



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**Δ.Π.Μ.Σ. «ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ»**

ΣΧΟΛΕΣ ΜΗΧ. ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ  
ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΣΤΟ ΣΤΑΘΜΟ ΜΕΤΡΟ**

**«ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ ΠΕΙΡΑΙΑ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Συγγραφέας:** Διαμάντη Φωτεινή, Διπλωματούχος Μηχανικός Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο  
Κρήτης

**Επιβλέπων:** Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, 2022





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**Δ.Π.Μ.Σ. «ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ»**

ΣΧΟΛΕΣ ΜΗΧ. ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,  
ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΑΣ ΣΤΟ ΣΤΑΘΜΟ ΜΕΤΡΟ**

**«ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ ΠΕΙΡΑΙΑ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Συγγραφέας:** Διαμάντη Φωτεινή, Διπλωματούχος Μηχανικός Ορυκτών Πόρων,  
Πολυτεχνείο Κρήτης

**Επιβλέπων:** Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή:

Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Αναπληρωτής

Καθηγητής, Ε.Μ.Π. ....

Μπενάρδος Ανδρέας, Αναπληρωτής

Καθηγητής, Ε.Μ.Π. ....

Βακαλάς Ιωάννης, Επίκουρος Καθηγητής

Ε.Μ.Π. ....

ΑΘΗΝΑ, 2022

Σελίδα 3 | 173



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή διενεργήθηκε κατά την ολοκλήρωση των σπουδών μου στο Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, των σχολών Μηχανικών Μεταλλείων & Μεταλλουργών και Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π., με τίτλο «**Σχεδιασμός & Κατασκευή Υπογείων Έργων**», με επιβλέποντα καθηγητή τον κ. Κωνσταντίνο Λουπασάκη.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους αυτούς που έχουν συμβάλει στην ολοκλήρωση των μεταπτυχιακών σπουδών με την παρούσα διατριβή και ιδιαίτερα:

Τον κ. Κωνσταντίνο Λουπασάκη, Αναπληρωτή καθηγητή της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π., για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, την καθοδήγηση του αλλά και για την σημαντική του συνεισφορά τόσο κατά την διάρκεια των σπουδών όσο και κατά την εκπόνηση της διατριβής μου.

Την εταιρία « Αττικό Μετρό Α.Ε. » και την Ανάδοχο « Κοινοπραξία J&P ΑΒΑΞ Α.Ε. – GHELLA S.P.A. » για τη σημαντική τους συμβολή στην εκτέλεση της εργασίας.

Τον κ. Απόστολο Διαμαντάκο, Διευθυντή Εργοταξίου του έργου Σταθμός Μετρό « ΠΕΙΡΑΙΑ » για τις επιτόπου ξεναγήσεις του κατά την κατασκευή του εν λόγω σταθμού, με τη συνδρομή του να είναι εξαιρετικά σημαντική ώστε να γίνει αντιληπτός ο τρόπος με τον οποίο εξελίσσονται οι εργασίες σε έργα τέτοιου είδους.

Το σύνολο των καθηγητών μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα τόσο για τη μετάδοση των γνώσεων τους όσο και για τον τρόπο μετάδοσης αυτών.

Τέλος, την οικογένεια μου για την συνεχή στήριξη στην επίτευξη του στόχου μου.

# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι η μελέτη μετακινήσεων κατά την εκσκαφή του σταθμού « Δημοτικό Θέατρο Πειραιά », με τη χρήση λογισμικού πεπερασμένων στοιχείων.

Οι αναλύσεις γίνονται χρησιμοποιώντας τροποποιημένα δεδομένα από την πραγματική εκσκαφή για την κατασκευή του σταθμού « Δημοτικό Θέατρο Πειραιά », εντός του αστικού περιβάλλοντος της Αθήνας.

Σημειώνεται ότι οι αναλύσεις που πραγματοποιούνται σε αυτήν την εργασία δεν ταυτίζονται σε καμία περίπτωση με τον πραγματικό σχεδιασμό για την κατασκευή του σταθμού. Τα μοναδικά δεδομένα που λαμβάνονται από την «Αττικό Μετρό» αφορούν τα εργαστηριακά αποτελέσματα της γεωτεχνικής έρευνας για την αξιολόγηση των σχηματισμών στην περιοχή μελέτης και η γεωμετρία του σταθμού.

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τις προσομοιώσεις είναι το «PLAXIS».

Στα πρώτα τρία κεφάλαια, παρουσιάζονται κατά αντιστοιχία στοιχεία σχετικά με το σταθμό του « Δημοτικό Θέατρο Πειραιά », όπως το γενικότερο έργο της επέκτασης της γραμμής 3 του ΜΕΤΡΟ, περιγραφή της περιοχής μελέτης, γεωλογικά και γεωτεχνικά στοιχεία για την εν λόγω περιοχή, τα μέτρα αντιστήριξης και φάσεις κατασκευής του σταθμού.

Εν συνεχεία, στο τέταρτο κεφάλαιο, γίνεται η περιγραφή λειτουργίας του προγράμματος «PLAXIS». Πιο συγκεκριμένα, περιγράφονται η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων, ο τρόπος που προσομοίωσης των σχηματισμών και των μέτρων αντιστήριξης καθώς και ο τρόπος με τον οποίο σχεδιάζεται το μοντέλο που πρόκειται να αναλυθεί.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, παρατίθενται οι παραμετρικές αναλύσεις που γίνονται, ο τρόπος με τον οποίο αυτές γίνονται και τα αποτελέσματα αυτών.

Ακολουθεί το έκτο κεφάλαιο της διατριβής, όπου πραγματοποιούνται οι συγκρίσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων των παραμετρικών αναλύσεων, για τα αρχικά

επιλεγμένα σημεία παρατήρησης εντός των μοντέλων και ο αντίστοιχος σχολιασμός τους με τη χρήση διαγραμμάτων.

Τέλος, συγκεντρώνονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τις αναλύσεις που εκτελέστηκαν. Αυτά αφορούν τις παραμέτρους που επηρεάζουν περισσότερο την ανάπτυξη και τον περιορισμό οριζόντιων μετακινήσεων κατά την διάνοιξη του ορύγματος του σταθμού.

**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS**

**INTERDISCIPLINARY POSTGRADUATE PROGRAMME " DESIGN & CONSTRUCTION OF UNDERGROUND WORKS"**



**FOTINI DIAMANTI**

**Mineral Resources Engineer**

**PARAMETRIC SIMULATIONS OF «MUNICIPAL THEATER» METRO STATION SUPPORT SYSTEMS**

**ABSTRACT**

Subject of present postgraduate thesis is the study of displacements during the excavation of the metro station "Municipal Theater of Piraeus" by using finite element software.

In order to complete current parametric analysis, it was used the example of the real excavation for the construction of "Municipal Theater of Piraeus" station, within the urban area of Athens.

It is noted that the analyzes carried out in present project, aren't identify with the actual design for the construction of the station. The only data obtained by "Attiko Metro" company, are the laboratory results of the geotechnical research for the evaluation of the geological formations in the study area as well as the geometry of the station. The software used for the simulations is "PLAXIS".

Main object of certain parametric analysis is to describe the behavior of geological formations during the excavation, more specific to measure and compare the displacements of chosen points on the model as well as the contribution of the temporary support measures. For the support of station are used retaining walls, pre-tension anchors and reinforced shotcrete concrete C20/25. The results of each calculation presents by diagrams and tables.

**I. Introduction**

Project "Municipal Theater" is located under the square of the Piraeus' Municipal Theater. It can be seen from the figure in blue line there is the perimeter of the station.



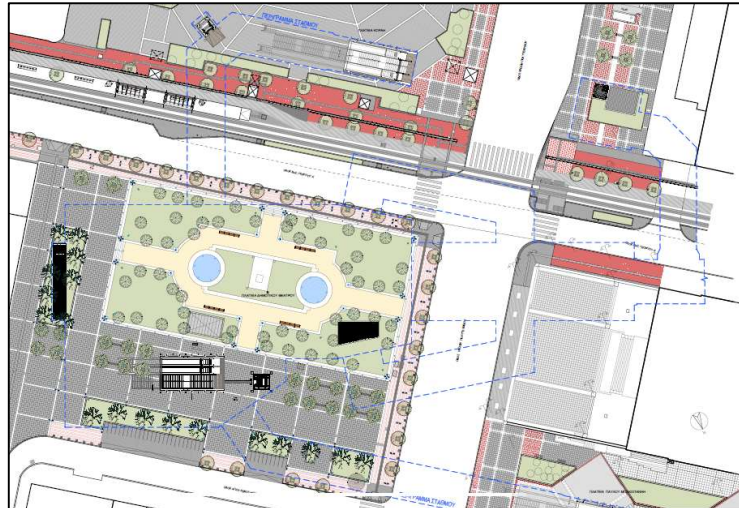


Image 1: Location of Metro Station.

The methods applied for the construction of this station are mainly the cut & cover and the conventional method of underground drilling. The section of the excavation has a length of 72.7 m and a variable width from 25.5 m up to 46 m. Regarding the geology of the area, tests shows that geological background consists of the followings formations:

- Calcareous Siltstones
- Clay stones – Marls
- Sandstones

In addition, on the surface there are found artificial deposits of small thickness.

## II. Design and support of construction

The excavation is mainly accomplished with the method cut & cover. The final level of the excavation is equal to -28.5 m. As different levels of excavation are formed locally inside the station, artificial slopes are formed in order to these levels reach the predicted level. The support system of the open excavation, depending on the local needs, consists of the following:

- Reinforced concrete piles with rigid headband beam
- Pre-tensioned anchorages on a grid
- Shotcrete concrete of sufficient thickness, reinforced with suitable structural mesh

Figures 1 &2, represents the geometry of temporary support of southwestern and northwestern part of excavation, named as section S1 an S2, correspondingly.

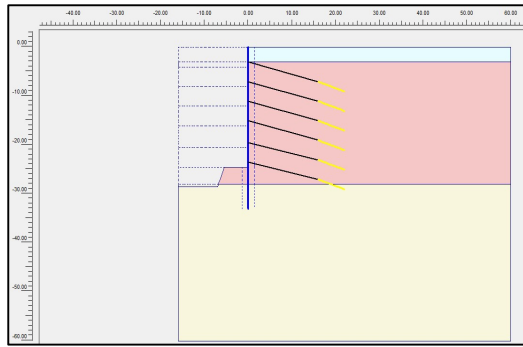


Figure 1: Geometry of temporary support of southwestern part of excavation (S1).

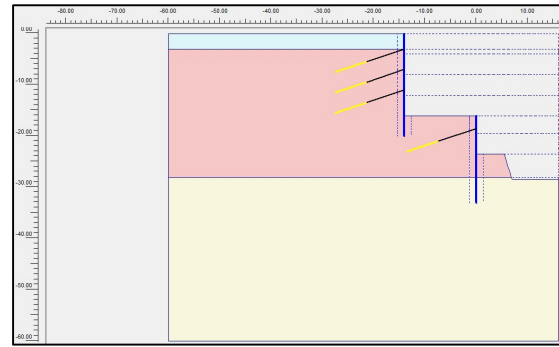


Figure 2: Geometry of temporary support of northwestern section of excavation (S2).

### III. Simulations

As already referred at the introduction, the used software for the simulations is PLAXIS 2D. This software use the method of finite elements, through which the deformations / displacements as well as the stability of various geotechnical applications can be studied. For all of the simulations was used the «Mohr – Coulomb model», a model based on the Mohr-Coulomb failure criterion.

Regarding the materials set on model the necessary geotechnical characteristics are represented on tables below:

Tables 1 -3: Presentation of geotechnical parameters

<i>Marl</i>		<i>Artificial Deposits</i>		<i>Sandstones</i>	
<i>geotechnical characteristics</i>	<b>Number</b>	<i>geotechnical characteristics</i>	<b>Number</b>	<i>geotechnical characteristics</i>	<b>Number</b>
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	22	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	21	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	22
$c'$ (kPa)	100	$c'$ (kPa)	10	$c'$ (kPa)	120
$\varphi'$	38°	$\varphi'$	30°	$\varphi'$	40°
$E$ (MPa)	500	$E$ (MPa)	40	$E$ (MPa)	750
<i>Poisson v</i>	0.30	$\nu$	0.30	<i>Poisson v</i>	0.30
$K_0$	0.40	$K_0$	0.40	$K_0$	0.40
$K$ (m/sec)	$1 \times 10^{-6}$	$K$ (m/sec)	$1 \times 10^{-6}$	$K$ (m/sec)	$1 \times 10^{-6}$
<i>GSI</i>	45 - 65			<i>GSI</i>	55 - 75

Structural elements such as piles and anchors are simulated by the determination of their geometric characteristics as well their axial and flexural stiffness. Table 4 indicates the essential parameters for the following calculation.

Tables 4: Presentation of parameters for structural elements

<i>Parameter</i>	<i>Number</i>			
	Piles Ø100-S1	Piles Ø100-S2	Piles Ø80-S2	Anchors S1 & S2
<i>Young's modulus (GPa)</i>	30	30	30	210
<i>diameter of pile (mm)</i>	-	-	-	15,2
<i>axial distance between piles (m)</i>	2	2	1,6	-
<i>Total anchor cross section (mm<sup>2</sup>)</i>	-	-	-	140
<i>Total grout cross section (mm<sup>2</sup>)</i>	-	-	-	0,0107

Calculation of piles' axial stiffness.

$$EA = \frac{E \times \pi \times \frac{d^2}{4}}{x} \quad (3.1)$$

*E* : Young's modulus of concrete (kN/m<sup>2</sup>)

*d* : diameter of pile (m)

*x* : axial distance between piles (m)

Calculation of piles' flexural stiffness.

$$EI = \frac{E \times \pi \times \frac{d^4}{64}}{x} \quad (3.2)$$

*E* : Young's modulus of concrete (kN/m<sup>2</sup>)

*d* : diameter of pile (m)

*x* : axial distance between piles (m)

Calculation of anchors' axial stiffness

$$\Sigma EA = (E_s \times A_s) + (E_b \times A_b) \quad (3.3)$$

$E_s$  : Young's modulus of steel (kPa)

$A_s$  : Total anchor cross section ( $m^2$ )

$E_b$  : Young's modulus of grout (kPa)

$A_b$  : Total grout cross section ( $m^2$ )

IV. Initial Model Analysis Results

Firstly, is performed the initial-standard model for sections S1 and S2. Following figures 3 to 11, indicates the results for initial design analysis.

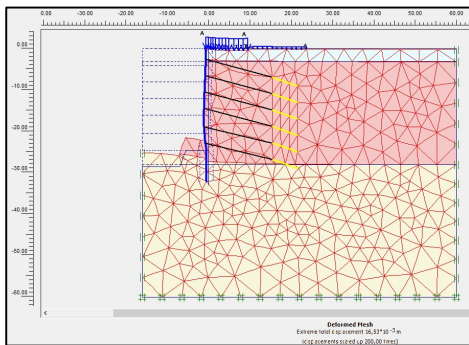


Figure 3: Deformed mesh of model-S1.

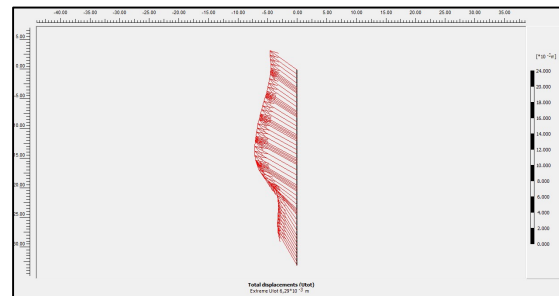


Figure 7: Total displacements of retaining wall- S1

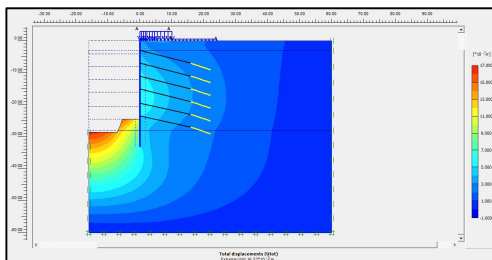


Figure 4: Total displacements for model - S1.

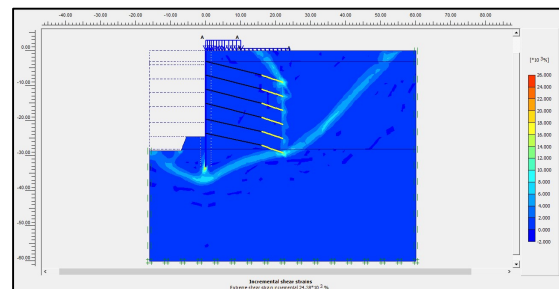


Figure 8: Potential failure surface- S1.

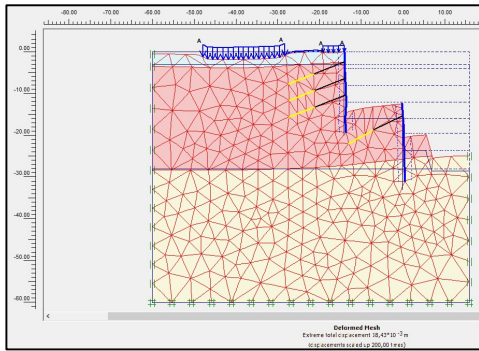


Figure 5: Deformed mesh of model-S2.

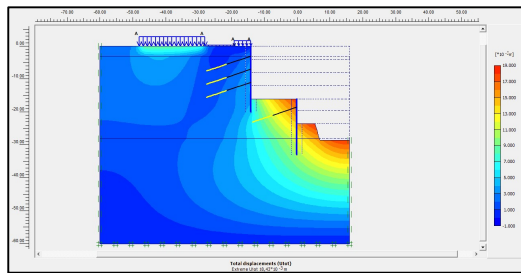


Figure 6: Total displacements for model - S2.

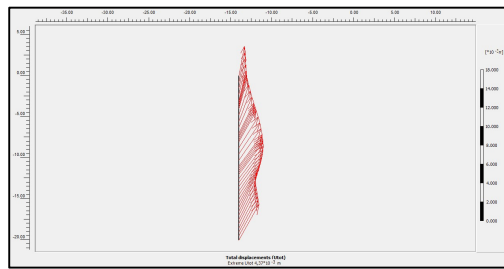


Figure 9: Total displacements of retaining wall (piles  $\varnothing 100$ ) - S2.

## V. Parametric Analysis

There were three different parametric analysis where:

- Parametric Analysis No 1 (S1-1 & S2-1): Differentiation of stratigraphy, where the sandstones - calcareous sandstones is 5 m higher than their initial level.
- Parametric Analysis No 2 (S1-2 & S2-2): Change of the retaining walls' geometric characteristics, increasing penetration depth by 3 m for wall simulating piles  $\varnothing 80$  and the pile wall  $\varnothing 100$  by 2 m.
- Parametric Analysis No3 (S1-3 & S2-3): Increase of the pre-stressing force of the anchors by 100 kN from the initial pre-stress.

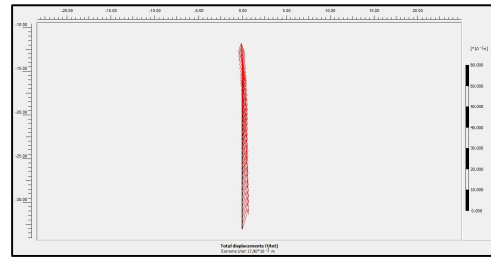


Figure 10: Total displacements of retaining wall (piles  $\varnothing 80$ ) - S2.

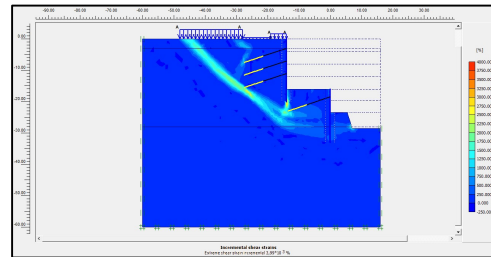


Figure 11: Potential failure surface- S2.

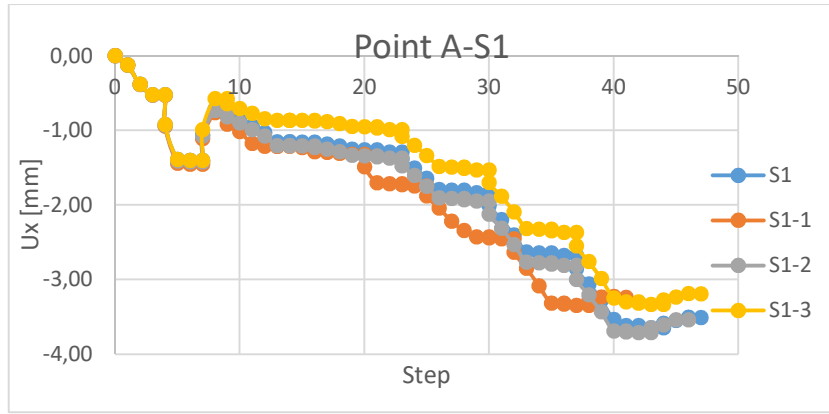


Figure 12: Horizontal displacements for Point A-S1 on top of retaining wall – S1.

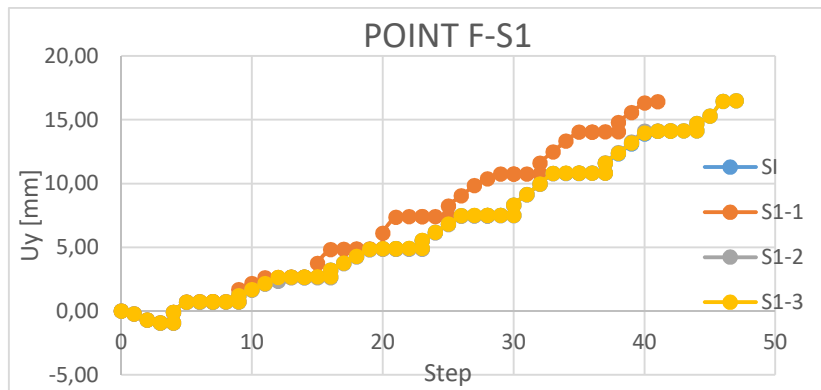


Figure 13: Vertical displacements for Point F-S1 on bottom of excavation' final level – S1.

For both initial and parametric solutions, observation points were selected, the same in each analysis model, with purpose to record their displacements and stresses throughout the duration of the solutions.

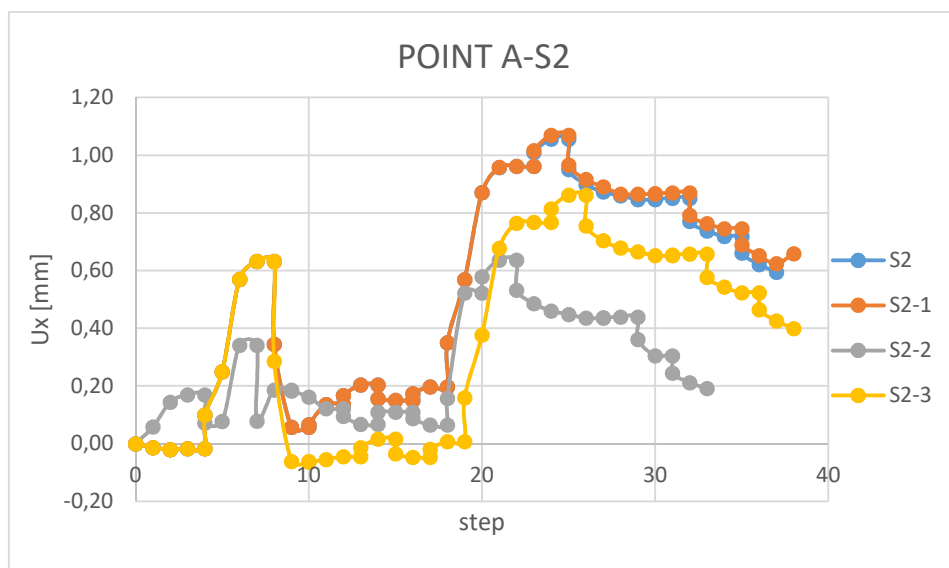


Figure 14: Horizontal displacements for Point A-S2 on top of retaining wall ( $\varnothing 100$ ) – S2.

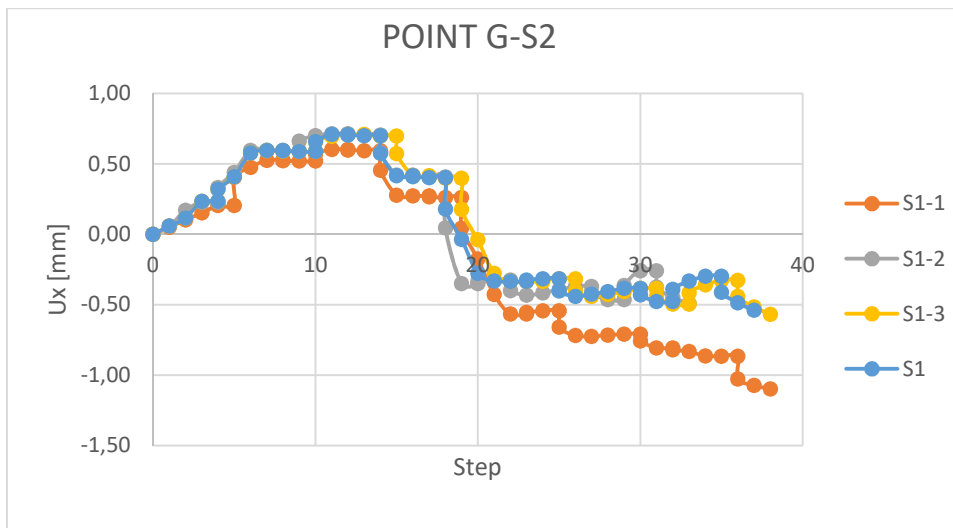


Figure 15: Horizontal displacements for Point A-S2 on top of retaining wail Piles (Ø80) – S2.

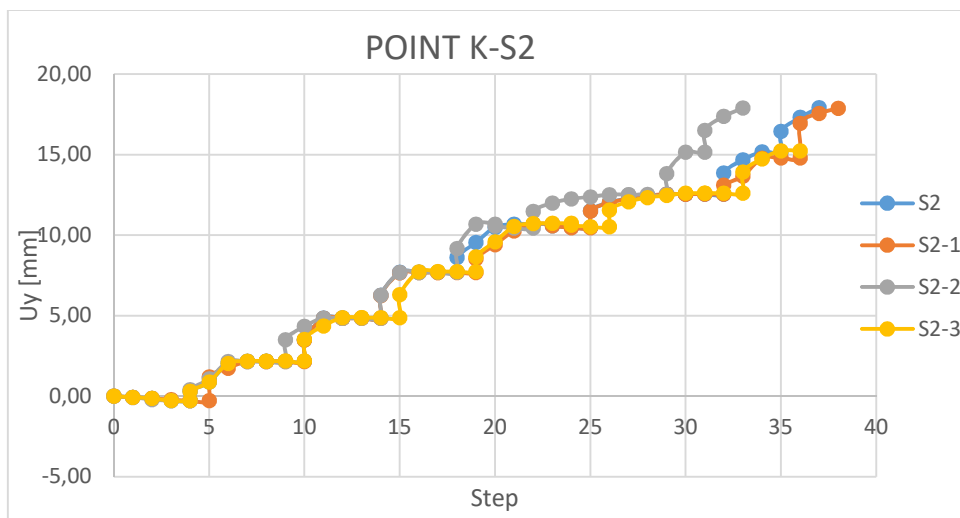


Figure 16: Vertical displacements for Point K-S2 on bottom of excavation' final level – S2.

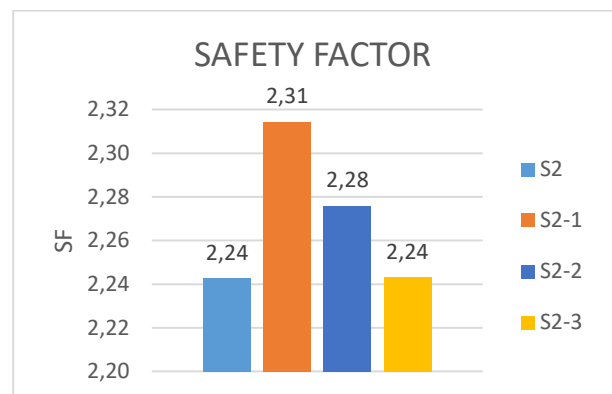
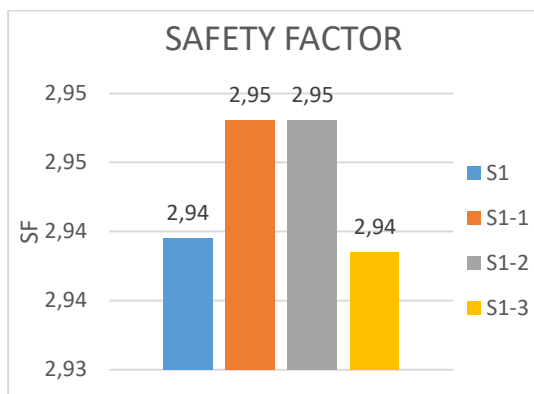


Figure 17: Safety factor for each calculation.

Taking everything into consideration, figures 12 -17, the following conclusions can be drawn:

- The recorded deformations and displacements in parametrical analysis 1, are the minimum in comparison with the other parametric analysis.
- The contribution of the anchorages to the horizontal displacements is quite significant. In particular, with the increase of the pre-stressing of the anchors, there is a decrease of the horizontal displacements for the same observation points in the rest of the analyzes.
- With the increase of the penetration length of the piles, it is observed that the raises at the bottom of the respective excavations decrease.

In conclusion, figure 18, reveals total displacements for the three parametric analysis of southwestern and northwestern part of excavation.

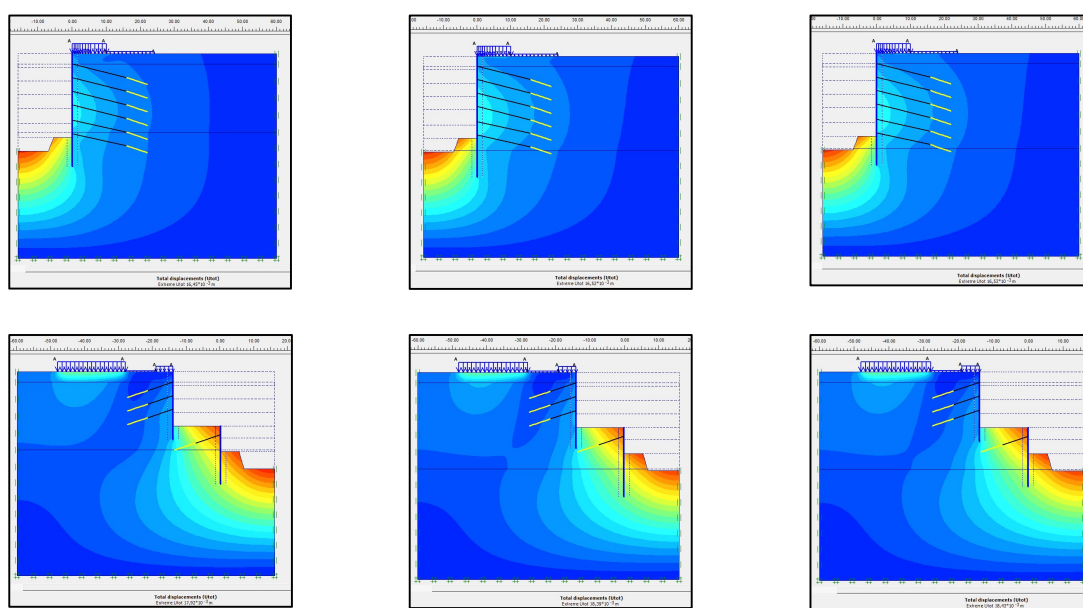


Figure 18: Total displacement for parametrical analysis 1 to 3 for both sections S1 & S2.

#### Reference

- Αττικό Μετρό (2013). Επέκταση Γραμμής 3 Τμήμα “ΧΑΪΔΑΡΙ-ΠΕΙΡΑΙΑΣ”, Σταθμός Δημοτικό Θέατρο – Έκθεση Γεωτεχνικής Αξιολόγησης Παραμέτρων Σχεδιασμού.
- Αττικό Μετρό (2013). Επέκταση Γραμμής 3 Τμήμα “ΧΑΪΔΑΡΙ-ΠΕΙΡΑΙΑΣ”, Σταθμός Δημοτικό Θέατρο – Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση.
- Αγιουτάντης Ζ. & Μερτίκας Π. (2003). Ένας πρακτικός οδηγός για τη Συγγραφή Τεχνικών Κειμένων, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΙΩΝ, Χανιά.



- Μουντράκης Μ. (2010). Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη Της Ελλάδας, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Σοφιανός Α. (2018). Υποστήριξη Υπόγειων Έργων, Ε.Μ.Π. Αθήνα.
- Τσαντάκης Ε. (2016). Μεταπτυχιακή Διατριβή - Συγκριτικές 2D και 3D αναλύσεις τεμνόμενων διαφραγματικών τοίχων με πεπερασμένα στοιχεία. Επιλύσεις με δεδομένα από το σταθμό Περιστερίου του Μετρό Αθήνας, Ε.Μ.Π. Αθήνα.
- Brinkgreve, R.B.J. (2002): PLAXIS 2D – Version 8 manual, Delft University of Technology & PLAXIS b.v., The Netherlands.
- <https://www.ametro.gr/>

# ΠΕΡΙΟΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	5
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	6
ΠΕΡΙΟΧΟΜΕΝΑ.....	8
<i>Κατάλογος Εικόνων</i> .....	10
<i>Κατάλογος Πινάκων</i> .....	13
<i>Κατάλογος Διαγραμμάτων</i> .....	15
<b>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	16
1.1 Η «ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.».....	16
1.2 Η πρόοδος της κατασκευής των γραμμών του μετρό σήμερα.....	17
1.3 Επέκταση Γραμμής 3 του Μετρό Αττικής.....	18
1.4 Το Έργο - Σταθμός Μετρό «Δημοτικό Θέατρο Πειραιά».....	19
<b>2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ-ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ-ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ Μετρό «Δημοτικό Θέατρο Πειραιά»</b> .....	21
2.1 Γεωλογικά Στοιχεία.....	21
2.1.1 Υδρογεωλογικά Στοιχεία.....	22
2.1.2 Γεωτεχνικά Στοιχεία.....	23
<b>3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ Μετρό «Δημοτικό Θέατρο Πειραιά»</b> .....	26
3.1 Εκσκαφή και Σχεδιασμός Προσωρινής Υποστήριξης.....	26
3.2 Κατασκευαστικές φάσεις.....	30
<b>4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΕ ΤΟΝ ΚΩΔΙΚΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ PLAXIS 2D</b> .....	33
4.1 Εισαγωγή στο λογισμικό PLAXIS.....	33
4.2 Πεπερασμένα Στοιχεία – Έδαφος.....	34
4.2.1 Καταστατικά Μοντέλα Επίλυσης.....	35
4.2.2 Μοντέλο Mohr – Coulomb.....	36
4.3 Δομικά Στοιχεία.....	37
4.3.1 Πλάκες.....	37
4.3.2 Αγκύρια – Ελεύθερο Τμήμα.....	38
4.3.3 Αγκύρια – Πακτωμένο Τμήμα.....	38
4.4 Στοιχεία διεπιφάνειας.....	39
4.5 Επίλυση Αναφοράς για τις τομές S1 και S2.....	39
4.5.1 Εισαγωγή Δεδομένων.....	39

4.5.2	Γεωμετρία Μοντέλου.....	42
4.5.3	Παράμετροι Σχεδιασμού .....	43
4.5.4	Εφαρμογή Φορτίων Σχεδιασμού.....	55
4.5.5	Διακριτοποίηση μοντέλου .....	58
4.5.6	Αρχικές Συνθήκες.....	59
4.5.7	Εκτέλεση Υπολογισμών.....	59
4.5.8	Εξαγωγή Αποτελεσμάτων .....	63
<b>5</b>	<b>ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ .....</b>	<b>72</b>
5.1	Περιγραφή Παραμετρικών Αναλύσεων.....	72
5.1.1	Παραμετρική Ανάλυση No 1 – Τομή S1-1 .....	76
5.1.2	Παραμετρική Ανάλυση No 1 – Τομή S2-1 .....	81
5.1.3	Παραμετρική Ανάλυση No 2 – Τομή S1-2 .....	85
5.1.4	Παραμετρική Ανάλυση No 2 – Τομή S2-2 .....	89
5.1.5	Παραμετρική Ανάλυση No 3 – Τομή S1-3 .....	91
5.1.6	Παραμετρική Ανάλυση No 3 – Τομή S2-3 .....	94
<b>6</b>	<b>ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ .....</b>	<b>96</b>
6.1	Σύγκριση Αποτελεσμάτων Νοτιοδυτικό Τμήμα S1.....	96
6.2	Σύγκριση Αποτελεσμάτων Βορειοδυτικό Τμήμα S2.....	103
<b>7</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>113</b>
	<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>115</b>
	Παράρτημα Α – Νοτιοδυτικό Τμήμα Εκσκαφής S1 .....	117
	Παράρτημα Β – Βορειοδυτικό Τμήμα Εκσκαφής S2 .....	140

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1:Χάρτης με τις Γραμμές 1,2 και 3 του Μετρό της Αθήνας ( Χάρτης Μετρό Αθήνας, Ιούλιος 2013).....	19
Εικόνα 2: Σκίτσο σταθμού Δημοτικό Θέατρο (Αττικό μετρό). ....	20
Εικόνα 3: Ελληνικές γεωτεκτονικές ζώνες. Rh: Μάζα της Ροδόπη, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιοδοπική μάζα, (Pe : Υποζώνη Παιονίας , Pa: Υποζώνη Πάικου, Al: Υποζώνη Αλμωπίας)= Ζώνη Αξιού,Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικό-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας,P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόρου-Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα <<Πλακώδεις ασβεστόλιθοι –Ταλέα όρη>> πιθανόν της Ιονίου ζώνης. (Μουντράκης,2010). ....	22
Εικόνα 4: Κάτοψη σταθμού – Τομή 1-1 περιοχή μελέτης .....	27
Εικόνα 5: Γεωμετρία προσωρινής υποστήριξης νοτιοδυτικού τμήματος εκσκαφής (S1). ....	28
Εικόνα 6: Γεωμετρία προσωρινής υποστήριξης βορειοδυτικού τμήματος εκσκαφής (ανασταθμός) (S2). ....	29
Εικόνα 7: Κατασκευαστική λεπτομέρεια αγκυρίων.....	29
Εικόνα 9:Σύστημα συντεταγμένων και υπόδειξη των θετικών συνιστωσών των τάσεων. ....	33
Εικόνα 10: Παράδειγμα μοντέλου επίπεδης παραμόρφωσης (αριστερά) και αξονοσυμμετρικού (δεξιά). (PLAXIS Manual) .....	34
Εικόνα 11:Διάταξη κόμβων και τάσεων σε 6-κομβικά και 15-κομβικά στοιχεία. ....	35
Εικόνα 12: Διάγραμμα τάσης παραμορφώσεως τέλεια ελαστικό-πλαστικού μοντέλου. (PLAXIS manual).....	36
Εικόνα 13: Κύκλοι κύριων τάσεων, Κριτήριο Mohr – Coulomb. (PLAXIS manual).....	37
Εικόνα 14: Παραδείγματα εφαρμογών πλάκας. (PLAXIS manual).....	37
Εικόνα 15: Εφαρμογή της επιλογής geogrid στο PLAXIS.....	38
Εικόνα 16: Γενικές ρυθμίσεις για την τομή S1. ....	40
Εικόνα 17: Καθορισμός Γεωμετρικών διαστάσεων-Τομή S1. ....	40
Εικόνα 18: Γενικές ρυθμίσεις για την τομή S2. ....	41
Εικόνα 19: Καθορισμός Γεωμετρικών διαστάσεων-Τομή S2. ....	41
Εικόνα 20: Καθορισμός γεωτεχνικών παραμέτρων τεχνικογεωλογική ενότητα (Α). ....	44
Εικόνα 21: Καθορισμός γεωτεχνικών παραμέτρων τεχνικογεωλογική ενότητα (Β). ....	44
Εικόνα 22: Καθορισμός γεωτεχνικών παραμέτρων τεχνικογεωλογική ενότητα (Γ).....	44
Εικόνα 23:Καθορισμός στοιχείων διεπιφανειών. ....	45
Εικόνα 24: Καθορισμός παραμέτρων πασσαλότοιχου – Τομή S1. ....	46
Εικόνα 25: Καθορισμός παραμέτρων πασσαλότοιχου – Τομή S2. ....	46
Εικόνα 26: Καθορισμός παραμέτρων πασσαλότοιχου ανασταθμού – Τομή S2. ....	47
Εικόνα 27: Καθορισμός ιδιοτήτων ελεύθερου μήκους αγκυρίων. (Τομή S2) .....	50

Εικόνα 28: Καθορισμός ιδιοτήτων πακτωμένου τμήματος αγκυρίων. (Τομή S2) .....	50
Εικόνα 29: Καθορισμός ιδιοτήτων ελεύθερου μήκους αγκυρίων. (Τομή S1) .....	50
Εικόνα 30: Καθορισμός ιδιοτήτων πακτωμένου τμήματος αγκυρίων. (Τομή S1) .....	51
Εικόνα 31: Εφαρμογή εργοταξιακού φορτίου- Τομή S1.....	55
Εικόνα 32: Εφαρμογή γενικού φορτίου κυκλοφορίας- Τομή S1. ....	55
Εικόνα 33: Γεωμετρία μοντέλου –Τομή S1. ....	56
Εικόνα 34: Εφαρμογή εργοταξιακού φορτίου- Τομή S2.....	56
Εικόνα 35: Εφαρμογή γενικού φορτίου κυκλοφορίας- Τομή S2. ....	57
Εικόνα 36: Εφαρμογή φορτίου υφιστάμενης πολυκατοικίας- Τομή S2.....	57
Εικόνα 37: Γεωμετρία μοντέλου –Τομή S2. ....	57
Εικόνα 38: Διακριτοποίηση μοντέλου – Τομή S1.....	58
Εικόνα 39: Διακριτοποίηση μοντέλου – Τομή S2.....	59
Εικόνα 40: Ορισμός Προέντασης αγκυρίου-Τομή S1.....	63
Εικόνα 41: Παραμορφωμένο μοντέλο - Τομή S1.....	63
Εικόνα 42: Παραμορφωμένο μοντέλο - Τομή S2.....	64
Εικόνα 43: Οριζόντιες μετακινήσεις επίλυσης αναφοράς – Τομή S1.....	64
Εικόνα 44: Κατακόρυφες μετακινήσεις επίλυσης αναφοράς – Τομή S1.....	65
Εικόνα 45: Οριζόντιες μετακινήσεις επίλυσης αναφοράς – Τομή S2.....	65
Εικόνα 46: Κατακόρυφες μετακινήσεις επίλυσης αναφοράς – Τομή S2.....	66
Εικόνα 47: Συνολικές μετακινήσεις πασσαλότοιχου περιμετρικής εκσκαφής - S2.....	66
Εικόνα 48: Συνολικές μετακινήσεις πασσαλότοιχου ανασταθμού - S2.....	66
Εικόνα 49: Συνολικές μετακινήσεις πασσαλότοιχου περιμετρικής εκσκαφής – S1.....	67
Εικόνα 50: Μέγιστες διατμητικές, αξονικές δυνάμεις και καμπικές ροπές πασσαλότοιχου περιμετρικής εκσκαφής – S1.....	68
Εικόνα 51: Μέγιστες διατμητικές, αξονικές δυνάμεις και καμπικές ροπές πασσαλότοιχου περιμετρικής εκσκαφής – S2.....	69
Εικόνα 52: Μέγιστες διατμητικές, αξονικές δυνάμεις και καμπικές ροπές πασσαλότοιχου ανασταθμού – S2. ....	69
Εικόνα 53: Δυνητική επιφάνεια αστοχίας – Τομή S1.....	70
Εικόνα 54: Δυνητική επιφάνεια αστοχίας – Τομή S2.....	70
Εικόνα 55: Πληροφορίες υπολογισμού επίλυσης -Τομή S1. ....	71
Εικόνα 56: Πληροφορίες υπολογισμού επίλυσης -Τομή S2. ....	71
Εικόνα 57: Σημεία Παρατήρησης Τομή S1.....	74
Εικόνα 58: Σημεία Παρατήρησης Τομή S2.....	75
Εικόνα 59: Γεωμετρία μοντέλου - Τομή S1-1.....	76
Εικόνα 60: Παραμόρφωση Πλέγματος διακριτοποίησης -Τομή S1-1.....	77

Εικόνα 61: Συλονικές μετακινήσεις-Τομή S1-1. ....	78
Εικόνα 62: Οριζόντιες μετακινήσεις-Τομή S1-1. ....	78
Εικόνα 63: Κατακόρυφες μετακινήσεις-Τομή S1-1. ....	79
Εικόνα 64: Σημεία πλαστικής παραμόρφωσης- Τομή S1-1. ....	79
Εικόνα 65: Πληροφορίες υπολογισμού Τομή S1.1 ....	81
Εικόνα 66: Γεωμετρία μοντέλου - Τομή S2-1. ....	82
Εικόνα 67: Συλονικές μετακινήσεις-Τομή S2-1. ....	82
Εικόνα 68: Οριζόντιες μετακινήσεις-Τομή S2-1. ....	83
Εικόνα 69: Κατακόρυφες μετακινήσεις-Τομή S2-1. ....	84
Εικόνα 70: Στάθμη εκσκαφής όπου το σημείο παρατήρησης στην στέψη του πασσάλου του ανασταθμού εμφανίζει τη μέγιστη οριζόντια μετακίνησης S2-1. ....	84
Εικόνα 71: Πληροφορίες υπολογισμού – Τομή S2-1. ....	85
Εικόνα 72: Συλονικές μετακινήσεις-Τομή S1-2. ....	86
Εικόνα 73: Οριζόντιες μετακινήσεις-Τομή S1-2. ....	86
Εικόνα 74: Κατακόρυφες μετακινήσεις-Τομή S1-2. ....	88
Εικόνα 75: Συντελεστής Ασφαλείας συναρτήση των βημάτων επίλυσης, ....	88
Εικόνα 76: Γεωμετρία μοντέλου - Τομή S2-2. ....	90
Εικόνα 77: Συνολικές μετακινήσεις - Τομή S2-2. ....	91
Εικόνα 78: Μέγιστες διατμητικές τάσεις - Τομή S2-2. ....	91
Εικόνα 79: Παραμόρφωση Πλέγματος διακριτοποίησης -Τομή S1-3. ....	92
Εικόνα 80: Αξονικές Παραμορφώσεις-Τομή S1-3. ....	92
Εικόνα 81: Δυνητική επιφάνεια αστοχίας-Τομή S1-3. ....	93
Εικόνα 82: Αξονικές Παραμορφώσεις - Τομή S2-3. ....	95
Εικόνα 83: Ανάπτυξη πλαστικών παραμορφώσεων - Τομή S2-3. ....	95

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Γεωτεχνικοί Παράμετροι Σχεδιασμού – Τεχνικογεωλογική ενότητα (Α) .24	
Πίνακας 2: Γεωτεχνικοί Παράμετροι Σχεδιασμού – Τεχνικογεωλογική ενότητα (Β) .25	
Πίνακας 3: Γεωτεχνικοί Παράμετροι Σχεδιασμού – Τεχνικογεωλογική ενότητα (Γ) .25	
Πίνακας 4: Πάσσαλοι στην Περίμετρο του Ορύγματος .....31	
Πίνακας 5: Πάσσαλοι Ανασταθμού .....31	
Πίνακας 6: Προεντεταμένα Αγκύρια - Τομή S1 .....31	
Πίνακας 7: Προεντεταμένα Αγκύρια - Τομή S2 .....32	
Πίνακας 8: Στρωματογραφία εδάφους για τις τομές S1 & S2.....42	
Πίνακας 9: Στάθμες αγκυρίων – Τομή S1 .....42	
Πίνακας 10: Στάθμες αγκυρίων – Τομή S2. ....43	
Πίνακας 11: Στάθμες αγκυρίων ανασταθμού– Τομή S2. ....43	
Πίνακας 12: Παρουσίαση Παραμέτρων για τους Πασσάλους του περιγράμματος και του ανασταθμού. ....48	
Πίνακας 13: Παρουσίαση υπολογισμών για τη δυστένεια του ελεύθερου τμήματος των αγκυρίων, Τομή S1.....52	
Πίνακας 14: Παρουσίαση υπολογισμών για τη δυστένεια του πακτωμένου τμήματος των αγκυρίων, Τομή S1.....52	
Πίνακας 15: Συνολική Δυστένεια αγκυρίων - Τομή S1.....53	
Πίνακας 16: Παρουσίαση υπολογισμών για τη δυστένεια του ελεύθερου τμήματος των αγκυρίων, Τομή S2.....53	
Πίνακας 17: Παρουσίαση υπολογισμών για τη δυστένεια του πακτωμένου τμήματος των αγκυρίων, Τομή S2.....53	
Πίνακας 18: Συνολική Δυστένεια αγκυρίων - Τομή S2.....54	
Πίνακας 19: Παρουσίαση υπολογισμών για τη δυστένεια του ελεύθερου τμήματος των αγκυρίων στον ανασταθμό, Τομή S2.....54	
Πίνακας 20: Παρουσίαση υπολογισμών για τη δυστένεια του πακτωμένου τμήματος των αγκυρίων στον ανασταθμό, Τομή S2.....54	
Πίνακας 21: Πίνακας 22: Συνολική Δυστένεια αγκυρίων - Τομή S2 .....54	
Πίνακας 23: Φάσεις υπολογισμού – Τομή S1 .....60	
Πίνακας 24: Φάσεις υπολογισμού – Τομή S2 .....61	
Πίνακας 25: Αποτελέσματα υπολογισμών πασσαλότοιχων .....67	
Πίνακας 26: Κωδικοποίηση Παραμετρικών Αναλύσεων .....73	
Πίνακας 27: Σημεία Παρατήρησης Τομή S1 .....73	

Πίνακας 28: Σημεία Παρατήρησης Τομή S1 .....	75
Πίνακας 29: Παρουσίαση αποτελεσμάτων -Τομή S1-1.....	77
Πίνακας 30: Αποτελέσματα μετακινήσεων Τομή S2-1.....	81
Πίνακας 31: Παρουσίαση αποτελεσμάτων -Τομή S2-1.....	83
Πίνακας 32: Αποτελέσματα μετακινήσεων Τομή S1-2.....	85
Πίνακας 33: Αποτελέσματα υπολογισμών πασσαλότοιχου- Τομή S1-2.....	87
Πίνακας 34: Παρουσίαση αποτελεσμάτων -Τομή S1-2.....	87
Πίνακας 35: Παρουσίαση αποτελεσμάτων Τομή S2-2.....	89
Πίνακας 36: Παρουσίαση αποτελεσμάτων -Τομή S1-3.....	93
Πίνακας 37: Παρουσίαση αποτελεσμάτων Τομή S2-3.....	94
Πίνακας 38: Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις για το σημείο A-S1.....	97
Πίνακας 39: Μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις για το σημείο F-S1.....	98
Πίνακας 40: Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις για το σημείο I-S1.....	100
Πίνακας 41: Μέγιστες διατμητικές τάσεις για το σημείο H-S1.....	100
Πίνακας 42: Μέγιστες καθιζήσεις για το σημείο M-S1.....	101
Πίνακας 43: Μέγιστες καθιζήσεις για το σημείο M-S1.....	102
Πίνακας 44: Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις για το σημείο A-S2.....	104
Πίνακας 45: Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις για το σημείο G-S2.....	105
Πίνακας 46: Μέγιστες ανυψώσεις πυθμένα για το σημείο E-S2.....	106
Πίνακας 47: Μέγιστες ανυψώσεις πυθμένα για το σημείο E-S2.....	107
Πίνακας 48: Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις για το σημείο L-S2.....	108
Πίνακας 49: Μέγιστες διατμητικές τάσεις για το σημείο D-S2.....	109
Πίνακας 50: Μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις για το σημείο O-S2.....	110
Πίνακας 51: Μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις για το σημείο P-S2.....	111



### Κατάλογος Διαγραμμμάτων

Διάγραμμα 1: Οριζόντιες μετακινήσεις στο μέσον της πασσαλοτοιχίας Τομή S1-1.	80
Διάγραμμα 2: Κατακόρυφες μετακινήσεις επιφανειακού σημείου που απέχει 5 m από την εκσκαφή - Τομή S1-1.....	80
Διάγραμμα 3: Σύγκριση Οριζόντιων μετακινήσεων για το σημείο A-S1.....	96
Διάγραμμα 4: Σύγκριση κατακόρυφων μετακινήσεων για το σημείο F-S1. ....	98
Διάγραμμα 5: Σύγκριση Οριζόντιων μετακινήσεων για το σημείο I-S1. ....	99
Διάγραμμα 6: Μέγιστες διατμητικές τάσεις για το σημείο H-S1. ....	100
Διάγραμμα 7: Σύγκριση κατακόρυφων μετακινήσεων για το σημείο M-S1.....	101
Διάγραμμα 8: Σύγκριση κατακόρυφων μετακινήσεων για το σημείο N-S1.....	102
Διάγραμμα 9: Σύγκριση συντελεστών ασφαλείας για κάθε επίλυση- S1.....	103
Διάγραμμα 10: Σύγκριση Οριζόντιων μετακινήσεων για το σημείο A-S2.....	104
Διάγραμμα 11: Σύγκριση Οριζόντιων μετακινήσεων για το σημείο G-S2. ....	105
Διάγραμμα 12: Σύγκριση κατακόρυφων μετακινήσεων για το σημείο E-S2. ....	106
Διάγραμμα 13: Σύγκριση κατακόρυφων μετακινήσεων για το σημείο K-S2. ....	107
Διάγραμμα 14: Σύγκριση Οριζόντιων μετακινήσεων για το σημείο L-S2. ....	108
Διάγραμμα 15: Μέγιστες διατμητικές τάσεις για το σημείο D-S2 .....	109
Διάγραμμα 16: Σύγκριση κατακόρυφων μετακινήσεων για το σημείο O-S2. ....	110
Διάγραμμα 17: Σύγκριση κατακόρυφων μετακινήσεων για το σημείο P-S2. ....	111
Διάγραμμα 18: Σύγκριση συντελεστών ασφαλείας για κάθε επίλυση- S2.....	112

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο 1 παρατίθενται πληροφορίες αναφορικά με την εταιρεία «ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.», το Έργο Επέκταση Γραμμής 3 καθώς και τον σταθμό «Δημοτικό Θέατρο» που χρησιμοποιείται ως παράδειγμα για τις αναλύσεις της παρούσας διατριβής.

### 1.1 Η «ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.»

Η «ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.» είναι μια σύγχρονη εταιρεία δημοσίου συμφέροντος, καταρτισμένη με επιστημονικό προσωπικό, η οποία ασχολείται με την ανάπτυξη του δικτύου του Μετρό της Αθήνας.

Οι δύο Γραμμές του Μετρό της Αθήνας, που βρίσκονται σήμερα σε λειτουργία έχουν συνολικό μήκος περίπου 59,7 χλμ., εκ των οποίων τα 20,7 χλμ. αναλογούν στον προαστιακό από τον σταθμό «ΔΟΥΚΙΣΣΗΣ ΠΛΑΚΕΝΤΙΑΣ» έως το «ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ», ενώ το πλήθος των αντίστοιχων σταθμών ισούται με 40.

Η συμβολή του Μετρό είναι ιδιαίτερα σημαντική στη σύνθεση ενός σύγχρονου συγκοινωνιακού δικτύου και στην αναβάθμιση της ποιότητας ζωής στο λεκανοπέδιο, μαζί με τα υπόλοιπα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς. Παρέχει άνεση, ταχύτητα και αξιοπιστία στους επιβάτες που εξυπηρετεί.

Επιπρόσθετα, κατά την κατασκευή του Μετρό της Αθήνας, πραγματοποιήθηκε η μεγαλύτερη αρχαιολογική ανασκαφή στην Αθήνα (79.000 τ.μ.) όπου πάνω από 50.000 αρχαιολογικά ευρήματα αποκαλύφθηκαν από την νεολιθική περίοδο έως την σύγχρονη εποχή.

Τέλος, η «ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.» συνεχίζει την υλοποίηση νέων επεκτάσεων του δικτύου της. Το Μάρτιο του 2012 υπογράφηκε η σύμβαση με τον ανάδοχο για την περαιτέρω επέκταση της Γραμμής 3 από την Αγία Μαρίνα μέχρι τον Πειραιά (7,6 χλμ., 6 σταθμοί), προκειμένου ο Δήμος Πειραιά να αποκτήσει 3 Σταθμούς Μετρό και να συνδεθεί με το Αεροδρόμιο. Ταυτόχρονα, προβλέπεται και η κατασκευή μιας νέας Γραμμής Μετρό, η οποία πρόκειται να έχει σημαντική επιρροή στο συγκοινωνιακό χάρτη της Αθήνας. ([www.ametro.gr](http://www.ametro.gr) , 22/01/2022)

## 1.2 Η πρόοδος της κατασκευής των γραμμών του μετρό σήμερα

Στην παρούσα παράγραφο γίνεται αναφορά στην πρόοδο της κατασκευής των γραμμών του μετρό έως και σήμερα. Τα έργα του μετρό που εκτελούνται με εντατικούς ρυθμούς στην Ελλάδα τη δεδομένη χρονική στιγμή.

Η Επέκταση της Γραμμής 3 του Μετρό «Αγία Μαρίνα-Πειραιάς», η οποία βρίσκεται σε προχωρημένη φάση κατασκευής, περιλαμβάνει σήραγγα μήκους 7,6 χλμ., τους 6 νέους σύγχρονους σταθμούς που αναφέρονται στην επόμενη ενότητα (1.3), καθώς και επτά ενδιάμεσα φρέατα εξαερισμού.

Πρόκειται για μια επένδυση ύψους 730.000.000 ευρώ σε περιοχές του Δήμου Πειραιά και των Δήμων της ευρύτερης περιοχής (Νίκαια, Κορυδαλλός, Αγ. Βαρβάρα) που σήμερα έχουν έντονα προβλήματα κυκλοφορίας και χαμηλό επίπεδο εξυπηρέτησης από τα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς.

Την 6<sup>η</sup> Ιουλίου του 2020 παραδόθηκαν στο επιβατικό κοινό οι 3 πρώτοι σταθμοί Αγία Βαρβάρα, Κορυδαλλός και Νίκαια, όπου η παράδοση τους έχει συνδράμει τόσο κοινωνικά-οικονομικά για το κράτος όσο και σε κυκλοφοριακά και περιβαλλοντικά ζητήματα.

Με την έναρξη λειτουργίας και των υπολοίπων σταθμών της επέκτασης της Γραμμής 3, ήτοι Μανιάτικα, Πειραιάς και Δημοτικό Θέατρο, προβλέπεται αύξηση της συνολικής επιβατικής κίνησης στο δίκτυο του Μετρό, ενώ ταυτόχρονα μείωση της κυκλοφορίας των Ι.Χ. οχημάτων καθώς και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Επιπρόσθετα, η σύνδεση που θα προκύψει μεταξύ του Λιμανιού του Πειραιά και του Αεροδρομίου «Ελευθέριος Βενιζέλος» μέσω της Γραμμής 3 του Μετρό, θα προσδώσει ιδιαίτερα αναπτυξιακά οφέλη τόσο στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας και του Πειραιά, όσο και στην Εθνική Οικονομία γενικότερα. ([www.ametro.gr](http://www.ametro.gr) , 22/01/2022)

### 1.3 Επέκταση Γραμμής 3 του Μετρό Αττικής

Ο σταθμός « Δημοτικό Θέατρο Πειραιά » ανήκει σε έναν από τους σταθμούς της επέκτασης της Γραμμής 3 του Μετρό Αττικής « Αγία Μαρίνα – Πειραιάς ». Η επέκταση εμπεριέχει έξι (6) νέους σταθμούς, σήραγγα συνολικού μήκους επτά χιλιάδων εξακοσίων μέτρων (7,6 χλμ.) όπως και επτά (7) ενδιάμεσα φρέατα εξαερισμού. Πιο συγκεκριμένα η Γραμμή 3 θα έχει πλέον και τους εξής σταθμούς ([www.ametro.gr](http://www.ametro.gr) , 22/01/2022):

- Αγία Βαρβάρα
- Κορυδαλλός
- Νίκαια
- Μανιάτικα
- Πειραιάς
- Δημοτικό Θέατρο ([www.ametro.gr](http://www.ametro.gr) , 22/01/2022)

Η παραπάνω επένδυση πρόκειται να βελτιώσει σε σημαντικό βαθμό τα έντονα κυκλοφοριακά προβλήματα τα οποία επικρατούν στους Δήμους της ευρύτερης περιοχής (Πειραιάς, Κορυδαλλός, Αγία Βαρβάρα), καθώς στους εν λόγω Δήμους παρουσιάζεται χαμηλό επίπεδο εξυπηρέτησης από τα μέχρι τώρα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς. ([www.ametro.gr](http://www.ametro.gr) , 22/01/2022)

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι ο σταθμός του Πειραιά θα είναι πλέον ένα Συγκοινωνιακό Κέντρο το οποίο συνενώνει τη Γραμμή ένα (1) και τη Γραμμή τρία (3) του Μετρό, το Λιμάνι, τον Προαστιακό Σιδηρόδρομο και την Επέκταση του Τραμ προς Πειραιά της Αθήνας, Εικόνα 1. Εξίσου σημαντικό είναι το γεγονός ότι το Αεροδρόμιο « Ελευθέριος Βενιζέλος » και το Λιμάνι του Πειραιά συνδέονται και διανύονται με το Μετρό σε διάρκεια πενήντα πέντε λεπτών (55), με εξαιρετικά αναπτυξιακά οικονομικά και κοινωνικά οφέλη τόσο στους Δήμους Αθηνών και Πειραιά όσο και σε εθνικό επίπεδο. ([www.ametro.gr](http://www.ametro.gr) , 22/01/2022)



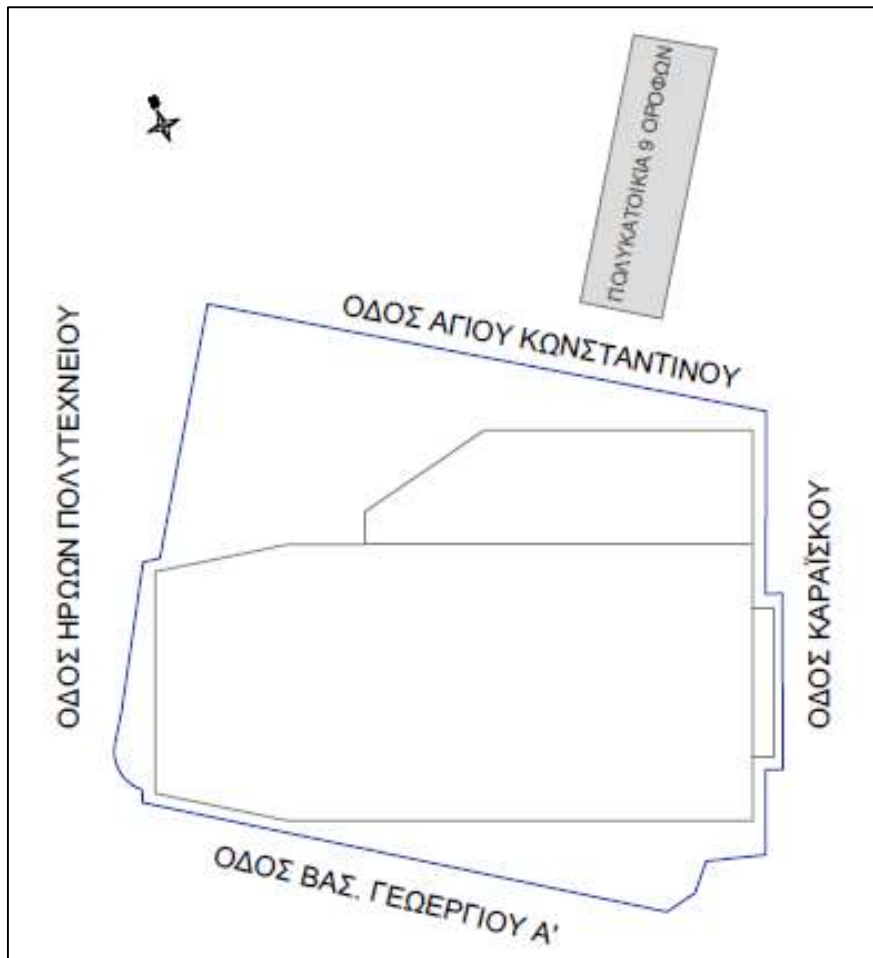
Εικόνα 1:Χάρτης με τις Γραμμές 1,2 και 3 του Μετρό της Αθήνας ( Χάρτης Μετρό Αθήνας, Ιούλιος 2013).

#### 1.4 Το Έργο - Σταθμός Μετρό «Δημοτικό Θέατρο Πειραιά »

Το Έργο σταθμός « Δημοτικό Θέατρο » χωροθετείται κάτω από την πλατεία Δημοτικού θεάτρου και οριοθετείται μεταξύ των οδών Αγ. Κωνσταντίνου, Καραϊσκού, Ηρώων Πολυτεχνείου και τη λεωφόρου Βασ. Γεωργίου, Εικόνα 2. Η περίμετρος της εκσκαφής φαίνεται με γκρι χρώμα ενώ με μπλε διακρίνεται η περίμετρος των εργοταξιακών εγκαταστάσεων.

Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται για την κατασκευή του εν λόγω σταθμού είναι αυτή του ανοικτού ορύγματος (cut & cover) κατά το μεγαλύτερο μέρος του σε συνδυασμό με την συμβατική μέθοδο υπόγειας διάνοιξης. Το τμήμα του ανοικτού ορύγματος έχει μήκος 72,7 m και μεταβλητό πλάτος από 25,5 m έως και 46 m.

Η πρόσβαση στο Σταθμό εξυπηρετείται μέσω τριών εισόδων – εξόδων, οι οποίες είναι από τη Λεωφόρο Ηρώων Πολυτεχνείου, επί της Πλατεία Κοραή και από την οδό Αγίου Κωνσταντίνου. Όπως και το κύριο τμήμα του σταθμού ομοίως κατασκευάζονται και οι προσβάσεις, δηλαδή με τη μέθοδο ανοικτού ορύγματος και της υπόγειας διάνοιξης με συμβατικά μέσα.



Εικόνα 2: Σκίτσο σταθμού Δημοτικό Θέατρο (Αττικό μετρό).

Ακόμα, ο σταθμός διαθέτει δυο φρέατα εκτόνωσης / αερισμού, όπου το πρώτο είναι ενσωματωμένο στο σταθμό και το δεύτερο είναι ανεξάρτητο και βρίσκεται επί του πεζοδρομίου της Λ. Ηρώων Πολυτεχνείου. Αναφορικά με το ανεξάρτητο φρέαρ αερισμού, μήκους περί τα 31 m και διάστασης 13 × 13 m, αυτό συνδέεται με τη σήραγγα TBM μέσω της σήραγγας αερισμού της οποίας η διάνοιξη γίνεται με συμβατικά μέσα.

Τέλος, στον σταθμό υπάρχουν δύο σήραγγες κλιμακοστασίου, οι οποίες χρησιμοποιούνται για να συνδέσουν τα δυο διαφορετικά επίπεδα του σταθμού, το επίπεδο έκδοσης εισιτηρίων με αυτό των αποβάθρων.

## 2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ-ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ-ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ Μετρό «Δημοτικό Θέατρο Πειραιά»

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα γεωλογικά, υδρογεωλογικά στοιχεία καθώς και οι γεωτεχνικές συνθήκες της στενής περιοχής της μελέτης. Αναφέρεται ότι τα δεδομένα που παρουσιάζονται εν συνεχεία αντλούνται από τη γεωτεχνική μελέτη που συντάχθηκε από την « OBERMEYER PLANEN + BERATEN GmbH » στα πλαίσια της κατασκευής της επέκτασης της Γραμμής 3.

### 2.1 Γεωλογικά Στοιχεία

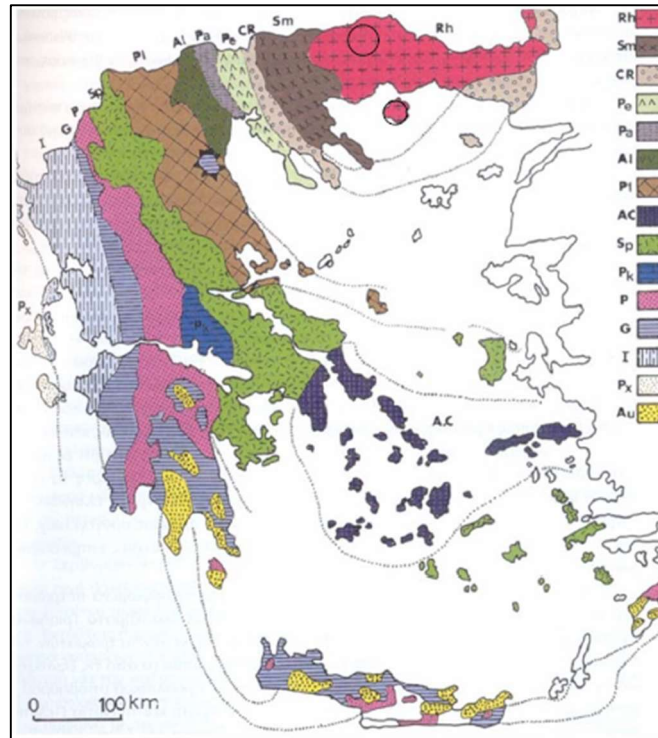
Τα στοιχεία που παρατίθενται σε αυτή την ενότητα αφορούν την περιοχή μελέτης έπειτα από έρευνα που έγινε για τον σχεδιασμό της κατασκευής του έργου καθώς και στοιχεία από τη Γεωλογία της Ελλάδας, δηλαδή τόσο γεωλογικά στοιχεία της ευρύτερης όσο και της στενής περιοχής μελέτης. (OBERMEYER PLANEN + BERATEN GmbH, 2013)

Η γεωτεχνική ζώνη στην οποία ανήκει η περιοχή είναι η υποπελαγονική ή ζώνη ανατολικής Ελλάδας όπως αλλιώς χαρακτηρίζεται, Εικόνα 3. (Μουντράκης, 2010)

Κατά την διερεύνηση της περιοχής ενδιαφέροντος όσο αφορά τα γεωλογικά, γεωτεχνικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της, έγιναν συνολικά 7 δειγματοληπτικές γεωτρήσεις σε διαφορετικά βάθη.

Οι σχηματισμοί που δομούν το υπόβαθρο στη θέση του έργου είναι οι Μάργες του Πειραιά, με επικράτηση των ασβεστιτικών ιλυολίθων, αργιολίθων (μάργες) εντός των οποίων εντοπίζονται μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι αλλά και φακοί κροκαλοπαγών και εν συνεχεία η ενότητα των ψαμμιτών. Επιπλέον συναντώνται τεχνητές αποθέσεις μικρού πάχους επιφανειακά.

Από τα αποτελέσματα των γεωτεχνικών ερευνών, συμπεραίνεται ότι οι Μάργες του Πειραιά αποτελούν σχηματισμό λιθολογικά ανομοιογενή με ανισότροπη κυμαινόμενη κατά θέσεις συμπεριφορά.



Εικόνα 3: Ελληνικές γεωτεκτονικές ζώνες. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιοδοπική μάζα, (Pe : Υποζώνη Παιονίας, Pa: Υποζώνη Πάικου, Al: Υποζώνη Αλμωπίας)= Ζώνη Αξιού, PI: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικό-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόρου-Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Pk: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα <<Πλακώδεις ασβεστόλιθοι –Ταλέα όρη>> πιθανόν της Ιονίου ζώνης. (Μουντράκης, 2010).

Κατά την εκπόνηση της γεωτεχνικής μελέτης λαμβάνονται επί τόπου δείγματα προκειμένου να γίνουν οι αντίστοιχες εργαστηριακές δοκιμές, τα δείγματα αυτά κατά κύριο λόγο αποτελούνται από ασβεστιτικούς αργιλόλιθους και ιλυόλιθους, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και κροκαλοπαγή με ψαμμίτες. Διαπιστώθηκε ότι οι παραπάνω σχηματισμοί κατά θέσεις είναι ομοιογενείς και κατά θέσεις σε εναλλαγές και ενστρώσεις. Ως εκ τούτου, τα δείγματα δεν παρουσιάζουν ομοιογένεια καθώς παρατηρούνται ασυνέχειες, διακλάσεις και ενστρώσεις, με αποτέλεσμα να καθιστούν δύσκολη την πραγμάτωση των εργαστηριακών δοκιμών.

### 2.1.1 Υδρογεωλογικά Στοιχεία

Η στάθμη των υπόγειων υδάτων στον σταθμό εμφανίζεται να είναι σταθερή μέσα στους χρόνους, έπειτα από τις μετρήσεις που καταγράφονται από τα εγκαταστημένα πιεζόμετρα των ερευνητικών γεωτρήσεων.



Αναφορικά με την διαπερατότητα των γεωτεχνικών σχηματισμών, στις μάργες του Πειραιά οι κλαστικοί ιζηματογενείς σχηματισμοί που συμμετέχουν, ήτοι αργιλόλιθοι, ιλιόλιθοι, ψαμμίτες, παρουσιάζουν χαμηλή διαπερατότητα και μάλιστα της ίδιας τάξης μεγέθους, με εξαίρεση την διαπερατότητα των φακών κροκαλοπαγών που εντοπίστηκαν σε μια μόνο γεώτρηση.

Δεδομένου ότι οι σχηματισμοί που συναντώνται χαρακτηρίζονται σχηματισμοί χαμηλής διαπερατότητας ως επί το πλείστον, επιλέχθηκε ενιαία τιμή διαπερατότητας για τον σχεδιασμό.

Η παρουσία υπόγειων υδάτων στην εν λόγω ενότητα σχηματισμών φαίνεται να αποτελεί υδροφορέα χαμηλού ενδιαφέροντος. Για τους συγκεκριμένους σχηματισμούς αναμένεται η ανάπτυξη χαμηλού δυναμικού υδροφόρου ορίζοντα, που ακολουθεί γενικά το μορφολογικό ανάγλυφο.

#### 2.1.2 Γεωτεχνικά Στοιχεία

Λαμβάνοντας υπόψη τις ερευνητικές γεωτρήσεις καθώς και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών δοκιμών που εκτελέστηκαν, προσδιορίστηκαν τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των εκάστοτε γεωτεχνικών σχηματισμών.

Στη συνέχεια, οι σχηματισμοί ομαδοποιούνται με βάση την προέλευση τους, την πετρογραφική τους σύσταση, τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους καθώς και την ποιότητα της βραχώδους όταν πρόκειται για βραχώδεις σχηματισμούς. Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες που προέκυψαν για την περιοχή μελέτης είναι οι εξής:

- Τεχνητές Αποθέσεις / Αλλουβιακές Αποθέσεις
- Ασβεστιτικοί Ιλιόλιθοι – Αργιλόλιθοι, ασβεστιτικές Ιλύες - Άργιλοι  
Μάργες, Ιλιόλιθοι - Αργιλόλιθοι
- Ψαμμίτες, Ασβεστιτικοί Ψαμμίτες
- Μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι
- Κροκαλοπαγή – Λατυποπαγή – Ψηφιδοπαγή

Οι τεχνητές αποθέσεις / αλλουβιακές αποθέσεις συναντώνται επιφανειακά σε όλο το τμήμα του έργου. Αποτελούνται κυρίως από τεμάχια σκυροδέματος, ογκόλιθους ασβεστολιθικής σύστασης, αργιλώδεις άμμους, αργιλώδεις – αμμώδεις

χάλικες και σύγχρονες επιχώσεις χαλαρών εδαφικών υλικών. Τα πάχος τους κυμαίνεται από 0.40 m έως 3 m.

Στο αμέσως επόμενο στρώμα συναντώνται αποκλειστικά σχηματισμοί της « Μάργας του Πειραιά», με το πάχος να είναι από το 1 m έως και τα 25 m. Εμφανίζονται σε εναλλαγές κυρίως με τους γεωτεχνικούς σχηματισμούς Μαργαϊκό Ασβεστόλιθο, ψαμμίτη και Ιλιόλιθο – Αργιλόλιθο.

#### 2.1.2.1 Γεωτεχνικά Στοιχεία Περιοχής ανάλυσης

Στο τμήμα του σταθμού το οποίο μελετάται στην παρούσα εργασία, εμφανίζονται οι τεχνογεωλογικές ενότητες (OBERMEYER PLANEN + BERATEN GmbH, 2013 B):

(A) Τεχνητές Αποθέσεις / Αλλουβιακές Αποθέσεις,

(B) Ασβεστιτικοί Ιλιόλιθοι – Αργιλόλιθοι, ασβεστιτικές Ιλύες - Άργιλοι Μάργες, Ιλιόλιθοι - Αργιλόλιθοι και

(Γ) Ψαμμίτες, Ασβεστιτικοί Ψαμμίτες.

Τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των τεχνογεωλογικών ενοτήτων (A), (B) και (Γ) παρουσιάζονται στους Πίνακες 1,2 και 3.

Πίνακας 1: Γεωτεχνικοί Παράμετροι Σχεδιασμού – Τεχνικογεωλογική ενότητα (A) (OBERMEYER PLANEN + BERATEN GmbH, 2013 B).

#### Τεχνητές Αποθέσεις/ Αλλουβιακές Αποθέσεις

Γεωτεχνικές Παράμετροι Σχεδιασμού	Τιμή Σχεδιασμού
Φαινόμενο Βάρος $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	21
Συνοχή $c'$ (kPa)	10
Γωνία εσωτερικής τριβής $\phi'$	30°
Μέτρο Ελαστικότητας $E$ (MPa)	40
Λόγος Poisson $\nu$	0.30
Συντελεστής Ουδέτερων Ωθήσεων Γαιών $K_0$	0.40
Διαπερατότητα $K$ (m/sec)	$1 \times 10^{-6}$

Πίνακας 2: Γεωτεχνικοί Παράμετροι Σχεδιασμού – Τεχνικογεωλογική ενότητα (B).  
(OBERMEYER PLANEN + BERATEN GmbH, 2013 B).

*Μάρμα, Ιλιόλιθος - Αργιλόλιθος*

<i>Γεωτεχνικές Παράμετροι Σχεδιασμού</i>	<b>Τιμή Σχεδιασμού</b>
<i>Φαινόμενο Βάρος <math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</i>	22
<i>Συνοχή <math>c'</math> (kPa)</i>	100
<i>Γωνία εσωτερικής τριβής <math>\phi'</math></i>	38°
<i>Μέτρο Ελαστικότητας E (MPa)</i>	500
<i>Λόγος Poisson <math>\nu</math></i>	0.30
<i>Συντελεστής Ουδέτερων Ωθήσεων Γαιών <math>K_0</math></i>	0.40
<i>Διαπερατότητα K (m/sec)</i>	$1 \times 10^{-6}$
<i>Εύρος GSI</i>	45 - 65

Πίνακας 3: Γεωτεχνικοί Παράμετροι Σχεδιασμού – Τεχνικογεωλογική ενότητα (Γ).  
(OBERMEYER PLANEN + BERATEN GmbH, 2013 B).

*Ψαμμίτες, Ασβεστιτικοί Ψαμμίτες*

<i>Γεωτεχνικές Παράμετροι Σχεδιασμού</i>	<b>Τιμή Σχεδιασμού</b>
<i>Φαινόμενο Βάρος <math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</i>	22
<i>Συνοχή <math>c'</math> (kPa)</i>	120
<i>Γωνία εσωτερικής τριβής <math>\phi'</math></i>	40°
<i>Μέτρο Ελαστικότητας E (MPa)</i>	750
<i>Λόγος Poisson <math>\nu</math></i>	0.30
<i>Συντελεστής Ουδέτερων Ωθήσεων Γαιών <math>K_0</math></i>	0.40
<i>Διαπερατότητα K (m/sec)</i>	$1 \times 10^{-6}$
<i>Εύρος GSI</i>	55 - 75

### 3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ Μετρό «Δημοτικό Θέατρο Πειραιά»

Σκοπός του κεφαλαίου 3, είναι η περιγραφή του τρόπου κατασκευής και ακολούθως της αντιστήριξης του σταθμού «Δημοτικό Θέατρο». Σημειώνεται ότι το σύστημα αντιστήριξης του σταθμού που εφαρμόζεται στις προσομοιώσεις παρουσιάζει σημαντικές διαφορές με αυτό που εφαρμόζεται στην πραγματικότητα (μήκη πάκτωσης, κλίσεις, δυνάμεις προέντασης αγκυρίων κτλ.). Τα στοιχεία που παρατίθενται σε αυτή την φάση χρησιμοποιούνται προκειμένου να γίνουν τόσο η ανάλυση αναφοράς όσο και οι παραμετρικές αναλύσεις.

#### 3.1 Εκσκαφή και Σχεδιασμός Προσωρινής Υποστήριξης

Η εκσκαφή για την κατασκευή του σταθμού γίνεται με τη μέθοδο ανοικτού ορύγματος (cut & cover), κατά το μεγαλύτερο μέρος του, σε συνδυασμό διάνοιξης με συμβατικά μέσα.

Η γενική στάθμη εκσκαφής για την εν λόγω κατασκευή καταλήγει μέχρι τη στάθμη -28,5 m περίπου. Δεδομένου ότι στο εσωτερικό του σταθμού σχηματίζονται τοπικά διάφορα επίπεδα εκσκαφής, διαμορφώνονται τεχνητά πρανή ώστε τα εν λόγω επίπεδα να καταλήξουν στην προβλεπόμενη στάθμη. Οι τελικές στάθμες εκσκαφής για τις τρεις προσβάσεις του σταθμού φθάνουν μέχρι τη -15,5 m, ενώ το ανεξάρτητο φρέαρ αερισμού το βάθος της εκσκαφής είναι ίσο με -23 m περίπου.

Το σύστημα αντιστήριξης του ανοικτού ορύγματος και του ανεξάρτητου φρέατος αερισμού, ανάλογα με τις κατά θέσεις ανάγκες, συντελείται από τα εξής:

- Έγχυτους πασσάλους οπλισμένου σκυροδέματος με δοκό κεφαλοδέσμου ικανής ακαμψίας
- Προεντεταμένες αγκυρώσεις σε κάνναβο
- Μεταλλικές αντιρήδες
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ικανού πάχους και οπλισμένο με κατάλληλα δομικά πλέγματα

Αξίζει να αναφερθεί ότι επί του εκτοξευόμενου σκυροδέματος διανοίγονται αποστραγγιστικές οπές με στόχο την αποτόνωση των υδάτων οι οποίες συνεισφέρουν στο σύστημα αντιστήριξης.

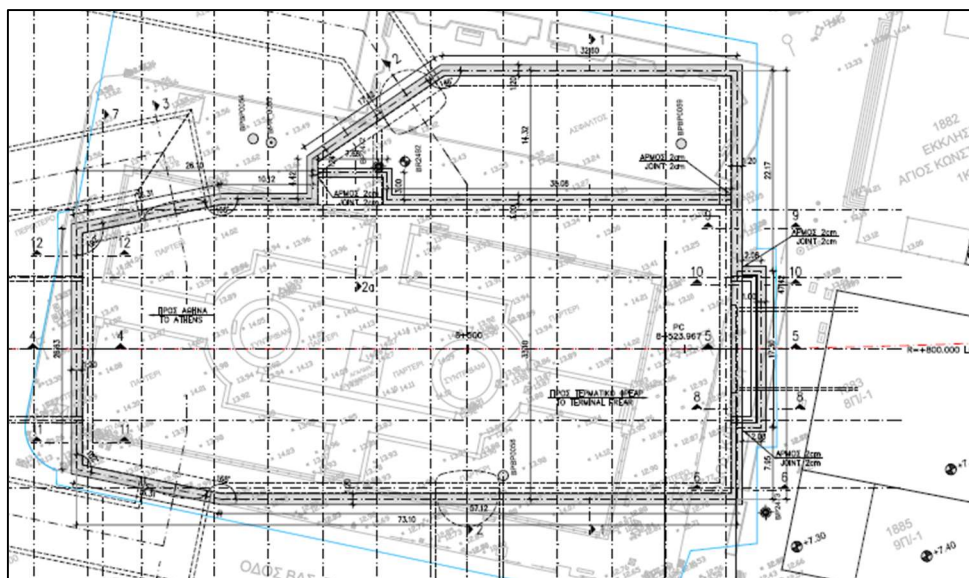
### 3.1.1.1 Εκσκαφή και Σχεδιασμός Προσωρινής υποστήριξης Περιοχής ανάλυσης

Το τμήμα του σταθμού το οποίο αναλύεται σε αυτήν την εργασία αφορά την περιοχή του σταθμού κοντά στην οδό Καραϊσκού και συγκεκριμένα στην τομή 1-1', όπου στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται διαφορετικά μέτρα αντιστήριξης από αυτά που έχουν χρησιμοποιηθεί, Εικόνα 4.

Η μέθοδος διάνοιξης της συγκεκριμένης περιοχής του Έργου, είναι αυτή της μεθόδου ανοικτού ορύγματος.

Για την αντιστήριξη του περιγράμματος του ορύγματος χρησιμοποιούνται πάσσαλοι από σκυρόδεμα C20/25 διαμέτρου  $\varnothing 100$  με αξονική απόσταση κατά μήκος ίση με 2,00 m. Η κατασκευή τους γίνεται με διάτρηση και επί τόπου σκυροδέτηση και έπειτα κατασκευάζεται ο κεφαλόδεσμος διατομής  $0,50 \times 1,20$  m.

Στο επίπεδο έκδοσης εισιτηρίων βρίσκεται ανασταθμός ο οποίος συντελείται από πασσάλους σκυροδέματος C20/25 διαμέτρου  $\varnothing 80$  που κατασκευάζονται σε αξονική κατά μήκος απόσταση ίση με 1,60 m και κεφαλόδεσμο διατομής  $0,50 \times 1,00$  m.

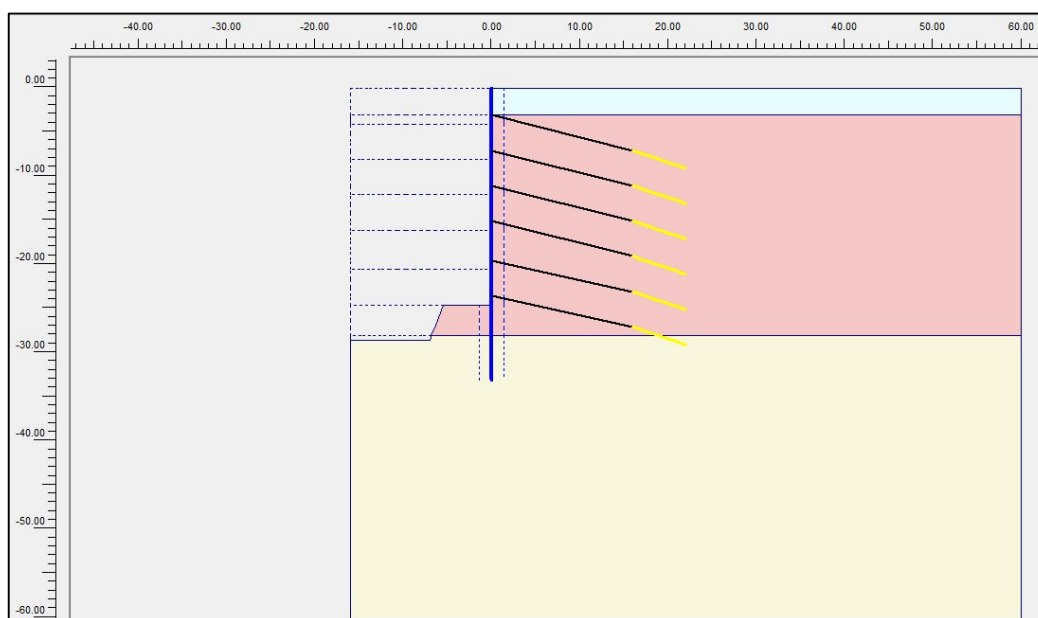


Εικόνα 4: Κάτοψη σταθμού – Τομή 1-1 περιοχή μελέτης

Ανά τέσσερα περίπου (4 m) γίνεται τμηματικά η εκσκαφή του ορύγματος. Παράλληλα με την εκσκαφή γίνεται η τοποθέτηση των προεντετατέμων αγκυρίων, δηλαδή στις ενδιάμεσες στάθμες εκσκαφής.

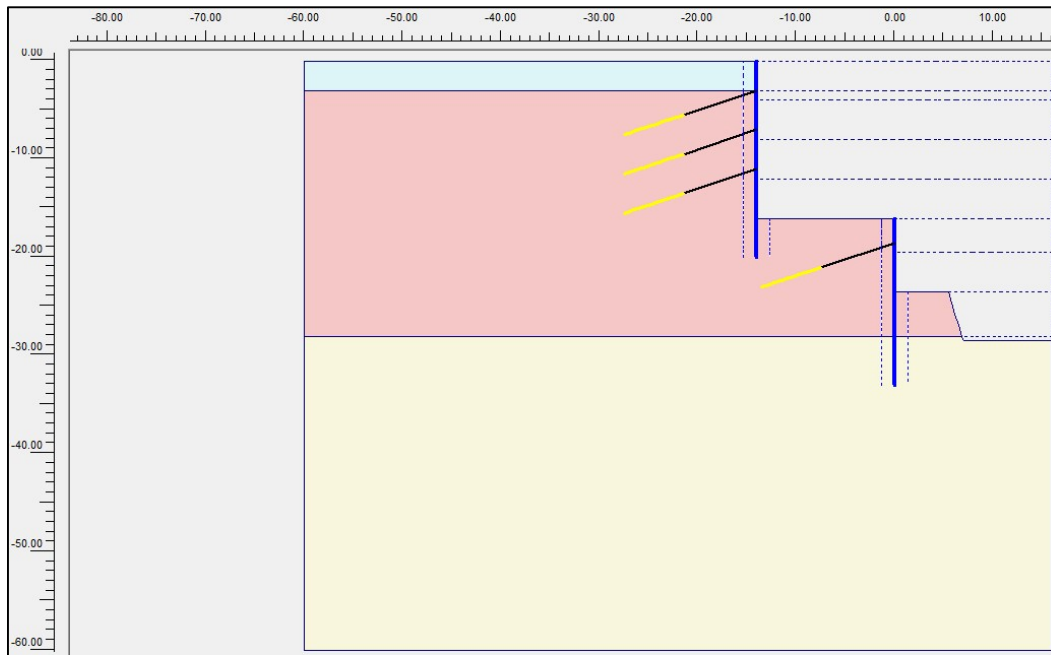
Κατά την εκσκαφή αποκαλύπτονται τα μέτωπα μεταξύ των πασσάλων, τα οποία υποστηρίζονται με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα C20/25 σε δύο στρώσεις, κυμαινόμενου πάχους (ελάχιστο πάχος 10 cm), ενισχυμένο με δυο (2) δομικά πλέγματα T188. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα γίνεται διάνοιξη αποστραγγιστικών οπών  $\varnothing 76$  mm με τοποθέτηση σωλήνα PVC στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε κάρναβο.

Για την αντιστήριξη του περιγράμματος του ορύγματος, χρησιμοποιούνται προεντεταμένα αγκύρια διατομής  $4\varnothing 0,6''$  σε κάρναβο  $2\text{ m} \times 4\text{ m}$ , ποιότητα χάλυβα 1700 / 1900 με όριο διαρροής 238 kN ανά κλώνο, συνολικού μήκους 22 m και κλίση  $15^\circ$  ως προς το οριζόντιο επίπεδο, Εικόνα 5.



Εικόνα 5: Γεωμετρία προσωρινής υποστήριξης νοτιοδυτικού τμήματος εκσκαφής (S1).

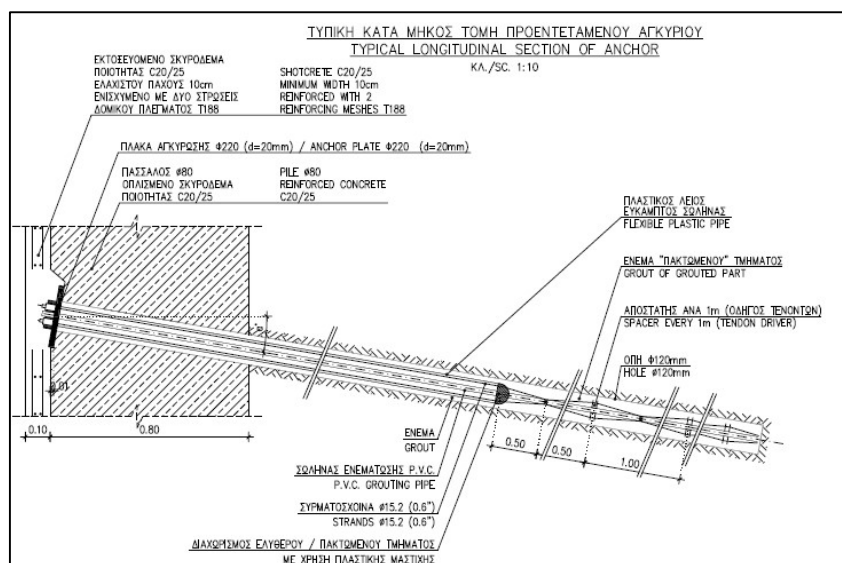
Σχετικά με τα αγκύρια που τοποθετούνται στην πασσαλοτοιχία του ανασταθμού, έχουν αντίστοιχα χαρακτηριστικά, ήτοι διατομή  $4\varnothing 0,6''$ , ποιότητα χάλυβα 1700 / 1900 με όριο διαρροής 238 kN ανά κλώνο, συνολικού μήκους 13,5 m και κλίση  $20^\circ$  ως προς το οριζόντιο επίπεδο, Εικόνα 6.



Εικόνα 6: Γεωμετρία προσωρινής υποστήριξης βορειοδυτικού τμήματος εκσκαφής (ανασταθμός) (S2).

Μεταξύ των πασσάλων, τόσο για το περίγραμμα του ορύγματος όσο και για τον ανασταθμό, τοποθετείται ενισχυμένο με δυο (2) δομικά πλέγματα T188 εκτοξευόμενο σκυρόδεμα C20/25 σε δύο στρώσεις, πάχος 10 cm.

Σημειώνεται ότι οι τανύσεις των προεντεταμένων αγκυριών συμμορφώνονται με τις προδιαγραφές του ΕΛΟΤ1537, στην Εικόνα 7 δίνεται η κατασκευή λεπτομέρεια των αγκυριών.



Εικόνα 7: Κατασκευαστική λεπτομέρεια αγκυριών.

Εφεξής, χάριν ευκολίας η τομή της προσωρινής υποστήριξης του νοτιοδυτικού τμήματος εκσκαφής της περιοχής μελέτης θα καλείται S1 και αυτή βορειοδυτικού τμήματος S2 (με τον ανασταθμό).

### 3.2 Κατασκευαστικές φάσεις

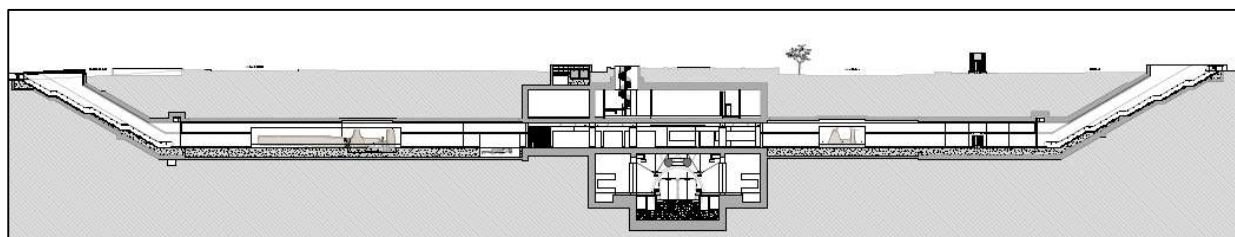
Προκειμένου οι εργασίες κατά την κατασκευή του Σταθμού να συνεχίζονται απρόσκοπτα ορίστηκε εξ' αρχής η αλληλουχία αυτών. Στην Εικόνα 8, δίνεται και μια τομή του σταθμού. Πιο συγκεκριμένα, για το ανοικτό όρυγμα του Σταθμού οι εργασίες οργανώθηκαν ως εξής:

#### **Βήμα 1<sup>ο</sup>**

Κατασκευή των πασσάλων αντιστήριξης στην περίμετρο του ορύγματος του Σταθμού, όπου γίνεται διάτρηση αυτών και ακολουθεί η σκυροδέτηση τους.

#### **Βήμα 2<sup>ο</sup>**

Κατασκευή κεφαλόδεσμου φρεατοπασσάλων.



Εικόνα 8: Τομή σταθμού «Δημοτικό Θέατρο Πειραιά» ([www.ametro.gr](http://www.ametro.gr), 22/01/2022).

#### **Βήμα 3<sup>ο</sup>**

Τμηματική εκσκαφή ορύγματος, με ενδιάμεσες στάθμες εκσκαφής ανά περίπου 4 m, με παράλληλη διάτρηση και τοποθέτηση των προεντεταμένων αγκυρίων, Πίνακας 4.

#### **Βήμα 4<sup>ο</sup>**

Υποστήριξη μετώπων που αποκαλύπτονται κατά την τμηματική εκσκαφή με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα C20/25 ελάχιστου πάχους 10 cm, ενισχυμένο με δυο δομικά πλέγματα T188. Ακόμα, πραγματοποιείται η διάνοιξη ανακουφιστικών οπών επί του σκυροδέματος για την αποτόνωση των υδροστατικών πιέσεων.



### **Βήμα 5<sup>ο</sup>**

Διαμόρφωση τεχνητού πρανούς στο εσωτερικό του σκάμματος, λόγω εκσκαφής σε κατώτερη στάθμη.

Πίνακας 4: Πάσσαλοι στην Περίμετρο του Ορύγματος

#### Πάσσαλοι Περιμετρικά του Ορύγματος

Παράμετροι – Χαρακτηριστικά	Τιμές Σχεδιασμού
Κατηγορίας Σκυροδέματος	<b>C20/25</b>
Διάμετρος $\varnothing$ (cm)	<b>100</b>
Αξονική Απόσταση Πασσάλων (m)	<b>2</b>
Διατομή Κεφαλόδεσμου	<b>0.50 m × 1.2 m</b>

Πίνακας 5: Πάσσαλοι Ανασταθμού

#### Πάσσαλοι Ανασταθμού – Τομή S2

Παράμετροι – Χαρακτηριστικά	Τιμές Σχεδιασμού
Κατηγορίας Σκυροδέματος	<b>C20/25</b>
Διάμετρος $\varnothing$ (cm)	<b>80</b>
Αξονική Απόσταση Πασσάλων (m)	<b>1.6</b>
Διατομή Κεφαλόδεσμου	<b>0.50 m × 1.0 m</b>

Πίνακας 6: Προεντεταμένα Αγκύρια - Τομή S1

#### Προεντεταμένες αγκυρώσεις Τομή S1

Παράμετροι – Χαρακτηριστικά	Τιμές Σχεδιασμού
Κλίση από το Οριζόντιο Επίπεδο (°)	<b>15</b>
Αριθμός Κλώνων	<b>4</b>
Ελεύθερο Μήκος (m)	<b>16</b>
Μήκος Πάκτωσης (m)	<b>6</b>
Δύναμη Προέντασης (kN)	<b>500</b>

Πίνακας 7: Προεντεταμένα Αγκύρια - Τομή S2

Προεντεταμένες αγκυρώσεις Τομή S2

Παράμετροι – Χαρακτηριστικά	Τιμές Σχεδιασμού
Κλίση από το Οριζόντιο Επίπεδο (°)	20
Αριθμός Κλώνων	4
Ελεύθερο Μήκος (m)	7.5
Μήκος Πάκτωσης (m)	6
Δύναμη Προέντασης (kN)	500

## 4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΕ ΤΟΝ ΚΩΔΙΚΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ PLAXIS 2D

Το αντικείμενο ανάπτυξης του εν λόγω κεφαλαίου είναι η μεθοδολογία ανάλυσης γεωτεχνικών εφαρμογών με τον κώδικα πεπερασμένων στοιχείων PLAXIS 2D. Δηλαδή, του τρόπου με τον οποίο επιτυγχάνεται η προσομοίωση της εκάστοτε γεωτεχνικής εφαρμογής δίνοντας εξαιρετικά σημαντικά αποτελέσματα για τη μελέτη και κατασκευή των διάφορων έργων.

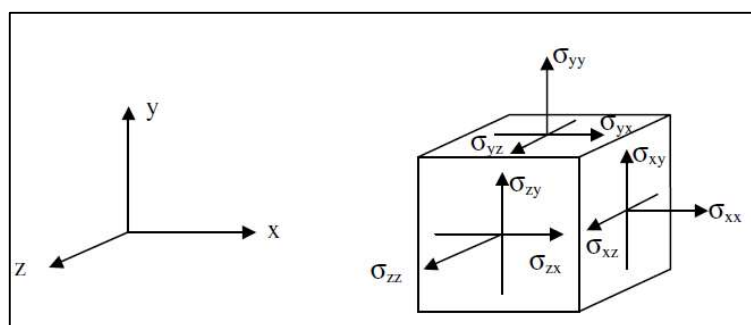
### 4.1 Εισαγωγή στο λογισμικό PLAXIS

Με στόχο τη μελέτη και τον σχεδιασμό διαφόρων γεωτεχνικών εφαρμογών έχουν αναπτυχθεί λογισμικά υπολογισμού που προσομοιώνουν τη συμπεριφορά του εδάφους / βραχώμαζας / βράχου.

Το λογισμικό «PLAXIS» είναι ένα λογισμικό περασμένων στοιχείων μέσω του οποίου δύναται να μελετηθούν οι παραμορφώσεις / μετακινήσεις καθώς και η ευστάθεια διαφόρων γεωτεχνικών εφαρμογών.

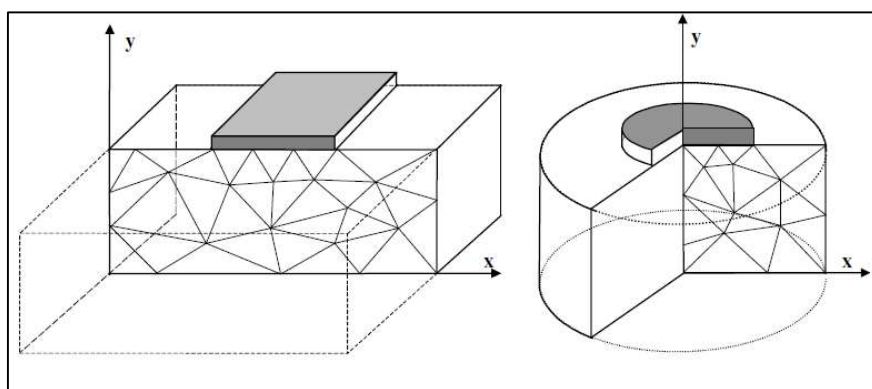
Μέσω του «PLAXIS» πραγματοποιούνται αναλύσεις τόσο σε δυο όσο και σε τρεις διαστάσεις. Στην παρούσα εργασία έγιναν δυσδιάστατες αναλύσεις.

Η δημιουργία ενός δυσδιάστατου μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων στηρίζεται σε ένα γεωμετρικό μοντέλο. Το εν λόγω γεωμετρικό μοντέλο κατασκευάζεται στο x-y επίπεδο του παγκόσμιου συστήματος συντεταγμένων και η θετική κατεύθυνση του z-επιπέδου δείχνει προς τον χρήστη, Εικόνα 9. Τα αποτελέσματα των επιλύσεων σε κάθε περίπτωση έχουν αρνητικό πρόσημο για τις θλιπτικές τάσεις και δυνάμεις ενώ οι διατμητικές τάσεις και δυνάμεις έχουν θετικό πρόσημο.



Εικόνα 9: Σύστημα συντεταγμένων και υπόδειξη των θετικών συνιστωσών των τάσεων.

Για τις προσομοιώσεις, τα μοντέλα των πεπερασμένων στοιχείων μπορεί να είναι είτε επίπεδης παραμόρφωσης είτε αξονοσυμμετρικά, Εικόνα 10. Πιο συγκεκριμένα, στις προσομοιώσεις που παρουσιάζονται στα επόμενα κεφάλαια, γίνονται μέσω μοντέλου επίπεδης παραμόρφωσης. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται για γεωμετρίες με ομοιόμορφη διατομή και αντίστοιχη κατάσταση τάσεων σε ένα ορισμένο μήκος κάθετο στη διατομή ( $z$  – διεύθυνση). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τάσεις και παραμορφώσεις στη  $z$ -διεύθυνση είναι ίσες με μηδέν και ότι λαμβάνονται πλήρως υπόψη οι κύριες τάσεις. (PLAXIS manual)

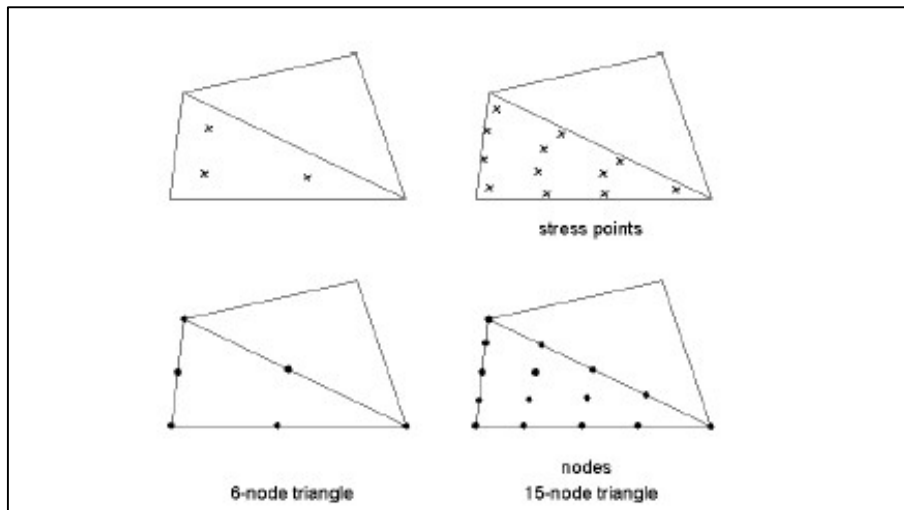


Εικόνα 10: Παράδειγμα μοντέλου επίπεδης παραμόρφωσης (αριστερά) και αξονοσυμμετρικού (δεξιά). (PLAXIS Manual)

#### 4.2 Πεπερασμένα Στοιχεία – Έδαφος

Ο χρήστης στο « PLAXIS » μπορεί να επιλέξει είτε 6-κομβικά ή 15-κομβικά τριγωνικά στοιχεία προκειμένου να γίνει η μοντελοποίηση των εδαφικών σχηματισμών, Εικόνα 11.

Τα τρίγωνα των 15-κόμβων είναι η ορισμένη προεπιλογή στο λογισμικό για την προσομοίωση των εδαφών. Ακόμα, τα στοιχεία των δομικών στοιχείων και των διεπιφανειών του μοντέλου επιλέγονται αυτόματα ίδια με αυτά των εδαφών ώστε να εξασφαλίζεται η μεταξύ τους συμβατότητα. Η αυτόματη επιλογή του τύπου των δομικών στοιχείων και των διεπιφανειών να είναι ίδιος με αυτόν των εδαφικών στοιχείων, ισχύει αντίστοιχα και για τα 6-κομβικά στοιχεία. (PLAXIS manual)



Εικόνα 11: Διάταξη κόμβων και τάσεων σε 6-κομβικά και 15-κομβικά στοιχεία.

Αξίζει να αναφερθεί ότι το 15-κομβικό τρίγωνο είναι αρκετά ακριβές και έχει προσφέρει καλά αποτελέσματα τάσεων σε δύσκολα προβλήματα. Σε σύγκριση με τα προηγούμενα, τα 6-κομβικά τρίγωνα έχουν ικανοποιητική ακρίβεια και δίνουν καλά αποτελέσματα σε σύνηθες συνθήκες με την προϋπόθεση ότι έχει χρησιμοποιηθεί επαρκής αριθμός στοιχείων. (PLAXIS manual)

#### 4.2.1 Καταστατικά Μοντέλα Επίλυσης

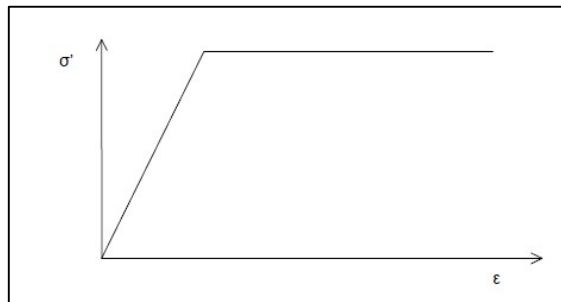
Μέσω του λογισμικού παρέχεται η δυνατότητα επιλογής καταστατικού μοντέλου επίλυσης ανάλογα με τη μηχανική συμπεριφορά του εδάφους που πρόκειται να μελετηθεί. Επιγραμματικά τα εν λόγω καταστατικά μοντέλα είναι τα εξής:

- Mohr – Coulomb model, τέλειο ελαστικο-πλαστικό μοντέλο που ακολουθεί το κριτήριο αστοχίας Mohr – Coulomb.
- Jointed Rock model, ελαστικό-πλαστικό που παρουσιάζει ανισοτροπία και χρησιμοποιείται κυρίως για την προσομοίωση ανισότροπων βραχωδών σχηματισμών.
- Hardening – Soil model, εξελιγμένο μοντέλο προσομοίωσης εδαφικής συμπεριφοράς, ελαστικο-πλαστικό όπου η επιφάνεια διαρροής δεν είναι αυστηρά καθορισμένη στο χώρο των κύριων τάσεων (Mohr – Coulomb) αλλά διαφοροποιείται ανάλογα με το μέγεθος των πλαστικών παραμορφώσεων.
- Soft-Soil-Creep model, ελαστικό μοντέλο που λαμβάνει υπόψη το φαινόμενο του ερπυσμού και χρησιμοποιείται για χαλαρούς εδαφικούς σχηματισμούς.

- Soft – Soil model, μοντέλο χαλαρών εδαφικών υλικών, ειδικά για στερεοποιημένα εδάφη. (PLAXIS manual)

#### 4.2.2 Μοντέλο Mohr – Coulomb

Ένα μοντέλο αποτελείται από μια σειρά μαθηματικών σχέσεων που περιγράφουν την σχέση μεταξύ τάσεων και παραμορφώσεων, στην Εικόνα 12 φαίνεται το διάγραμμα τάσης παραμόρφωσης για ένα τέλεια ελαστικό-πλαστικό μοντέλο.



Εικόνα 12: Διάγραμμα τάσης παραμόρφωσης τέλεια ελαστικό-πλαστικού μοντέλου. (PLAXIS manual)

Για τις αναλύσεις αυτής της εργασίας το καταστατικό μοντέλο που επιλέχθηκε για τις επιλύσεις είναι το Mohr – Coulomb, όπου το κριτήριο εκφράζει τη σχέση μεταξύ της διατμητικής ( $\tau$ ) και της ορθής τάσης ( $\sigma_n$ ) κατά την αστοχία. Η σχέση μεταξύ ορθής και διατμητικής τάσης είναι γραμμική και είναι η εξής:

$$\tau = c + \sigma_n \tan \varphi \quad (4.1)$$

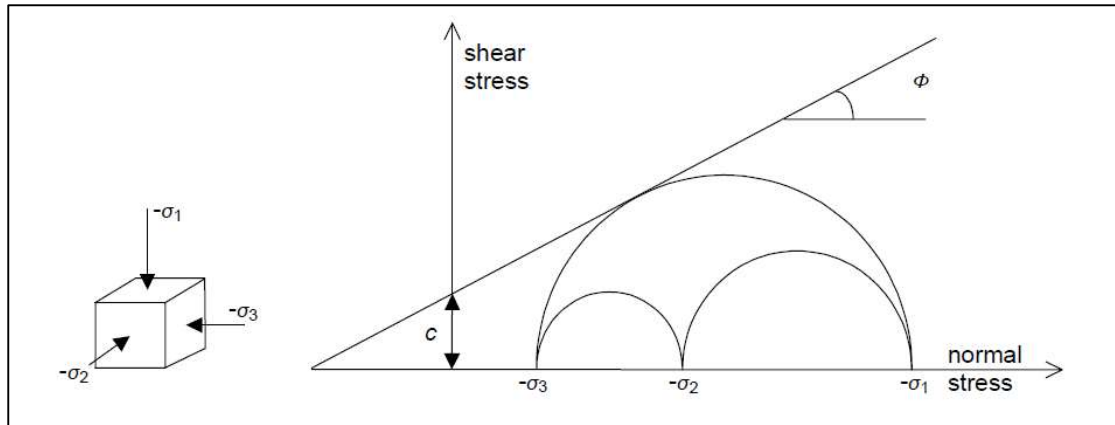
όπου:

$\tau$  = η διατμητική τάση,

$c$  = η συνοχή,

$\sigma_n$  = η ορθή τάση,

$\varphi$  = η γωνία εσωτερικής τριβής.



Εικόνα 13: Κύκλοι κύριων τάσεων, Κριτήριο Mohr – Coulomb. (PLAXIS manual)

Οι βασικοί παράμετροι που χρειάζονται για το μοντέλο Mohr – Coulomb, είναι πέντε και είναι οι εξής:

$E$  : Μέτρο Ελαστικότητας του Young ( $kN/m^2$ )

$\nu$  : Λόγος Poisson

$\phi$  : Γωνία εσωτερικής τριβής ( $^\circ$ )

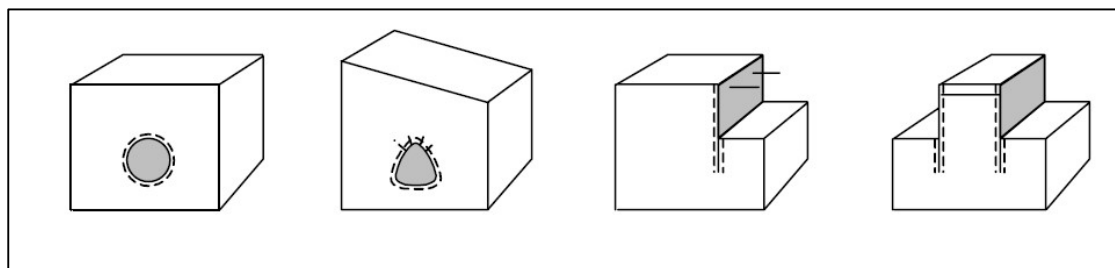
$c$  : Συνοχή ( $kN/m^2$ )

$\psi$  : Γωνία διογκωσιμότητας ( $^\circ$ )

### 4.3 Δομικά Στοιχεία

#### 4.3.1 Πλάκες

Κατασκευαστικά στοιχεία όπως οι πλάκες προσομοιώνονται σαν κατασκευές που παρουσιάζουν σημαντική αξονική και καμπτική δυσκαμψία. Οι πλάκες χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση διαφραγματικών τοίχων, πλακών, κελύφων, είτε επενδύσεων στήριξης που επεκτείνεται κατά τη z- διεύθυνση, Εικόνα 14.



Εικόνα 14: Παραδείγματα εφαρμογών πλάκας. (PLAXIS manual)

Οι σημαντικότερες παράμετροι για τις πλάκες είναι η αξονική δυσκαμψία – δυστένεια ( $EA$ ) και η καμπτική δυσκαμψία ( $EI$ ).

Από αυτές τις δυο παραμέτρους υπολογίζεται το ισοδύναμο πάχος της πλάκας, μέσω της ακόλουθης εξίσωσης:

$$d_{eq} = \sqrt{12 \frac{EI}{EA}} \quad (4.2)$$

όπου:

$d_{eq}$  = ισοδύναμο πάχος πλάκας

$EI$  = η καμπτική δυσκαμψία

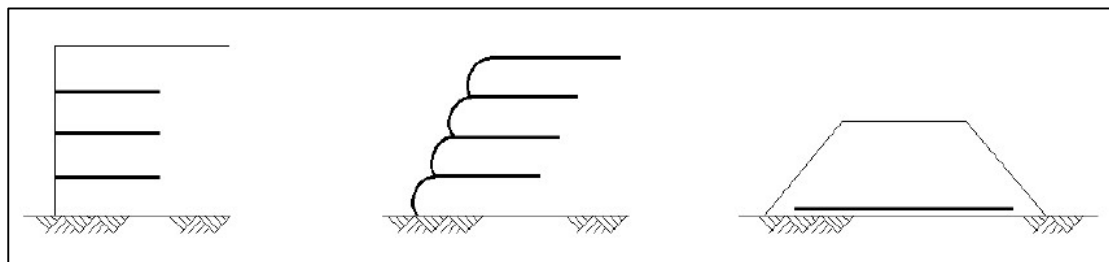
$EA$  = η αξονική δυσκαμψία – δυστένεια

#### 4.3.2 Αγκύρια – Ελεύθερο Τμήμα

Τα αγκύρια μεταξύ κόμβων είναι ελατήρια που χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση των δεσμών μεταξύ δύο σημείων. Η εφαρμογή τους γίνεται για την προσομοίωση του ελεύθερου τμήματος των αγκυριών. Μπορούν να υποβληθούν σε εφελκυστικές δυνάμεις (για αγκύρια) καθώς και σε θλιπτικές (για αντιρήδες), δηλαδή αναλόγως με το πραγματικό στοιχείο που προσομοιάζουν.

#### 4.3.3 Αγκύρια – Πακτωμένο Τμήμα

Για την προσομοίωση του πακτωμένου τμήματος των αγκυριών, σε συνδυασμό με τα αγκύρια μεταξύ κόμβων, χρησιμοποιούνται τα γεωπλέγματα. Πιο συγκεκριμένα, τα γεωπλέγματα είναι λεπτές κατασκευές που παρουσιάζουν αξονική δυσκαμψία αλλά όχι καμπτική. Στην Εικόνα 15, φαίνονται μερικές εφαρμογές γεωπλεγμάτων στο PLAXIS.



Εικόνα 15: Εφαρμογή της επιλογής geogrid στο PLAXIS.



Η μόνη παράμετρος για την εφαρμογή ενός γεωπλέγματος είναι η ελαστική αξονική δυσκαμψία-δυστένεια *EA*.

#### 4.4 Στοιχεία διεπιφάνειας

Η προσομοίωση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των εδαφικών σχηματισμών και των δομικών στοιχείων του μοντέλου γίνεται με τα στοιχεία διεπιφάνειας. Η διεπιφάνεια είναι ένα εικονικό πάχος ζώνης που εφαρμόζεται γύρω από τα δομικά στοιχεία ώστε να προσδιοριστούν οι ιδιότητες της αλληλεπίδρασης εδάφους και υποστήριξης.

#### 4.5 Επίλυση Αναφοράς για τις τομές S1 και S2

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω οι επιλύσεις που έγιναν για το Σταθμό « Δημοτικό Θέατρο Πειραιά », είναι δυσδιάστατες και έγιναν με τη χρήση του λογισμικού «PLAXIS».

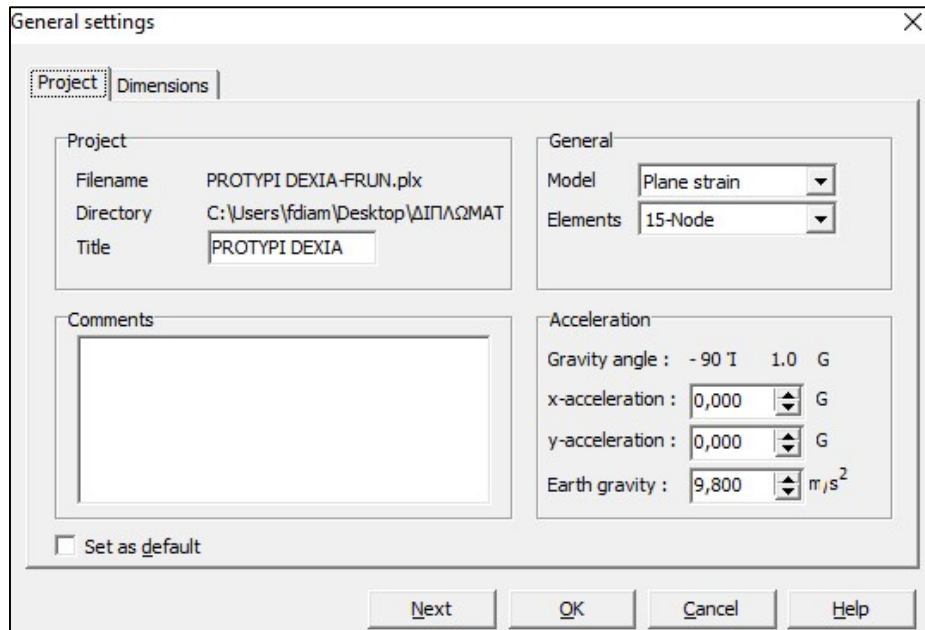
Προκειμένου να υλοποιηθούν στη συνέχεια παραμετρικές αναλύσεις για την ίδια περιοχή μελέτης θα πρέπει πρώτα να γίνει η επίλυση αναφοράς. Μεταβάλλοντας μια παράμετρο, είτε στη γεωμετρία του μοντέλου είτε στις ιδιότητες των εδαφικών και δομικών στοιχείων του μοντέλου, από την ανάλυση αναφοράς προκύπτει μια νέα παραμετρική ανάλυση.

Σε αυτή την παράγραφο αναλύεται ο τρόπος και τα στάδια των επιλύσεων αναφοράς για τις τομές S1 και S2.

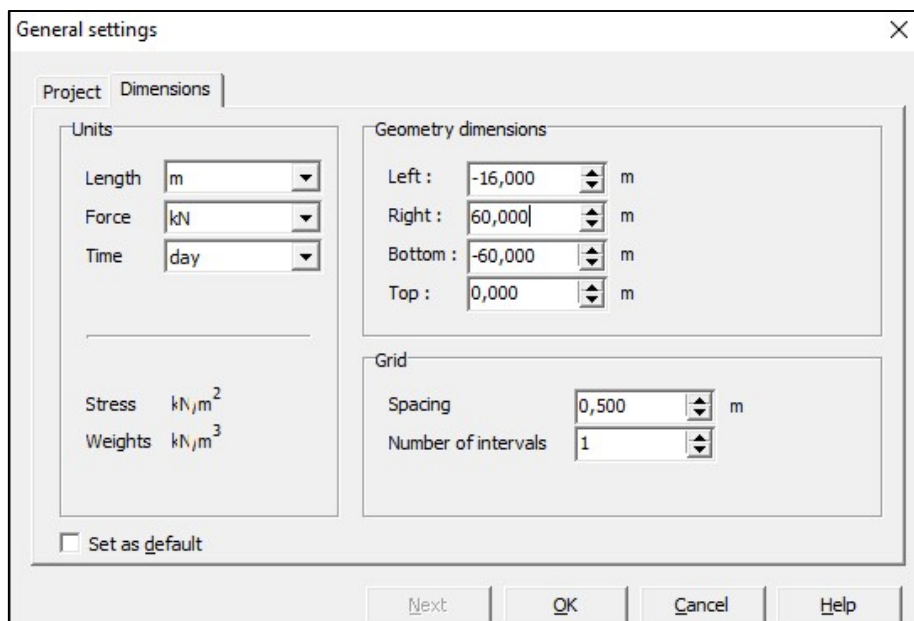
##### 4.5.1 Εισαγωγή Δεδομένων

Μέσω του προγράμματος « PLAXIS Input », γίνεται ο σχεδιασμός του μοντέλου και καθορίζονται οι αρχικές συνθήκες, το γεωυλικό, τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά, ο σχεδιασμός αντιστήριξης της εκσκαφής και οι αντίστοιχες ιδιότητες τους.

Αρχικά, καθορίζονται το όνομα του Project, το μοντέλο των πεπερασμένων στοιχείων, το είδος του μοντέλου και οι απαραίτητοι παράμετροι υπολογισμού δυνάμεων, Εικόνα 16 για την τομή S1 και Εικόνα 17 για την τομή S2.

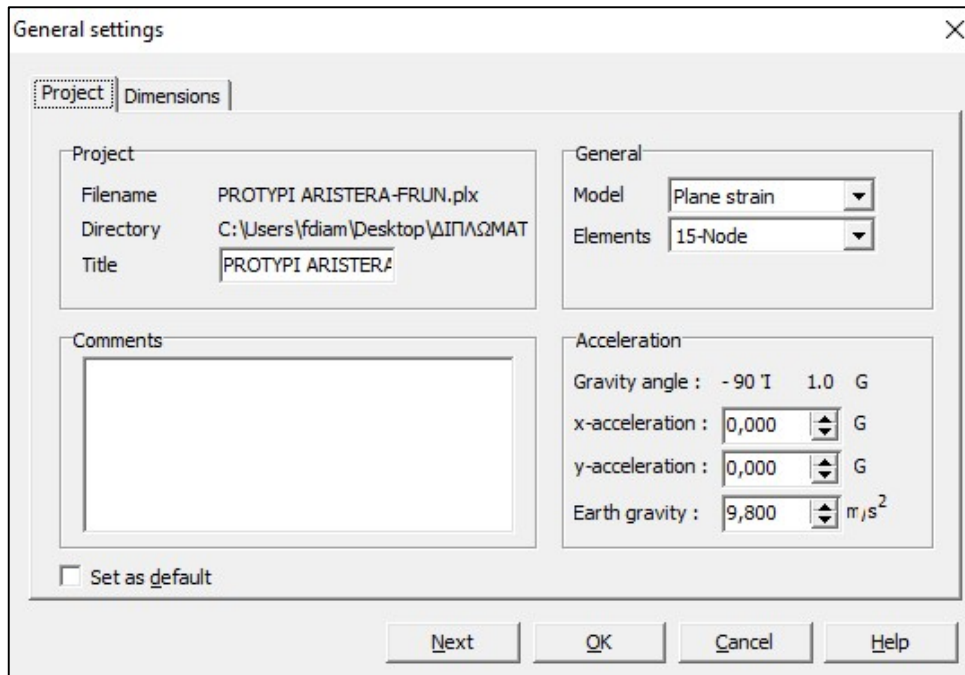


Εικόνα 16: Γενικές ρυθμίσεις για την τομή S1.

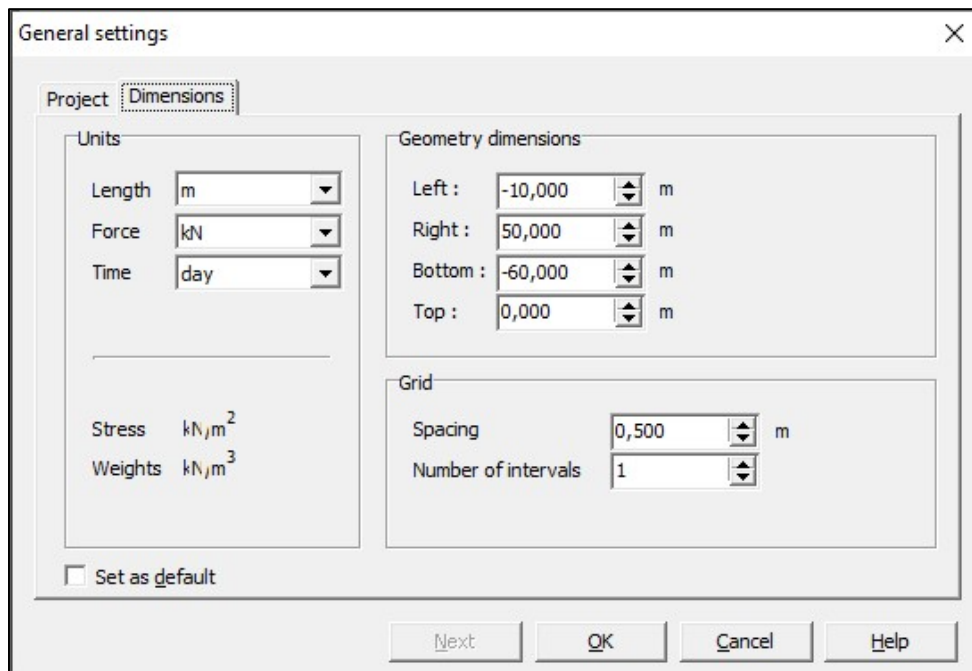


Εικόνα 17: Καθορισμός Γεωμετρικών διαστάσεων-Τομή S1.

Εν συνεχεία, καθορίζονται οι μονάδες μέτρησης, όπου οι παράμετροι του μήκους αποδίδονται σε (m), των δυνάμεων σε (kN) και του χρόνου σε (day).



Εικόνα 18: Γενικές ρυθμίσεις για την τομή S2.



Εικόνα 19: Καθορισμός Γεωμετρικών διαστάσεων-Τομή S2.

Τέλος, γίνεται καθορισμός του περιγράμματος της εκσκαφής, Εικόνες 18 και 19. Το συνολικό άνοιγμα της εκσκαφής σε πλάτος είναι ίσο με 46 m, όπου ισχύει ότι για την τομή S1 το άνοιγμα της εκσκαφής είναι ίσο με 16 m και για την τομή S2 το αντίστοιχο άνοιγμα ισοδυναμεί με 30 m. Οι τιμές που έχουν επιλεγεί για τις διαστάσεις της εκσκαφής έχουν γίνει έτσι ώστε στην τομή S1 ο διαφραγματικός

τοίχος και είναι στο σημείο (0,0) και στην τομή S2 ο διαφραγματικός τοίχος του ανασταθμού να είναι και αυτός στο σημείο (0,0).

#### 4.5.2 Γεωμετρία Μοντέλου

Αφού ολοκληρωθούν οι γενικές ρυθμίσεις που αφορούν το μοντέλο, γίνεται ο σχεδιασμός του περιγράμματος της εκσκαφής, της τελικής στάθμης εκσκαφής ίσης με -28,5 m και της στρωματογραφίας μέσω της εντολής «geometry line». Στον πίνακα 8, δίνεται το πάχος των σχηματισμών. Έπειτα, τοποθετούνται οι διαφραγματικοί τοίχοι την εντολή «plate», όπου για την τομή S1 ο διαφραγματικός τοίχος φτάνει μέχρι το βάθος των 33 m και για την τομή S2 ο διαφραγματικός τοίχος του περιγράμματος της εκσκαφής φτάνει μέχρι τη στάθμη -20 m και αυτός του ανασταθμού ξεκινά από τη στάθμη -16 m και καταλήγει στη στάθμη -33 m.

Πίνακας 8: Στρωματογραφία εδάφους για τις τομές S1 & S2.

#### Στρωματογραφία

Εδαφική στρώση	Εύρος Πάχους (m)
Τεχνητές Επιχώσεις / Αλλουβιακές	Από 0 έως 3
Μάργα, Αργιλόλιθος, Ιλιόλυθος	Από 3 έως 25
Ψαμμίτες, ασβεστικοί Ψαμμίτες	Από 25 και κάτω

Τέλος, σχεδιάζονται και οι προεντεταμένες αγκυρώσεις, όπου το ελεύθερο μήκος των αγκυριών σχεδιάζεται μέσω της εντολής «Node to node anchor» και το πακτωμένο τμήμα τους με την εντολή «Geogrid». Στους πίνακες 9 και 10, παρουσιάζονται οι στάθμες που τοποθετούνται τα αγκύρια για την τομή S1 και S2 αντίστοιχα.

Πίνακας 9: Στάθμες αγκυρίων – Τομή S1

#### Στάθμες αγκυρίων – Τομή S1

Σειρά Αγκυρίων	Στάθμη (m)
1 <sup>η</sup>	-3
2 <sup>η</sup>	-7
3 <sup>η</sup>	-11

4 <sup>η</sup>	-15
5 <sup>η</sup>	-19,5
6 <sup>η</sup>	-23,5

Πίνακας 10: Στάθμες αγκυρίων – Τομή S2.

*Στάθμες αγκυρίων – Τομή S2*

<i>Σειρά Αγκυρίων</i>	<b>Στάθμη (m)</b>
1 <sup>η</sup>	-3
2 <sup>η</sup>	-7
3 <sup>η</sup>	-11

Πίνακας 11: Στάθμες αγκυρίων ανασταθμού– Τομή S2.

*Στάθμες αγκυρίων ανασταθμού – Τομή S2*

<i>Σειρά Αγκυρίων</i>	<b>Στάθμη (m)</b>
1 <sup>η</sup>	-18,5

#### 4.5.3 Παράμετροι Σχεδιασμού

Αφού ολοκληρωθεί η σχεδίαση του ορύγματος και των δομικών στοιχείων της αντιστήριξης, πραγματοποιείται ο καθορισμός των παραμέτρων και των ιδιοτήτων τους. Μέσω της εντολής «Materials set» καθορίζονται οι παράμετροι των εδαφικών σχηματισμών, αγκυρίων (ελεύθερου και πακτωμένου τμήματος) καθώς και των πασσαλότοιχων. Ταυτόχρονα, ορίζονται οι παράμετροι των διεπαφιών, όπου οι ιδιότητες τους είναι ίδιες με αυτές των εδαφών μειωμένες κατά 0,7, Εικόνα 23.

Στις Εικόνες 20 έως 22, φαίνεται η εισαγωγή των γεωτεχνικών ιδιοτήτων και τα εδαφικά στρώματα τα οποία είναι ίδια τόσο για την τομή S1 όσο και για την S2. Οι αναλύσεις είναι ξηρές και για αυτό το φαινόμενο βάρος των υλικών υπό συνθήκες κορεσμού είναι ίσο με το φαινόμενο βάρος υπό ξηρές συνθήκες.

Mohr-Coulomb - Texnites Epixoseis

General Parameters Interfaces

Material Set

Identification: Texnites Epixoseis

Material model: Mohr-Coulomb

Material type: Drained

General properties

$\gamma_{unsat}$ : 21,000 kN/m<sup>3</sup>

$\gamma_{sat}$ : 21,000 kN/m<sup>3</sup>

Permeability

$k_x$ : 0,086 m/day

$k_y$ : 0,086 m/day

Advanced...

Next Ok Cancel Help

Mohr-Coulomb - Texnites Epixoseis

General Parameters Interfaces

Stiffness

$E_{ref}$ : 4,000E+04 kN/m<sup>2</sup>

$\nu$  (nu): 0,300

Strength

$c_{ref}$ : 10,000 kN/m<sup>2</sup>

$\phi$  (phi): 30,000 °

$\psi$  (psi): 0,000 °

Alternatives

$G_{ref}$ : 1,538E+04 kN/m<sup>2</sup>

$E_{oed}$ : 5,385E+04 kN/m<sup>2</sup>

Velocities

$V_s$ : 94,730 m/s

$V_p$ : 198,500 m/s

Advanced...

Next Ok Cancel Help

Εικόνα 20: Καθορισμός γεωτεχνικών παραμέτρων τεχνικογεωλογική ενότητα (Α).

Mohr-Coulomb - Marga-Argilolithos-Iliolithos

General Parameters Interfaces

Material Set

Identification: Marga-Argilolithos-Iliolithos

Material model: Mohr-Coulomb

Material type: Drained

General properties

$\gamma_{unsat}$ : 22,000 kN/m<sup>3</sup>

$\gamma_{sat}$ : 22,000 kN/m<sup>3</sup>

Permeability

$k_x$ : 0,086 m/day

$k_y$ : 0,086 m/day

Advanced...

Next Ok Cancel Help

Mohr-Coulomb - Marga-Argilolithos-Iliolithos

General Parameters Interfaces

Stiffness

$E_{ref}$ : 5,000E+05 kN/m<sup>2</sup>

$\nu$  (nu): 0,300

Strength

$c_{ref}$ : 100,000 kN/m<sup>2</sup>

$\phi$  (phi): 38,000 °

$\psi$  (psi): 0,000 °

Alternatives

$G_{ref}$ : 1,923E+05 kN/m<sup>2</sup>

$E_{oed}$ : 6,731E+05 kN/m<sup>2</sup>

Velocities

$V_s$ : 292,700 m/s

$V_p$ : 547,600 m/s

Advanced...

Next Ok Cancel Help

Εικόνα 21: Καθορισμός γεωτεχνικών παραμέτρων τεχνικογεωλογική ενότητα (Β).

Mohr-Coulomb - Psammites-Avest. Psam.

General Parameters Interfaces

Material Set

Identification: Psammites-Avest. Psam.

Material model: Mohr-Coulomb

Material type: Drained

General properties

$\gamma_{unsat}$ : 22,000 kN/m<sup>3</sup>

$\gamma_{sat}$ : 22,000 kN/m<sup>3</sup>

Permeability

$k_x$ : 0,086 m/day

$k_y$ : 0,086 m/day

Advanced...

Next Ok Cancel Help

Mohr-Coulomb - Psammites-Avest. Psam.

General Parameters Interfaces

Stiffness

$E_{ref}$ : 7,500E+05 kN/m<sup>2</sup>

$\nu$  (nu): 0,300

Strength

$c_{ref}$ : 120,000 kN/m<sup>2</sup>

$\phi$  (phi): 40,000 °

$\psi$  (psi): 0,000 °

Alternatives

$G_{ref}$ : 2,885E+05 kN/m<sup>2</sup>

$E_{oed}$ : 1,010E+06 kN/m<sup>2</sup>

Velocities

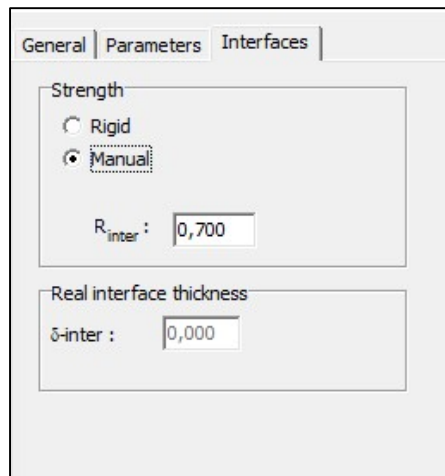
$V_s$ : 398,500 m/s

$V_p$ : 670,600 m/s

Advanced...

Next Ok Cancel Help

Εικόνα 22: Καθορισμός γεωτεχνικών παραμέτρων τεχνικογεωλογική ενότητα (Γ).



Εικόνα 23:Καθορισμός στοιχείων διεπιφανειών.

Εν συνεχεία, γίνεται ο καθορισμός των παραμέτρων για τις πασσαλοτοιχίες, Εικόνες 24 και 25, όπου οι απαραίτητες παράμετροι είναι η δυστένεια, η δυσκαμψία, ο λόγος Poisson, το πάχος και το βάρος του φορέα. Οι παράμετροι που αφορούν το φυσικό φαινόμενο του σεισμού (Rayleigh  $\alpha, \beta$ ) θεωρούνται ίσοι με μηδέν καθώς το φαινόμενο δε λαμβάνεται υπόψη στην παρούσα εργασία.

Αξίζει να αναφερθεί ότι παρά το γεγονός ότι ανάμεσα στους πασσάλους τοποθετείται και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με δομικά πλέγματα, τα οποία παρουσιάζουν δυσκαμψία και δυστένεια, δεν αθροίζεται στην δυστενεία και δυσκαμψία των πασσάλων. Η παραπάνω παραδοχή γίνεται για απλοποίηση των υπολογισμών και γιατί είναι προς τη μεριά της ασφαλείας. Επισημαίνεται ότι, ο διαφραγματικός τοίχος στο «PLAXIS» προσομοιώνεται σαν ένα ενιαίο δομικό στοιχείο κατά τον z-άξονα.

Ο υπολογισμός δυστένειας για τους Πασσάλους Οπλισμένου Σκυροδέματος C20/25  $\varnothing 100\text{cm}$  ανά 2m (Τομές S1 & S2), γίνεται μέσω της ακόλουθης σχέσης:

$$EA = \frac{E \times \pi \times \frac{d^2}{4}}{x} \quad (4.3)$$

όπου:

$E$  : το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος ( $\text{kN/m}^2$ )

$d$  : η διάμετρος του πασσάλου (m)

$x$  : η αξονική απόσταση των πασσάλων (m)

Επομένως, έχουμε:

$$EA = \frac{E \times \pi \times \frac{d^2}{4}}{x} = \frac{30000000 \times \pi \times \frac{1^2}{4}}{2} = 11780972 \text{ kN/m}$$

Property	Value	Unit
EA	1,178E+07	kN/m
EI	7,363E+05	kNm <sup>2</sup> /m
d	0,866	m
w	21,650	kN/m
v	0,150	
M <sub>p</sub>	1,000E+15	kNm
N <sub>p</sub>	1,000E+15	kN
Rayleigh α	0,000	
Rayleigh β	0,000	

Εικόνα 24: Καθορισμός παραμέτρων πασσαλότοιχου – Τομή S1.

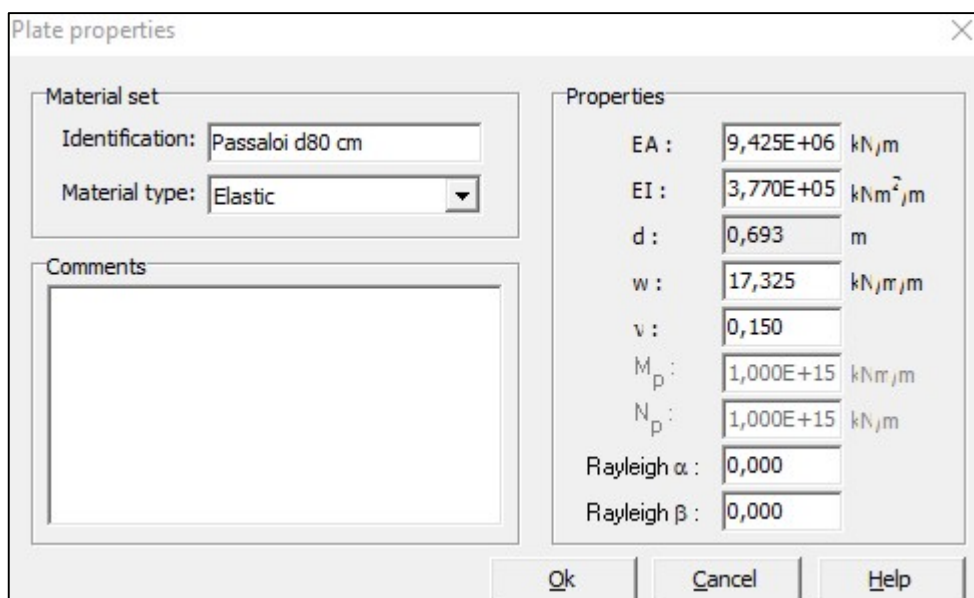
Property	Value	Unit
EA	1,178E+07	kN/m
EI	7,363E+05	kNm <sup>2</sup> /m
d	0,866	m
w	21,650	kN/m
v	0,150	
M <sub>p</sub>	1,000E+15	kNm
N <sub>p</sub>	1,000E+15	kN
Rayleigh α	0,000	
Rayleigh β	0,000	

Εικόνα 25: Καθορισμός παραμέτρων πασσαλότοιχου – Τομή S2.



Αντίστοιχα, ο υπολογισμός δυστένειας για τους Πασσάλους Οπλισμένου Σκυροδέματος C20/25 Ø80cm ανά 1,6m (Τομή S2), υπολογίζεται με τη χρήση της εξίσωσης (3.1), όπου:

$$EA = \frac{E \times \pi \times \frac{d^2}{4}}{x} = \frac{30000000 \times \pi \times \frac{0,8^2}{4}}{1,6} = 9424778 \text{ kN/m}$$



Εικόνα 26: Καθορισμός παραμέτρων πασσαλότοιχου ανασταθμού – Τομή S2.

Σε συνέχεια των παραπάνω, ο υπολογισμός της δυσκαμψίας για τους Πασσάλους Οπλισμένου Σκυροδέματος C20/25 Ø100cm ανά 2m (Τομές S1 & S2), γίνεται μέσω της σχέσης:

$$EI = \frac{E \times \pi \times \frac{d^4}{64}}{x} \quad (4.4)$$

όπου:

$E$  : το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος (kN/m<sup>2</sup>)

$d$  : η διάμετρος του πασσάλου (m)

$x$  : η αξονική απόσταση των πασσάλων (m)

Επομένως, έχουμε:

$$EI = \frac{E \times \pi \times \frac{d^4}{64}}{x} = \frac{30000000 \times \pi \times \frac{1^4}{64}}{2} = 736311 \text{ kNm}^2/\text{m}$$

Η δυσκαμψία των πασσάλων του ανασταθμού (Τομή S2), υπολογίζεται από την εξίσωση (4.4) όπου:

$$EI = \frac{E \times \pi \times \frac{d^4}{64}}{x} = \frac{30000000 \times \pi \times \frac{0,8^4}{64}}{1,6} = 376991 \text{ kNm}^2/m$$

Τέλος, το ισοδύναμο βάρος του φορέα δίδεται από τη σχέση:

$$w = \gamma \times d \tag{4.5}$$

όπου:

$\gamma$  : το φαινόμενο βάρος του σκυροδέματος ( $\text{kN/m}^3$ )

$d$  : το ισοδύναμο πάχος του φορέα (m) (υπολογίζεται από το PLAXIS)

Για τους πασσάλους στην περίμετρο της εκσκαφής, από την εξίσωση (4.5), έχουμε:

$$w = \gamma \times d = 25 \times 0,866 = 21,65 \text{ kN/m/ m}$$

και για τους πασσάλους του ανασταθμού:

$$w = \gamma \times d = 25 \times 0,693 = 17,32 \text{ kN/m/ m}$$

Στον Πίνακα 12, παρουσιάζονται οι τιμές που ορίστηκαν για τις παραμέτρους των πασσάλων.

Πίνακας 12: Παρουσίαση Παραμέτρων για τους Πασσάλους του περιγράμματος και του ανασταθμού.

*Πάραμετροι Πασσάλων*

Παράμετρος	Τιμή Σχεδιασμού		
	Πάσσαλοι Ø100cm - Τομή S1	Πάσσαλοι Ø100cm - Τομή S2	Πάσσαλοι Ø80cm - Τομή S2
Δυστένεια $EA$ ( $\text{kN/m}$ )	11780972	11780972	9424778
Δυσκαμψία $EI$ ( $\text{kNm}^2/m$ )	736311	736311	376991
Ισοδύναμο Βάρος Φορέα ( $\text{kN/m/ m}$ )	21,65	21,65	17,32

Αφού οριστούν τα παραπάνω, πρέπει να γίνει και ο καθορισμός των ιδιοτήτων για τα αγκύρια. Η μόνη παράμετρος που πρέπει να υπολογιστεί για τα αγκύρια είναι η δυστενεία,. Η δυστενεία για το ελεύθερο μήκος του αγκυρίου δίδεται από την σχέση:

$$EA = E_s \times A_s \quad (4.6)$$

όπου:

$E_s$  : Μέτρο ελαστικότητας χαλύβδινων τεντόνων αγκυρίου (kPa)

$A_s$  : Συνολική επιφάνεια διατομής αγκυρίου ( $m^2$ )

Το μέτρο ελαστικότητας των χαλύβδινων τεντόνων αγκυρίου είναι ίσο με 210000000 kPa. Οι τένοντες των αγκυρίων έχουν διάμετρο ίση με 15,2 mm, όπου το εμβαδόν διατομής για έναν τένοντα αυτής της διατομής υπολογίζεται ως εξής:

$$A_s = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi 15,2^2}{4} = 140mm^2$$

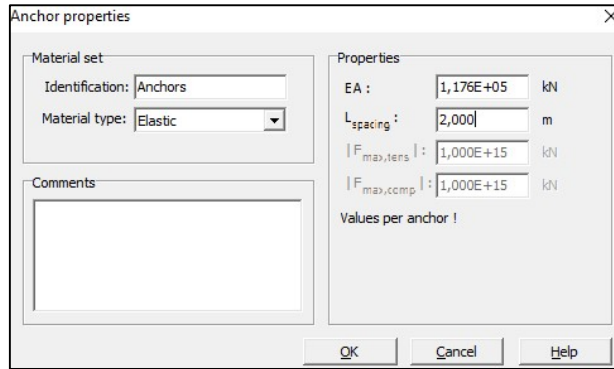
Τα αγκύρια τόσο στην Τομή S1 όσο και στην Τομή S2, αποτελούνται από 4 τένοντες οπότε το συνολικό εμβαδόν διατομής τους είναι:

$$A_s = 4 \times 1,40 = 5,6 cm^2$$

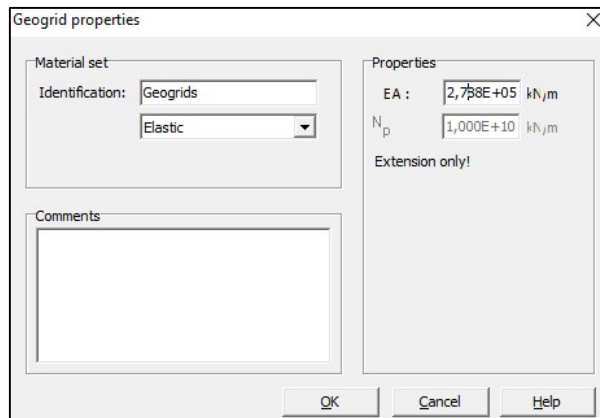
Από την εξίσωση (4.6), έχουμε:

$$EA = E_s \times A_s = 210000000 \times 0,00056 = 117600 kN$$

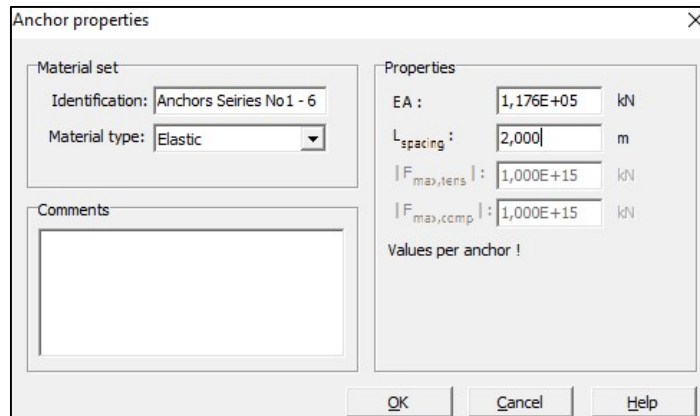
Η αξονική απόσταση των αγκυρίων είναι ίση με 2 m, στα Εικόνατα 27 και 29, φαίνονται οι τιμές που ορίστηκαν στο πρόγραμμα για το ελεύθερο μήκος των αγκυρίων.



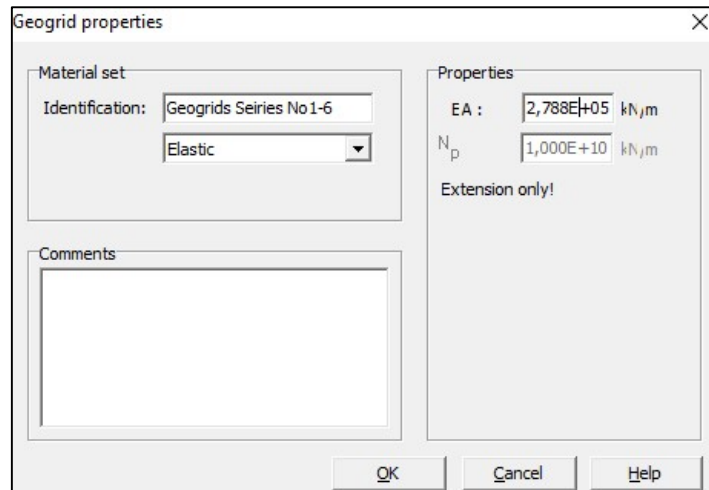
Εικόνα 27: Καθορισμός ιδιοτήτων ελεύθερου μήκους αγκυρίων. (Τομή S2)



Εικόνα 28: Καθορισμός ιδιοτήτων πακτωμένου τμήματος αγκυρίων. (Τομή S2)



Εικόνα 29: Καθορισμός ιδιοτήτων ελεύθερου μήκους αγκυρίων. (Τομή S1)



Εικόνα 30: Καθορισμός ιδιοτήτων πακτωμένου τμήματος αγκυρίων. (Τομή S1)

Αναφορικά με το πακτωμένο τμήμα των αγκυρίων, Εικόνες 28 και 30, η πάκτωση γίνεται με κατάλληλο ένεμα, η διάμετρος της οπής ενεμάτωσης του αγκυρίου είναι ίση με 0,12 m και το μέτρο ελαστικότητας του 15000000 kN/m<sup>2</sup>. Η συνολική δυστένεια του κάθε αγκυρίου, δηλαδή ελεύθερο και πακτωμένου τμήματος, δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\Sigma EA = EA_{\text{ελευθ.τμημ.}} + EA_{\text{πακτωμ.τμημ.}} = (E_s \times A_s) + (E_b \times A_b) \quad (4.7)$$

όπου:

$E_b$  = το μέτρο ελαστικότητας του ενέματος (kN/m<sup>2</sup>)

$A_b$  = το εμβαδόν διατομής του ενέματος (m<sup>2</sup>)

$E_s$  = το μέτρο ελαστικότητας χαλύβδινων τεντόνων αγκυρίου (kPa)

$A_s$  = η συνολική επιφάνεια διατομής αγκυρίου (m<sup>2</sup>)

Από την εξίσωση (4.7), ο μόνος άγνωστος είναι το εμβαδόν διατομής του ενέματος ( $A_b$ ), το οποίο υπολογίζεται ως εξής:

$$A_b = \frac{\pi d^2}{4} - A_s = \frac{\pi 12^2}{4} - 1,40 = 113,10 - 5,60 = 107,50 \text{ cm}^2 = 0,0107 \text{ mm}^2$$

Άρα για την εξίσωση (4.7), ισχύει ότι:

$$\begin{aligned} \Sigma EA &= (E_s \times A_s) + (E_b \times A_b) = 117600 + (15000000 \times 0,0107) = \\ &117600 + 161246 \\ &= 278846 \text{ kN} \end{aligned}$$

Στους Πίνακες 13 έως και 21, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τις παραμέτρους των αγκυρώσεων που προσομοιάστηκαν στις Τομές S1 και S2.

Πίνακας 13: Παρουσίαση υπολογισμών για τη δυστένεια του ελεύθερου τμήματος των αγκυρίων, Τομή S1.

*Ελεύθερο τμήμα αγκυρίων πασσάλων  $\varnothing 100\text{cm}$  – Τομή S1*

	Αριθμός Κλώνων	$A_s$ ( $\text{cm}^2$ )	$A_s$ ( $\text{m}^2$ )	$E_s A_s$ ( $\text{kN}$ )
1η Σειρά Αγκυρίων	4	5,60	0,00056	117600
2η Σειρά Αγκυρίων	4	5,60	0,00056	117600
3η Σειρά Αγκυρίων	4	5,60	0,00056	117600
4η Σειρά Αγκυρίων	4	5,60	0,00056	117600
5η Σειρά Αγκυρίων	4	5,60	0,00056	117600
6η Σειρά Αγκυρίων	4	5,60	0,00056	117600

Πίνακας 14: Παρουσίαση υπολογισμών για τη δυστένεια του πακτωμένου τμήματος των αγκυρίων, Τομή S1

*Πακτωμένο τμήμα αγκυρίων πασσάλων  $\varnothing 100\text{cm}$  – Τομή S1*

	Αριθμός Κλώνων	$A_b$ ( $\text{cm}^2$ )	$A_b$ ( $\text{m}^2$ )	$E_b A_b$ ( $\text{kN}$ )
1η Σειρά Αγκυρίων	4	107,50	0,0107	161246
2η Σειρά Αγκυρίων	4	107,50	0,0107	161246
3η Σειρά Αγκυρίων	4	107,50	0,0107	161246
4η Σειρά Αγκυρίων	4	107,50	0,0107	161246
5η Σειρά Αγκυρίων	4	107,50	0,0107	161246

6η Σειρά Αγκυρίων	4	107,50	0,0107	161246
-------------------	---	--------	--------	--------

Πίνακας 15: Συνολική Δυστένεια αγκυρίων - Τομή S1

*Δυστένεια αγκυρίων πασσάλων  $\varnothing 100\text{cm}$  – Τομή S1*

	Αριθμός Κλώνων	ΣΕΑ (kN)
1η Σειρά Αγκυρίων	4	107,50
2η Σειρά Αγκυρίων	4	107,50
3η Σειρά Αγκυρίων	4	107,50
4η Σειρά Αγκυρίων	4	107,50
5η Σειρά Αγκυρίων	4	107,50
6η Σειρά Αγκυρίων	4	107,50

Πίνακας 16: Παρουσίαση υπολογισμών για τη δυστένεια του ελεύθερου τμήματος των αγκυρίων, Τομή S2.

*Ελεύθερο τμήμα αγκυρίων πασσάλων  $\varnothing 100\text{cm}$  – Τομή S2*

	Αριθμός Κλώνων	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	$A_s$ (m <sup>2</sup> )	$E_s A_s$ (kN)
1η Σειρά Αγκυρίων	4	5,60	0,00056	117600
2η Σειρά Αγκυρίων	4	5,60	0,00056	117600
3η Σειρά Αγκυρίων	4	5,60	0,00056	117600

Πίνακας 17: Παρουσίαση υπολογισμών για τη δυστένεια του πακτωμένου τμήματος των αγκυρίων, Τομή S2

*Πακτωμένο τμήμα αγκυρίων πασσάλων  $\varnothing 100\text{cm}$  – Τομή S2*

	Αριθμός Κλώνων	$A_b$ (cm <sup>2</sup> )	$A_b$ (m <sup>2</sup> )	$E_b A_b$ (kN)
1η Σειρά Αγκυρίων	4	107,50	0,0107	161246
2η Σειρά Αγκυρίων	4	107,50	0,0107	161246

3η Σειρά Αγκυρίων	4	107,50	0,0107	161246
-------------------	---	--------	--------	--------

Πίνακας 18: Συνολική Δυστένεια αγκυρίων - Τομή S2

*Δυστένεια αγκυρίων πασσάλων Ø100cm – Τομή S2*

	Αριθμός Κλώνων	ΣΕΑ (kN)
1η Σειρά Αγκυρίων	4	107,50
2η Σειρά Αγκυρίων	4	107,50
3η Σειρά Αγκυρίων	4	107,50

Πίνακας 19: Παρουσίαση υπολογισμών για τη δυστένεια του ελεύθερου τμήματος των αγκυρίων στον ανασταθμό, Τομή S2.

*Ελεύθερο τμήμα αγκυρίων πασσάλων Ø80cm – Τομή S2*

	Αριθμός Κλώνων	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	$A_s$ (m <sup>2</sup> )	$E_s A_s$ (kN)
1η Σειρά Αγκυρίων	4	5,60	0,00056	117600

Πίνακας 20: Παρουσίαση υπολογισμών για τη δυστένεια του πακτωμένου τμήματος των αγκυρίων στον ανασταθμό, Τομή S2

*Πακτωμένο τμήμα αγκυρίων πασσάλων Ø80cm – Τομή S2*

	Αριθμός Κλώνων	$A_b$ (cm <sup>2</sup> )	$A_b$ (m <sup>2</sup> )	$E_b A_b$ (kN)
1η Σειρά Αγκυρίων	4	107,50	0,0107	161246

Πίνακας 21: Πίνακας 22: Συνολική Δυστένεια αγκυρίων - Τομή S2

*Δυστένεια αγκυρίων πασσάλων Ø100cm – Τομή S2*

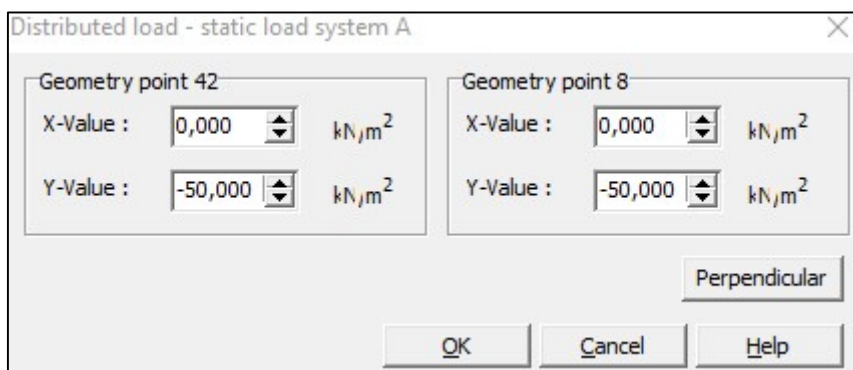
	Αριθμός Κλώνων	ΣΕΑ (kN)
1η Σειρά Αγκυρίων	4	107,50



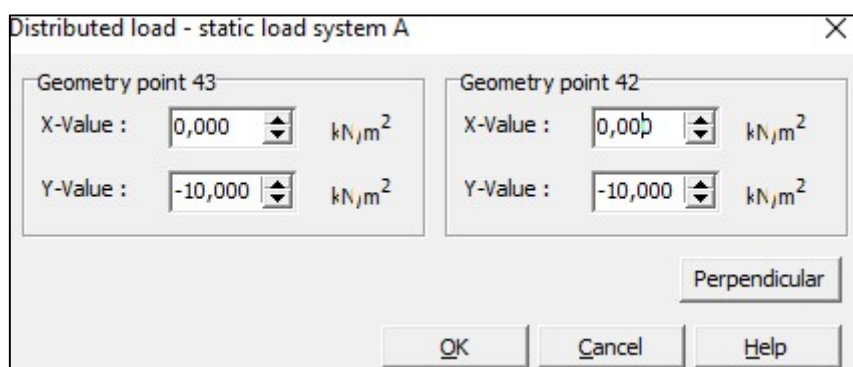
#### 4.5.4 Εφαρμογή Φορτίων Σχεδιασμού

Με το πέρας των παραπάνω και με τη χρήση της εντολής «Distributed load – load System A», γίνεται η προσθήκη των επιφανειακών φορτίων που υπάρχουν στην περιοχή μελέτης. Η παραπάνω εντολή χρησιμοποιείται για την εφαρμογή ομοιόμορφου φορτίου μέσα στα όρια που αυτό εφαρμόζεται.

Στην Τομή S1, από τον πασσαλότοιχο έως και 10 μ προς το δεξί άκρο του μοντέλου εφαρμόζεται το εργοταξιακό φορτίο και επιλέγεται ίσο με  $50 \text{ kN/m}^2$ , Εικόνα 31. Επιπλέον, στα επόμενα 14 m εφαρμόζεται γενικό φορτίο κυκλοφορίας ίσο με  $10 \text{ kN/m}^2$ , που αντιστοιχεί στην κυκλοφορία οχημάτων επί της οδού «Βασιλέως Γεωργίου Α'», Εικόνα 32.

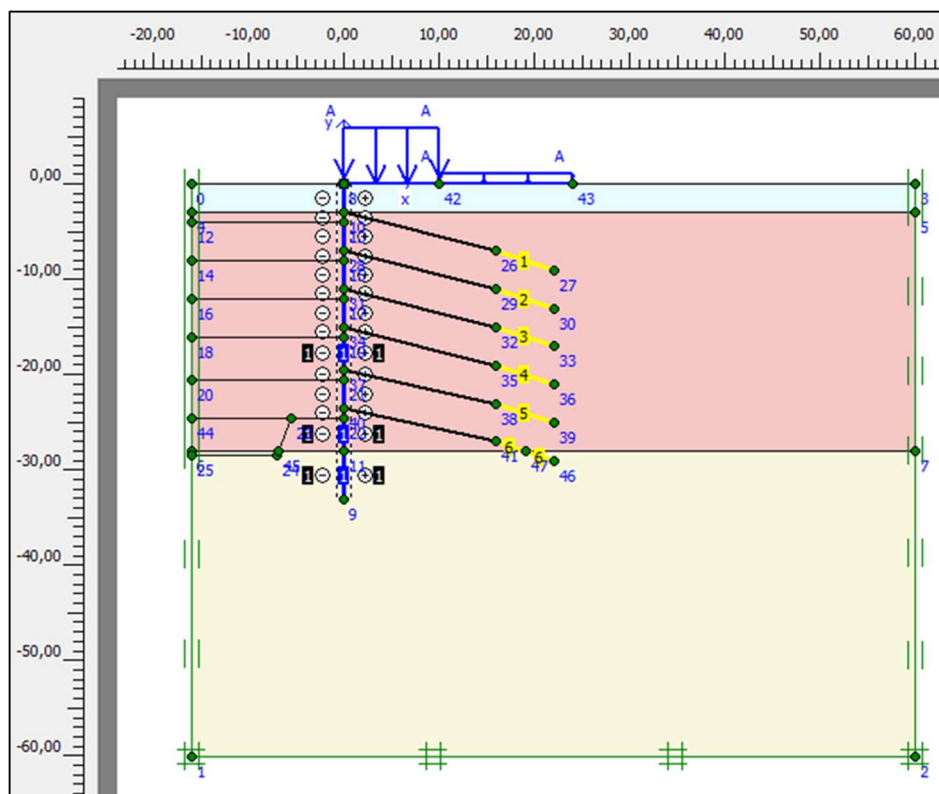


Εικόνα 31: Εφαρμογή εργοταξιακού φορτίου- Τομή S1.



Εικόνα 32: Εφαρμογή γενικού φορτίου κυκλοφορίας- Τομή S1.

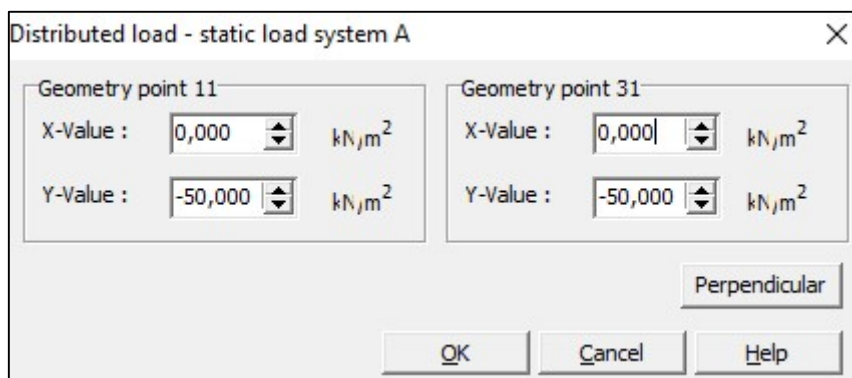
Στην Εικόνα 33, φαίνεται το μοντέλο για την Τομή S1, αφού έχουν σχεδιαστεί και καθοριστεί αντίστοιχα όλες οι παράμετροι για τους υπολογισμούς που θα ακολουθήσουν.



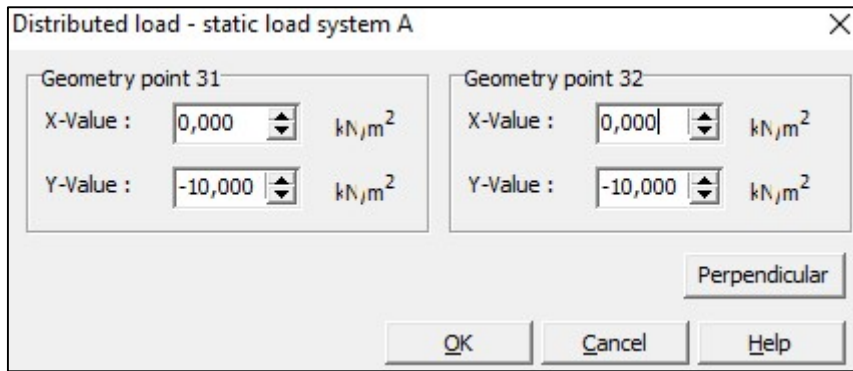
Εικόνα 33: Γεωμετρία μοντέλου –Τομή S1.

Στη γεωμετρία της Τομής S2, πέρα από την εφαρμογή του εργοταξιακού φορτίου και της γενικής κυκλοφορίας προστέθηκε και η επιφόρτιση από υφιστάμενη πολυκατοικία 9 ορόφων, ομοιόμορφου φορτίου ίσο με  $90 \text{ kN/m}^2$ . Το εργοταξιακό φορτίο εφαρμόζεται από τους πασσάλους της περιμετρικής εκσκαφής και για 5 m προς το αριστερό άκρο του μοντέλου, το κυκλοφοριακό για τα επόμενα 9 m όπου είναι η οδός «Αγίου Κωνσταντίνου» και για τα επόμενα 20 m γίνεται η εφαρμογή του φορτίου της 9-όροφης πολυκατοικίας, Εικόνες 34 έως και 36.

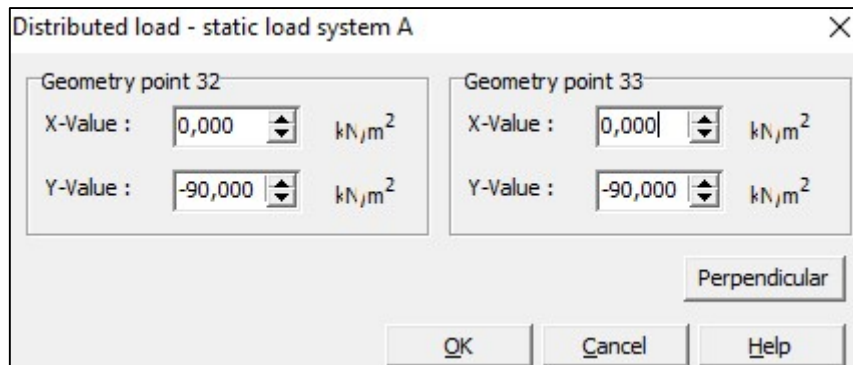
Η γεωμετρία του μοντέλου για την Τομή S2, φαίνεται στην Εικόνα 37.



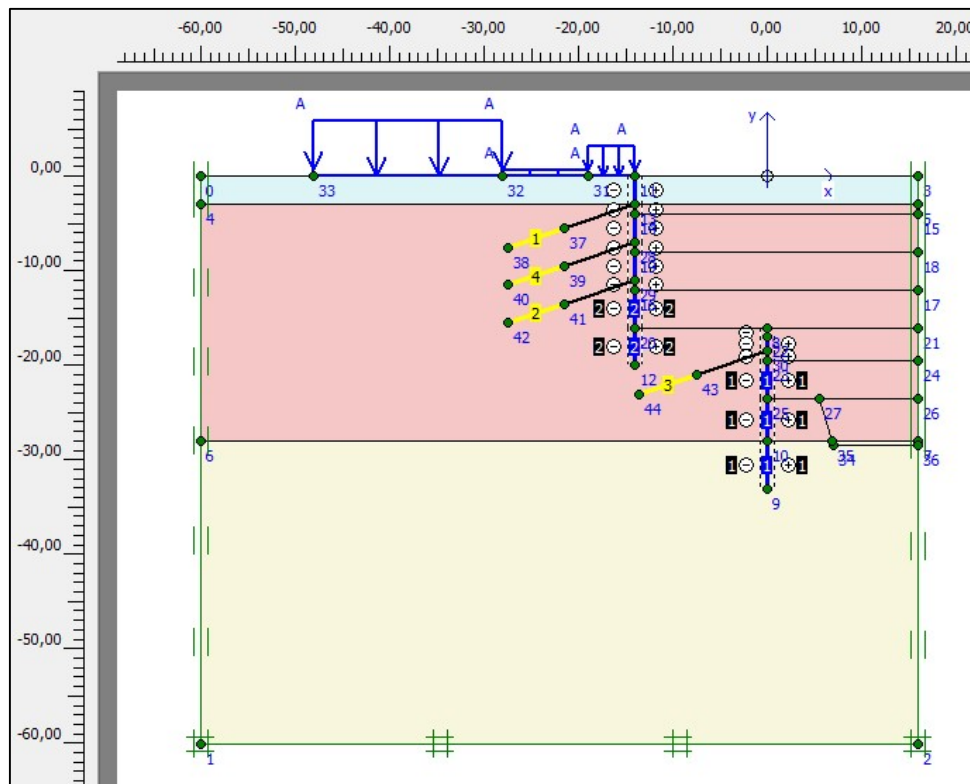
Εικόνα 34: Εφαρμογή εργοταξιακού φορτίου- Τομή S2.



Εικόνα 35: Εφαρμογή γενικού φορτίου κυκλοφορίας- Τομή S2.



Εικόνα 36: Εφαρμογή φορτίου υφιστάμενης πολυκατοικίας- Τομή S2.



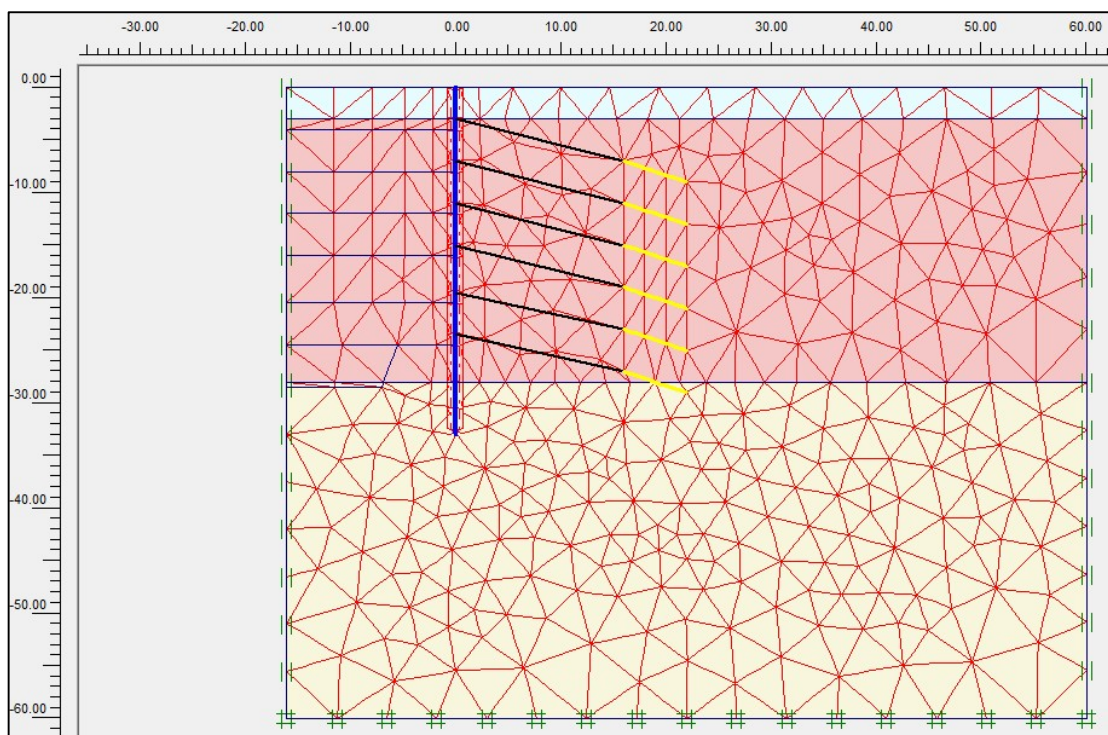
Εικόνα 37: Γεωμετρία μοντέλου –Τομή S2.

#### 4.5.5 Διακριτοποίηση μοντέλου

Επόμενο βήμα, αποτελεί η διακριτοποίηση του μοντέλου, δηλαδή να χωριστεί ο χώρος του μοντέλου σε πεπερασμένα στοιχεία. Η διακριτοποίηση γίνεται μέσω της εντολής «Generate Mesh».

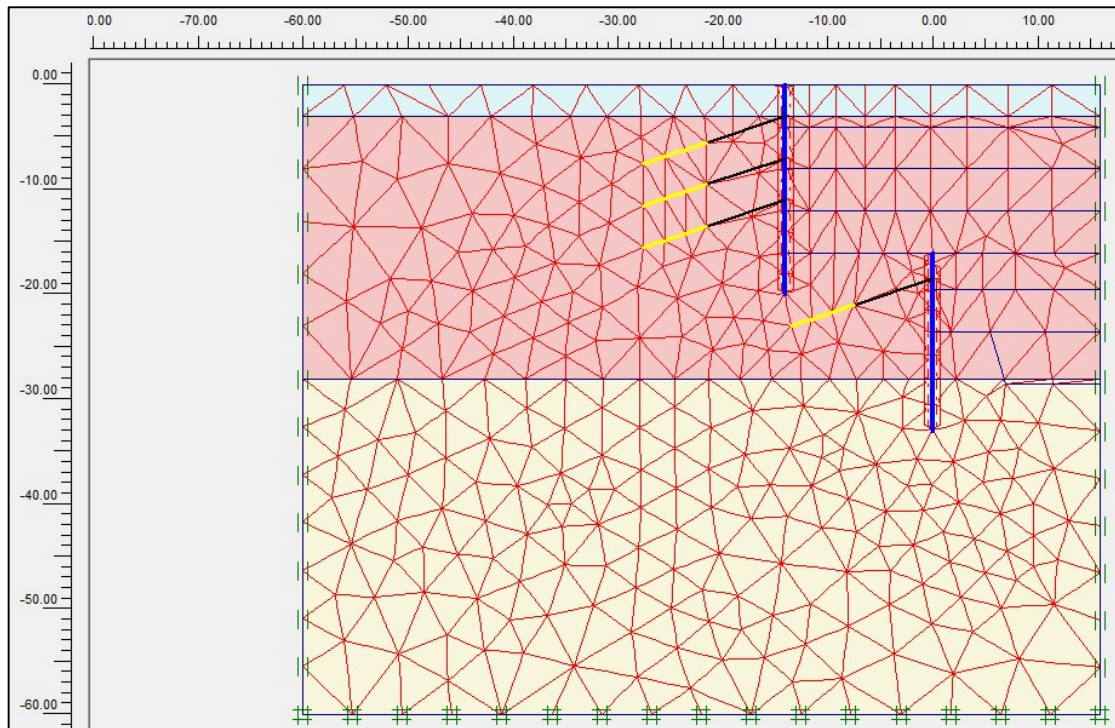
Μπορεί να οριστεί το πόσο πυκνό θα είναι το πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων, όπως γίνεται αντιληπτό όσο πυκνότερο είναι το πλέγμα τόσο περισσότερα θα είναι τα πεπερασμένα στοιχεία και τα αποτελέσματα των υπολογισμών ακριβέστερα. Η πύκνωση του πλέγματος των στοιχείων πραγματοποιείται από την εντολή «Global Coarseness»

Η επίπτωση της επιλογής ενός πολύ πυκνού πλέγματος είναι η αύξηση του χρόνου και της δυσκολίας επίλυσης των υπολογισμών από το πρόγραμμα του «PLAXIS». Στις αναλύσεις που πραγματοποιούνται σε αυτή την εργασία επιλέγεται το πλέγμα να είναι πυκνό (προτελευταία επιλογή στην κλίμακα πύκνωσης του πλέγματος).



Εικόνα 38: Διακριτοποίηση μοντέλου – Τομή S1.

Στις Εικόνες 38 και 39, φαίνονται τα μοντέλα έπειτα από την Διακριτοποίηση τους, όπου γίνεται αντιληπτό και το πλέγμα των στοιχείων.



Εικόνα 39: Διακριτοποίηση μοντέλου – Τομή S2.

#### 4.5.6 Αρχικές Συνθήκες

Πριν την εκκίνηση των επιλύσεων πρέπει να οριστεί το αρχικό εντατικό πεδίο που επικρατεί για το μοντέλο, δηλαδή οι γεωστατικές και υδροστατικές τάσεις.

Όπως έχει αναφερθεί και στο Κεφάλαιο 1, η παρουσία του υδροφόρου δεν λαμβάνεται υπόψη και οι αναλύσεις πραγματοποιούνται υπό ξηρές συνθήκες. Επομένως, η εφαρμογή υδροστατικών πιέσεων δεν είναι αντικείμενο το οποίο εξετάζεται στην παρούσα εργασία.

Όσο αφορά, τις γεωστατικές τάσεις, ο συντελεστής ουδέτερων ωθήσεων γαιών υπολογίζεται από το πρόγραμμα ( $K_0 = 1 - \sin \varphi$ ), λαμβάνοντας υπόψη τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά που έχουν οριστεί για τον εκάστοτε σχηματισμό.

#### 4.5.7 Εκτέλεση Υπολογισμών

Το λογισμικό «PLAXIS», για την εκτέλεση των υπολογισμών παρέχει το υποπρόγραμμα «PLAXIS Calculation». Μέσω αυτού του υποπρογράμματος ορίζονται τα στάδια της εκσκαφής και της εφαρμογής των μέτρων αντιστήριξης καθώς και ο τρόπος και τα βήματα της επίλυσης.

Και για τις δύο τομές, S1 και S2, επιλέγεται σαν τύπος επίλυσης η πλαστική με εξαίρεση την τελευταία φάση των επιλύσεων που επιλέγεται αυτή του «Phi/c

reduction». Η τελευταία φάση επίλυσης μειώνει κατά μεγάλο βαθμό τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών με στόχο τον προσδιορισμό του συντελεστή ασφαλείας. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι ότι σε καμία περίπτωση δεν χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα της φάσης υπολογισμού «Phi/c reduction» για παραμορφώσεις και τάσεις, καθώς δεν ανταποκρίνονται στα αρχικά ορισμένα χαρακτηριστικά του γεωτεχνικού μοντέλου.

Οι φάσεις υπολογισμού για τις τομές S1 και S2, παρουσιάζονται στους πίνακες 23 και 24, αντίστοιχα.

Πίνακας 23: Φάσεις υπολογισμού – Τομή S1

A/A	Φάση υπολογισμού	Τύπος Επίλυσης
0	Αρχικές συνθήκες	Πλαστική
1	Ενεργοποίηση επιφανειακών φορτίων και πασσάλων περιμετρικής εκσκαφής	Πλαστική
2	Πρώτη τμηματική εκσκαφή	Πλαστική
3	Ενεργοποίηση και εφαρμογή προέντασης πρώτης σειράς αγκυρίων	Πλαστική
4	Δεύτερη τμηματική εκσκαφή	Πλαστική
5	Ενεργοποίηση και εφαρμογή προέντασης δεύτερης σειράς αγκυρίων	Πλαστική
6	Τρίτη τμηματική εκσκαφή	Πλαστική
7	Ενεργοποίηση και εφαρμογή προέντασης τρίτης σειράς αγκυρίων	Πλαστική
8	Τέταρτη τμηματική εκσκαφή	Πλαστική
9	Ενεργοποίηση και εφαρμογή προέντασης τέταρτης σειράς αγκυρίων	Πλαστική
10	Πέμπτη τμηματική εκσκαφή	Πλαστική

11	Ενεργοποίηση και εφαρμογή προέντασης πέμπτης σειράς αγκυρίων	Πλαστική
12	Έκτη τμηματική εκσκαφή	Πλαστική
13	Ενεργοποίηση και εφαρμογή προέντασης έκτης σειράς αγκυρίων	Πλαστική
14	Τελευταία τμηματική εκσκαφή	Πλαστική
15	Υπολογισμός συντελεστή Ασφαλείας	Phi / c reduction

Πίνακας 24: Φάσεις υπολογισμού – Τομή S2

A/A	Φάση υπολογισμού	Τύπος Επίλυσης
0	Αρχικές συνθήκες	Πλαστική
1	Ενεργοποίηση επιφανειακών φορτίων και πασσάλων περιμετρικής εκσκαφής	Πλαστική
2	Πρώτη τμηματική εκσκαφή	Πλαστική
3	Ενεργοποίηση και εφαρμογή προέντασης πρώτης σειράς αγκυρίων	Πλαστική
4	Δεύτερη τμηματική εκσκαφή	Πλαστική
5	Ενεργοποίηση και εφαρμογή προέντασης δεύτερης σειράς αγκυρίων	Πλαστική
6	Τρίτη τμηματική εκσκαφή	Πλαστική
7	Ενεργοποίηση και εφαρμογή προέντασης τρίτης σειράς αγκυρίων	Πλαστική
8	Τέταρτη τμηματική εκσκαφή	Πλαστική
	Ενεργοποίηση πασσάλων ανασταθμού	Πλαστική

9	Ενεργοποίηση και εφαρμογή προέντασης πρώτης σειράς αγκυρίων ανασταθμού	Πλαστική
10	Πέμπτη τμηματική εκσκαφή	Πλαστική
11	Έκτη τμηματική εκσκαφή	Πλαστική
12	Τελευταία τμηματική εκσκαφή	Πλαστική
13	Υπολογισμός συντελεστή Ασφαλείας	Phi / c reduction

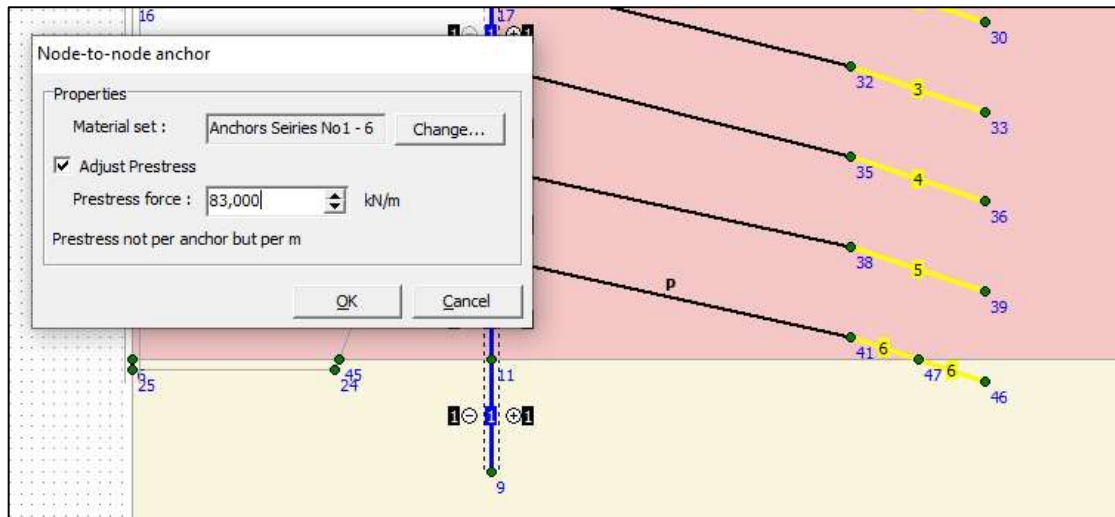
Πριν από την εκκίνηση της επίλυσης ορίζονται από το χρήστη σημεία παρατήρησης για τα οποία καταγράφονται οι τάσεις και οι μετακινήσεις ώστε στο τέλος των επιλύσεων να μπορούν να διεξαχθούν τα ανάλογα συμπεράσματα.

Ακόμα, μπορούν να καθοριστούν τα επιπλέον βήματα των επιλύσεων στα οποία θα σταματήσει η επίλυση.

Τέλος, σε κάθε φάση που γίνεται η ενεργοποίηση των αγκυρίων, ορίζεται αντίστοιχα και η δύναμη προέντασης τους. Υπογραμμίζεται ότι η δύναμη προέντασης στο «PLAXIS» ορίζεται ανά μήκος πάκτωσης. Όπως είναι γνωστό, το πακτωμένο μήκος του αγκυρίου είναι το τμήμα που κατανέμει μέσω ενός βολβού από τιμεντένεμα τη δύναμη προέντασης στο περιβάλλον έδαφος ασκώντας θλιπτικές τάσεις.

Για την τομή S1, η δύναμη προέντασης σχεδιασμού των αγκυρώσεων είναι ίση με 500 kN και το μήκος πακτωμένο μήκος τους ίσο με 6 m, επομένως η δύναμη προσέντασης που ορίζεται είναι ίση με 83 kN/m , Εικόνα 40.



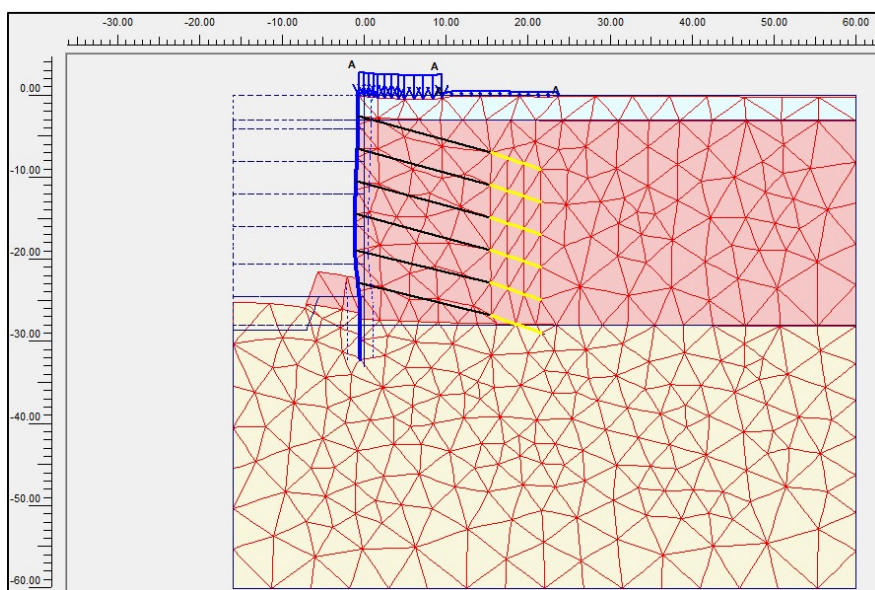


Εικόνα 40: Ορισμός Προέντασης αγκυρίου-Τομή S1.

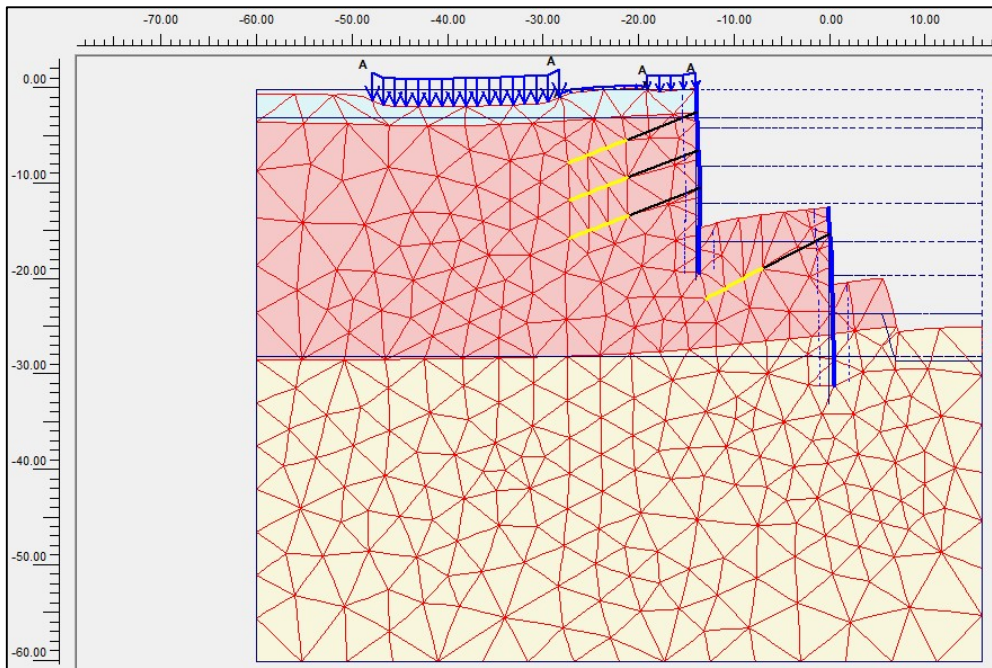
#### 4.5.8 Εξαγωγή Αποτελεσμάτων

Με το πέρας των υπολογισμών τα αποτελέσματα δίδονται μέσω του υποπρογράμματος «PLAXIS output». Υπάρχει η δυνατότητα της εξαγωγής των αποτελεσμάτων για κάθε φάση υπολογισμού ξεχωριστά.

Ακόμα, πέρα από την αναπαράσταση μέσω χρωματικής κλίμακας πάνω στο μοντέλο, των τάσεων, μετακινήσεων κ.λπ., τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται και σε πίνακες για όλα τα σημεία του αρχικά ορισμένου πλέγματος διακριτοποίησης. Στις Εικόνες 41 και 42, φαίνονται τα παραμορφωμένα μοντέλα για την επίλυση αναφοράς των Τομών S1 και S2.

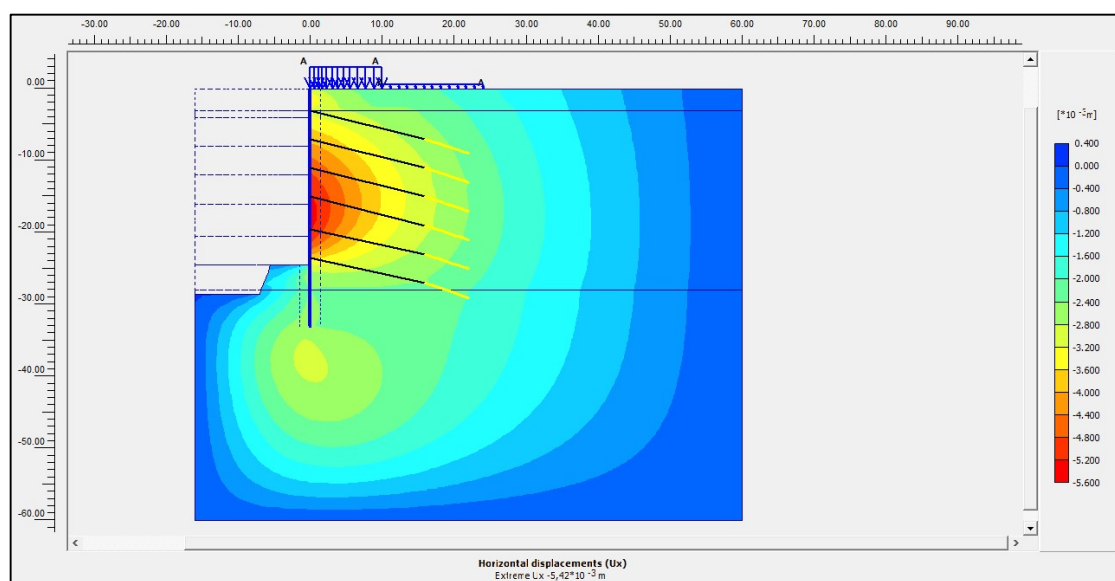


Εικόνα 41: Παραμορφωμένο μοντέλο - Τομή S1.

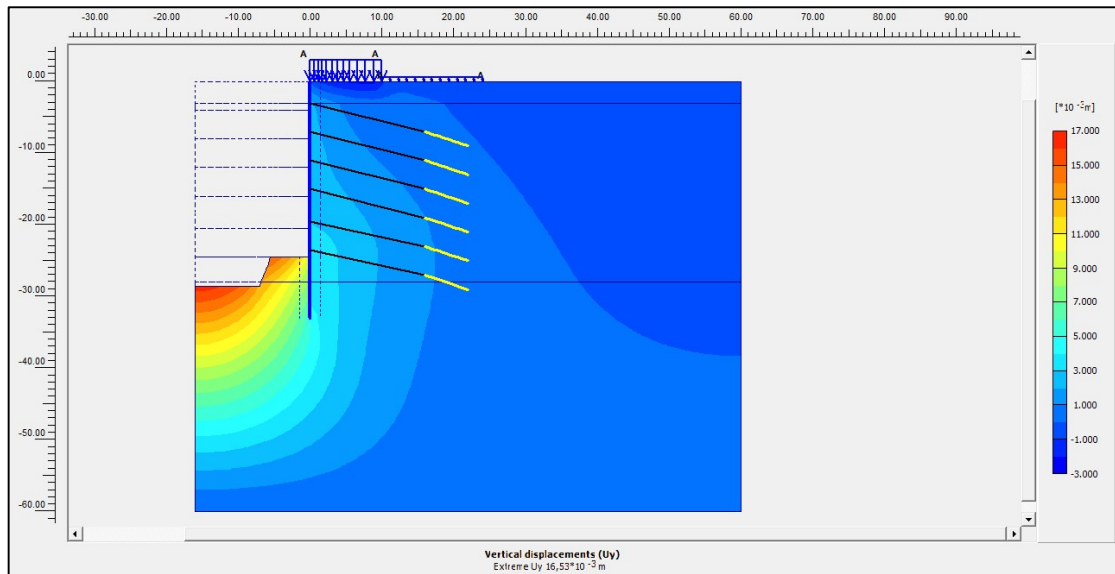


Εικόνα 42: Παραμορφωμένο μοντέλο - Τομή S2.

Όπως φαίνεται και στις Εικόνες 43 και 44, για την επίλυση αναφοράς της S1, οι μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις φαίνεται ότι αναπτύσσονται στη στάθμη -10 m και για τα επόμενα 10 m, ακριβώς πίσω από τον διαφραγματικό τοίχο και οι μέγιστες κατακόρυφες στον πυθμένα της εκσκαφής καθώς και στο τεχνητό πρανές. Οι μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις είναι της τάξης των 5,42 mm και οι μέγιστες κατακόρυφες της τάξης 16,53 mm με φορά προς τα πάνω και μέγιστες καθιζήσεις της τάξης των 3 mm εκεί που βρίσκονται οι εργοταξιακές εγκαταστάσεις.

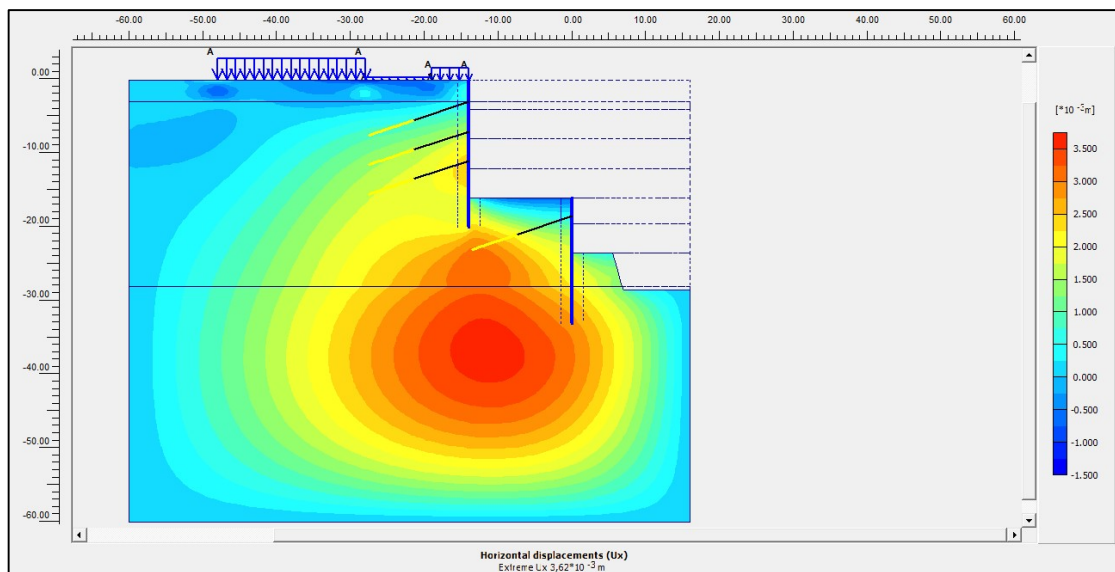


Εικόνα 43: Οριζόντιες μετακινήσεις επίλυσης αναφοράς – Τομή S1.



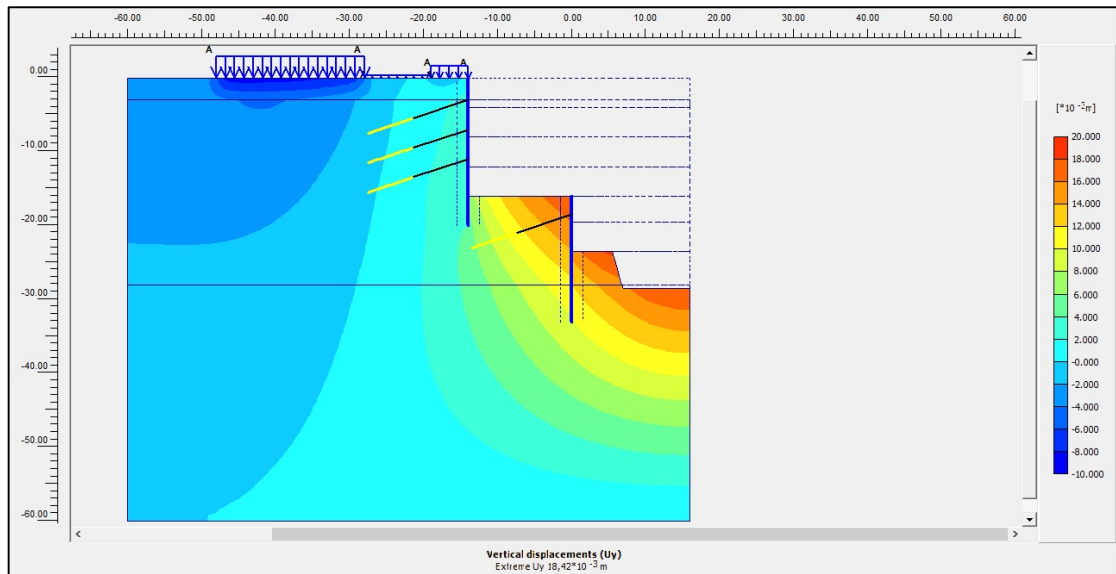
Εικόνα 44: Κατακόρυφες μετακινήσεις επίλυσης αναφοράς – Τομή S1.

Αναφορικά με την επίλυση αναφοράς της τομής S2, όπως φαίνεται στο Εικόνα 45, οι μέγιστες οριζόντιες τάσεις εμφανίζονται μεταξύ του περιμετρικών πασσάλων της εκσκαφής και αυτών του ανασταθμού και είναι της τάξης των 3,62 mm.

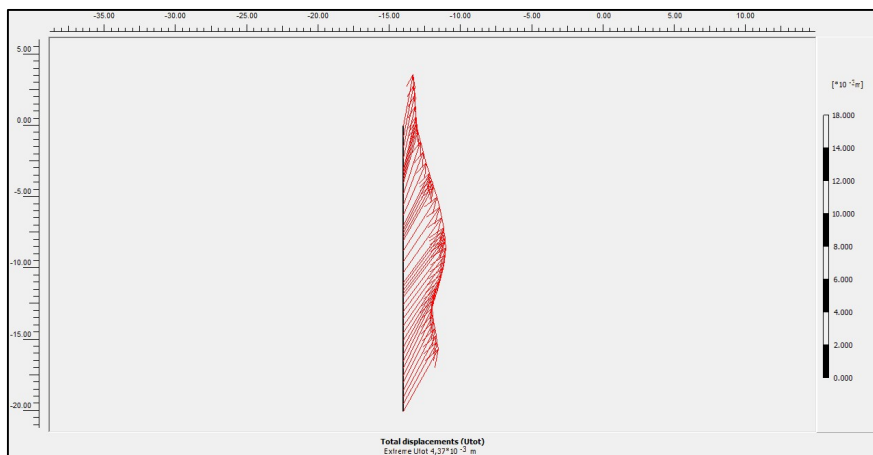


Εικόνα 45: Οριζόντιες μετακινήσεις επίλυσης αναφοράς – Τομή S2.

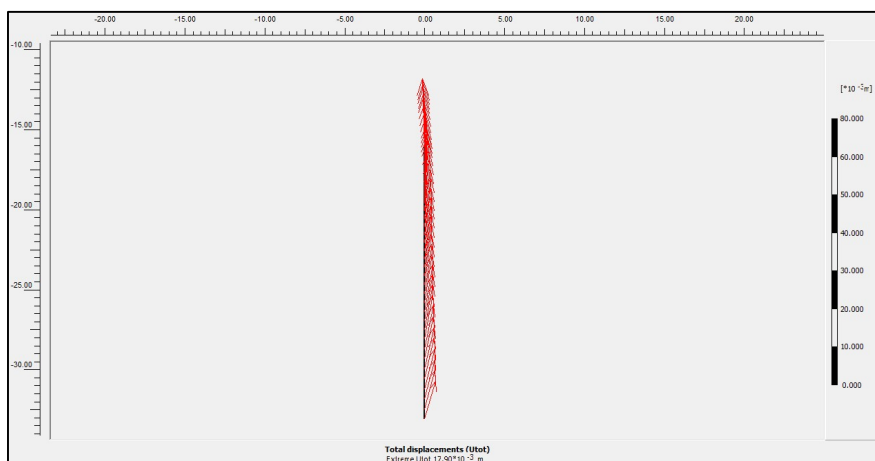
Επιπλέον, οι μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις, για την Τομή S2, φαίνεται από την Εικόνα 46 ότι αναπτύσσονται στο επίπεδο του ανασταθμού, στο τεχνητό και στον πυθμένα της εκσκαφής. Οι μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις με φορά προς τα πάνω είναι της τάξης των 18,42 mm ενώ ταυτόχρονα παρατηρούνται καθιζήσεις στην επιφάνεια με μέγιστη τιμή στο σημείο που υπάρχει η επιφόρτιση από την 9-όροφη πολυκατοικία, της τάξης των 10 mm.



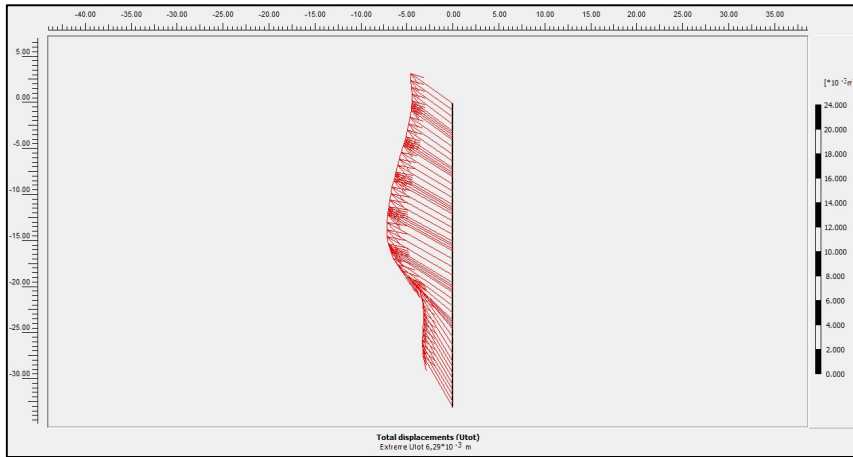
Εικόνα 46: Κατακόρυφες μετακινήσεις επίλυσης αναφοράς – Τομή S2.



Εικόνα 47: Συνολικές μετακινήσεις πασσαλότοιχου περιμετρικής εκσκαφής - S2.



Εικόνα 48: Συνολικές μετακινήσεις πασσαλότοιχου ανασταθμού - S2.



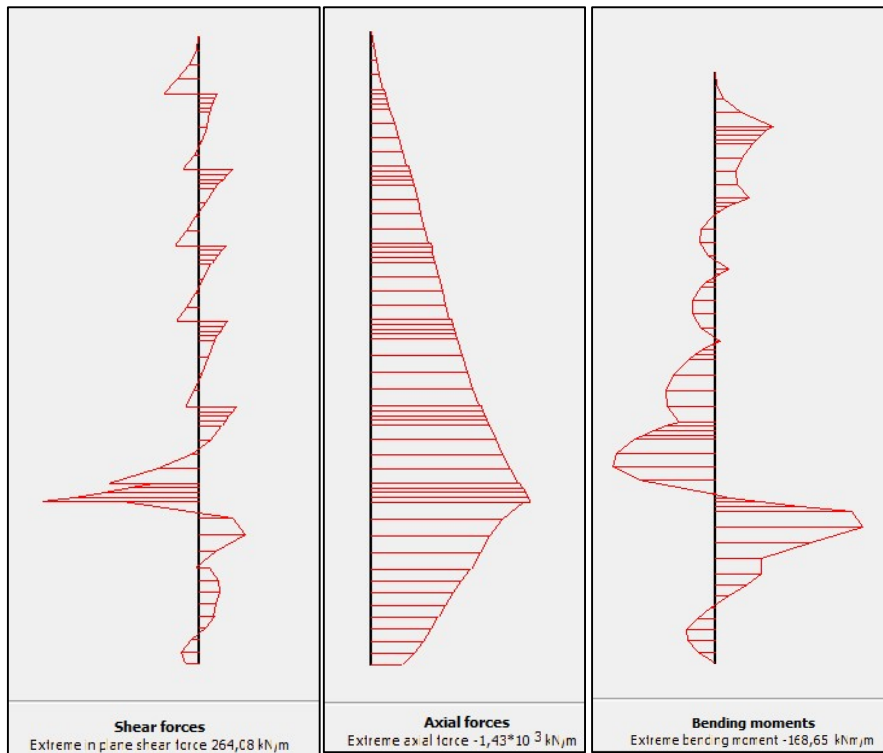
Εικόνα 49: Συνολικές μετακινήσεις πασσαλότοιχου περιμετρικής εκσκαφής – S1.

Στις Εικόνες 47 έως και 49 φαίνονται οι συνολικές μετακινήσεις των πασσαλότοιχων καθώς και οι κατευθύνσεις τους, για τις δύο τομές S1 και S2.

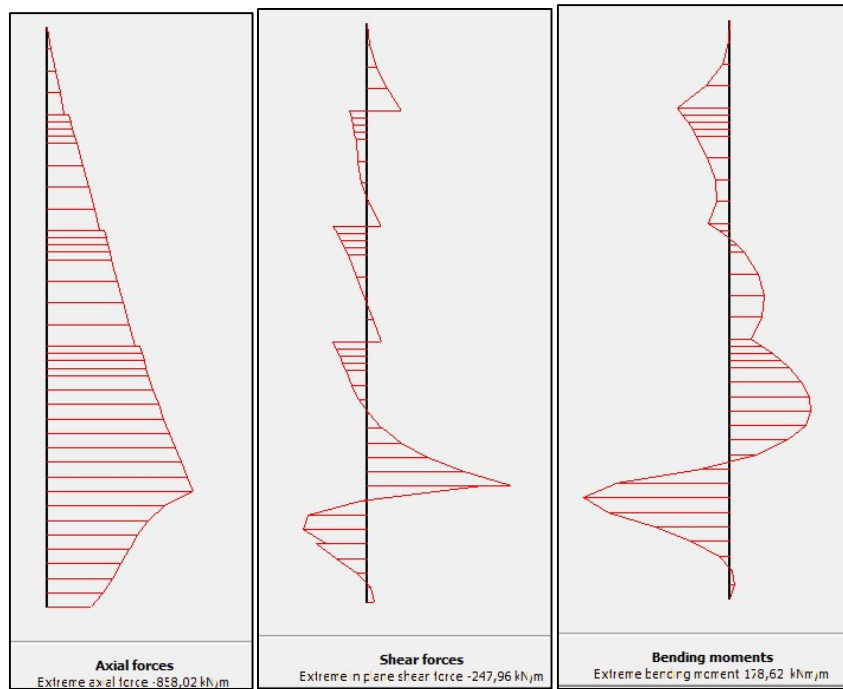
Πίνακας 25: Αποτελέσματα υπολογισμών πασσαλότοιχων

Αποτελέσματα υπολογισμών πασσαλότοιχων

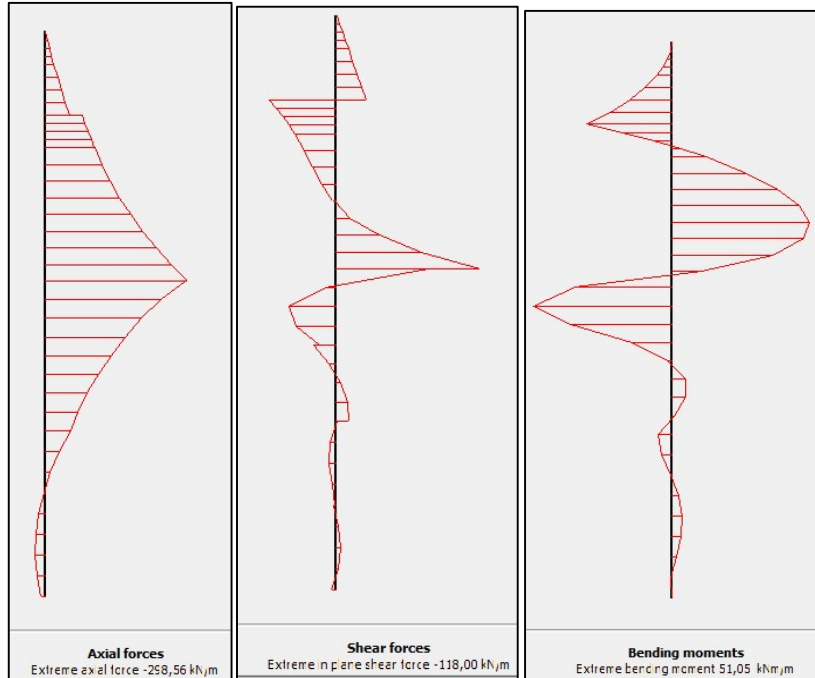
Μέγιστες τιμές	Αποτελέσματα υπολογισμών		
	Πάσσαλοι Ø100cm - Τομή S1	Πάσσαλοι Ø100cm - Τομή S2	Πάσσαλοι Ø80cm - Τομή S2
Μετακινήσεις $U_t$ (mm)	6,29	4,37	17,9
Διατμητικές Δυνάμεις (kN/m)	264,08	-247,96	-118
Αξονικές Δυνάμεις (kN/m)	-1430	858,02	-298,56
Καμπτικές Ροπές (kN/m)	-168,65	128,62	51,05



Εικόνα 50: Μέγιστες διατμητικές, αξονικές δυνάμεις και καμπικές ροπές πασσαλότοιχου περιμετρικής εκσκαφής – S1.

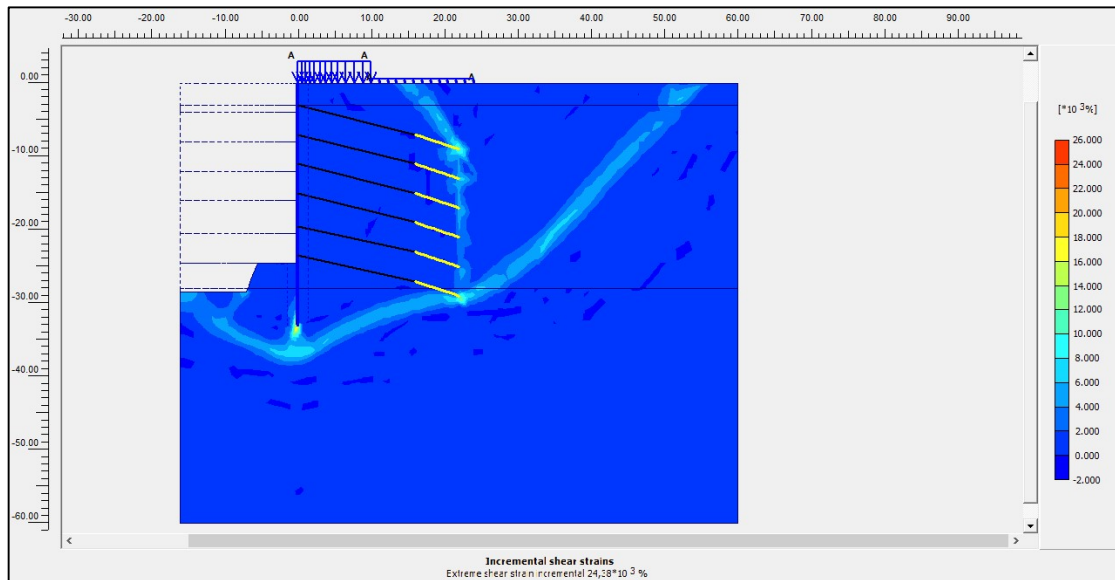


Εικόνα 51: Μέγιστες διατμητικές, αξονικές δυνάμεις και καμπικές ροπές πασσαλότοιχου περιμετρικής εκσκαφής – S2.

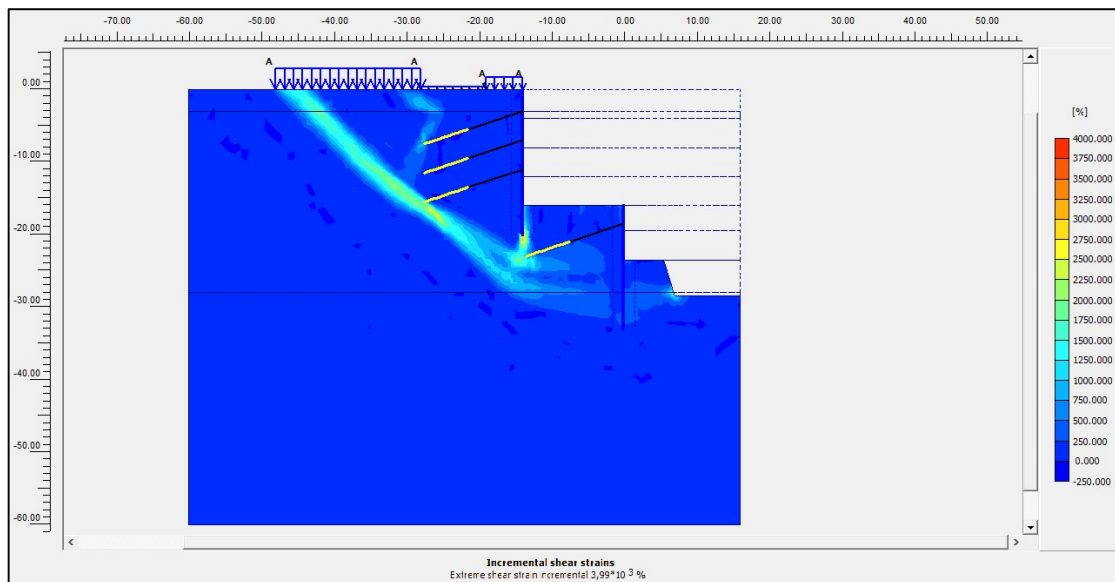


Εικόνα 52: Μέγιστες διατμητικές, αξονικές δυνάμεις και καμπικές ροπές πασσαλότοιχου ανασταθμού – S2.

Στον Πίνακα 25, δίνονται συνοπτικά οι μέγιστες συνολικές μετακινήσεις, διατμητικές και αξονικές δυνάμεις καθώς και οι καμπτικές ροπές για τους πασσαλότοιχους, Εικόνες 50 έως και 52.



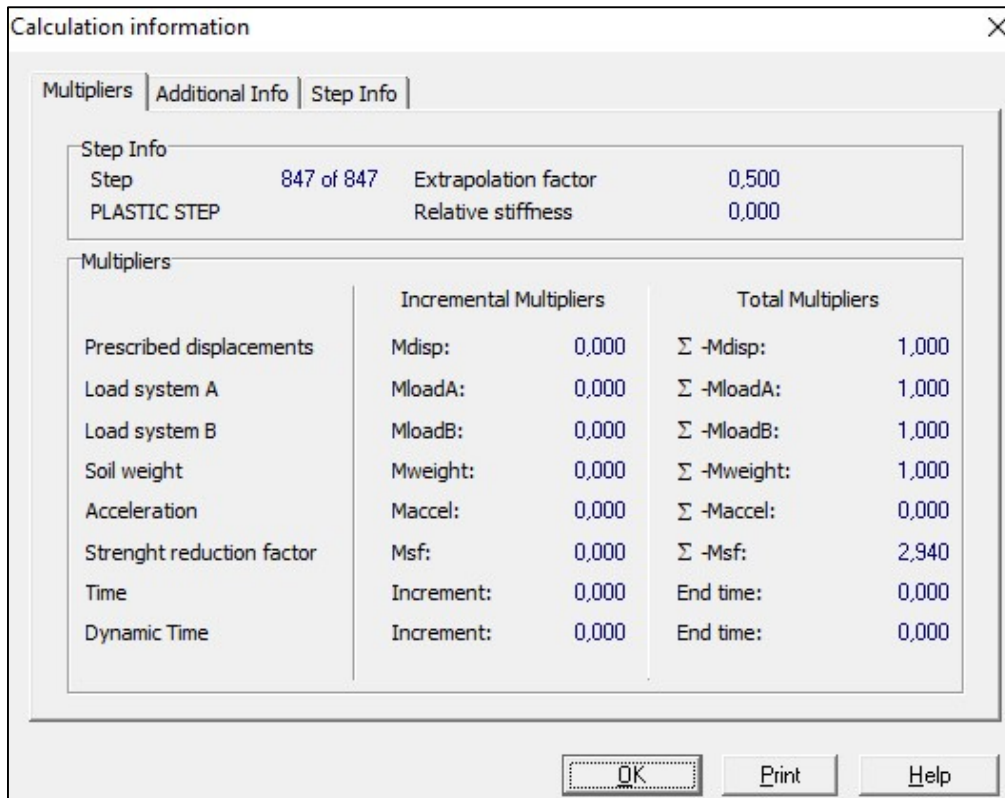
Εικόνα 53: Δυνητική επιφάνεια αστοχίας – Τομή S1.



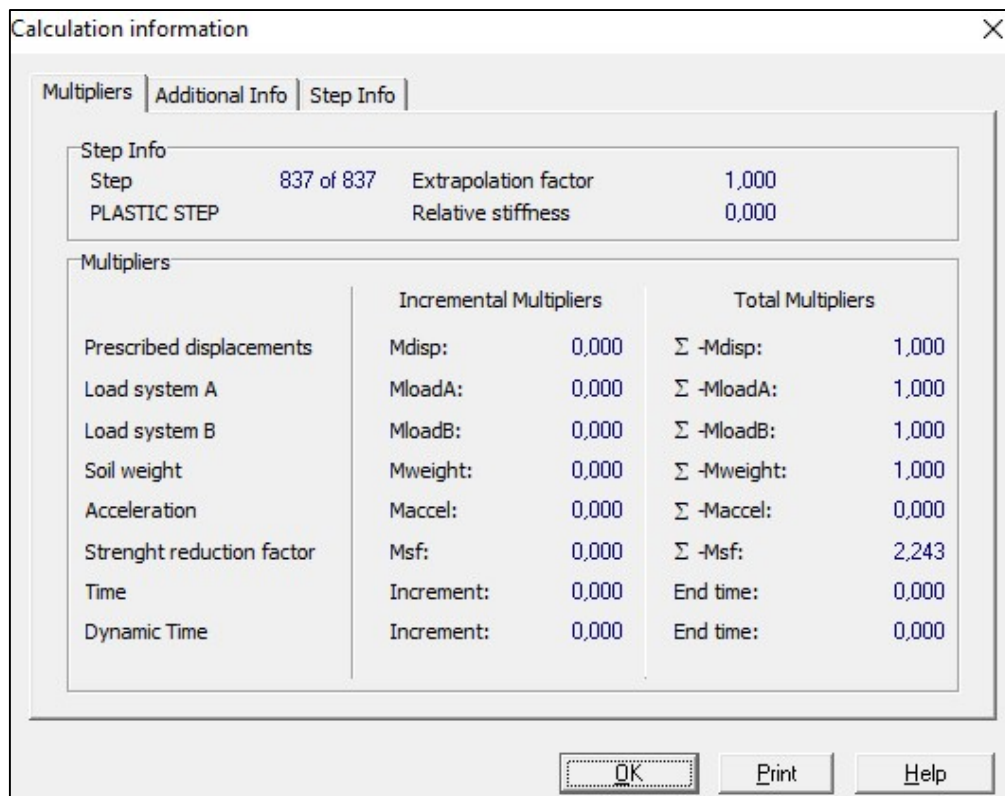
Εικόνα 54: Δυνητική επιφάνεια αστοχίας – Τομή S2.

Τέλος, στις Εικόνες 53 και 54, φαίνονται οι δυνητικές επιφάνειες αστοχίας για τις Τομές S1 και S2, οι οποίες δεν πρόκειται να αστοχήσουν καθώς οι συντελεστές ασφαλείας είναι ίσοι με 2,940 και 2,243 , αντίστοιχα για τις δυο τομές, Εικόνες 55 και 56.





Εικόνα 55: Πληροφορίες υπολογισμού επίλυσης -Τομή S1.



Εικόνα 56: Πληροφορίες υπολογισμού επίλυσης -Τομή S2.

## 5 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται οι παραμετρικές αναλύσεις και η σύγκριση των αποτελεσμάτων τους με αυτά των επιλύσεων αναφοράς για τις δυο τομές της εκσκαφής.

### 5.1 Περιγραφή Παραμετρικών Αναλύσεων

Παρουσιάζονται παρακάτω οι παραμετρικές αναλύσεις όπου επισημαίνεται και σε αυτό το σημείο ότι οι τιμές αναφοράς δεν ταυτίζονται με την πραγματική σχεδίαση του έργου καθώς έχουν πραγματοποιηθεί καίριες τροποποιήσεις.

Μέσω των συγκρίσεων των αποτελεσμάτων μπορούν να αντληθούν διάφορα συμπεράσματα για τη συμπεριφορά των εδαφικών σχηματισμών συναρτήσει των εφαρμοζόμενων μέτρων αντιστήριξης.

Οι παραμετρικές αναλύσεις που πρόκειται να παρουσιαστούν στην συνέχεια είναι οι ακόλουθες:

1. **Παραμετρική Ανάλυση Νο 1:** Διαφοροποίηση της στρωματογραφίας, όπου η τεχνικογεωλογική ενότητα (Γ), ήτοι ψαμμίτες – ασβεστιτικοί ψαμμίτες, ξεκινά από το βάθος -23 m από τα -28 m της πρότυπης ανάλυσης.
2. **Παραμετρική Ανάλυση Νο 2:** Αλλαγή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των πασσαλότοιχων της περιμετρικής εκσκαφής, μεγαλώνοντας το βάθος έμπηξης τους κατά 3 m και του πασσαλότοιχου του ανασταθμού κατά 2 m.
3. **Παραμετρική Ανάλυση Νο3 :**Αύξηση της δύναμης προέντασης των αγκυρίων κατά 100 kN.

Οι παραπάνω εφαρμογές πραγματοποιήθηκαν και για τις δυο τομές τις εκσκαφής S1 και S2. Χάριν ευκολίας για την παρουσία και συγκρίσεων των αποτελεσμάτων των αποτελεσμάτων επιλέχθηκε η κωδικοποίηση που φαίνεται στον Πίνακα 26:

Πίνακας 26: Κωδικοποίηση Παραμετρικών Αναλύσεων

Κωδικοποίηση Αναλύσεων

Παραμετρική Ανάλυση	Κωδικοποίηση	
	Τομή S1	Τομή S2
Παραμετρική Ανάλυση Νο 1	S1-1	S2-1
Παραμετρική Ανάλυση Νο 2	S1-2	S2-2
Παραμετρική Ανάλυση Νο 3	S1-3	S2-3

Τόσο, για τις επιλύσεις αναφοράς όσο και για τις παραμετρικές, προτού εκκινήσει το πρόγραμμα υπολογισμών, επιλέχθηκαν τα σημεία παρατήρησης, ίδια σε κάθε μοντέλο ανάλυσης. Για τα σημεία παρατήρησης γίνεται καταγραφή των μετακινήσεων και φορτίσεων τους σε όλη την διάρκεια των επιλύσεων μέχρι και την ολοκλήρωσή τους.

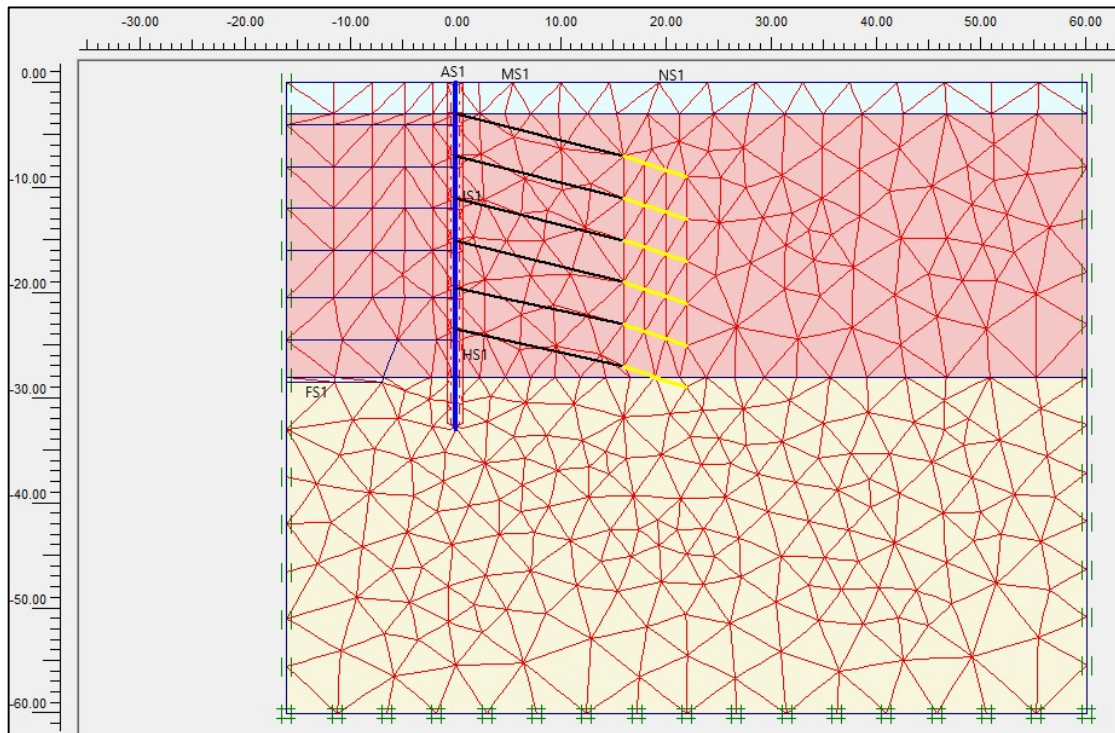
Η επιλογή των σημείων παρατήρησης κρίνεται από το πόσο σημαντική είναι η παρατήρηση των παραμορφώσεων από την βαθιά εκσκαφή που πραγματοποιείται. Μέσα στο αστικό περιβάλλον όπου και κατασκευάζεται ο σταθμός υπάρχουν αρκετά κοντά υφιστάμενες κατασκευές οι οποίες μπορεί να επηρεαστούν από την διάνοιξη του ορύγματος.

Πίνακας 27: Σημεία Παρατήρησης Τομή S1

ΣΗΜΕΙΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ – ΤΟΜΗ S1

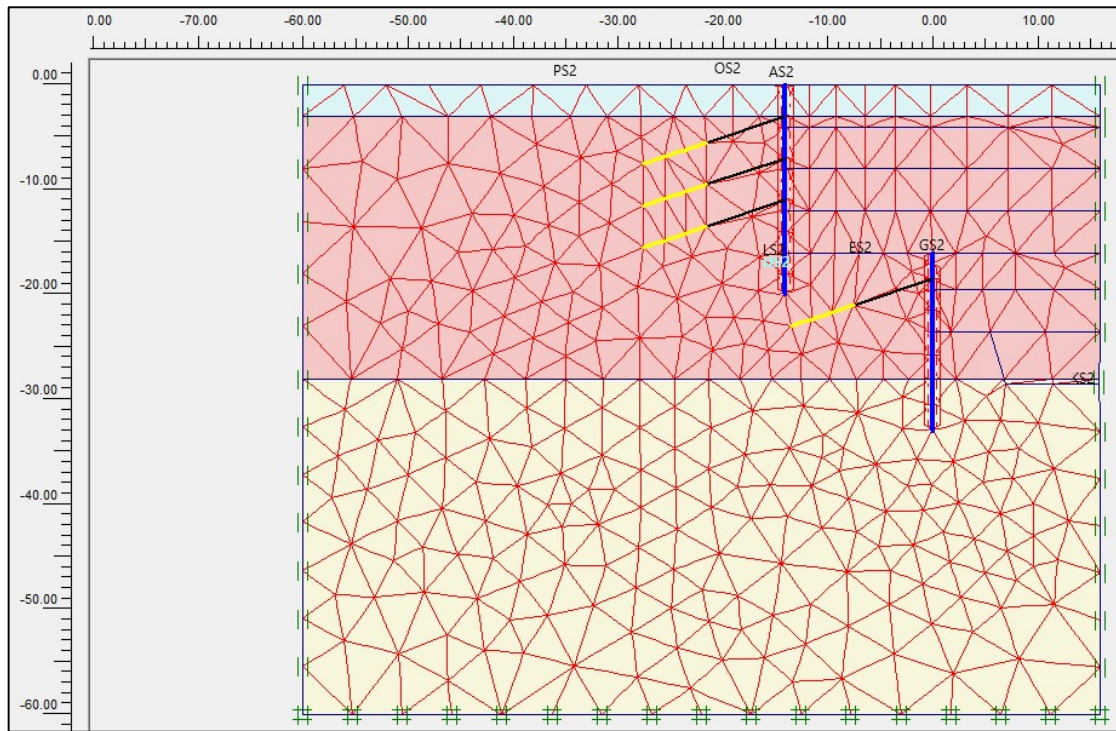
ΣΗΜΕΙΟ	x (m)	y (m)	Μέγεθος Παρατήρησης	Περιγραφή – Ενδιαφέρον Παρατήρησης
A-S1	0	0	$u_x$ (mm)	Κεφαλόδεσμος Πασσάλων – Οριζόντιες Μετακινήσεις
F-S1	-15	-28,5	$u_y$ (mm)	Τελική Στάθμη Εκσκαφής – Ανύψωση Πυθμένα – Κατακόρυφες Μετακινήσεις
I-S1	0	-13,5	$u_x$ (mm)	Μέγιστες Οριζόντιες Μετακινήσεις – Ενδιάμεσο Σημείο Πασσάλων

<i>H-S1</i>	0	-24,5	$\sigma_{yx}$ (kN/m <sup>2</sup> )	Διατμητικές τάσεις – Σημείο Έμπτυξης Πασσάλων
<i>M-S1</i>	5	0	$u_y$ (mm)	Καθιζήσεις – Επιφάνεια Εδάφους
<i>N-S1</i>	20	0	$u_y$ (mm)	Καθιζήσεις – Επιφάνεια Εδάφους



*Εικόνα 57: Σημεία Παρατήρησης Τομή S1.*

Με βάση τα παραπάνω επιλέγονται σημεία παρατήρησης στην επιφάνεια του εδάφους σε απόσταση 5 m και 20 m από την περίμετρο της εκσκαφής. Επιπροσθέτως, επιλέγονται σημεία πάνω στις πασσαλοτοιχίες, στην στέψη τους, στη μέση τους όπου συνήθως αναπτύσσονται οι μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις καθώς και στο σημείο που ξεκινά το μήκος έμπτυξης τους, Πίνακες 27 και 28 και Εικόνες 57 και 58.



Εικόνα 58: Σημεία Παρατήρησης Τομή S2.

Πίνακας 28: Σημεία Παρατήρησης Τομή S1

#### ΣΗΜΕΙΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ – ΤΟΜΗ S2

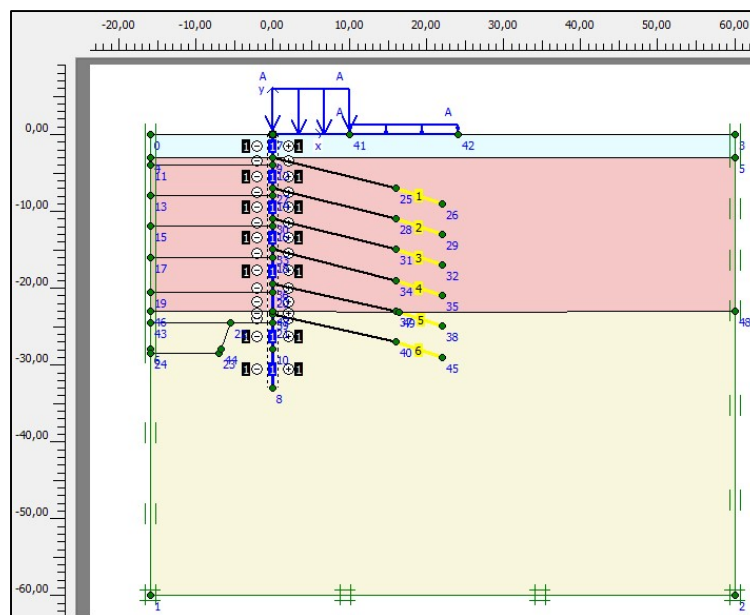
ΣΗΜΕΙΟ	x (m)	y (m)	Μέγεθος Παρατήρησης	Περιγραφή – Ενδιαφέρον Παρατήρησης
A-S2	-14	0	$u_x$ (mm)	Κεφαλόδεσμος Πασσάλων $\varnothing 100$ – Οριζόντιες Μετακινήσεις
G-S2	0	-16	$u_x$ (mm)	Κεφαλόδεσμος Πασσάλων $\varnothing 80$ – Οριζόντιες Μετακινήσεις
E-S2	-6,5	-16	$u_y$ (mm)	Στάθμη Εκσκαφής Ανασταθμού – Ανύψωση Πυθμένα – Κατακόρυφες Μετακινήσεις
K-S2	15	-28,5	$u_y$ (mm)	Τελική Στάθμη Εκσκαφής– Ανύψωση Πυθμένα – Κατακόρυφες Μετακινήσεις
L-S2	-14	-16	$u_x$ (mm)	Οριζόντιες Μετακινήσεις – Σημείο Έμπτηξης Πασσάλων $\varnothing 100$

D-S2	-14	-16	$\sigma_{yx}$ (kN/m <sup>2</sup> )	Διατμητικές τάσεις – Σημείο Έμπηξης Πασσάλων $\varnothing 100$
O-S2	0	-19	$u_y$ (mm)	Καθιζήσεις – Επιφάνεια Εδάφους
P-S2	0	-35	$u_y$ (mm)	Καθιζήσεις – Επιφάνεια Εδάφους

Τέλος, επιλέγεται και σημείο παρατήρησης στον πυθμένα των εκσκαφών όπου αναμένονται κατακόρυφες μετακινήσεις με φορά προς την επιφάνεια και μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στην κατασκευή. Μέσω του υποπρογράμματος «PLAXIS Curves» παρέχεται η δυνατότητα δημιουργίας γραφημάτων για τα σημεία παρατήρησης.

#### 5.1.1 Παραμετρική Ανάλυση Νο 1 – Τομή S1-1

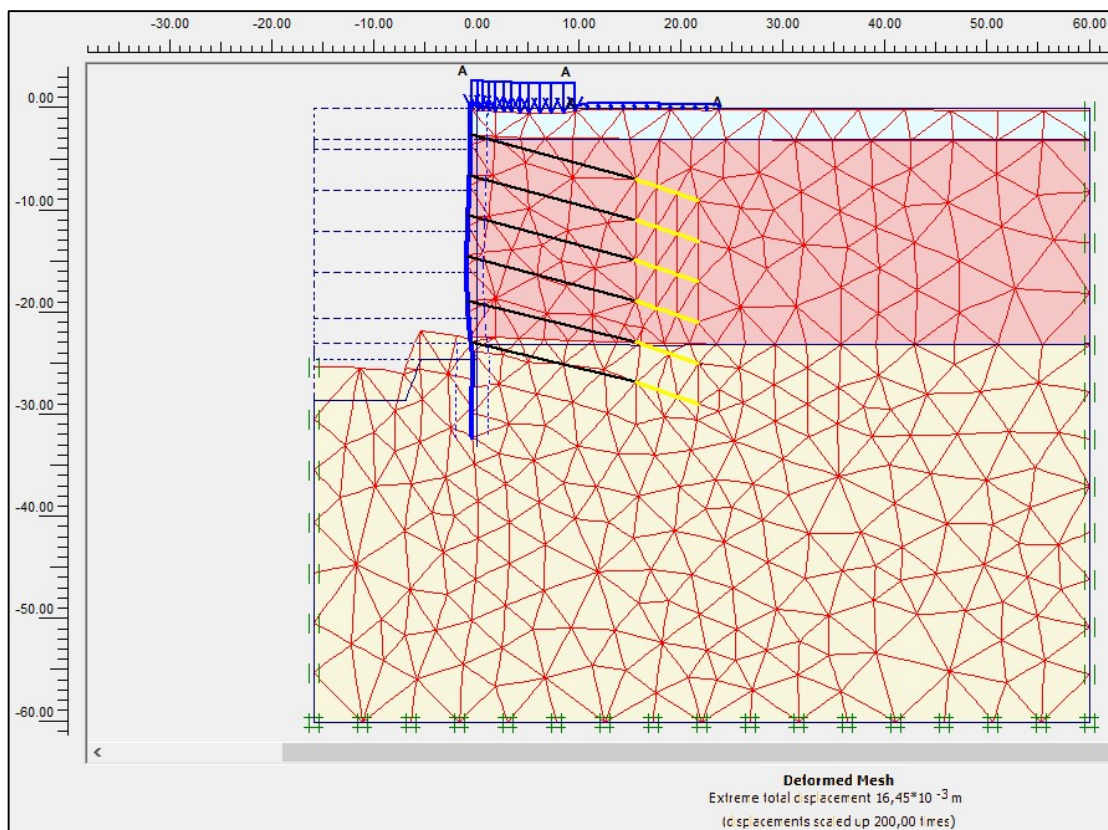
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, σε αυτήν την ανάλυση γίνεται διαφοροποίηση της στρωματογραφίας στην περιοχή μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνικογεωλογική ενότητα (Γ), συναντάται 5 m υψηλότερα από ότι στην επίλυση αναφοράς, Εικόνα 59.



Εικόνα 59: Γεωμετρία μοντέλου - Τομή S1-1.

Τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της τεχνικογεωλογικής ενότητας (Γ), που είναι ψαμμίτες, είναι καλύτερα σε σχέση με αυτά της μάργας του Πειραιά, τα χαρακτηριστικά των ενότητων παρουσιάζονται στους Πίνακες 2 και 3 του Κεφαλαίου 1.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 60, η παραμόρφωση του πλέγματος διακριτοποίησης μοιάζει με αυτή της παραμόρφωσης της τομής S1 στην επίλυση αναφοράς.



Εικόνα 60: Παραμόρφωση Πλέγματος διακριτοποίησης -Τομή S1-1.

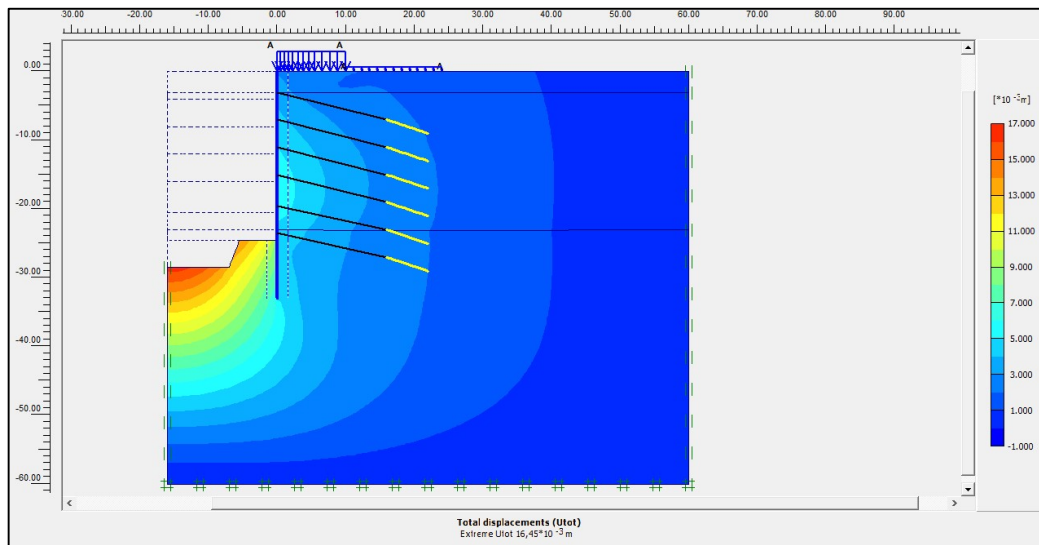
Πίνακας 29: Παρουσίαση αποτελεσμάτων -Τομή S1-1

**ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΤΟΜΗ S1-1**

ΣΗΜΕΙΟ	Μέγεθος	Μέγιστη κατά απόλυτη τιμή Αναφοράς S1	Μέγιστη κατά απόλυτη τιμή Παραμετρικής S1-1
A-S1-1	$u_x$ (mm)	3,65	3,35
F-S1-1	$u_y$ (mm)	16,48	16,41
I-S1-1	$u_x$ (mm)	5,03	4,70
H-S1-1	$\sigma_{yx}$ (kN/m <sup>2</sup> )	235,49	263,94
M-S1-1	$u_y$ (mm)	5,09	5,03
N-S1-1	$u_y$ (mm)	1,63	1,59

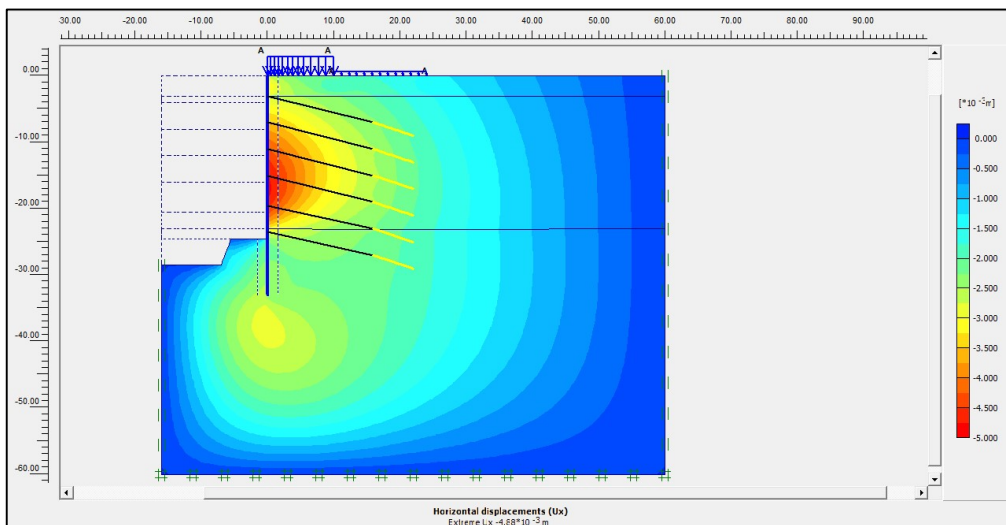
Η εν λόγω παραμετρική ανάλυση εξετάζει το πώς και σε τι βαθμό επηρεάζονται οι σχηματισμοί ανάλογα με τα γεωτεχνικά τους χαρακτηριστικά από την κατασκευή του σταθμού.

Στις Εικόνες 61,62 και 63, μέσω της χρωματικής κλίμακας φαίνεται η ανάπτυξη των συνολικών μετακινήσεων και των συνιστωσών τους.



Εικόνα 61: Συλονικές μετακινήσεις-Τομή S1-1.

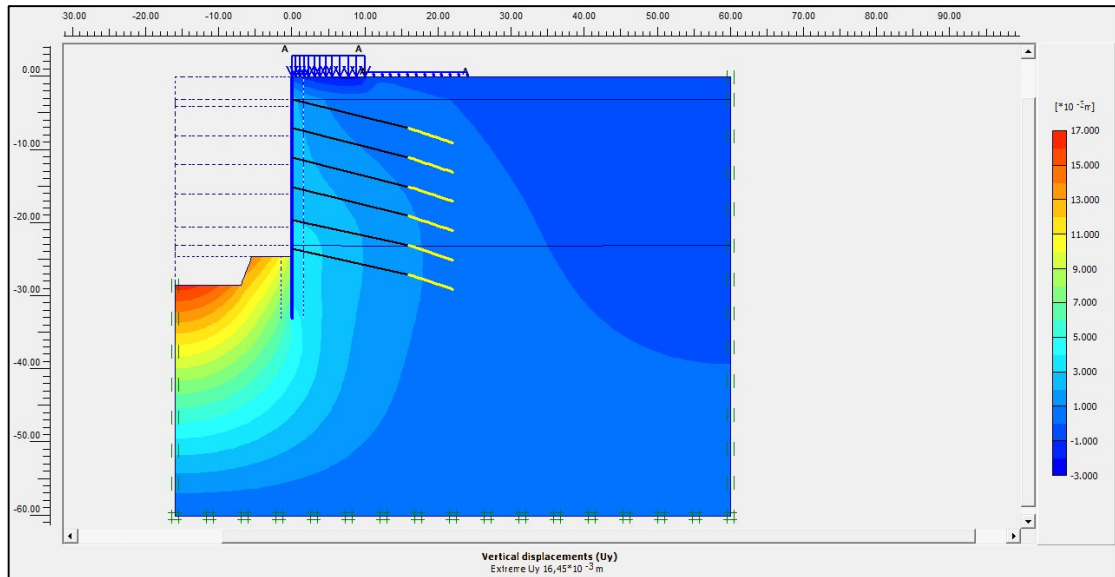
Οριζόντιες μετακινήσεις της τάξης έως και 4,88 mm αναπτύσσονται πίσω από τον πασσαλότοιχο με τις μέγιστες να παρουσιάζονται σχεδόν στη μέση του. Οι οριζόντιες μετακινήσεις έχουν κατεύθυνση προς το όρυγμα και η ανάπτυξη τους φαίνεται να αποσβάνει καθώς απομακρυνόμαστε από την εκσκαφή.



Εικόνα 62: Οριζόντιες μετακινήσεις-Τομή S1-1.

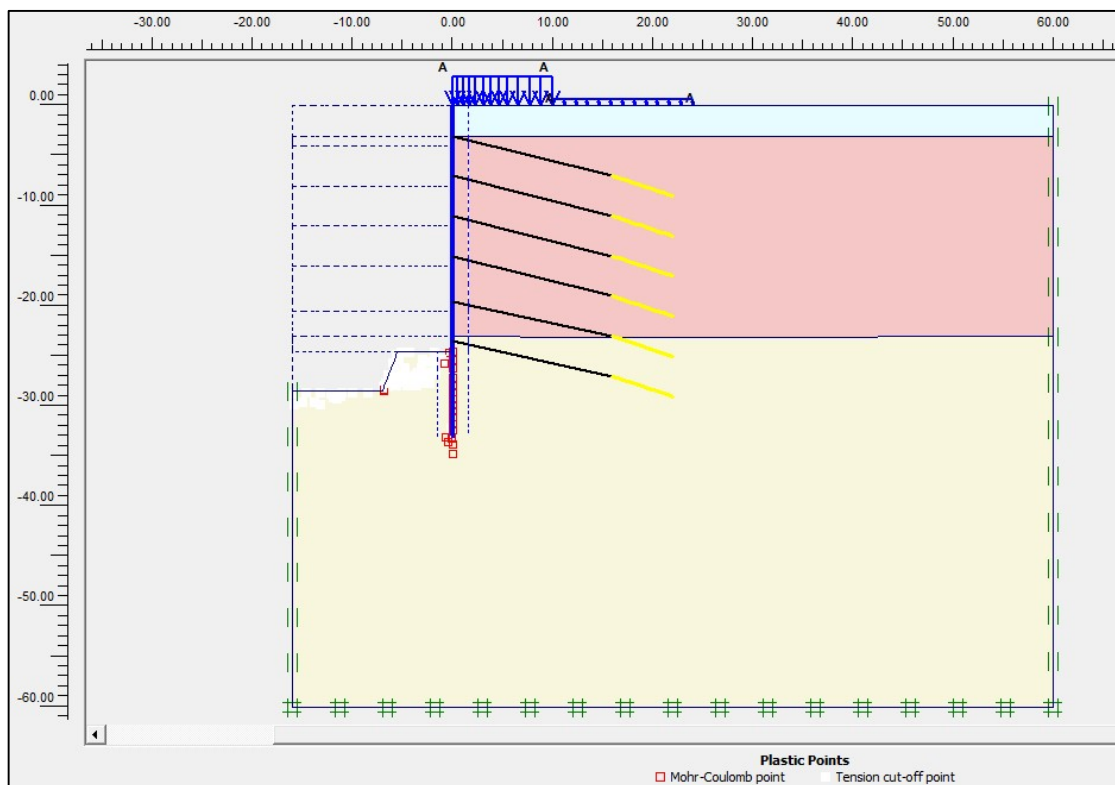


Αναφορικά με τις κατακόρυφες μετακινήσεις, Εικόνα 63, οι μέγιστες καθιζήσεις που παρατηρούνται είναι της τάξης των 3 mm, σχεδόν, ενώ οι ανυψώσεις στον πυθμένα φτάνουν μέχρι και 16,45 mm.

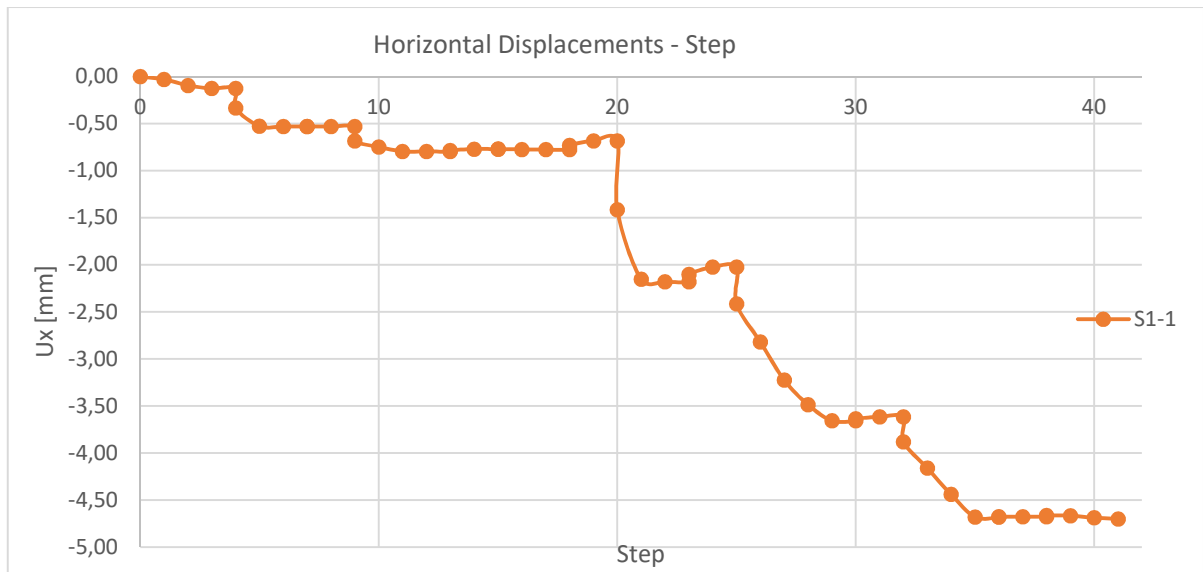


Εικόνα 63: Κατακόρυφες μετακινήσεις-Τομή S1-1.

Ακόμα, στην Εικόνα 64 φαίνονται τα σημεία που έχουν παραμορφωθεί πλαστικά.

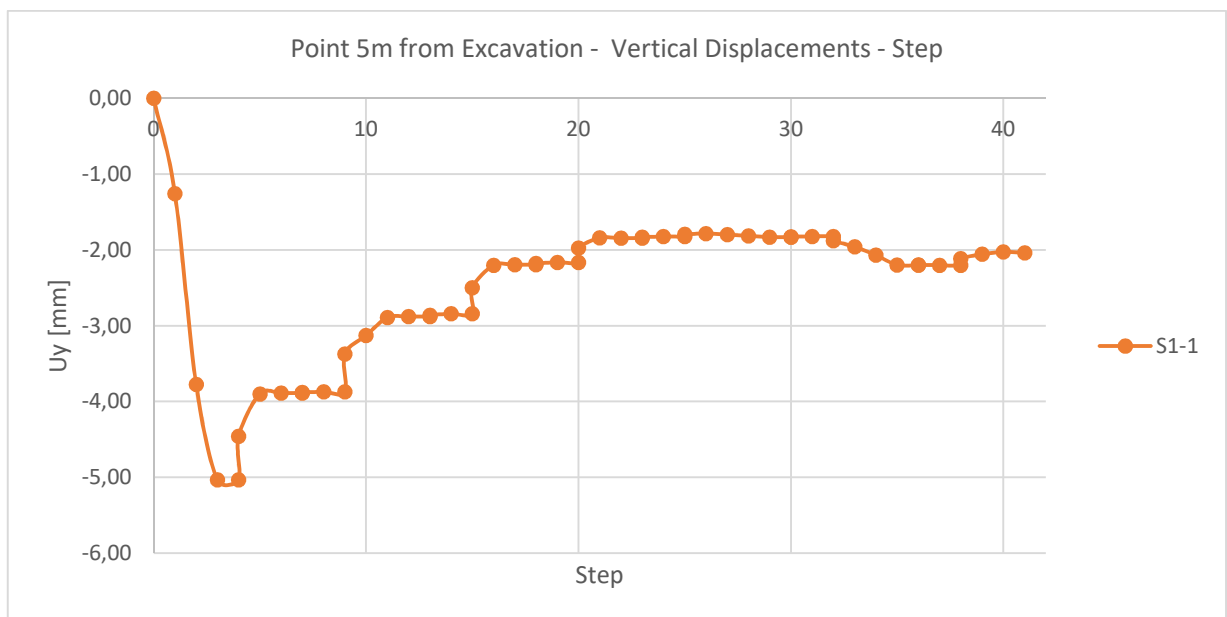


Εικόνα 64: Σημεία πλαστικής παραμόρφωσης- Τομή S1-1.



Διάγραμμα 1: Οριζόντιες μετακινήσεις στο μέσον της πασσαλοτοιχίας Τομή S1-1.

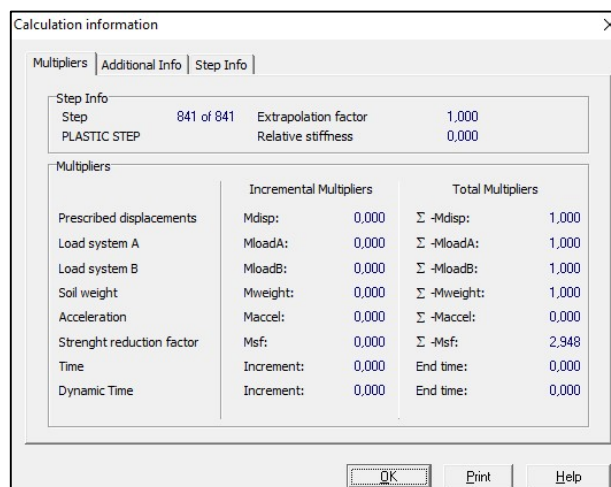
Στο διάγραμμα 1, φαίνονται οι οριζόντιες μετακινήσεις στη μέση της πασσαλοτοιχίας όπου η μέγιστη είναι ίση με 4,7 mm κατά απόλυτη τιμή. Η μέγιστη αυτή τιμή φτάνει αναπτύσσεται στην τελευταία φάση υπολογισμού όπου γίνεται η εκσκαφή της τελικής στάθμης.



Διάγραμμα 2: Κατακόρυφες μετακινήσεις επιφανειακού σημείου που απέχει 5 m από την εκσκαφή - Τομή S1-1.

Όπως παρουσιάζεται και στο Διάγραμμα 2, στα 5 m από την εκσκαφή η μέγιστη καθίζηση που καταγράφεται είναι ίση με 5 mm και γίνεται εμφανίζεται στις

αρχικές φάσεις της εκσκαφής. Εν συνεχεία φαίνεται ότι μειώνεται και τείνει να σταθεροποιηθεί γύρω στα 2 mm.



Εικόνα 65: Πληροφορίες υπολογισμού Τομή S1.1

Στην Εικόνα 65, φαίνονται πληροφορίες που αφορούν το υπολογιστικό μέρος της επίλυσης, όπου το βήμα στο οποίο σταμάτα η επίλυση είναι το 841 και ο συντελεστής ασφαλείας για την κατασκευή έχοντας τα δεδομένα χαρακτηριστικά είναι ίσος με 2,948.

### 5.1.2 Παραμετρική Ανάλυση Νο 1 – Τομή S2-1

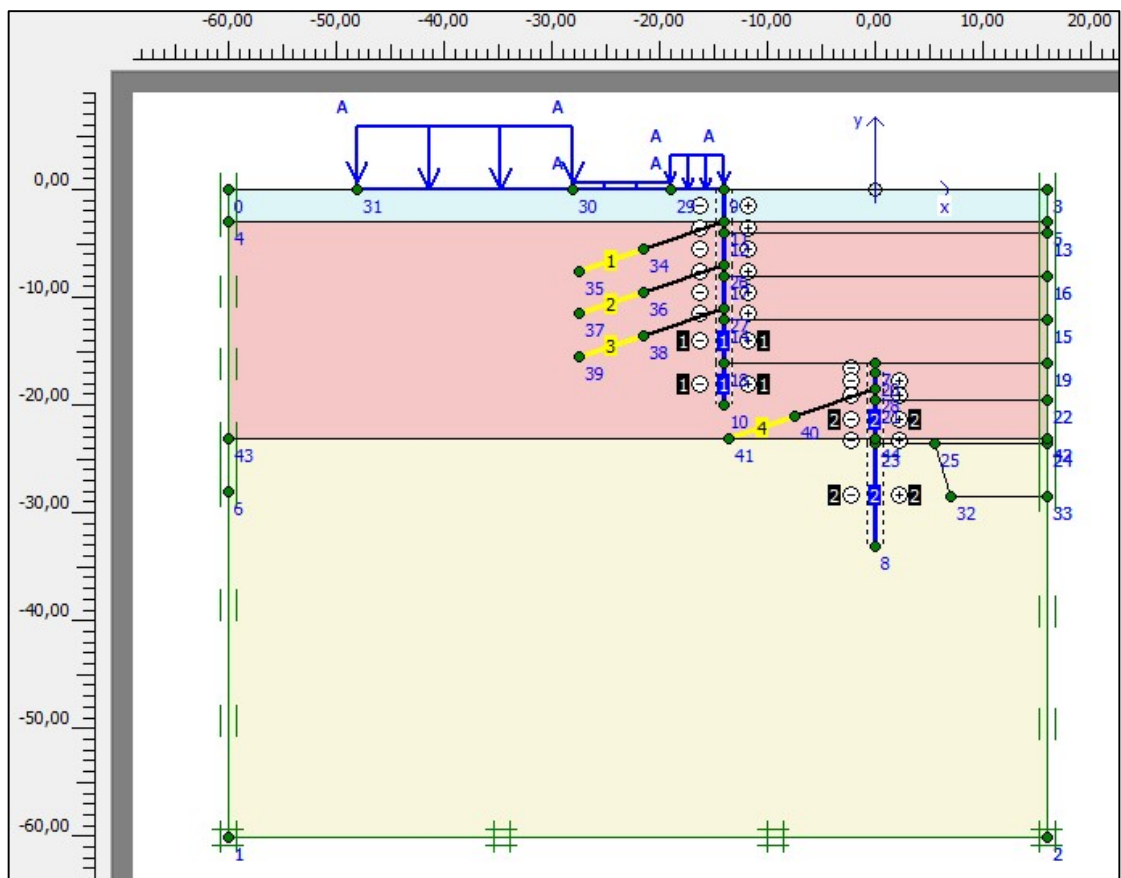
Αντίστοιχα, η παραμετρική επίλυση Νο 1 εφαρμόζεται και για την Τομή S2, Εικόνα 66. Στις επιλύσεις για το βορειοδυτικό τμήμα του σταθμού τοποθετούνται σημεία παρατήρησης και στους δυο πασσάλους που φαίνονται στη γεωμετρία.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον στο βορειοδυτικό τμήμα της εκσκαφής παρουσιάζει η μελέτη υφιστάμενη κατασκευή καθώς και το τμήμα των σχηματισμών μεταξύ των πασσάλων της περιμετρικής εκσκαφής και του ανασταθμού.

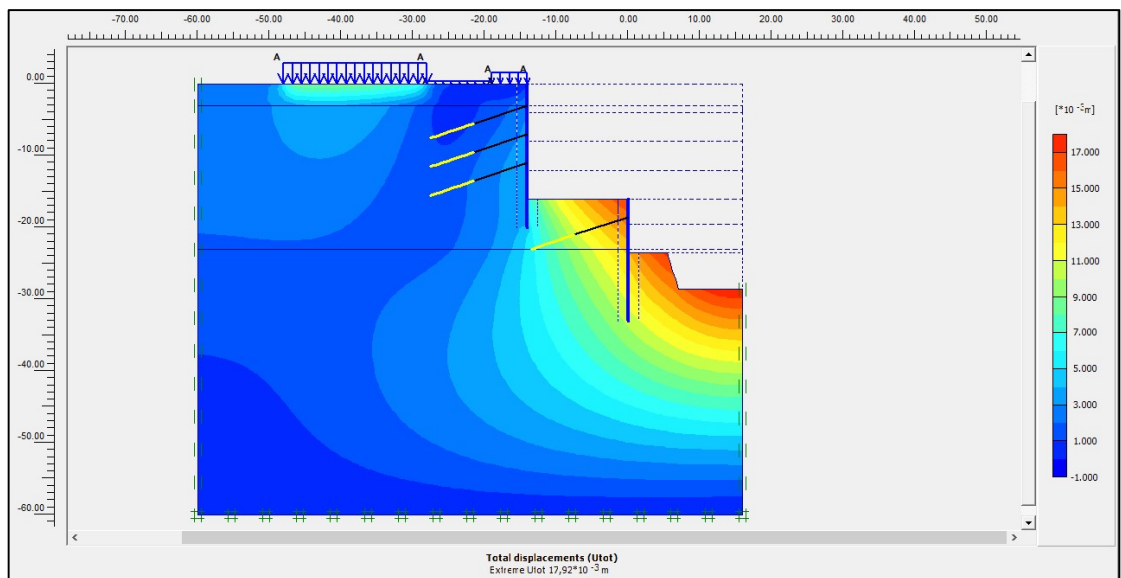
Πίνακας 30: Αποτελέσματα μετακινήσεων Τομή S2-1

Αποτελέσματα μετακινήσεων Τομή S2-1

Μέγιστες τιμές	Αποτελέσματα υπολογισμών
$U_t$ (mm)	17,92
$U_x$ (mm)	3,57
$U_y$ (mm)	17,92



Εικόνα 66: Γεωμετρία μοντέλου - Τομή S2-1.

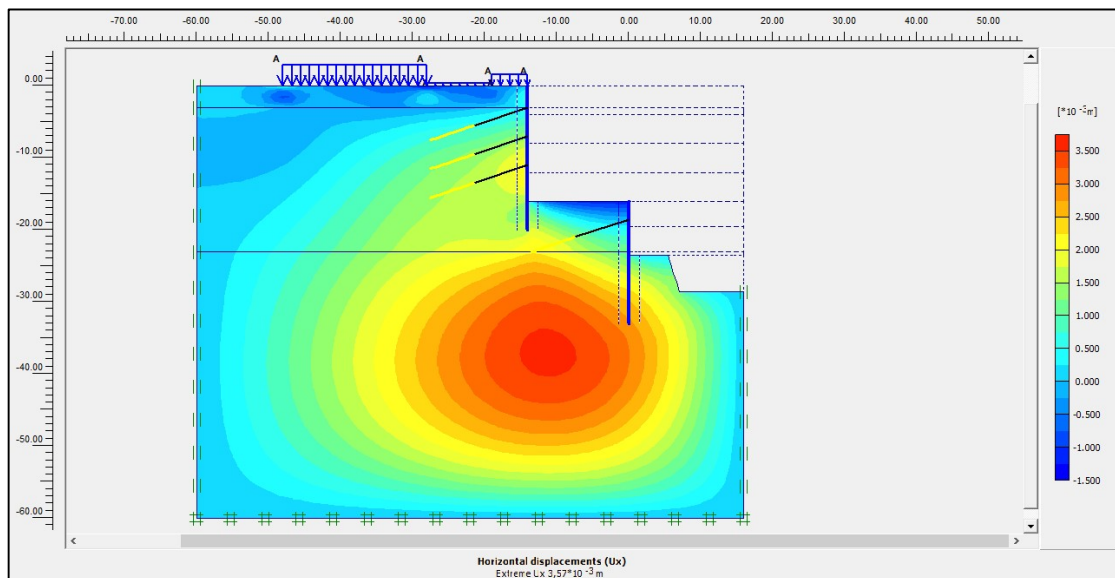


Εικόνα 67: Συλονικές μετακινήσεις-Τομή S2-1.

Πίνακας 31: Παρουσίαση αποτελεσμάτων -Τομή S2-1.

**ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΜΗ S2-1**

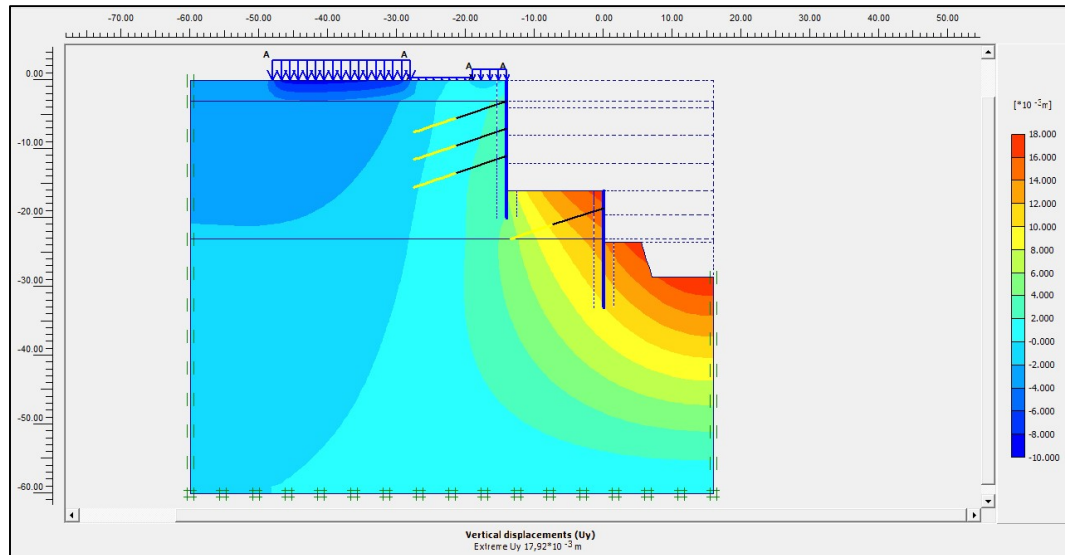
ΣΗΜΕΙΟ	Μέγεθος Παρατήρησης	Μέγιστη κατά απόλυτη τιμή Αναφοράς S2	Μέγιστη κατά απόλυτη τιμή Παραμετρικής S2-1
A-S2-1	$u_x$ (mm)	1,06	1,07
G-S2-1	$u_x$ (mm)	0,71	1,10
E-S2-1	$u_y$ (mm)	14,56	13,45
K-S2-1	$u_y$ (mm)	17,92	17,89
L-S2-1	$u_x$ (mm)	1,94	1,73
D-S2-1	$\sigma_{yx}$ (kN/m <sup>2</sup> )	55,70	53,44
O-S2-1	$u_y$ (mm)	6,91	3,16
P-S2-1	$u_y$ (mm)	9,33	9,15



Εικόνα 68: Οριζόντιες μετακινήσεις-Τομή S2-1.

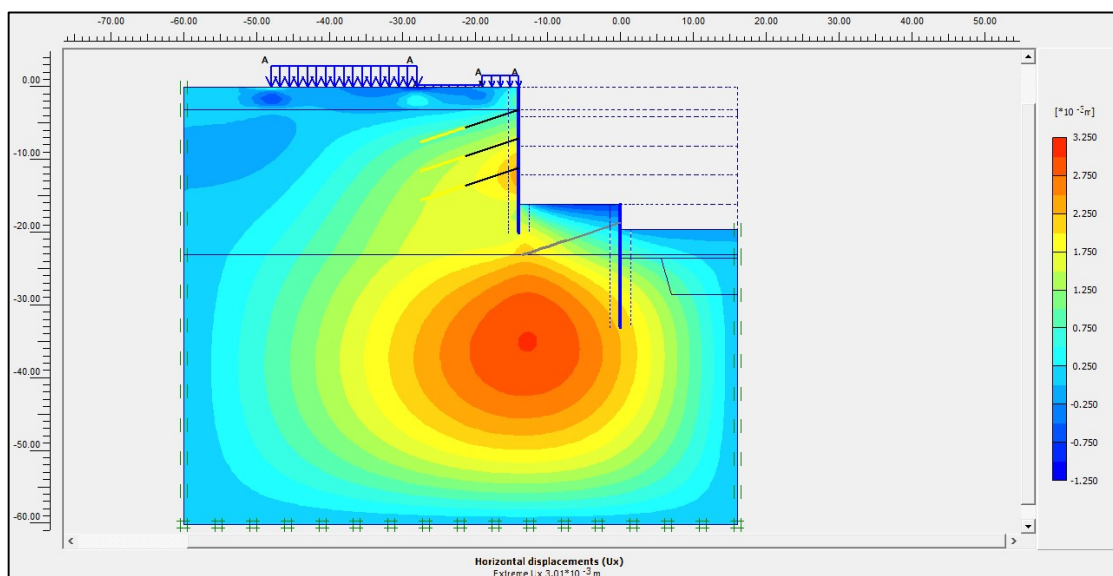
Από την Εικόνα 68, γίνεται αντιληπτό ότι ανάμεσα στους δυο πασσαλότοιχους και σε βάθος 40 m, λίγο μεγαλύτερο από το τελικό βάθος έμπηξης των πασσάλων του ανασταθμού, αναπτύσσονται οι μέγιστες κατά απόλυτη τιμή οριζόντιες μετακινήσεις, της τάξης των 3,5 mm. Οι παραπάνω μετακινήσεις έχουν κατεύθυνση προς το μέτωπο της εκσκαφής.

Επιπλέον, επιφανειακά και συγκεκριμένα εκεί που υπάρχουν οι επιφορτίσεις από τις εργοταξιακές εγκαταστάσεις κλπ., αναπτύσσονται οριζόντιες μετακινήσεις με κατεύθυνση αντίθετη από αυτήν του ορύγματος και είναι της τάξης του 1,5 mm.



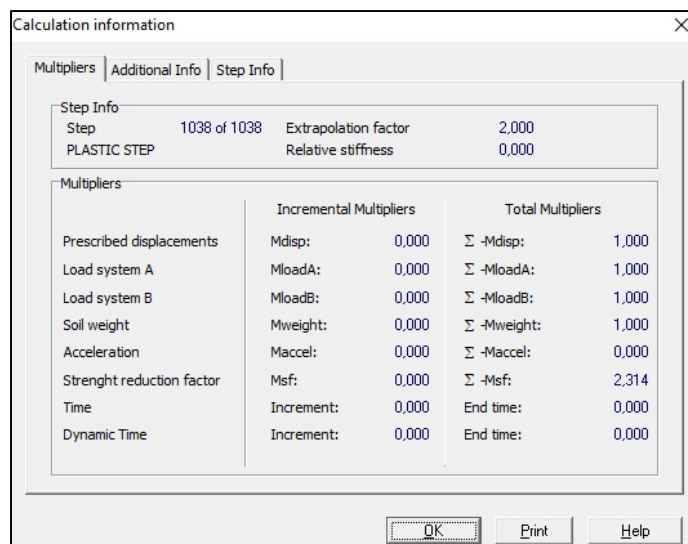
Εικόνα 69: Κατακόρυφες μετακινήσεις-Τομή S2-1.

Με την έναρξη της εκσκαφής στην επιφάνεια αναπτύσσονται πολύ μικρές οριζόντιες μετακινήσεις με κατεύθυνση προς τους πασσάλους αντιστήριξης της περιμετρικής εκσκαφής. Στη συνέχεια, η οριζόντια μετακίνηση του εν λόγω σημείου φαίνεται να μεγιστοποιείται στη φάση που γίνεται η πρώτη τμηματική εκσκαφή μπροστά από την πασσαλοτοιχία του ανασταθμού.



Εικόνα 70: Στάθμη εκσκαφής όπου το σημείο παρατήρησης στην στέψη του πασσάλου του ανασταθμού εμφανίζει τη μέγιστη οριζόντια μετακίνηση S2-1.

Η μέγιστη τιμή της οριζόντιας μετακίνησης για το παραπάνω είναι ίση με 1 mm και στην Εικόνα 70 παρουσιάζεται η φάση της κατασκευής στην οποία αυτή παρατηρείται. Στην επόμενη φάση όπου ενεργοποιείται η σειρά των αγκυρίων του πασσαλότοιχου η οριζόντια μετακίνηση μειώνεται σχεδόν κατά 50 % από τη μέγιστη.



Εικόνα 71: Πληροφορίες υπολογισμού – Τομή S2-1.

Στο 1038 βήμα η επίλυση σταματά και ο συντελεστής ασφαλείας της κατασκευής είναι ίσος με 2,314, Εικόνα 71.

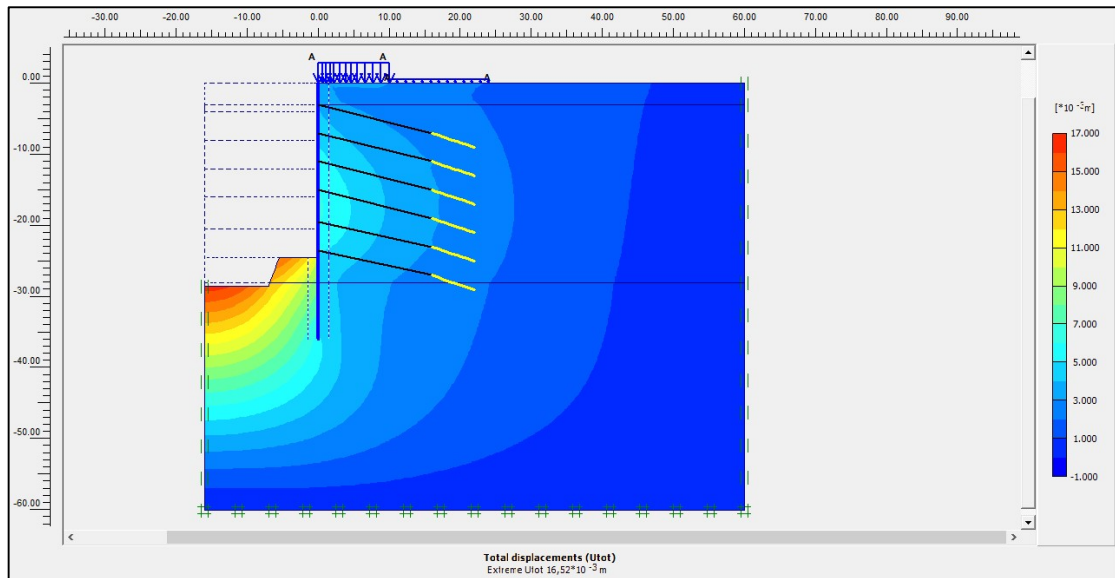
### 5.1.3 Παραμετρική Ανάλυση Νο 2 – Τομή S1-2

Η αλλαγή που έγινε στην επίλυση αναφοράς για την Τομή S1 έχει να κάνει με τη γεωμετρία των πασσάλων, όπου αυξάνεται το μήκος τους, δηλαδή το μήκος έμπηξης τους αφού η τελική στάθμη της εκσκαφής δεν αλλάζει.

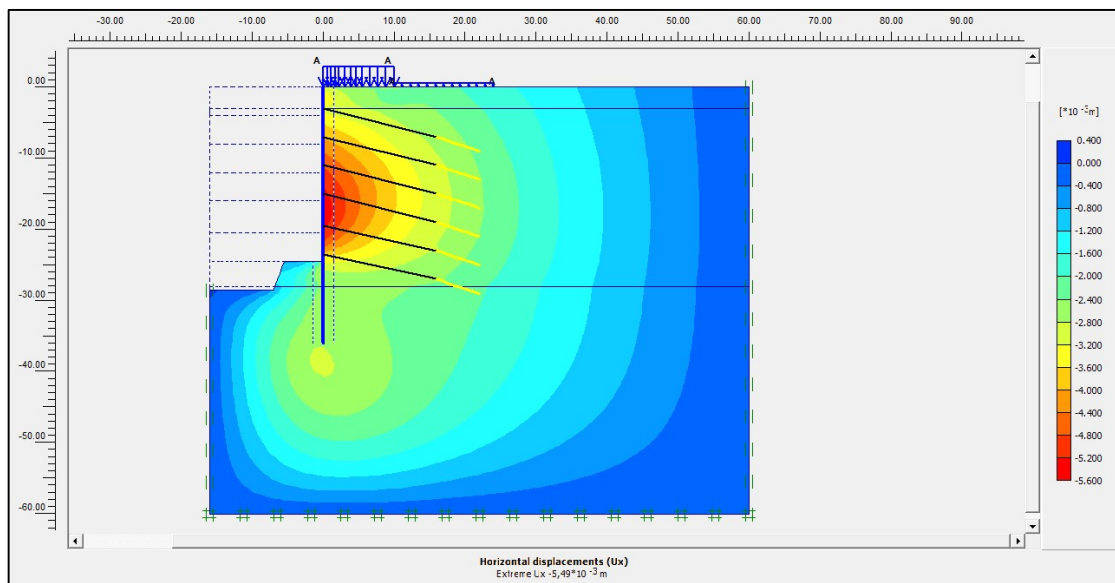
Πίνακας 32: Αποτελέσματα μετακινήσεων Τομή S1-2.

Αποτελέσματα μετακινήσεων Τομή S1-2

Μέγιστες τιμές	Αποτελέσματα υπολογισμών
$U_t$ (mm)	16,52
$U_x$ (mm)	5,49
$U_y$ (mm)	16,52



Εικόνα 72: Συλονικές μετακινήσεις-Τομή S1-2.



Εικόνα 73: Οριζόντιες μετακινήσεις-Τομή S1-2.

Στις Εικόνες 72-73, παρουσιάζονται οι μετακινήσεις και το πώς αναπτύσσονται στα στάδια της εκσκαφής και στον πίνακα 34 δίνονται τα αποτελέσματά τους. Ακόμα, επί του πασσαλότοιχου εφαρμόζονται τα εντατικά μεγέθη που φαίνεται στον πίνακα 33.



Πίνακας 33: Αποτελέσματα υπολογισμών πασσαλότοιχου- Τομή S1-2

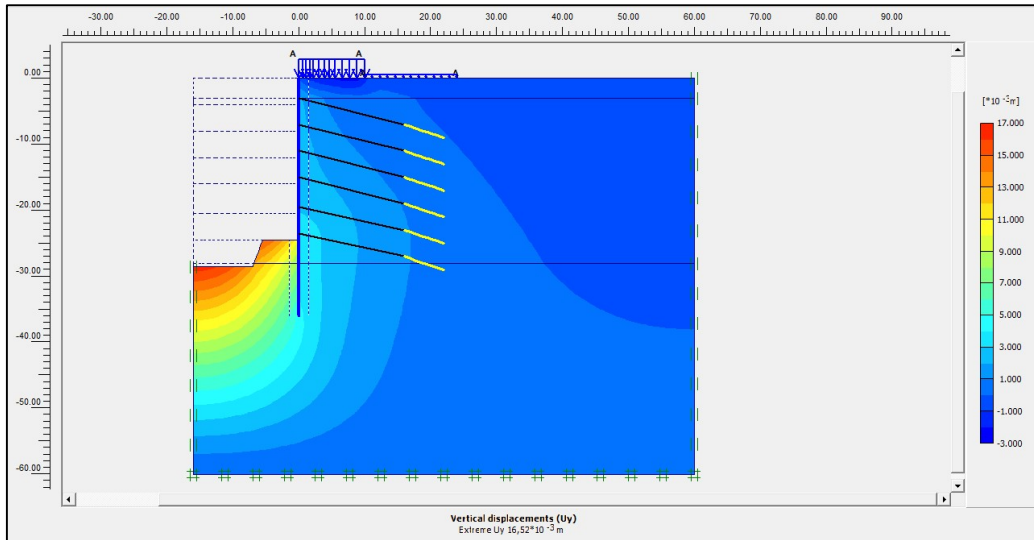
Αποτελέσματα υπολογισμών πασσαλότοιχου

Μέγιστες τιμές	Πάσσαλοι $\varnothing 100\text{cm}$	Πάσσαλοι $\varnothing 100\text{cm}$ -
	- Τομή S1	Τομή S1-2
Διατμητικές Δυνάμεις ( $kN/m$ )	264,08	258,88
Αξονικές Δυνάμεις ( $kN/m$ )	-1430	-1450
Καμπτικές Ροπές ( $kN/m$ )	-168,65	-164,61

Πίνακας 34: Παρουσίαση αποτελεσμάτων -Τομή S1-2

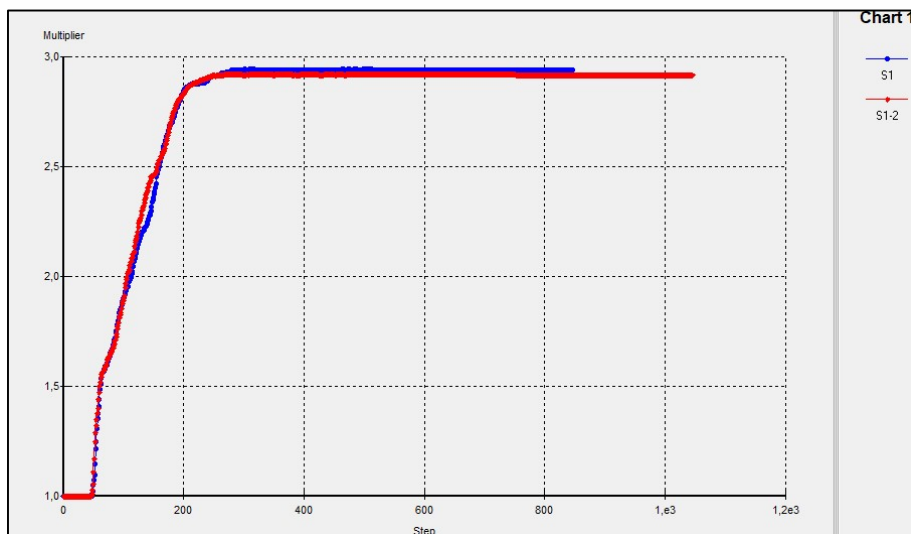
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΤΟΜΗ S1-2

ΣΗΜΕΙΟ	Μέγεθος	Μέγιστη κατά απόλυτη τιμή Αναφοράς S1	Μέγιστη Κατά απόλυτη τιμή Παραμετρικής S1-2
A-S1-2	$u_x$ (mm)	3,65	3,71
F-S1-2	$u_y$ (mm)	16,48	16,48
I-S1-2	$u_x$ (mm)	5,03	4,68
H-S1-2	$\sigma_{yx}$ ( $kN/m^2$ )	235,49	237,79
M-S1-2	$u_y$ (mm)	5,09	5,10
N-S1-2	$u_y$ (mm)	1,63	1,56



Εικόνα 74: Κατακόρυφες μετακινήσεις-Τομή S1-2.

Στην Εικόνα 75, φαίνεται το διάγραμμα του συντελεστή ασφαλείας για την κατασκευή συναρτήση των βημάτων επίλυσης. Όπως φαίνεται στα αρχικά στάδια επίλυσης, που οι αναλύσεις είναι πλαστικές τύπου, ο συντελεστής έχει σταθερή τιμή και μάλιστα ίση με το 1 όπου είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την επίλυση. Εν συνεχεία, λαμβάνει χώρα η φάση επίλυσης «phi / c reduction» με τον συντελεστή ασφαλείας να αυξάνεται συνεχώς και λίγο μετά τα 200 βήματα να εμφανίζει μέγιστο, ίσο με 2,917, το οποίο παραμένει σταθερό μέχρι και το πέρας της επίλυσης. Όμοια συμπεριφορά διακρίνεται και κατά την επίλυση αναφοράς ως προς τον συντελεστή ασφαλείας με τη διαφορά ότι η μέγιστη τιμή εμφανίζεται λίγο μετά τα 200 βήματα και είναι λίγο μεγαλύτερος ίσος με 2,940.



Εικόνα 75: Συντελεστής Ασφαλείας συναρτήση των βημάτων επίλυσης,

Αναφορικά με το σημείο που βρίσκεται επί του πασσάλου στη στάθμη έμπηξης του, παρατηρείται ότι η μέγιστη οριζόντια του μετακίνηση είναι ίση με 3,29 mm ενώ το ίδιο σημείο για την επίλυση αναφοράς δίνει τιμή 3,30, δηλαδή παρουσιάζουν μηδαμινή διαφορά. Η κατεύθυνση της μετακίνησης στα πρώτα 5 βήματα της επίλυσης είναι προς το δεξιό άκρο του μοντέλου ενώ με τη συνέχιση της εκσκαφής και κατά συνέπεια των βημάτων επίλυσης η μετακίνηση έχει κατεύθυνση προς την εκσκαφή.

#### 5.1.4 Παραμετρική Ανάλυση Νο 2 – Τομή S2-2

Στην περίπτωση αυτής της παραμετρικής ανάλυσης, το βάθος έμπηξης των πασσάλων αυξάνεται κατά 3 m για αυτούς του ανασταθμού και 2 m για τους πασσάλους της περιμετρικής εκσκαφής. Λόγω του σχεδιασμού το μήκος των πασσάλων της περιμετρικής εκσκαφής δεν αυξήθηκε πάνω από 2 m, διότι οι πακτώσεις των αγκυρίων του από τους πασσάλους του ανασταθμού θα βρίσκονταν εξαιρετικά κοντά τους. Στην Εικόνα 76, φαίνεται η γεωμετρία του μοντέλου και στον πίνακα 35 τα αποτελέσματα της επίλυσης.

Αξίζει να εξεταστεί η περιοχή ανάμεσα στους δυο πασσάλων. Πιο συγκεκριμένα, στην Εικόνα 77 φαίνεται η ανάπτυξη των μετακινήσεων στην εν λόγω περιοχή.

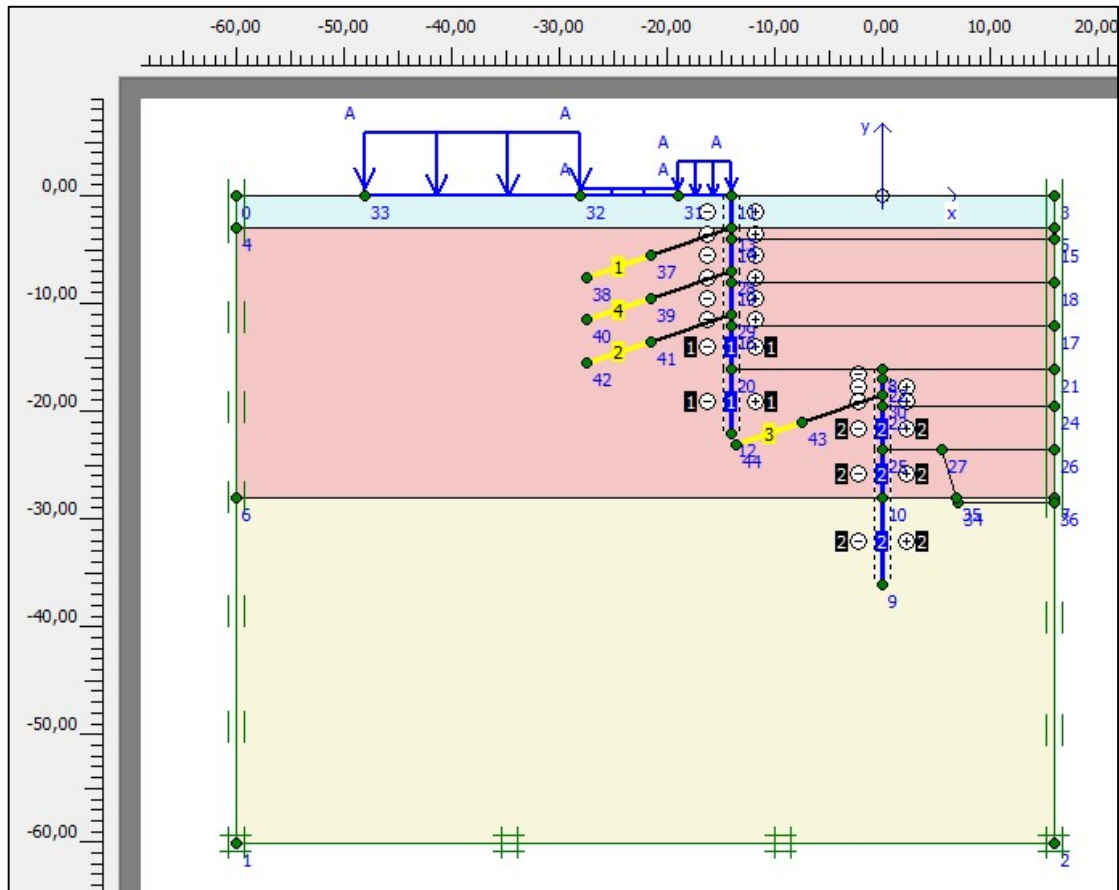
Όπως γίνεται αντιληπτό και από τον Πίνακα 35, παρουσιάζονται διαφορές συγκρίνοντας τις τιμές της επίλυσης αναφοράς με αυτές της παραμετρικής S2-2. Σημαντική είναι η διαφορά που υπάρχει για το σημείο στη στέψη του πασσαλότοιχου όπου η παραμετρική δίνει μικρότερη οριζόντια μετακίνηση κατά 60 (%) τις εκατό.

Πίνακας 35: Παρουσίαση αποτελεσμάτων Τομή S2-2.

#### ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΜΗ S2-2

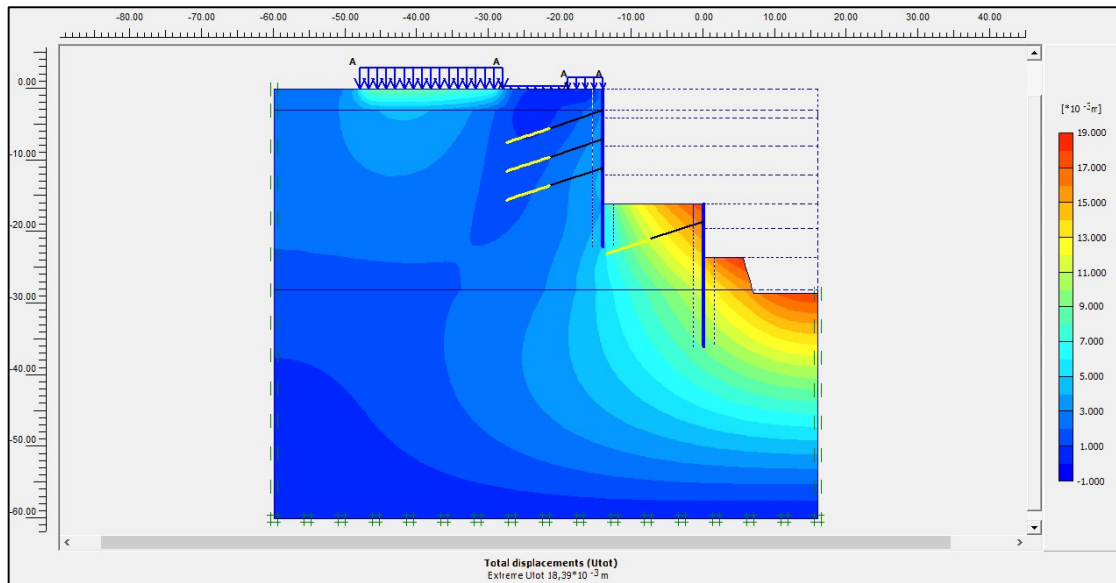
ΣΗΜΕΙΟ	Μέγεθος Παρατήρησης	Μέγιστη κατά απόλυτη τιμή Αναφοράς S2	Μέγιστη κατά απόλυτη τιμή Παραμετρικής S2-2
A-S2-2	$u_x$ (mm)	1,06	0,64
G-S2-2	$u_x$ (mm)	0,71	0,71
E-S2-2	$u_y$ (mm)	14,56	14,08

K-S2-2	$u_y$ (mm)	17,92	17,90
L-S2-2	$u_x$ (mm)	1,94	2,01
D-S2-2	$\sigma_{yx}$ (kN/m <sup>2</sup> )	55,70	64,65
O-S2-2	$u_y$ (mm)	6,91	3,07
P-S2-2	$u_y$ (mm)	9,33	9,35

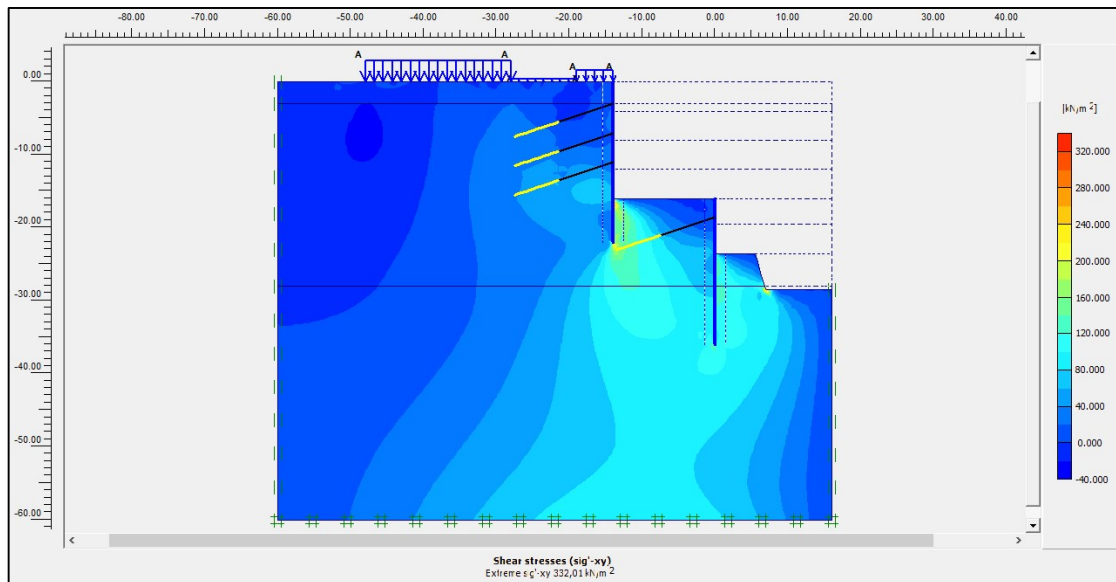


Εικόνα 76: Γεωμετρία μοντέλου - Τομή S2-2.

Ακόμα, παρακάτω φαίνονται οι διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται στο μοντέλο και μάλιστα φαίνεται ότι στο σημείο τελικής στάθμης των περιμετρικών πασσάλων, δηλαδή στη στάθμη του ανασταθμού φανερώνονται οι μέγιστες, Εικόνα 78.



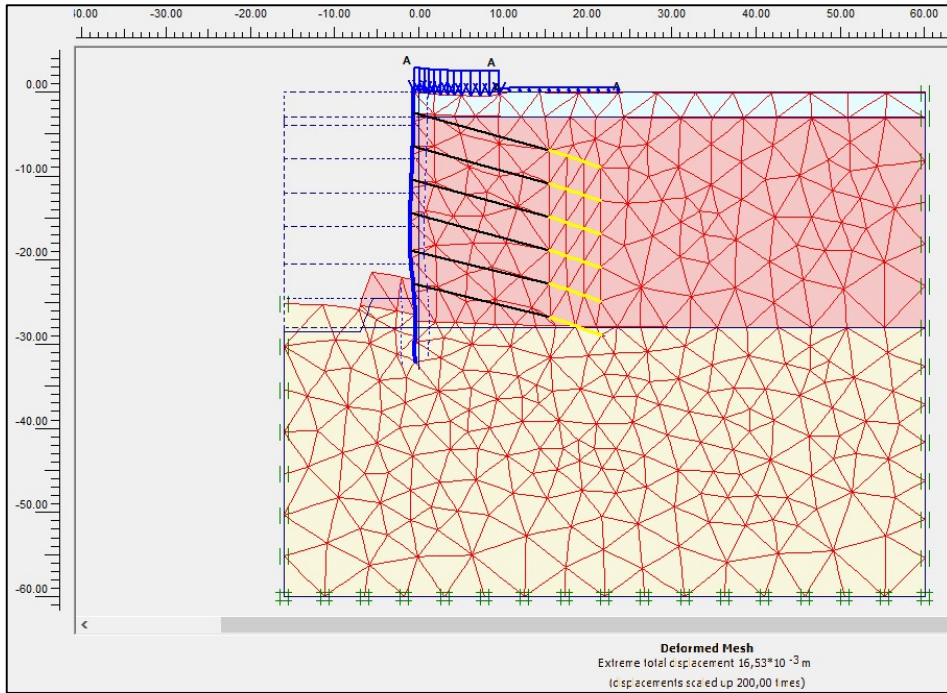
Εικόνα 77: Συνολικές μετακινήσεις - Τομή S2-2.



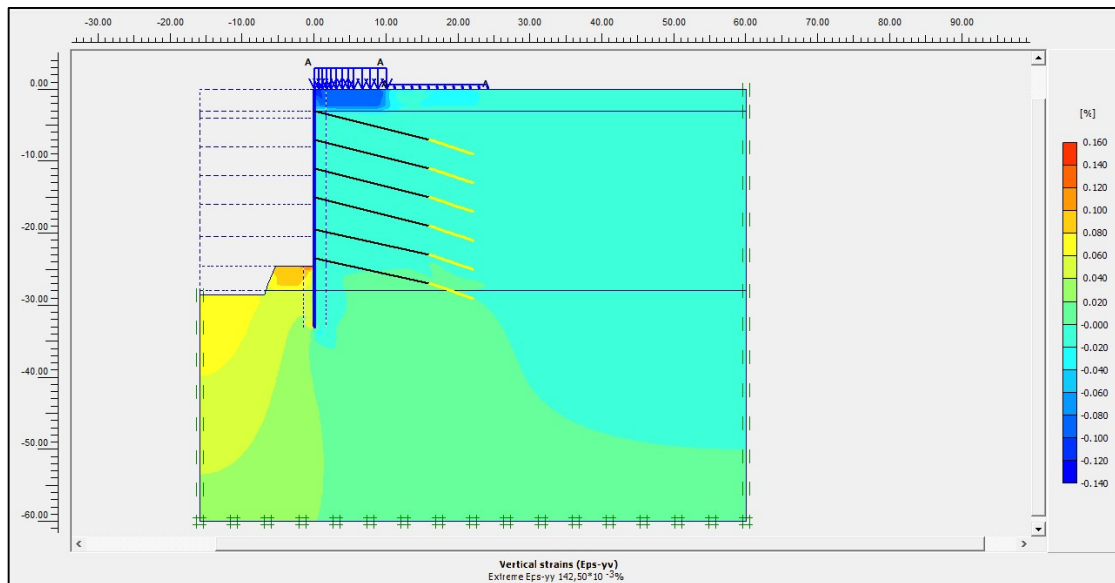
Εικόνα 78: Μέγιστες διατμητικές τάσεις - Τομή S2-2.

### 5.1.5 Παραμετρική Ανάλυση Νο 3 – Τομή S1-3

Στην Τρίτη Παραμετρική ανάλυση εξετάζεται η επιρροή της δύναμης προέντασης των αγκυρίων, πιο συγκεκριμένα η αύξηση της κατά 100 kN. Στην Εικόνα 79, φαίνεται η παραμόρφωση του μοντέλου έπειτα από την επίλυση του.

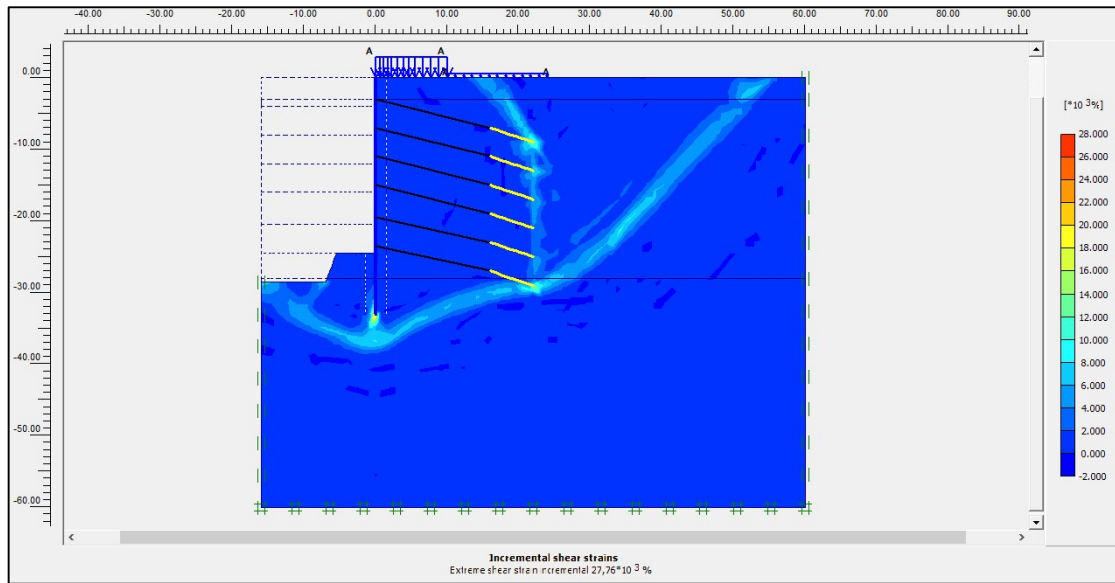


Εικόνα 79: Παραμόρφωση Πλέγματος διακριτοποίησης -Τομή S1-3.



Εικόνα 80: Αξονικές Παραμορφώσεις-Τομή S1-3.

Όπως γίνεται αντιληπτό και από την Εικόνα 80, δημιουργούνται αξονικές παραμορφώσεις με αρνητικό πρόσημο, εκεί όπου εφαρμόζεται η επιφόρτιση από τις εργοταξιακές εγκαταστάσεις καθώς και το κυκλοφοριακό φορτίο, αλλά και από αυτές κατά την ανύψωση του πυθμένα στον πυθμένα της εκσκαφής.



Εικόνα 81: Δυνητική επιφάνεια αστοχίας-Τομή S1-3.

Η δυνητική επιφάνεια αστοχίας διακρίνεται στην Εικόνα 81, όπου ξεκινά γύρω στα 55 m από την εκσκαφή και περνά κάτω από το βάθος έμπηξης των πασσάλων.

Πίνακας 36: Παρουσίαση αποτελεσμάτων -Τομή S1-3.

#### ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΤΟΜΗ S1-3

ΣΗΜΕΙΟ	Μέγεθος	Μέγιστη κατά απόλυτη τιμή Αναφοράς S1	Μέγιστη κατά απόλυτη τιμή Παραμετρικής S1-3
A-S1-3	$u_x$ (mm)	3,65	3,33
F-S1-3	$u_y$ (mm)	16,48	16,48
I-S1-3	$u_x$ (mm)	5,03	3,54
H-S1-3	$\sigma_{yx}$ (kN/m <sup>2</sup> )	235,49	237,79
M-S1-3	$u_y$ (mm)	5,09	5,09
N-S1-3	$u_y$ (mm)	1,63	1,55

Τα αποτελέσματα για τα σημεία παρατήρησης, δίνονται συνοπτικά στον πίνακα 36. Ο συντελεστής ασφαλείας που προσδιορίστηκε κατά την τελευταία υπολογιστική φάση ισοδυναμεί με 2,9480. Συγκριτικά με την αντίστοιχη επίλυση αναφοράς φαίνεται ότι οι διαφορές μεταξύ των μεγεθών είναι μικρές εκτός από το σημείο H-S1, δηλαδή το σημείο στην στάθμη έμπηξης του πασσάλου, πράγμα το

οποίο φανερώνει τη σημαντική συνδρομή των αγκυρώσεων στις οριζόντιες μετακινήσεις που αναπτύσσονται.

#### 5.1.6 Παραμετρική Ανάλυση Νο 3 – Τομή S2-3

Ομοίως με την νοτιοδυτική εκσκαφή του σταθμού και στη βορειοδυτική αυξήθηκε η δύναμη προέντασης των αγκυρών κατά 100 kPa. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δίνονται στον πίνακα 37.

Οι διαφορές στις μέγιστες τιμές που παρατηρούνται με αυτές της επίλυσης αναφοράς είναι μικρές με την παρατήρηση ότι η οριζόντια μετακίνηση για το σημείο στη στέψη του πασσαλότοιχου της παραμετρικής εκσκαφής είναι κατά 20 % μικρότερη από την αντίστοιχη για την επίλυση αναφοράς.

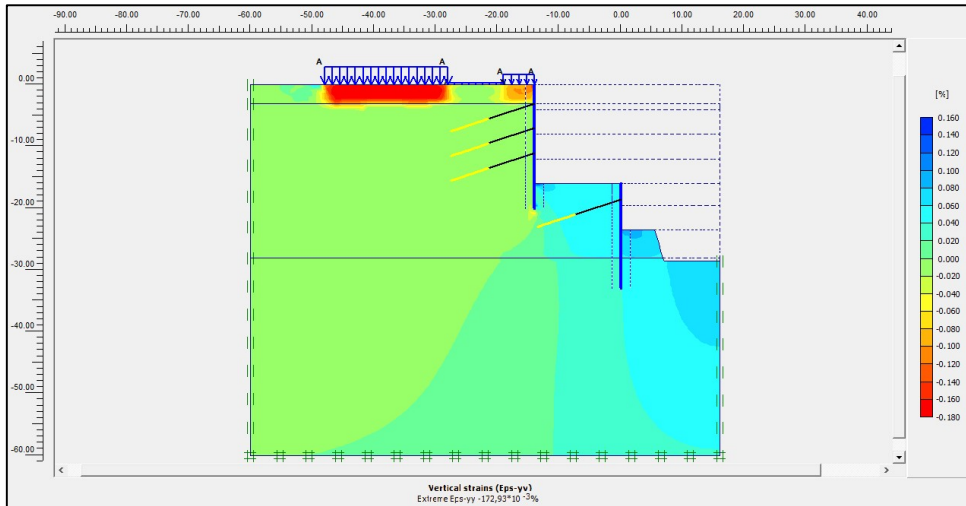
Πίνακας 37: Παρουσίαση αποτελεσμάτων Τομή S2-3.

#### ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΜΗ S2-3

ΣΗΜΕΙΟ	Μέγεθος Παρατήρησης	Μέγιστη κατά απόλυτη τιμή Αναφοράς S2	Μέγιστη κατά απόλυτη τιμή Παραμετρικής S2-3
A-S2-3	$u_x$ (mm)	1,06	0,86
G-S2-3	$u_x$ (mm)	0,71	0,71
E-S2-3	$u_y$ (mm)	14,56	14,18
K-S2-3	$u_y$ (mm)	17,92	15,24
L-S2-3	$u_x$ (mm)	1,94	1,93
D-S2-3	$\sigma_{yx}$ (kN/m <sup>2</sup> )	55,70	55,42
O-S2-3	$u_y$ (mm)	6,91	3,28
P-S2-3	$u_y$ (mm)	9,33	9,29

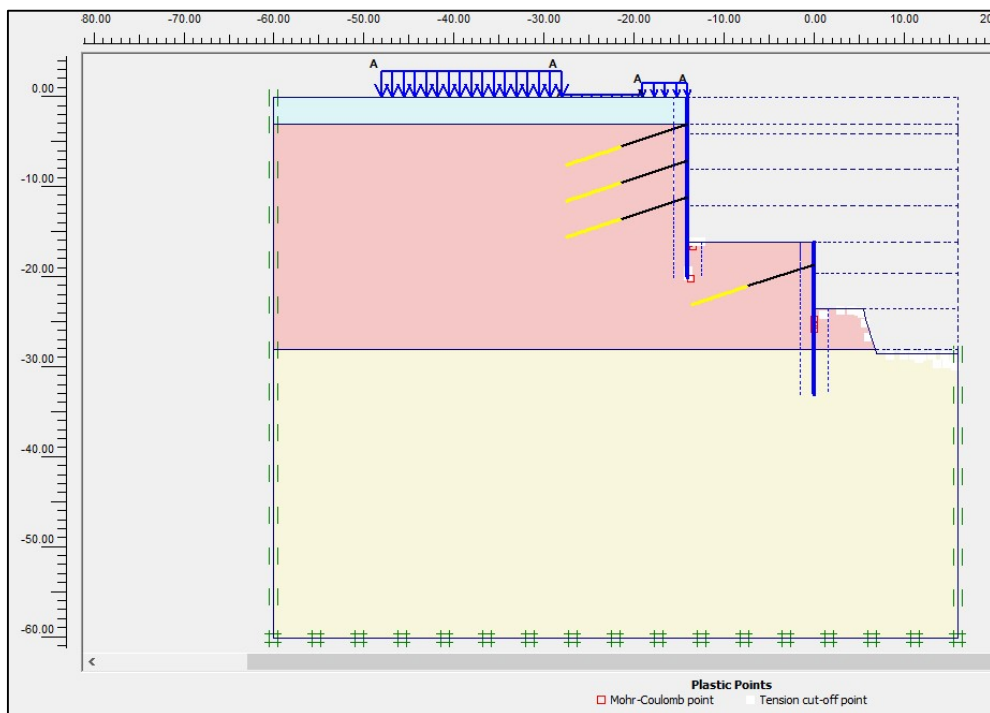
Η Εικόνα 82, δείχνει τις κατακόρυφες που παρατηρούνται παραμορφώσεις στο μοντέλο όπου οι μέγιστες κατά απόλυτη τιμή φαίνεται ότι αναπτύσσονται κάτω από την υφιστάμενη πολυκατοικία.





Εικόνα 82: Αξονικές Παραμορφώσεις - Τομή S2-3.

Ακόμα, φαίνονται μέσω της Εικόνας 83 τα σημεία που έχουν υποστεί πλαστική παραμόρφωση.



Εικόνα 83: Ανάπτυξη πλαστικών παραμορφώσεων - Τομή S2-3.

## 6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται η σύγκριση των αποτελεσμάτων των παραμετρικών αναλύσεων ως προς τα σημεία παρατήρησης που επιλέχθηκαν κατά τις επιλύσεις.

### 6.1 Σύγκριση Αποτελεσμάτων Νοτιοδυτικό Τμήμα S1

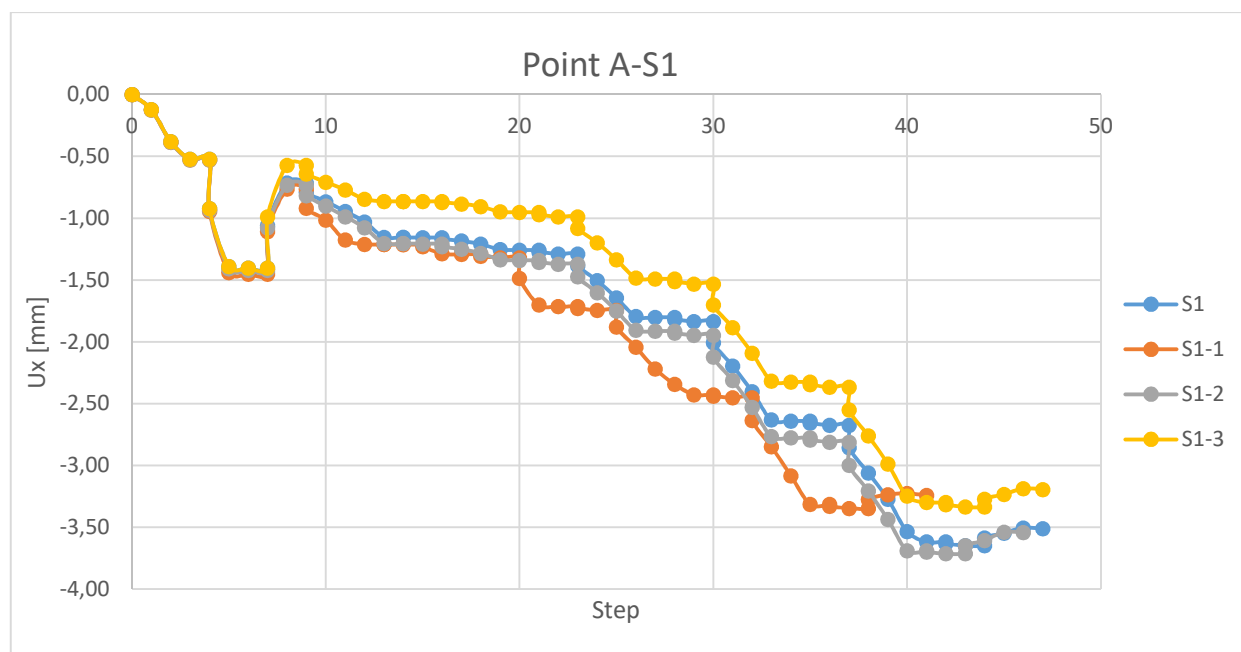
Προκειμένου να γίνει αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των παραπάνω αναλύσεων, στο εν λόγω κεφάλαιο θα γίνει σύγκριση των υπολογισμών με τη χρήση διαγραμμάτων για τα σημεία παρατήρησης.

Η σύγκριση γίνεται μεταξύ της επίλυσης αναφοράς και των επιμέρους παραμετρικών αναλύσεων.

Τα αποτελέσματα των μεγθών που παρουσιάζονται στους πίνακες αυτού του κεφαλαίου, δίνονται κατά απόλυτη τιμή ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των τιμών.

#### Σημείο A-S1

Για το σημείο A-S1, έχουν καταγραφεί οι εξέλιξη των τάσεων και των παραμορφώσεων του κατά τη διάρκεια των επιλύσεων.



Διάγραμμα 3: Σύγκριση Οριζόντιων μετακινήσεων για το σημείο A-S1.

Η χρήση του δεδομένου σημείου έγινε με στόχο την σύγκριση των οριζόντιων μετακινήσεων στον κεφαλόδεσμο των περιμετρικών πασσάλων.

Από το διάγραμμα 3, γίνονται αντιληπτά τα ακόλουθα:

- Στα πρώτα πέντε βήματα της επίλυσης παρατηρείται ήδη η ανάπτυξη των οριζόντιων μετακινήσεων η οποία οφείλεται στην επιβολή των επιφανειακών φορτίων.
- Φαίνεται στο γράφημα ένα τοπικό ελάχιστο για όλες τις επιλύσεις στα -1,50 mm περίπου. Αμέσως μετά φαίνεται ότι οι μετακινήσεις μειώνονται, όπου λαμβάνει χώρα η ενεργοποίηση της πρώτης σειράς αγκυρίων.
- Εν συνεχεία όπου εξελίσσεται η εκσκαφή φαίνεται ότι οι μετακινήσεις αυξάνονται και τα σημεία καμπής που εμφανίζονται φανερώνουν την ενεργοποίηση των επόμενων σειρών αγκυρίων.
- Τέλος, στον πίνακα 38, που ακολουθεί δίνονται οι μέγιστες κατά απόλυτη τιμή οριζόντιες μετακινήσεις:

Πίνακας 38: Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις για το σημείο A-S1.

A	S1	S1-1	S1-2	S1-3
<i>U<sub>x</sub> [mm]</i>	3,65	3,35	<b>3,71</b>	3,33

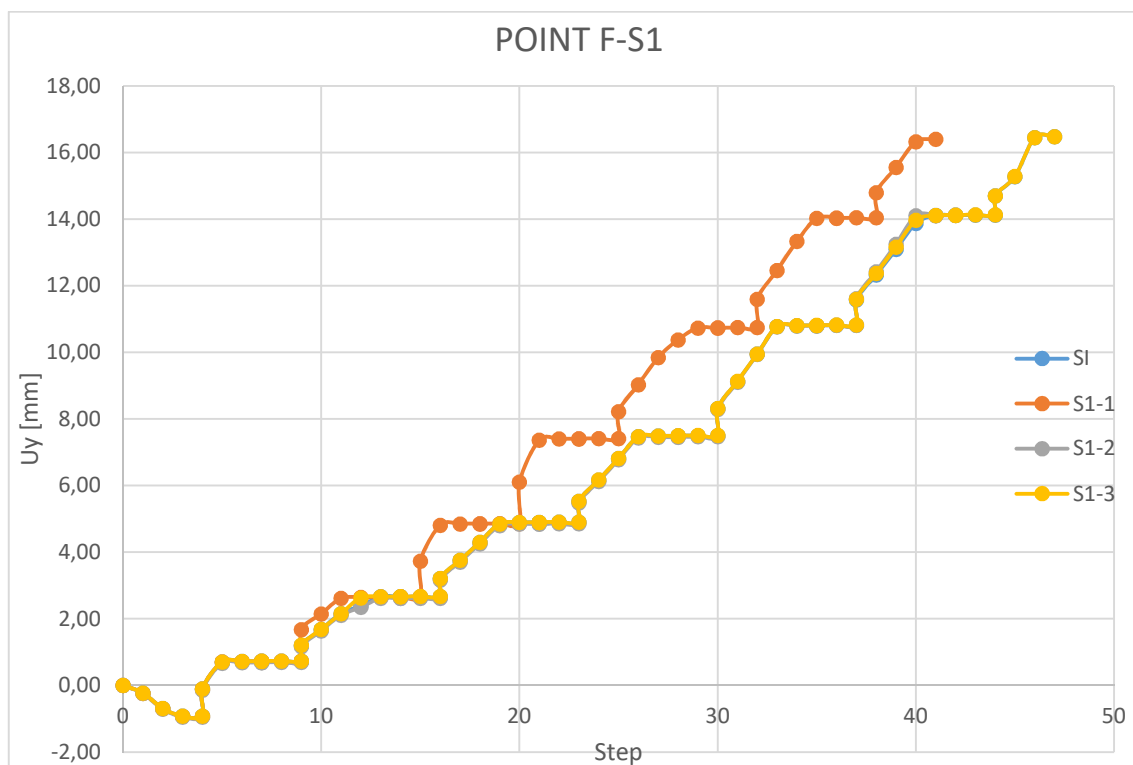
Η μεγαλύτερη τιμή αντιστοιχεί στην περίπτωση όπου το μήκος των πασσάλων έχει αυξηθεί ενώ η μικρότερη αντιστοιχεί στην ανάλυση όπου η προένταση των αγκυρίων έχει αυξηθεί κατά 100 kPa.

### **Σημείο F-S1**

Το σημείο F-S1, χρησιμοποιείται για την διερεύνηση των μετακινήσεων στον πυθμένα της εκσκαφής και συγκεκριμένα των κατακόρυφων μετακινήσεων. Η ανύψωση του πυθμένα τόσο στις εκσκαφές όσο και στις υπόγειες διανοίξεις σήραγγων είναι γνωστό φαινόμενο και μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα τόσο στην προσωρινή όσο και στη μόνιμη υποστήριξη των υπόγειων έργων.

Από το γράφημα 4, γίνονται αντιληπτά τα εξής:

- Αρχικά παρατηρείται, για όλες τις αναλύσεις, η ανάπτυξης μιας καθίζησης της τάξης των 0,92 mm περίπου, στην αρχή της επίλυσης, εκεί δηλαδή που γίνεται η επιβολή των φορτίων επί του εδάφους.
- Ακολουθεί, η αλλαγή του προσήμου των μετακινήσεων, το οποίο δείχνει την αλλαγή της κατεύθυνσης τους. Από την αρχική καθίζηση παρατηρείται πλέον ανύψωση του πυθμένα η οποία είναι ανάλογη των βημάτων της επίλυσης
- Η έκβαση που φανερώνεται από τη μορφή των καμπυλών είναι ότι σε κάθε τμηματική εκσκαφή παρατηρείται όλο και μεγαλύτερη ανύψωση του πυθμένα.



Διάγραμμα 4: Σύγκριση κατακόρυφων μετακινήσεων για το σημείο F-S1.

Στον πίνακα 39, φαίνονται οι μέγιστες κατά απόλυτη τιμή των μετακινήσεων για το ίδιο σημείο, όπου:

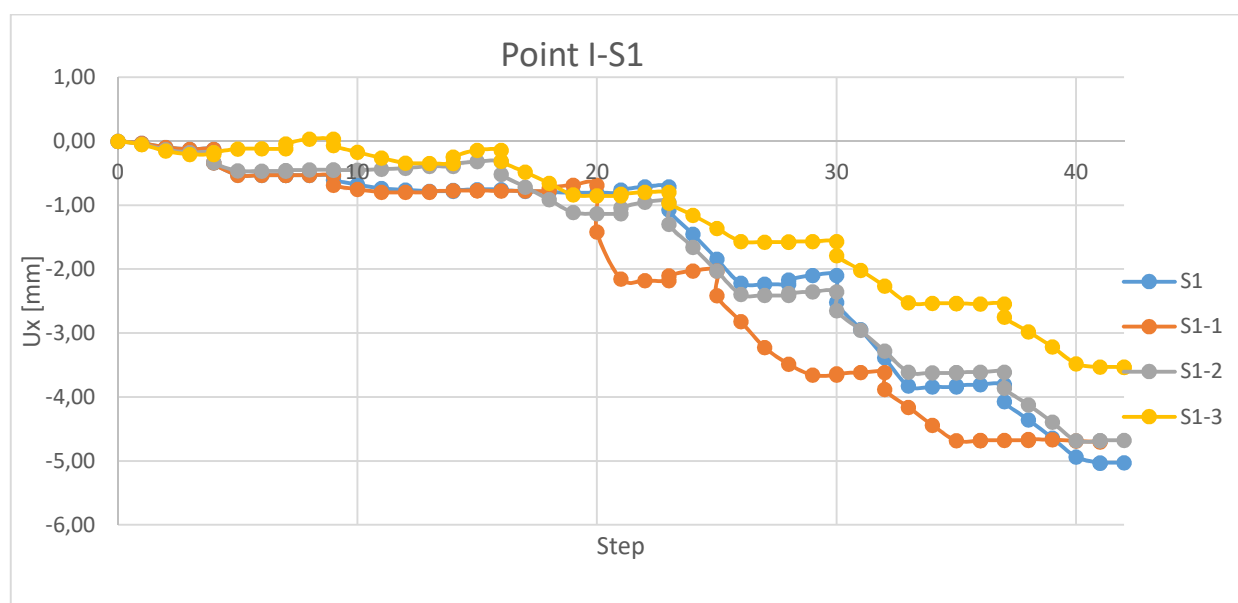
Πίνακας 39: Μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις για το σημείο F-S1.

F-S1	S1	S1-1	S1-2	S1-3
Uy [mm]	16,48	16,41	16,48	<b>16,48</b>

Η μέγιστη μεταξύ των παραπάνω μετακινήσεων είναι αυτής της 3<sup>ης</sup> παραμετρικής ανάλυσης, αύξηση προέντασης αγκυρίων, ενώ η ελάχιστη ανύψωση παρατηρείται στην όταν έχει μεταβληθεί η στρωματογραφία των σχηματισμών, αύξηση πάχους ψαμμίτη.

### Σημείο I-S1

Επόμενο σημείο είναι το I-S1, το οποίο βρίσκεται επί των πασσάλων της περιμετρικής εκσκαφής σχεδόν στη μέση από τον κεφαλόδεσμο τους και του σημείου όπου ξεκινά η έμπηξη τους στον σχηματισμό.



Διάγραμμα 5: Σύγκριση Οριζόντιων μετακινήσεων για το σημείο I-S1.

Η επιλογή του εν λόγω σημείου έγινε καθώς εκεί αναπτύσσονται οι μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις. Από το γράφημα 5, προκύπτουν τα εξής:

- Οι οριζόντιες μετακινήσεις αναπτύσσονται συνεχώς και μάλιστα με μεγαλύτερο ρυθμό όταν ξεπεραστεί το βάθος που βρίσκεται το σημείο.
- Η συμβολή των αγκυρώσεων φαίνεται στα τοπικά ακρότατα των καμπυλών.
- Φαίνεται ότι η αυξημένη προένταση έχει τη μεγαλύτερη επίδραση όσο αφορά τις οριζόντιες μετακινήσεις.
- Πιο συγκεκριμένα, οι μέγιστες κατά απόλυτη τιμή μετακινήσεις δίνονται στον πίνακα 40 :

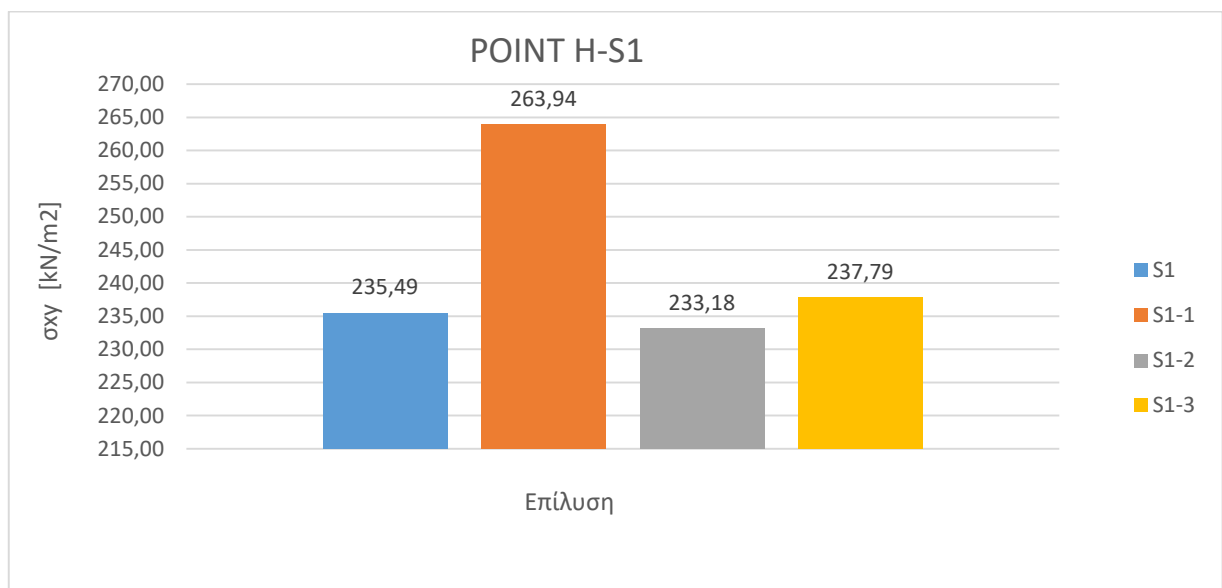
Πίνακας 40: Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις για το σημείο I-S1.

I-S1	S1	S1-1	S1-2	S1-3
Ux [mm]	<b>5,03</b>	4,70	4,68	3,54

Η μέγιστη οριζόντια μετακίνηση του συγκεκριμένου σημείου παρατηρείται κατά την επίλυση αναφοράς και η μικρότερη όταν την Τρίτη παραμετρική ανάλυση.

### Σημείο H-S1

Ακολουθεί το σημείο H-S1 για τις μέγιστες διατμητικές τάσεις που καταγράφονται στο σημείο από το οποίο ξεκινά το μήκος έμπηξης των πασσάλων. Στο γράφημα 6 και τον πίνακα 41, φαίνεται ότι οι μέγιστες διατμητικές τάσεις για το εν λόγω σημείο καταγράφηκαν στην περίπτωση όπου ο το πάχος των ψαμμιτών βρισκόταν 5 m παραπάνω από αυτό της επίλυσης αναφοράς.



Διάγραμμα 6: Μέγιστες διατμητικές τάσεις για το σημείο H-S1.

Πίνακας 41: Μέγιστες διατμητικές τάσεις για το σημείο H-S1.

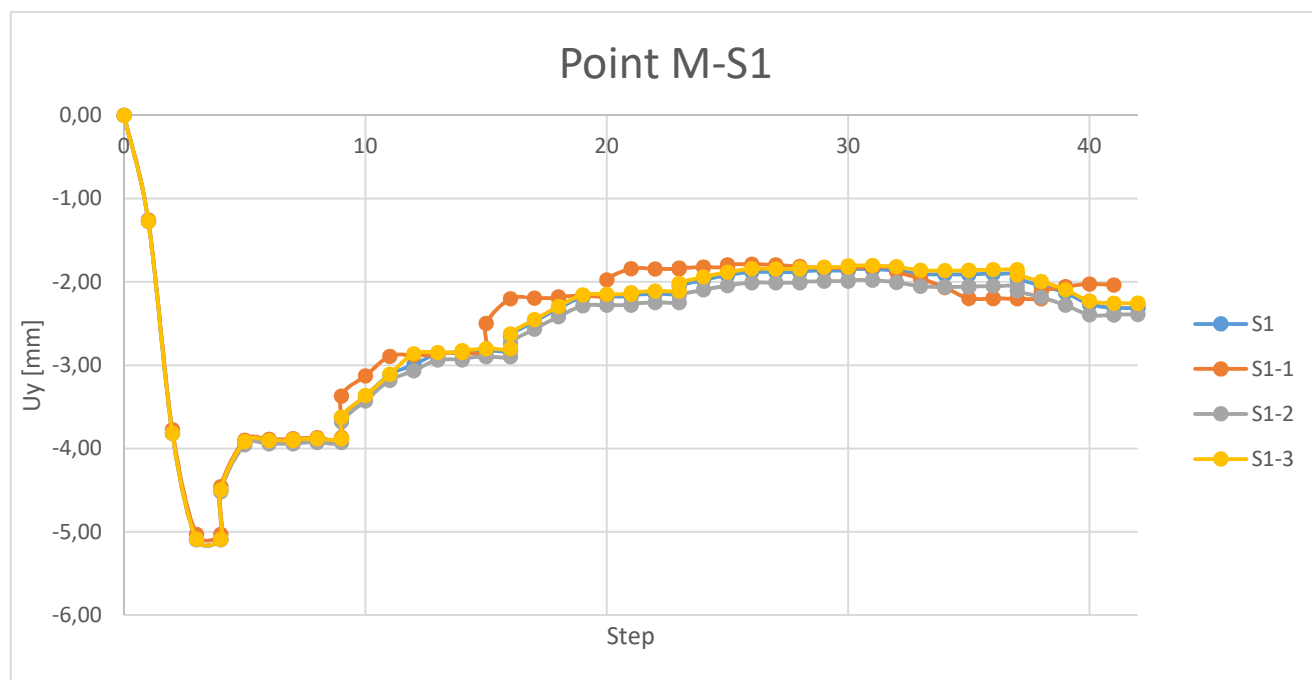
H-S1	S1	S1-1	S1-2	S1-3
σxy [kN/m <sup>2</sup> ]	235,49	<b>263,94</b>	233,18	237,79

Αντίθετα, η ελάχιστη κατά απόλυτη τιμή διατμητικής τάσης του σημείου, αντιστοιχεί στην δεύτερη παραμετρική ανάλυση.

### Σημείο M-S1

Οι καθιζήσεις στην επιφάνεια του εδάφους και σε απόσταση 5 μέτρων από την εκσκαφή μελετώνται από το σημείο M-S1, διάγραμμα 7.

Κατά κύριο λόγο, οι κατακόρυφες μετακινήσεις με φορά προς την τελική στάθμη της εκσκαφής, αναπτύσσονται στην πρώτη υπολογιστή φάση των αναλύσεων όπου το μοντέλο υποβάλλεται στις εντατικές συνθήκες που επικρατούν.



Διάγραμμα 7: Σύγκριση κατακόρυφων μετακινήσεων για το σημείο M-S1.

Αφού, οι καθιζήσεις λάβουν τη μέγιστη τιμή τους, όπως φαίνεται και από το ολικό ελάχιστο των καμπυλών, στις επόμενες υπολογιστικές φάσεις η τιμή τους μειώνεται και τείνει να σταθεροποιηθεί. Στον πίνακα 42 δίνονται οι μέγιστες τιμές κατά απόλυτη τιμή:

Πίνακας 42: Μέγιστες καθιζήσεις για το σημείο M-S1.

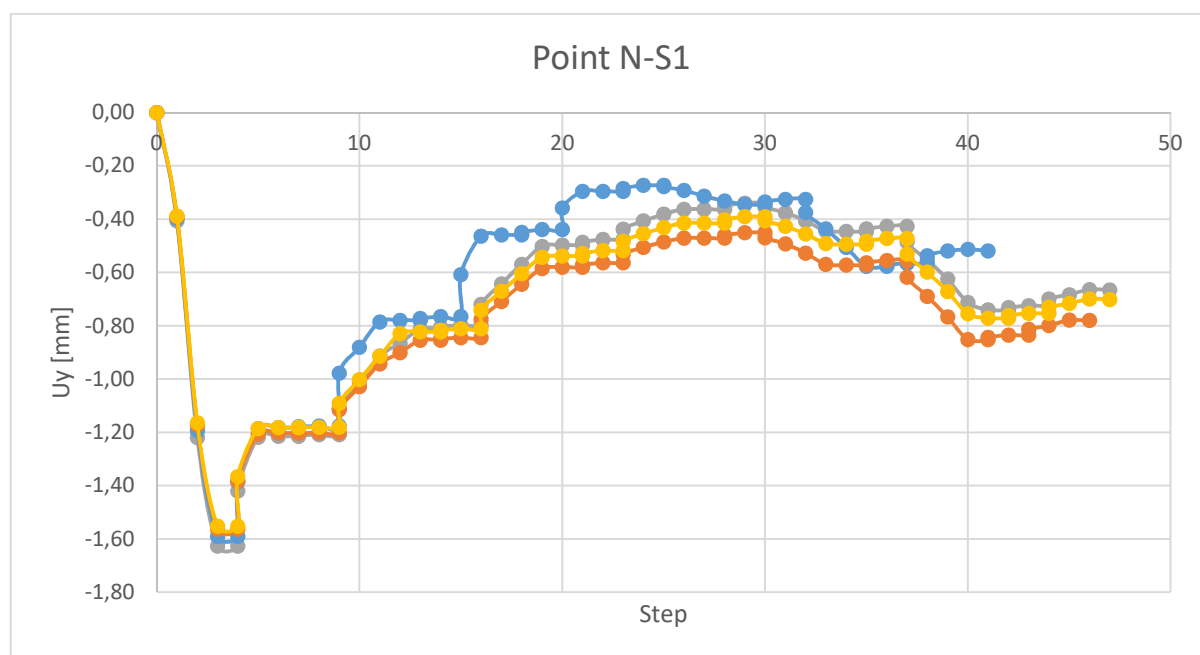
M-S1	S1	S1-1	S1-2	S1-3
Uy [mm]	5,09	5,03	<b>5,10</b>	5,09

Η ελάχιστη μεταξύ των ανωτέρω τιμών είναι αυτής, όπου ο σχηματικός με τα καλύτερα μηχανικά χαρακτηριστικά που παρατηρούνται στην περιοχή μελέτης, έχει μεγαλύτερος πάχος.

### Σημείο N-S1

Ακόμη, οι καθιζήσεις μελετώνται και σε απόσταση από την περίμετρο της εκσκαφής ίση με 20 m, διάγραμμα 8.

Συγκρίνοντας τις καμπύλες των επιλύσεων για τα δυο επιφανειακά σημεία M-S1 και N-S1, παρατηρείται ότι έχουν παρόμοια συμπεριφορά. Δηλαδή, οι καθιζήσεις εμφανίζουν μέγιστο κατά τις επιφανειακές φορτίσεις και στη συνέχεια παρουσιάζουν σταδιακή μείωση.



Διάγραμμα 8: Σύγκριση κατακόρυφων μετακινήσεων για το σημείο N-S1.

Η κύρια διαφορά μεταξύ των σημείων M-S1 και N-S1, είναι ότι ενώ το πρώτο τείνει να πάρει μια σταθερή τιμή το δεύτερο που βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση από το άνοιγμα παρουσιάζει τοπικό μέγιστο πριν την ολοκλήρωση των επιλύσεων.

Πίνακας 43: Μέγιστες καθιζήσεις για το σημείο M-S1.

N-S1	S1	S1-1	S1-2	S1-3
Uy [mm]	<b>1,63</b>	1,59	1,56	1,55



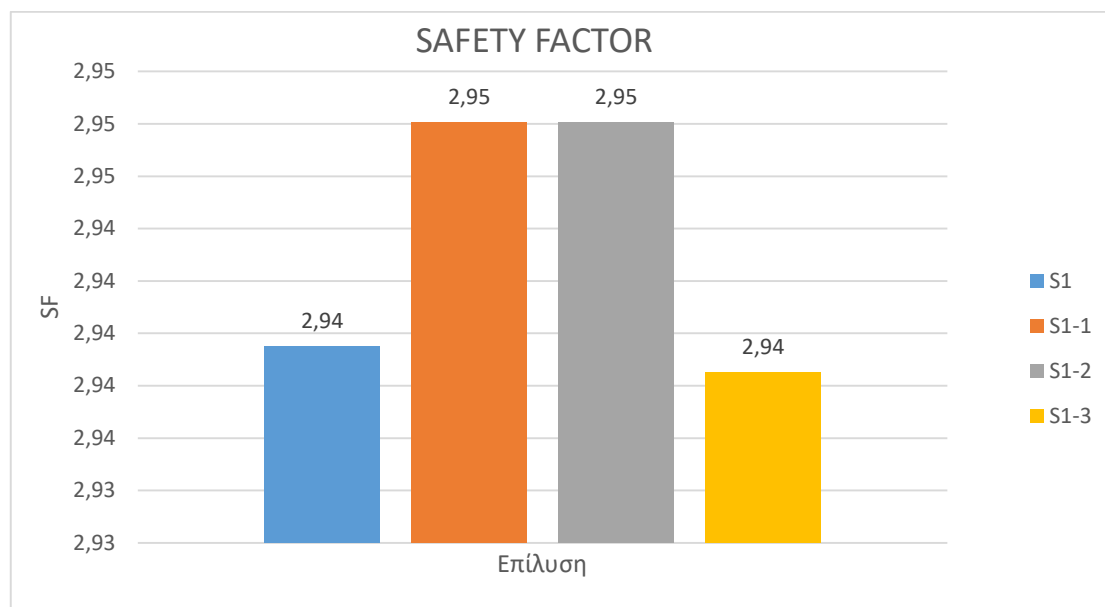
Η μέγιστη καθίζηση του σημείου αντιστοιχεί στην πρότυπη ανάλυση και η μικρότερη στην Τρίτη παραμετρική ανάλυση, πίνακας 43.

### **Συντελεστές ασφαλείας -Επιλύσεις S1**

Στο διάγραμμα 9, δίνονται οι συντελεστές ασφαλείας για τις επιλύσεις που έγιναν στο νοτιοδυτικό τμήμα της εκσκαφής.

Για τις επιμέρους επιλύσεις που έγιναν με κάποιες διαφοροποιήσεις στον σχεδιασμό τους, φαίνεται ότι ο συντελεστής ασφαλείας τους είναι μεγαλύτερος του 1, επομένως καμία δεν αστόχησε.

Τους μεγαλύτερους συντελεστές ασφαλείας τους αποδίδουν οι πρώτη και δεύτερη παραμετρική ανάλυση.



Διάγραμμα 9: Σύγκριση συντελεστών ασφαλείας για κάθε επίλυση- S1.

### **6.2 Σύγκριση Αποτελεσμάτων Βορειοδυτικό Τμήμα S2**

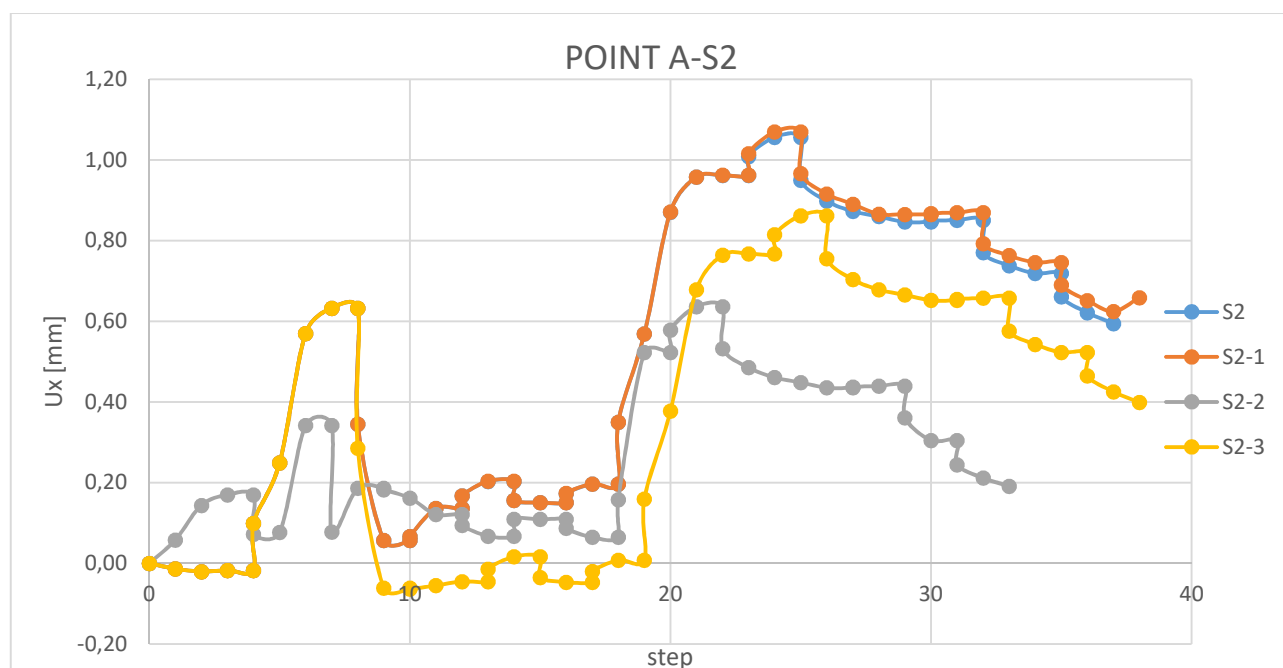
Παρομοίως για το βορειοδυτικό τμήμα επιλέχθηκαν σημεία παρατήρησης, όπως αυτά αναφέρονται στον πίνακα, με στόχο τη σύγκριση των επιλύσεων.

### **Σημείο A-S2**

Στον κεφαλόδεσμο των πασσάλων της περιμετρικής εκσκαφής, διαμέτρου  $\varnothing 100$ , επιλέχθηκε σημείο για την παρατήρηση των οριζόντιων μετακινήσεων αυτού.

Οι καμπύλες των εν λόγω οριζόντων μετακινήσεων συναρτήση των υπολογιστικών βημάτων, δίνονται στο διάγραμμα 10. Φαίνεται ότι παρουσιάζουν παραπάνω από 3 τοπικά μέγιστα και είναι εξαρτημένα με τις τμηματικές εκσκαφές.

Ακόμα, γίνεται αντιληπτή η επίδραση της ενεργοποίησης των αγκυρώσεων μετά από κάθε τμηματική εκσκαφή καθώς παρουσιάζεται τοπικό μέγιστο και αμέσως μετά η τιμή μειώνεται και διατηρεί σταθερή τιμή έως την επόμενη τμηματική εκσκαφή.



Διάγραμμα 10: Σύγκριση Οριζόντιων μετακινήσεων για το σημείο A-S2.

Επιπρόσθετα είναι αντιληπτό ότι η μορφή που έχουν οι καμπύλες τα πρώτα 10 βήματα της επίλυσης επαναλαμβάνεται από το βήμα 20 έπειτα, όπου ενεργοποιείται η επίδραση της αντιστήριξης από τους πασσάλους του ανασταθμού.

Πίνακας 44: Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις για το σημείο A-S2.

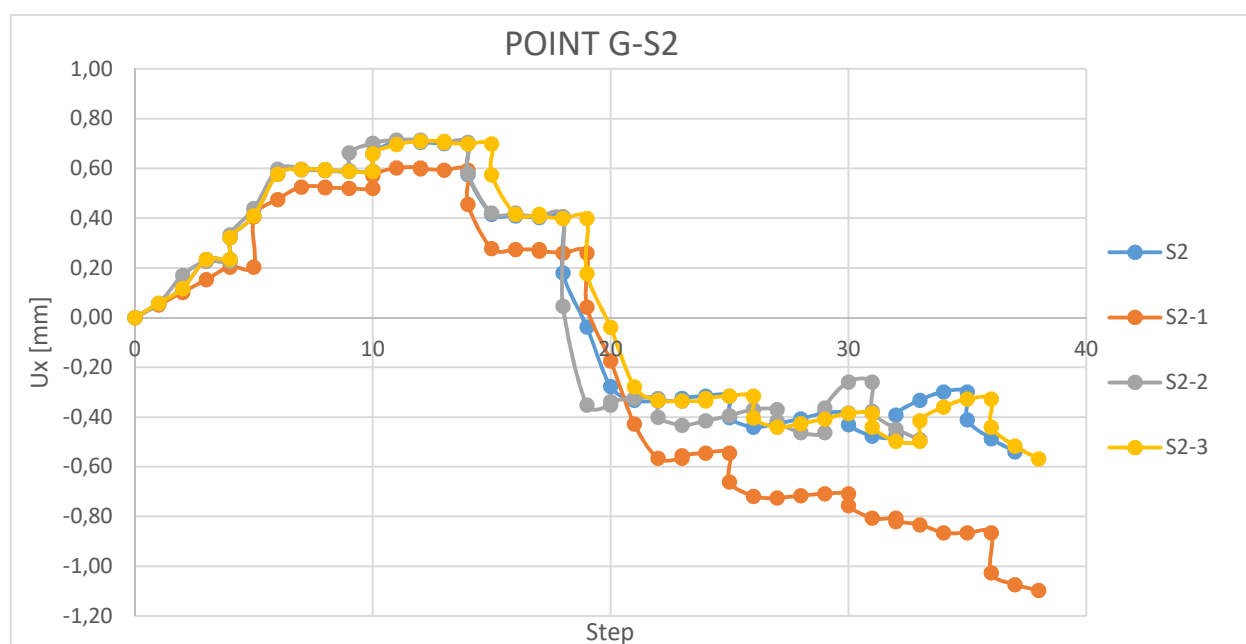
A	S2	S2-1	S2-2	S2-3
$U_x [mm]$	1,06	<b>1,07</b>	0,64	0,86

Στον πίνακα 44, δίδονται οι μέγιστες κατά απόλυτη τιμές του σημείου για τις επιλύσεις με μεγαλύτερη αυτή που αντιστοιχεί στην πρώτη παραμετρική ανάλυση.

### Σημείο G-S2

Ακολουθεί το αντίστοιχο σημείο για τον κεφαλόδεσμο των πασσάλων του ανασταθμού, διάγραμμα 11.

Διακρίνεται στις πρώτες υπολογιστικές φάσεις εδαφικές φορτίσεις - πρώτες τμηματικές εκσκαφές, δηλαδή αρκετά πριν τη στάθμη που βρίσκεται ο ανασταθμός, αναπτύσσονται οριζόντιες μετακινήσεις με θετικό πρόσημο κατεύθυνσης προς την εκσκαφή.



Διάγραμμα 11: Σύγκριση Οριζόντιων μετακινήσεων για το σημείο G-S2.

Εν συνεχεία, οι οριζόντιες μετακινήσεις συνεχίζουν να αναπτύσσονται με αρνητικό πρόσημο, δηλαδή προς την αντίθετη κατεύθυνση. Στον πίνακα 45, παρουσιάζονται οι μετακινήσεις:

Πίνακας 45: Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις για το σημείο G-S2.

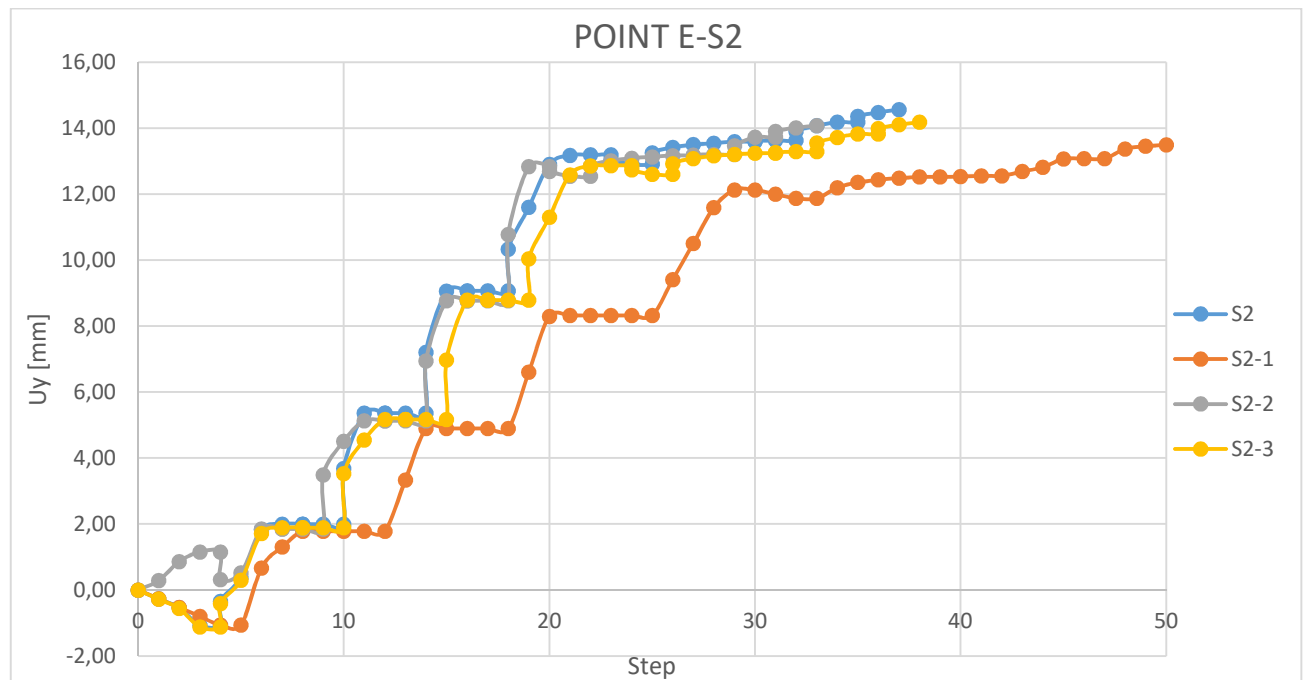
G	S2	S2-1	S2-2	S2-3
$U_x$ [mm]	0,71	<b>1,10</b>	0,71	0,71

Ομοίως με το σημείο A-S2, οι μεγαλύτερες μετακινήσεις σε αυτή την περίπτωση αντιστοιχούν στην πρώτη παραμετρική επίλυση.

### Σημείο E-S2

Μέσω της παρατήρησης για το E-S2, εντοπίζεται η συμπεριφορά των κατακόρυφων μετακινήσεων στο επίπεδο του ανασταθμού μεταξύ των πασάλων της περιμετρικής εκσκαφής και αυτών του ανασταθμού.

Το σημείο εμφανίζει αρχικά μια μικρή καθίζηση της τάξης του 1 mm, λόγω της επιβολής των επιφανειακών φορτίων στο μοντέλο, διάγραμμα 12. Στη συνέχεια, το πρόσημο της αξονικής μετακίνησης αλλάζει και αφορά πλέον ανύψωση του πυθμένα.



Διάγραμμα 12: Σύγκριση κατακόρυφων μετακινήσεων για το σημείο E-S2.

Η εν λόγω ανύψωση συνεχώς αυξάνεται και στην τελευταία υπολογιστική φάση φαίνεται να τείνει να σταθεροποιηθεί σε μια τιμή. Διαφοροποιείται η καμπύλη της κατακόρυφης μετατόπισης του σημείου, για την επίλυση που η εκσκαφή γίνεται σε μεγαλύτερο μέρος συναντώντας τον σχηματισμό του ψαμμίτη, που όπως φαίνεται είναι επηρεάζεται λιγότερο από την εξέλιξη της κατασκευής.

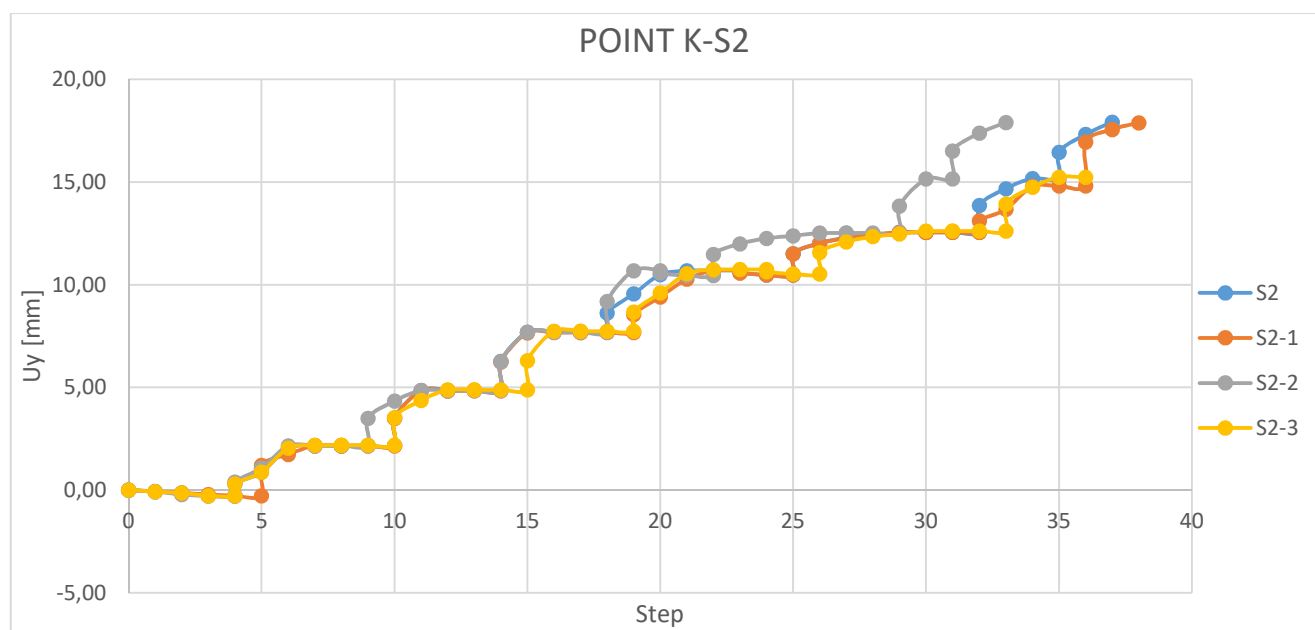
Πίνακας 46: Μέγιστες ανυψώσεις πυθμένα για το σημείο E-S2.

E-S2	S2	S2-1	S2-2	S2-3
Uy [mm]	<b>14,56</b>	13,45	14,08	14,18

Το παραπάνω επιβεβαιώνετε και από τον πίνακα 46, όπου η ελάχιστη ανύψωση παρατηρείται για την πρώτη παραμετρική επίλυση και η μέγιστη κατά την επίλυση αναφοράς.

### Σημείο K-S2

Αντιστοίχως έχει επιλεχθεί το σημείο παρατήρησης για την ανύψωση του πυθμένα για την τελική στάθμη εκσκαφής, Στο πίνακα 47, φαίνονται οι μέγιστες τιμές των εξαγόμενων αποτελεσμάτων.



Διάγραμμα 13: Σύγκριση κατακόρυφων μετακινήσεων για το σημείο K-S2.

Όπως φαίνεται στο γράφημα 13, οι επιφορτίσεις στην επιφάνεια επηρεάζουν ελάχιστα το σημείο K-S2 σε αντίθεση με το E-S2 που βρίσκεται σε υψηλότερη στάθμη, δηλαδή πιο κοντά στην επιφάνεια.

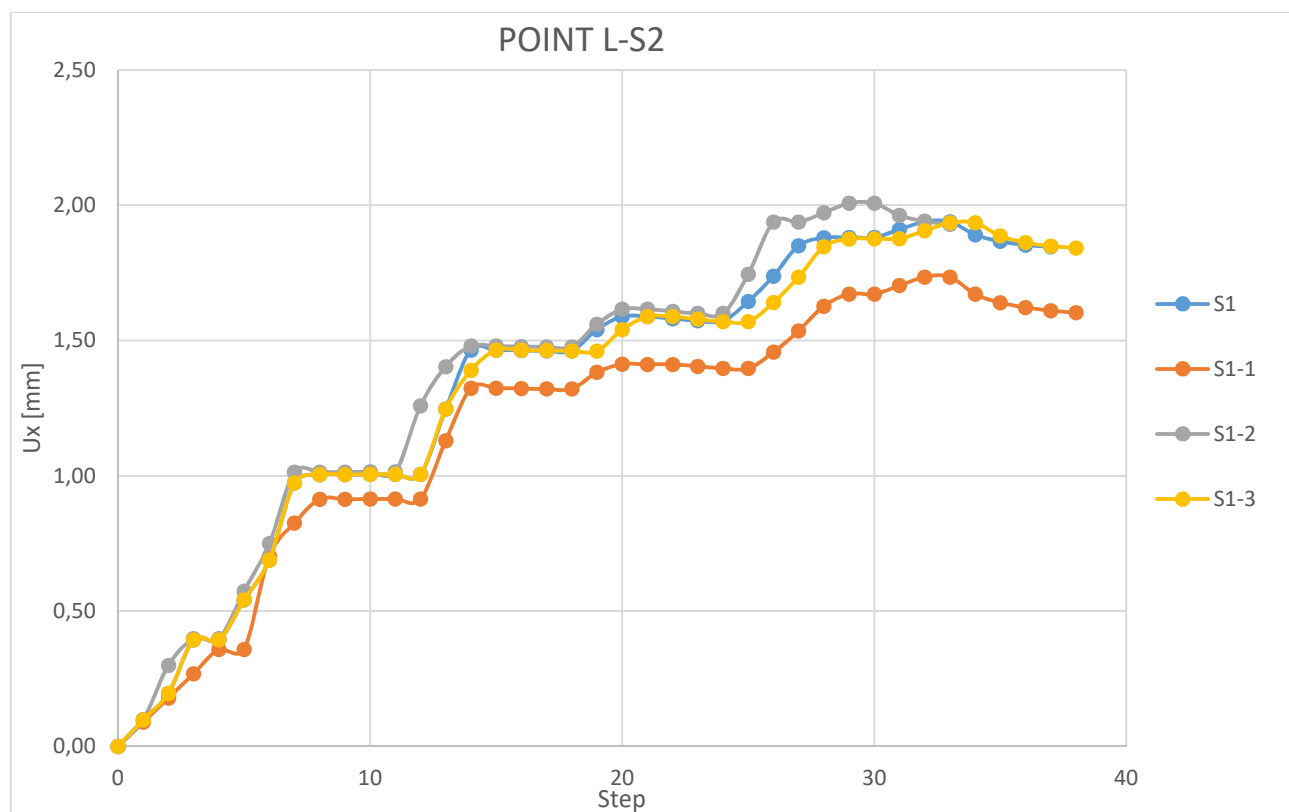
Πίνακας 47: Μέγιστες ανυψώσεις πυθμένα για το σημείο E-S2.

E-S2	S2	S1-2	S2-2	S2-3
Uy [mm]	<b>17,92</b>	17,89	17,90	15,24

### Σημείο L-S2

Ακολούθως φαίνονται οι οριζόντιες μετακινήσεις στο σημείου όπου ξεκινά η έμπηξη των περιμετρικών πασσάλων, διάγραμμα 14.

Διακρίνεται ότι κατά την εξέλιξη των υπολογιστικών φάσεων όπου και προσομοιώνεται η εξέλιξη της κατασκευής, οι οριζόντιες μετακινήσεις παρουσιάζουν μια συνεχόμενη αύξηση. Τα τοπικά μέγιστα που έχουν οι καμπύλες αποδίδονται στις τμηματικές εκσκαφές που πραγματοποιούνται.



Διάγραμμα 14: Σύγκριση Οριζόντιων μετακινήσεων για το σημείο L-S2.

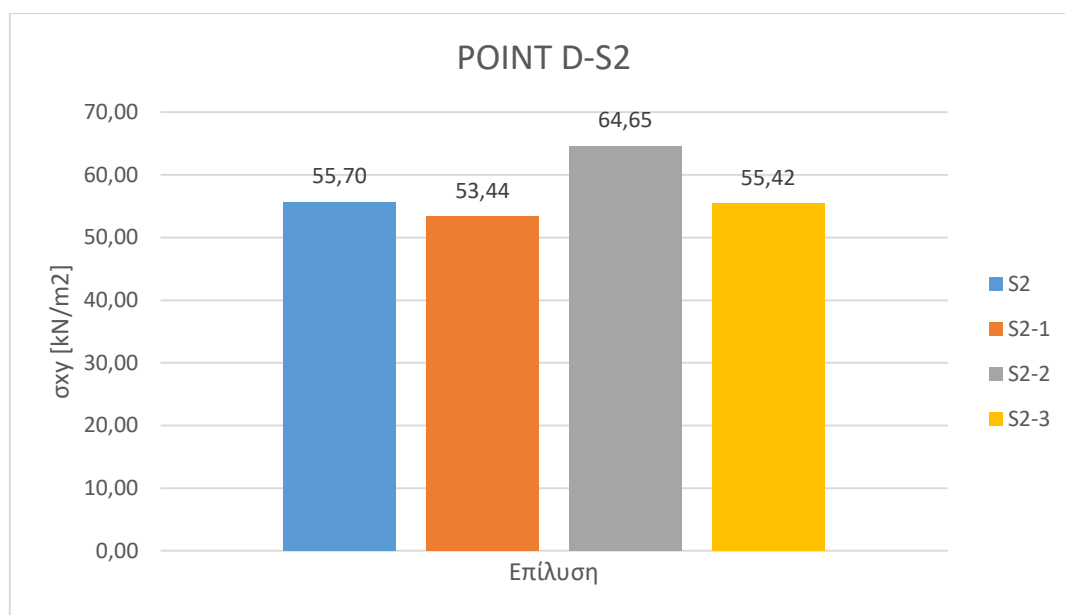
Πίνακας 48: Μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις για το σημείο L-S2.

L-S2	S2	S2-1	S2-2	S2-3
Ux [mm]	1,94	1,73	<b>2,01</b>	1,93

Παρατηρείται ότι με την αύξηση του μήκους του πασσάλου οι οριζόντιες μετατοπίσεις για το ίδιο σημείο είναι μεγαλύτερες συγκρίνοντας τις με αυτές των υπόλοιπων επιλύσεων. Αντιθέτως η μικρότερη φαίνεται ότι αντιστοιχεί στην πρώτη παραμετρική ανάλυση, πίνακας 48.

### Σημείο D-S2

Στη ίδια θέση με το σημείο L-S2 επιλέχθηκε σημείο για τις παρατηρήσεις των τάσεων που αναπτύσσονται στο μοντέλο. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων δίνεται σχηματικά στο διάγραμμα 15 και στον πίνακα 49.



Διάγραμμα 15: Μέγιστες διατμητικές τάσεις για το σημείο D-S2

Πίνακας 49: Μέγιστες διατμητικές τάσεις για το σημείο D-S2.

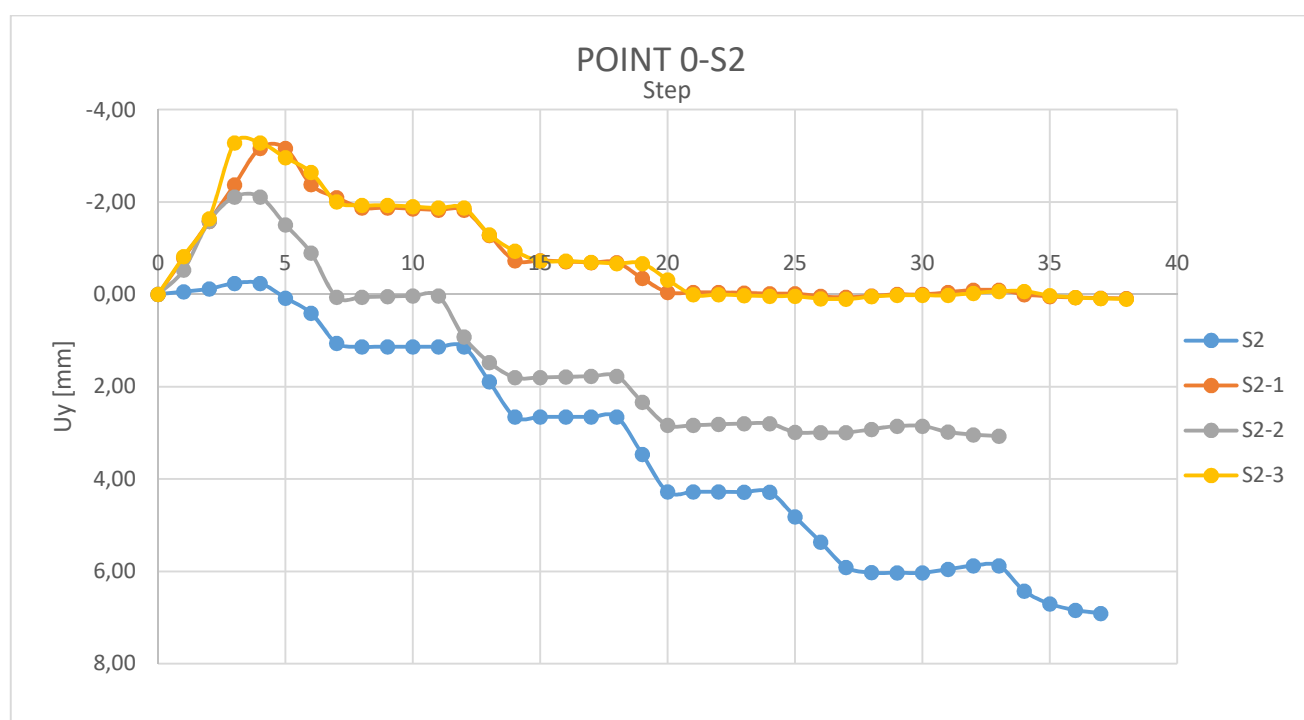
D-S2	S2	S2-1	S2-2	S2-3
σxy [kN/m <sup>2</sup> ]	55,70	53,44	<b>64,65</b>	55,42

Οι μέγιστες διατμητικές τάσεις για τον εν λόγω σημείο φαίνεται ότι αναπτύσσονται στην δεύτερη παραμετρική ανάλυση εκεί δηλαδή που αναπτύχθηκαν οι μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις για την ίδια θέση, σημείο L-S2. Κατά αναλογία στην πρώτη παραμετρική ανάλυση αναπτύσσεται η ελάχιστη διατμητική τάση από αυτές που δίνονται στον πίνακα.

### Σημείο O-S2

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται μέσω του διαγράμματος 16 και του πίνακα 50, αφορούν το σημείο O-S2, το οποίο βρίσκεται στην επιφάνεια και 5 m από την εκσκαφή.

Με την επιβολή των φορτιών επί του εδάφους αναπτύσσονται αρχικά οι καθιζήσεις για το συγκεκριμένο σημείο. Στην συνέχεια όπου ενεργοποιούνται τα μέτρα αντιστήριξης φαίνεται ότι η εξέλιξη των καθιζήσεων αναστέλλεται.



Διάγραμμα 16: Σύγκριση κατακόρυφων μετακινήσεων για το σημείο O-S2.

Πίνακας 50: Μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις για το σημείο O-S2.

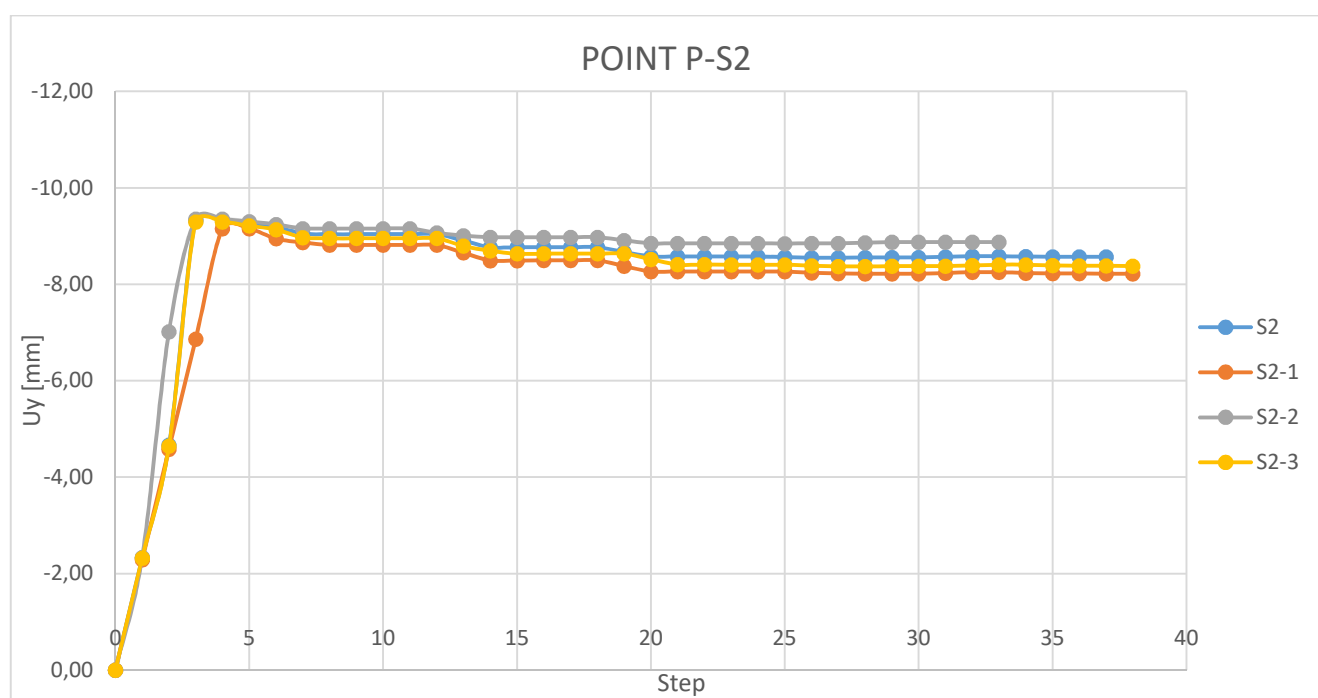
O-S2	S2	S1-2	S2-2	S2-3
Uy [mm]	<b>6,91</b>	3,16	3,07	3,28



### Σημείο P-S2

Το τελευταίο σημείο παρατήρησης είναι το P-S2, το οποίο επιλέγεται επιφανειακά και απέχει 20 m από την εκσκαφή, διάγραμμα 17. Η ανάπτυξη των καθιζήσεων που παρατηρούνται επηρεάζεται άμεσα από τις επιφανειακές φορτίσεις.

Το παραπάνω επιβεβαιώνεται και από το ολικό μέγιστο των καμπυλών που εμφανίζεται στα πρώτα 5 υπολογιστικά βήματα όλων των επιλύσεων που πραγματοποιήθηκαν.



Διάγραμμα 17: Σύγκριση κατακόρυφων μετακινήσεων για το σημείο P-S2.

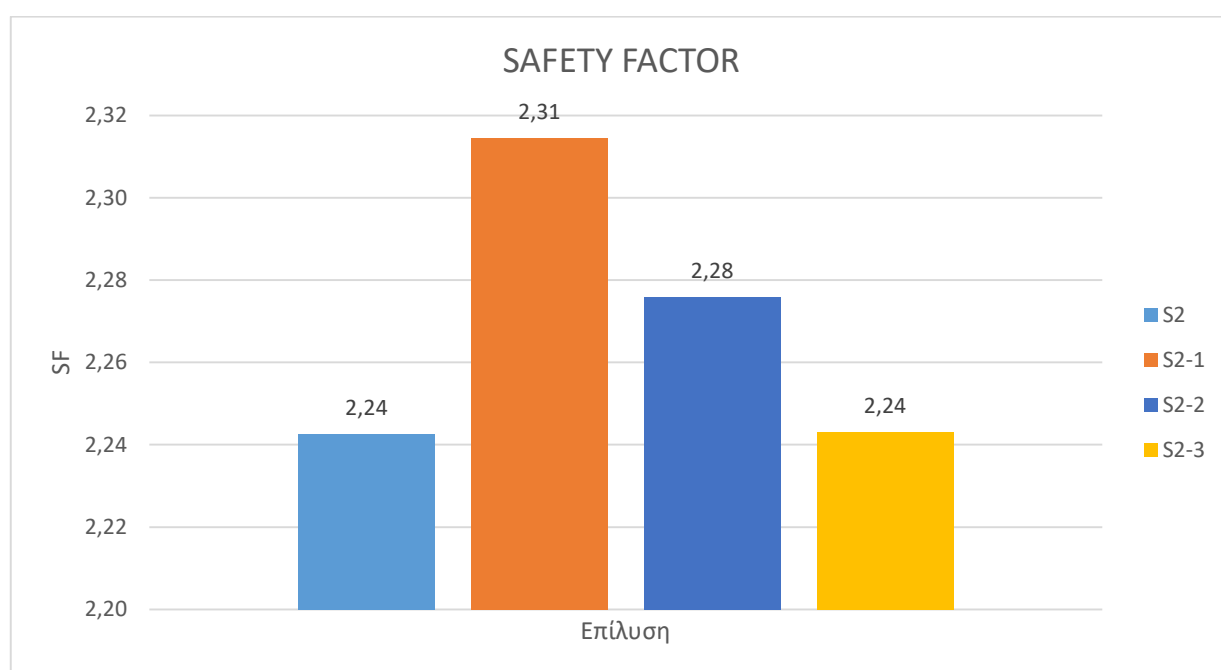
Πίνακας 51: Μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις για το σημείο P-S2.

P-S2	S2	S2-1	S2-2	S2-3
Uy [mm]	9,33	9,15	<b>9,35</b>	9,29

Η μέγιστη μεταξύ των καθιζήσεων του σημείου είναι αυτή που καταγράφηκε για την δεύτερη παραμετρική ανάλυση. Στην πρώτη παραμετρική επίλυση διακρίνεται η μικρότερη καθίζηση μεταξύ των συγκρινόμενων τιμών, πίνακας 51.

### Συντελεστές ασφαλείας – Επίλυσεις S2

Μέσω του διαγράμματος 18, αποδεικνύεται ότι το μεγαλύτερο συντελεστή ασφαλείας μεταξύ των επιλύσεων τον αποδίδει η παραμετρική ανάλυση Νο 1. Όλες οι αναλύσεις αποδίδουν συντελεστή ασφαλείας αρκετά μεγαλύτερο από το 1, γεγονός το οποίο εξασφαλίζει ότι η κατασκευή του σταθμού δεν πρόκειται να αστοχήσει για τους δεδομένους σχεδιασμούς που προσομοιώθηκαν.



Διάγραμμα 18: Σύγκριση συντελεστών ασφαλείας για κάθε επίλυση- S2.

Όπως γίνεται αντιληπτό ο παράγοντας που επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό τα αποτελέσματα των επιλύσεων είναι τα μηχανικά χαρακτηριστικά του σχηματισμού επί του οποίου γίνεται η κατασκευή.

## 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με το πέρας των αναλύσεων και των μεταξύ τους συγκρίσεων σαν έκβαση προκύπτουν διάφορα συμπεράσματα, για το παράδειγμα κατασκευής του σταθμού «Δημοτικό Θέατρο Πειραιά». Όπως έχει ήδη αναφερθεί και στην εισαγωγή της παρούσας εργασίας, τα δεδομένα που αντλήθηκαν από τη βιβλιογραφία αφορούν μόνο τη γεωλογία της περιοχής μελέτης και τα γεωμετρικά στοιχεία του σταθμού. Σε καμία περίπτωση οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν δεν αντιστοιχούν στο σχεδιασμό του εν λόγω σταθμού.

Οι παραμετρικές αναλύσεις που έγιναν, είχαν ως στόχο τη μελέτη και τον προσδιορισμό της επιρροής συγκεκριμένων παραμέτρων στο μοντέλο αναφοράς. Πιο συγκεκριμένα, οι εν λόγω παράμετροι είναι η συμπεριφορά της στρωματογραφίας μέσα στη οποία γίνεται το όρυγμα και κατ' επέκταση η επίδραση των μηχανικών χαρακτηριστικών του εκάστοτε σχηματισμού καθώς και τα μέτρα αντιστήριξης που επιλέγονται σε κάθε επίλυση.

Τα συμπεράσματα τα οποία μπορούν να διεξαχθούν έπειτα από τη μελέτη και σύγκριση των υπολογιστικών αποτελεσμάτων για τα δύο τμήματα της εκσκαφής, λόγω της διαφορετικής τους γεωμετρίας, είναι τα εξής:

- Κατά την εκσκαφή του σταθμού σε σχηματισμό ο οποίος έχει καλύτερα μηχανικά χαρακτηριστικά, οι παραμορφώσεις και μετακινήσεις που καταγράφονται είναι μικρότερης τάξης μεγέθους από οποιαδήποτε άλλη επίλυση που μελετήθηκε.
- Η συνδρομή των αγκυρώσεων στις οριζόντιες μετακινήσεις που παρατηρούνται και εν συνεχεία στην ανάπτυξη των διατμητικών τάσεων που αναπτύσσονται εντός του μοντέλου είναι αρκετά σημαντική. Ειδικότερα με την αύξηση της προέντασης των αγκυρίων, παρατηρείται μείωση των οριζόντιων μετακινήσεων για τα ίδια σημεία παρατήρησης στις υπόλοιπες αναλύσεις.
- Με την αύξηση του μήκους έμπηξης των πασσάλων παρατηρείται ότι μειώνονται οι ανυψώσεις στον πυθμένα των εκάστοτε εκσκαφών. Το παραπάνω ισχύει τόσο στις τελικές στάθμες του νοτιοδυτικού και

βοριοδυτικού τμήματος της εκσκαφής όσο και στη στάθμη του ανασταθμού μεταξύ των δυο πασσαλότοιχων.

Εν κατακλείδι, αυτό που παίζει κύριο ρόλο στην ανάπτυξη μετακινήσεων, τάσεων και παραμορφώσεων κατά την εκσκαφή είναι ο σχηματισμός μέσα στον οποίο αυτή λαμβάνει χώρα. Επιπρόσθετα, είναι αναμφίβολη η σημαντική συνεισφορά των αγκυρώσεων στον περιορισμό ανάπτυξης οριζόντιων τάσεων και μετακινήσεων. Αναφορικά με την αύξηση του μήκους των πασσάλων δεν παρατηρούνται αξιοσημείωτες συνεισφορές ως προς την ανάπτυξη τάσεων και μετακινήσεων που καταγράφηκαν.

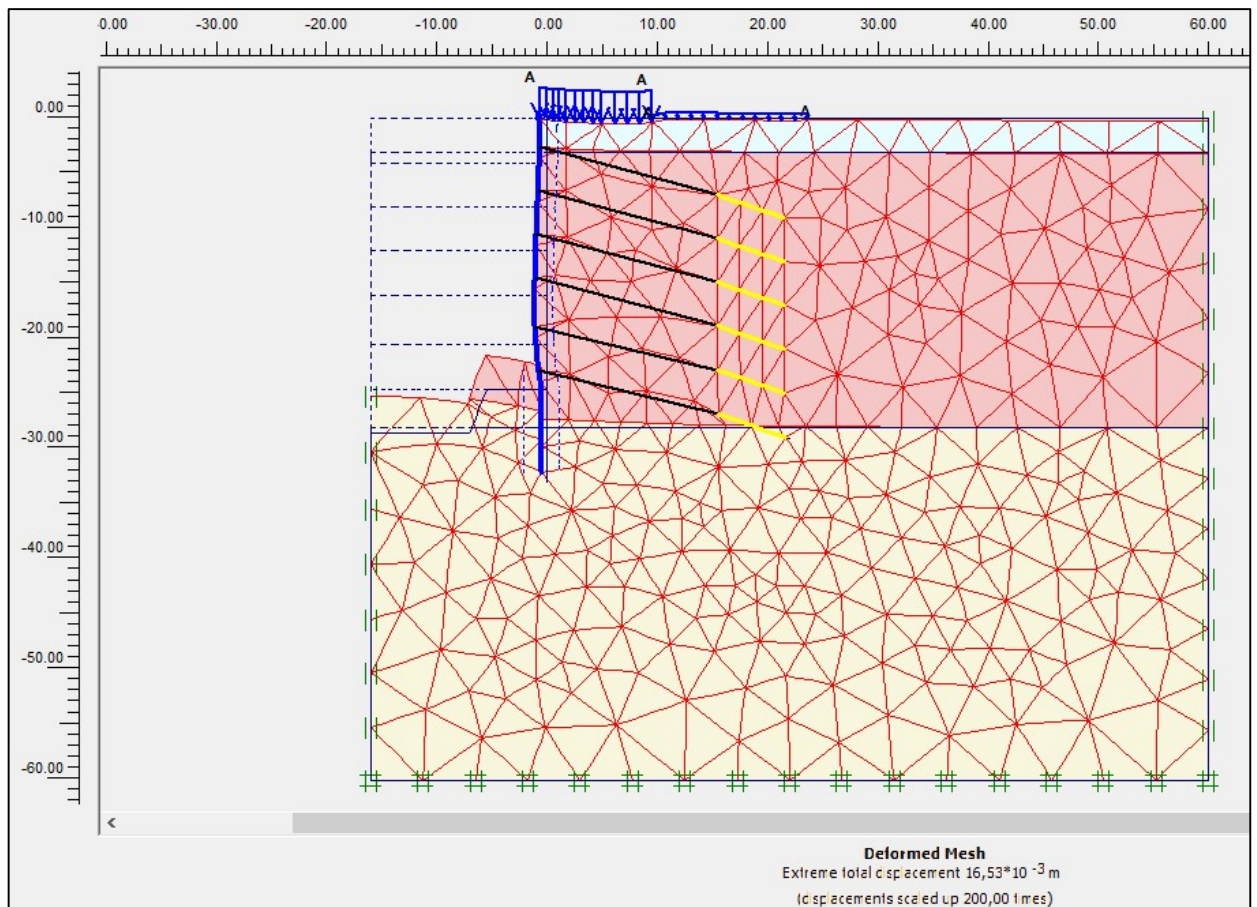
## Βιβλιογραφία

- OBERMEYER PLANEN + BERATEN GmbH (2013). Επέκταση Γραμμής 3 Τμήμα “ΧΑΪΔΑΡΙ-ΠΕΙΡΑΙΑΣ”, Σταθμός Δημοτικό Θέατρο – Έκθεση Γεωτεχνικής Αξιολόγησης Παραμέτρων Σχεδιασμού, Αθήνα.
- Αττικό Μετρό (2013). Επέκταση Γραμμής 3 Τμήμα “ΧΑΪΔΑΡΙ-ΠΕΙΡΑΙΑΣ”, Σταθμός Δημοτικό Θέατρο – Μελέτη Εφαρμογής Προσωρινής Αντιστήριξης – Τεχνική Έκθεση, Αθήνα.
- Αγιουτάντης Ζ. & Μερτίκας Π. (2003). Ένας πρακτικός οδηγός για τη Συγγραφή Τεχνικών Κειμένων, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΙΩΝ, Χανιά.
- Μουντράκης Μ. (2010). Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη Της Ελλάδας, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Σοφιανός Α. (2018). Υποστήριξη Υπόγειων Έργων, Ε.Μ.Π. Αθήνα.
- Τσαντάκης Ε. (2016). Μεταπτυχιακή Διατριβή - Συγκριτικές 2D και 3D αναλύσεις τεμνόμενων διαφραγματικών τοίχων με πεπερασμένα στοιχεία. Επιλύσεις με δεδομένα από το σταθμό Περιστερί του Μετρό Αθήνας, Ε.Μ.Π. Αθήνα.
- Brinkgreve, R.B.J. (2002): PLAXIS 2D – Version 8 manual, Delft University of Technology & PLAXIS b.v., The Netherlands.
- <https://www.ametro.gr/>

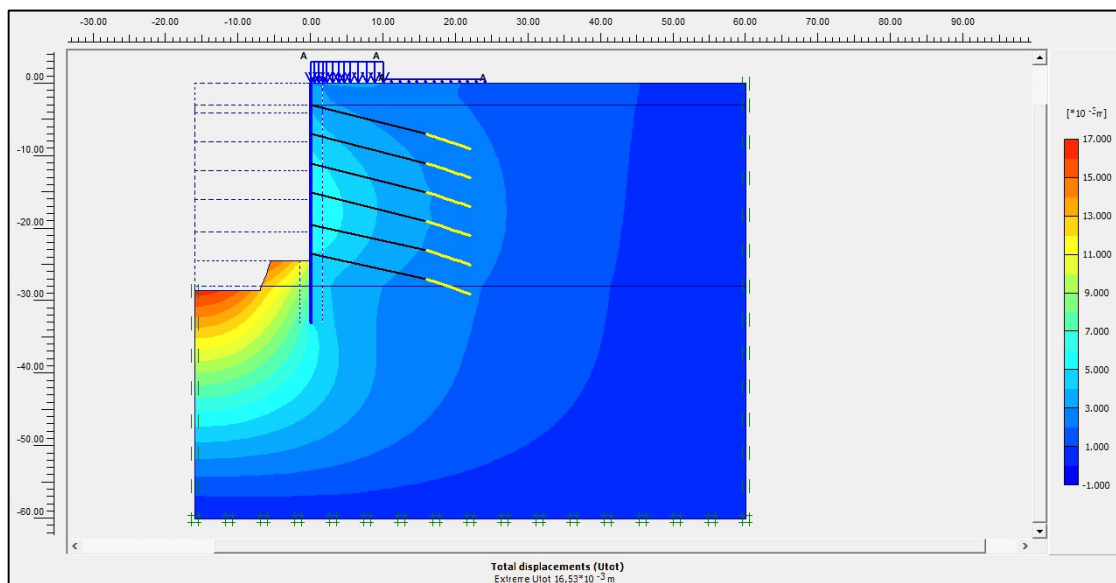


# Παράρτημα Α – Νοτιοδυτικό Τμήμα Εκσκαφής S1

### Επίλυση Αναφοράς S1

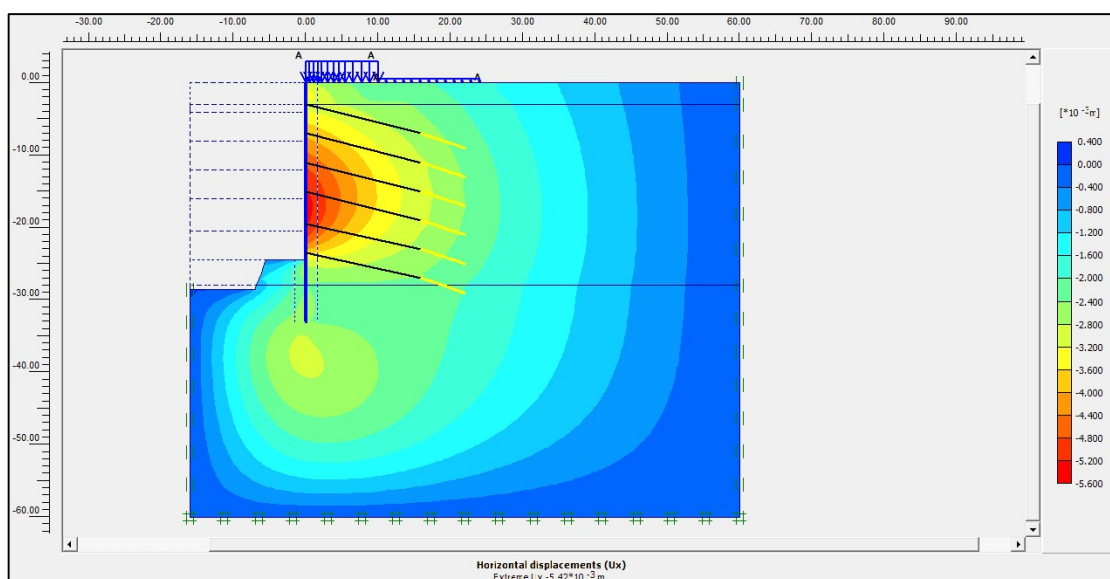


Παραμόρφωση πλέγματος διακριτοποίησης μοντέλου – S1.

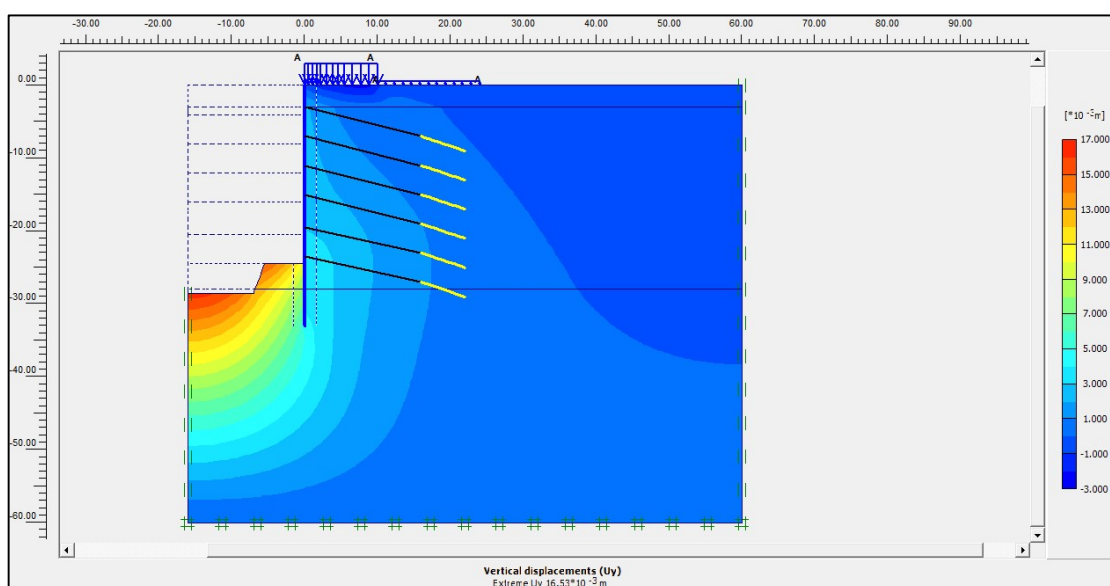


Συνολικές μετακινήσεις προσομοιώματος – S1.

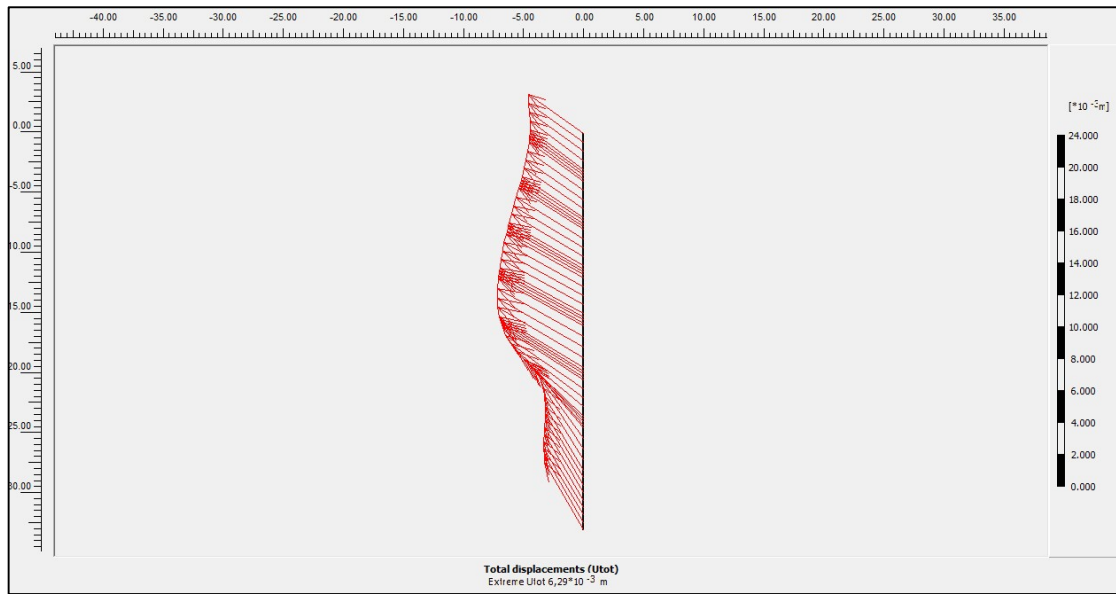




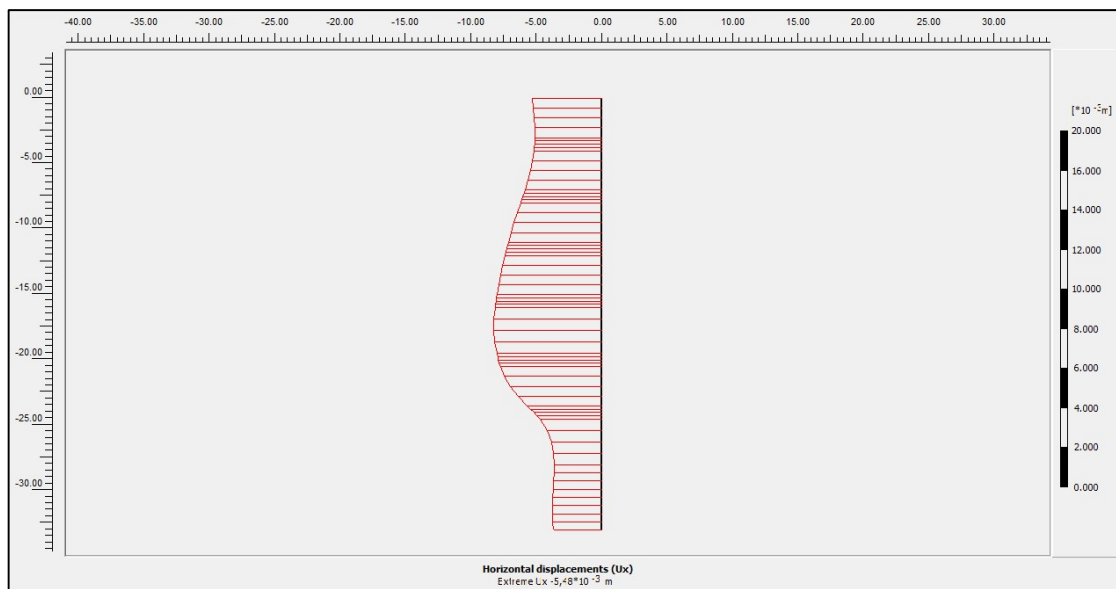
**Οριζόντιες μετακινήσεις προσομοιώματος – S1.**



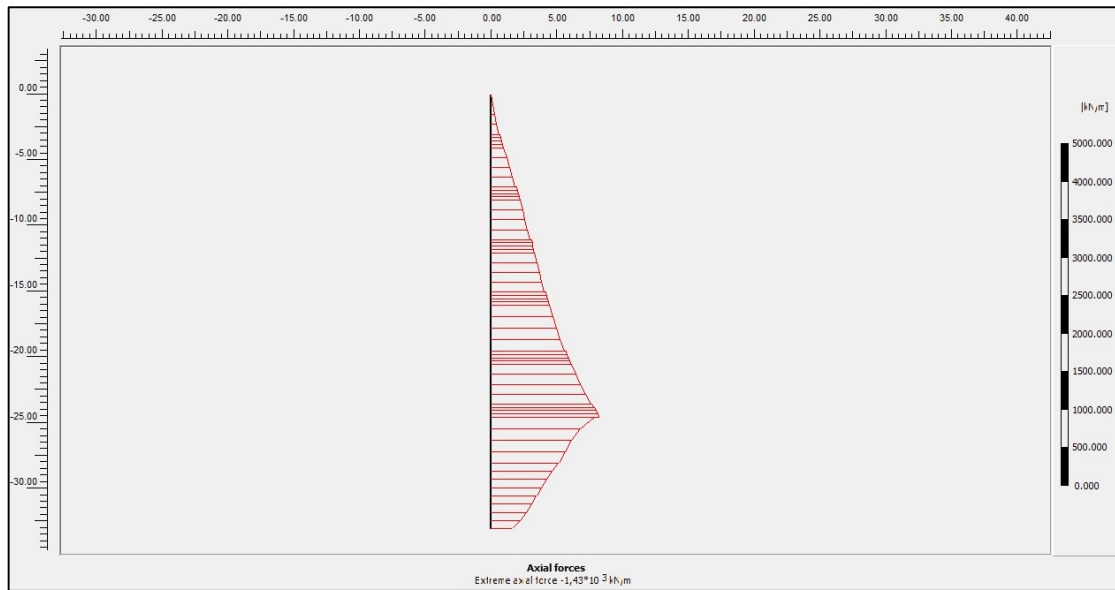
**Κατακόρυφες μετακινήσεις προσομοιώματος – S1.**



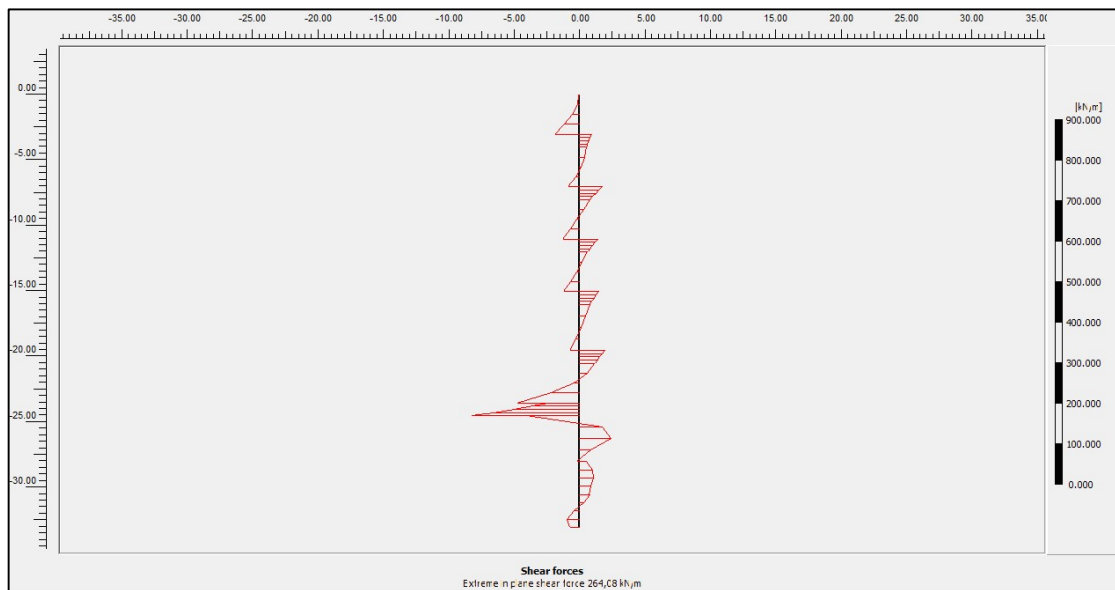
**Συνολικές μετακινήσεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής–  
S1.**



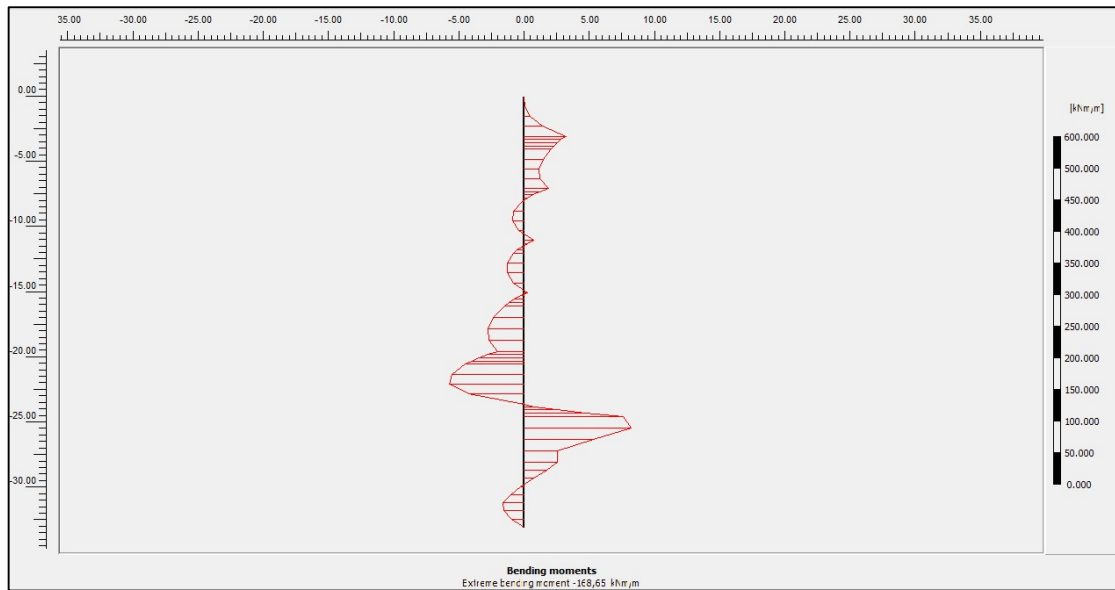
**Οριζόντιες μετακινήσεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής–  
S1.**



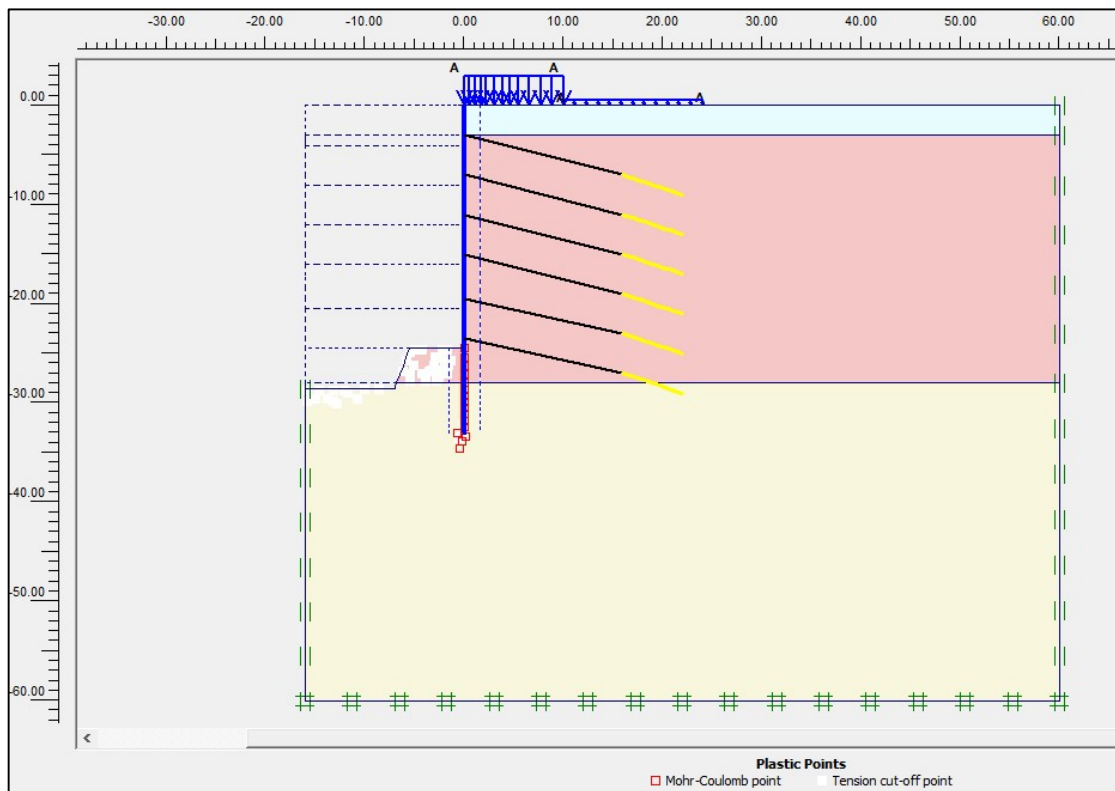
**Αξονικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής– S1.**



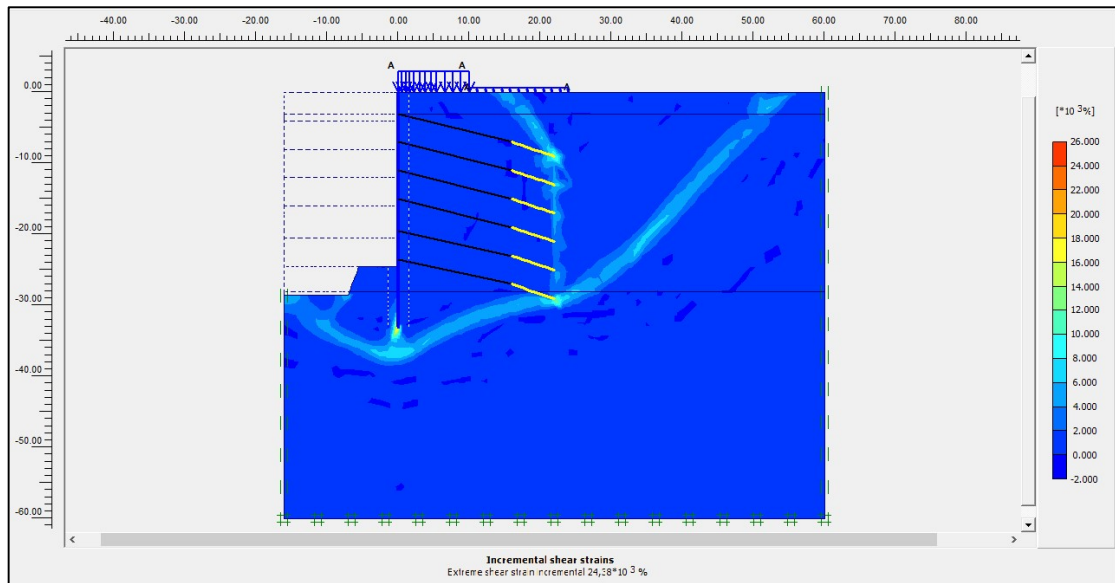
**Διατμητικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής– S1.**



**Καμπτικές Ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής- S1.**

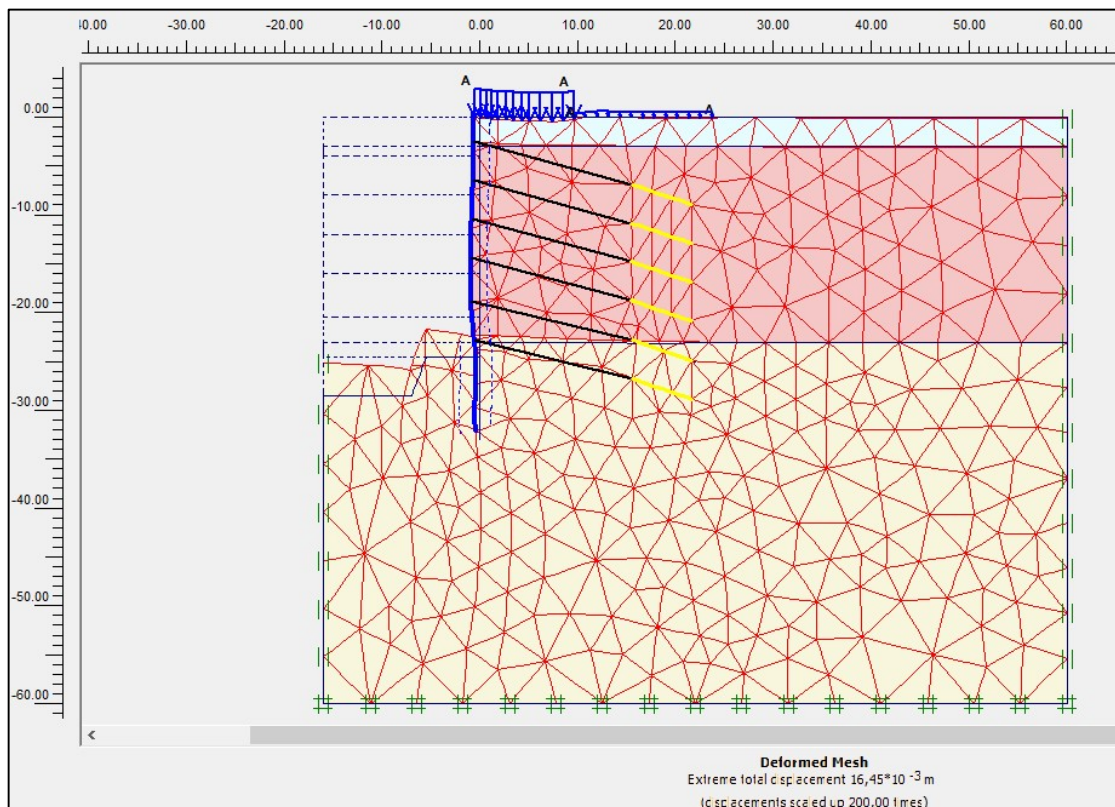


**Σημεία που έχουν υποστεί πλαστική παραμόρφωση - S1.**

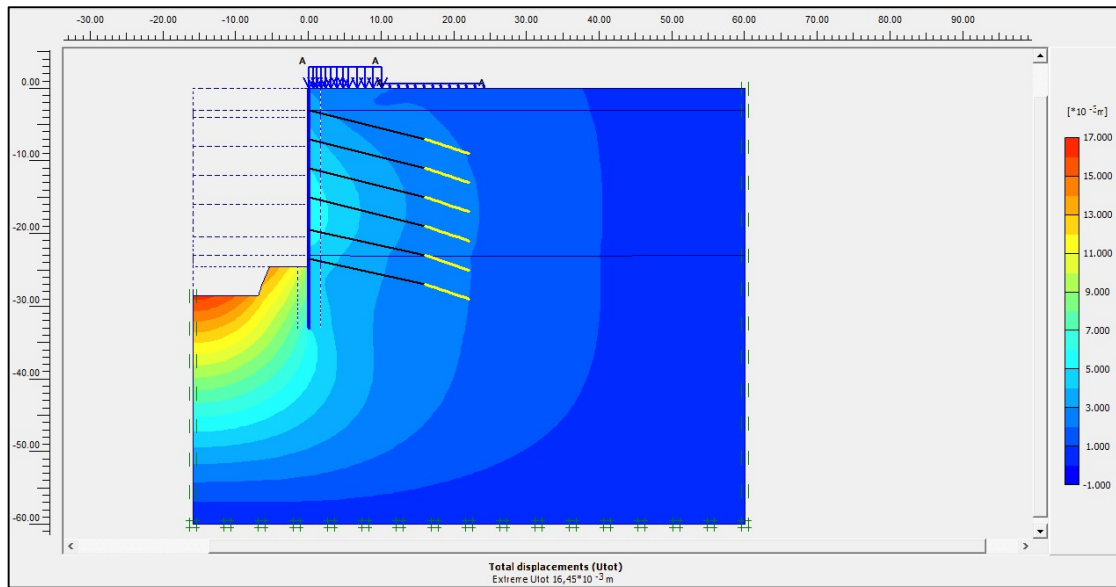


**Δυνητική επιφάνεια αστοχίας μοντέλου προσομοίωσης – S1.**

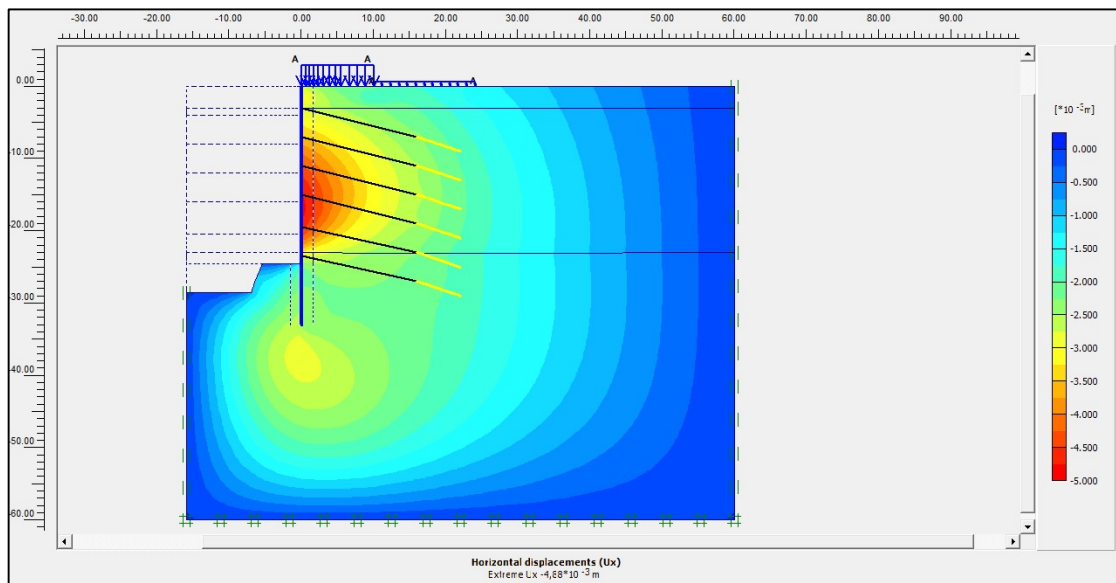
**Παραμετρική Επίλυση S1-1**



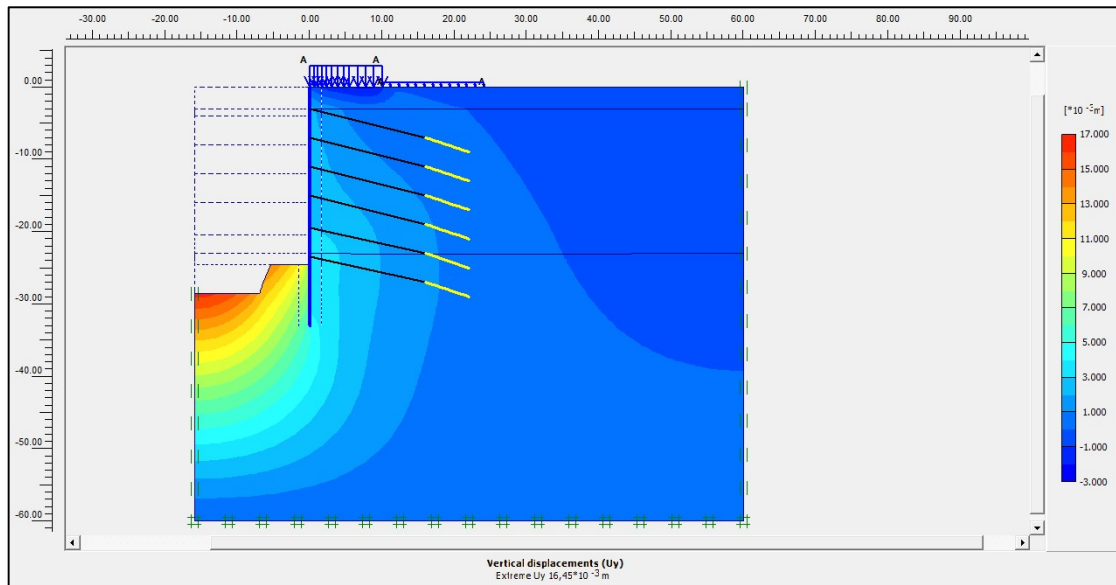
**Παραμόρφωση πλέγματος διακριτοποίησης μοντέλου – S1-1.**



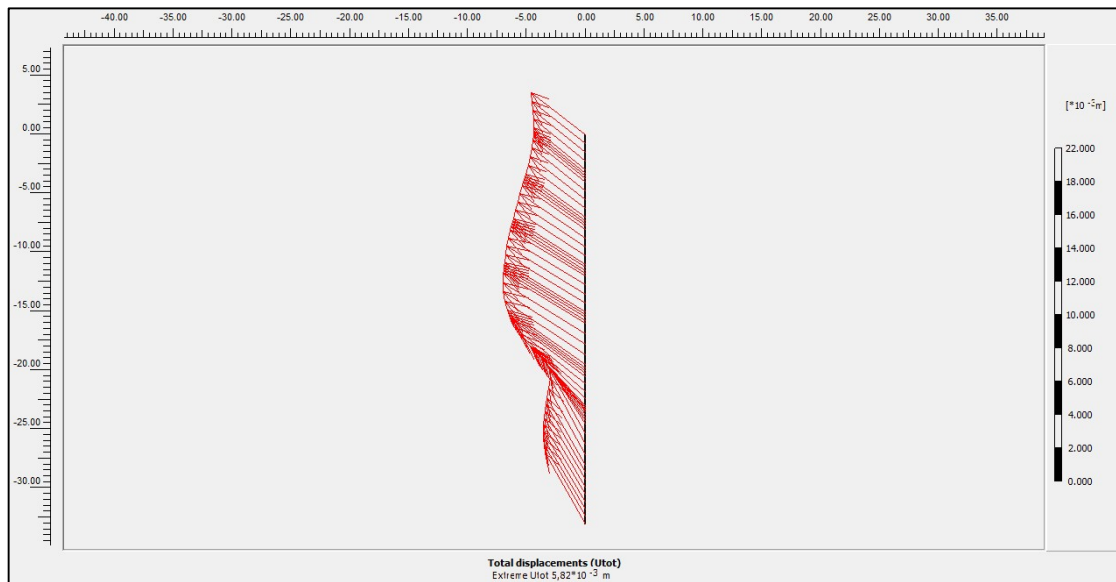
**Συνολικές μετακινήσεις προσομοιώματος – S1-1.**



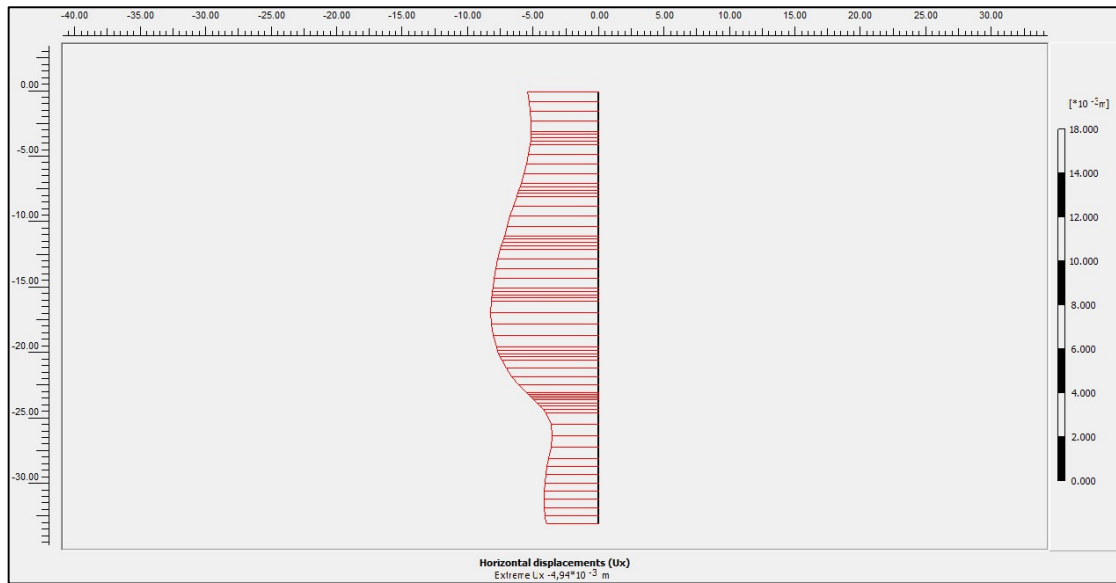
**Οριζόντιες μετακινήσεις προσομοιώματος – S1-1.**



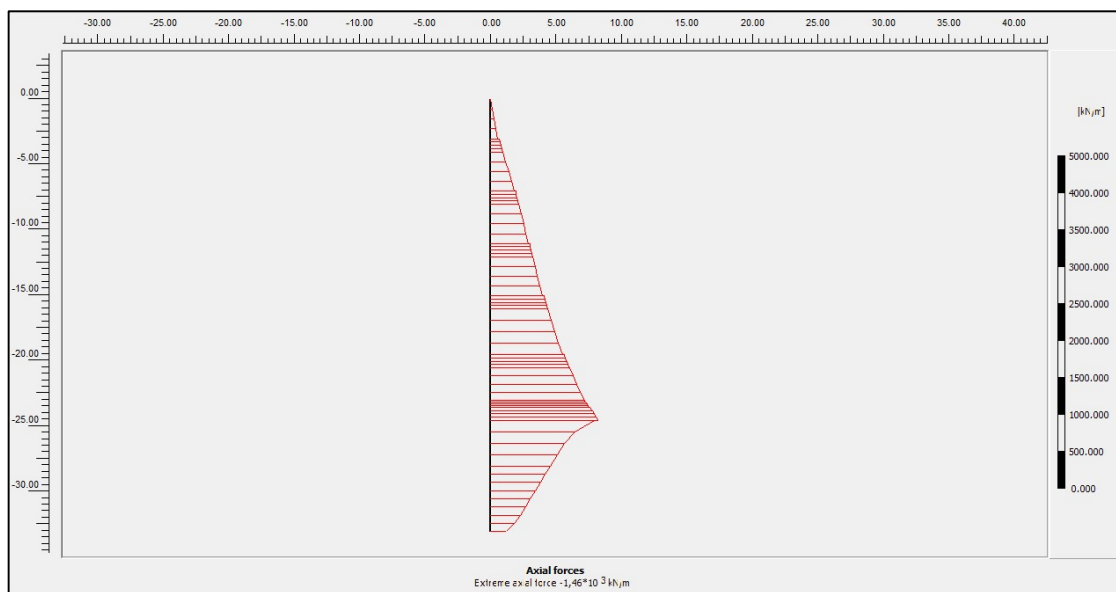
**Κατακόρυφες μετακινήσεις προσομιώματος – S1-1.**



**Συνολικές μετακινήσεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής– S1-1.**

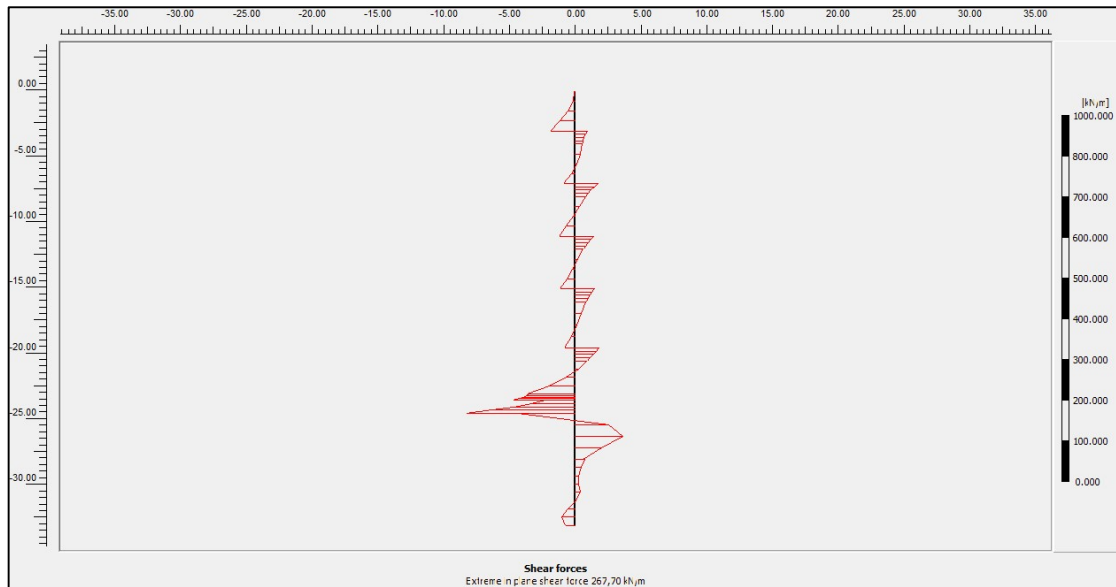


**Οριζόντιες μετακινήσεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής– S1-1.**

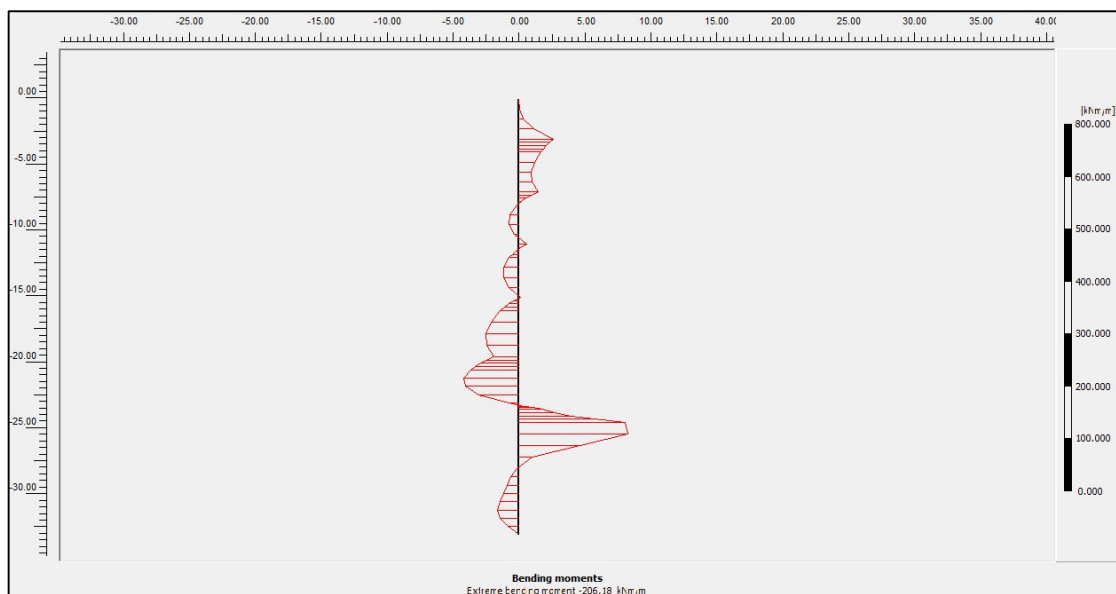


**Αξονικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής– S1-1.**

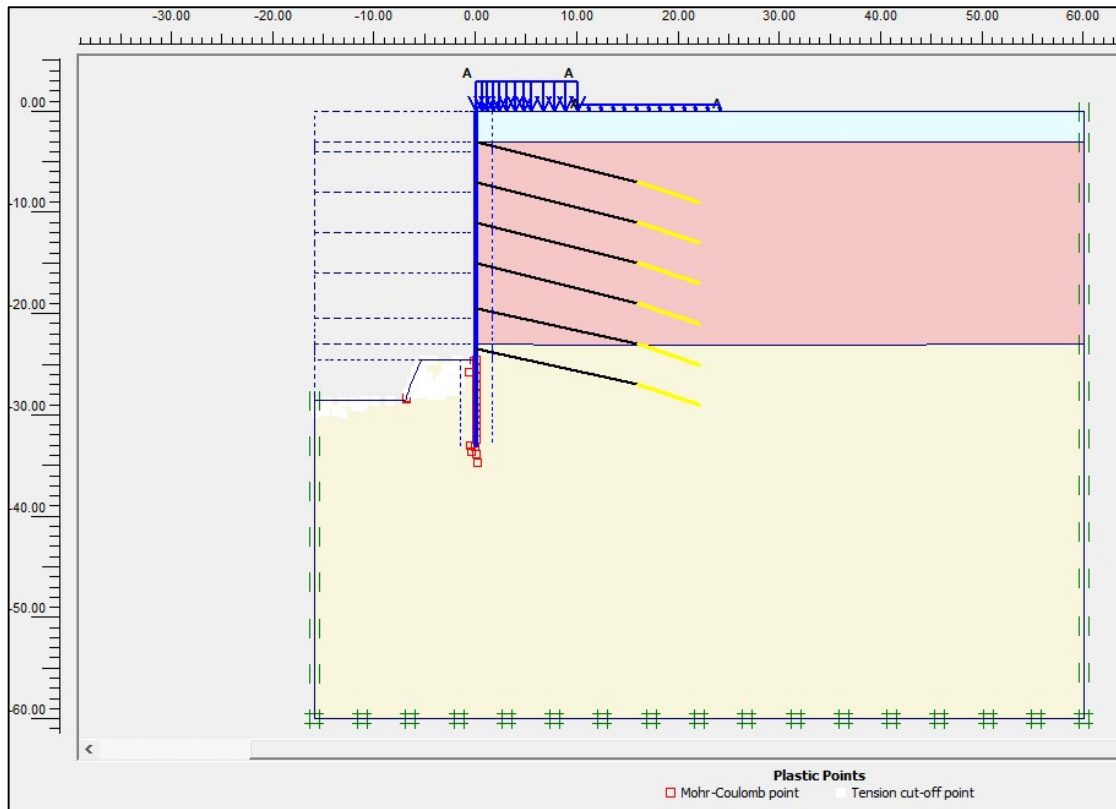




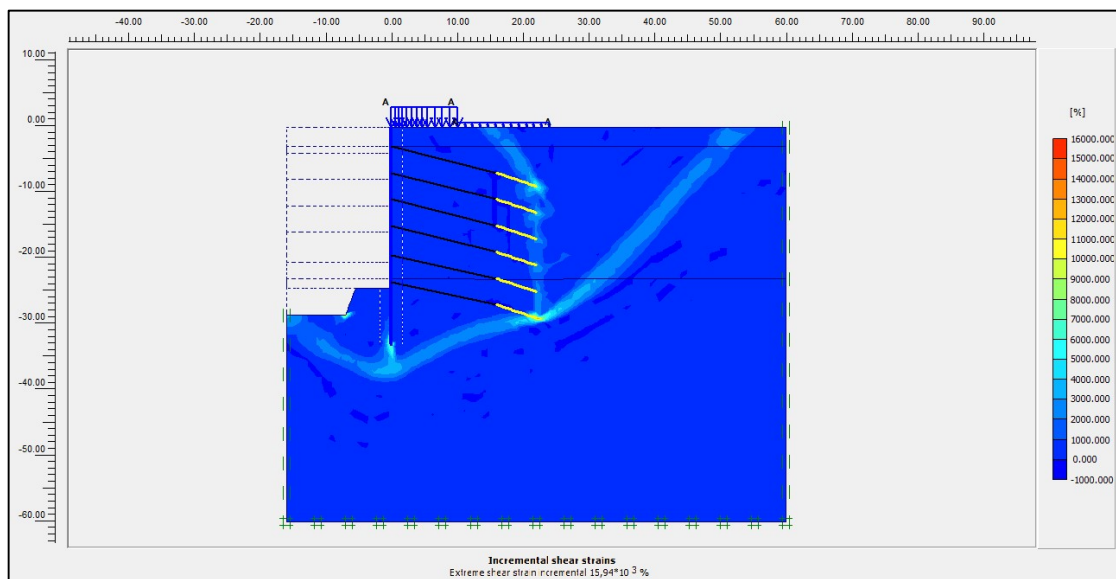
**Διατμητικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής– S1-1.**



**Καμπτικές Ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής– S1-1.**

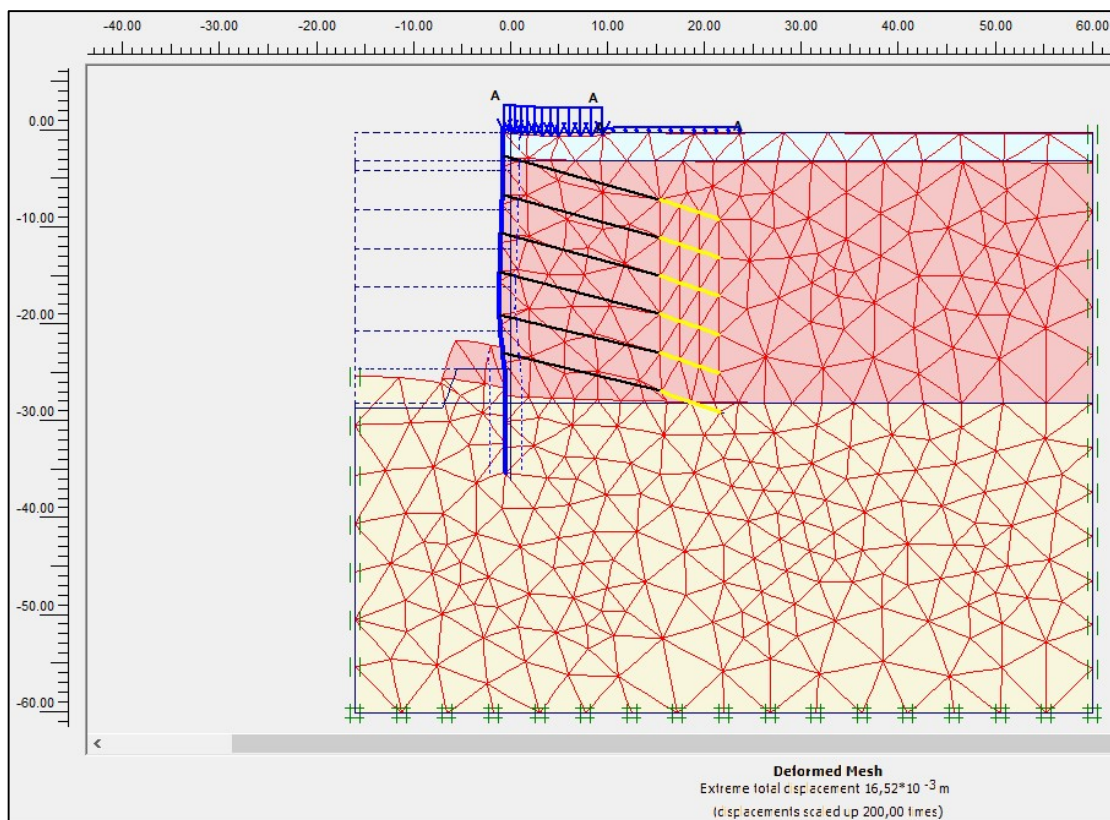


**Σημεία που έχουν υποστεί πλαστική παραμόρφωση – S1-1.**

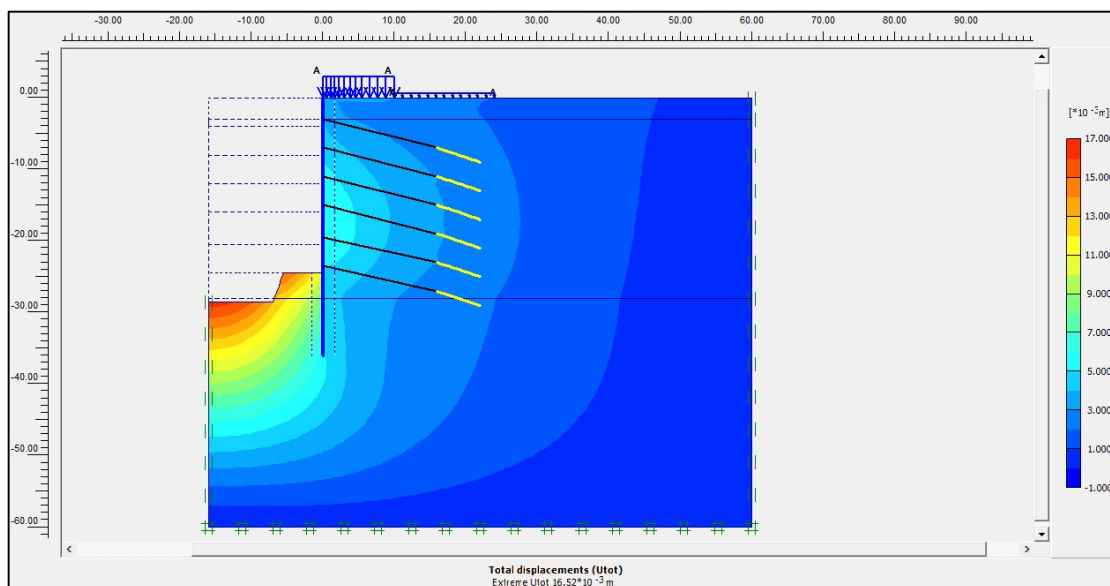


**Δυνητική επιφάνεια αστοχίας μοντέλου προσομοίωσης – S1-1.**

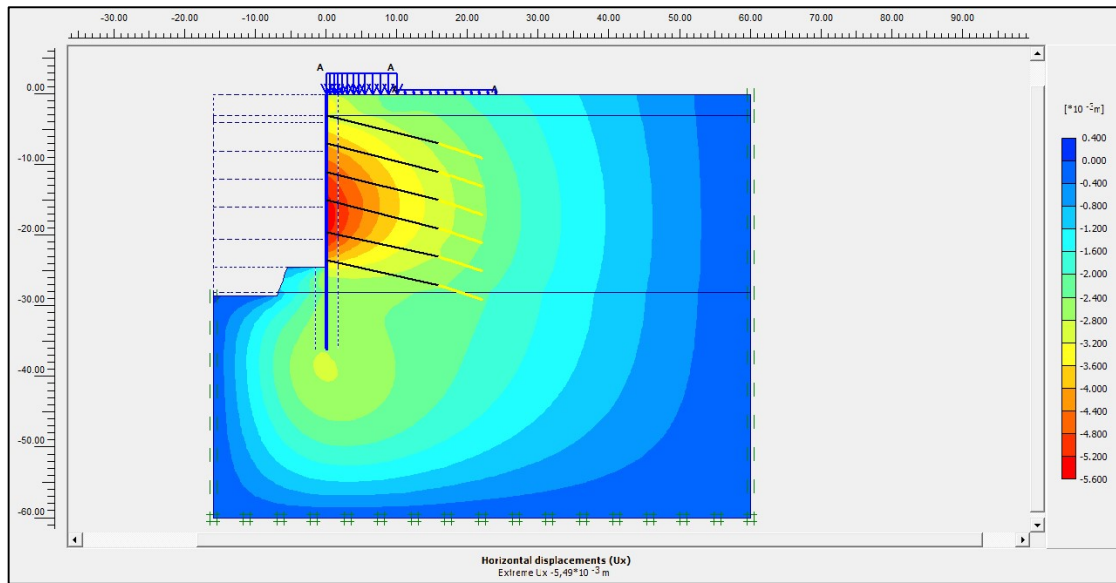
### Παραμετρική Επίλυση S1-2



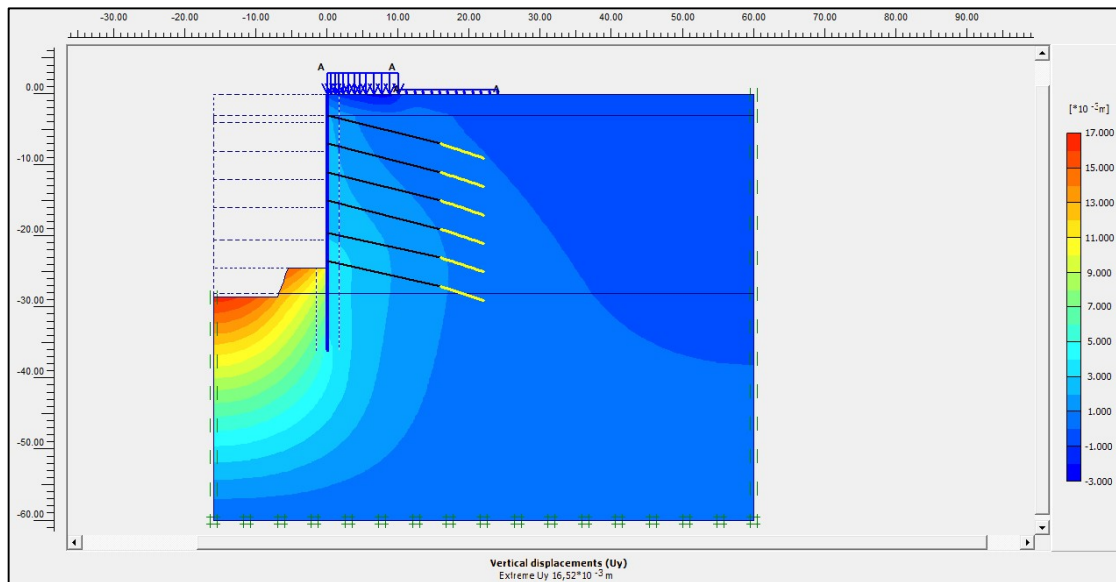
Παραμόρφωση πλέγματος διακριτοποίησης μοντέλου – S1-2.



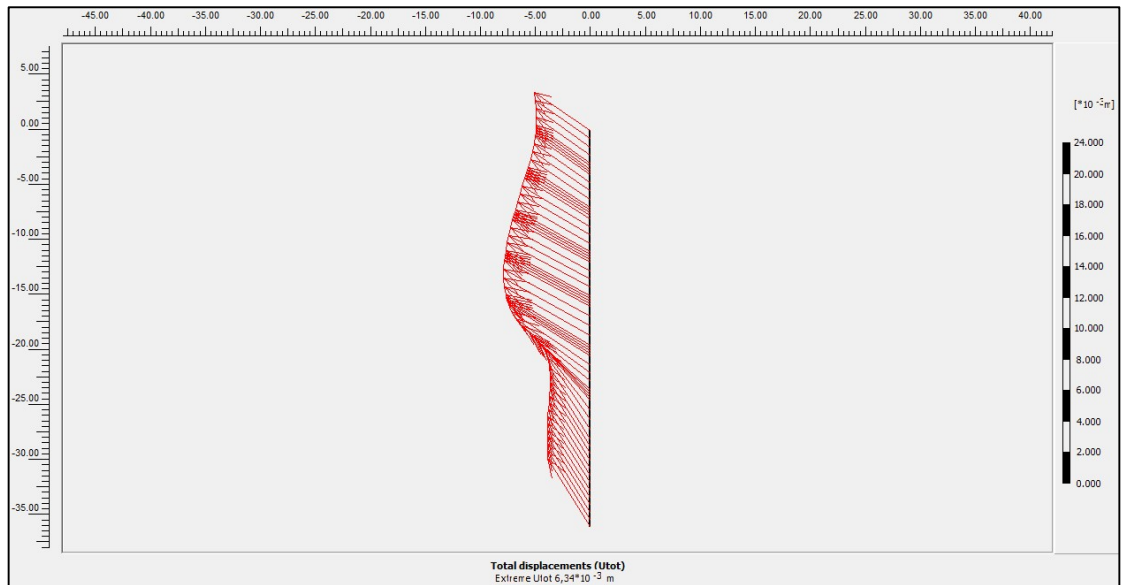
Συνολικές μετακινήσεις προσομοιώματος – S1-2.



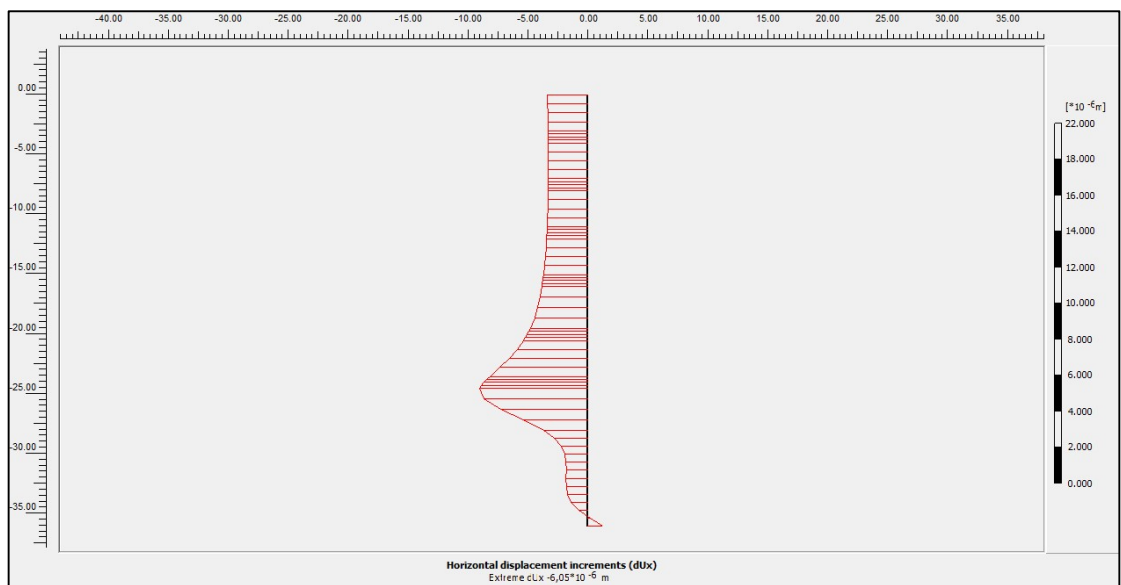
**Οριζόντιες μετακινήσεις προσομοιώματος – S1-2.**



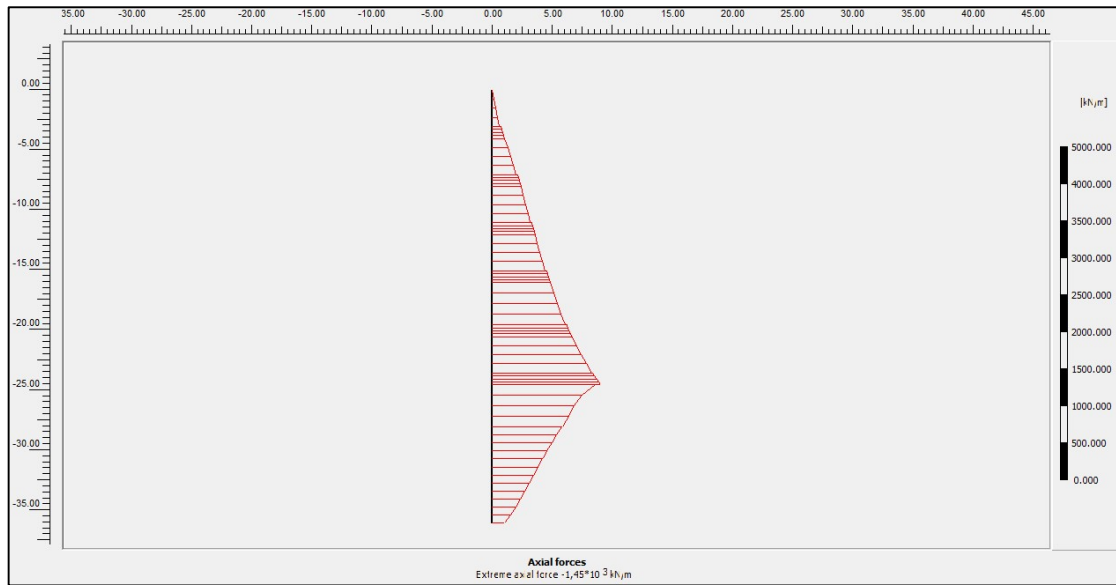
**Κατακόρυφες μετακινήσεις προσομοιώματος – S1-2.**



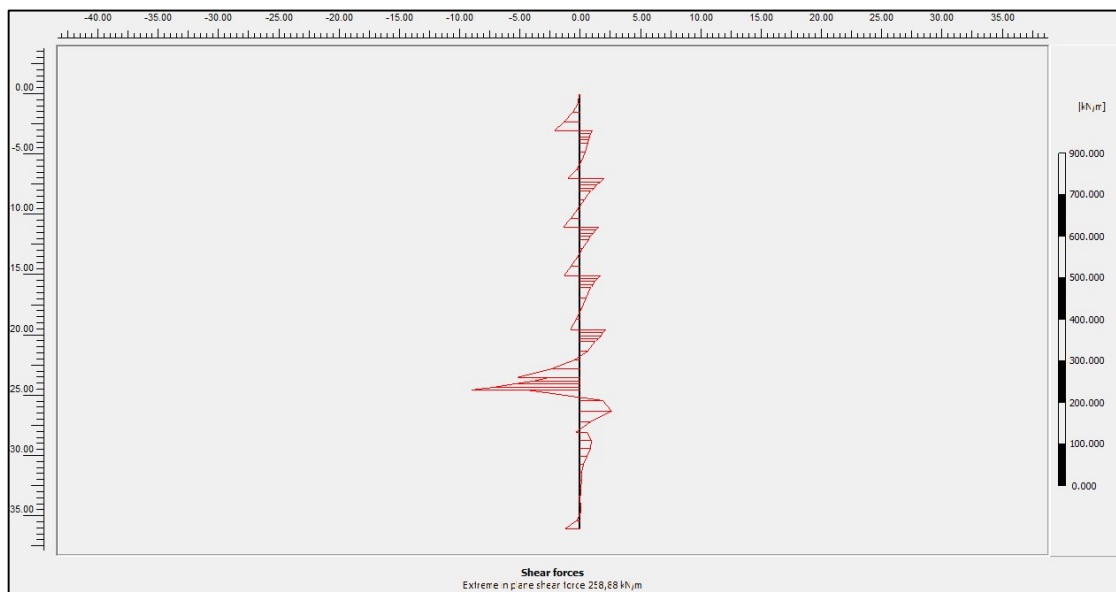
**Συνολικές μετακινήσεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής–S1-2.**



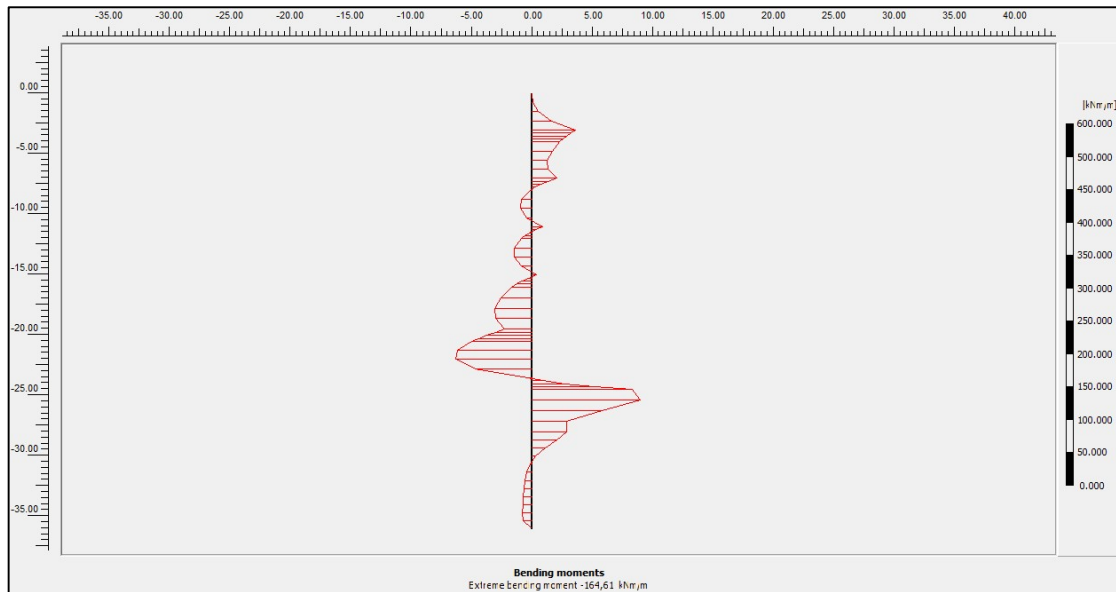
**Οριζόντιες μετακινήσεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής–S1-2.**



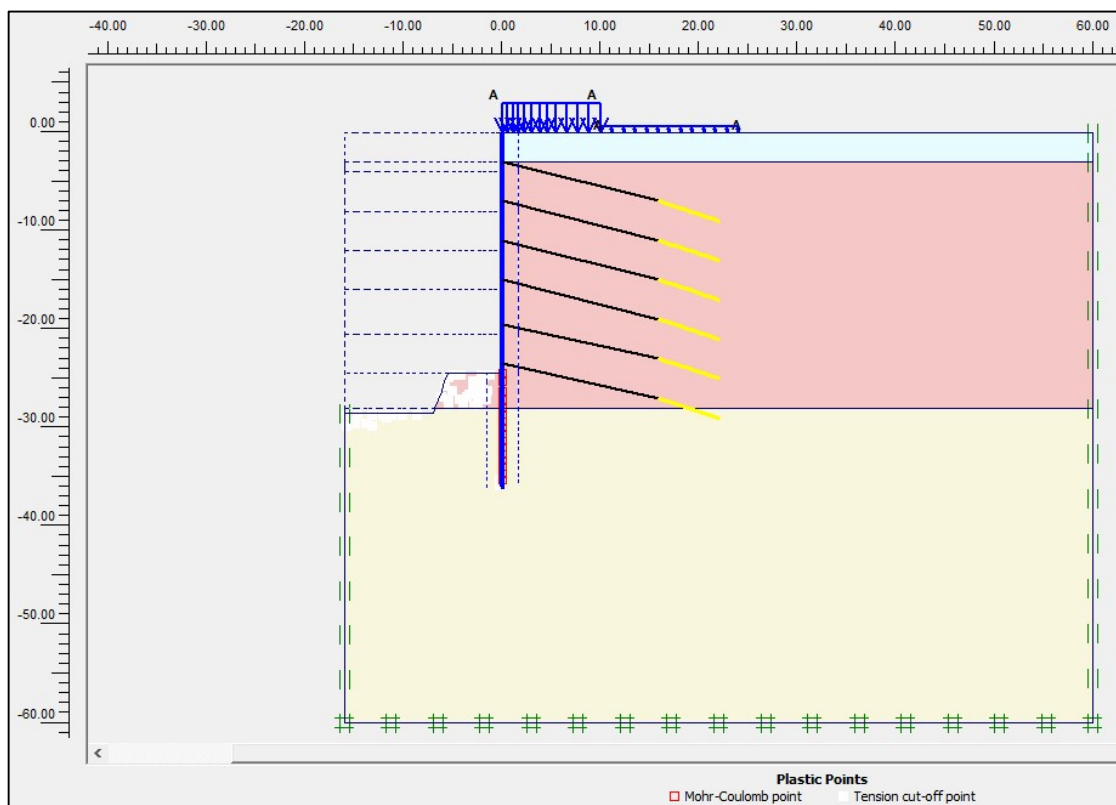
**Άξονικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής– S1-2.**



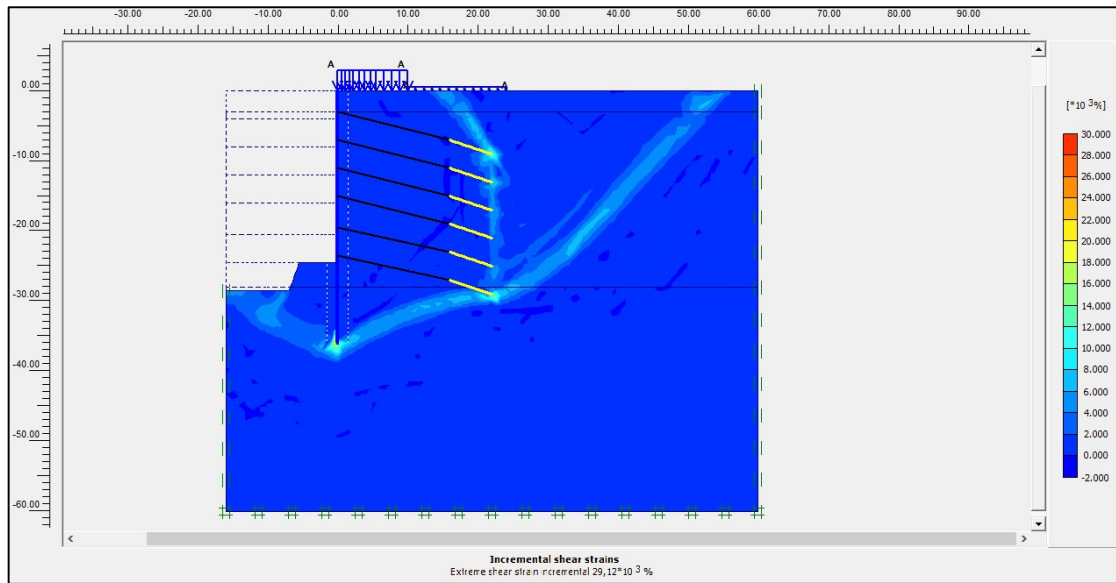
**Διατμητικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής– S1-2.**



**Καμπτικές Ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής– S1-2.**

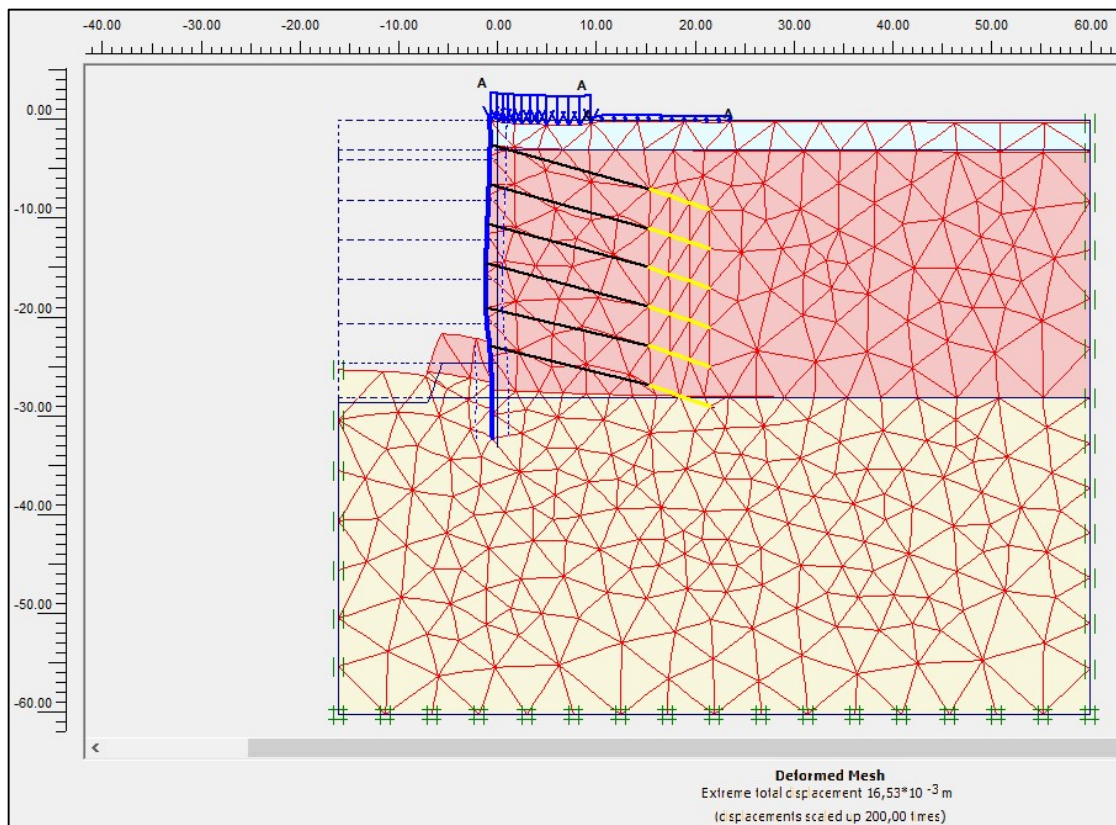


**Σημεία που έχουν υποστεί πλαστική παραμόρφωση – S1-2.**



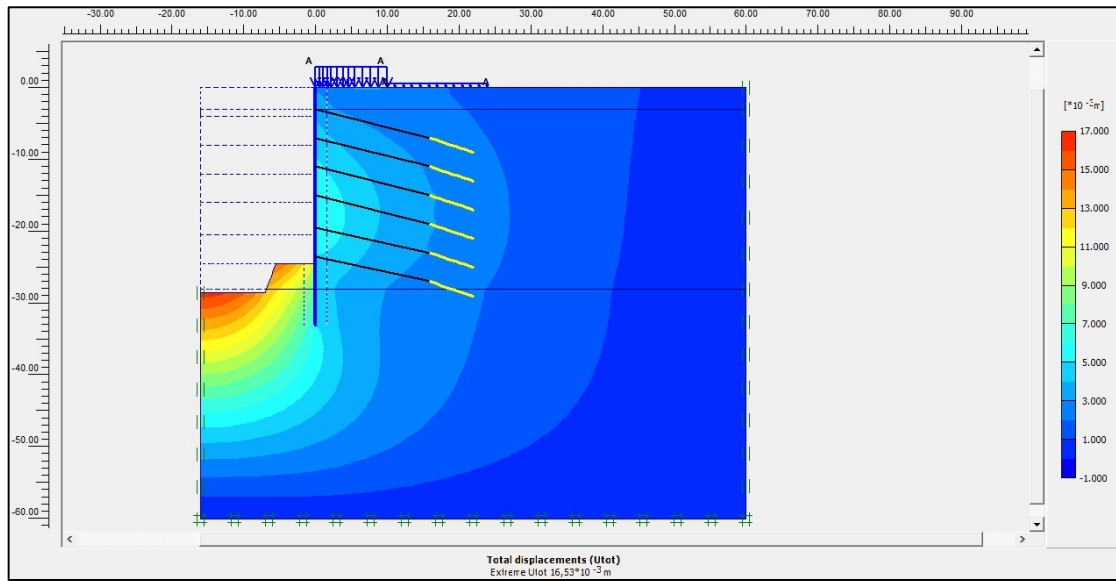
**Δυνητική επιφάνεια αστοχίας μοντέλου προσομοίωσης – S1-2.**

**Παραμετρική Επίλυση S1-3**

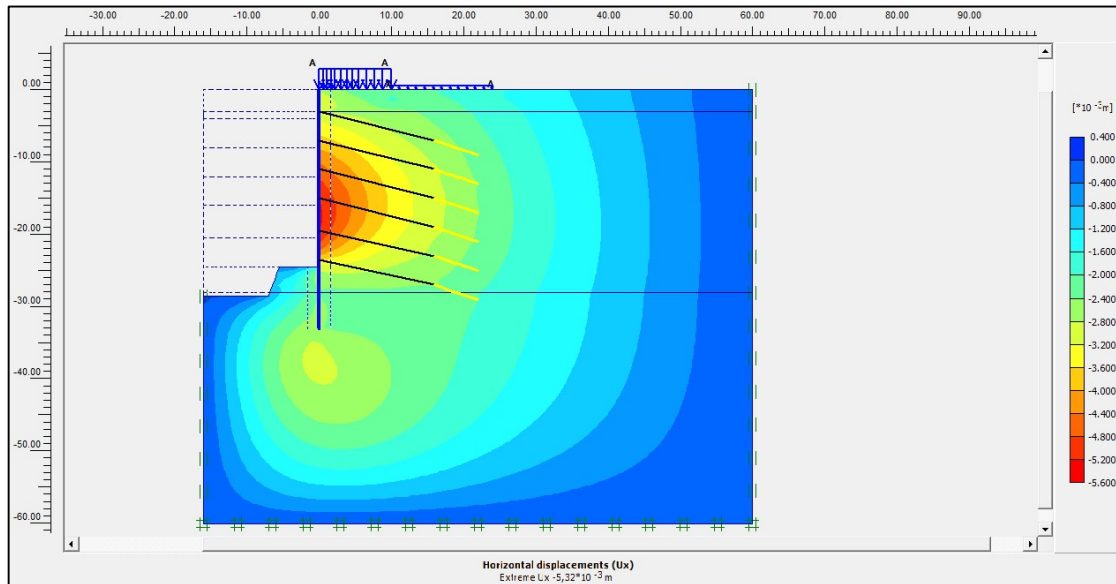


**Παραμόρφωση πλέγματος διακριτοποίησης μοντέλου – S1-3.**

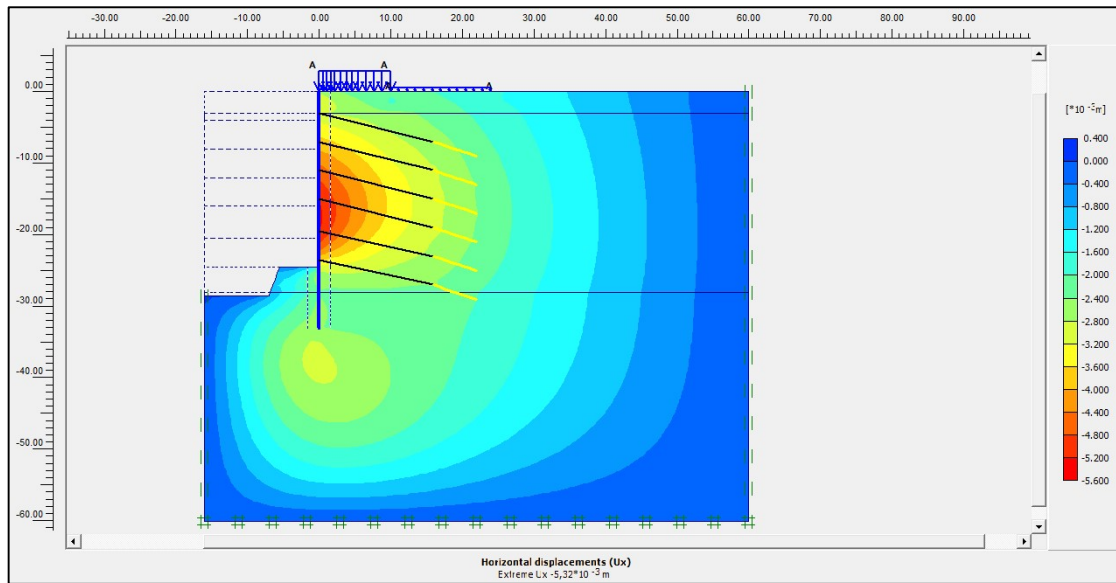




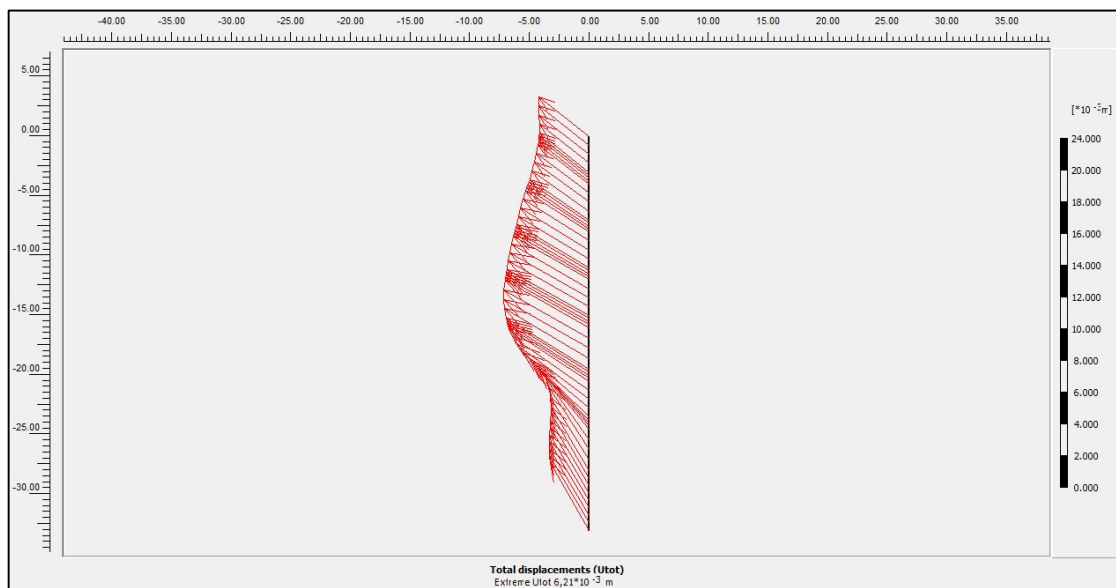
**Συνολικές μετακινήσεις προσομοιώματος – S1-3.**



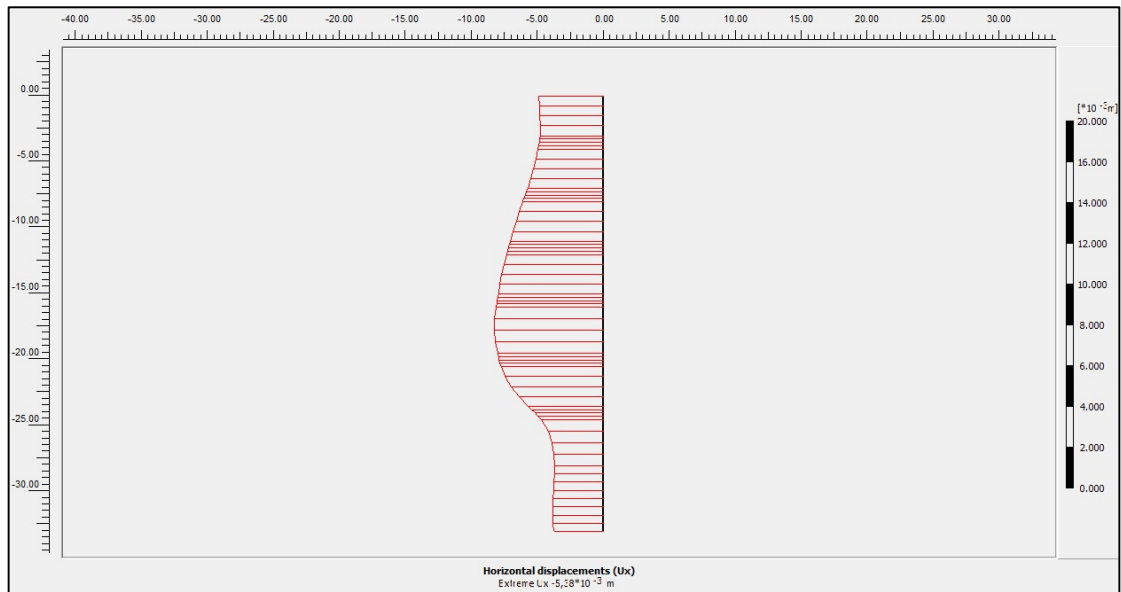
**Οριζόντιες μετακινήσεις προσομοιώματος – S1-3.**



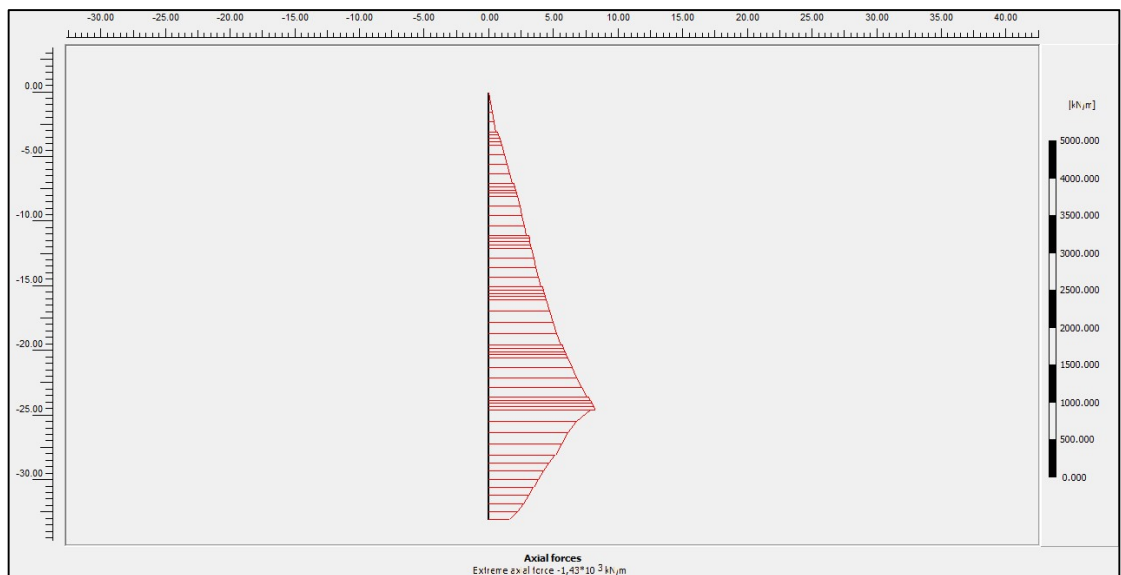
**Κατακόρυφες μετακινήσεις προσομιώματος – S1-3.**



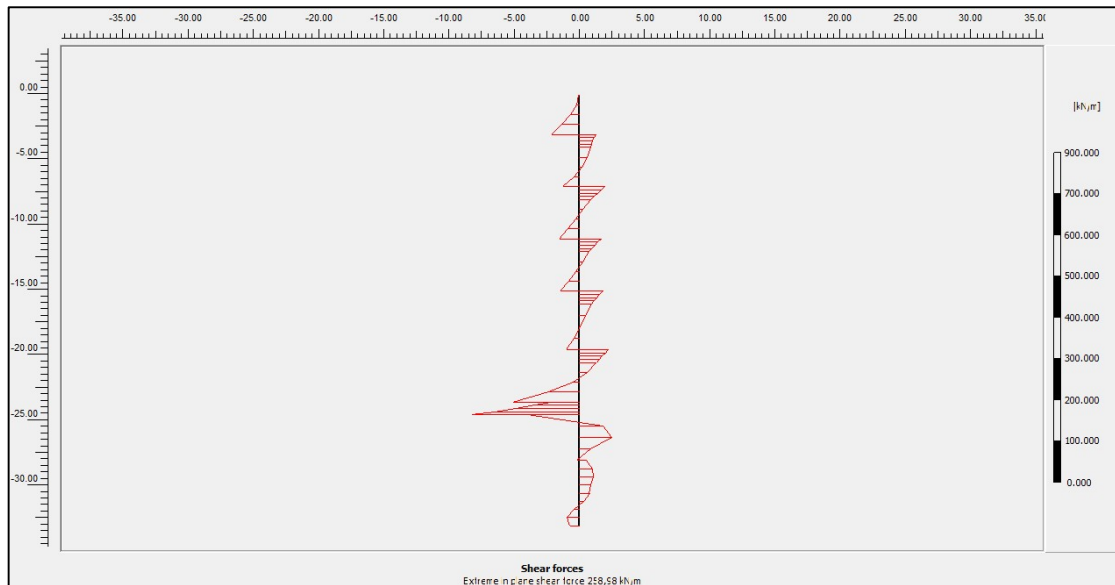
**Συνολικές μετακινήσεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής– S1-3.**



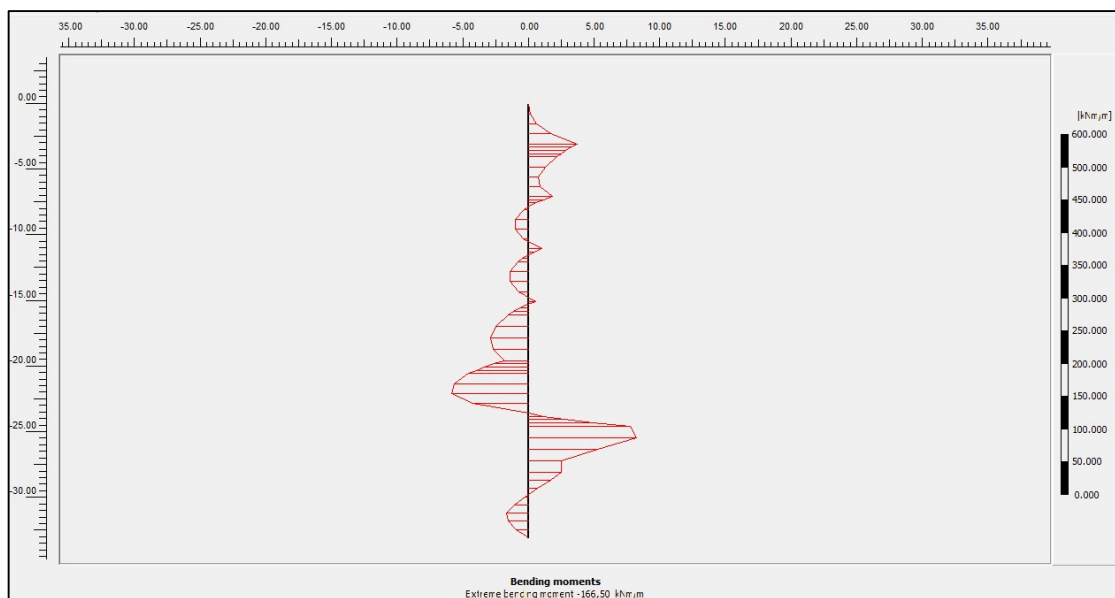
**Οριζόντιες μετακινήσεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής– S1-3.**



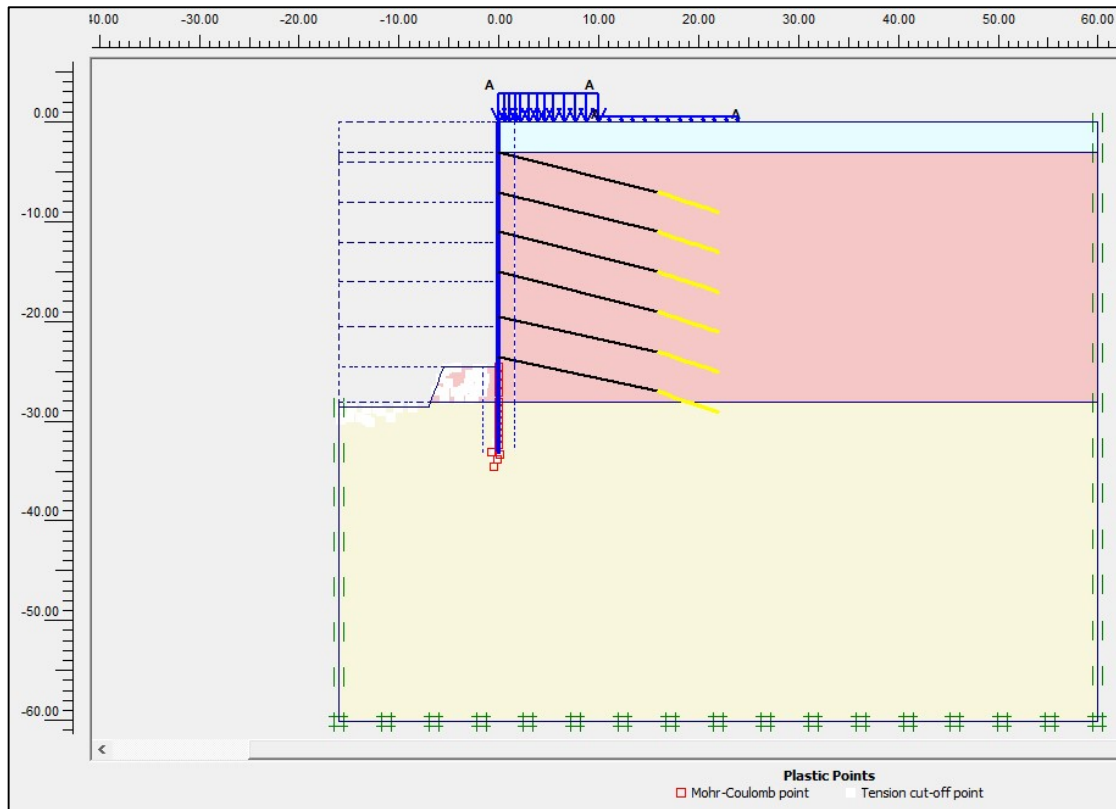
**Αξονικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής– S1-3.**



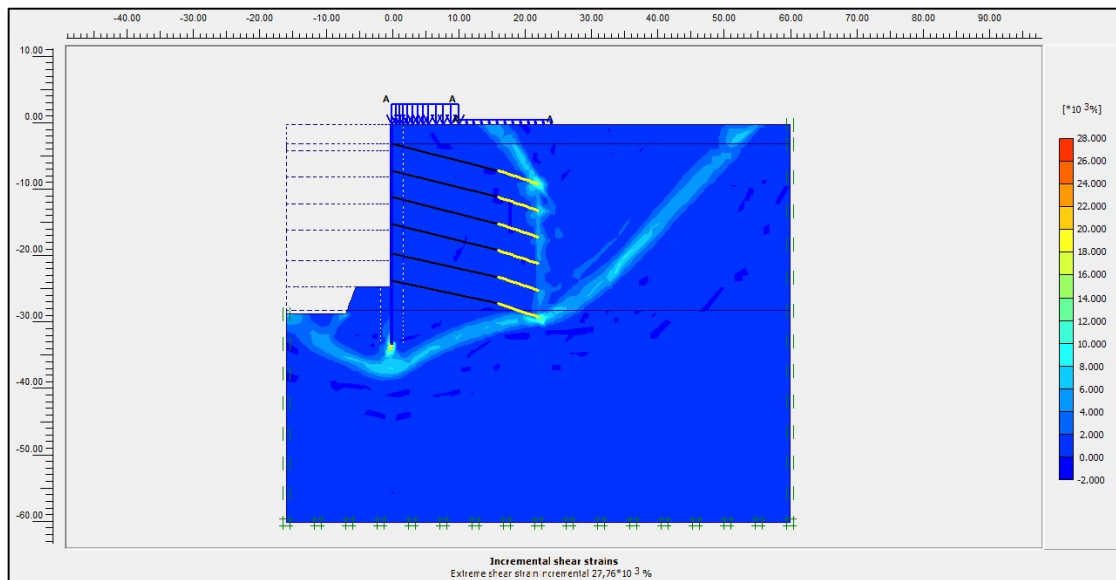
**Διατμητικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής– S1-3.**



**Καμπτικές Ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής– S1-3.**



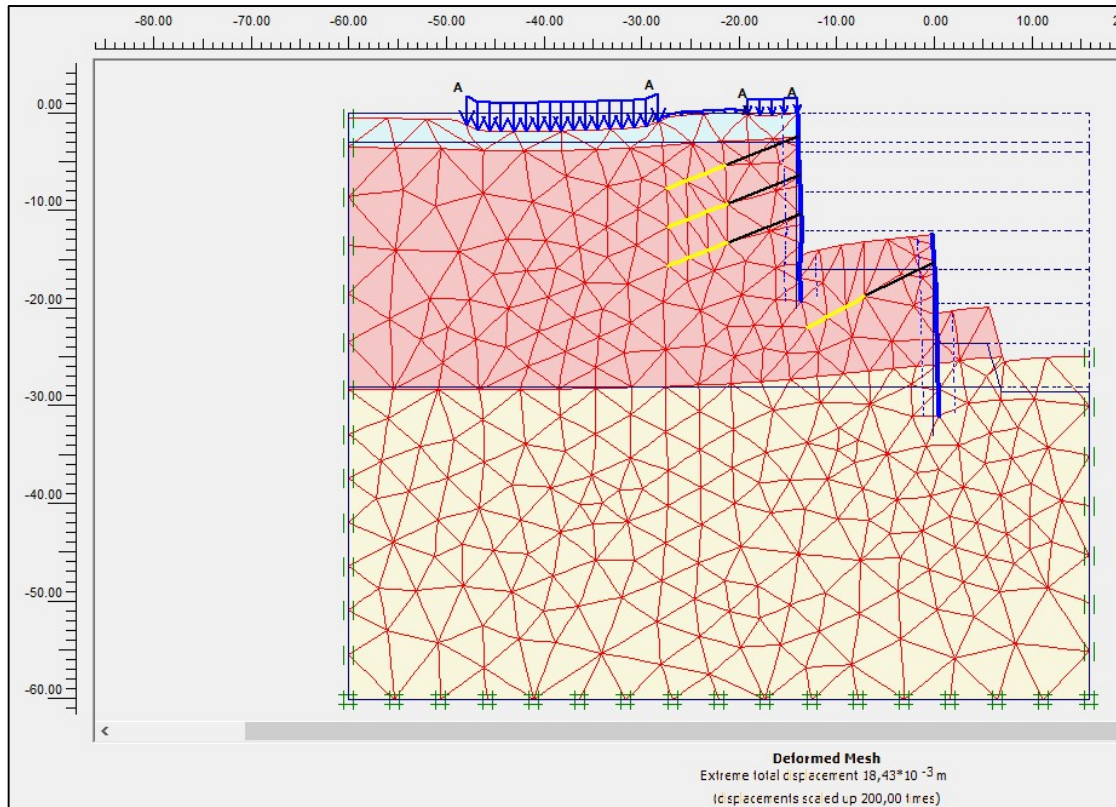
**Σημεία που έχουν υποστεί πλαστική παραμόρφωση – S1-3.**



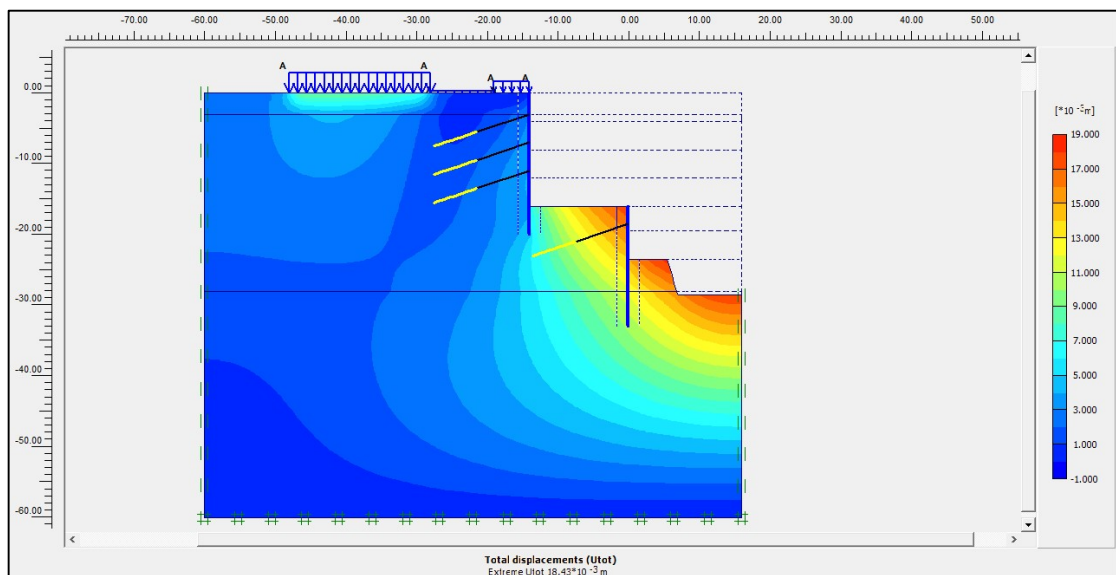
**Δυνητική επιφάνεια αστοχίας μοντέλου προσομοίωσης – S1-**

# Παράρτημα Β – Βορειοδυτικό Τμήμα Εκσκαφής S2

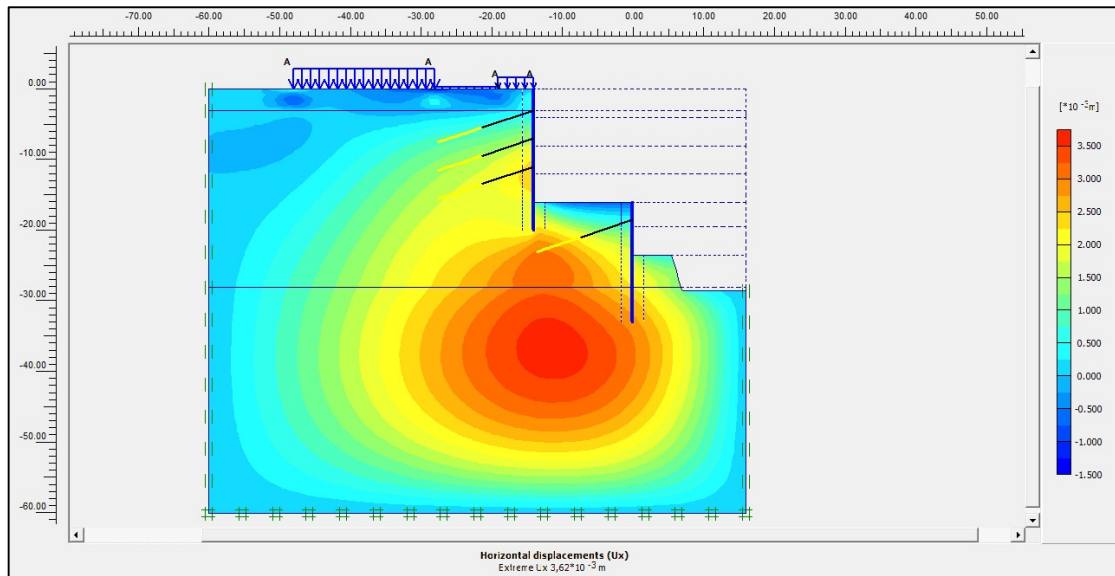
## Επίλυση Αναφοράς S2



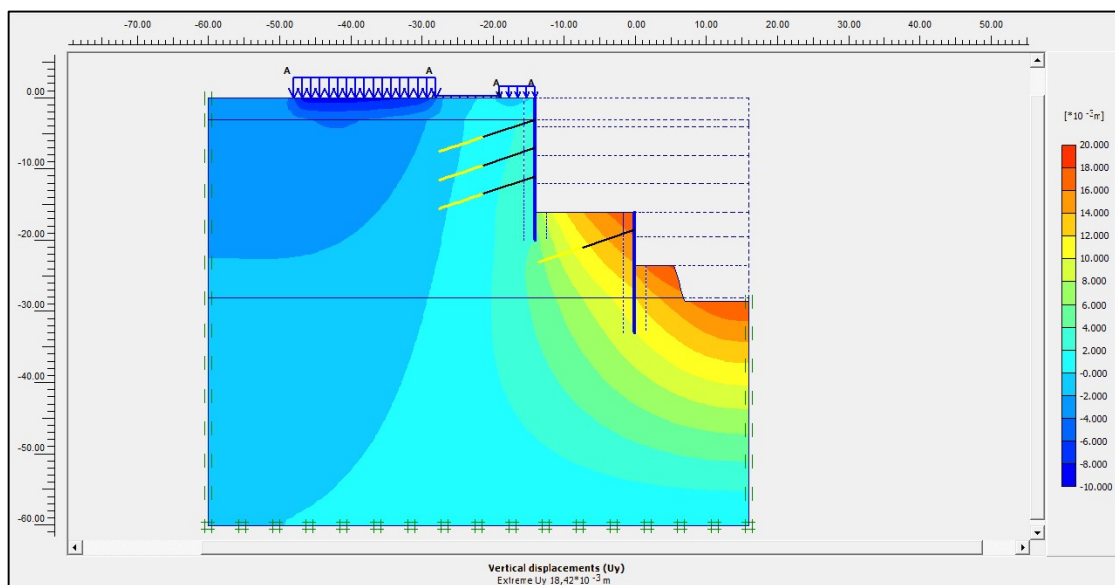
Παραμόρφωση πλέγματος διακριτοποίησης μοντέλου – S2.



Συνολικές μετακινήσεις προσομιώματος – S2.

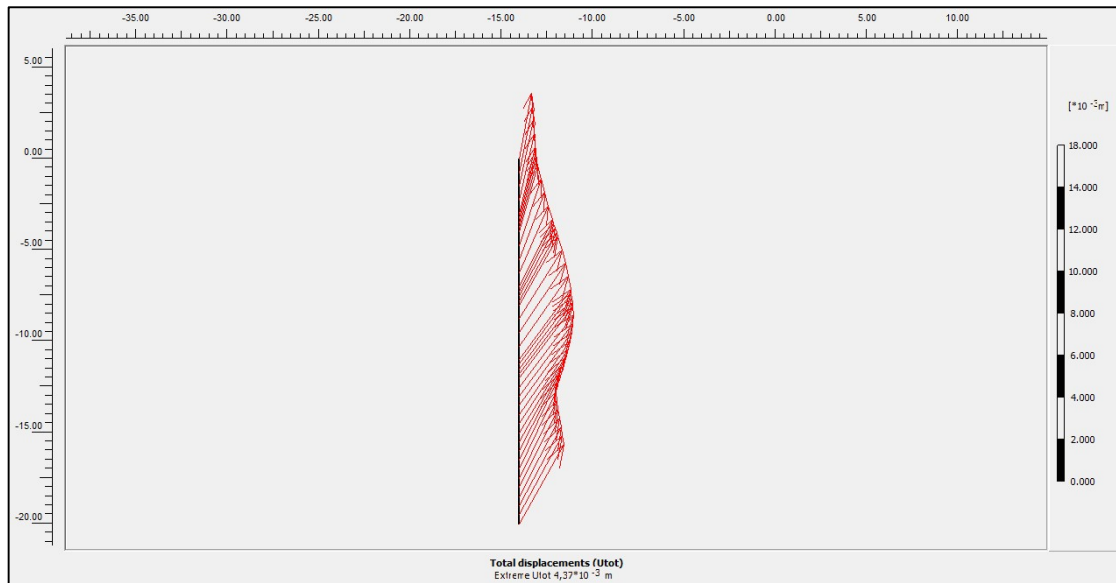


**Οριζόντιες μετακινήσεις προσομοιώματος – S2.**

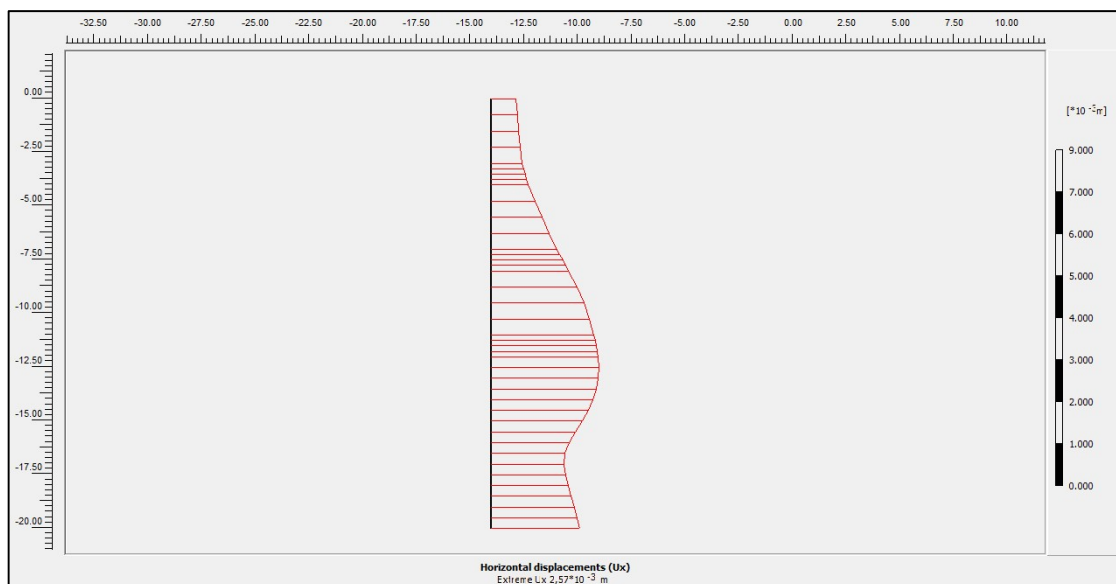


**Κατακόρυφες μετακινήσεις προσομοιώματος – S2.**

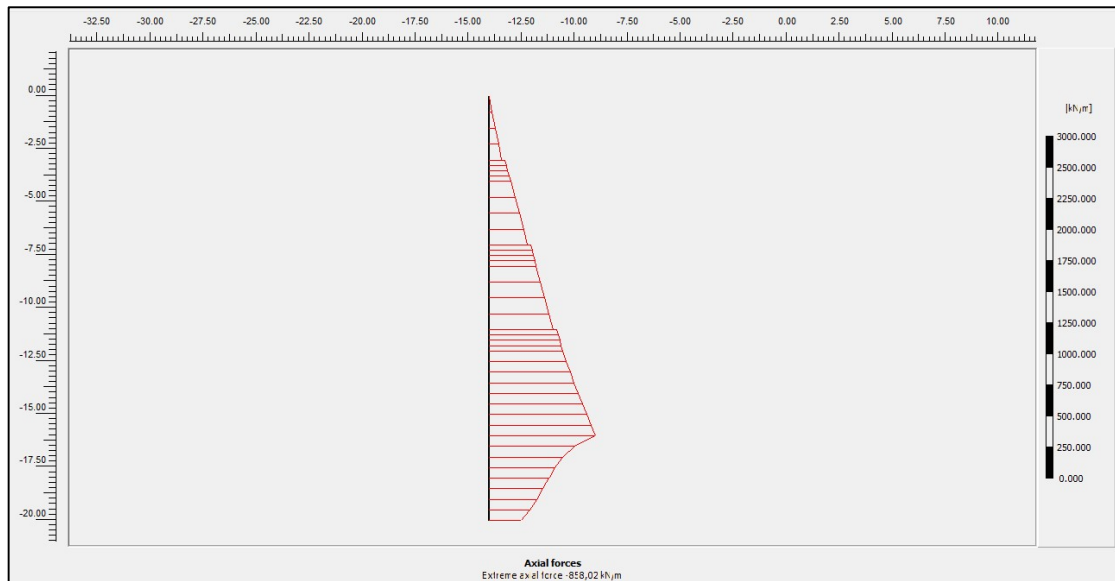




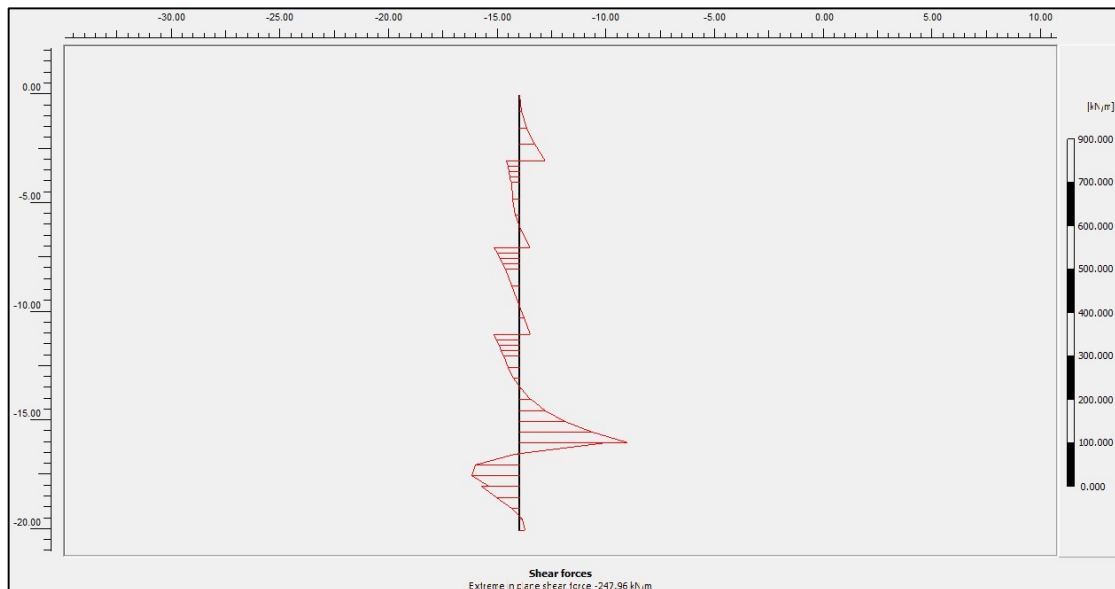
**Συνολικές μετακινήσεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής–S2.**



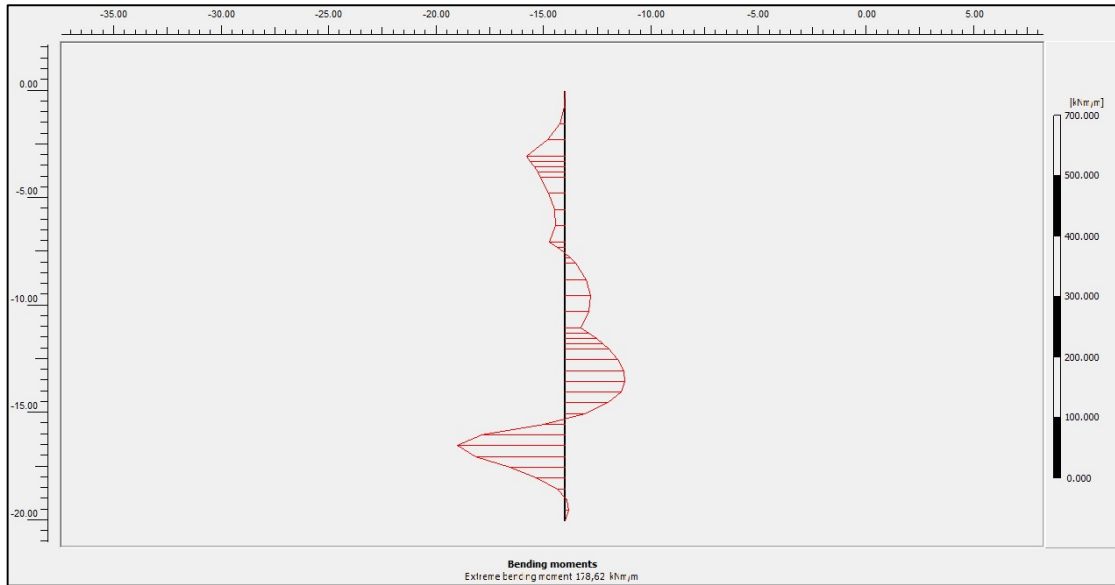
**Οριζόντιες μετακινήσεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής–S2.**



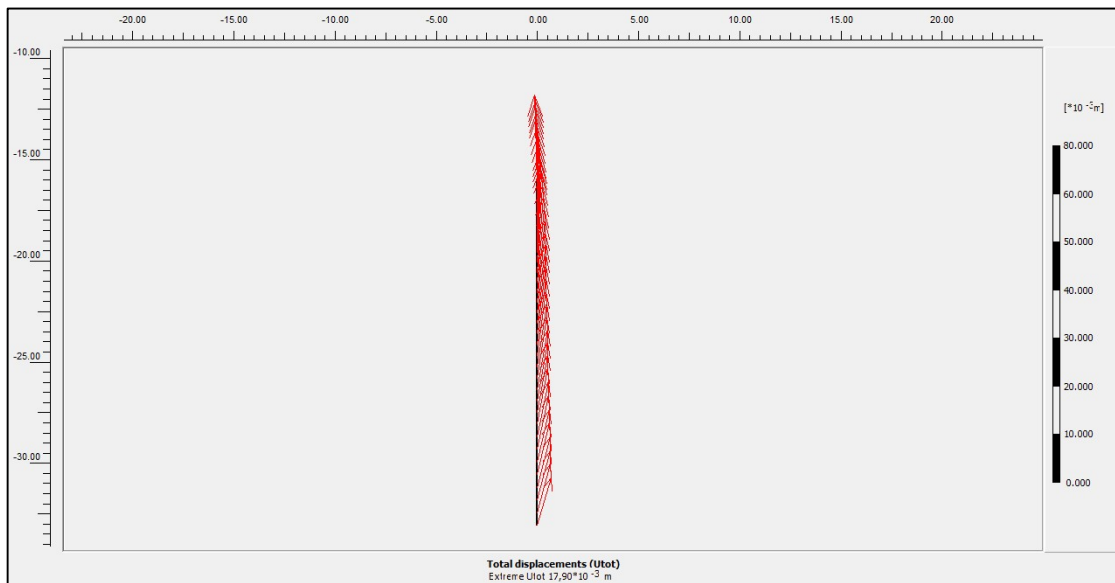
**Αξονικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής- S2.**



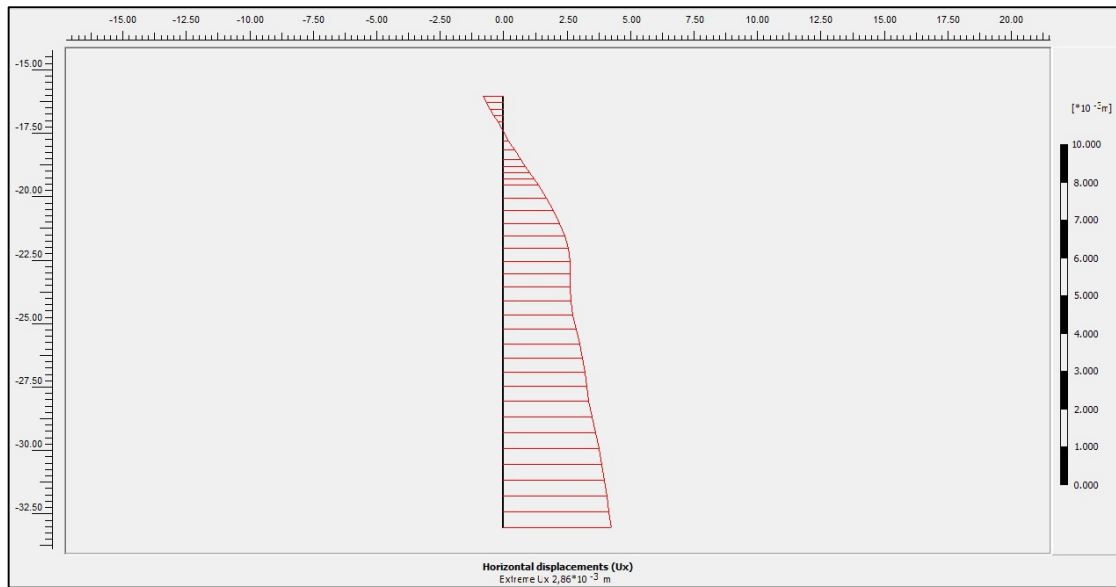
**Διατμητικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής- S2.**



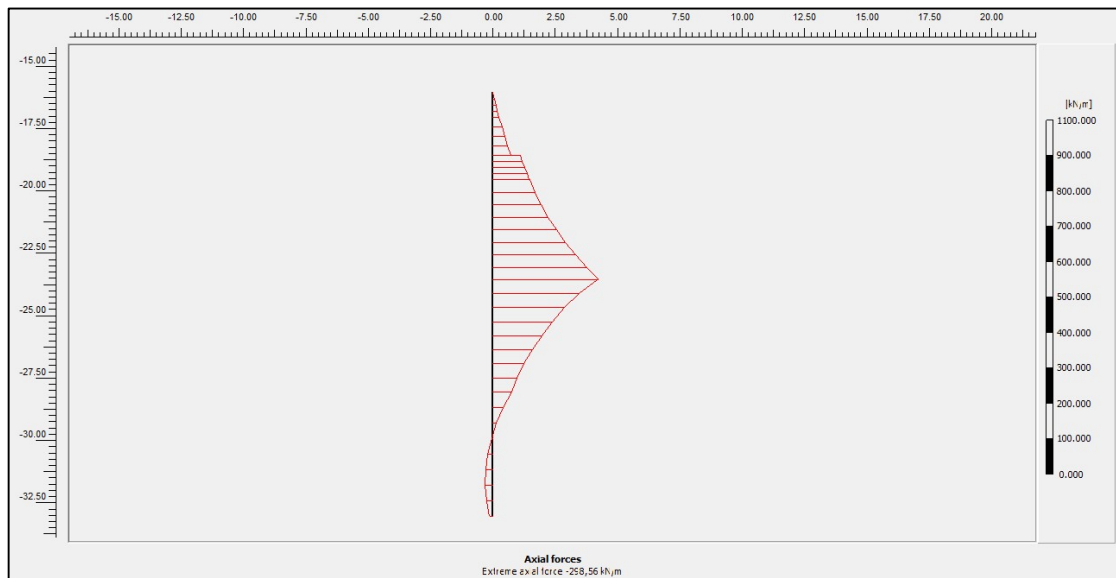
**Καμπτικές Ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής– S2.**



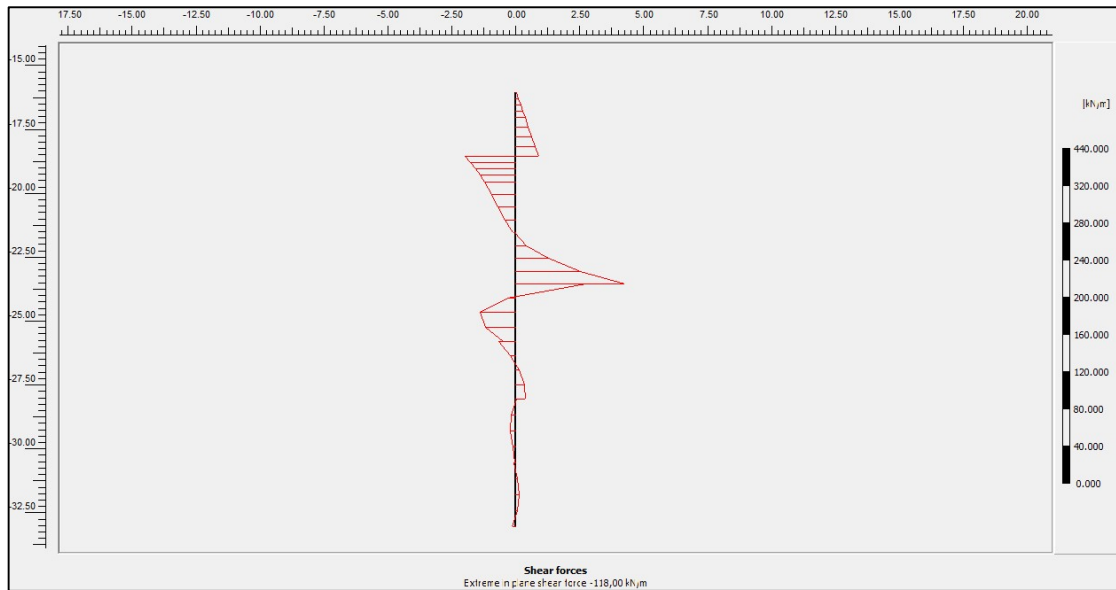
**Συνολικές μετακινήσεις επί του τοίχου αντιστήριξης για τον ανασταθμό– S2.**



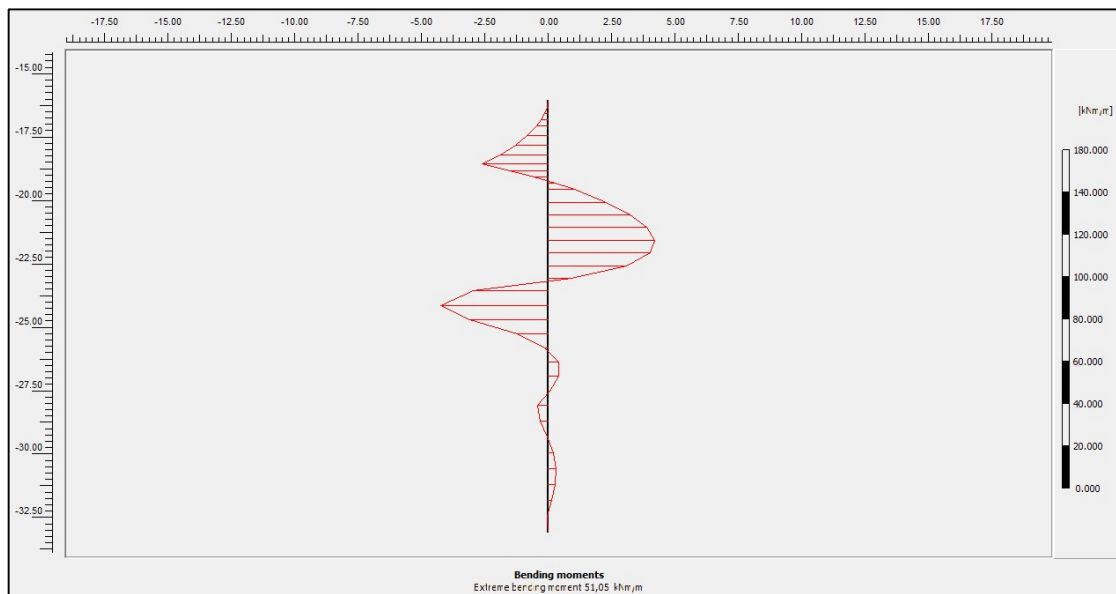
**Οριζόντιες μετακινήσεις επί του τοίχου αντιστήριξης για τον ανασταθμό – S2.**



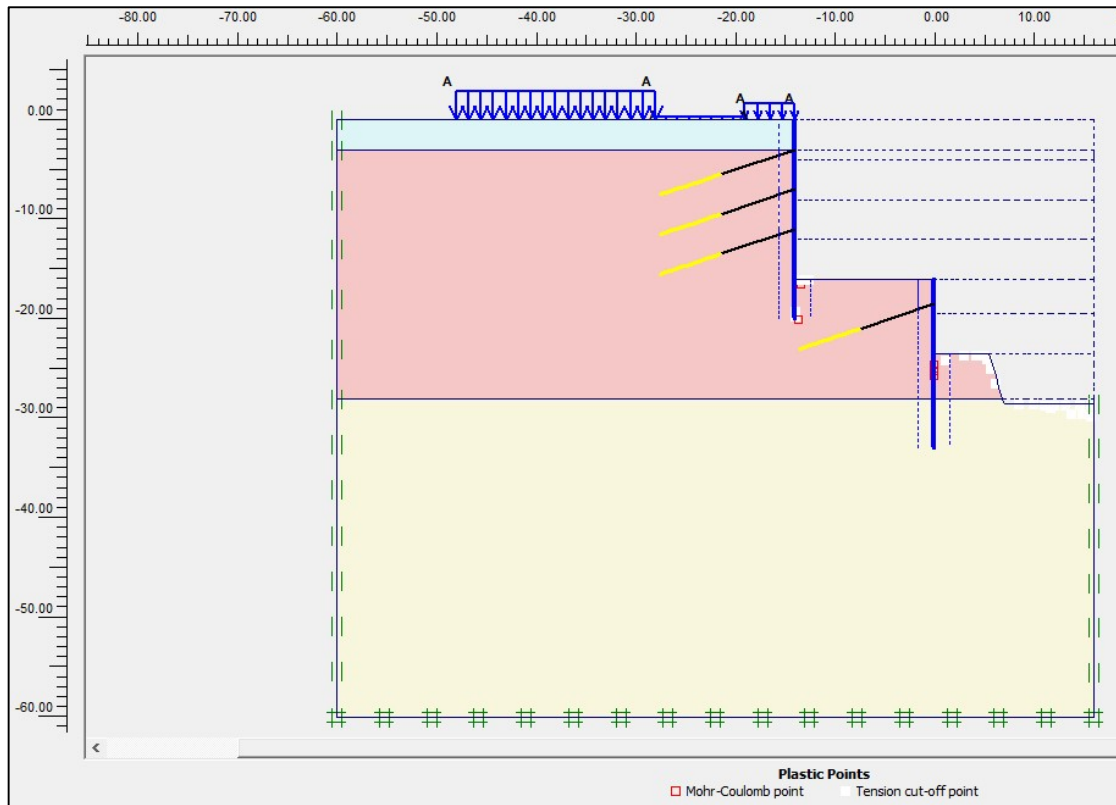
**Αξονικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης για τον ανασταθμό – S2.**



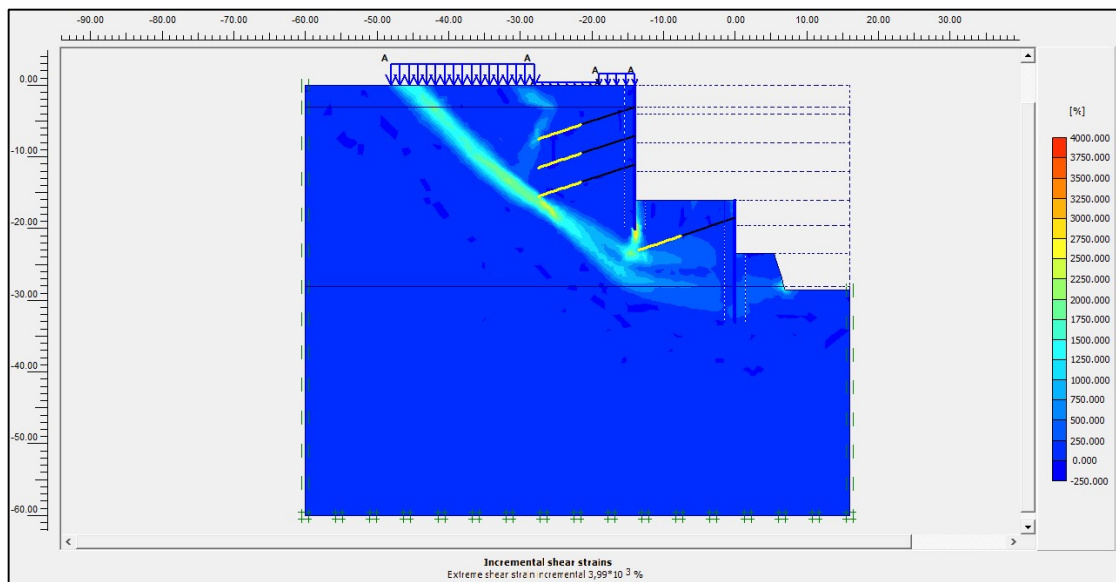
**Διατμητικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης για τον ανασταθμό – S2.**



**Καμπτικές Ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης για τον ανασταθμό – S2.**

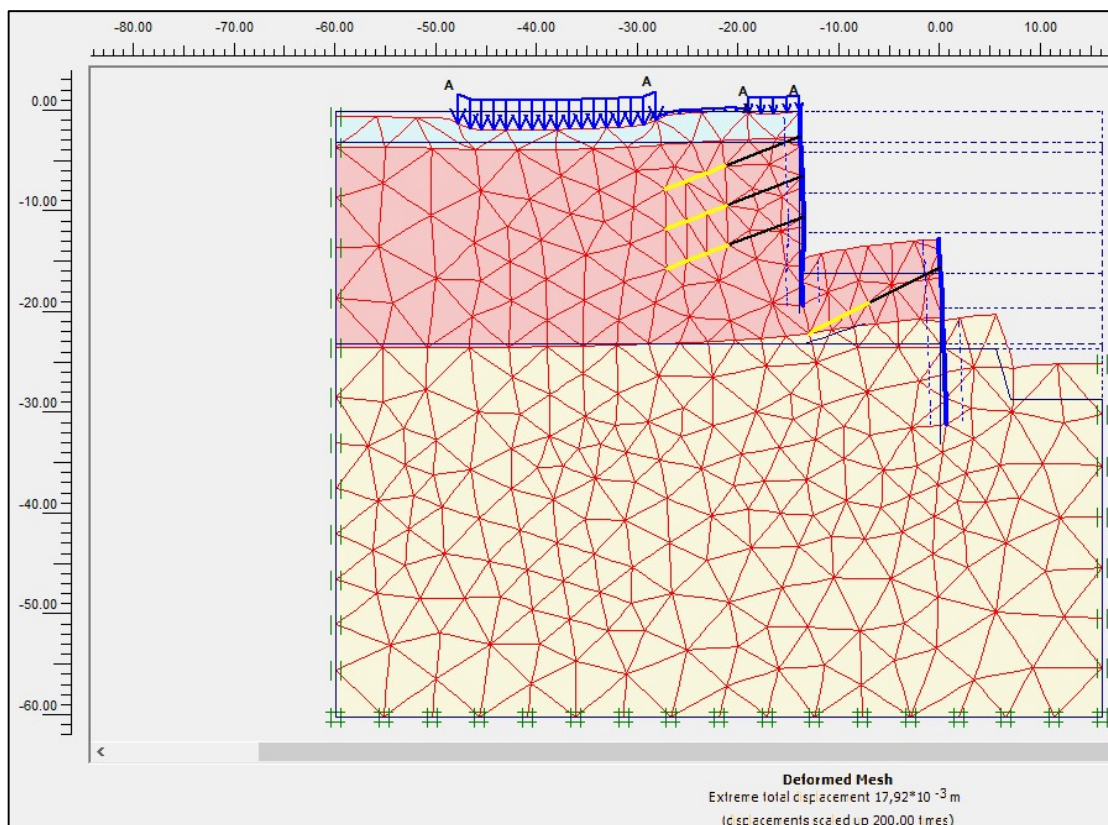


**Σημεία που έχουν υποστεί πλαστική παραμόρφωση – S2.**

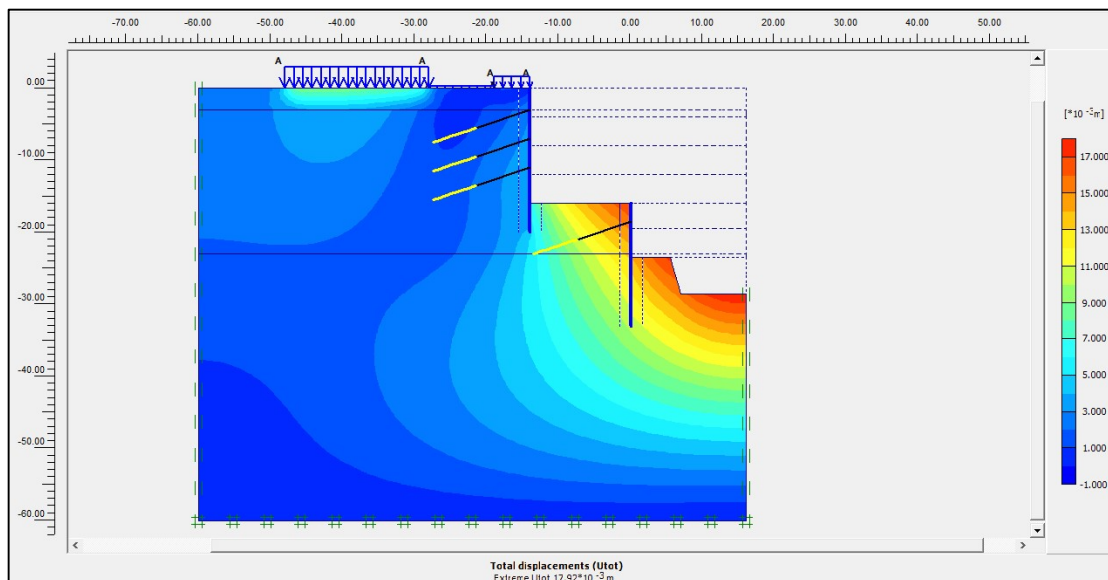


**Δυναμική επιφάνεια αστοχίας μοντέλου προσομοίωσης – S2.**

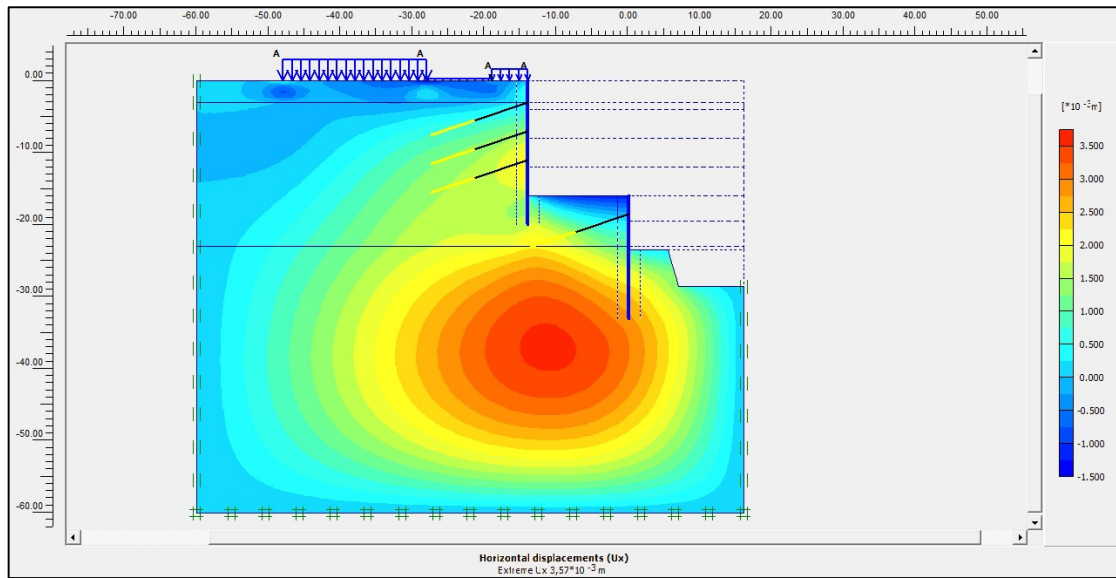
### Παραμετρική Επίλυση S2-1



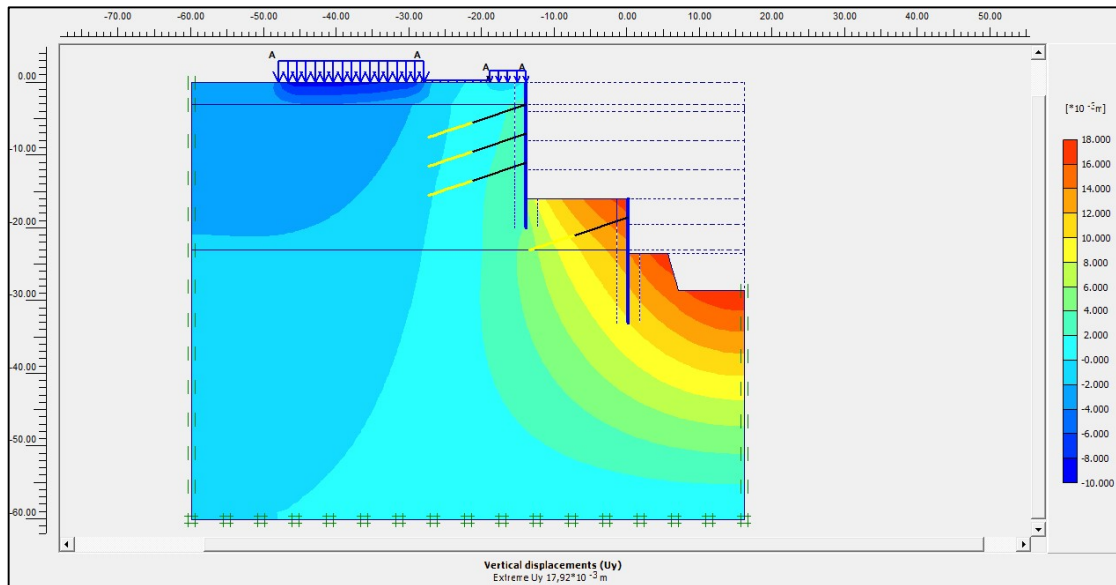
Παράμορφωση πλέγματος διακριτοποίησης μοντέλου – S2-1.



Συνολικές μετακινήσεις προσομοιώματος – S2-1.

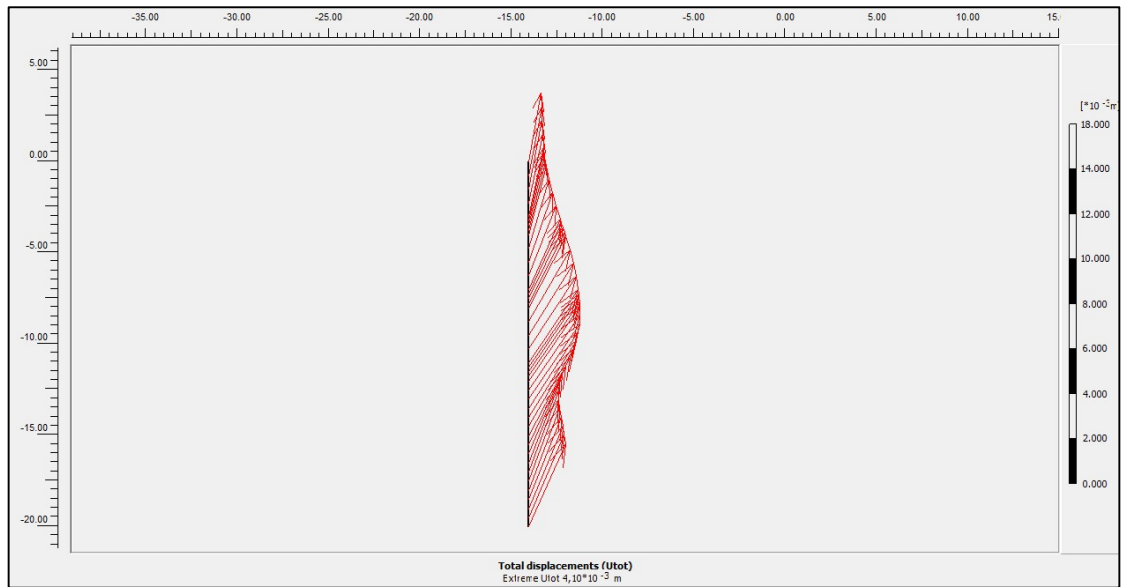


**Οριζόντιες μετακινήσεις προσομοιώματος – S2-1.**

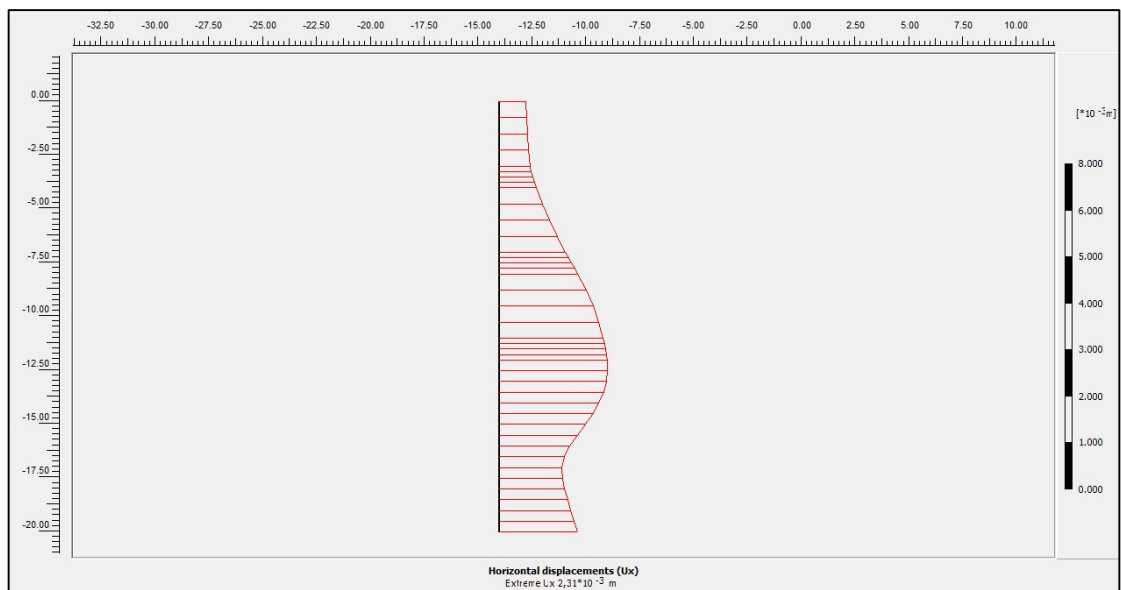


**Κατακόρυφες μετακινήσεις προσομοιώματος – S2.**

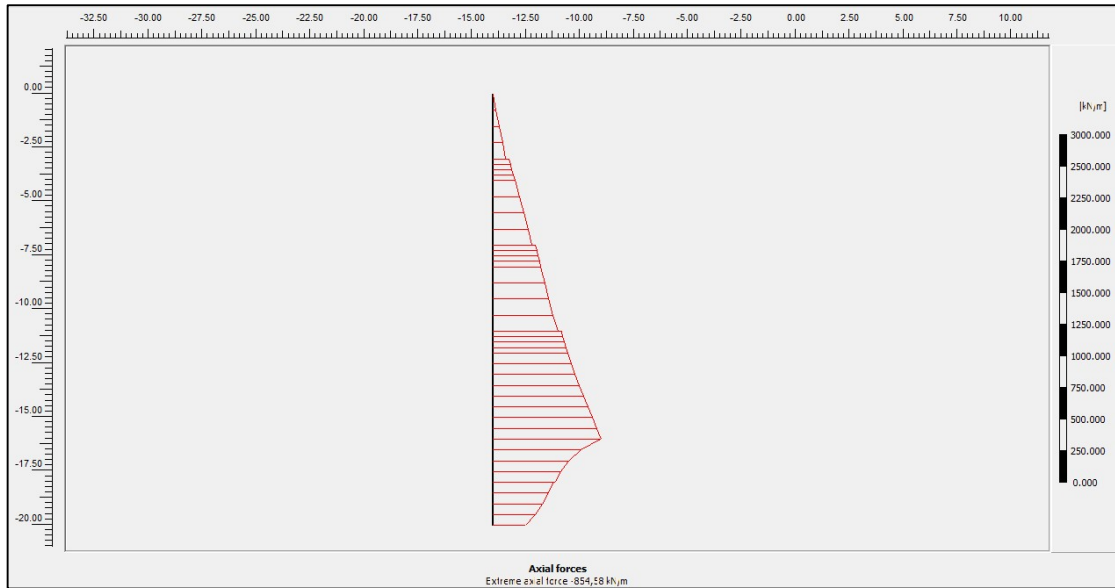




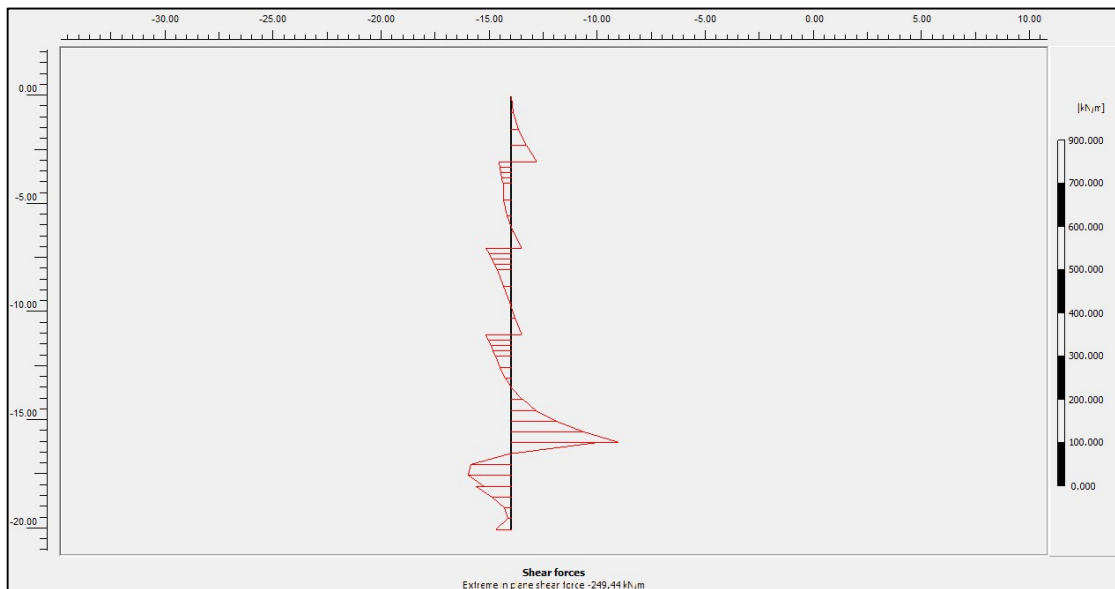
**Συνολικές μετακινήσεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής–  
S2-1.**



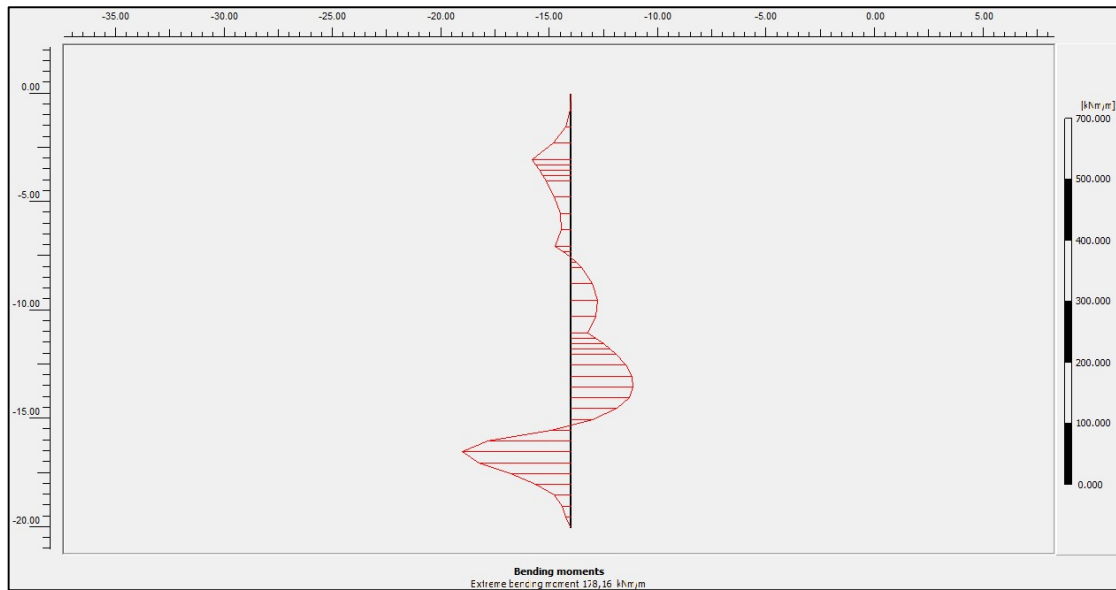
**Οριζόντιες μετακινήσεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής–  
S2-1.**



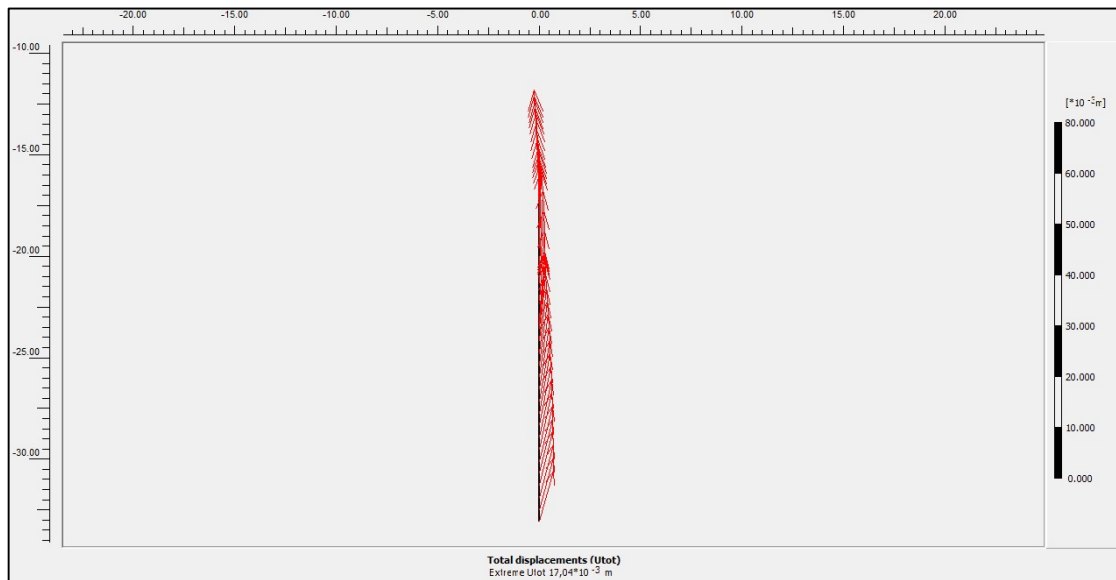
**Αξονικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής- S2-1.**



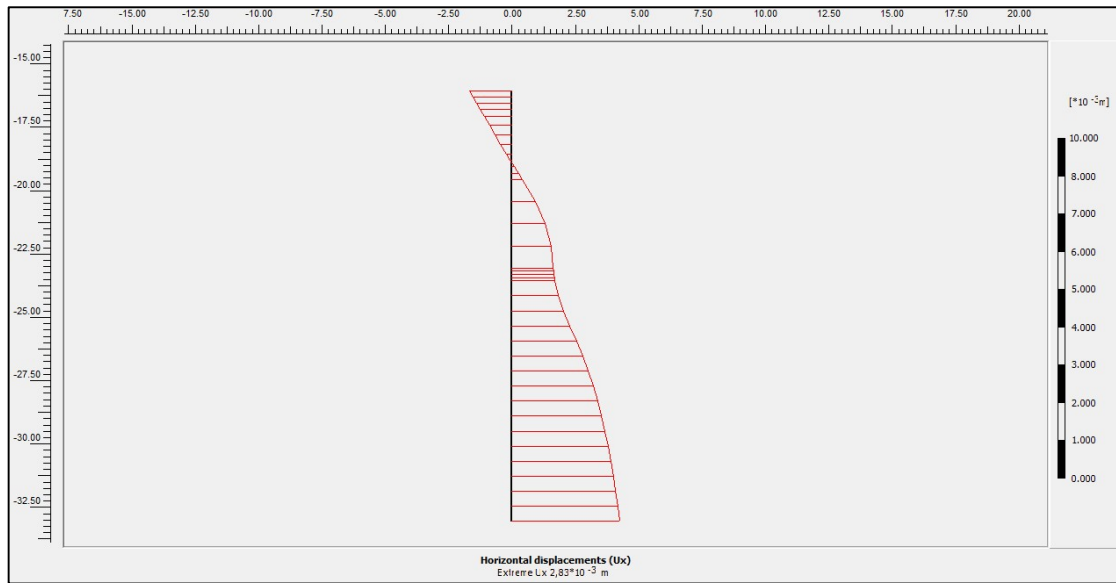
**Διατμητικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής- S2-1.**



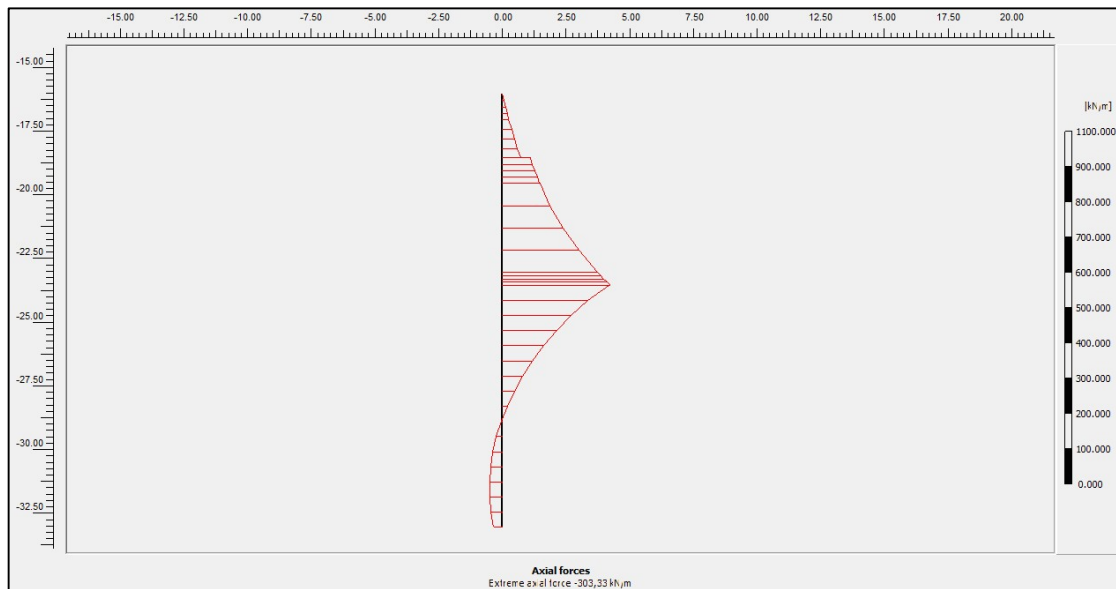
**Καμπτικές Ρομές επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής– S2-1.**



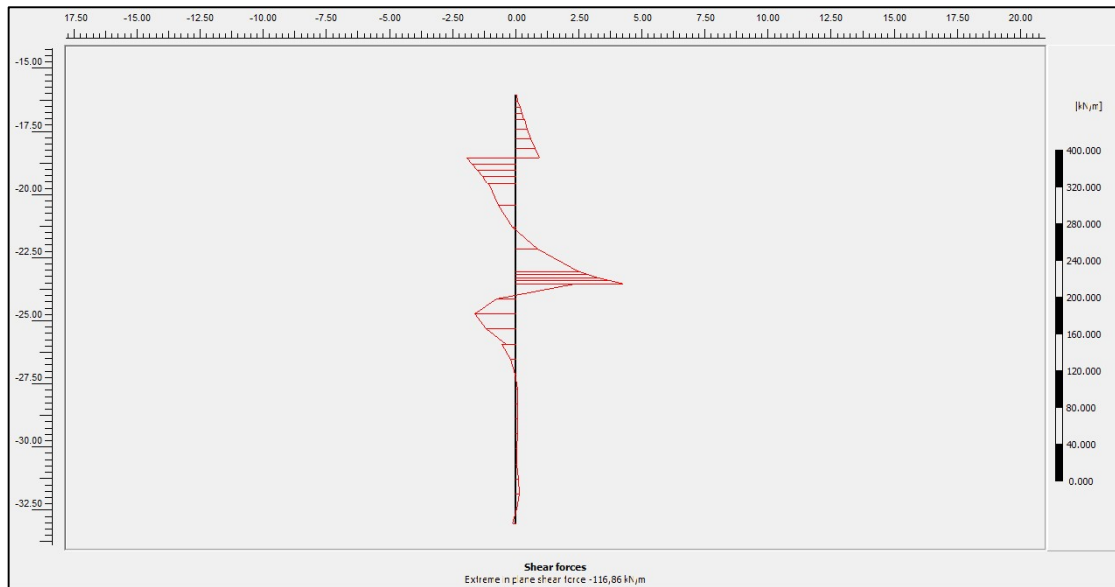
**Συνολικές μετακινήσεις επί του τοίχου αντιστήριξης για τον ανασταθμό– S2-1.**



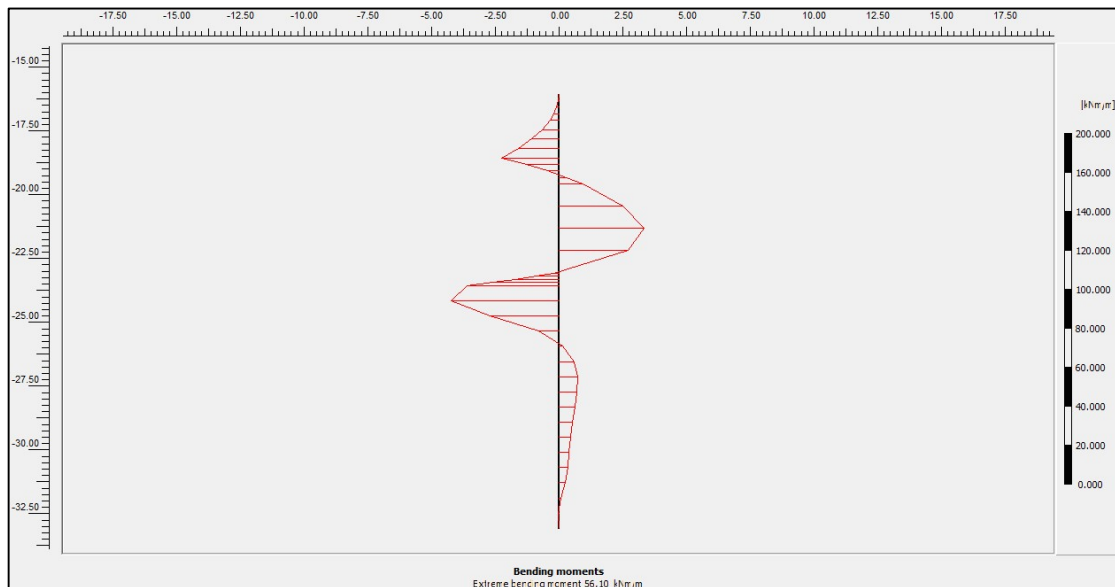
**Οριζόντιες μετακινήσεις επί του τοίχου αντιστήριξης για τον ανασταθμό – S2-1.**



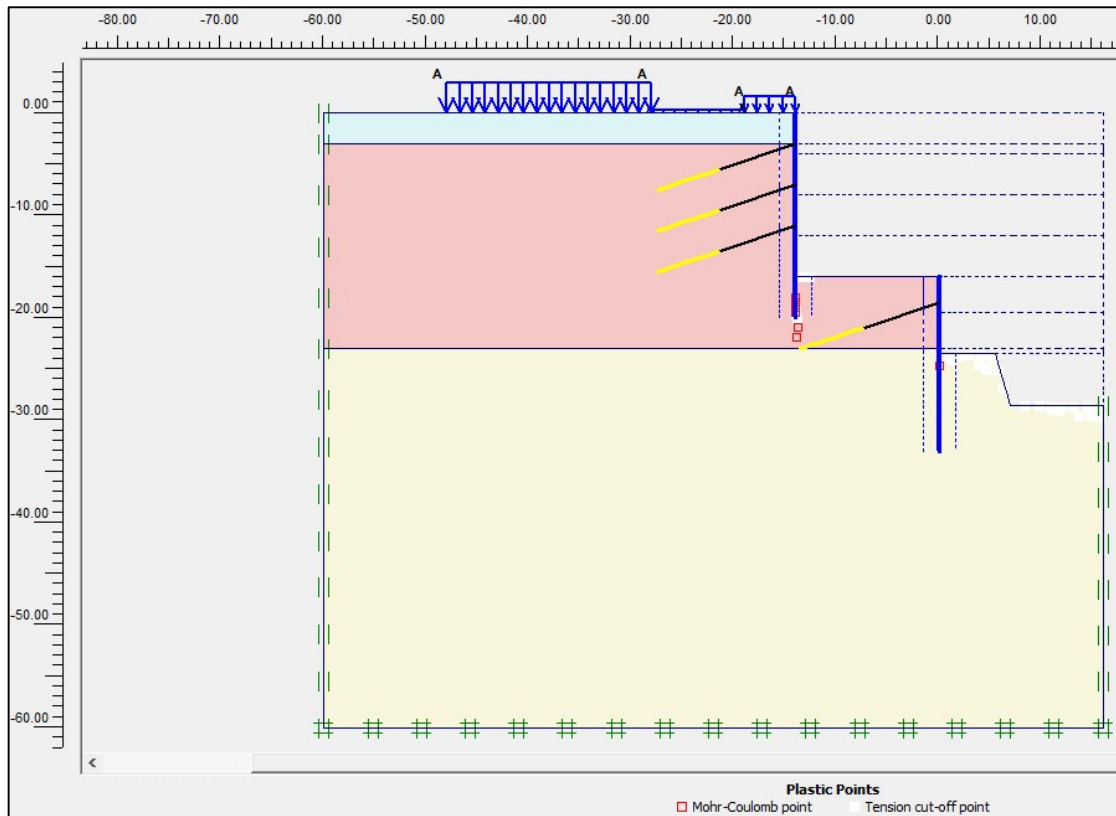
**Αξονικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης για τον ανασταθμό – S2-1.**



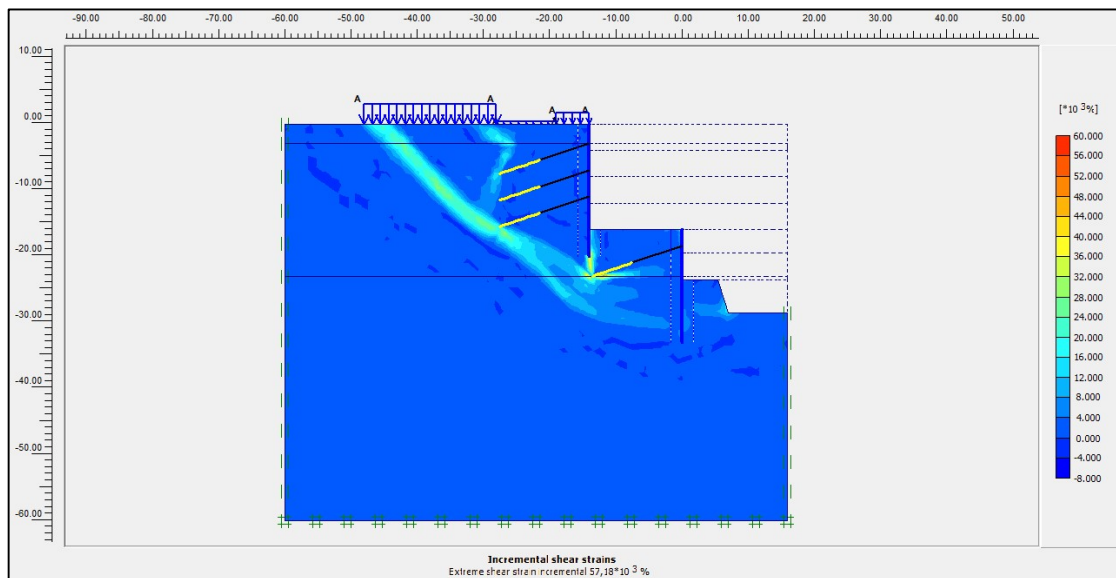
**Διατμητικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης για τον ανασταθμό – S2-1.**



**Καμπτικές Ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης για τον ανασταθμό – S2-1.**

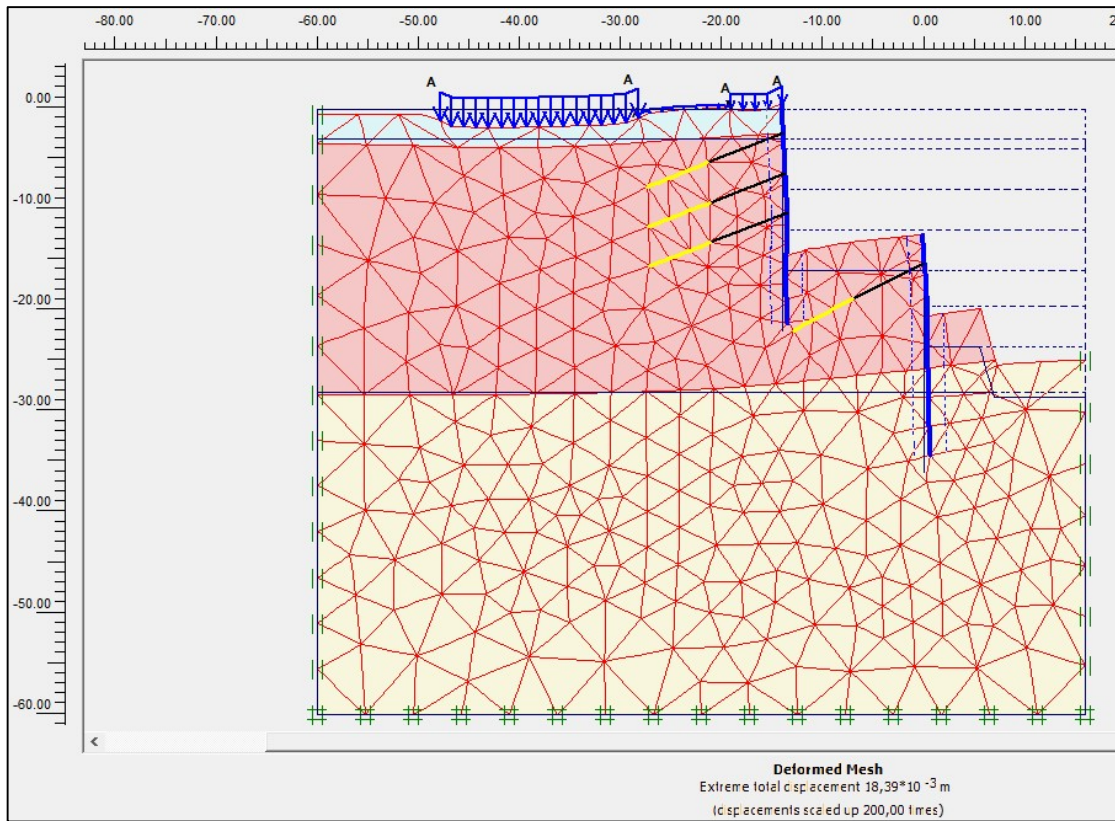


**Σημεία που έχουν υποστεί πλαστική παραμόρφωση – S2-1.**

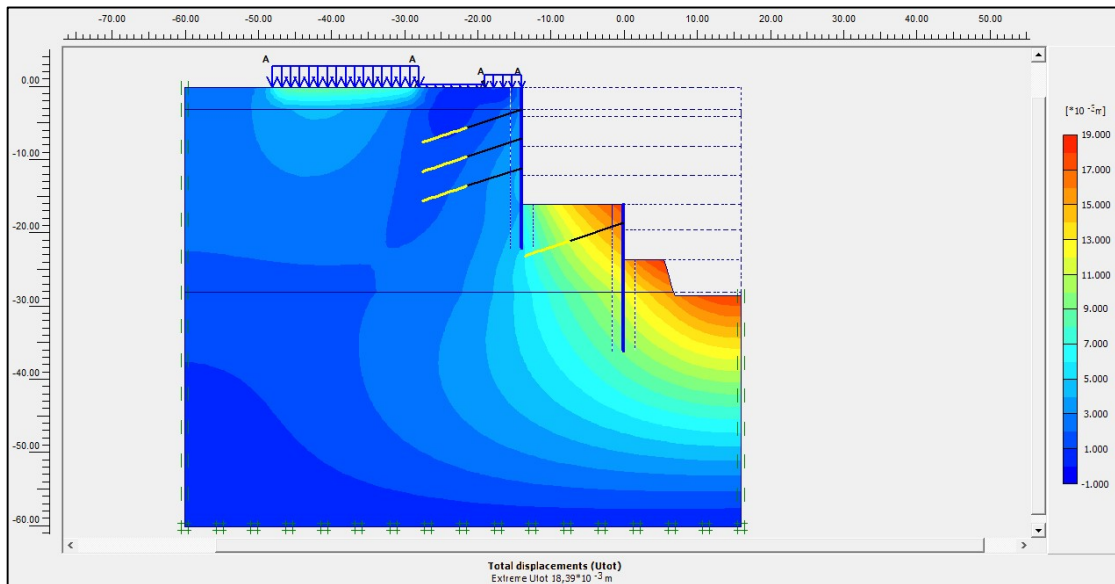


**Δυνητική επιφάνεια αστοχίας μοντέλου προσομοίωσης – S2-1.**

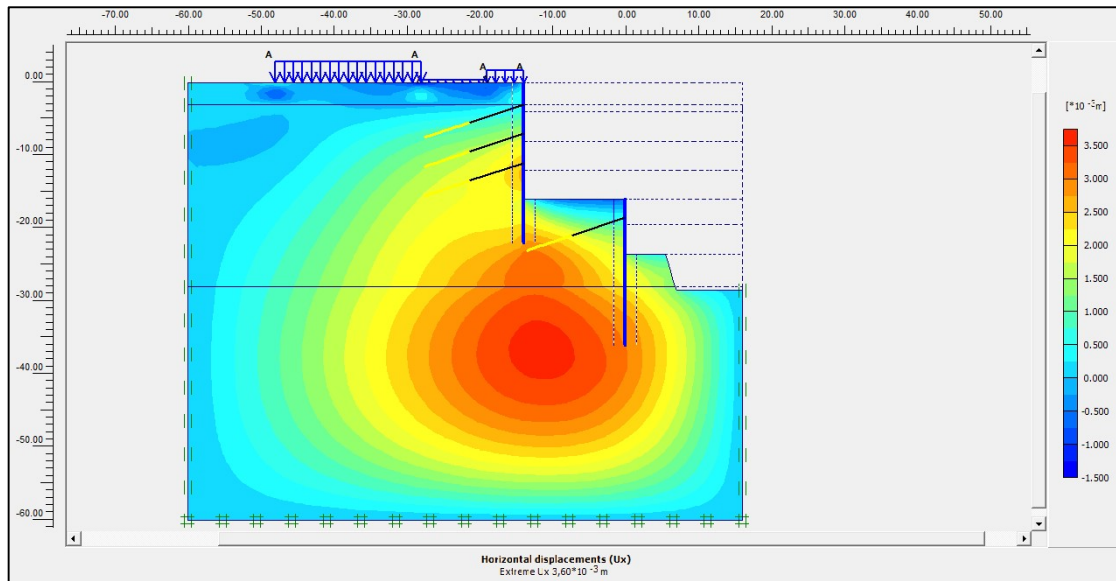
### Παραμετρική Επίλυση S2-2



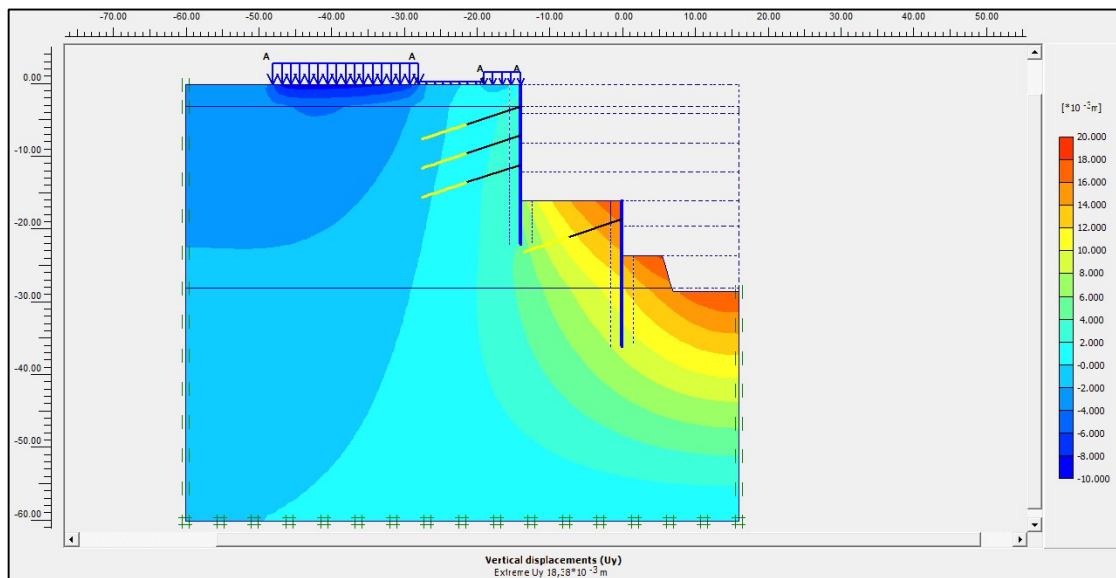
### Παραμόρφωση πλέγματος διακριτοποίησης μοντέλου – S2-2.



### Συνολικές μετακινήσεις προσομιώματος – S2.

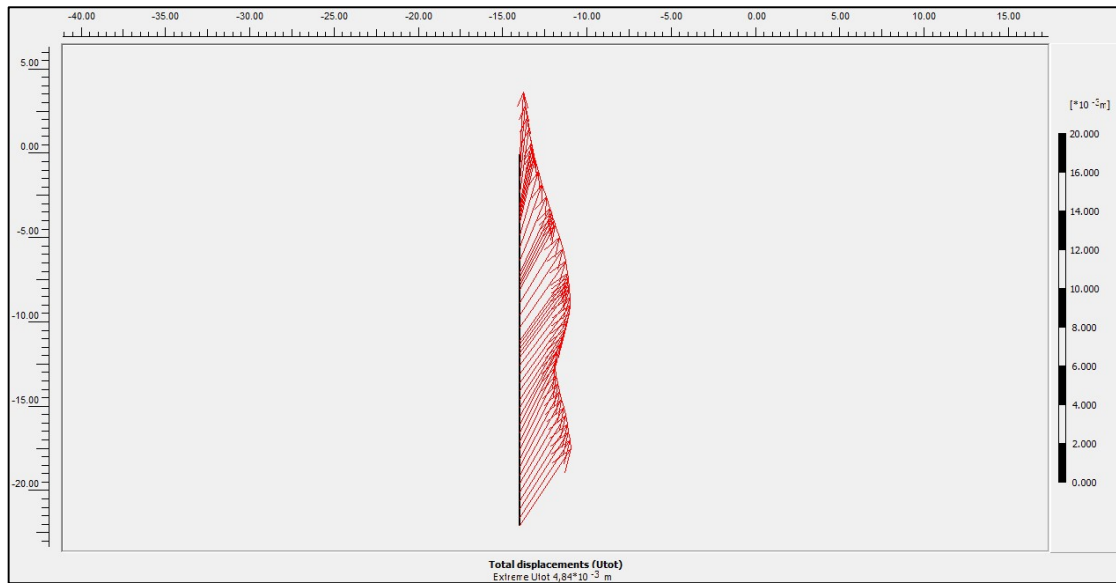


**Οριζόντιες μετακινήσεις προσομιώματος – S2-2.**

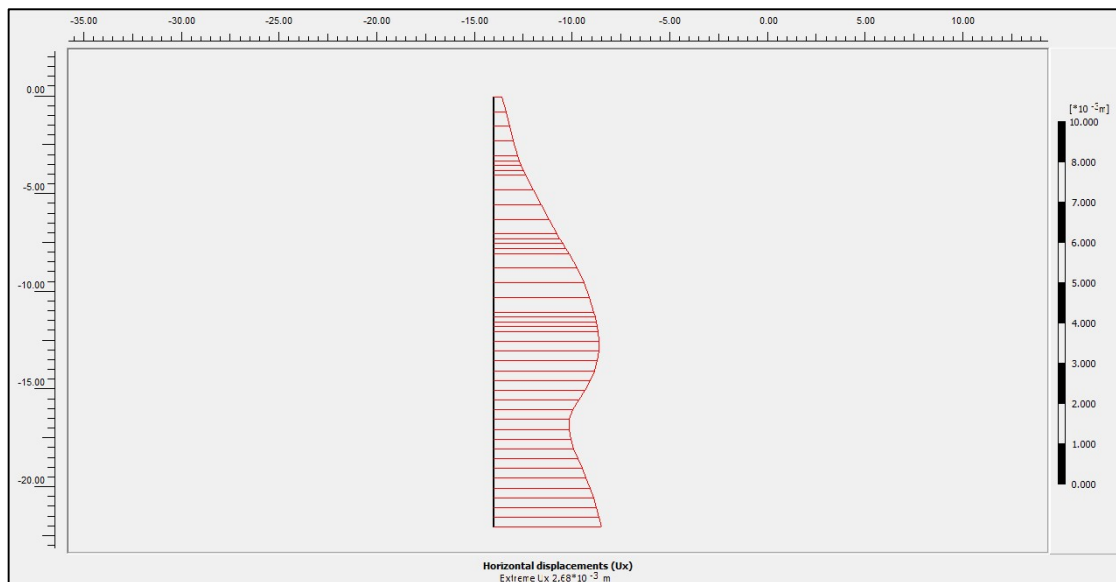


**Κατακόρυφες μετακινήσεις προσομιώματος – S2-2.**

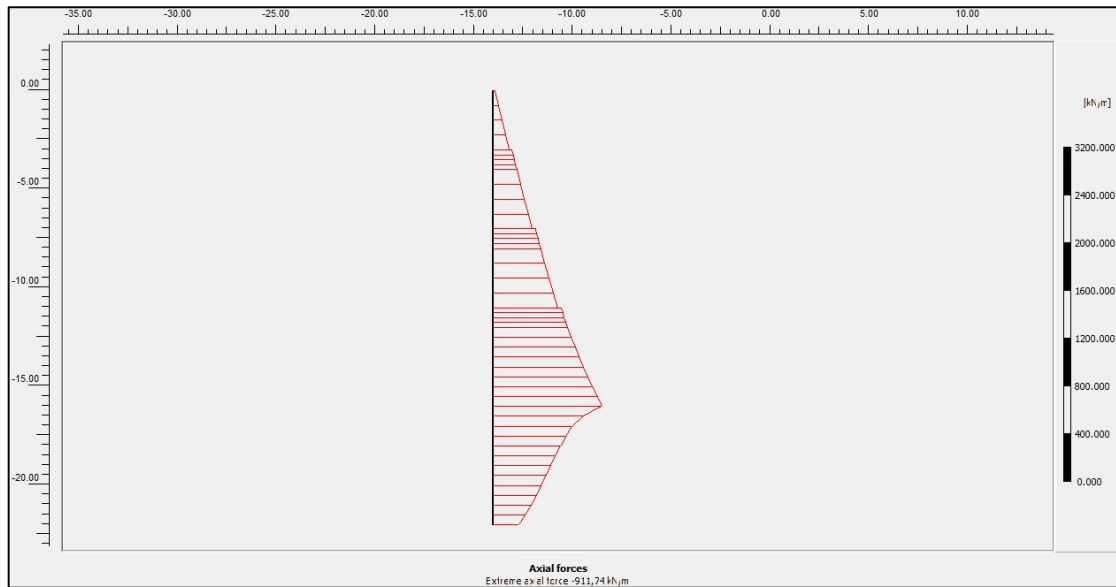




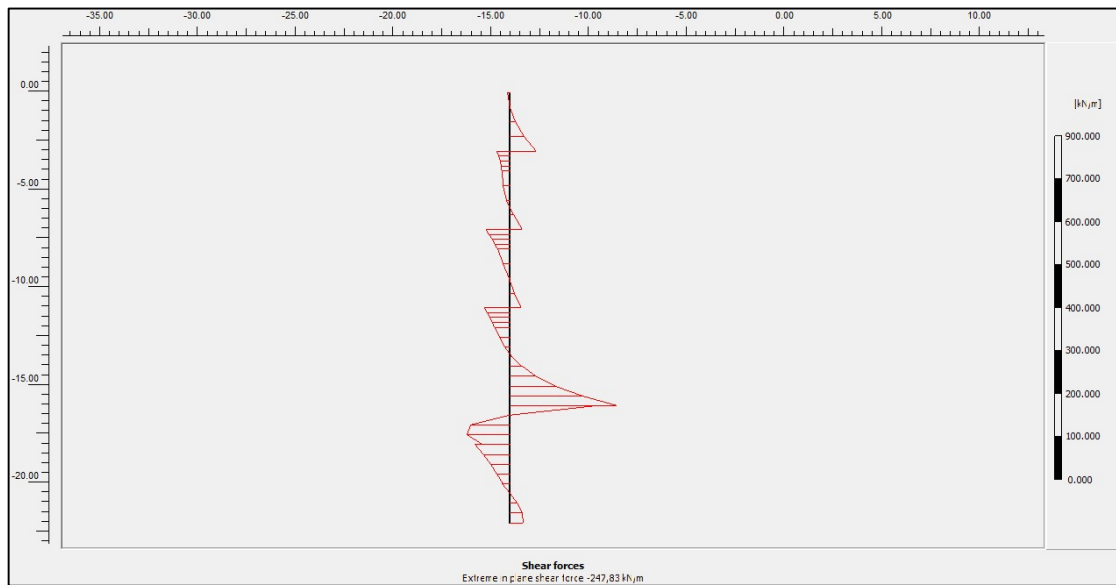
**Συνολικές μετακινήσεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής–S2-2.**



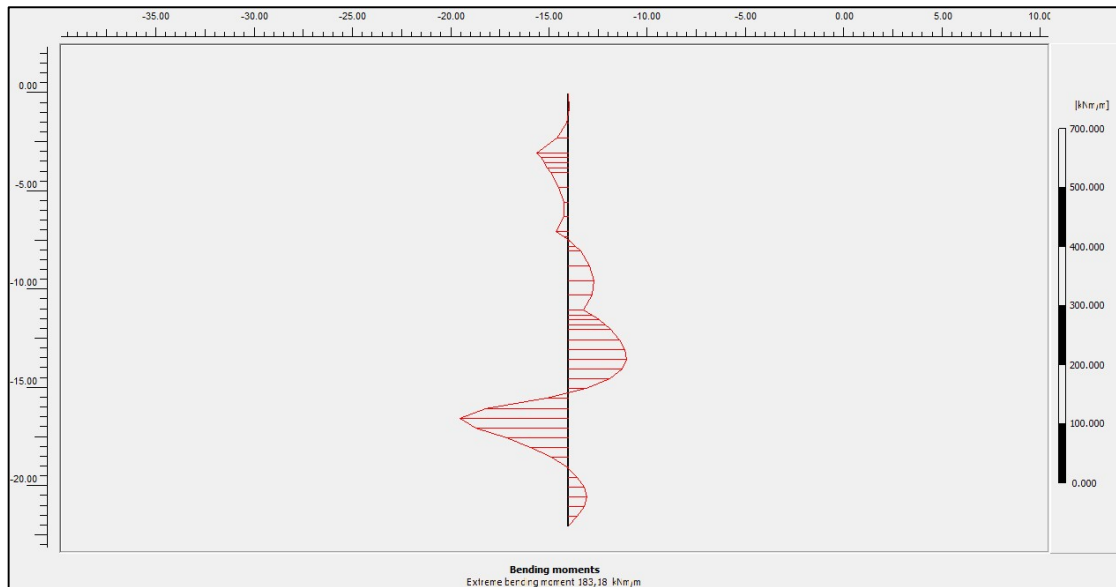
**Οριζόντιες μετακινήσεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής–S2-2.**



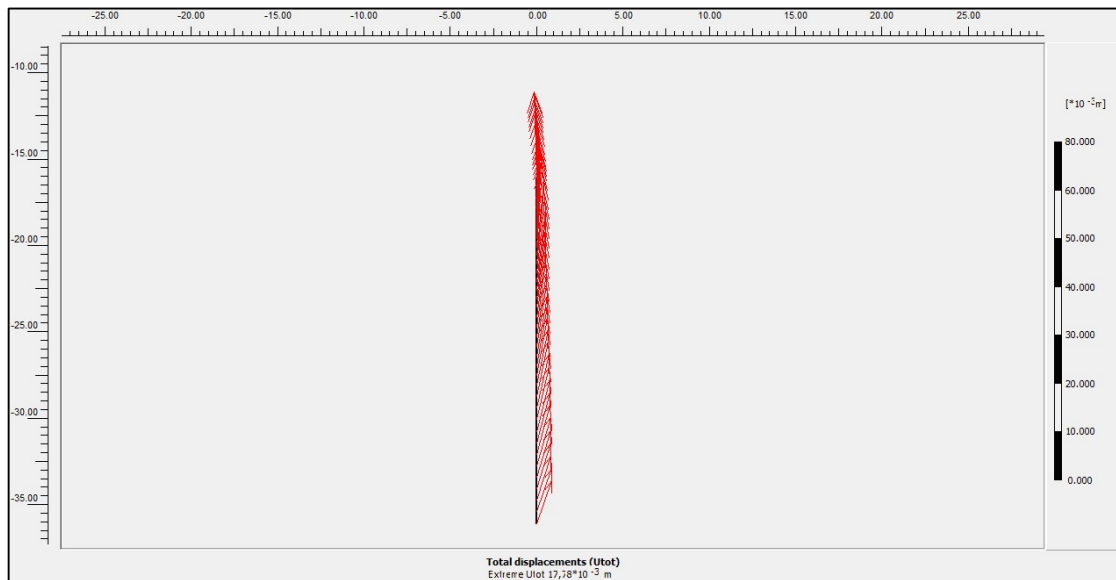
**Αξονικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής- S2-2.**



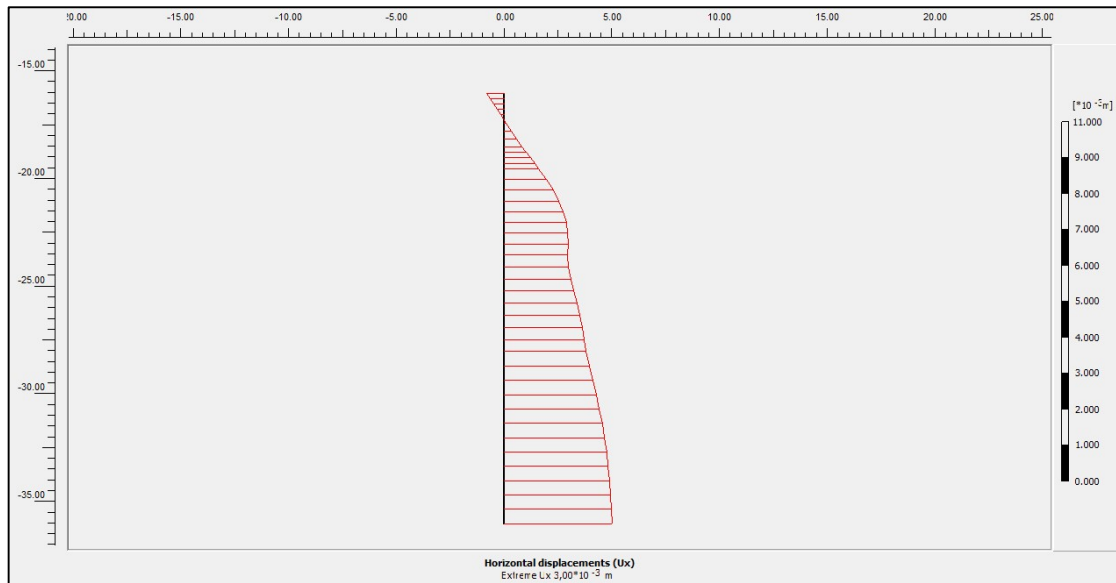
**Διατμητικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής S2-2.**



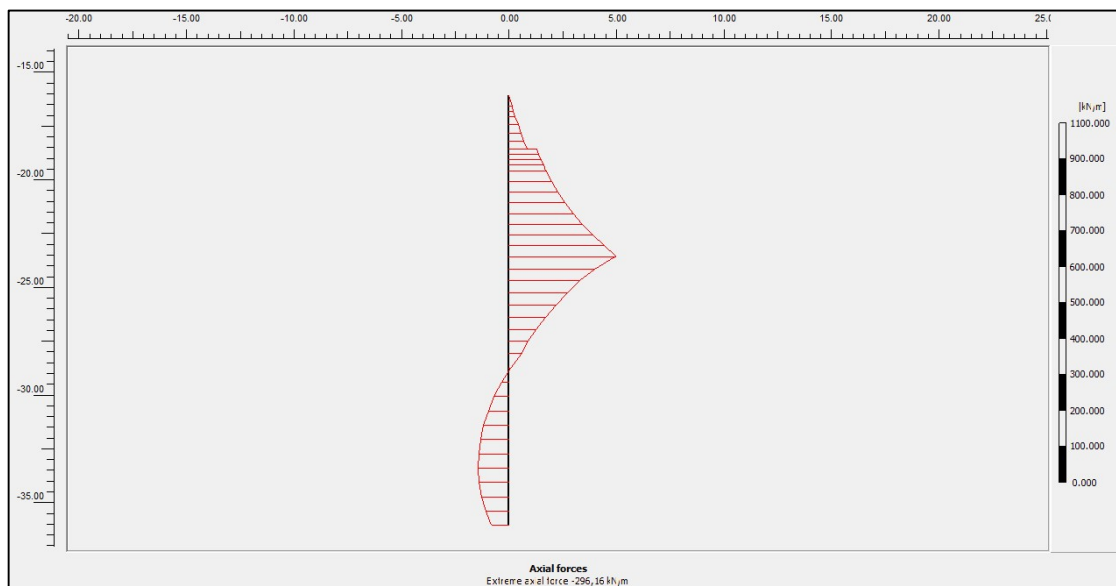
**Καμπτικές Ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής– S2-2.**



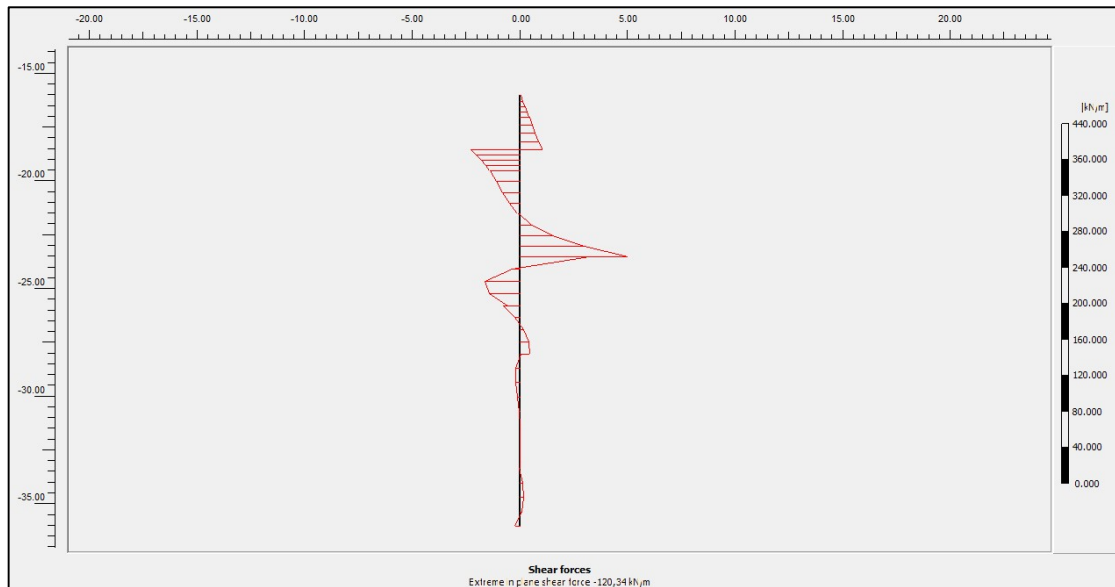
**Συνολικές μετακινήσεις επί του τοίχου αντιστήριξης για τον ανασταθμό– S2.**



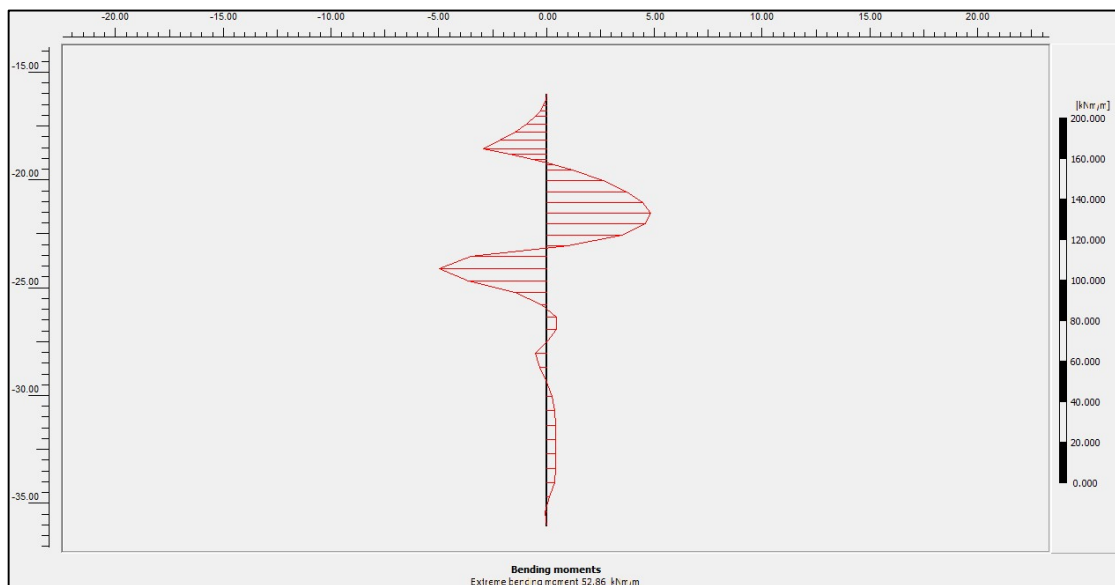
**Οριζόντιες μετακινήσεις επί του τοίχου αντιστήριξης για τον ανασταθμό – S2-2.**



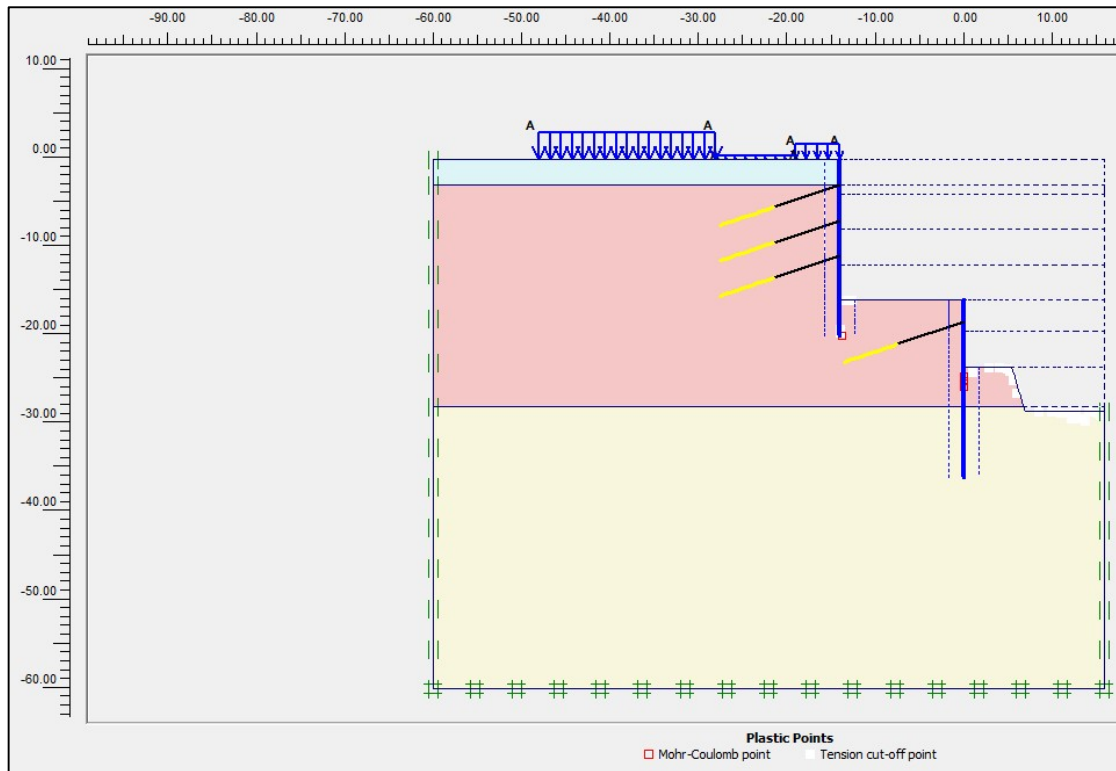
**Αξονικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης για τον ανασταθμό – S2-2.**



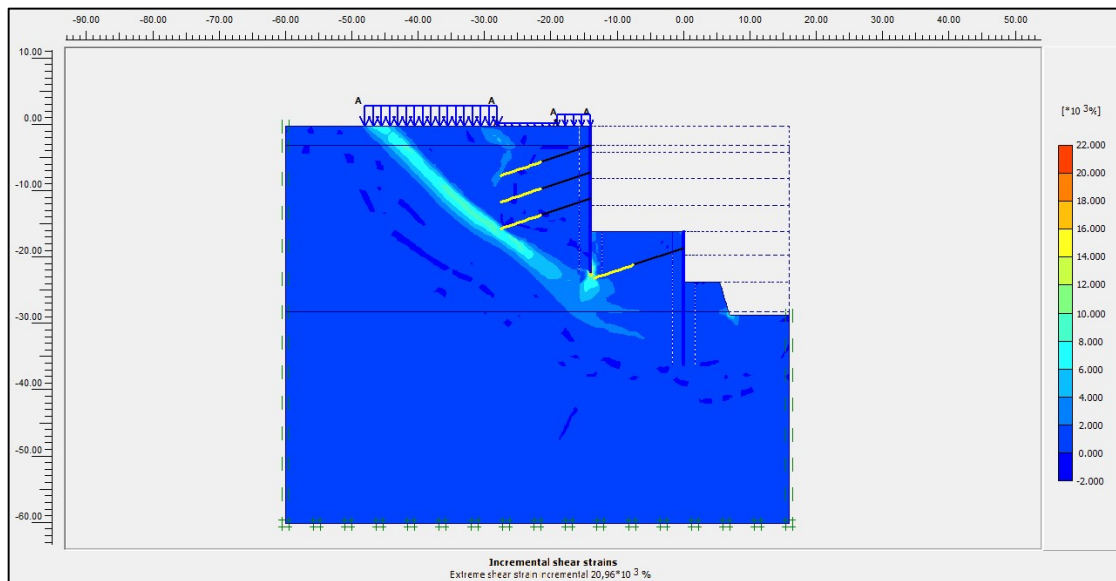
**Διατμητικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης για τον ανασταθμό – S2-2.**



**Καμπτικές Ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης για τον ανασταθμό – S2-2.**

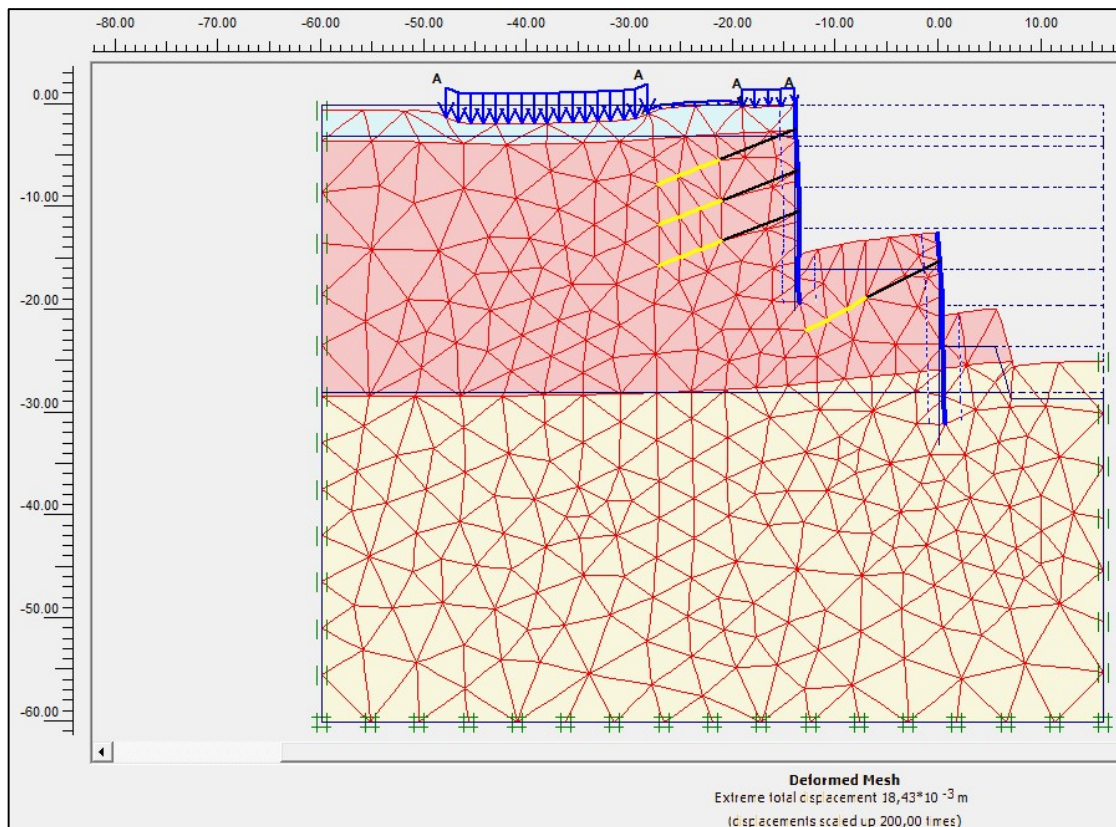


Σημεία που έχουν υποστεί πλαστική παραμόρφωση – S2-2.

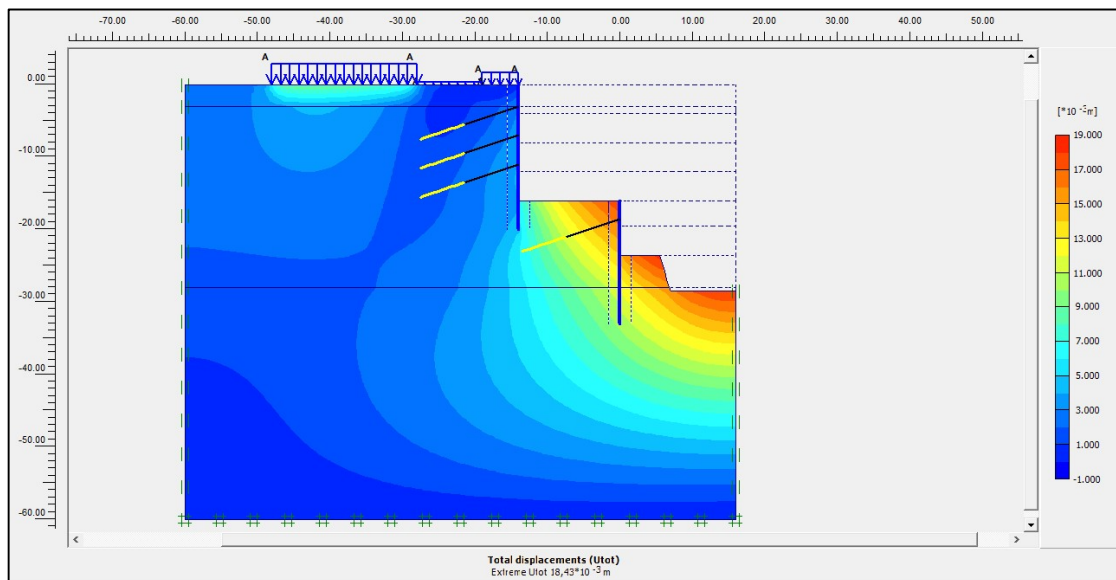


Δυναμική επιφάνεια αστοχίας μοντέλου προσομοίωσης – S2-2.

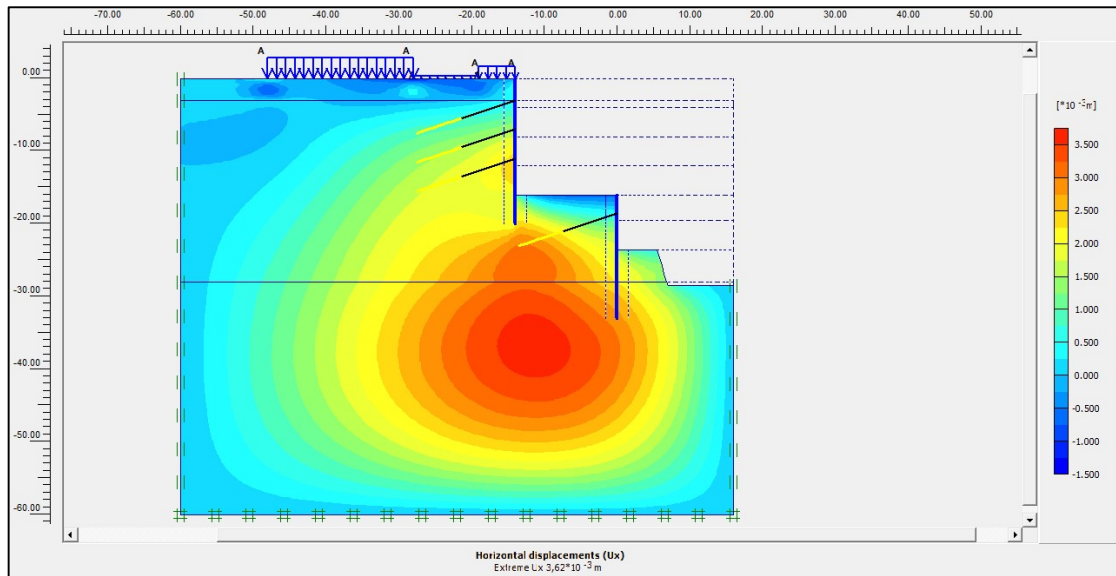
### Παραμετρική Επίλυση S2-3



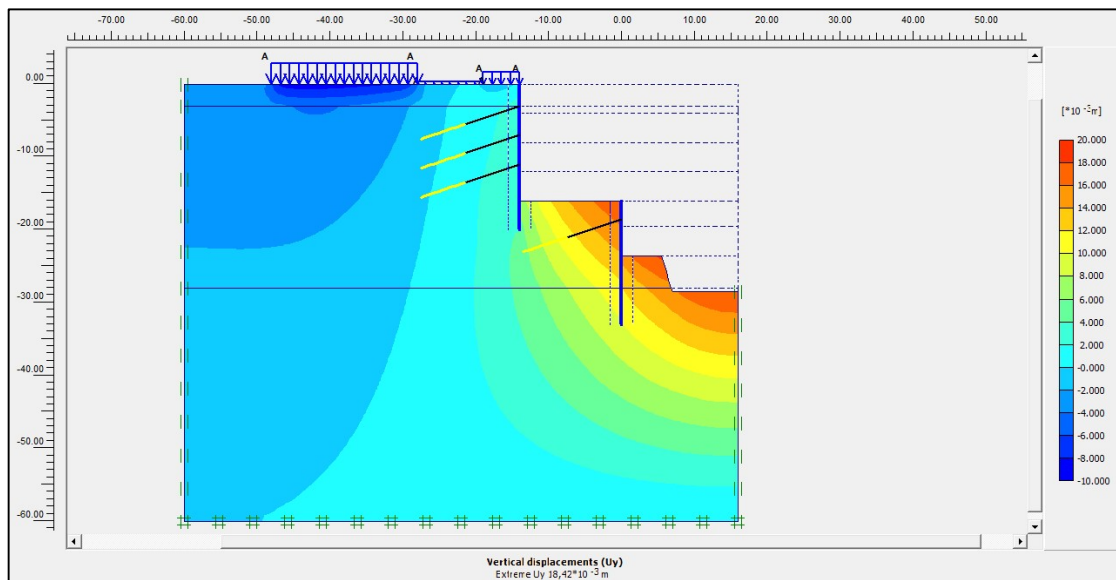
Παραμόρφωση πλέγματος διακριτοποίησης μοντέλου – S2-3.



Συνολικές μετακινήσεις προσομοιώματος – S2-3.

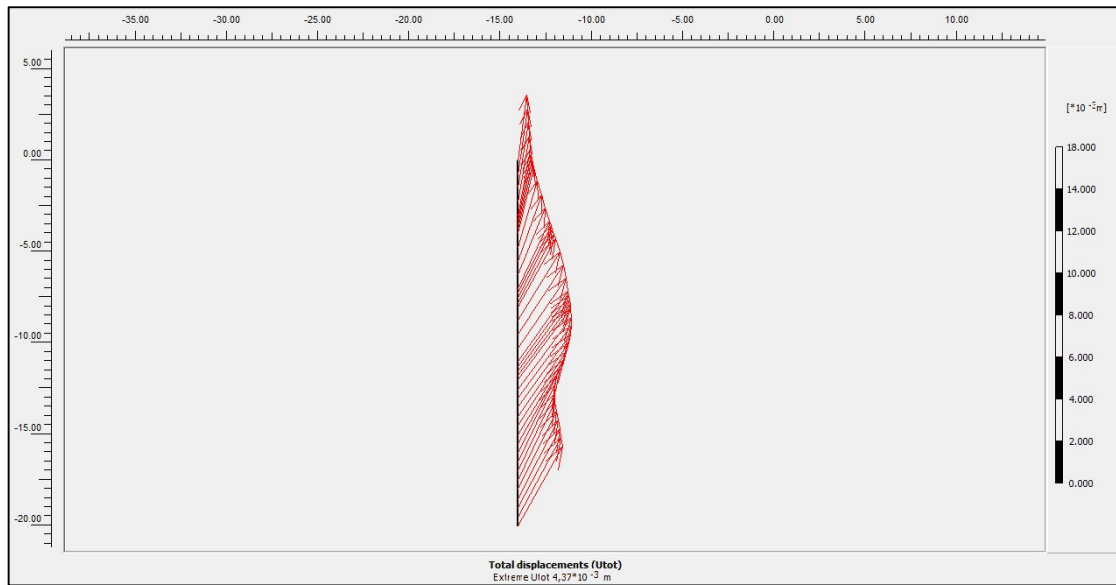


**Οριζόντιες μετακινήσεις προσομιώματος – S2-3.**

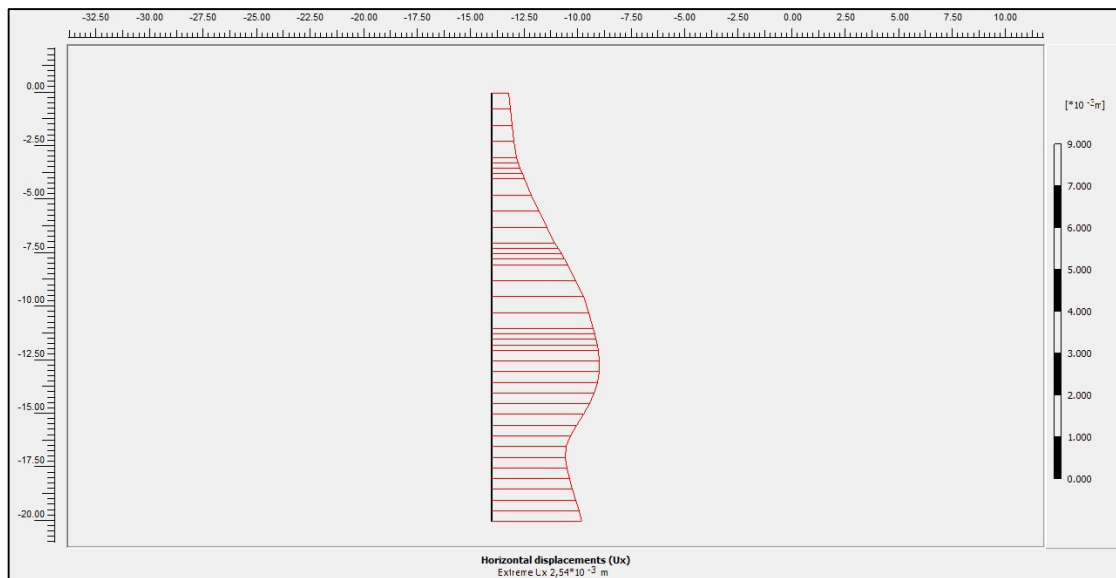


**Κατακόρυφες μετακινήσεις προσομιώματος – S2-3.**

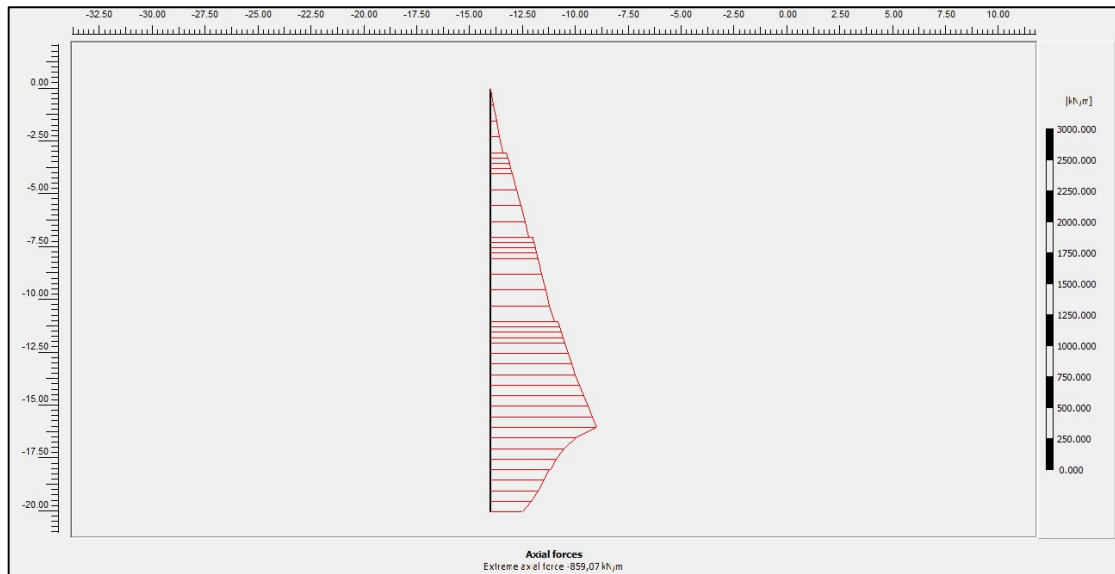




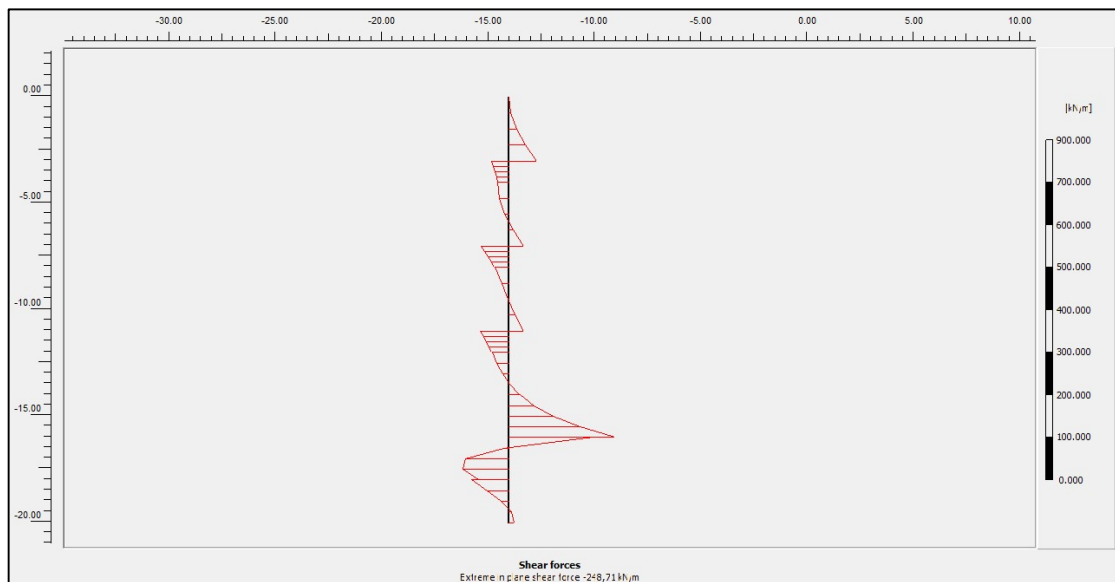
**Συνολικές μετακινήσεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής—  
S2-3.**



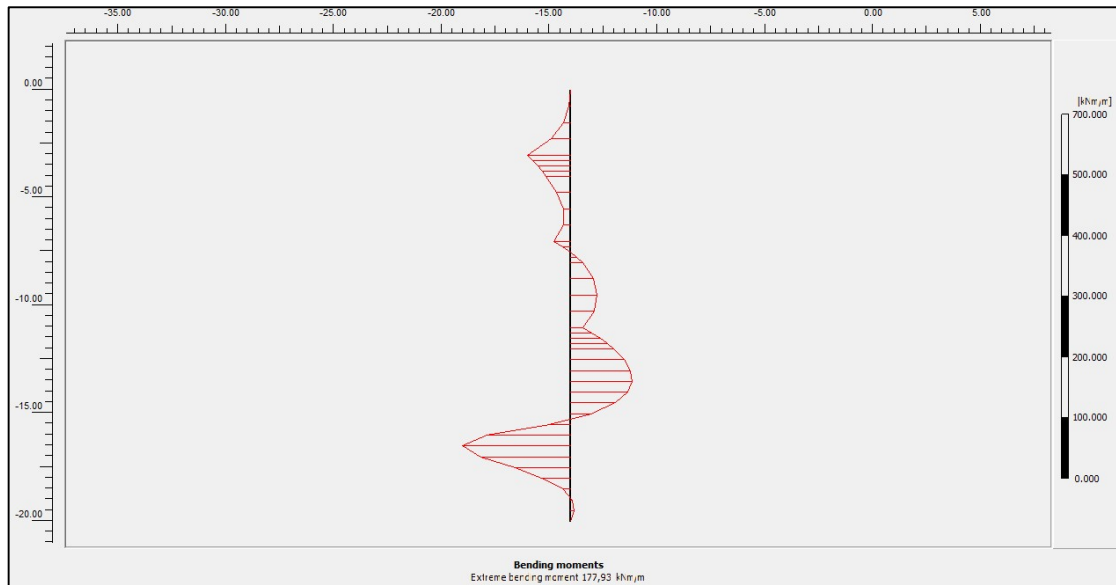
**Οριζόντιες μετακινήσεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής—  
S2-3.**



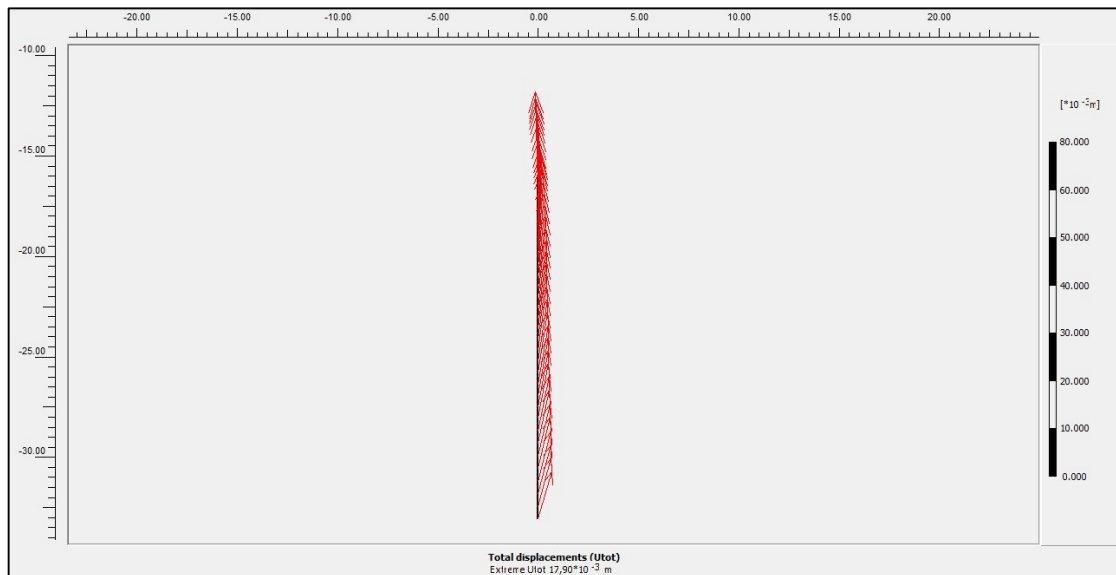
**Αξονικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής– S2-3.**



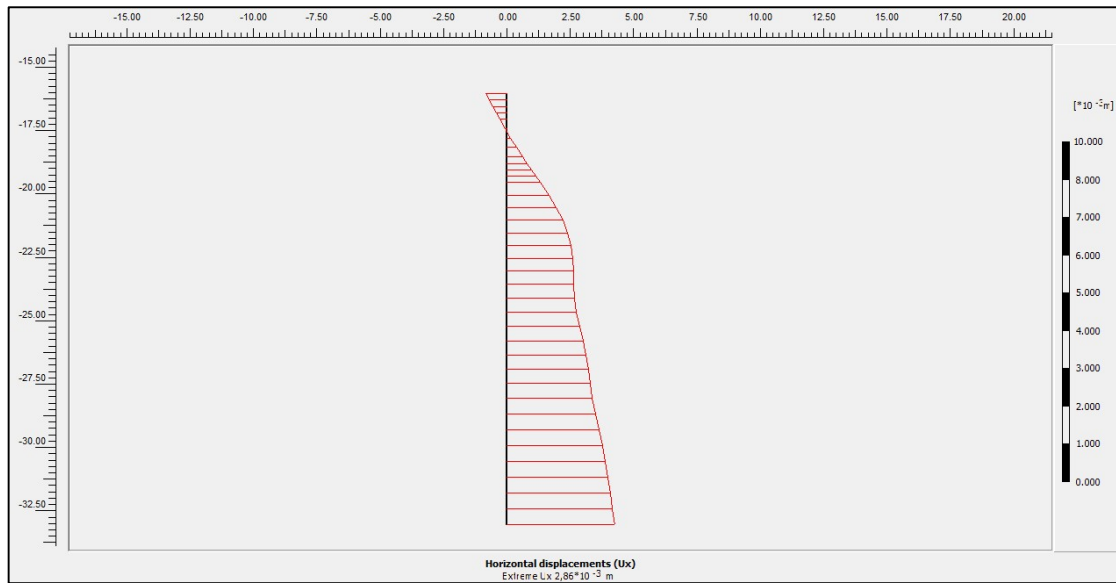
**Διατμητικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής– S2-3.**



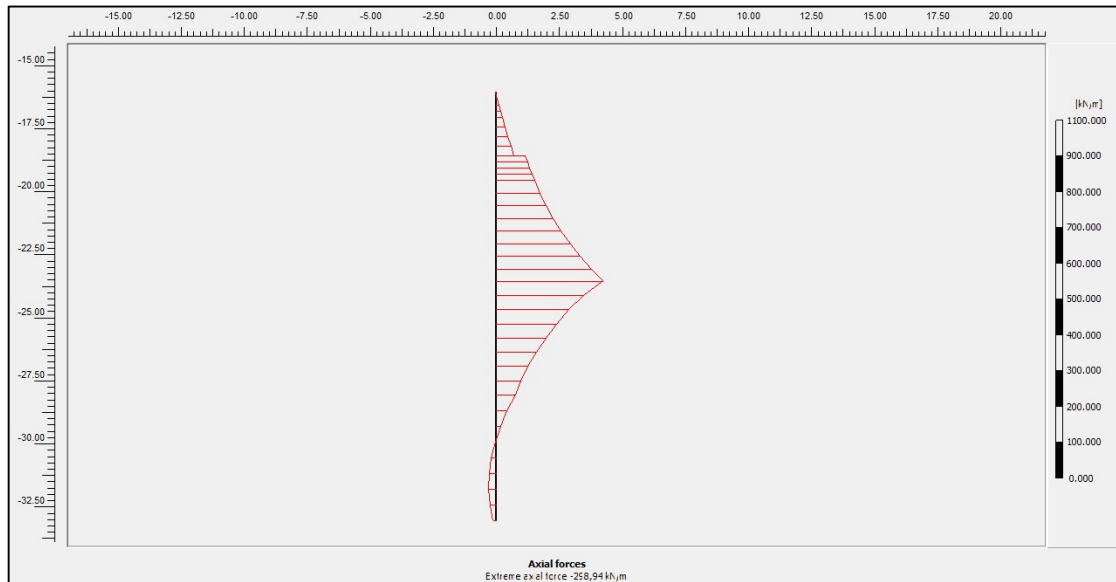
**Καμπτικές Ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης στην περίμετρο της εκσκαφής– S2-3.**



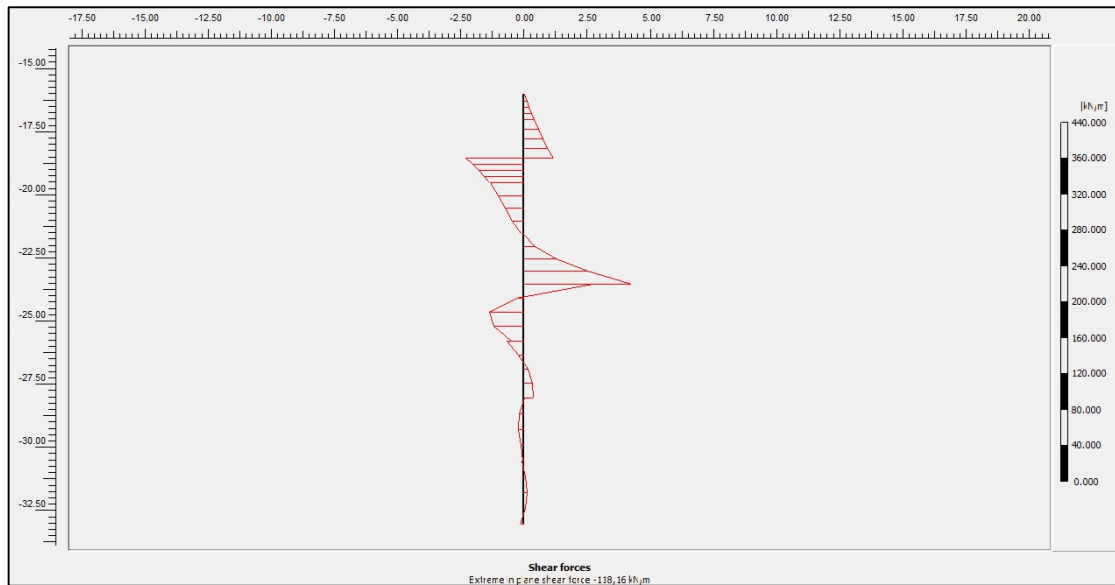
**Συνολικές μετακινήσεις επί του τοίχου αντιστήριξης για τον ανασταθμό– S2-3.**



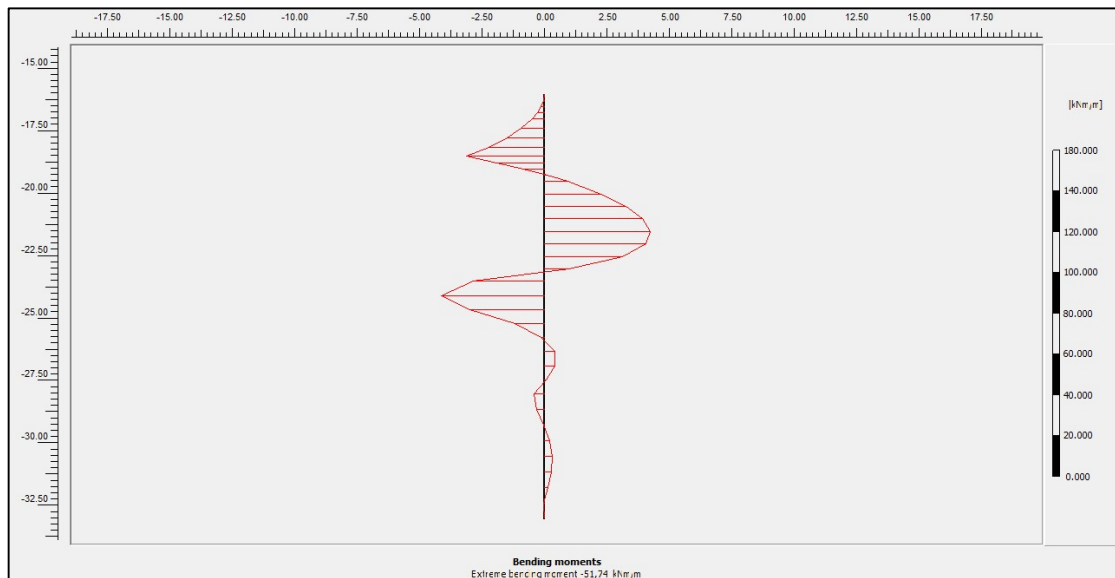
**Οριζόντιες μετακινήσεις επί του τοίχου αντιστήριξης για τον ανασταθμό – S2-3.**



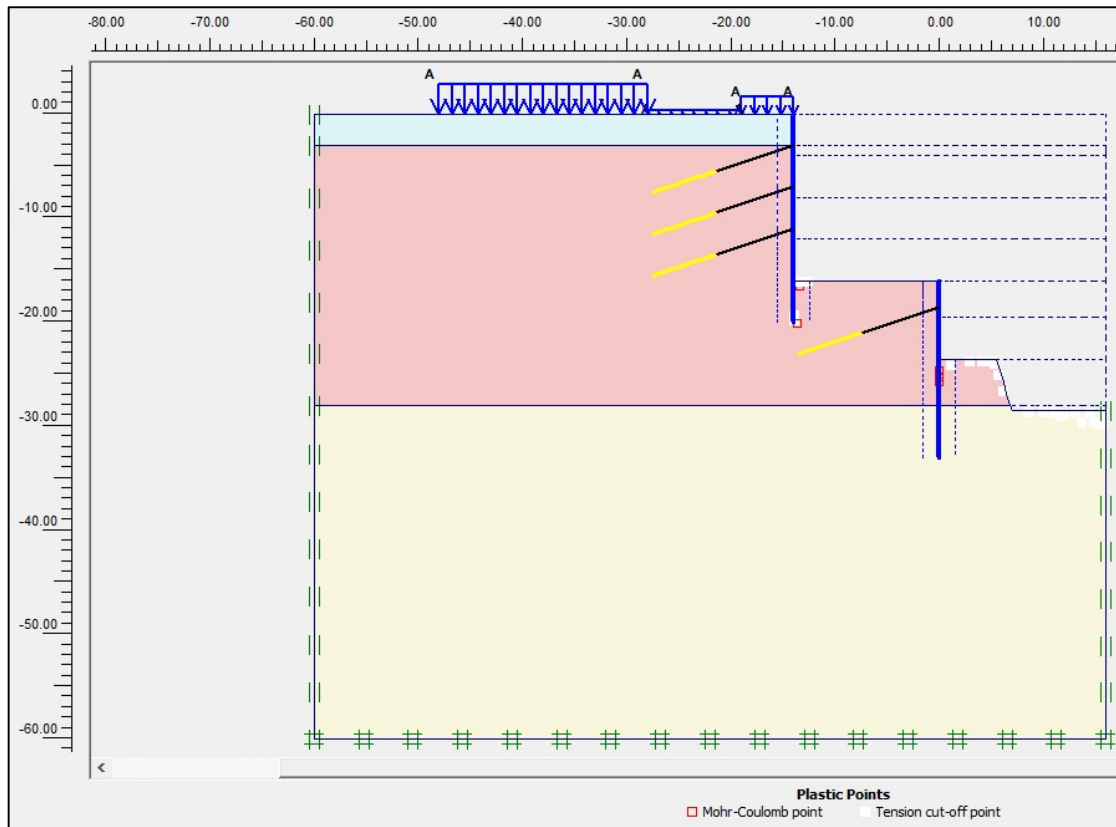
**Αξονικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης για τον ανασταθμό – S2-3.**



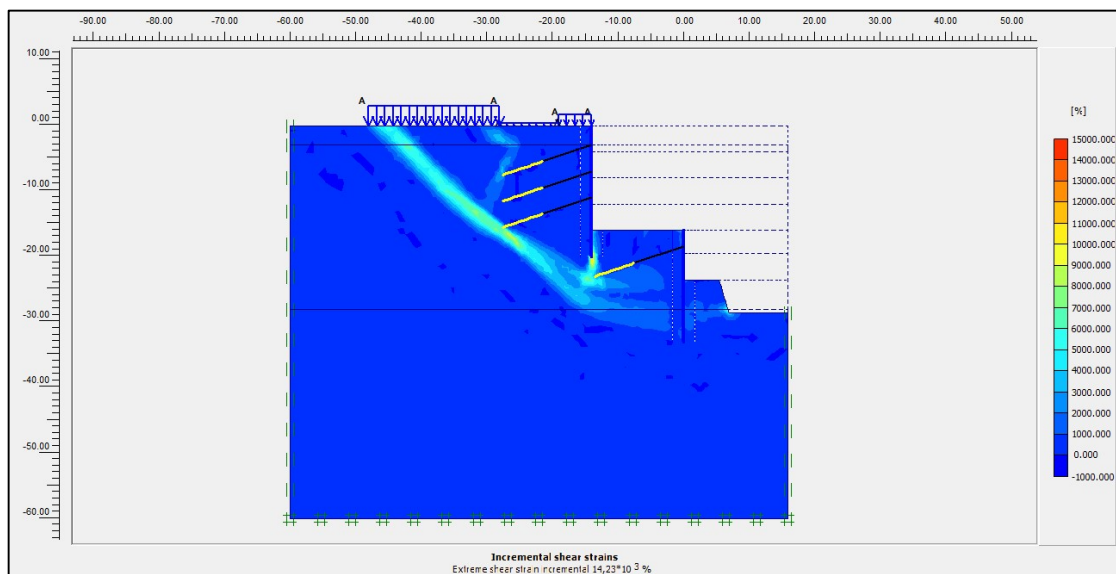
**Διατμητικές δυνάμεις επί του τοίχου αντιστήριξης για τον ανασταθμό – S2-3.**



**Καμπτικές Ροπές επί του τοίχου αντιστήριξης για τον ανασταθμό – S2-3.**



Σημεία που έχουν υποστεί πλαστική παραμόρφωση – S2-3.



Δυνητική επιφάνεια αστοχίας μοντέλου προσομοίωσης – S2-3.

