

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ



ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΠΑΣΣΑΛΟΤΟΙΧΟΣ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ  
ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΥΨΟΥΣ 17.5 μ ΣΤΑ ΕΡΓΑ  
ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΤΗΣ ΟΔΟΥ ΚΑΝΑΚΑΡΗ ΣΤΗΝ  
ΠΑΤΡΑ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

**ΠΑΠΑΒΑΣΙΛΕΙΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ  
ΣΑΛΛΑΚΟΥ ΜΑΡΚΟ**

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΜΠΙΣΚΙΝΗΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ- 2017

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Ανωτάτου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Διονύσιου Μπισκίνη.

Η παρούσα εργασία αφορά στο κατασκευαστικό έργο: «Κατασκευή της οδού Κανακάρη (Πουκεβίλ-Αγίας Σοφίας) με διανοίξεις στα τμήματά της (Πουκεβίλ – Γκότση και Νόρμαν – Αγίας Σοφίας)» και πιο συγκεκριμένα εστιάζει στη σχεδίαση και την κατασκευή του διαφραγματικού τοίχου (πασσαλότοιχου προσωρινής αντιστήριξης) ύψους 17,50m στο τμήμα μεταξύ των οδών Πουκεβίλ – Γκότση.

Καταρχάς, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας σε εκείνους τους οποίους βοήθησαν και συνέβαλαν στην πραγματοποίησή της.

Ανεκτίμητη ήταν η συμβολή του επιβλέποντα Καθηγητή κ. Διονύσιου Μπισκίνη τον οποίο και θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ιδιαίτερα για την πολύτιμη καθοδήγησή του και την άριστη συνεργασία που είχαμε. Η βοήθειά του και οι γνώσεις του φάνηκαν ανεκτίμητες στο να γίνουν πιο κατανοητές τόσο οι έννοιες όσο και οι διαδικασίες που απαιτούνται για τον σχεδιασμό και την μετέπειτα κατασκευή ενός πασσαλότοιχου προσωρινής αντιστήριξης.

Εκτός αυτού, εγκάρδιες ευχαριστίες αποδίδονται επίσης στον κ. Βανταράκη Βασίλειο και στους λοιπούς υπαλλήλους του τμήματος δομικών έργων της πολεοδομίας του δήμου Πατρών που με την ανιδιοτελή, χρήσιμη και σημαντική βοήθειά τους μας διευκόλυναν στην κατανόηση και την συλλογή όλων των απαραίτητων στοιχείων που χρειάστηκαν για την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Η παρούσα πτυχιακή είναι αφιερωμένη στον εκλιπόντα φίλο μας Νίκο Καραπάνο φοιτητή Ιατρικής που χάθηκε άδικα σε αυτοκινητιστικό δυστύχημα στις 14/11/15.

*Παπαβασιλείου Βασιλική  
Σαλλάκου Μάρκο  
Πάτρα, Νοέμβριος 2017*

## Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	4
2. ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ.....	6
2.1 Πάσσαλοι / Πασσαλότοιχοι .....	7
2.2 Αγκύρια.....	8
2.3 Τοίχοι αντιστήριξης .....	19
3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ .....	29
3.1 Εισαγωγικά Στοιχεία.....	29
3.2 Υδρογεωλογία της περιοχής .....	32
3.3 Γεωτεχνική έρευνα και μελέτη .....	34
4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	42
4.1 Θεωρητική ανάλυση .....	42
4.2 Κατασκευαστική ανάλυση.....	45
5. ΑΛΛΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ .....	50
5.1 Θεωρητική ανάλυση .....	50
6. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	59
6.1 Παρουσίαση του λογισμικού GEO5 2016 .....	59
6.2 Σχεδιασμός και επίλυση τοίχου αντιστήριξης με την χρήση του λογισμικού GEO5 2016 Πασσαλότοιχοι II (Sheeting Check) .....	61
6.3 Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα.....	130
7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	132

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζεται το κατασκευαστικό έργο: «Κατασκευή της οδού Κανακάρη (Πουκεβίλ – Αγίας Σοφίας) με διανοίξεις στα τμηματά των οδών Πουκεβίλ – Γκότση και Νόρμαν – Αγίας Σοφίας» και πιο συγκεκριμένα εστιάζει στη σχεδίαση και την κατασκευή του διαφραγματικού τοίχου (πασσαλότοιχου προσωρινής αντιστήριξης) ύψους 17,50m στο τμήμα Πουκεβίλ – Γκότση.

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι να γίνει μία αναλυτική και ολοκληρωμένη παρουσίαση της μελέτης και του έργου ειδικότερα, να γίνει σχεδιασμός και επίλυση τοίχου αντιστήριξης ελεύθερου ύψους 17,5 m (συνολικού ύψους 26m) στο τμήμα της διάνοιξης μεταξύ των οδών Πουκεβίλ – Γκότση (Τμήμα 1) με την χρήση του λογισμικού GEO5 2016.

Αρχικά γίνεται αναφορά της περιοχής όπου κατασκευάζεται το οδικό έργο και μια γνωριμία με το υφιστάμενο έργο οδοποιίας. Τονίζεται η σημαντικότητα του έργου για την πόλη της Πάτρας και τους κατοίκους της.

Στη συνέχεια περιγράφονται τα διάφορα και διαφορετικά μέτρα αντιστήριξης τα οποία χρησιμοποιούνται σε τέτοιες περιπτώσεις έργων οδοποιίας. Επίσης γίνεται μία σύντομη περιγραφή της Γεωλογικής – Γεωτεχνικής μελέτης και των στοιχείων του εδάφους.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η θεωρητική και η κατασκευαστική ανάλυση των διάφορων φάσεων του τοίχου αντιστήριξης με πασσάλους, και παρουσιάζεται ο σχεδιασμός και η επίλυση του συγκεκριμένου τοίχου αντιστήριξης με την χρήση του λογισμικού GEO5 2016 Πασσαλότοιχοι II (Sheeting Check).

Τέλος, περιγράφονται οι παρατηρήσεις και η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σύμφωνα με τα αποτελέσματα του λογισμικού GEO5 2016.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η οδός Κανακάρη (Σχήμα 1) αποτελεί μια από τις κεντρικότερες οδούς της πόλης της Πάτρας. Διασχίζει ένα πολύ μεγάλο μέρος του πολεοδομικό συγκροτήματος της Πάτρας και είναι σχεδόν παράλληλη με την ακτογραμμή που βρέχει την Πάτρα με προσανατολισμό ΒΑ – ΝΔ.



*Σχήμα 1: Δορυφορική κάτοψη της οδού Κανακάρη. Απεικόνιση των υφιστάμενων και των νέων τμημάτων της οδού (GoogleEarth, 2016).*

Τα τελευταία χρόνια στην Πάτρα έχουν τελεσθεί πολλές και σημαντικές αλλαγές σε πολεοδομικό και αστικό επίπεδο. Οι παρεμβάσεις αυτές πηγάζουν από μια ευρύτερη λογική αναβάθμισης του αστικού χώρου που προέρχεται από όλα τα επίπεδα σχεδιασμού. Η πραγματοποίηση όμως αυτών των σχεδιαστικών προτάσεων δεν γίνεται απαραίτητα με τον προβλεπόμενο τρόπο, κυρίως λόγω έλλειψης των απαραίτητων κονδυλίων αλλά και πολιτικής βούλησης. Αποτέλεσμα είναι μια πόλη με πολλές σημειακές αλλά και μεγαλύτερες παρεμβάσεις με ουσιαστικό αντίκτυπο στην καθημερινή ζωή.

Δύο μικρά σχετικά οδικά έργα, αλλά με μεγάλη κυκλοφοριακή σημασία, βρίσκονται σε εξέλιξη στην Πάτρα. Η κατασκευή της μικρής περιμετρικής οδού και η διάνοιξη της οδού Κανακάρη η οποία έχει σχεδόν ολοκληρωθεί. Όταν αυτά τα δύο έργα ολοκληρωθούν, αναμένεται να δώσουν μεγάλη κυκλοφοριακή «ανάσα» στην πόλη, αφού μεγάλος αριθμός οχημάτων δεν θα χρειάζεται να μπαίνει πλέον στο κέντρο της Πάτρας. Παράλληλα, θα επιτρέψει στη δημοτική αρχή να προχωρήσει σε

πεζοδρομήσεις, κάτι που θα αλλάξει την εικόνα του κέντρου και θα βελτιώσει την καθημερινότητα των πολιτών. Επιπλέον, τα δύο αυτά έργα αναμένεται να «συναντηθούν» στην είσοδο της πόλης, στο ύψος της εθνικής οδού Πατρών-Κορίνθου, μέσω της κατασκευής κόμβου στην περιοχή «Κουρτέση». Έτσι οι οδηγοί θα μπορούν εύκολα μέσω του κόμβου να ακολουθούν τη διαδρομή που θέλουν, χωρίς να είναι αναγκασμένοι να περνούν από το κέντρο.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζεται κομμάτι του κατασκευαστικού έργου: «Κατασκευή της οδού Κανακάρη (Πουκεβίλ-Αγίας Σοφίας) με διανοίξεις στα τμήματά των οδών Πουκεβίλ – Γκότση (Τμήμα 1, Σχήμα 1) και Νόρμαν – Αγίας Σοφίας (Τμήμα 2, Σχήμα 1)». Πρόκειται για ένα πολύ σημαντικό έργο το οποίο θα επιτύχει σε μεγάλο βαθμό την αποσυμφόρηση της κυκλοφορίας από το κέντρο της πόλης της Πάτρας και θα αποτελεί μια αξιοσημείωτη επέκταση – διεύρυνση του κυκλοφοριακού φορτίου της. Το πρώτο κομμάτι εργασιών έχει ολοκληρωθεί. Το κομμάτι αυτό προέβλεπε εργασίες ανακατασκευής του τμήματος της οδού Κανακάρη προκειμένου να μπορεί η οδός να λειτουργήσει ως δρόμος ταχείας κυκλοφορίας. Το δεύτερο κομμάτι προβλέπει αντιδρόμηση της οδού Κανακάρη η οποία μετατρέπεται ως ο βασικός οδικός άξονας εξόδου από το κέντρο και ταυτόχρονα η αντιδρόμηση της οδού Κορίνθου η οποία θα αποτελέσει το βασικό οδικό άξονα εισόδου στην πόλη, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα εφαρμογής των κυκλοφοριακών μελετών, εκτεταμένων πεζοδρομήσεων κλπ, που θα αλλάξουν ριζικά την εικόνα του κέντρου της Πάτρας. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι με την συνολική ολοκλήρωση του έργου, η οδός Κανακάρη θα αποτελέσει την βασική αρτηρία σύνδεσης της πόλης με την εθνική οδό Πατρών – Κορίνθου, αποτελώντας πια την νέα έξοδο από την πόλη της Πάτρας.

Πιο συγκεκριμένα, στην παρούσα εργασία δίνεται έμφαση στη σχεδίαση και την κατασκευή του διαφραγματικού τοίχου (πασσαλότοιχου προσωρινής αντιστήριξης) ύψους 17,50m στο τμήμα μεταξύ των οδών Πουκεβίλ – Γκότση. Η υπό μελέτη οδός έχει συνολικό μήκος 900m περίπου ξεκινώντας από την σύνδεση της οδού Κανακάρη με την οδό Πουκεβίλ και καταλήγοντας στην αρχή της οδού Αγ. Σοφίας, στην περιοχή του Νέου Πολυκλαδικού Λυκείου.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι ο σχεδιασμός και η επίλυση τοίχου αντιστήριξης ελεύθερου ύψους 17,5 m (συνολικού ύψους 26m) στο τμήμα της διάνοιξης μεταξύ των οδών Πουκεβίλ – Γκότση (Σχήμα 1, Τμήμα 1) με την χρήση του λογισμικού GEO5 2016.

## 2. ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

Σύμφωνα με την πτυχιακή εργασία των Σπηλιωτοπούλου κ.α. (2016), οι βασικές προϋποθέσεις για την ασφαλή κατασκευή και λειτουργία ενός συστήματος αντιστήριξης, με χρονική ακολουθία, είναι :

1. Τοπογραφική αποτύπωση του περιβάλλοντα χώρου
2. Γεωτεχνική και γεωλογική έρευνα του εδάφους
3. Κατασκευή βάσει εμπειριστατωμένης μελέτης
4. Παρακολούθηση συμπεριφοράς

Η γεωλογική έρευνα πρέπει να εκτείνεται σε όλο το βάθος επιρροής του συστήματος αντιστήριξης στο έργο και θα πρέπει να διαπιστώνονται τα εξής:

- Η ύπαρξη ή μη μαλακών εδαφικών υλικών με πιθανά προβλήματα αστάθειας κατά την εκσκαφή-κατασκευή των στοιχείων αντιστήριξης.
- Η ύπαρξη εδαφικών σχηματισμών μεγάλης διαπερατότητας (άμμοι, αμμοχάλικα, κλπ.) και οι κλίσεις αυτών.
- Η παρουσία βραχωδών σχηματισμών ή ογκολίθων που θα ήταν δυνατόν να προκαλέσουν δυσκολίες κατά την εκσκαφή ή την διάτρηση των στοιχείων αντιστήριξης.
- Και τέλος η παρουσία υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και η στάθμη του.

Η αντιστήριξη ενός έργου αποτελεί ίσως το πιο σημαντικό και απαραίτητο κομμάτι της κατασκευής, διότι αν το ίδιο είναι ελλιπές τότε τα αποτελέσματα που μπορεί να είναι καταστροφικά.

Έτσι, τα μέτρα τα οποία πάρθηκαν για την διάνοιξη και κατασκευή της οδού Κανακάρη, ύστερα από τα αποτελέσματα της γεωλογικής έρευνας και της γεωλογικής μελέτης, ήταν τα εξής:

- Αντηριδωτοί τοίχοι αντιστήριξης με θεμέλια πασσάλων.
- Πάσσαλοι οι οποίοι κατασκευάστηκαν εφαπτομενικά ώστε να δημιουργηθεί πασσαλότοιχος με την κατασκευή κεφαλόδεσμου.
- Αγκύρια τα οποία διαπερνούσαν την διατομή των πασσάλων και εισχωρούσαν στο έδαφος.

Ένα επιπρόσθετο μέτρο προστασίας του έργου αλλά και των μέτρων αντιστήριξης, το οποίο κρίνεται αναγκαίο σε κάθε έργο, είναι η αποστράγγιση η οποία και έγινε σε πολλά σημεία της διάνοιξης της οδού Κανακάρη.

## 2.1 Πάσσαλοι / Πασσαλότοιχοι

Γενικά, ως πάσσαλος ορίζεται μια μακρόστενη δύσκαμπτη κατασκευή από ξύλο, μπετό, μέταλλο ή άλλα υλικά, η οποία λόγω του σχήματος και της στατικής λειτουργίας της, αντιστηρίζει και θεμελιώνει οποιαδήποτε φρέαρ στο οποίο θα χρησιμοποιηθεί (π.χ. οικοδομές με την έννοια του θεμελίου, τοίχους αντιστήριξης, φράχτες κλπ). Ο πάσσαλος ως μέλος ενός τοίχου αντιστήριξης αναπτύσσει μεταξύ του ιδίου και του εδάφους δράσεις τριβής και αντιδράσεις αιχμής.

Η τριβή αναπτύσσεται καθ' όλη την περιμετρικά εξωτερική του επιφάνεια, η οποία βρίσκεται εν επαφή στο έδαφος. Οι αντιδράσεις αιχμής αναπτύσσονται στην βάση του και δημιουργούνται από φορτία ίδιου βάρους και επιπρόσθετων φορτίων. Με κριτήριο την διαφορά του ορίου κατά το οποίο οι δράσεις αυτές αναπτύσσονται, οι πάσσαλοι κατηγοριοποιούνται στους:

- ο πασσάλους αιχμής
- ο πασσάλους τριβής

Ειδικότερα όταν σε έναν πάσσαλο υπερισχύουν οι αντιδράσεις τριβής, ο πάσσαλος θεωρείται τριβής. Όταν υπερισχύουν οι αντιδράσεις αιχμής, ο πάσσαλος θεωρείται αιχμής. Εκείνο που θα κρίνει το είδος στο οποίο θα ενταχθεί ο πάσσαλος είναι τα χαρακτηριστικά του εδάφους στο οποίο θα εμπεχθεί ή θα κατασκευαστεί. Όταν το έδαφος είναι ομοιογενές, τότε οι αντιδράσεις που αναπτύσσονται είναι κυρίως αντιδράσεις τριβής. Αντίθετα όταν το έδαφος είναι μη συνεκτικό και ανομοιογενές οι αντιδράσεις που αναπτύσσονται είναι κυρίως αιχμής.

Επίσης, οι πάσσαλοι ανάλογα τον τρόπο κατασκευής τους κατατάσσονται σε:

- ο Εμπεγγνόμενους πασσάλους μεγάλης εκτοπίσεως (πλήρους διατομής).
- ο Εμπεγγνόμενους πασσάλους μικρής εκτοπίσεως (ανοικτοί σωλήνες).

Συγκεκριμένα οι δύο παραπάνω τύποι είναι προκατασκευασμένοι πάσσαλοι έμπεξης από χάλυβα, οπλισμένο σκυρόδεμα και σπανιότερα από ξύλο. Η διαφορά τους είναι στη διατομή του πασσάλου.

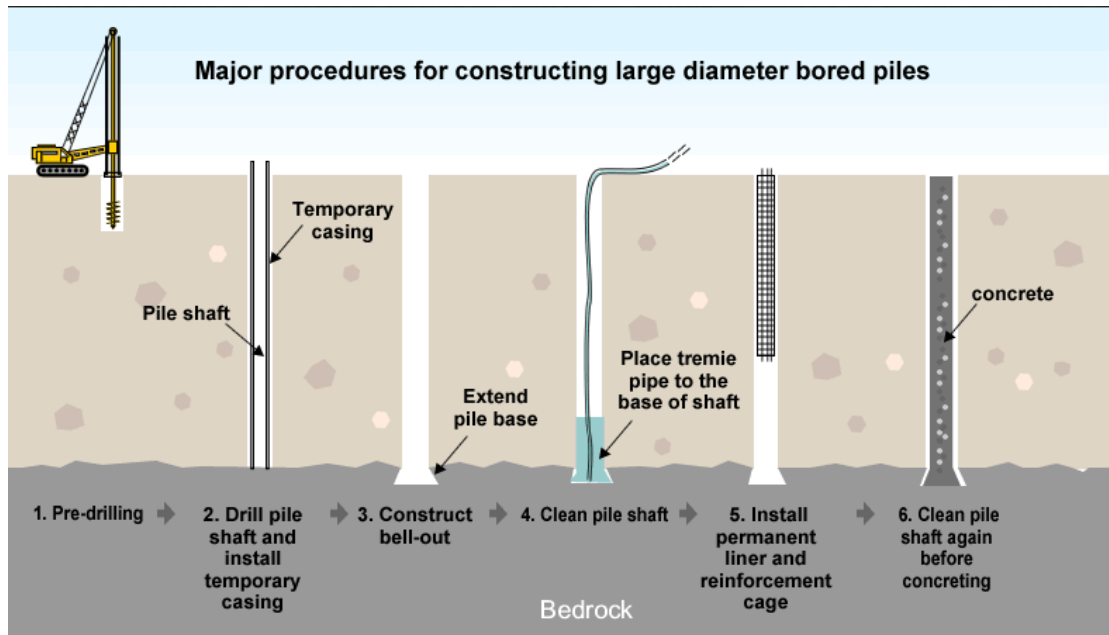
- ο Έγχυτους πασσάλους μεγάλης διαμέτρου (φρεατοπάσσαλοι).

Τα στάδια κατασκευής ενός έγχυτου φρεατοπασσάλου είναι τα παρακάτω:

- Ø Αρχική διάνοιξη
- Ø Προσωρινή σωλήνωση
- Ø Προέκταση της βάσης του πασσάλου
- Ø Καθαρισμός το φρεάτιο του πασσάλου
- Ø Τοποθέτηση οπλισμού
- Ø Σκυροδέτηση



Τα παραπάνω βήματα κατασκευής παρουσιάζονται σχηματικά στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2: Στάδια κατασκευής πασσάλων εκσκαφής

## 2.2 Αγκύρια

Γενικά, ως αγκύρια νοούνται γραμμικοί μεταλλικοί ή και μη μεταλλικοί φορείς, ικανοί σε εφελκυσμό οι οποίοι τοποθετούνται μέσα στο γεωυλικό και αποσκοπούν στην παραλαβή κυρίως αξονικών δυνάμεων. Σκοπός τους, είναι να μεταφέρουν εφελκυστικά φορτία στα γαιώδη ή βραχώδη εδάφη ώστε να επιτύχουν την εσωτερική στήριξη ή ενίσχυση αυτών ή άλλων κατασκευών όπως πασσάλων, τοίχων κλπ.

Σαν πρώτη περίπτωση αποτελούν απαραίτητο στοιχείο της άμεσης / προσωρινής αντιστήριξης μέχρι να τοποθετηθεί η μόνιμη επένδυση στο έδαφος. Ενώ στην περίπτωση αγκύρωσης εξωτερικών κατασκευών, αποτελούν μόνιμη και συμπληρωματική μεταβίβαση εφελκυστικών τάσεων για την ελαχιστοποίηση των παραμορφώσεων των κατασκευών.

Ένας από τους κυριότερους τρόπους αντιστήριξης, είναι αυτή της τάνυσης αγκυρίων εδάφους. Ως αγκύριο εδάφους, ορίζεται ένα σύνολο χαλύβδινου οπλισμού προέντασης το οποίο αγκυρώνεται στο έδαφος διαμέσου τσιμεντένεσης και στη συνέχεια τανύζεται μεταβιβάζοντας κατά αυτόν τον τρόπο τη δύναμη προέντασης στο αγκυρωμένο έδαφος. Διακρίνονται δυο βασικές κατηγορίες αγκυρίων :

- Αγκύρια ενίσχυσης: ενισχύουν την βραχώμαζα εφαρμοζόμενα μετά την εκσκαφή στην περιφέρεια του υπόγειου ανοίγματος. Περιλαμβάνονται τα αγκύρια σημειακής ή συνεχούς πάκτωσης, τα αγκύρια με συρματοσχοίνα.

- Αγκύρια προενίσχυσης: εφαρμόζονται πριν την εκσκαφή του υπογείου ανοίγματος και ενισχύουν το εσκαπτόμενο γεωυλικό. Περιλαμβάνονται κυρίως τα αγκύρια μετώπου, τα αγκύρια προενίσχυσης στύλων και τα αγκύρια που τοποθετούνται από πιλοτική σήραγγα ή από την επιφάνεια ή από άλλη σήραγγα.

### 2.2.1 Προεντεταμένα και μη αγκύρια

Τα αγκύρια αυτά χρησιμοποιούνται σε ειδικά γεωτεχνικά έργα, όπως βαθιές εκσκαφές και αντιστηρίξεις, διευθέτηση ευστάθειας πρανών, ενίσχυση θεμελίων μεγάλων έργων σήραγγες και άλλα ειδικά γεωτεχνικά έργα και λοιπά έργα πολιτικού μηχανικού.



Σχήμα 3: Αντιστήριξη τοιχείου με προεντεταμένα αγκύρια συρματόσχοινου TTM (<http://www.elebor.gr/categories.asp?id=275>)

Στα προεντεταμένα αγκύρια επιβάλλεται μέσω του συστήματος υδραυλικής πρέσας – γρύλλος φορτίο το οποίο παραλαμβάνεται μέσω ενέματος από το έδαφος και εξασφαλίζει την ευστάθεια της αγκυρούμενης κατασκευής. Συνήθως η αγκυρούμενη κατασκευή είναι αντιστηρίξεις με κατακόρυφα μέτωπα όπως έγχυτοι πασσαλότοιχοι, τοίχοι τύπου Βερολίνου, διαφραγματικοί τοίχοι ή τοίχοι από πασσαλοσανίδες και τοίχοι από οριζόντιες δοκούς. Επιπλέον χρησιμοποιούνται για την ευστάθεια πρανών, την ενίσχυση των θεμελίων μεγάλων κατασκευών και την ανάληψη κατακόρυφων φορτίων σε κατασκευές υπό άνωση. Τα βασικά μέρη των

αγκυρίων είναι τα εξής: Η κεφαλή αγκύρωσης, η οποία μεταφέρει το εφελκυστικό φορτίο του αγκυρίου στο αγκυρούμενο δομικό στοιχείο στην επιφάνεια του εδάφους. Το πακτωμένο μήκος που μεταφέρει το φορτίο στο έδαφος. Το ελεύθερο μήκος που μεσολαβεί μεταξύ της κεφαλής και του πακτωμένου μήκους δύναται να επιμηκύνεται όταν εφελκύεται παραλαμβάνοντας το φορτίο τάνυσης. Τα προεντεταμένα αγκύρια κατατάσσονται σε δυο κατηγορίες με βάση την προβλεπόμενη από την Μελέτη τεχνική διάρκεια ζωής: Προσωρινά με τεχνική διάρκεια ζωής μέχρι δύο έτη. Μόνιμα με τεχνική διάρκεια ζωής μεγαλύτερη από δύο έτη. Τα βασικά υλικά που απαρτίζουν τα προεντεταμένα αγκύρια είναι ο χάλυβας προέντασης υψηλών αντοχών (σε μορφή συρματόσχοινων ή σπειρωμάτων), οι λείοι προστατευτικοί σωλήνες για την προστασία των τενόντων στο ελεύθερο τμήμα του αγκυρίου, οι σωλήνες ενεμάτωσης και εξαέρωσης των αγκυρίων, το διαχωριστικό πάμα μεταξύ ελευθέρου και πακτωμένου μήκους, οι αποστάτες στο πακτωμένο τμήμα, η διάταξη της κεφαλής αγκύρωσης και το ένεμα για την πλήρωση του διατρήματος.

### **2.2.2 Εφαρμογές προεντεταμένων αγκυρίων εδάφους**

Η τεχνική των προεντεταμένων αγκυρίων μπορεί να εφαρμοσθεί σε πλήθος κατασκευών όπως σε :

- Τοίχους Αντιστήριξης
- Ειδικά γεωτεχνικά έργα (βαθείς εκσκαφές, αντιστηρίξεις)
- Ενίσχυση θεμελίων μεγάλων έργων
- Υποστήριξη σηράγγων και φραγμάτων
- Διευθέτηση ευστάθειας πρανών
- Άλλα έργα πολιτικού μηχανικού

Τα αγκύρια εδάφους ανάλογα με την διάρκεια ζωής τους διαχωρίζονται σε :

- Προσωρινά : Αγκύρια που προορίζονται να λειτουργούν για μια περίοδο μικρότερη των 2 ετών (18 έως 24 μήνες) (DIN 4125, cl.2.1.4).
- Μόνιμα : Αγκύρια που προορίζονται να λειτουργούν σε όλη τη διάρκεια ζωής μιας κατασκευής. Λόγω της μονιμότητας λειτουργίας τους, απαιτείται ιδιαίτερη προστασία από τον κίνδυνο διάβρωσης, αρκετή εμπειρία όσον αφορά την παρακολούθηση της συμπεριφοράς τους και προσοχή στην κατασκευή τους (DIN 4124, cl.2.1.5).

Από την πλευρά της στατικής λειτουργίας καθώς επίσης και του ρόλου τους στην εντατική κατάσταση του περιβάλλοντος χώρου (έδαφος) διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Ενεργά ή προεντεταμένα**, που προεκτείνονται στην τελική φάση κατασκευής τους και επιβάλλουν μια καινούργια δύναμη που συμβάλλει στη σταθεροποίηση (με τάνυση).
- **Παθητικά**, που δεν παραλαμβάνουν καμία δύναμη με την εγκατάστασή τους αλλά ενεργοποιούνται όταν αρχίσει η παραμόρφωση (χωρίς τάνυση).

### 2.2.3 Χαρακτηριστικά αγκυρίων

Ανεξαρτήτως τύπου, τα αγκύρια εδάφους αποτελούνται από τρία βασικά μέρη:

- Το αγκυρούμενο τμήμα, το οποίο είναι εκείνο το τμήμα του αγκυρίου που εξασφαλίζει την αγκύρωση στο έδαφος με συνάφεια, δια μέσου του τσιμεντενέματος.
- Το ελεύθερο τμήμα, το οποίο είναι εκείνο το τμήμα στο οποίο ο οπλισμός δύναται να επιμηκύνεται ελεύθερα κατά τη διάρκεια της προέντασης.
- Το έμβολο σφήνωσης, η οποία αποτελεί το μηχανικό τμήμα που εξασφαλίζει την εφαρμογή της δύναμης προέντασης.

### 2.2.4 Ενσωματούμενα υλικά

Τα υλικά που ενσωματώνονται κατά περίπτωση στα αγκύρια είναι:

- Χάλυβας σε μορφή ράβδων οπλισμού από συρματόσχοινο ή ειδικώς κατασκευασμένα μεταλλικά βλήτρα (μεταλλικοί σύνδεσμοι μεταφοράς διατμητικών δυνάμεων).
- Ατομικοί σωλήνες προστασίας συρματόσχοινων από πολυαιθυλένιο (ελεύθερο τμήμα), λείος πλαστικός σωλήνας προστασίας (ελεύθερο τμήμα), ανάγλυφος σωλήνας προστασίας (αγκυρούμενο τμήμα).
- Εποξειδικές κόλλες κατάλληλες για την αγκύρωση ράβδων οπλισμού στο σκυρόδεμα (βλητρωειδή αγκύρια).
- Κονιάματα κατάλληλα για την αγκύρωση ράβδων οπλισμού στο σκυρόδεμα.

Στο εξεταζόμενο έργο για την κατασκευή των αγκυρίων χρησιμοποιήθηκε μια επιφάνεια εργασίας μήκους τουλάχιστον 25m και ένα μηχάνημα σαν ανέμη, από το οποίο ξετυλιγόταν ο τένοντας μέσω κατάλληλου προσαρμοστή ευθυγράμμισης το οποίο ονομάζεται κατασκευαστική κλίνη.

Στην κλίση κατασκευής τοποθετήθηκαν τα ήδη κομμένα, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του έργου, συρματόσχοινα σε ομάδες ανά 3 τένοντες σε σταθερές αποστάσεις μέσω μεταλλικών αποστατών. Το ελεύθερο τμήμα στη συνέχεια γρασαρίστηκε και κατόπιν επικαλύφθηκε με ατομικό σωλήνα προστασίας από πολυαιθυλένιο. Ακολούθως, τοποθετήθηκε η διαχωριστική τάπα νεοπρενίου, οι σωλήνες τσιμεντένεσης και οι αποστάτες νεοπρενίου, οι οποίοι τοποθετούνται στο αγκυρούμενο τμήμα ανά μέτρο. Τέλος, τοποθετήθηκε ο λείος πλαστικός σωλήνας προστασίας του ελεύθερου τμήματος και ο ανάγλυφος σωλήνας του αγκυρούμενου τμήματος, ο οποίος λόγω σχήματος μεταβιβάζει με συνάφεια τα φορτία στο έδαφος.

### **2.2.5 Είδη αγκυρίων**

Αυτό που διαχωρίζει τους κύριους τύπους των αγκυρίων είναι το σχήμα που δίνεται στο πακτωμένο τμήμα του αγκυρίου ως αποτέλεσμα συγκεκριμένου τύπου κατασκευής.

**Τύπος Α:** Χρησιμοποιείται κυρίως σε βράχους και πολύ σκληρές αργίλους. Η εφαρμογή του στην Ελλάδα είναι διαδεδομένη λόγω της φύσης των πετρωμάτων και των χαμηλών απαιτήσεων εξοπλισμού του συγκεκριμένου τύπου. Η εισαγωγή του ενέματος γίνεται με πίεση από το άκρο του αγκυρίου προς την κεφαλή με χρήση αντλίας ή απλά με τη βαρύτητα. Λόγω της φύσης των γεωυλικών αυτών το διάτρημα είναι λείο. Συνεπώς, η διάμετρος του πακτωμένου τμήματος είναι ίση με τη διάμετρο του διατρήματος εκτός και αν το ένεμα εισχωρήσει σε κενά μέσα στο έδαφος σε θέσεις που συναντά ρήγματα, έγκοιλα ή πορώδη μέσα. Η διατμητική αντοχή ενός τέτοιου αγκυρίου είναι αποτέλεσμα της πλευρικής τριβής στη διεπιφάνεια εδάφους-ενέματος. Τυπικά μεγέθη του τύπου αυτού είναι για το πακτωμένο τμήμα μήκος 8 μέτρα και διάμετρος 110 mm.

**Τύπος Β:** Επιλέγεται συνήθως για μαλακούς ρηγματωμένους βράχους και κοκκώδεις αλλουβιακούς σχηματισμούς. Η εισαγωγή του ενέματος γίνεται με μικρή πίεση διευκολύνοντας τη διείσδυση του ενέματος στο εσωτερικό του γεωυλικού και έχοντας ως αποτέλεσμα το πακτωμένο τμήμα να έχει ακανόνιστο σχήμα και μεγαλύτερη διάμετρο από αυτή του διατρήματος. Για το λόγο αυτό, η διατμητική του αντοχή είναι αυξημένη με αυτή των αγκυρίων τύπου Α.

Η διατμητική αντοχή αυτού του τύπου αγκυρίου οφείλεται κατά κύριο λόγο στην πλευρική τριβή. Εντούτοις συνεισφέρει και η παθητική αντίσταση από τις παθητικές

ωθήσεις του συμπιεσμένου εδάφους που αναπτύσσονται στο άνω άκρο του πακτωμένου τμήματος μόλις το αγκύριο αρχίσει να κινείται.

**Τύπος C:** Ενδείκνυται για λεπτά κοκκώδη εδάφη και στιφρές εδαφικές αποθέσεις. Η εισαγωγή του ενέματος γίνεται υπό υψηλή πίεση σε μία ή δύο φάσεις. Η πίεση αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη διείσδυση του ενέματος σε μεγάλη κλίμακα στο περιβάλλον έδαφος κατά ακανόνιστο τρόπο και την ενσωμάτωση σε αυτό σημαντικού όγκου εδάφους. Ο βολβός πάκτωσης παίρνει οδοντωτή μορφή με συνέπεια την αύξηση της διατμητικής αντοχής του αγκυρίου.

Σε περιπτώσεις όπου η εφαρμογή υψηλών πιέσεων μπορεί να επιφέρει βλάβες στο περιβάλλον έδαφος ή σε γειτονικές κατασκευές, εφαρμόζεται η τεχνική των μετενέσεων.

Πιο αναλυτικά, η κατασκευή του αγκυρίου τύπου C γίνεται ως εξής:

Αρχικά εισάγεται ο τένοντας και στη συνέχεια το ένεμα χωρίς πίεση από το άκρο προς τα πάνω καταλαμβάνοντας το χώρο του διατρήματος και εισχωρώντας σε κάποια έγκοιλα ή ρωγμές. Μετά το ικανό χρονικό διάστημα για τη σκλήρυνση του ενέματος, επαναλαμβάνεται η εισαγωγή υπό πίεση από ειδικό σωλήνα μικρής διαμέτρου που έχει προβλεφθεί για το σκοπό αυτό. Ο σωλήνας αυτός φέρει ανοίγματα που προστατεύονται από ελαστικό περίβλημα το οποίο εμποδίζει τη διείσδυση του αρχικού ενέματος και την αχρήστευση του σωλήνα. Η μετένεση γίνεται χωριστά σε κάθε θέση που φέρει ανοίγματα. Μέσα στο σωλήνα αυτό εισάγεται άλλος μικρότερος που με βύσματα απομονώνει το τμήμα ενός ανοίγματος. Από αυτόν τον μικρό σωλήνα διοχετεύεται με πίεση το νέο ένεμα που πιέζει το ελαστικό περίβλημα, σπάει το αρχικό ένεμα και διαχέεται στο έδαφος. Όταν σταματήσει η τροφοδοσία του ενέματος, το ελαστικό περίβλημα υπό την επίδραση της εξωτερικής πίεσης επανέρχεται στη θέση του εμποδίζοντας την εισροή ενέματος στο σωλήνα και την πτώση της πίεσης. Στη συνέχεια τα βύσματα μεταφέρονται στην επόμενη θέση και η διαδικασία συνεχίζεται.

Στον τύπο αυτό αγκυρίων η πρόσφυση ενέματος-έδαφος οφείλεται στους εξής παράγοντες:

- στην εσωτερική τριβή που δημιουργείται, ενισχύεται από την ακτινική πίεση
- και στην εισαγωγή υπό πίεση του ενέματος η οποία δημιουργεί ανώμαλη επιφάνεια και ενισχύει την πρόσφυση μέσω μηχανικής εμπλοκής.

**Τύπος D:** Χρησιμοποιείται σε στιφρά έως μετρίως στιφρά συνεκτικά εδάφη. Το πακτωμένο τμήμα κατασκευάζεται με διαδοχικές μηχανικές διευρύνσεις πριν την εισαγωγή του ενέματος υπό πίεση. Ανάμεσα στη διεύρυνση των βολβών και στην εισαγωγή του ενέματος πρέπει να παρεμβάλλεται όσο το δυνατόν μικρότερο χρονικό διάστημα, ώστε να μην επανέρχεται χαλάρωση των τοιχωμάτων της αργίλου λόγω ενυδάτωσης, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία λάσπης που μειώνει πολύ σημαντικά τα χαρακτηριστικά της τριβής στη διεπιφάνεια εδάφους ενέματος.

### **2.2.6 Μορφές αστοχίας**

Ο στόχος ενός τοίχου με αγκύρια είναι να δημιουργήσει μία εσωτερικά σταθερή εδαφική μάζα εδάφους η οποία θα αντισταθεί στις εξωτερικές μορφές αστοχίας σε ένα επαρκές επίπεδο λειτουργικότητας. Οι μορφές αυτές αστοχίας είναι οι παρακάτω:

#### **Ø Αστοχία τένοντα**

Παρά το γεγονός ότι στις κατασκευές με αγκύρια δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην αποφυγή αστοχίας του αγκυρίου, η διαρροή και η θραύση του τένοντα δεν είναι ασυνήθιστη. Αυτό συμβαίνει ειδικά όταν έχει γίνει σωστά η κατασκευή του ενετούμενου τμήματος του αγκυρίου, το οποίο σε συνδυασμό με ένα υψηλής

αντοχής έδαφος, αποτρέπει την αστοχία σε αυτό το τμήμα αλλά, σε περίπτωση μεγάλων και μη αναμενόμενων φορτίων, ο τένοντας εντείνεται πέραν της αντοχής του και αστοχεί.

Βασική αρχή είναι η σωστή και λογική προένταση του τένοντα για αυτό και στην πράξη το μέγιστο προσωρινό φορτίο (δοκιμή) περιορίζεται σε ένα ποσοστό της οριακής εφελκυστικής αντοχής του τένοντα. Ο κανονισμός ACI, για παράδειγμα, ορίζει ως μέγιστο προσωρινό φορτίο το 80% της αντοχής όταν οι ευρωπαϊκοί κανόνες είναι πιο συντηρητικοί και ορίζουν το δοκιμαστικό φορτίο στο 75% της αντοχής. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, το φορτίο «κλειδώματος» ή φορτίο λειτουργίας ορίζεται στα 70% εφελκυστικής αντοχής του χάλυβα. Άρα, έχοντας ήδη το 15% της χαρακτηριστικής αντοχής του χάλυβα λόγω μακροχρόνιας χαλάρωσης του και λαμβάνοντας το 70% αυτής θα έχουμε ουσιαστικά σαν τελικό φορτίο προέντασης το 0.6 της εφελκυστικής αντοχής- $f_{pu}$  του. Με αυτό τον τρόπο τα αγκύρια υπερδιαστασιολογούνται.

#### **Ø Μη επαρκής συνάφεια μήκους αγκύρωσης και εδάφους**

Για την εξασφάλιση της ευστάθειας της κατασκευής, σημαντικός παράγοντας είναι η αλληλεπίδραση του πακτωμένου τμήματος του αγκυρίου και του εδάφους. Η

συγκεκριμένη σχέση εξαρτάται από τις ορθές τάσεις που αναπτύσσονται στην περιοχή της αγκύρωσης καθώς και από τη συνοχή και την τριβή οι οποίες ενεργοποιούνται κατά μήκος του πακτωμένου τμήματος

Αρχικά, καθώς το αγκύριο εντείνεται, το κομμάτι του πακτωμένου τμήματος που βρίσκεται πλησιέστερα στο σημείο εφαρμογής του φορτίου επιμηκύνεται και μεταφέρει φορτία στο έδαφος. Ενεργοποιείται η αντίσταση της διεπιφάνειας στο κομμάτι αυτό και στη συνέχεια προοδευτικά μεταφέρεται σε όλο το μήκος της διεπιφάνειας. Κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας, το αγκύριο συνεχίζει να επιμηκύνεται και να κινητοποιούνται βαθύτερες ζώνες της διεπιφάνειας. Όταν η ένταση μεταφερθεί στο άλλο άκρο του μήκους αγκύρωσης και εξαντληθεί η φέρουσα ικανότητα της διεπιφάνειας οδηγούμαστε σε εξόλκευση-αστοχία του αγκυρίου.

### **Ø Μη επαρκής συνάφεια τένοντα και ενέματος**

Στον τύπο αυτό αστοχίας έχουμε απώλεια συνάφειας μεταξύ του τένοντα και του ενέματος. Η εξασφάλιση της συνάφειας μεταξύ των δύο αυτών στοιχείων επιτυγχάνεται μέσω τριών μηχανισμών, την πρόσφυση, την τριβή και την αλληλεμπλοκή των τμημάτων που αστόχησαν.

Θεωρούμε ότι οι ανωμαλίες στην διεπιφάνεια των δύο στοιχείων είναι αρκετά μεγάλες ώστε να ενεργοποιήσουν τους τρεις παραπάνω μηχανισμούς.

Η πρόσφυση αναπτύσσεται λόγω της τραχιάς επιφάνεια του χάλυβα με αποτέλεσμα τα δύο στοιχεία να κολλάνε μεταξύ τους. Όταν επέλθει αστοχία και τα δύο υλικά αποκολληθούν αναπτύσσεται τριβή μεταξύ τους. Ο μηχανισμός της τριβής εξαρτάται από το μέγεθος της ολίσθησης, την τραχύτητα της επιφάνειας που αστόχησε και την αναπτυσσόμενη τάση σε αυτή.

Τέλος ο μηχανισμός της αλληλεμπλοκής βασίζεται στην αντίσταση που αναπτύσσουν οι ράβδοι λόγω της παραμόρφωσης που έχουν υποστεί. Οι ράβδοι είτε έχουν καμπυλωθεί είτε στραφεί είτε ακόμα έχουν μπλεχτεί μεταξύ τους δημιουργώντας συνθήκες αντίστασης στις δυνάμεις που τα εντείνουν. Για μικρά μήκη σύνδεσης και μικρούς τένοντες υπερέχει η συμβολή του μηχανισμού της πρόσφυσης ενώ καθώς αυξάνεται το μήκος σύνδεσης και έχουμε μεγάλες ολισθήσεις συμμετέχουν και οι τρεις μηχανισμοί.

### **Ø Αστοχία τοίχου σε κάμψη**

Τα στοιχεία της διατομής του τοίχου υποβάλλονται σε οριζόντια και κατακόρυφα φορτία από το έδαφος και τις δυνάμεις προέντασης των αγκυρίων.



Η μορφή αυτή αστοχίας είναι η μόνη που δεν έχει να κάνει άμεσα με το έδαφος ή την αλληλεπίδραση του με κάποιο άλλο στοιχείο της κατασκευής. Το σύστημα αντιστήριξης σε αυτή την περίπτωση αστοχεί λόγω της ανεπάρκειας της καμπτικής αντοχής του τοίχου. Η αστοχία ενός μεμονωμένου αγκυρίου μπορεί να μην επηρεάσει τη συνολική ευστάθεια του συστήματος αλλά τμήμα του τοίχου να κληθεί να παραλάβει περισσότερα φορτία από εκείνα για τα οποία σχεδιάστηκε με αποτέλεσμα να αστοχήσει.

#### **Ø Αστοχία τοίχου λόγω μη επαρκούς παθητικής αντίστασης**

Η πλευρική πίεση πάνω στον τοίχο σε συνδυασμό με την απομείωση των τάσεων από την πρόοδο της εκσκαφής μπορεί να προκαλέσει τοπική διαρροή του εδάφους που επαφίεται στο πέτασμα. Αυτή η τοπική ένταση οδηγεί στην απώλεια παθητικής αντίστασης η οποία με τη σειρά της οδηγεί σε μεγάλες μετακινήσεις προς το εσωτερικό της που μπορεί να φτάσουν και το 50% της συνολικής μετατόπισης.

#### **Ø Στροφή του τοίχου πριν την τοποθέτηση του πρώτου αγκυρίου**

Μετά την ολοκλήρωση του πρώτου σταδίου εκσκαφής ο τοίχος συμπεριφέρεται ως πρόβολος μέχρι την τοποθέτηση του πρώτου αγκυρίου. Αν, στην δεδομένη κατάσταση, η παθητική αντίσταση που προσφέρει το εμπηγμένο τμήμα του πασσάλου δεν είναι επαρκής, τότε έχουμε σαν αποτέλεσμα ο τοίχος να στραφεί.

#### **Ø Βύθιση του τοίχου**

Κατά την πρόοδο της εκσκαφής, η οποία συνεπάγεται με μετακίνηση του τοίχου προς το εσωτερικό της, το αντιστηριζόμενο έδαφος υφίσταται καθιζήσεις και ασκεί στον τοίχο κατακόρυφες διατμητικές τάσεις προς τα κάτω.

Εφόσον τα αγκύρια είναι τοποθετημένα με κλίση προς την οριζόντιο, η κατακόρυφη συνιστώσα της δύναμης προέντασης προστίθεται στην αξονική καταπόνηση του τοίχου. Καθώς λοιπόν προχωράμε στα τελευταία στάδια της εκσκαφής, η τάση αυτή του τοίχου να μετατοπιστεί προς τα κάτω μπορεί να επιφέρει αστοχία της διατομής σε θλίψη. Η κατακόρυφη μετατόπιση του τοίχου δύναται επίσης να μειώσει την ένταση των αγκυρίων στις κατώτερες στάθμες και να καταστρέψει την αποτελεσματικότητά τους. Αυτό έχει ως συνέπεια την αύξηση της έντασης των αγκυρίων στις ανώτερες στάθμες, με πιθανή συνέπεια την υπερβολική βύθιση και αστοχία τους.

#### **Ø Αστοχία λόγω ανίζησης στη βάση**

Αυτό το είδος αστοχίας αφορά κυρίως μαλακές και μέσης στιφρότητας αργίλους όπου το έδαφος είναι σχετικά ασθενές σε σχέση με τις τάσεις υπερκείμενων που

ασκούνται από την αντιστηριζόμενη πλευρά της εκσκαφής. Είναι ανάλογη με την αστοχία φέρουσας ικανότητας ενός θεμελίου, αλλά η διαφορά τους εντοπίζεται στο ότι η αστοχία λόγω ανίζησης προκύπτει από απομείωση τάσεων.

### **2.2.7 Βασικές αρχές σχεδιασμού**

Το μέγεθος της δύναμης που καλείται να παραλάβει το αγκύριο για να επέλθει ισορροπία στον τοίχο προκαλείται από το έδαφος, το νερό και τα εξωτερικά φορτία.

Για να παρέχουν τα αγκύρια τις απαιτούμενες δυνάμεις ισορροπίας, οι οποίες με τη σειρά τους μεταφέρονται στο έδαφος, θα πρέπει το μήκος αγκύρωσης να ξεκινάει σε μία απόσταση από την ενεργή ζώνη του φορτιζόμενου τοίχου. Η απαίτηση αυτή, κατά την οποία οι δυνάμεις του αγκυρίου πρέπει να μεταφέρονται πίσω από την ενεργή ζώνη, ορίζει την ελάχιστη απόσταση πίσω από τον τοίχο όπου ξεκινάει το μήκος αγκύρωσης του αγκυρίου.

Το μήκος αγκύρωσης πρέπει να εκτείνεται μέσα στο έδαφος και να τέμνει κάθε πιθανή κρίσιμη επιφάνεια αστοχίας η οποία μπορεί να περνάει πίσω από τα αγκύρια και μπροστά από τη βάση του τοίχου. Το απαιτούμενο βάθος στο οποίο θα τοποθετηθούν τα αγκύρια καθορίζεται από τη βαθύτερη κρίσιμη επιφάνεια αστοχίας όπου έχουμε έναν ανεπαρκή συντελεστή ασφαλείας χωρίς να ασκείται καμία δύναμη αγκυρίου.

Η πίεση του εδάφους αναπτύσσεται βασικά σας αποτέλεσμα των φορτίων που επιβάλλονται στην επιφάνεια, το βάρος από το έδαφος, από την κίνηση του εδάφους λόγω σεισμικών δονήσεων και διάφορα πρόσθετα φορτία. Για το σκοπό αυτό ο τοίχος με τα αγκύρια σχεδιάζεται με βάση την ενεργητική ώθηση των γαιών, την παθητική και την πίεση των γαιών σε ακινησία.

Ο διαχωρισμός μεταξύ παθητικών και ενεργητικών ωθήσεων βασίζεται :

- Στη μορφή της μετακίνησης του τοίχου.
- Την ευκαμψία του τοίχου.
- Την ακαμψία του εδάφους και την αντοχή του.
- Την οριζόντια προένταση του εδάφους.
- Την τριβή μεταξύ τοίχου και εδάφους.

Στα πλαίσια του σχεδιασμού ενός τοίχου με αγκύρια δεν χρησιμοποιείται η κατάσταση ακινησίας κατά των υπολογισμό των ωθήσεων των γαιών. Χρησιμοποιώντας την ακινησία των εδαφικών ωθήσεων αυτονόητα θεωρείτε ότι δεν

υπάρχει γραμμική παραμόρφωση στο σύστημα. Όμως πρακτικά για την κατασκευή ενός εύκαμπτου τοίχου με αγκύρια αυτό είναι αδύνατο.

Η κατανομή της τάσης πίσω από τον τοίχο εξαρτάται από την παραμόρφωση στην οποία υπόκειται ο τοίχος. Η κατασκευή του τοίχου γίνεται από πάνω προς τα κάτω, τοποθετείται το αγκύριο, προεντείνεται και «κλειδώνεται».

Η μορφή των ωθήσεων των γαιών και η παραμόρφωση δεν είναι τυπικά προσδιορισμένη με ακρίβεια υποθέτοντας γραμμική αύξηση με την αύξηση του βάθους. Ιδιομορφίες στη μορφή της παραμόρφωσης μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλότερες πιέσεις από την πλήρως ενεργή κατάσταση.

### **2.2.8 Απόσταση μεταξύ γειτονικών αγκυρίων**

Η κάθετη απόσταση του πρώτου αγκυρίου (το αγκύριο πλησιέστερα στο έδαφος) πρέπει να εκτιμηθεί με βάση την επιτρεπόμενη παραμόρφωση προβόλου – τοίχου. Η απόσταση αυτή επίσης πρέπει να είναι τέτοια ώστε να ελαχιστοποιήσει την πιθανότητα υπέρβασης της παθητικής ικανότητας του υποστηριζόμενου εδάφους κατά την τοποθέτηση του αγκυρίου και τις δοκιμαστικές φορτίσεις του. Για τα αγκύρια σε έδαφος η ελάχιστη απόσταση του πρώτου αγκυρίου από το έδαφος είναι 4.5m. Αυτό γίνεται για να αποφευχθεί η διαρροή του ενέματος και η διαφυγή του στην επιφάνεια λόγω της πίεσης κατά τη σκυροδέτηση.

### **2.2.9 Σεισμική δράση**

Γενικά η συμπεριφορά τοίχων με αγκύρια στο σεισμό είναι πολύ καλή ακόμα και σε πολύ ισχυρούς. Μετά το ισχυρό σεισμό στην Καλιφόρνια το 1987 συντάχθηκε μία έρευνα με την απόκριση 10 τοίχων με αγκύρια στην περιοχή του Los Angeles. Μόνο ένα από τα 10 είχε σχεδιαστεί έναντι σεισμικών φορτίσεων και οι ερευνητές κατέληξαν στο ότι οι τοίχοι οι οποίοι εξετάστηκαν παρουσίασαν πολύ καλή συμπεριφορά και είχαν μικρή έως καμία απώλεια της ακεραιότητας τους κατά το σεισμό.

Οι μορφές αστοχίας λόγω σεισμού, οι οποίες λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό του τοίχου με αγκύρια είναι δύο, η εξωτερική και εσωτερική αστοχία. Η εσωτερική αστοχία αντιστοιχεί στην αστοχία ενός στοιχείου του τοίχου όπως είναι οι τένοντες, τα αγκύρια ή και ο τοίχος ακόμα. Η εξωτερική αστοχία αντιστοιχεί σε καθολική αστοχία του τοίχου η οποία περνάει από την επιφάνεια ολίσθησης πέρα από τα αγκύρια και φτάνει μέχρι τον πόδα του πασσάλου.

Η εκτίμηση της εσωτερικής και εξωτερικής σεισμικής σταθερότητας γίνεται με μία ψευδο-στατική ανάλυση.

## **2.3 Τοίχοι αντιστήριξης**

### **2.3.1 Ιστορική αναδρομή**

Ο τοίχος αντιστήριξης είναι μια κατασκευή με την οποία μπορούμε να επιτύχουμε και να διατηρήσουμε τη διαφορά στάθμης μεταξύ δύο διαφορετικών επιφανειών στο έδαφος. Οι πρώτες προσπάθειες για τη μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς του εδάφους αφορούσαν την ευστάθεια των τοίχων. Η εκτίμηση της πραγματικής εσωτερικής εντατικής κατάστασης του εδάφους είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό, τόσο της συμπεριφοράς του εδάφους, όσο και την επιλογή και διαστασιολόγηση του στοιχείου αντιστήριξης. Σύμφωνα με αυτή την άποψη ο Vauban, χωρίς να κάνει υπολογισμούς, προσπάθησε να τυποποιήσει τις διαστάσεις των τοίχων των οχυρών της Γαλλίας. Έναν αιώνα περίπου μετά, το 1776 ένας άλλος Γάλλος στρατιωτικός μηχανικός, οCoulomb, ασχολήθηκε ιδιαίτερα με το θέμα των ωθήσεων στους τοίχους και με τις απόψεις του έβαλε τις βάσεις για τη γενικότερη μελέτη της αντοχής του εδάφους. Το 1857 ο Rankine, θέλοντας να προσδιορίσει τις ωθήσεις του εδάφους, ξεκινά από διάφορες υποθέσεις αρκετά απλοποιημένες, που προκύπτουν σαν συμπέρασμα από τη γενική θεωρία της ελαστικότητας. Σε αντίθεση με τον Rankine, ο Resal, συνεχιστής των απόψεων του Boussinesq, θεωρεί ότι ένας όγκος εδάφους μπορεί να περιορίζεται όχι μόνο από την πάνω πλευρά του εδάφους, αλλά ένα διαφορετικής κλίσεως επίπεδο από την κάτω και πλάγια πλευρά. Στη συνέχεια ο Poncelet και ο Culman θέλησαν να προσδιορίσουν τον υπολογισμό των ωθήσεων των γαιών χρησιμοποιώντας γραφικές μεθόδους (Τσίρκας, 2015).

Τοίχοι αντιστήριξης στην Αρχαία Ελλάδα : Είναι γεγονός πως οι αρχαίοι Έλληνες ήταν πρωτοπόροι στις κατασκευές πάντως τύπου και αυτό αποδεικνύεται από πολλά ευρήματα σε όλη τη χώρα. Οδικά έργα, οχυρώσεις, τοίχοι αντιστήριξης και φράγματα έχουν ανακαλυφθεί, προκαλώντας θαυμασμό για την αντοχή τους μέσα στο χρόνο και την αρχιτεκτονική τους. Ενδεικτικά παραδείγματα τοίχων αντιστήριξης αποτελούν οι τοίχοι που εμφανίζονται σε ένα ευρύτατο πλαίσιο κατασκευών της Μυκηναϊκής περιόδου όπου υπάρχουν σχεδόν παντού. Στους θεμελιότοιχους των κτηρίων, στα έργα οδοποιίας, σε εγγειοβελτιωτικά έργα και στην οχυρωματική αρχιτεκτονική. Επιπλέον, οι τοίχοι αντιστήριξης χρησιμοποιούνταν αρκετά στην κατασκευή αρχαίων θεάτρων (Σχήμα 4).



**Σχήμα 4:** Το αρχαίο θέατρο της Μυτιλήνης (<http://www.diazoma.gr/theaters/archeo-theatro-mytilenes/>).

### 2.3.2 Τύποι τοίχων αντιστήριξης

Στο έδαφος αναπτύσσονται κατακόρυφες και οριζόντιες τάσεις οι οποίες αυξάνονται με το βάθος. Η συνισταμένη των οριζόντιων εδαφικών τάσεων ονομάζεται εδαφική ώθηση. Στην περίπτωση απότομης μεταβολής του εδάφους (πρανές) το έδαφος τείνει να αστοχήσει απαιτώντας την ύπαρξη κάποιας αντιστήριξης που θα παραλάβει τις εδαφικές ωθήσεις. Η κατασκευαστική παρέμβαση που αντιτίθεται σε αυτές τις ωθήσεις και παραλαμβάνει τις τάσεις που πρόκειται να προκαλέσουν αστοχία ονομάζεται τοίχος αντιστήριξης. Ως τοίχος αντιστήριξης νοείται κάθε τεχνικό έργο που υποστηρίζει ένα επίχωμα ύψους πρανούς μεγαλύτερο από 0,50 m πάνω από την στάθμη επιχώματος ή από το φυσικό έδαφος που βρίσκεται σε άμεση επαφή με την όψη του.

Οι τοίχοι αντιστήριξης κατασκευάζονται κυρίως για την υποστήριξη κάθετων ή σχεδόν κάθετων επιφανειών εδάφους, οι οποίες προκύπτουν είτε από εκσκαφή είτε από επανεπίχωση. Εφαρμόζονται τόσο για μόνιμες όσο και για προσωρινές κατασκευές. Η ανυποστήρικτη κατακόρυφη εκσκαφή εφαρμόζεται:

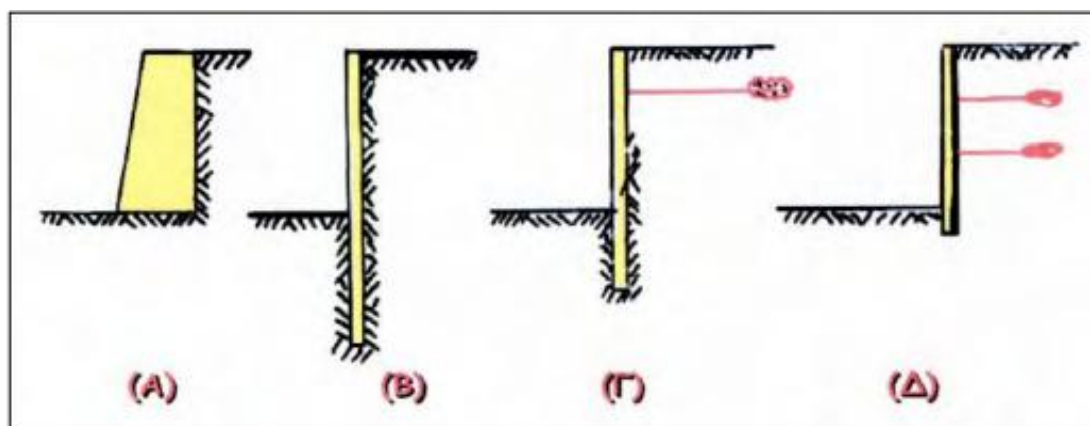
α) Σε υγιείς βράχους μεγάλης αντοχής στους οποίους δεν υπάρχει κίνδυνος καταπτώσεων (γενικά πρέπει να λαμβάνονται μέτρα ασφαλείας για την πιθανότητα καταπτώσεων).

β) Σε προσωρινές εκσκαφές μικρού ύψους σε εδαφικά υλικά (π.χ. εκσκαφή ενός υπογείου σε οικοδομικό έργο βάθους ~3m πριν τον ξυλότυπο)

Σε όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις η ανυποστήρικτη εκσκαφή δεν πρέπει να είναι κάθετη, αλλά υπό κλίση. Στην ανυποστήρικτη εκσκαφή συχνά εφαρμόζονται

αναβαθμοί ανά 10 με 15 m ύψους πρανούς το μέγιστο, για την προστασία σε περίπτωση καταπτώσεων.

Οι διάφοροι χρησιμοποιούμενοι τύποι αντιστηρίξεων εδαφικών μαζών, αναλόγως της θέσης, των απαιτήσεων αντιστήριξης, των ποιοτικών και γεωτεχνικών χαρακτηριστικών του εδάφους αντιστήριξης και των συνθηκών και δυνατότητας χρήσης μέσω για την εφαρμογή της αντιστήριξης, συνοπτικά είναι :



Σχήμα 5: Βασικοί τύποι εδαφικών αντιστηρίξεων

Τοίχοι Αντιστήριξης Βαρύτητας (A): Είναι μόνιμες κατασκευές και οι παλαιότερα χρησιμοποιούμενες, η αντίστασή τους προέρχεται από το βάρος τους, προϋποθέτουν ανοχή στις μετακινήσεις, είναι ογκώδεις και υφίστανται αυξημένη καταπόνηση σε σεισμό.

Αυτοφερόμενα Πετάσματα (B): Χρησιμοποιούνται σε προσωρινές αντιστηρίξεις για σχετικά μικρού βάθους εκσκαφές, οι ωθήσεις των γαιών εξισορροπούνται από το κατάντη έδαφος κατά μήκος της έμπηξης και έχουν περιορισμένη εφαρμογή λόγω των μεγάλων πλευρικών μετατοπίσεων που επιτρέπουν.

Πετάσματα με Αγκύρωση Κεφαλής (Γ): Χρησιμοποιούνται σε προσωρινές ή μόνιμες αντιστηρίξεις, οι ωθήσεις των γαιών εξισορροπούνται από το κατάντη έδαφος κατά μήκος της έμπηξης και από το αγκύριο, εφαρμόζονται συχνά στη κατασκευή Λιμενικών Έργων και επιτρέπουν μέτριες μετακινήσεις.

Πετάσματα με πολλαπλή Αγκύρωση ή Αντιστήριξη (Δ): Χρησιμοποιούνται σε προσωρινές ή μόνιμες αντιστηρίξεις και εφαρμόζονται κυρίως σε εκσκαφές εντός κατοικημένων περιοχών, οι ωθήσεις των γαιών εξισορροπούνται από το κατάντη έδαφος κατά μήκος της έμπηξης και από τα αγκύρια ή τις αντιστηρίξεις σε διάφορα σημεία καθ' ύψος ή και στη κεφαλή. Σε περίπτωση που δεν έχουμε επαρκές μήκος έμπηξης κάτω από το επίπεδο της εκσκαφής (διαφραγματικοί τοίχοι, τοίχοι τύπου

“Βερολίνου” κλπ.), δεν υπάρχει εξισορρόπηση από το κατάντη έδαφος. Υπάρχουν εύκαμπτες και άκαμπτες αντιστηρίξεις αυτού του τύπου και οι συνηθέστερες είναι :

- $\frac{3}{4}$  Τοίχοι Τύπου “Βερολίνου” (berlinoise).
- Μεταλλικές Πασσαλοσανίδες (μεταλλικοί πασσαλότοιχοι).
- $\frac{3}{4}$  Έγχυτοι διαφραγματικοί τοίχοι.
- $\frac{3}{4}$  Έμπηξη σιδηρών πασσάλων με επένδυση από οπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σταδιακά κατά την εκσκαφή.
- $\frac{3}{4}$  Πασσαλότοιχοι από αλληλοτεμνόμενους ή εφαπτόμενους πασσάλους σκυροδέματος.

Σε όλες τις ανωτέρω περιπτώσεις, πλην της περίπτωσης (Δ) οι μετακινήσεις του πετάσματος είναι αρκετές για να δώσουν «ενεργητική» ώθηση και μερικώς «παθητική» αντίσταση του εδάφους. Στην περίπτωση (Δ) αναμένονται μικρές παραμορφώσεις και μετακινήσεις, που εξαρτώνται γενικά από το βάθος της εκσκαφής.

Με την πάροδο του χρόνου, διάφοροι τύποι τοίχων αντιστήριξης έχουν αναπτυχθεί για να συμβαδίσουν με τις ανάγκες της κάθε εποχής. Παρακάτω γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των διαφόρων αυτών τύπων τοίχων αντιστήριξης.

#### **α. Τοίχοι αντιστήριξης από ξηρολιθοδομή**

Πρόκειται ίσως για την παλαιότερη μορφή κατασκευής. Ένας τοίχος αντιστήριξης από ξηρολιθοδομή είναι κατασκευασμένος από πλατειές συνήθως πέτρες (για την καλύτερη κατανομή των εσωτερικών δυνάμεων), χωρίς μεταξύ τους συνθετικό κονίαμα. Η ευστάθεια των έργων αυτών εξαρτάται κυρίως από την τεχνική του κτισίματος τους, δηλαδή την πρόσφυση κατακόρυφων αρμών και τη διατήρηση οριζόντιων αρμών. Τα διάφορα φορτία (ωθήσεις και ίδιο βάρος), κατανέμονται μεταξύ των πετρών κατά την κατακόρυφη έννοια, σημειακά. Με τον τρόπο αυτό η επιλογή από τον κατασκευαστή πεπλατυσμένων πετρών είναι αναγκαία για την αποφυγή της σημειακής στηρίξεως και τη μετατροπή της σε κατανεμημένη. Τα έργα αυτά δεν υπερβαίνουν συνήθως τα δύο μέτρα ελεύθερο ύψος, εκτός βέβαια από ορισμένες περιπτώσεις παλαιών κατασκευών, που χρησιμοποιήθηκαν για το σκοπό αυτό ογκόλιθοι. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα διατηρούμενα μέχρι σήμερα τείχη ακροπόλεων, όπως τα «Κυκλώπεια» τείχη στις Μυκήνες (Σχήμα 3) και διάφορων άλλων οχυρωματικών έργων. Σήμερα τέτοιες κατασκευές συναντάμε σε διαμορφώσεις αναβαθμών σε καλλιεργήσιμες κυρίως περιοχές.





*Σχήμα 6: Τα Κυκλώπεια Τείχη στις Μυκήνες (<https://www.tripadvisor.com.gr/>).*

### **β. Τοίχοι αντιστήριξης από λιθοδομή**

Είναι κατασκευές ανάλογες, μορφολογικά τουλάχιστον, με τους τοίχους από ξηρολιθοδομή, με τη διαφορά ότι η σύνδεση των λίθων γίνεται με κονίαμα απλό ή ενισχυμένο. Τα διάφορα φορτία (ίδιο βάρος, ωθήσεις γαιών) κατανέμονται επιφανειακά στις επιφάνειες των στρώσεων από πέτρες και κονίαμα με αποτέλεσμα τη βελτίωση της αντοχής. Η καλή εσωτερική κατανομή των δυνάμεων στους τοίχους από λιθοδομή είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του ελεύθερου ύψους του τοίχου στις διάφορες χρήσεις του. Το μειονέκτημα όμως των έργων αυτών ήταν ότι λόγω του μεγάλου σχετικά ιδίου βάρους, είναι αντιοικονομική σε αρκετές περιπτώσεις η θεμελίωσή τους σε εδάφη όχι συνεκτικά, δηλαδή χαμηλής αντοχής. Η ψαθυρότητα που χαρακτηρίζει τη φύση των υλικών που αποτελούν ένα τοίχο αντιστήριξης από λιθοδομή, δηλαδή οι πέτρες και το κονίαμα, δεν επιτρέπουν την παραλαβή δυνάμεων ελκυσμού αλλά και την παρακολούθηση των παραμορφώσεων στον ορίζοντα θεμελίωσής του. Οι τοίχοι αντιστήριξης από λιθοδομή είχαν παλαιότερα μεγάλη εφαρμογή. Με την εισαγωγή όμως νέων υλικών δομήσεως (πχ σκυρόδεμα) άρχισε σταδιακά η εγκατάλειψη της κατασκευής τους, αφού κρίθηκε σαν αντιοικονομική σε σύγκριση με τους τοίχους από άοπλο και οπλισμένο σκυρόδεμα.



### **γ. Τοίχοι αντιστήριξης από άοπλο σκυρόδεμα**

Στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα το σκυρόδεμα αποκτά ουσιαστική συμμετοχή στην κατασκευή τοίχων αντιστήριξης, κατ' αρχήν με την υλοποίηση έργων αντιστήριξης από άοπλο σκυρόδεμα. Το μεγάλο πλεονέκτημα της έγχυσης του σκυροδέματος σε ξυλότυπους έδωσε τη δυνατότητα στο σχεδιασμό διατομών με στόχο την εκμετάλλευση του τρόπου εδράσεως, των κλίσεων του τοίχου κατά τα ανάντη και κατόντη κλπ. Καθώς οι τοίχοι αντιστήριξης από άοπλο σκυρόδεμα είναι έργα βαριά, ογκώδους κατασκευής, δύσκαμπτα όπως οι τοίχοι από λιθοδομή, πρέπει να κατασκευάζονται σε εδάφη επί το πλείστον συνεκτικά. Λόγω της μονολιθικότητας της κατασκευής, η κατανομή των φορτίων (ίδιο βάρος, ωθήσεις γαιών) είναι στην περίπτωση αυτή αρμονικά κατανεμημένα στον κορμό του τοίχου, με αποτέλεσμα να πλεονεκτεί ως προς τη στατική ευστάθεια σε σύγκριση με τους λιθοδόμητους τοίχους. Η ανάπτυξη όμως εσωτερικών εντατικών καταστάσεων, λόγω αυξήσεως της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος (διαστολή) αλλά και λόγω πήξεως του σκυροδέματος σε αυξομείωση βαθμών κελσίου, όπως ορίζει ο κανονισμός, απαιτεί κατακόρυφους αρμούς διακοπής (αρμοί διαστολής) για την αποφυγή εμφάνισης ρηγματώσεων). Στην κατηγορία των τοίχων από άοπλο σκυρόδεμα εντάσσονται και οι τοίχοι από λιθόδεμα. Η ανάγκη της χρησιμοποίησης λιθοδέματος σε τέτοιες κατασκευές έγκειται καθαρά σε λόγους οικονομικούς. Αντικαθίσταται δηλαδή ένα μέρος του όγκου του έργου (συνήθως 15%) με πέτρες λατομείου. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται περισσότερη οικονομία στην κατασκευή χωρίς να αλλάζει ουσιαστικά η στατική ευστάθεια του έργου.

### **δ. Τοίχοι αντιστήριξης από οπλισμένο σκυρόδεμα**

Η χρησιμοποίηση οπλισμένου σκυροδέματος στην κατασκευή τοίχων αντιστήριξης έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση των διαστάσεων και του ίδιου βάρους του τοίχου έναντι ανατροπής, επαυξάνει δε σημαντικά την πίεση του εδάφους στη βάση θεμελιώσεως του τοίχου. Το ίδιο βάρος είναι είτε των υπερκείμενων γαιών, είτε άλλου υλικού (πχ λιθορριπή) που τοποθετείται πάνω από την προεξοχή του θεμελίου, χωρίς να αυξάνεται υπερβολικά η τάση στο έδαφος θεμελιώσεως. Όταν το ύψος των γαιών που πρέπει να αντιστηριχτούν είναι μεγάλο, οι τοίχοι αντιστήριξης από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι πιο οικονομικοί από τοίχους από άλλα υλικά (πχ λιθορριπή ή λιθόδεμα). Η μεγάλη μείωση του ίδιου βάρους στους τοίχους από οπλισμένο σκυρόδεμα και η πλήρης εκμετάλλευση του βάρους του πρίσματος των

γαιών σαν δύναμη ευστάθειας, έχει ως αποτέλεσμα τη χρησιμοποίηση τέτοιων κατασκευών σε εδάφη όχι συνεκτικά, χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις θεμελίωσης.



Σχήμα 7: Κατασκευή τοίχου αντιστήριξης από οπλισμένο σκυρόδεμα (<http://www.zampakolas.gr/projects-erga/ergo2/>).

#### **ε. Τοίχοι μεταλλικοί**

Αποτελούνται από ένα απλό διάφραγμα από πασσαλοσανίδες που πακτώνονται στο έδαφος και αγκυρώνονται σε ένα ή περισσότερα σημεία. Η λύση των μεταλλικών τοίχων είναι δαπανηρή λόγω του μεγάλου κόστους των πασσαλοσανίδων, γι' αυτό χρησιμοποιούνται συνήθως για προσωρινές αντιστηρίξεις κάτω από τη στάθμη του υπογείου ορίζοντα. Μετά το τέλος της εκσκαφής και του έργου που πρόκειται να κατασκευαστεί από κυματοειδή ελάσματα που δημιουργούν κιβώτια τα οποία γεμίζονται με χώμα για να αποκτήσουν την απαιτούμενη ευστάθεια.

#### **στ. Διαφραγματικοί τοίχοι**

Αυτοί οι τοίχοι διαφέρουν από τους τοίχους βαρύτητας στο γεγονός ότι κατασκευάζονται επιτόπου πριν από την εκσκαφή ώστε να υποστηρίξουν το έδαφος. Οι διαφραγματικοί τοίχοι είναι λιγυρές κατασκευές, δηλαδή i) το ίδιο βάρος τους αγνοείται και κανονικά δεν αλληλεπιδρούν κατακόρυφα με το έδαφος από κάτω τους,

ii) δε χρειάζονται έλεγχο έναντι ολίσθησης ή αστοχίας φέρουσας ικανότητας, iii) βασίζονται στην ενεργοποίηση της παθητικής ώθησης στο εμπρός τμήμα τους για στήριξη κάτω από στάθμη εκσκαφής, iv) αναμένεται ότι θα παραμορφωθούν, τουλάχιστον κάτω από στάθμη εκσκαφής, v) συνήθως αντιστηρίζονται ή αγκυρώνονται επάνω από το βάθος εκσκαφής, οπότε οι πιέσεις που μπορούν να αναπτυχθούν πίσω από ένα τοίχο εξαρτώνται από την ευκαμψία του τοίχου, το μέγεθος της αντιστήριξης που παρέχεται και τη στάθμη στην οποία εφαρμόζεται. Οι τοίχοι αυτοί πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να αποτρέπουν:

- τη γενική αστοχία λόγω περιστροφής ή ολίσθησης σε βάθος
- την έλλειψη κατακόρυφης ισορροπίας
- τη δομική αστοχία λόγω καμπτικής ροπής ή διάτμησης
- την υπερβολική παραμόρφωση
- την αστάθεια σε ανατροπή – ισορροπία δυνάμεων
- την αστοχία λόγω μετακίνησης



Σχήμα 8: Διαφραγματικοί Τοίχοι: Φάση Εκσκαφής. (<http://ecomu.users.uth.gr/6aa.htm>)

#### **στ. Διαφραγματικοί τοίχοι εν προβόλω**

Συχνά χρησιμοποιούνται χαλύβδινοι πασσαλότοιχοι που εισχωρούν στο έδαφος για να υποστηρίξουν τις κατακόρυφες πλευρές των εκσκαφών κατά τη διάρκεια της



κατασκευής. Για να αποφευχθεί εσωτερική αντιστήριξη ή εξωτερική αγκύρωση προτιμάται αν υπάρχει δυνατότητα ο σχεδιασμός ώστε ο τοίχος να λειτουργεί ως πρόβολος. Οι πάσσαλοι αφαιρούνται αφού ολοκληρωθεί η κατασκευή κάτω από το έδαφος και γίνει η επίχωση. Το ύψος του πρέπει να κυμαίνεται από τρία έως πέντε μέτρα ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και την παρουσία ή όχι νερού. Οι αναπτυσσόμενες παραμορφώσεις και η εξώθηση της κορυφής του τοίχου μπορεί να είναι σημαντικές. Συνεχείς πασσαλότοιχοι έγχυσης και διαφραγματικοί τοίχοι χρησιμοποιούνται επίσης συχνά ως πρόβολοι για μόνιμες εφαρμογές όπως κατασκευές αντιστήριξης κατά μήκος αυτοκινητοδρόμων. Λόγω των ελάχιστων δονήσεων κατά τη διάτρηση και την αφαίρεση του υλικού, αυτές οι μέθοδοι μπορούν να υιοθετηθούν για τοίχους κοντά σε υπάρχουσες κατασκευές. Οι διαφραγματικοί τοίχοι είναι οι πιο κατάλληλοι όταν υπάρχει υψηλός υδροφόρος ορίζοντας και όταν απαιτείται μεγαλύτερη καμπτική αντίσταση.

#### ζ. Πασσαλοσανίδες

Οι πασσαλοσανίδες θεωρούνται μεμονωμένα στοιχεία ενός τοίχου αντιστήριξης και αποτελούνται από πασσάλους. Η κατασκευή τους γίνεται μέσω αρμών αλληλεμπλοκής σε κατά μήκος τοποθέτηση ή με τη βοήθεια ειδικών συνδετήρων. Είναι σύνθετη κατασκευή γιατί αποτελείται από τα στοιχεία των πασσαλοσανίδων, το αντιστηριζόμενο υλικό, τις αγκυρώσεις, τις διαδοκίδες και τις οριζόντιες δοκούς στήριξης. Χρησιμοποιούνται για την αντιστήριξη εδάφους και νερού.



Σχήμα 9: Σχεδιασμός προσωρινών έργων αντιστήριξης με πασσαλοσανίδες για την κατασκευή αντλιοστασίου ψύξης σταθμού ενέργειας (<http://ecomu.users.uth.gr/6d.htm>)

### **2.3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τις μορφές των τοίχων αντιστήριξης**

#### **α) Υλικό Κατασκευής**

Το υλικό κατασκευής των τοίχων αντιστήριξης επηρεάζει το σχεδιασμό τους, λόγω της ίδιας του αντοχής και του ίδιου βάρους. Από την κατάλληλη εκλογή του υλικού εξαρτάται και η τεχνικοοικονομικότητα της λύσης.

#### **β) Συνθήκες Δομήσεως**

Όταν οι συνθήκες δόμησης είναι δυσμενείς, όπως π.χ. κάτω από τη στάθμη του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα, αποκλείονται ορισμένοι τύποι τοίχων που θα ήταν προτιμότεροι σε άλλες συνθήκες. Πάντα στις περιπτώσεις αυτές η εκλογή του τύπου του τοίχου αντιστήριξεως γίνεται με κριτήριο τον οικονομικότερο τρόπο εκτέλεσης του έργου.

#### **γ) Φύση του Εδάφους**

Πρόκειται για τον καθοριστικότερο παράγοντα στη σχεδίαση τοίχων αντιστήριξης γιατί η τιμή των ωθήσεων επί του τοίχου εξαρτάται από την ποιότητα του εδάφους. Έτσι, για πολύ συνεκτικά εδάφη ή πετρώματα ο τοίχος αντιστήριξης αποτελεί απλή επένδυση, ενώ για τα χαλαρά εδάφη έχουμε μεγάλες ωθήσεις με αποτέλεσμα να αποκλείονται έτσι ορισμένοι τύποι τοίχων αντιστήριξης. Η εκλογή μορφής του τοίχου εξαρτάται και από το έδαφος θεμελίωσης. Είναι γεγονός ότι για καλή ποιότητα εδάφους έχουμε τη δυνατότητα να κατασκευάσουμε τοίχο με μεγάλο ίδιο βάρος ή τοίχο που θα μεταφέρει μεγάλης κλίσεως φορτία στα θεμέλιά του. Αντίθετα, για εδάφη κακής ποιότητας επιδιώκουμε να έχουμε χαμηλές τιμές φορτίων των οποίων η συνισταμένη τους να πλησιάζει όσο γίνεται την κατακόρυφη, με στόχο την ομοιόμορφη κατανομή τάσεων στο έδαφος.

#### **δ) Φύση των Φορτίων και των Εξωτερικών Δυνάμεων**

Εκτός από τις ωθήσεις του εδάφους, λαμβάνονται υπόψη σε ορισμένους τοίχους διάφορα εξωτερικά φορτία που επηρεάζουν σημαντικά την επιλογή της μορφής των τοίχων αντιστήριξης.

#### **ε) Ύψος Τοίχου**

Για μικρά ύψη δεν υπάρχουν ιδιαίτερα προβλήματα, όμως για μεγάλα ύψη με οριακή περίπτωση τα υδροηλεκτρικά φράγματα, απαιτούνται ειδικές λύσεις.

### 3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

#### 3.1 Εισαγωγικά Στοιχεία

Ο ασφαλής γεωτεχνικός σχεδιασμός των έργων Πολιτικού Μηχανικού βασίζεται στην ορθολογική επιλογή και την εκτίμηση των τιμών για τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του εδαφικού υλικού ή πετρώματος της θεμελίωσής του αλλά και του πέριξ αυτής χώρας. Οι ιδιότητες αυτές των εδαφών, προσδιορίζονται και ποσοτικοποιούνται με γεωτεχνικές παραμέτρους οι οποίες χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς της μελέτης. Οι γεωτεχνικές αυτές παράμετροι προκύπτουν από τα αποτελέσματα των επιτόπου ερευνών και εργαστηριακών δοκιμών καθώς και από άλλα σχετικά στοιχεία. Τα σχετικά στοιχεία ερμηνεύονται ή ποσοτικοποιούνται με τρόπο κατάλληλο, ώστε να γίνεται εκτίμηση της οριακής κατάστασης, σε κάθε περίπτωση.

Οι απαιτήσεις που αφορούν την αξιολόγηση των γεωτεχνικών παραμέτρων, αναφέρονται μόνο στις συχνότερα χρησιμοποιούνται εργαστηριακές και επιτόπου δοκιμές. Μπορούν να χρησιμοποιούνται και άλλες δοκιμές υπό την προϋπόθεση ότι η καταλληλότητα τους έχει αποδειχθεί από συναφή εμπειρία.

Για να προσδιορισθούν αξιόπιστες τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων, που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε μία γεωτεχνική μελέτη, σύμφωνα και με τον Ευρωκώδικα 7-ENV 1997, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα στοιχεία:

- Πολλές εδαφικές παράμετροι δεν είναι απόλυτα σταθερές, αλλά εξαρτώνται από ποικίλους παράγοντες όπως το προβλεπόμενο μέγεθος των τάσεων, ο τρόπος παραμόρφωσης κλπ.
- Κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων των δοκιμών, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη δημοσιευμένες πληροφορίες σχετικά με τη χρήση κάθε τύπου δοκιμής στις κατάλληλες εδαφικές συνθήκες.
- Το πρόγραμμα ερευνών θα πρέπει να περιλαμβάνει επαρκή αριθμό δοκιμών ώστε να συγκεντρωθούν στοιχεία για τον προσδιορισμό των τιμών και των μεταβολών των διαφόρων παραμέτρων που υπεισέρχονται στη μελέτη.
- Η τιμή κάθε παραμέτρου θα πρέπει να συγκρίνεται με σχετικά δημοσιευμένα στοιχεία και την τοπική και εν γένει εμπειρία, όπως επίσης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη δημοσιευμένες συσχετίσεις μεταξύ παραμέτρων, όπου απαιτείται.

Σύμφωνα με τα ανωτέρω, οι τιμές των γεωτεχνικών ιδιοτήτων και τιμών για το υπέδαφος μιας συγκεκριμένης θέσης, εκτιμώνται με βάση τα αποτελέσματα των γεωλογικών και γεωτεχνικών διερευνήσεων που πραγματοποιούνται κατά τη φάση σχεδιασμού του έργου και επιβεβαιώνονται στη συνέχεια με τις επί τόπου δοκιμές κατά τη διάρκεια κατασκευής του έργου, όπου αυτό είναι δυνατόν.

Σύμφωνα με νέες αντιλήψεις, οι εμπειρίες και πρακτικές που αποκομίζονται από τις φάσεις κατασκευής ενός γεωτεχνικού έργου, σε συνδυασμό με την ενόργανη παρακολούθηση αυτού όσον αφορά τη συμπεριφορά αλλά και την εξακρίβωση στη πράξη των παραμέτρων της μελέτης αυτού, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο ίδιο έργο νέα στοιχεία που προκύπτουν κατά την εξέλιξη αυτού, ενημερώνοντας τις παραμέτρους του έργου και βελτιώνοντας κάθε φορά τόσο τον σχεδιασμό του όσο και τη διαδικασία της κατασκευής του. Το “πρωτόκολλο” και η διαδικασία αυτή, ήδη εφαρμόζεται στα γεωτεχνικά έργα διάνοιξης σηράγγων με την καθημερινή χαρτογράφηση του μετώπου διάνοιξης που αφορά τους εδαφικούς σχηματισμούς, τη βαθμονόμησή τους και την τροποποίηση των επεμβάσεων και εργασιών διάνοιξης που εξαρτώνται από αυτούς.

Η αποτελεσματικότητα δηλαδή, του γεωτεχνικού σχεδιασμού, αποδεικνύεται αλλά και ενισχύεται σημαντικά όταν κατά την πρόοδο κατασκευής του έργου οι πραγματοποιούμενες παρατηρήσεις των πραγματικών γεωτεχνικών συνθηκών και της συμπεριφοράς των εδαφικών μαζών αλλά και των κατασκευών που σχετίζονται με αυτές (πασσαλότοιχοι κλπ.) ταυτίζονται με τις εκτιμώμενες στη φάση του σχεδιασμού. Έτσι είναι δυνατό να αξιολογηθούν οι συνθήκες, οι τιμές, και οι υποθέσεις που έγιναν κατά το σχεδιασμό του έργου και να τροποποιηθούν (αν καταστεί αναγκαίο) κατάλληλα κατά τη διάρκεια εφαρμογής αυτών. Συνεπώς, οι παρατηρήσεις και οι μετρήσεις που γίνονται κατά τη διάρκεια μιας γεωτεχνικής κατασκευής, αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα της διαδικασίας σχεδιασμού και μελέτης του έργου.

Η χρήση πολλών ή και ακατάλληλων οργάνων σε λάθος θέση, με λάθος προϋποθέσεις και σε λάθος χρόνο, μπορεί να οδηγήσει σε αδυναμία και σε σύγχυση ως προς την καταγραφή των πραγματικών συμπεριφορών και προβλημάτων. Ο γεωτεχνικός μηχανικός εκτός από, πολύπλευρη στο αντικείμενο, άρτια θεωρητική και πρακτική κατάρτιση που θα τον κάνει να γνωρίζει το γιατί στην εφαρμογή της οποιαδήποτε διαδικασίας, πρέπει να έχει ικανές γνώσεις ώστε να ερμηνεύσει σωστά

τα αποτελέσματα των επί τόπου μετρήσεων και να καταλήξει σε συμπεράσματα και αποφάσεις που είναι κρίσιμες για την ασφάλεια του έργου (Ατματζίδης, 1990).

Οι μετρήσεις πεδίου για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς του εδάφους ή της γεωτεχνικής κατασκευής, γενικότερα, έχουν τους εξής στόχους (Ατματζίδης, 1990):

- Διάγνωση ώστε να:
  - (α) επιβεβαιώνεται η ορθότητα ή η καταλληλότητα των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη και το σχεδιασμό του έργου ή τεκμηριώνεται η ανάγκη για τροποποίηση της μελέτης,
  - (β) ελέγχεται η καταλληλότητα του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού ή νέων μεθόδων κατασκευής,
  - (γ) επισημαίνονται έγκαιρα προβλήματα που προκύπτουν από μετρήσεις και αφορούν την ασφάλεια της κατασκευής,
  - (δ) ελέγχεται, σε περίπτωση συνέχισης της ενόργανης παρακολούθησης του έργου, η ικανοποιητική λειτουργία αυτού αφού αποδοθεί στη χρήση.

- Πρόγνωση :

Με τα αποτελέσματα των μετρήσεων πρέπει να δημιουργείται μια βάση δεδομένων αλλά και η απαραίτητη εμπειρία ώστε να γίνονται προβλέψεις για την συμπεριφορά ενός έργου που πρόκειται να κατασκευαστεί μελλοντικά.

- Νομική προστασία :

Ιδιαίτερα σε εφαρμογές σε αστικό περιβάλλον, όπου ένα έργο συνορεύει με διάφορες κατασκευές, η συγκέντρωση στοιχείων από μετρήσεις κατά τη διάρκεια της κατασκευής βοηθά σημαντικά στη διαπίστωση της συμμόρφωσης του αναδόχου με τις προβλέψεις κανονισμών ή προδιαγραφών.

- Έρευνα :

Η συγκέντρωση και κατάλληλη ανάλυση ολοκληρωμένης σειράς μετρήσεων βοηθά αποτελεσματικά στην ανάπτυξη τόσο νέων μεθόδων μελέτης όσο και νέων τεχνικών κατασκευής ενός έργου.

Η εφαρμογή συστημάτων αντιστήριξης βαθιών εκσκαφών σε πυκνά δομημένο αστικό περιβάλλον, ειδικά σε αντίξοες εδαφικές και γεωτεχνικές συνθήκες, αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα έργων Πολιτικού Μηχανικού τα οποία



προκύπτουν από την κατασκευή σύγχρονων έργων υποδομής, όπως Μετρό και πολυώροφοι υπόγειοι χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων, ή και άλλων λιγότερο εκτεταμένων αλλά σημαντικών κατασκευών. Η ανάλυση των προβλημάτων αυτών και η πρόβλεψη των εδαφικών μετακινήσεων είναι απαραίτητη και είναι δυνατόν να διεξαχθεί με χρήση ποικίλων αναλυτικών μεθόδων όπως η θεωρία της πλαστικότητας, η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων και η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών. Ωστόσο, η αξία των αναλυτικών προσεγγίσεων θα ήταν περιορισμένη αν δεν πραγματοποιούνταν ταυτόχρονα μετρήσεις της πραγματικής συμπεριφοράς των στοιχείων αντιστήριξης των βαθιών εκσκαφών, ώστε να επιβεβαιωθεί η πρακτική σημασία των χρησιμοποιούμενων αναλυτικών προσομοιωμάτων.

Τα προβλήματα τα οποία συνδέονται με τη διεξαγωγή βαθιών εκσκαφών αφορούν την ανάλυση της ευστάθειας των εδαφικών μαζών που περιβάλλουν την περιοχή εκσκαφής και την εκτίμηση των αναμενόμενων μετακινήσεων (κατακόρυφων και οριζόντιων) των θεμελιώσεων παρακείμενων κατασκευών. Οι μετακινήσεις αυτές, όταν είναι μεγαλύτερες από ορισμένες οριακές τιμές, είναι δυνατόν να επιφέρουν βλάβες στις παρακείμενες κατασκευές και τα δίκτυα κοινής ωφελείας, με αποτέλεσμα την προσφυγή σε διαδικασίες δικαστικών αγωγών που συνεπάγονται σοβαρές καθυστερήσεις στην πρόοδο των έργων και επιβαρύνσεις του προϋπολογισμού. Για το λόγο αυτό είναι σημαντική η διεξαγωγή μετρήσεων με κατάλληλα συστήματα παρακολούθησης της συμπεριφοράς εδάφους και γεωτεχνικών κατασκευών σε εκτελούμενα έργα. Το ερευνητικό ενδιαφέρον είναι περισσότερο έντονο προς την κατεύθυνση του προσδιορισμού των αναμενόμενων μετακινήσεων των κατασκευών αντιστήριξης και του περιβάλλοντος της εκσκαφής. Η πρόσφατη ερευνητική προσπάθεια στο θέμα της απόκρισης των εδαφικών μαζών που περιβάλλουν την εκσκαφή, στοχεύει κυρίως στην ανάλυση του φαινομένου κάτω από τρισδιάστατες συνθήκες καθώς και στη διερεύνηση της επίδρασης της εγκατάστασης του συστήματος αντιστήριξης και της μη γραμμικής συμπεριφοράς των εδαφικών υλικών.

### **3.2 Υδρογεωλογία της περιοχής**

Στην περιοχή χάραξης της οδού δεν αναμένονται προβλήματα αβαθούς υδροφόρου ορίζοντα, καθώς κατά την διάρκεια των ερευνών δεν παρουσιάστηκε υδροφόρος ορίζοντας μέχρι το τελικό βάθος της γεώτρησης

### 3.2.1 Γεωτρήσεις

Η λήψη δειγμάτων από το έδαφος ονομάζεται γεωτεχνική δειγματοληψία

Γεώτρηση Γ1 (Αφορά το Τμήμα 1, Πουκεβίλ – Γκότση)	
0,00– 3,00m	Καστανή άμμος– αμμοίλυσ με χαλίκια ασβεστολιθικής σύστασης (λεπτά χαλίκια) διάσπαρτα.
3,00 -14,00m	Ιλυώδης άμμος ανοιχτού καστανού χρώματος με διάσπαρτους κατά θέσεις ασβεστολιθικούς χάλικες.
14,00 – 15,50m	Καστανή – καστανότεφρη αμμοίλυσ και αμμώδης άργιλος σε εναλλαγές.
15,50 – 20,00m	Αμμώδης άργιλος καστανότεφρου – τεφρού χρώματος σκληρή μέσης έως υψηλής πλαστικότητας.
20,00 – 27,20m	Αμμοχάλικο ανοιχτού καστανού – καστανοκίτρινου χρώματος με χαλίκια και μικρές κροκάλες (έως 3 cm) ασβεστολιθικής σύστασης.
27,20 – 33,00m	Καστανή άμμος– αμμοίλυσ με ενστρώσεις αργίλου.
33,00 – 47,30m	Αμμοχάλικο ανοιχτού καστανού χρώματος με λεπτά χαλίκια ασβεστολιθικής σύστασης.
47,30 – 60,00m	Καστανή – καστανότεφρη αμμώδης άργιλος – αμμώδης ιλύς με λίγους χάλικες μέσης πλαστικότητας.

### 3.2.2 Δοκιμές τυποποιημένης Διείσδυσης (SPT)

Οι δοκιμές τυποποιημένης Διείσδυσης (SPT) έδωσαν τιμές άρνησης που υποδηλώνουν μέσης έως μεγάλης πυκνότητας ή μέσης έως μεγάλης συνεκτικότητας σχηματισμούς.

### 3.2.3 Εργαστηριακές Δοκιμές

Οι εργαστηριακές δοκιμές εκτελέστηκαν τμηματικά κατά την περίοδο από 12 Δεκεμβρίου 2008 έως 6 Φεβρουαρίου 2009 σύμφωνα με τις Προδιαγραφές Δοκιμών Εδαφομηχανικής (Ε 105/86, ΦΕΚ 955 – Β/31.12.86) και Βραχομηχανικής του ΥΠΕΧΩΔΕ και τις αντίστοιχες διεθνείς προδιαγραφές American Unified Soil Classification System (AUSCS), American Society for Testing and Materials (ASTM) και British Standard 1377/55.

Στα εδαφικά δείγματα εκτελέστηκαν οι ακόλουθες εργαστηριακές δοκιμές:

- Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα
- Φυσική Υγρασία
- Όρια Atterberg
- Φαινόμενο βάρος
- Δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης

- Τριαξονική Δοκιμή UU
- Τριαξονική Δοκιμή CUPP
- Δοκιμή άμεσης διάτμησης

### 3.3 Γεωτεχνική έρευνα και μελέτη

#### 3.3.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Για τη διάνοιξη – κατασκευή της οδού Κανακάρη (στα αδιάνοιχτα τμήματα της), λόγω των λοφοειδών εξάρσεων στην περιοχή δασυλλίου και Γούβας, προβλέπονται οι εργασίες σε δύο τμήματα τα οποία είναι :

**Τμήμα 1. Πουκεβίλ – Γκότση**

**Τμήμα 2. Νόρμαν – Αγ. Σοφίας**

Παρακάτω φαίνεται με αρκετή λεπτομέρεια η κάτοψη του τμήματος 1 της οδού (Πουκεβίλ – Γκότση) το οποίο κατασκευάστηκε.



Σχήμα 10. Τμήμα του χάρτη της πόλης της Πάτρας με την περιοχή διάνοιξης της Κανακάρη στο εξεταζόμενο τμήμα Πουκεβίλ – Γκότση.

Όπως κάθε έργο οδοποιίας έτσι και αυτό είχε κάποιες δυσκολίες στην επίτευξή του, τα οποία ωστόσο αντιμετωπίστηκαν στην φάση της μελέτης. Κύριες δυσκολίες του έργου ήταν η απότομη κλίση του λόφου, επάνω στον οποίον αλλά και στις παρυφές του προβλέπονταν εργασίες, και οι σχετικά μικρές ζώνες απαλλοτρίωσης αφού οι εργασίες θα γινόταν εντός ενός ήδη δομημένου περιβάλλοντος όπως είναι το σχέδιο πόλεως Πατρών.

Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής απαιτεί σοβαρά μέτρα αντιστήριξης στα οποία συμπεριλαμβάνονται φρεατοπάσσαλοι με ή χωρίς αγκύρια, τοίχοι αντιστήριξης επί πασσάλων κ.α.

Το κύριο μέλημα της μελέτης, δεδομένου ότι κάθε μελέτη ενός έργου είναι οικονομοτεχνική, ήταν να επιτευχθούν οι οικονομικότερες λύσεις της διάνοιξης της οδού, εξασφαλίζοντας δε την ασφάλεια και τις ανάγκες / απαιτήσεις του έργου.

Λόγω του ότι αναφερόμαστε σε σεισμογενή περιοχή, έπρεπε να ληφθούν μέτρα αντιστήριξης προσωρινά και μόνιμα ώστε κατά την διάρκεια κατασκευής να μην προκληθούν κατολισθήσεις από τα ανάντη εδάφη στα οποία θα κατασκευαζόταν οι οδοί. Στη συνέχεια αφού η διάνοιξη θα γινόταν εντός αστικής περιοχής έπρεπε να ληφθεί υπόψη ότι ορισμένα τμήματά της θα περνούσαν δίπλα από τις υφιστάμενες οικοδομές. Έτσι η κατασκευή στο σύνολό της δεν θα πρέπει να επηρεάζει την ευστάθεια και την λειτουργικότητα αυτών. Για τον λόγο αυτόν επιλέχθηκαν τρόποι για να μην προκληθούν δονήσεις κατά την κατασκευή του έργου καθώς και δονήσεις.

### 3.3.2 Προβλεπόμενα έργα

Σύμφωνα με την τελευταία τροποποίηση της χάραξης στο τμήμα Πούκεβιλ Γκότση προκύπτουν διατομές όπου θα κατασκευαστούν τοίχοι αντιστήριξης ύψους από 9,0 έως και 17,5 μέτρων.

Ο σχεδιασμός έγινε λαμβάνοντας υπόψη τη γεωλογία της περιοχής, τα γεωμετρικά στοιχεία της χάραξης (υψόμετρα ερυθράς) και τα όρια απαλλοτρίωσης.

Λόγω των συγκεκριμένων ορίων απαλλοτρίωσης δεν είναι δυνατή η δημιουργία πρανών ορυγμάτων ανοικτής εκσκαφής χωρίς την εφαρμογή πρόσθετων μέτρων. Με την εφαρμογή τοίχων αντιστήριξης στο ύψος της ερυθράς, οι οποίοι υπερυψώνουν την αρχική στάθμη του ανοικτού πρανούς μπορεί να δημιουργηθεί το γεωμετρικό μοντέλο μέχρι τα όρια απαλλοτρίωσης. Οι τοίχοι αντιστήριξης δημιουργήθηκαν με κατασκευή πασσαλότοιχων από πασσάλους διαμέτρου Φ100, ικανών να παραλάβουν τα φορτία του πρανούς, χωρίς να αναπτύξουν παραμορφώσεις οι οποίες θα δημιουργήσουν αστάθειες και αποδιοργάνωση στα υπερκείμενα εδαφικά υλικά.

Οι διατομές που ελέγχθηκαν για το συγκεκριμένο τμήμα παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Διατομές οι οποίες ελέγχθηκαν για το τμήμα Πούκεβιλ Γκότση.

ΔΙΑΤΟΜΗ	ΥΨΟΣ ΤΟΙΧΟΥ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ
Δ 5-5	17,50 m
Δ 4-4	14,50 m
Δ 5B-5B	9,50 m

Ο σχεδιασμός των πασσαλότοιχων έγινε με τη χρήση του προγράμματος GEO5 2016. Υπολογίστηκε το βάθος έμπηξης των πασσάλων και τα επιπρόσθετα απαιτούμενα μέτρα για τον περιορισμό των παραμορφώσεων σε αποδεκτά όρια.

Οι έλεγχοι ευστάθειας έναντι κυκλικής ολίσθησης – θραύσης πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τη μέθοδο Bishop, για κυκλική επιφάνεια αστοχίας με μεταβλητή ακτίνα, (μέχρι υπολογισμού του ελάχιστου συντελεστή ασφαλείας) με χρήση του λογισμικού GEO5 2016 .

Στην περιοχή του έργου δεν αναπτύσσεται υδροφόρος ορίζοντας και δεν καταγράφηκαν έργα υδροληψίας ή εκμετάλλευσης υπόγειου νερού.

### **3.3.3 Μέτρα προσωρινής αντιστήριξης (πασσαλότοιχοι)**

Για την κατασκευή του μόνιμου τοίχου κατασκευάστηκε προσωρινός πασσαλότοιχος αντιστήριξης ώστε να δημιουργήσει το χώρο και την επιθυμητή στάθμη κατασκευής του μόνιμου τοίχου αντιστήριξης.

Πιο αναλυτικά στη λύση αυτή προτείνεται:

- αρχικά εκσκαφή και οριζοντιοποίηση εδάφους μέχρι την κατασκευαστική στάθμη διάτρησης και τοποθέτησης των πασσάλων.
- η κατασκευή φρεατοπασσάλων στο ανάντη όριο της ερυθράς και στη συνέχεια
- η διενέργεια της εκσκαφής μέχρι την απαιτούμενη στάθμη κατόπιν της πασσαλοστοιχίας για τη διαμόρφωση του μόνιμου τοίχου αντιστήριξης.
- Κατασκευή του μόνιμου τοίχου αντιστήριξης με πάσσλους κάτω από το πέδιλο του τοίχου με σκοπό την μείωση των μετακινήσεων του τοίχου της ολίσθησης και της ανατροπής.

Από τα πρόσφατα σχέδια της πολεοδομικής μελέτης και μελέτης οδοποιίας προέκυψε ότι το ελεύθερο ύψος του προσωρινού πασσαλότοιχου είναι της τάξης των 17,50m για τις διατομές Δ5-5 και μικρότερο με H=14,50 m για τις διατομές Δ4-4.

Οι πάσσαλοι του προσωρινού διαφράγματος θα έχουν διάμετρο Φ100 και τοποθετούνται σε αξονική απόσταση 1,00 m.

Για την επίτευξη της λύσης αυτής βασική προϋπόθεση είναι η οριζοντιοποίηση της επιφάνειας του εδάφους ανάντη της πασσαλοστοιχίας και του τελικού τοίχου

αντιστήριξης τουλάχιστον για (10) δέκα έως (15) δεκαπέντε μέτρα πίσω από την κεφαλή των πασσάλων.

### **3.3.4 Κατασκευαστικά Θέματα**

Κατά τη διάρκεια των εργασιών έγινε πλήρης τοπογραφική καταγραφή των μετακινήσεων σε όλο το έργο με τοποθέτηση ειδικών οργάνων, όπως η τοποθέτηση αποκλισιομέτρων και πιεζομέτρων, και επιφανειακών μαρτύρων μικρομετακινήσεων σε πυκνό κάναβο. Σε περίπτωση καταγραφής μετακινήσεων θα έπρεπε να ληφθούν άμεσα μέτρα σταθεροποίησης σε συνεννόηση με το μελετητή.

Εκτελέστηκαν δοκιμαστικές φορτίσεις πασσάλων όπως προβλέπεται στον κανονισμό DIN4014.

Επίσης εκτελέστηκαν Δοκιμαστικές εξολκεύσεις αγκυρίων κατά DIN4125.

Πριν της εκτέλεση των έργων προσωρινής αντιστήριξης και μετά την οριζοντιοποίηση του εδάφους ανάντη των έργων προτάθηκε τοπογραφική επιβεβαίωση της γεωμετρίας του εδάφους ανάντη των μέτρων αντιστήριξης.

Η κατασκευή των έργων έγινε παρουσία έμπειρων γεωλόγων και γεωτεχνικών της επίβλεψης. Σε περίπτωση που εξακριβώνονταν συνθήκες διαφορετικές από αυτές των ευρημάτων της γεωτεχνικής έρευνας και μελέτης, απαιτείται τροποποίησή της.

### **3.3.5 Αξιολόγηση Παραμέτρων για το τμήμα Πουκεβίλ – Γκότση**

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της Γεωτεχνικής έρευνας (γεώτρηση Γ1) και της οριστικής γεωλογικής μελέτης για το τμήμα αυτό, στην περιοχή της χάραξης επικρατούν αργιλοαμμώδη, ιλυοαμμώδη υλικά και μεσόκοκκες πυκνές άμμοι με παρεμβολές ιλυωδών και αργιλικών ενστρώσεων.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της προηγούμενης παραγράφου και των εδαφικών τομών, **το υπέδαφος προσομοιώνεται με δύο (2) εδαφικές στρώσεις.**

#### **3.3.5.1 Ιλυώδης Άμμος**

- Κατάταξη : SC – SM
- Αντοχή σε τυποποιημένη διείδυση :  $N_{SPT} = APNHSH$  (M.O. ~ 50)

Από στατιστική επεξεργασία των δοκιμών κατάταξης προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2:

Πίνακας 2: Παρουσίαση αποτελεσμάτων των δοκιμών κατάταξης.

	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ				ΟΡΙΑ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ ΛΙΜΙΤΣ		
	ΧΑΛΥΚΕΣ GRAVEL	ΑΜΜΟΣ SAND	ΙΛΥΣ SILT	ΑΡΓΙΛΟΣ CLAY	ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ LIQUID LIMIT	ΟΡΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ PLASTICITY LIMIT	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ PLASTICITY INDEX
	(%)	(%)	(%)	(%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)
<b>MIN</b>	<b>15</b>	<b>21</b>	<b>21</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>MAX</b>	<b>34</b>	<b>57</b>	<b>49</b>		<b>21</b>	<b>14</b>	<b>8</b>
<b>ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ</b>	<b>27</b>	<b>43</b>	<b>29</b>		<b>17</b>	<b>12</b>	<b>5</b>

Το φαινόμενο βάρος της στρώσης αυτής από εργαστηριακά αποτελέσματα προκύπτει:  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$  και  $\gamma_d = 17 \text{ kN/m}^3$ .

- Παράμετροι αντοχής:
- Βάσει DIN 1055, teil 2 :  $c = 0 \text{ kPa}$ ,  $\varphi' = 35^\circ$
- Σύμφωνα με Dunham (1954),  $\varphi' = 12N^{0.5} + 15 = 35^\circ$
- Σύμφωνα με Peck, Hanson & Thornburn (1974),  $\varphi' = 30^\circ$
- Σύμφωνα με Tomlinson για αργιλικό αμμοχάλικο,  $\varphi' = 30^\circ - 35^\circ$
- Σύμφωνα με McCarthy για ιλυώδη άμμο με χάλικες,  $\varphi' = 30^\circ - 36^\circ$
- Σύμφωνα με NAVFAC (1971) για άμμο και χάλικες,  $\varphi' = 27^\circ - 36^\circ$ ,  $c = 0 - 14 \text{ kPa}$
- Κατά EAU (1985) για ιλυώδη άμμο με χάλικες  $\varphi' = 32.5^\circ - 37.5^\circ$
- Κατά EAB (1985) για ιλυώδη άμμο με χάλικες  $\varphi' = 32.5^\circ - 37.5^\circ$ ,  $c = 5 - 8 \text{ kPa}$

Το ποσοστό των λεπτόκοκκων στο εδαφικό υλικό είναι μεγάλη (44%) οπότε:

**Ø Προτεινόμενες τιμές σχεδιασμού :  $c = 10 \text{ kPa}$ ,  $\varphi' = 34^\circ$**

- Εκτίμηση Ειδικού Μέτρου Συμπιεστότητας ( $D_s$ ):
- Βάσει του τύπου του Schmertman,  $D_s = 766 \cdot N = 35 - 40$  MPa
- Βάσει του Sultze&Menzenbach (1961),  $E_s = C_1 + C_2 \cdot N_{SPT} = 30 - 60$  MPa  
Για  $C_1 = 4.3$  &  $C_2 = 1.16$  και  $C_1 = 2.4$  &  $C_2 = 0.53$
- Βάσει του Bowles (1988) για άμμους και χάλικες  $E_s = 1200 \cdot (N_{SPT} + 6) = 35.6$  MPa
- Βάσει εμπειρίας από παρόμοια εδάφη:  $D_s = 20 - 50$  MPa

Ø Λαμβάνεται  $D_s = 30$  MPa

Ø Δείκτης εδάφους (Bettungstiffer)  $k = 80 - 100$  MPa/m

### 3.3.5.2 Αργιλική στρώση

- Κατάταξη : CL – CH
- Αντοχή σε τυποποιημένη διείδυση : NSPT = ΑΡΝΗΣΗ (Μ.Ο. ~ 50)

Από στατιστική επεξεργασία των δοκιμών κατάταξης προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3:

Πίνακας 3: Παρουσίαση αποτελεσμάτων των δοκιμών κατάταξης.

	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ				ΟΡΙΑ ATTERBERG ATTERBERG LIMITS		
	ΧΑΛΥΚΕΣ GRAVEL	ΑΜΜΟΣ SAND	ΙΛΥΣ SILT	ΑΡΓΙΛΟΣ CLAY	ΟΡΙΟ ΥΛΑΡΟΤΗΤΑΣ LIQUID LIMIT	ΟΡΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ PLASTICITY LIMIT	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ PLASTICITY INDEX
	(%)	(%)	(%)	(%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)
MIN	0	1	57		21	14	5
MAX	7	42	99		42	20	26
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	1	15	84		28	16	13



Το φαινόμενο βάρος της στρώσης αυτής από εργαστηριακά αποτελέσματα προκύπτει:  $\gamma = 21\text{kN/m}^3$  και  $\gamma_d = 18\text{kN/m}^3$ .

· Παράμετροι αντοχής:

- Βάσει DIN 1055, teil 2 :  $C_u = 60 \text{ kPa}$
- Κατά Tomlinson  $C_u = 150 - 300 \text{ kPa}$
- Κατά Sowers (1979)  $C_u = 200 - 400 \text{ kPa}$
- Κατά EAU (1985)  $C_u = 50 - 100 \text{ kPa}$
- Κατά EAB (1985)  $C_u = 50 - 300 \text{ kPa}$
- Βάσει εργαστηριακών αποτελεσμάτων :  $C_u = 100 - 165 \text{ kPa}$

Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται ότι η αστράγγιστη διατμητική αντοχή αυξάνει με το βάθος. Η άξηση αυτή μπορεί αντιπροσωπευτικά να προσομοιωθεί με τη σχέση:

$$C_u = 90 \text{ kPa} + 1.25 * z \text{ όπου } z \text{ το βάθος (Mesri 1984)}$$

### Ø Προτεινόμενη τιμή σχεδιασμού : $C_u = 140 \text{ kPa}$

· Ενεργές παράμετροι σχεδιασμού:

- Βάσει DIN 1055, teil 2 :  $c = 10 \text{ kPa}$ ,  $\varphi' = 22.5^\circ$
- Κατά Sheiding,  $\varphi' = \arctan(0.58 - 0.0045 * l_p)$ . Για  $l_p = 13 - 20 \Rightarrow \varphi' = 26^\circ - 27^\circ$
- Κατά Εδαφομηχανική Βαλαλά (1981),  $\varphi' = 22^\circ - 27^\circ \pm 4$  και  $c' = 20 - 24 \pm 1 \text{ kPa}$
- Σύμφωνα με Mesri (1993),  $\varphi' = 28^\circ$
- Βάσει του Bowles (1996),  $\varphi' = 27^\circ - 32^\circ$
- Βάσει του Ciria (1996),  $\varphi' = 28^\circ$
- Κατά EAU (1985),  $\varphi' = 25^\circ$  και  $c' = 25 \text{ kPa}$
- Κατά EAB (1985),  $\varphi' = 17.5^\circ - 27.5^\circ$ ,  $c = 15 - 25 \text{ kPa}$
- Βάσει εργαστηριακών αποτελεσμάτων :  $c = 29 \text{ kPa}$ ,  $\varphi' = 28^\circ$

### Ø Προτεινόμενες τιμές σχεδιασμού : $c = 20 \text{ kPa}$ , $\varphi' = 28^\circ$

· Εκτίμηση Ειδικού Μέτρου Συμπιεστότητας ( $D_s$ ):

- Βάσει του τύπου του Schmertman,  $D_s = 250 \cdot c - 500 \cdot c = 15 - 30 \text{ MPa}$
- Βάσει Sultze & Menzenbach (1961), για  $PI > 15\%$ ,  $E_s = 400 + 1150N = 57 \text{ MPa}$
- Βάσει του Bowles (1988),  $E_s = 50 - 150 \text{ MPa}$
- Κατά EAU (1985)  $E_s = 5 - 20 \text{ MPa}$
- Κατά Stroud για  $I_p = 20\%$   $E_s = 0.6 \cdot N_{SPT} = 20 \text{ MPa}$
- Βάσει εμπειρίας από παρόμοια εδάφη:  $D_s = 10 - 25 \text{ MPa}$

Ø Λαμβάνεται  $D_s = 20 \text{ kg/cm}^2 = 20 \text{ MPa}$

Ø Δείκτης εδάφους (Bettungstiffer)  $k = 40 - 50 \text{ MPa/m}$

## **4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**

### **4.1 Θεωρητική ανάλυση**

#### **4.1.1 Πασσαλότοιχοι με περισσότερες της μιας στάθμες αγκύρωσης**

Βασικό για το σχεδιασμό ενός πασσαλότοιχου είναι αρχικά να προσδιοριστεί το μέγεθος της καταπόνησης που θα ασκηθεί σε αυτόν. Στη συνέχεια θα πρέπει να σχεδιαστούν οι αγκυρώσεις ή οι αντηρίδες με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να αναλάβουν εξ' ολοκλήρου την αντίσταση έναντι των ωθήσεων των γαιών. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι το συγκεκριμένο σύστημα αντιστήριξης σχεδιάζεται έτσι ώστε να επιτρέπει μικρές έως μέτριες μετακινήσεις στο έδαφος.

Το βάθος έμπτυξης πασσάλων δεν προσδιορίζεται από ανάλυση οριακής ευστάθειας του πασσαλότοιχου αφού οι δυνάμεις αγκυρώσεων υπολογίζονται ώστε να αναλαμβάνουν πλήρως τις ωθήσεις γαιών στην ενεργητική πλευρά. Άλλωστε λόγω των πολλαπλών σταθμών αγκύρωσης, η κινητικότητα της βάσης του τοίχου είναι περιορισμένη και δε μπορεί να αναπτυχθεί η παθητική αντίσταση. Συνεπώς η συμμετοχή της βάσης του τοίχου (έμπτυξη) στην αντίσταση είναι πολύ περιορισμένη. Έτσι το βάθος έμπτυξης των πασσάλων λαμβάνεται εμπειρικά (συνήθως 2-4 μέτρα) και ελέγχεται ότι είναι επαρκές έναντι γενικής ευστάθειας του τοίχου. Αν το ανωτέρω βάθος έμπτυξης δεν επαρκεί (δηλαδή εάν υπάρχει κίνδυνος γενικής αστάθειας του τοίχου) τότε επιμηκύνονται οι αγκυρώσεις ή προστίθενται και άλλες στάθμες αγκύρωσης κοντά στη βάση του τοίχου. Η αύξηση του βάθους του τοίχου ώστε να βελτιωθεί η γενική ευστάθεια αποτελεί ένα τρόπο αντιμετώπισης του προβλήματος, αλλά η προσθήκη μιας επιπλέον στάθμης αγκύρωσης κοντά στη βάση του τοίχου είναι προσηγορύτερη μέθοδος.

Για τον υπολογισμό των δράσεων επί του τοίχου θεωρούμε μία συμβατική κατανομή χαρακτηριστικών τιμών των ωθήσεων στην ενεργητική πλευρά του τοίχου. Πιο συγκεκριμένα, οι κατανομές αυτές είναι ορθογωνικής ή τραπεζοειδής κατανομής (Terzaghi 1933). Οι ωθήσεις αυτές κατανέμονται στα αγκύρια και προκύπτουν οι χαρακτηριστικές δυνάμεις των αγκυρίων.

#### **4.1.2 Καμπτική αντοχή πασσάλων**

Οι πάσσαλοι σχεδιάζονται ώστε να παραλάβουν τα φορτία του εδάφους τα οποία προκαλούνται από τα επιφανειακά φορτία, το υπάρχον νερό και τις σεισμικές δυνάμεις.

Ο υπολογισμός των καμπτικών ροπών σε ένα τοίχο με ένα ή πολλαπλά επίπεδα αγκύρωσης μπορεί να γίνει με δύο μεθόδους. Τη μέθοδος των αρθρώσεων και τη μέθοδος της ζώνης επιρροής.

Για να επιλεγεί η κατάλληλη διατομή τοίχου θα πρέπει να λάβουμε υπόψη τη μέγιστη ροπή η οποία αναπτύσσεται.

Για τον τοίχο που κατασκευάζεται σε καλά εδάφη όπως άμμοι και σκληρές άργιλοι, η μέγιστη ροπή εμφανίζεται στο εκτεθειμένο τμήμα του τοίχου, ενώ για τοίχους που είναι σε ασθενή εδάφη, η μέγιστη ροπή είναι στο τμήμα του τοίχου που είναι εμπηγμένο.

Στη μέθοδο των αρθρώσεων θεωρούμε ότι έχουμε στήριξη στη θέση κάθε αγκυρίου. Η αρνητική ροπή στη θέση του πρώτου αγκυρίου εκτιμάται ως το άθροισμα των ροπών ως προς το πρώτο αγκύριο, ενώ η μέγιστη θετική ροπή μεταξύ των αγκυρίων αντιστοιχεί σε μηδενική τέμνουσα.

Η μέγιστη θετική ροπή μεταξύ των αγκυρίων για τη μέθοδο της ζώνης επιρροής είναι, όπου είναι η μέγιστη ώθηση των γαιών και είναι η κάθετη απόσταση μεταξύ των γειτονικών αγκυρίων.

Οι παραπάνω μέθοδοι είναι συντηρητικές όμως είναι ακριβείς στον προσδιορισμό των θέσεων των αγκυρίων.

#### **4.1.3 Συμπεριφορά πασσάλου στη φάση λειτουργίας του**

Όπως προαναφέραμε, οι τοίχοι με αγκύρια στηρίζονται ουσιαστικά από τα αγκύρια τα οποία έχουν τοποθετηθεί στα διάφορα στάδια της εκσκαφής αλλά και από το τμήμα το οποίο είναι βυθισμένο κάτω από την τελική στάθμη εκσκαφής.

Στο πρώτο στάδιο εκσκαφής, ο τοίχος λειτουργεί σαν πρόβολος και ουσιαστικά η αντίσταση του παρέχεται από την παθητική ώθηση του εμπηγμένου τμήματος. Μετά την τοποθέτηση του πρώτου αγκυρίου και καθώς συνεχίζεται η εκσκαφή για την τοποθέτηση των επόμενων αγκυρίων, το εμπηγμένο αυτό τμήμα παρέχει προσωρινή αντιστήριξη στο τμήμα στο οποίο δεν έχουν τοποθετηθεί ακόμα οι επόμενες σειρές αγκυρίων. Στο τελικό βάθος τα αγκύρια παραλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος του φορτίου πάνω από τη βάση της εκσκαφής ενώ το εμπηγμένο τμήμα λαμβάνει τα φορτία που σχετίζονται με το χαμηλότερο τμήμα του διαγράμματος των ωθήσεων και τις ενεργές ωθήσεις οι οποίες αναπτύσσονται στο πίσω μέρος του εμπηγμένου τμήματος.

#### 4.1.4 Περιγραφή της διαδικασίας κατασκευής

Στο συγκεκριμένο έργο για την κατασκευή του μόνιμου τοίχου αντιστήριξης ήταν απαραίτητο στη αρχή να κατασκευαστεί πασσαλότοιχος (τοίχος από εφαπτόμενους πασσάλους με κεφαλόδεσμο) με σκοπό την αντιστήριξη και τη δημιουργία επιθυμητής στάθμης εργασίας.

Οι πάσσαλοι που χρησιμοποιήθηκαν κατά την κατασκευή του έργου ανήκουν στην κατηγορία των έγχυτων πασσάλων (φρεατοπάσσων) μεγάλης διαμέτρου, το είδος του υλικού τους είναι οπλισμένο σκυρόδεμα και είναι έγχυτοι επί τόπου. Επίσης, το είδος του συστήματος εγκατάστασής τους ήταν μηχανήμα διάτρησης εδάφους με αφαίρεση υλικού. Η ικανότητα ανάληψης φορτίων εξασφαλίστηκε κυρίως με πασσάλους αιχμής.

Πριν αναφέρουμε τις ενέργειες οι οποίες έγιναν για να επιτευχθεί η κατασκευή του τοίχου αντιστήριξης, πρέπει να τονιστεί ότι πάσσαλοι χρησιμοποιήθηκαν ανάντη και εν επαφή του τοίχου (στην πλάτη του), αλλά και κάτω από το θεμέλιο του τοίχου, το οποίο αποτελούσε και τον κεφαλόδεσμο των πασσάλων.

Πιο συγκεκριμένα για να κατασκευαστεί η πασσαλοσυστοιχία ακολούθησε η παρακάτω διαδικασία :

Αρχικά, αφού προηγήθηκαν οι γενικές εκσκαφές, έγινε εκσκαφή και οριζοντιοποίηση του εδάφους μέχρι την στάθμη διάτρησης των πασσάλων της προσωρινής αντιστήριξης (1<sup>ο</sup> επίπεδο εκσκαφής). Ακολούθησε η κατασκευή φρεατοπασσάλων. Οι πάσσαλοι οι οποίοι κατασκευάστηκαν ήταν εφαπτομενικοί διαμέτρου 1.00m (1<sup>η</sup> φάση κατασκευής). Αφού κατασκευάστηκε όλη η πασσαλοσυστοιχία και στη συνέχεια ο κεφαλόδεσμος αυτής, έγινε εκσκαφή των εδαφών κατάντη αυτής, για την επίτευξη του δεύτερου επιπέδου εκσκαφής. Κατά την σταδιακή εκσκαφή έγινε η κατασκευή των προβλεπόμενων από την μελέτη αγκυρίων στις αντίστοιχες θέσεις και με τα προβλεπόμενα χαρακτηριστικά (βάθος, διατομή τενόντων κ.λ.π.) της μελέτης (2<sup>η</sup> φάση κατασκευής). Στη συνέχεια έγινε εκσκαφή μέχρι την απαιτούμενη στάθμη κατάντη της πασσαλοσυστοιχίας για την κατασκευή του μόνιμου τοίχου αντιστήριξης (2<sup>ο</sup> επίπεδο εκσκαφής). Το δεύτερο επίπεδο εκσκαφής χρησιμοποιήθηκε ως δάπεδο εργασίας για την κατασκευή των πασσάλων της θεμελίωσης του τοίχου. Τέλος έγινε η κατασκευή του μόνιμου τοίχου αντιστήριξης. Ο τρόπος αυτός κατασκευής, του μόνιμου αντιρηδωτού τοίχου αντιστήριξης, με πασσάλους κάτω από το θεμέλιο του πεδίου εξασφαλίζει την κατασκευή έναντι ολίσθησης και ανατροπής (3<sup>η</sup> φάση κατασκευής).

## 4.2 Κατασκευαστική ανάλυση

### 4.2.1 Απόδοση

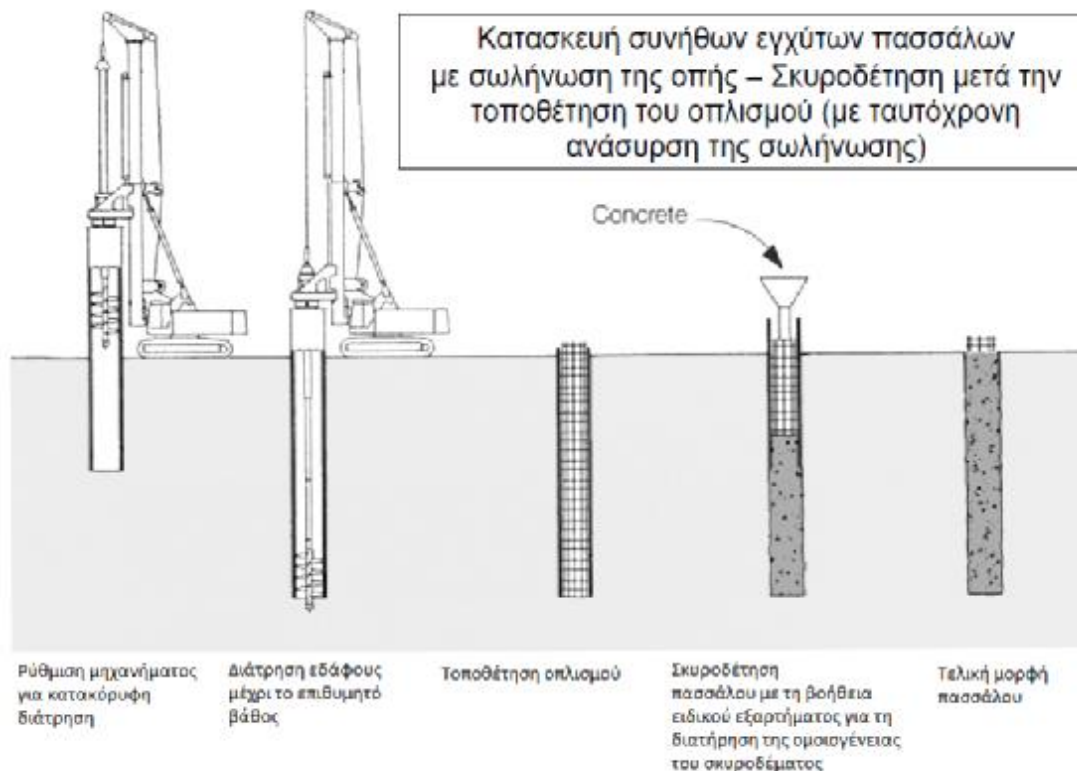
Σύμφωνα με τη μελέτη του έργου, το υψόμετρο της ερυθράς είναι πολύ χαμηλότερο από τη στάθμη του φυσικού εδάφους. Στόχος της μελέτης είναι να κατασκευαστεί το οδόστρωμα σε υψόμετρο ώστε να είναι εφικτή η ένωση του με την οδό Πατρών – Κορίνθου. Λόγω του ύψους του λόφου και των χαρακτηριστικών του εδάφους, χρήζεται απαραίτητο η κατακόρυφη εκσκαφή καθώς τα όρια του σχεδίου πόλεως και η έκταση του λόφου δεν επιτρέπουν διαφορετικό τρόπο. Γι αυτό το λόγο και την ασφαλή εκσκαφή επιλέχθηκε να κατασκευαστεί τοίχος από πασσαλοστοιχία και τοίχος αντιστήριξης με αντηρίδες μεγάλου βάθους θεμελιωμένος επί πασσάλων.

Πριν θεμελιωθεί ο τοίχος αντιστήριξης, κατασκευάστηκε ο πασσαλότοιχος για να συγκρατεί το πρανές και να επιτρέπει την ασφαλή εκσκαφή για την ταπεινώση της στάθμης του εδάφους και για να συγκρατήσει σε πρώτη φάση το πρανές ώστε να είναι εφικτό η κατακόρυφη εκσκαφή για τη κατασκευή των θεμελίων του κύριου τοίχου. Εν τέλει, η πασσαλοστοιχία «ενσωματώνεται» με τον αντηρηδωτό τοίχο και παραλαμβάνουν τα φορτία που ασκούνται από το πρανές.

Αυτός ο τύπος τοίχου αντιστήριξης αποτελείται από πασσάλους από οπλισμένο σκυρόδεμα εφαπτομενικά στοιχισμένους και οι πάσσαλοι όπως προαναφέρθηκε είναι έγχυτοι. Ο πασσαλότοιχος λειτουργεί ως φράγμα για την κατολίπηση σε κύκλο αστοχίας του πρανούς. Γι αυτό το λόγο, η κατασκευή γίνεται σε μεγαλύτερο βάθος σε σχέση με την προβλεπόμενη επιφάνεια του κύκλου αστοχίας.

Για να κατασκευαστεί ένας πάσσαλος γίνεται διάτρηση του εδάφους σε διάμετρο σύμφωνα με τη διατομή του. Αφού ολοκληρωθεί η διάτρηση στο επιθυμητό βάθος, τοποθετείται σιδηρός οπλισμός. Η κατασκευή του πασσάλου ολοκληρώνεται με τη σκυροδέτηση της οπής. (Σχήμα 11).

Για την κατασκευή χρησιμοποιείται ερπυστριοφόρο μηχάνημα διάτρησης εδάφους εξοπλισμένο με έναν κυλινδρικό κάδο με διάμετρο ίση με τη διάμετρο του πασσάλου που θέλουμε να κατασκευαστεί. Είναι περιστρεφόμενος και στο κάτω μέρος του έχει οπές και λεπίδες που προεξέχουν. Έτσι, προσαρτημένος στο μηχάνημα, περιστρέφεται και με την επιβολή κατακόρυφου φορτίου γίνεται εκσκαφή με τις λεπίδες και το έδαφος που πρέπει να αφαιρεθεί εισέρχεται στο εσωτερικό του κάδου από τις οπές (μέθοδο αντικατάστασης υλικού). Επίσης διαθέτει θύρα η οποία ανοίγει για να ελευθερώσει το δεσμευμένο έδαφος. Ο κάδος αυτός έχει διάμετρο  $D = 100 \text{ cm}$  και ύψος  $H = 130 \text{ cm}$ .



**Σχήμα 11:** Φάσεις κατασκευής ενός πασσάλου, από τη διάτρηση του εδάφους, την τοποθέτηση οπλισμού και τη σκυροδέτηση, έως και τη τελική του μορφή.

Πριν την εκκίνηση της διάτρησης έγιναν οι σχετικές ρυθμίσεις στο μηχάνημα. Αρχικά ρυθμίστηκε η κατακόρυφη θέση του βραχίονα του μηχανήματος για την κάθετη διάνοιξη της οπής. Αφού ρυθμιστεί το μηχάνημα από το χειριστή, ελέγχεται από τους εργάτες με όργανα οριζοντίωσης και με τη βοήθειά τους λαμβάνει τη σωστή θέση για τη διάτρηση. Στη συνέχεια, αφού έχει πάρει την κατάλληλη θέση πάνω από το σημείο της διάτρησης, ξεκινά η διαδικασία.

Όταν η οπή έχει αποκτήσει το κατάλληλο βάθος, τότε τοποθετείται ο σιδηρός οπλισμός. Με τη βοήθεια του μηχανήματος ο οπλισμός μεταφέρεται από το χώρο απόθεσης στην οπή. Να σημειωθεί ότι ο οπλισμός αποτελείται από ράβδους χάλυβα τοποθετημένους σε κύκλο διαμέτρου  $D = 88\text{cm}$ . Οι ράβδοι περιβάλλονται από χαλύβδινο σπειροειδή οπλισμό συγκολλημένο εξωτερικά, και εσωτερικά από στεφάνια. Έτσι, διασφαλίζεται η κυκλική περιστοίχιση κρατώντας ενιαία την θέση τους. Στο εργοτάξιο φθάνουν ήδη συναρμολογημένοι κατά παραγγελία.

- Η διάμετρος του κύκλου που σχηματίζουν οι ράβδοι είναι  $D = 88\text{ cm}$  .
- Η παράταξη του οπλισμού των ράβδων είναι 22 ράβδοι διαμέτρου  $\Phi 25$  για πάσσαλο μήκους 14m .

- Η χαλύβδινη σπείρα είναι διαμέτρου  $\Phi 14$  και η απόσταση του διαστήματος της σπείρας  $sw = 10 \text{ cm}$  με συνολικό μήκος σπείρας  $L_0 \approx 39 \text{ m}$ .
- Τα εσωτερικά στεφάνια είναι διαμέτρου  $\Phi 14$  τοποθετημένα ανά  $20 \text{ cm}$ . Το πρώτο στεφάνι είναι τοποθετημένο σε απόσταση  $h = 1.3 \text{ m}$  από την κορυφή του οπλισμού και συνολικά είναι 5.

Αφού τοποθετήθηκε ο οπλισμός, σταθεροποιήθηκε στο κέντρο με εμπόδια ώστε να διασφαλιστεί η καθαρότητα και οι αποστάσεις για την επικάλυψη από σκυρόδεμα. Επίσης, έγιναν οι απαραίτητες μετρήσεις έτσι ώστε να διαπιστωθεί ότι το βάθος της οπής ήταν όντως κατάλληλο και η προεξοχή του οπλισμού επαρκούσε για τη κατασκευή του κεφαλόδεσμου. Στη συνέχεια έπεται η σκυροδέτηση του πασσάλου. Για τη σκυροδέτηση χρησιμοποιείται βοηθητικό εξάρτημα του οποίου η κορυφή αποτελείται από κόλουρου κώνου σχήματος και καταλήγει σε κυλινδρικό σχήμα. Η μορφολογία του εξαρτήματος αυτού είναι έτσι ώστε να διευκολύνει την έγχυση σκυροδέματος. Το εξάρτημα αυτό τοποθετείται στην οπή το οποίο μεταφέρεται με το μηχάνημα διάτρησης λόγω του μεγάλου μήκος του και συγκρατείται καθ όλη τη διάρκεια της διαδικασίας. Η τοποθέτηση του είναι αναγκαία έτσι ώστε να αποφευχθεί η ρίψη σκυροδέματος από μεγάλο ύψος γιατί υπάρχει κίνδυνος αλλοίωσης της ομοιογένειας του σκυροδέματος κατά την έκχυση του.

Στην συνέχεια φθάνει στο χώρο των εργασιών μπετονιέρα με το κατάλληλη κατηγορία σκυροδέματος. Κατά τη διάρκεια της αγκυροδέτησης λαμβάνονται κυβικά δοκίμια για την διαπίστωση της αντοχής του σκυροδέματος όπως προβλέπεται από τους κανονισμούς. Τα δοκίμια συντηρούνται στο εργοτάξιο μέχρι τη μεταφορά τους στο εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί, ότι όταν γίνεται διάτρηση για την κατασκευή ενός πασσάλου, η επόμενη οπή θα ανοιχθεί σε απόσταση της διαμέτρου  $D=1.0 \text{ m}$  από τον προηγούμενο πάσσαλο. Αυτό συμβαίνει για λόγους ασφαλείας γιατί υπάρχει κίνδυνος αστοχίας του εδάφους. Έτσι, για να κατασκευαστεί ένας πάσσαλος επαπτόμενος σε έναν άλλο πρέπει πρώτα ο προηγούμενος να έχει σκυροδετηθεί και να έχει αποκτήσει αντοχή.

Όταν ολοκληρωθεί η κατασκευή των πασσάλων κατασκευάζεται ο κεφαλόδεσμος. Ο κεφαλόδεσμος είναι ένα τοίχιο το οποίο κατασκευάζεται στη κορυφή της πασσαλοστοιχίας και συγκροτεί τους πασσάλους. Με τον κεφαλόδεσμο, οι πάσσαλοι συνδέονται και λειτουργούν ως ένα σώμα. Έτσι, σε οποιαδήποτε μεταβολή κάποιου



πασσάλου, όλοι οι υπόλοιποι αντιδρούν μαζί του. Για να επιτευχθεί αυτό το μέρος της κατασκευής του τοίχου, ο οπλισμός που θα τοποθετείται προεξέχει της οπής. Ο κεφαλόδεσμος έχει ύψος 1.20 m και πλάτος 1.0 m.

#### **4.2.2 Κατασκευή τοίχου αντιστήριξης με αντηρίδες θεμελιωμένος επί πασσάλων**

Όταν ολοκληρωθεί η κατασκευή της πασσαλοστοιχίας, γίνεται εκσκαφή του εδάφους για τη θεμελίωση του τοίχου αντιστήριξης. Κατά την εκσκαφή και η πασσαλοστοιχία αποκαλύπτεται. Όπως προαναφέρθηκε, τα θεμέλια του τοίχου αντιστήριξης είναι πάσσαλοι. Πιο συγκεκριμένα, τα θεμέλια αποτελούνται από δύο ή τρεις, κατά περίπτωση, σειρές πασσάλων παράλληλες στη πασσαλοστοιχία.

Η απόσταση της πασσαλοστοιχίας από το πάσσαλο θεμελίου είναι 20 cm, ενώ οι πάσσαλοι θεμελίωσης έχουν κάθετη απόσταση 3.8 m από το κέντρο της διαμέτρου τους και διαμήκη 3 m από το κέντρο της διαμέτρου τους επίσης.

#### **4.2.3 Κατασκευή κεφαλόδεσμου πασσάλων στα θεμέλια του τοίχου**

Μετά την κατασκευή πασσάλων, κατασκευάζεται επίσης ο κεφαλόδεσμος όπως στην πασσαλοστοιχία. Ο κεφαλόδεσμος λειτουργεί μεν ως σύνδεσμος των πασσάλων για να συγκρατεί τους πασσάλους και να αντιδρούν συλλογικά, αλλά και αποτελεί βάση θεμελίου και βάσης για τις αντηρίδες. Επίσης τοποθετήθηκε επιπλέον οπλισμός οριζόντιοι ράβδοι και πλέγμα για ενίσχυση της κατασκευής. Ο οπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για τη κατασκευή πασσάλων ως θεμέλια είναι 20 ράβδοι διαμέτρου Φ28 για μήκος πασσάλου 11m.

#### **4.2.4 Κατασκευή αντηρίδων**

Οι αντηρίδες «αποτελούν το κύριο τμήμα του τοίχου», ενώνονται με τα θεμέλια και με την πασσαλοστοιχία και αντιστηρίζουν το πρανάς σε συνεργασία με αυτή. Οι αντηρίδες παραλαμβάνουν τις ροπές έναντι ανατροπής, αντιδρούν σε αυτές και οι τάσεις μεταφέρονται στα θεμέλια. Παράλληλα με τη σκυροδέτηση του κεφαλόδεσμου και την τοποθέτηση του επιπρόσθετου οπλισμού του, τοποθετήθηκε και ο κατακόρυφος οπλισμός των αντηρίδων.

Μετά την τοποθέτηση του οπλισμού των αντηρίδων, διατρήθηκαν οι πάσσαλοι της πασσαλοστοιχίας και τοποθετήθηκαν βλήτρα. Τα βλήτρα είναι κομμάτια χαλύβδινων ράβδων και τοποθετούνται κατά ένα μέρος τους στην πασσαλοστοιχία

και το υπόλοιπο μέρος στην αντηρίδα. Η λειτουργία τους είναι να συνδέσουν την πασσαλοστοιχία με τον τοίχο αντιστήριξης.

Μετά την τοποθέτηση των βλήτρων τοποθετήθηκαν καλούπια σκυροδέτησης. Τα καλούπια σκυροδέτησης είναι μπετοφόρμ. Δηλαδή, ξύλινα φύλλα με επιφάνεια διαμορφωμένη ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος συγκόλλησης με το σκυρόδεμα. Στηρίζονται από μεταλλική κατασκευή η οποία είναι συναρμολογούμενη και κατάλληλη ώστε να στηρίζει το καλούπι κατά τη σκυροδέτηση και το βάρος της κατασκευής μέχρι να αποκτήσει πρώτημη αντοχή και να απομακρυνθούν τα καλούπια σκυροδέτησης. Ακόμα, ο λόγος που το μπετοφόρμ αποτελείται από ξύλο είναι γιατί το υλικό αυτό είναι πορώδες και έχει την ιδιότητα να αφήνει την υγρασία να εισέρχεται στο σκυροδετημένο τμήμα της κατασκευής και επίσης έχει την ιδιότητα της συγκράτησης της υγρασίας σε σχέση με άλλα υλικά.

Μετά την τοποθέτηση του καλουπιού, η κατασκευή της αντηρίδας περνάει στη φάση της σκυροδέτησης. Η σκυροδέτηση έγινε με πρέσα σκυροδέματος και η κατηγορία του ήταν C20/25.

Αφού περάσει ο επαρκής χρόνος για να αποκτήσει το σκυρόδεμα που σκυροδετήθηκε η αντηρίδα πρώτημη αντοχή, αφαιρούνται τα καλούπια.

Στην κορυφή των αντηρίδων, φαίνονται οι αναμονές του οπλισμού. Ο λόγος που υπάρχουν είναι διότι αργότερα θα κατασκευαστεί πρόβολος. Ο πρόβολος αυτός, ο οποίος είναι προέκταση των αντηρίδων, στηρίζεται στην κορυφή τους και τις ενώνει μεταξύ τους και με το κεφαλόδεσμο της πασσαλοστοιχίας. Αρχικά τοποθετήθηκαν σκαλωσιές για να υποστηρίξουν την τοποθέτηση οπλισμού και των καλουπιών για τη σκυροδέτηση.

#### **4.2.5 Τελική μορφή προβόλου**

Μετά τη σκυροδέτηση του προβόλου έγινε αφαίρεση των καλουπιών και ο τοίχος πήρε τη τελική του μορφή. Περαιτέρω αξιοποίηση των τεχνικών έργων αντιστήριξης περιλαμβάνει τη προσβασιμότητα στον πρόβολο ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί ως πεζόδρομος. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκαν σκάλες από τον δρόμο, στον πρόβολο.

## 5. ΑΛΛΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ

### 5.1 Θεωρητική ανάλυση

#### 5.1.1 Θεμελίωση σε πασσάλους – Θεωρητική Ανάλυση

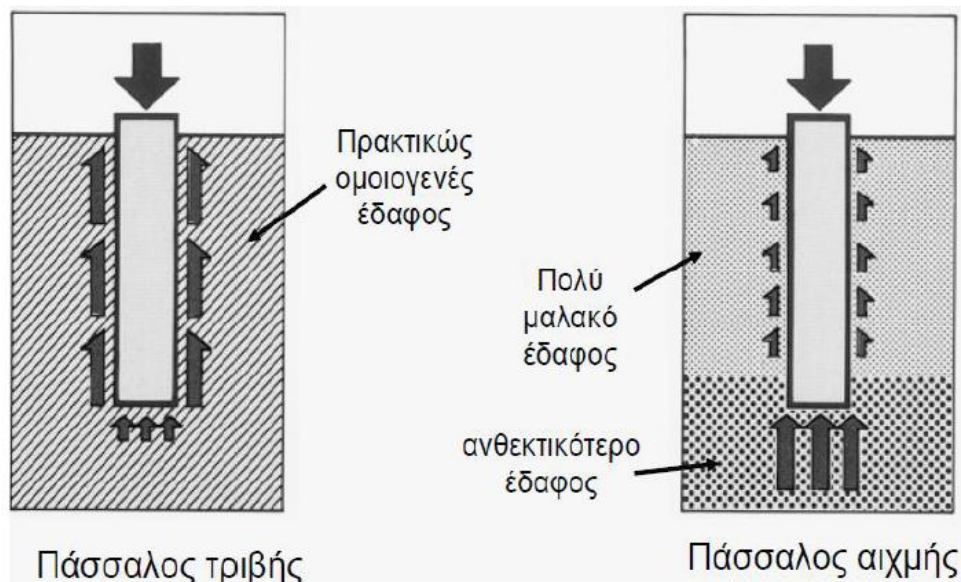
Συγκεκριμένα στο έργο της διάνοιξης της οδού Κανακάρη κατασκευάστηκε προσωρινός τοίχος από φρεατοπασσάλους και στη συνέχεια αντιρηδωτοί τοίχοι αντιστήριξης πρανών θεμελιωμένοι επί πασσάλων. Ο προσωρινός τοίχος χρησιμοποιήθηκε ως μέσον συγκράτησης του εδαφικού όγκου ώστε να υποβαθμιστεί η στάθμη του εδάφους με ασφάλεια. Στη συνέχεια οι δύο κατασκευές συνδέθηκαν μέσω βλήτρων. Οι πάσσαλοι ταξινομούνται σύμφωνα με την μέθοδο εγκατάστασής τους ως έγχυτοι πάσσαλοι, το είδος του υλικού τους είναι οπλισμένο σκυρόδεμα και είναι έγχυτοι επί τόπου (Μπαλασόπουλος, Παπαδημάκης, 2016).

Ένας μεμονωμένος πάσσαλος μπορεί να οριστεί ως ένα λιγυρό δομικό μέλος που χρησιμοποιείται για να μεταφέρει τα φορτία, τα οποία ασκούνται στην κορυφή του σε χαμηλότερες στάθμες μέσα στο έδαφος. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω :

- Της διατμητικής τάσης που ενεργοποιείται στην επιφάνεια του κορμού του πασσάλου, η οποία ονομάζεται επιφανειακή τριβή στις άμμους και συνάφεια στις αργίλους
- Της αστοχίας λόγω φέρουσας ικανότητας στη βάση του πασσάλου, η οποία ονομάζεται αντίσταση αιχμής

Πιο αναλυτικά, ο ρόλος του πασσάλου ως μέλος ενός τοίχου αντιστήριξης είναι η ανάπτυξη αντιδράσεων μεταξύ αυτού και του εδάφους . Οι αντιδράσεις αυτές είναι τριβής και αιχμής. Οι αντιδράσεις τριβής αναπτύσσονται καθ' όλη την περιμετρικά εξωτερική του επιφάνεια που βρίσκεται υπό του ορίζοντα του εδάφους. Οι αντιδράσεις αιχμής είναι εκείνες οι αντιδράσεις που αναπτύσσονται στην έδρα του και δημιουργούνται από φορτία ίδιου βάρους και επιπρόσθετων φορτίων. Αν και πάντα αναπτύσσονται και τα δύο είδη αντιδράσεων, οι πάσσαλοι κατηγοριοποιούνται σε πασσάλους αιχμής και πασσάλους τριβής, με κριτήριο τη διαφορά του μέτρου με την οποία αυτές αναπτύσσονται. Δηλαδή, όταν υπερισχύουν οι αντιδράσεις τριβής, ο πάσσαλος θεωρείται τριβής. Όταν υπερισχύουν οι αντιδράσεις αιχμής, ο πάσσαλος θεωρείται αιχμής. Τα χαρακτηριστικά του εδάφους στο οποίο έχει ή πρόκειται να κατασκευαστεί ο πάσσαλος ορίζει το μέγεθος των αντιδράσεων και ταυτόχρονα το είδος στο οποίο αναπτύσσονται. Όταν το έδαφος θεωρείται πρακτικά ομοιογενές τότε αναπτύσσονται κυρίως αντιδράσεις τριβής. Αντιθέτως, κυρίως αντιδράσεις αιχμής

αναπτύσσονται όταν ο πάσσαλος είναι εμπηγμένος σε μαλακό έδαφος αλλά εδράζεται σε ανθεκτικό. Σύμφωνα με εδαφολογικές αναλύσεις οι κατηγορίες του εδάφους στις οποίες εμπηγνύονται και εδράζονται οι πάσσαλοι είναι μια ποικιλία από αργιλικά εδάφη και αμμώδης αργίλους .



Σχήμα 12: Απεικόνιση είδους πασσάλου ανάλογα με την ανάπτυξη αντιδράσεων.

### 5.1.2 Σχεδιασμός μεμονωμένων πασσάλων

Ο σχεδιασμός των πασσάλων γίνεται θεωρητικά, όμως λόγω των διαφορετικών εδαφικών συνθηκών, των επιδράσεων τοποθέτησης όπως ανάπλαση, συμπίεση, χαλάρωση και άλλες, χρησιμοποιούνται πάντα εμπειρικές σχέσεις και προκύπτουν συσχετίσεις και συντελεστές προσαρμογής για τις διάφορες επιδράσεις. Έτσι θεωρείται απαραίτητο να γίνονται δοκιμές φόρτισης, επειδή οι θεωρητικοί υπολογισμοί της φέρουσας ικανότητας ενός πασσάλου δεν είναι αρκετά ακριβείς .

### 5.1.3 Φέρουσα ικανότητα μεμονωμένων πασσάλων

Ένας πάσσαλος αναπτύσσει δύο αντιστάσεις στα κατακόρυφα ασκούμενα φορτία οι οποίες είναι οι εξής:

- αντίσταση κορμού (τριβής).
- αντίσταση αιχμής.

Στην αστοχία, ενεργοποιούνται οι οριακές τιμές και των δύο αυτών φορτίων και δίνουν:

$$Q_u = Q_s + Q_b \quad (5.1)$$

όπου:  $Q_u$  = οριακό ασκούμενο φορτίο

$Q_h$  = οριακό φορτίο αιχμής

$Q_s$  = οριακό φορτίο κορμού (τριβής)

Η αντίσταση αιχμής προκύπτει ως φορτίο,  $Q_b$ , με τον πολλαπλασιασμό της διατομής της βάσης του πασσάλου με την τάση της φέρουσας ικανότητας:

$$Q_b = q_b * A_b \quad (5.2)$$

όπου:  $q_b$  = αντίσταση αιχμής (τάση)

$A_b$  = διατομή βάσης

Η αντίσταση κορμού (τριβής) λαμβάνεται ως φορτίο,  $Q_s$ , με τον πολλαπλασιασμό της επιφάνειας της περιμέτρου του κορμού του πασσάλου, η οποία είναι σε επαφή με το έδαφος, με μια διατμητική τάση που αναπτύσσεται ανάμεσα στην επιφάνεια του πασσάλου και το έδαφος και ονομάζεται επιφανειακή τριβή στις άμμους,  $f_s$ , και συνάφεια στις αργίλους,  $c_a$ :

$$Q_s = \Sigma * c_a * \pi * d * l \text{ (άργιλοι)} \quad (5.3)$$

$$Q_s = \Sigma * f_s * \pi * d * l \text{ (άμμοι)} \quad (5.4)$$

οπού:

$d$  = η διάμετρος του πασσάλου

$l$  = το μήκος του πασσάλου που είναι σε επαφή με κάθε εδαφική στρώση.

Οι πάσσαλοι συνήθως διαπερνούν διάφορους τύπους εδαφών, καθένας από τους οποίους δίνει διαφορετική αντίσταση κορμού (τριβής), οπότε η συνολική αντίσταση κορμού (τριβής) είναι το άθροισμα των ξεχωριστών τιμών.

Το βάρος του πασσάλου  $W_p$  πρέπει να συμπεριλαμβάνεται στην Εξίσωση 5.1, αλλά μπορεί να αγνοηθεί αν χρησιμοποιείται η καθαρή φέρουσα ικανότητα για τον υπολογισμό του φορτίου της αντίστασης αιχμής, αφού:

**καθαρή φέρουσα ικανότητα = ολική φέρουσα ικανότητα –  $q$**

όπου το  $q$ , αντιπροσωπεύει την προσάυξηση της συνολικής τάσης στη στάθμη της βάσης του πασσάλου  $\sigma_{vb}$  και:

$$W_p \approx A_b * \sigma_{vb} \text{ ή } W_p \approx W_s \quad (5.5)$$

Όπου  $W_s$  το βάρος του εδάφους που αφαιρείται ή εκτοπίζεται

Τότε η πλήρης εξίσωση είναι:

$$Q_u = Q_s + Q_b - W_p + W_s = Q_s + Q_b \quad (5.6)$$

#### 5.1.4 Έγχυτοι πάσσαλοι σε άργιλο

##### Αντίσταση αιχμής $q_b$

Αυτή μπορεί να ληφθεί από τη σχέση:

$$q_b = N_c * \omega * c_{ub} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (5.7)$$

$N_c$  είναι ο συντελεστής φέρουσας ικανότητας. Αποδεικνύεται θεωρητικά ότι οι τιμές του είναι στο φάσμα 8.0 και 9.8 (Whitaker και Cooke, 1966) υπό αστράγγιστες

συνθήκες και για βαθιά θεμελίωση. Η ευρέως αποδεκτή τιμή είναι 9 που πρότεινε ο Skempton (1959).

$c_{ub}$  είναι η διατμητική αντοχή υπό αστράγγιστες συνθήκες στη βάση του πασσάλου, η οποία λαμβάνεται από τη μέση γραμμή του διαγράμματος διατμητικής αντοχής – βάθους. Αυτές οι αντοχές συνήθως λαμβάνονται από δοκιμές τριαξονικής θλίψης σε δοκίμια διαμέτρου 38 mm.

Η ύπαρξη ρηγματώσεων στην άργιλο επηρεάζουν σε διαφορετικό βαθμό από ρηγματώσεις μέσα στο δοκίμιο και το διάγραμμα μέσων τιμών δεν θα αντιπροσωπεύει την αντοχή του εδάφους που αναπτύσσεται κάτω από τον πάσσαλο. Οι τιμές που πρότεινε ο Skempton (1966) για το  $\omega$  είναι οι εξής:

- Άργιλος χωρίς ρηγματώσεις  $\omega = 1.0$
- Άργιλος με ρηγματώσεις  $d < 0.9m$   $\omega = 0.8$
- Άργιλος με ρηγματώσεις  $d > 0.9m$   $\omega = 0.75$

Εάν όμως ληφθεί η διατμητική αντοχή υπό αστράγγιστες συνθήκες μέσω τριαξονικής δοκιμής σε δείγματα περίπου 100mm, είναι πιθανότερο να υπάρξουν αντιπροσωπευτικές τιμές και να μη χρειαστεί να εφαρμοστεί ο συντελεστής  $\omega$ , ειδικά αν γίνει χρήση του κάτω ορίου αποτελεσμάτων. Απαραίτητη προϋπόθεση για να γίνει αποδεκτή η τιμή της διατμητικής αντοχής, είναι να έχει εξασφαλιστεί ότι θα έχει καθαριστεί καλά γεώτρηση όπου θα εισαχθεί ο πάσσαλος. Αν παραμείνουν θραύσματα, σκόνες, ή μπετονίτης στη βάση του πασσάλου, θα προκύψει μικρότερη τιμή της αντίστασης αιχμής.

### 5.1.5 Συνάφεια $c_a$

Η συνάφεια  $c_a$  είναι η διατμητική τάση που αναπτύσσεται μεταξύ της επιφάνειας του πασσάλου και του εδάφους και περιορίζεται μέσα σε μια στενή ζώνη κοντά στον πάσσαλο. Η συνάφεια  $c_a$  είναι γενικά μικρότερη από την αρχική διατμητική αντοχή υπό αστράγγιστες συνθήκες,  $c_u$  εξαιτίας:

- Ø της αναμόχλευσης από τη δράση των διατρητικών εργαλείων.
- Ø της χαλάρωσης που προκαλείται από την εκτόνωση των τάσεων κατά τη μετακίνηση της υγρασίας από το γειτονικό έδαφος και από το υγρό σκυρόδεμα προς το δακτύλιο του εδάφους γύρω από τον πάσσαλο. Ποσότητα νερού που υπάρχει στη γεώτρηση επιδεινώνει το πρόβλημα.

Πιθανά, η τιμή της συνάφειας εξαρτάται από τις τεχνικές διάτρησης που εφαρμόζονται και από το διάστημα του χρόνου της διάτρησης μέχρι τη σκυροδέτηση. Ένα μέτρο της συνάφειας προσδιορίζεται από την προσέγγιση της ολικής τάσης με τη χρήση εμπειρικής τροποποίησης της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής:

$$c_a = a * c_u \quad (5.8)$$

όπου  $a$  είναι ο συντελεστής συνάφειας.

Για μαλακές και συμπαγείς αργίλους μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια τιμή  $a = 1.0$  (Vesic, 1977). Για την πιο δύσκαμπτη άργιλο του Λονδίνου, ο Skempton (1959) βρήκε τιμές του  $a$  μεταξύ 0.30 και 0.60 από αντίστροφες αναλύσεις ενός αριθμού δοκιμαστικών φορτίσεων πασσάλων και συνιστά μια τιμή 0.45 για πασσάλους που εκτείνονται κάτω από τον ανώτερο ορίζοντα της αργίλου του Λονδίνου, η οποία παρουσιάζει πολλές ρηγματώσεις και είναι διαβρωμένη από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Για πασσάλους μικρού μήκους, κυρίως μέσα στην ανώτερη ζώνη, όπου είναι πιθανή μια καθυστέρηση στην έγχυση του σκυροδέματος, όπως σε μεγάλης διαμέτρου πασσάλους κωδωνοειδούς άκρου, συνιστάται μια τιμή  $a = 0.30$ . Αυτές οι τιμές συχνά χρησιμοποιούνται για άλλες, συμπαγείς, αργίλους με ρηγματώσεις. Όπου για τη σταθεροποίηση των πλευρών της γεώτρησης χρησιμοποιείται μπετονίτης ή λάσπη, αν εξασφαλιστεί ότι μετά θα εκτοπιστεί πλήρως από το σκυρόδεμα κατά τη διαδικασία της σκυροδέτησης, δε θα υπάρξουν ανεπιθύμητες συνέπειες στην τιμή της συνάφειας (Fleming και Sliwinski, 1977). Ο Tomlinson (1987) συνιστά οι τιμές συνάφειας να μειώνονται κατά 20% για να λαμβάνονται υπόψη οι επιδράσεις της λάσπης, επειδή δεν μπορεί να υπάρξει εγγύηση ότι αυτή θα αφαιρεθεί εντελώς.

#### **5.1.6 Έγχυτοι πάσσαλοι σε άμμο**

Κατά τη διάτρηση στις άμμους παρατηρείται χαλάρωση του εδάφους γύρω από την περιοχή της οπής με αποτέλεσμα να μειώνονται οι οριζόντιες τάσεις. Έτσι, οι έγχυτοι πάσσαλοι που κατασκευάζονται αμμώδη εδάφη και κυρίως σε πυκνές άμμους έχουν μικρότερη φέρουσα ικανότητα. Η επιτόπου σκυροδέτηση δημιουργεί τραχεία επιφάνεια αλλά μόνο προσωρινά καθώς μειώνεται από την χαλάρωση της άμμου.

Ο Poulos (1980) προτείνει τη χρήση των μεθόδων που δίνονται για τους πασσάλους έμπηξης, αλλά με μειωμένες τιμές της τελικής γωνίας εσωτερικής τριβής. Επίσης, για τους προκαταρτικούς υπολογισμούς, η αντίσταση της αιχμής ενός έγχυτου πασσάλου να λαμβάνεται ως το ένα τρίτο της τιμής που υπολογίζεται για ένα πάσσαλο έμπηξης, και περίπου το μισό για την αντίσταση του κορμού (τριβής).

### 5.1.7 Συντελεστής ασφαλείας

Λόγω των αβεβαιοτήτων που μπορεί να παρουσιάζουν οι εδαφικές συνθήκες, των επιδράσεων της τοποθέτησης των πασσάλων και για τον περιορισμό των καθιζήσεων σε επιτρεπόμενες τιμές, εφαρμόζεται συντελεστής ασφαλείας  $Q_u$  στο οριακό φορτίο.

Αν και οι πάσσαλοι συχνά σχεδιάζονται με την εφαρμογή συντελεστή ασφαλείας στο οριακό φορτίο, για να προκύψει ένα φορτίο λειτουργίας, τα κυριότερα κριτήρια της απόδοσης ενός πασσάλου είναι ότι δεν πρέπει να σημειωθεί καθίζηση μεγαλύτερη από μια επιτρεπόμενη τιμή. Ο Tomlinson (1987) ανέφερε ότι, σύμφωνα με την πείρα του, οι καθιζήσεις σε πασσάλους με διάμετρο μέχρι 600 mm υπό το φορτίο λειτουργίας είναι απίθανο να υπερβούν τα 10 mm, αν ληφθεί ένας συνολικός συντελεστής ασφαλείας ίσος με 2.5 ώστε:

$$\text{φορτίο λειτουργίας} = \text{οριακό φορτίο} / \text{συντελεστής ασφαλείας} \quad (5.9)$$

Για πασσάλους με διάμετρο μεγαλύτερη από 600 mm, έχει βρεθεί ότι οι δύο συνιστώσες, δηλαδή η αντίσταση κορμού (τριβής) και η αντίσταση αιχμής, ενεργοποιούνται σε διαφορετικές ποσότητες καθιζήσης. Κατά προσέγγιση, το σύνολο της αντίστασης κορμού (τριβής) ενεργοποιείται με καθίζηση της κεφαλής του πασσάλου περίπου 1–2% της διαμέτρου του, ενώ για να ενεργοποιηθεί όλη η αντίσταση αιχμής ο πάσσαλος πρέπει να ωθηθεί προς τα κάτω σε μήκος περίπου 10–20% της διαμέτρου του. (Δηλαδή 100mm – 200mm στην περίπτωση της οδού Κανακάρη όπου η διάμετρος του πασσάλου είναι 1000mm )

Για τυπική διάμετρο πασσάλου και επιτρεπόμενη καθίζηση  $pa11$ , μπορεί να αποδειχθεί πως, όταν εφαρμόζεται το φορτίο λειτουργίας, ενεργοποιείται ένα μεγάλο ποσοστό της αντίστασης κορμού (τριβής), αλλά μόνον ένα μικρό ποσοστό της αντίστασης αιχμής. Για πασσάλους σε άμμους, η συνιστώσα του φορτίου κορμού (τριβής) είναι συνήθως μικρότερη από την αντίσταση αιχμής. Έτσι, μια πιο λογική προσέγγιση είναι να εφαρμόζονται διαφορετικοί συντελεστές ασφαλείας για τις δύο συνιστώσες. Αυτοί ονομάζονται επιμέρους συντελεστές. Για έγχυτους πασσάλους στην άργιλο του Λονδίνου, οι Burland et al. (1966) προτείνουν ότι, με την προϋπόθεση ενός συνολικού συντελεστή ασφαλείας ίσου με 2, πρέπει να εφαρμόζονται επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για τον κορμό και την αιχμή ίσοι με 1 και 3 αντίστοιχα, ώστε το φορτίο λειτουργίας  $Q_a$  να είναι το μικρότερο από τα:

$$Q_a = Q_{ult} / 2 = (Q_s + Q_b) / 2 \quad (5.10)$$

$$Q_a = (Q_s / 1) + (Q_b / 3) \quad (5.11)$$



Οι Burland et al. αναφέρουν ότι η τελευταία έκφραση καθορίζει γενικά τη σχεδίαση για μεγάλους πασσάλους κωδωνοειδούς άκρου, και η πρώτη συνήθως καθορίζει τη σχεδίαση ευθύγραμμων πασσάλων.

Για εδάφη διαφορετικά από την άργιλο του Λονδίνου, όταν υπάρχει μικρότερη βεβαιότητα για τις εδαφικές συνθήκες, τα ασκούμενα φορτία και τις επιδράσεις της τοποθέτησης των πασσάλων, πρέπει να εφαρμόζονται μεγαλύτεροι συντελεστές ασφαλείας, όπως 2.5 για το συνολικό και 1.5 και 3.5 για το φορτίο κορμού και αιχμής αντίστοιχα.

#### **5.1.8 Ομάδες πασσάλων**

Όπως αναφέρθηκε η λειτουργία των πασσάλων είναι να υποστηρίζουν φορτία που μεταφέρονται από την κατασκευή αξονικά σε αυτούς. Επειδή σπάνια πρόκειται για ένα μεμονωμένο κατακόρυφο φορτίο, δεν είναι συνηθισμένο μόνο ένας πάσσαλος να μεταφέρει τα φορτία της κατασκευής. Γι αυτό το λόγο κατασκευάζονται ομάδες πασσάλων, συνήθως σε τετραγωνικό κάναβο, και το φορτίο της κατασκευής μεταφέρεται και κατανέμεται μέσω κεφαλόδεσμου από σκυρόδεμα.

#### **5.1.9 Απόσταση των πασσάλων**

Η αξονική απόσταση των πασσάλων,  $s$ , είναι τυπικά 3 φορές η διάμετρος για πασσάλους τριβής και μπορεί 2 φορές η διάμετρος για πασσάλους αιχμής. Για πασσάλους κωδωνοειδούς άκρου, η απόσταση δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 2 φορές τη διάμετρο της βάσης.

Αν οι πάσσαλοι είναι πολύ μακριά μεταξύ τους, οι καμπτικές τάσεις στον κεφαλόδεσμο είναι μεγάλες και απαιτούν περισσότερο πάχος σκυροδέματος και οπλισμό για να κατανείμουν τα ασκούμενα φορτία στους πασσάλους. Αν οι πάσσαλοι είναι πολύ κοντά, το έδαφος ανάμεσά τους μπορεί να αποδιοργανωθεί σε μεγάλο βαθμό και να διαταραχθεί, οδηγώντας σε μεγάλες αυξήσεις πίεσης πόρων, ανύψωση εδάφους, και μικρή φέρουσα ικανότητα. Επίσης, η ελλιπής ευθυγράμμιση μπορεί να δημιουργήσει ανεπιθύμητες παρεμβολές.

#### **5.1.10 Φορτιζόμενη ζώνη**

Η ζώνη του εδάφους που φορτίζεται γύρω από ένα μεμονωμένο πάσσαλο είναι πολύ μικρότερη από όσο κάτω και γύρω από μια ομάδα πασσάλων. Αυτό έχει μια σειρά συνεπειών:

1. Η μέθοδος τοποθέτησης έχει μικρότερη επίδραση στη συμπεριφορά μιας ομάδας πασσάλων παρά σε αυτή ενός μεμονωμένου πασσάλου, επειδή γύρω και κάτω από την ομάδα η ζώνη που επηρεάζεται από τη διατάραξη είναι σχετικά μικρή και οι τάσεις μεταφέρονται σε αδιατάρακτο έδαφος.

2. Τυχόν συμπιεστά στρώματα κάτω από τη βάση μιας ομάδας πασσάλων προκαλούν καθίζηση της ομάδας ενώ δεν επηρεάζουν τα αποτελέσματα μιας δοκιμής φόρτισης μεμονωμένου πασσάλου.

Λόγω των παραπάνω αλλά και άλλων παραγόντων, η προβολή της απόδοσης μιας δοκιμής φόρτισης μεμονωμένου πασσάλου στη συμπεριφορά ομάδας πασσάλων πρέπει να αντιμετωπίζεται με προσοχή.

#### **5.1.11 Διακύμανση φορτίου**

Είναι λάθος η υπόθεση ότι κάθε πάσσαλος που ανήκει σε μια ομάδα πασσάλων παραλαμβάνει το ίδιο φορτίο. Αν κατασκευαστεί ένας εύκαμπτος κεφαλόδεσμος και εφαρμοστεί ομοιόμορφο φορτίο, τότε οι πιέσεις επαφής θα είναι αρκετά ομοιόμορφες και για τις άργιλους και για τις άμμους, και οι πάσσαλοι οι οποίοι βρίσκονται κάτω από τον εύκαμπτο κεφαλόδεσμο θα φέρουν περίπου ίσα φορτία. Αυτό ισχύει για πασσάλους κάτω από ένα επίχωμα, που κατασκευάζονται για να μειωθούν οι καθιζήσεις κάτω από αυτό. Όμως, πρέπει να σημειωθεί ότι θα προκληθεί ανομοιόμορφη καθίζηση, δισκοειδούς καμπύλου σχήματος, την οποία μερικές κατασκευές δεν μπορούν να αντέξουν.

Ο σκοπός ενός άκαμπτου κεφαλόδεσμου είναι να εξομαλύνει την καμπύλη των καθιζήσεων και να προκληθούν ομοιόμορφες καθιζήσεις. Αν οι πάσσαλοι έχουν εισαχθεί σε άργιλο, ο άκαμπτος κεφαλόδεσμος θα αυξήσει τα φορτία στους εξωτερικούς πασσάλους και θα τα μειώσει στους κεντρικούς. Αυτό επιβεβαιώθηκε και με προσομοιώματα πασσάλων σε άργιλο σε δοκιμές που πραγματοποίησε ο Whitaker (1957), ο οποίος έδειξε ότι για τυπικές αποστάσεις μικρότερες από 4 φορές τη διάμετρο οι γωνιακοί πάσσαλοι φέρουν το περισσότερο φορτίο και οι κεντρικοί το λιγότερο.

Συμπεραίνεται ότι για ομάδες πασσάλων σε άμμους με άκαμπτο κεφαλόδεσμο η κατανομή του φορτίου μπορεί να αναμένεται αντίστροφη, με τους κεντρικούς πασσάλους να παραλαμβάνουν το περισσότερο φορτίο και τους γωνιακούς το λιγότερο, και αυτό έχει επιβεβαιωθεί από τον Vesic (1969).

### 5.1.12 Απόδοση

Συνήθως, είναι λάθος να υποθέτουμε ότι το φορτίο αστοχίας της ομάδας είναι ίσο με το άθροισμα των φορτίων των πασσάλων όταν δρουν μεμονωμένα. Η διαφορά αντιπροσωπεύεται από το συντελεστή απόδοσης  $\eta$ :

**$\eta$  = μέσο φορτίο ανά πάσσαλο κατά την αστοχία της ομάδας / φορτίο αστοχίας μεμονωμένου πασσάλου**

Για πασσάλους έμπηξης σε χαλαρές ή μέσης πυκνότητας άμμους, η επίδραση της συμπίκνωσης οδηγεί σε απόδοση μεγαλύτερη από 1, με υψηλότερες τιμές όταν οι πάσσαλοι είναι πλησιέστερα ο ένας στον άλλο και σε χαλαρότερες άμμους. Για πασσάλους έμπηξης σε πυκνές άμμους, η απόδοση είναι απίθανο να υπερβεί το 1 και θα είναι μικρότερη αν η τοποθέτηση προκαλεί διατάραξη. Για ομάδες έγχυτων πασσάλων σε άμμο, οι επικαλυπτόμενες ζώνες διατάραξης ανάμεσα στους πασσάλους είναι πιθανό να μειώσουν την απόδοση.

## 6. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 6.1 Παρουσίαση του λογισμικού GEO5 2016

Το GEO5 είναι ένα πακέτο προγραμμάτων, που παρέχει λύση στην πλειοψηφία των γεωτεχνικών εφαρμογών. Τα αυτόνομα προγράμματα λειτουργούν στο ίδιο περιβάλλον και επικοινωνούν μεταξύ τους, ενώ το κάθε πρόγραμμα επιλύει συγκεκριμένο τύπο κατασκευής.

Το GEO5 περιλαμβάνει ποικίλα προγράμματα για ανάλυση τοίχων και κατασκευών αντιστήριξης – προσφέροντας απλότητα και σαφήνεια των δεδομένων. Κάθε πρόγραμμα κάνει ανάλυση της κατασκευής σύμφωνα με τις γεωτεχνικές θεωρίες και επίσης επαλήθευση του υλικού του τοίχου.

Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα GEO5 Πασσαλότοιχοι II (Sheeting Check). Το πρόγραμμα παρέχει προχωρημένο σχεδιασμό των σύνθετων τοίχων αντιστήριξης με τη μέθοδο της ελαστοπλαστικής μη γραμμικής ανάλυσης. Επιτρέπει την προσομοίωση της πραγματικής συμπεριφοράς της κατασκευής, χρησιμοποιώντας τα στάδια της κατασκευής, τους υπολογισμούς της παραμόρφωσης και των πιέσεων που ασκούνται στην κατασκευή, την επαλήθευση της εσωτερικής ευστάθειας του αγκυρίου, την επαλήθευση των διατομών (χάλυβα, Ω.Σ., ξύλο) και τη φέρουσα ικανότητα των αγκυρίων.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του προγράμματος είναι τα εξής:

- Η μέθοδος της ελαστοπλαστικής μη γραμμικής ανάλυσης όπως το μέγεθος των πιέσεων που δρουν στην κατασκευή εξαρτώνται από την παραμόρφωσή του.
- Περιέχει πλήθος προκαθορισμένων τύπων της διατομής:
  - Πασσαλότοιχος (Πασσαλότοιχος από αλληλοτεμνόμενους πασσάλους, Πασσαλότοιχος από εφαπτομενους πασσάλους, Πασσαλότοιχος από πασσάλους σταθερών αποστάσεων).
  - Πασσαλότοιχος Soldier (τοίχος 'Βερολίνου') – Μεταλλική διατομή (I, HEB)
  - Πασσαλοσανίδα (Arcelor Mittal, Vítkovice Steel, ThyssenKrupp, Gerdau, Bethlehem Steel, Mer Lion Metals).
  - Ορθογωνικοί τοίχοι από σκυρόδεμα (Διαφραγματικός τοίχος, τοίχοι Milano)
  - Τοίχος από ξύλινους στύλους.
  - Άλλα – δυνατότητα εισαγωγής χαρακτηριστικών υλικού από το χρήστη.
- Περιέχει τοίχους αγκυρωμένους, με διαδοκίδες και τοίχους προβόλους.
- Περιβάλλον γενικών στρώσεων εδάφους.

- Ενσωματωμένη βάση δεδομένων για τις παραμέτρους του εδάφους.
- Απεριόριστος αριθμός φορτίσεων στο φορέα (λουριδωτό, τραπεζοειδές, συγκεντρωμένο φορτίο).
- Προσομοίωση του νερού μπροστά και πίσω από την κατασκευή, προσομοίωση αρτεσιανού νερού.
- Ενσωματωμένη βάση δεδομένων των αγκυρίων:
  - Προεντεταμένες ράβδοι αγκυρίων (VSL, Dywidag)
  - Σύρμα αγκυρίων (VSL, Dywidag)
  - Ελικοειδή αγκύρια (Helical Anchors Ltd, Chance, MacLean)
  - Ράβδοι αγκυρίου (VSL, Minova)
  - Αγκύρια πασσάλου προσδέσεως
- Φέρουσα ικανότητα των αγκυρίων (Αντοχή αγκυρίου, Αντίσταση εξόλκευσης (έδαφος), Αντίσταση εξόλκευσης (εμπότιση).
- Ανάλυση μη προεντεταμένων αγκυρίων και ήλων εδάφους.
- Ανάλυση σύμφωνα με τη θεωρία των οριακών καταστάσεων και του συντελεστή ασφαλείας.
- Επαλήθευση της εσωτερικής ευστάθειας των αγκυρίων.
- Ποικίλες μέθοδοι για εκτίμηση του μέτρου αντίδρασης του υπεδάφους (Schmitt, Ménard, Chadeisson).
- Αυτόματη ή χειροκίνητη επανάληψη του δείκτη αντίδρασης υπεδάφους.
- EN 1997 – δυνατότητα επιλογής μερικών συντελεστών βάσει των Εθνικών Προσαρτημάτων.
- EN 1997 – δυνατότητα επιλογής όλων των προσεγγίσεων σχεδιασμού, θεωρώντας καταστάσεις σχεδιασμού.
- Γενικό σχήμα του εδάφους πίσω από την κατασκευή.
- Αναχώματα μπροστά από την κατασκευή.
- Ανάλυση των ωθήσεων γαιών σε ενεργές και συνολικές παραμέτρους.
- Επιδράσεις σεισμού (Mononobe-Okabe, Arrango, Chinese standards).
- Έλεγχος της αστοχίας λόγω ανύψωσης και επαλήθευση της αστοχίας με σωληνώσεις του εδάφους.
- Δυνατότητα θεώρησης ελάχιστης πίεσης σχεδιασμού.
- Στηρίγματα και ελατήρια μπορούν να οριστούν.
- Περιβάλλουσα των εσωτερικών δυνάμεων για ανεξάρτητα στάδια κατασκευής.
- Η κατασκευή μπορεί να φορτιστεί με συγκεκριμένες δυνάμεις και ροπές.

- Σχεδιασμός διατομών από Ω.Σ., χάλυβα και ξύλο σύμφωνα με ποικίλα πρότυπα (EC, BS, SNiP, CSN, Chinese standards etc.)

## **6.2 Σχεδιασμός και επίλυση τοίχου αντιστήριξης με την χρήση του λογισμικού GEO5 2016 Πασσαλότοιχοι II (Sheeting Check)**

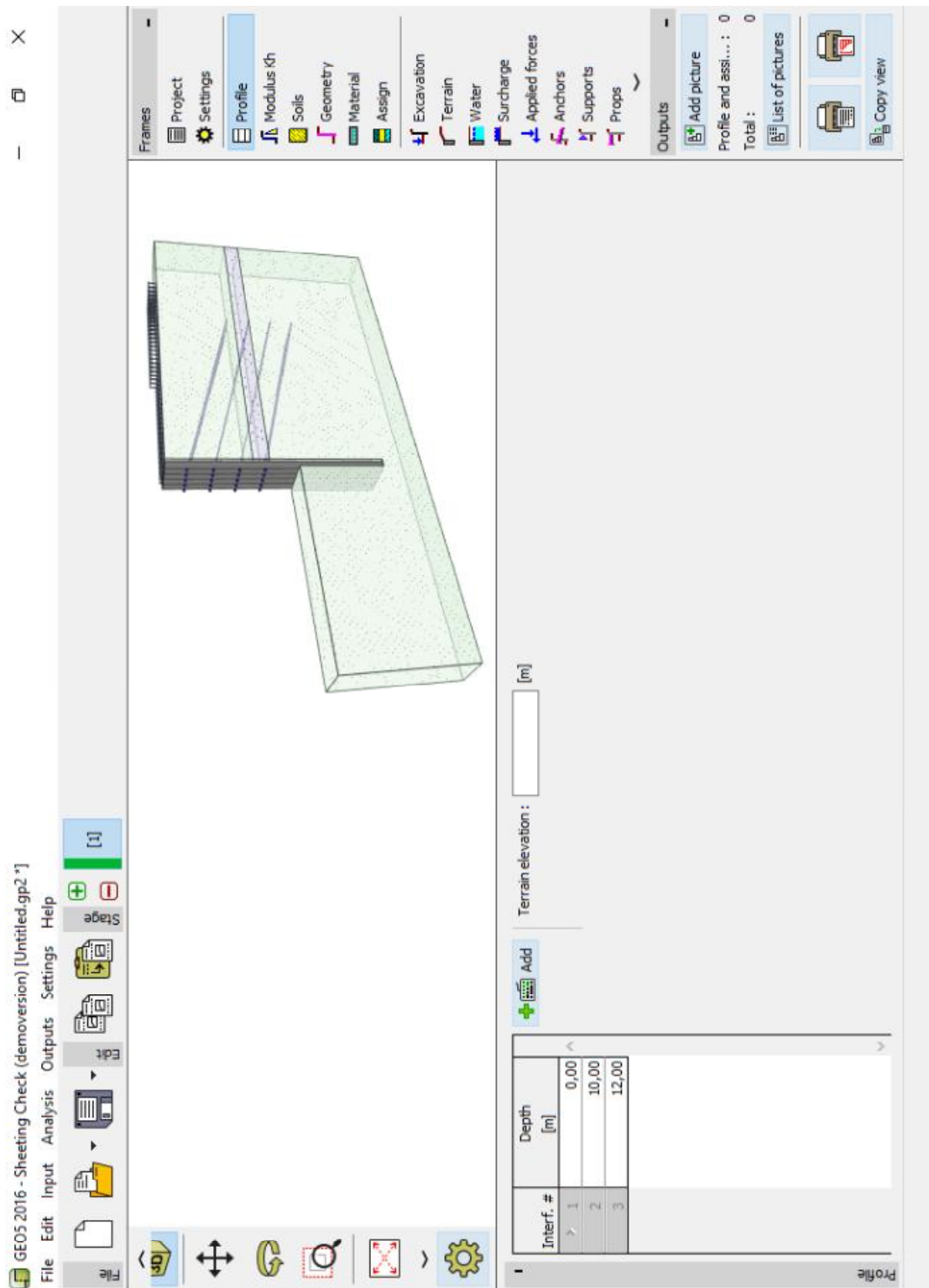
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο βασικός στόχος της πτυχιακής εργασίας, είναι να γίνει ο σχεδιασμός και η επίλυση τοίχου αντιστήριξης ελεύθερου ύψους 17.5 m (συνολικού ύψους 26 m) στο τμήμα της διάνοιξης μεταξύ των οδών Πουκεβίλ – Γκότση (Σχήμα 1, Τμήμα 1) με την χρήση του λογισμικού GEO5 2016.

Στις παραγράφους που ακολουθούν θα περιγραφεί συνοπτικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε και θα γίνει η παρουσίαση των αριθμητικών αποτελεσμάτων του λογισμικού.

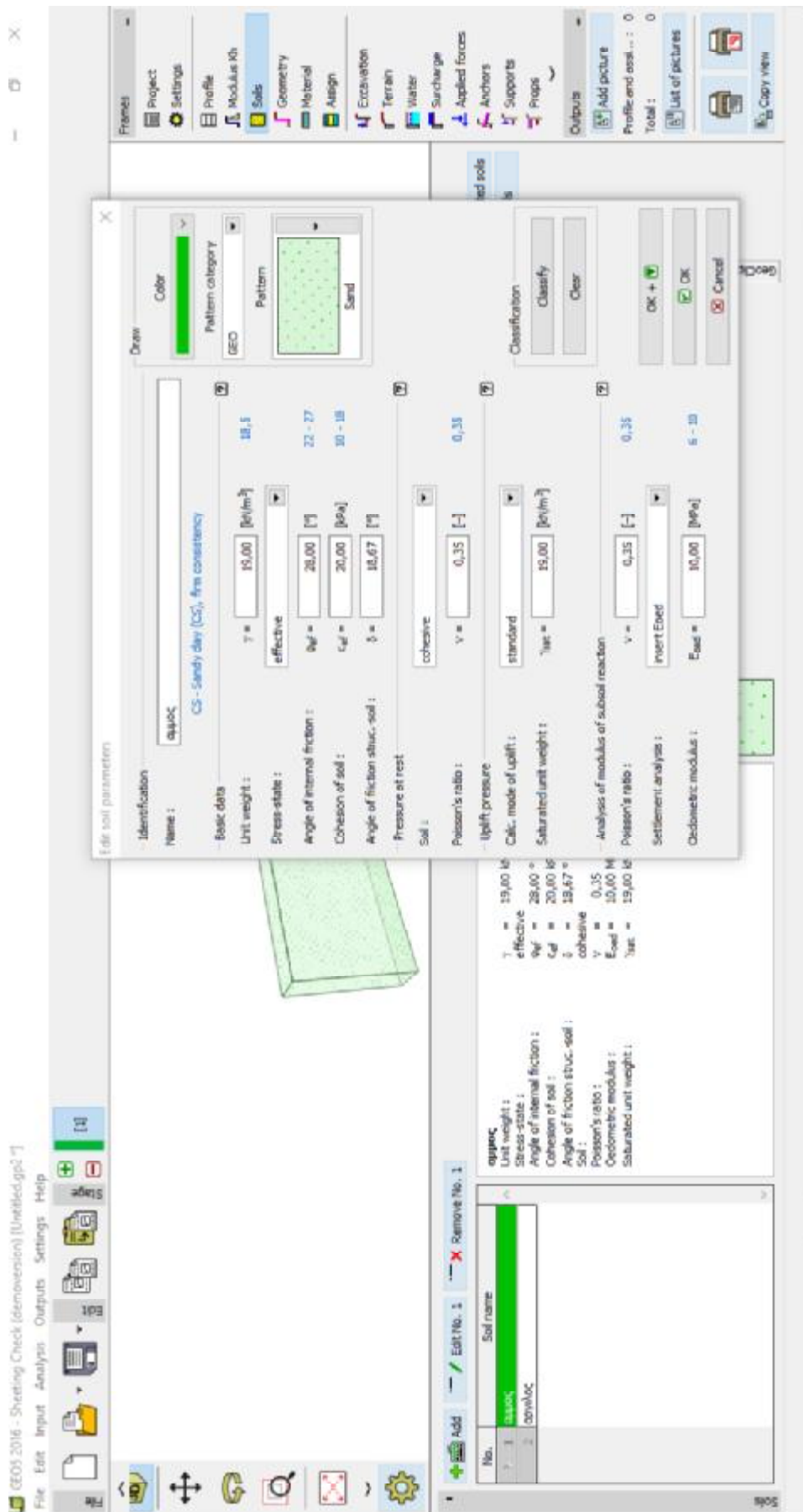
### **6.2.1 Εισαγωγή του γεωλογικού προφίλ στο μοντέλο και καθορισμός των εδαφικών παραμέτρων.**

Στην αρχή έγινε εισαγωγή του γεωλογικού προφίλ στο μοντέλο με διαμόρφωση τις εδαφικής διαστρωμάτωσης (Σχήμα 13).

Το επόμενο βήμα είναι ο καθορισμός των εδαφικών παραμέτρων. Η διαδικασία αυτή μπορεί να γίνει με δύο διαφορετικές επιλογές. Η πρώτη επιλογή είναι η μη αυτόματη εισαγωγή όλων των εδαφικών δεδομένων. Στην περίπτωση αυτή, τα δεδομένα πρέπει να αντιστοιχούν στα αποτελέσματα γεωλογικής έρευνας που έχει ήδη διεξαχθεί. Ο δεύτερος τρόπος είναι να χρησιμοποιηθεί η ενσωματωμένη βάση δεδομένων του προγράμματος, η οποία αφορά τα εδαφικά χαρακτηριστικά. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ο δεύτερος τρόπος διότι τα εδαφικά υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ήταν άμμος (Σχήμα 14) και άργιλος (Σχήμα 15), τα οποία υπάρχουν ήδη στην ενσωματωμένη βάση δεδομένων του λογισμικού GEO5 2016 Πασσαλότοιχοι II (Sheeting Check).

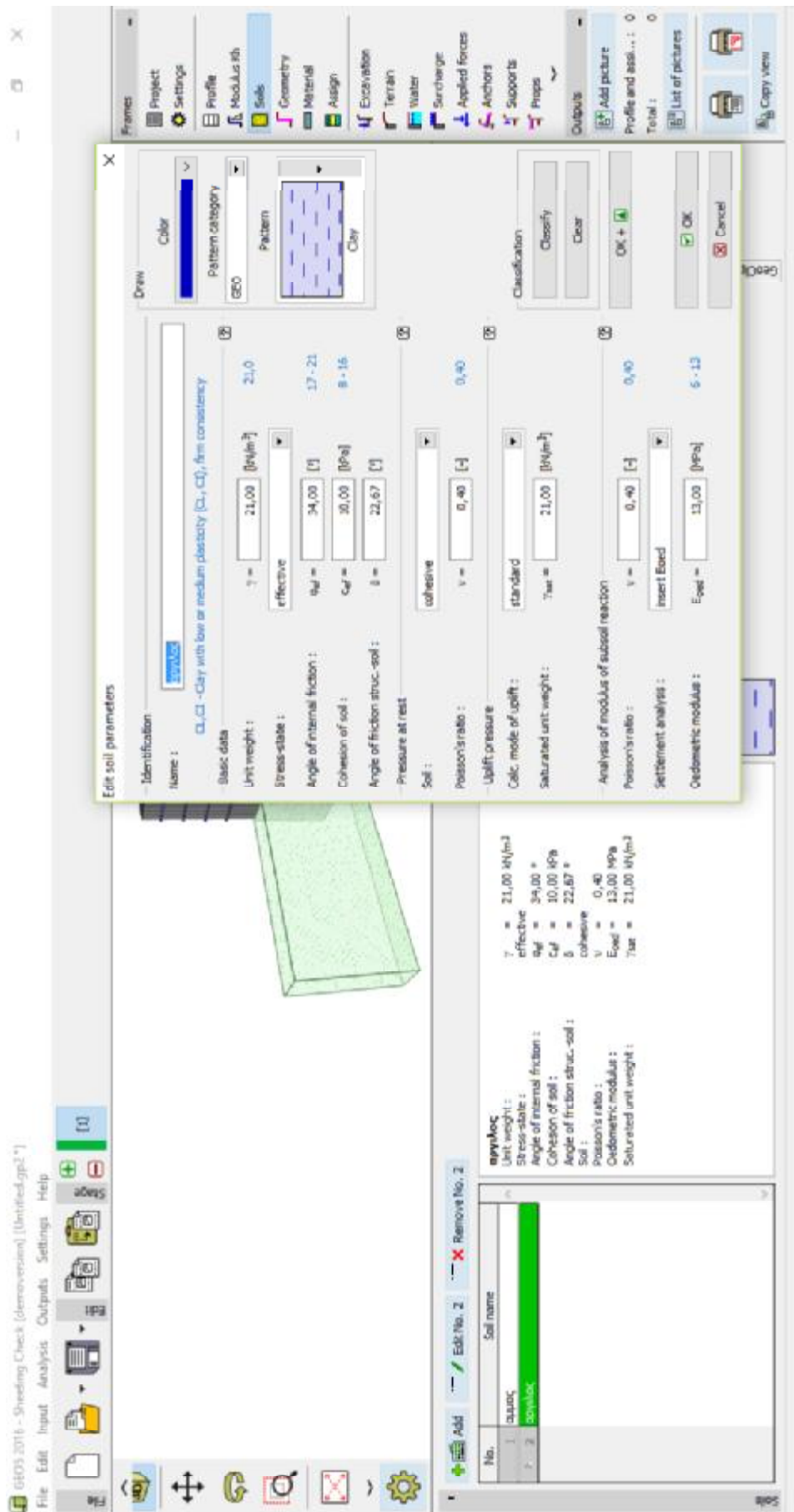


Σχήμα 13: Εισαγωγή γεωλογικού προφίλ στο μοντέλο



Σχήμα 14: Καθορισμός των εδαφικών παραμέτρων της άμμου.

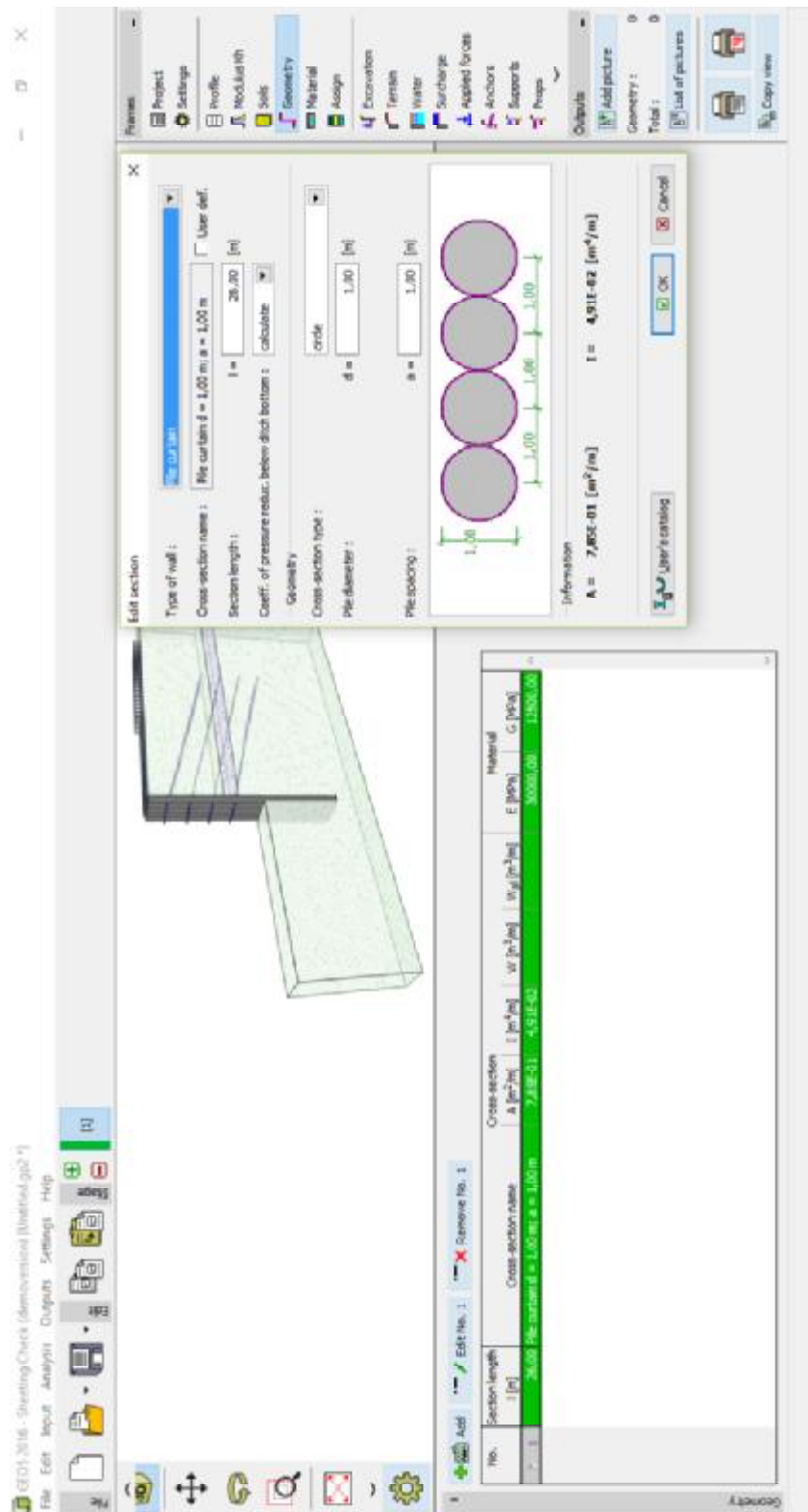




Σχήμα 15: Καθορισμός των εδαφικών παραμέτρων της αργίλου.

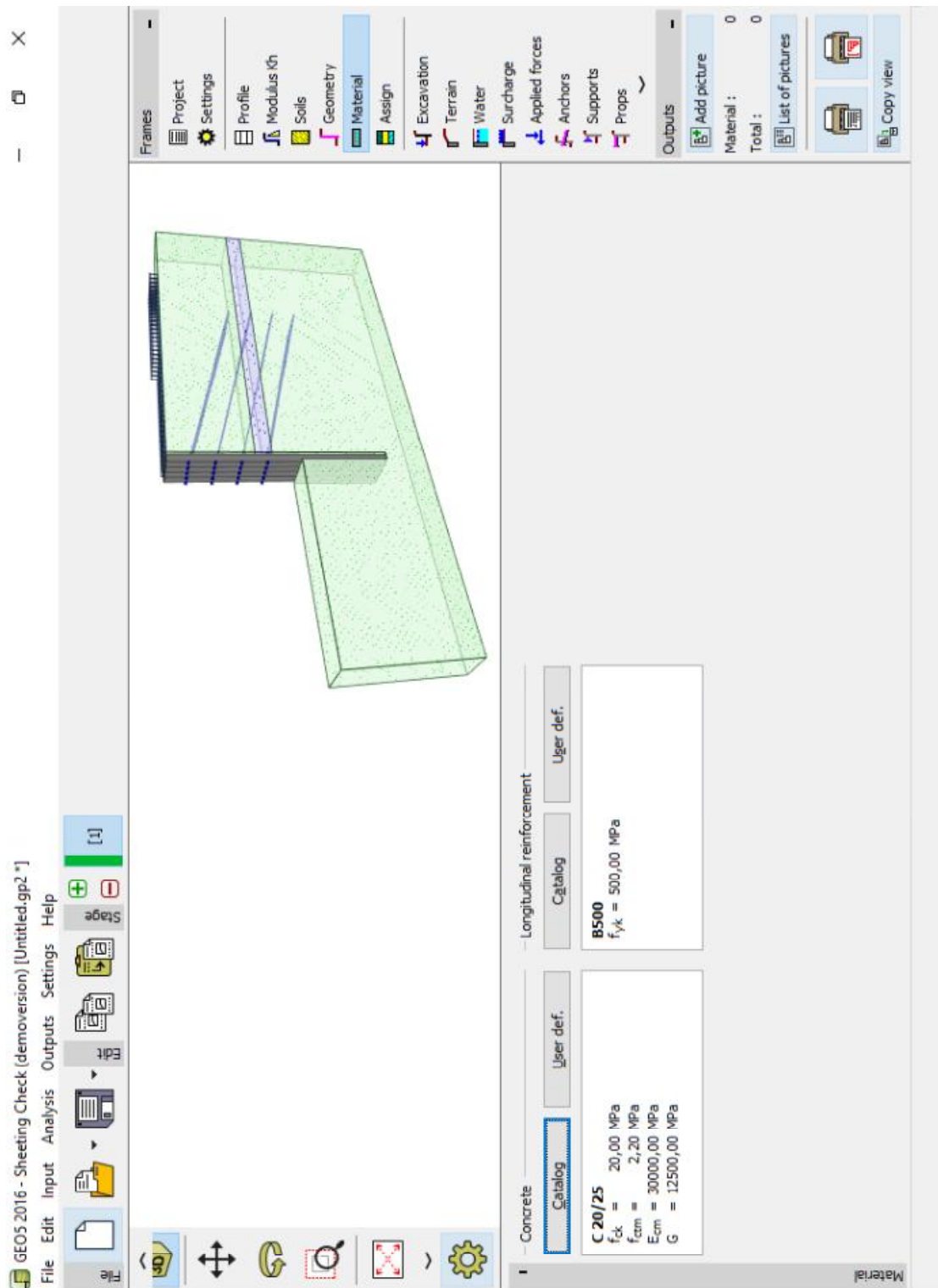
## 6.2.2 Εισαγωγή γεωμετρίας, εισαγωγή υλικού και εκχώρηση των υλικών στην κατασκευή.

Στη συνέχεια έγινε η εισαγωγή της γεωμετρίας στο λογισμικό (Σχήμα 16). Ο τύπος του τοίχου επιλέχθηκε “pile curtain” μήκους 26.00 m.

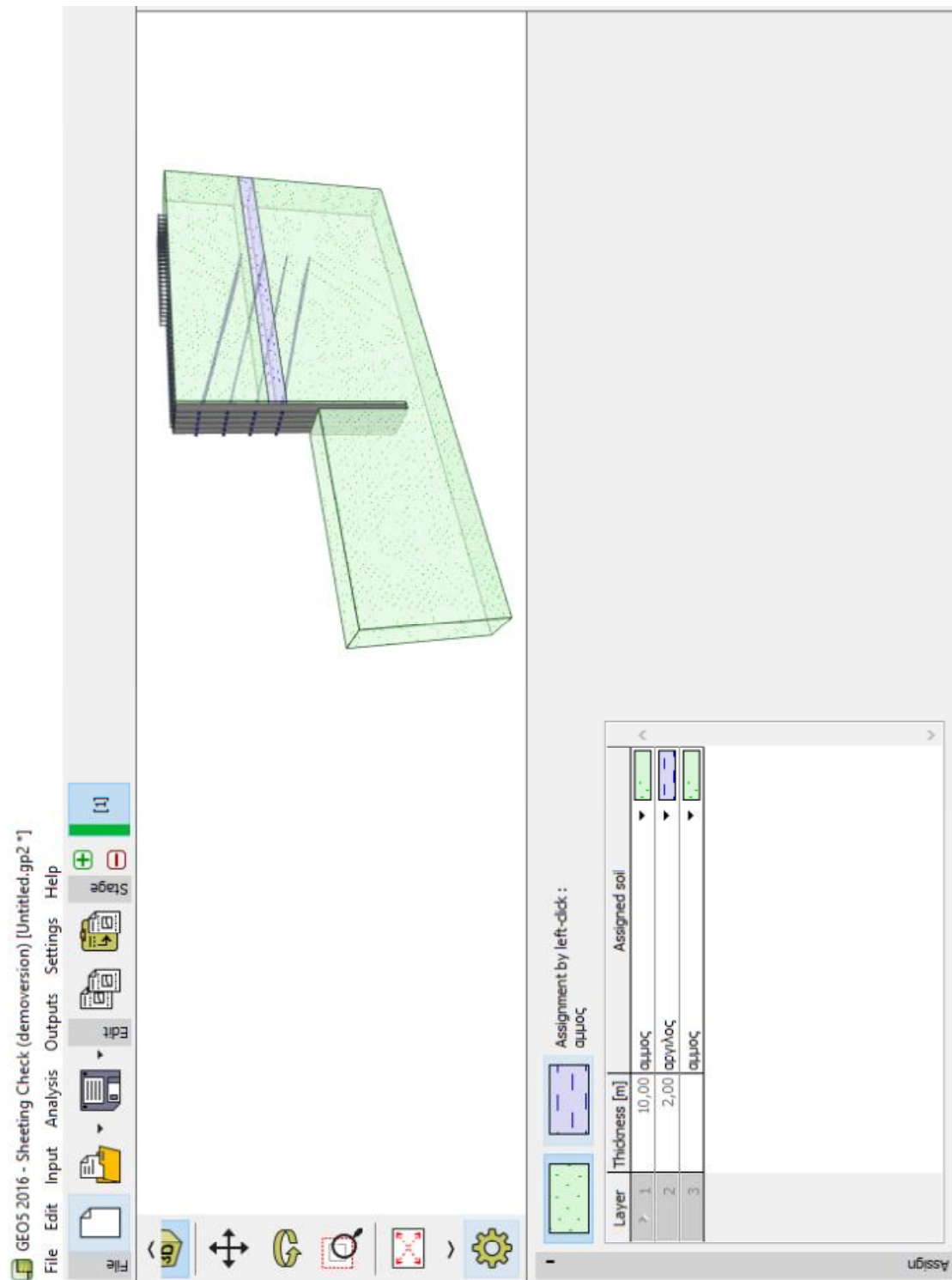


Σχήμα 16: Εισαγωγή της γεωμετρίας στο λογισμικό.

Το επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή του υλικού κατασκευής (Σχήμα 17) και η εκχώρηση (assignment) των εδαφικών τύπων στα διάφορα μέρη της κατασκευής (Σχήμα 18).

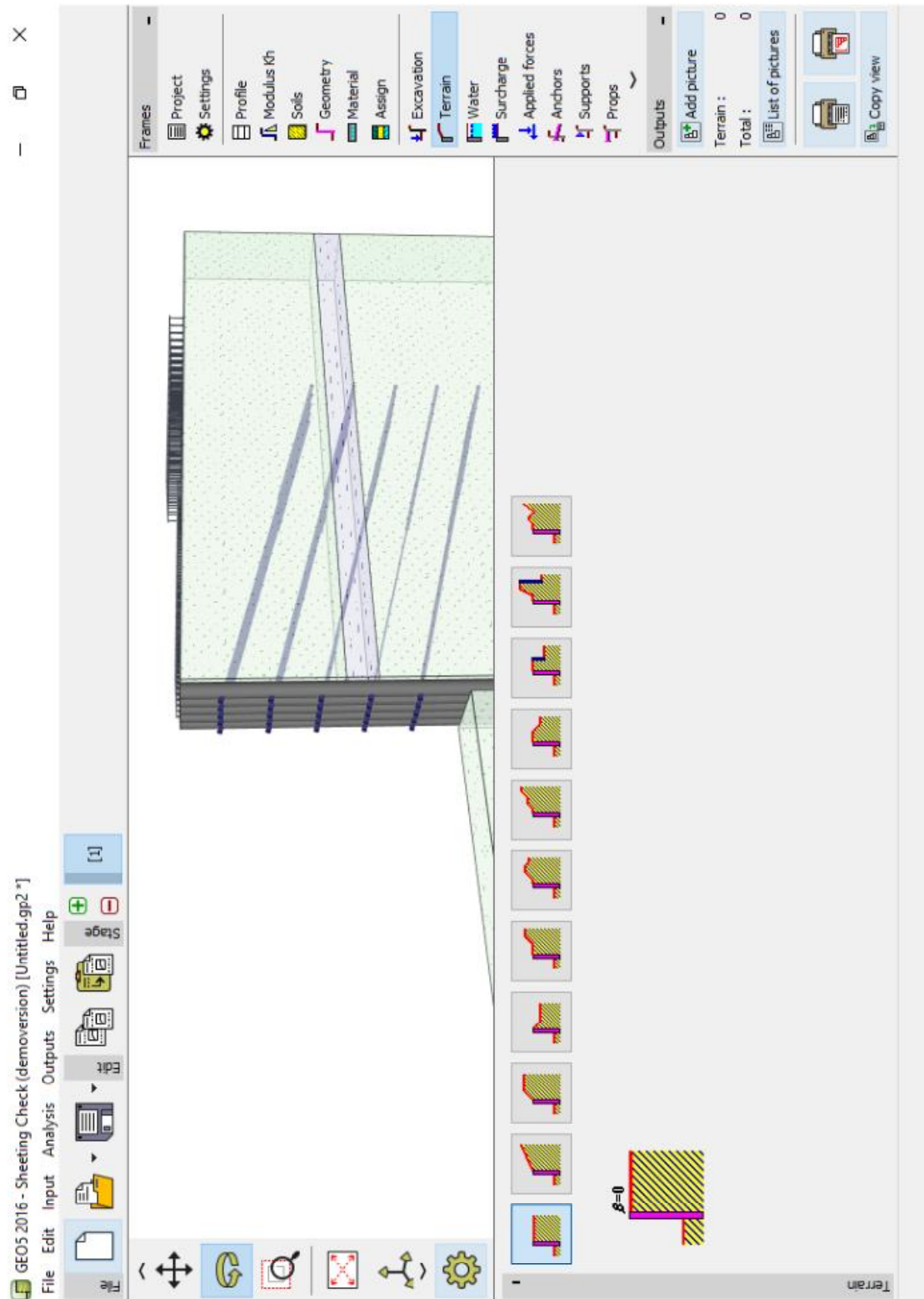


Σχήμα 17: Εισαγωγή του υλικού κατασκευής.



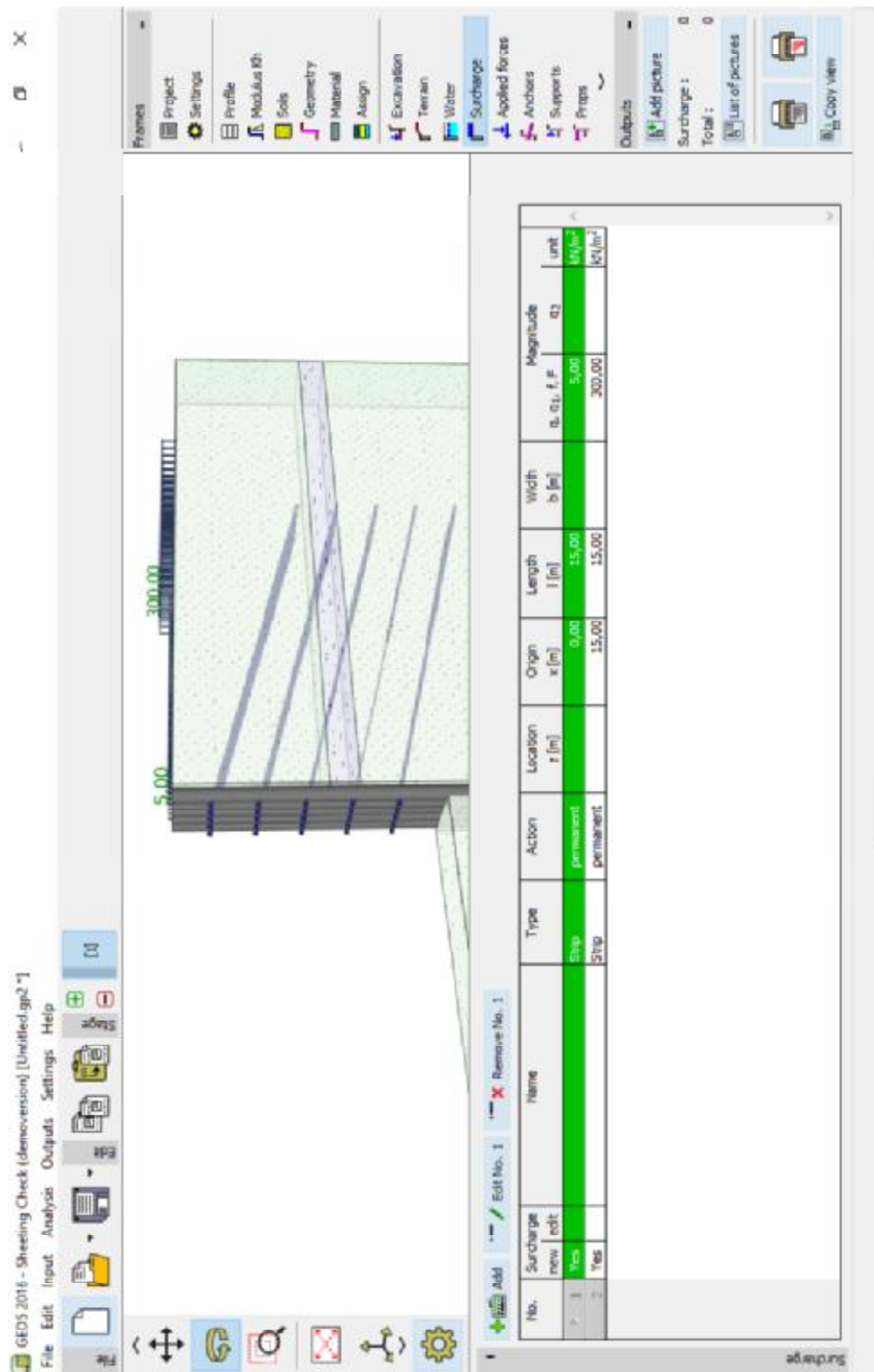
**Σχήμα 18:** Εκχώρηση (assignment) των εδαφικών τύπων στα διάφορα μέρη της κατασκευής.

Το πρόγραμμα απαιτεί από το χρήστη τη μοντελοποίηση της κατασκευής βήμα προς βήμα, με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως θα κατασκευαστεί σε ένα πραγματικό εργοτάξιο. Το επόμενο βήμα σε αυτή τη διαδικασία είναι να τοποθετηθεί η ανασκαφή συγκεκριμένου βάθους και ύστερα θα τοποθετηθεί το έδαφος (terrain) πίσω από την κατασκευή (Σχήμα 19).



Σχήμα 19: Τοποθέτηση του εδάφους (terrain) πίσω από την κατασκευή.

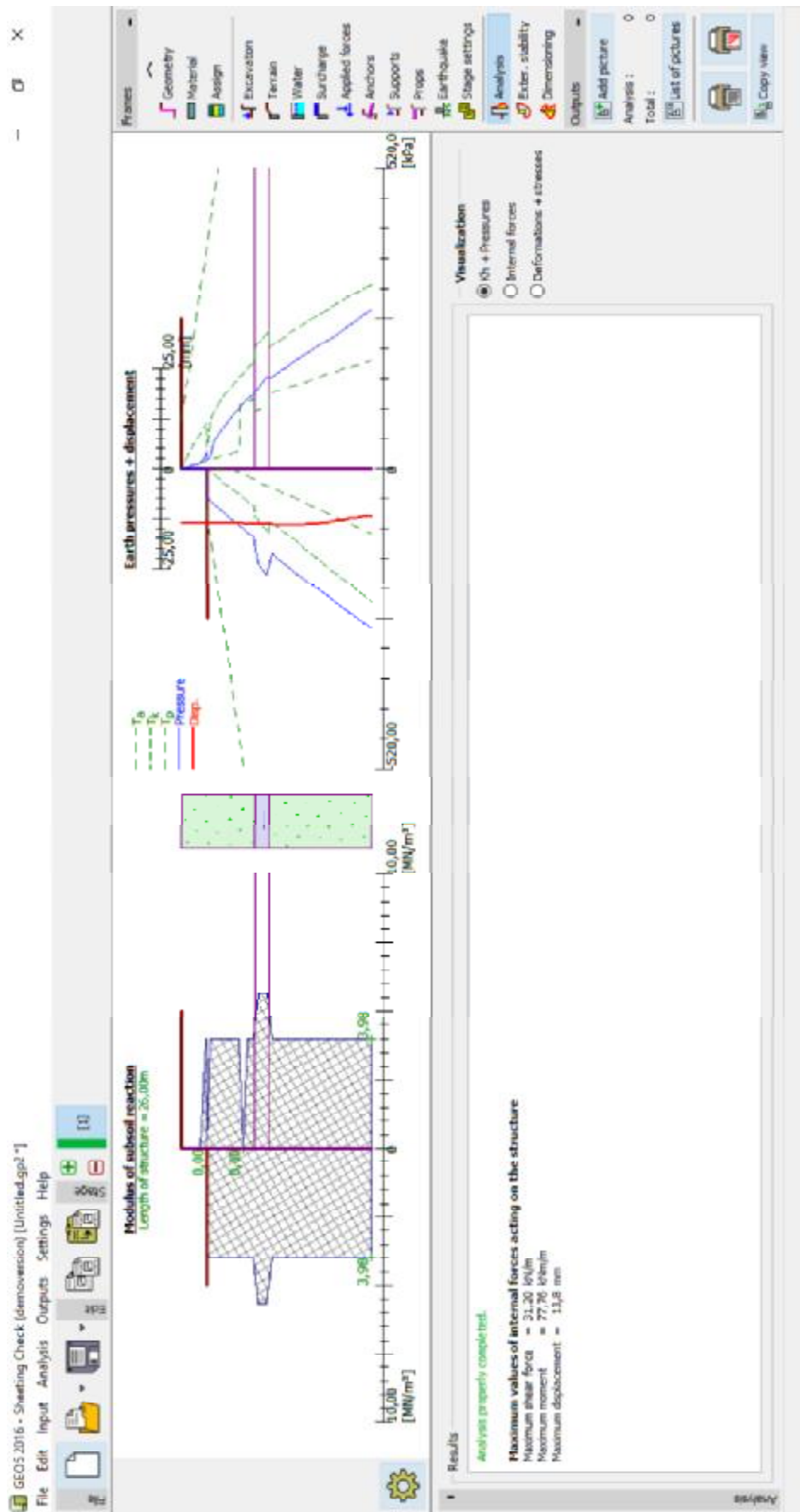
Έπειτα γίνεται η εισαγωγή των επιφορτίσεων (surcharge). Στη συγκεκριμένη περίπτωση έγινε εισαγωγή δύο επιφορτίσεων μεγέθους 5 και 300 kN/m<sup>2</sup> όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 20 .



Σχήμα 20: Εισαγωγή επιφορτίσεων (surcharge).

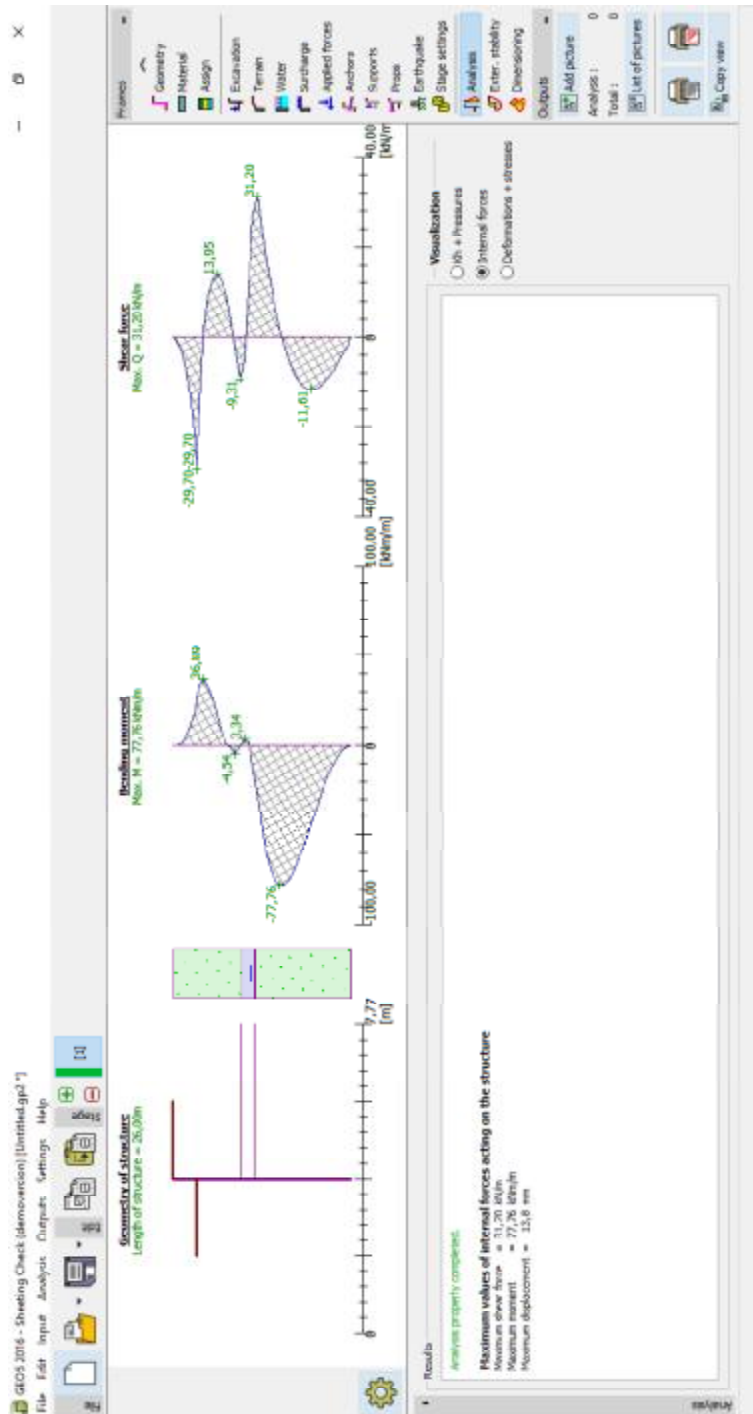
Η εισαγωγή των αγκυρίων θα πραγματοποιηθεί στα επόμενα στάδια κατασκευής. Αρχικά γίνεται η ανάλυση χωρίς την παρουσία αγκυρίων. Το πρόγραμμα υπολογίζει την παραμόρφωση του τοίχου η οποία φαίνεται με κόκκινο χρώμα στο Σχήμα 21. Η μπλε γραμμή δείχνει την πραγματική πίεση που ασκείται στη δομή από το μέτωπο και από την πλάτη. Η πράσινη διακεκομμένη γραμμή δείχνει τις οριακές πιέσεις.





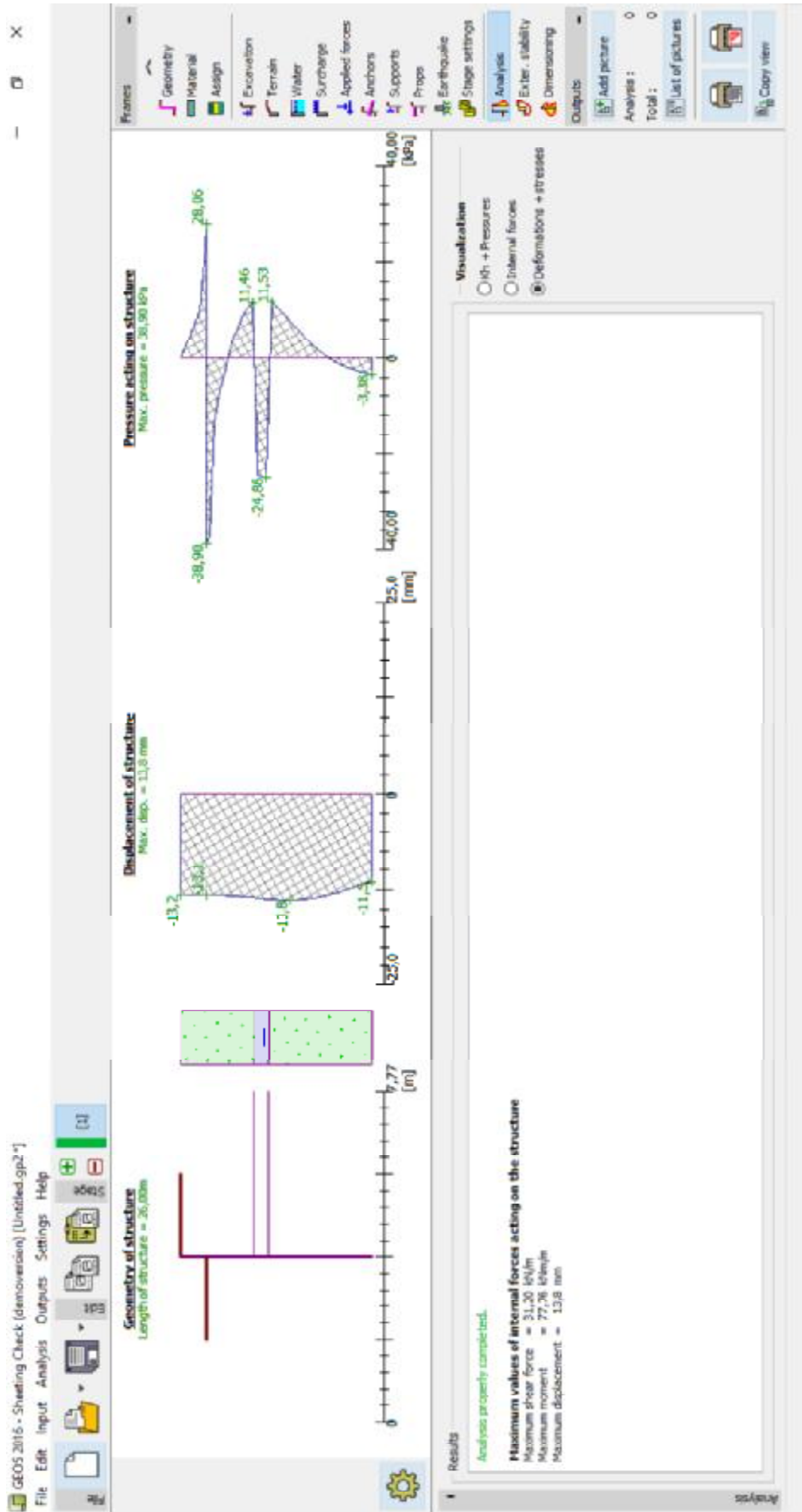
Σχήμα 21: Κατανομή των παραμορφώσεων και των πιέσεων στην κατασκευή. Ανάλυση χωρίς παρουσία αγκυρίων (3.5m).

Εκτός από τις παραμορφώσεις και τις πιέσεις, μπορούμε να πάρουμε σαν αποτέλεσμα και τις εσωτερικές δυνάμεις (internal forces) που επιδρούν στην κατασκευή. Στο Σχήμα 22 παρουσιάζεται οι κατανομές της ροπής κάμψης (bending moment) και της τέμνουσας δύναμης (shear force) που ασκούνται στην κατασκευή. Μπορούμε επίσης να πάρουμε σαν αποτέλεσμα την παραμόρφωση της κατασκευής, όπως επίσης και τη συνολική πίεση που ασκείται στην κατασκευή (Σχήμα 23).



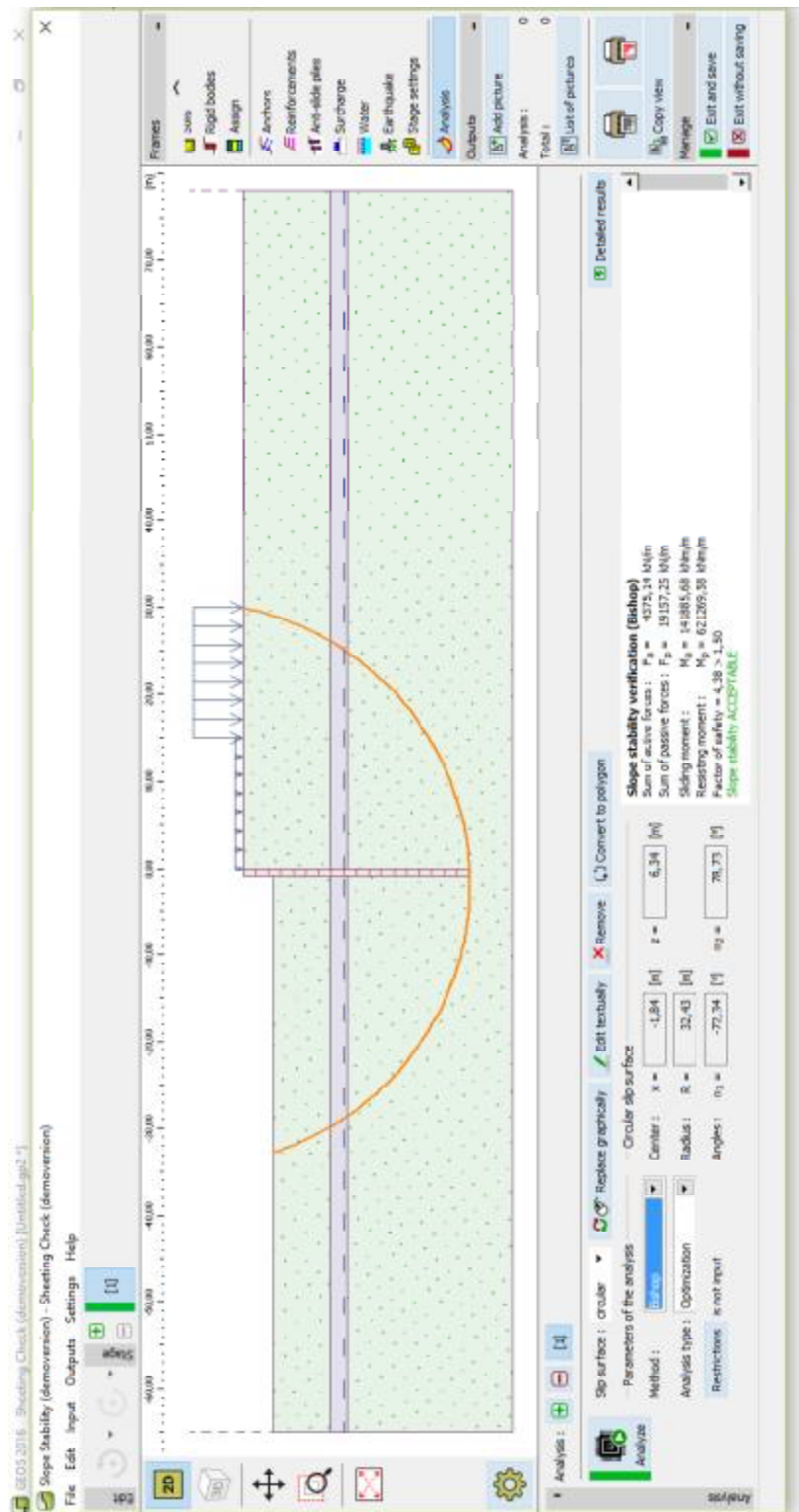
Σχήμα 22: Κατανομή της ροπής κάμψης (bending moment) και της τέμνουσας δύναμης (shear force) που ασκούνται στην κατασκευή. Ανάλυση χωρίς παρουσία αγκυρίων (3.5m).



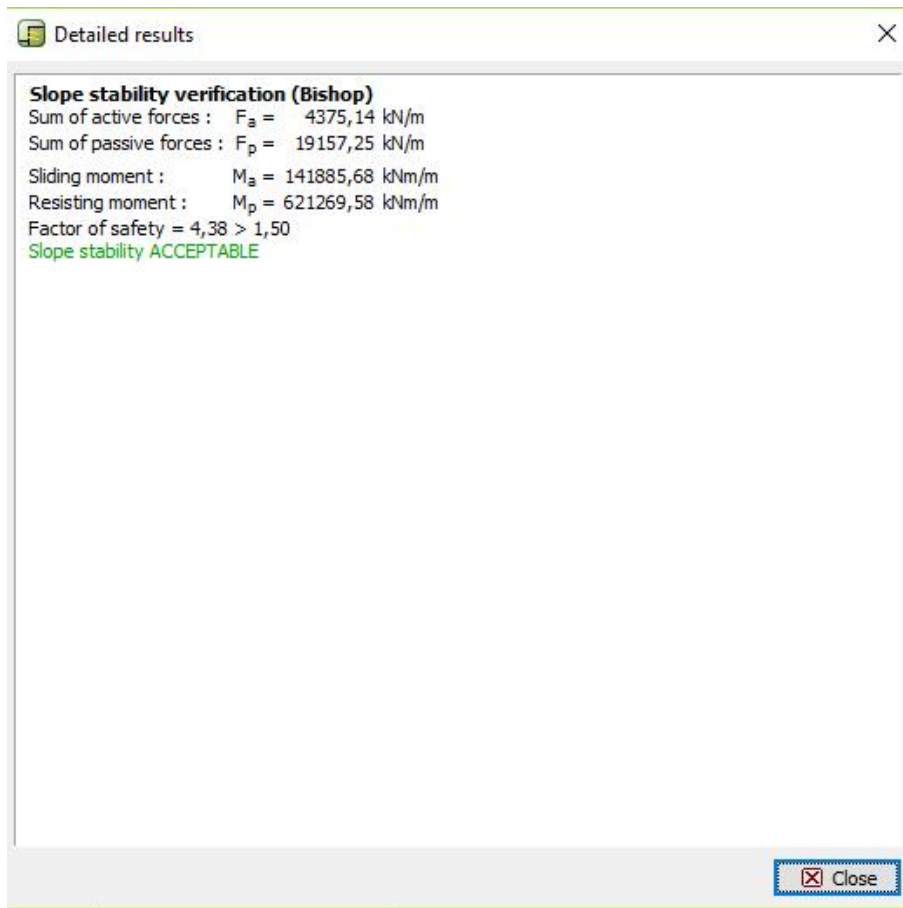


Σχήμα 23: Παραμόρφωση της κατασκευής και συνολική πίεση που ασκείται στην κατασκευή. Ανάλυση χωρίς παρουσία αγκυρίων (3.5m).

Στην επόμενη φάση αναλύουμε τη συνολική ισορροπία (global stability) της κατασκευής στο πρόγραμμα ισορροπίας πρανούς (slope stability) που παρέχει το λογισμικό. Το πρόγραμμα έχει την ικανότητα να βρίσκει τη χειρότερη πιθανή επιφάνεια ολίσθησης και να τη χρησιμοποιήσει στην ανάλυση (Σχήμα 24, Σχήμα 25).



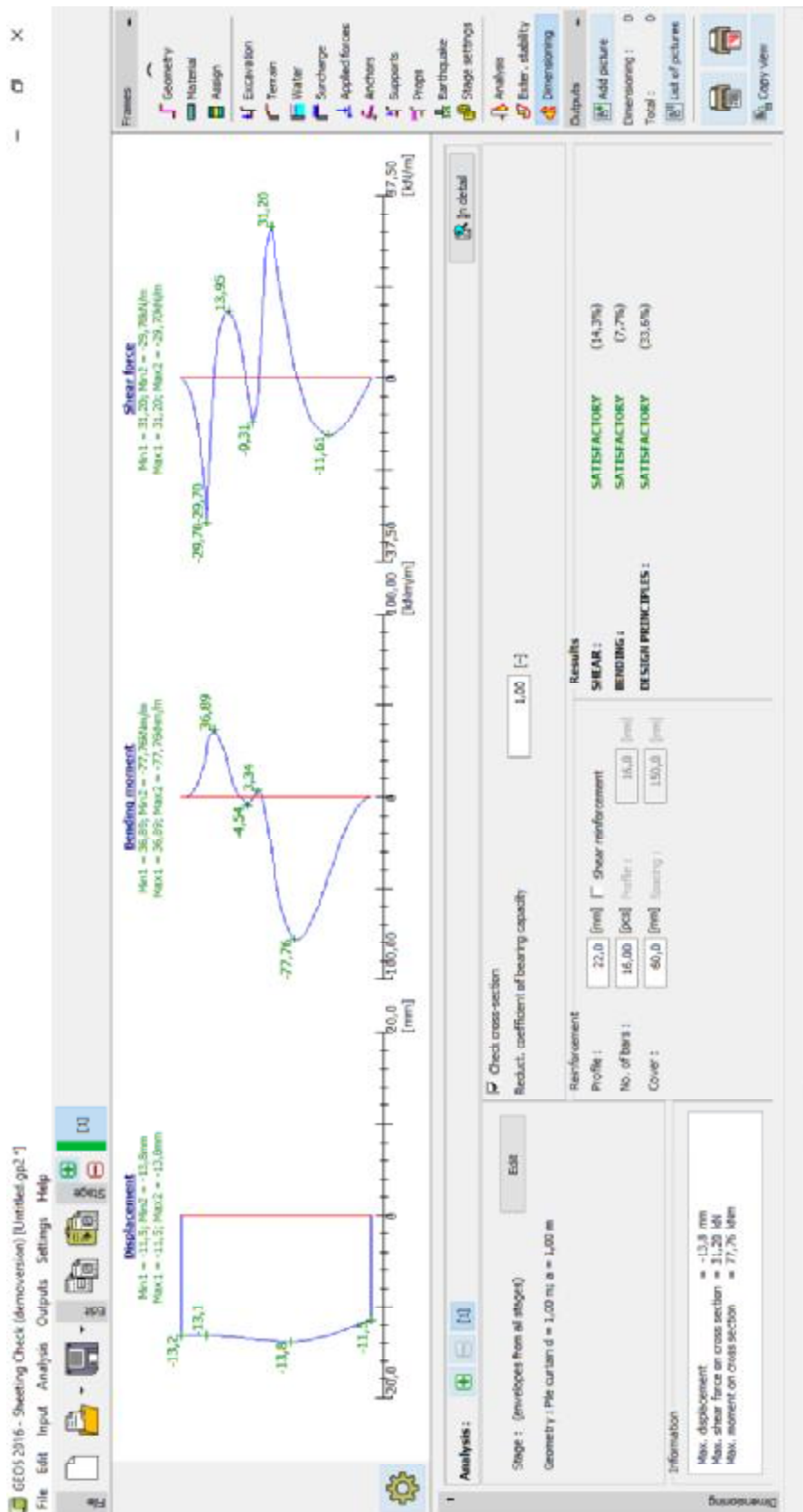
Σχήμα 24: Ανάλυση της συνολικής ισορροπίας της κατασκευής με το πρόγραμμα ισορροπίας πρανούς (slope stability). Ανάλυση χωρίς παρουσία αγκυρίων (3.5m).



**Σχήμα 25:** Αναλυτικά αποτελέσματα ανάλυσης της συνολικής ισορροπίας της κατασκευής με το πρόγραμμα ισορροπίας πρανούς (slope stability). Ανάλυση χωρίς παρουσία αγκυρίων (3.5m).

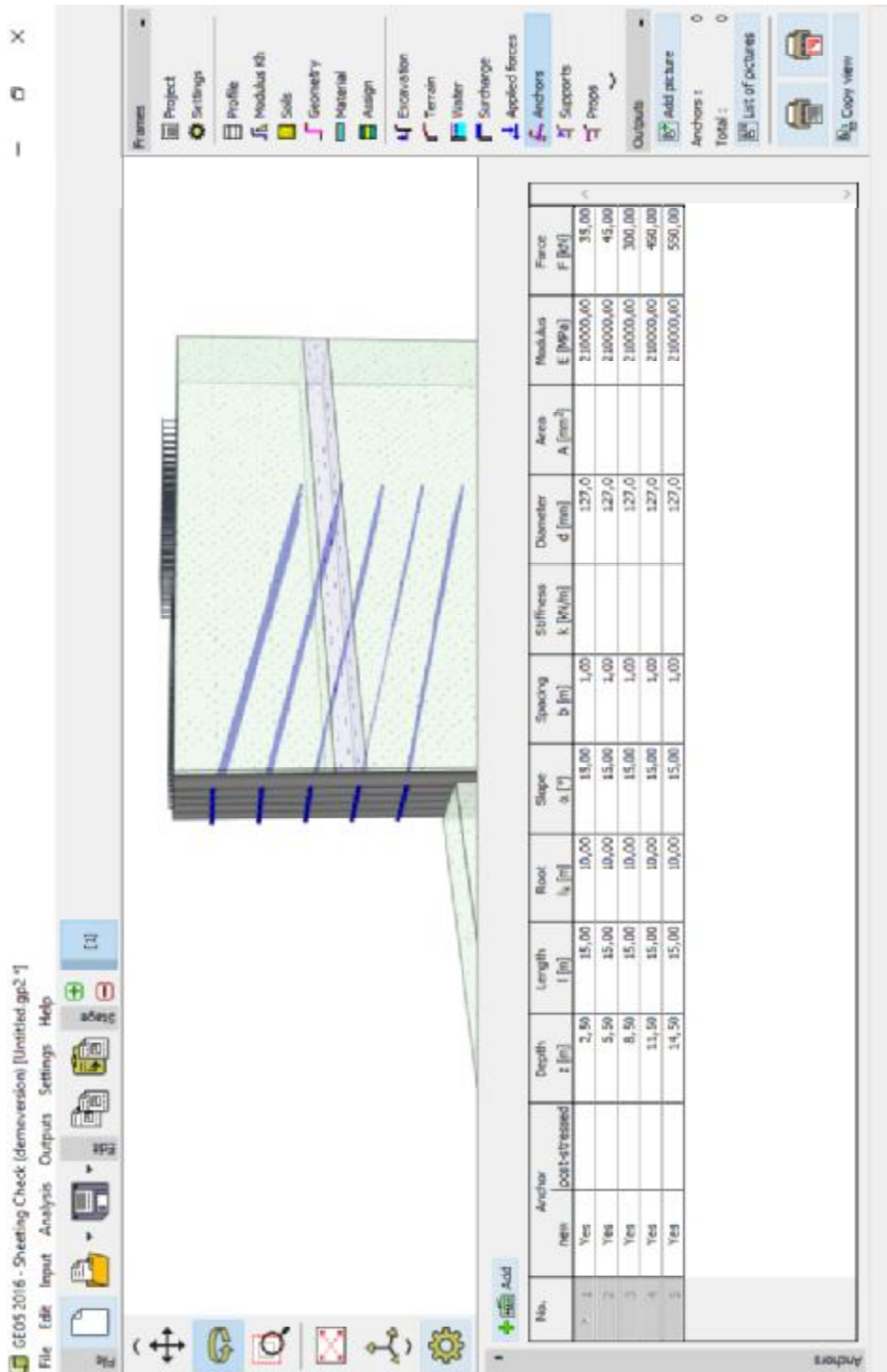
Το τελευταίο βήμα είναι να ο έλεγχος της διατομής και ο σχεδιασμός της ενίσχυσης. Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ροπών κάμψης και τεμνουσών δυνάμεων για έλεγχο σε κάμψη και διάτμηση λαμβάνοντας υπόψιν θλιπτικό οπλισμό (shear reinforcement) (Σχήμα 26) και μη λαμβάνοντας υπόψιν θλιπτικό οπλισμό (Σχήμα 27). Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι η διατομή σχεδιασμού είναι ικανοποιητική για το πρώτο στάδιο της ανάλυσης.





Σχήμα 27: Αποτελέσματα ροπών κάμψης και τεμνοσών δυνάμεων. Έλεγχος σε κάμψη και διάτμηση μη λαμβάνοντας υπόψιν το θλιπτικό σπλισμό. Ανάλυση χωρίς παρουσία αγκυριών (3.5m).

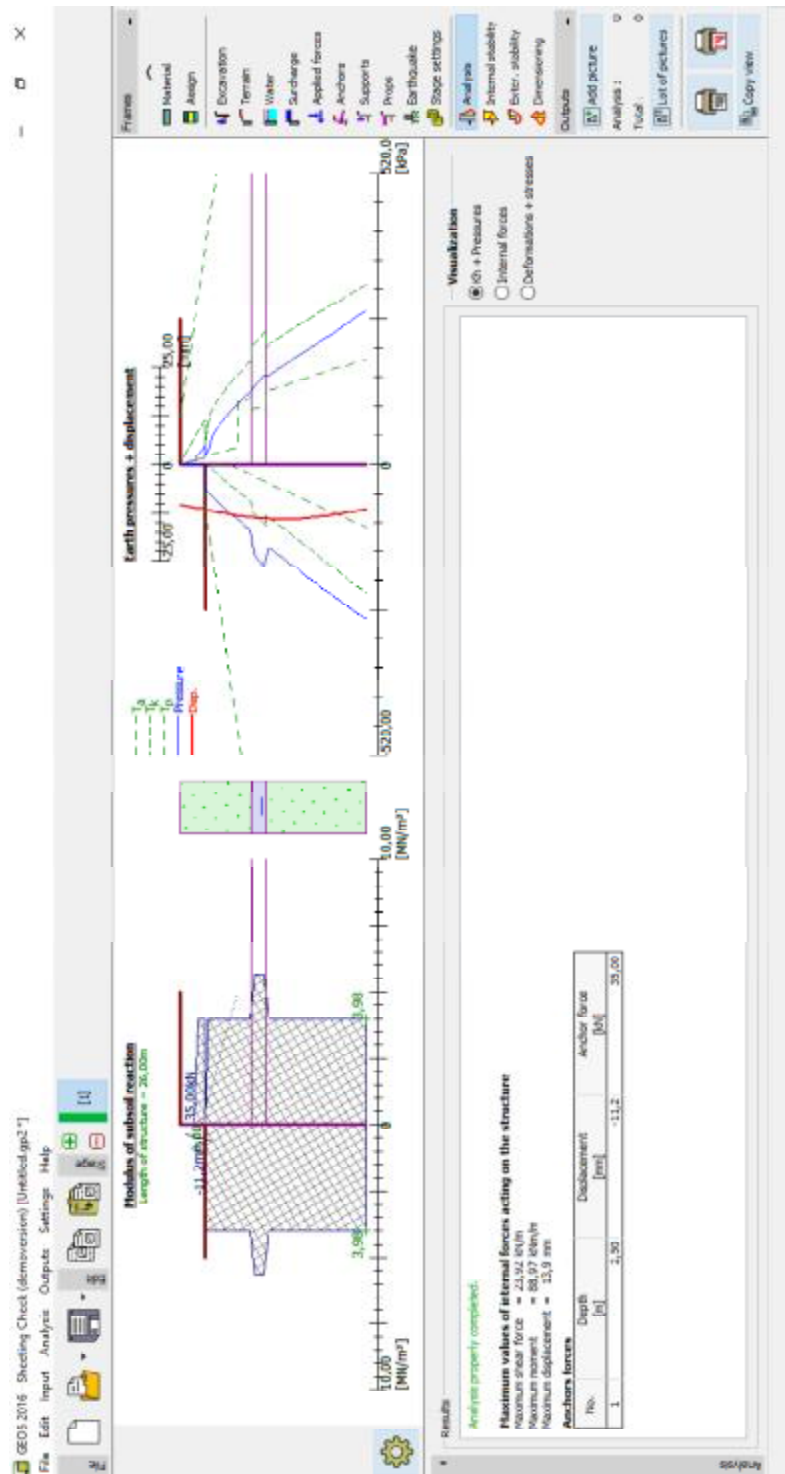
Στη συνέχεια προσθέτουμε ένα νέο στάδιο κατασκευής. Σε αυτό το στάδιο διαμορφώνεται και εισάγεται στο πρόγραμμα η πρώτη σειρά αγκυρίων σε βάθος 2.5m. Οι σειρές αγκυρίων εισάγονται στο πρόγραμμα μετά από καταχώρηση του βάθους εισαγωγής, του ελεύθερου μήκους (free length) του αγκυρίου, του μήκους της βάσης (root length) του αγκυρίου και της κλίσης κατά την οποία θα τοποθετηθεί. Στο Σχήμα 28 παρουσιάζεται η εισαγωγή του συνόλου των αγκυρίων στην κατασκευή.



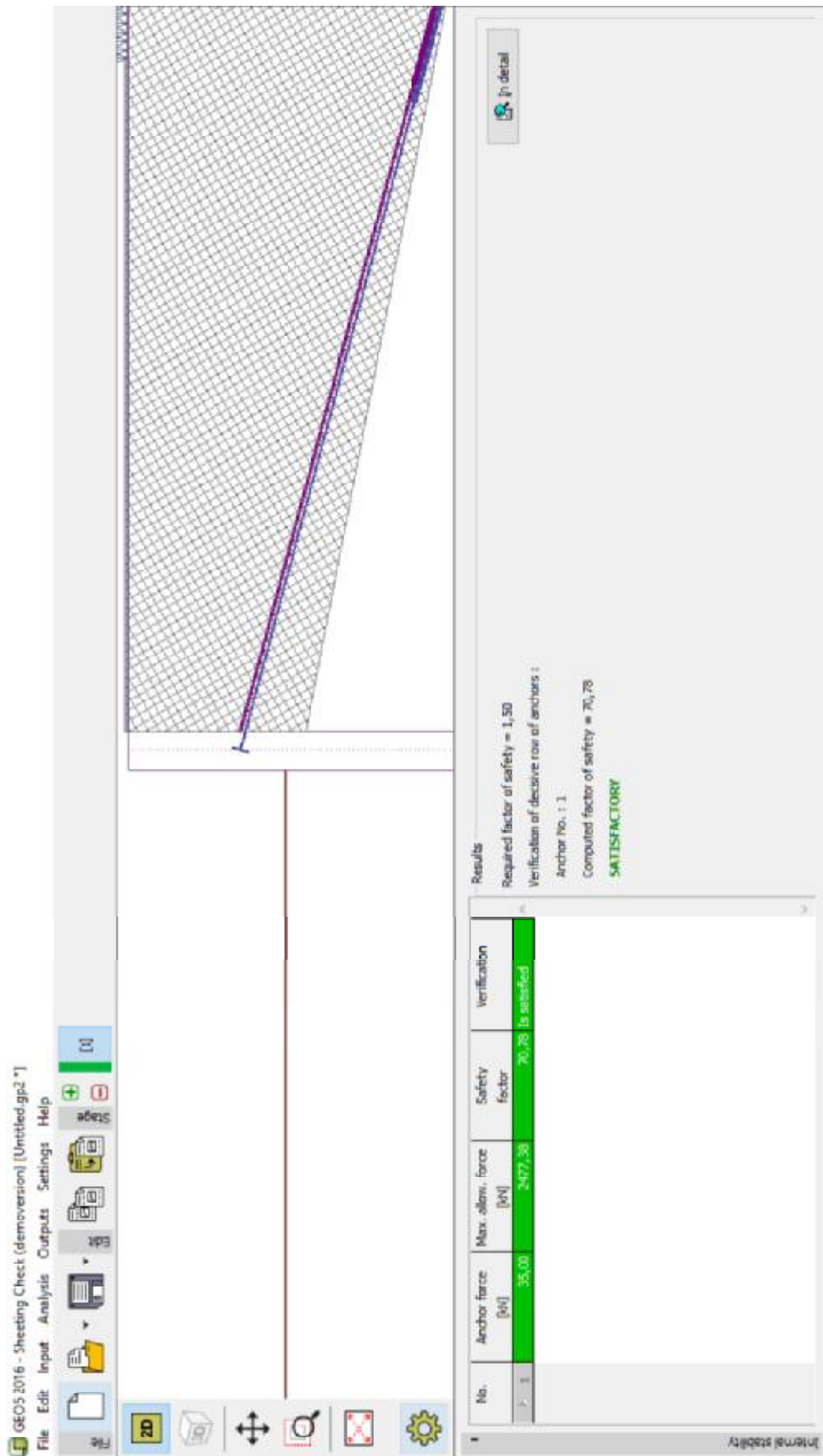
Σχήμα 28: Εισαγωγή του συνόλου των αγκυρίων στην κατασκευή.



Μετά την εισαγωγή της πρώτης σειράς αγκυριών στα 2.5m ακολουθείται η ίδια διαδικασία ανάλυσης με πριν. Επίσης μετά από κάθε εισαγωγή μίας σειράς αγκυριών μπορούμε να αναλύσουμε την εσωτερική ισορροπία (internal stability) του συστήματος των αγκυριών. Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για ανάλυση μετά από εισαγωγή της πρώτης σειράς αγκυριών.

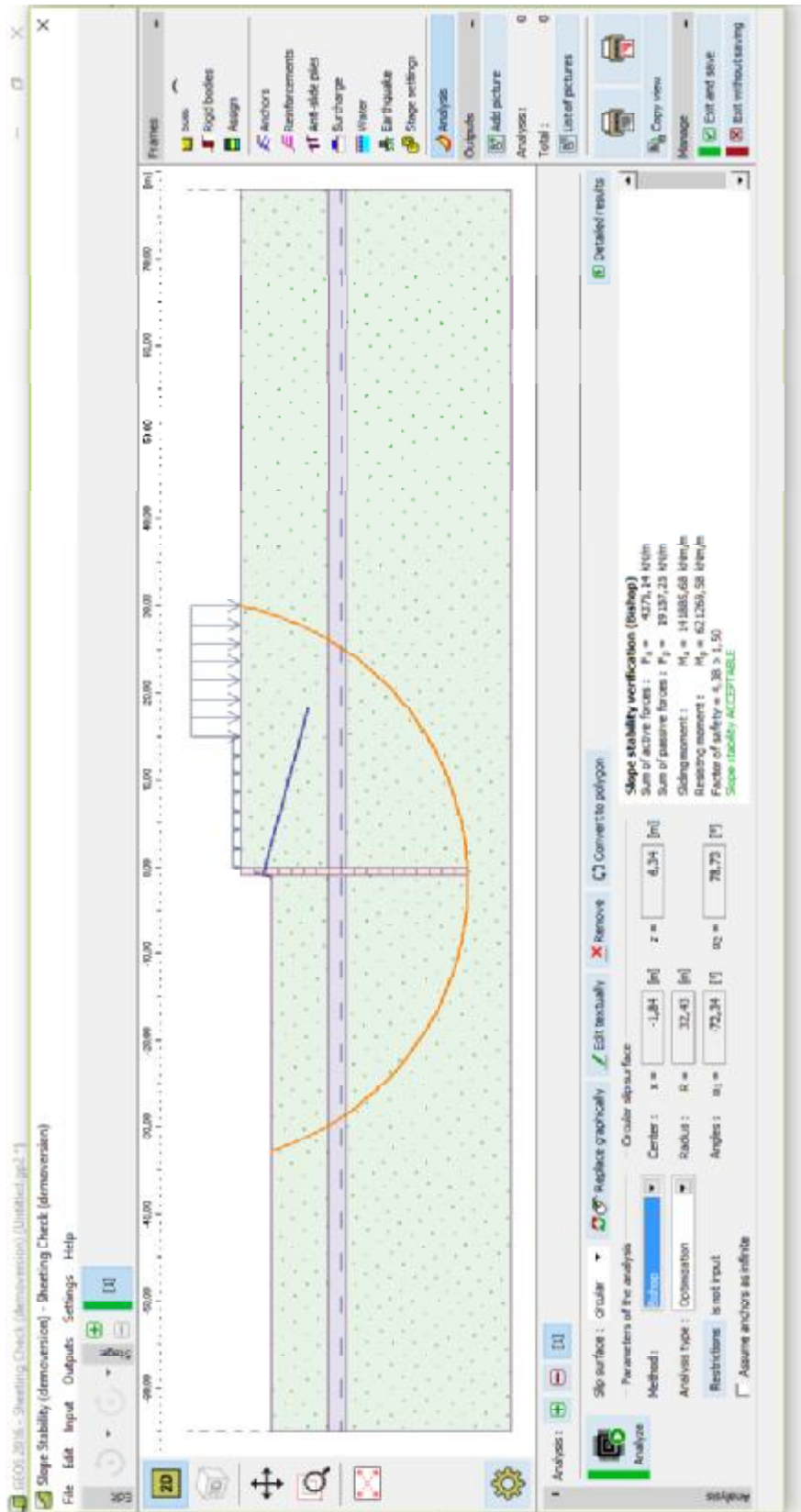


Σχήμα 29: Κατανομή των παραμορφώσεων και των πιέσεων στην κατασκευή. Ανάλυση με παρουσία της πρώτης σειράς αγκυριών (3.5m).

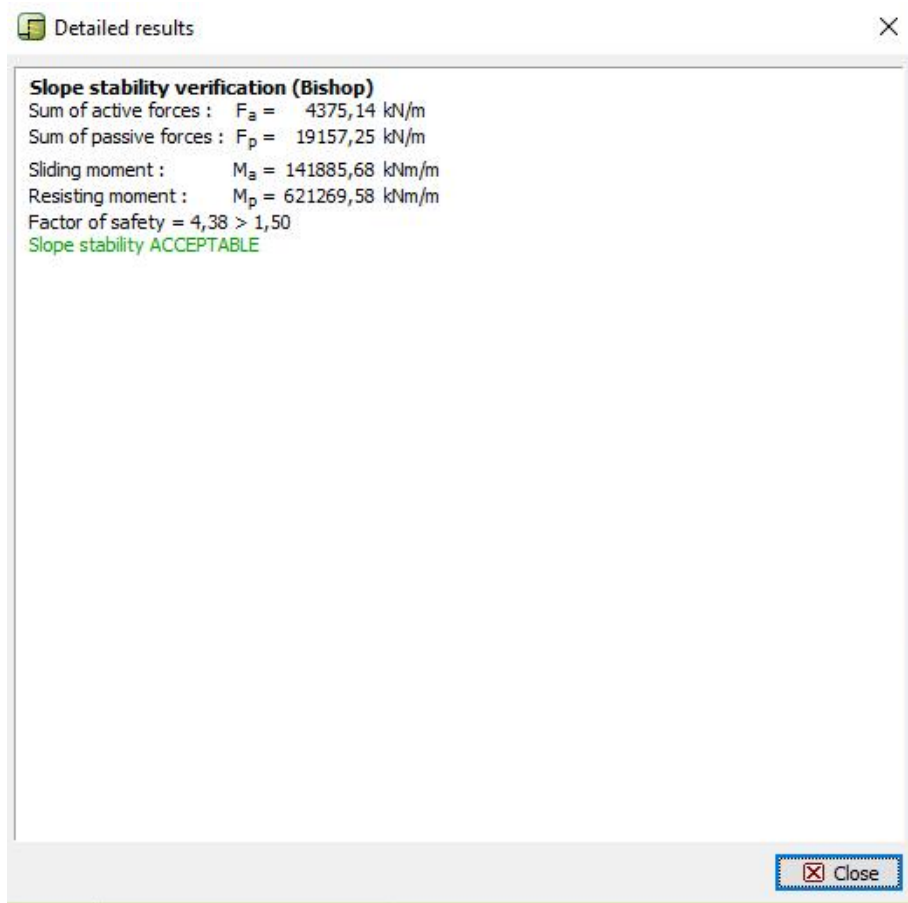


Σχήμα 30: Ανάλυση της εσωτερικής ισορροπίας (internal stability) του συστήματος των αγκυρίων. Ανάλυση με παρουσία της πρώτης σειράς αγκυρίων (3.5m).





Σχήμα 31: Ανάλυση της συνολικής ισορροπίας της κατασκευής με το πρόγραμμα ισορροπίας πρανούς (slope stability). Ανάλυση με παρουσία της 1<sup>ης</sup> σειράς αγκυρίων (3.5m).



**Σχήμα 32:** Αναλυτικά αποτελέσματα ανάλυσης της συνολικής ισορροπίας της κατασκευής με το πρόγραμμα ισορροπίας πρανούς (slope stability). Ανάλυση με παρουσία της πρώτης σειράς αγκυρίων (3.5m).

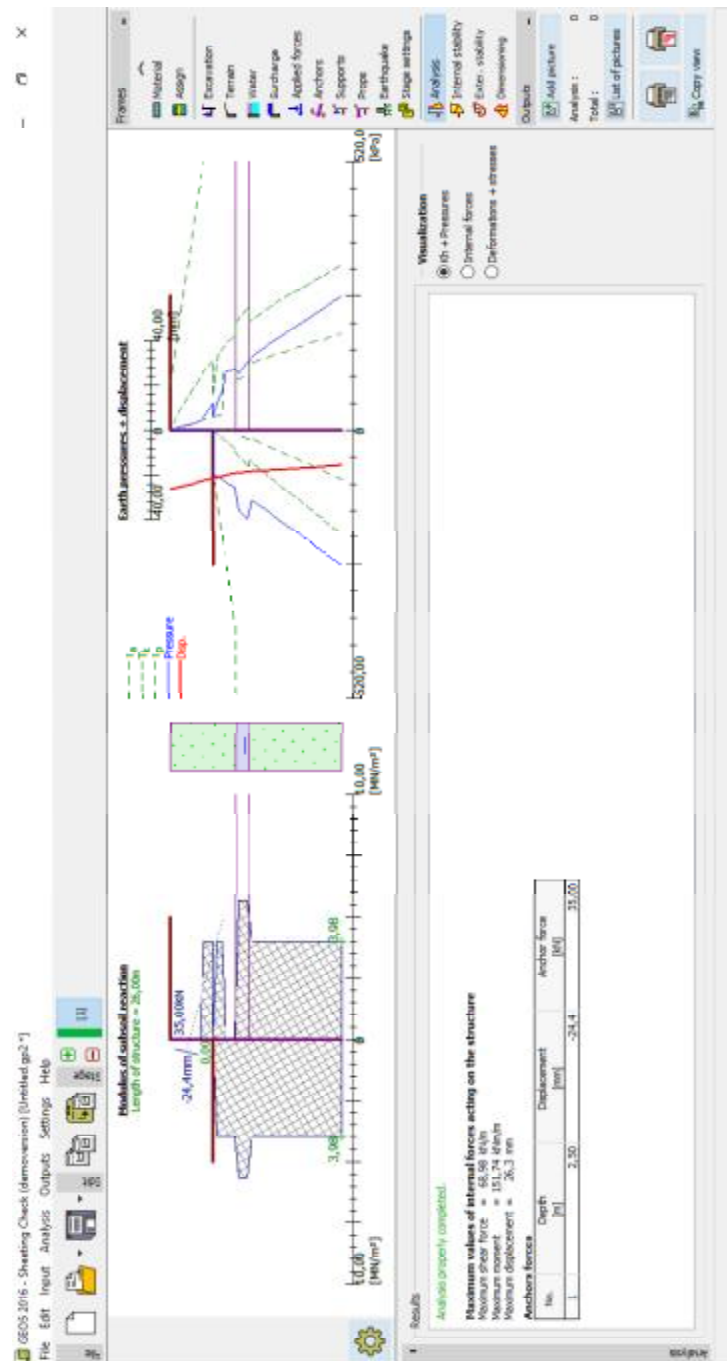


Σχήμα 33: Αποτελέσματα ροπών κάμψης και τεμνουσών δυνάμεων. Έλεγχος σε κάμψη και διάτμηση μη λαμβάνοντας υπόψιν το θλιπτικό οπλισμό. Ανάλυση με παρουσία της πρώτης σειράς αγκυρίων (3.5m).

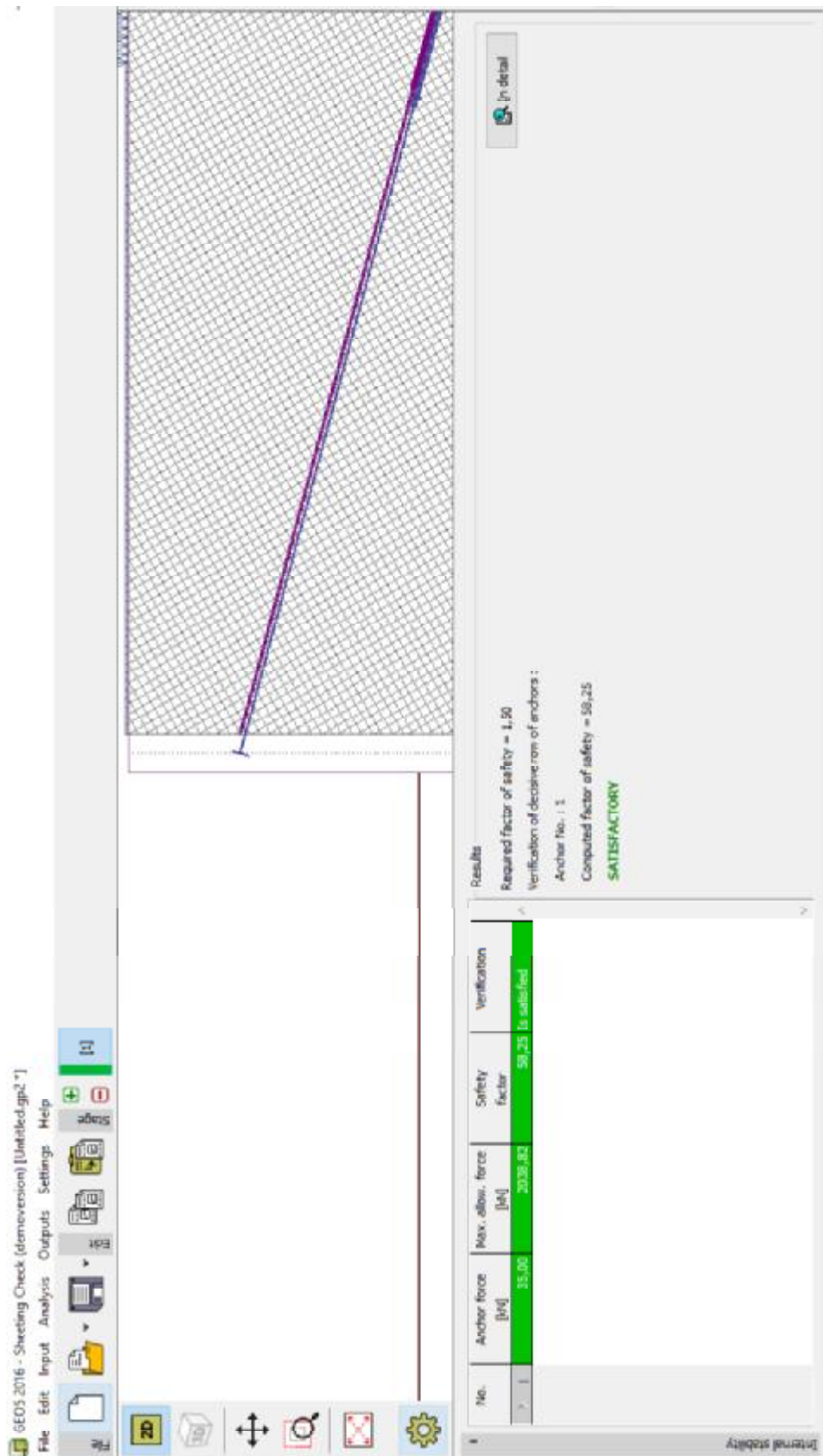


Σχήμα 34: Αποτελέσματα ροπών κάμψης και τεμνοσών δυνάμεων. Έλεγχος σε κάμψη και διάτμηση λαμβάνοντας υπόψιν το θλιπτικό οπλισμό. Ανάλυση με παρουσία της πρώτης σειράς αγκυρίων (3.5m).

Μετά το πέρας της ανάλυσης για το πρώτος βάθος εκσκαφής, μπορεί να προστεθεί το επόμενο στάδιο κατασκευής. Στο στάδιο αυτό προστίθεται μία νέα εκσκαφή με το συνολικό βάθος της εκσκαφής να φτάνει τα 6.5 m. Στη συνέχεια ακολουθείται η ίδια διαδικασία ανάλυσης, τόσο πριν, όσο και μετά την εισαγωγή της νέας σειράς αγκυρίων σε βάθος 5.5m. Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης μετά τη νέα εκσκαφή, πριν και μετά την εισαγωγή της δεύτερης σειράς αγκυρίων.

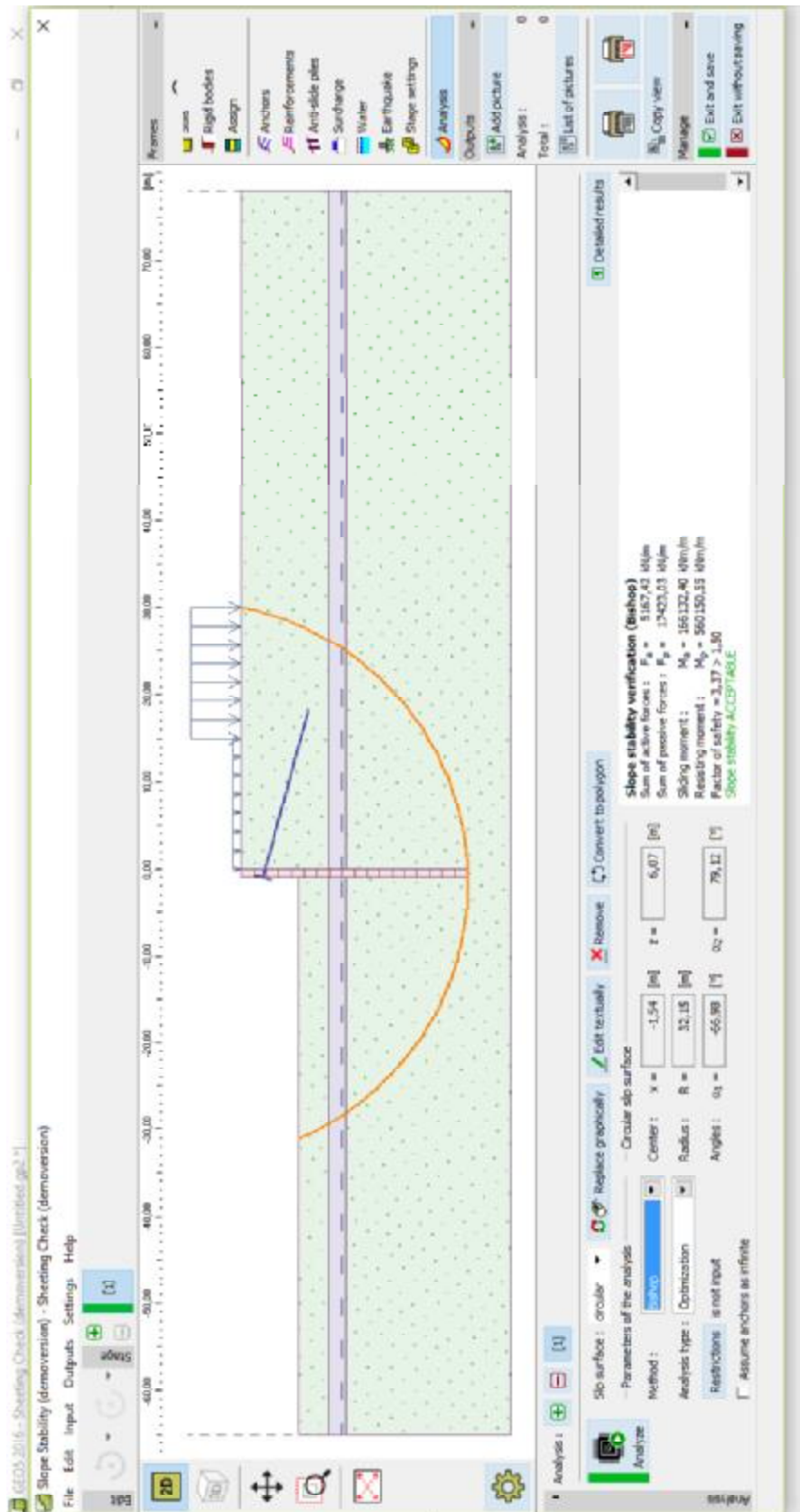


Σχήμα 35: Κατανομή των παραμορφώσεων και των πιέσεων στην κατασκευή. Ανάλυση χωρίς την παρουσία της δεύτερης σειράς αγκυρίων (6.5m).

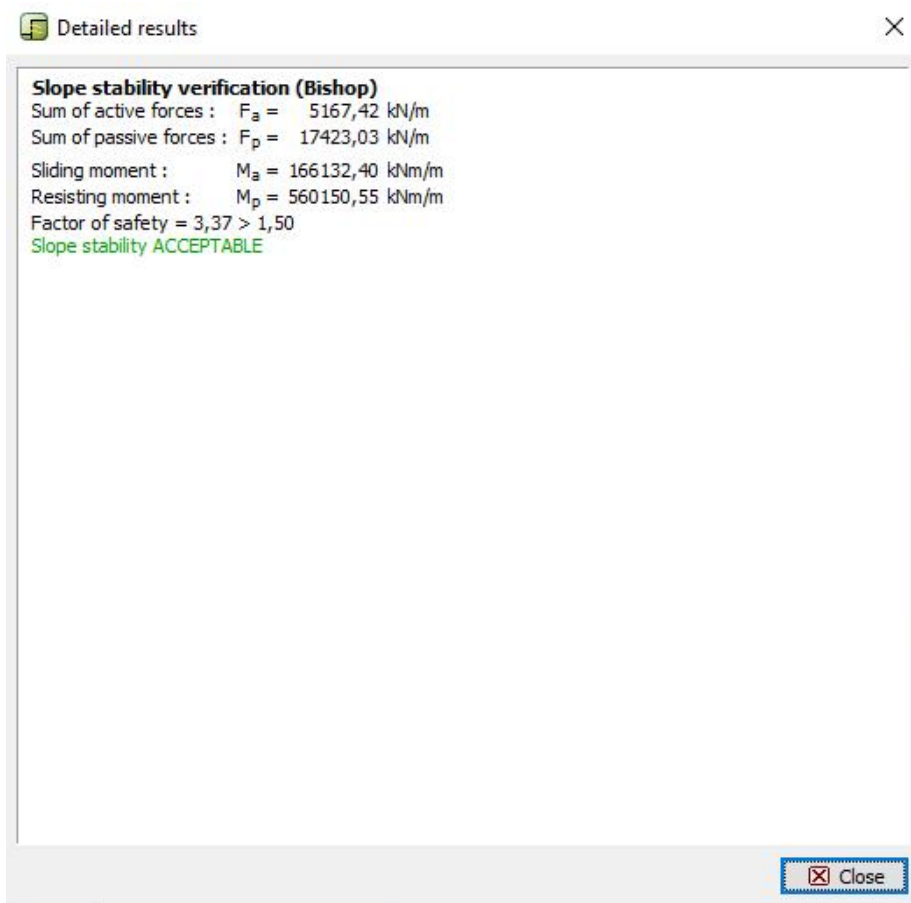


**Σχήμα 36:** Ανάλυση της εσωτερικής ισορροπίας (internal stability) του συστήματος των αγκυρών. Ανάλυση χωρίς την παρουσία της δεύτερης σειράς αγκυρών (6.5m).



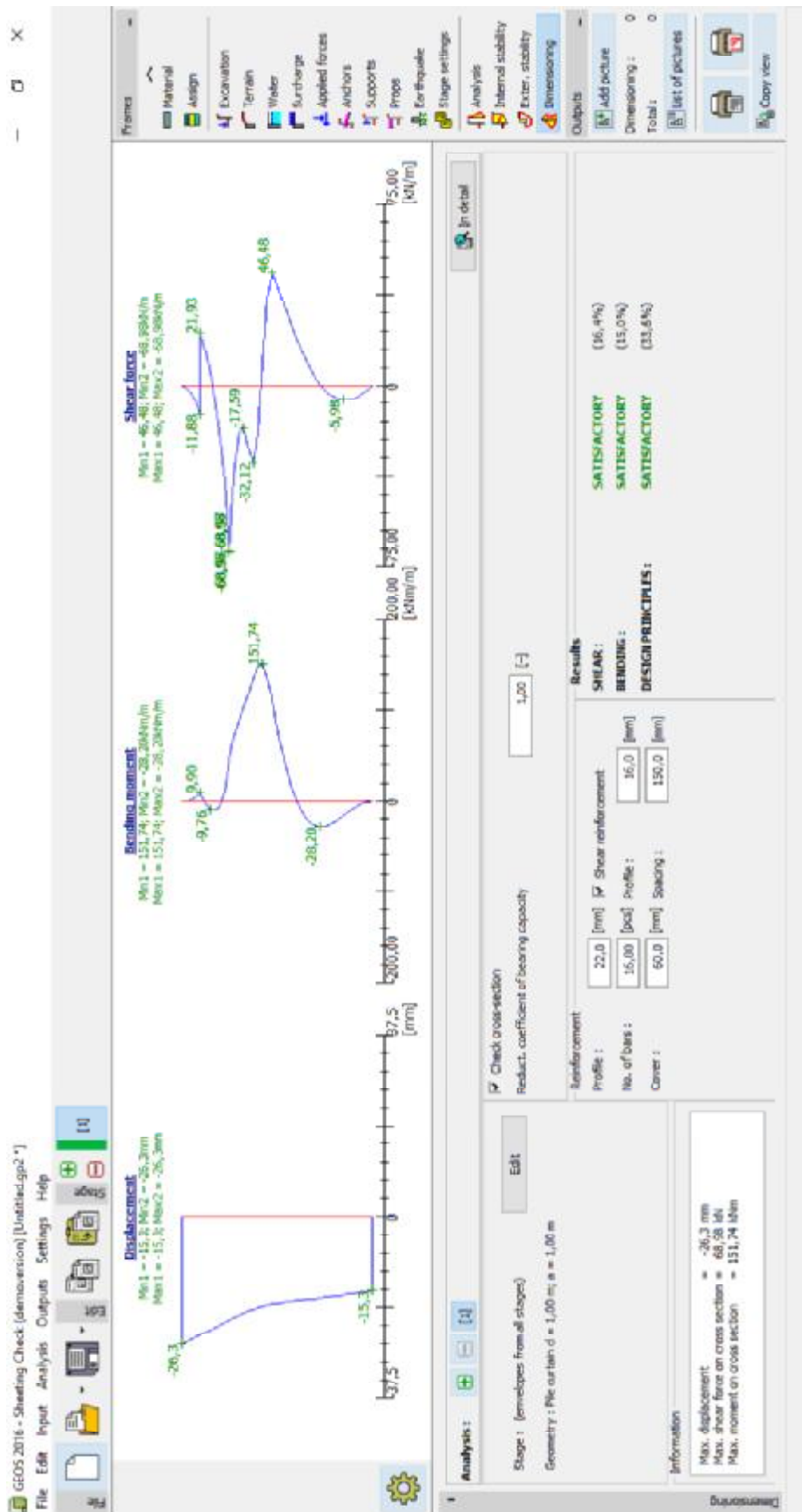


Σχήμα 37: Ανάλυση της συνολικής ισορροπίας της κατασκευής με το πρόγραμμα ισορροπίας πρανούς (slope stability). Ανάλυση χωρίς την παρουσία της δεύτερης σειράς αγκυρίων (6.5m).

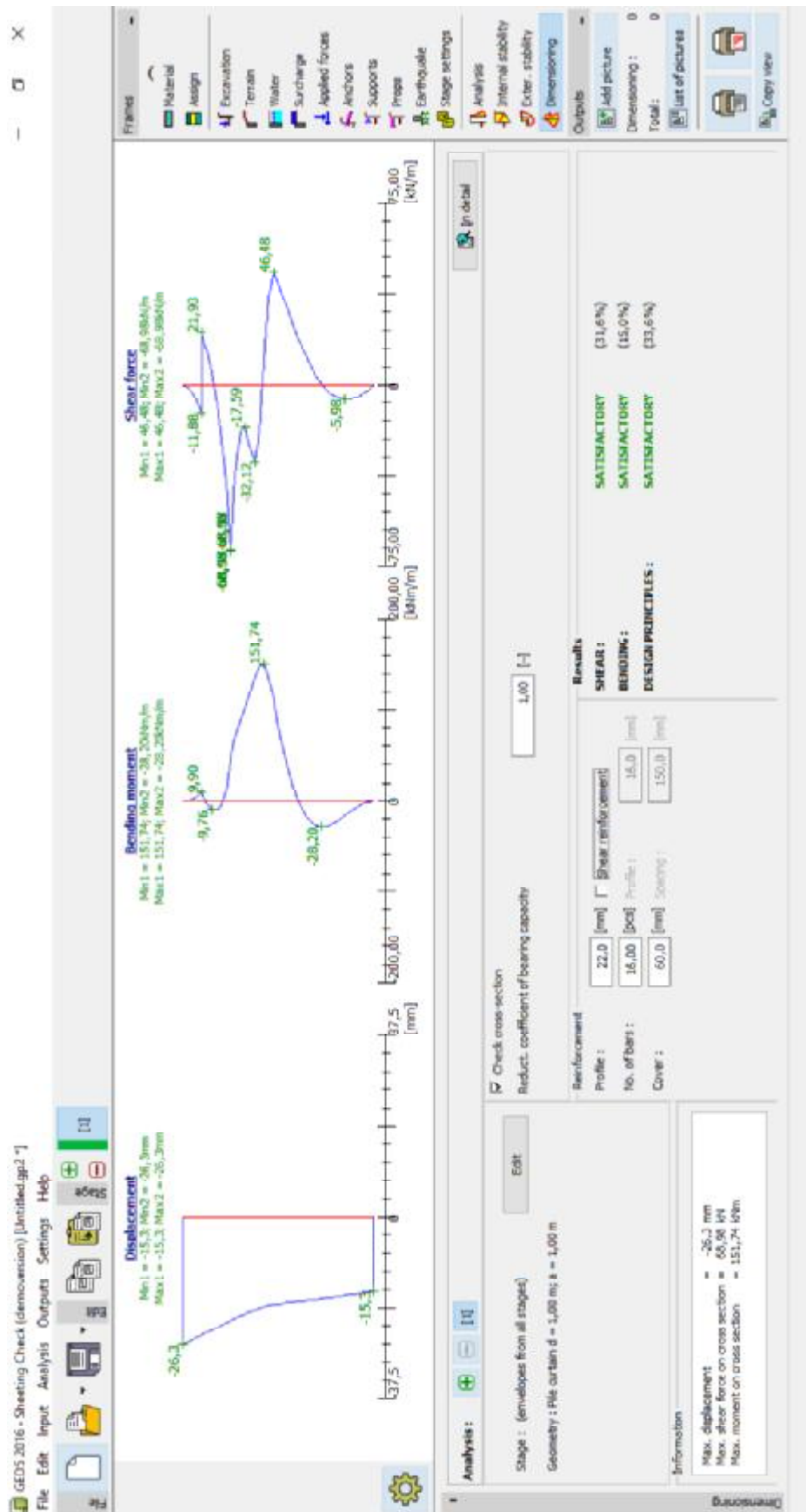


**Σχήμα 38:** Αναλυτικά αποτελέσματα ανάλυσης της συνολικής ισορροπίας της κατασκευής με το πρόγραμμα ισορροπίας πρανούς (slope stability). Ανάλυση χωρίς την παρουσία της δεύτερης σειράς αγκυρίων (6.5m).



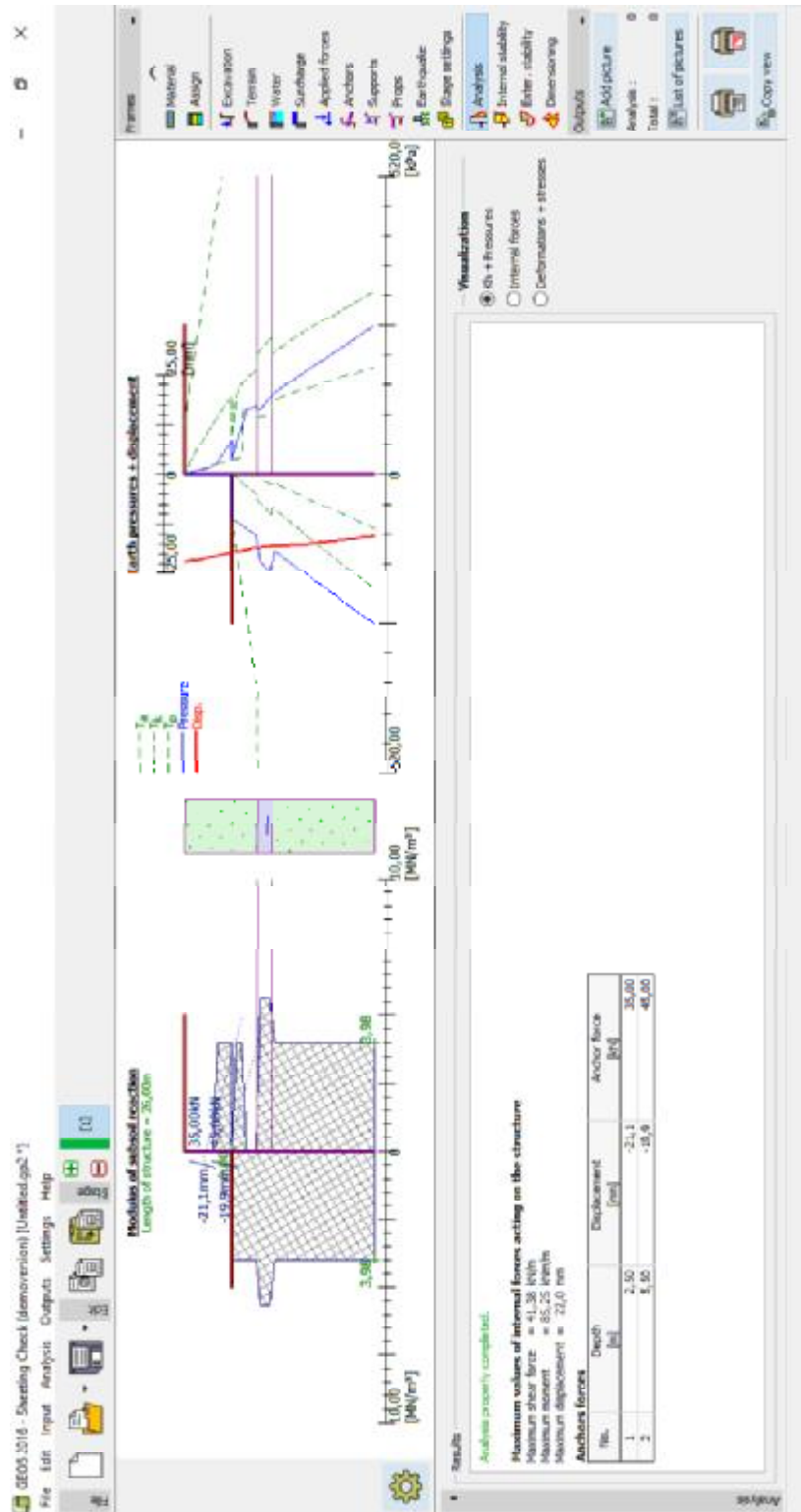


Σχήμα 39: Αποτελέσματα ροπών κάμψης και τεμνουσών δυνάμεων. Έλεγχος σε κάμψη και διάτμηση λαμβάνοντας υπόψιν το θλιπτικό οπλισμό. Ανάλυση χωρίς την παρουσία της δεύτερης σειράς αγκυρίων (6.5m).

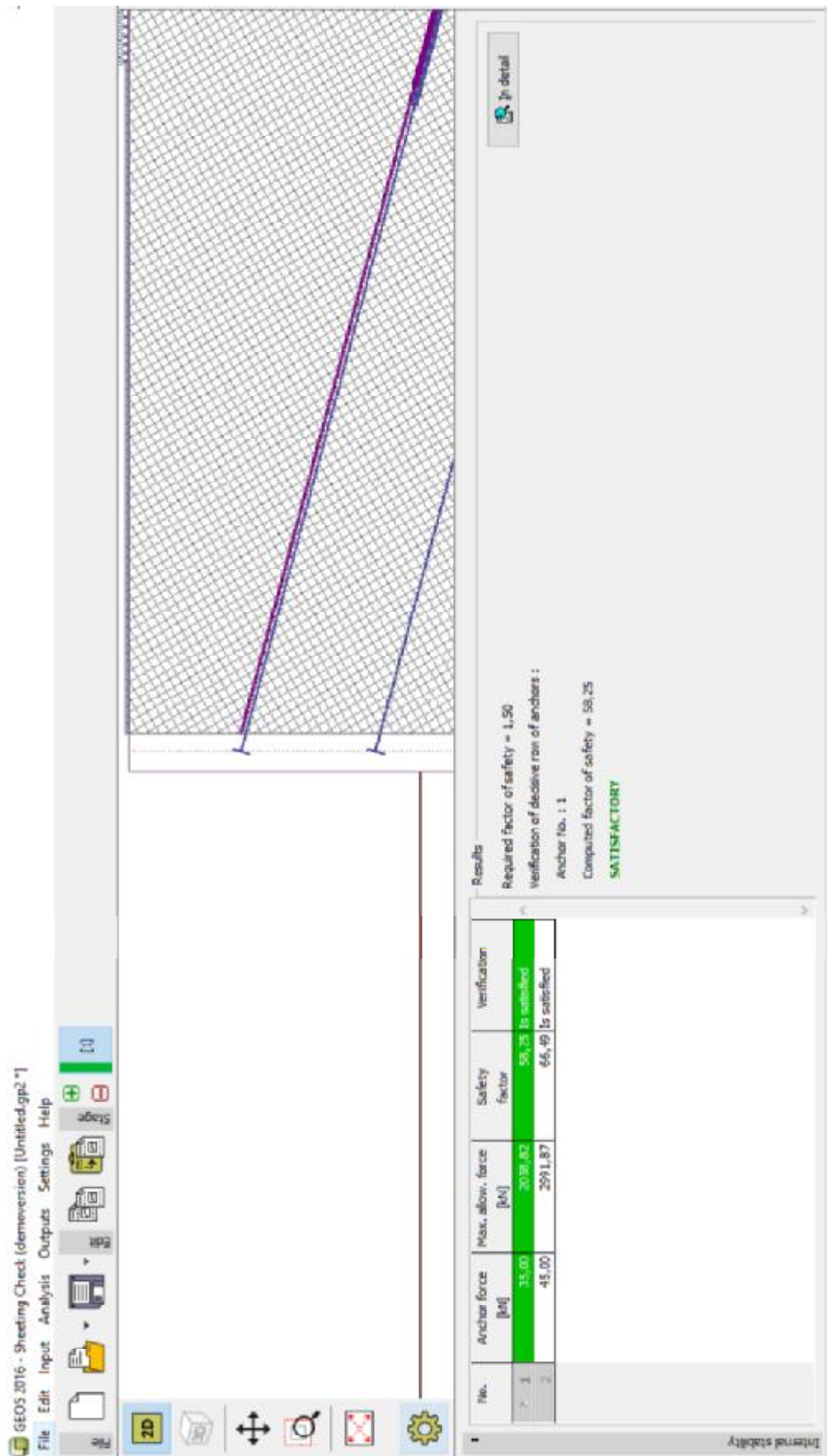


Σχήμα 40: Αποτελέσματα ροπών κάμψης και τεμνοσών δυνάμεων. Έλεγχος σε κάμψη και διάτμηση μη λαμβάνοντας υπόψιν το θλιπτικό σπλισμό. Ανάλυση χωρίς την παρουσία της δεύτερης σειράς αγκυρίων (6.5m).

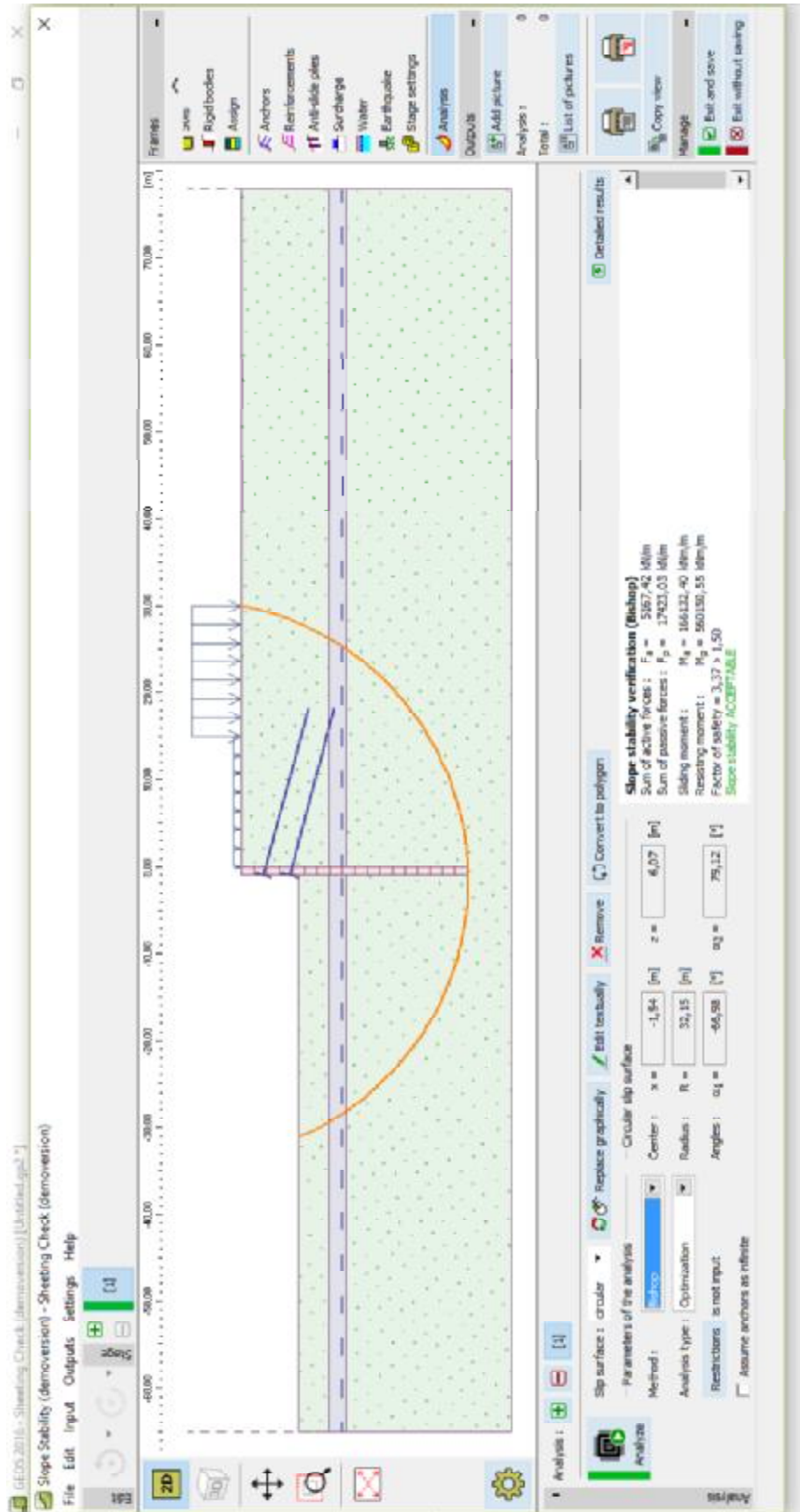
Στη συνέχεια εισάγεται στο πρόγραμμα η δεύτερη σειρά αγκυριών σε βάθος 5.5m. Μετά ακολουθεί η ίδια διαδικασία ανάλυσης με πριν. Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για ανάλυση μετά από εισαγωγή της δεύτερης σειράς αγκυριών.



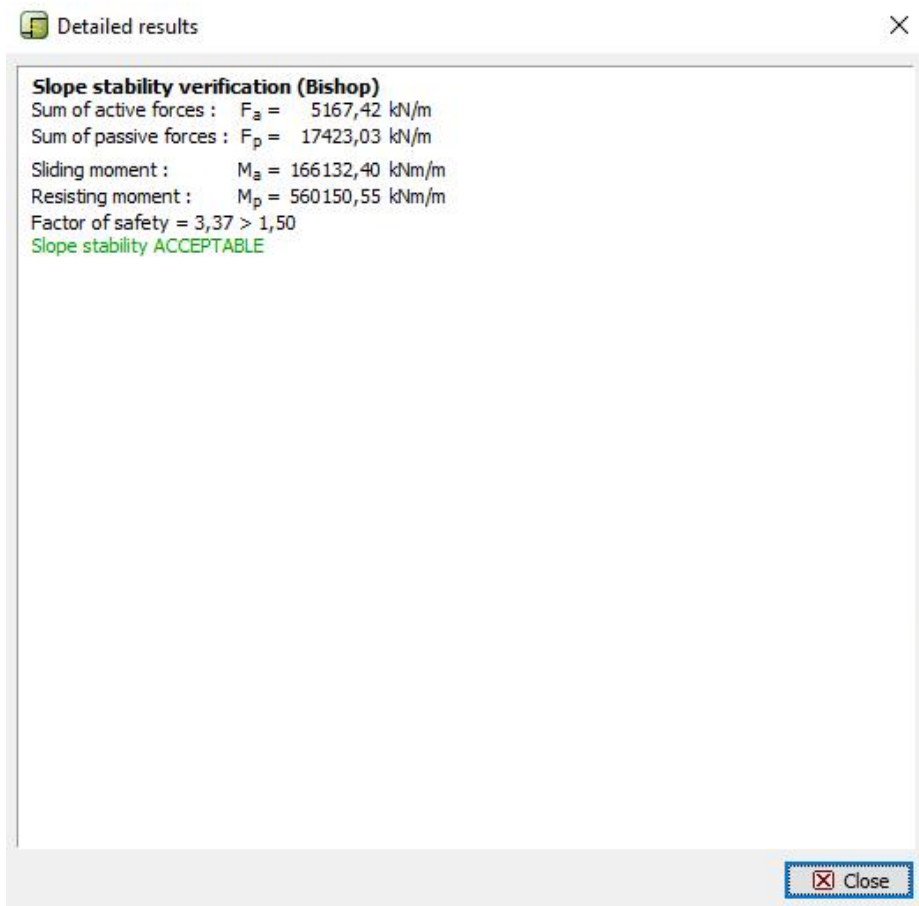
Σχήμα 41: Κατανομή των παραμορφώσεων και των πιέσεων στην κατασκευή. Ανάλυση με παρουσία της δεύτερης σειράς αγκυριών (6.5m).



Σχήμα 42: Ανάλυση της εσωτερικής ισορροπίας (internal stability) του συστήματος των αγκυρίων. Ανάλυση με παρουσία της δεύτερης σειράς αγκυρίων (6.5m).

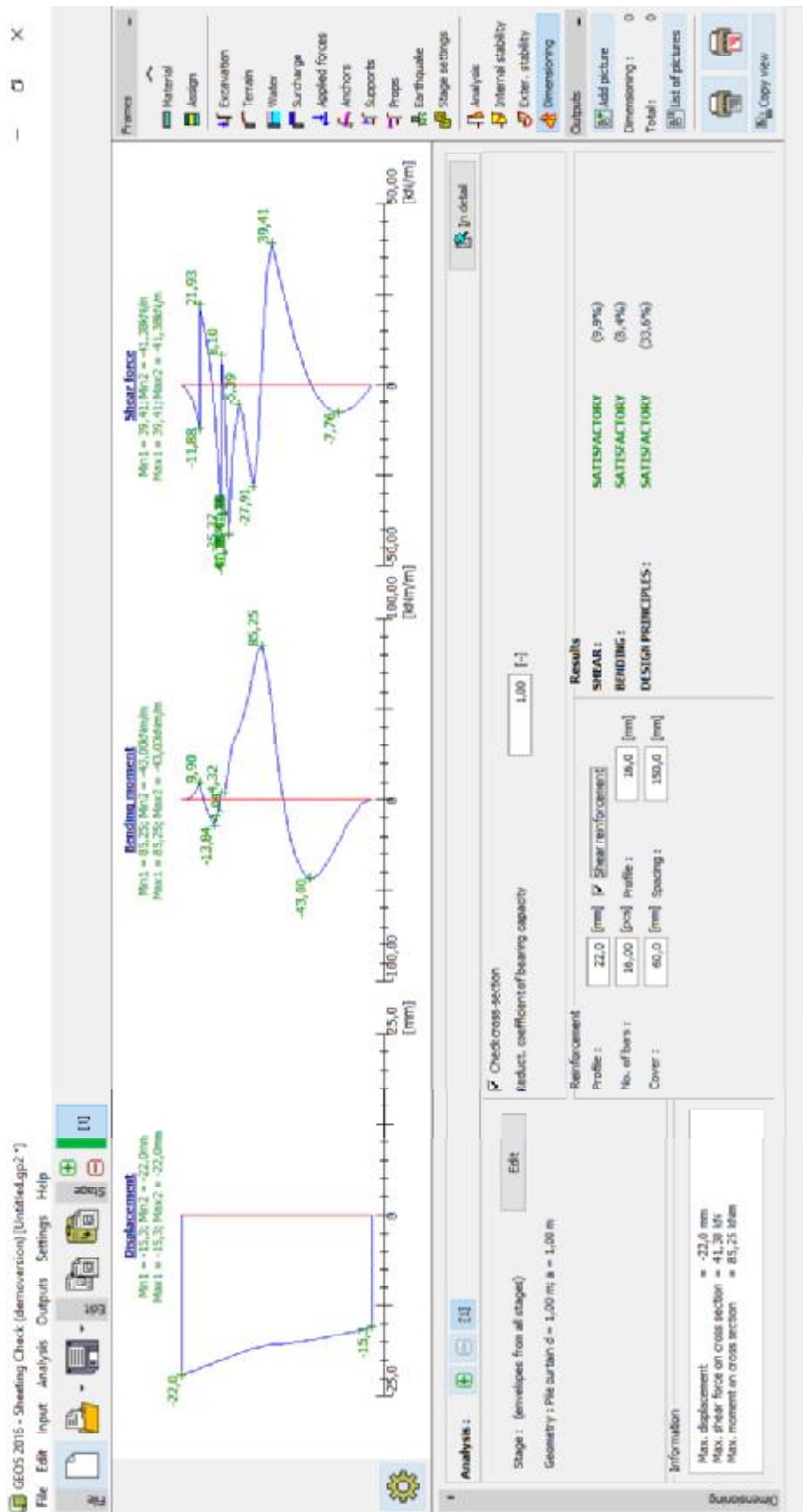


Σχήμα 43: Ανάλυση της συνολικής ισορροπίας της κατασκευής με το πρόγραμμα ισορροπίας πρανούς (slope stability). Ανάλυση με παρουσία της δεύτερης σειράς αγκυριών (6.5m).



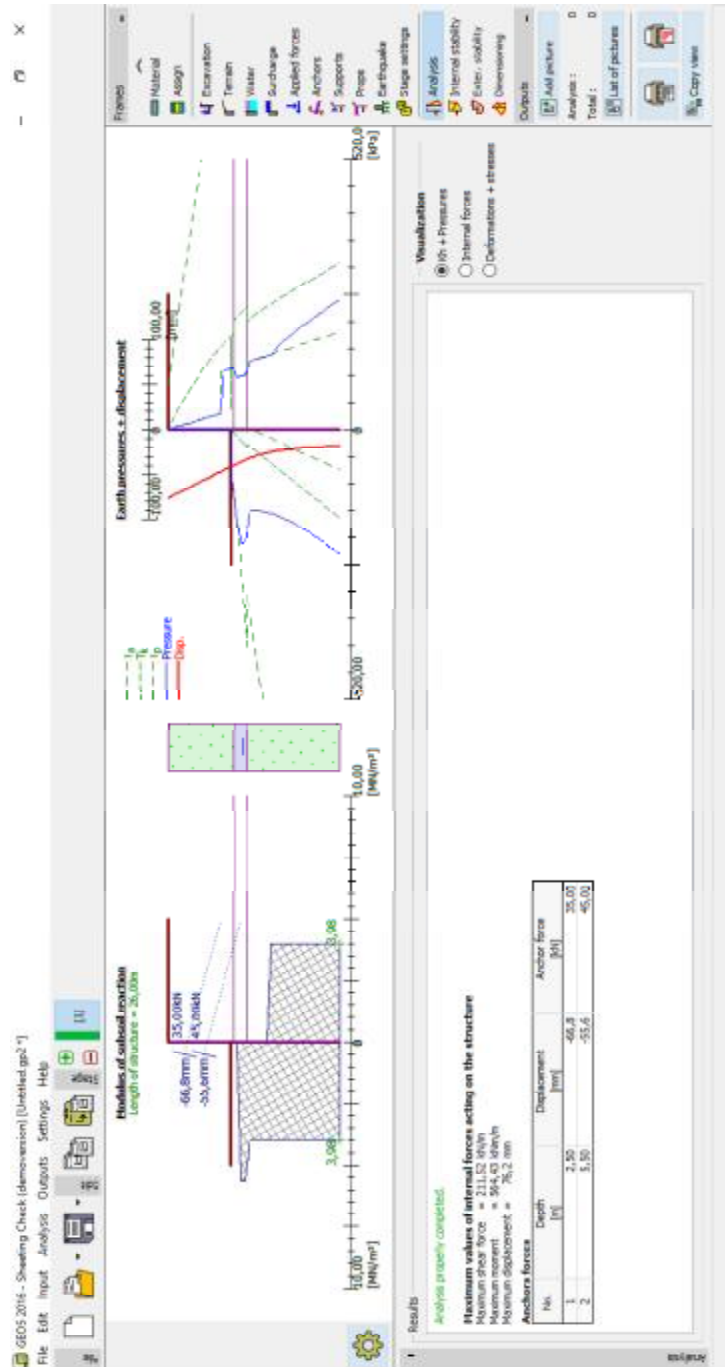
**Σχήμα 44:** Αναλυτικά αποτελέσματα ανάλυσης της συνολικής ισορροπίας της κατασκευής με το πρόγραμμα ισορροπίας πρανούς (*slope stability*). Ανάλυση με παρουσία της δεύτερης σειράς αγκυρίων (6.5m).





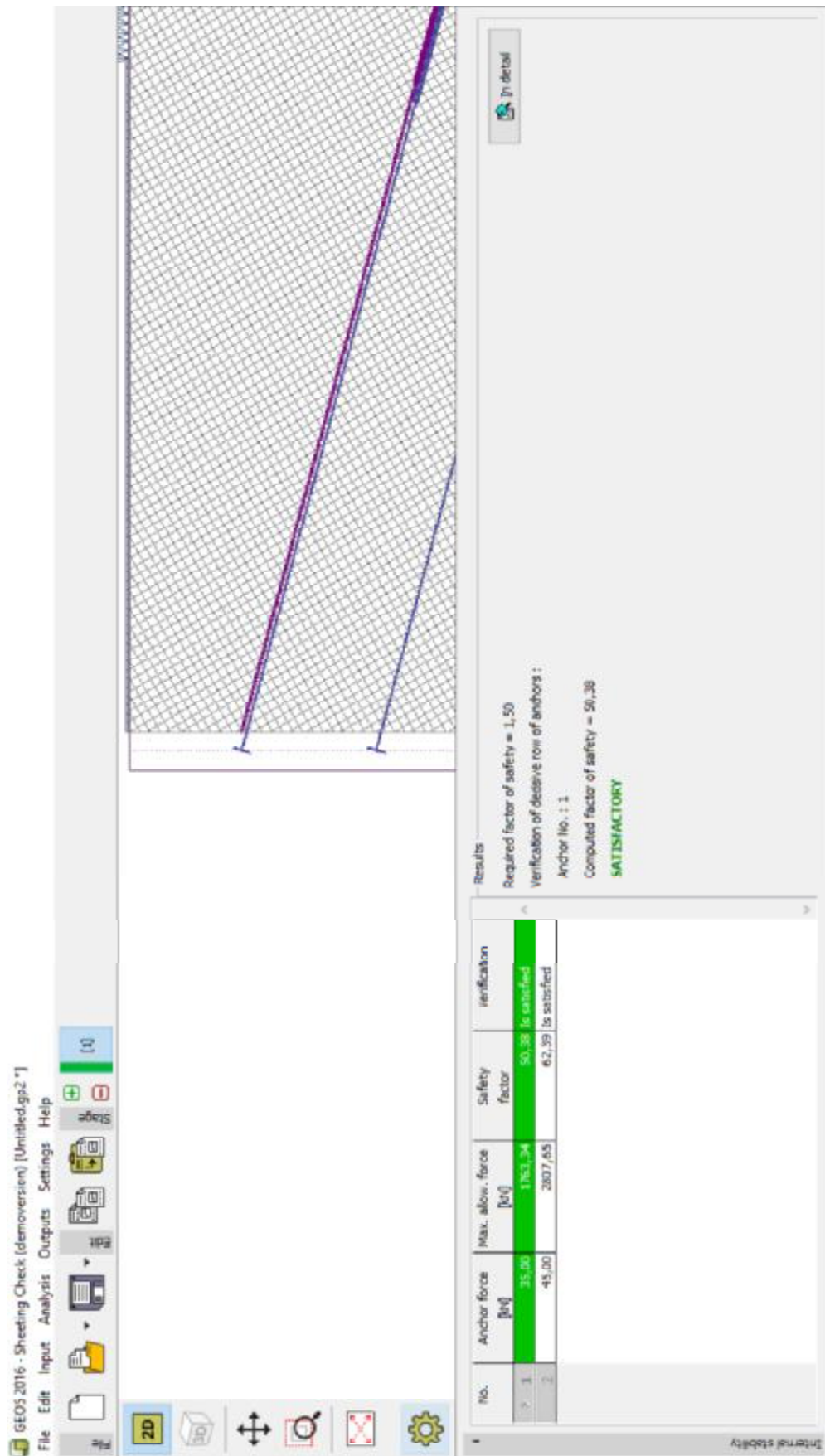
Σχήμα 45: Αποτελέσματα ροπών κάμψης και τεμνουσών δυνάμεων. Έλεγχος σε κάμψη και διάτμηση λαμβάνοντας υπόψιν το θλιπτικό σπλισμό. Ανάλυση με παρουσία της δεύτερης σειράς αγκυρίων (6.5m).

Μετά το πέρας της ανάλυσης και για το δεύτερο βάθος εκσκαφής, μπορεί να προστεθεί το επόμενο στάδιο κατασκευής. Στο στάδιο αυτό προστίθεται μία νέα εκσκαφή με το συνολικό βάθος της εκσκαφής να φτάνει τώρα πια τα 9.5 m. Στη συνέχεια ακολουθείται η ίδια διαδικασία ανάλυσης, τόσο πριν, όσο και μετά την εισαγωγή της νέας σειράς αγκυριών σε βάθος 8.5m. Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης μετά τη νέα εκσκαφή, πριν και μετά την εισαγωγή της τρίτης σειράς αγκυριών.

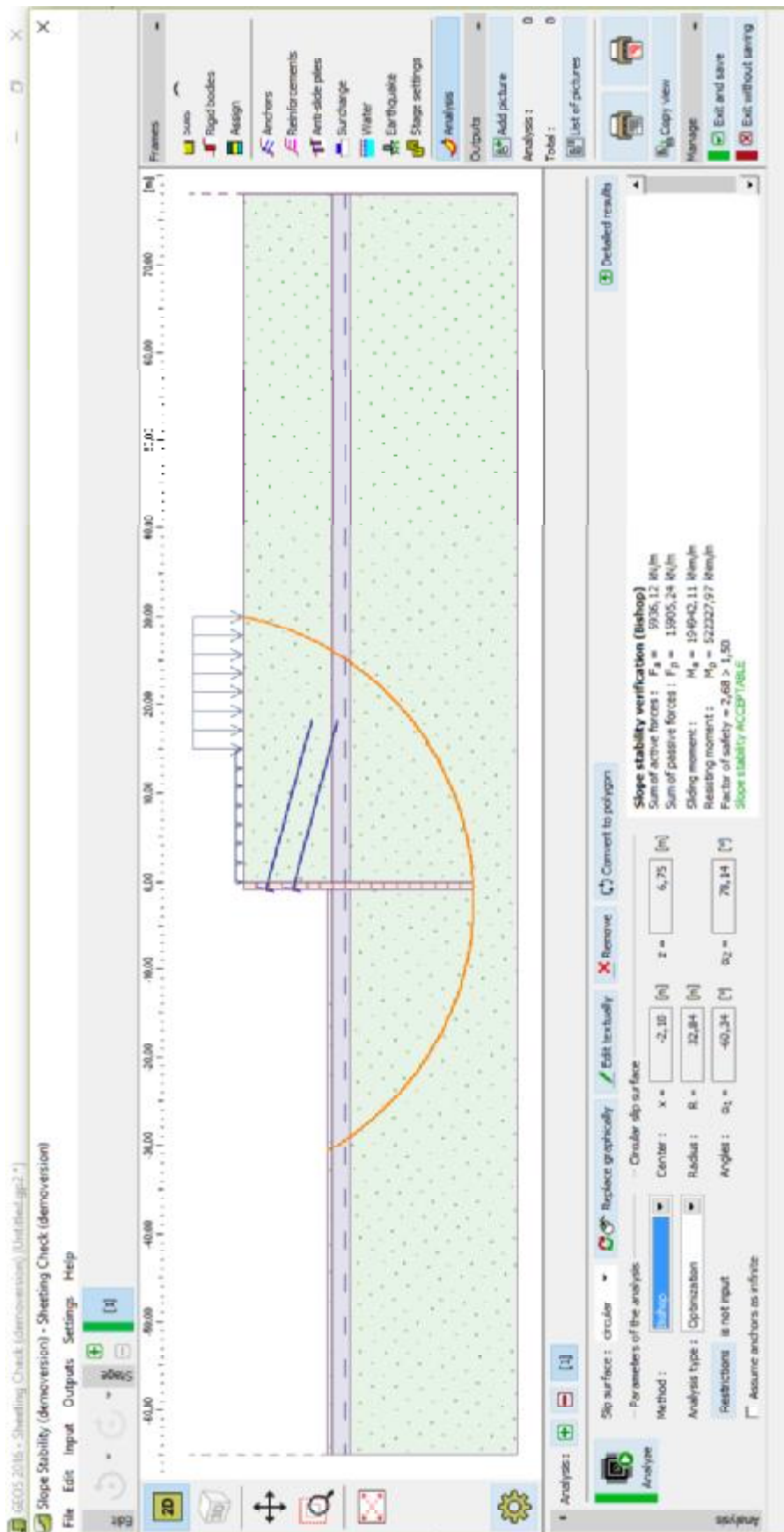


**Σχήμα 46:** Κατανομή των παραμορφώσεων και των πιέσεων στην κατασκευή. Ανάλυση χωρίς την παρουσία της τρίτης σειράς αγκυριών (9.5m).

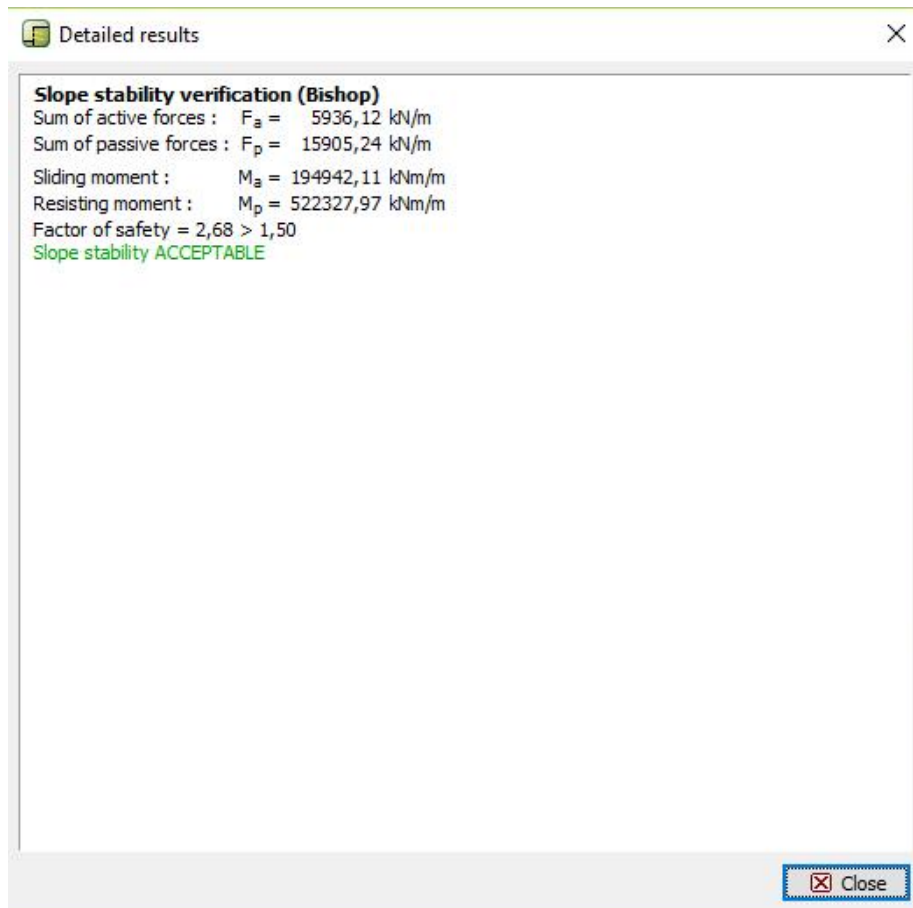




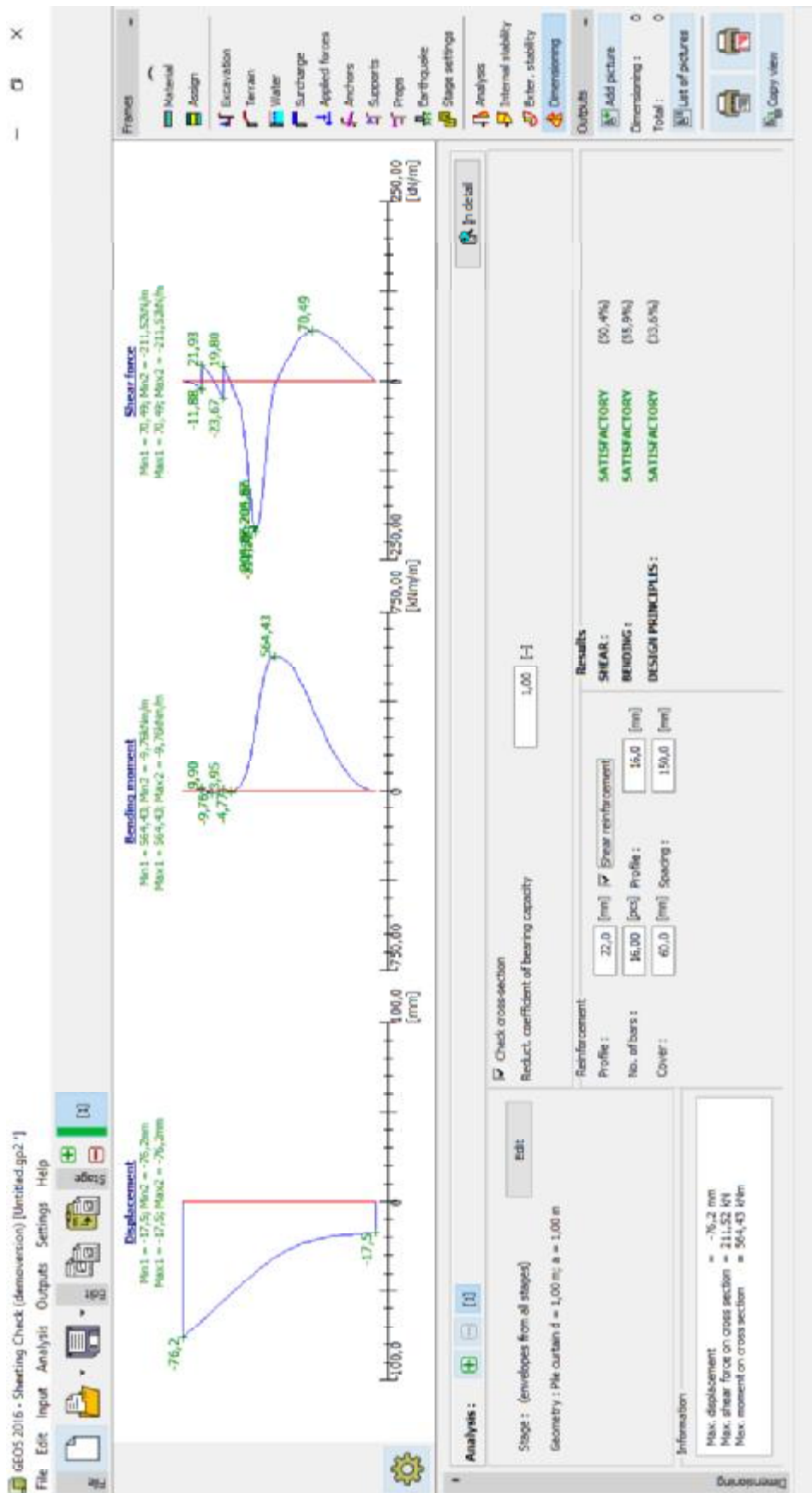
Σχήμα 47: Ανάλυση της εσωτερικής ισορροπίας (internal stability) του συστήματος των αγκυρίων. Ανάλυση χωρίς την παρουσία της τρίτης σειράς αγκυρίων (9.5m).



Σχήμα 48: Ανάλυση της συνολικής ισορροπίας της κατασκευής με το πρόγραμμα ισορροπίας πρανούς (slope stability). Ανάλυση χωρίς την παρουσία της τρίτης σειράς αγκυρών (9.5m).

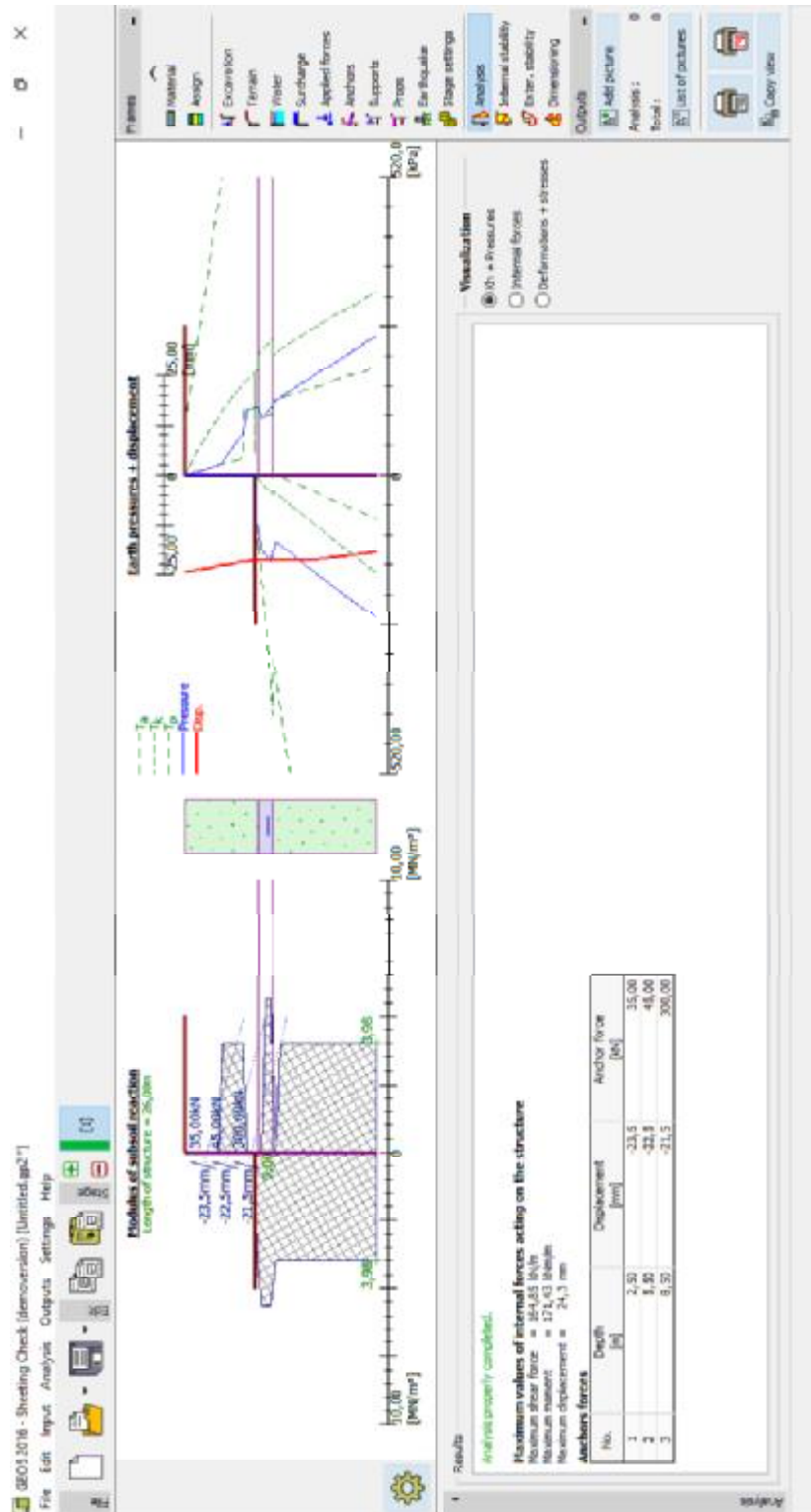


**Σχήμα 49:** Αναλυτικά αποτελέσματα ανάλυσης της συνολικής ισορροπίας της κατασκευής με το πρόγραμμα ισορροπίας πρανούς (slope stability). Ανάλυση χωρίς την παρουσία της τρίτης σειράς αγκυρίων (9.5m).

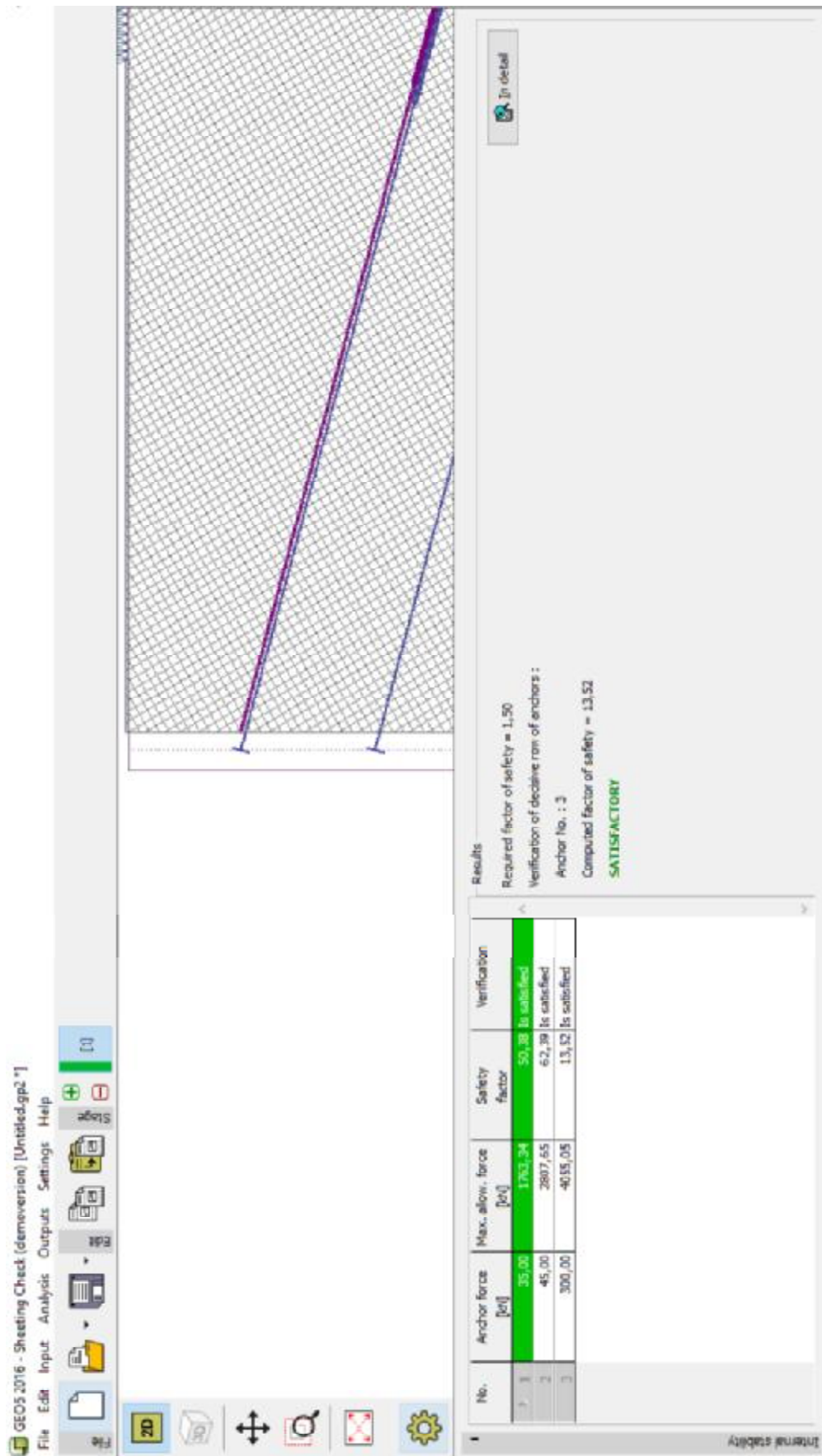


Σχήμα 50: Αποτελέσματα ροπών κάμψης και τεμνοσών δυνάμεων. Έλεγχος σε κάμψη και διάτμηση λαμβάνοντας υπόψιν το θλιπτικό σπλισμό. Ανάλυση χωρίς την παρουσία της τρίτης σειράς αγκυρίων (9.5m).

Στη συνέχεια εισάγεται στο πρόγραμμα η τρίτη σειρά αγκυρίων σε βάθος 8.5m. Μετά ακολουθεί η ίδια διαδικασία ανάλυσης με πριν. Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για ανάλυση μετά από εισαγωγή της τρίτης σειράς αγκυρίων.

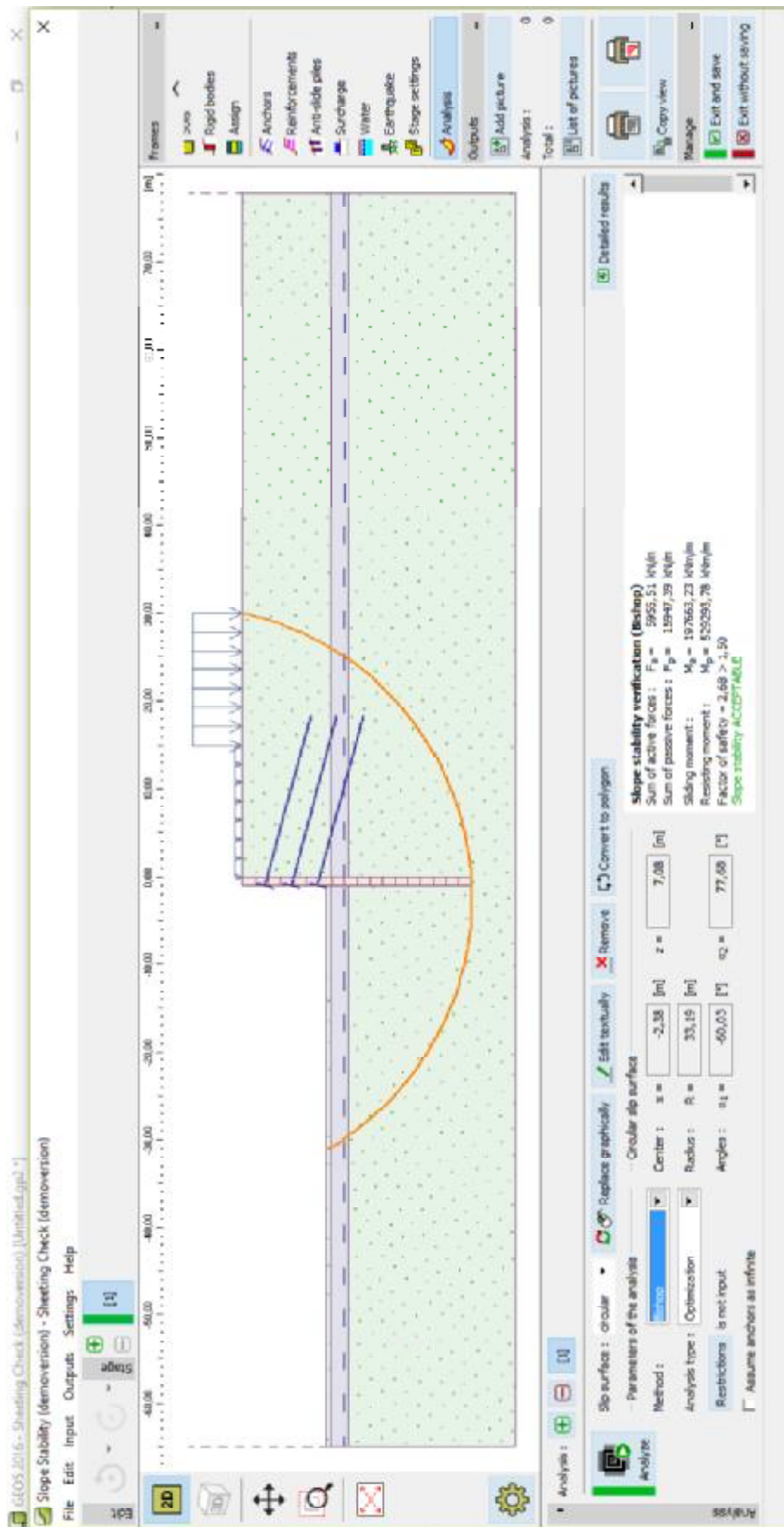


Σχήμα 51: Κατανομή των παραμορφώσεων και των πιέσεων στην κατασκευή. Ανάλυση με παρουσία της τρίτης σειράς αγκυρίων (9.5m).

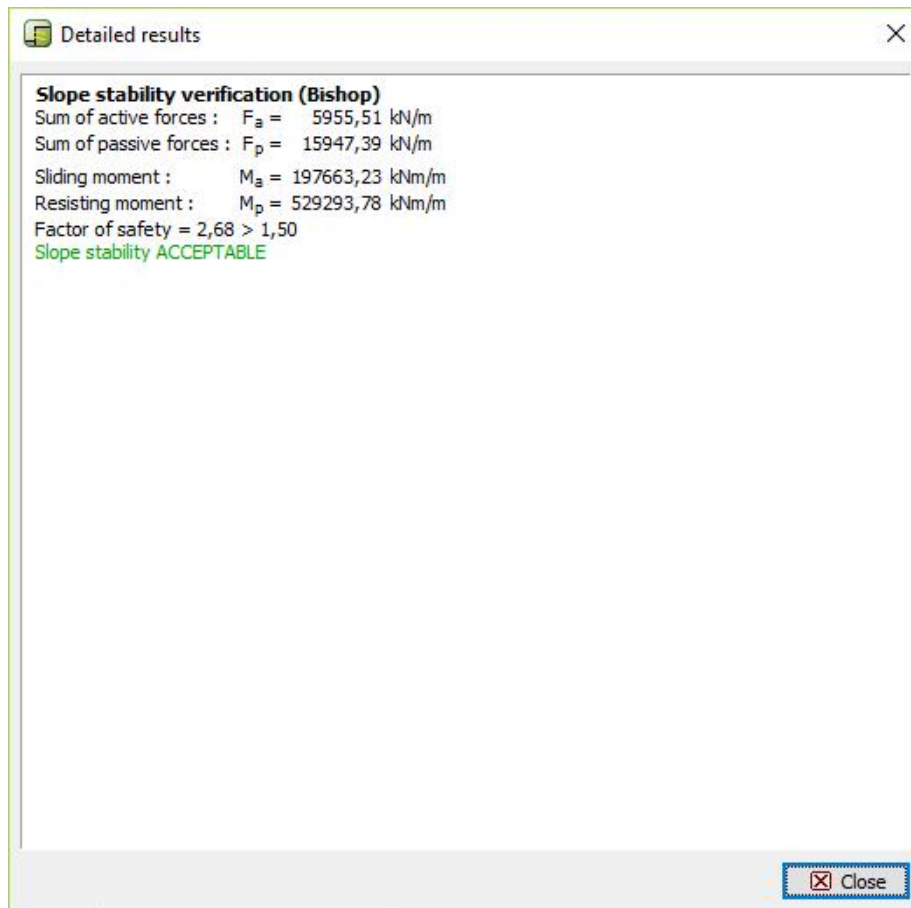


Σχήμα 52: Ανάλυση της εσωτερικής ισορροπίας (internal stability) του συστήματος των αγκυρίων. Ανάλυση με παρουσία της τρίτης σειράς αγκυρίων (9.5m).



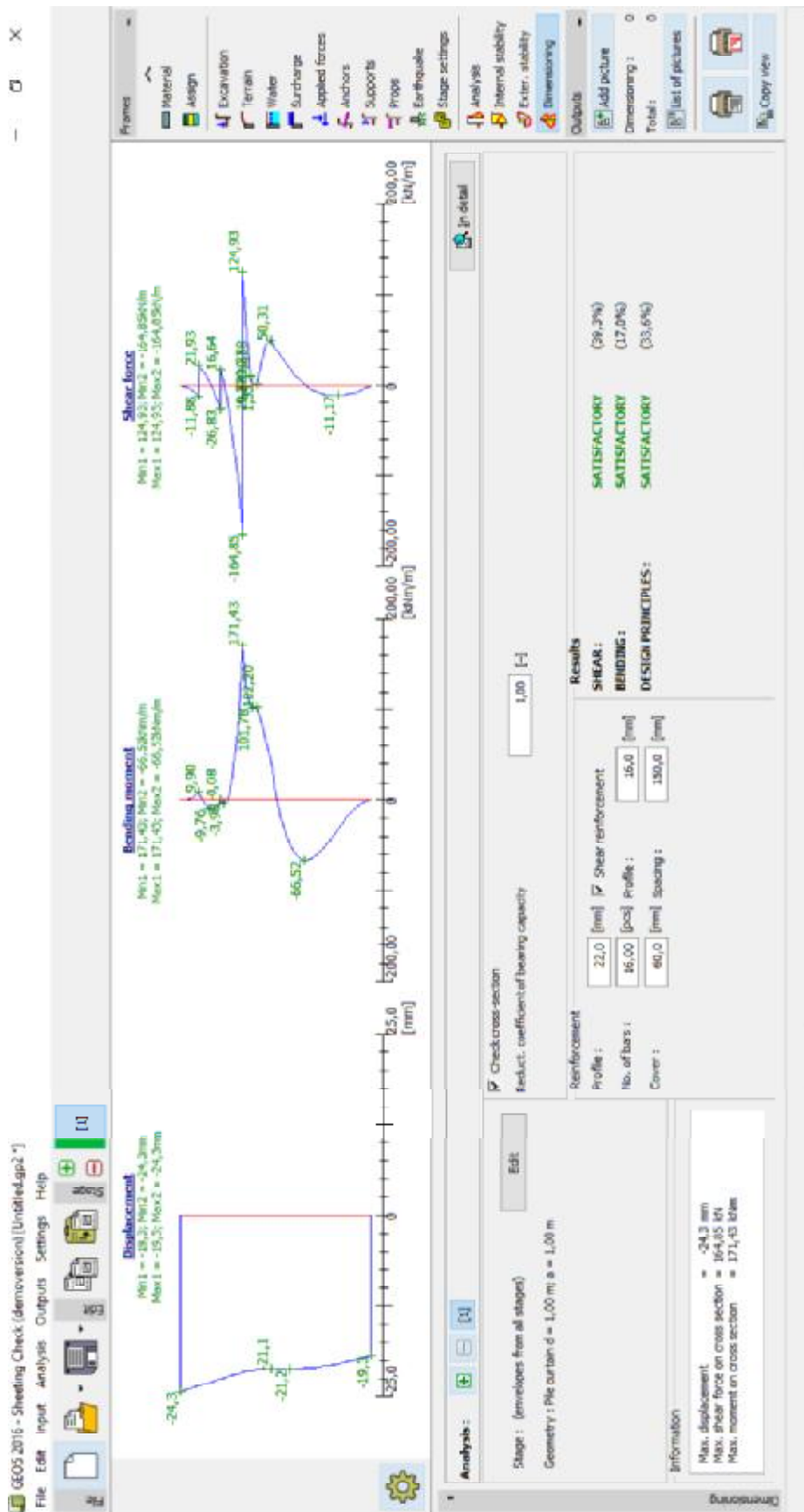


Σχήμα 53: Ανάλυση της συνολικής ισορροπίας της κατασκευής με το πρόγραμμα ισορροπίας πρανούς (slope stability). Ανάλυση με παρουσία της τρίτης σειράς αγκυριών (9.5m).



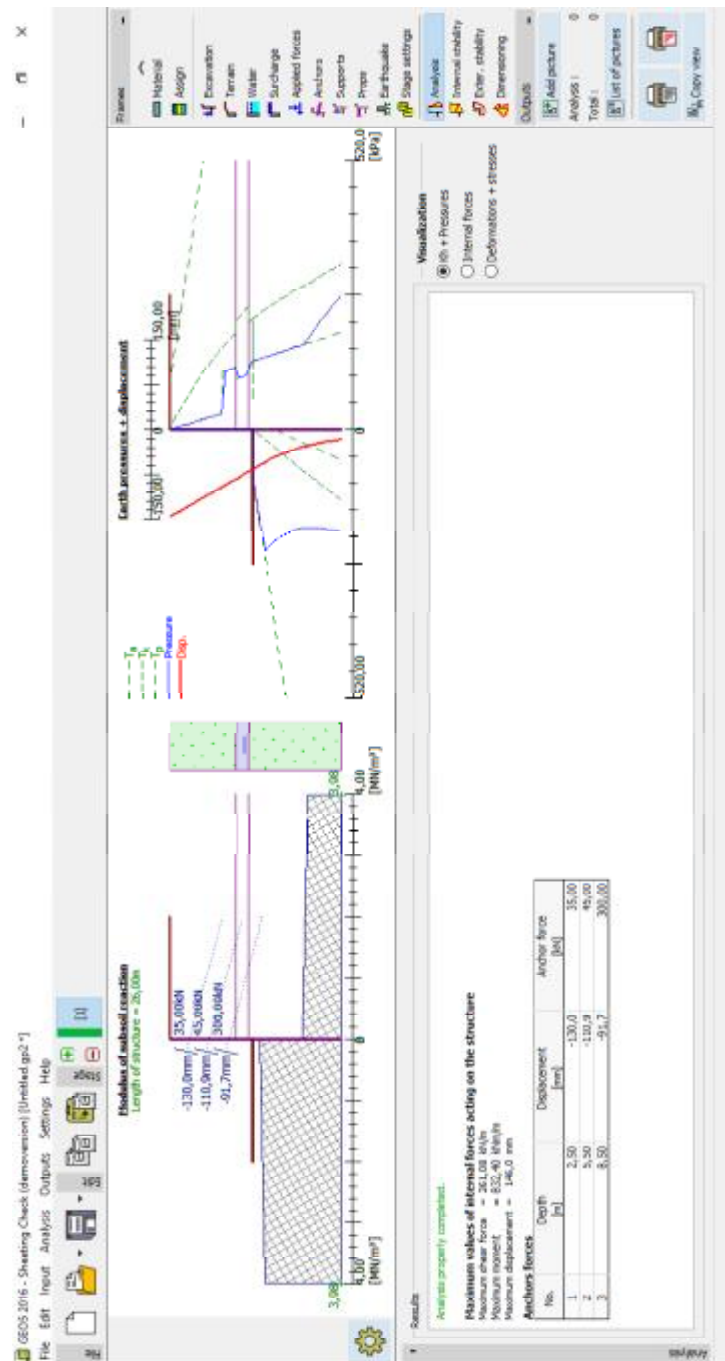
**Σχήμα 54:** Αναλυτικά αποτελέσματα ανάλυσης της συνολικής ισορροπίας της κατασκευής με το πρόγραμμα ισορροπίας πρανούς (slope stability). Ανάλυση με παρουσία της τρίτης σειράς αγκυρίων (9.5m).



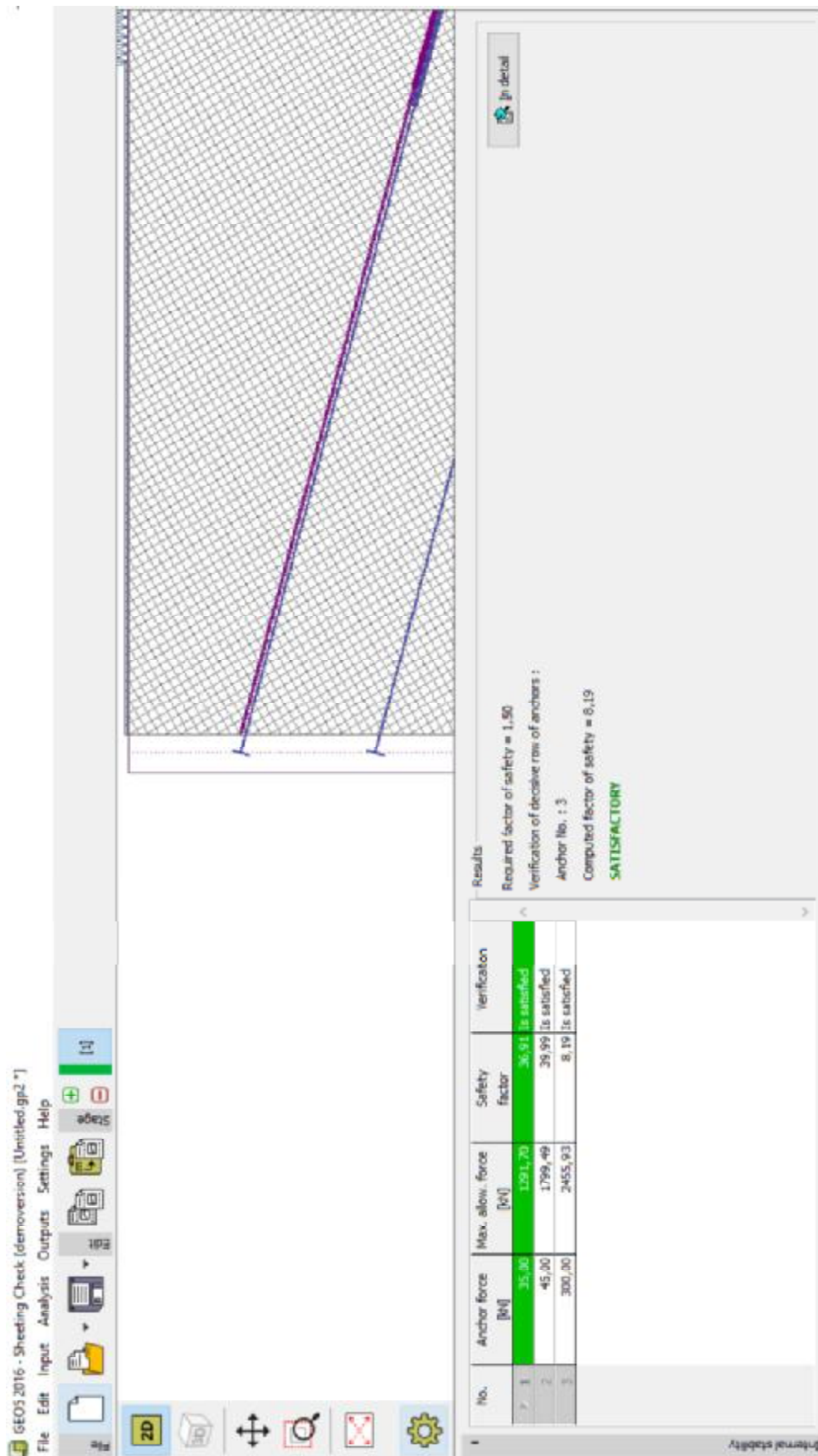


Σχήμα 55: Αποτελέσματα ροπών κάμψης και τεμνουσών δυνάμεων. Έλεγχος σε κάμψη και διάτμηση λαμβάνοντας υπόψιν το θλιπτικό σπλισμό. Ανάλυση με παρουσία της τρίτης σειράς αγκυρίων (9.5m).

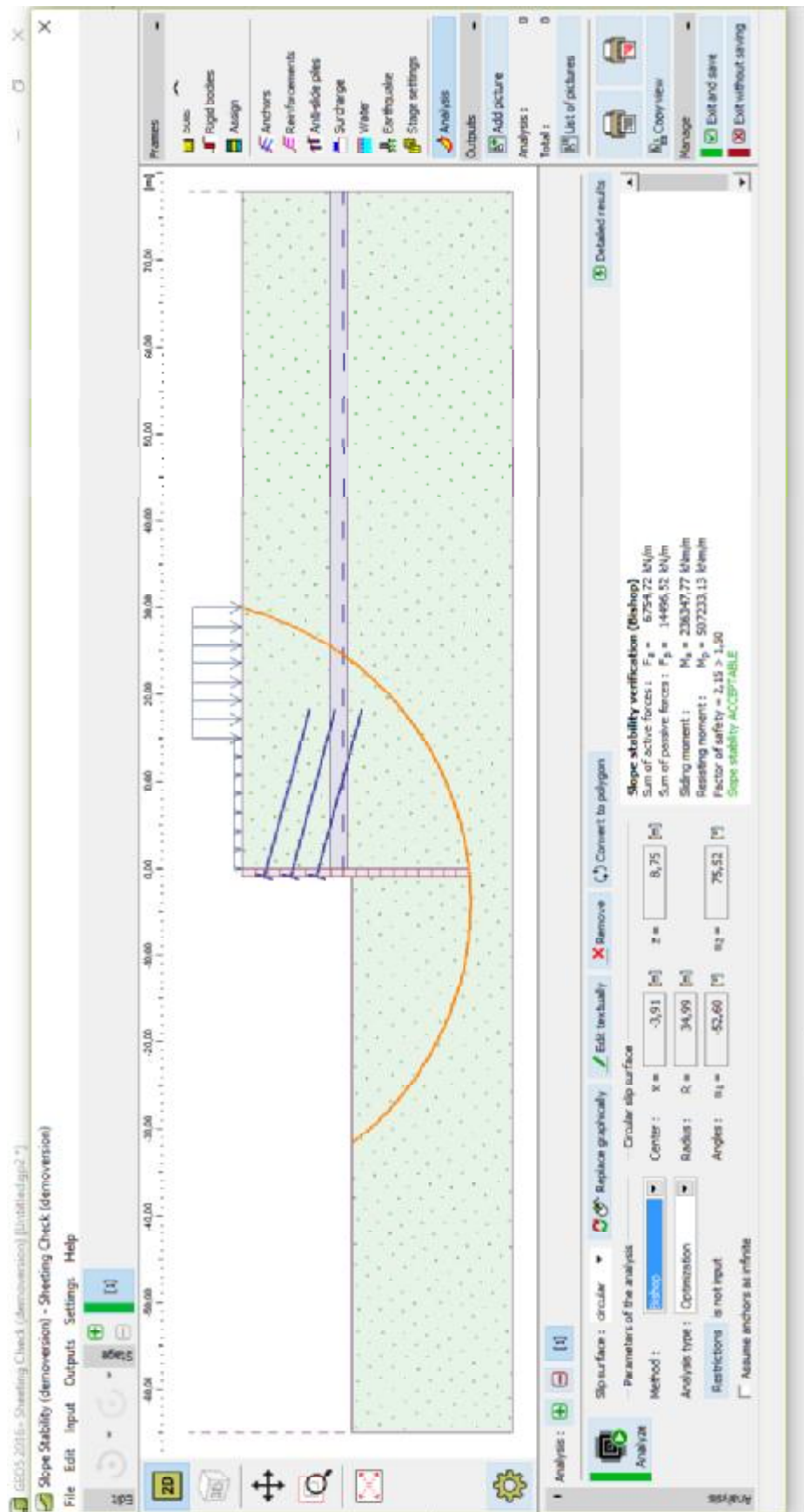
Μετά το πέρας της ανάλυσης και για το τρίτο βάθος εκσκαφής, μπορεί να προστεθεί το επόμενο στάδιο κατασκευής. Στο στάδιο αυτό προστίθεται μία νέα εκσκαφή με το συνολικό βάθος της εκσκαφής να φτάνει τώρα πια τα 12.5 m. Στη συνέχεια ακολουθείται η ίδια διαδικασία ανάλυσης, τόσο πριν, όσο και μετά την εισαγωγή της νέας σειράς αγκυριών σε βάθος 11.5m. Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης μετά τη νέα εκσκαφή, πριν και μετά την εισαγωγή της τέταρτης σειράς αγκυριών.



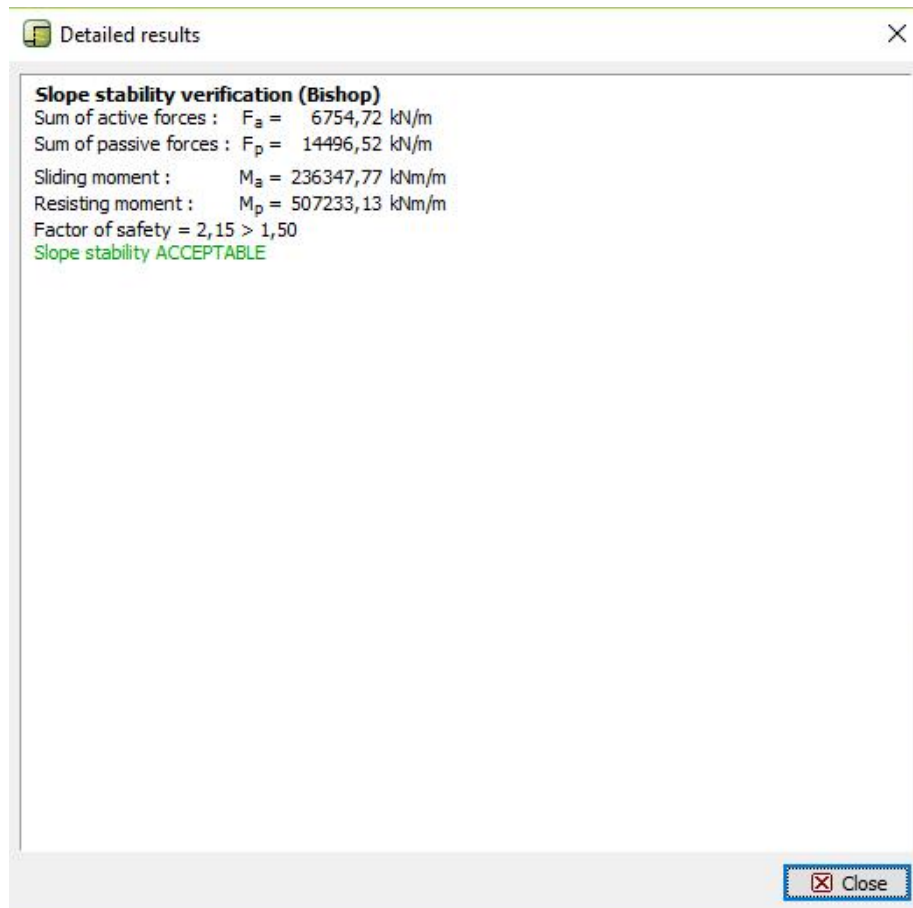
Σχήμα 56: Κατανομή των παραμορφώσεων και των πιέσεων στην κατασκευή. Ανάλυση χωρίς την παρουσία της τέταρτης σειράς αγκυριών (12.5m).



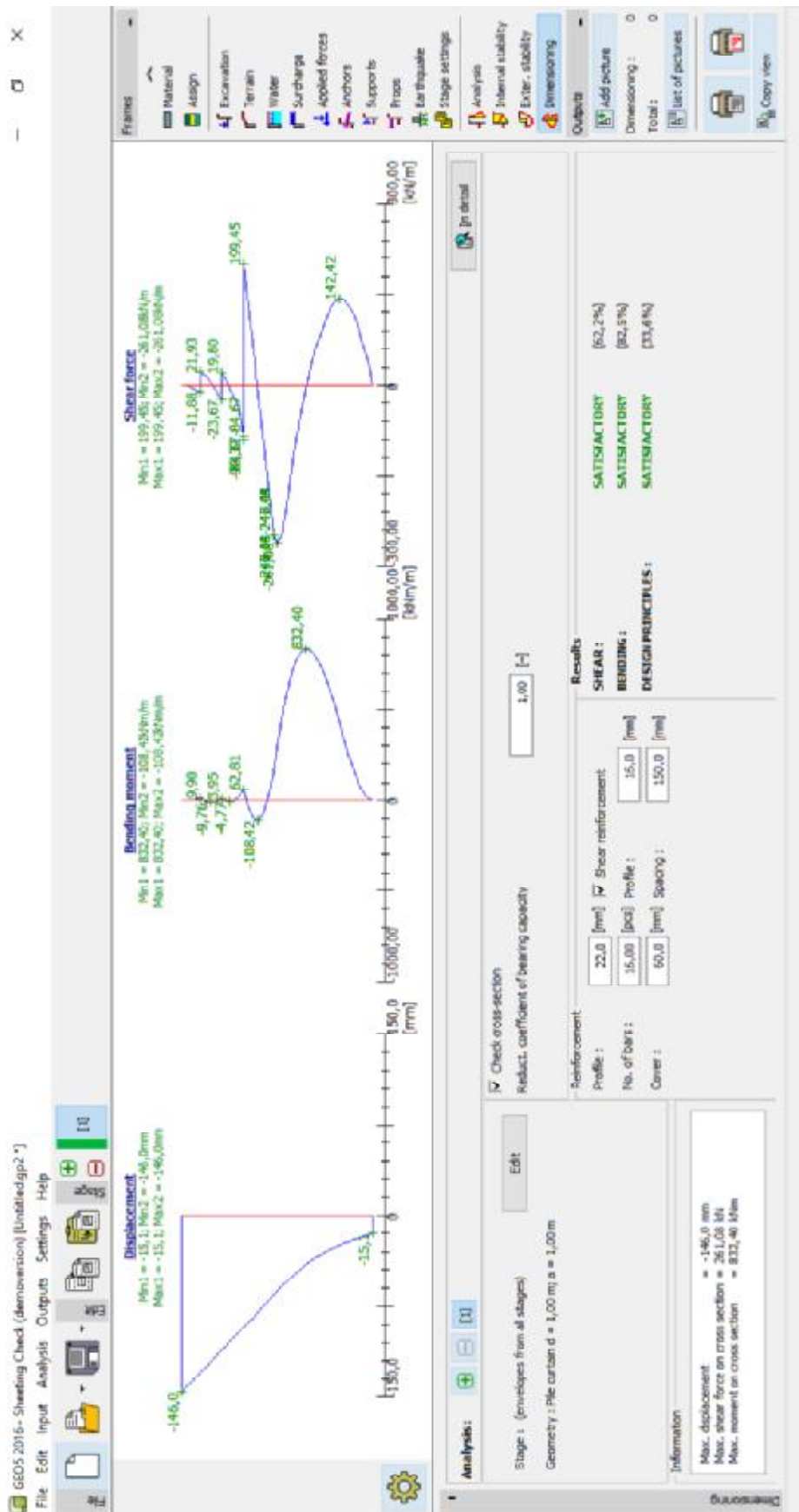
Σχήμα 57: Ανάλυση της εσωτερικής ισορροπίας (internal stability) του συστήματος των αγκυρίων. Ανάλυση χωρίς την παρουσία της τέταρτης σειράς αγκυρίων (12.5m).



Σχήμα 58: Ανάλυση της συνολικής ισορροπίας της κατασκευής με το πρόγραμμα ισορροπίας πρανούς (slope stability). Ανάλυση χωρίς την παρουσία της τέταρτης σειράς αγκυρών (12.5m).



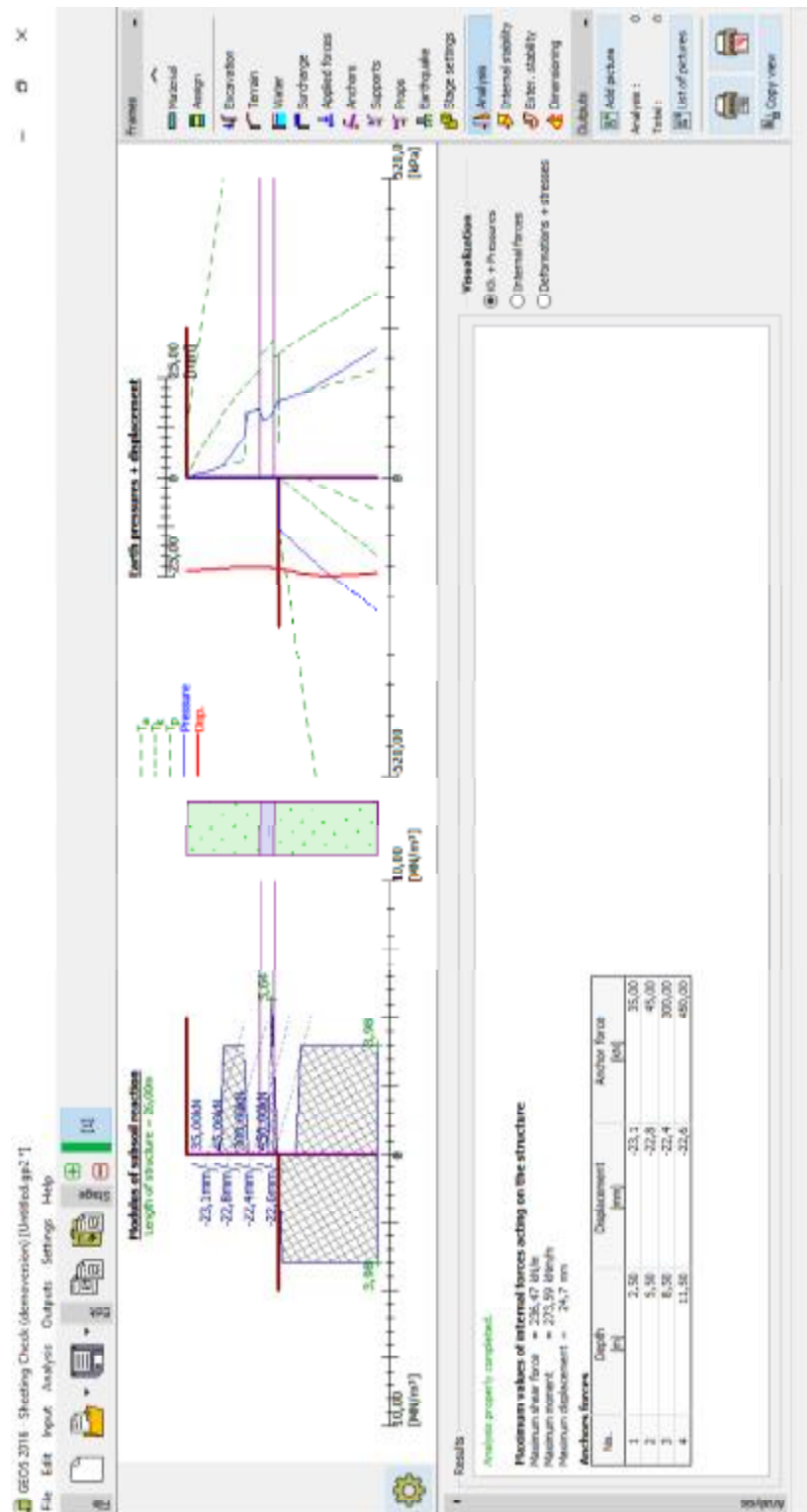
**Σχήμα 59:** Αναλυτικά αποτελέσματα ανάλυσης της συνολικής ισορροπίας της κατασκευής με το πρόγραμμα ισορροπίας πρανούς (slope stability). Ανάλυση χωρίς την παρουσία της τέταρτης σειράς αγκυρίων (12.5m).



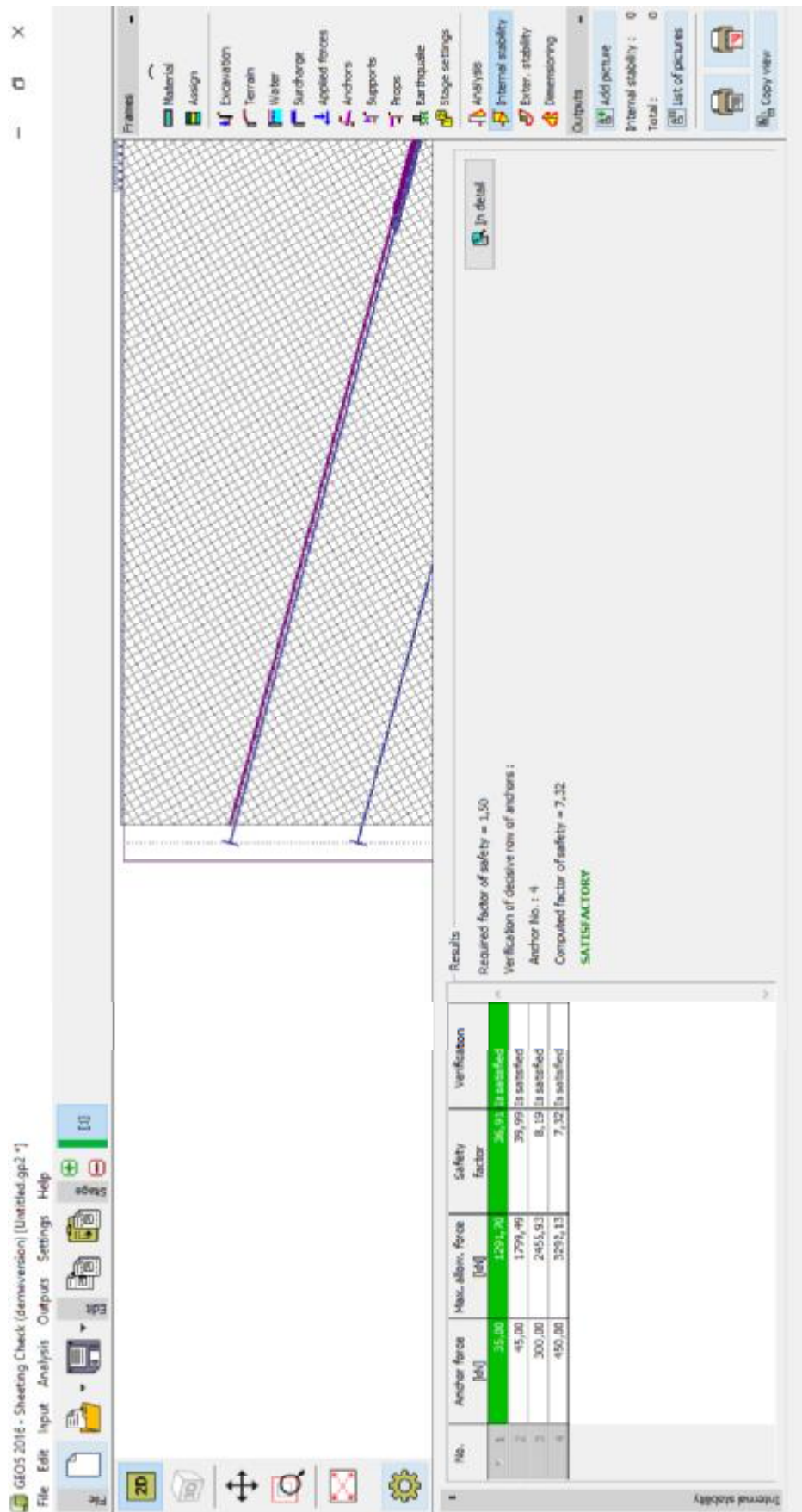
Σχήμα 60: Αποτελέσματα ροπών κάμψης και τεμνοσών δυνάμεων. Έλεγχος σε κάμψη και διάτμηση λαμβάνοντας υπόψιν το θλιπτικό οπλισμό. Ανάλυση χωρίς την παρουσία της τέταρτης σειράς αγκυρίων (12.5m).



Στη συνέχεια εισάγεται στο πρόγραμμα η τέταρτη σειρά αγκυριών σε βάθος 11.5m. Μετά ακολουθεί η ίδια διαδικασία ανάλυσης με πριν. Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για ανάλυση μετά από εισαγωγή της τέταρτης σειράς αγκυριών.

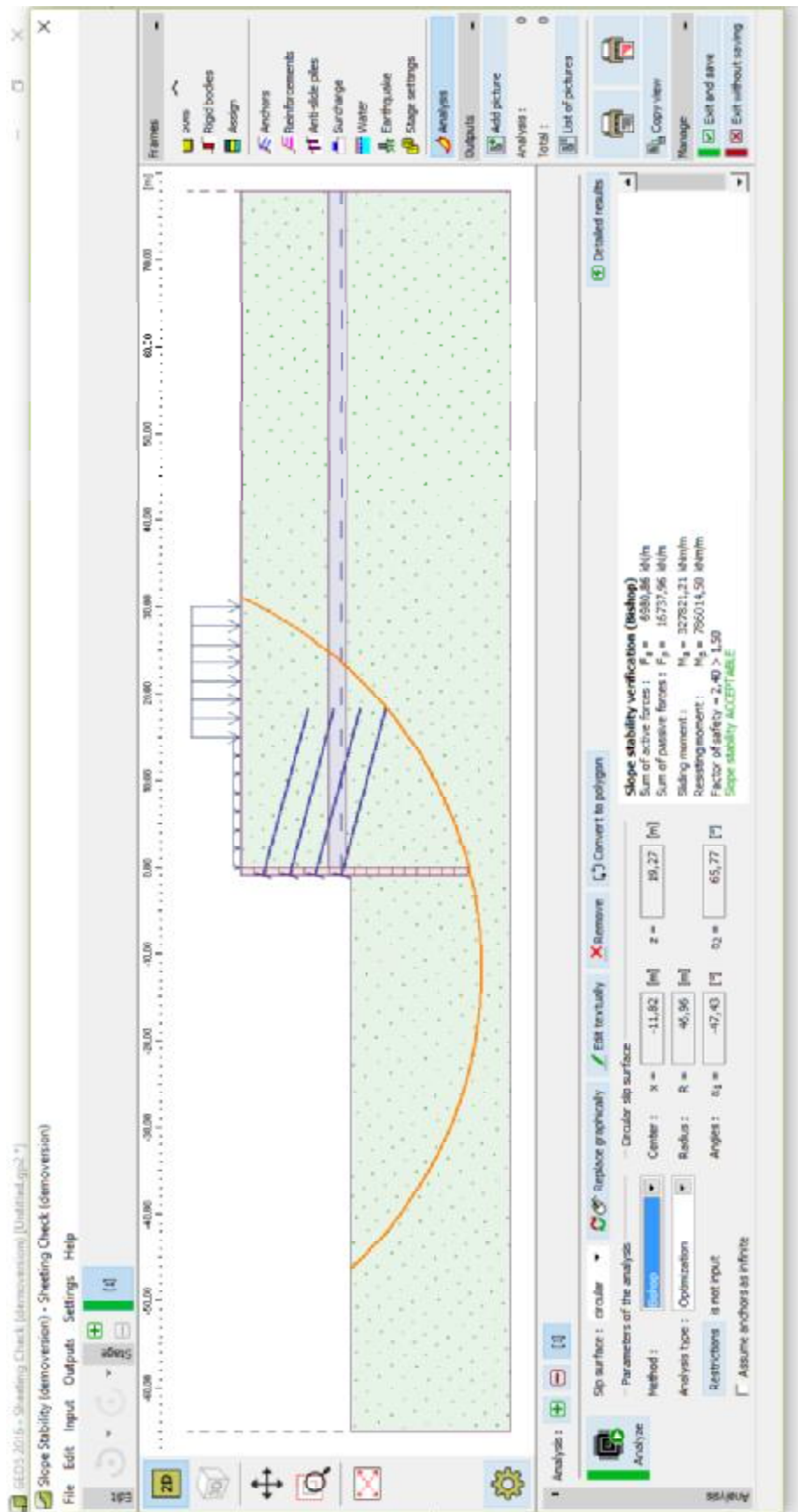


Σχήμα 61: Κατανομή των παραμορφώσεων και των πιέσεων στην κατασκευή. Ανάλυση με παρουσία της τέταρτης σειράς αγκυριών (12.5m).

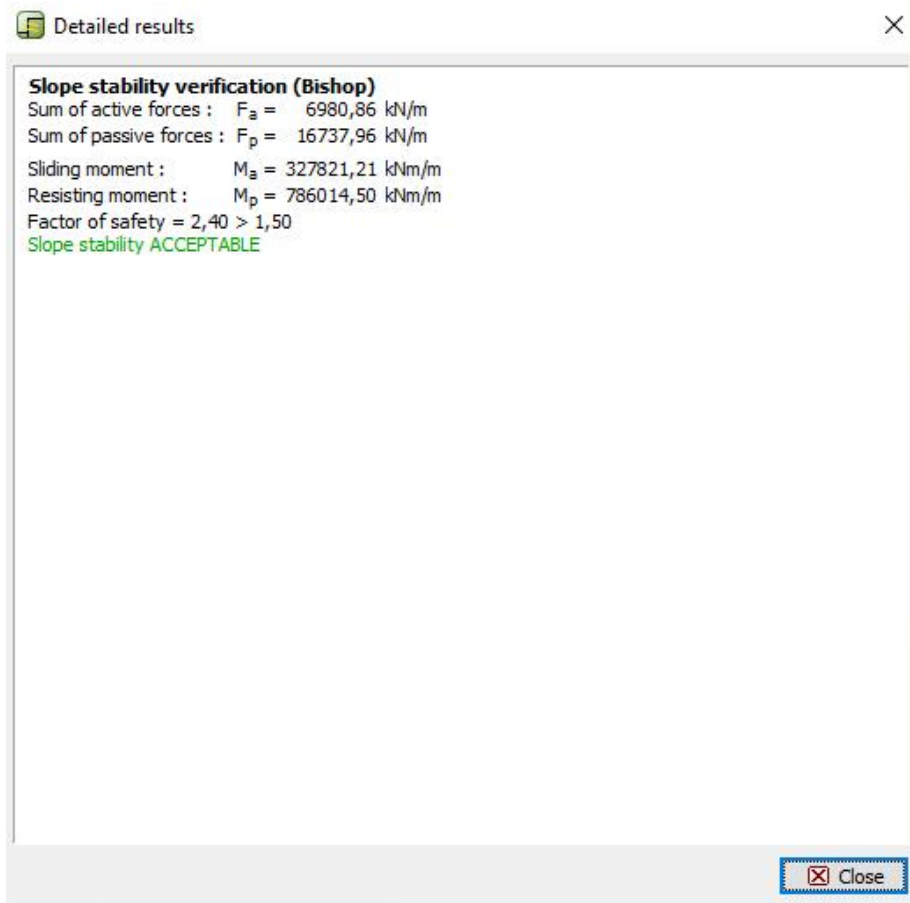


Σχήμα 62: Ανάλυση της εσωτερικής ισορροπίας (internal stability) του συστήματος των αγκυρών. Ανάλυση με παρουσία της τέταρτης σειράς αγκυρών (12.5m).

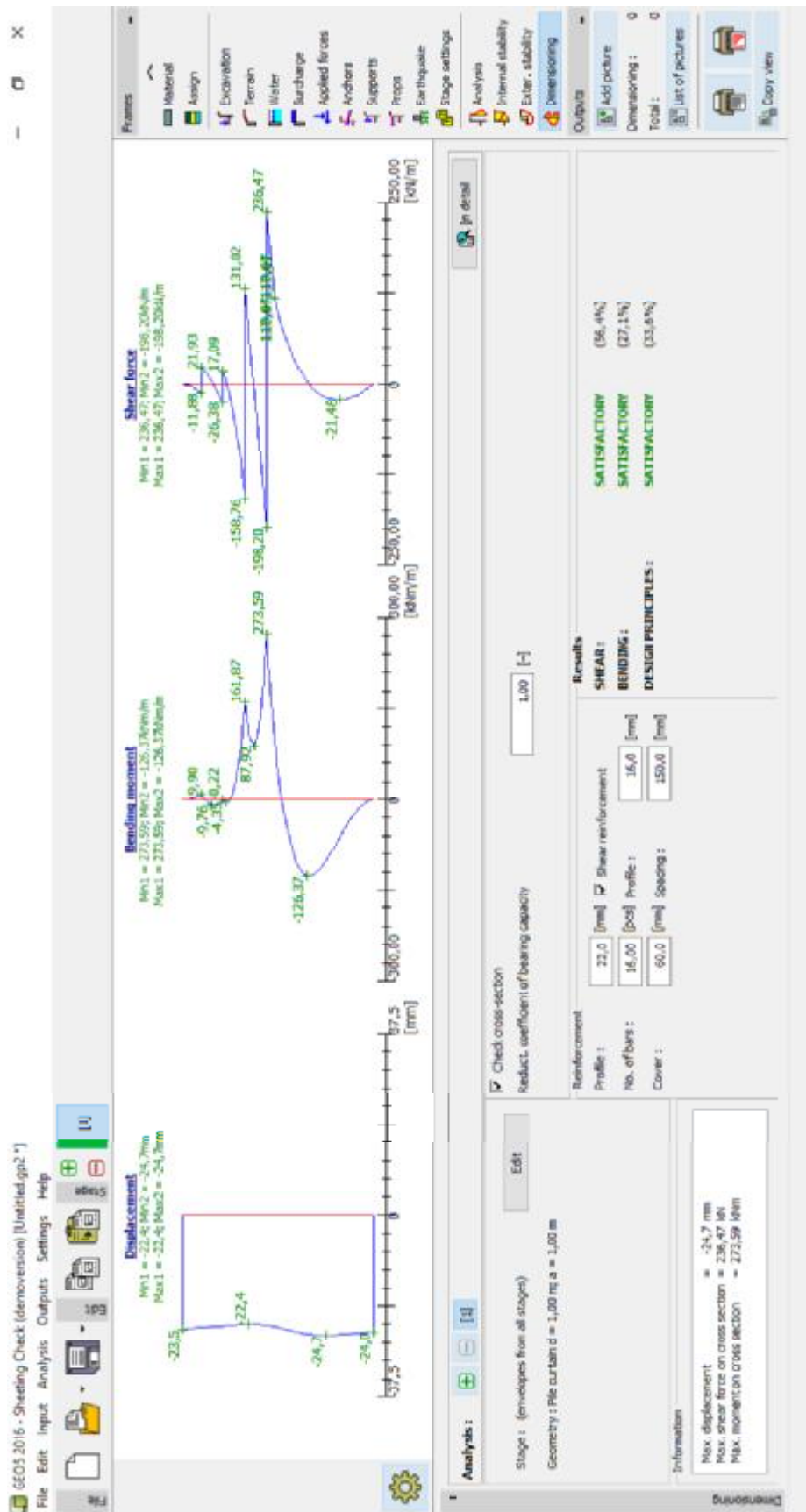




Σχήμα 63: Ανάλυση της συνολικής ισορροπίας της κατασκευής με το πρόγραμμα ισορροπίας πρανούς (slope stability). Ανάλυση με παρουσία της τέταρτης σειράς αγκυρίων (12.5m).

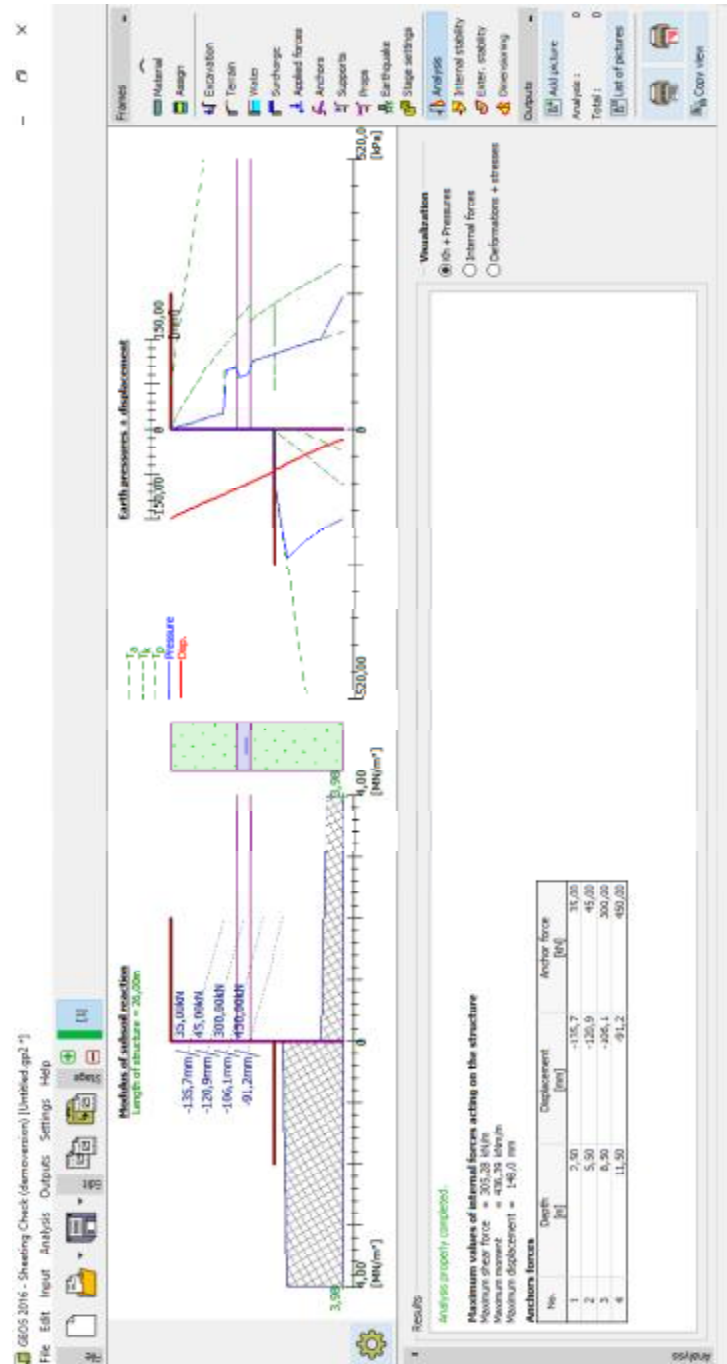


**Σχήμα 64:** Αναλυτικά αποτελέσματα ανάλυσης της συνολικής ισορροπίας της κατασκευής με το πρόγραμμα ισορροπίας πρανούς (*slope stability*). Ανάλυση με παρουσία της τέταρτης σειράς αγκυρίων (12.5m).

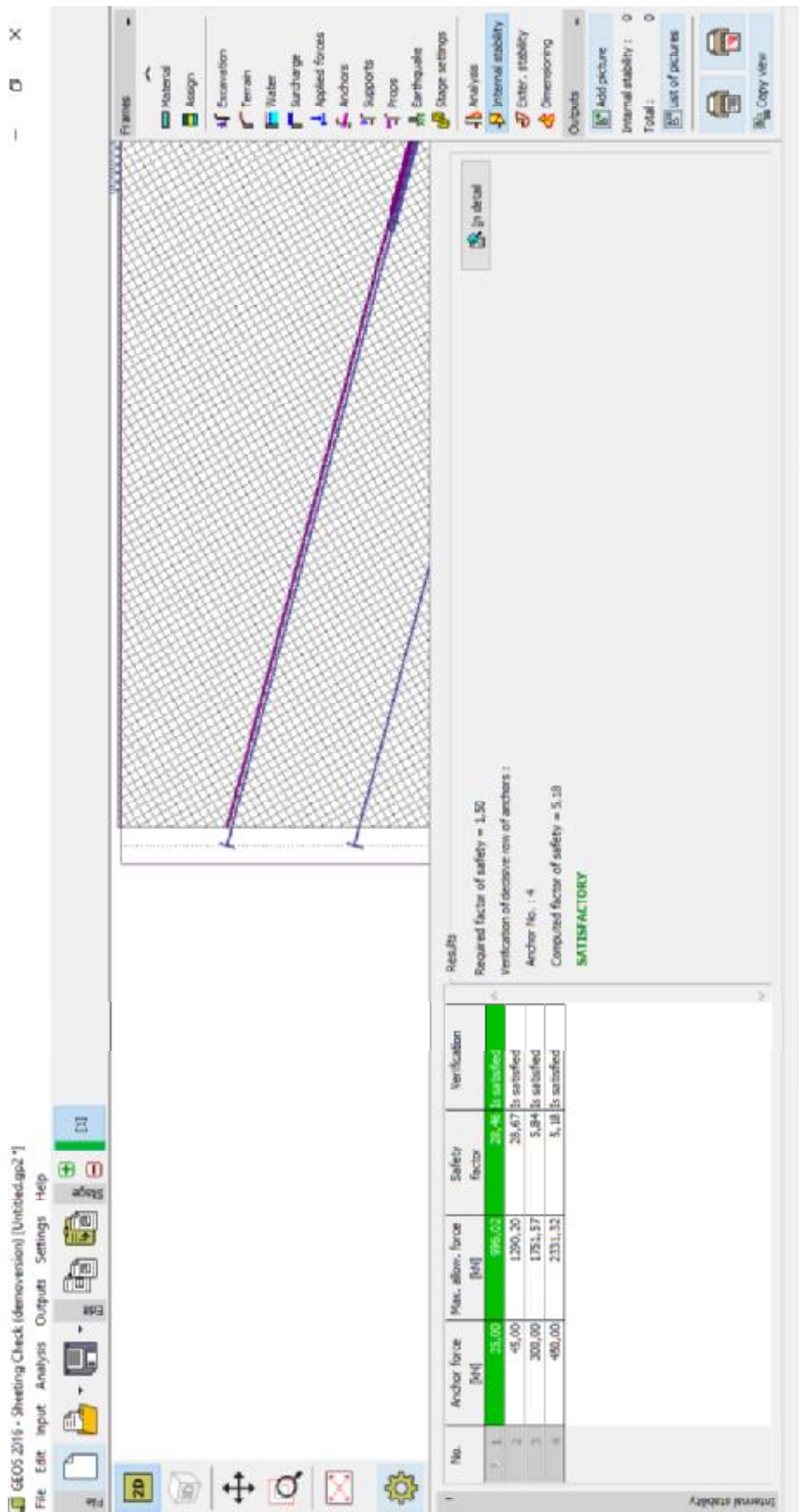


**Σχήμα 65:** Αποτελέσματα ροπών κάμψης και τεμνοσών δυνάμεων. Έλεγχος σε κάμψη και διάτμηση λαμβάνοντας υπόψιν το θλιπτικό οπλισμό. Ανάλυση με παρουσία της τέταρτης σειράς αγκυρίων (12.5m).

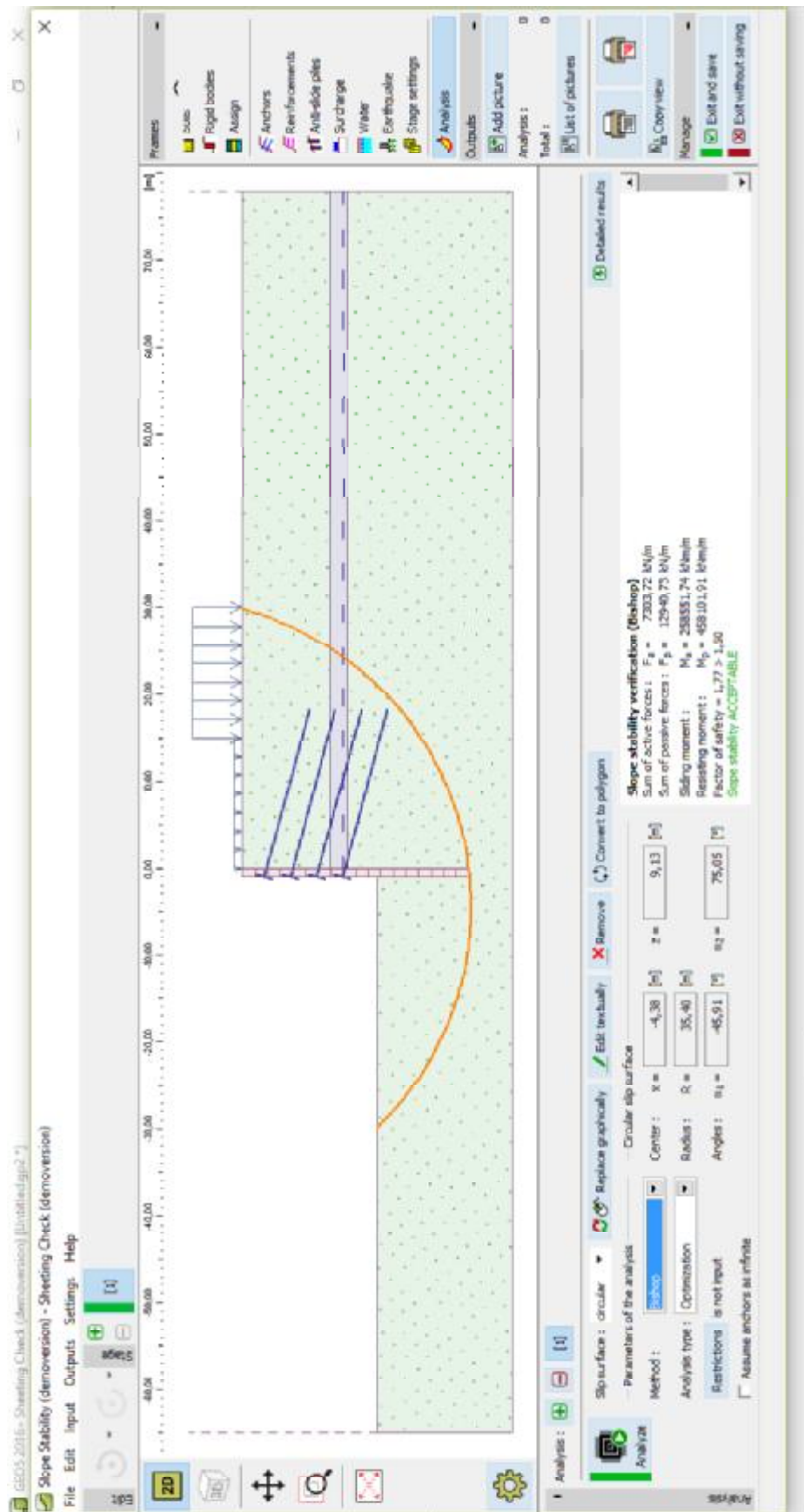
Μετά το πέρας της ανάλυσης και για το τέταρτο βάθος εκσκαφής, προστέθηκε το επόμενο στάδιο κατασκευής. Στο στάδιο αυτό προστίθεται μία νέα εκσκαφή με το συνολικό βάθος της εκσκαφής να φτάνει τώρα πια τα 15.5 m. Στη συνέχεια ακολουθείται η ίδια διαδικασία ανάλυσης, τόσο πριν, όσο και μετά την εισαγωγή της νέας σειράς αγκυριών σε βάθος 14.5m. Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης μετά τη νέα εκσκαφή, πριν και μετά την εισαγωγή της πέμπτης σειράς αγκυριών.



**Σχήμα 66:** Κατανομή των παραμορφώσεων και των πιέσεων στην κατασκευή. Ανάλυση χωρίς την παρουσία της πέμπτης σειράς αγκυριών (15.5m).

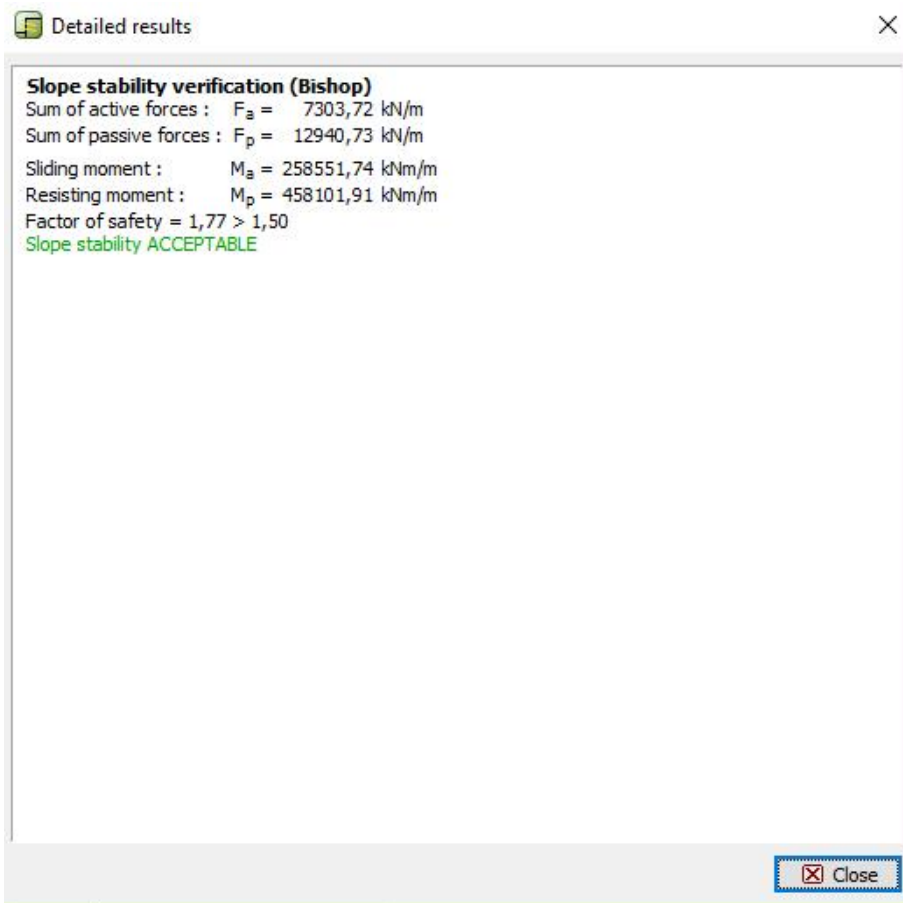


Σχήμα 67: Ανάλυση της εσωτερικής ισορροπίας (internal stability) του συστήματος των αγκυρίων. Ανάλυση χωρίς την παρουσία της πέμπτης σειράς αγκυρίων (15.5m).

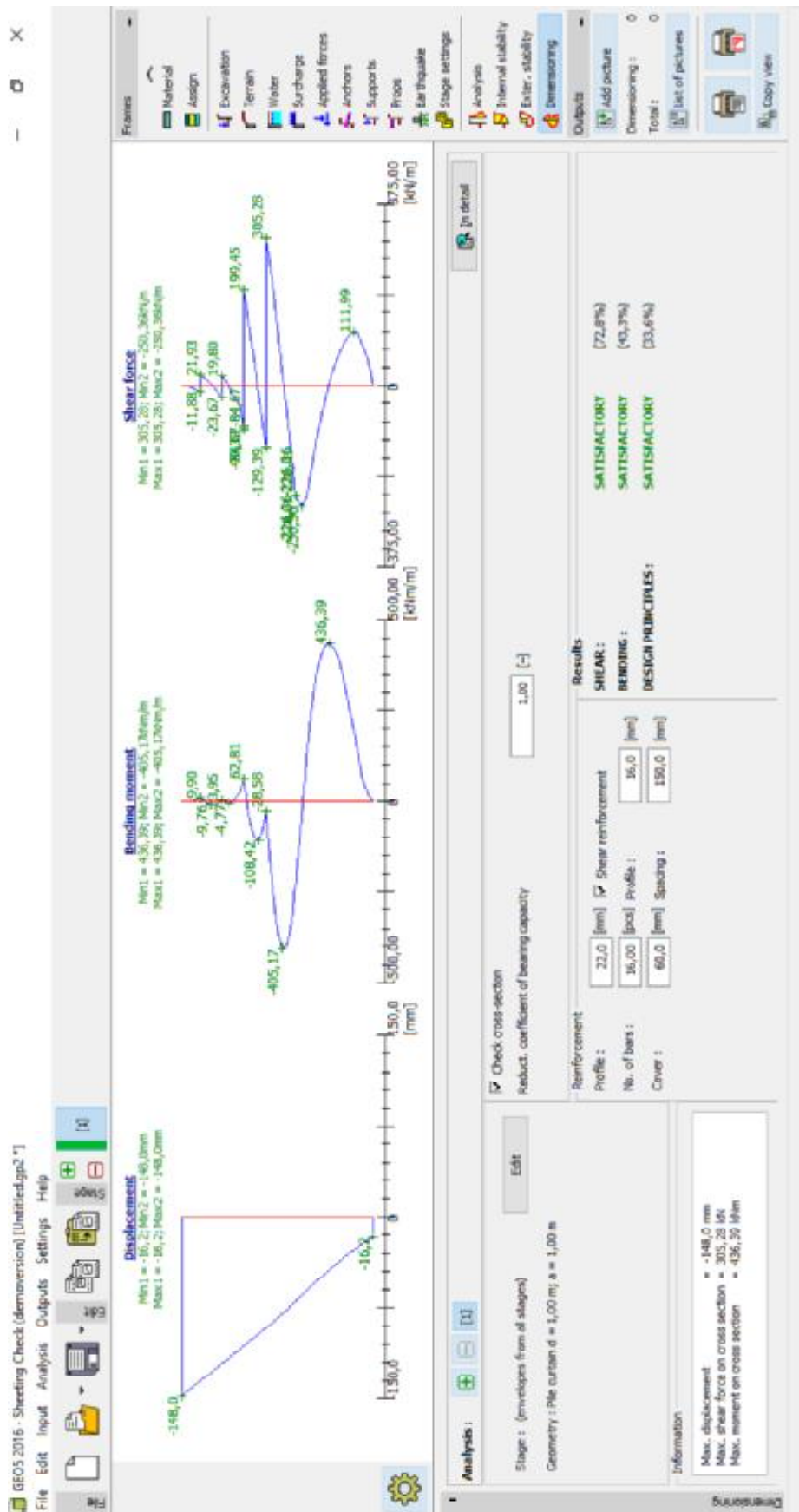


Σχήμα 68: Ανάλυση της συνολικής ισορροπίας της κατασκευής με το πρόγραμμα ισορροπίας πρανούς (slope stability). Ανάλυση χωρίς την παρουσία της πέμπτης σειράς αγκυριών (15.5m).





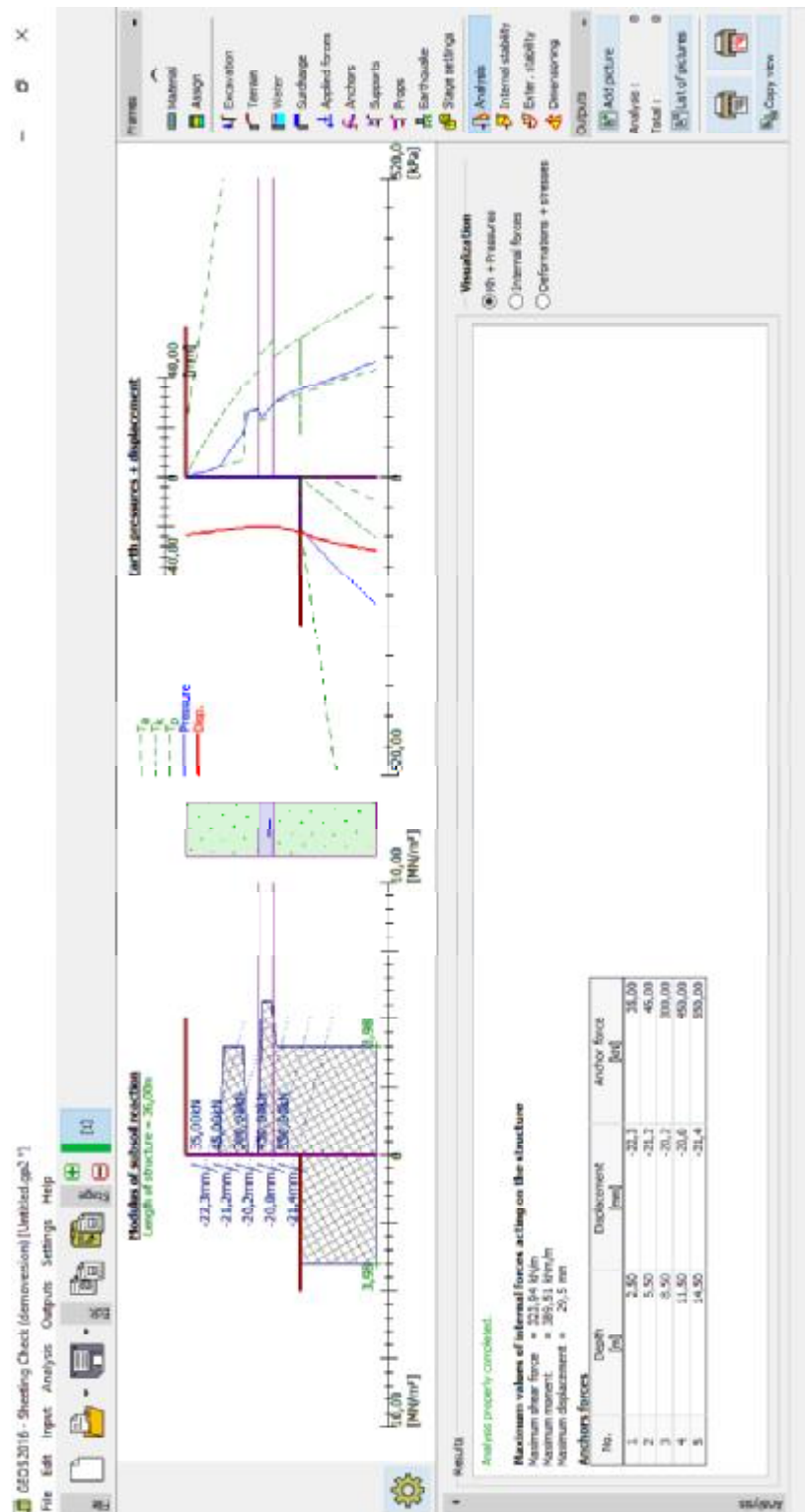
**Σχήμα 69:** Αναλυτικά αποτελέσματα ανάλυσης της συνολικής ισορροπίας της κατασκευής με το πρόγραμμα ισορροπίας πρανούς (slope stability). Ανάλυση χωρίς την παρουσία της πέμπτης σειράς αγκυρίων (15.5m).



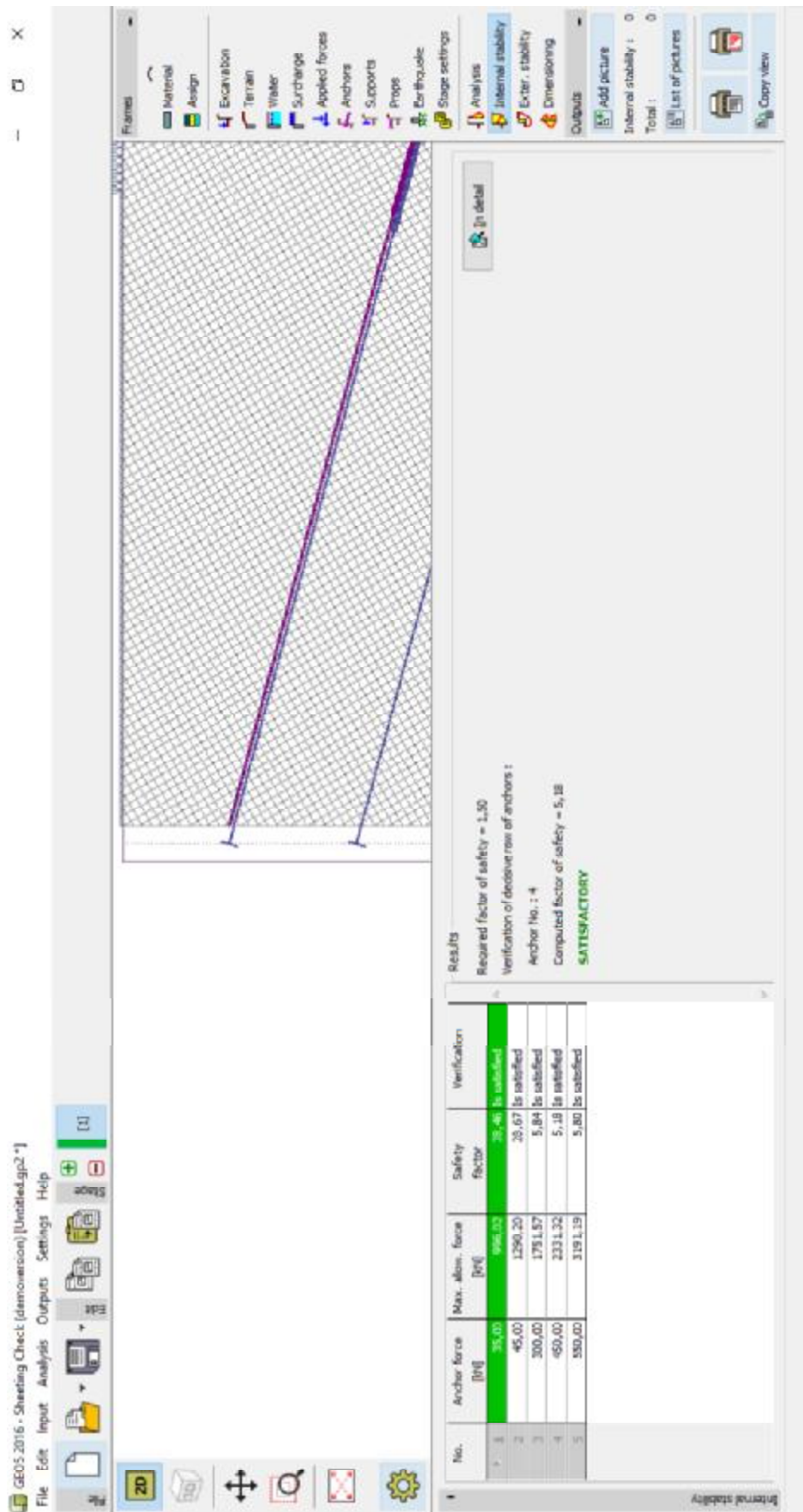
Σχήμα 70: Αποτελέσματα ροπών κάμψης και τεμνοσών δυνάμεων. Έλεγχος σε κάμψη και διάτμηση λαμβάνοντας υπόψιν το θλιπτικό οπλισμό. Ανάλυση χωρίς την παρουσία της πέμπτης σειράς αγκυρίων (15.5m).



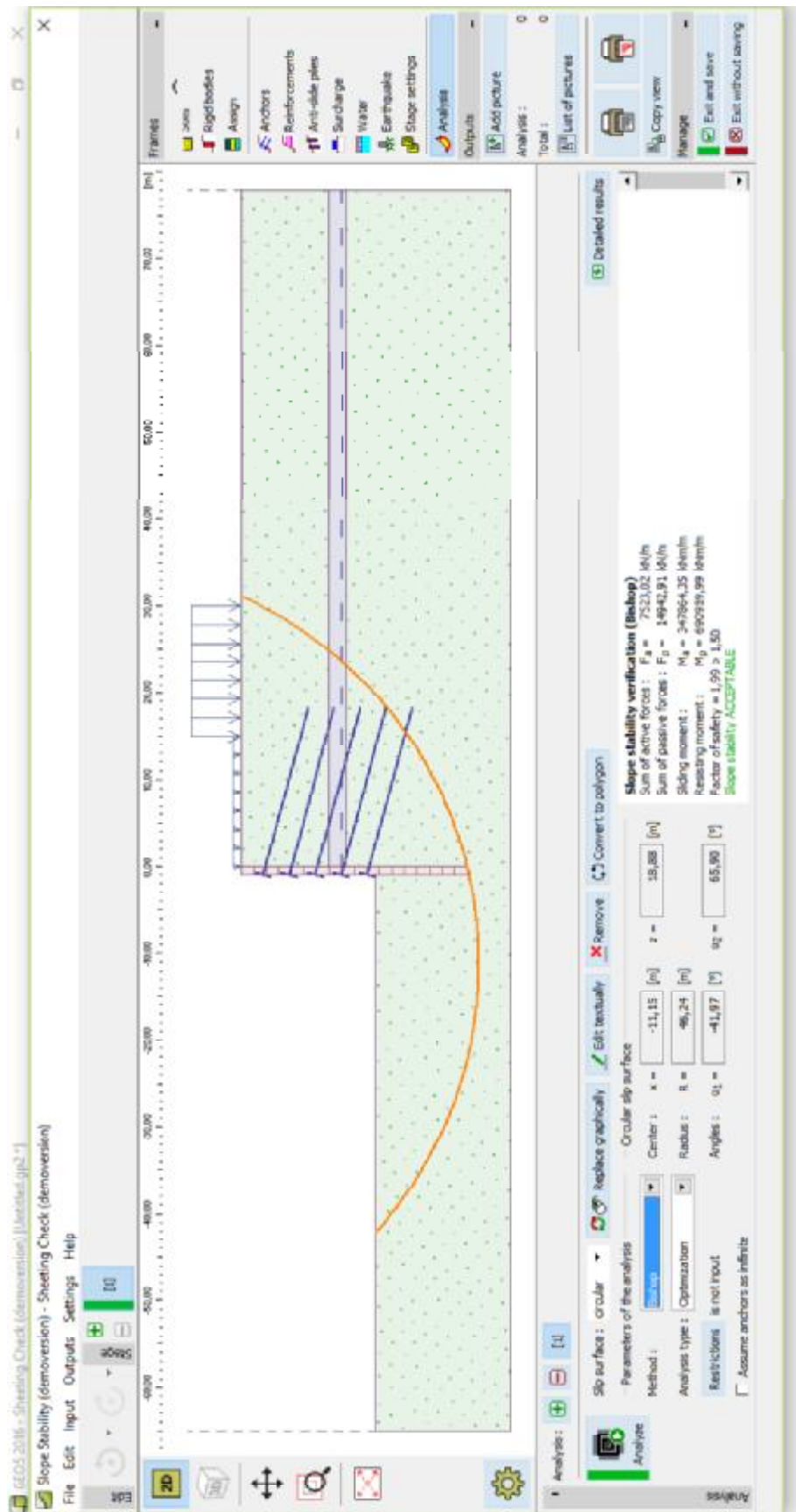
Στη συνέχεια εισάγεται στο πρόγραμμα η πέμπτης σειρά αγκυρίων σε βάθος 14.5m. Μετά ακολουθεί η ίδια διαδικασία ανάλυσης με πριν. Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για ανάλυση μετά από εισαγωγή της πέμπτης σειράς αγκυρίων.



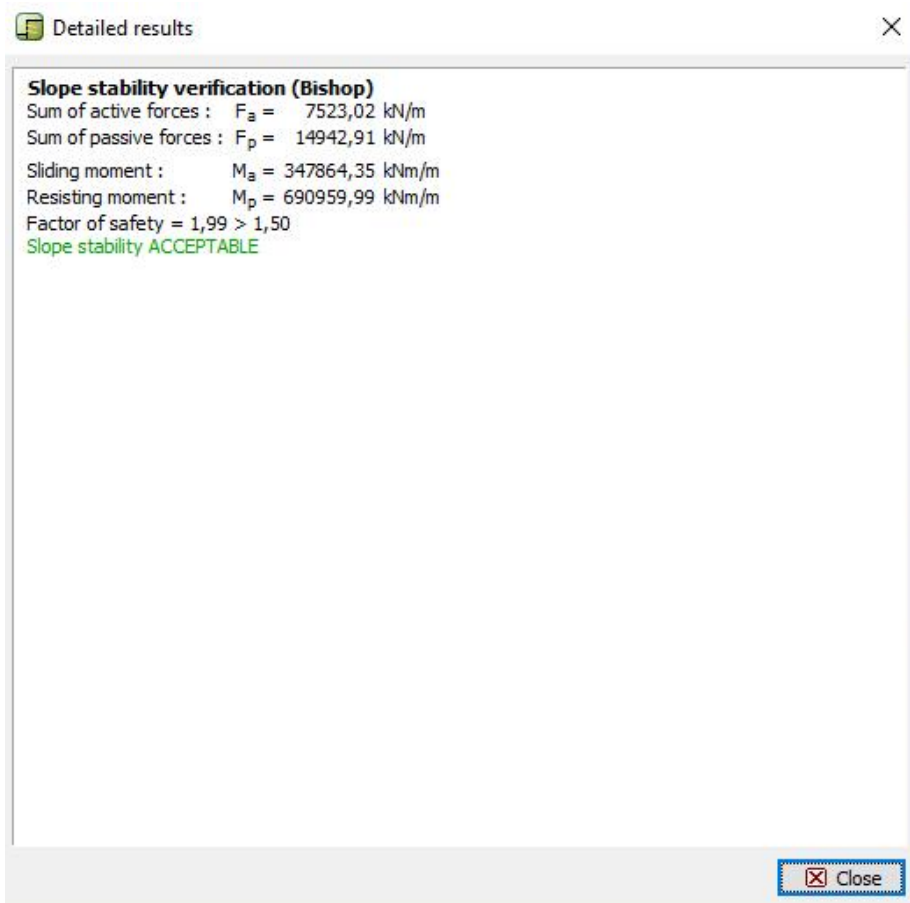
Σχήμα 71: Κατανομή των παραμορφώσεων και των πιέσεων στην κατασκευή. Ανάλυση με παρουσία της πέμπτης σειράς αγκυρίων (15.5m).



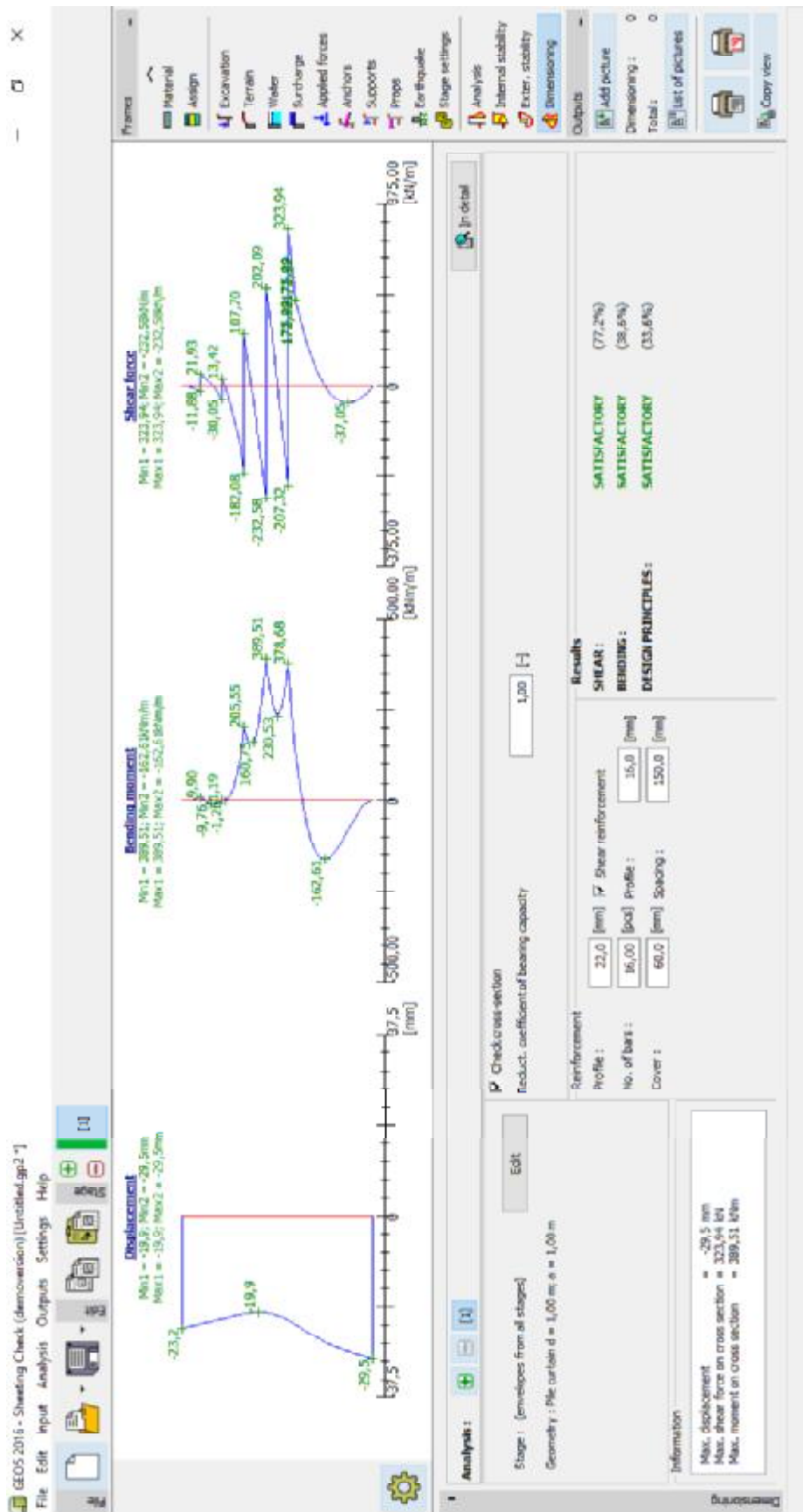
Σχήμα 72: Ανάλυση της εσωτερικής ισορροπίας (internal stability) του συστήματος των αγκυρίων. Ανάλυση με παρουσία της πέμπτης σειράς αγκυρίων (15.5m).



Σχήμα 73: Ανάλυση της συνολικής ισορροπίας της κατασκευής με το πρόγραμμα ισορροπίας πránου (slope stability). Ανάλυση με παρουσία της πέμπτης σειράς αγκυρίων (15.5m).

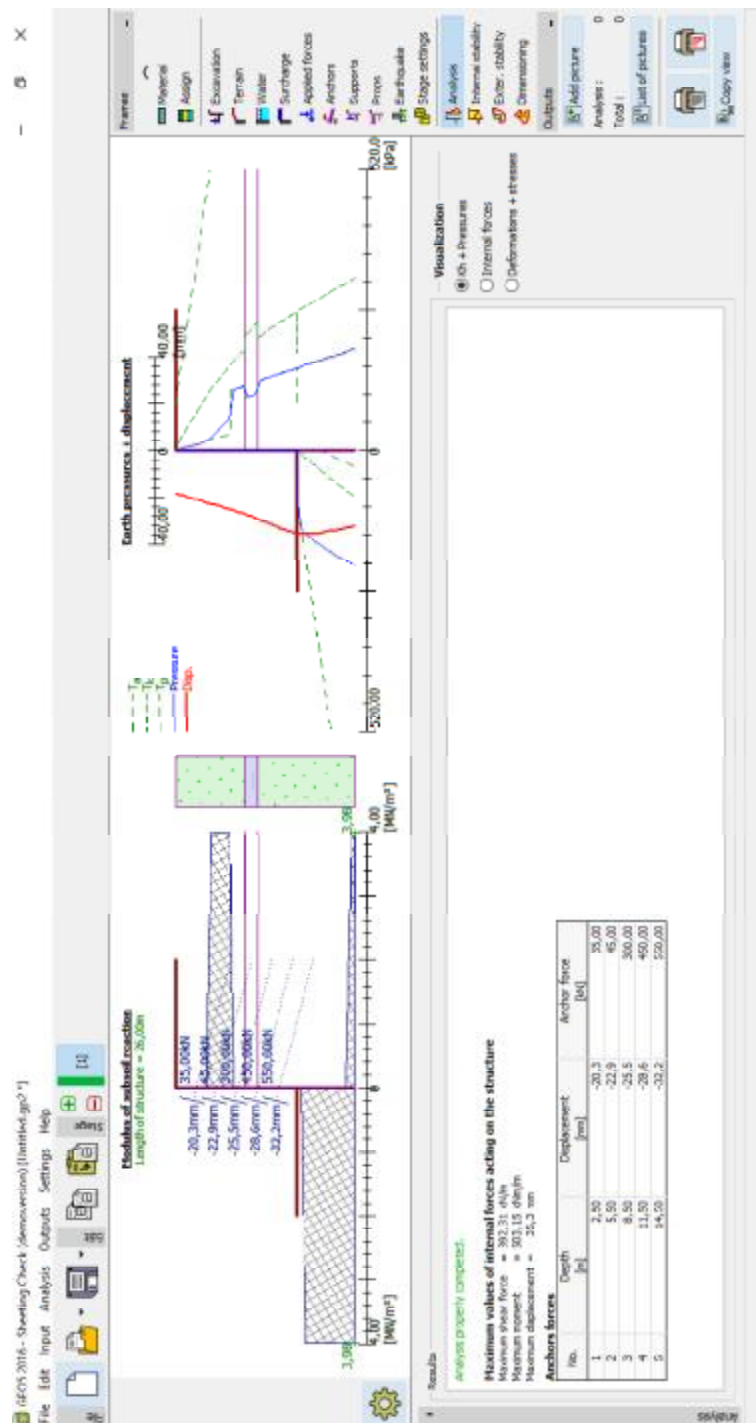


**Σχήμα 74:** Αναλυτικά αποτελέσματα ανάλυσης της συνολικής ισορροπίας της κατασκευής με το πρόγραμμα ισορροπίας πρανούς (slope stability). Ανάλυση με παρουσία της πέμπτης σειράς αγκυρίων (15.5m).



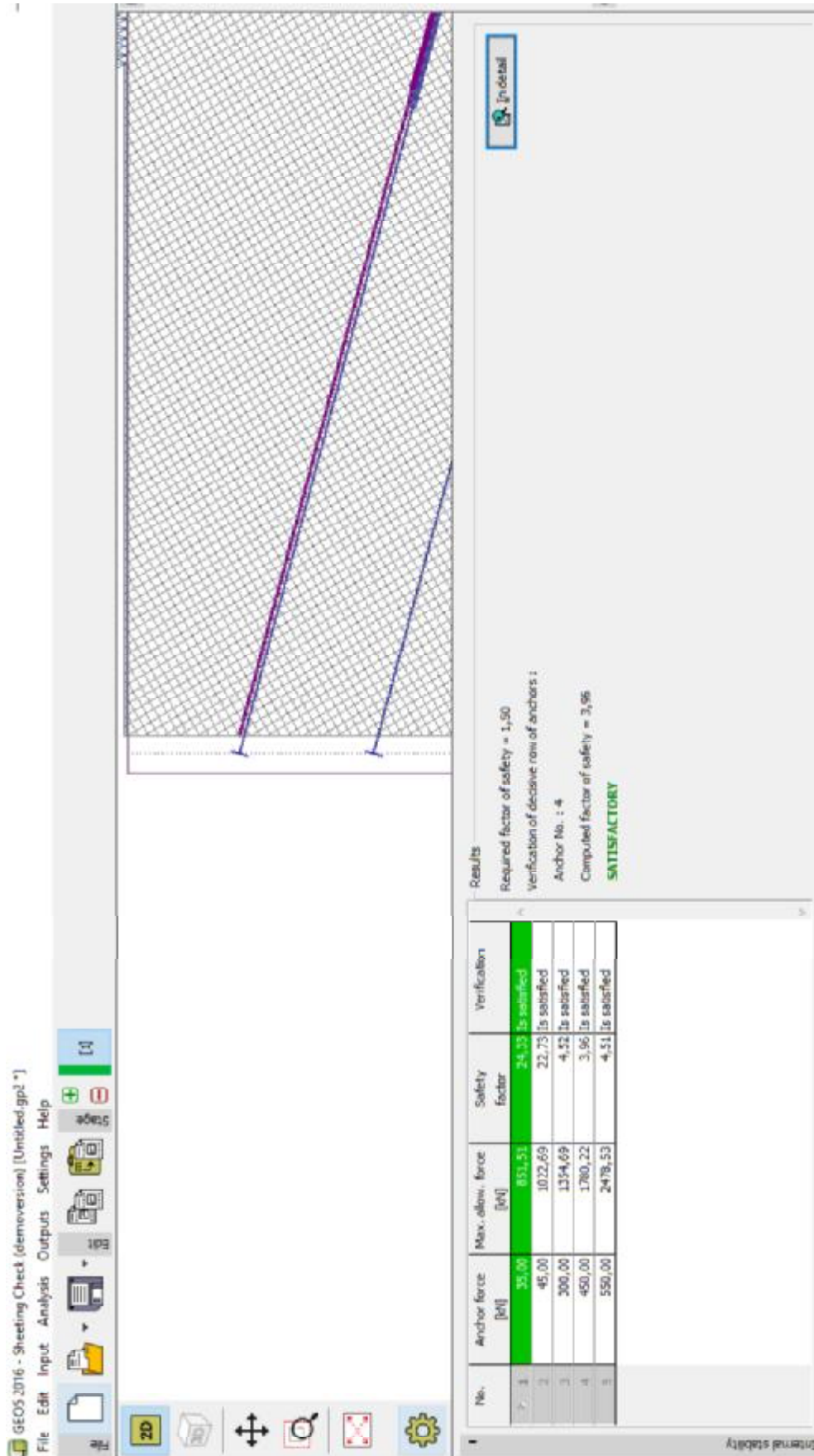
Σχήμα 75: Αποτελέσματα ροπών κάμψης και τεμνουσών δυνάμεων. Έλεγχος σε κάμψη και διάτμηση λαμβάνοντας υπόψιν το θλιπτικό οπλισμό. Ανάλυση με παρουσία της πέμπτης σειράς αγκυρίων (15.5m).

Μετά το πέρας της ανάλυσης και για το πέμπτο βάθος εκσκαφής, προστέθηκε το τελικό στάδιο κατασκευής. Στο στάδιο αυτό προστίθεται η τελική εκσκαφή με το συνολικό βάθος της εκσκαφής να φτάνει τώρα πια τα 17.5 m. Στη συνέχεια ακολουθείται η ίδια διαδικασία ανάλυσης, χωρίς την εισαγωγή νέας σειράς αγκυρίων. Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης μετά τη νέα εκσκαφή.

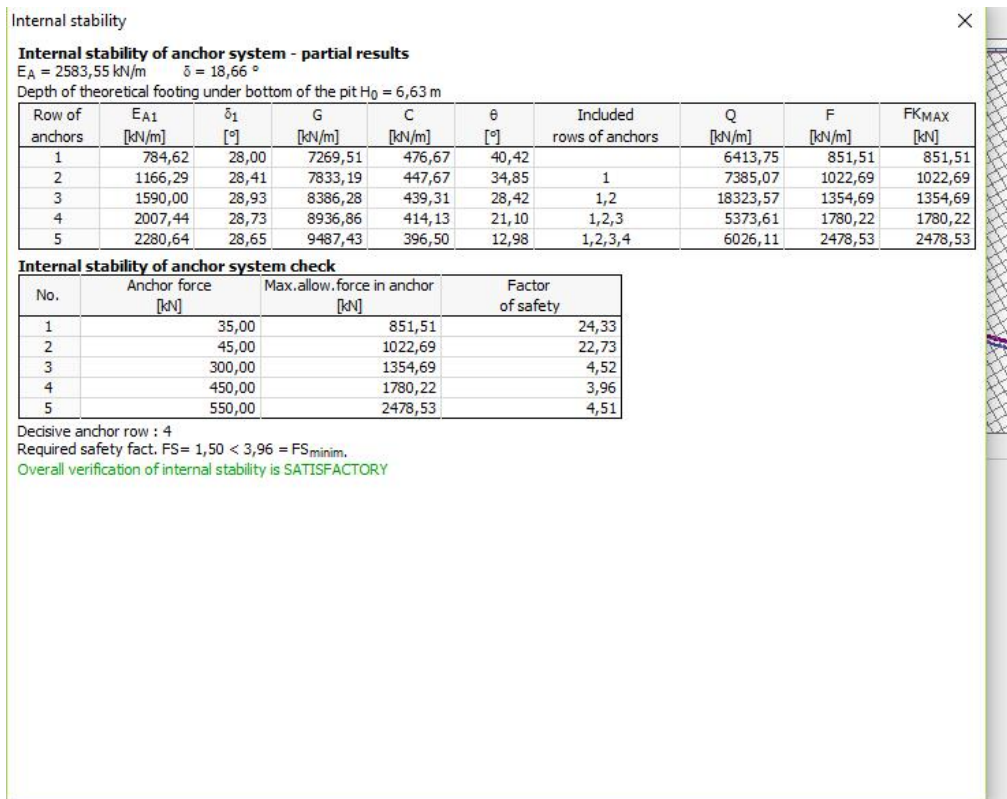


Σχήμα 76: Κατανομή των παραμορφώσεων και των πιέσεων στην κατασκευή. Ανάλυση παρουσία πέντε σειρών αγκυρίων (17.5m).

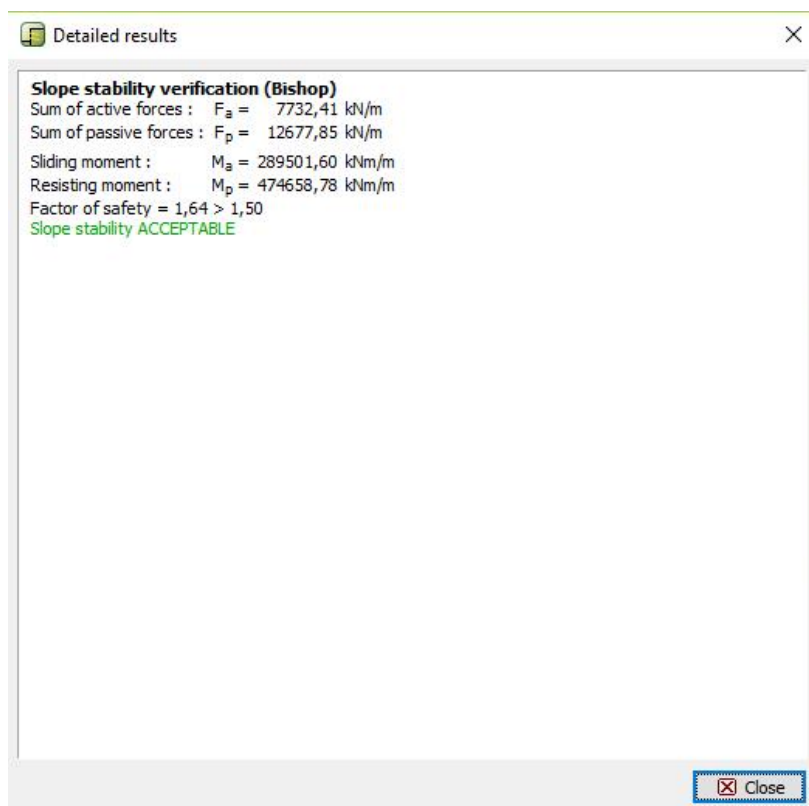




Σχήμα 77: Ανάλυση της εσωτερικής ισορροπίας (internal stability) του συστήματος των αγκυρίων. Ανάλυση παρουσία πέντε σειρών αγκυρίων (17.5m).

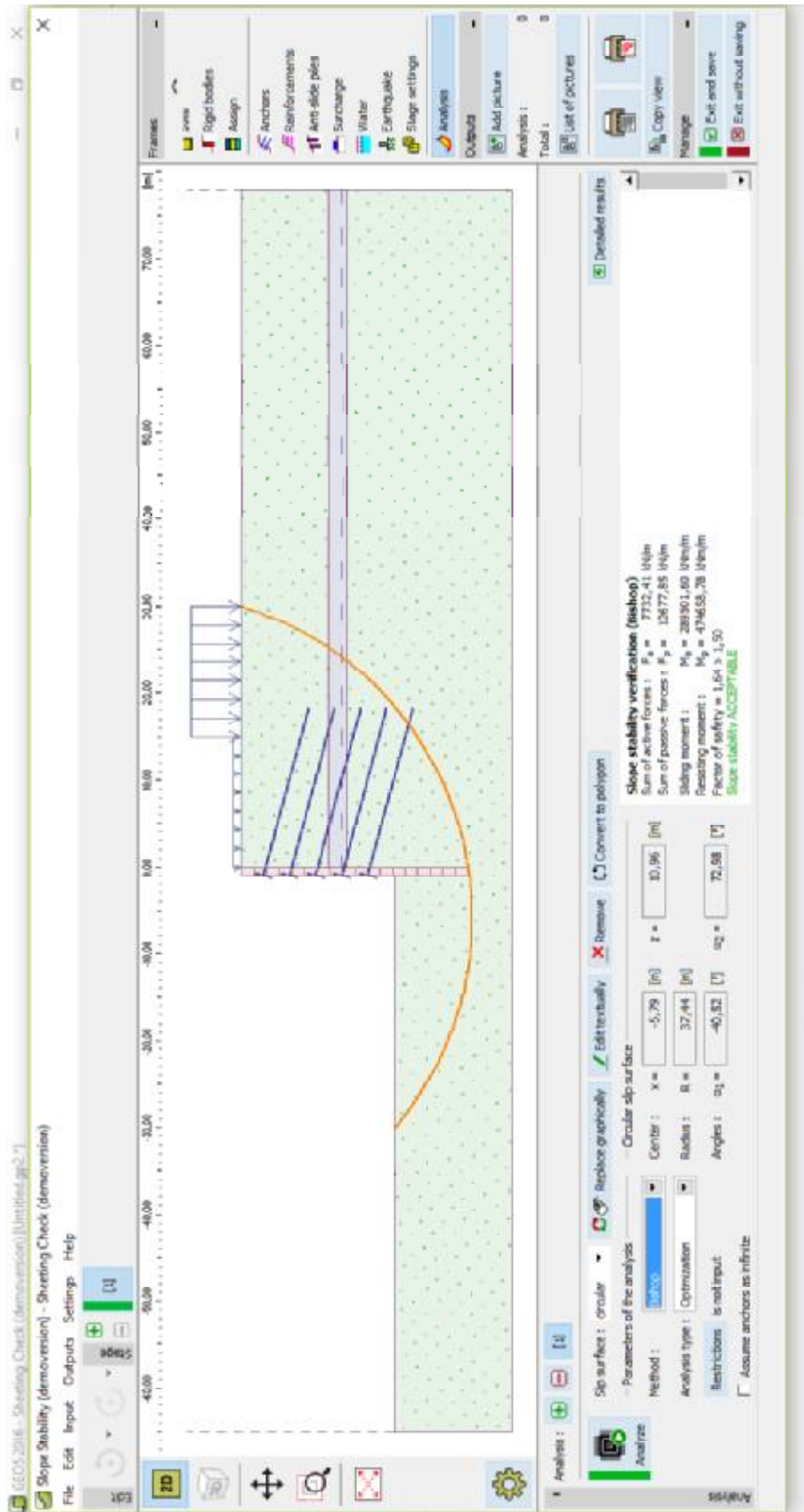


**Σχήμα 78:** Αναλυτικά αποτελέσματα ανάλυσης της εσωτερικής ισορροπίας (internal stability) του συστήματος των αγκυρίων. Ανάλυση παρουσία πέντε σειρών αγκυρίων (17.5m).

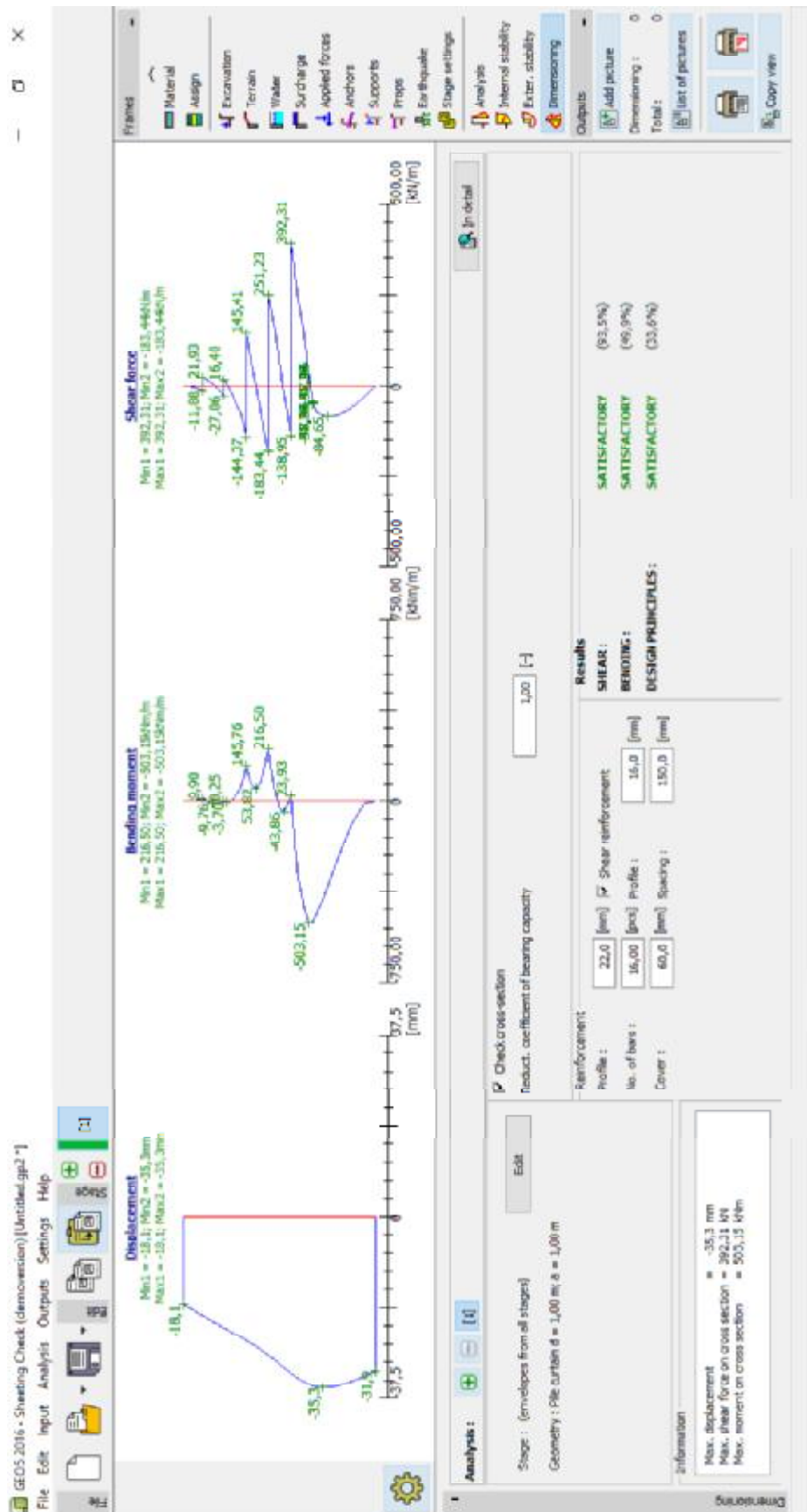


**Σχήμα 79:** Αναλυτικά αποτελέσματα ανάλυσης της συνολικής ισορροπίας της κατασκευής με το πρόγραμμα ισορροπίας πρανούς (slope stability). Ανάλυση χωρίς την παρουσία της πέμπτης σειράς αγκυρίων (15.5m).





Σχήμα 80: Ανάλυση της συνολικής ισορροπίας της κατασκευής με το πρόγραμμα ισορροπίας πρανούς (slope stability). Ανάλυση παρουσία πέντε σειρών αγκυριών (17.5m).



Σχήμα 81: Αποτελέσματα ροπών κάμψης και τεμνουσών δυνάμεων. Έλεγχος σε κάμψη και διάτμηση λαμβάνοντας υπόψιν το θλιπτικό οπλισμό. Ανάλυση παρουσία πέντε σειρών αγκυριών (17.5m).

### 6.3 Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία έγινε σχεδιασμός και επίλυση τοίχου αντιστήριξης ελεύθερου ύψους 17,5 m (συνολικού ύψους 26 m) στο τμήμα της διάνοιξης μεταξύ των οδών Πουκεβίλ – Γκότση με την χρήση του λογισμικού GEO5 2016 Πασσαλότοιχοι II (Sheeting Check).

Τα χαρακτηριστικά των πέντε (5) σειρών αγκυρίων παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 4, ενώ τα κυριότερα αποτελέσματα της αριθμητικής ανάλυσης παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 5. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, παρατηρούμε ότι η μέγιστη ροπή κάμψης που εμφανίζεται είναι 832,40 kNm και παρουσιάζεται στη φάση εκσκαφής 7 (12.5 m χωρίς αγκύρια). Η μέγιστη μετατόπιση είναι -148 mm και παρουσιάζεται στη φάση εκσκαφής 9 (15.5 m χωρίς αγκύρια) και η μέγιστη τέμνουσα δύναμη είναι 392,31 kN και παρουσιάζεται στην τελική φάση εκσκαφής (17.5 m). Η δυσμενέστερη φάση εκσκαφής σύμφωνα με τα αποτελέσματα είναι η φάση εκσκαφής στα 12,5 m χωρίς αγκύρια, στην οποία παρουσιάζεται η μεγαλύτερη ροπή κάμψης (832,40 kNm), μια πολύ μεγάλη μετατόπιση (-146 mm), σχεδόν ίση με τη μέγιστη μετατόπιση, και μία αρκετά υψηλή μέγιστη τέμνουσα δύναμη (261,08 kN). Επίσης, οι τιμές των συντελεστών ασφαλείας της γενικής ευστάθειας πρανούς που υπολογίστηκαν σε κάθε φάση είναι μεγαλύτερες του ορίου ασφαλείας (1.50), με δυσμενέστερη τιμή αυτή που παρουσιάζεται στην τελευταία φάση εκσκαφής (= 0.64), άρα οι τιμές είναι ικανοποιητικές και αποδεκτές.

Τέλος, ο τύπος σκυροδέματος είναι C20/25 και ο οπλισμός που επιλέχθηκε στο πρόγραμμα επίλυσης είναι 16 κομμάτια σιδήρου Φ22, δηλαδή ράβδοι διαμέτρου 22 mm. Ο θλιπτικός οπλισμός (shear reinforcement) ο οποίος επιλέχθηκε στο πρόγραμμα επίλυσης είναι Φ16/15, δηλαδή ράβδοι Φ16 ανά 15 cm. Παρόλα αυτά, για την κατασκευή μπορεί να χρησιμοποιηθεί οπλισμός Φ14/10, δηλαδή ράβδοι Φ14 ανά 10 cm, οι οποίοι είναι πιο κοινοί για αυτές τις κατασκευές και ευρέως χρησιμοποιούμενοι.

Πίνακας 4: Συνοπτική παρουσίαση των χαρακτηριστικών των πέντε στρώσεων αγκυρίων.

Σειρά Αγκυρίων	Βάθος z(m)	Ελεύθερο Μήκος l(m)	Πακτωμένο Μήκος lk(m)	Κλίση (°)	Διάμετρος (mm)	Δύναμη (kN)
1	2,50	15,00	10,00	15,00	127,0	35,00
2	5,50	15,00	10,00	15,00	127,0	45,00
3	8,50	15,00	10,00	15,00	127,0	300,00
4	11,50	15,00	10,00	15,00	127,0	450,00
5	14,50	15,00	10,00	15,00	127,0	550,00

Πίνακας 5: Συνοπτική παρουσίαση των αριθμητικών αποτελεσμάτων του λογισμικού.

A/A	Φάση	Ροπή Κάμψης (kNm)	Μετατόπιση (mm)	Τέμνουσα Δύναμη (kN)	Συντελεστής ασφαλείας
1	3.5 m χωρίς αγκύρια	77,76	-13,8	31,20	4,38 > 1,50
2	3.5 m με αγκύρια	88,97	-13,9	23,92	4,38 > 1,50
3	6.5 m χωρίς αγκύρια	151,74	-26,3	68,98	3,37 > 1,50
4	6.5 m με αγκύρια	85,25	-22,0	41,38	3,37 > 1,50
5	9.5 m χωρίς αγκύρια	564,43	-76,2	211,52	2,68 > 1,50
6	9.5 m με αγκύρια	171,43	-24,3	164,85	2,68 > 1,50
7	12.5 m χωρίς αγκύρια	<b>832,40</b>	-146,0	261,08	2,15 > 1,50
8	12.5 m με αγκύρια	273,59	-24,7	236,47	2,40 > 1,50
9	15.5 m χωρίς αγκύρια	436,39	<b>-148,0</b>	305,28	1,77 > 1,50
10	15.5 m με αγκύρια	389,51	-29,5	323,94	1,99 > 1,50
11	17.5 m	503,15	-35,3	<b>392,31</b>	<b>1,64</b> > 1,50

## 7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνική

- 1) Γκλάβας Γ. (2012), «Κατασκευή οδού Κανακάρη (Πουκεβίλ – Αγ. Σοφίας), με διανοίξεις στα τμήματά της (Πουκεβίλ – Γκότση και Νορμαν – Αγ. Σοφίας)», Γεωτεχνική Έρευνα και Μελέτη, 3<sup>ο</sup> Τεύχος Γεωτεχνικής Μελέτης: Προσωρινή Αντιστήριξη Πουκεβίλ – Γκότση
- 2) Δανακάλη Ν. Ι. (2013), «Αριθμητική προσομοίωση συστήματος αντιστήριξης σε βαθιά εκσκαφή», Μεταπτυχιακή Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- 3) Καββαδάς Μ. (2006), «Στοιχεία Εδαφομηχανικής», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Αθήνα
- 4) Μπαλασόπουλος Π., Παπαδημάκης Ι. (2016), «Παρουσίαση Έργων Αντιστήριξης για τη Διάνοξη της Οδού Κανακάρη», Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε., Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας, Πάτρα.
- 5) Σπηλιωτοπούλου Χ., Δάνδολα Φ., Ζανίδη Ε. (2016), «Γεωλογικές και Γεωτεχνικές Συνθήκες Κατασκευής Έργων Αντιστήριξης για τη Διάνοξη της Οδού Κανακάρη», Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε., Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας, Πάτρα.
- 6) Τσίρκας Β. (2015), «Μελέτη Τοίχων Αντιστήριξης στην Περιφερειακή Οδό Ναυπάκτου από Χ.Θ. 0 + 475,22 μέχρι Χ.Θ. 1 + 569,99.», Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε., Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας, Πάτρα.
- 7) Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. (2006), ΠΕΤΕΠ 11-02-04-00, Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές, Προεντεταμένες Αγκυρώσεις.
- 8) G.E. Barnes (2005), ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Αρχές και εφαρμογές, 2η έκδοση, Αθήνα: Κλειδάριθμος

### Ξενόγλωσση

- 1) Fleming, W.K. and Sliwinski, Z.J. 1977. The use and influence of bentonite in bored pile construction. CIRIA Report PO-3. Construction Industry Research and Information Association, London.
- 2) <http://www.diazoma.gr/theaters/archeo-theatro-mytilenes/>
- 3) <http://ecomu.users.uth.gr/6d.htm>
- 4) <http://www.elebor.gr/categories.asp?id=275>
- 5) <http://www.geosoftware.gr/geotechnical-software/sheeting-check/>
- 6) GEO5 – User's Guide. © Fine Ltd. 2017
- 7) Skempton, A. W. (1959). Cast-in-situ bored piles in London Clay, Geotechnique, No.9, pp 153- 173.
- 8) Tomlinson, M. J. (1977). Pile Design and Construction Practice. Cement and Concrete Association, London.
- 9) Vesic, A. S. (1969). Experiments with instrumented pile groups in sand, ASTM STP 444, pp. 177–222. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- 10) Vesic, A. S. (1977). NCHRP Synthesis 42: Design of Pile Foundations. Transportation Research Board: Washington, D.C.; p. 68.

- 11) Whitaker, T. (1957). Experiments with model piles in groups. *Geotechnique*, Vol. 7, No.4, pp 147-167.
- 12) Whitaker, T. & Cooke, R. W. (1966). An investigation of the shaft and base resistances of large bored piles in London Clay. *Proc. Symp. on large bored piles*, pp. 7-49. London: Institution of Civil Engineers.