρια μήκους ενός μέτρου, με θεμελίωση δύο σειρών συρματοκιβωτίων. Τα πατάρια κατασκευάζονται στα 20, 16, 12, 8 και 4 μέτρα από την στέψη του επιχώματος. Η νέα κλίση του επιχώματος είναι  $57^\circ$ .

Καταγράφονται, σε αυτή τη περίπτωση, ολικές μετακινήσεις της τάξης των 158 χιλιοστών και ο συντελεστής ασφαλείας 1,77. Παρατηρείται μεγάλη μείωση των μετακινήσεων και αύξηση του συντελεστή ασφαλείας. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, από τη βάση τη θεμελίωση του οπλισμένου πρανούς διαμορφώνεται επιφάνεια δυνητικής αστοχίας η οποία δεν είναι σαφής, αλλά η έκταση τους παραμένει ίδια.

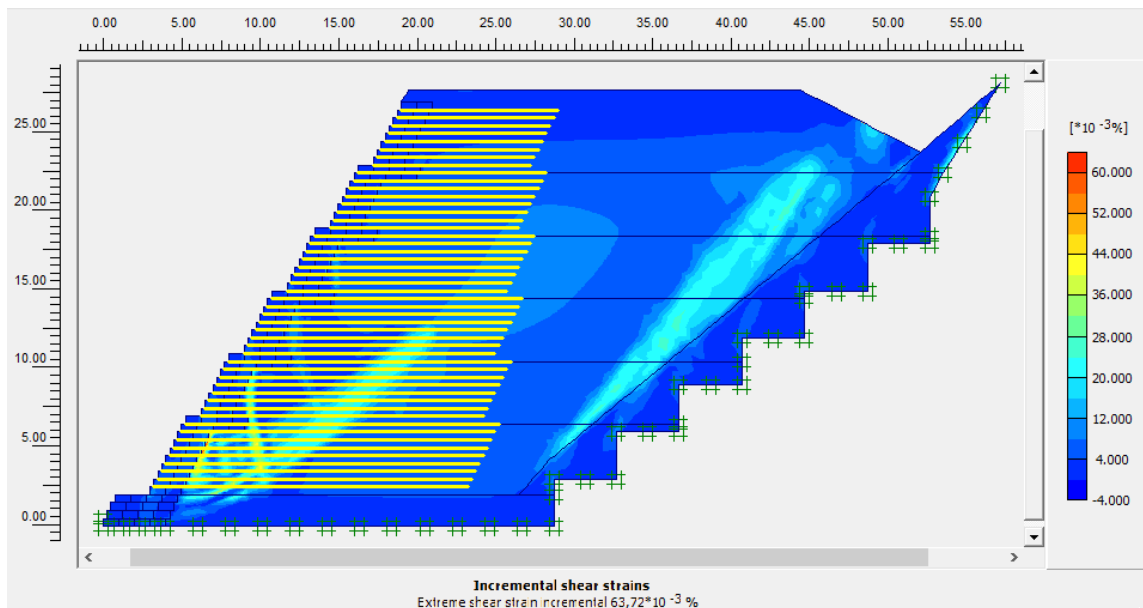


Εικόνα 5.34 : Παραμόρφωση γεωμετρίας επιχώματος με πέντε πατάρια μήκους ενός μέτρου κατά το τελικό στάδιο κατασκευής

Επιφάνειες δυνητικής αστοχίας αναπτύσσονται και από τα 5 πατάρια και έχουν φορά προς τη βάση του επιχώματος. Μπορεί να παρατηρηθεί ότι το μέγεθος αυτών των επιφανειών μειώνεται από το πρώτο πατάρι προς το πέμπτο. Αυτό είναι

δυνατό να οφείλεται στο γεγονός ότι σε κάθε ανώτερο πατάρι ,το βάρος του των υπερκειμένων είναι μικρότερο .

Τέλος στο άοπλο μέρος του επιχώματος, εμφανίζεται μια ενιαία ζώνη δυνητικής αστοχίας όπου δεν είναι ευδιάκριτες οι τρεις συγγείς επιφάνειες δυνητικής αστοχίας που δημιουργούνται στο επίχωμα αναφοράς (Ενότητα 5.2).



Εικόνα 5.35 : Αποτύπωση επιφάνειας δυνητικής αστοχίας επιχώματος με πέντε πατάρια μήκους ενός μέτρο

### 5.7.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 5<sup>ης</sup> ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Σε αυτή την ομάδα παραμετρικών αναλύσεων εξετάστηκε η επιρροή της δημιουργίας παταριών στην ευστάθεια και στις παραμορφώσεις του επιχώματος . Οι συντελεστές ασφαλείας και οι μετακινήσεις για κάθε επίλυση καταγράφονται στους Πίνακες 5.12 και 5.13 ενώ κατασκευάζονται και τα σχετικά διαγράμματα.

Από τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν προέκυψε ότι η δημιουργία παταριών σε επίχωμα έχει ως αποτέλεσμα τη προοδευτική μείωση των μετακινήσεων καθώς και την αύξηση του συντελεστή ασφαλείας . Αυτό φαίνεται να οφείλεται στο γεγονός ότι με την αύξηση των παταριών αλλάζει και η κλίση του πρανούς. Οπότε μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η μείωση της κλίσης του οπλισμένου

Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί

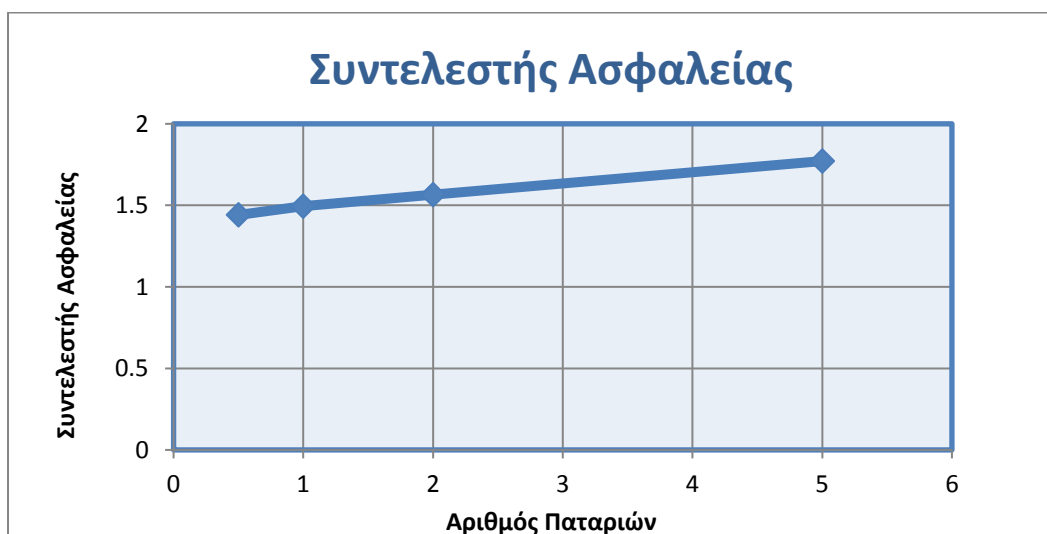
επιχώματος φαίνεται να επηρεάζει θετικά την ευστάθεια του. Ενώ ταυτόχρονα παρατηρείται μείωση των δυνητικών αστοχιών στο άοπλο σώμα του πρανούς.

Πίνακας 5.12 : Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 5<sup>ης</sup> ομάδας παραμετρικών αναλύσεων

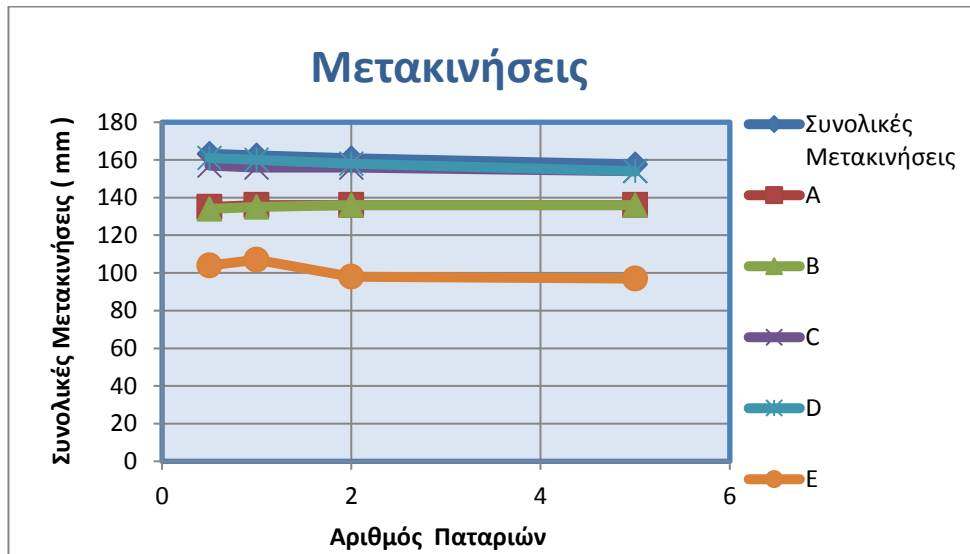
Αριθμός Παταριών	Συντελεστής ασφαλείας	Συνολικές Μετακινήσεις (mm)
0	1,44	163
1	1,50	162
2	1,57	161
5	1,77	158

Πίνακας 5.13 : Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 5<sup>ης</sup> ομάδας παραμετρικών αναλύσεων για τα σημεία παρατήρησης

Αριθμός Παταριών	A	B	C	D	E
0	135	134	157	161	104
1	136	135	156	160	107
2	136	136	156	158	98
5	136	136	154	154	97



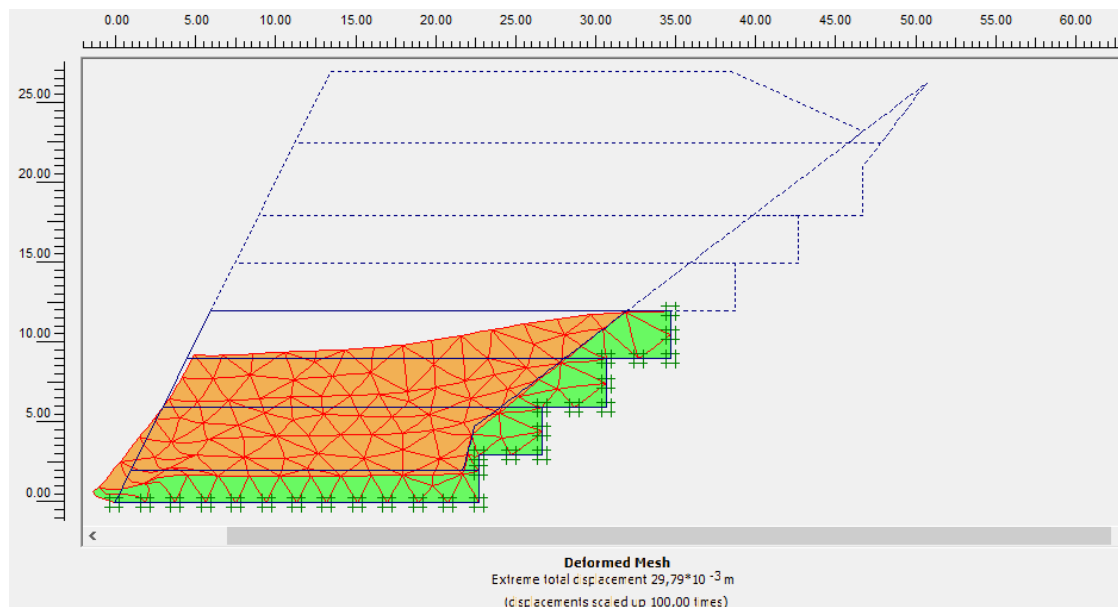
Διάγραμμα 5.9 : Γραφική παράσταση συντελεστή ασφαλείας σε συνάρτηση με τον αριθμό των παταριών



Διάγραμμα 5.10 : Γραφική παράσταση μετακινήσεων σε συνάρτηση με τον αριθμό των παταριών

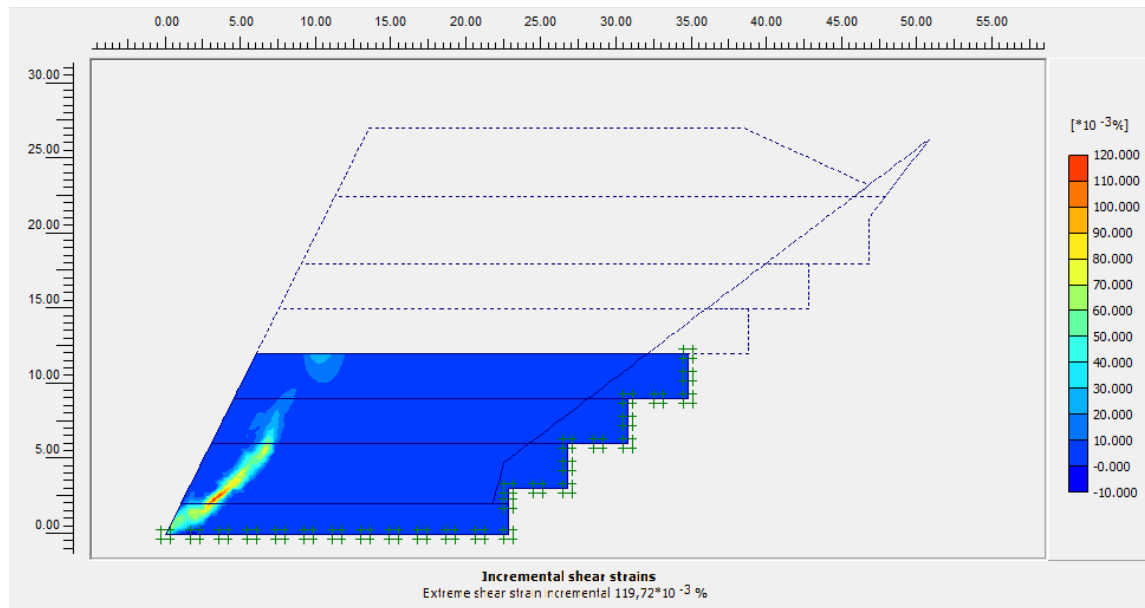
## 5.8 ΕΠΙΛΥΣΗ ΑΟΠΛΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ

Σε αυτή την ενότητα τα επιλυθεί επίχωμα ίδιας γεωμετρίας με το επίχωμα αναφοράς αλλά χωρίς χαλύβδινα πλέγματα και χωρίς την επένδυση συρματοκιβωτίων. Το άοπλο επίχωμα όπως και το επίχωμα αναφοράς, έχει κλίση  $63^\circ$ , κατάστρωμα μήκους 25 μέτρων και εξυγιαντική στρώση δύο μέτρα ( Εικόνα 5.37 ).



Εικόνα 5.36 : Παραμόρφωση γεωμετρίας άοπλου επιχώματος σε ύψος 15 μέτρων

Κατά τη διάρκεια της επίλυσης το επίχωμα αστοχεί σε ύψος 15 μέτρων. Ο τρόπος αστοχίας είναι περιστροφική αστοχία, η οποία προκαλείται από μια κυκλική επιφάνεια αστοχίας η οποία διέρχεται από το πόδι του διαμορφωμένου πρανούς. (Εικόνα 5.38)



Εικόνα 5.37 : Αποτύπωση επιφάνειας αστοχίας άοπλου επιχώματος

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν κατά κύριο λόγο τα οπλισμένα επιχώματα. Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μια μικρή ανασκόπηση των θεωρητικών κεφαλαίων, θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα των επιλύσεων που έγιναν με το Plaxis 2D και τέλος με βάση αυτά θα δοθεί μια νέα κατασκευαστική λύση.

### 6.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα οπλισμένα επιχώματα είναι οικονομικές και «οικολογικές» κατασκευές, οι οποίες έχουν μεγάλη αποστραγγιστική ικανότητα, μεγάλη πλαστικότητα, μεγάλη ανοχή στις μετακινήσεις καθώς επίσης και μεγάλη διάρκεια ζωής (Λουπασάκης, 2015).

Τα επιχώματα αυτά συνήθως οπλίζονται με γεωπλέγματα, γεωφάσματα και μεταλλικά πλέγματα και πληρώνονται με εδαφικά υλικά τα οποία επιδιώκεται να είναι προϊόντα εκσκαφής από παρακείμενες θέσεις του υφιστάμενου έργου ή από αποστρογγυλεμένα βραχώδη υλικά (υλικά κοίτης ποταμού) στην περίπτωση που είναι επιθυμητό το μεγαλύτερο βάρος της κατασκευής ή αυτή πρόκειται να βυθιστεί στο νερό.

Τα δύο βασικά πλεονεκτήματα των οπλισμένων επιχωμάτων σε σύγκριση με τα άοπλα, είναι ότι μπορούν να κατασκευαστούν με μεγάλο ύψος, μεγάλη κλίση, καθώς επίσης να παραλάβουν και μεγαλύτερα φορτία. Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται από την επίλυση άοπλου επιχώματος ύψους 25 μέτρων και κλίσης  $63^\circ$  (Ενότητα 5.8), το οποίο αστοχεί κατά την κατασκευή του, στα 15 μέτρα.

Μελετώντας τα αποτελέσματα των παραμετρικών αναλύσεων εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα :

Στην **πρώτη ομάδα** παραμετρικών αναλύσεων, εξετάστηκε η επιρροή του αριθμού των συρματοκιβωτιών στην επένδυση σε κάθε αναβαθμό του επιχώματος. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδειξαν προοδευτική αύξηση του συντελεστή



ασφαλείας και μείωση των μετακινήσεων, με την αύξηση των συρματοκιβωτίων. Οπότε, όπως και αναμενόταν, ο αριθμός των συρματοκιβωτίων στην πρόσοψη του πρανούς επηρεάζει την ευστάθεια του, και δίνει καλύτερα αποτελέσματα για μεγαλύτερο όγκο επένδυσης.

Στην **δεύτερη ομάδα** παραμετρικών αναλύσεων, εξετάστηκε η επιρροή του αριθμού των συρματοκιβωτίων στη θεμελίωση του οπλισμένου επιχώματος. Μεταβολή παρατηρήθηκε μόνο όταν τα συρματοκιβώτια εισήλθαν στο χώρο όπου αναπτύσσονταν οι αστοχίες. Όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα, η επιρροή της αύξησης των συρματοκιβωτίων οφείλεται στον τρόπο που αναπτύσσονται οι επιφάνειες δυνητικής αστοχίας στη συγκεκριμένη γεωμετρία επιχώματος.

Στη **τρίτη ομάδα** παραμετρικών αναλύσεων, εξετάστηκε η επιρροή του μήκους του παταριού. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδειξαν ότι κρίνεται σημαντική η ύπαρξη παταριού αλλά ωστόσο το μήκος του δεν επηρεάζει την ευστάθεια του επιχώματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το μήκος των παταριών που εξετάστηκαν είναι μικρό ώστε να μπορέσει να μεταβάλλει τη γωνία κλίσης του επιχώματος και άρα και την ευστάθεια του.

Στη **τέταρτη ομάδα** παραμετρικών αναλύσεων, εξετάστηκε η επιρροή της θεμελίωσης του παταριού. Με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων η ύπαρξη θεμελίωσης παταριού παρουσιάζεται σημαντική αλλά ωστόσο το μέγεθος της δεν φαίνεται να επηρεάζει την ευστάθεια του επιχώματος. Οι μετακινήσεις, επίσης εμφανίζονται αμελητέες. Τα παραπάνω οφείλονται στο γεγονός ότι η τροποποίηση που γίνεται σε ένα σημείο του επιχώματος και όχι σε όλο όπως συμβαίνει με την μεταβολή των συρματοκιβωτίων στην επένδυση.

Στη **πέμπτη ομάδα** παραμετρικών αναλύσεων, εξετάστηκε η επιρροή του αριθμού των παταριών του επιχώματος. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδειξαν προοδευτική αύξηση του συντελεστή ασφαλείας και μείωση των μετακινήσεων, με την αύξηση των παταριών. Οπότε συμπεραίνεται ότι η ύπαρξη παταριού συμβάλλει στην ευστάθεια του επιχώματος και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι με την αύξηση των παταριών, μειώνεται η γωνία κλίσης του επιχώματος.

### 6.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΠΡΟΤΑΣΗ

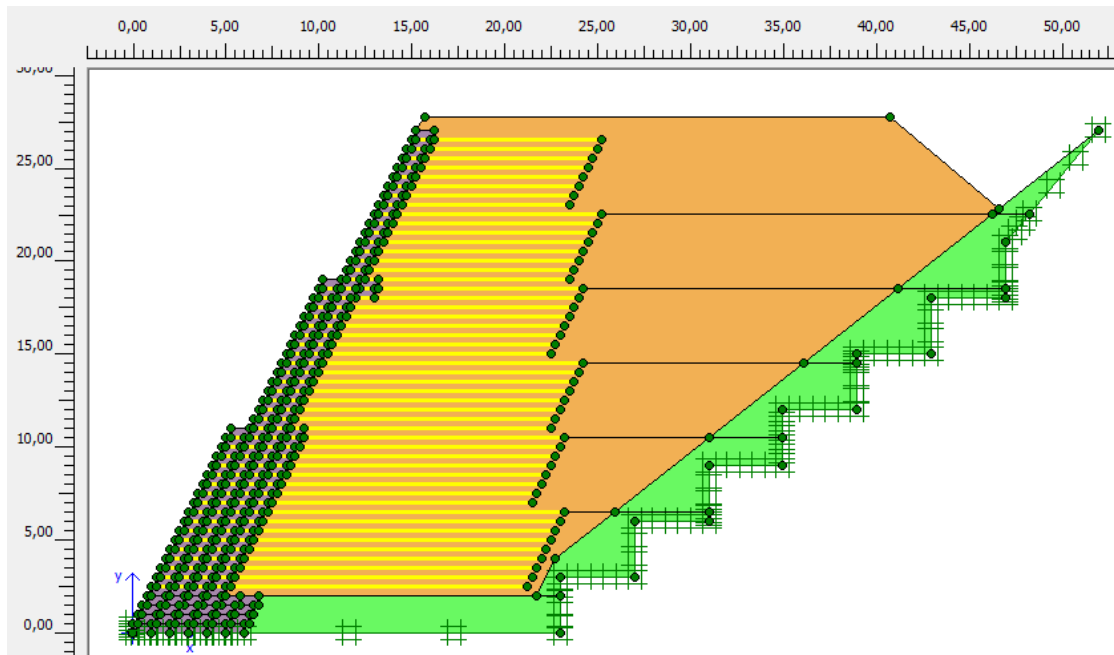
Σε αυτό το σημείο θα γίνει κατασκευαστική πρόταση με βάση τα συμπεράσματα που διεξαχθήκαν στην προηγούμενη ενότητα. Η τομή του επιχώματος που κατασκευάστηκε φαίνεται στην Εικόνα 6.1 .

Το επίχωμα κατασκευάζεται με δύο πατάρια, εφόσον παρατηρήθηκε ότι με την αύξηση των παταριών μειώνονται οι μετακινήσεις. Ο λόγος που δεν επιλέγονται πέντε πατάρια είναι γιατί ο χρόνος κατασκευής είναι μεγαλύτερος και το μέγεθος της απαλλοτρίωσης μεγαλύτερο. Τα πατάρια έχουν θεμελίωση διπλή όπως και στο επίχωμα αναφοράς, ενώ το μήκος τους επιλέγεται 1,25 μέτρα. Η επιλογή αυτού του μήκους παταριού οφείλεται στο γεγονός ότι όταν το μήκος του είναι 1 μέτρο τα συρματοκιβώτια τοποθετούνται ακριβώς στις συρραφές τους και αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερες μετακινήσεις. Έτσι επιλέγεται το μήκος 1,20 , το οποίο γίνεται 1,25 μέτρα για χάρη απλοποίησης του σχεδιασμού στο πρόγραμμα.

Στη θεμελίωση τοποθετούνται τέσσερα συρματοκιβώτια όπισθεν των δύο βασικών συρματοκιβωτίων της επένδυσης. Αυτό γίνεται διότι από τις επιλύσεις προέκυψε ότι με την προσθήκη αυτού του αριθμού συρματοκιβωτίων, εξαλείφονται οι επιφάνειες δυνητικής αστοχίας που αναπτύσσονται από την θεμελίωση.

Στην επένδυση μέχρι και το πρώτο πατάρι τοποθετούνται τέσσερα συρματοκιβώτια σε κάθε αναβαθμό, διότι σε αυτή τη περιοχή παρατηρήθηκε ανάπτυξη επιφανειών δυνητικής αστοχίας. Μέχρι και το δεύτερο πατάρι η επένδυση σχεδιάζεται με δύο συρματοκιβώτια σε κάθε αναβαθμό, όπως και στο επίχωμα αναφοράς. Ενώ από το δεύτερο πατάρι και μέχρι τη στέψη, όπου δεν παρουσιάζονται προβληματικές περιοχές, ο αναβαθμός διαμορφώνεται από ένα συρματοκιβώτιο.

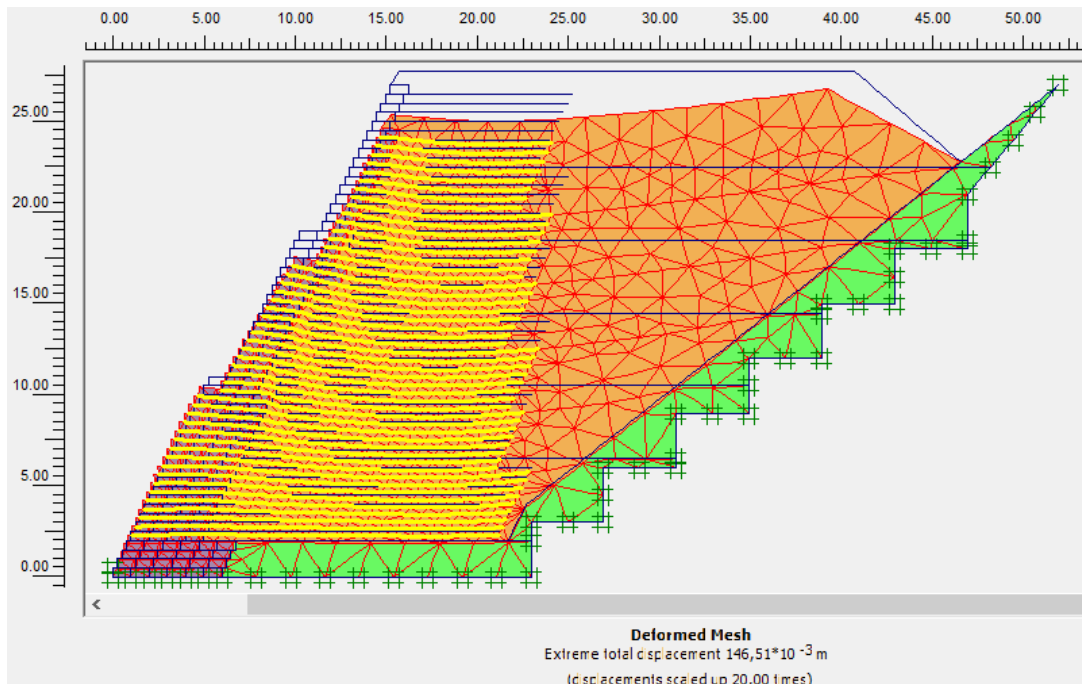
Τέλος πραγματοποιείται μια τελική επίλυση η οποία αφορά το προτεινόμενο επίχωμα



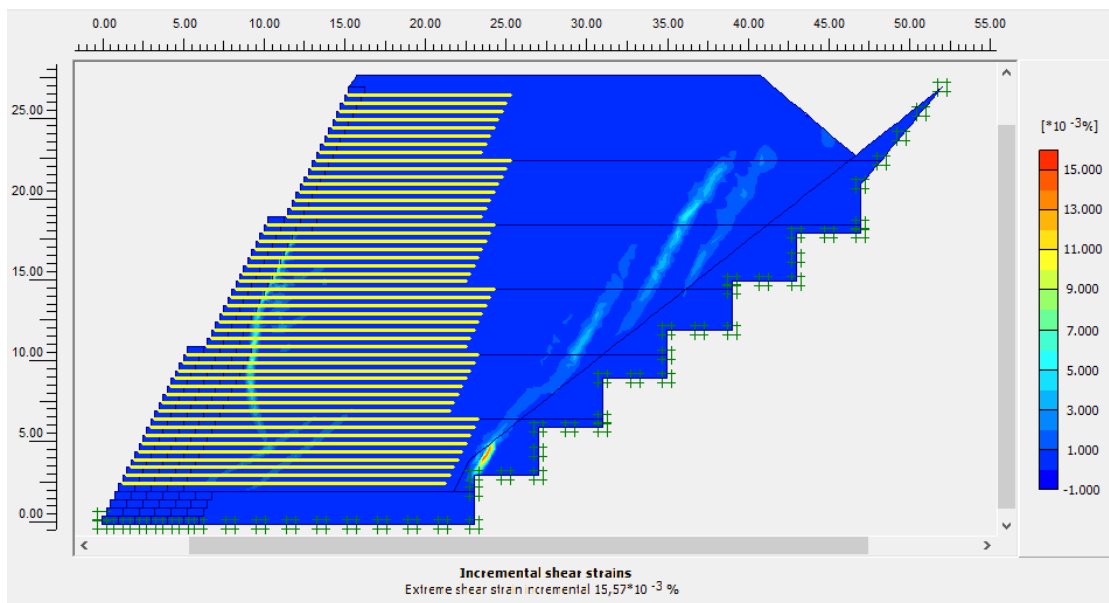
Εικόνα 6.1 : Τομή προτεινόμενου επιχώματος

Το προτεινόμενο επίχωμα επίλυεται και από την επίλυση προκύπτουν ολικές μετακινήσεις 146,5 χιλιοστών και συντελεστής ασφαλείας 1,70. Η μείωση των μετακινήσεων είναι μεγάλη, το ίδιο και η αύξηση του συντελεστή ασφαλείας. Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 6.3, οι επιφάνειες δυνητικής αστοχίας που αναπτύσσονταν από το πόδι του επιχώματος δεν υπάρχουν και οι επιφάνειες δυνητικής αστοχίας στο άοπλο μέρος του επιχώματος έχουν μικρότερη ένταση. Η μόνη μεγάλη επιφάνεια δυνητικής αστοχίας αναπτύσσεται από τη θεμελίωση του παταριού έως τη βάση και οφείλεται στην πίεση που ασκεί το βάρος των συρματοκιβωτίων της θεμελίωσης του παταριού.

Μαγδαληνή Μπενζελούν-Αραμπί

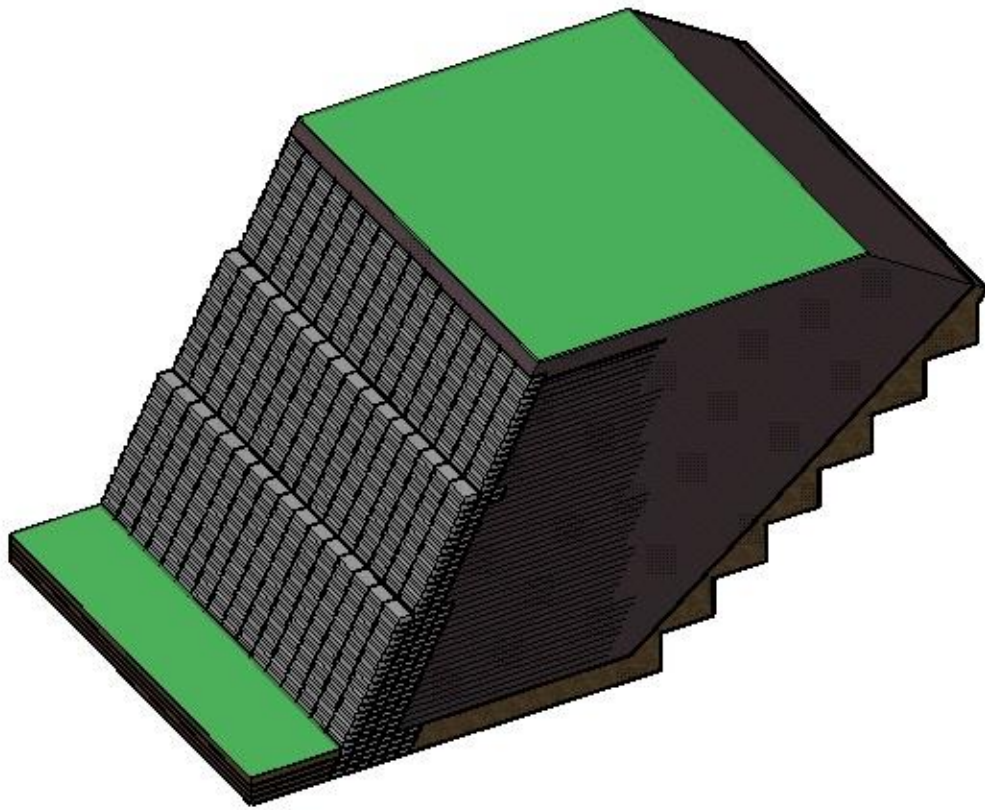


Εικόνα 6.2 : Παραμόρφωση γεωμετρίας προτεινόμενου επιχώματος



Εικόνα 6.3 : Αποτύπωση δυνητικής επιφάνειας αστοχίας του προτεινόμενου επιχώματος

Μετά την επίλυση του προτεινόμενου κατασκευάστηκε στο AutoCAD 3D το τρισδιάστατο μοντέλο του, το οποίο φαίνεται στην Εικόνα 6.4 , ώστε να δοθεί μια πιο ρεαλιστική όψη στη κατασκευαστική λύση .



Εικόνα 6.4 : Τρισδιάστατο μοντέλο του προτεινόμενου επιχώματος

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] **ΥΠΕΧΩΔΕ, 2006**, Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές - ΠΕΤΕΠ 02-07-01-00
- [2] **Αικ. Καψαμπέλη, 2006**, Σημειώσεις μαθήματος Τεχνικά Υλικά, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών (ΕΜΠ)
- [3] **Χρήστος Τσατσάνιφος, 2014**, Γεωσυνθετικά Υλικά, ΠΑΝΓΑΙΑ Σύμβουλοι Μηχανικοί Ε.Π.Ε  
[http://users.ntua.gr/gbouck/downfiles/special\\_topics\\_of\\_foundation\\_engineering-8\\_15.pdf](http://users.ntua.gr/gbouck/downfiles/special_topics_of_foundation_engineering-8_15.pdf)
- [4] **Γιώργος Μπελόκας, 2015**, Σημειώσεις μαθήματος Γεωτεχνικά Έργα, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, ΤΕΙ Αθήνας  
(<https://eclass.teiath.gr/modules/document/file.php/ET200/7.RetainingWalls.pdf>)
- [5] **Νάσκος Ν., 2007**, Οπλισμένα Επιχώματα - Στοιχεία Σχεδιασμού, Κατασκευής και Ελέγχων Ευστάθειας, Αθήνα, ΤΕΕ
- [6] **Γεώργιος Χρ.Κούκης και Νικόλαος Σαμπατακάκης, 2007**, Γεωλογία Τεχνικών Έργων, Αθήνα, Εκδόσεις Παπασωτηρίου
- [7] **Κωνσταντίνος Λουπασάκης, 2015**, Σημειώσεις διαλέξεων μαθήματος Βελτίωσης Γεωτεχνικής Συμπεριφοράς Γεωλογικών Σχηματισμών
- [8] **Παπαχαλαράμπος Γ., Καββάδας Μιχάλης, Καραϊσκού Ε., Κοντού Μ., Σωτηρόπουλος Ηλίας**, Μελέτη και Κατασκευή Οδικού Επιχώματος επί Πολύ Μαλακής Αργίλου, από Ελαφρά Υλικά Διογκωμένης Πολυστερίνης (EPS), 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, 29/09 – 1/10, 2010, Βόλος
- [9] **Ι. Φίκιρης, Χ.Γ. Μαυρομάτη, 2007**, Εμπειρίες από τη Μελέτη και Κατασκευή Υψηλών Οπλισμένων Επιχωμάτων Αυτοκινητοδρόμων, με Χρήση Γεωπλεγμάτων, Ημερίδα : Γεωτεχνικές Εφαρμογές Γεωσυνθετικών Υλικών, Αθήνα, ΤΕΕ

- [10] **Ιωάννης Δ. Κοφίτσας, 1997**, Στοιχεία Οδοποιίας, Εκδόσεις «ΙΩΝ»
- [11] **Brinkgreve R.B.J, 2002**, Plaxis 2D manual-Tutorial Manual, Delft University of Technology & PLAXIS, The Netherlands. .
- [12] **Brinkgreve R.B.J, 2002**, Plaxis 2D manual-General Information, Delft University of Technology & PLAXIS, The Netherlands. .

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΕΣ

- [1] **Tilahun Tadesse , 2006**, Reinforced Earth Retaining Wall Design Using Reinforcement Steel with Gabion Facing, Addis Ababa University
- [2] **Γιαννουσάκης Μ. , 2013** , Ανάλυση ευστάθειας επιχωμάτων έργων οδοποιίας οπλισμένων με συρματοκιβώτια , Αθήνα , ΕΜΠ

## ΙΣΤΙΟΤΟΠΟΙ

- [1] **www.retainingsolutions.com** , Ιούνιος 2017  
<http://www.retainingsolutions.com.au/retaining-walls/reinforced-earth-panel-walls>
- [2] **www.gabion.gr**, Ιούνιος 2017  
<http://www.gabion.gr/portfolio.html>
- [3] **www.tencate.com** , Ιούνιος 2017  
<http://www.tencate.com/flippingbook/publicaties/TenCate%20Soil%20Reinforcement%20Case%20Studies/files/assets/downloads/publication.pdf>
- [4] **www.geognosi.gr** , Ιούνιος 2017  
[http://geognosi.gr/tsatsos/photo\\_geotech.html](http://geognosi.gr/tsatsos/photo_geotech.html)

[5] [www.panmetal.gr](http://www.panmetal.gr) , Τεχνικός Φάκελος , Ιούνιος 2017

[6] [www.civcal.media.hku.hk](http://www.civcal.media.hku.hk) , Ιούνιος 2017

[http://civcal.media.hku.hk/wkexpress/ground/preload/\\_pre1.htm](http://civcal.media.hku.hk/wkexpress/ground/preload/_pre1.htm)

[7] [www.tenax.net](http://www.tenax.net), Ιούνιος 2017

[8] [www.tailings.info](http://www.tailings.info), Ιούνιος 2017

<http://www.tailings.info/casestudies/highland.htm>

[9] [www.unisol.gr](http://www.unisol.gr) , Ιούνιος 2017

<http://www.unisol.gr/TechnicalSolutions/NewTechnicalSolutions/Geofoam/Geofoam.aspx>

[10] [www.styropan.gr](http://www.styropan.gr), Ιούνιος 2017

<http://www.styropan.gr/%CE%B3%CE%B5%CF%89%CE%B1%CF%86%CF%81%CF%8C%CF%82.html>

[11] [www.naue.com](http://www.naue.com) , Ιούνιος 2017

<http://www.naue.com/applications/mining/tailings-management/>

[12] [www.xrgeomembranes.com](http://www.xrgeomembranes.com)

<http://www.xrgeomembranes.com/blog/benefits-of-using-eps-geofoam-for-highway-construction>

[13] [www.omikronkappa.gr](http://www.omikronkappa.gr) , Ιούνιος 2017

[http://www.omikronkappa.gr/22-Stuff/04-Erga/04-01-Ektelesmena/04-01\\_Ektelesmena\\_GR/geotechnical\\_GR.pdf](http://www.omikronkappa.gr/22-Stuff/04-Erga/04-01-Ektelesmena/04-01_Ektelesmena_GR/geotechnical_GR.pdf)

[14] [www.roadtraffic-technology.com](http://www.roadtraffic-technology.com) , Ιούνιος 2017

<http://www.roadtraffic-technology.com/contractors/infrastructure/maccaferri-gabions/maccaferri-gabions2.html>



[15] **www.gabion1.com** , Ιούνιος 2017

[https://gabion1.com/gabion\\_erosion\\_control.htm](https://gabion1.com/gabion_erosion_control.htm)

[16] **www.tensar.co.uk** , Ιούνιος 2017

<http://www.tensar.co.uk/Systems-Products/Basetex>

[17] **www.alibaba.com** , Ιούνιος 2017

[18] **www.vsl.com** , Ιούνιος 2017

<http://www.vsl.com/images/brochures/vsol-walls/vsol-vsl-retained-earth/index.html>

[19] **www.odotechniki.com** , Ιούνιος 2017

<http://www.odotechniki.com/mdlcms/index.php?option=102&client=7&langid=1>

[20] **www.snfcc.org** [στισελίδα Κέντρου Πολιτισμού Ιδρύματος Σταυρός Νιάρχος  
, Ιούλιος 2017

.