



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
Δ.Π.Μ.Σ. «ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ  
ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ

# ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΡΕΑΤΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Φωτεινή Βώσσου**

Διπλωματούχου Πολιτικού Μηχανικού Α.Π.Θ

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ:**  
Β. ΓΕΩΡΓΙΑΝΝΟΥ  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας είναι η προσομοίωση της διαδικασίας εκσκαφής και κατασκευής ενός κυκλικού φρέατος βάθους 24 μέτρων σε έδαφος αποτελούμενο από δύο στρώσεις με ή χωρίς την παρουσία υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.

Η ονομαστική διάμετρος του κατακόρυφου κυλινδρικού φρέατος θεωρήθηκε ίση με 10 m. Η μέθοδος αντιστήριξης της εκσκαφής προσομοιώθηκε με την χρήση κυκλικών προκατασκευασμένων δακτυλίων από σκυρόδεμα. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων για τις αναλύσεις της παρούσας εργασίας με το λογισμικό πρόγραμμα Plaxis, πιο αναλυτικά η εκσκαφή και η ακόλουθη διαδικασία κατασκευής αναλύθηκε με το «Plaxis 2D» και το «Plaxis 3D». Στην δισδιάστατη ανάλυση η προσομοίωση πραγματοποιείται μόνο σε ξηρές συνθήκες. Η προσομοίωση της συμπεριφοράς του εδάφους επιλύθηκε με την χρήση δύο διαφορετικών καταστατικών μοντέλων, συγκεκριμένα του «Mohr Coulomb» και του «Hardening Soil» και γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων τους. Επιπλέον, προσδιορίζονται οι επαπτομενικές δυνάμεις “Hoop forces”, οι καμπτικές ροπές, οι διατμητικές τάσεις και οι μέγιστες τιμές των παραμορφώσεων καθώς οι μετακινήσεις της κατασκευής. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων δείχνει ότι οι αναλύσεις σε δύο διαστάσεις προσομοιώνουν αρκετά ικανοποιητικά τις τρισδιάστατες αναλύσεις. Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης του νερού και μελετάται ο υποβιβασμός του υδροφόρου ορίζοντα, που γίνεται μόνο με αναλύσεις τρισδιάστατες. Στις αναλύσεις προτείνεται ως λύση η εγκατάσταση είτε κατακόρυφων στραγγιστηριών ή πηγαδιών άντλησης. Τα πηγάδια άντλησης εξετάζονται εκτενώς ως μέσο επίλυσης του προβλήματος και εκτιμάται η επίδραση της χρήσης τους, ιδίως μέσω των προκαλούμενων καθιζήσεων. Παρατηρείται ότι αυτές οι αναλύσεις ενέχουν προβλήματα αριθμητικών αστοχιών ενώ η χρήση των στραγγιστηριών προσομοιώνει την υποβίβαση του υδροφόρου ορίζοντα σε όλες τις φάσεις κατασκευής του φρέατος.

## ABSTRACT

This Thesis aims to simulate the excavation and construction process of a 24 -meter-deep circular shaft, located in a soil domain consisting of two different layers, under both dry and wet conditions. The nominal diameter of the circular shaft is considered equal to 10m and the corresponding retaining wall was assumed to consist of segmental circular pre cast concrete rings. The method of finite elements is used to analyze the excavation and construction processes by using the Plaxis 2D and 3D finite element program. Two - dimensional analyses are performed for dry conditions only and are compared with the corresponding three – dimensional analyses. The constitutive models of “Mohr-Coulomb” and “Hardening Soil” were adopted for the soil behaviour simulation and the corresponding results are compared. Furthermore, the maximum tangential forces “Hoop forces”, the bending moments, the shearing stresses, and the maximum values of the strains and settlements of the soil are defined. One of the main objectives of this research is to simulate the shaft construction sequence in wet soils using the 3D FE program. The proposed solutions for lowering the groundwater table include the installation of vertical drains and deep pumping wells. The latter present some numerical instabilities during the lowering process of the water table, while the former successfully simulate the drop in water table accompanying the shaft construction phases.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Δ.Π.Μ.Σ. «Δομοστατικός Σχεδιασμός και Ανάλυση Κατασκευών» .

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Β. Γεωργιάννου, Καθηγήτρια Ε.ΜΠ. για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου όλο αυτό το διάστημα καθώς και για την βοήθεια της τόσο για την ορθή δομή των αναλύσεων όσο και για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους εκείνους που συνέβαλλαν άμεσα ή έμμεσα στην εκπόνηση της μεταπτυχιακής εργασίας και ιδιαίτερα :

Τον κ. Δ. Παπαδόπουλο, Τεχνικό Γεωλόγο, Μ.Sc., τον κ Α. Σεραφή , Πολιτικό Μηχανικό Μ.Sc. και τον κ. Μουστάκιο Ενρίκο για την παράθεση πολύ χρήσιμων δεδομένων με σκοπό την εμπειριστατωμένη ανάλυση του υπογείου έργου. Η μεταπτυχιακή τους εργασία στα πλαίσια του Δ.Π.Μ.Σ. “Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων” αποτέλεσε το έναυσμα για την περαιτέρω ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στη δική μου εργασία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου, που με το δικό τους τρόπο συνεισέφεραν στο να τελειώσω τις μεταπτυχιακές μου σπουδές.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	14
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	14
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	14
1.2 ΦΡΕΑΤΙΟ ΑΕΡΙΣΜΟΥ .....	14
1.3 ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ .....	15
1.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ .....	15
1.5 ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ .....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	18
ΡΟΗ ΝΕΡΟΥ .....	18
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	18
2.2 ΡΟΗ ΝΕΡΟΥ ΔΙΑΜΕΣΟΥ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ .....	18
2.3 ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ .....	18
2.4 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ .....	19
2.5 ΠΗΓΑΔΙΑ .....	19
2.5 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΟΤΕΡΟΙ ΣΤΟΧΟΙ .....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....	21
3.1 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ .....	21
3.2 ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΣΤΡΩΣΕΙΣ .....	21
3.3 LINEAR ELASTIC MODEL .....	22
3.4 ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ MOHR – COULOMB .....	22
3.5 ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ HARDENING SOIL .....	23
3.6 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ .....	25
3.7 ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ .....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....	27
Plaxis 2D Προσομοίωση .....	27
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	27
4.2 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ .....	27
4.3 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ .....	27
4.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ .....	28
4.4.1 PLAXIS 2D – 1 <sup>η</sup> Ανάλυση - DEFORMATION ANALYSIS, MOHR - COULOMB, D=10M .....	28
4.4.2. PLAXIS 2D – 2η Ανάλυση - STRESS ANALYSIS, MOHR - COULOMB, D=10M .....	33
4.4.3. PLAXIS 2D – 3η Ανάλυση - STRESS ANALYSIS, HARDENING SOIL, D=10M .....	37
4.4.4. PLAXIS 2D – 4η Ανάλυση - DEFORMATION ANALYSIS, HARDENING SOIL, D=10M .....	41
Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων, για διαφορετική διάμετρο φρέατος, με σκοπό την διερεύνηση της επίδρασης της διαμέτρου. ....	45
4.4.5. PLAXIS 2D – 5η Ανάλυση - DEFORMATION ANALYSIS, MOHR COULOMB, D=16m .....	45
4.4.6. PLAXIS 2D – 6η Ανάλυση - STRESS ANALYSIS, HARDENING SOIL, D=16m .....	50
4.4.7. PLAXIS 2D – 7η Ανάλυση - DEFORMATION ANALYSIS, HARDENING SOIL, D=16m .....	53
4.4.8. PLAXIS 2D – 8η Ανάλυση - STRESS ANALYSIS, MOHR COULOMB, D=16m .....	57
4.5. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 .....	62
ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	62
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	62
5.2 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ .....	62
5.3 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ .....	62
5.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ .....	63
5.4.1 PLAXIS 3D – 1η Ανάλυση - HARDENING SOIL, STRESS ANALYSIS, D=10m .....	63
5.5 PLAXIS 3D , Hardening Soil, MODEL IN WATER FLOW CONDITIONS .....	67
5.5.1 PLAXIS 3D _2η Ανάλυση - Hardening Soil, Deformation analysis .....	67
5.5.2 PLAXIS 3D _3η Ανάλυση- Hardening Soil, Stress analysis .....	74
5.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 .....	80
ΠΗΓΑΔΙΑ .....	80
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	80
6.2 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ .....	80

6.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ .....	82
6.3.1 PLAXIS 3D _4η Ανάλυση_WELLS (Q=0,03 m <sup>3</sup> /sec) .....	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 .....	87
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΑ ΠΗΓΑΔΙΑ .....	87
7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	87
7.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ .....	87
7.2.1 PLAXIS 3D _5η Ανάλυση_WELLS(Q=0,06m <sup>3</sup> /sec) .....	87
7.3.2 PLAXIS 3D _6η Ανάλυση_WELLS (Q=0,015m <sup>3</sup> /sec) .....	92
7.3.3 PLAXIS 3D _7η Ανάλυση_WELLS (Q=0,1m <sup>3</sup> /sec) .....	95
7.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	99
7.6 PLAXIS 3D _8η Ανάλυση_WELLS (ΟΡΘΟΓΩΝΙΑ ΔΙΑΤΑΞΗ WELLS) .....	100
7.6.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - PLAXIS 3D _8η Ανάλυση_WELLS .....	101
7.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΗΓΑΔΙΩΝ .....	104
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 .....	105
ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΙΑ .....	105
8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	105
8.2 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ .....	105
8.2 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ .....	106
8.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ - PLAXIS 3D_1η Ανάλυση_Line Drains .....	107
8.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ LINE DRAINS ΜΕ WELLS .....	110
8.6. PLAXIS 3D_PLAXIS 3D_2η Ανάλυση_Line Drains .....	111
8.7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ PLAXIS 3D_ANALYSIS_2η Ανάλυση_Line Drains .....	111
8.8 PLAXIS 3D_ANALYSIS_3η Ανάλυση_Line Drains .....	116
8.8 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - PLAXIS 3D_ANALYSIS_3η Ανάλυση_Line Drains .....	117
8.9. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - PLAXIS 3D_2η Ανάλυση_Line Drains ΜΕ PLAXIS 3D_3η Ανάλυση_Line Drains .....	123
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 .....	124
9.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	124
9.2 ΘΕΜΑΤΑ ΓΙΑ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ .....	125
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 .....	126

**ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ**

ΕΙΚΩΝΑ 1 ΑΝΕΓΕΡΣΗ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ REF. NATIONAL GRID (2015).	16
ΕΙΚΩΝΑ 2 - ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΓΙΑ ΈΝΑ ΠΗΓΑΔΙ, ΔΥΟ ΚΑΙ ΤΕΣΣΕΡΑ ΠΗΓΑΔΙΑ, DATTA ET AL (2005).	19
ΕΙΚΩΝΑ 3 - ΜΕΡΙΚΆ ΠΑΡΑΔΕΪΓΜΑΤΑ ΟΜΆΔΩΝ ΠΗΓΑΔΙΩΝ (CHIESA, 1994).	20
ΕΙΚΩΝΑ 4 - ΤΥΠΙΚΗ ΤΟΜΉ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΉΩΝ ΣΤΟΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΆΞΟΝΑ.	21
ΕΙΚΩΝΑ 5 - Ο ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ $E_{OED}^{REF}$ ΜΕΤΆ ΑΠΌ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΉΣ ΣΥΜΠΙΕΣΟΜΈΤΡΟΥ ΚΑΙ Η ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΆ ΤΟΥ ΕΔΆΦΟΥΣ ΚΑΤΆ ΤΗΝ ΑΠΟΦΌΡΤΙΣΗ-ΕΠΑΝΑΦΌΡΤΙΣΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΉΡΙΟ "HARDENING SOIL".	24
ΠΪΝΑΚΑΣ 6 - ΣΤΆΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΉΣ ΚΑΤΆ ΤΗΝ ΦΆΣΗ ΕΚΣΚΑΦΉΣ.	26
ΕΙΚΩΝΑ 7 - PLAXIS 2D_1H ΑΝΆΛΥΣΗ - Ο "ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΈΝΟΣ ΚΆΝΝΑΒΟΣ" ΠΕΠΕΡΑΣΜΈΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΪΩΝ ΣΤΗΝ ΚΡΪΣΙΜΗ ΦΆΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΉΣ (ΦΆΣΗ 16).	29
ΕΙΚΩΝΑ 8 - PLAXIS 2D_1H ΑΝΆΛΥΣΗ - Ο "ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΈΝΟΣ ΚΆΝΝΑΒΟΣ" ΠΕΠΕΡΑΣΜΈΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΪΩΝ ΜΕΤΆ ΤΗΝ 17Η ΦΆΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΪΩΣΗΣ (ΦΆΣΗ 17)	29
ΕΙΚΩΝΑ 9 -PLAXIS 2D_1H ΑΝΆΛΥΣΗ -Ο ΜΈΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΛΆΧΙΣΤΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΉΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΚΡΪΣΙΜΗ ΦΆΣΗ (ΦΆΣΗ 16).	29
ΕΙΚΩΝΑ 10 - PLAXIS 2D_1H ΑΝΆΛΥΣΗ -Ο ΜΈΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΛΆΧΙΣΤΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΉΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΆΙΑ ΦΆΣΗ.	29
ΕΙΚΩΝΑ 11 - PLAXIS 2D_1H ΑΝΆΛΥΣΗ -Ο ΜΈΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΛΆΧΙΣΤΕΣ ΚΑΤΑΚΌΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΉΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΚΡΪΣΙΜΗ ΦΆΣΗ (ΦΆΣΗ 16).	30
ΕΙΚΩΝΑ 12 - PLAXIS 2D_1H ΑΝΆΛΥΣΗ -Ο ΜΈΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΛΆΧΙΣΤΕΣ ΚΑΤΑΚΌΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΉΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΆΙΑ ΦΆΣΗ (ΦΆΣΗ 16).	30
ΕΙΚΩΝΑ 13 - PLAXIS 2D_1H ΑΝΆΛΥΣΗ - Η ΔΙΕΨΘΥΝΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΤΆΣΕΩΝ ΚΑΤΆ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΆΙΑ ΦΆΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΪΩΣΗΣ.	30
ΕΙΚΩΝΑ 14 - PLAXIS 2D_1H ΑΝΆΛΥΣΗ - ΣΗΜΕΪΑ ΕΔΑΦΙΚΉΣ ΑΣΤΟΧΪΑΣ ΚΑΤΆ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΆΙΑ ΦΆΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΪΩΣΗΣ (ΦΆΣΗ 17).	31
ΕΙΚΩΝΑ 15 - PLAXIS 2D_1H ΑΝΆΛΥΣΗ -ΔΪΆΓΡΑΜΜΑ "HOOP FORCES" ΤΟΥ ΦΟΡΈΑ ΚΑΤΆ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΆΙΑ ΦΆΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΪΩΣΗΣ (ΦΆΣΗ 17)	31
ΕΙΚΩΝΑ 16 - PLAXIS 2D_2H ΑΝΆΛΥΣΗ - Ο "ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΈΝΟΣ ΚΆΝΝΑΒΟΣ" ΠΕΠΕΡΑΣΜΈΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΪΩΝ ΣΤΗΝ ΚΡΪΣΙΜΗ ΦΆΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΉΣ (15Η ΦΆΣΗ).	33
ΕΙΚΩΝΑ 17 - PLAXIS 2D_2H ΑΝΆΛΥΣΗ - Ο "ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΈΝΟΣ ΚΆΝΝΑΒΟΣ" ΠΕΠΕΡΑΣΜΈΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΪΩΝ ΜΕΤΆ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΆΙΑ ΦΆΣΗ (16Η ΦΆΣΗ).	33
ΕΙΚΩΝΑ 18 -PLAXIS 2D_2H ΑΝΆΛΥΣΗ -Ο ΜΈΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΛΆΧΙΣΤΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΉΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΚΡΪΣΙΜΗ ΦΆΣΗ (ΦΆΣΗ 15).	33
ΕΙΚΩΝΑ 19 - PLAXIS 2D_2H ΑΝΆΛΥΣΗ -Ο ΜΈΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΛΆΧΙΣΤΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΉΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΆΙΑ ΦΆΣΗ (ΦΆΣΗ 16).	33
ΕΙΚΩΝΑ 20 -PLAXIS 2D_2H ΑΝΆΛΥΣΗ -ΟΙ ΜΈΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΛΆΧΙΣΤΕΣ ΚΑΤΑΚΌΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΉΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΚΡΪΣΙΜΗ ΦΆΣΗ (ΦΆΣΗ 15).	34
ΕΙΚΩΝΑ 21 - PLAXIS 2D_2H ΑΝΆΛΥΣΗ -ΟΙ ΜΈΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΛΆΧΙΣΤΕΣ ΚΑΤΑΚΌΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΉΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΆΙΑ ΦΆΣΗ (ΦΆΣΗ 16).	34
ΕΙΚΩΝΑ 22 - PLAXIS 2D_2H ΑΝΆΛΥΣΗ -ΔΪΆΓΡΑΜΜΑ "HOOP FORCES" ΤΟΥ ΦΟΡΈΑ ΚΑΤΆ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΆΙΑ ΦΆΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΪΩΣΗΣ (ΦΆΣΗ 16)	34
ΕΙΚΩΝΑ 23 - PLAXIS 2D_2H ΑΝΆΛΥΣΗ - ΣΗΜΕΪΑ ΕΔΑΦΙΚΉΣ ΑΣΤΟΧΪΑΣ ΚΑΤΆ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΆΙΑ ΦΆΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΪΩΣΗΣ (ΦΆΣΗ 16).	35
ΕΙΚΩΝΑ 24 - PLAXIS 2D_2H ΑΝΆΛΥΣΗ - Η ΔΙΕΨΘΥΝΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΤΆΣΕΩΝ ΚΑΤΆ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΆΙΑ ΦΆΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΪΩΣΗΣ.	35
ΕΙΚΩΝΑ 25 - PLAXIS 2D_3H ΑΝΆΛΥΣΗ - Ο "ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΈΝΟΣ ΚΆΝΝΑΒΟΣ" ΠΕΠΕΡΑΣΜΈΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΪΩΝ ΜΕΤΆ ΤΗΝ 16Η ΦΆΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΪΩΣΗΣ (ΤΕΛΕΥΤΆΙΑ ΦΆΣΗ).	37
ΕΙΚΩΝΑ 26 -PLAXIS 2D_3H ΑΝΆΛΥΣΗ - Η ΜΈΓΙΣΤΗ ΟΛΙΚΉ ΜΕΤΑΚΙΝΉΣΗ ΜΕΤΆ ΤΗΝ 16Η ΦΆΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΪΩΣΗΣ (ΤΕΛΕΥΤΆΙΑ ΦΆΣΗ).	37
ΕΙΚΩΝΑ 27 -PLAXIS 2D_3H ΑΝΆΛΥΣΗ - Η ΜΈΓΙΣΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΜΕΤΑΚΙΝΉΣΗ ΜΕΤΆ ΤΗΝ 16Η ΦΆΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΪΩΣΗΣ (ΤΕΛΕΥΤΆΙΑ ΦΆΣΗ).	38
ΕΙΚΩΝΑ 28 -PLAXIS 2D_3H ΑΝΆΛΥΣΗ - Η ΜΈΓΙΣΤΗ ΚΑΤΑΚΌΡΥΦΗ ΜΕΤΑΚΙΝΉΣΗ ΜΕΤΆ ΤΗΝ 16Η ΦΆΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΪΩΣΗΣ (ΤΕΛΕΥΤΆΙΑ ΦΆΣΗ).	38

ΕΙΚΟΝΑ 29- PLAXIS 2D_3H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ. ....	39
ΕΙΚΟΝΑ 30 -PLAXIS 2D_3H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΣΗΜΕΙΑ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ (ΦΑΣΗ 16). ....	39
ΕΙΚΟΝΑ 31 - PLAXIS 2D_3H ΑΝΑΛΥΣΗ -ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ “HOOP FORCES” ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ (ΦΑΣΗ 16). ....	40
ΕΙΚΟΝΑ 32 - PLAXIS 2D_4H ΑΝΑΛΥΣΗ - Ο “ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΣ ΚΑΝΝΑΒΟΣ” ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ 17Η ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ. ....	41
ΕΙΚΟΝΑ 33 - PLAXIS 2D_4H ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΙ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ (ΦΑΣΗ 17). ....	42
ΕΙΚΟΝΑ 34 - PLAXIS 2D_4H ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΙ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ (ΦΑΣΗ 17). ....	42
ΕΙΚΟΝΑ 35 - PLAXIS 2D_4H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΣΗΜΕΙΑ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ (PHASE 17). ....	43
ΕΙΚΟΝΑ 36 - PLAXIS 2D_4H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ. ....	43
ΕΙΚΟΝΑ 37 - PLAXIS 2D_4H ΑΝΑΛΥΣΗ -ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ “HOOP FORCES” ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ (ΦΑΣΗ 17). ....	44
ΕΙΚΟΝΑ 38 - PLAXIS 2D_5H ΑΝΑΛΥΣΗ - Ο “ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΣ ΚΑΝΝΑΒΟΣ” ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ (17Η ΦΑΣΗ). ....	45
ΕΙΚΟΝΑ 39 - PLAXIS 2D_5H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ(ΦΑΣΗ 17). ....	46
ΕΙΚΟΝΑ 40 -PLAXIS 2D_5H ΑΝΑΛΥΣΗ -ΟΙ ΟΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ (ΦΑΣΗ 17). ....	46
ΕΙΚΟΝΑ 41 -PLAXIS 2D_5H ΑΝΑΛΥΣΗ -ΟΙ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ (ΦΑΣΗ 17). ....	47
ΕΙΚΟΝΑ 42 -PLAXIS 2D_5H ΑΝΑΛΥΣΗ -ΟΙ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ (ΦΑΣΗ 17). ....	47
ΕΙΚΟΝΑ 43 - PLAXIS 2D_5H ΑΝΑΛΥΣΗ -ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ “HOOP FORCES” ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ (ΦΑΣΗ 17). ....	48
ΕΙΚΟΝΑ 44 - PLAXIS 2D_6H ΑΝΑΛΥΣΗ - Ο “ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΣ ΚΑΝΝΑΒΟΣ” ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ (16Η ΦΑΣΗ). ....	50
ΕΙΚΟΝΑ 45 - PLAXIS 2D_6H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ(16Η ΦΑΣΗ). ....	50
ΕΙΚΟΝΑ 46 -PLAXIS 2D_6H ΑΝΑΛΥΣΗ -ΟΙ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ (ΦΑΣΗ 16). ....	51
ΕΙΚΟΝΑ 47 -PLAXIS 2D_6H ΑΝΑΛΥΣΗ -ΟΙ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ (ΦΑΣΗ 16). ....	51
ΕΙΚΟΝΑ 48 - PLAXIS 2D_6H ΑΝΑΛΥΣΗ -ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ “HOOP FORCES” ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ (ΦΑΣΗ 16). ....	52
ΕΙΚΟΝΑ 49 - PLAXIS 2D_7H ΑΝΑΛΥΣΗ - Ο “ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΣ ΚΑΝΝΑΒΟΣ” ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ 17Η ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ (ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ). ....	53
ΕΙΚΟΝΑ 50 - PLAXIS 2D_7H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ(17Η ΦΑΣΗ). ....	54
ΕΙΚΟΝΑ 51 -PLAXIS 2D_7H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΜΕΤΑ ΤΗΝ 17Η ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ (ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ). ....	54
ΕΙΚΟΝΑ 52 -PLAXIS 2D_7H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΜΕΤΑ ΤΗΝ 17Η ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ (ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ). ....	55
ΕΙΚΟΝΑ 53 - PLAXIS 2D_7H ΑΝΑΛΥΣΗ -ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ “HOOP FORCES” ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ (ΦΑΣΗ 17). ....	55
ΕΙΚΟΝΑ 54 - PLAXIS 2D_8H ΑΝΑΛΥΣΗ - Ο “ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΣ ΚΑΝΝΑΒΟΣ” ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ (16Η ΦΑΣΗ). ....	57
ΕΙΚΟΝΑ 55 - PLAXIS 2D_8H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ. ....	57
ΕΙΚΟΝΑ 56 -PLAXIS 2D_8H ΑΝΑΛΥΣΗ -ΟΙ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ (ΦΑΣΗ 16). ....	58
ΕΙΚΟΝΑ 57 -PLAXIS 2D_8H ΑΝΑΛΥΣΗ -ΟΙ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ (ΦΑΣΗ 16). ....	58



ΕΙΚΟΝΑ 58 - PLAXIS 2D_8H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ “HOOP FORCES” ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ (ΦΑΣΗ 16) .....	59
ΕΙΚΟΝΑ 59 - PLAXIS 3D_1H ΑΝΑΛΥΣΗ - Ο “ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΣ ΚΑΝΝΑΒΟΣ” ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ 17Η ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ (ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ). .....	64
ΕΙΚΟΝΑ 60 - PLAXIS 3D_1H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΟΙ ΟΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΠΥΘΜΕΝΑ ΜΕΤΑ ΤΗΝ 17Η ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ (ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ). .....	64
ΕΙΚΟΝΑ 61 - PLAXIS 3D_1H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΟΙ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΑ ΤΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ (17Η ΦΑΣΗ). .....	65
ΕΙΚΟΝΑ 62 - PLAXIS 3D_1H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΚΑΘΙΖΗΣΗ ΤΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ ΚΑΙ ΟΙ ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ (17Η ΦΑΣΗ). .....	65
ΕΙΚΟΝΑ 63 - PLAXIS 3D_1H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ “HOOP FORCES” ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ (17Η ΦΑΣΗ). .....	66
ΕΙΚΟΝΑ 64 - PLAXIS 3D_1H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ “SHEAR STRESSES” ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ (17Η ΦΑΣΗ). .....	66
ΕΙΚΟΝΑ 65 - PLAXIS 3D_1H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ “BENDING MOMENTS” ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ (17Η ΦΑΣΗ). .....	67
ΕΙΚΟΝΑ 66 - PLAXIS 3D_2H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (6Η ΦΑΣΗ). .....	68
ΕΙΚΟΝΑ 67 - PLAXIS 3D_2H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (6Η ΦΑΣΗ). .....	68
ΕΙΚΟΝΑ 68 - PLAXIS 3D_2H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΕΖΣ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (6Η ΦΑΣΗ). .....	69
ΕΙΚΟΝΑ 69 - PLAXIS 3D_2H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΕΥΥ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (6Η ΦΑΣΗ). .....	69
ΕΙΚΟΝΑ 70 - PLAXIS 3D_2H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΕΧΧ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (6Η ΦΑΣΗ). .....	70
ΕΙΚΟΝΑ 71 - PLAXIS 3D_2H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΟΛΙΚΗ ΤΑΣΗ ΥΖΧ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (6Η ΦΑΣΗ). .....	70
ΕΙΚΟΝΑ 72 - PLAXIS 3D_2H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΤΑ “PLASTIC POINTS” ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΥ ΦΡΕΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (6Η ΦΑΣΗ). .....	71
ΕΙΚΟΝΑ 73- PLAXIS 3D_2H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΣΤΑΘΜΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (6Η ΦΑΣΗ). .....	72
ΕΙΚΟΝΑ 74 - PLAXIS 3D_2H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΟΙ ΕΝΕΡΓΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ ΠΏΡΩΝ (ΑΡΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΣΗΜΟ) ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (6Η ΦΑΣΗ). .....	72
ΕΙΚΟΝΑ 75 - PLAXIS 3D_2H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ N2, ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (6Η ΦΑΣΗ). .....	73
ΕΙΚΟΝΑ 76 - PLAXIS 3D_2H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΡΟΠΩΝ ΚΑΜΨΗΣ M22, ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (6Η ΦΑΣΗ). .....	73
ΕΙΚΟΝΑ 77 - PLAXIS 3D_2H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ Q13, ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (6Η ΦΑΣΗ). .....	74
ΕΙΚΟΝΑ 78 - PLAXIS 3D_3H ΑΝΑΛΥΣΗ - Ο “ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΣ” ΚΑΝΝΑΒΟΣ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (6Η ΦΑΣΗ).ΌΤΑΝ ΤΟ ΈΔΑΦΟΣ ΚΑΤΑΡΡΕΕΙ. ....	74
ΕΙΚΟΝΑ 79 - PLAXIS 3D_3H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (6Η ΦΑΣΗ). .....	75
ΕΙΚΟΝΑ 80 - PLAXIS 3D_3H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (6Η ΦΑΣΗ). .....	75
ΕΙΚΟΝΑ 81 - PLAXIS 3D_3H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΣΤΑΘΜΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (6Η ΦΑΣΗ). .....	76
ΕΙΚΟΝΑ 82 - PLAXIS 3D_3H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΟΙ ΕΝΕΡΓΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ ΠΏΡΩΝ (ΑΡΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΣΗΜΟ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ) ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (6Η ΦΑΣΗ). .....	76
ΕΙΚΟΝΑ 83 - PLAXIS 3D_3H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΤΑ “PLASTIC POINTS” ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΥ ΦΡΕΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (6Η ΦΑΣΗ). .....	77
ΕΙΚΟΝΑ 84 - PLAXIS 3D_3H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ Q12, ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (6Η ΦΑΣΗ). .....	77
ΕΙΚΟΝΑ 85 - PLAXIS 3D_3H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ N2, ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (6Η ΦΑΣΗ). .....	78
ΕΙΚΟΝΑ 86 - PLAXIS 3D_3H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΡΟΠΩΝ ΚΑΜΨΗΣ M11, ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (6Η ΦΑΣΗ). .....	78

ΕΙΚΟΝΑ 87 - ΔΙΑΤΑΞΗ ΠΗΓΑΔΙΩΝ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΥ ΦΡΕΑΤΟΣ .....	80
ΕΙΚΟΝΑ 88: ΕΚΤΕΛΟΥΜΕΝΕΣ ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (ΦΑΣΗ 17) .....	81
ΕΙΚΟΝΑ 89 - PLAXIS 3D_4H ΑΝΑΛΥΣΗ - Ο “ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΣ” ΚΆΝΝΑΒΟΣ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ. ΌΤΑΝ ΤΟ ΈΔΑΦΟΣ ΚΑΤΑΡΨΕΙ. ....	82
ΕΙΚΟΝΑ 90 - PLAXIS 3D_4H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΜΈΓΙΣΤΗ ΚΑΤΑΚΌΡΥΦΗ ΜΕΤΑΚΪΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ.	82
ΕΙΚΟΝΑ 91 - PLAXIS 3D_4H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΜΈΓΙΣΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΜΕΤΑΚΪΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ.	83
ΕΙΚΟΝΑ 92 - PLAXIS 3D_4H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΜΈΓΙΣΤΗ ΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΚΪΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ .	83
ΕΙΚΟΝΑ 93 - PLAXIS 3D_4H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΜΈΓΙΣΤΗ ΚΑΙ ΕΛΆΧΙΣΤΗ ΤΙΜΪΗ ΒΑΘΜΟΥ ΚΟΡΕΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17Η ΦΆΣΗ). ....	84
ΕΙΚΟΝΑ 94 - PLAXIS 3D_4H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΤΑ “PLASTIC POINTS” ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΥ ΦΡΕΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17Η ΦΆΣΗ). ....	84
ΕΙΚΟΝΑ 95 - PLAXIS 3D_4H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΣΤΆΘΜΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17Η ΦΆΣΗ). ....	85
ΕΙΚΟΝΑ 96 - PLAXIS 3D_4H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΟΙ ΥΠΕΡΒΟΛΙΚΕΣ ΠΪΞΕΙΣ ΠΌΡΩΝ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17Η ΦΆΣΗ). ....	85
ΕΙΚΟΝΑ 97 - PLAXIS 3D_4H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΟΙ ΕΝΕΡΓΕΣ ΠΪΞΕΙΣ ΠΌΡΩΝ (ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ) ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17Η ΦΆΣΗ). ....	86
ΕΙΚΟΝΑ 98 - PLAXIS 3D_5H ΑΝΑΛΥΣΗ - Ο “ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΣ” ΚΆΝΝΑΒΟΣ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17Η ΦΆΣΗ). ΌΤΑΝ ΤΟ ΈΔΑΦΟΣ ΚΑΤΑΡΨΕΙ. ....	87
ΕΙΚΟΝΑ 99 - PLAXIS 3D_5H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΜΈΓΙΣΤΗ ΚΑΤΑΚΌΡΥΦΗ ΜΕΤΑΚΪΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17Η ΦΆΣΗ). ....	88
ΕΙΚΟΝΑ 100 - PLAXIS 3D_5H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΜΈΓΙΣΤΗ ΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΚΪΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17Η ΦΆΣΗ). ....	88
ΕΙΚΟΝΑ 101 - PLAXIS 3D_5H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΜΈΓΙΣΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΜΕΤΑΚΪΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17Η ΦΆΣΗ). ....	89
ΕΙΚΟΝΑ 102 - PLAXIS 3D_5H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΜΈΓΙΣΤΗ ΚΑΙ ΕΛΆΧΙΣΤΗ ΤΙΜΪΗ ΒΑΘΜΟΥ ΚΟΡΕΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17Η ΦΆΣΗ). ....	89
ΕΙΚΟΝΑ 103 - PLAXIS 3D_5H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΤΑ “PLASTIC POINTS” ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΥ ΦΡΕΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17Η ΦΆΣΗ). ....	90
ΕΙΚΟΝΑ 104 - PLAXIS 3D_5H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΣΤΆΘΜΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17Η ΦΆΣΗ). ....	90
ΕΙΚΟΝΑ 105 - PLAXIS 3D_5H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΟΙ ΥΠΕΡΒΟΛΙΚΕΣ ΠΪΞΕΙΣ ΠΌΡΩΝ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17Η ΦΆΣΗ). ....	91
ΕΙΚΟΝΑ 106 - PLAXIS 3D_5H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΟΙ ΕΝΕΡΓΕΣ ΠΪΞΕΙΣ ΠΌΡΩΝ (ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ) ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17Η ΦΆΣΗ). ....	91
ΕΙΚΟΝΑ 107 - PLAXIS 3D_6H ΑΝΑΛΥΣΗ - Ο “ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΣ” ΚΆΝΝΑΒΟΣ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17Η ΦΆΣΗ). ΌΤΑΝ ΤΟ ΈΔΑΦΟΣ ΚΑΤΑΡΨΕΙ. ....	92
ΕΙΚΟΝΑ 108 - PLAXIS 3D_6H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΜΈΓΙΣΤΗ ΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΚΪΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17Η ΦΆΣΗ). ....	92
ΕΙΚΟΝΑ 109 - PLAXIS 3D_6H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΜΈΓΙΣΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΜΕΤΑΚΪΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17Η ΦΆΣΗ). ....	93
ΕΙΚΟΝΑ 110 - PLAXIS 3D_6H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΜΈΓΙΣΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΜΕΤΑΚΪΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17Η ΦΆΣΗ). ....	93
ΕΙΚΟΝΑ 111 - PLAXIS 3D_6H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΟΙ ΕΝΕΡΓΕΣ ΠΪΞΕΙΣ ΠΌΡΩΝ (ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ) ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17Η ΦΆΣΗ). ....	94
ΕΙΚΟΝΑ 112 - PLAXIS 3D_6H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΟΙ ΥΠΕΡΒΟΛΙΚΕΣ ΠΪΞΕΙΣ ΠΌΡΩΝ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17Η ΦΆΣΗ). ....	94
ΕΙΚΟΝΑ 113 - PLAXIS 3D_6H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΣΤΆΘΜΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17Η ΦΆΣΗ). ....	95
ΕΙΚΟΝΑ 114 - PLAXIS 3D_7H ΑΝΑΛΥΣΗ – ΟΙ ΕΝΕΡΓΕΣ ΠΪΞΕΙΣ ΠΌΡΩΝ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ. ....	95
ΕΙΚΟΝΑ 115 - PLAXIS 3D_7H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΟΙ ΥΠΕΡΒΟΛΙΚΕΣ ΠΪΞΕΙΣ ΠΌΡΩΝ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ. ....	96
ΕΙΚΟΝΑ 116 - PLAXIS 3D_7H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΣΤΆΘΜΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17Η ΦΆΣΗ). ....	96
ΕΙΚΟΝΑ 117 - PLAXIS 3D_7H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΣΗΜΕΪΑ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17Η ΦΆΣΗ). ....	97
ΕΙΚΟΝΑ 118 - PLAXIS 3D_7H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΜΈΓΙΣΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΜΕΤΑΚΪΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17Η ΦΆΣΗ). ....	97

ΕΙΚΟΝΑ 119 - PLAXIS 3D_7H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17H ΦΑΣΗ).....	98
ΕΙΚΟΝΑ 120 - PLAXIS 3D_7H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ “HOOP FORCES” Η ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17H ΦΑΣΗ).....	98
ΕΙΚΟΝΑ 121 - ΔΙΑΤΑΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ WELLS ΣΕ ΣΧΗΜΑ ΟΡΘΟΓΩΝΙΟ.....	100
ΕΙΚΟΝΑ 122 - PLAXIS 3D_8H ΑΝΑΛΥΣΗ - Ο “ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΣ” ΚΆΝΝΑΒΟΣ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17H ΦΑΣΗ).....	101
ΕΙΚΟΝΑ 123 - PLAXIS 3D_8H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17H ΦΑΣΗ).....	101
ΕΙΚΟΝΑ 124 - PLAXIS 3D_8H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΟΙ ΕΝΕΡΓΕΣ ΠΊΕΣΕΙΣ ΠΏΡΩΝ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17H ΦΑΣΗ).....	102
ΕΙΚΟΝΑ 125 - PLAXIS 3D_8H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17H ΦΑΣΗ).....	102
ΕΙΚΟΝΑ 126 - PLAXIS 3D_8H ΑΝΑΛΥΣΗ - ΟΙ ΥΠΕΡΒΟΛΙΚΕΣ ΠΊΕΣΕΙΣ ΠΏΡΩΝ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17H ΦΑΣΗ).....	103
ΕΙΚΟΝΑ 127 - PLAXIS 3D_8H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΣΤΆΘΜΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (17H ΦΑΣΗ).....	103
ΕΙΚΟΝΑ 128 - ΔΙΑΤΑΞΗ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΊΩΝ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΆ ΤΟΥ ΦΡΕΑΤΟΣ.....	106
ΕΙΚΟΝΑ 129 - ΕΙΣΑΓΩΓΉ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΊΩΝ ΣΤΟ PLAXIS 3D.....	106
ΕΙΚΟΝΑ 130 - PLAXIS 3D_1H ΑΝΑΛΥΣΗ_LINE DRAINS - ΟΙ ΕΝΕΡΓΕΣ ΠΊΕΣΕΙΣ ΠΏΡΩΝ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ.....	107
ΕΙΚΟΝΑ 131 - PLAXIS 3D_1H ΑΝΑΛΥΣΗ_LINE DRAINS - ΟΙ ΥΠΕΡΒΟΛΙΚΕΣ ΠΊΕΣΕΙΣ ΠΏΡΩΝ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ.....	107
ΕΙΚΟΝΑ 132 - PLAXIS 3D_1H ΑΝΑΛΥΣΗ_LINE DRAINS - ΤΑ “PLASTIC POINTS” ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΆ ΤΟΥ ΦΡΕΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ.....	108
ΕΙΚΟΝΑ 133 - PLAXIS 3D_1H ΑΝΑΛΥΣΗ_LINE DRAINS - Η ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ.....	108
ΕΙΚΟΝΑ 134 - PLAXIS 3D_1H ΑΝΑΛΥΣΗ_LINE DRAINS- Η ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ.....	109
ΕΙΚΟΝΑ 135 - PLAXIS 3D_1H ΑΝΑΛΥΣΗ_LINE DRAINS - Η ΣΤΆΘΜΗ ΥΔΡΟΦΏΡΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ.....	109
ΕΙΚΟΝΑ 136 - ΕΚΤΕΛΟΥΜΕΝΕΣ ΦΆΣΕΙΣ ΚΑΙ ΦΆΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΜΕ ΧΡΉΣΗ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΊΩΝ.....	110
ΕΙΚΟΝΑ 137 - ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΟΡΦΉΣ ΥΔΡΟΦΏΡΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΜΕ ΧΡΉΣΗ WELLS ΚΑΙ ΜΕ ΧΡΉΣΗ LINE DRAINS ΣΤΗΝ ΤΕΛΙΚΉ ΦΆΣΗ ΣΤΕΡΕΟΠΏΙΗΣΗΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΉΝΑΡΞΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΉΣ ΤΟΥ ΦΡΕΑΤΟΣ.....	110
ΕΙΚΟΝΑ 138 - ΟΛΟΚΛΉΡΩΣΗ ΏΛΩΝ ΤΩΝ ΦΆΣΕΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΉΣ ΦΡΕΑΤΟΣ ΣΕ ΠΑΡΟΥΣΊΑ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΧΡΉΣΗ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΊΩΝ.....	111
ΕΙΚΟΝΑ 139 - PLAXIS 3D_2H ΑΝΑΛΥΣΗ_LINE DRAINS - Ο “ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΣ” ΚΆΝΝΑΒΟΣ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΆΙΑ ΦΆΣΗ(27H ΦΆΣΗ).....	112
ΕΙΚΟΝΑ 140 - PLAXIS 3D_2H ΑΝΑΛΥΣΗ_LINE DRAINS - ΟΙ ΟΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΉΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΆΙΑ ΦΆΣΗ (27H ΦΆΣΗ).....	112
ΕΙΚΟΝΑ 143 - PLAXIS 3D_2H ΑΝΑΛΥΣΗ_LINE DRAINS - Ο ΥΔΡΟΦΏΡΟΣ ΟΡΙΖΟΝΤΑΣ ΜΕΤΆ ΤΟΝ ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΏ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΚΣΚΑΦΉ.....	113
ΕΙΚΟΝΑ 144 - PLAXIS 3D_2H ΑΝΑΛΥΣΗ_LINE DRAINS - ΟΙ ΕΝΕΡΓΕΣ ΠΊΕΣΕΙΣ ΠΏΡΩΝ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΆΙΑ ΦΆΣΗ (27H ΦΆΣΗ).....	114
ΕΙΚΟΝΑ 145 - PLAXIS 3D_2H ΑΝΑΛΥΣΗ_LINE DRAINS - ΟΙ ΥΠΕΡΒΟΛΙΚΕΣ ΠΊΕΣΕΙΣ ΠΏΡΩΝ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΆΙΑ ΦΆΣΗ(27H ΦΆΣΗ).....	114
ΕΙΚΟΝΑ 146 - PLAXIS 3D_2H ΑΝΑΛΥΣΗ_LINE DRAINS - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΔΥΝΆΜΕΩΝ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΆΙΑ ΦΆΣΗ (27H ΦΆΣΗ).....	115
ΕΙΚΟΝΑ 147 - PLAXIS 3D_2H ΑΝΑΛΥΣΗ_LINE DRAINS- ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΕΜΝΟΥΣΩΝ ΔΥΝΆΜΕΩΝ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ ΚΑΤΆ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΆΙΑ ΦΆΣΗ.....	115
ΕΙΚΟΝΑ 148 - PLAXIS 3D_2H ΑΝΑΛΥΣΗ_LINE DRAINS_ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΜΠΤΙΚΩΝ ΡΟΓΊΩΝ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΆΙΑ ΦΆΣΗ.....	116
ΕΙΚΟΝΑ 149 - ΔΙΑΤΑΞΗ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΊΩΝ ΚΑΙ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΉ ΤΟΥ ΦΡΕΑΤΟΣ.....	117
ΕΙΚΟΝΑ 150 - PLAXIS 3D_3H ΑΝΑΛΥΣΗ_LINE DRAINS - Ο “ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΣ” ΚΆΝΝΑΒΟΣ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΆΙΑ ΦΆΣΗ.....	117
ΕΙΚΟΝΑ 151 - PLAXIS 3D_3H ΑΝΑΛΥΣΗ_LINE DRAINS - ΟΙ ΟΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΉΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΦΆΣΗ ΣΤΕΡΕΟΠΏΙΗΣΗΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΉΝΑΡΞΗ ΤΉΣ ΕΚΣΚΑΦΉΣ.....	118

ΕΙΚΟΝΑ 152 - PLAXIS 3D_3H ΑΝΑΛΥΣΗ_LINE DRAINS - ΟΙ ΟΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΦΑΣΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΎΝΑΡΞΗ ΤΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ.....	118
ΕΙΚΟΝΑ 153 - PLAXIS 3D_3H ΑΝΑΛΥΣΗ_LINE DRAINS - ΟΙ ΕΝΕΡΓΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ ΠΏΡΩΝ (ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ) ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ.....	119
ΕΙΚΟΝΑ 154 - PLAXIS 3D_3H ΑΝΑΛΥΣΗ_LINE DRAINS - ΟΙ ΥΠΕΡΒΟΛΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ ΠΏΡΩΝ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ.....	119
ΕΙΚΟΝΑ 155 - PLAXIS 3D_3H ΑΝΑΛΥΣΗ_LINE DRAINS - Η ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ.....	120
ΕΙΚΟΝΑ 156 - PLAXIS 3D_3H ΑΝΑΛΥΣΗ_LINE DRAINS - Η ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ.....	120
ΕΙΚΟΝΑ 157 - PLAXIS 3D_3H ΑΝΑΛΥΣΗ_LINE DRAINS- ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΔΥΝΆΜΕΩΝ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ.....	121
ΕΙΚΟΝΑ 158 - PLAXIS 3D_3H ΑΝΑΛΥΣΗ_LINE DRAINS- ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΩΝ ΔΥΝΆΜΕΩΝ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ.....	121
ΕΙΚΟΝΑ 159 - PLAXIS 3D_3H ΑΝΑΛΥΣΗ_LINE DRAINS - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΜΠΤΙΚΩΝ ΡΟΠΏΝ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ ΣΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΦΑΣΗ.....	122

#### ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1 - PLAXIS 2D_1H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΚΑΜΠΥΛΗ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ ΣΕ ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΆΝΕΙΑ ΤΟΥ ΕΔΆΦΟΥΣ.....	31
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2 - PLAXIS 2D_1H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΥΨΏΣΗΣ ΤΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ ΣΕ ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΟ ΜΕΣΟ ΤΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ.....	32
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3 - PLAXIS 2D_2H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΚΑΜΠΥΛΗ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ ΣΕ ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΆΝΕΙΑ ΤΟΥ ΕΔΆΦΟΥΣ.....	35
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4 - PLAXIS 2D_2H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΥΨΏΣΗΣ ΤΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ ΣΕ ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΟ ΜΕΣΟ ΤΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ.....	36
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5 - PLAXIS 2D_3H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΚΑΜΠΥΛΗ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ ΣΕ ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΆΝΕΙΑ ΤΟΥ ΕΔΆΦΟΥΣ.....	40
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6 - PLAXIS 2D_3H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΥΨΏΣΗΣ ΤΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ ΣΕ ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΟ ΜΕΣΟ ΤΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ.....	40
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7 - PLAXIS 2D_4H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΚΑΜΠΥΛΗ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ ΣΕ ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΆΝΕΙΑ ΤΟΥ ΕΔΆΦΟΥΣ.....	44
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8 - PLAXIS 2D_4H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΥΨΏΣΗΣ ΤΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ ΣΕ ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΟ ΜΕΣΟ ΤΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ.....	40
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9 - PLAXIS 2D_5H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΚΑΜΠΥΛΗ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ ΣΕ ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΆΝΕΙΑ ΤΟΥ ΕΔΆΦΟΥΣ.....	48
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10 - PLAXIS 2D_5H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΥΨΏΣΗΣ ΤΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ ΣΕ ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΟ ΜΕΣΟ ΤΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ.....	48
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11 - PLAXIS 2D_5H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΚΑΜΠΥΛΗ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ ΣΕ ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΟΝ ΠΥΘΜΕΝΑ ΤΟΥ ΕΔΆΦΟΥΣ.....	52
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12 - PLAXIS 2D_5H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΚΑΜΠΥΛΗ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ ΣΕ ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΆΝΕΙΑ ΤΟΥ ΕΔΆΦΟΥΣ.....	52
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13 - PLAXIS 2D_2H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΚΑΜΠΥΛΗ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ ΣΕ ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΟΝ ΠΥΘΜΕΝΑ ΤΟΥ ΕΔΆΦΟΥΣ.....	55
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14 - PLAXIS 2D_7H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΚΑΜΠΥΛΗ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ ΣΕ ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΆΝΕΙΑ ΤΟΥ ΕΔΆΦΟΥΣ.....	55
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15 - PLAXIS 2D_7H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΥΨΏΣΗΣ ΤΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ ΣΕ ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΟ ΜΕΣΟ ΤΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ.....	56
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 16 - PLAXIS 2D_8H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΚΑΜΠΥΛΗ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ ΣΕ ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΆΝΕΙΑ ΤΟΥ ΕΔΆΦΟΥΣ.....	59
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 17- PLAXIS 2D_8H ΑΝΑΛΥΣΗ - Η ΚΑΜΠΥΛΗ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ ΣΕ ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΟΝ ΠΥΘΜΕΝΑ ΤΟΥ ΕΔΆΦΟΥΣ.....	59
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 18 - ΣΧΕΣΗ ΡΥΘΜΟΥ ΆΝΤΛΗΣΗΣ ΠΗΓΑΔΙΏΝ QWELL ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΟΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΕΔΆΦΟΥΣ.....	99

ΔΙΆΓΡΑΜΜΑ 19 - Η ΚΑΜΠΎΛΗ ΟΛΙΚΉΝ ΜΕΤΑΚΙΝΉΣΕΩΝ ΣΕ ΈΝΑ ΣΗΜΕΪΟ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΆΝΕΙΑ ΤΟΥ ΕΔΆΦΟΥΣ (35,30,0).....	116
ΔΙΆΓΡΑΜΜΑ 20 - Η ΚΑΜΠΎΛΗ ΟΛΙΚΉΝ ΜΕΤΑΚΙΝΉΣΕΩΝ ΣΕ ΈΝΑ ΣΗΜΕΪΟ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΆΝΕΙΑ ΤΟΥ ΕΔΆΦΟΥΣ (35,30,0).....	122

**ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ**

ΠΪΝΑΚΑΣ 1 - ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΆ ΤΩΝ ΥΛΙΚΉΝ ΜΕ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΆ “LINEAR ELASTIC”, ΤΑ ΟΠΌΙΑ ΕΙΣΆΓΟΝΤΑΙ ΣΤΟ PLAXIS.....	22
ΠΪΝΑΚΑΣ 2 - ΙΔΪΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΉΥ ΓΙΑ ΣΤΡΉΜΑΤΑ ΕΔΆΦΟΥΣ (ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΟΗΡ – COULOMB).....	23
ΠΪΝΑΚΑΣ 3- ΙΔΪΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΉΥ ΓΙΑ ΣΤΡΉΜΑΤΑ ΕΔΆΦΟΥΣ (ΜΟΝΤΕΛΟ HARDENING SOIL).....	25
ΠΪΝΑΚΑΣ 4 - ΣΤΆΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΎΗΣ ΚΑΤΆ ΤΗΝ ΦΆΣΗ ΕΚΣΚΑΦΉΣ.....	26
ΠΪΝΑΚΑΣ 5 - ΣΎΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΉ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΉΝ ΑΝΑΛΎΣΕΩΝ ΜΕ ΧΡΉΣΗ ΤΟΥ PLAXIS 2D....	28
ΠΪΝΑΚΑΣ 6 - ΠΪΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΆΤΩΝ ΔΙΣΔΪΑΣΤΑΤΩΝ ΑΝΑΛΎΣΕΩΝ.....	60
ΠΪΝΑΚΑΣ 7 - ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΣ ΠΪΝΑΚΑΣ ΑΝΑΛΎΣΕΩΝ ΤΡΙΣΔΪΑΣΤΑΤΩΝ ΑΝΑΛΎΣΕΩΝ.....	63
ΠΪΝΑΚΑΣ 8 - ΟΙ ΦΆΣΕΙΣ ΕΚΣΚΑΦΉΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΎΗΣ ΣΤΑ ΠΗΓΑΔΙΑ.....	81
ΠΪΝΑΚΑΣ 9 -ΠΪΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΆΤΩΝ ΓΙΑ ΚΆΘΕ ΡΥΘΜΌ ΆΝΤΛΗΣΗΣ.....	99
ΠΪΝΑΚΑΣ 10 - ΟΙ ΦΆΣΕΙΣ ΕΚΣΚΑΦΉΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΎΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΣΤΡΑΓΓΗΣΤΗΡΙΑ.....	105
ΠΪΝΑΚΑΣ 11 - ΑΝΑΛΎΣΕΙΣ ΣΤΟ PLAXIS 3D ΜΕ ΧΡΉΣΗ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΪΩΝ “LINE DRAINS”.....	106
ΠΪΝΑΚΑΣ 12 - ΣΎΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΆΤΩΝ ΓΙΑ ΣΤΡΑΓΓΗΣΤΗΡΙΑ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΌ ΚΑΝΝΑΒΟ.....	123

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### 1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάγκη των σύγχρονων πόλεων να επεκταθούν χωρίς βέβαια να υπάρχει χώρος στην επιφάνεια είχε ως συνέπεια την ανάπτυξη υπόγειων κατασκευών κυρίως για βιομηχανική χρήση. Ένας από τους κύριους στόχους της γεωτεχνικής μηχανικής είναι η μελέτη των εδαφών και της αλληλεπίδρασης αυτών με κάθε τύπο δομής που μπορούν να υποστηρίξουν.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να εξετάσει την κατασκευή ενός κυλινδρικού φρέατος εξαερισμού βάθους 24 μέτρων σε ένα έδαφος αποτελούμενο από δύο εδαφικές στρώσεις, όπου η κάθε μια αντιπροσωπεύει ένα διαφορετικό σχηματισμό, αποτελούμενο κυρίως από εδάφη χαμηλής συνεκτικότητας, και την υποστήριξη αυτού με προκατασκευασμένα στοιχεία από σκυρόδεμα που παρέχουν σταθερότητα στην εκσκαφή και εναντιώνονται στις κινήσεις που προκαλούνται από τις πιέσεις του εδάφους.

Οι αριθμητικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με χρήση προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων συγκεκριμένα του λογισμικού "PLAXIS" σε "PLAXIS 2D" και "PLAXIS 3D" για την προσομοίωση της εκσκαφής και της διαδικασίας κατασκευής.

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώθηκε στα εξής:

1. Προσομοίωση δισδιάστατων και τρισδιάστατων μοντέλων ικανών να προσομοιώνουν την εκσκαφή και την δομική απόκριση του φρέατος.
2. Εύρεση της κατανομής των τάσεων και των παραμορφώσεων περιμετρικά του φρέατος με ή χωρίς την παρουσία νερού.
3. Εύρεση της κρίσιμης φάσης κατασκευής τόσο σε ξηρές συνθήκες όσο και με παρουσία νερού.
4. Προσομοίωση φρέατος με παρουσία νερού και προσπάθεια αντιμετώπισης ζητημάτων που σχετίζονται με την υδατική ροή με χρήση πηγαδιών κατά την διαδικασία κατασκευής.
5. Παραμετρικές αναλύσεις σχετικά με την επίδραση του ρυθμού άντλησης των πηγαδιών στον υποβιβασμό υδροφόρου ορίζοντα αλλά και στην κρίσιμη φάση κατασκευής και σύγκριση αποτελεσμάτων.
6. Προσομοίωση φρέατος με παρουσία νερού και προσπάθεια υποβιβασμού του υδροφόρου ορίζοντα με χρήση στραγγιστηρίων κατά την διαδικασία κατασκευής.

### 1.2 ΦΡΕΑΤΙΟ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

Σύμφωνα με τους Muramatsu και Abe (1996), ένα φρεάτιο αερισμού ορίζεται σαν μια κατασκευή με βάθος μεγαλύτερο από το πλάτος της. Τα φρεάτια κατασκευάζονται κυρίως για να διευκολύνουν την κατασκευή μιας σήραγγας, για να παρέχουν αερισμό στην σήραγγα ή σε μια υπόγεια κατασκευή και για πρόσβαση ή οδό διαφυγής σε υπόγεια κατασκευή. Υπάρχει μια σειρά από μεθόδους κατασκευής για την κατασκευή φρεάτων. Η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου κατασκευής εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπως από τον τύπο του εδάφους, τον απαιτούμενο χώρο εργασίας, το βάθος της σήραγγας, το ύψος του υπόγειο υδροφόρου ορίζοντα, κ.λπ..

### 1.3 ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

Υπάρχουν αρκετοί μέθοδοι αντιστήριξης ενός φρέατος στη διεθνή βιβλιογραφία. Η κάθε μέθοδος αντιστήριξης της κατασκευής έχει μια σειρά από πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν κατά την κατασκευή του φρέατος.

Σύμφωνα με τον Boyce στο Rush (2012) οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι αντιστήριξης φρεάτων, από τις απλούστερες έως τις πιο σύνθετες είναι:

- ✓ Trench boxes and speed slide rails
- ✓ Soldier piles and wood lagging (or steel plates)
- ✓ Liner plates
- ✓ Precast segments
- ✓ Conventional excavation with rock dowels and shotcrete
- ✓ Sheet piles
- ✓ Secant piles
- ✓ Drilled shafts.
- ✓ Cutter soil mixing
- ✓ Slurry walls
- ✓ Ground freezing
- ✓ Caissons

Ορισμένες από τις παραπάνω μεθόδους ενδείκνυνται για υποστήριξη εδαφών, ορισμένες για κατασκευή πάνω από το επίπεδο του υπογείου υδροφορέα και κάποιες έχουν ως περιοριστικό παράγοντα το βάθος εκσκαφής.

Οι κατασκευές των αντιστηρίξεων στοχεύουν στην αποτροπή κατάρρευσης του εδάφους κατά την εκσκαφή. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω δεν είναι όλοι οι τύποι κατασκευής υποστήριξης πάντα κατάλληλοι. Η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τις συνθήκες εδάφους και τον σκοπό του φρέατος.

Η υποστήριξη της εκσκαφής έχει πάντα ένα ποσοστό αστοχίας διότι οι υπόγειες συνθήκες είναι δύσκολο να προβλεφθούν με απόλυτη ακρίβεια, ενώ οι πιο σημαντικοί παράγοντες είναι:

1. Οι εδαφικές συνθήκες
2. Η διάμετρος του φρεατίου
3. Η χρήση του φρεατίου

### 1.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Σύμφωνα με τους Aye et al. (2014) για να κατασκευαστούν φρέατα μεγάλης διαμέτρου χρησιμοποιείται η μέθοδος της διαδοχικής εκσκαφής. Στη συγκεκριμένη μέθοδο, τα προκατασκευασμένα στοιχεία τοποθετούνται προοδευτικά μέχρι την βάση της εκσκαφής. Κυκλικοί δακτύλιοι δημιουργούνται και το κενό μεταξύ της κατασκευής και των κατακόρυφων παρειών ενεματώνεται αμέσως.

Η διαδικασία εκσκαφής και εγκατάστασης πραγματοποιείται ως εξής:

1. Γύρω από τον πρώτο προκατασκευασμένο δακτύλιο, “segmental ring”, προβλέπεται η κατασκευή ενός περιμετρικού δακτυλίου από “έγχυτο” σκυρόδεμα με ταυτόχρονη απαίτηση συνάφειας μεταξύ των δύο.
2. Μετά από κάθε βήμα εκσκαφής τοποθετείται το “segmental ring” και ενεματώνεται το κενό. Το γεγονός αυτό μειώνει τον κίνδυνο υπερφόρτισης των ανωτέρω δακτυλίων και αποφεύγεται η κατάρρευση του έργου λόγω απώλειας συνάφειας της κατασκευής με το περιβάλλον έδαφος.
3. Η εκσκαφή του πυθμένα συνεχίζεται μόνο όταν εξασφαλιστεί η ικανοποιητική αντοχή του ενέματος.
4. Τα προκατασκευασμένα στοιχεία τοποθετούνται με τη βοήθεια ειδικού αναρτήρα. (Εικόνα 1)



Εικόνα 1 Ανέγερση προκατασκευασμένων τμημάτων για Ref. National Grid (2015).

Στην παραπάνω Εικόνα φαίνεται η μέθοδος κατασκευής του φρέατος.

Τα προκατασκευασμένα τμήματα αντιπροσωπεύουν μια οικονομική και ασφαλή λύση για μόνιμες και προσωρινές υπόγειες κατασκευές που τις καθιστούν ιδανικές για ποικίλες εφαρμογές συμπεριλαμβανομένων των φρεατίων εξαερισμού. Τα κύρια πλεονεκτήματά τους είναι:

1. Εξοικονόμηση κόστους
2. Καινοτόμος σχεδιασμός
3. Ασφαλές εργασιακό περιβάλλον
4. Ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

## 1.5 ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ

Κατά την διαδικασία κατασκευής φρέατος κυκλικής διατομής μειώνεται η οριζόντια πίεση του εδάφους με αποτέλεσμα να προκαλούνται μετακινήσεις στο έδαφος. Οι μετακινήσεις μπορούν να συμβούν όχι μόνο κατά την διάρκεια της τοποθέτησης της επένδυσης (lining) , αλλά ακόμη και κατά το σχηματισμό της κοιλότητας του φρέατος.



Στην διεθνή βιβλιογραφία μικρός αριθμός μελετών σχετίζει τις καθιζήσεις με την κατασκευή φρεάτων. Σύμφωνα με έρευνες υπάρχουν διαφορετικοί λόγοι που μπορούν να προκαλέσουν καθιζήσεις στο έδαφος όπως:

1. Η εκσκαφή
2. Καθιζήσεις από την τοποθέτηση συστήματος αντιστήριξης
3. Καθιζήσεις λόγω υποβιβασμού του υδροφόρου ορίζοντα

Σύμφωνα με τους Faustin et al. (2018), οι επιτόπιες παρατηρήσεις έδειξαν ότι οι καθιζήσεις στην κατασκευή φρέατος εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την μέθοδο εκσκαφής του. Βέβαια οι καθιζήσεις που προκύπτουν από την εγκατάσταση προκατασκευασμένων στοιχείων ή κατά την διαδικασία αποστράγγισης δεν πρέπει να παραλείπονται.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΡΟΗ ΝΕΡΟΥ

#### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο υπέδαφος το νερό μπορεί να είναι υπό στατικές συνθήκες χωρίς ροή. Όταν το υπόγειο νερό βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας, οι πιέσεις του νερού είναι υδροστατικές. Ωστόσο, όταν υπάρχει ροή νερού στο έδαφος, οι συνθήκες δεν είναι πλέον υδροστατικές και η πίεση του νερού εξαρτάται από τις συνθήκες ροής. Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις όπου τα υπόγεια ύδατα βρίσκονται αρχικά σε κατάσταση ηρεμίας, και στην συνέχεια εμφανίζουν συνθήκες ροής όπως για παράδειγμα λόγω υποβιβασμού του υδροφόρου ορίζοντα κατά την διάρκεια εκσκαφής μιας υπόγειας κατασκευής.

#### 2.2 ΡΟΗ ΝΕΡΟΥ ΔΙΑΜΕΣΟΥ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Το πρόβλημα της ροής του νερού στο έδαφος παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Σε ορισμένες περιπτώσεις βέβαια, η υδατική ροή μέσω του εδάφους είναι επιθυμητή, για παράδειγμα όταν χρειάζεται να αντλήσουμε νερό από τον υδροφόρο ορίζοντα. Όλα τα στοιχεία του εδάφους είναι διαπερατά καθώς τα κενά των πόρων τους επικοινωνούν μεταξύ τους και σχηματίζουν διόδους. Στη συνέχεια, το νερό κινείται μέσα από διασυνδεδεμένα κενά. Η ταχύτητα ροής του νερού μέσα από τα κενά εξαρτάται από το μέγεθος και την διάταξη των κόκκων με αποτέλεσμα την διακύμανση της διαπερατότητας των υλικών του εδάφους.

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα όπου εμπλέκεται η ροή του νερού στο έδαφος είναι η ποσότητα του νερού που διεισδύει στο εσωτερικό της εκσκαφής κάτω από την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Σε αυτή την περίπτωση τα νερά που εισέρχονται, εκτός από το ότι εμποδίζουν την διαδικασία κατασκευής στο εσωτερικό της εκσκαφής, χαλαρώνουν το έδαφος, με αποτέλεσμα την κατάρρευση των πλευρών της εκσκαφής και την χαλάρωση του πυθμένα του φρέατος.

#### 2.3 ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ

Ο συντελεστής  $k$  χαρακτηρίζει την διαπερατότητα του εδάφους. Μεγάλη τιμή του συντελεστή διαπερατότητας σημαίνει και μεγάλη ευκολία του νερού να διέρχεται μέσα από τα κενά του εδαφικού υλικού, και το αντίστροφο. Ο συντελεστής διαπερατότητας εξαρτάται άμεσα από το εδαφικό υλικό αλλά και από την συμπύκνωσή του.

Διαπερατότητες  $k_x$ ,  $k_y$  και  $k_z$  ή συντελεστές διαπερατότητας έχουν τις διαστάσεις της ταχύτητας (μονάδα μήκους ανά μονάδα χρόνου). Ειδικότερα, όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής διαπερατότητας, τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα ροής στο υλικό του εδάφους, εάν τα υπόλοιπα μεγέθη διατηρούνται σταθερά. Αυτός ο παράγοντας εξαρτάται από το μέγεθος των κόκκων του εδάφους και επομένως δεν είναι ιδιότητα του υλικού, αλλά αλλάζει όταν αλλάζει ο βαθμός της συμπύκνωσης. Μια άμμος έχει μεγαλύτερη διαπερατότητα όταν είναι χαλαρή παρά όταν συμπυκνώνεται σε μια πυκνή δομή. Η εισαγωγή παραμέτρων διαπερατότητας απαιτείται για τους υπολογισμούς ροής και μεταβολών συμπύκνωσης.

## 2.4 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι για τον έλεγχο των υπόγειων υδάτων :

1. Η κατασκευή διαφραγμάτων από μεταλλικές πασσαλοσανίδες ή από υδατοστεγανούς διαφραγματικούς τοίχους από τσιμεντο-μπετονιτικά αιωρήματα.
2. Η προσωρινή ή μόνιμη αλλαγή της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα.

Σύμφωνα με τον Datta et al (2005) , όταν εκτελούνται εργασίες κάτω από την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι επιθυμητή η μείωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα με σκοπό την αποτροπή ύπαρξης νερού στην εκσκαφή και την αποτροπή κατάρρευσης των πρανών. Αυτό επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους:

1. Συλλογή νερού σε φρεάτια και άντληση.
2. Εγκατάσταση πηγαδιών ή βαθιών πηγαδιών και άντληση νερού.
3. Χρήση ειδικών τεχνικών σε λεπτόκκοκα εδάφη όπως ηλεκτροώσμωση.

Στην περίπτωση για παράδειγμα των πρανών και των εκσκαφών το ύψος των υπόγειων υδάτων μπορεί να μειωθεί χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό μεθόδων όπως βαθιά πηγάδια, πηγάδια , φρεάτια κενού και οριζόντια πηγάδια. Βαθιά πηγάδια χρησιμοποιούνται συχνά για αποστράγγιση πρανών και για εκσκαφές όταν απαιτούνται μεγάλες αναλήψεις νερού. Αυτός ο τύπος συστήματος αποτελείται από μια σειρά από φρεάτια άντλησης που βρίσκονται κοντά στην εκσκαφή ή την πλαγιά.

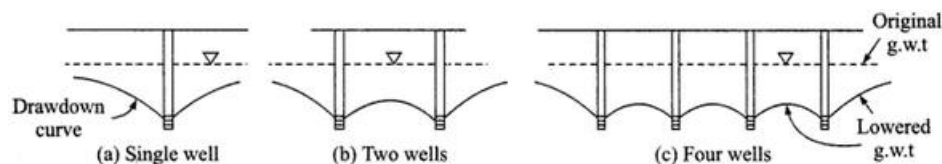
Όπως είναι σαφές από τα παραπάνω, υπάρχουν πολλές μέθοδοι μείωσης της φρεατικής επιφάνειας. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, το βάθος και την έκταση της εκσκαφής, το βάθος του αδιαπέρατου υποστρώματος, την φύση του εδάφους με ιδιαίτερη αναφορά στην κοκκομετρία.

## 2.5 ΠΗΓΑΔΙΑ

Ένα πηγάδι είναι μια εκσκαφή που χρησιμοποιείται για την άντληση νερού.

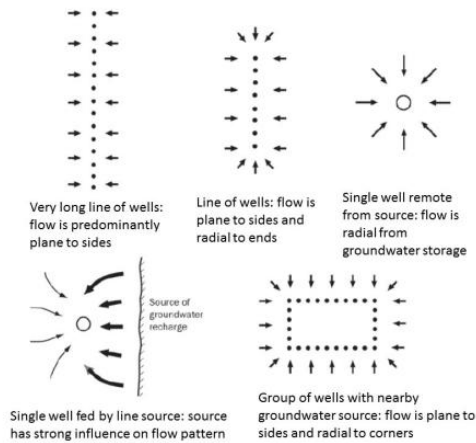
Ο γενικός στόχος του σχεδιασμού είναι να δημιουργηθεί ένα δομικά σταθερό, μακράς διάρκειας, αποδοτικό φρεάτιο που να έχει αρκετό χώρο για να στεγάσει αντλίες ή άλλες συσκευές εξόρυξης επιτρέποντας στο υπόγειο νερό να μετακινηθεί αβίαστα.

Πιο συχνά, χρησιμοποιείται μια ομάδα πηγαδιών. Σε περίπτωση εκσκαφής νερού από το υπέδαφος μέσω μιας ομάδας φρεατίων, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι όταν τα πηγάδια βρίσκονται σε αμοιβαία απόσταση, μικρότερη από την ακτίνα επιρροής τους  $R$ , κάθε φρεάτιο λειτουργεί σε συνδυασμό με τα άλλα γειτονικά φρεάτια και επομένως, η μείωση της στάθμης των υπόγειων υδάτων ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα της υποβίβασης νερού που παράγεται από κάθε πηγάδι (Chiesa, 1994).



Εικόνα 2 - Υποβίβασιμος υδροφόρου ορίζοντα για ένα πηγάδι, δύο και τέσσερα πηγάδια, Datta et al (2005).

Στην Εικόνα 3 απεικονίζονται κάποιες κατόψεις από διαφορετικά συστήματα ομάδων πηγαδιών . Ειδικότερα, πηγάδια τοποθετημένα στις κορυφές του τετραγώνου, πηγάδια κατά μήκος μιας περιφέρειας, πηγάδια τοποθετημένα κατά μήκος δύο παράλληλων γραμμών και πηγάδια τοποθετημένα κατά μήκος των πλευρών ενός ορθογωνίου. Στην περίπτωση φρεατίων κατά μήκος μιας περιφέρειας, η υποβίβαση είναι ίση με αυτή που δίνεται από ένα φρεάτιο τοποθετημένο στο κέντρο και με χωρητικότητα  $nQ$ , όπου  $n$  ο αριθμός των φρεατίων και  $Q$  η συνολική εκκένωση κάθε φρεατίου ( $m^3 / \mu\kappa\rho\rho$ ).



Εικόνα 3 - Μερικά παραδείγματα ομάδων πηγαδιών (Chiesa, 1994).

## 2.5 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΟΤΕΡΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η προσομοίωση της εκσκαφής και της υποστήριξης του κατακόρυφου φρέατος το οποίο διανοίγεται σε εδαφικούς σχηματισμούς και υποστηρίζεται με προκατασκευασμένα στοιχεία σύμφωνα με την μέθοδο εκσκαφής που περιγράφηκε παραπάνω. Η επίλυση γίνεται με τη βοήθεια της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων τόσο σε δισδιάστατη ανάλυση όσο και σε τρισδιάστατη. Επιπλέον, οι αναλύσεις πραγματοποιούνται τόσο σε ξηρές συνθήκες όσο και με παρουσία νερού. Τέλος, πραγματοποιείται μια σειρά από αναλύσεις με σκοπό την διαχείριση των υπόγειων υδάτων μέσω υποβιβασμού του υδροφόρου ορίζοντα με χρήση πηγαδιών και κατακόρυφων στραγγιστηρίων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3.1 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΙΩΜΑ

Στην παρούσα εργασία προσομοιώνεται η εκσκαφή και υποστήριξη κατακόρυφου φρέατος με την μέθοδο διαδοχικής εκσκαφής όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 1. Η εκσκαφή του πυθμένα γίνεται με μηχανικά μέσα – σε φάσεις κατασκευής – και η υποστήριξη, αποτελείται από προκατασκευασμένα στοιχεία, που τοποθετούνται μέχρι τον πυθμένα του φρέατος. Οι βασικές παραδοχές του έργου είναι οι εξής:

1. Οι εδαφικοί σχηματισμοί είναι οριζόντιοι έτσι ώστε το αριθμητικό προσομοίωμα να είναι αξονοσυμμετρικό.
2. Η εκσκαφή και υποστήριξη γίνεται σε “ξηρές” συνθήκες.
3. Η διάμετρος του φρέατος προσομοιώνεται σε 10m και 16m.
4. Το τελικό βάθος του πυθμένα είναι στα 24m για όλες τις αριθμητικές αναλύσεις.
5. Οι εδαφικοί σχηματισμοί συμπεριφέρονται σύμφωνα με τα κριτήρια “Mohr–Coulomb” και “Hardening Soil”.

Τα προκατασκευασμένα στοιχεία (segments) έχουν πάχος 30cm και ύψος 1.5m.

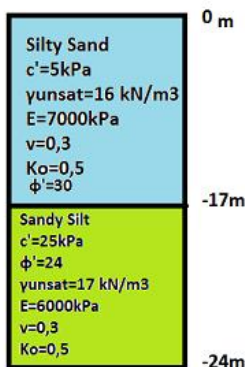
Οι αναλύσεις πραγματοποιούνται με “Stress analysis” και με “Deformation analysis”

Στον πυθμένα τοποθετείται στρώση “έγχυτου” σκυροδέματος πάχους 15cm.

Όλες οι αναλύσεις πραγματοποιούνται με την επιλογή “Staged Construction” σε 17 φάσεις εκσκαφής και υποστήριξης.

### 3.2 ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΣΤΡΩΣΕΙΣ

Το κατακόρυφο φρεάτιο βάθους 24μέτρων κατασκευάστηκε εντός δύο διαφορετικών εδαφικών στρώσεων. Στα πρώτα 17 μέτρα το φρέαρ διανοίγεται σε “ιλυώδεις άμμους” και στα υπολειπόμενα 7 μέτρα σε “αμμώδεις ιλείς” όπως φαίνεται στο παρακάτω σκαρίφημα (Εικόνα 4). Οι εδαφικοί σχηματισμοί συμπεριφέρονται σύμφωνα με τα κριτήρια “Mohr–Coulomb” και “Hardening Soil”.



Εικόνα 4 - Τυπική τομή εδαφικών σχηματισμών στον κατακόρυφο άξονα.

### 3.3 LINEAR ELASTIC MODEL

Οι κατασκευές του προσομοιώματος δηλαδή η πλευρική επένδυση (lining) και η λεπτή στρώση σκυροδέματος πυθμένα (lean concrete) βασίστηκαν στο κριτήριο συμπεριφοράς Linear Elastic. Το Linear Elastic μοντέλο βασίζεται στον νόμο του Hooke για την ισότροπη ελαστικότητα, και περιλαμβάνει δύο βασικές παραμέτρους, το Μέτρο Ελαστικότητας του Young (E) και τον λόγο Poisson ( $\nu$ ).

Στην μελέτη αυτή χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα υλικά:

1. Προκατασκευασμένα τμήματα σκυροδέματος (lining) C40/50.
2. Λεπτή στρώση σκυροδέματος (lean concrete) C16/20.
3. Ενισχυμένος χάλυβας B500C.

Στον Πίνακα 1 φαίνονται τα χαρακτηριστικά των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν.

Parameter	Name	Lining	Lean Concrete	Unit
<b>General</b>				
Material model	Model	Linear Elastic	Linear Elastic	-
Drainage Type	TYPE	Non porous	Non porous	-
Unit weight above phreatic level	$\gamma_{unsat}$	25	25	kN/m <sup>3</sup>
<b>Parameters</b>				
Effective Young's modulus	E'	$35 \cdot 10^6$	$27,5 \cdot 10^6$	kN/m <sup>2</sup>
Effective Poisson's	$\nu'$	0,2	0,2	
Normal stiffness	EA	$10,5 \cdot 10^6$	$4,125 \cdot 10^6$	kN/m
Flexural rigidity	EI	78750	7734	kNm <sup>2</sup> /m
Weight	w	4	2.25	kN/m/m

Πίνακας 1 : Τα χαρακτηριστικά των υλικών με συμπεριφορά "linear elastic", τα οποία εισάγονται στο Plaxis.

### 3.4 ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΜΟHR – COULOMB

Πρόκειται για το ελαστικό – απολύτως πλαστικό κριτήριο αστοχίας "Mohr – Coulomb", σύμφωνα με το οποίο συμπεριφέρονται οι εδαφικοί σχηματισμοί, το λογισμικό PLAXIS απαιτεί να εισαχθούν πέντε παράμετροι η γωνία τριβής  $\phi$ , η συνοχή  $c$ , το Μέτρο Ελαστικότητας του Young (E), ο λόγος Poisson ( $\nu$ ) και γωνία διαστολικότητας  $\psi$  για την αντοχή.

Το κριτήριο είναι χρήσιμο για μια πρώτη εκτίμηση των παραμορφώσεων και περιγράφει πολύ αποτελεσματικά την κατανομή των τάσεων στα εδαφικά στοιχεία κατά την αστοχία. Στον Πίνακα 2 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των δύο στρώσεων στις περιπτώσεις που συμπεριφέρονται σύμφωνα με το κριτήριο Mohr Coulomb.

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΡΕΑΤΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

Parameter	Name	Silty sand	Sandy silt	Sandy silt Interface	Unit
<b>General</b>					
Material model	Model	Mohr Coulomb model	Mohr Coulomb model	Mohr Coulomb model	-
Drainage Type	TYPE	Drained	Drained	Drained	-
Unit weight above phreatic level	$\gamma_{unsat}$	16	17	17	kN/m <sup>3</sup>
Unit weight below phreatic level	$\gamma_{sat}$	20	20	20	kN/m <sup>3</sup>
<b>Parameters</b>					
Effective Young's modulus	E'	7000	6000	6000	kN/m <sup>2</sup>
Effective Poisson's ratio	$\nu'$	0,3	0,3	0,3	
Cohesion	$c'_{ref}$	5	25	0	kN/m <sup>2</sup>
Friction angle	$\varphi'$	30	24	24	-
Dilatancy angle	$\psi$	0.0	0.0	0.0	-
Normal stiffness	EA				kN/m
Flexural rigidity	EI				kNm <sup>2</sup> /m
Weight	w				kN/m/m
<b>Flow parameters</b>					
Data Set	-	Standard	Standard	Standard	-
Soil Type	-	Coarse	Medium	Medium	-
<2 $\mu$ m	-	10	19	19	%
2 $\mu$ m - 50 $\mu$ m	-	13	41	41	%
50 $\mu$ m-2mm	-	77	40	40	%
Set parameters to default	-	YES	YES	YES	-
Permeability in horizontal direction	$k_x, k_y$	$6,944 \cdot 10^{-8}$	$1,396 \cdot 10^{-6}$	$1,396 \cdot 10^{-6}$	m/s
Permeability in vertical direction	$k_z$	$6,944 \cdot 10^{-8}$	$1,396 \cdot 10^{-6}$	$1,396 \cdot 10^{-6}$	m/s
<b>Interfaces</b>					
Interface strength	-	Manual	Manual	Manual	-
Interface reduction factor	$R_{inter}$	0,7	0,5	0,5	-
<b>Initial</b>					
Ko determination	-		Automatic	Automatic	-
Lateral earth pressure coefficient	$K_o$		0.5000	0.5933	-
Concrete thickness	d				m

Πίνακας 2: Ιδιότητες υλικού για τα στρώματα εδάφους (μοντέλο Mohr – Coulomb).

### 3.5 ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ HARDENING SOIL

Το μοντέλο “Hardening Soil” είναι ένα προηγμένο μοντέλο για την προσομοίωση της συμπεριφοράς διαφορετικών τύπων εδάφους, τόσο σε μαλακό όσο και σκληρό έδαφος (Schanz, 1998 στο Εγχειρίδιο μοντέλου υλικού Plaxis, 2019). Εκτός των πέντε παραμέτρων που αναφέρθηκαν προηγουμένως στο Κριτήριο “Mohr Coulomb”, στο μοντέλο Hardening Soil εισάγονται τρεις επιπλέον παράμετροι που περιγράφουν την δυσστησία του εδάφους:

1. Η δυσστησία κατά την φόρτιση σε τριαξονική δοκιμή ( $E_{50}^{ref}$ ).
2. Η δυσστησία κατά την αποφόρτιση σε τριαξονική δοκιμή ( $E_{ur}^{ref}$ ).
3. Η δυσστησία κατά την φόρτιση σε δοκιμή συμπίεσόμετρου ( $E_{oed}^{ref}$ ).

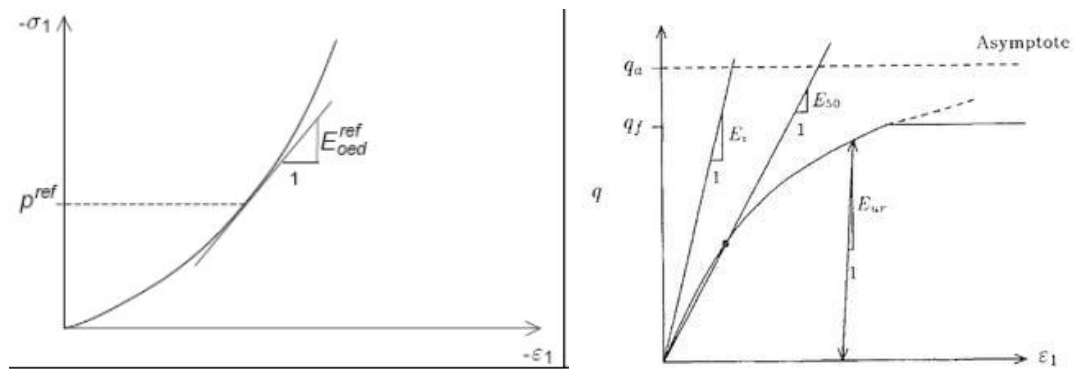
Το σύνολο παραμέτρων εξαρτάται από τις ακόλουθες σύνθετες παραμέτρους:

1. ( $E_{ur}^{ref}$ ) δυσστησία φόρτισης/αποφόρτισης,
2. ( $\nu'_{ur}$ ) λόγος Poisson για φόρτιση/αποφόρτιση,
3. ( $P_{ref}$ ) πίεση αναφοράς,
4. ( $k_{0nc}$ ) τιμή  $k_0$  και

5.  $(R_f)$ , λόγος αστοχίας  $q_f/q_u$ .

Στην παρούσα διπλωματική για την προσομοίωση του φρέατος, χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες μέσες τιμές για κάθε εδαφική στρώση:  $E_{oed}^{ref} = 2 * E_{50}^{ref}$  και  $E_{ur}^{ref} = 4 E_{50}^{ref}$

Οι παραπάνω χαρακτηριστικές τιμές αντιστοιχούν σε μια πίεση αναφοράς  $p_{ref} = 100$  kPa και είναι οι μοναδικές τιμές δοκιμών που απαιτούνται στο Plaxis. Κατά την διάρκεια της φόρτισης και της αποφόρτισης, το κριτήριο “Hardening Soil” θεωρεί ότι το έδαφος συμπεριφέρεται ελαστικά. Ωστόσο το εύρος των παραμορφώσεων στο οποίο το έδαφος συμπεριφέρεται ελαστικά είναι πολύ μικρό και η συμπεριφορά του χαρακτηρίζεται ως υστερητική.



Εικόνα 5 - Ο καθορισμός του  $E_{oed}^{ref}$  μετά από αποτελέσματα δοκιμής συμπίεσομέτρου και η ελαστική συμπεριφορά του εδάφους κατά την αποφόρτιση-επαναφόρτιση σύμφωνα με το κριτήριο “Hardening Soil”.

Στον Πίνακα 3 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των δύο στρώσεων στις περιπτώσεις που συμπεριφέρονται σύμφωνα με το κριτήριο “Hardening Soil”.



ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΡΕΑΤΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

Parameter	Name	Silty sand	Sandy silt	Sandy silt Interface	Unit
<b>General</b>					
Material model	Model	H.S. model	H.S. Model	Hardening Soil model	-
Drainage Type	TYPE	Drained	Drained	Drained	-
phreatic level	$\gamma_{unsat}$	16	17	17	kN/m <sup>3</sup>
Unit weight below phreatic level	$\gamma_{sat}$	20	20	20	kN/m <sup>3</sup>
<b>Parameters</b>					
Secant stiffness for CD triaxial test	$E_{50}^{ref}$	14000	6000	6000	kN/m <sup>2</sup>
Tangent oedometer stiffness	$E_{oed}^{ref}$	7000	0,3	0,3	kN/m <sup>3</sup>
Unloading/reloading stiffness	$E_{ur}^{ref}$	56000	25	0	kN/m <sup>2</sup>
Power for stress level dependency of stiffness	m	0.5			-
Friction angle	$\varphi'$	30	24	24	kN/m <sup>2</sup>
Dilatancy angle	$\psi$	0.0	0.0	0.0	-
Normal stiffness	EA				-
Flexural rigidity	EI				kN/m
Weight	w				kNm <sup>2</sup> /m
Poisson's ratio	$\nu'_{ur}$	0.2	0.2	0.2	-
Reference stress for stiffness	$P_{ref}$	100	100	100	kN/m <sup>2</sup>
Stress ratio in normally consolidated state	$K_o^{nc}$	0.45	0.45	0.45	
<b>Flow parameters</b>					
Data Set	-	Standard	Standard	Standard	-
Soil Type	-	Coarse	Medium	Medium	-
<2 $\mu$ m	-	10	19	19	%
2 $\mu$ m - 50 $\mu$ m	-	13	41	41	%
50 $\mu$ m-2mm	-	77	40	40	%
Set parameters to default	-	YES	YES	YES	-
direction	$k_x, k_y$	$6,944 \cdot 10^{-8}$	$1,396 \cdot 10^{-6}$	$1,396 \cdot 10^{-6}$	m/s
direction	$k_z$	$6,944 \cdot 10^{-8}$	$1,396 \cdot 10^{-6}$	$1,396 \cdot 10^{-6}$	m/s
<b>Interfaces</b>					
Interface strength	-	Manual	Manual	Manual	-
Interface reduction factor	$R_{inter}$	0.7			
Consider gap closure	-	Yes	Yes	Yes	-
<b>Initial</b>					
Ko determination	-	Automatic	Automatic	Automatic	-
Lateral earth pressure coefficient	$K_o$	0.500	0.5933	0.5933	-
Over-consolidation ratio	OCR	1.0	1.0	1.0	
Pre-overbuden pressure	POP	0.0	0.0	0.0	kN/m <sup>2</sup>
Concrete thickness	d				m

Πίνακας 3: Ιδιότητες υλικού για στρώματα εδάφους (μοντέλο Hardening Soil).

### 3.6 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ

Ο συντελεστής διαπερατότητας εξαρτάται από το είδος εδαφικού υλικού και από την σχετική πυκνότητα (ή συμπίκνωση του).

Για την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε συντελεστής διαπερατότητας ή υδραυλικής αγωγιμότητας  $k$  για τα στρώματα του εδάφους θεωρήθηκε:

Για **Silty SAND**  $\rightarrow k = 6,944 \times 10^{-8}$  m/sec.

Για **Sandy SILT**  $\rightarrow k = 1,396 \times 10^{-6}$  m/sec.

### 3.7 ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Όπως περιγράφεται αναλυτικά στο πρώτο κεφάλαιο επιλέγεται η μέθοδος διαδοχικής εκσκαφής για την κατασκευή φρεάτων με σχετικά μεγάλη διάμετρο. Η προαναφερθείσα μέθοδος εφαρμόζεται με δύο τρόπους, ο καθένας αντιστοιχεί σε διαφορετικό τύπο ανάλυσης:

- **Deformation Analysis - Ανάλυση παραμόρφωσης**

Αρχικά γίνεται η εκσκαφή με βήμα 1,5 μέτρα και στο επόμενο βήμα εγκαθίσταται η επένδυση. Επομένως, λαμβάνουν χώρα πλήρεις παραμορφώσεις εδάφους.

- **Stress Analysis - Ανάλυση τάσεων**

Η επένδυση (lining) τοποθετείται ταυτόχρονα με την εκσκαφή και κατά συνέπεια οι μέγιστες τάσεις προκαλούνται στην επένδυση. Οι παραμορφώσεις του εδάφους είναι περιορισμένες.

Στον Πίνακα 4 που ακολουθεί απεικονίζονται τα στάδια κατασκευής σε κάθε φάση για το κάθε τύπο ανάλυσης.

Φάσεις	Βάθος Εκσκαφής	Ανάλυση Παραμόρφωσης	Ανάλυση Στρες
1	-1,5		-1,5
2	-3	-1,5	-3
3	-4,5	-3	-4,5
4	-6	-4,5	-6
5	-7,5	-6	-7,5
6	-9	-7,5	-9
7	-10,5	-9	-10,5
8	-12	-10,5	-12
9	-13,5	-12	-13,5
10	-15	-13,5	-15
11	-16,5	-15	-16,5
12	-18	-16,5	-18
13	19,5	-18	19,5
14	-21	19,5	-21
15	-22,5	-21	-22,5
16	-24	-22,5	-24.0 και τοποθέτηση lean concrete στην βάση της κατασκευής
17		-24.0 και τοποθέτηση lean concrete στην βάση της κατασκευής	

Πίνακας 4 - Στάδια κατασκευής κατά την φάση εκσκαφής.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

## Plaxis 2D Προσομοίωση

### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν Κεφάλαιο περιγράφεται η προσομοίωση ενός κατακόρυφου φρέατος με την διαδικασία σταδιακής εκσκαφής και της στήριξης αυτού, χρησιμοποιώντας προκατασκευασμένα τμήματα από σκυρόδεμα. Πραγματοποιούνται αναλύσεις δύο διαστάσεων με εφαρμογή της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων, συγκεκριμένα στο Plaxis 2D. Στην συνέχεια αναφέρονται οι διάφορες παραδοχές, οι διάφορες αναλύσεις που διεξήχθησαν καθώς και τα αποτελέσματα αυτών.

### 4.2 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Η διαδικασία προσομοίωσης με εφαρμογή της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων στο Plaxis 2D βασίστηκε στις εξής παραδοχές:

1. Ως μοντέλο επιλέχθηκε ένα αξονοσυμμετρικό, αντί για ένα μοντέλο απλής παραμόρφωσης, γιατί επιτρέπει την ανάλυση μιας τρισδιάστατης εκσκαφής η οποία περιστρέφεται συμμετρικά γύρω από το κέντρο του. Παρόλο, που εισάγονται στο λογισμικό σε δύο διαστάσεις τα αποτελέσματα ισχύουν και για το τρισδιάστατο πρόβλημα. Επειδή το μοντέλο είναι αξονοσυμμετρικό οι δύο συνιστώσες των μετατοπίσεων ( $u_x$ ,  $u_y$ ) ορίζουν πλήρως την κατάσταση των τάσεων και των παραμορφώσεων σε κάθε σημείο της εκσκαφής.
2. Τα εδαφικά στρώματα θεωρούνται απολύτως οριζόντια, όπως και τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται συμμετρικά.
3. Οι αναλύσεις διεξάγονται σε ξηρές συνθήκες. Προβλήματα που σχετίζονται με ροή δεν μπορούν να αναλυθούν σε δισδιάστατες αναλύσεις αξονοσυμμετρικών μοντέλων.
4. Η υπόθεση του βάθους κάθε βήματος βασίζεται στη διάσταση των προκατασκευασμένων στοιχείων από σκυρόδεμα, δηλαδή 1,5 μέτρα ύψος και 30 εκατοστά πάχος.
5. Για την αναπαράσταση της συμπεριφοράς του εδάφους χρησιμοποιούνται τα καταστατικά μοντέλα Mohr Coulomb και Hardening Soil.
6. Οι διαστάσεις του καννάβου του αριθμητικού προσομοιώματος ορίστηκαν  $x_{min}=0$ ,  $x_{max}=30$  και  $y_{min}=-60$ ,  $y_{max}=0$ .

### 4.3 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Η προσομοίωση του μοντέλου στο λογισμικό "Plaxis 2D" βασίστηκε στην μεταπτυχιακή εργασία του Ενρίκο Μουστάκιο "Simulation of a cylindrical shaft with F.E.M". Πραγματοποιήθηκαν μια σειρά από παραμετρικές αναλύσεις οι οποίες περιγράφονται συνοπτικά στον Πίνακα 4. Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα των αναλύσεων τα οποία αξιολογούνται στο τέλος του Κεφαλαίου.

Plaxis 2D Analysis	
Αναλύσεις	Σύντομη περιγραφή
1 <sup>η</sup> Ανάλυση	Προσομοίωση κατακόρυφου φρέατος με <b>διάμετρο 10m, Deformation analysis</b> , με κριτήριο αστοχίας <b>Mohr Coulomb</b>
2 <sup>η</sup> Ανάλυση	Προσομοίωση κατακόρυφου φρέατος με <b>διάμετρο 10m, Stress analysis</b> , με κριτήριο αστοχίας <b>Mohr Coulomb</b>
3 <sup>η</sup> Ανάλυση	Προσομοίωση κατακόρυφου φρέατος με <b>διάμετρο 10m, Stress analysis</b> , με κριτήριο αστοχίας <b>Hardening Soil</b>
4 <sup>η</sup> Ανάλυση	Προσομοίωση κατακόρυφου φρέατος με <b>διάμετρο 10m, Deformation analysis</b> , με κριτήριο αστοχίας <b>Hardening Soil</b>
5 <sup>η</sup> Ανάλυση	Προσομοίωση κατακόρυφου φρέατος με <b>διάμετρο 16m, Deformation analysis</b> , με κριτήριο αστοχίας <b>Mohr Coulomb</b>
6 <sup>η</sup> Ανάλυση	Προσομοίωση κατακόρυφου φρέατος με <b>διάμετρο 16m, Stress analysis</b> , με κριτήριο αστοχίας <b>Hardening Soil</b>
7 <sup>η</sup> Ανάλυση	Προσομοίωση κατακόρυφου φρέατος με <b>διάμετρο 16m, Deformation analysis</b> , με κριτήριο αστοχίας <b>Hardening Soil</b>
8 <sup>η</sup> Ανάλυση	Προσομοίωση κατακόρυφου φρέατος με <b>διάμετρο 16m, Stress analysis</b> , με κριτήριο αστοχίας <b>Mohr Coulomb</b>

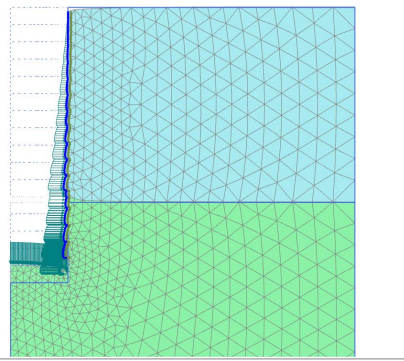
Πίνακας 5: Σύντομη περιγραφή των παραμετρικών αναλύσεων με χρήση του Plaxis 2D.

#### 4.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Ακολουθούν τα αποτελέσματα των αναλύσεων οι οποίες έχουν περιγραφεί στην προηγούμενη ενότητα (Πίνακας 5). Για κάθε ανάλυση παρουσιάζονται οι αναπτυσσόμενες παραμορφώσεις και οι ενεργές τάσεις των εδαφικών στρώσεων στην τελευταία φάση κατασκευής, οι μέγιστες εφαπτομενικές δυνάμεις επί του φορέα καθώς και οι καμπύλες μετατοπίσεων για ένα σημείο στην επιφάνεια του εδάφους αλλά και για σημείο στην μέση του πυθμένα. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκαν μια σειρά από αναλύσεις με διάμετρο του φρέατος 16m με σκοπό την διερεύνηση της επίδρασης της διαμέτρου του φρέατος και την σύγκριση των αποτελεσμάτων.

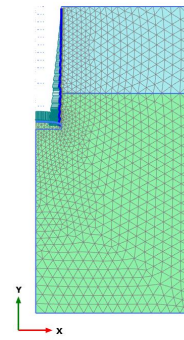
##### 4.4.1 PLAXIS 2D – 1<sup>η</sup> Ανάλυση - DEFORMATION ANALYSIS, MOHR - COULOMB, D=10M

Στην Εικόνα 7 απεικονίζεται η ανύψωση του πυθμένα λόγω αποφόρτισης στην κρίσιμη φάση (Φάση 16) και στην Εικόνα 8 στην τελευταία φάση κατασκευής (Φάση 17), επιπλέον στις Εικόνες 9, 10 και 11,12 παρουσιάζονται οι μέγιστες και ελάχιστες κατακόρυφες και οριζόντιες μετακινήσεις αντίστοιχα στην κρίσιμη φάση και στην τελευταία φάση κατασκευής. Παρατηρείται ότι η μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση συμβαίνει στον πυθμένα και οι μέγιστες οριζόντιες περιμετρικά της επένδυσης. Οι ιδιότητες του υλικού για τα εδαφικά στρώματα όταν χρησιμοποιείται το κριτήριο εδαφικής αστοχίας Mohr Coulomb απεικονίζονται στον Πίνακα 2 στο Κεφάλαιο 3



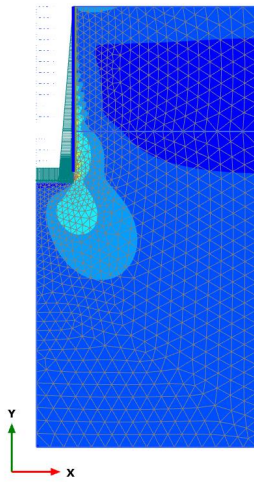
Deformed mesh |u| (scaled up 5,00 times)  
Maximum value = 0,3014 m (Element 1996 at Node 2545)

Εικόνα 7 - Plaxis 2D\_1η Ανάλυση - Ο “παραμορφωμένος κάρναβος” πεπερασμένων στοιχείων στην κρίσιμη φάση κατασκευής (Φάση 16).



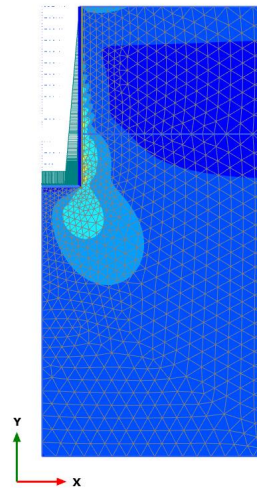
Deformed mesh |u| (scaled up 5,00 times)  
Maximum value = 0,2985 m (Element 1996 at Node 2545)

Εικόνα 8 - Plaxis 2D\_1η Ανάλυση - Ο “παραμορφωμένος κάρναβος” πεπερασμένων στοιχείων μετά την 17η φάση προσομοίωσης (Φάση 17)



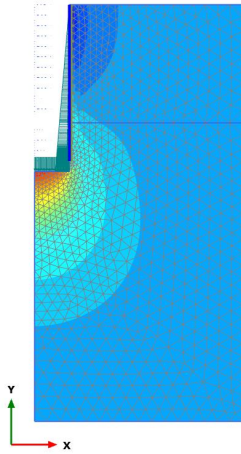
Total displacements  $u_x$  (scaled up 20,0 times)  
Maximum value =  $7,538 \cdot 10^{-3}$  m (Element 1998 at Node 4047)  
Minimum value = -0,09786 m (Element 2015 at Node 5411)

Εικόνα 9 -Plaxis 2D\_1η Ανάλυση -Ο μέγιστες και οι ελάχιστες οριζόντιες μετακινήσεις στην κρίσιμη φάση (Φάση 16).

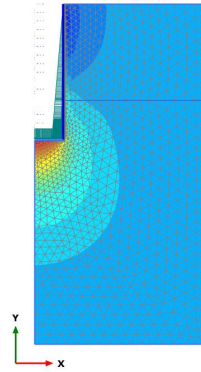


Total displacements  $u_x$  (scaled up 20,0 times)  
Maximum value =  $7,539 \cdot 10^{-3}$  m (Element 1998 at Node 4047)  
Minimum value = -0,09788 m (Element 2015 at Node 5411)

Εικόνα 10 - Plaxis 2D\_1η Ανάλυση -Ο μέγιστες και οι ελάχιστες οριζόντιες μετακινήσεις στην τελευταία φάση.



**Total displacements  $u_y$  (scaled up 5,00 times)**  
 Maximum value = 0,3014 m (Element 1996 at Node 2545)  
 Minimum value = -0,07091 m (Element 558 at Node 395)

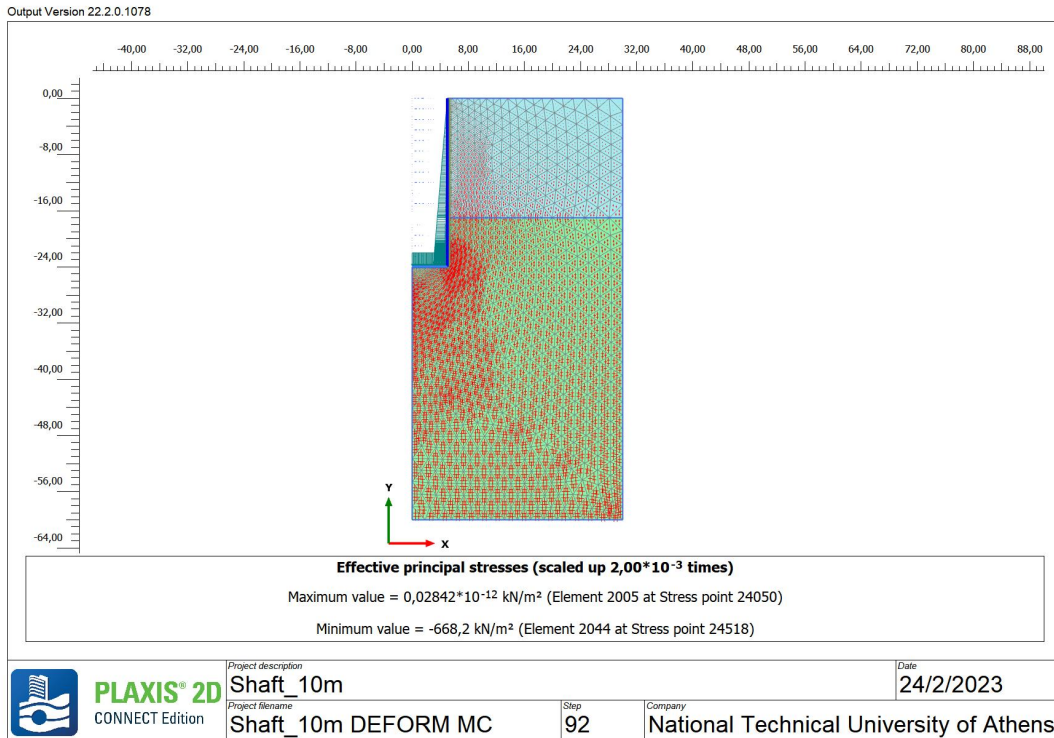


**Total displacements  $u_y$  (scaled up 5,00 times)**  
 Maximum value = 0,2985 m (Element 1996 at Node 2545)  
 Minimum value = -0,07367 m (Element 558 at Node 395)

Εικόνα 11 - Plaxis 2D\_1η Ανάλυση - Ο μέγιστες και οι ελάχιστες κατακόρυφες μετακινήσεις στην κρίσιμη φάση (Φάση 16).

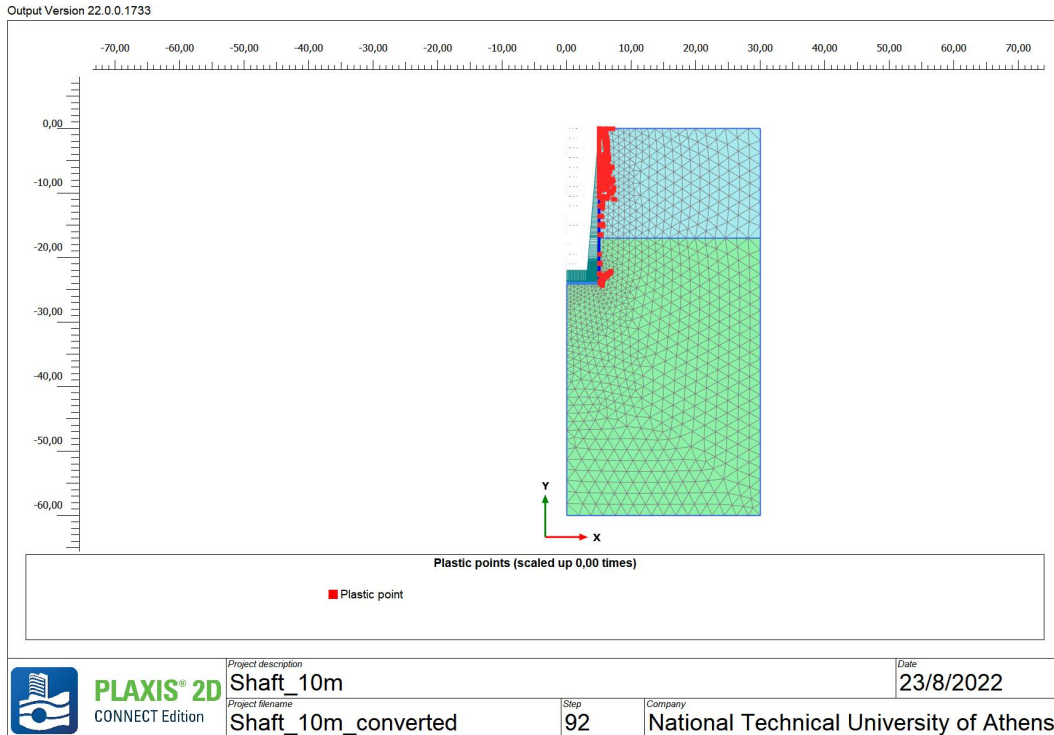
Εικόνα 12 - Plaxis 2D\_1η Ανάλυση - Ο μέγιστες και οι ελάχιστες κατακόρυφες μετακινήσεις στην τελευταία φάση (Φάση 16).

Ακολουθεί η απεικόνιση των ενεργών τάσεων (Εικόνα 13) καθώς και των σημείων αστοχίας των εδαφικών στοιχείων γύρω από το φρέαρ (Εικόνα 14).



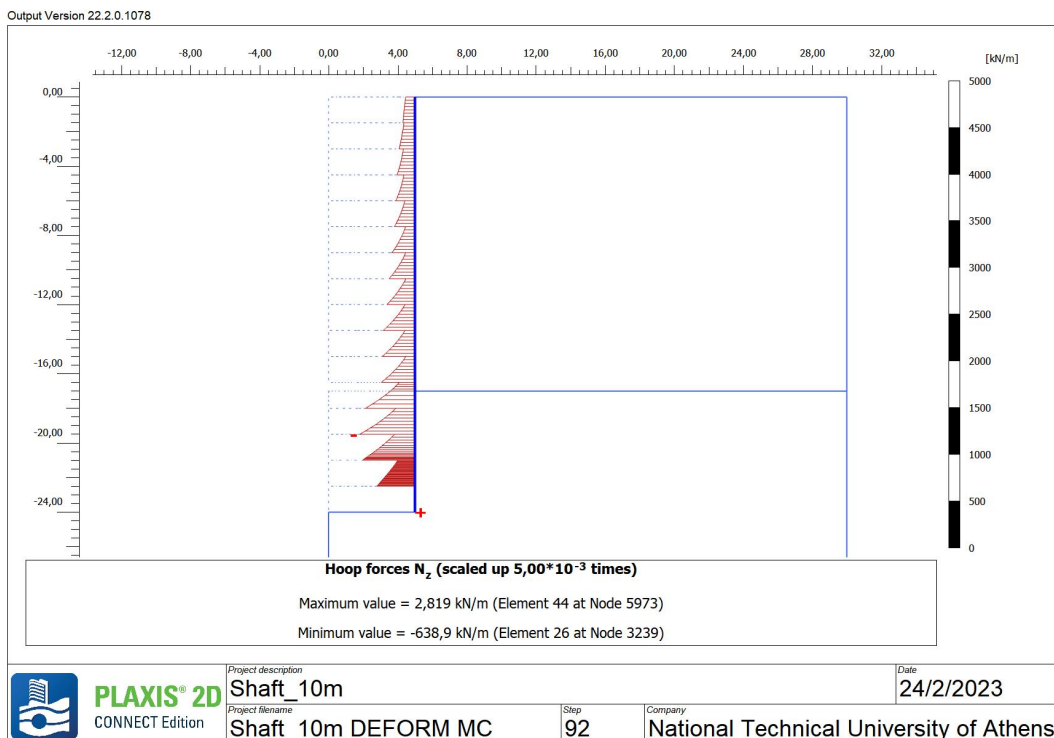
Εικόνα 13 - Plaxis 2D\_1η Ανάλυση - Η διεύθυνση των ενεργών κύριων τάσεων κατά την τελευταία φάση προσομοίωσης.

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΡΕΑΤΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ



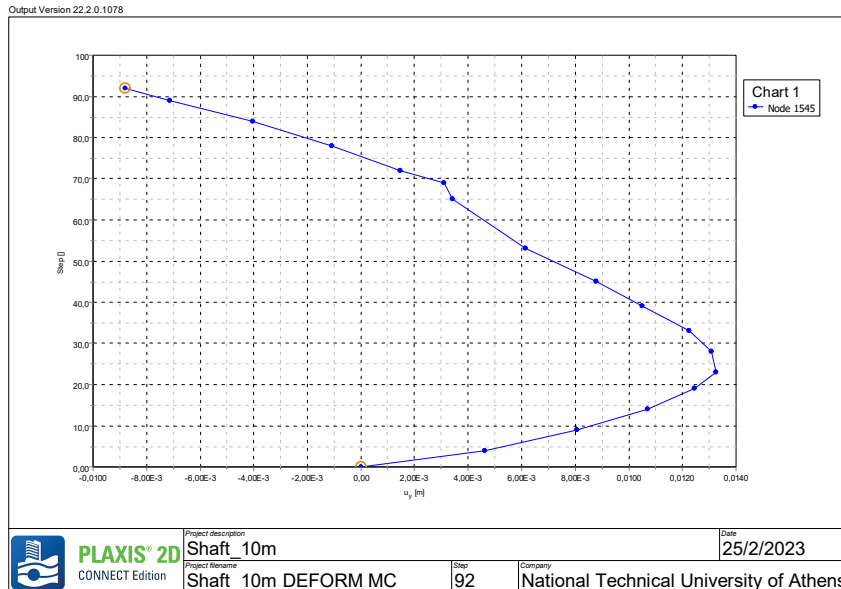
Εικόνα 14 - Plaxis 2D\_1η Ανάλυση - Σημεία εδαφικής αστοχίας κατά την τελευταία φάση προσομοίωσης (Φάση 17).

Τέλος, παρουσιάζεται η απεικόνιση των “hoop forces”, όπως προκύπτουν για το φρέαρ της “1ης Ανάλυσης”. Οι δυνάμεις αφορούν την τελευταία φάση προσομοίωσης (Φάση 17).

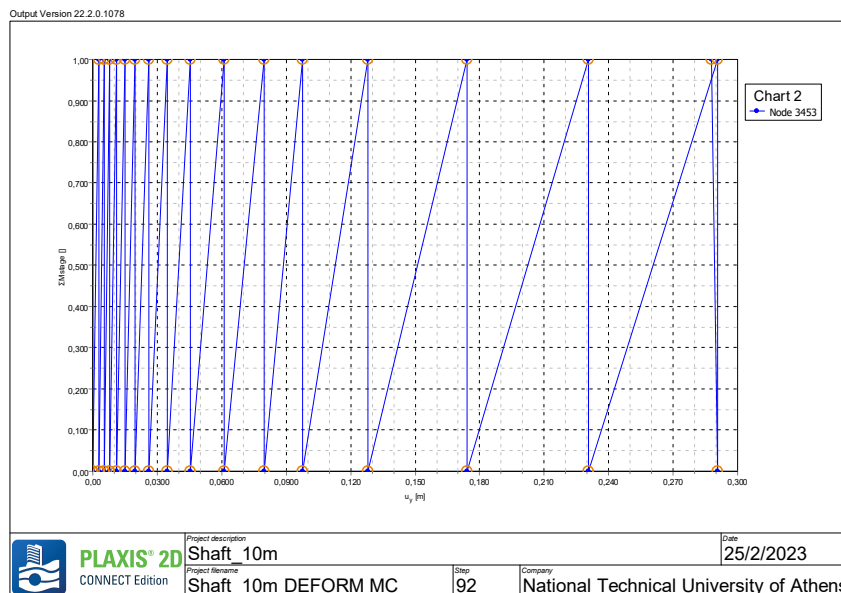


Εικόνα 15 - Plaxis 2D\_1η Ανάλυση -Διάγραμμα “hoop forces” του φορέα κατά την τελευταία φάση προσομοίωσης (Φάση 17)

Ακολουθούν τα διαγράμματα 1 και 2 που παρουσιάζουν την μετατόπιση της επιφάνειας για ένα σημείο κοντά στην κατασκευή (10,0) καθώς και το Διάγραμμα 2 που αφορά την καμπύλη ανύψωσης του πυθμένα σε ένα χαρακτηριστικό σημείο στην μέση του πυθμένα (1,82 , -24).



**Διάγραμμα 1** - Plaxis 2D\_1η Ανάλυση - Η καμπύλη κατακόρυφων μετατοπίσεων σε σημείο στην επιφάνεια του εδάφους.



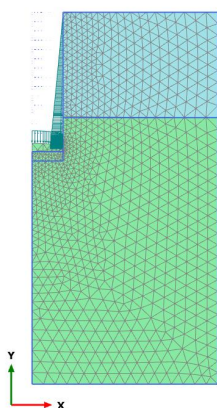
**Διάγραμμα 2** - Plaxis 2D\_1η Ανάλυση - Η καμπύλη ανύψωσης του πυθμένα σε σημείο στο μέσο του πυθμένα.

Όλες οι περαιτέρω αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν βασίστηκαν στην 1η Ανάλυση η οποία περιγράφηκε ανωτέρω.



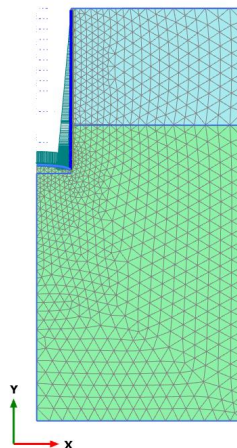
#### 4.4.2. PLAXIS 2D – 2η Ανάλυση - STRESS ANALYSIS, MOHR - COULOMB, D=10M

Πρόκειται για ανάλυση σύμφωνα με την οποία το κριτήριο συμπεριφοράς των εδαφικών στρώσεων είναι το “Mohr Coulomb” και ο τύπος Ανάλυσης είναι “Stress Analysis”. Η διαφορά με την PLAXIS 2D\_1η Ανάλυση είναι ότι η επένδυση (lining) τοποθετείται ταυτόχρονα με την εκσκαφή και κατά συνέπεια οι μέγιστες τάσεις προκαλούνται στην επένδυση και ότι οι παραμορφώσεις είναι περιορισμένες.



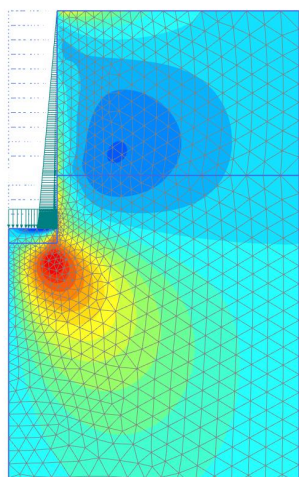
**Deformed mesh |u| (scaled up 5,00 times)**  
Maximum value = 0,2743 m (Element 723 at Node 2507)

Εικόνα 16 - Plaxis 2D\_2η Ανάλυση - Ο “παραμορφωμένος κάβναβος” πεπερασμένων στοιχείων στην κρίσιμη φάση κατασκευής (15η φάση).



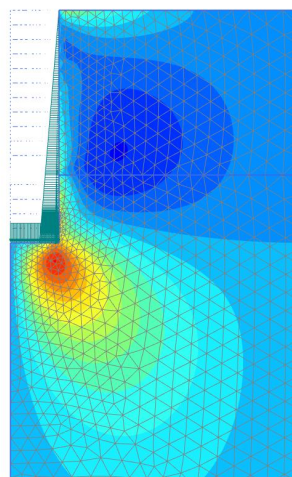
**Deformed mesh |u| (scaled up 5,00 times)**  
Maximum value = 0,2371 m (Element 1996 at Node 2545)

Εικόνα 17 - Plaxis 2D\_2η Ανάλυση - Ο “παραμορφωμένος κάβναβος” πεπερασμένων στοιχείων μετά την τελευταία φάση (16η φάση).



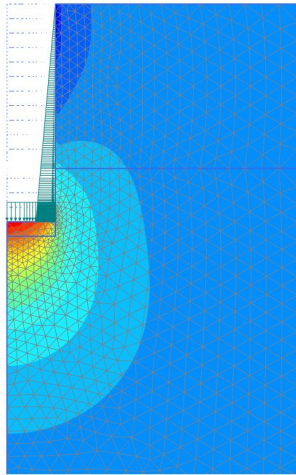
**Total displacements u<sub>x</sub> (scaled up 50,0 times)**  
Maximum value = 0,01195 m (Element 761 at Node 3529)  
Minimum value = -0,02394 m (Element 1891 at Node 7426)

Εικόνα 18 -Plaxis 2D\_2η Ανάλυση -Ο μέγιστες και οι ελάχιστες οριζόντιες μετακινήσεις στην κρίσιμη φάση (Φάση 15).



**Total displacements u<sub>x</sub> (scaled up 50,0 times)**  
Maximum value = 6,088\*10<sup>-3</sup> m (Element 328 at Node 6226)  
Minimum value = -0,02406 m (Element 1891 at Node 7426)

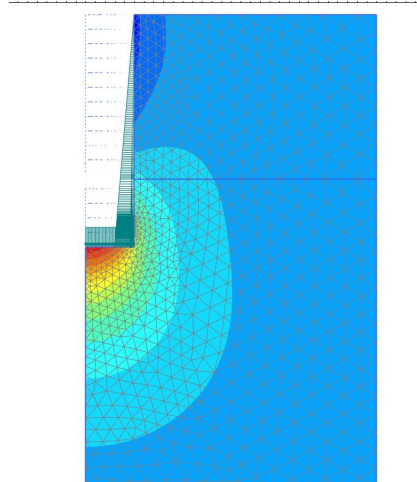
Εικόνα 19 - Plaxis 2D\_2η Ανάλυση -Ο μέγιστες και οι ελάχιστες οριζόντιες μετακινήσεις στην τελευταία φάση (Φάση 16).



**Total displacements  $u_y$  (scaled up 5,00 times)**

Maximum value = 0,2743 m (Element 723 at Node 2507)  
Minimum value = -0,05217 m (Element 558 at Node 394)

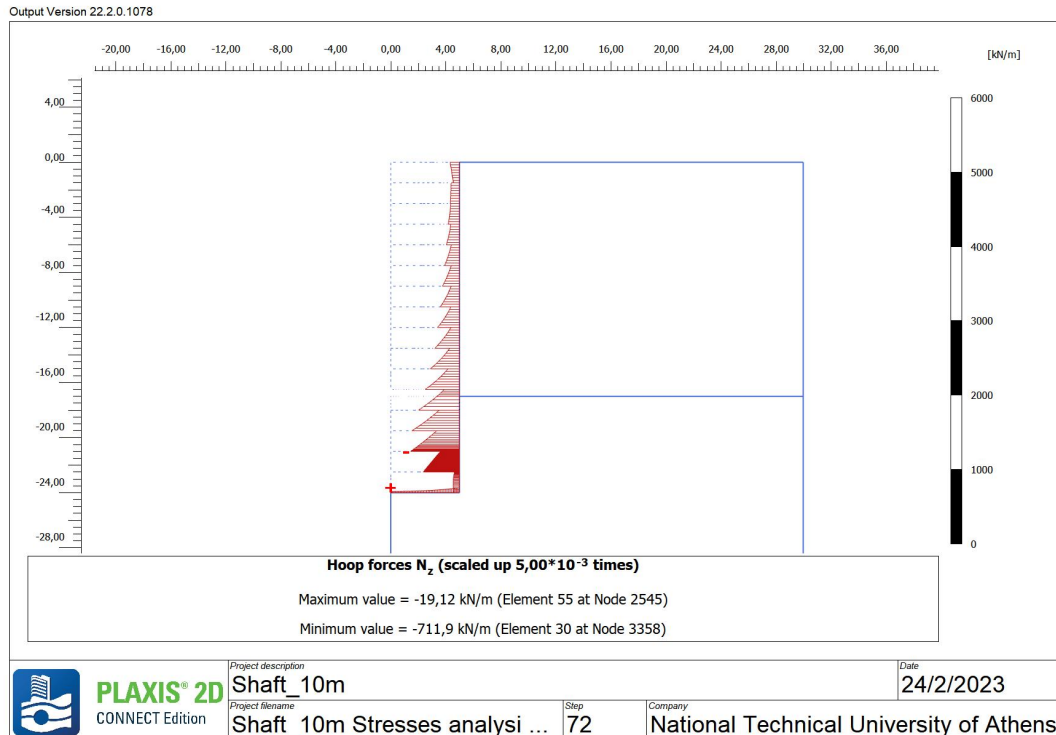
Εικόνα 20 -Plaxis 2D\_2η Ανάλυση -Οι μέγιστες και οι ελάχιστες κατακόρυφες μετακινήσεις στην κρίσιμη φάση (Φάση 15).



**Total displacements  $u_y$  (scaled up 5,00 times)**

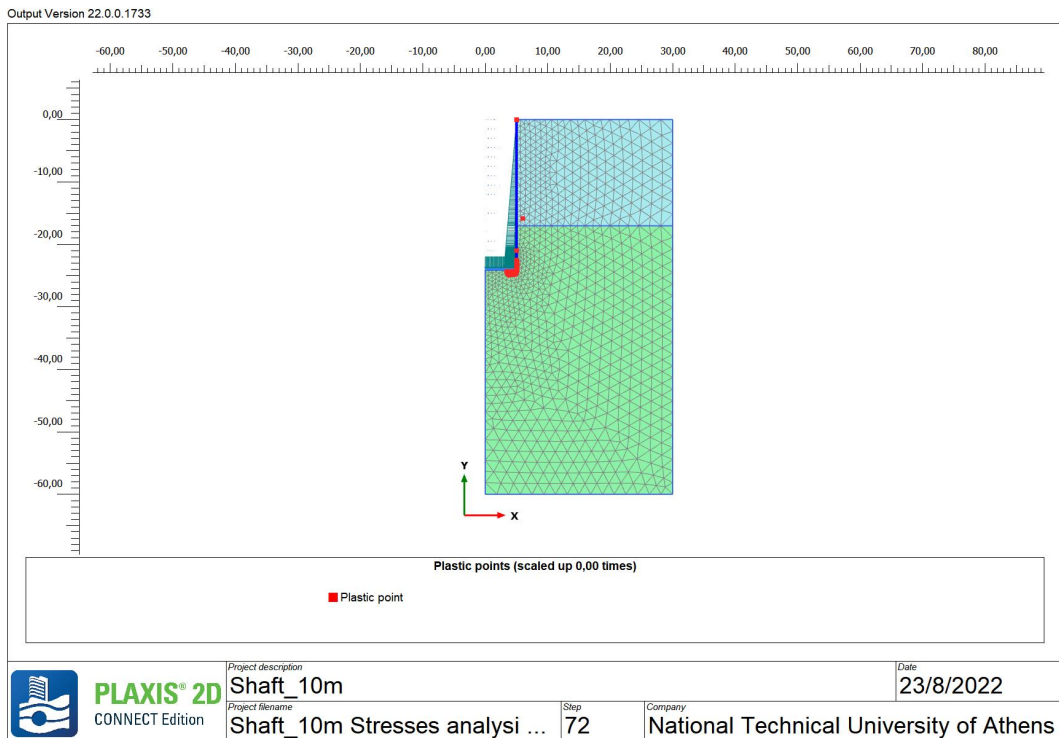
Maximum value = 0,2371 m (Element 1996 at Node 2545)  
Minimum value = -0,04994 m (Element 558 at Node 394)

Εικόνα 21 - Plaxis 2D\_2η Ανάλυση -Οι μέγιστες και οι ελάχιστες κατακόρυφες μετακινήσεις στην τελευταία φάση (Φάση 16).

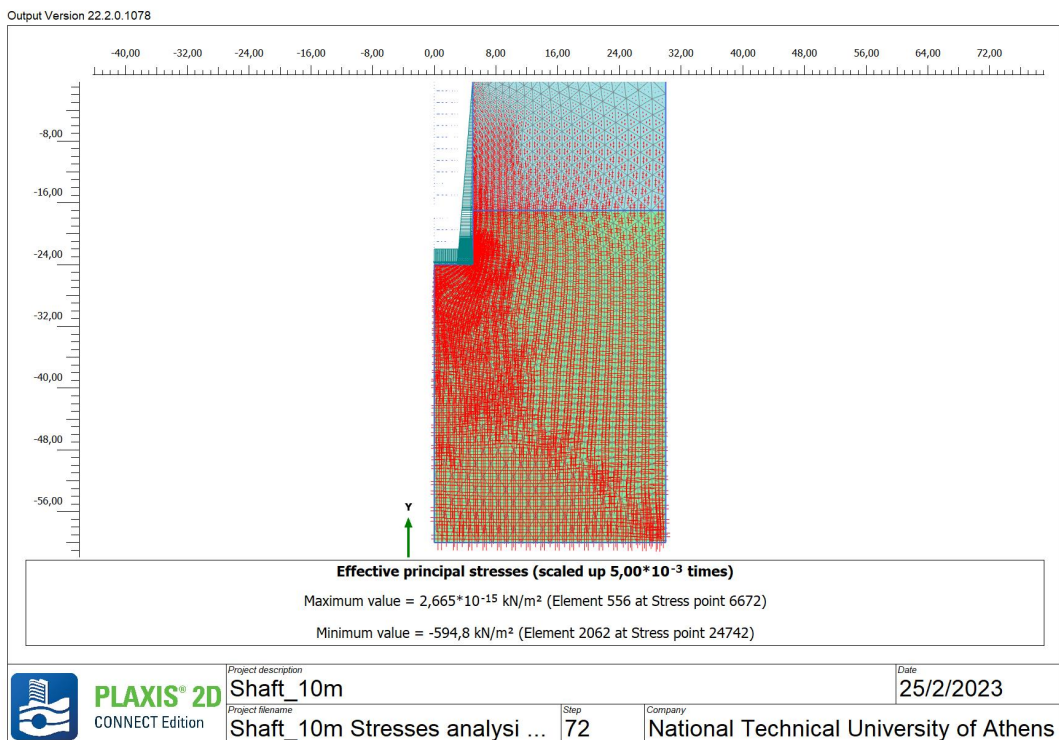


Εικόνα 22 - Plaxis 2D\_2η Ανάλυση -Διάγραμμα “hoop forces” του φορέα κατά την τελευταία φάση προσομοίωσης (Φάση 16)

## ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΡΕΑΤΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

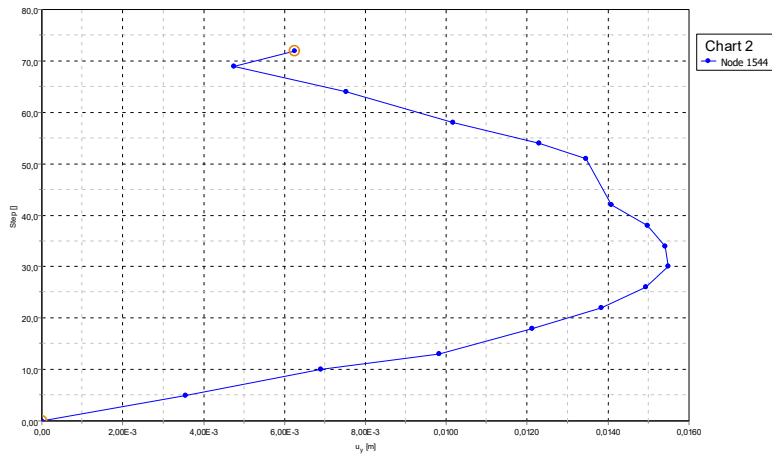


Εικόνα 23 - Plaxis 2D\_2η Ανάλυση - Σημεία εδαφικής αστοχίας κατά την τελευταία φάση προσομοίωσης (Φάση 16).



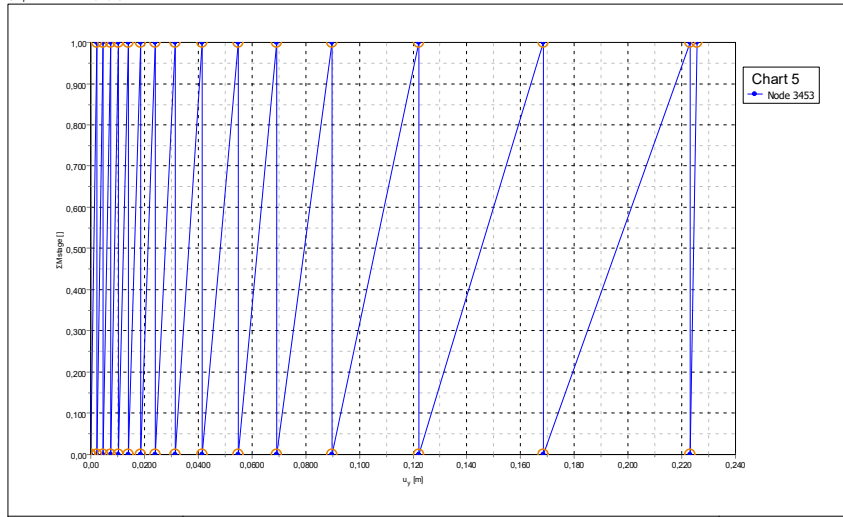
Εικόνα 24 - Plaxis 2D\_2η Ανάλυση - Η διεύθυνση των ενεργών κύριων τάσεων κατά την τελευταία φάση προσομοίωσης.

Output Version 22.2.0.1078



**Διάγραμμα 3** - Plaxis 2D\_2η Ανάλυση - Η καμπύλη κατακόρυφων μετατοπίσεων σε σημείο στην επιφάνεια του εδάφους.

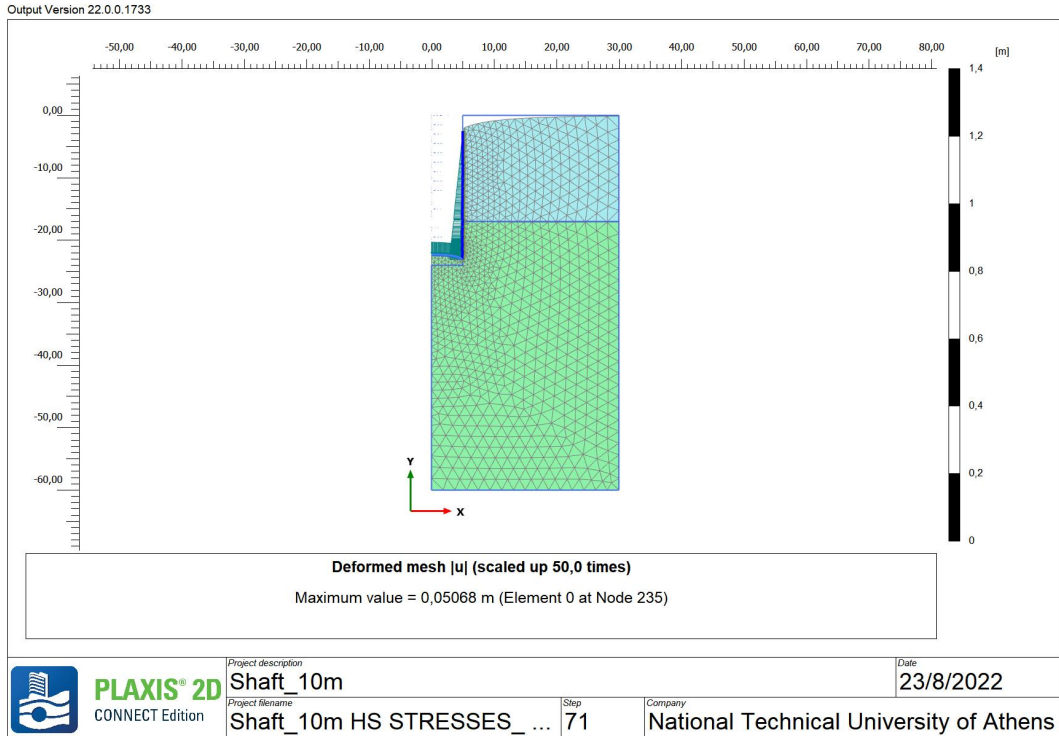
Output Version 22.2.0.1078



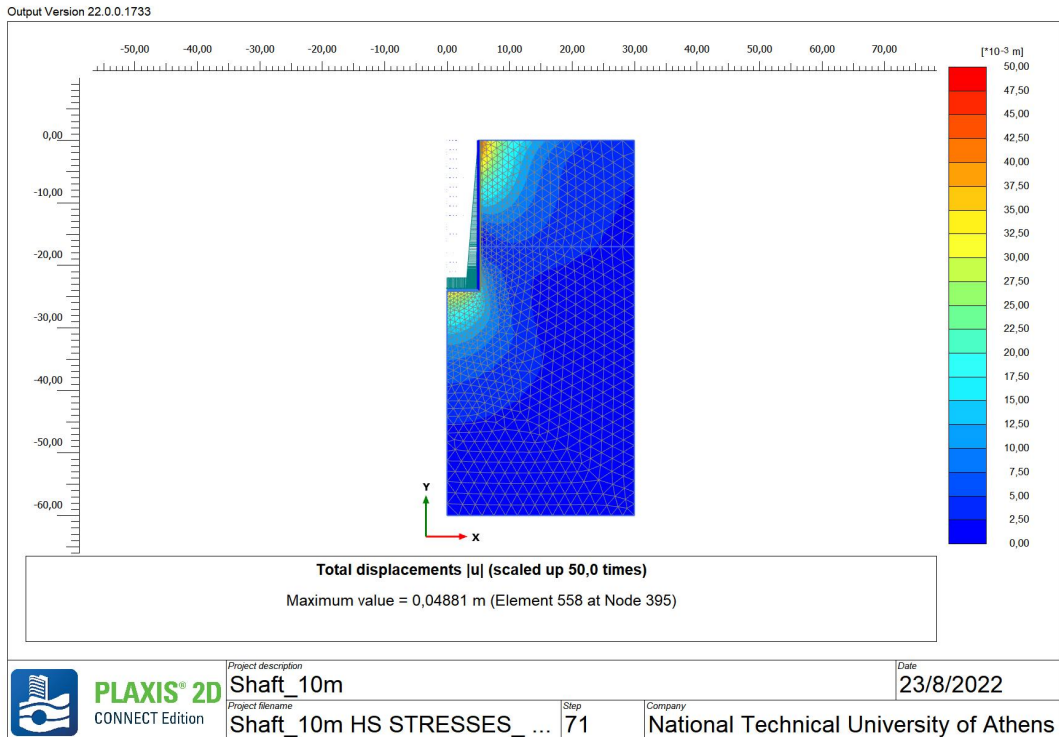
**Διάγραμμα 4** - Plaxis 2D\_2η Ανάλυση - Η καμπύλη ανύψωσης του πυθμένα σε σημείο στο μέσο του πυθμένα.

4.4.3. PLAXIS 2D – 3η Ανάλυση - STRESS ANALYSIS, HARDENING SOIL, D=10M

Πρόκειται για ανάλυση σύμφωνα με την οποία το κριτήριο συμπεριφοράς των εδαφικών στρώσεων είναι το “Hardening Soil”. Οι ιδιότητες του υλικού για τα εδαφικά στρώματα όταν χρησιμοποιείται μοντέλο Hardening Soil απεικονίζονται στον Πίνακα 6 στο Κεφάλαιο 3

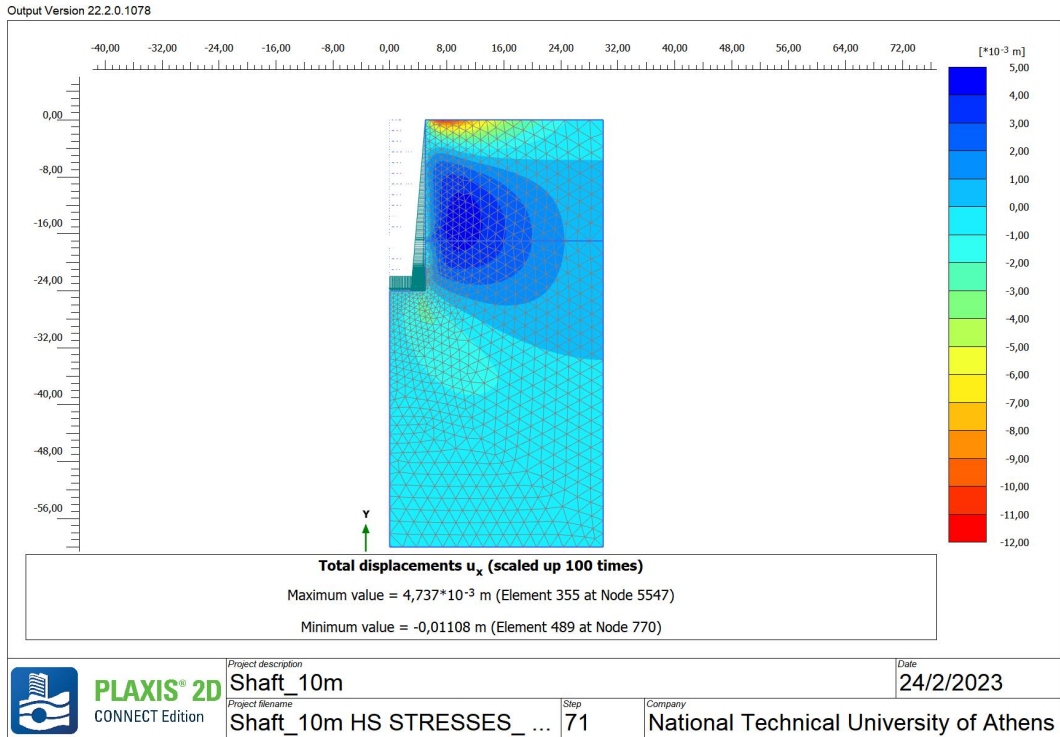


Εικόνα 25 - Plaxis 2D\_3η Ανάλυση - Ο “παραμορφωμένος κάρναβος” πεπερασμένων στοιχείων μετά την 16η φάση προσομοίωσης (τελευταία φάση).

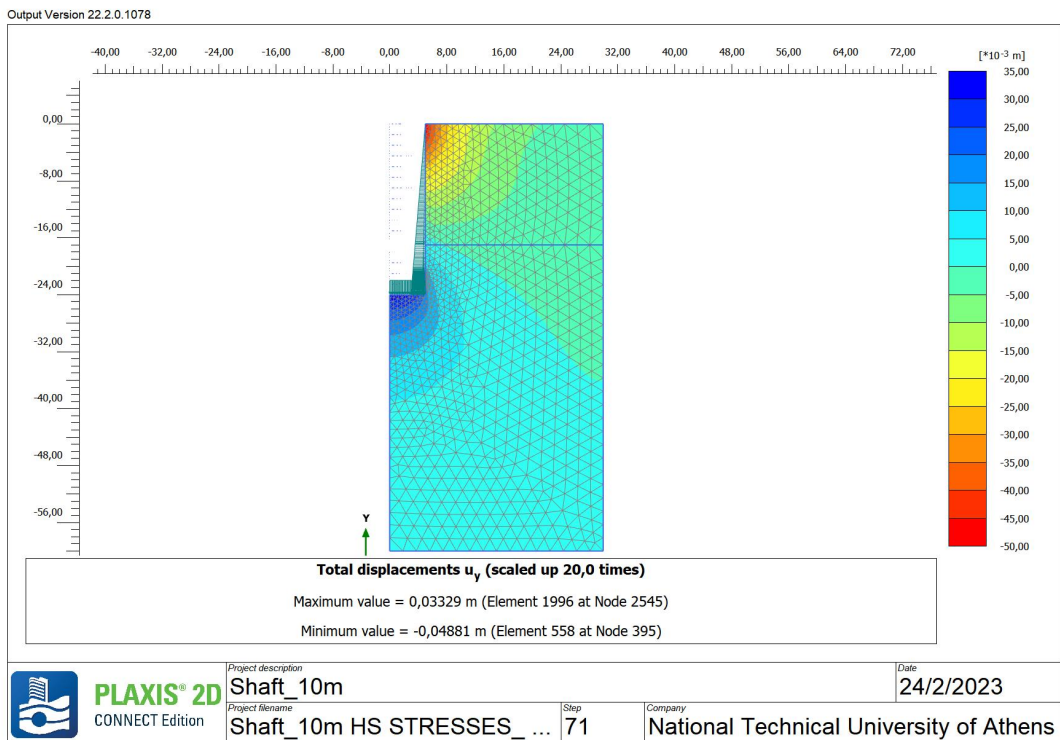


Εικόνα 26 -Plaxis 2D\_3η Ανάλυση - Η μέγιστη ολική μετακίνηση μετά την 16η φάση προσομοίωσης (τελευταία φάση).

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΡΕΑΤΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

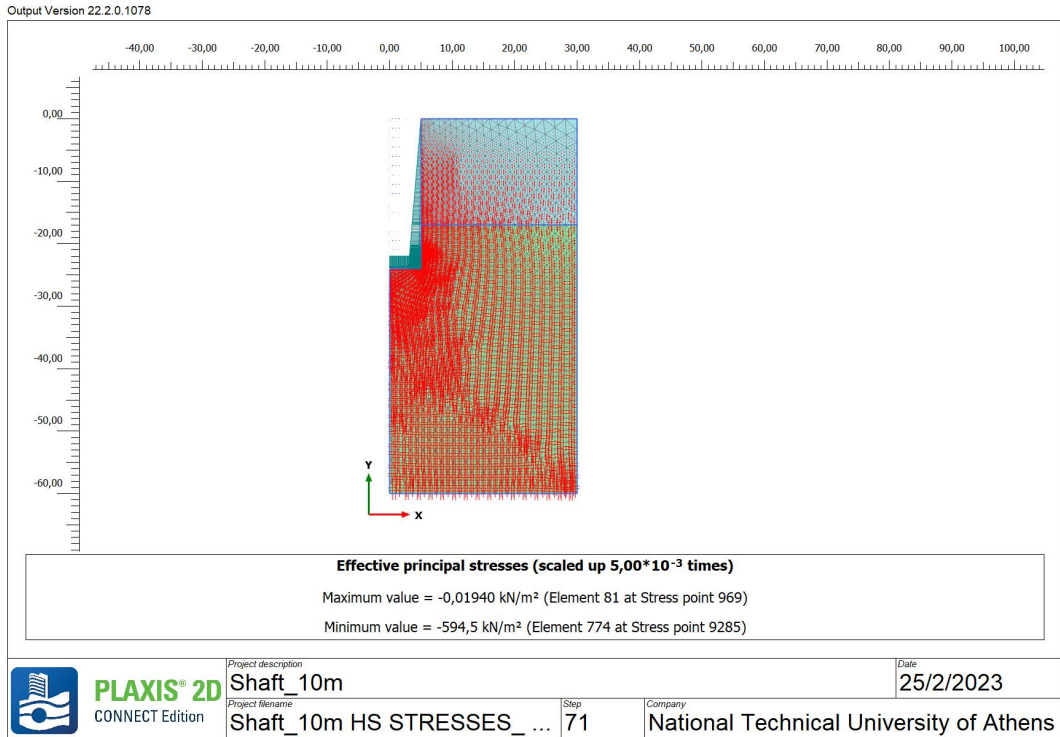


Εικόνα 27 -Plaxis 2D\_3η Ανάλυση - Η μέγιστη οριζόντια μετακίνηση μετά την 16η φάση προσομοίωσης (τελευταία φάση).

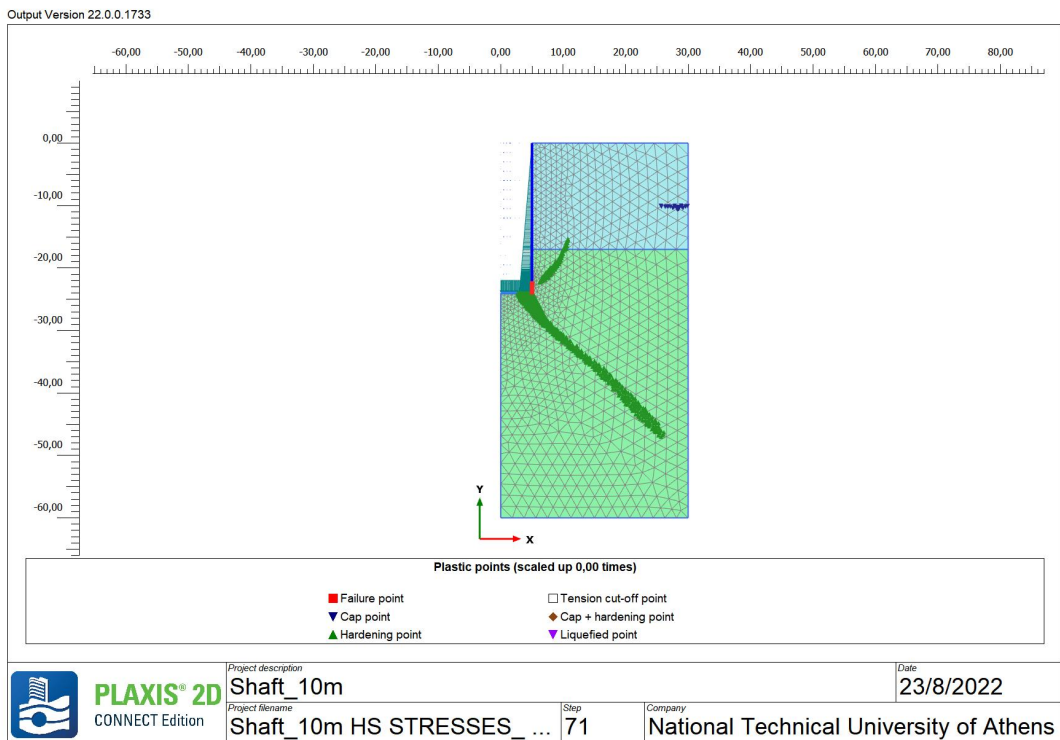


Εικόνα 28 -Plaxis 2D\_3η Ανάλυση - Η μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση μετά την 16η φάση προσομοίωσης (τελευταία φάση).

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΡΕΑΤΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

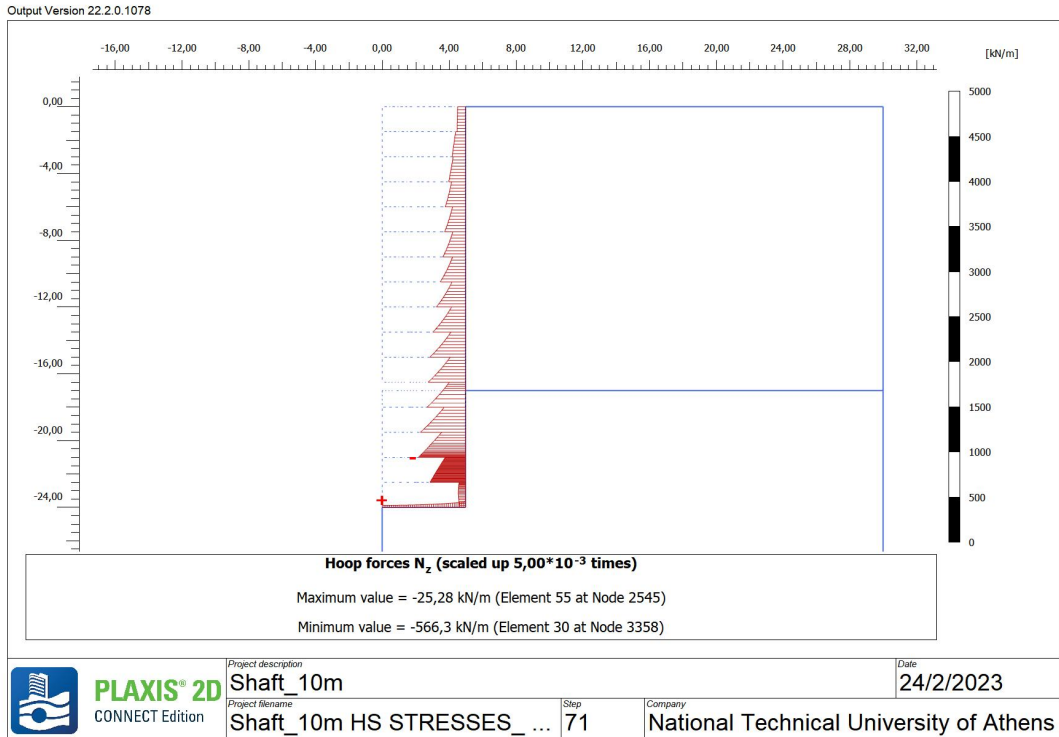


Εικόνα 29- Plaxis 2D\_3η Ανάλυση - Η διεύθυνση των ενεργών κύριων τάσεων κατά την τελευταία φάση προσομοίωσης.

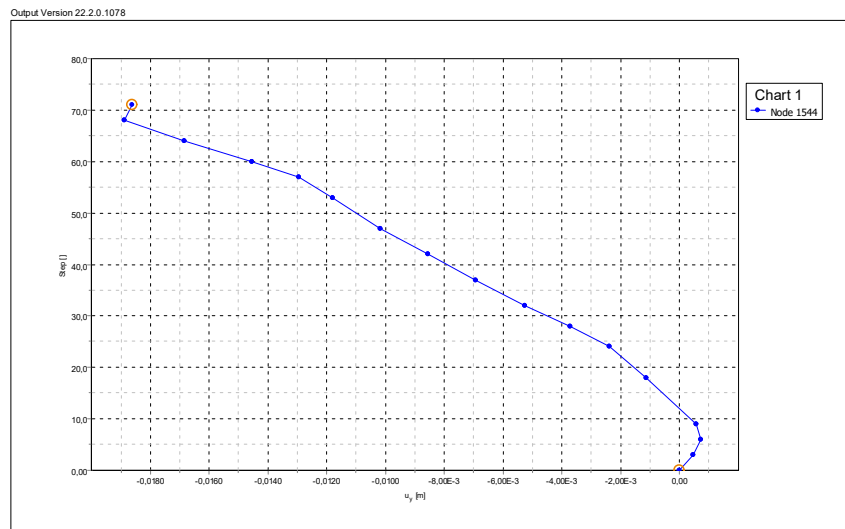


Εικόνα 30-Plaxis 2D\_3η Ανάλυση - Σημεία εδαφικής αστοχίας κατά την τελευταία φάση προσομοίωσης (Φάση 16).

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΡΕΑΤΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

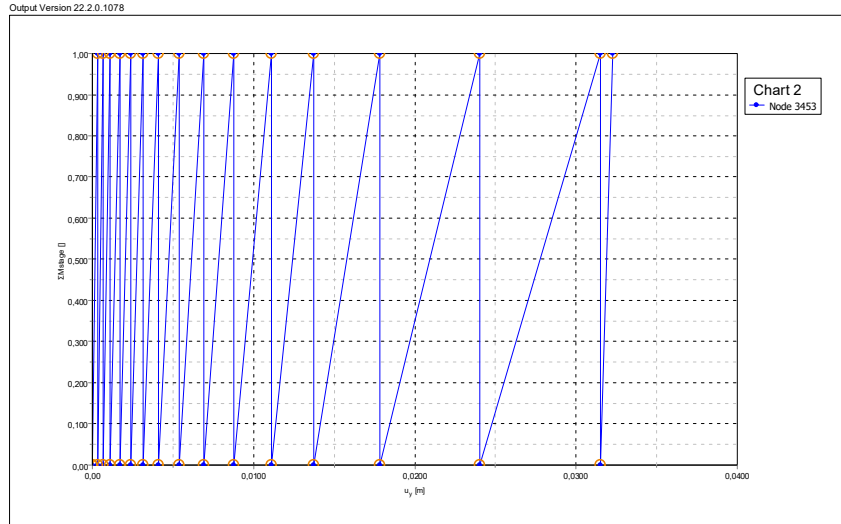


Εικόνα 31 - Plaxis 2D\_3η Ανάλυση -Διάγραμμα “hoop forces” του φορέα κατά την τελευταία φάση προσομοίωσης (Φάση 16).



Διάγραμμα 5 - Plaxis 2D\_3η Ανάλυση - Η καμπύλη κατακόρυφων μετατοπίσεων σε σημείο στην επιφάνεια του εδάφους.

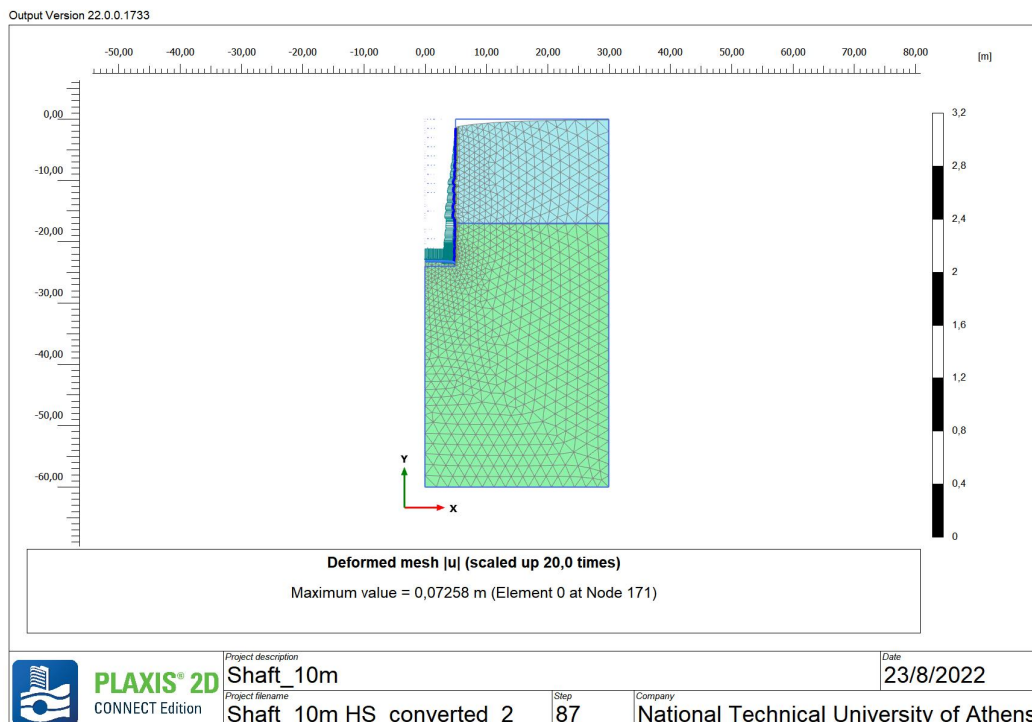




Διάγραμμα 6 - Plaxis 2D\_3η Ανάλυση - Η καμπύλη ανύψωσης του πυθμένα σε σημείο στο μέσο του πυθμένα.

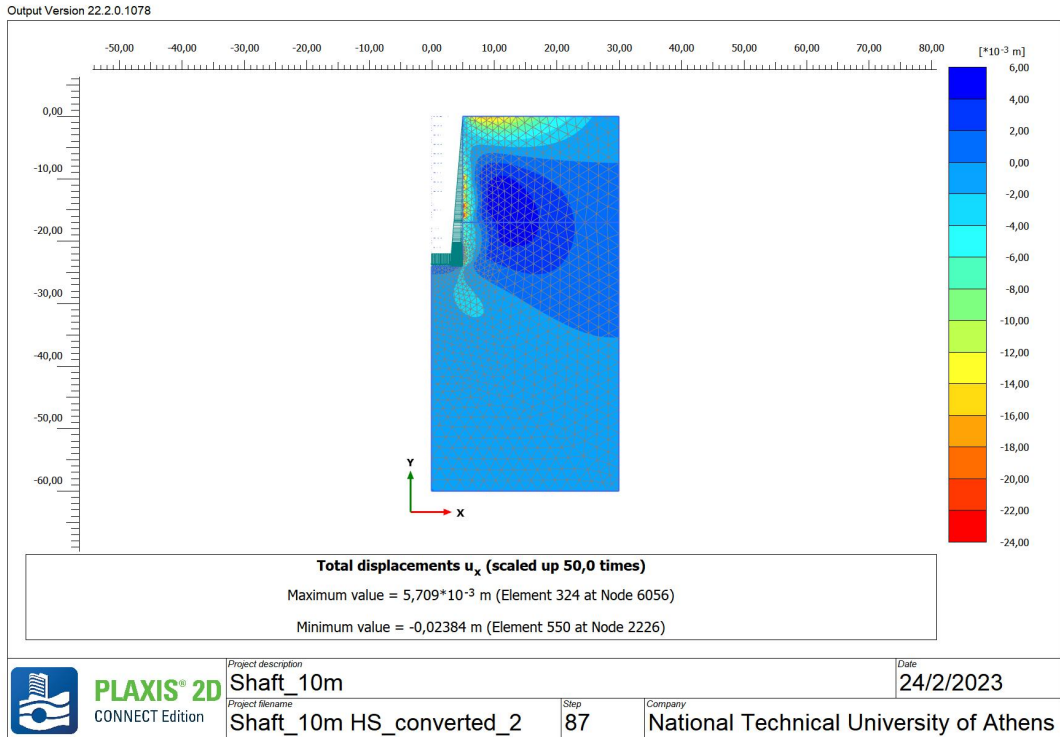
#### 4.4.4. PLAXIS 2D – 4η Ανάλυση - DEFORMATION ANALYSIS, HARDENING SOIL, D=10M

Πρόκειται για ανάλυση σύμφωνα με την οποία το κριτήριο συμπεριφοράς των εδαφικών στρώσεων είναι το “Hardening Soil” και τύπο ανάλυσης “Deformation Analysis”. Συγκεκριμένα, η διαφορά με την PLAXIS 3D Ανάλυση είναι ότι αρχικά γίνεται η εκσκαφή με βήμα 1,5 μέτρα και στο επόμενο βήμα εγκαθίσταται η επένδυση. Επομένως, λαμβάνουν χώρα πλήρεις παραμορφώσεις εδάφους.

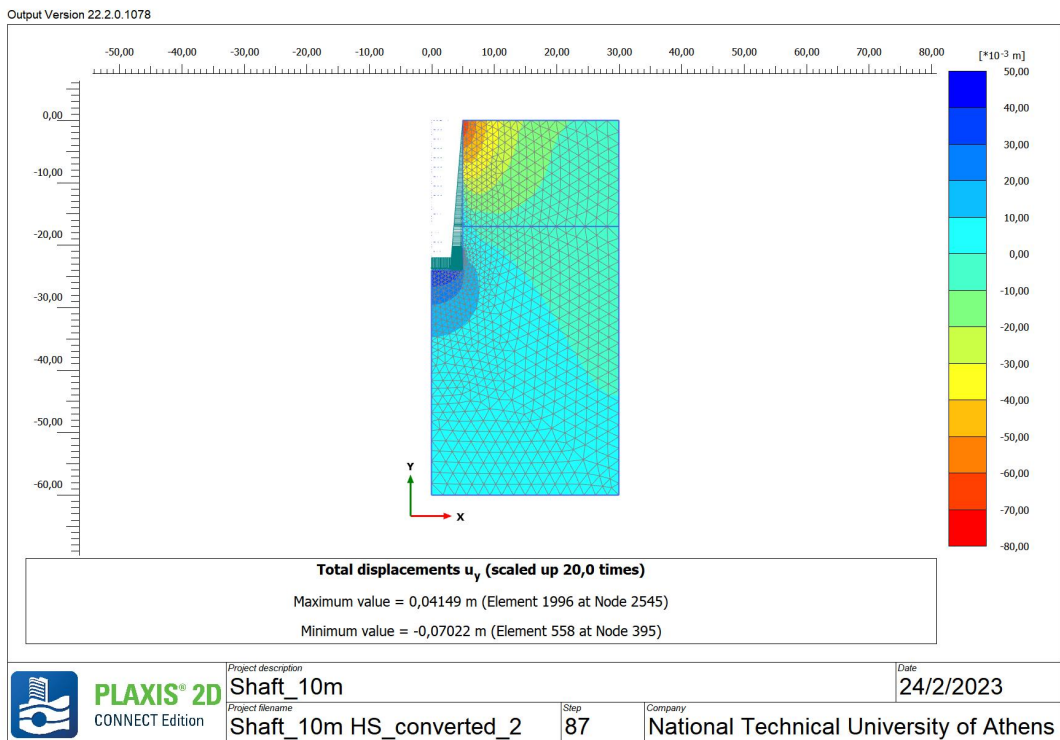


Εικόνα 32 - Plaxis 2D\_4η Ανάλυση - Ο “παραμορφωμένος κάναβος” πεπερασμένων στοιχείων μετά την 17η φάση προσομοίωσης.

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΡΕΑΤΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

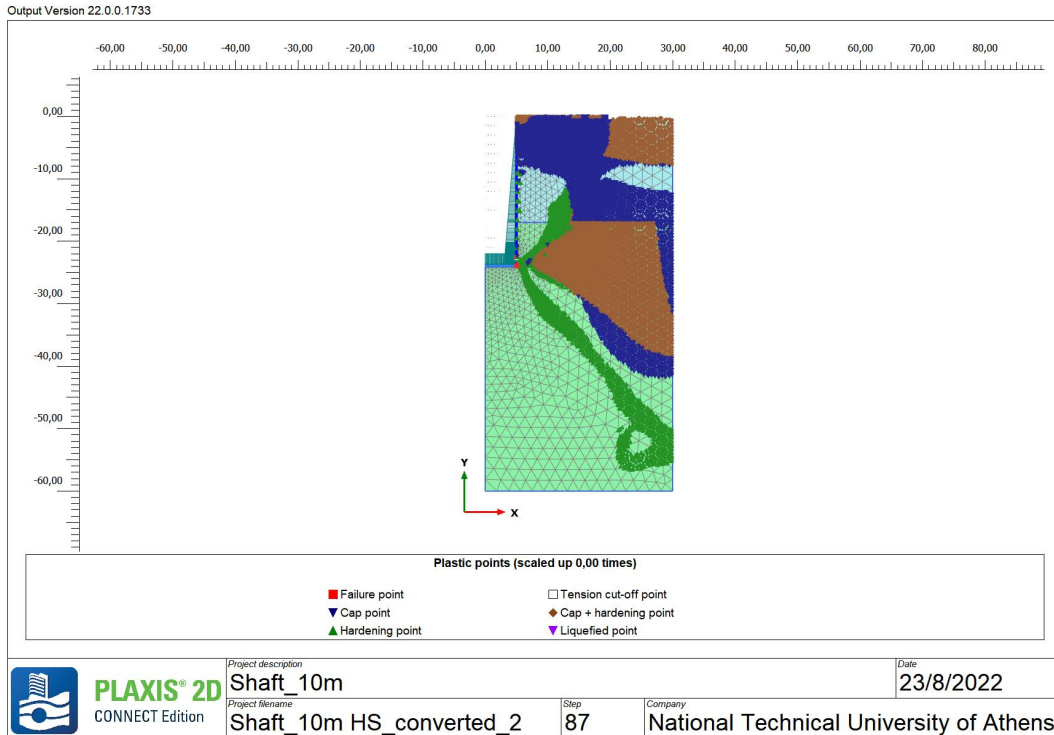


Εικόνα 33 - Plaxis 2D\_4η Ανάλυση Οι μέγιστες και οι ελάχιστες οριζόντιες μετακινήσεις στην τελευταία φάση (Φάση 17).

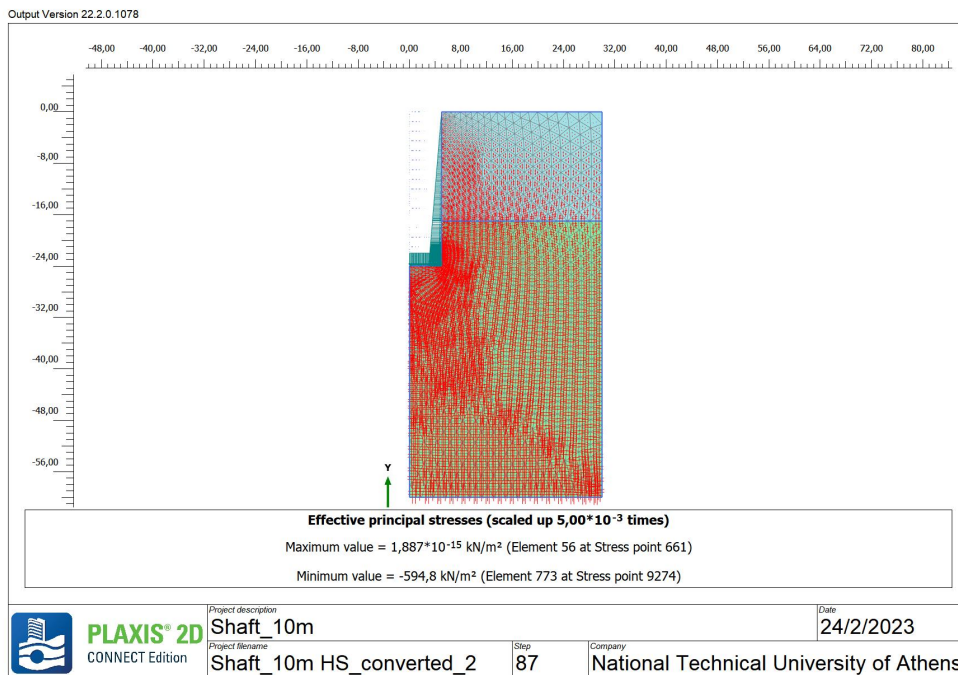


Εικόνα 34 - Plaxis 2D\_4η Ανάλυση Οι μέγιστες και οι ελάχιστες κατακόρυφες μετακινήσεις στην τελευταία φάση (Φάση 17).

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΡΕΑΤΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

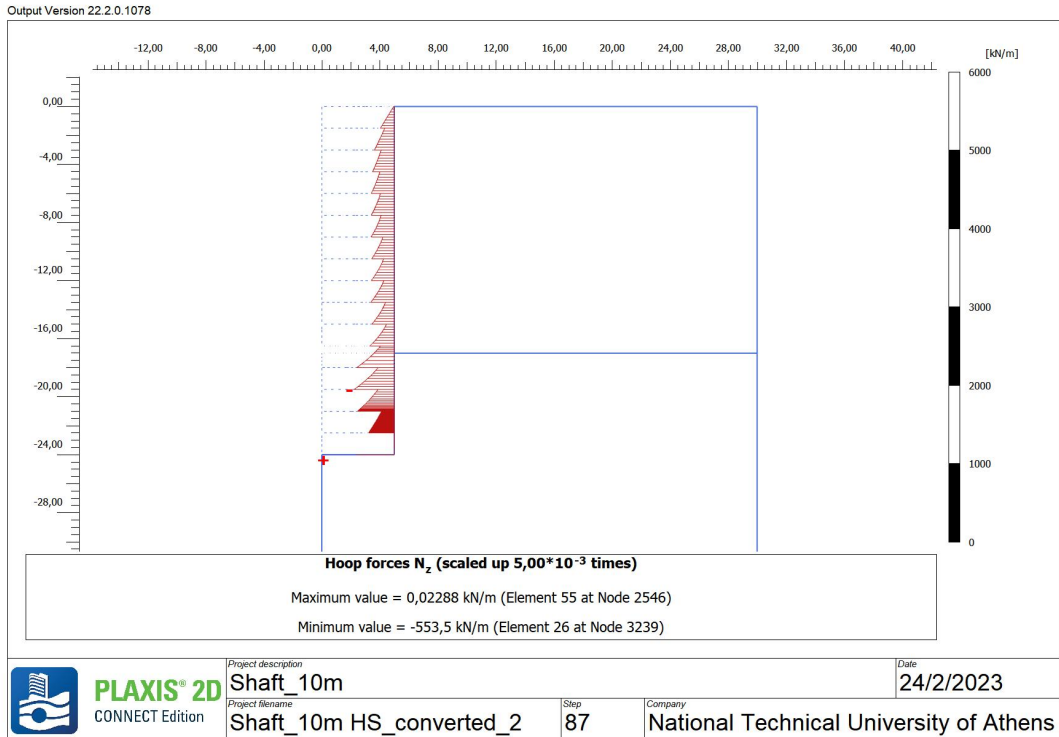


Εικόνα 35 - Plaxis 2D\_4η Ανάλυση - Σημεία εδαφικής αστοχίας κατά την τελευταία φάση προσομοίωσης (Phase 17).

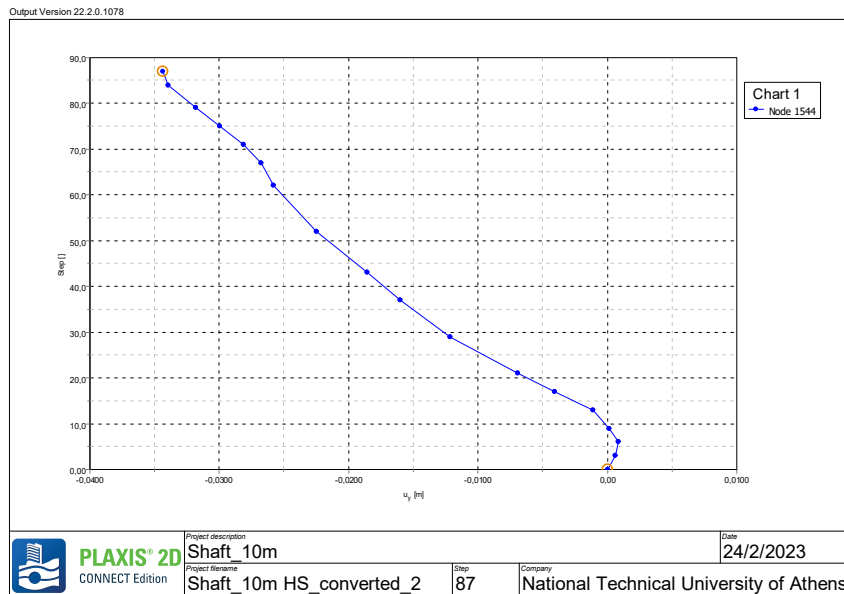


Εικόνα 36 - Plaxis 2D\_4η Ανάλυση - Η διεύθυνση των ενεργών κύριων τάσεων κατά την τελευταία φάση προσομοίωσης.

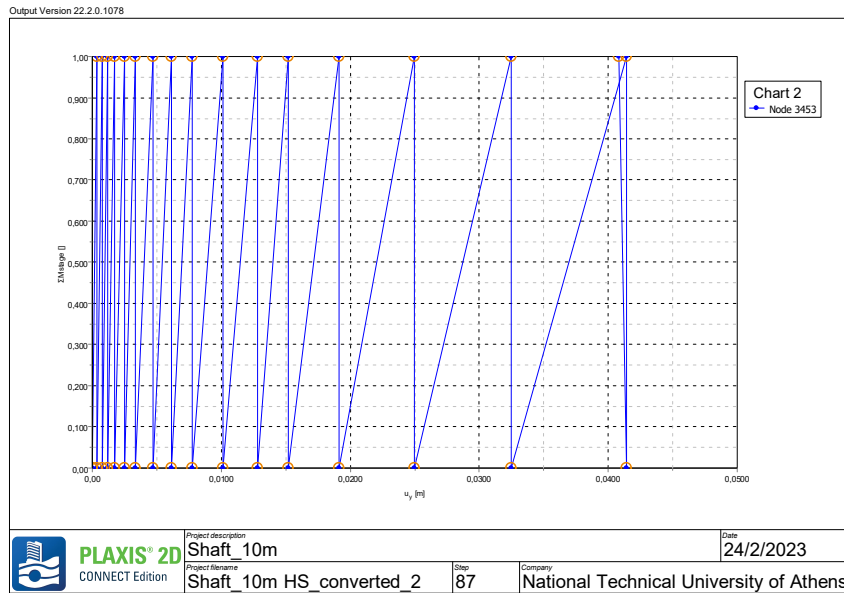
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΡΕΑΤΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ



Εικόνα 37 - Plaxis 2D\_4η Ανάλυση -Διάγραμμα “hoop forces” του φορέα κατά την τελευταία φάση προσομοίωσης (Φάση 17).



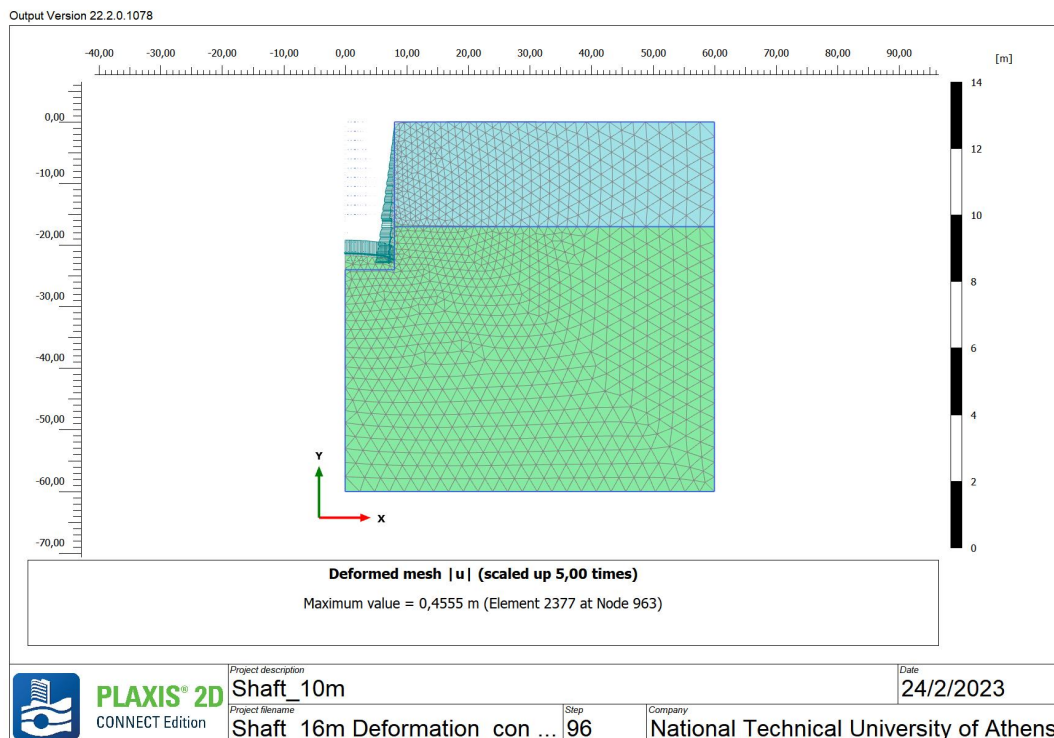
Διάγραμμα 7 - Plaxis 2D\_4η Ανάλυση - Η καμπύλη κατακόρυφων μετατοπίσεων σε σημείο στην επιφάνεια του εδάφους.



**Διάγραμμα 8** - Plaxis 2D\_4η Ανάλυση - Η καμπύλη ανύψωσης του πυθμένα σε σημείο στο μέσο του πυθμένα.

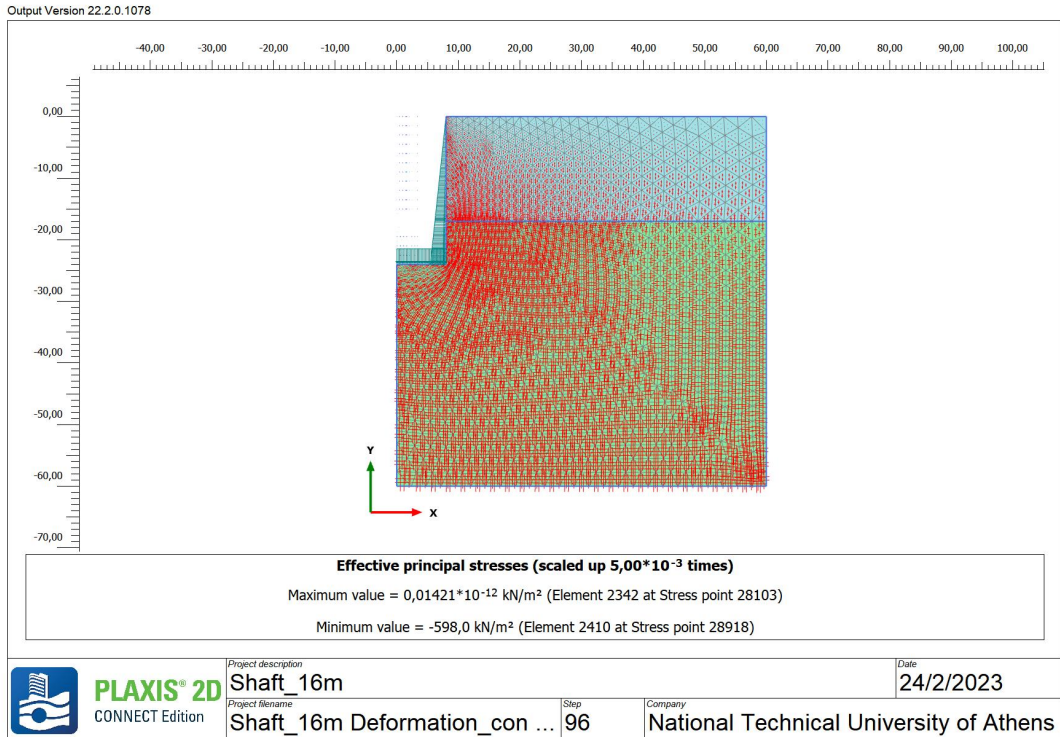
Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων, για διαφορετική διάμετρο φρέατος, με σκοπό την διερεύνηση της επίδρασης της διαμέτρου.

#### 4.4.5. PLAXIS 2D – 5η Ανάλυση - DEFORMATION ANALYSIS, MOHR COULOMB, D=16m

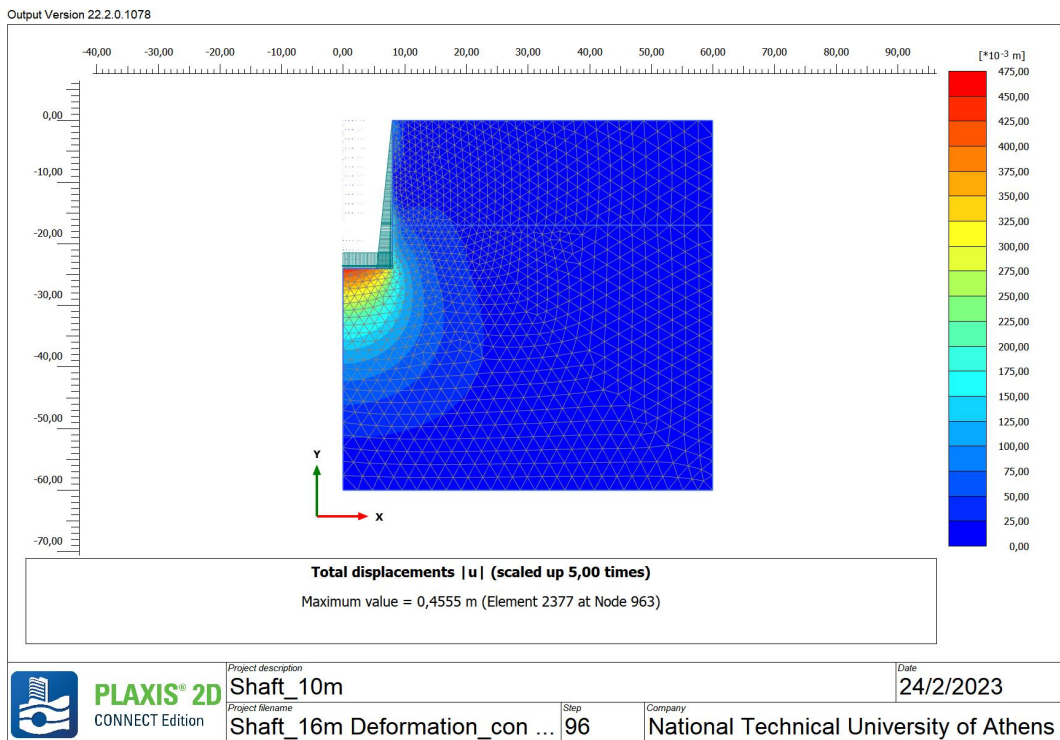


**Εικόνα 38** - Plaxis 2D\_5η Ανάλυση - Ο “παραμορφωμένος κάρναβος” πεπερασμένων στοιχείων στην τελευταία φάση κατασκευής (17η φάση).

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΡΕΑΤΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

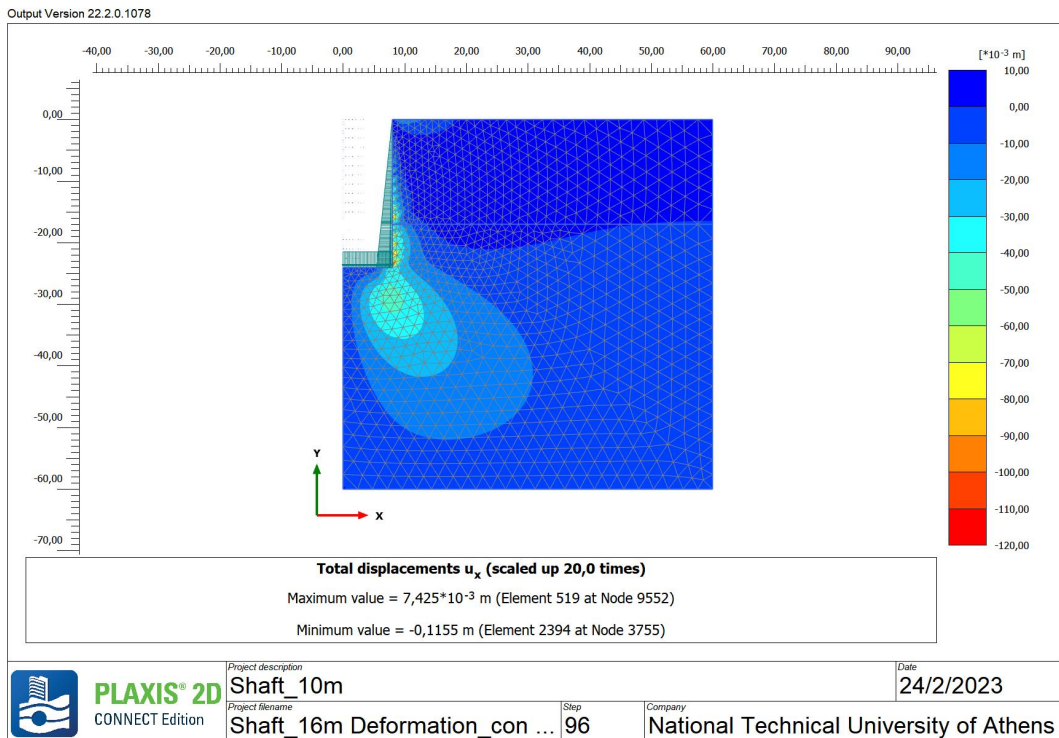


Εικόνα 39 - Plaxis 2D\_5η Ανάλυση - Η διεύθυνση των ενεργών κύριων τάσεων κατά την τελευταία φάση προσομοίωσης(Φάση 17)

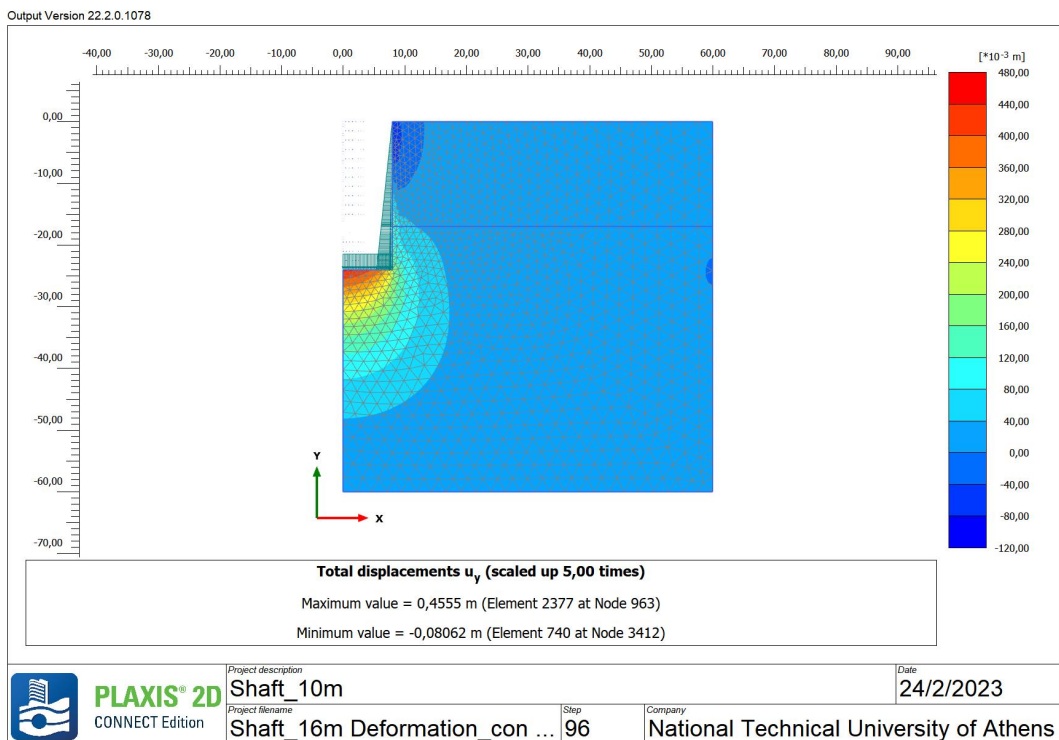


Εικόνα 40 -Plaxis 2D\_5η Ανάλυση -Οι ολικές μετακινήσεις στην τελευταία φάση (Φάση 17).

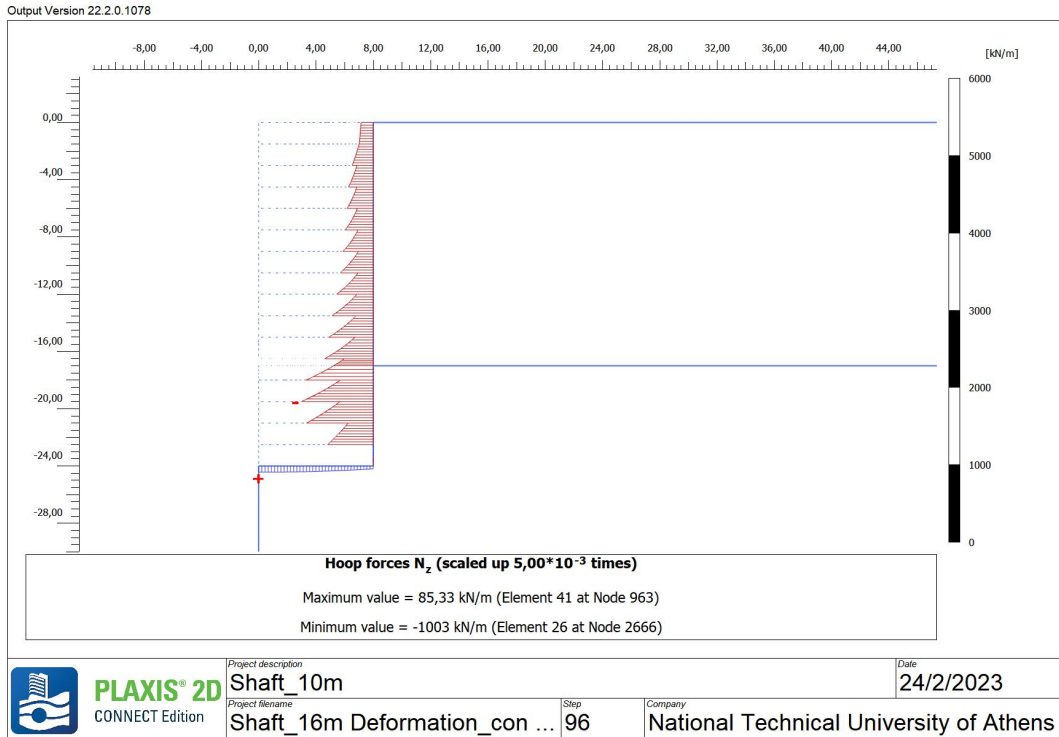
## ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΡΕΑΤΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ



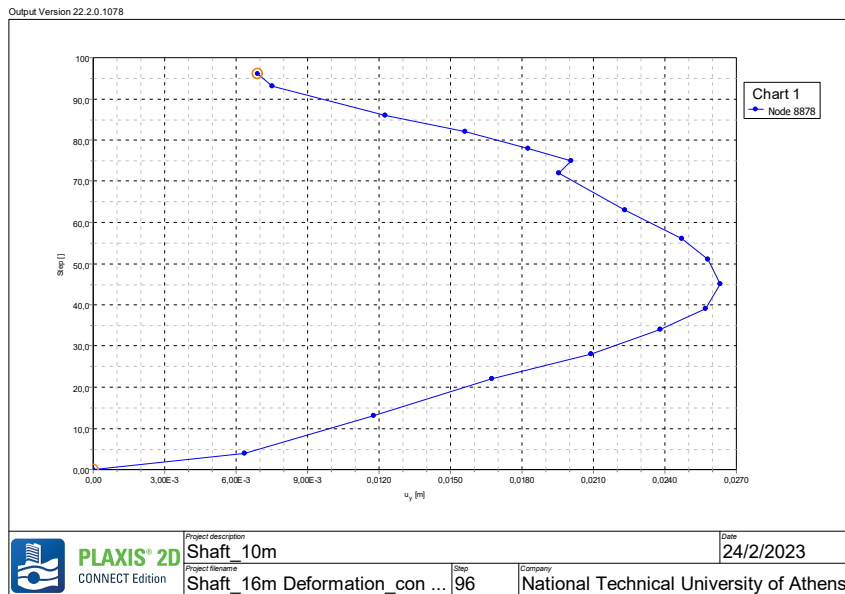
Εικόνα 41 -Plaxis 2D\_5h Ανάλυση -Οι μέγιστες και οι ελάχιστες οριζόντιες μετακινήσεις στην τελευταία φάση (Φάση 17).



Εικόνα 42 -Plaxis 2D\_5h Ανάλυση -Οι μέγιστες και οι ελάχιστες κατακόρυφες μετακινήσεις στην τελευταία φάση (Φάση 17).

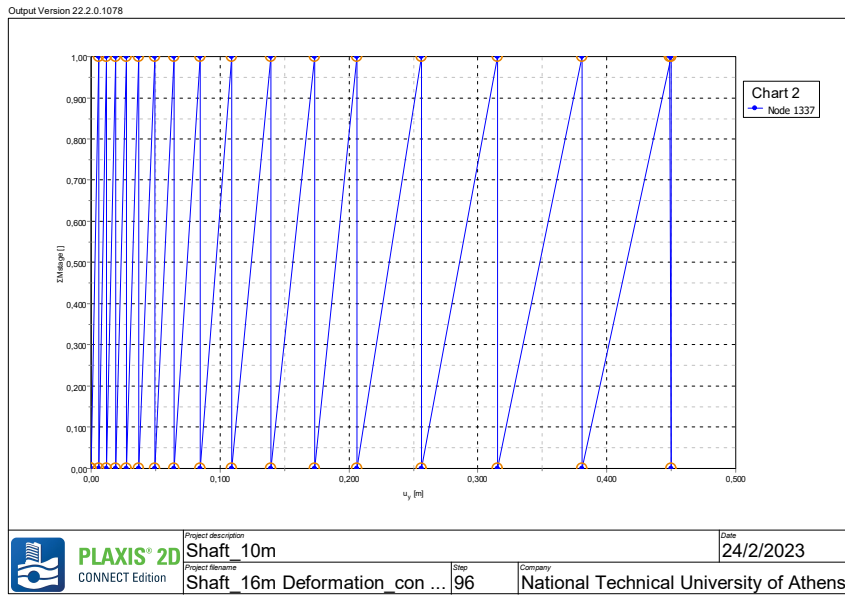


Εικόνα 43 - Plaxis 2D\_5η Ανάλυση -Διάγραμμα “hoop forces” του φορέα κατά την τελευταία φάση προσομοίωσης (Φάση 17)

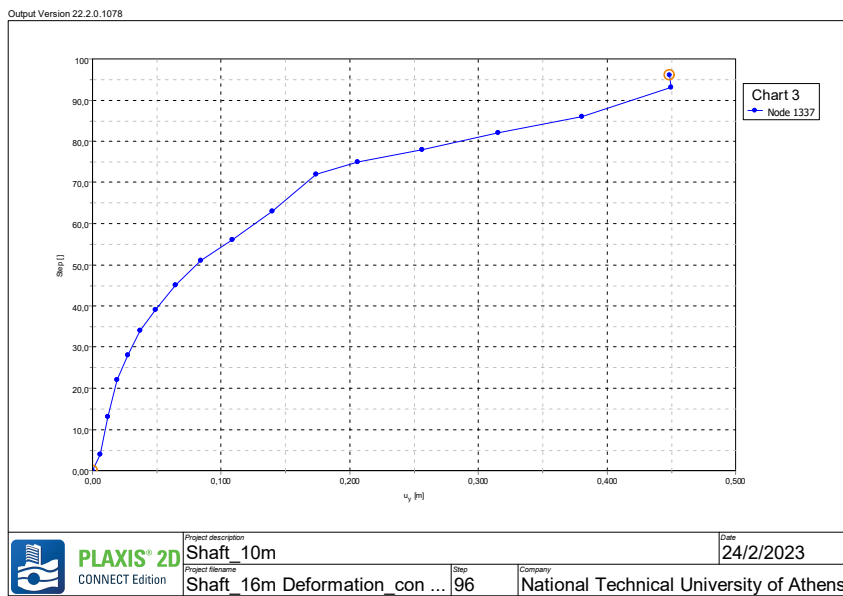


Διάγραμμα 9 - Plaxis 2D\_5η Ανάλυση - Η καμπύλη κατακόρυφων μετατοπίσεων σε σημείο στην επιφάνεια του εδάφους.



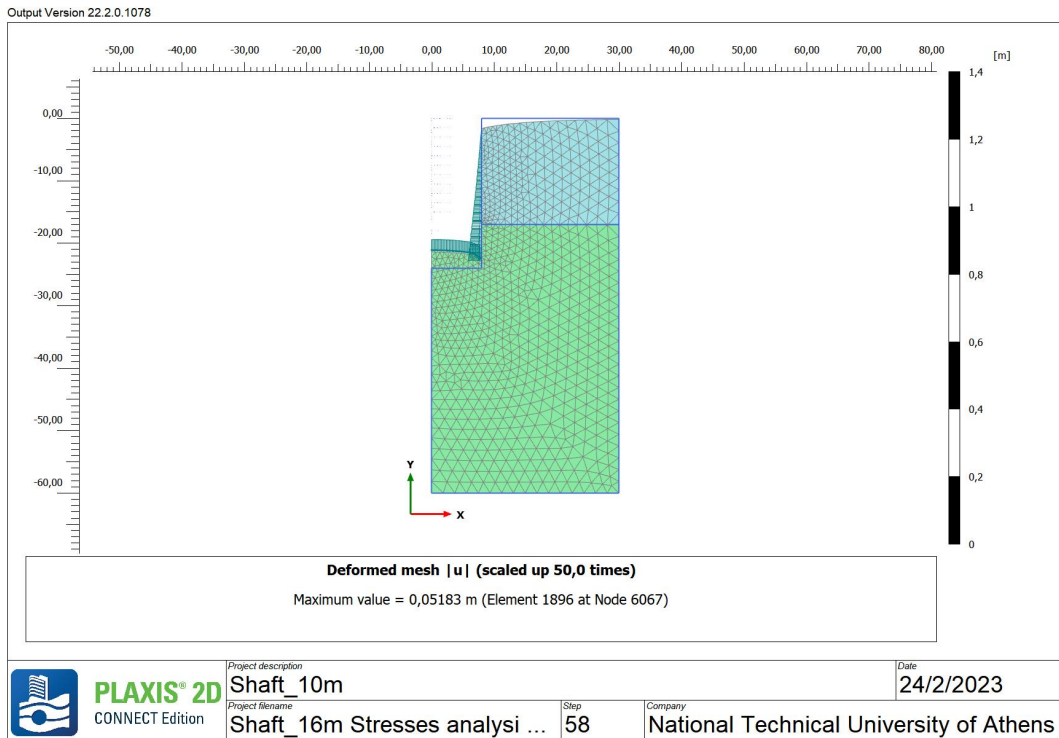


**Διάγραμμα 10** - Plaxis 2D\_5η Ανάλυση - Η καμπύλη ανύψωσης του πυθμένα σε σημείο στο μέσο του πυθμένα.

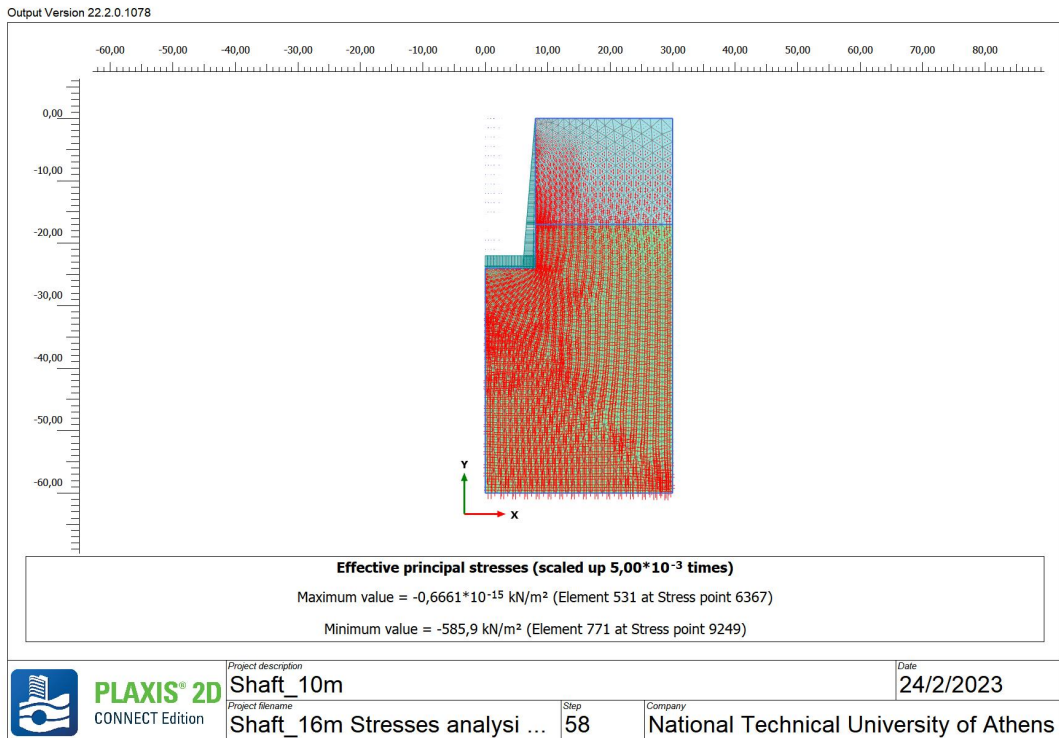


**Διάγραμμα 11** - Plaxis 2D\_5η Ανάλυση - Η καμπύλη κατακόρυφων μετατοπίσεων σε σημείο στον πυθμένα του εδάφους.

4.4.6. PLAXIS 2D – 6η Ανάλυση - STRESS ANALYSIS, HARDENING SOIL, D=16m

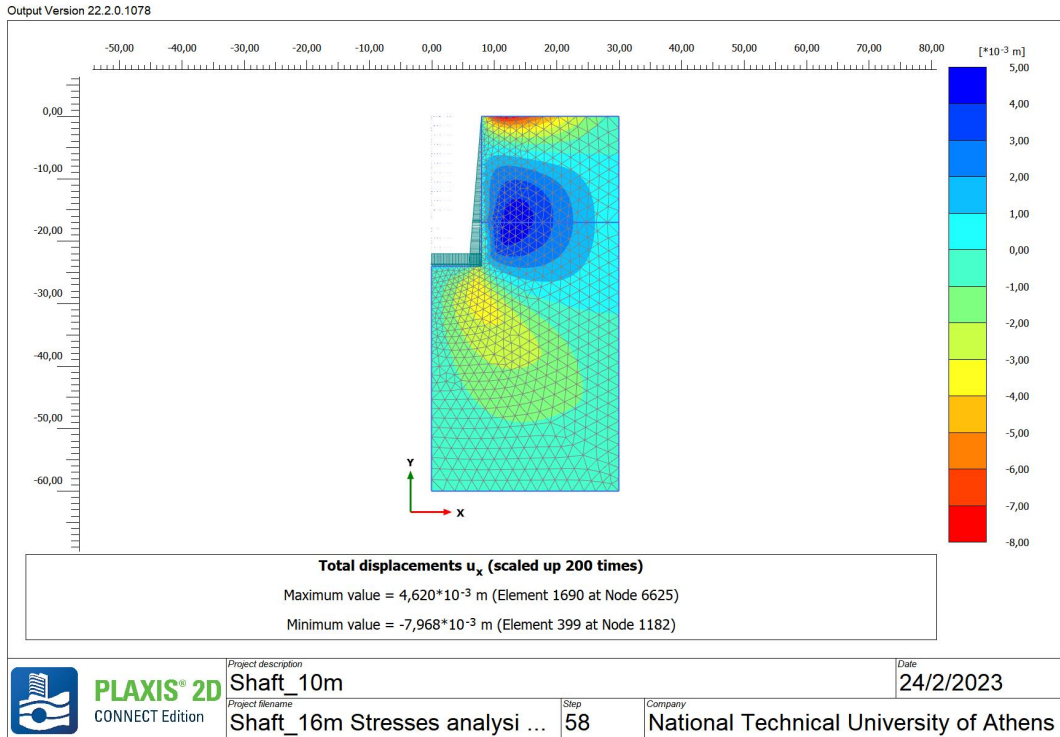


Εικόνα 44 - Plaxis 2D\_6η Ανάλυση - Ο “παραμορφωμένος κάρναβος” πεπερασμένων στοιχείων στην τελευταία φάση κατασκευής (16η φάση).

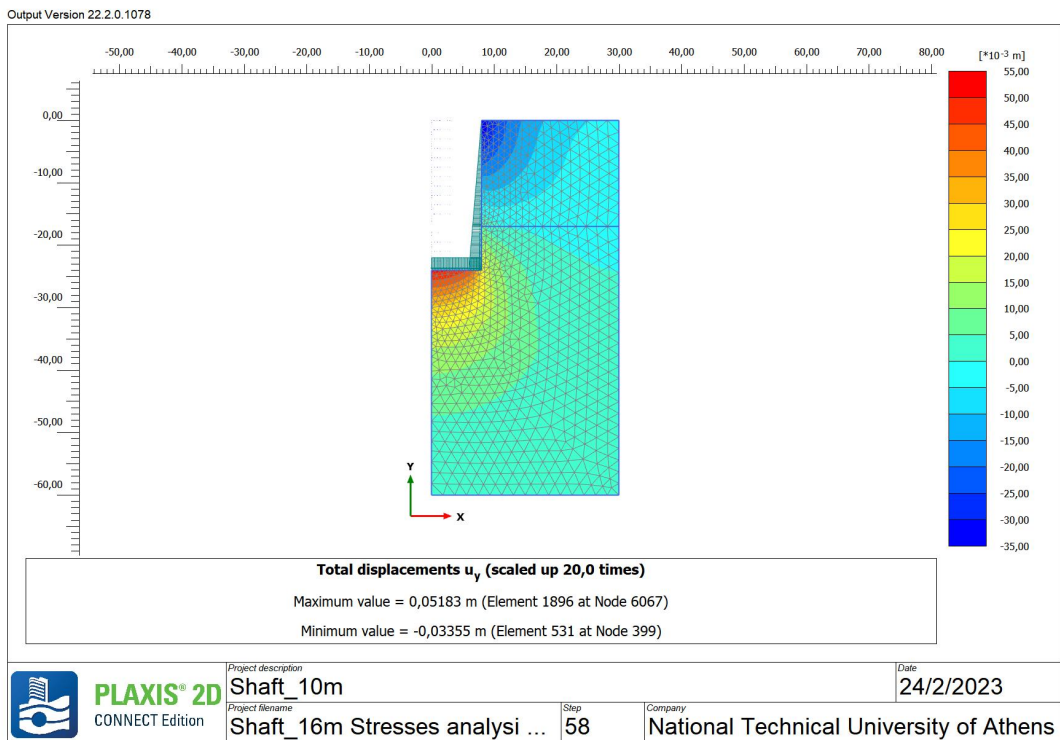


Εικόνα 45 - Plaxis 2D\_6η Ανάλυση - Η διεύθυνση των ενεργών κύριων τάσεων κατά την τελευταία φάση προσομοίωσης(16η φάση)..

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΡΕΑΤΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

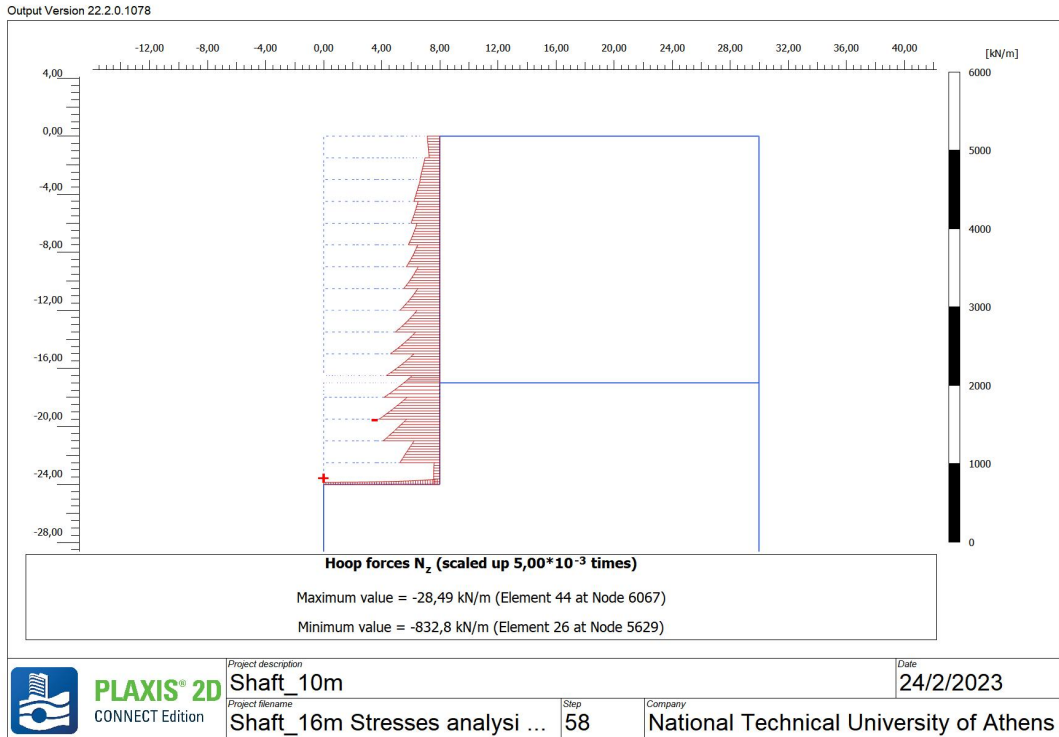


Εικόνα 46 -Plaxis 2D\_6h Ανάλυση -Οι μέγιστες και οι ελάχιστες οριζόντιες μετακινήσεις στην τελευταία φάση (Φάση 16).

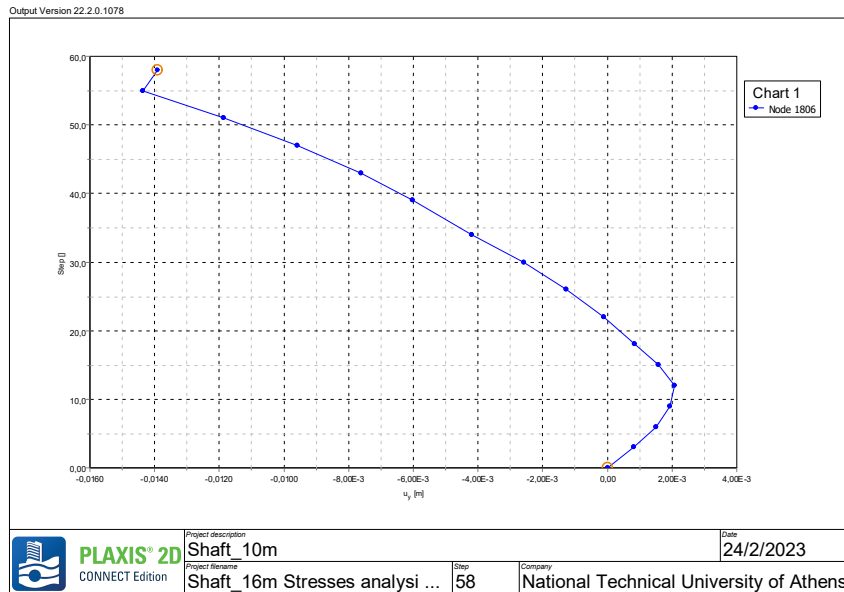


Εικόνα 47 -Plaxis 2D\_6h Ανάλυση -Οι μέγιστες και οι ελάχιστες κατακόρυφες μετακινήσεις στην τελευταία φάση (Φάση 16).

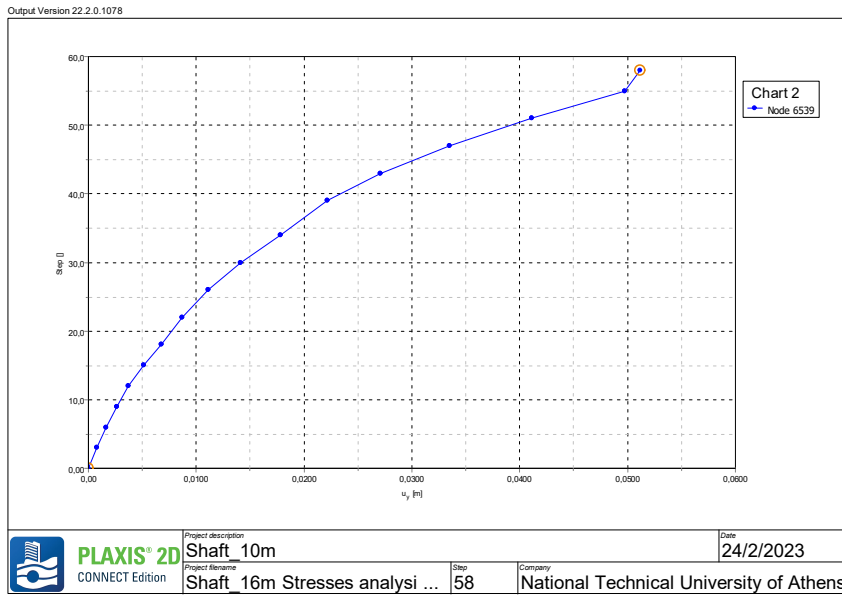
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΡΕΑΤΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ



Εικόνα 48 - Plaxis 2D\_6η Ανάλυση -Διάγραμμα “hoop forces” του φορέα κατά την τελευταία φάση προσομοίωσης (Φάση 16)

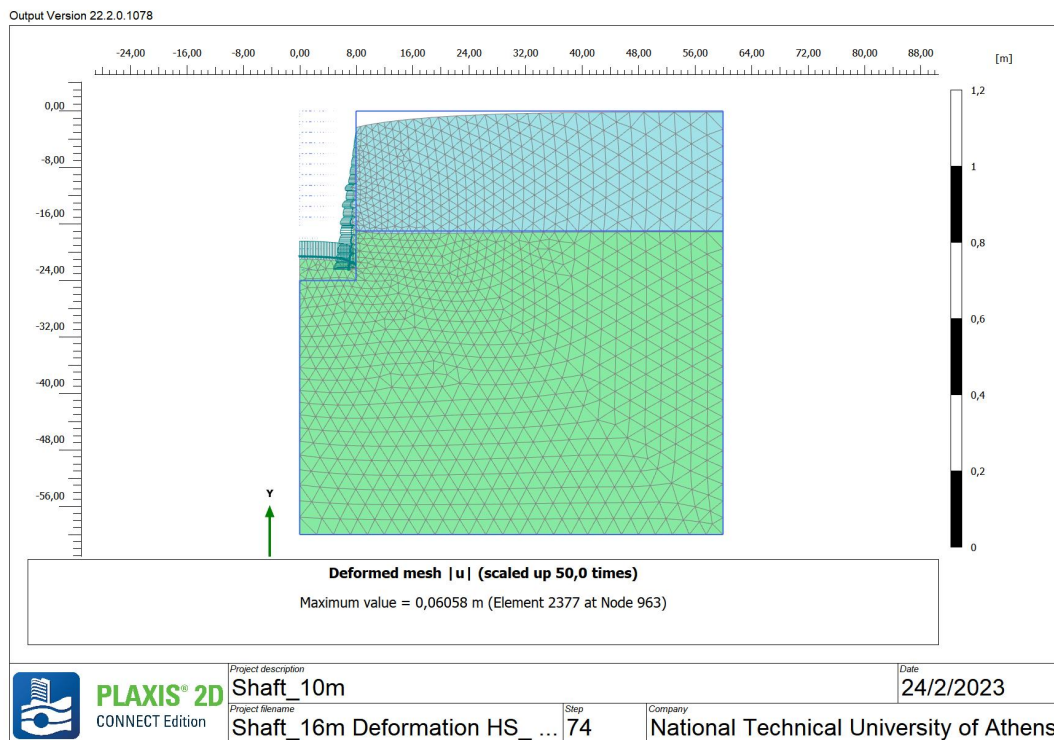


Διάγραμμα 11 - Plaxis 2D\_5η Ανάλυση - Η καμπύλη κατακόρυφων μετατοπίσεων σε σημείο στην επιφάνεια του εδάφους.



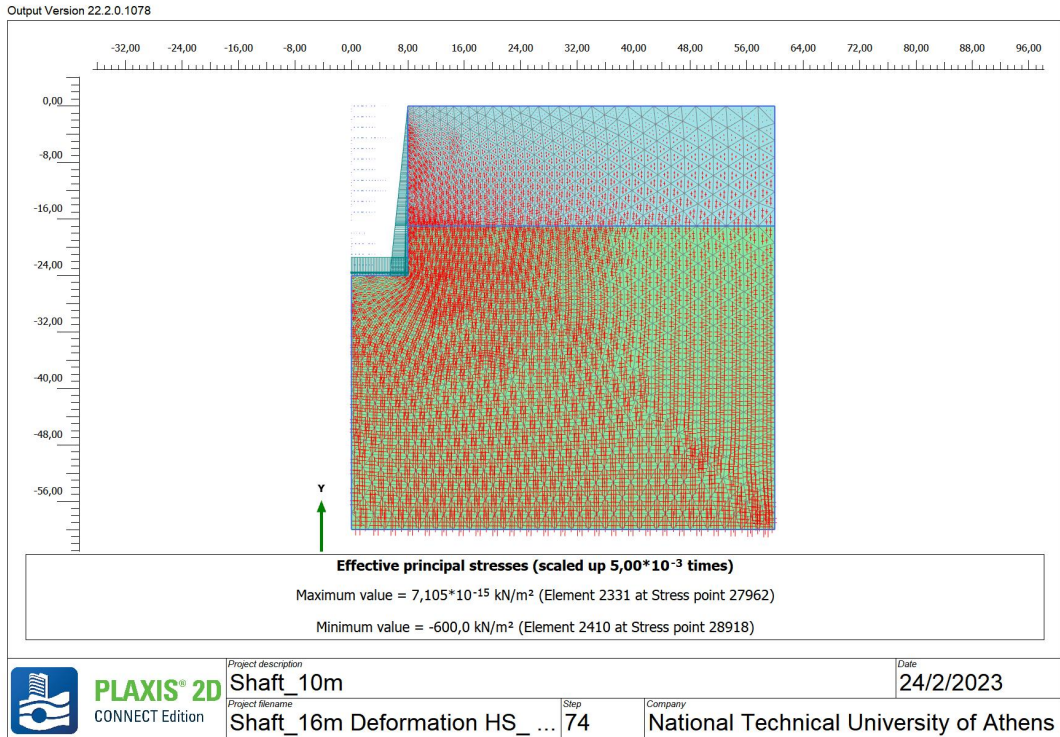
Διάγραμμα 12 - Plaxis 2D\_2η Ανάλυση - Η καμπύλη κατακόρυφων μετατοπίσεων σε σημείο στον πυθμένα του εδάφους.

#### 4.4.7. PLAXIS 2D – 7η Ανάλυση - DEFORMATION ANALYSIS, HARDENING SOIL, D=16m

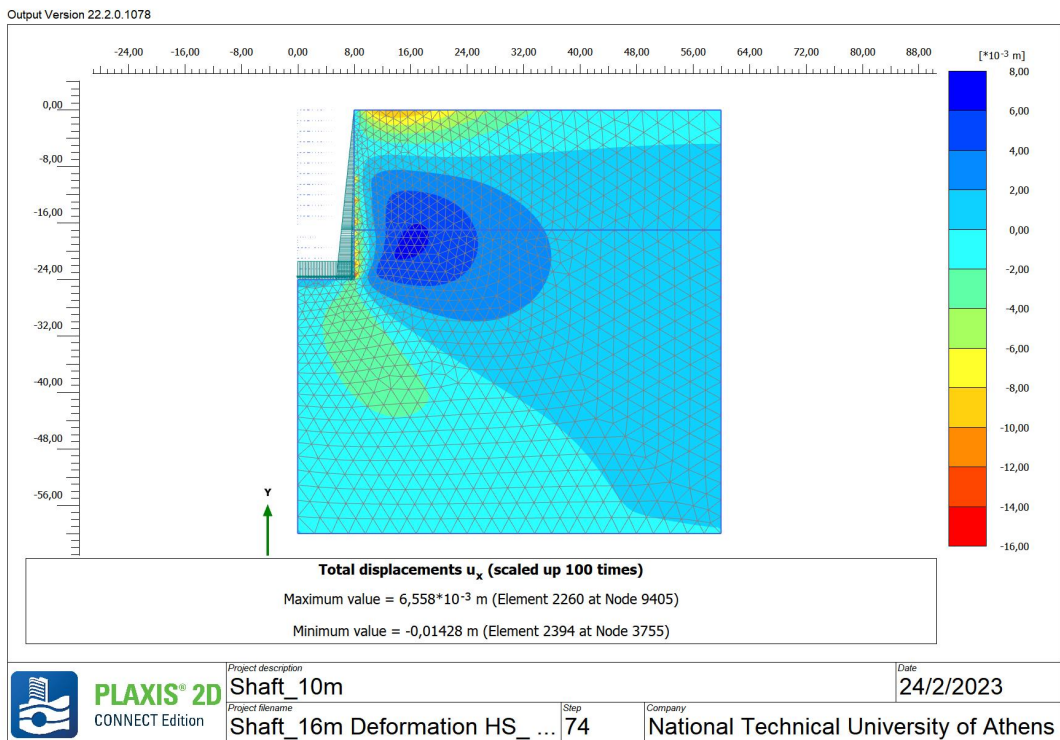


Εικόνα 49 - Plaxis 2D\_7η Ανάλυση - Ο “παραμορφωμένος κάρναβος” πεπερασμένων στοιχείων μετά την 17η φάση προσομοίωσης (τελευταία φάση).

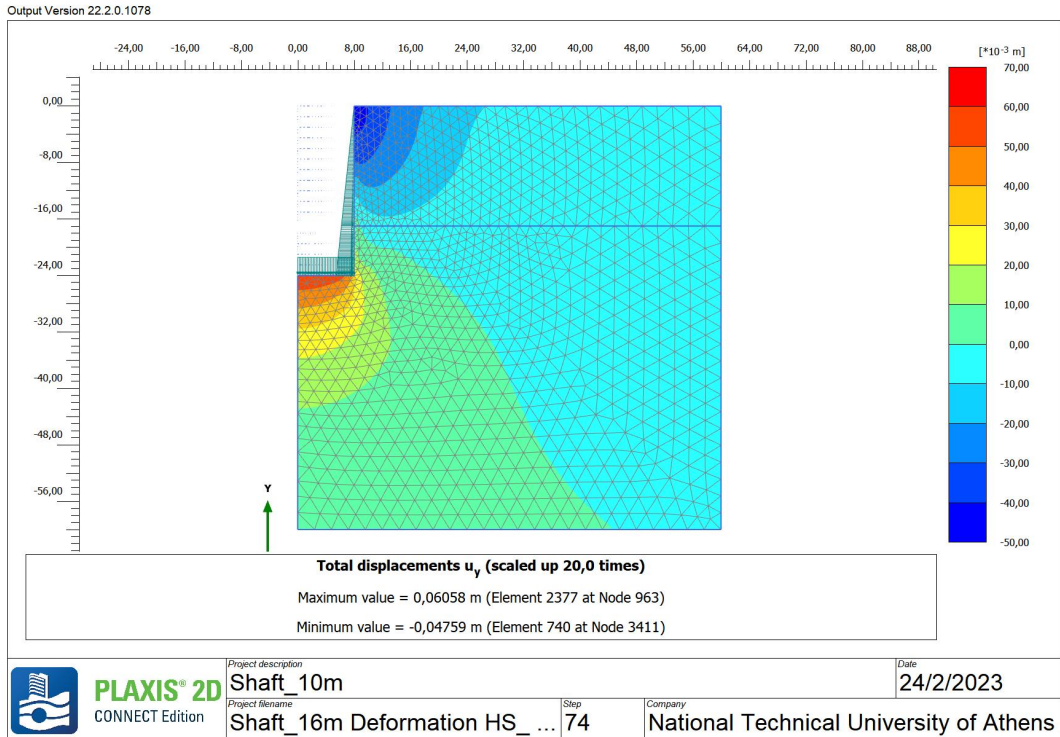
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΡΕΑΤΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ



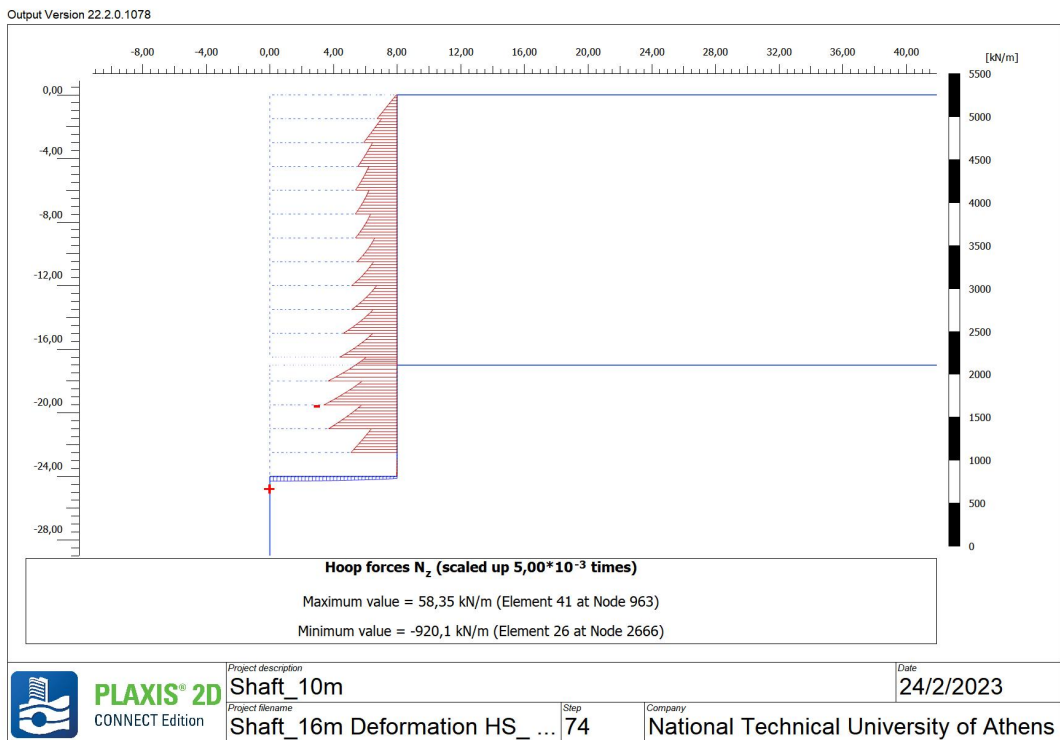
Εικόνα 50 - Plaxis 2D\_7η Ανάλυση - Η διεύθυνση των ενεργών κύριων τάσεων κατά την τελευταία φάση προσομοίωσης(17η φάση).



Εικόνα 51 -Plaxis 2D\_7η Ανάλυση - Η μέγιστη οριζόντια μετακίνηση μετά την 17η φάση προσομοίωσης (τελευταία φάση).

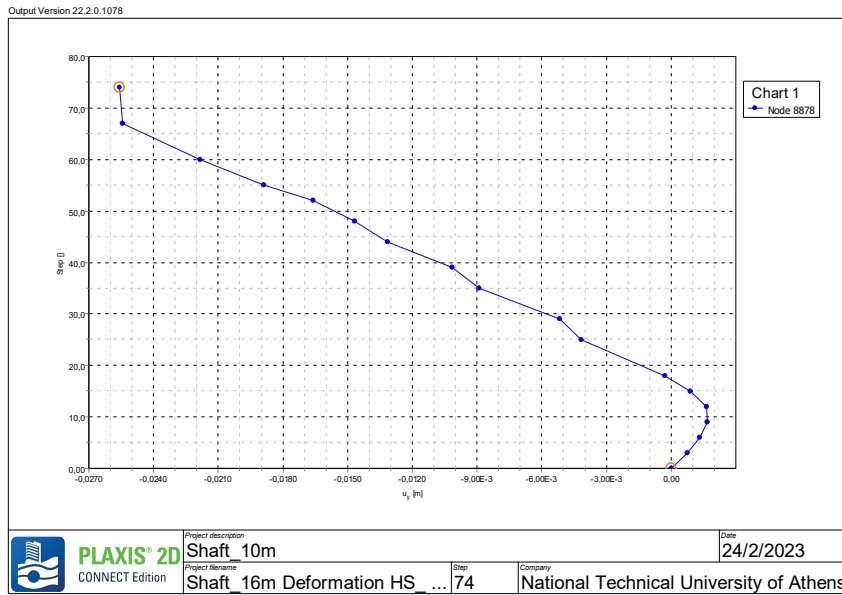


Εικόνα 52 -Plaxis 2D\_7η Ανάλυση - Η μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση μετά την 17η φάση προσομοίωσης (τελευταία φάση).

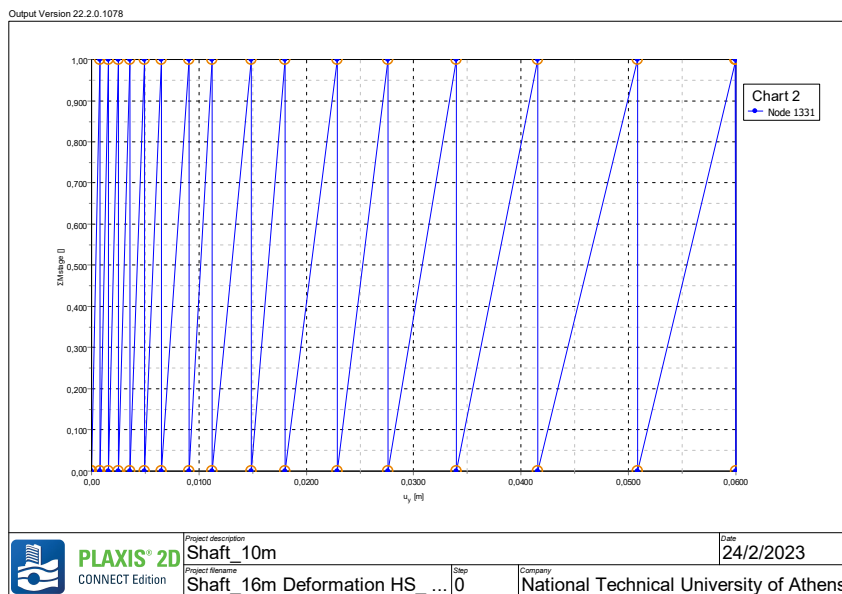


Εικόνα 53 - Plaxis 2D\_7η Ανάλυση -Διάγραμμα “hoop forces” του φορέα κατά την τελευταία φάση προσομοίωσης (Φάση 17).

## ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΡΕΑΤΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ



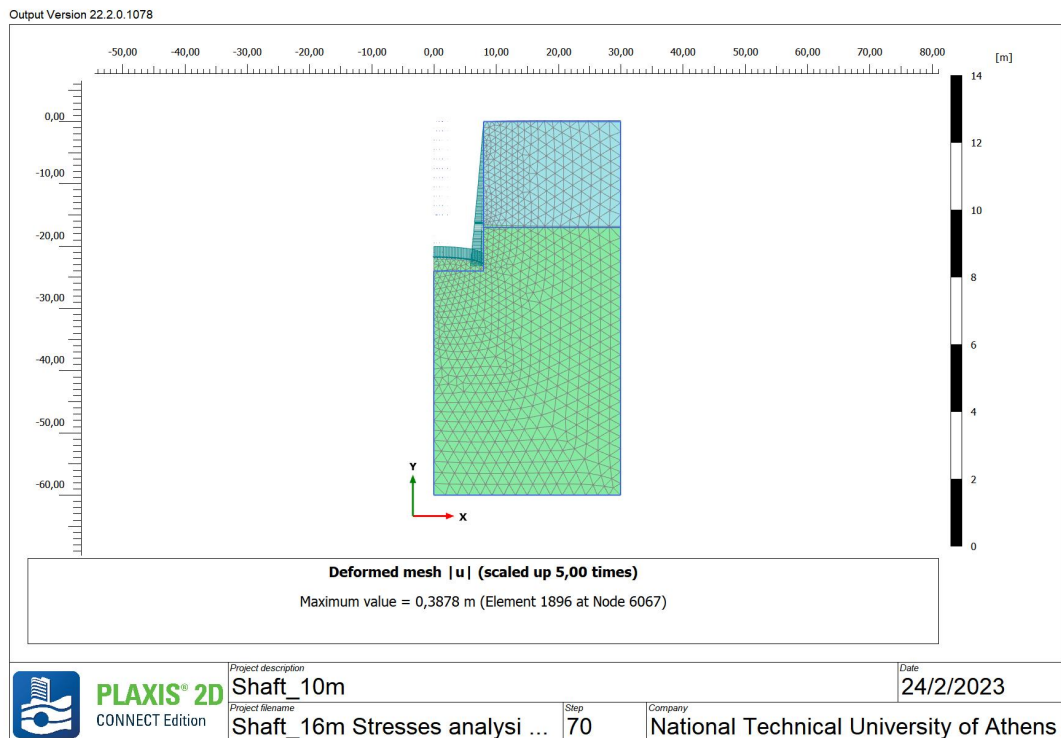
**Διάγραμμα 14** - Plaxis 2D\_7η Ανάλυση - Η καμπύλη κατακόρυφων μετατοπίσεων σε σημείο στην επιφάνεια του εδάφους.



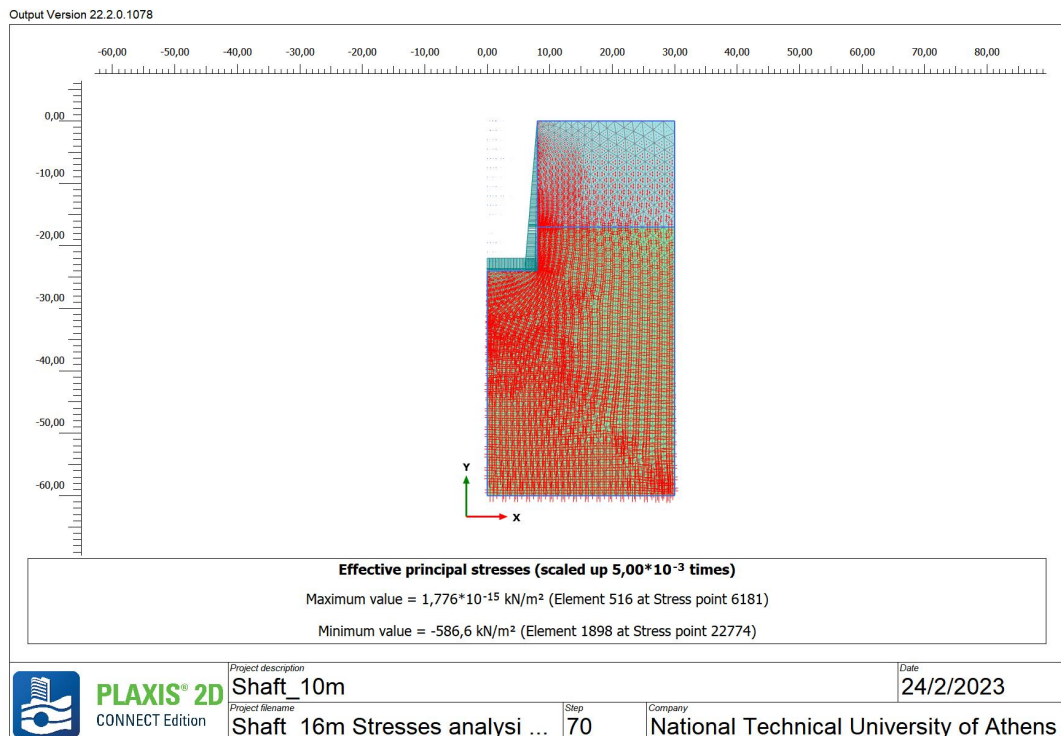
**Διάγραμμα 15** - Plaxis 2D\_7η Ανάλυση - Η καμπύλη ανύψωσης του πυθμένα σε σημείο στο μέσο του πυθμένα.



4.4.8. PLAXIS 2D – 8η Ανάλυση - STRESS ANALYSIS, MOHR COULOMB, D=16m

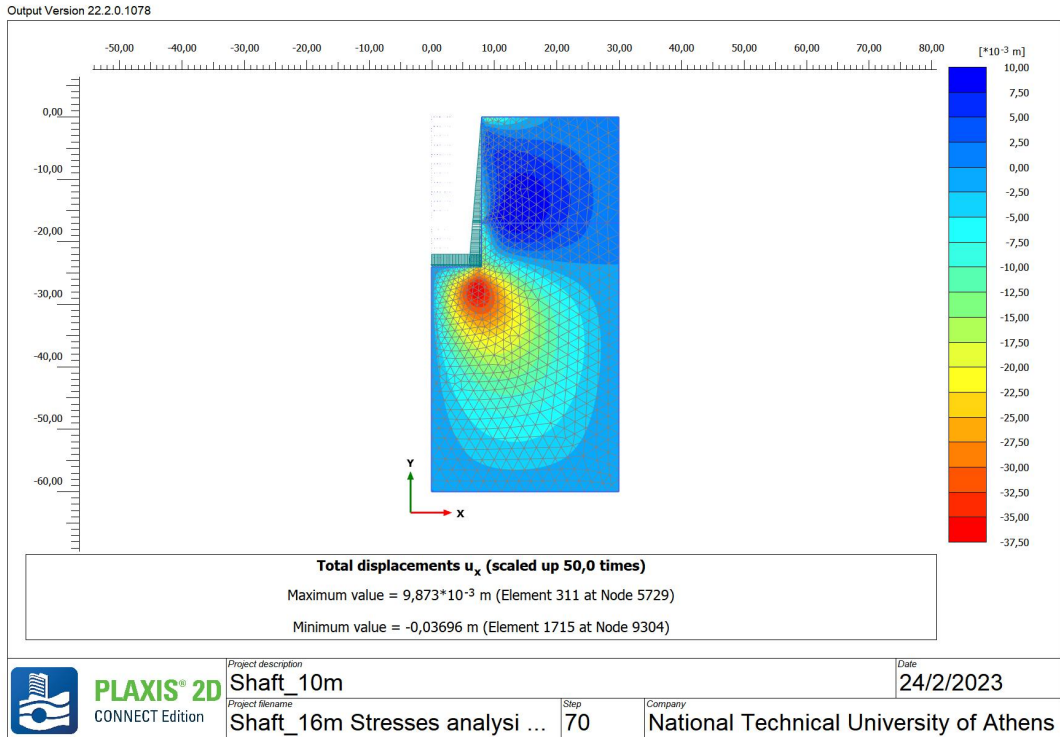


Εικόνα 54 - Plaxis 2D\_8η Ανάλυση - Ο “παραμορφωμένος κάρναβος” πεπερασμένων στοιχείων στην τελευταία φάση κατασκευής (16η φάση).

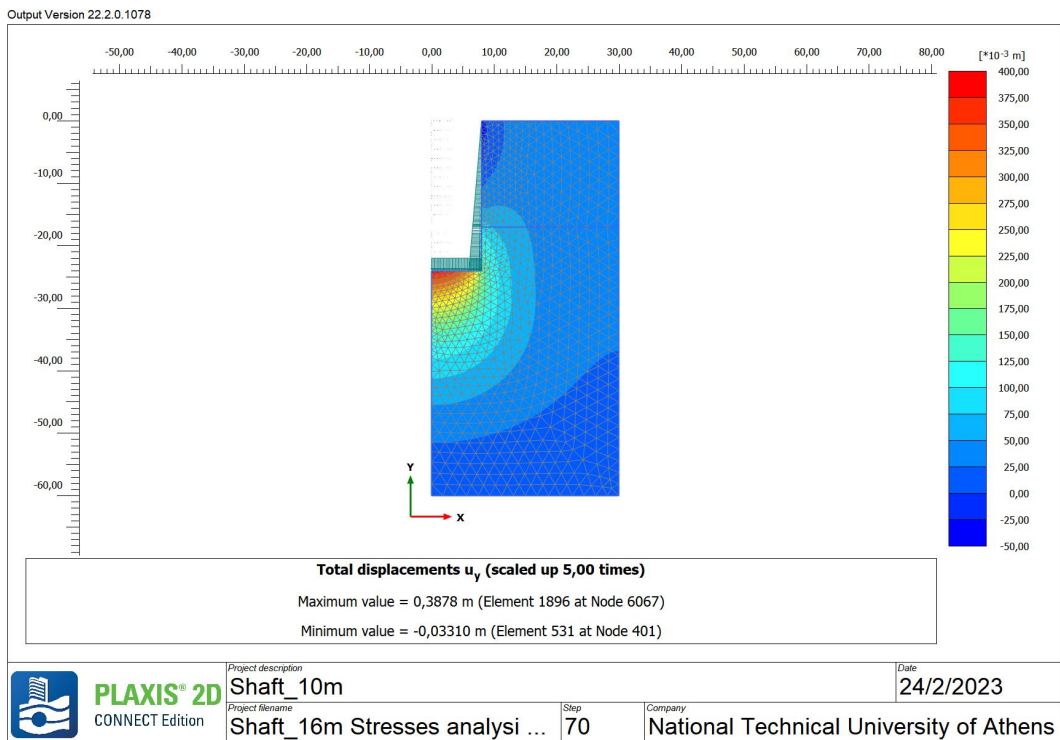


Εικόνα 55 - Plaxis 2D\_8η Ανάλυση - Η διεύθυνση των ενεργών κύριων τάσεων κατά την τελευταία φάση προσομίωσης.

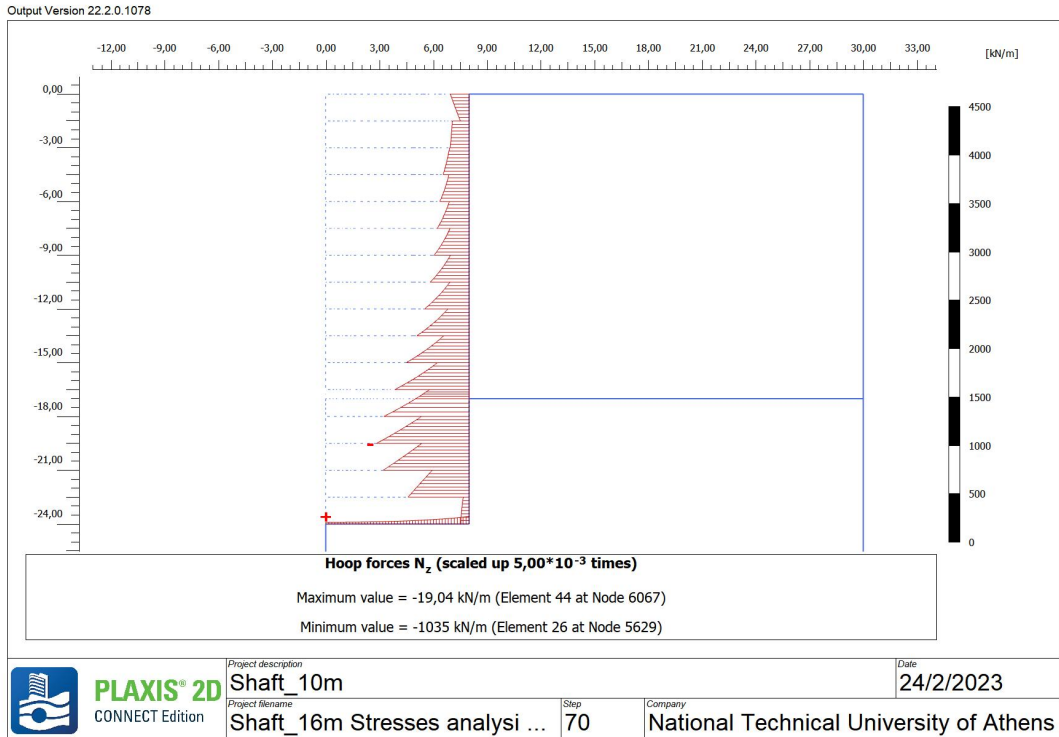
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΡΕΑΤΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ



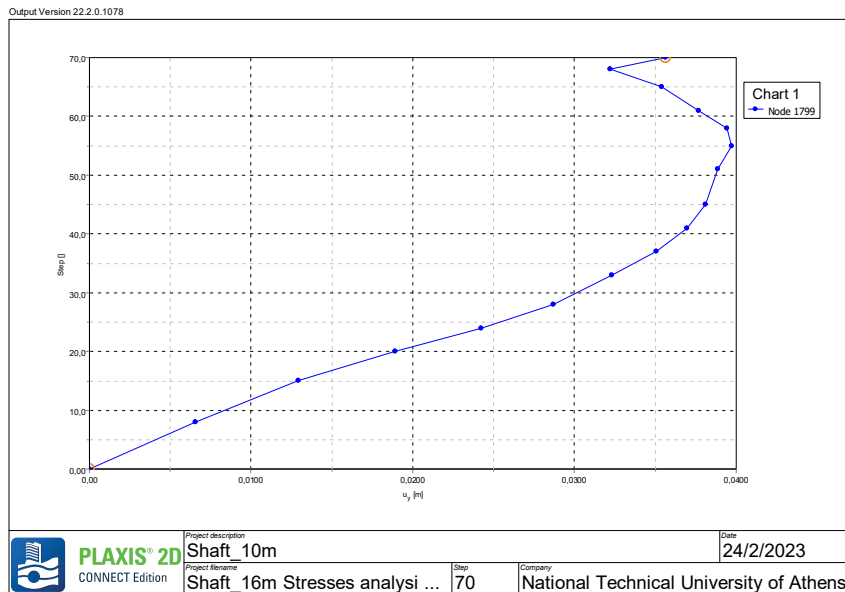
Εικόνα 56 -Plaxis 2D\_8η Ανάλυση -Οι μέγιστες και οι ελάχιστες οριζόντιες μετακινήσεις στην τελευταία φάση (Φάση 16).



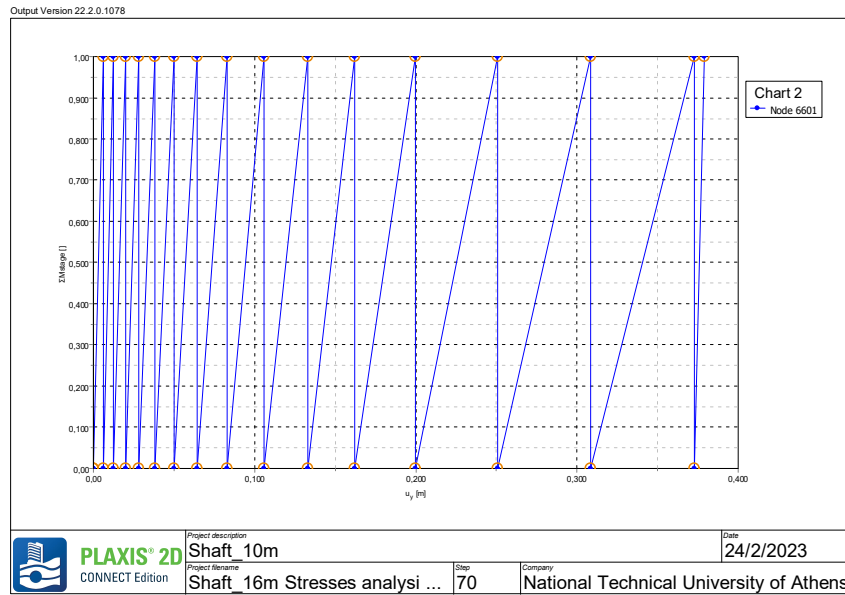
Εικόνα 57 -Plaxis 2D\_8η Ανάλυση -Οι μέγιστες και οι ελάχιστες κατακόρυφες μετακινήσεις στην τελευταία φάση (Φάση 16).



Εικόνα 58 - Plaxis 2D\_8η Ανάλυση -Διάγραμμα “hoop forces” του φορέα κατά την τελευταία φάση προσομοίωσης (Φάση 16)



Διάγραμμα 16 - Plaxis 2D\_8η Ανάλυση - Η καμπύλη κατακόρυφων μετατοπίσεων σε σημείο στην επιφάνεια του εδάφους.



**Διάγραμμα 17-** Plaxis 2D\_8η Ανάλυση - Η καμπύλη κατακόρυφων μετατοπίσεων σε σημείο στον πυθμένα του εδάφους.

#### 4.5. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στην συνέχεια , παρουσιάζονται στον Πίνακα 5 συνοπτικά τα αποτελέσματα των αναλύσεων στην τελευταία φάση της κατασκευής. Σημειώνεται ότι υπάρχει πλήρης ταύτιση με τα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας (Ε. Moustakio, 2020).

	Ανάλυση	lul(m)	Max U <sub>x</sub> (m)	Max U <sub>y</sub> (m)	Max Effective principal stresses (kN/m <sup>2</sup> )	Max Hoop Forces N <sub>z</sub> (kN/m)
Κυλινδρικό Φρεάτιο D=10m	1 <sup>η</sup> (MC -Dry Deformation)	0,2985	7,539 *10 <sup>-3</sup>	0,2985	0,02842 * 10 <sup>-12</sup>	2,819
	2 <sup>η</sup> (MC -Dry Stress)	0,2371	6,088 *10 <sup>-3</sup>	0,2371	2,655*10 <sup>-15</sup>	-19,12
	3 <sup>η</sup> (HS-Dry Stress)	0,05068	4,737 *10 <sup>-3</sup>	0,03329	-0,01940	-25,28
	4 <sup>η</sup> (HS -Dry Deformation)	0,07258	5,709*10 <sup>-3</sup>	0,04149	1,887 *10 <sup>-15</sup>	0,02288
Κυλινδρικό Φρεάτιο D=16m	5 <sup>η</sup> (MC -Dry Deformation)	0,455	7,425*10 <sup>-3</sup>	0,455	0,01421*10 <sup>-12</sup>	85,33
	6 <sup>η</sup> (HS -Dry Stress)	0,05183	4,620 *10 <sup>-3</sup>	0,05183	-0,661*10 <sup>-15</sup>	-28,49
	7 <sup>η</sup> (HS -Dry Deformation)	0,06058	6,558 *10 <sup>-3</sup>	0,06058	7,105*10 <sup>-15</sup>	58,35
	8 <sup>η</sup> (MC -Dry Stress)	0,3878	9,873 *10 <sup>-3</sup>	0,3878	1,776*10 <sup>-15</sup>	-19,04

**Πίνακας 6 -** Πίνακας αποτελεσμάτων δισδιάστατων αναλύσεων.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω σημειώνονται τα εξής:

1. Σε όλες τις αναλύσεις
  - Η ανύψωση του πυθμένα, ολοκληρώνεται πριν την τοποθέτηση του “lean concrete”. Η τοποθέτηση του “lean concrete” μειώνει ελάχιστα την ανύψωση λόγω εφαρμογής (στον πυθμένα) του ιδίου βάρους σκυροδέματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι, η ανύψωση του πυθμένα είναι πολύ μικρότερη όταν σαν κριτήριο αστοχίας επιλέγεται κριτήριο “Hardening Soil” λόγω της μεγαλύτερης τιμής του μέτρου ελαστικότητας κατά την αποφόρτιση (Εαπ.~4Εφορ.).
  - Παρουσιάζονται προβλήματα πλαστικών παραμορφώσεων στην περιφέρεια του πυθμένα της εκσκαφής με αποτέλεσμα την περαιτέρω ανύψωση αυτού. Το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα έντονο όταν επιλέγεται το κριτήριο “Mohr-Coulomb”.
  - Στην περιφέρεια του πυθμένα, παρατηρούνται ορισμένα σημεία αστοχίας λόγω υπέρβασης της εφελκυστικής αντοχής της στρώσης “sandy silt”.
  - Εμφανίζονται περιμετρικές καθιζήσεις πλησίον της εκσκαφής.
2. Η αύξηση της διαμέτρου του φρέατος διατηρώντας τις υπόλοιπες παραμέτρους ως έχουν :
  - Έχει ως αποτέλεσμα την αντίστοιχη αύξηση των οριζοντίων και κατακορύφων μετακινήσεων.
  - Η ανύψωση του πυθμένα είναι ιδιαίτερα δυσμενής.
  - Παρατηρείται ότι οι “Hoop forces” είναι ιδιαίτερα αυξημένες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

#### 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κύριο αντικείμενο της ανάλυσης είναι η προσομοίωση της σταδιακής διαδικασίας εκσκαφής και της διαδοχικής κατασκευής κατακόρυφου φρέατος αερισμού, υπό τρισδιάστατες συνθήκες. Η ανάλυση διεξάγεται απουσία και παρουσία υπόγειων υδάτων. Οι διάφορες υποθέσεις, οι αναλύσεις που διεξήχθησαν και τα υπολογιστικά αποτελέσματα αναφέρονται αναλυτικά.

#### 5.2 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

1. Ως μοντέλο επιλέγεται το πλήρες μοντέλο διότι παρουσία ροής νερού το αξονοσυμμετρικό μοντέλο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί.
2. Οι αναλύσεις διεξάγονται με παρουσία νερού. Η ύπαρξη νερού έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη πιέσεων νερού των πόρων στα εδαφικά στρώματα. Η κύρια υπόθεση που έγινε είναι η συνθήκη της σταθερής ροής, δηλαδή η ταχύτητα της ροής του νερού σε οποιαδήποτε σημείο στο έδαφος παραμένει σταθερή σε σχέση με το χρόνο. Η κατάσταση μόνιμης ροής είναι αρκετά συνηθισμένο φαινόμενο στη φύση. Εάν οι οριακές συνθήκες παραμείνουν αμετάβλητες για μια χρονική περίοδο, η ροή του νερού στο έδαφος θα πλησιάσει σταδιακά τις συνθήκες συνεχούς ροής.
3. Για την αναπαράσταση της συμπεριφοράς του εδάφους χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Hardening Soil.
4. Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα θεωρήθηκε ότι ταυτίζεται με το επίπεδο του εδάφους
5. Οι συντελεστές διαπερατότητας/υδραυλικής αγωγιμότητας έχουν τις μονάδες της ταχύτητας. Σε τέτοιους υπολογισμούς, είναι απαραίτητο να καθοριστεί ο συντελεστής διαπερατότητας για όλα τα ελεύθερης στράγγισης και/ή εμποδιζόμενης στράγγισης εδαφικά στρώματα.
6. Όπως και στα δισδιάστατα μοντέλα, η υπόθεση του βάθους του εκσκαφής βασίζεται στη διάσταση των προκατασκευασμένων στοιχείων από σκυρόδεμα δηλαδή 1,5 μέτρα ύψος.
7. Οι διαστάσεις του καννάβου του αριθμητικού προσομοιώματος ορίστηκαν  $x_{\min}=0$ ,  $x_{\max}=30$  και  $y_{\min}=-60$ ,  $y_{\max}=0$

#### 5.3 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Αρχικά έγινε προσομοίωση του φρέατος σε ξηρές συνθήκες χωρίς νερό. Τα βήματα υπολογισμού ανάλογα με τον τύπο ανάλυσης, την παραμόρφωση ή την τάση, είναι πανομοιότυπα όπως στις δισδιάστατες αναλύσεις που παρουσιάστηκαν προηγουμένως. Στην συνέχεια, προσομοιώθηκε το φρέαρ με παρουσία νερού. Για τον υποβιβασμό του υδροφόρου χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα πηγαδιών το οποίο βασίστηκε στην ερευνητική εργασία του Ενρίκο Μουστάσιο, 2019 και στην συνέχεια έγινε παραμετροποίηση σε σχέση με τον ρυθμό άντλησης των πηγαδιών( $Q_w$ ). Τέλος, προσομοιώθηκε μια διαφορετική διάταξη πηγαδιών με ορθογώνιο σύστημα.

Plaxis 3D Analysis	
Αναλύσεις	Σύντομη περιγραφή
1 <sup>η</sup> Ανάλυση	Κατακόρυφο κυλινδρικό φρέαρ διαμέτρου 10 m, σε <b>ξηρές συνθήκες</b> Deformation analysis ,Hardening Soil
2 <sup>η</sup> Ανάλυση	Κατακόρυφο κυλινδρικό φρέαρ διαμέτρου 10m, με <b>παρουσία νερού</b> , Deformation analysis, Hardening Soil
3 <sup>η</sup> Ανάλυση	Κατακόρυφο κυλινδρικό φρέαρ διαμέτρου 10m, με <b>παρουσία νερού</b> , Stress analysis, Hardening Soil
4 <sup>η</sup> Ανάλυση	Κατακόρυφο κυλινδρικό φρέαρ διαμέτρου 10m, με παρουσία νερού, Stress analysis, στάθμη υδροφόρου ορίζοντα ( $H_w=0$ ) χρήση συστήματος πηγαδιών, ρυθμός άντλησης πηγαδιών $Q=0,03m^3/s$
5 <sup>η</sup> Ανάλυση	Κατακόρυφο κυλινδρικό φρέαρ διαμέτρου 10m, με παρουσία νερού, Stress analysis, στάθμη υδροφόρου ορίζοντα ( $H_w=0$ ) χρήση συστήματος πηγαδιών, ρυθμός άντλησης πηγαδιών $Q=0,06m^3/s$
6 <sup>η</sup> Ανάλυση	Κατακόρυφο κυλινδρικό φρέαρ διαμέτρου 10m, με παρουσία νερού, Stress analysis, στάθμη υδροφόρου ορίζοντα ( $H_w=0$ ) χρήση συστήματος πηγαδιών, ρυθμός άντλησης πηγαδιών $Q=0,015m^3/s$
7 <sup>η</sup> Ανάλυση	Κατακόρυφο κυλινδρικό φρέαρ διαμέτρου 10m, με παρουσία νερού, Stress analysis, στάθμη υδροφόρου ορίζοντα ( $H_w=0$ ) χρήση συστήματος πηγαδιών, ρυθμός άντλησης πηγαδιών $Q=0,1m^3/s$
8 <sup>η</sup> Ανάλυση	Κατακόρυφο κυλινδρικό φρέαρ διαμέτρου 10m, με παρουσία νερού, Stress analysis, Στάθμη υδροφόρου ορίζοντα ( $H_w=0$ ) χρήση συστήματος πηγαδιών τοποθετημένα σε <b>ορθογώνια διάταξη</b> , ρυθμός άντλησης πηγαδιών $Q=0,03m^3/s$

**Πίνακας 7 :** Συνοπτικός Πίνακας Αναλύσεων Τρισδιάστατων Αναλύσεων

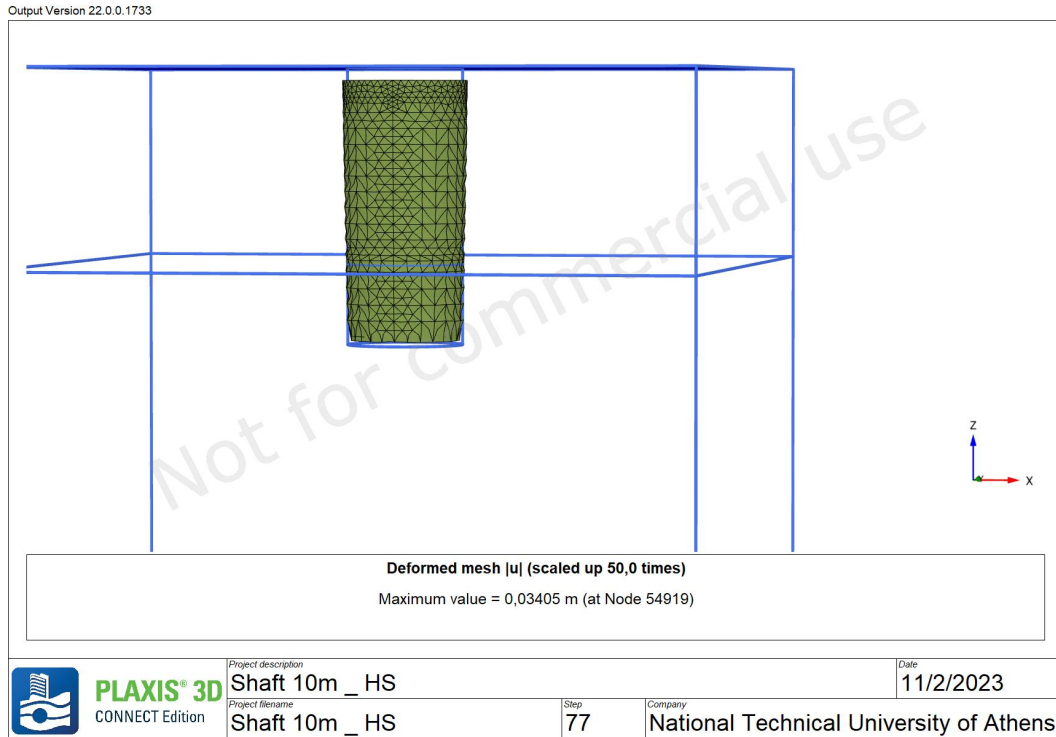
## 5.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των τρισδιάστατων αναλύσεων σε μορφή 3D απεικονίσεων.

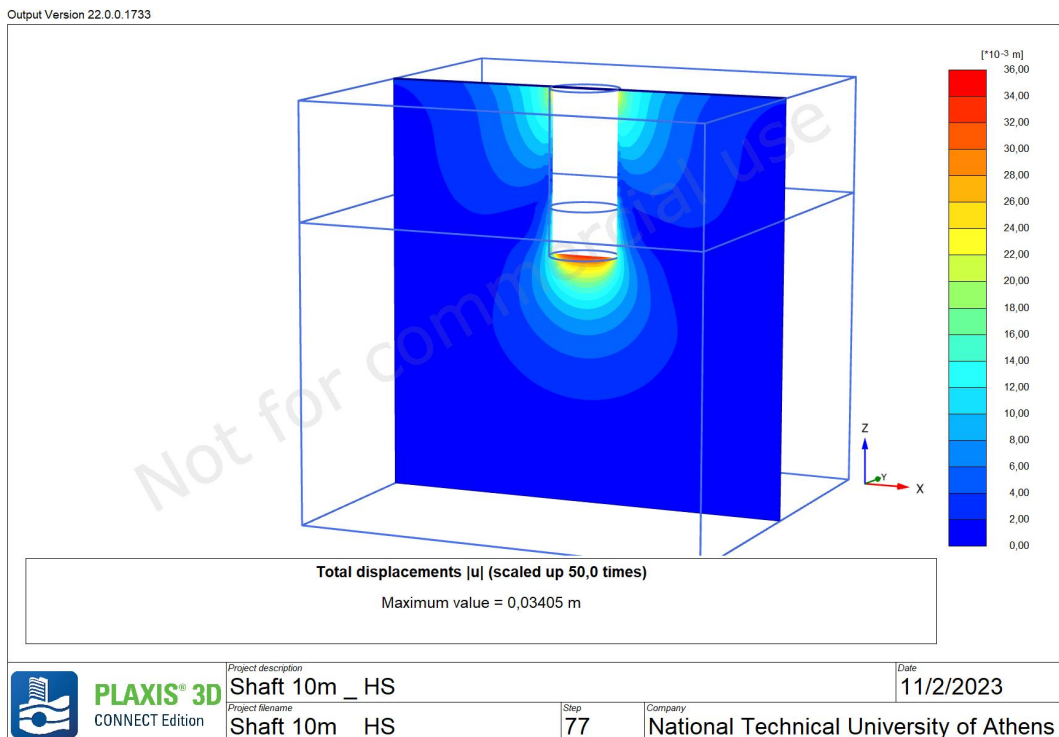
### 5.4.1 PLAXIS 3D – 1η Ανάλυση - HARDENING SOIL,STRESS ANALYSIS,D=10m

Αρχικά, προσομοιώθηκε το κυλινδρικό φρέαρ με διάμετρο 10 μέτρα, σε ξηρές συνθήκες με σκοπό την σύγκριση των αποτελεσμάτων της δισδιάστατης ανάλυσης με της τρισδιάστατης ανάλυσης και την επιβεβαίωση του μοντέλου.

Στην Εικόνα 59 παρουσιάζεται η μορφή του παραμορφωμένου καννάβου, ακολουθούν οι Εικόνες 60 και 61 στις οποίες έχει γίνει μια τομή κατακόρυφη στο μοντέλο και παρατηρείται ότι εμφανίζονται μέγιστες καθιζήσεις τόσο στον πυθμένα όσο και στην επιφάνεια του εδάφους.

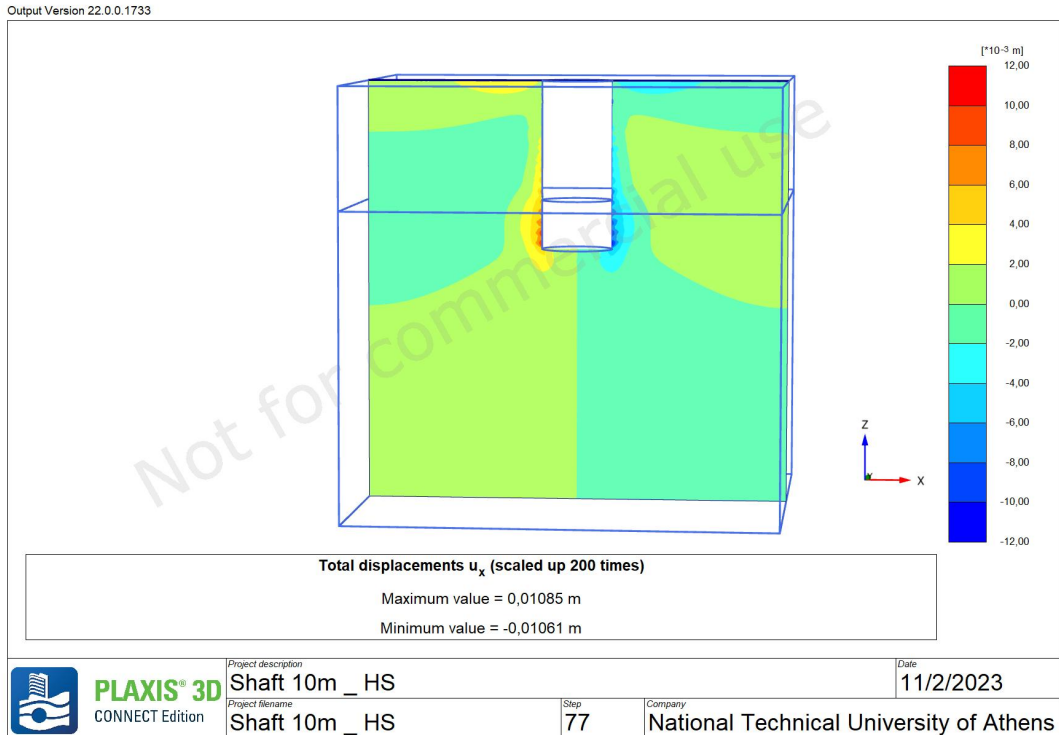


Εικόνα 59 - Plaxis 3D\_1η Ανάλυση - Ο “παραμορφωμένος κάρναβος” πεπερασμένων στοιχείων μετά την 17η φάση προσομοίωσης (τελευταία φάση).

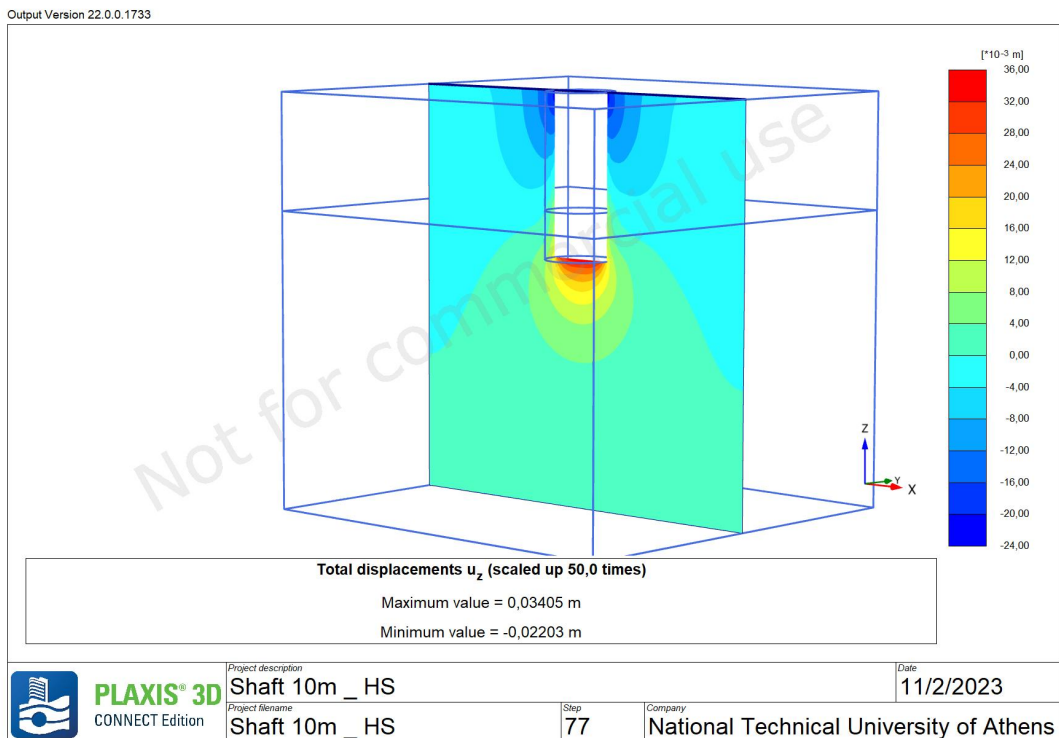


Εικόνα 60 - Plaxis 3D\_1η Ανάλυση - Οι ολικές μετακινήσεις στον πυθμένα μετά την 17η φάση προσομοίωσης (τελευταία φάση).



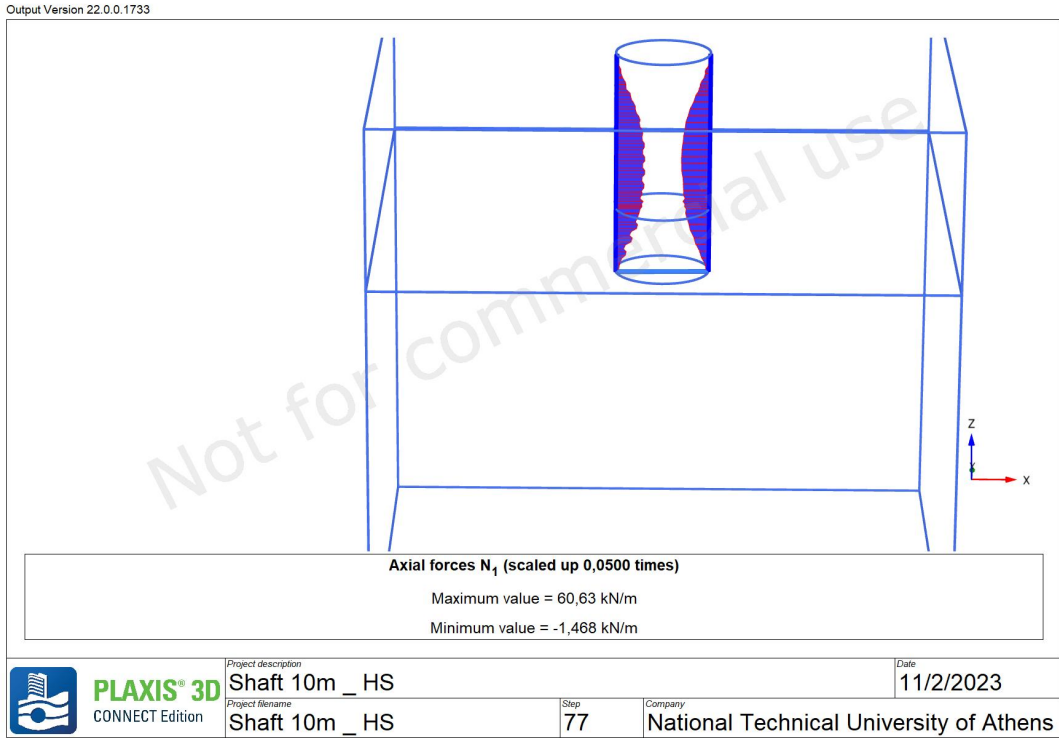


Εικόνα 61 - Plaxis 3D\_1η Ανάλυση - Οι οριζόντιες μετακινήσεις περιμετρικά της εκσκαφής κατά την τελευταία φάση (17η Φάση).

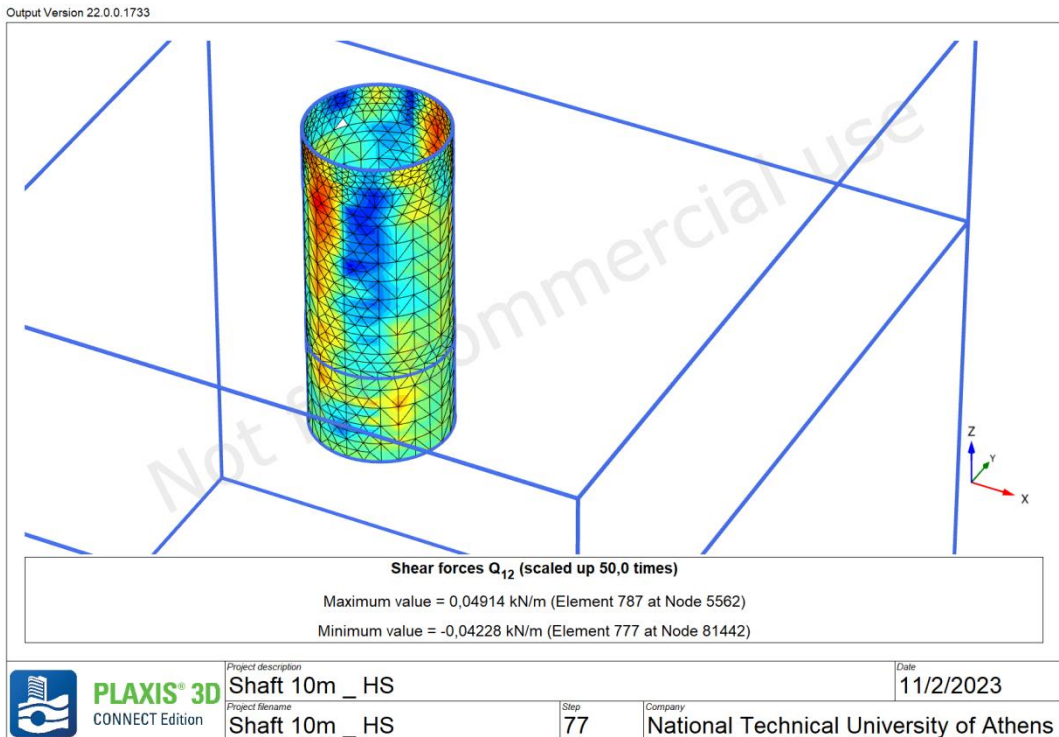


Εικόνα 62 - Plaxis 3D\_1η Ανάλυση - Η καθίζηση του πυθμένα και οι καθιζήσεις των επιφανειακών εδαφικών στοιχείων κατά την τελευταία φάση (17η Φάση).

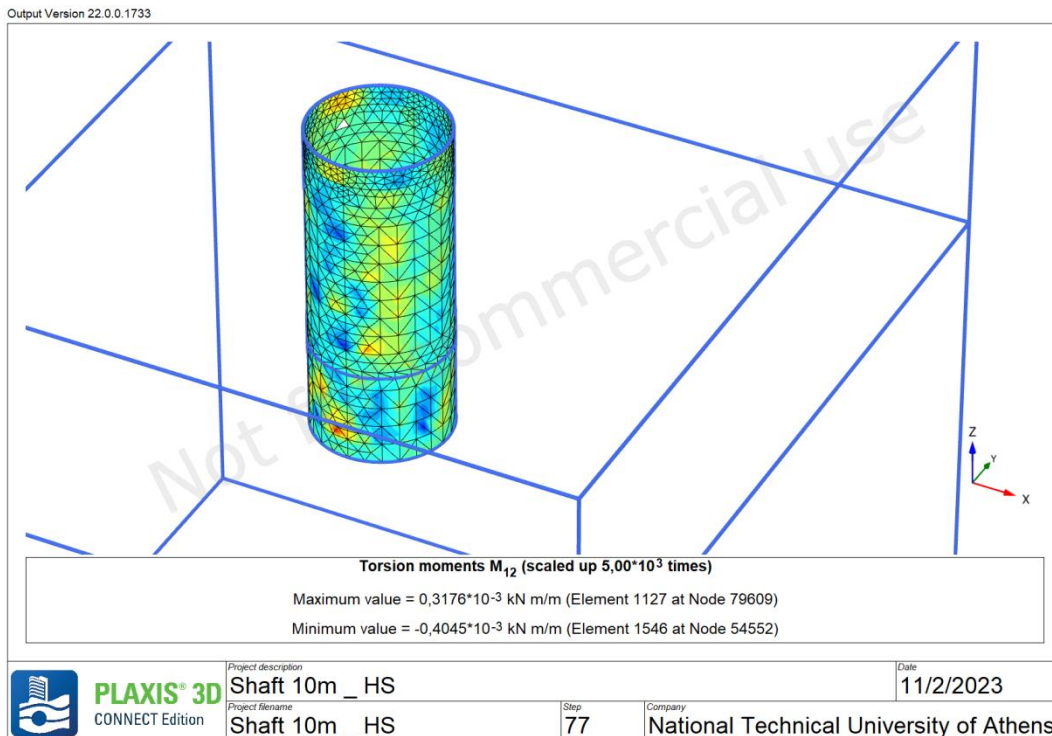
Στην συνέχεια, ακολουθούν τα εντατικά μεγέθη ( $M$ ,  $Q$ ,  $N$ ) επί των προκατασκευασμένων στοιχείων (lining) Εικόνα 63, 64, 65.



Εικόνα 63 - Plaxis 3D\_1η Ανάλυση - Διάγραμμα “hoop forces” του φορέα κατά την τελευταία φάση προσομοίωσης (17η φάση).



Εικόνα 64 - Plaxis 3D\_1η Ανάλυση - Διάγραμμα “shear stresses” του φορέα κατά την τελευταία φάση προσομοίωσης (17η φάση).



Εικόνα 65 - Plaxis 3D\_1η Ανάλυση - Διάγραμμα “bending moments” του φορέα κατά την τελευταία φάση προσομοίωσης (17η φάση).

Τα αποτελέσματα των δύο αναλύσεων έχουν πολύ μικρές αποκλίσεις. Σημειώνεται ότι στην τρισδιάστατη ανάλυση, οι μέγιστες οριζόντιες εδαφικές μετακινήσεις εμφανίζονται σε βάθος  $\approx 23\text{m}$  και λαμβάνουν τιμή  $\approx 3.4\text{cm}$ . Επιπλέον παρατηρείται μια έντονη μετακίνηση στο στρώμα “silty sand” και συγκεκριμένα στο μέγιστο βάθος του των  $17\text{m}$ . Οι καθιζήσεις περιορίζονται σε απόσταση  $\approx 10\text{m}$  μακριά από την κατακόρυφη παρειά με την μέγιστη τιμή τους να είναι  $\approx 4\text{cm}$ . Τέλος και στα δύο είδη αναλύσεων (2D και 3D) η μέγιστη ανύψωση πυθμένα είναι  $\approx 5.0\text{cm}$ .

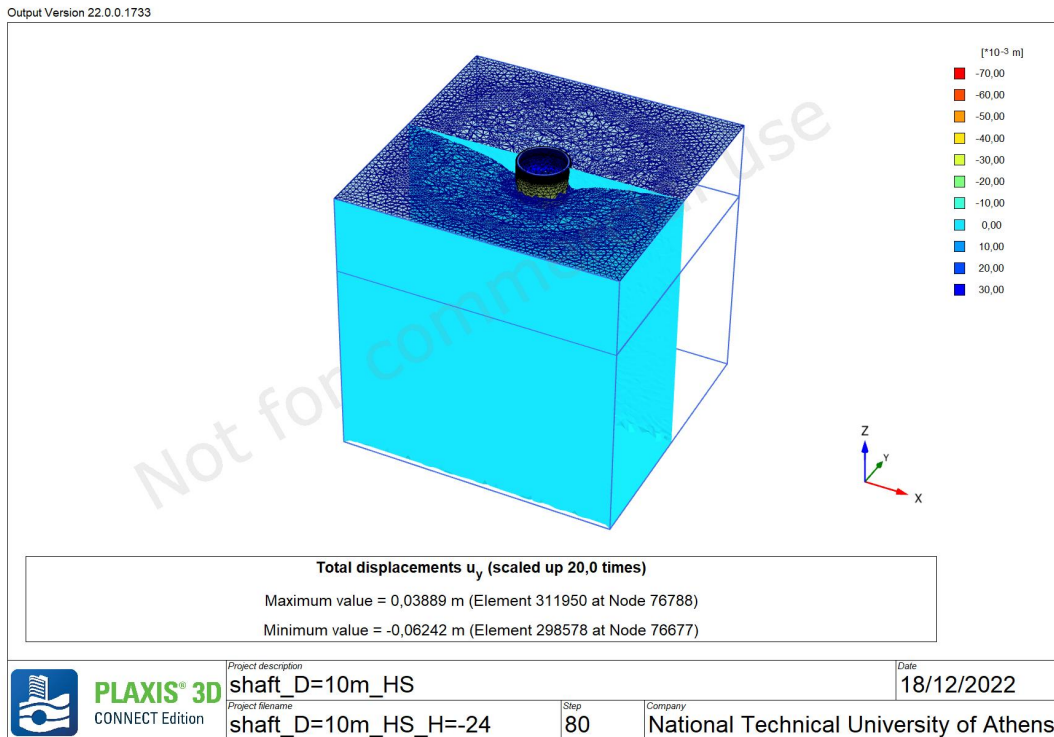
## 5.5 PLAXIS 3D , Hardening Soil, MODEL IN WATER FLOW CONDITIONS

Αφού επιβεβαιώθηκε το τρισδιάστατο μοντέλο με την δισδιάστατη ανάλυση σε ξηρές συνθήκες (Ενότητα 5.4) πραγματοποιήθηκαν οι αναλύσεις (PLAXIS3D\_2η και 3η Ανάλυση) για την κατασκευή του φρέατος με παρουσία νερού χωρίς την χρήση άλλων μέσων για τον υποβιβασμού υδροφόρου ορίζοντα. Η μοναδική διαφορά των δύο αναλύσεων έγκειται στον τύπο ανάλυσης, στην μια χρησιμοποιήθηκε “Deformation analysis” ενώ στην άλλη “Stress Analysis”. Ακολουθούν, τα αποτελέσματα των αναλύσεων που αναφέρθηκαν.

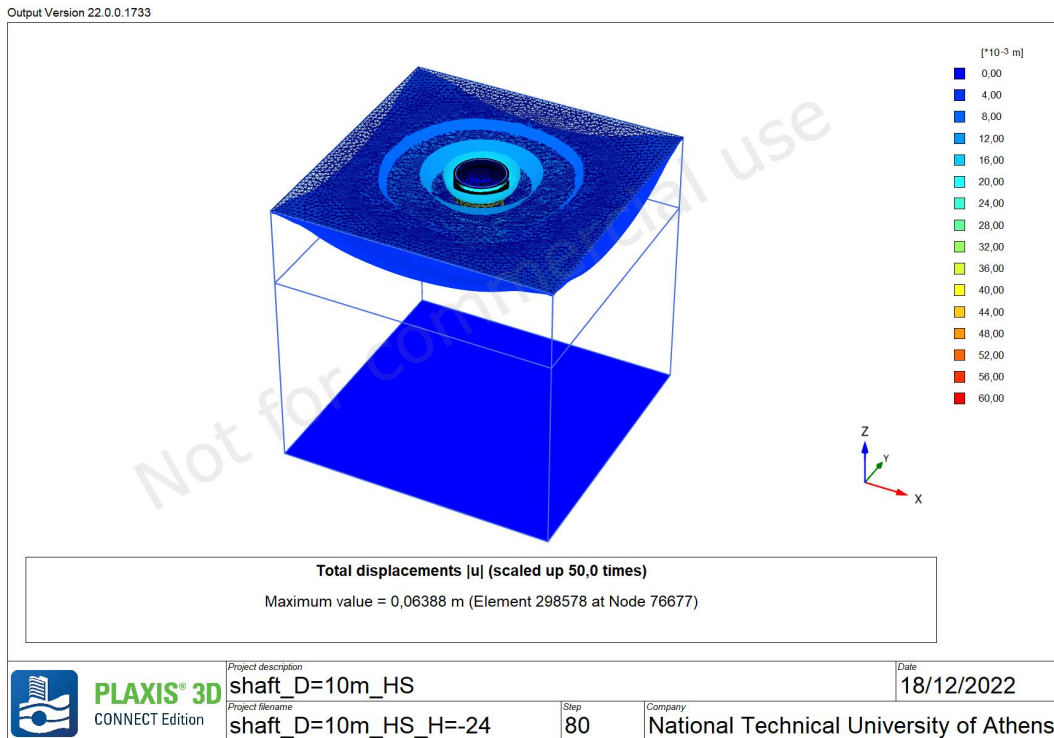
### 5.5.1 PLAXIS 3D \_2η Ανάλυση - Hardening Soil, Deformation analysis

Πρόκειται για ανάλυση σύμφωνα με την οποία το κριτήριο συμπεριφοράς των εδαφικών στρώσεων είναι το “Hardening Soil”, με παρουσία νερού. Στην ανάλυση αυτή χρησιμοποιήθηκε σαν τύπος ανάλυσης το “Deformation analysis”. Η φάση αστοχίας συμβαίνει στην 6η Φάση όταν το έδαφος καταρρέει.

Η εισροή των υδάτων στον χώρο του πυθμένα από τον γύρω χώρο της εκσκαφής δημιουργεί μείωση υδροστατικών πιέσεων αλλά ταυτόχρονα αύξηση των ενεργών πιέσεων και κατά συνέπεια καθιζήσεις του εδάφους γύρω από την εκσκαφή Εικόνα 66.

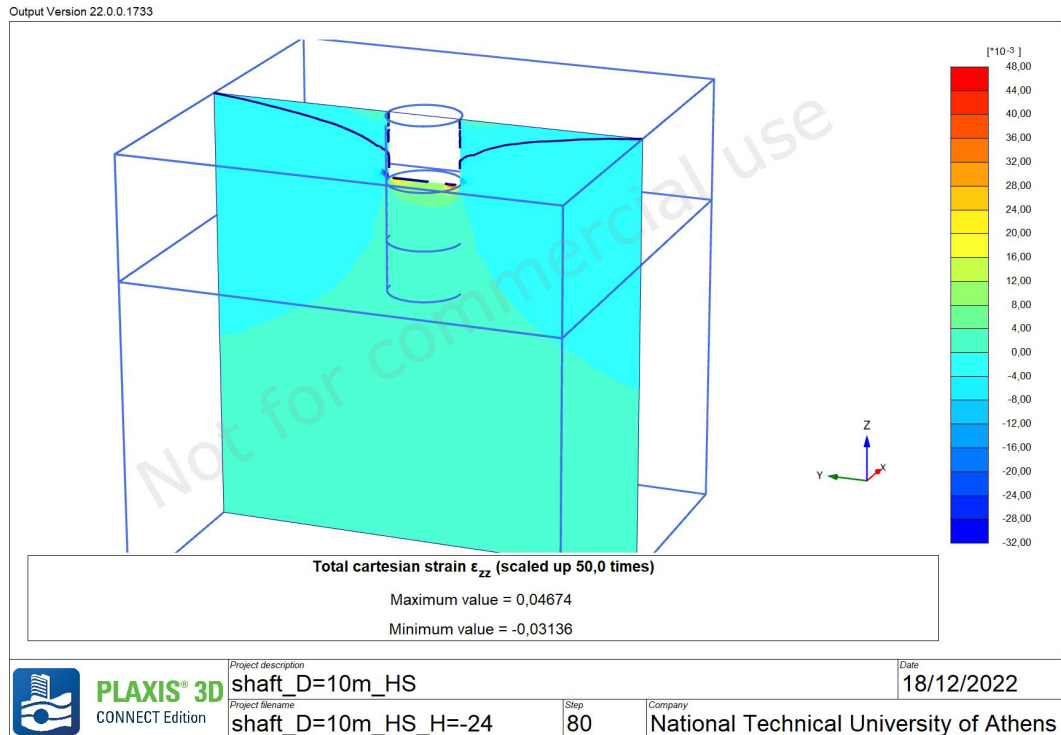


Εικόνα 66 - Plaxis 3D\_2η Ανάλυση - Η μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση στην φάση αστοχίας (6η φάση).

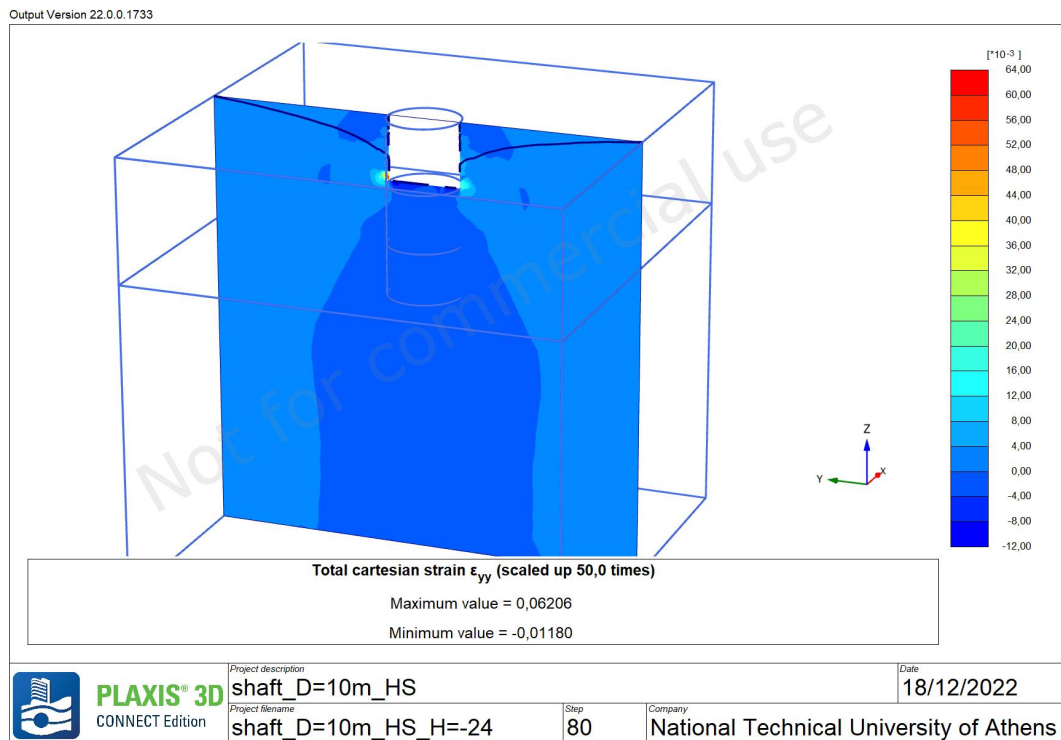


Εικόνα 67 - Plaxis 3D\_2η Ανάλυση - Η μέγιστη ολική μετακίνηση στην φάση αστοχίας (6η φάση).

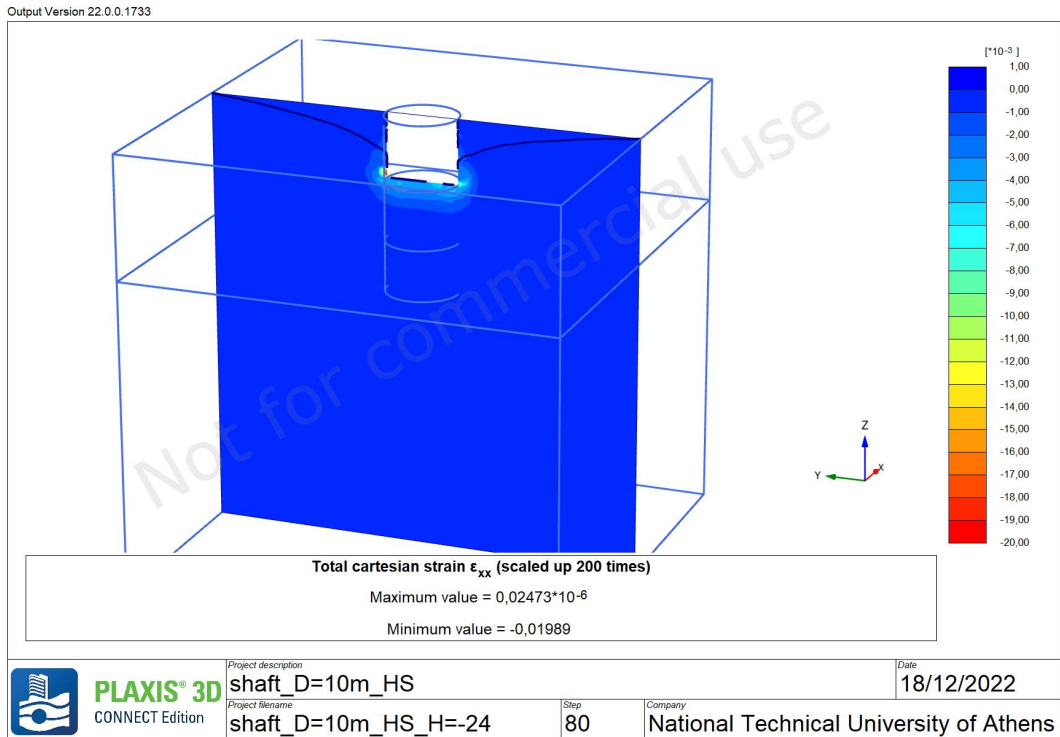
Ακολουθούν οι Εικόνες 68, 69 και 70 όπου παρατηρείται ότι οι μέγιστες τιμές των ορθών τροπών εμφανίζονται στις παρειές της εκσκαφής.



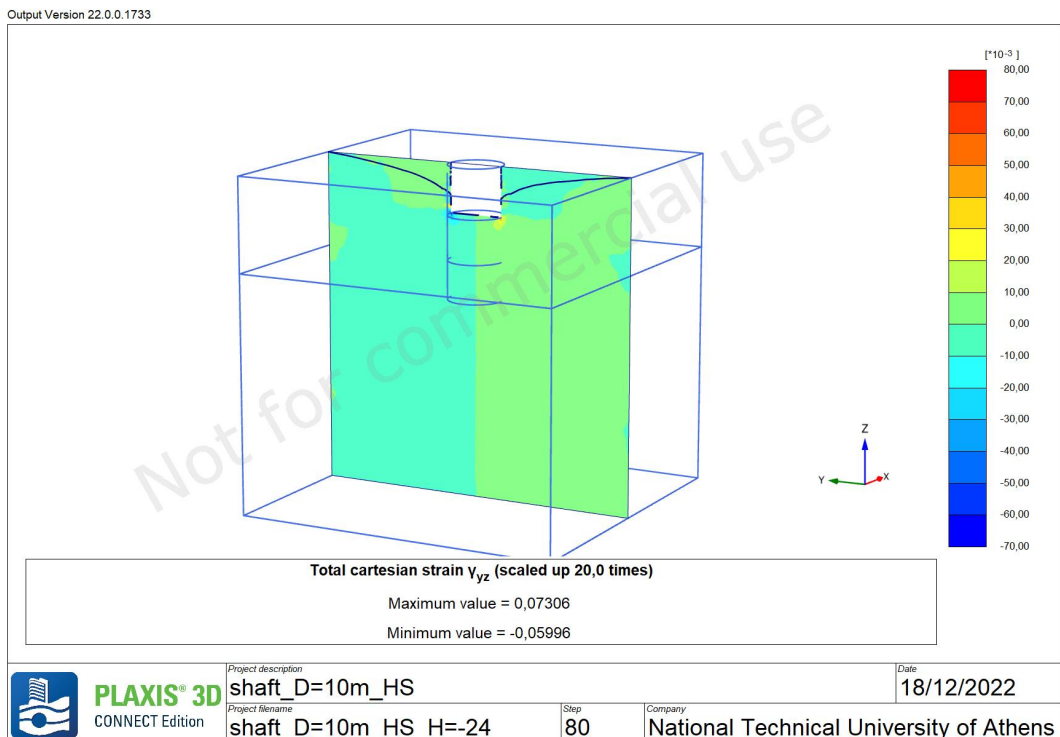
Εικόνα 68 - Plaxis 3D\_2η Ανάλυση - Η ολική παραμόρφωση ezz στην φάση αστοχίας (6η φάση).



Εικόνα 69 - Plaxis 3D\_2η Ανάλυση - Η ολική παραμόρφωση eyy στην φάση αστοχίας (6η φάση).

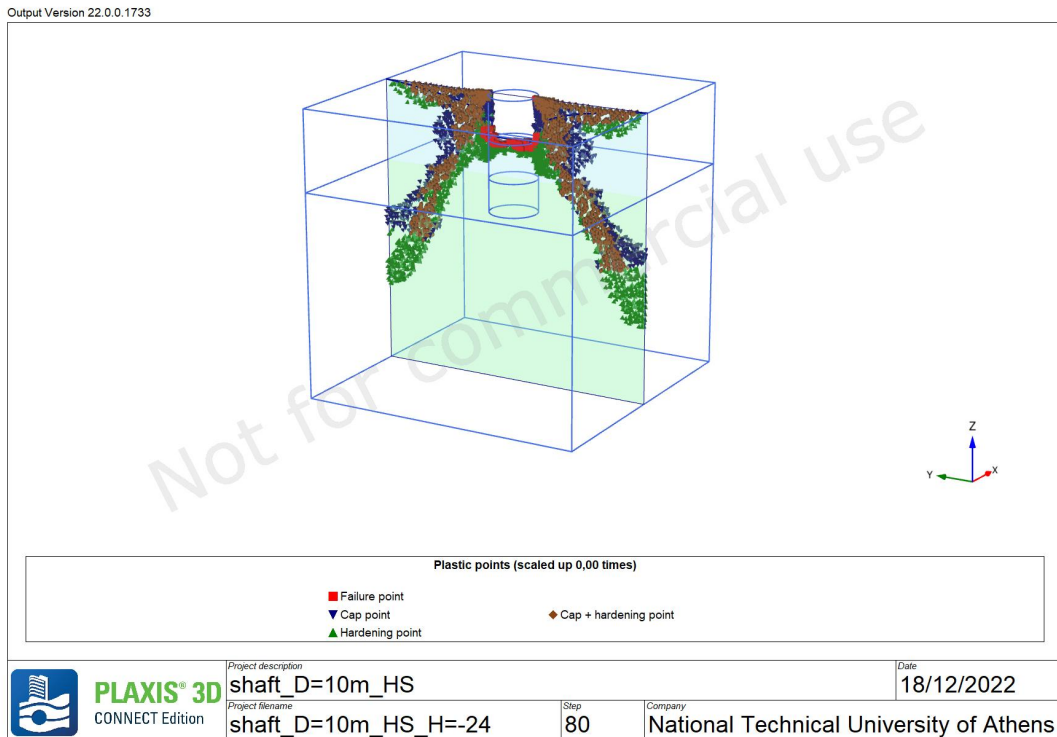


Εικόνα 70 - Plaxis 3D\_2η Ανάλυση - Η ολική παραμόρφωση  $\epsilon_{xx}$  στην φάση αστοχίας (6η φάση).



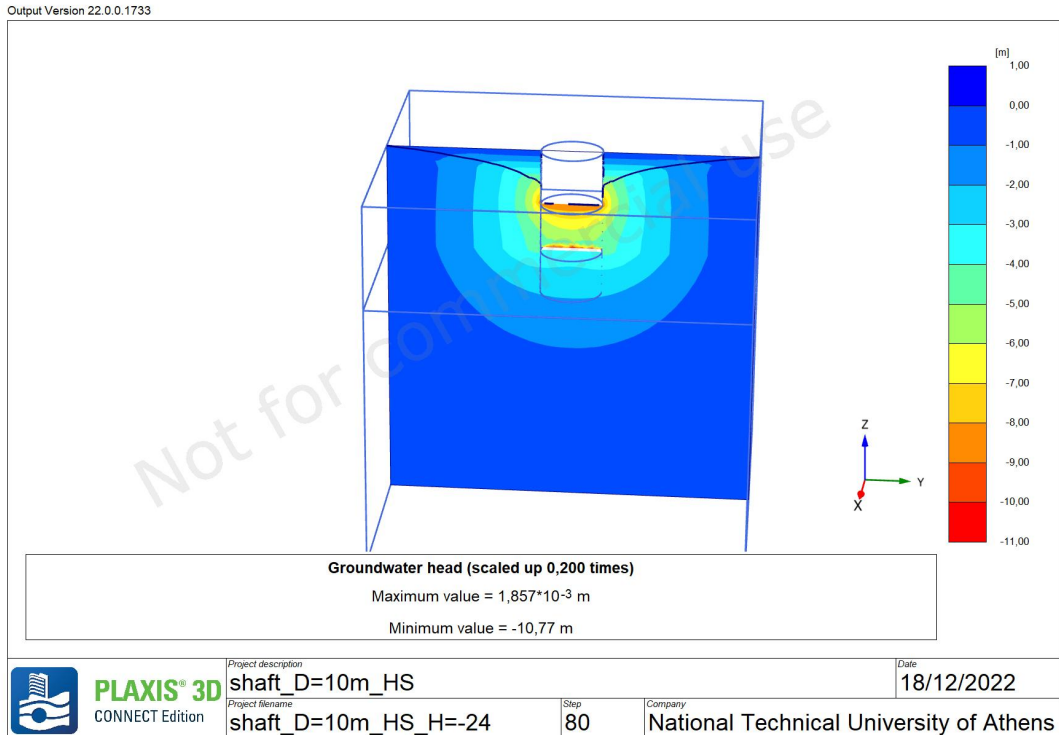
Εικόνα 71 - Plaxis 3D\_2η Ανάλυση - Η ολική τάση  $\gamma_{yz}$  στην φάση αστοχίας (6η φάση).

Στην Εικόνα 71 παρατηρείται ότι οι διατμητικές παραμορφώσεις “γζχ” εμφανίζονται περιμετρικά του πυθμένα του φρέατος. Ακολουθεί η Εικόνα. 72 στην οποία απεικονίζεται η αστοχία των εδαφικών στρώσεων περιμετρικά της κατασκευής όταν το έδαφος καταρρέει.

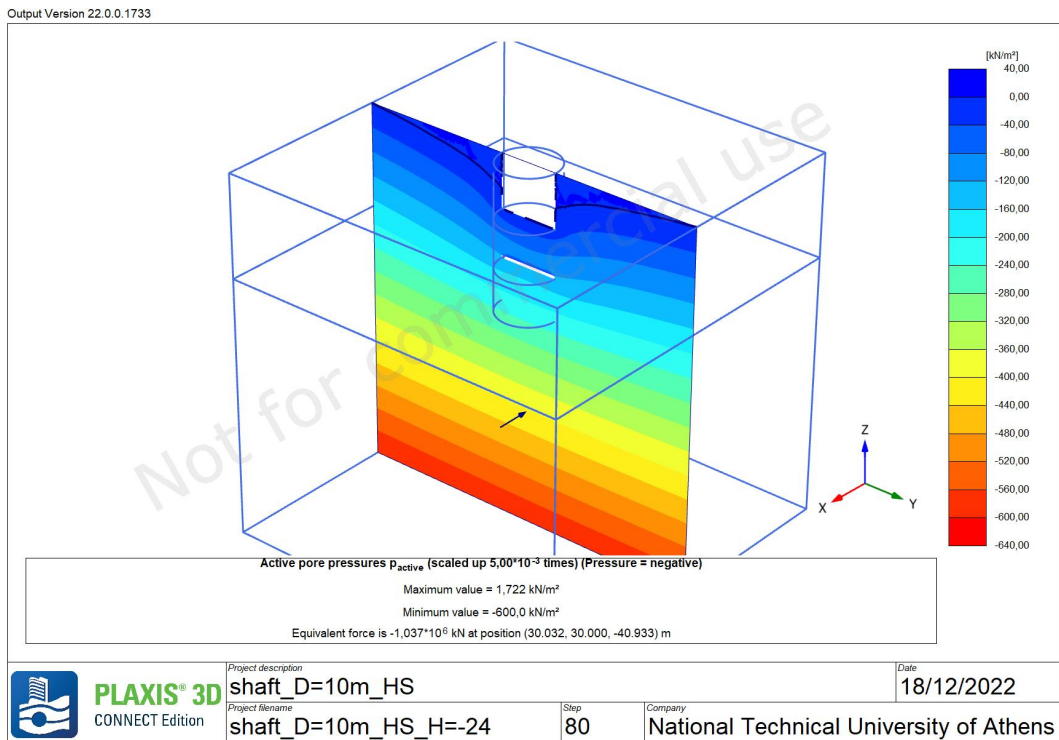


Εικόνα 72 - Plaxis 3D\_2η Ανάλυση - Τα “plastic points” περιμετρικά του φρέατος στην φάση αστοχίας (6η φάση).

Στην συνέχεια στις Εικόνες 73 και 74 παρατηρείται η στάθμη του υδροφόρου οριζοντα στην φάση αστοχίας και οι ενεργές πιέσεις πόρων αντίστοιχα.



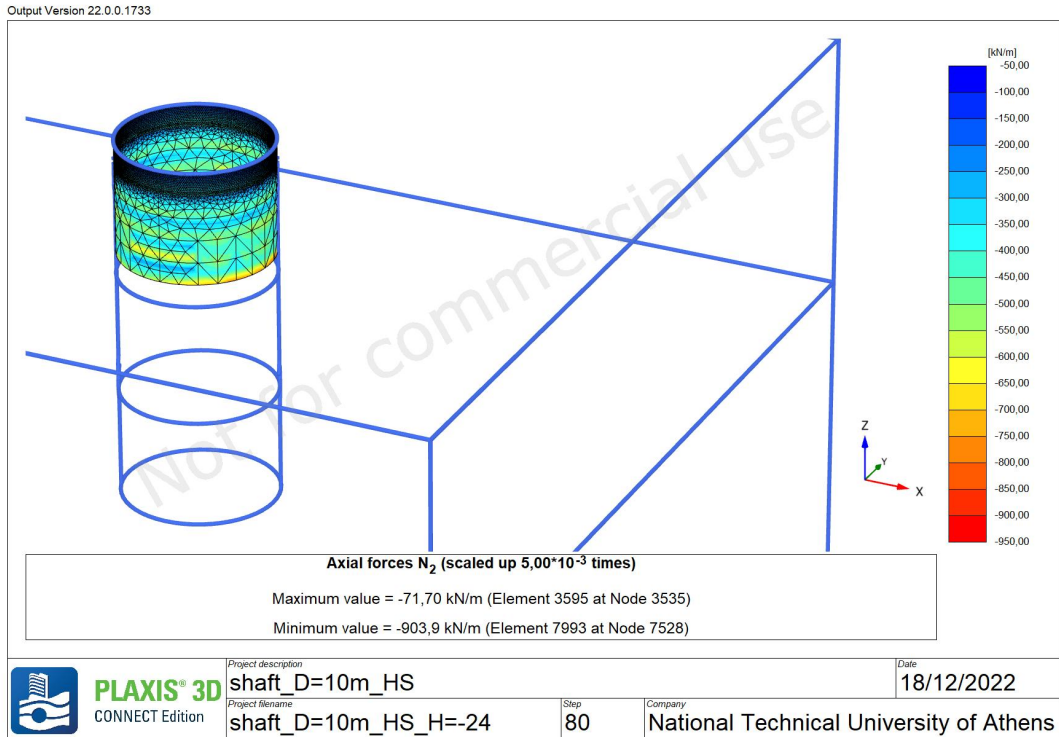
Εικόνα 73- Plaxis 3D\_2η Ανάλυση - Η στάθμη του υδροφορέα στην φάση αστοχίας (6η φάση).



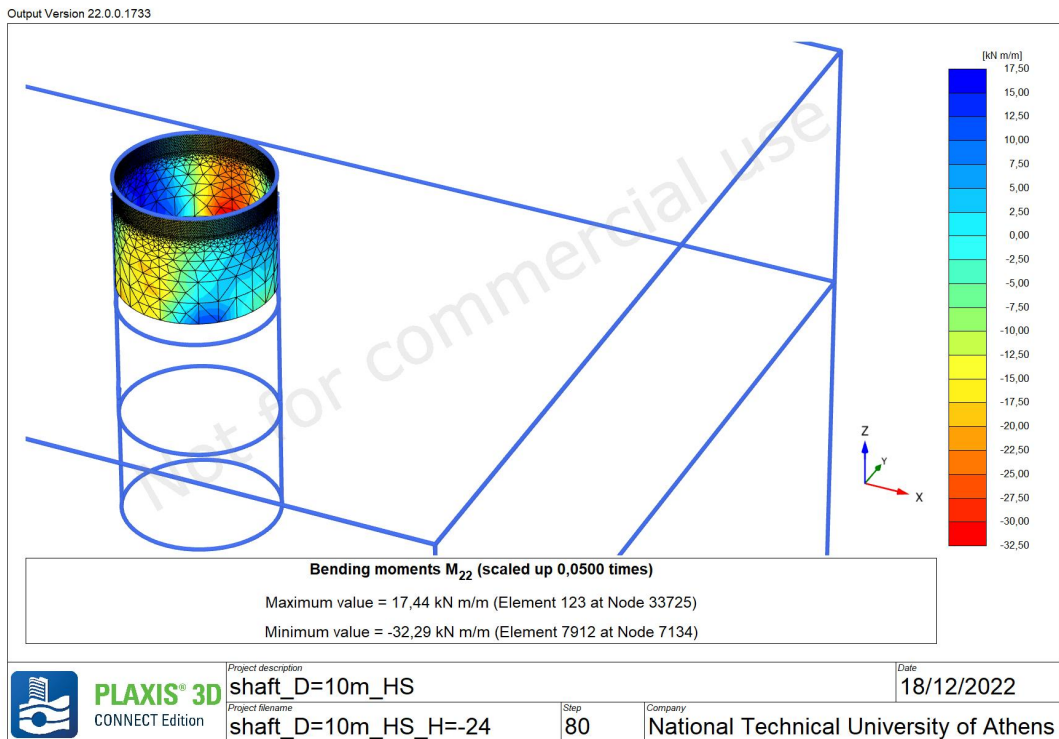
Εικόνα 74 - Plaxis 3D\_2η Ανάλυση - Οι ενεργές πιέσεις πόρων (αρνητικό πρόσημο) στην φάση αστοχίας (6η φάση).

Τέλος, παρουσιάζεται η κατανομή των εντατικών μεγεθών (M,Q,N) στην φάση αστοχίας.

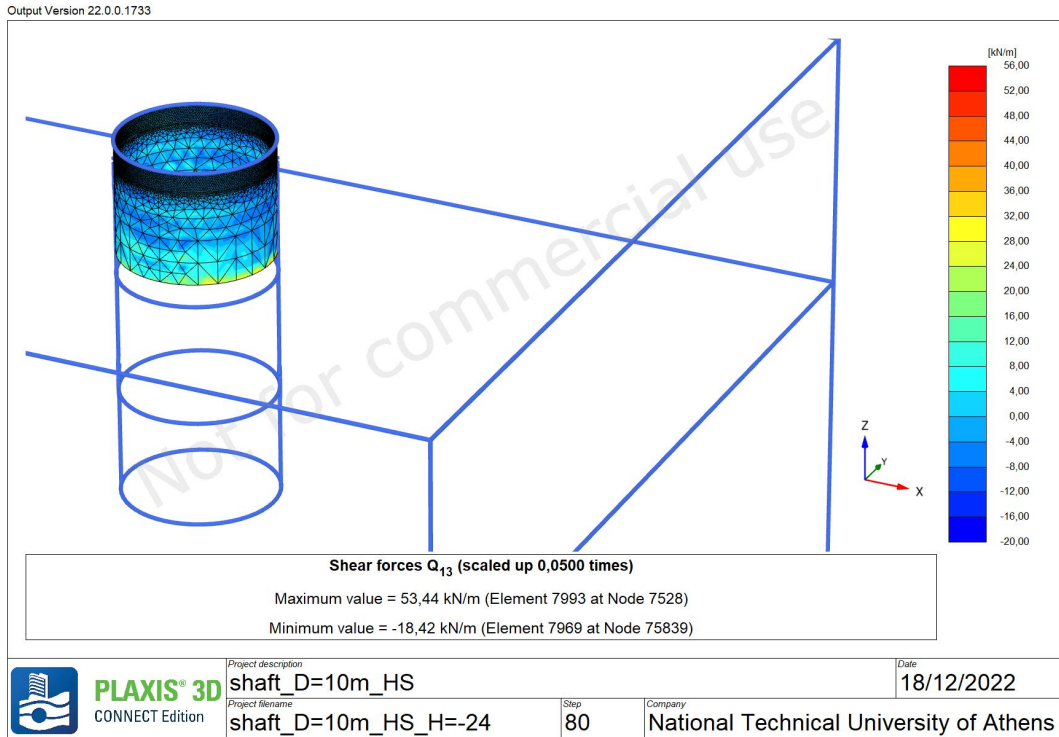




Εικόνα 75 - Plaxis 3D\_2η Ανάλυση - Κατανομή αξονικών δυνάμεων  $N_2$ , μέγιστες και ελάχιστες τιμές στην φάση αστοχίας (6η φάση).



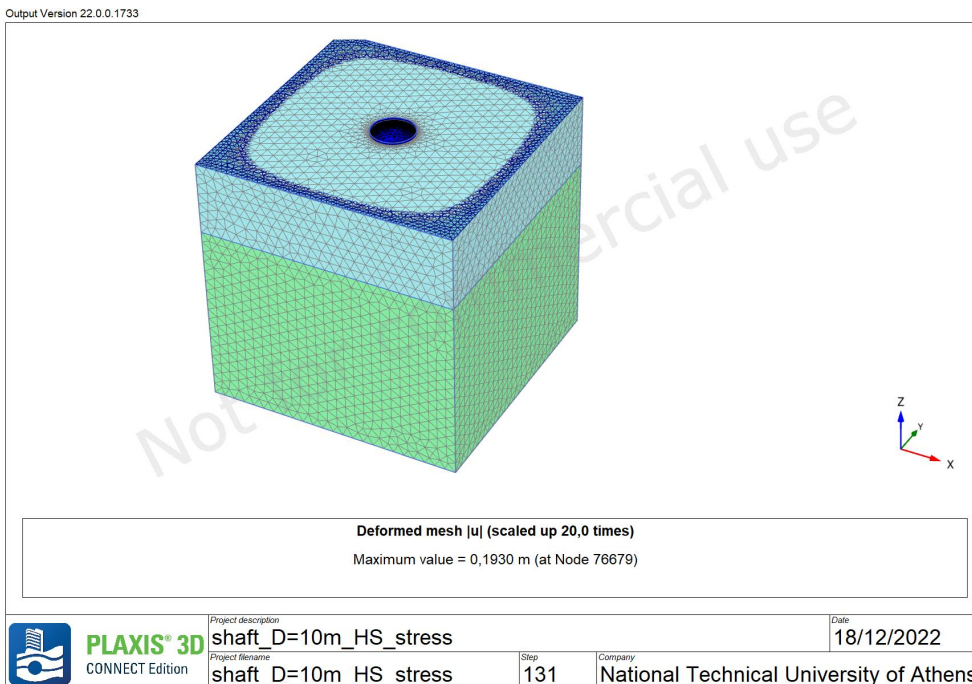
Εικόνα 76 - Plaxis 3D\_2η Ανάλυση - Κατανομή ροπών κάμψης  $M_{22}$ , μέγιστες και ελάχιστες τιμές στην φάση αστοχίας (6η φάση).



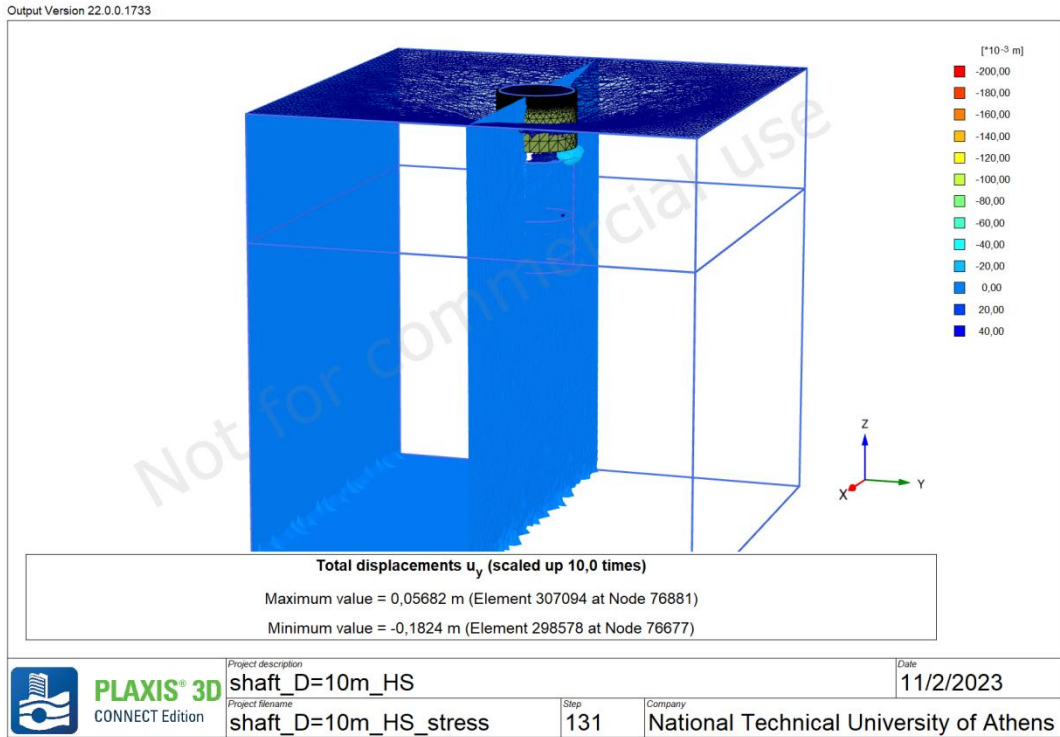
Εικόνα 77 - Plaxis 3D\_2η Ανάλυση - Κατανομή διατμητικών δυνάμεων  $Q_{13}$ , μέγιστες και ελάχιστες τιμές στην φάση αστοχίας (6η φάση).

### 5.5.2 PLAXIS 3D\_3η Ανάλυση- Hardening Soil, Stress analysis

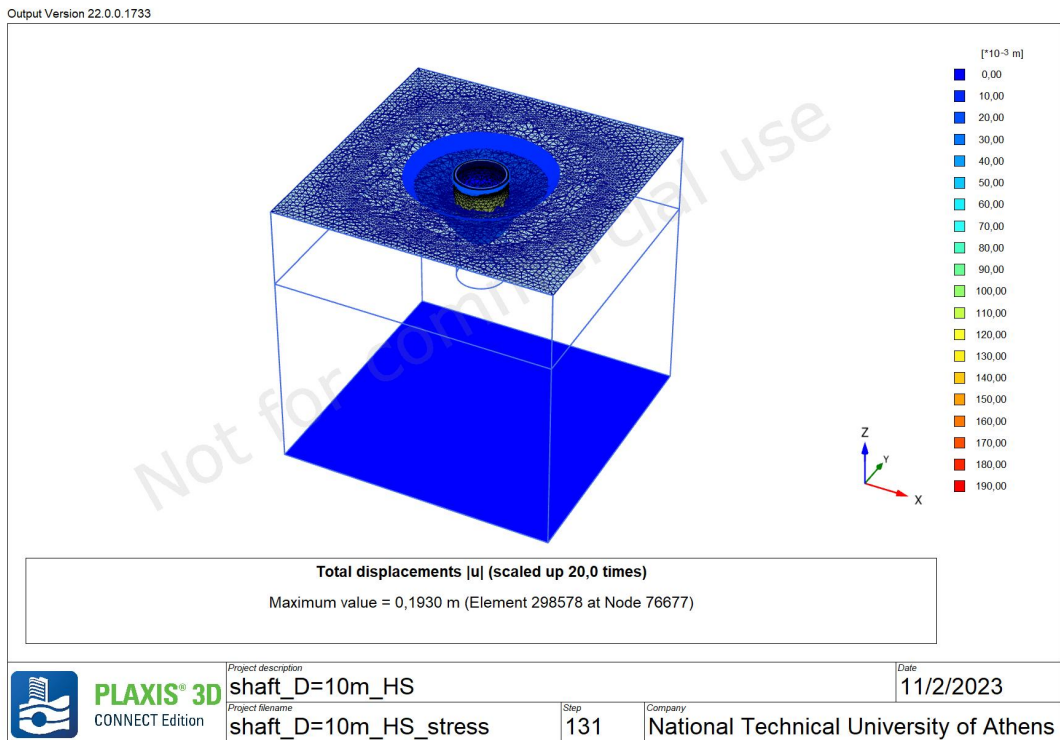
Ακολουθούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φρέατος αερισμού διαμέτρου 10 m , με παρουσία νερού., όπου χρησιμοποιείται σαν τύπος ανάλυσης “ Stress analysis”. Όπως και στην 2η Ανάλυση (Ενότητα 5.5.1) το έδαφος καταρρέει στην 6η Φάση αστοχίας, δηλαδή περίπου στα 10,5 μέτρα.



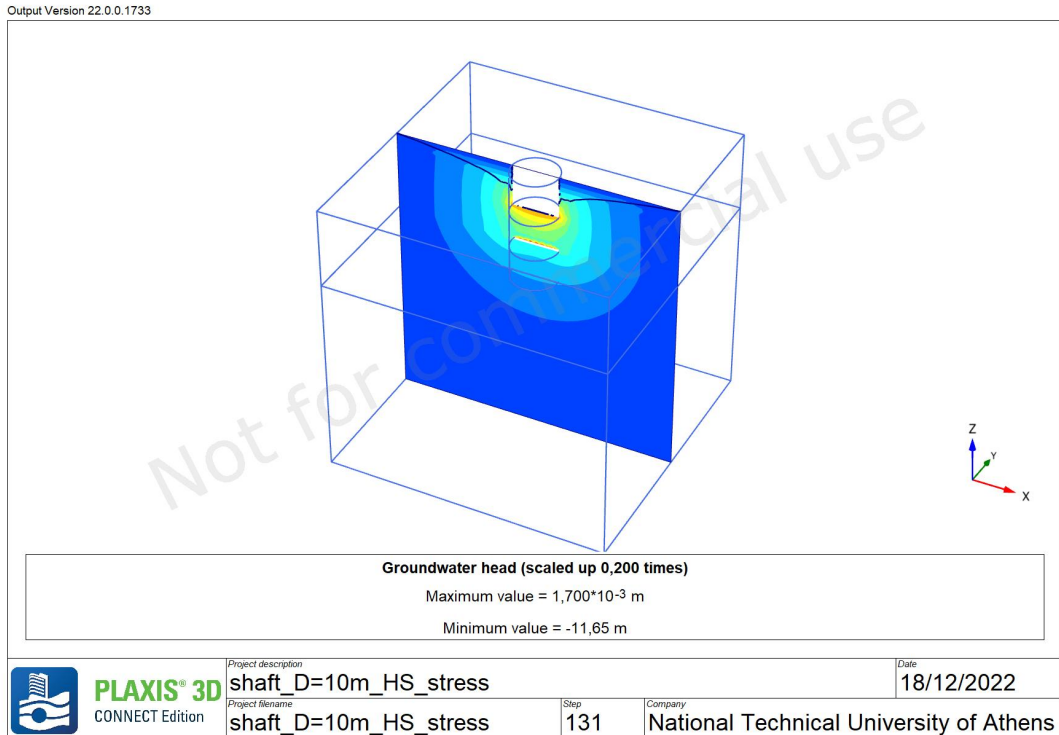
Εικόνα 78 - Plaxis 3D\_3η Ανάλυση - Ο “παραμορφωμένος” κώνναβος στην φάση αστοχίας (6η φάση).Όταν το έδαφος καταρρέει.



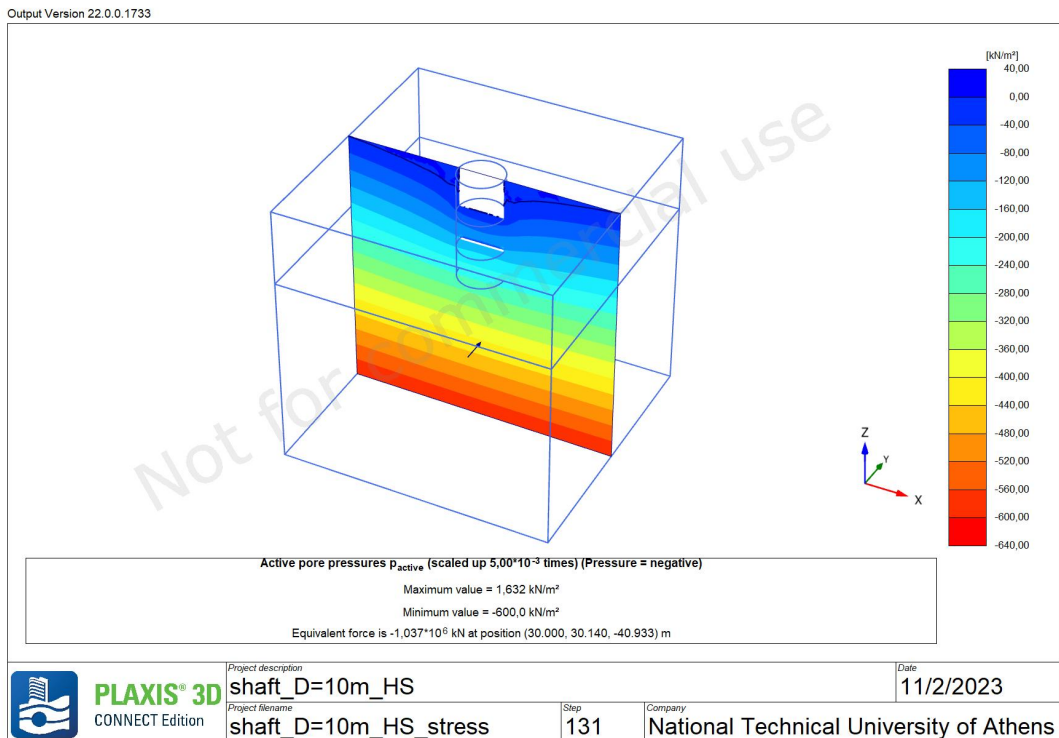
Εικόνα 79 - Plaxis 3D\_3η Ανάλυση - Η μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση στην φάση αστοχίας (6η φάση).



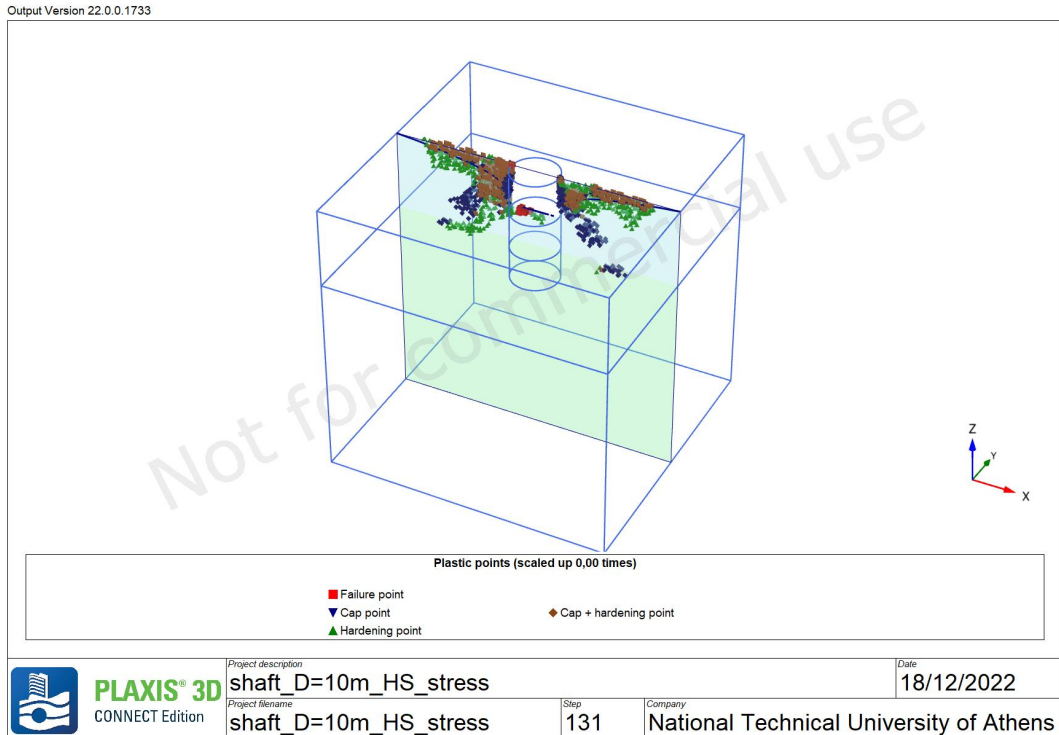
Εικόνα 80 - Plaxis 3D\_3η Ανάλυση - Η μέγιστη ολική μετακίνηση στην φάση αστοχίας (6η φάση).



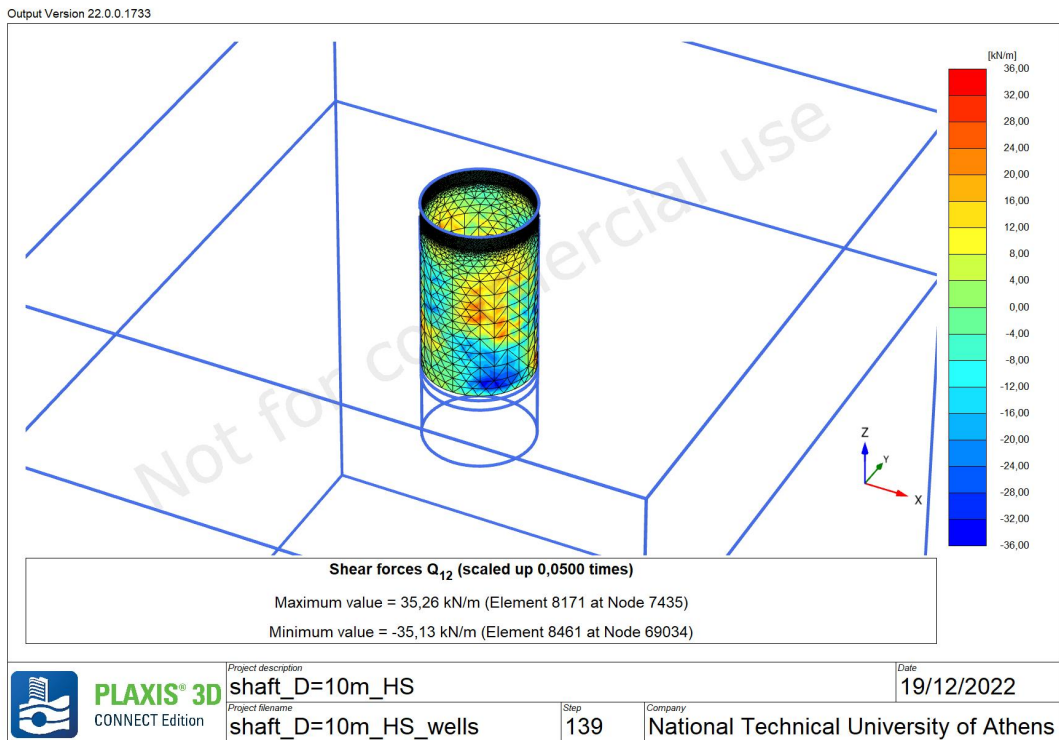
Εικόνα 81 - Plaxis 3D\_3η Ανάλυση - Η στάθμη του υδροφορέα στην φάση αστοχίας (6η φάση).



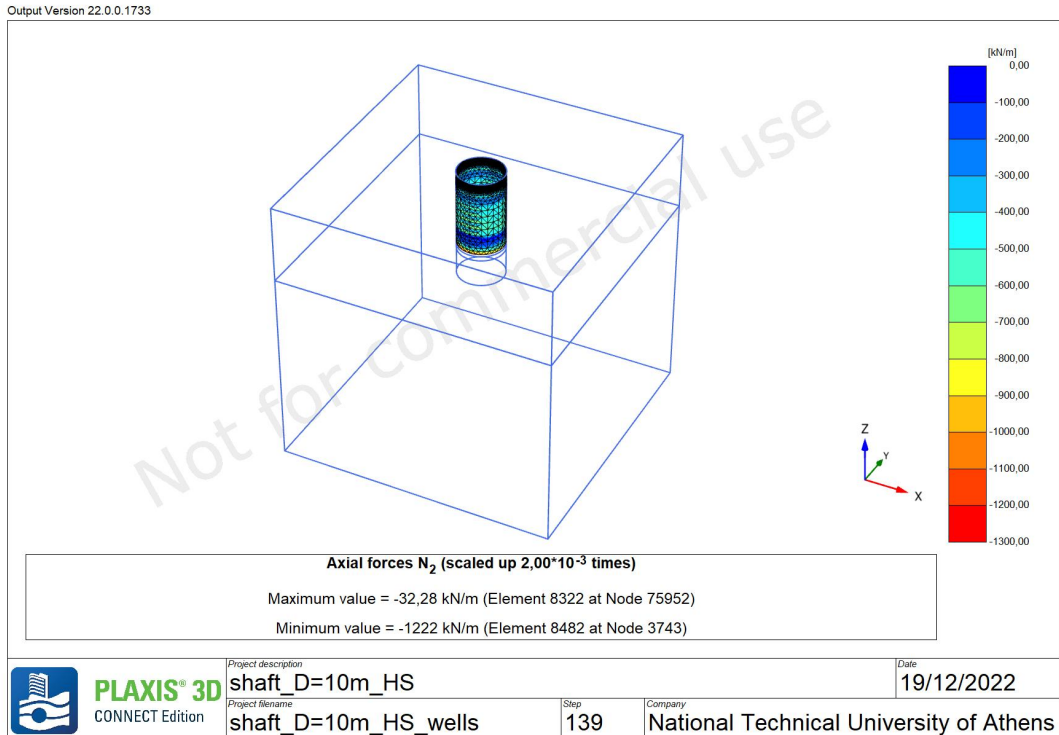
Εικόνα 82 - Plaxis 3D\_3η Ανάλυση - Οι ενεργές πιέσεις πόρων (αρνητικό πρόσημο στην ανάλυση) στην φάση αστοχίας (6η φάση).



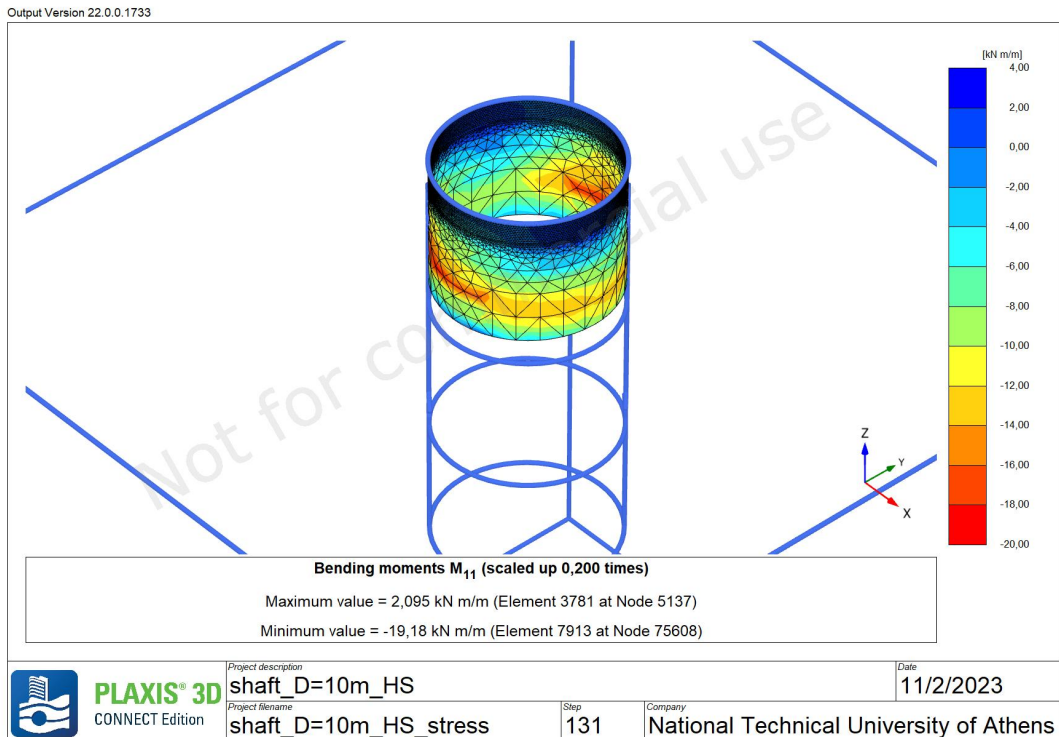
Εικόνα 83 - Plaxis 3D\_3η Ανάλυση - Τα “plastic points” περιμετρικά του φρέατος στην φάση αστοχίας (6η φάση).



Εικόνα 84 - Plaxis 3D\_3η Ανάλυση - Κατανομή διατμητικών δυνάμεων  $Q_{12}$ , μέγιστες και ελάχιστες τιμές στην φάση αστοχίας (6η φάση).



Εικόνα 85 - Plaxis 3D\_3η Ανάλυση - Κατανομή αξονικών δυνάμεων  $N_2$ , μέγιστες και ελάχιστες τιμές στην φάση αστοχίας (6η φάση).



Εικόνα 86 - Plaxis 3D\_3η Ανάλυση - Κατανομή ροπών κάμψης  $M_{11}$ , μέγιστες και ελάχιστες τιμές στην φάση αστοχίας (6η φάση).

## 5.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τις αναλύσεις 2 και 3, συμπεραίνεται ότι η παρουσία νερού στο έδαφος έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη υδατικής ροής. Η ποσότητα του νερού που διηθείται προς το εσωτερικό των εκσκαφών κάτω από το φρεάτιο προκαλεί την κατάπτωση των παρειών της εκσκαφής και την χαλάρωση του πυθμένα. Όσον αφορά τη ροή δεν εμφανίζονται διαφορές ανάμεσα στις δύο αναλύσεις. Στα Κεφάλαια 6,7,8 που ακολουθούν, γίνεται προσπάθεια αντιμετώπισης των ζητημάτων που δημιουργεί η υδατική ροή, μέσω υποβιβασμού του υδροφόρου ορίζοντα με δύο διαφορετικές μεθόδους, με την χρήση πηγαδιών αλλά και κατακόρυφων στραγγιστηρίων.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

## ΠΗΓΑΔΙΑ

### 6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο Κεφάλαιο αυτό, επαναλήφθηκε και επιβεβαιώθηκε η ανάλυση που διεξήγαγε στην διπλωματική του εργασία ο Ενρίκο Μουστάκιο, όπου έγινε προσπάθεια υποβιβασμού του υδροφόρου ορίζοντα με χρήση πηγαδιών, με ρυθμό άντλησης πηγαδιών  $Q=0,03 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Αφού αφού επαναλήφθηκε η ανάλυση και επιβεβαιώθηκαν τα αποτελέσματα, διεξήχθη παραμετρική ανάλυση (Κεφάλαιο 7) σε σχέση με τον ρυθμό άντλησης των πηγαδιών με σκοπό την διερεύνηση της επίδρασης αυτού στον υποβιβασμό της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα.

### 6.2 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Συνοπτικά, η προσομοίωση μοντέλου έγινε ως εξής:

1. Τοποθετήθηκαν 8 πηγάδια με βήμα 5m περιμετρικά από τον δακτύλιο του φρέατος (βλ. Εικόνα 91)
2. Μέγιστο βάθος  $z_{\max}=16\text{m}$
3. Ο ρυθμός άντλησης κάθε πηγαδιού προσδιορίσθηκε ως  $Q=0,03 \text{ m}^3/\text{sec}$ ,
4. Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα στην επιφάνεια ( $h_w=0\text{m}$ )
5. Στον τύπο φόρτισης της στερεοποίησης επιλέχθηκε το ελάχιστο excess pressure και ορίσθηκε  $|p\text{-stor}|=1 \text{ kN/m}^2$
6. Βαθμός στερεοποίησης 90%
7. Οι φάσεις εκσκαφής και κατασκευής συνολικά 12 βήματα (Πίνακας 7).
8. Τύπος Ανάλυσης "Stress Analysis"



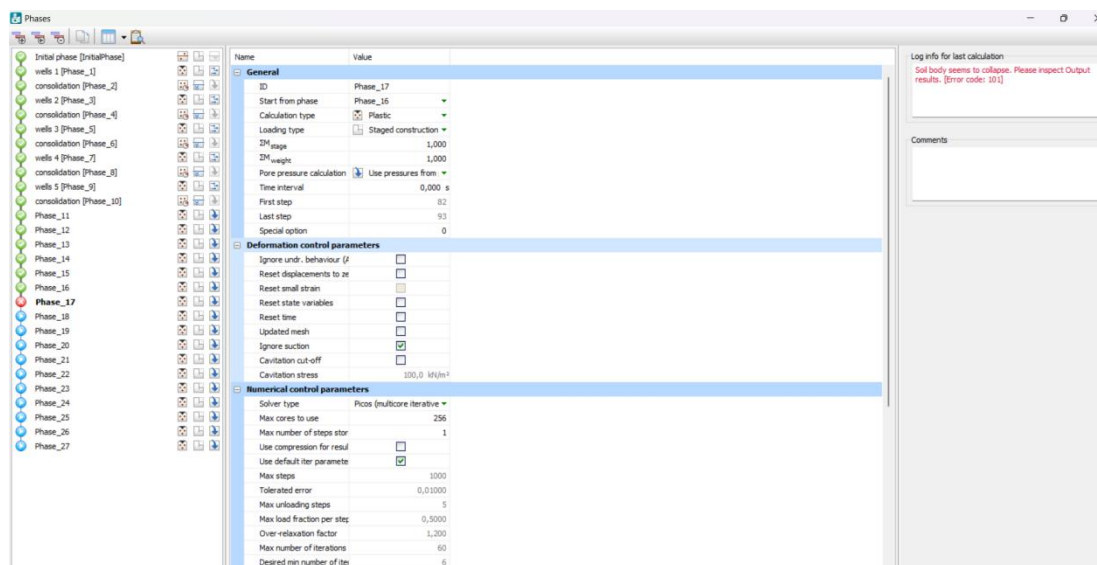
Εικόνα 87 - Διάταξη πηγαδιών περιμετρικά του φρέατος



Βήματα	Φάση	Hmin
1	Initial Phase	
2	Wells 1	hmin=-4m
3	Consolidation	
4	Wells 2	hmin=-8m
5	Consolidation	
6	Wells 3	hmin=-12m
7	Consolidation	
8	Wells 4	hmin=-16m
9	Consolidation	
10	Wells 5	hmin=-20m
11	Consolidation	
12	Διάφορες κατασκευαστικές φάσεις	hmin=-20m

**Πίνακας 8** - Οι φάσεις εκσκαφής και κατασκευής στα πηγάδια.

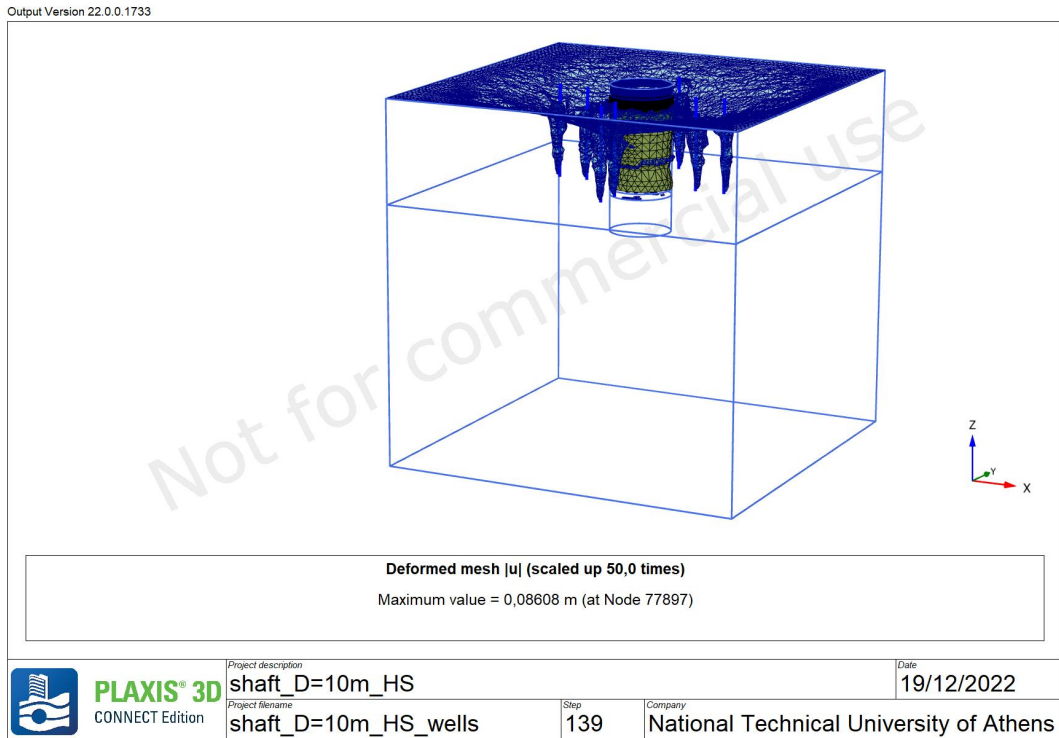
Η χρήση πηγαδιών για τον έλεγχο υπόγειων υδάτων οδήγησε σε εδαφική αστοχία της εκσκαφής στην 17 Φάση όπως φαίνεται στην Εικόνα 88. Ως ένδειξη σφάλματος στο Plaxis 3D φαίνεται ότι το έδαφος καταρρέει, που σημαίνει ότι το αρχικά σχεδιασμένο έργο δεν ολοκληρώθηκε με επιτυχία. Ακολουθούν τα αποτελέσματα των αναλύσεων.



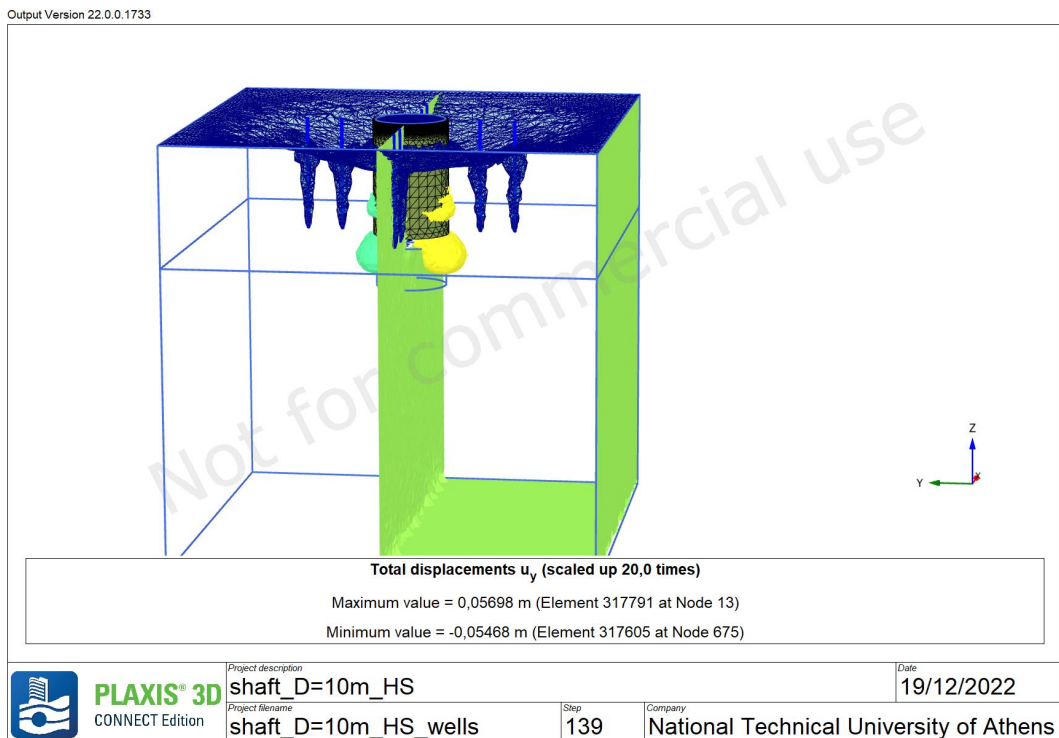
**Εικόνα 88:** Εκτελούμενες φάσεις και φάση αστοχίας (Φάση 17).

### 6.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

#### 6.3.1 PLAXIS 3D \_4η Ανάλυση\_WELLS (Q=0,03 m<sup>3</sup>/sec)

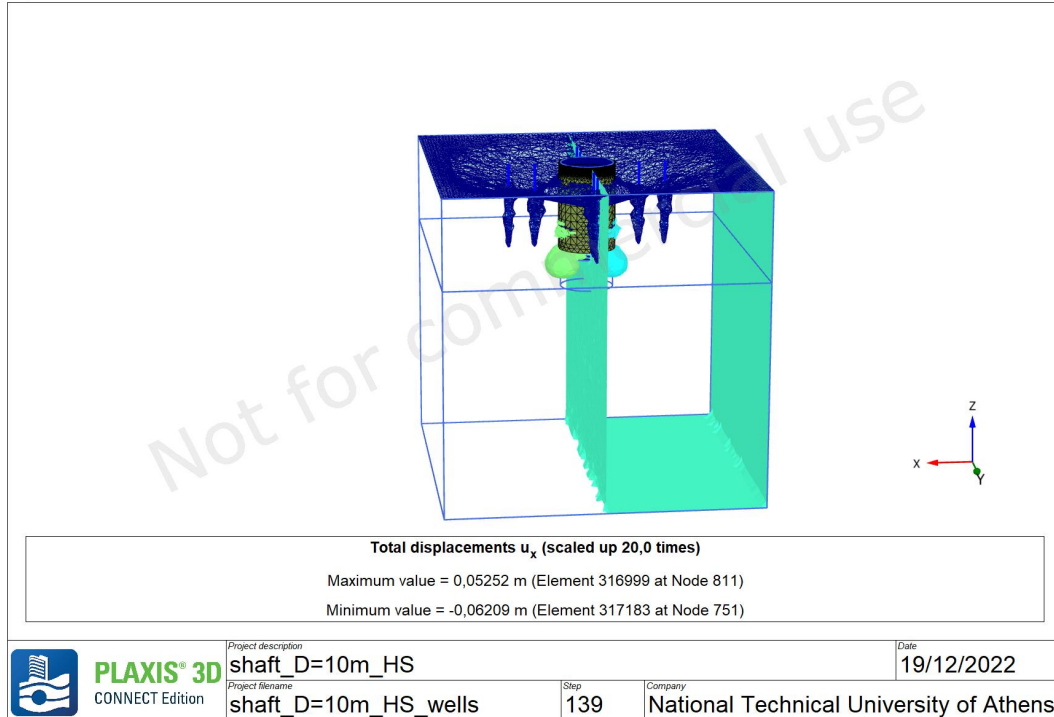


Εικόνα 89 - Plaxis 3D\_4η Ανάλυση - Ο “παραμορφωμένος” κάναβος στην φάση αστοχίας. Όταν το έδαφος καταρρέει.



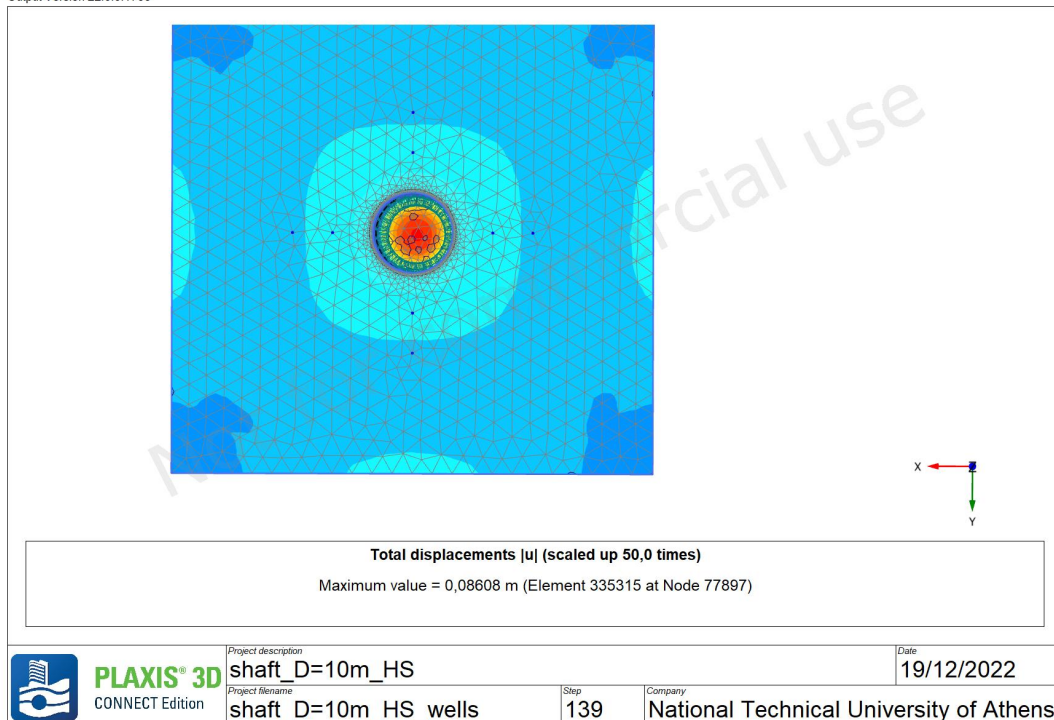
Εικόνα 90 - Plaxis 3D\_4η Ανάλυση - Η μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση στην φάση αστοχίας.

Output Version 22.0.0.1733

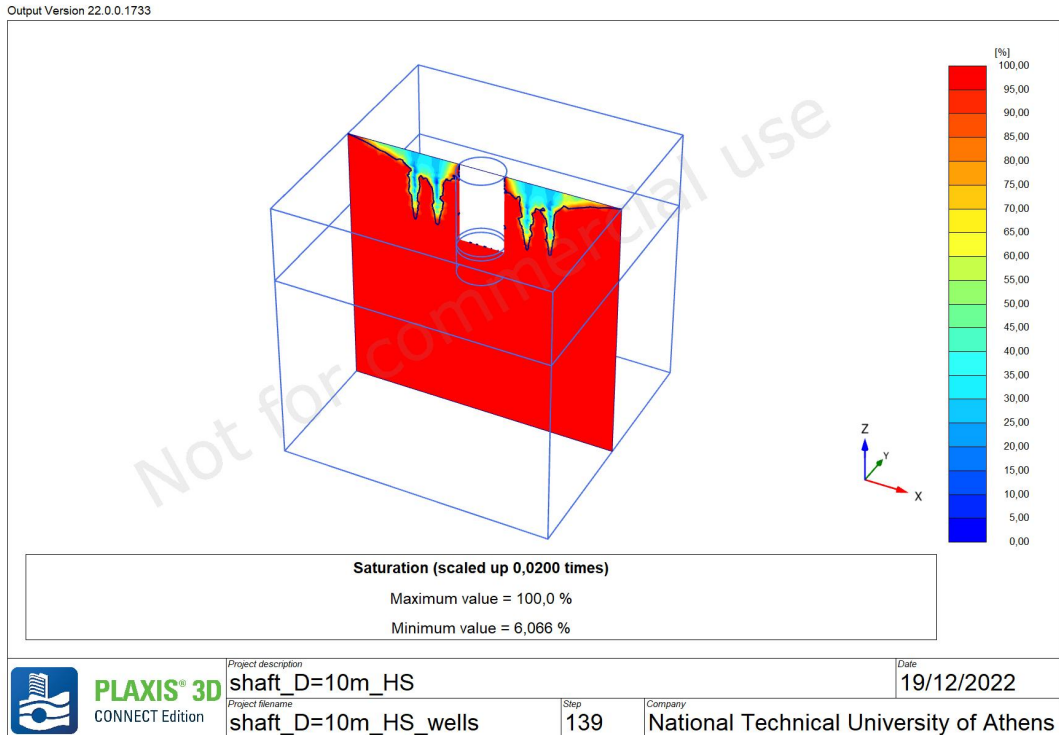


Εικόνα 91 - Plaxis 3D\_4η Ανάλυση - Η μέγιστη οριζόντια μετακίνηση στην φάση αστοχίας.

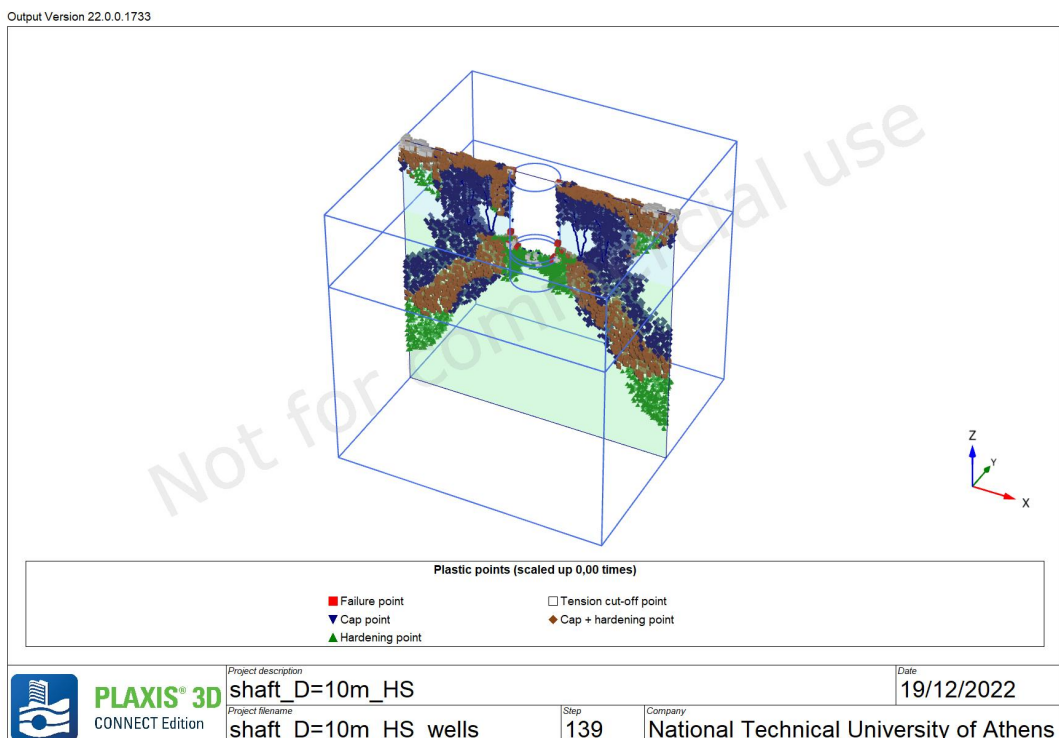
Output Version 22.0.0.1733



Εικόνα 92 - Plaxis 3D\_4η Ανάλυση - Η μέγιστη ολική μετακίνηση στην φάση αστοχίας .

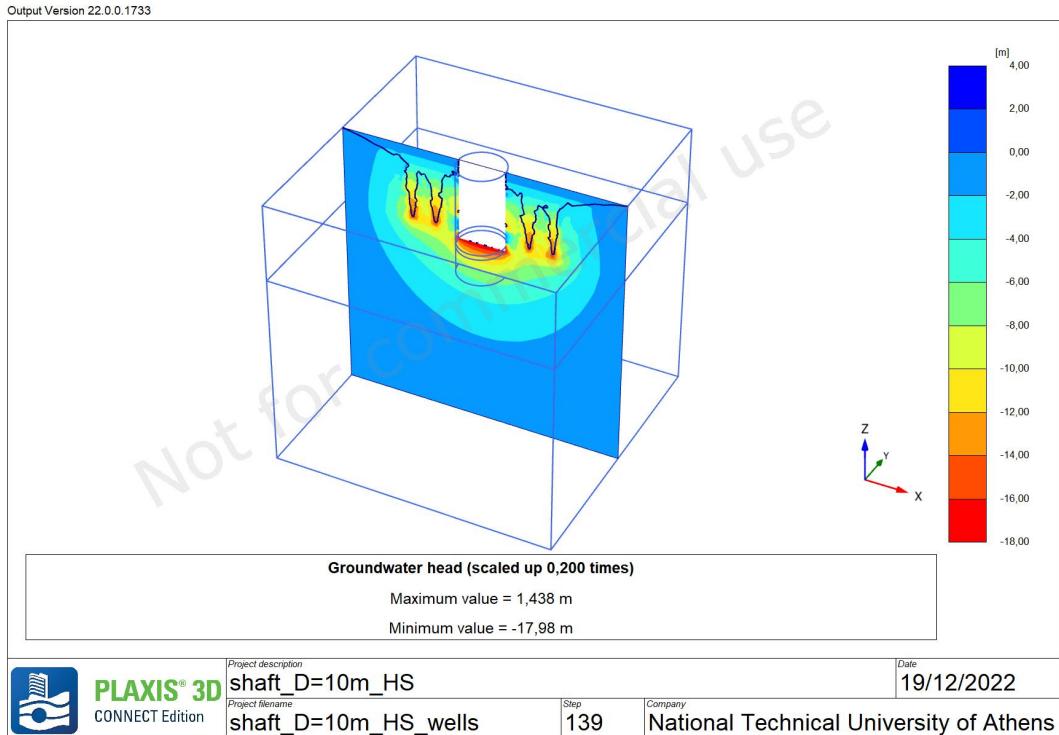


Εικόνα 93 - Plaxis 3D\_4η Ανάλυση - Μέγιστη και ελάχιστη τιμή βαθμού κορεσμού στην φάση αστοχίας (17η φάση).

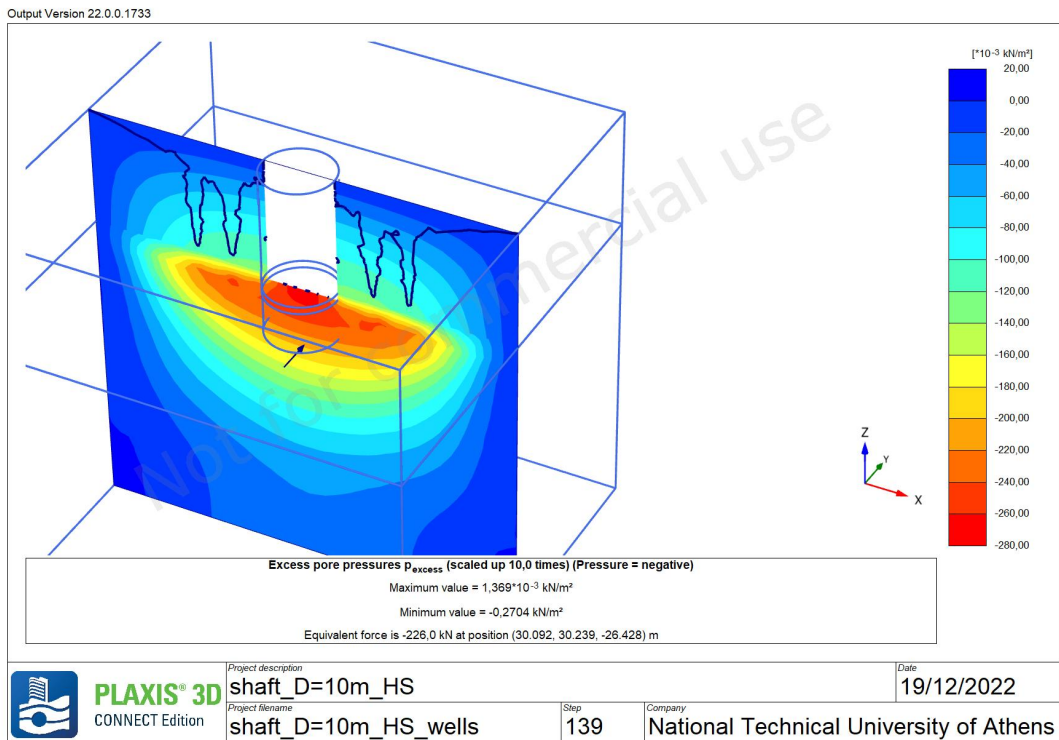


Εικόνα 94 - Plaxis 3D\_4η Ανάλυση - Τα “plastic points” περιμετρικά του φρέατος στην φάση αστοχίας (17η φάση).

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΡΕΑΤΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

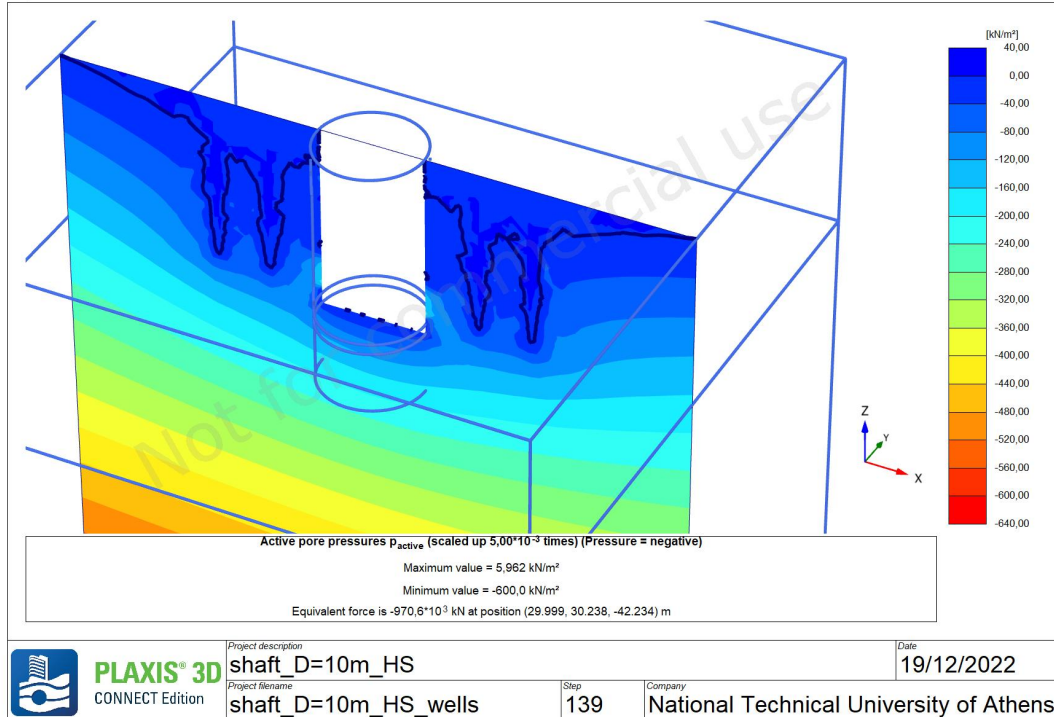


Εικόνα 95 - Plaxis 3D\_4η Ανάλυση - Η στάθμη του υδροφορέα στην φάση αστοχίας (17η φάση).



Εικόνα 96 - Plaxis 3D\_4η Ανάλυση - Οι υπερβολικές πιέσεις πόρων στην φάση αστοχίας (17η φάση).

Output Version 22.0.0.1733



Εικόνα 97 - Plaxis 3D\_4η Ανάλυση - Οι ενεργές πιέσεις πόρων (αρνητικές) στην φάση αστοχίας (17η φάση).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

## ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΑ ΠΗΓΑΔΙΑ

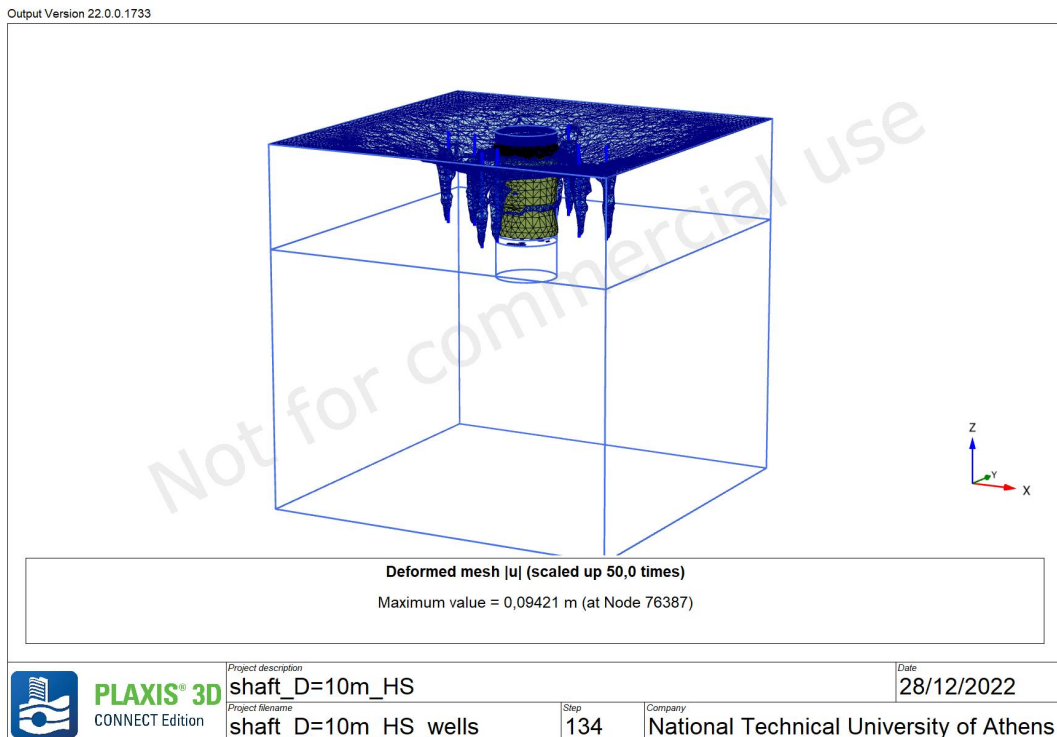
### 7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν μια σειρά από παραμετρικές αναλύσεις για τον υποβιβασμό του υδροφόρου ορίζοντα χρησιμοποιώντας την ίδια διάταξη πηγαδιών περιμετρικά του φρέατος, τις ίδιες φάσεις κατασκευής αλλάζοντας τον ρυθμό άντλησης των πηγαδιών που εισάγεται στο λογισμικό. Ακολουθούν τα αποτελέσματα των παραμετρικών αναλύσεων.

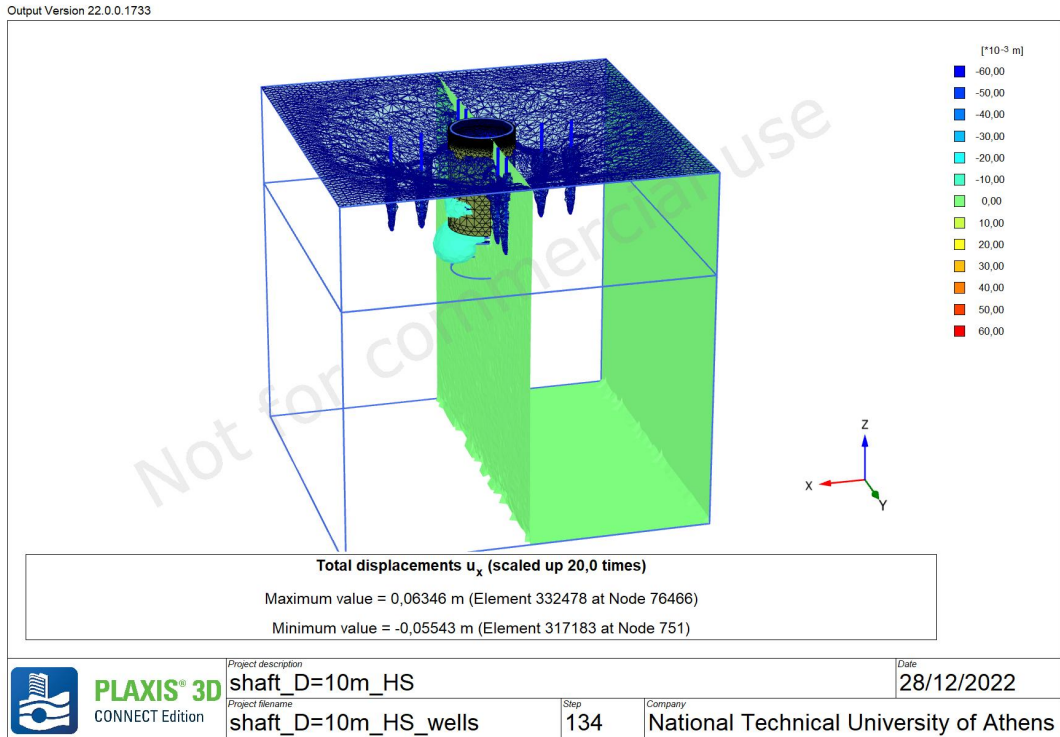
### 7.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

#### 7.2.1 PLAXIS 3D \_5η Ανάλυση\_WELLS(Q=0,06m<sup>3</sup>/sec)

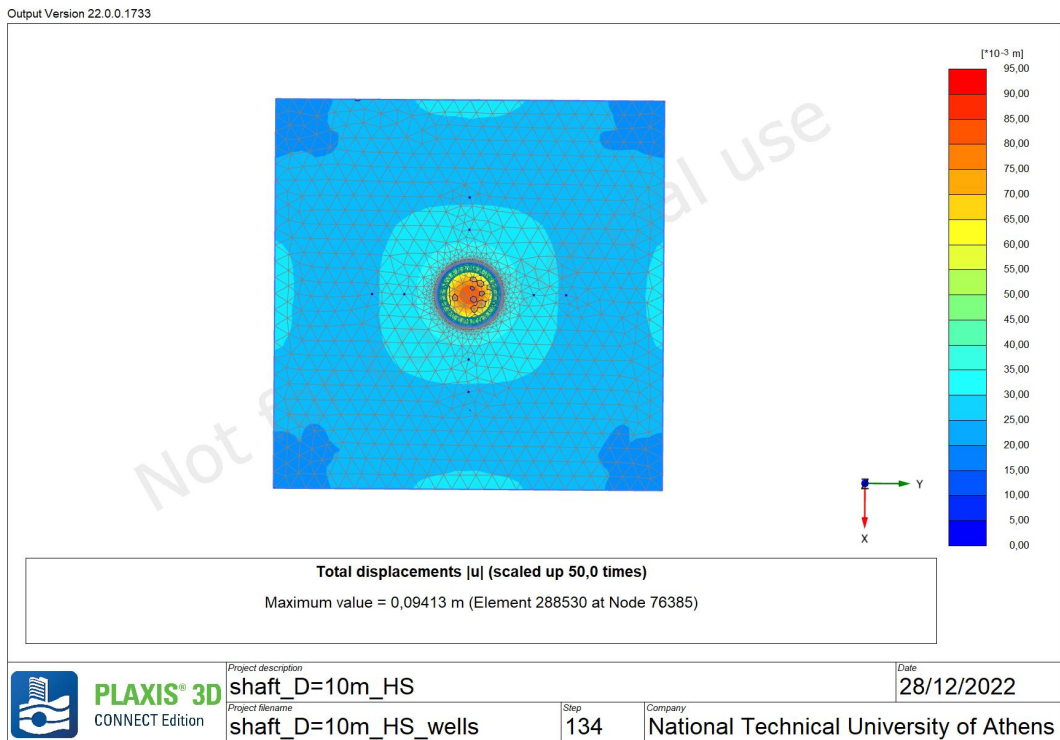
Προσομοίωση κατακόρυφου κυλινδρικού φρέατος διαμέτρου 10m με παρουσία νερού και χρήση συστήματος πηγαδιών, με ρυθμός άντλησης πηγαδιών  $Q=0,06\text{m}^3/\text{s}$ .



Εικόνα 98 - Plaxis 3D\_5η Ανάλυση - Ο “παραμορφωμένος” κάρναβος στην φάση αστοχίας (17η φάση). Όταν το έδαφος καταρρέει.

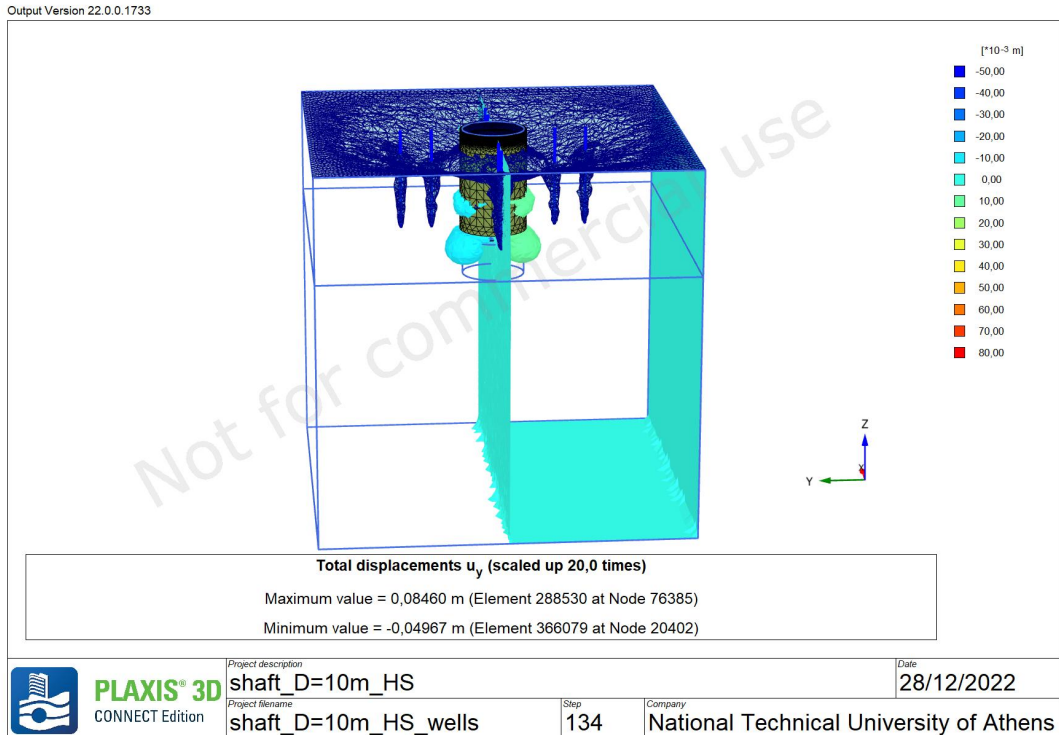


Εικόνα 99 - Plaxis 3D\_5η Ανάλυση - Η μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση στην φάση αστοχίας (17η φάση).

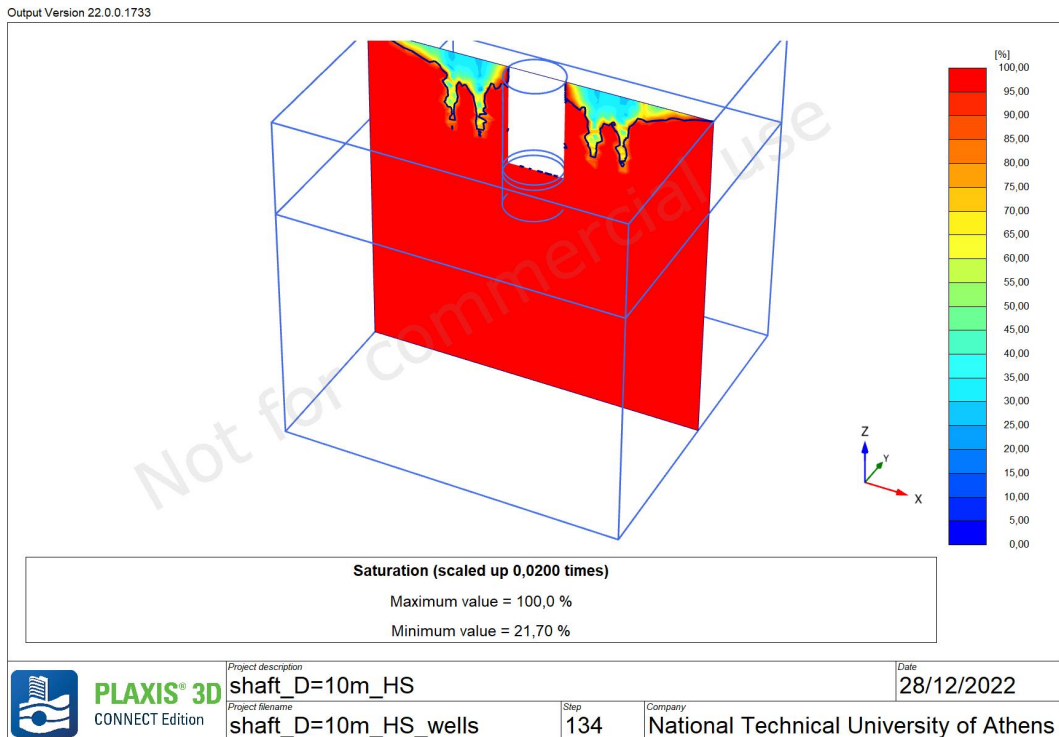


Εικόνα 100 - Plaxis 3D\_5η Ανάλυση - Η μέγιστη ολική μετακίνηση στην φάση αστοχίας (17η φάση).

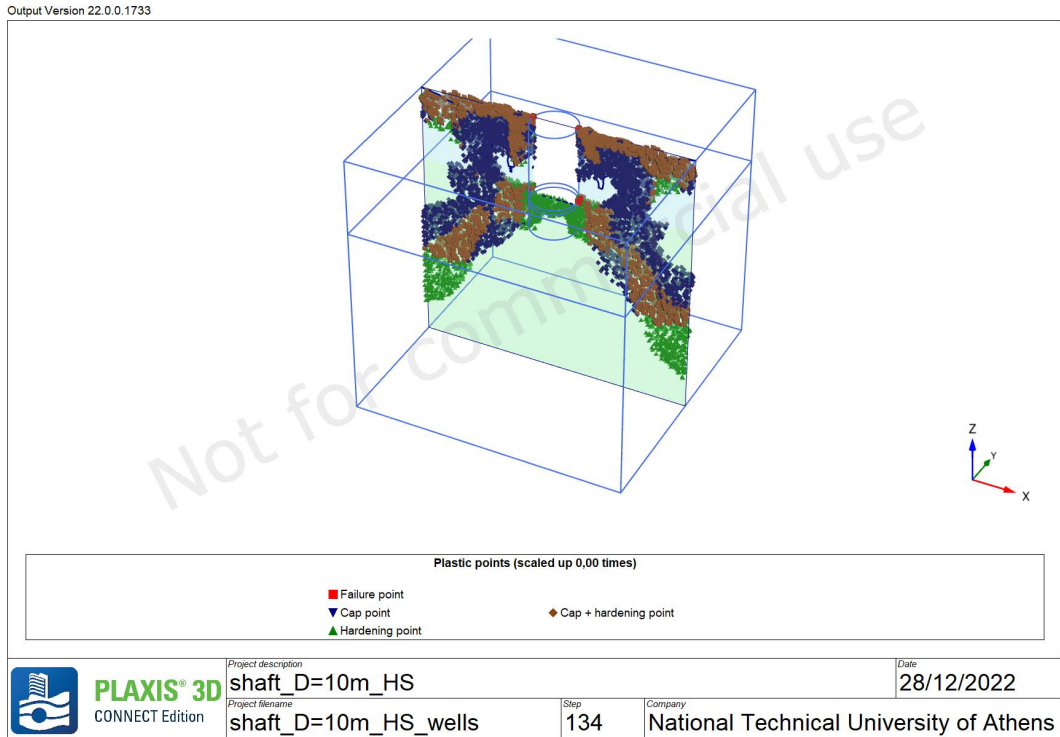




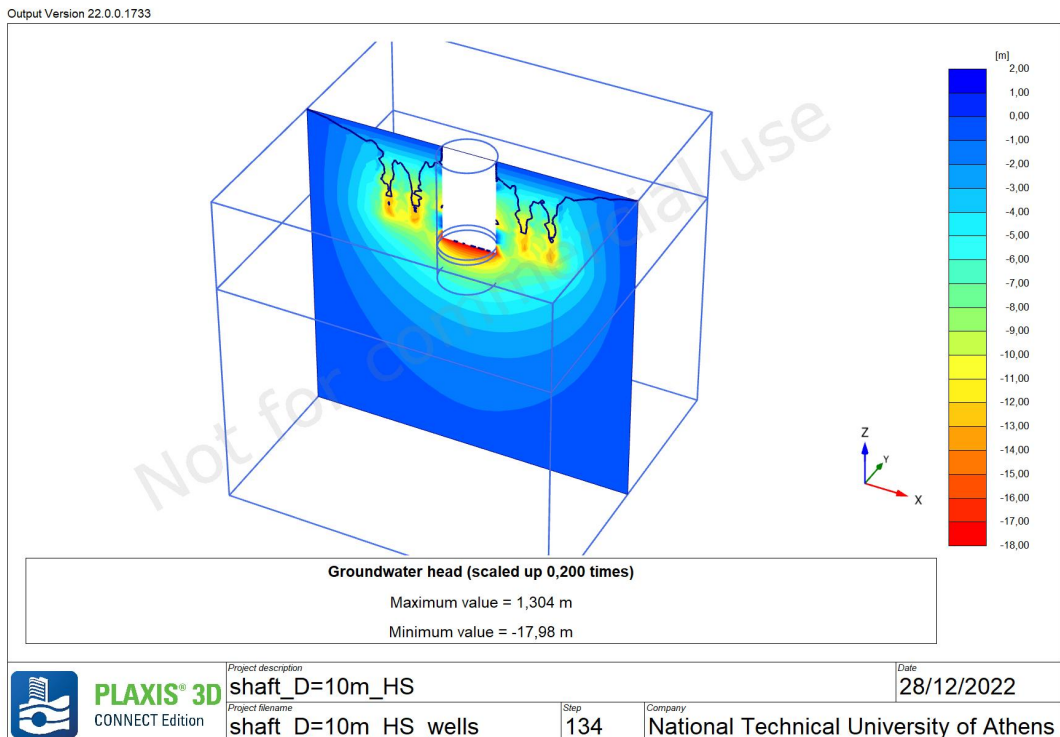
Εικόνα 101 - Plaxis 3D\_5η Ανάλυση - Η μέγιστη οριζόντια μετακίνηση στην φάση αστοχίας (17η φάση).



Εικόνα 102 - Plaxis 3D\_5η Ανάλυση - Μέγιστη και ελάχιστη τιμή βαθμού κορεσμού στην φάση αστοχίας (17η φάση).

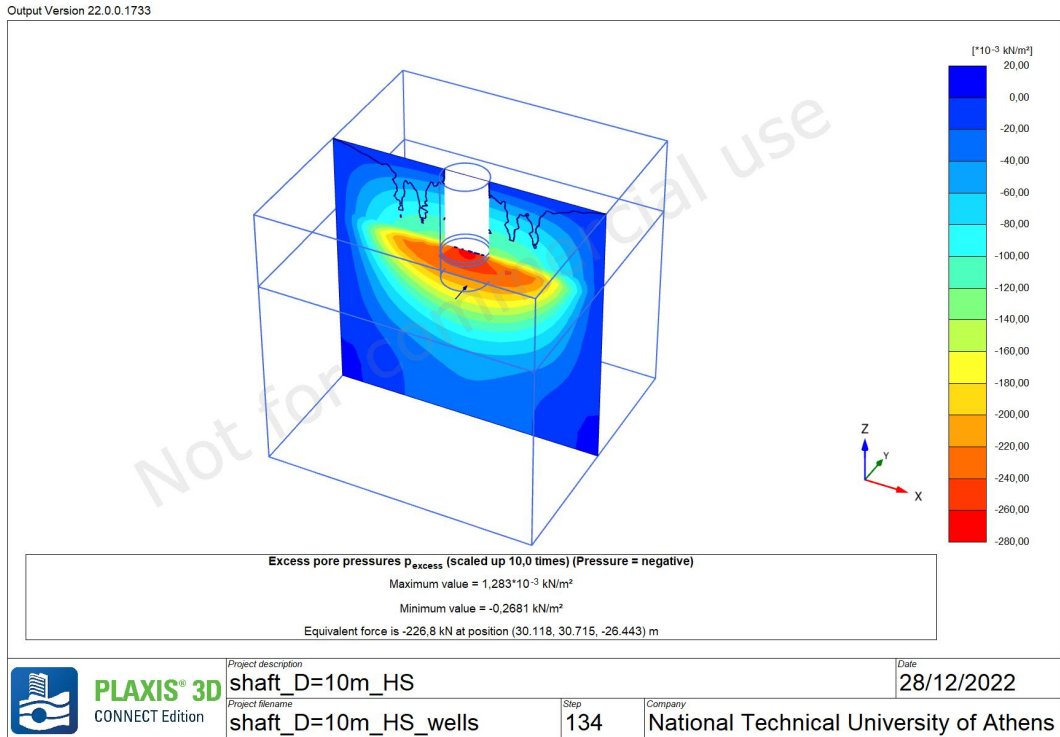


Εικόνα 103 - Plaxis 3D\_5η Ανάλυση - Τα “plastic points” περιμετρικά του φρέατος στην φάση αστοχίας (17η φάση).

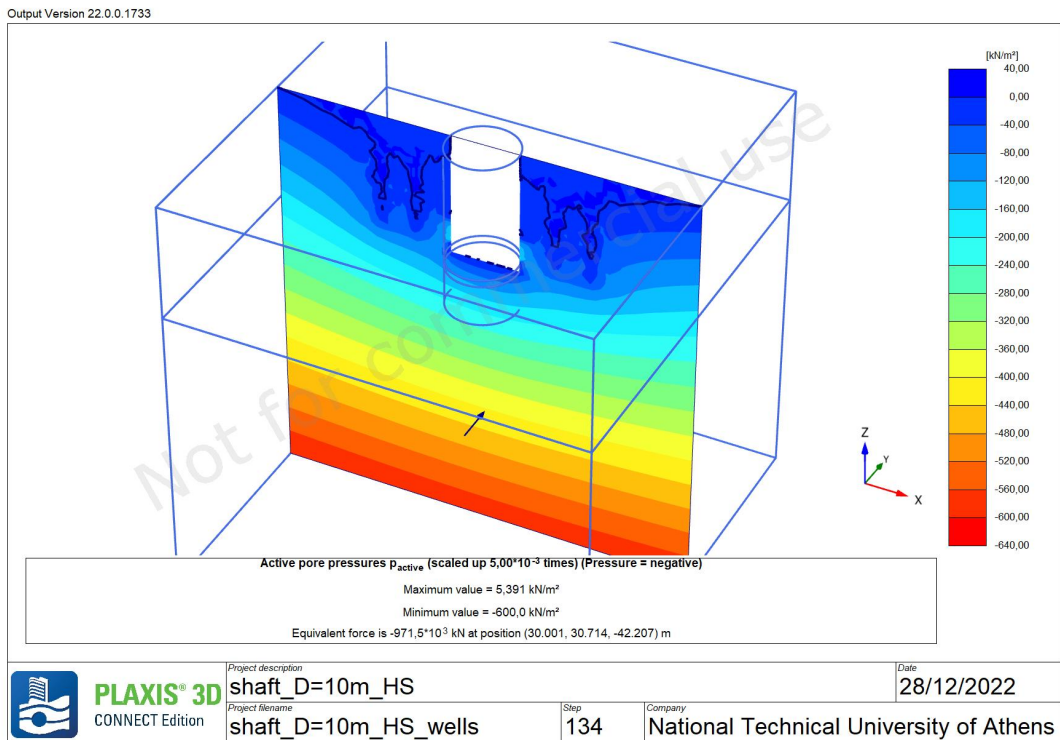


Εικόνα 104 - Plaxis 3D\_5η Ανάλυση - Η στάθμη του υδροφορέα στην φάση αστοχίας (17η φάση).

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΡΕΑΤΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ



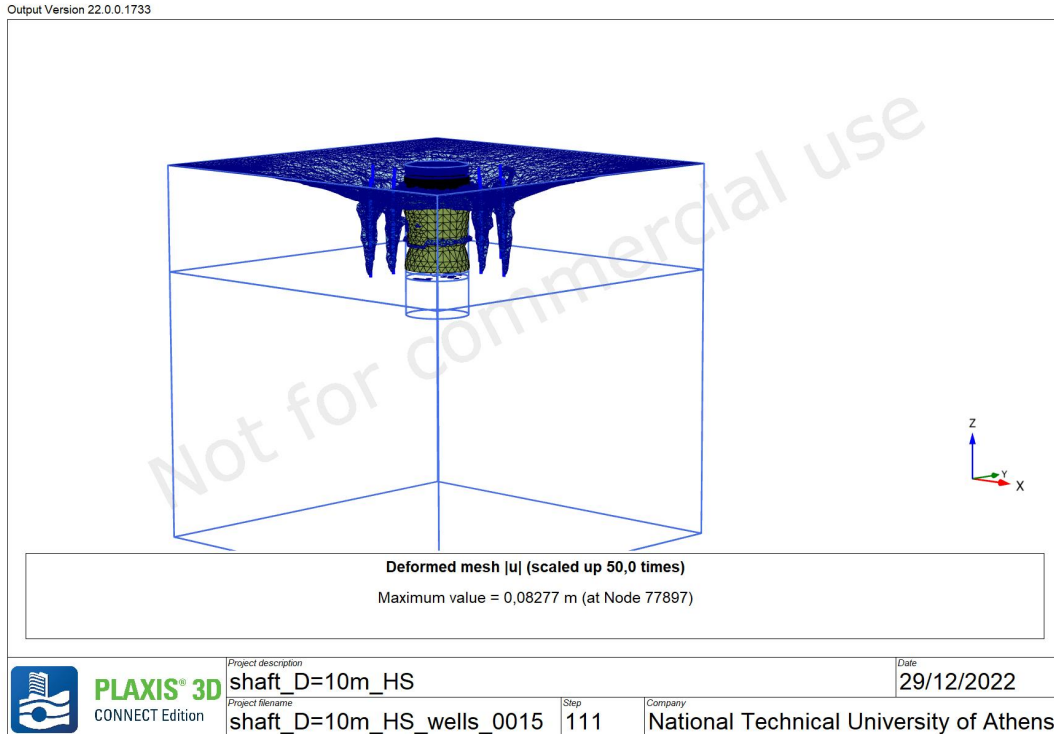
Εικόνα 105 - Plaxis 3D\_5η Ανάλυση - Οι υπερβολικές πιέσεις πόρων στην φάση αστοχίας (17η φάση).



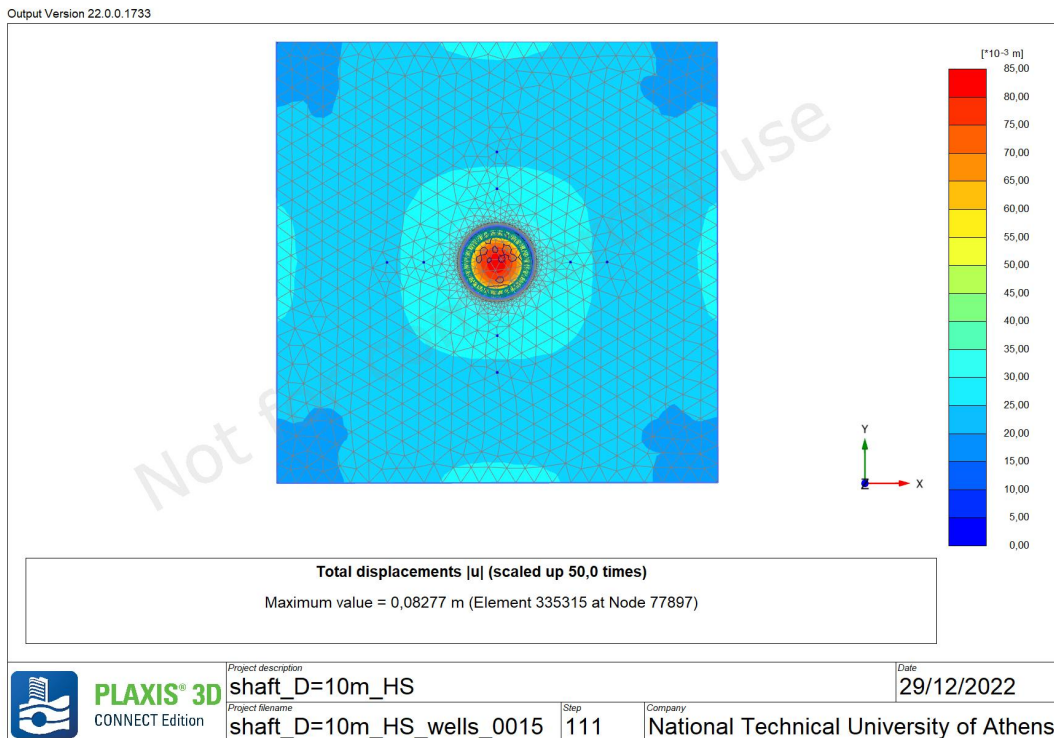
Εικόνα 106 - Plaxis 3D\_5η Ανάλυση - Οι ενεργές πιέσεις πόρων (αρνητικές) στην φάση αστοχίας (17η φάση).

7.3.2 PLAXIS 3D \_6η Ανάλυση\_WELLS (Q=0,015m<sup>3</sup>/sec)

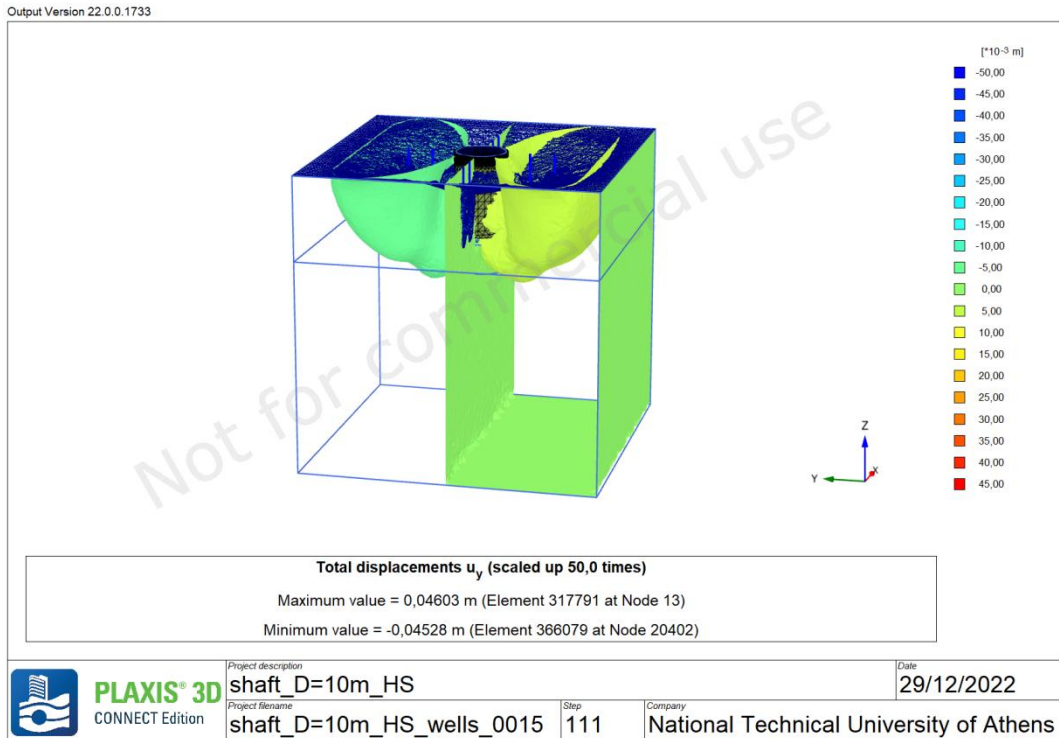
Κατακόρυφο κυλινδρικό φρέαρ διαμέτρου 10m, με παρουσία νερού, Deformation analysis, Στάθμη υδροφόρου ορίζοντα (Hw=0) χρήση συστήματος πηγαδιών, ρυθμός άντλησης πηγαδιών Q=0,015m<sup>3</sup>/s.



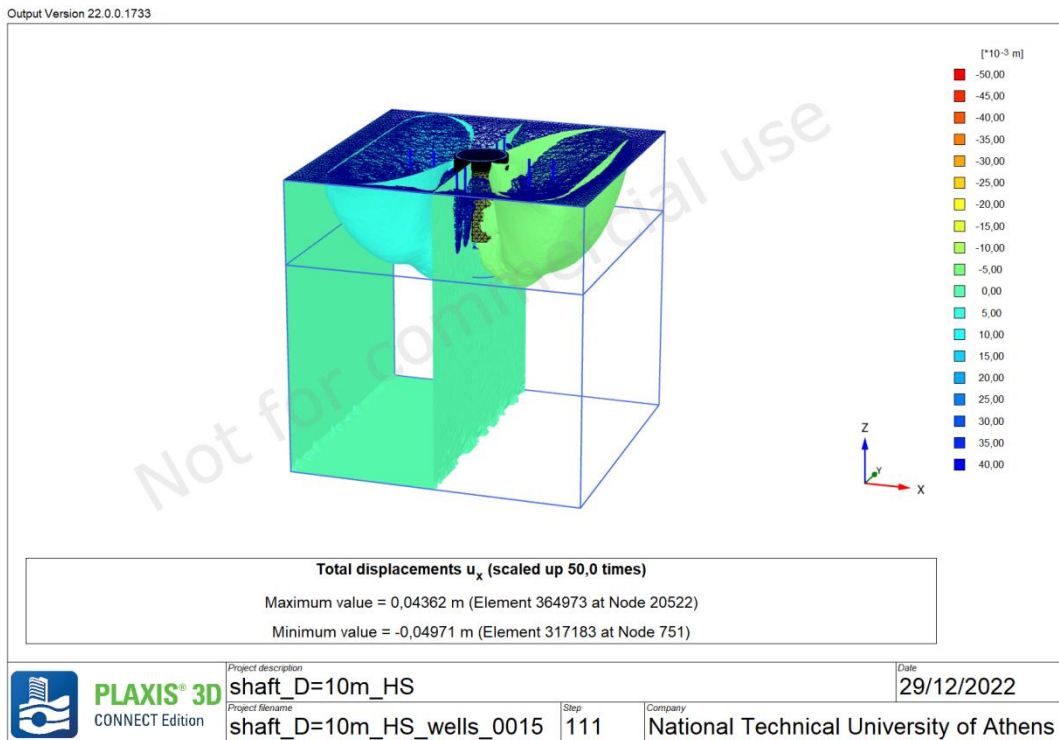
Εικόνα 107 - Plaxis 3D\_6η Ανάλυση - Ο “παραμορφωμένος” κώνναβος στην φάση αστοχίας (17η φάση). Όταν το έδαφος καταρρέει.



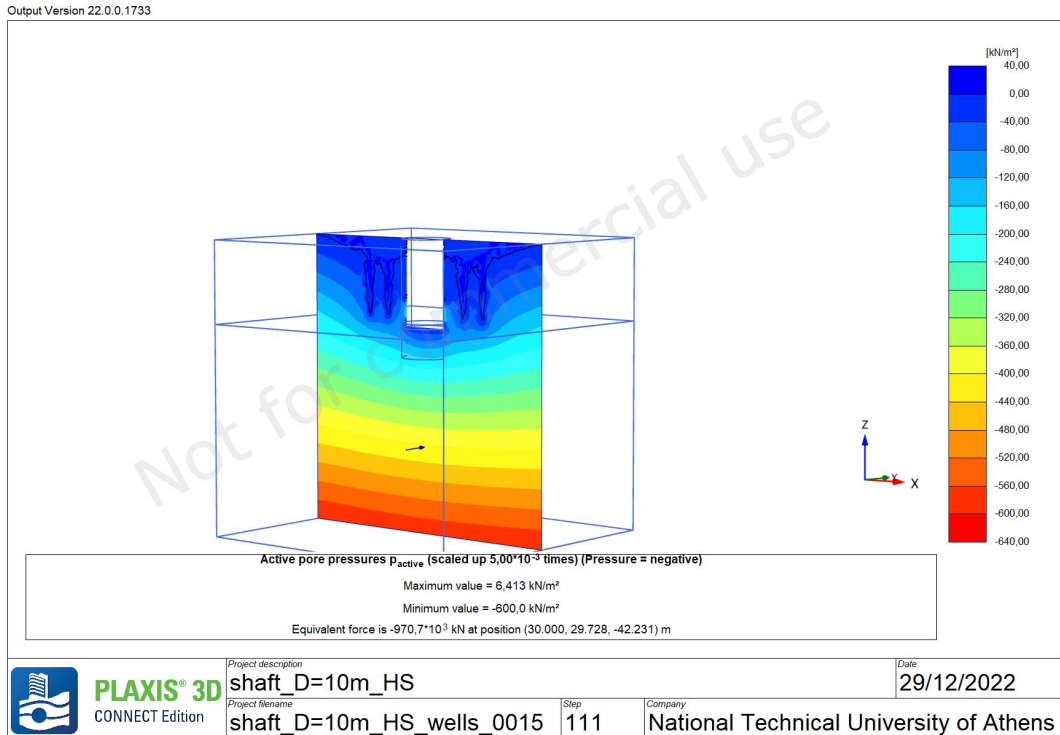
Εικόνα 108 - Plaxis 3D\_6η Ανάλυση - Η μέγιστη ολική μετακίνηση στην φάση αστοχίας (17η φάση).



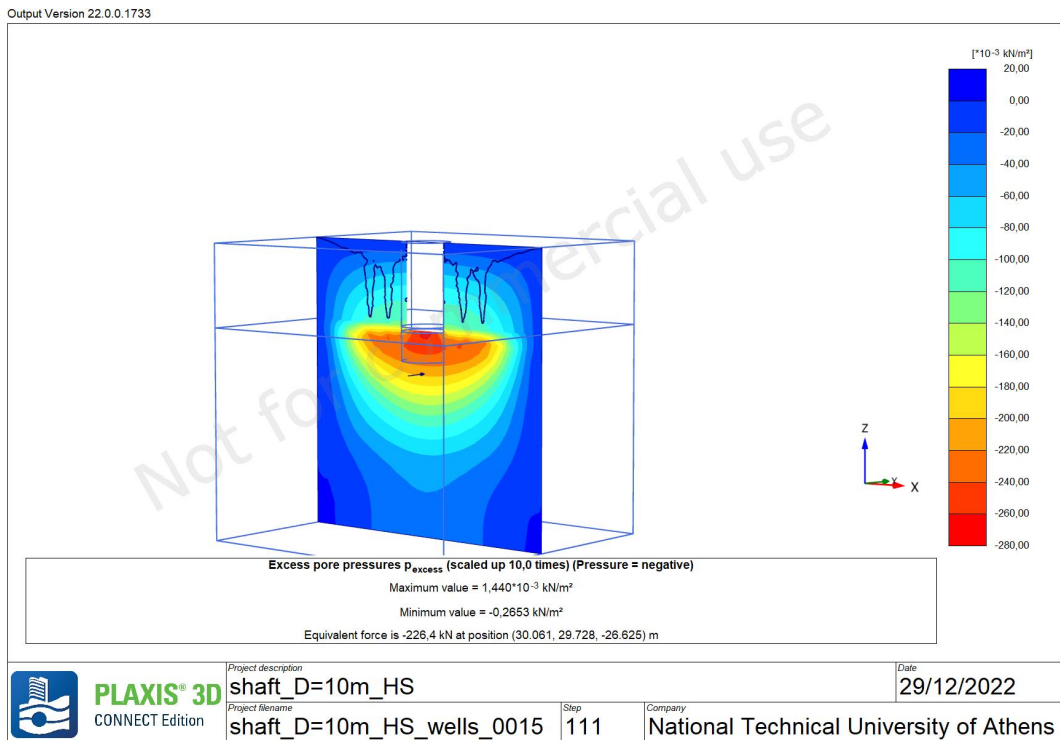
Εικόνα 109 - Plaxis 3D\_6η Ανάλυση - Η μέγιστη οριζόντια μετακίνηση στην φάση αστοχίας (17η φάση).



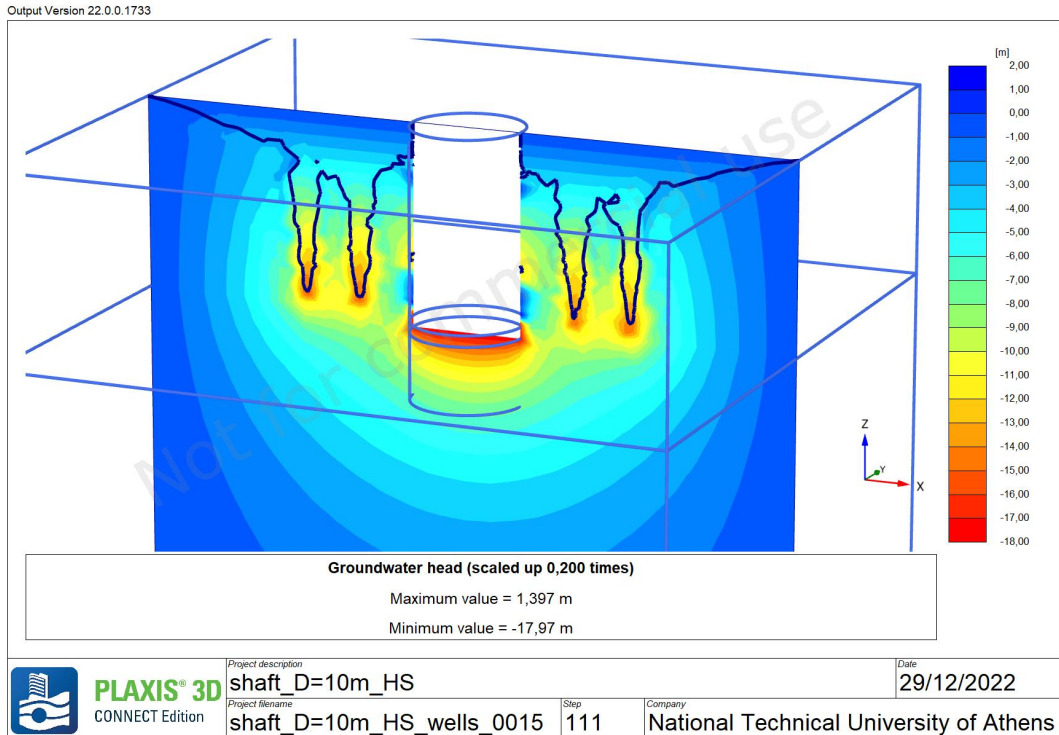
Εικόνα 110 - Plaxis 3D\_6η Ανάλυση - Η μέγιστη οριζόντια μετακίνηση στην φάση αστοχίας (17η φάση).



Εικόνα 111 - Plaxis 3D\_6η Ανάλυση - Οι ενεργές πιέσεις πόρων (αρνητικές) στην φάση αστοχίας (17η φάση).



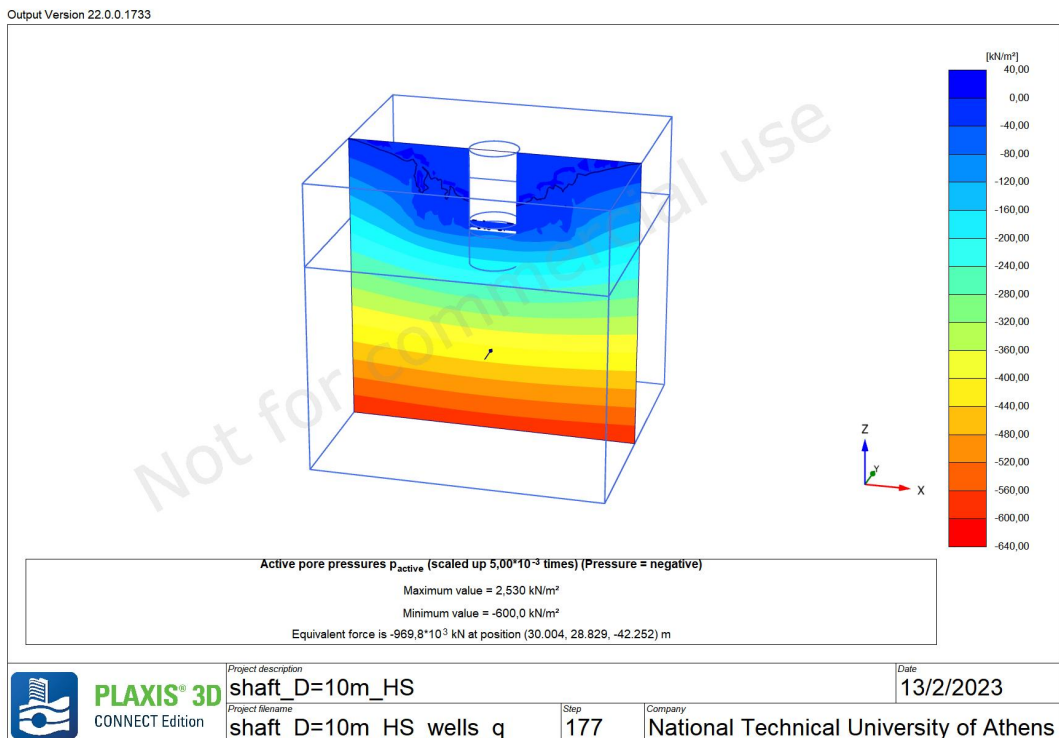
Εικόνα 112 - Plaxis 3D\_6η Ανάλυση - Οι υπερβολικές πιέσεις πόρων στην φάση αστοχίας (17η φάση).



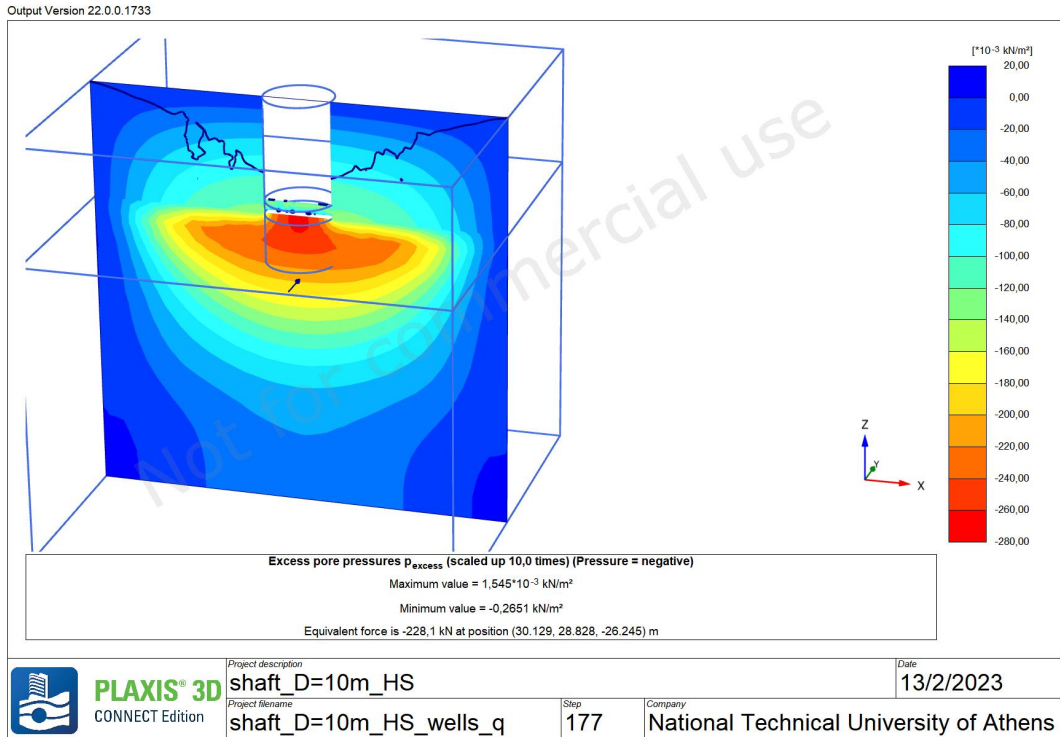
Εικόνα 113 - Plaxis 3D\_6η Ανάλυση - Η στάθμη του υδροφορέα στην φάση αστοχίας (17η φάση).

### 7.3.3 PLAXIS 3D \_7η Ανάλυση\_WELLS ( $Q=0,1\text{m}^3/\text{sec}$ )

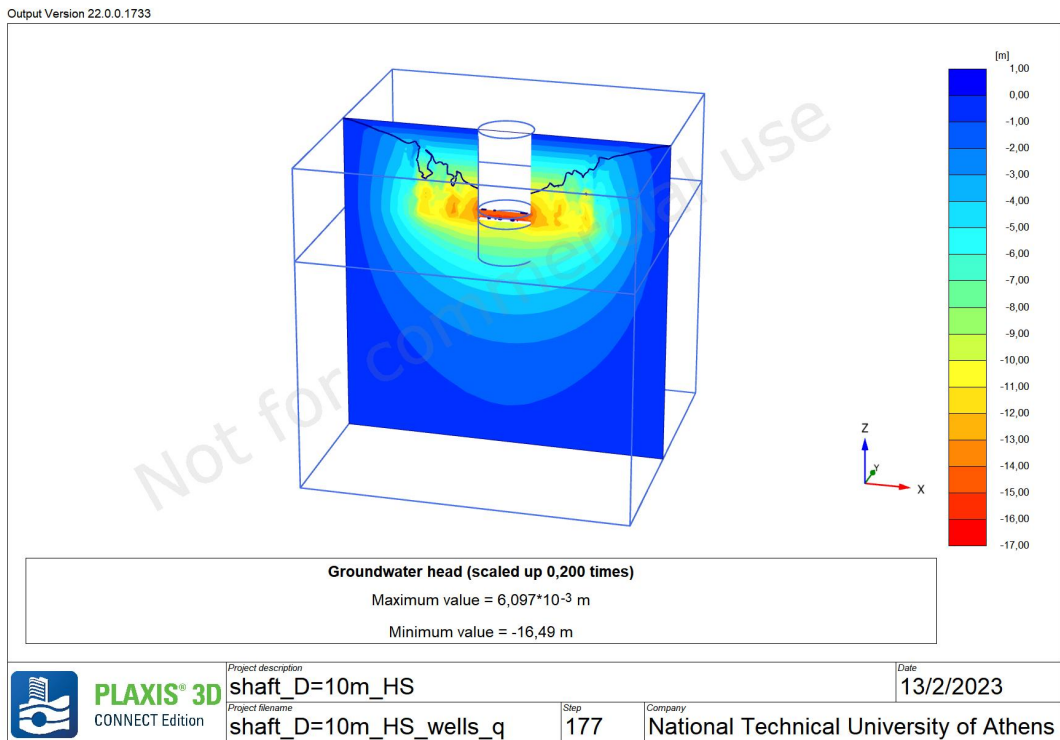
Κατακόρυφο κυλινδρικό φρέαρ διαμέτρου 10m, με παρουσία νερού, Stress analysis, στάθμη υδροφόρου ορίζοντα ( $H_w=0$ ) χρήση συστήματος πηγαδιών, ρυθμός άντλησης πηγαδιών  $Q=0,1\text{m}^3/\text{s}$



Εικόνα 114 - Plaxis 3D\_7η Ανάλυση – Οι ενεργές πιέσεις πόρων στην φάση αστοχίας.

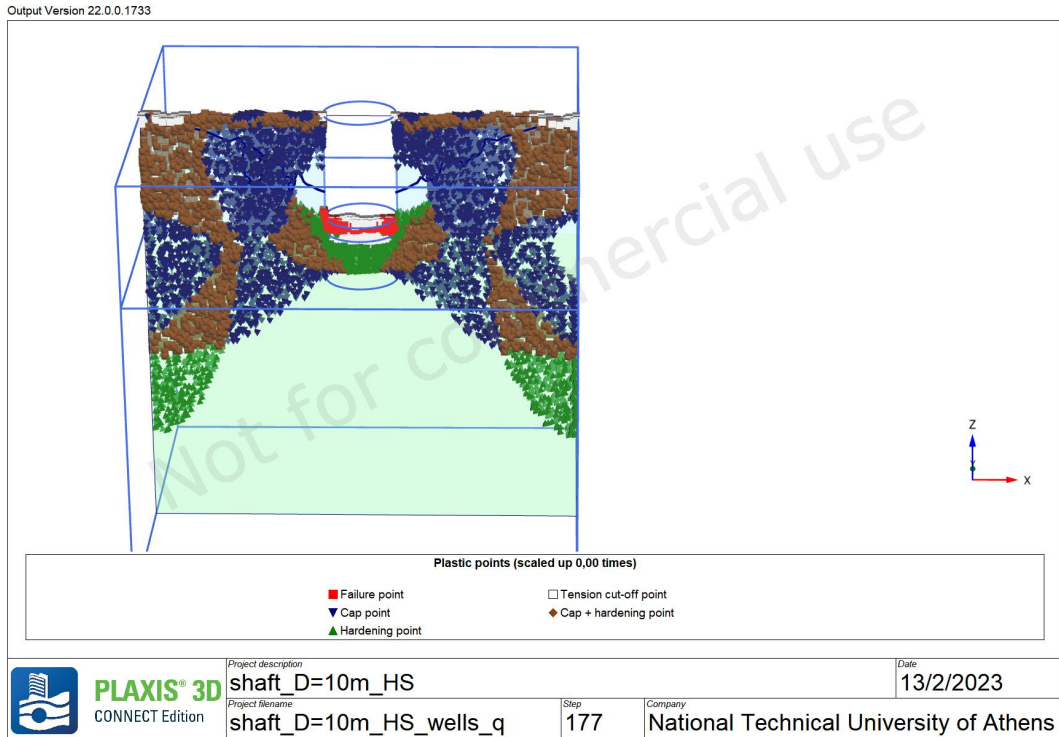


Εικόνα 115 - Plaxis 3D\_7η Ανάλυση - Οι υπερβολικές πιέσεις πόρων στην φάση αστοχίας.

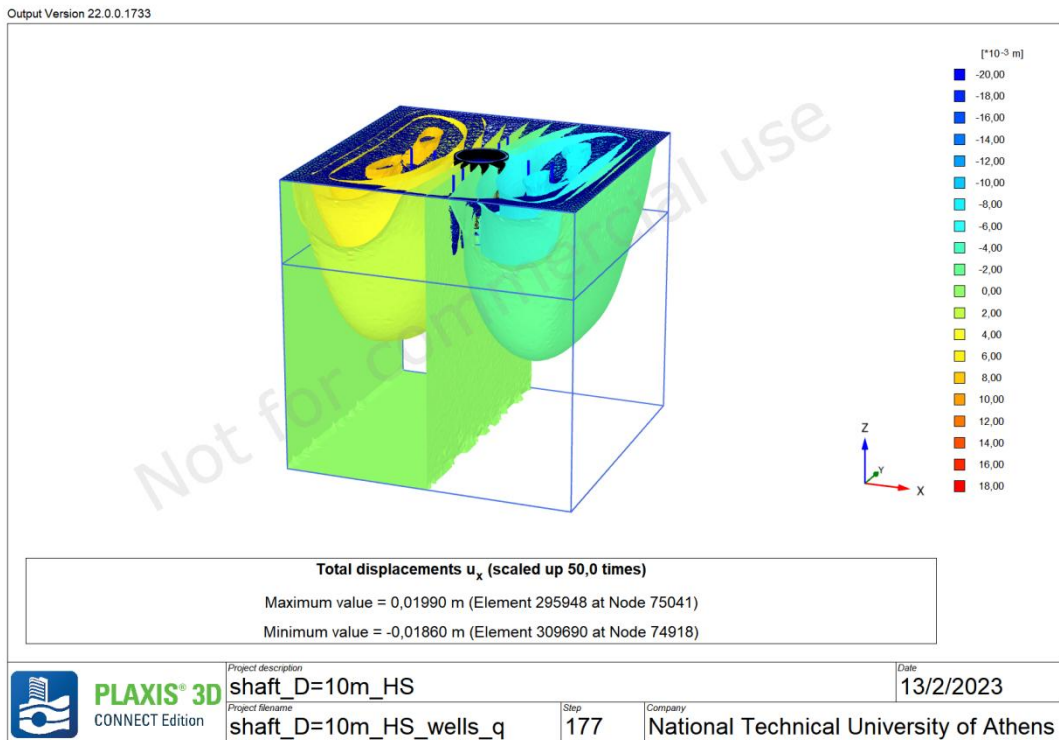


Εικόνα 116 - Plaxis 3D\_7η Ανάλυση - Η στάθμη του υδροφορέα στην φάση αστοχίας (17η φάση).

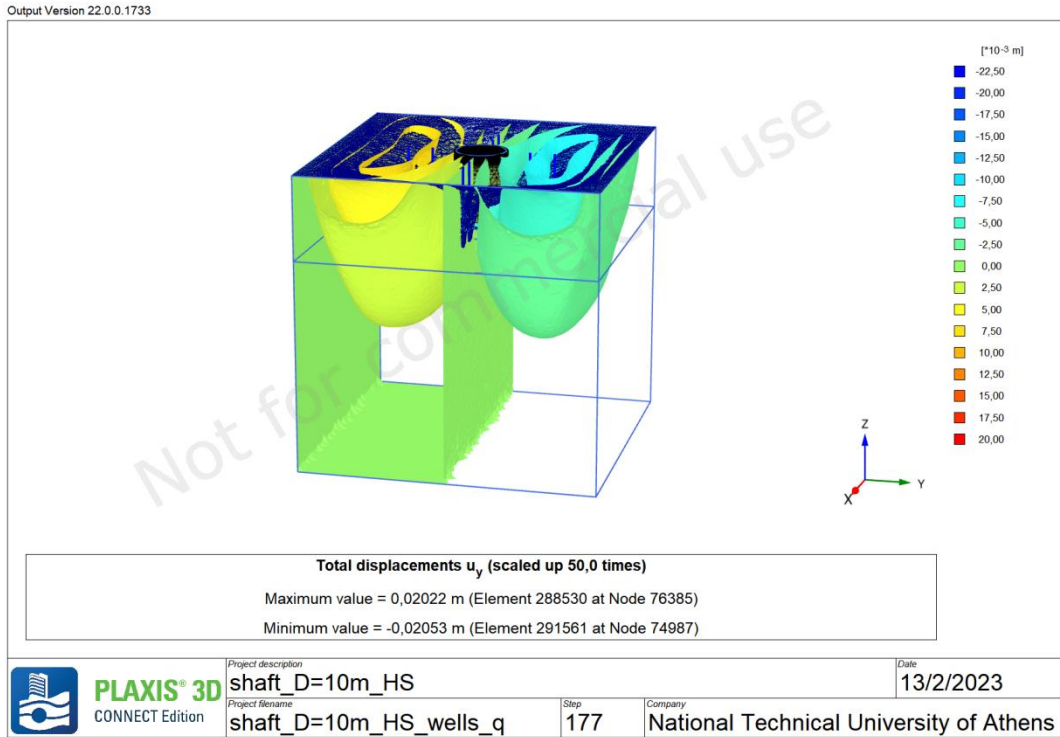




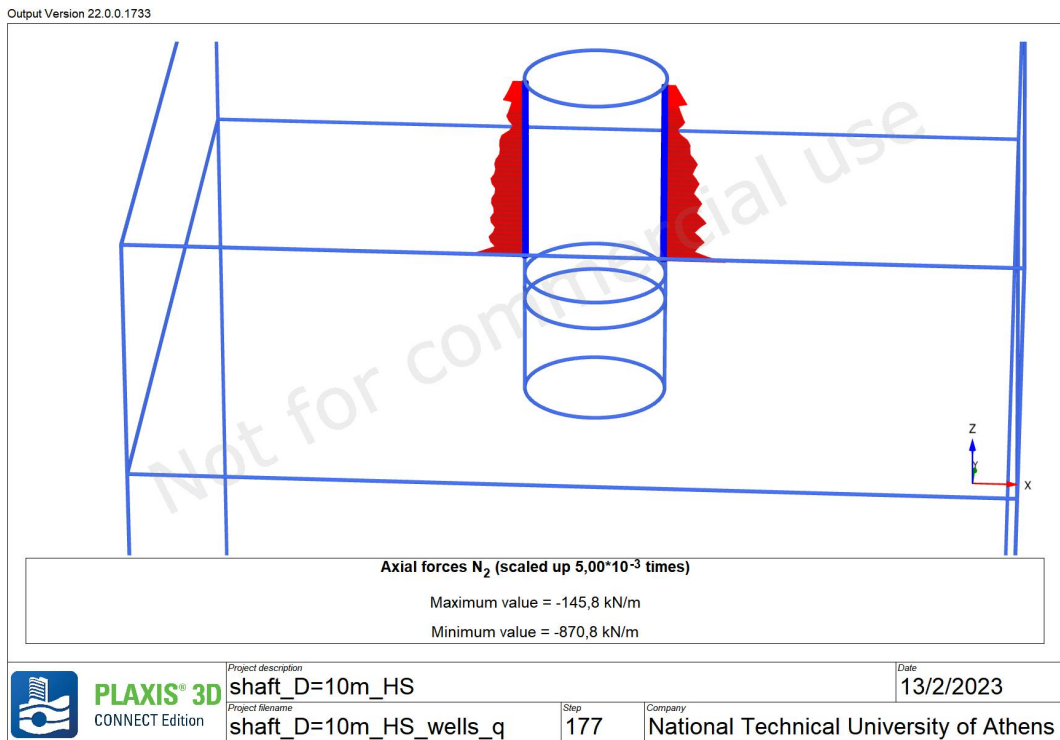
Εικόνα 117 - Plaxis 3D\_7η Ανάλυση - Σημεία εδαφικής αστοχίας στην φάση αστοχίας (17η φάση).



Εικόνα 118 - Plaxis 3D\_7η Ανάλυση - Η μέγιστη οριζόντια μετακίνηση στην φάση αστοχίας (17η φάση).



Εικόνα 119 - Plaxis 3D\_7η Ανάλυση - Η μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση στην φάση αστοχίας (17η φάση).



Εικόνα 120 - Plaxis 3D\_7η Ανάλυση - Διάγραμμα “Hoop forces” Η μέγιστη οριζόντια μετακίνηση στην φάση αστοχίας (17η φάση)

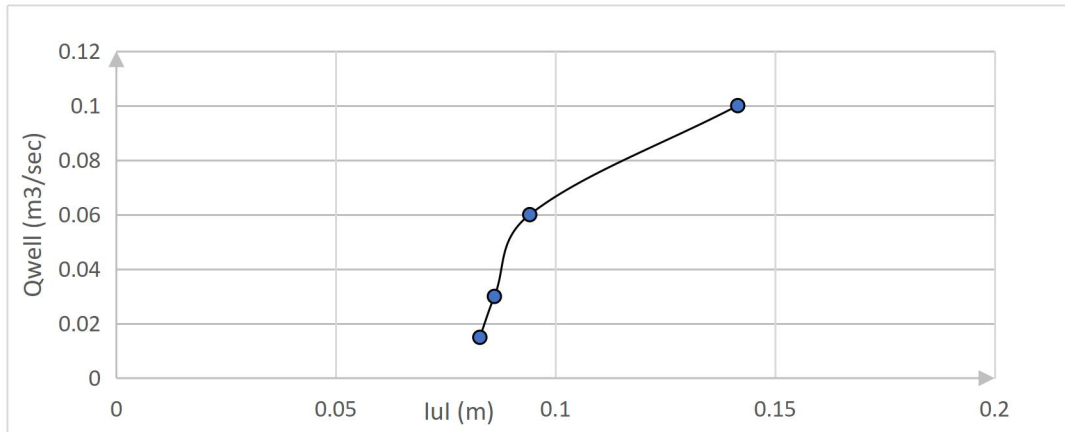
#### 7.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

1. Σε όλες τις αναλύσεις η φάση αστοχίας συμβαίνει στην 17η φάση λόγω κατάρρευσης του εδάφους, δηλαδή περίπου 17,5 μέτρα
2. Οι ολικές μέγιστες μετακινήσεις οι οποίες εμφανίζονται στον πυθμένα αυξάνονται περίπου κατά 10 cm όσο αυξάνεται ο ρυθμός άντλησης των πηγαδιών  $Q_w$ . (Διάγραμμα 17)
3. Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα δεν επηρεάζεται αισθητά και όλες οι αναλύσεις αστοχούν στην ίδια φάση.
4. Οι ενεργές πιέσεις πόρων εμφανίζουν μια μικρή μείωση με την αύξηση του ρυθμού ροής.

Στον Πίνακα 8 που ακολουθεί παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των αναλύσεων για κάθε ρυθμό άντλησης  $Q_w$ .

	Flow rate $Q=0,015$ m <sup>3</sup> /sec	Flow rate $Q=0,03$ m <sup>3</sup> /sec	Flow rate $Q=0,06$ m <sup>3</sup> /sec	Flow rate $Q=0,1$ m <sup>3</sup> /sec
<b>Total displacements <math>Iu_{I_{max}}</math> (m)</b>	0,08277	0,08608	0,09413	0,1415
<b>Total displacements <math>Ux_{max}</math> (m)</b>	0,04326	0,05252	0,06346	0,0199
<b>Total displacements <math>Ux_{min}</math> (m)</b>	-0,04971	-0,06209	-0,05543	-0,01866
<b>Total displacements <math>uy_{max}</math> (m)</b>	0,04603	0,05698	0,0846	0,02022
<b>Total displacements <math>uy_{min}</math>(m)</b>	-0,04528	-0,0468	-0,04967	-0,02053
<b>Max Active pore pressures <math>p_{active}</math> (kN/m<sup>2</sup>)</b>	6,413	5,962	5,391	2,53
<b>Min Active pore pressures <math>p_{active}</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b>	-600	-600	-600	-600
<b>Max Excess pore pressures <math>p_{excess}</math> (kN/m<sup>2</sup>)</b>	$1,44 * 10^{-3}$	$1,369 * 10^{-3}$	$1,283 * 10^{-3}$	$1,545 * 10^{-3}$
<b>Min Excess pore pressures <math>p_{excess}</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b>	-0,2653	-0,2704	-0,2681	-0,2651
<b>Groundwater head (m)</b>	-17,97	-17,98	-17,98	-16,5
<b>Failure Phase</b>	17th	17th	17th	17th

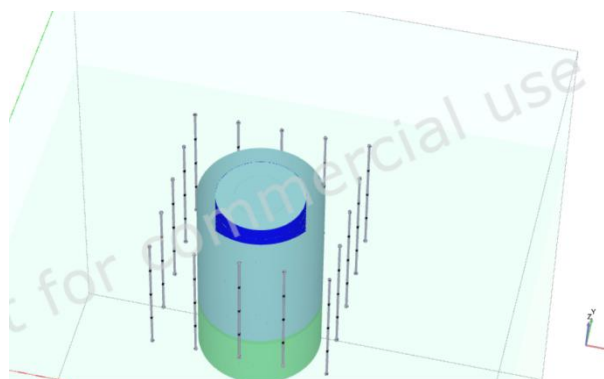
Πίνακας 9 -Πίνακας αποτελεσμάτων για κάθε ρυθμό άντλησης.



**Διάγραμμα 18** - Σχέση ρυθμού άντλησης πηγαδιών  $Q_{well}$  σε σχέση με τις ολικές μετακινήσεις του εδάφους.

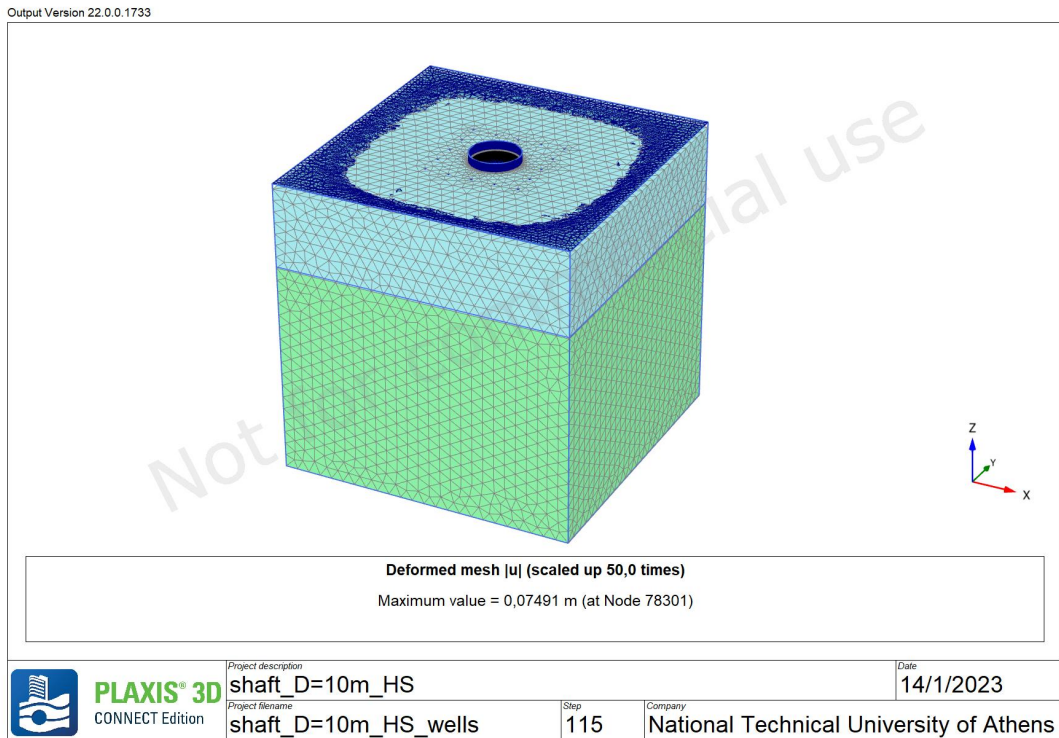
### 7.6 PLAXIS 3D \_8η Ανάλυση\_WELLS (ΟΡΘΟΓΩΝΙΑ ΔΙΑΤΑΞΗ WELLS)

Τέλος, διεξήχθη η 8η Ανάλυση με σκοπό τον έλεγχο της επιρροής της διάταξης των πηγαδιών στον υποβιβασμό του υδροφόρου ορίζοντα και στις εδαφικές μετακινήσεις. Συνολικά τοποθετήθηκαν 16 πηγάδια σε απόσταση 5 m μεταξύ τους όπως φαίνεται στην Εικόνα 121. Το βάθος, οι φάσεις κατασκευής, ο ρυθμός άντλησης και ο τύπος φόρτισης κατά την στερεοποίηση διατηρήθηκαν όμοια με την 4η Ανάλυση (Ενότητα 6.2).

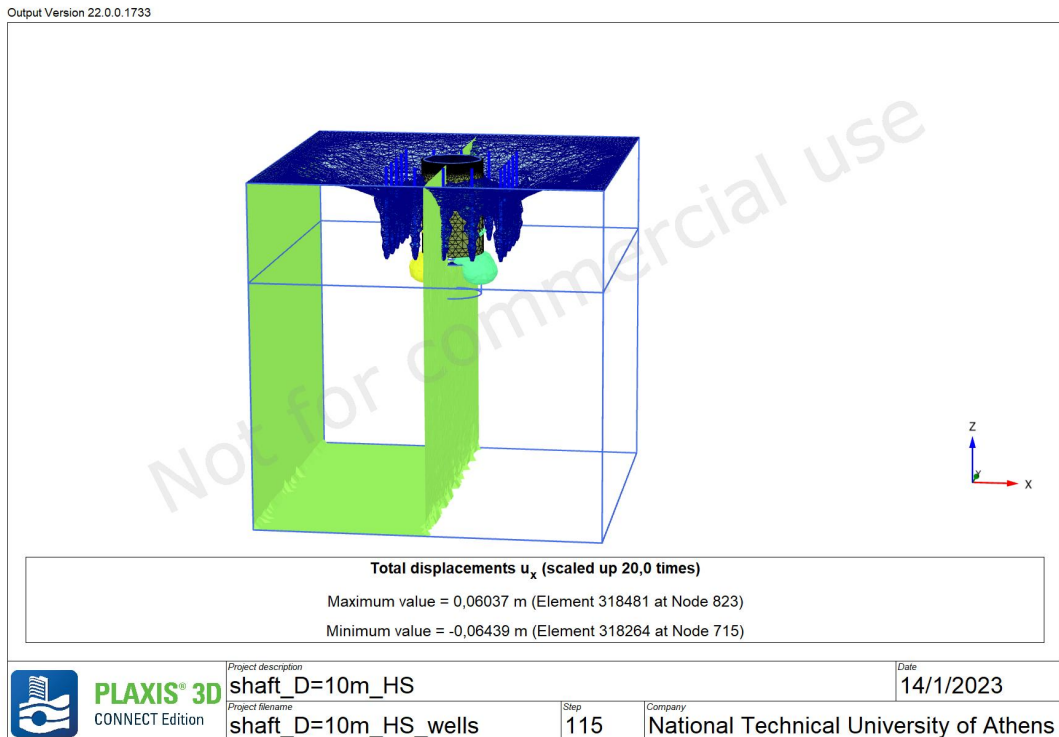


Εικόνα 121 - Διάταξη συστήματος wells σε σχήμα ορθογώνιο.

7.6.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - PLAXIS 3D \_8η Ανάλυση\_WELLS

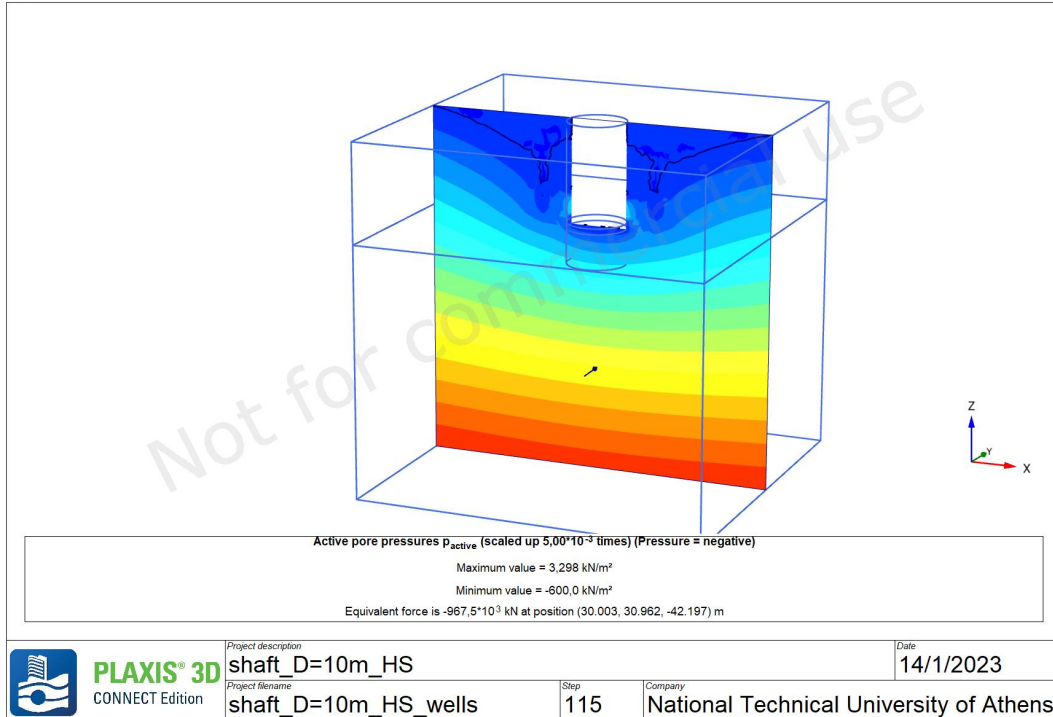


Εικόνα 122 - Plaxis 3D\_8η Ανάλυση - Ο “παραμορφωμένος” κάρναβος στην φάση αστοχίας (17η Φάση).



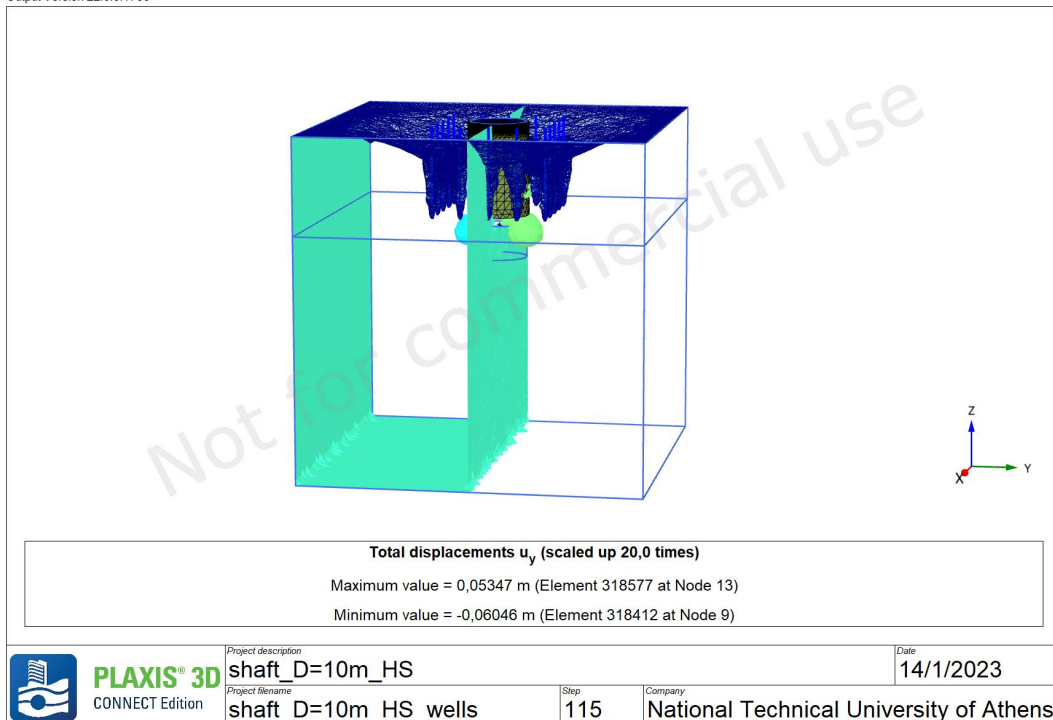
Εικόνα 123 - Plaxis 3D\_8η Ανάλυση - Η μέγιστη οριζόντια μετακίνηση στην φάση αστοχίας (17η Φάση).

Output Version 22.0.0.1733



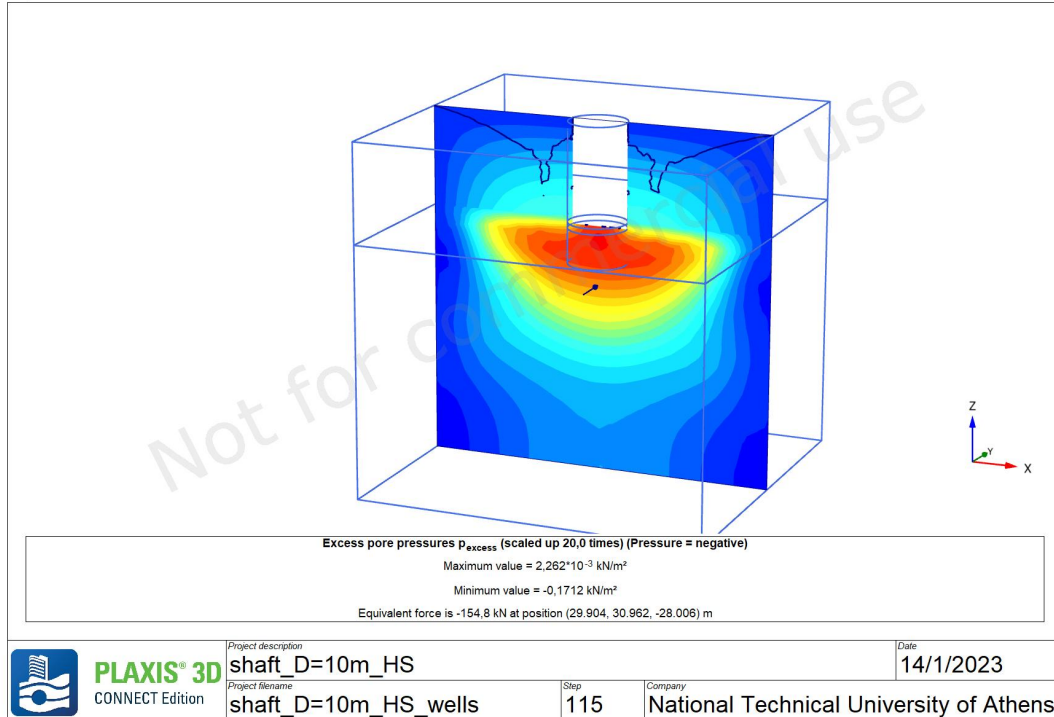
Εικόνα 124 - Plaxis 3D\_8η Ανάλυση - Οι ενεργές πιέσεις πόρων στην φάση αστοχίας (17η Φάση).

Output Version 22.0.0.1733



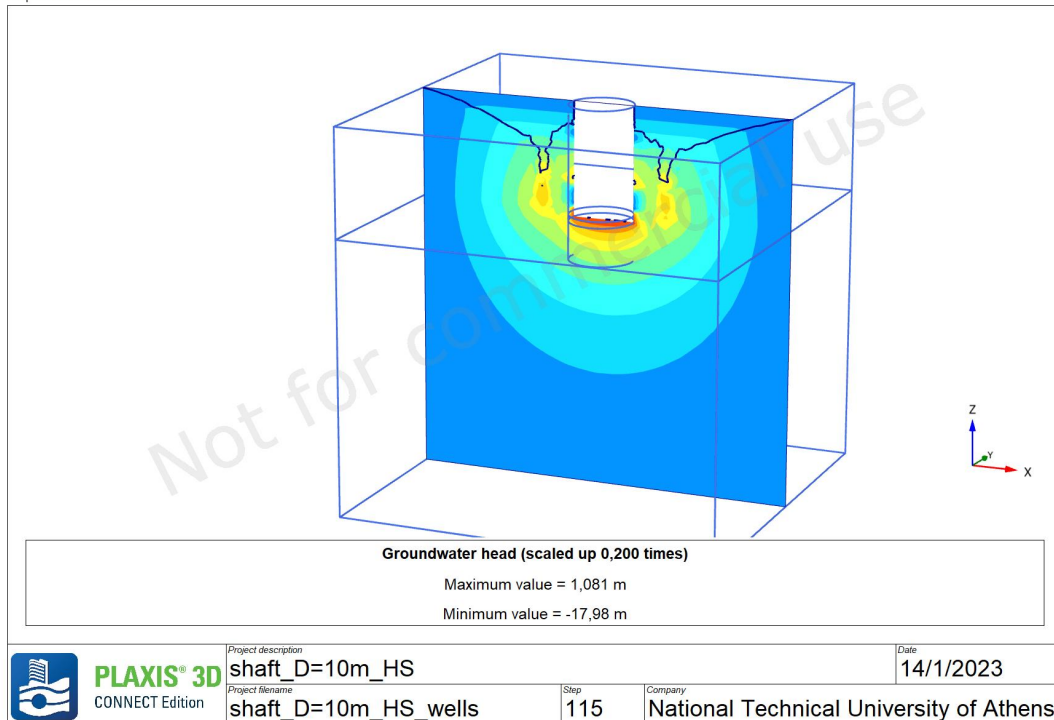
Εικόνα 125 - Plaxis 3D\_8η Ανάλυση - Η μέγιστη οριζόντια μετακίνηση στην φάση αστοχίας (17η Φάση)..

Output Version 22.0.0.1733



Εικόνα 126 - Plaxis 3D\_8η Ανάλυση - Οι υπερβολικές πιέσεις πόρων στην φάση αστοχίας (17η φάση).

Output Version 22.0.0.1733



Εικόνα 127 - Plaxis 3D\_8η Ανάλυση - Η στάθμη του υδροφορέα στην φάση αστοχίας (17η φάση).

## 7.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΗΓΑΔΙΩΝ

Λαμβάνοντας υπόψη τις αναλύσεις του 6<sup>ου</sup> και 7<sup>ου</sup> Κεφαλαίου για τον υποβιβασμό υδροφόρου ορίζοντα με την χρήση πηγαδιών σημειώνονται τα εξής:

Σε όλες τις αναλύσεις

- Η παρουσία νερού οδηγεί σε αστοχία του πυθμένα λόγω ροής πριν την ολοκλήρωση της κατασκευής (Φάση 17).
- Οι διαφορετικοί ρυθμοί άντλησης των πηγαδιών δεν αλλάζουν την μορφή του υδροφόρου ορίζοντα ιδιαίτερα.
- Η αλλαγή της διάταξης των πηγαδιών σε ορθογώνιο κάναβο και η πύκνωση με περισσότερα πηγάδια (16 πηγάδια) δεν παρουσιάζει αλλαγή στην στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα σε σχέση με την διάταξη των πηγαδιών σε σταυροειδή κάναβο (8 πηγάδια).

Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω φαίνεται ότι η χρήση πηγαδιών στο Plaxis 3D δεν οδηγεί σε υποβιβασμό του υδροφόρου ορίζοντα με επιτυχία. Για τον λόγο αυτό, εξετάζεται ο υποβιβασμός του υδροφόρου ορίζοντα με χρήση κατακόρυφων στραγγιστηρίων (line drains) στο Plaxis 3D.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

## ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΙΑ

### 8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κύριο αντικείμενο του κεφαλαίου είναι ο υποβιβασμός του υδροφόρου ορίζοντα με την χρήση κατακόρυφων στραγγιστηριών. Οι διάφορες υποθέσεις, ρυθμίσεις μοντέλου και τα υπολογιστικά αποτελέσματα αναφέρονται αναλυτικά.

### 8.2 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

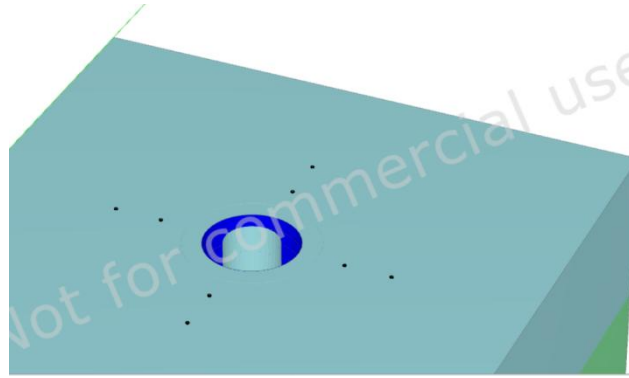
Η ανάλυση πραγματοποιείται με σκοπό τον υποβιβασμό του υδροφόρου ορίζοντα με χρήση στραγγιστηριών και την σύγκριση της επιρροής αυτών στον υποβιβασμό του υδροφόρου ορίζοντα σε σχέση με τα πηγάδια.

1. Τοποθετήθηκαν 8 κατακόρυφα στραγγιστήρια (line drains) περιμετρικά από τον δακτύλιο του φρέατος (βλ. Εικόνα 128).
2. Μέγιστο βάθος line drain  $z_{\max} = -16$  m
3. Η συμπεριφορά του line drain επιλέχθηκε normal και σαν τιμή υπόγειου νερού ορίσθηκε το  $H = -16$  m (βλ. Εικόνα 129).
4. Η αρχική στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα στην επιφάνεια ( $h_w = 0$  m)
5. Στον τύπο φόρτισης της στερεοποίησης επιλέχθηκε το ελάχιστο excess pressure και ορίσθηκε  $|p - \text{stop}| = 1$  kN/m<sup>2</sup>
6. Οι φάσεις εκσκαφής και κατασκευής, συνολικά 9 βήματα (Πίνακας 9)

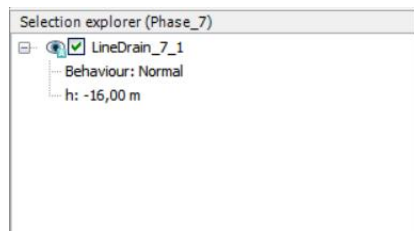
Η προσομοίωση του μοντέλου δημιουργήθηκε ως εξής:

Βήματα	Φάση	H <sub>min</sub>
1	Initial Phase	
2	Drains 1	H=-4m
3	Consolidation	
4	Drains 2	H=-6m
5	Consolidation	
6	Drains 3	H=-12m
7	Consolidation	
8	Drains 4	H=-16m
9	Consolidation	
10	Διάφορες κατασκευαστικές φάσεις	H=-16m

**Πίνακας 10** - Οι φάσεις εκσκαφής και κατασκευής για τα στραγγιστήρια



Εικόνα 128 - Διάταξη στραγγιστηρίων περιμετρικά του φρέατος.



Εικόνα 129 - Εισαγωγή στραγγιστηρίων στο Plaxis 3D.

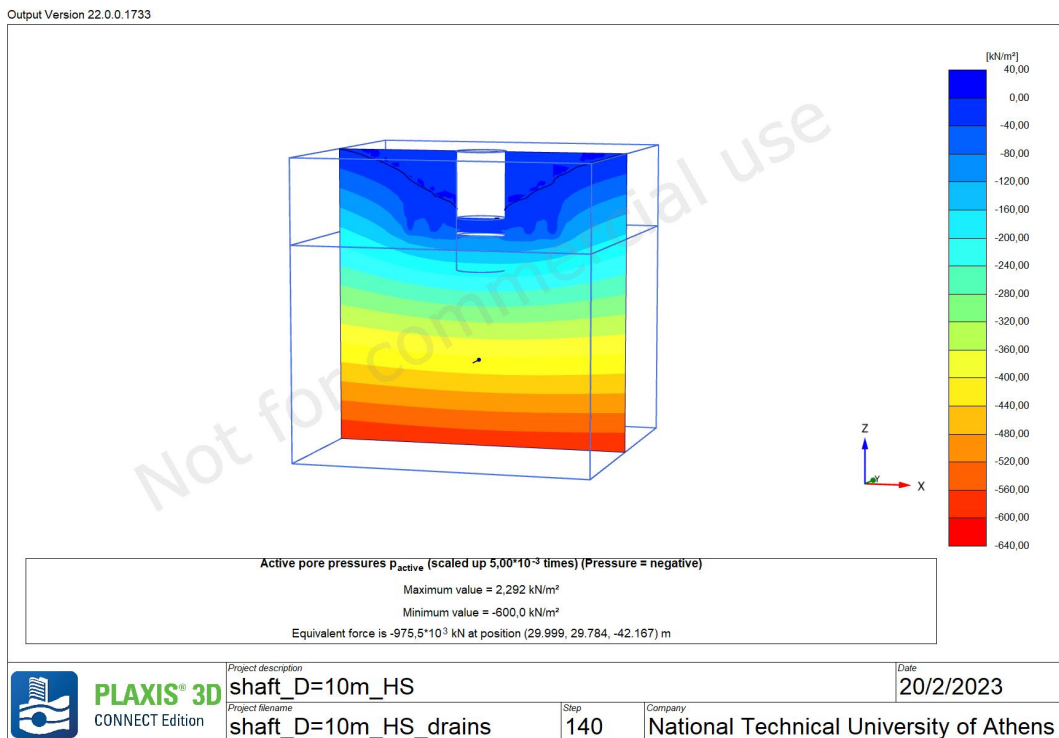
## 8.2 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Αρχικά έγινε προσομοίωση του φρέατος με διάταξη στραγγιστηριών και βάθος όμοια με αυτή των πηγαδιών (Ενότητα 7.3). Στην συνέχεια, σημειώθηκε καλύτερη απόκριση του εδάφους τόσο ως προς τις μετακινήσεις όσο και την μορφή του υδροφόρου ορίζοντα. Πραγματοποιήθηκαν παραμετρικές αναλύσεις σε σχέση με την τιμή του  $h$  που ορίζεται στην επιλογή line drains του Plaxis καθώς και τον αριθμό των στραγγιστηριών που απαιτούνται για τον υποβιβασμό του υδροφόρου ορίζοντα.

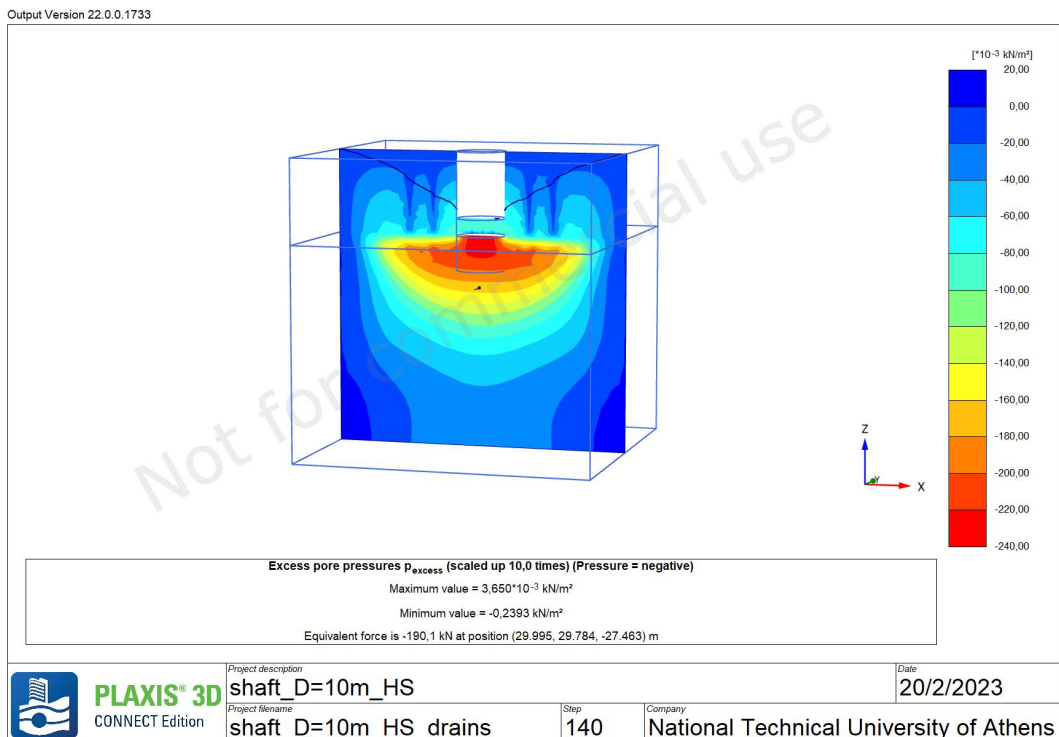
Plaxis 3D Analysis	
Αναλύσεις	Σύντομη περιγραφή
1 <sup>η</sup> Ανάλυση	Κατακόρυφο κυλινδρικό φρέαρ διαμέτρου 10 m, με παρουσία νερού, υποβιβασμός υδροφόρου με χρήση line drains (Behaviour: Normal και $h=-16m$ ), Hardening Soil, Αριθμός line drains 8
2 <sup>η</sup> Ανάλυση	Κατακόρυφο κυλινδρικό φρέαρ διαμέτρου 10 m, με παρουσία νερού, υποβιβασμός υδροφόρου με χρήση line drains (Behaviour: Normal και $h=-24m$ ), Hardening Soil, Αριθμός line drains 8
3 <sup>η</sup> Ανάλυση	Κατακόρυφο κυλινδρικό φρέαρ διαμέτρου 10 m, με παρουσία νερού, υποβιβασμός υδροφόρου με χρήση line drains (Behaviour: Normal και $h=-24m$ ), Hardening Soil, Αριθμός line drains 24

Πίνακας 11 - Αναλύσεις στο Plaxis 3D με χρήση στραγγιστηρίων "line drains".

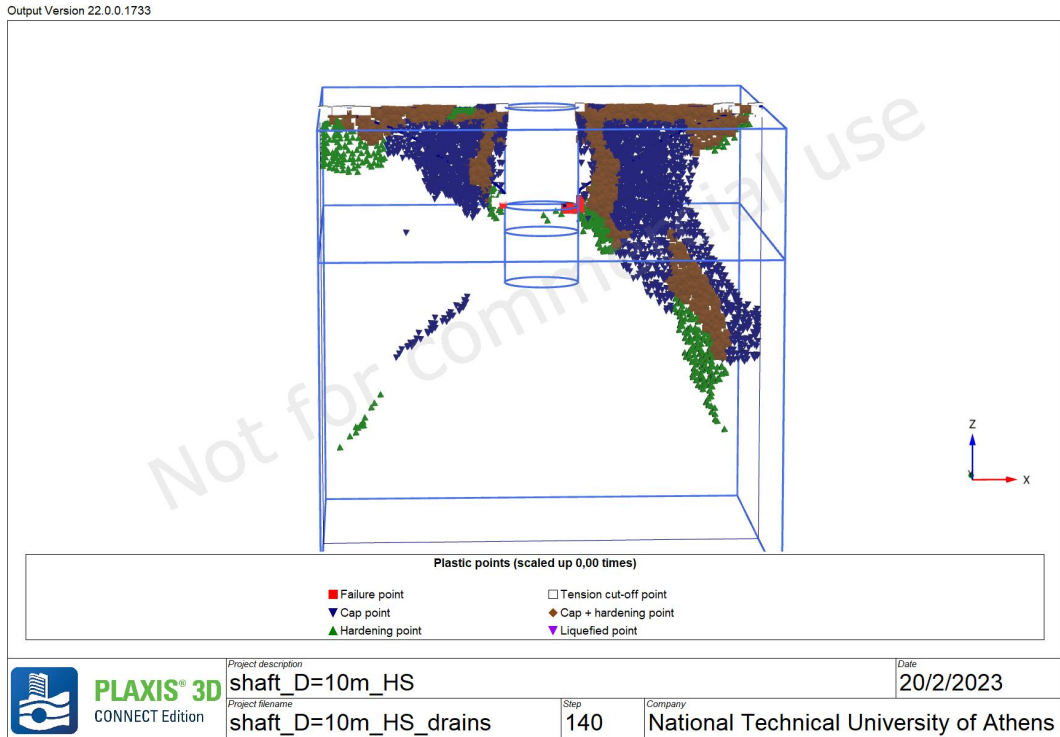
8.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ - PLAXIS 3D\_1η Ανάλυση\_Line Drains



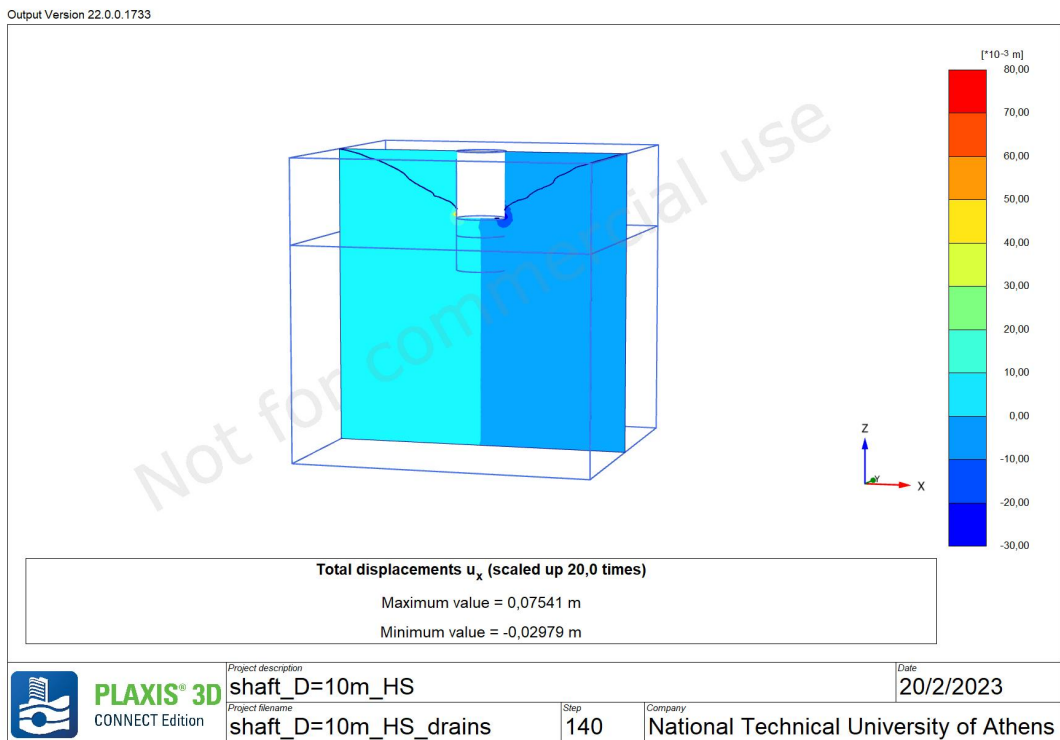
Εικόνα 130 - Plaxis 3D\_1η Ανάλυση\_Line Drains - Οι ενεργές πιέσεις πόρων στην φάση αστοχίας.



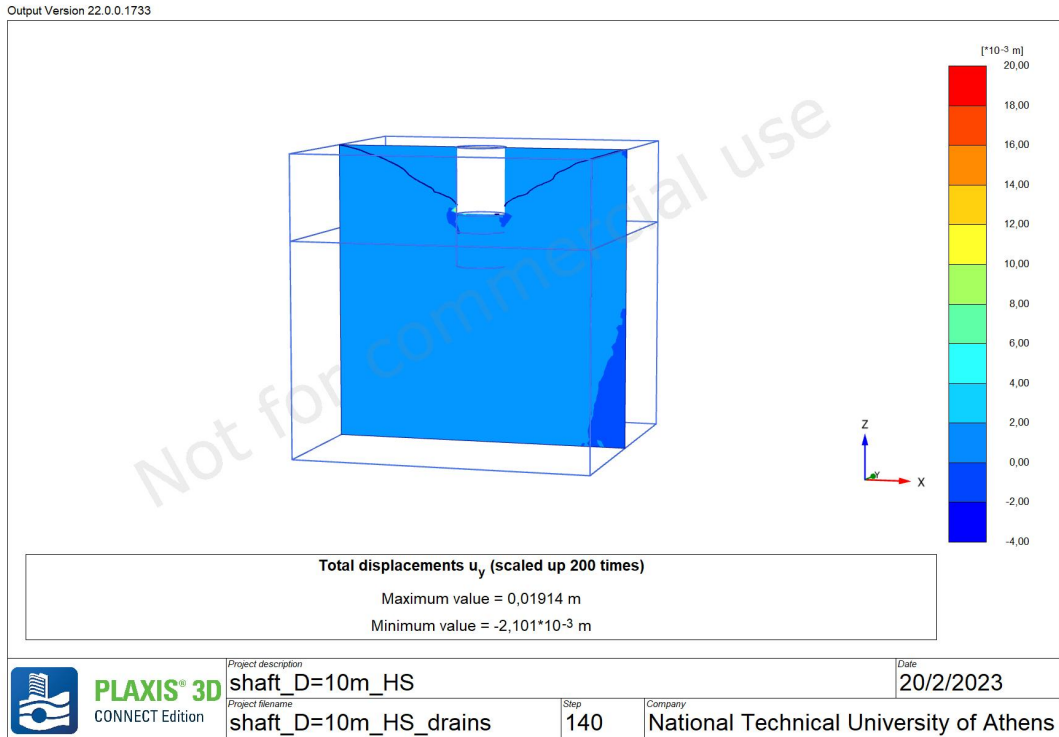
Εικόνα 131 - Plaxis 3D\_1η Ανάλυση\_Line Drains - Οι υπερβολικές πιέσεις πόρων στην φάση αστοχίας.



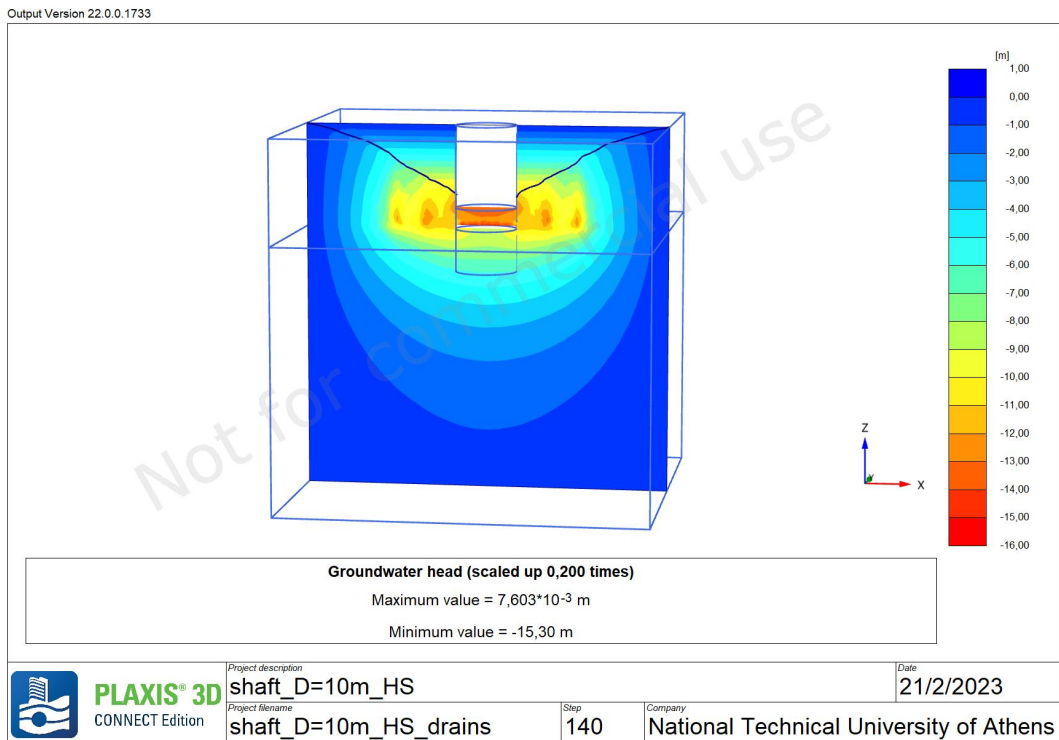
Εικόνα 132 - Plaxis 3D\_1η Ανάλυση\_Line Drains - Τα “plastic points” περιμετρικά του φρέατος στην φάση αστοχίας .



Εικόνα 133 - Plaxis 3D\_1η Ανάλυση\_Line Drains - Η μέγιστη οριζόντια μετακίνηση στην φάση αστοχίας.



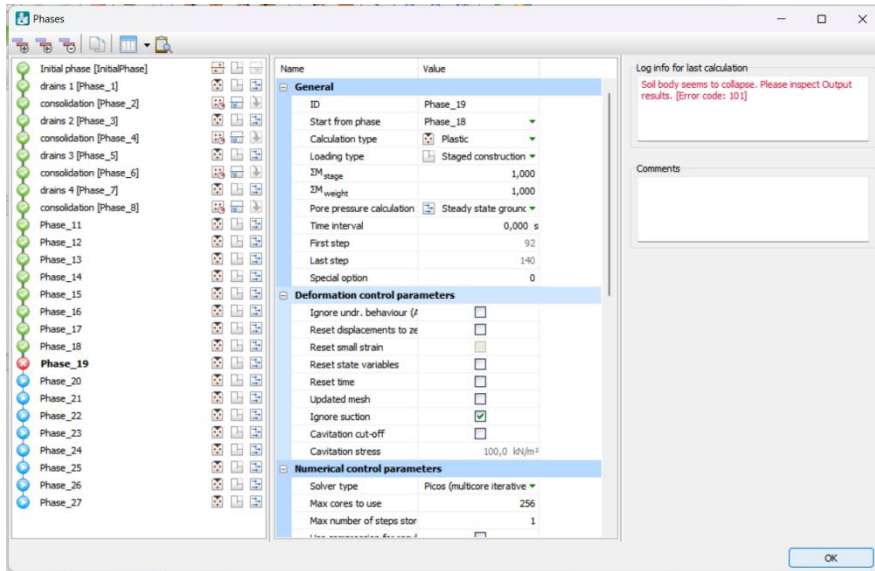
Εικόνα 134 - Plaxis 3D\_1η Ανάλυση\_Line Drains- Η μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση στην φάση αστοχίας.



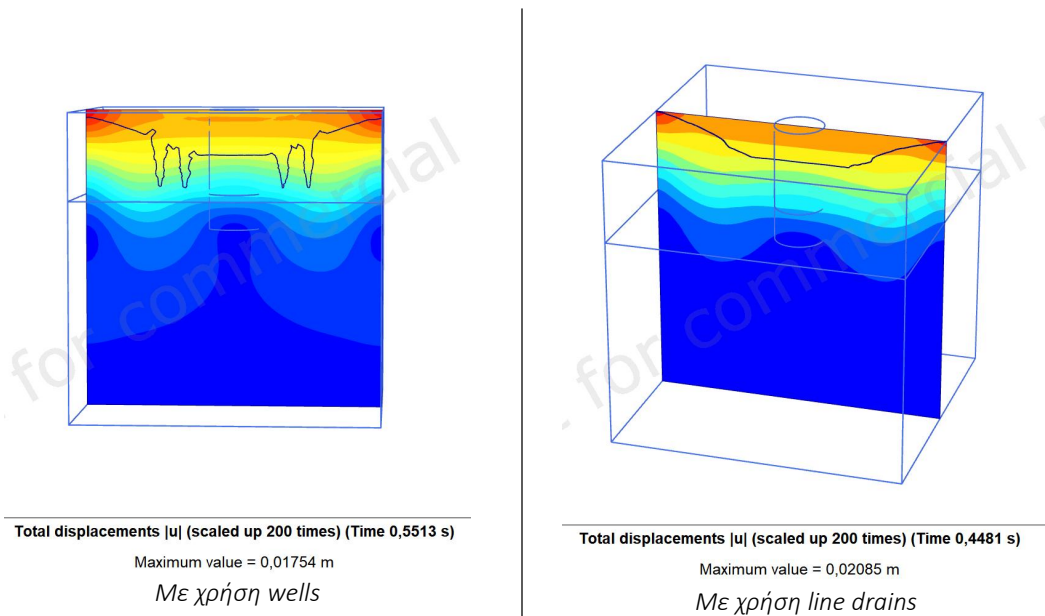
Εικόνα 135 - Plaxis 3D\_1η Ανάλυση\_Line Drains - Η στάθμη υδροφόρου ορίζοντα στην φάση αστοχίας.

### 8.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ LINE DRAINS ΜΕ WELLS

Η χρήση στραγγιστηρίων για τον έλεγχο υπόγειων υδάτων οδήγησε σε εδαφική αστοχία της εκσκαφής στην 19<sup>η</sup> Φάση όπως φαίνεται στην Εικόνα 137. Ως ένδειξη σφάλματος στο Plaxis 3D φαίνεται ότι το έδαφος καταρρέει. Από την Εικόνα 133 φαίνεται ότι η αστοχία του εδάφους γίνεται τοπικά.



Εικόνα 136 - Εκτελούμενες φάσεις και φάση αστοχίας με χρήση στραγγιστηρίων.



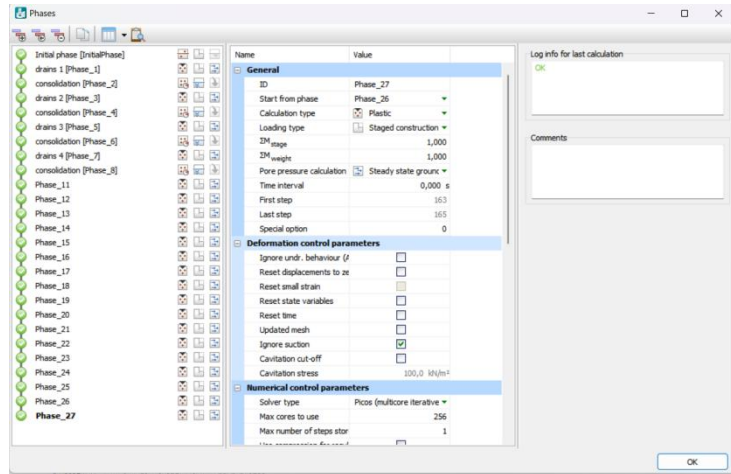
Εικόνα 137 - Σύγκριση μορφής υδροφόρου ορίζοντα με χρήση wells και με χρήση line drains στην τελική φάση στερεοποίησης πριν την έναρξη κατασκευής του φρέατος.

Από την Εικόνα 137 συμπεραίνεται ότι ο υποβιβασμός της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα πραγματοποιείται ομοιόμορφα με την χρήση στραγγιστηρίων. Επίσης, τα αποτελέσματα των ολικών

μετακινήσεων του εδάφους πριν την έναρξης της εκσκαφής και κατασκευής του φρέατος δεν παρουσιάζουν διαφορές τόσο με την χρήση wells όσο και με την χρήση line drains.

### 8.6. PLAXIS 3D\_PLAXIS 3D\_2η Ανάλυση\_Line Drains

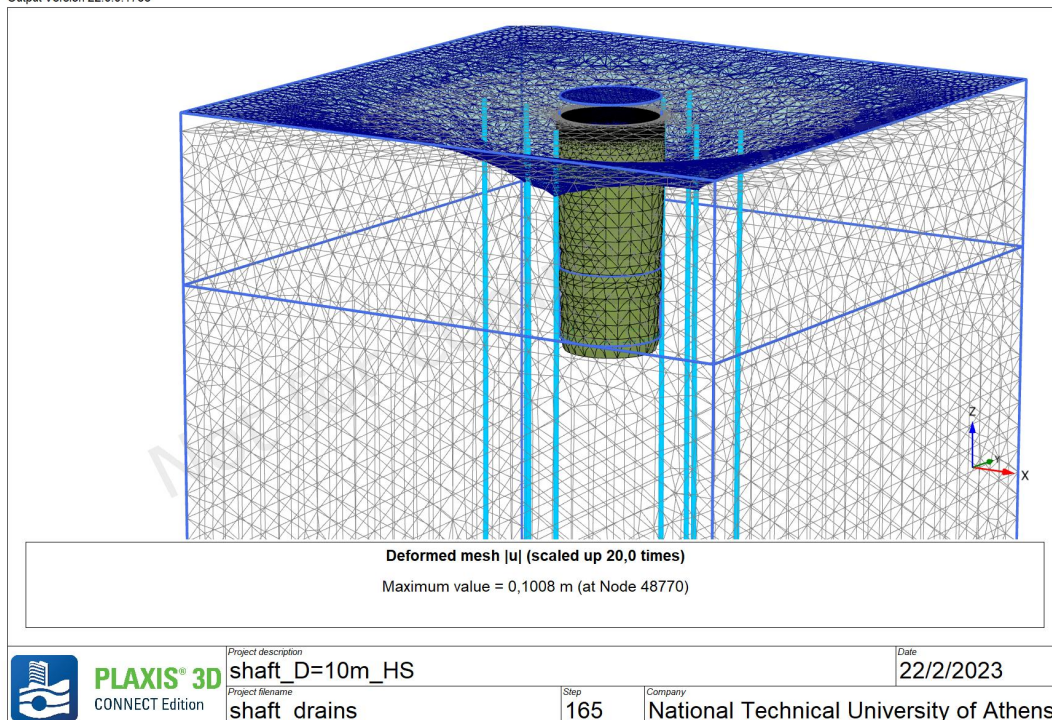
Πρόκειται για ανάλυση με παραμετροποίηση στην τιμή του υπόγειου νερού στα στραγγιστήρια. Χρησιμοποιήθηκε το ίδιο μοντέλο με την 1η Ανάλυση με αλλαγή στο βάθος των στραγγιστηρίων και στην τιμή της κεφαλής  $h$  που ορίσθηκε ως  $-24\text{m}$ . Όπως φαίνεται, στην Εικόνα 123 δεν παρατηρείται ασοχία μοντέλου.



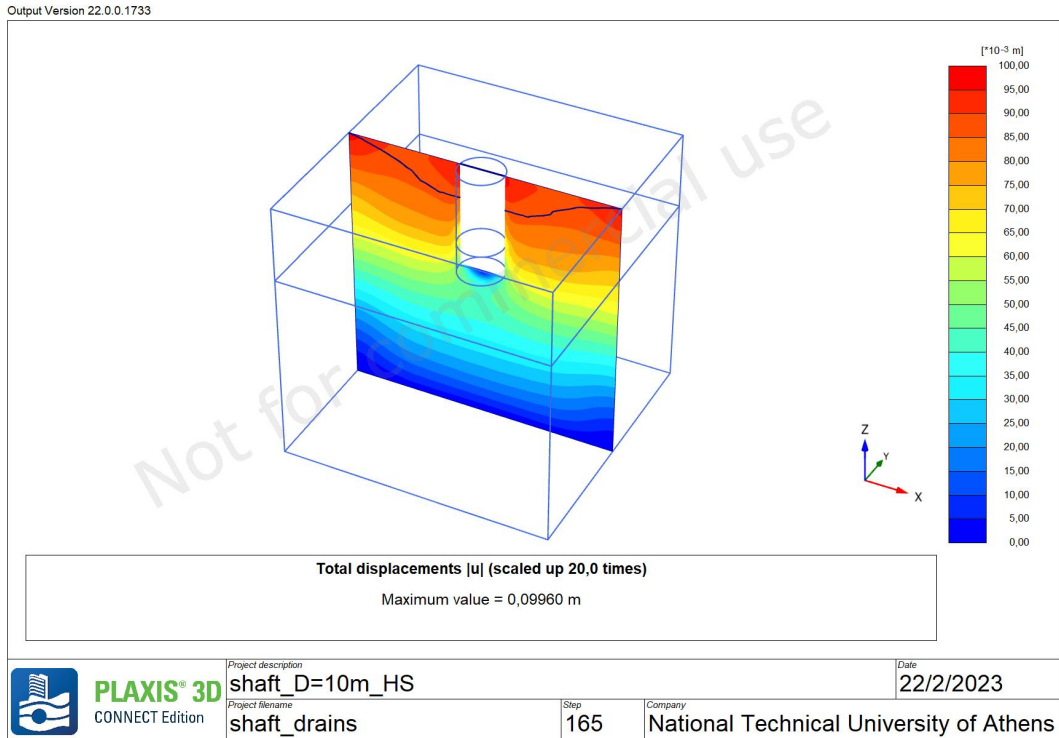
Εικόνα 138 - Ολοκλήρωση όλων των φάσεων κατασκευής φρέατος σε παρουσία νερού με χρήση στραγγιστηρίων.

### 8.7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ PLAXIS 3D\_ANALYSIS\_2η Ανάλυση\_Line Drains

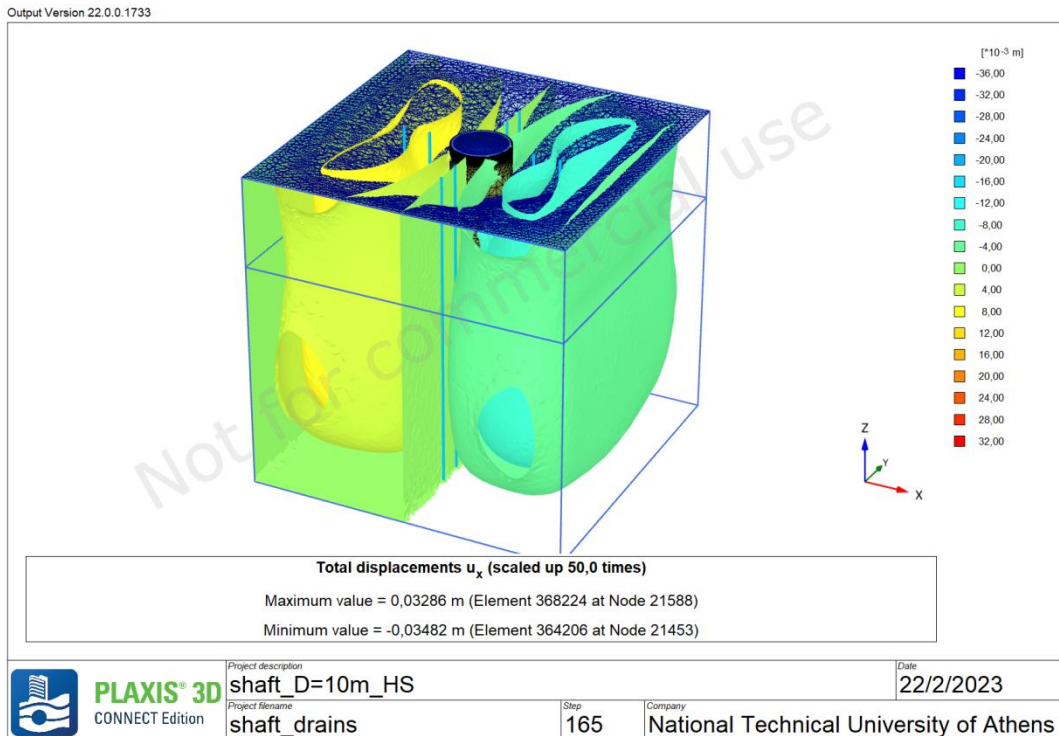
Output Version 22.0.0.1733



Εικόνα 139 - Plaxis 3D\_2η Ανάλυση\_Line Drains - Ο “παραμορφωμένος” κάρναβος στην τελευταία φάση(27η Φάση).

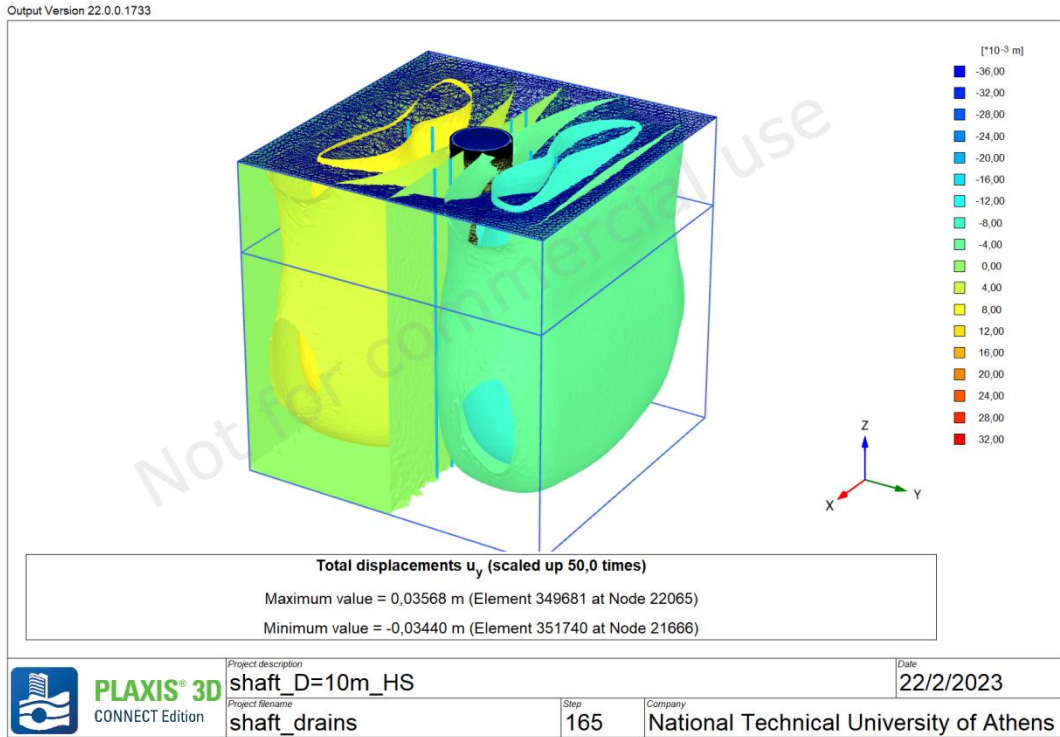


Εικόνα 140 - Plaxis 3D\_2η Ανάλυση\_Line Drains - Οι ολικές μετακινήσεις στην τελευταία φάση (27η Φάση) . .

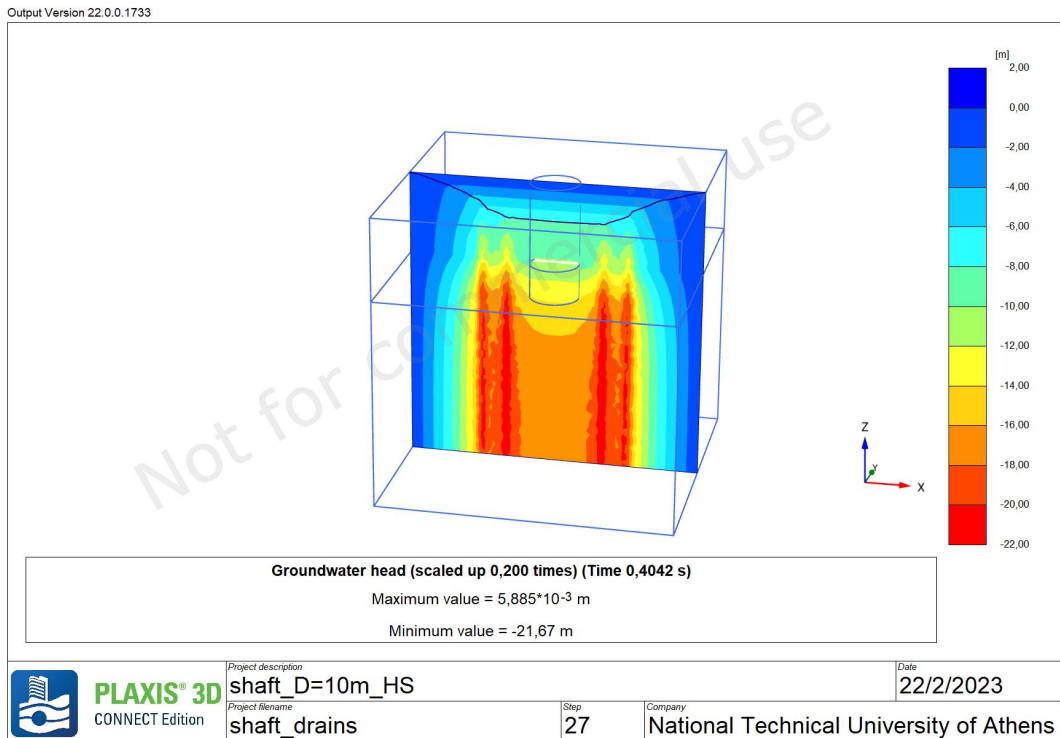


Εικόνα 141 - Plaxis 3D\_2η Ανάλυση\_Line Drains - Οι οριζόντιες μετακινήσεις στην τελευταία φάση (27η Φάση).

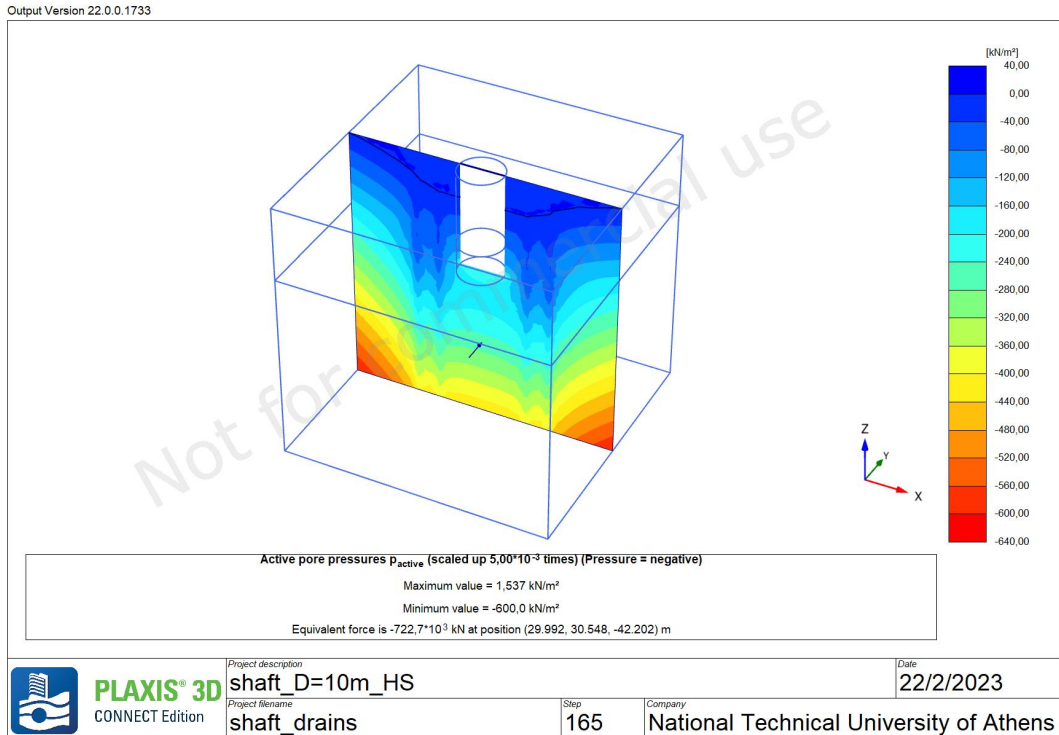




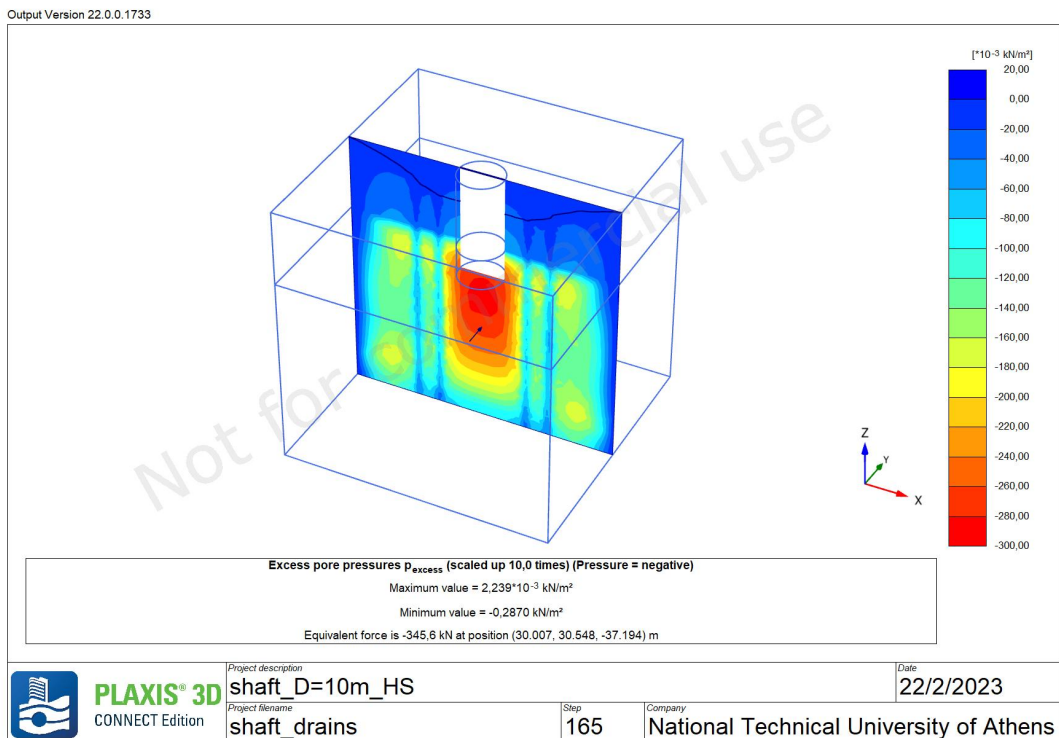
Εικόνα 142 - Plaxis 3D\_2η Ανάλυση\_Line Drains - Οι κατακόρυφες μετακινήσεις στην τελευταία φάση (27η Φάση).



Εικόνα 143 - Plaxis 3D\_2η Ανάλυση\_Line Drains - Ο υδροφόρος ορίζοντας μετά τον υποβιβασμό πριν την εκσκαφή.

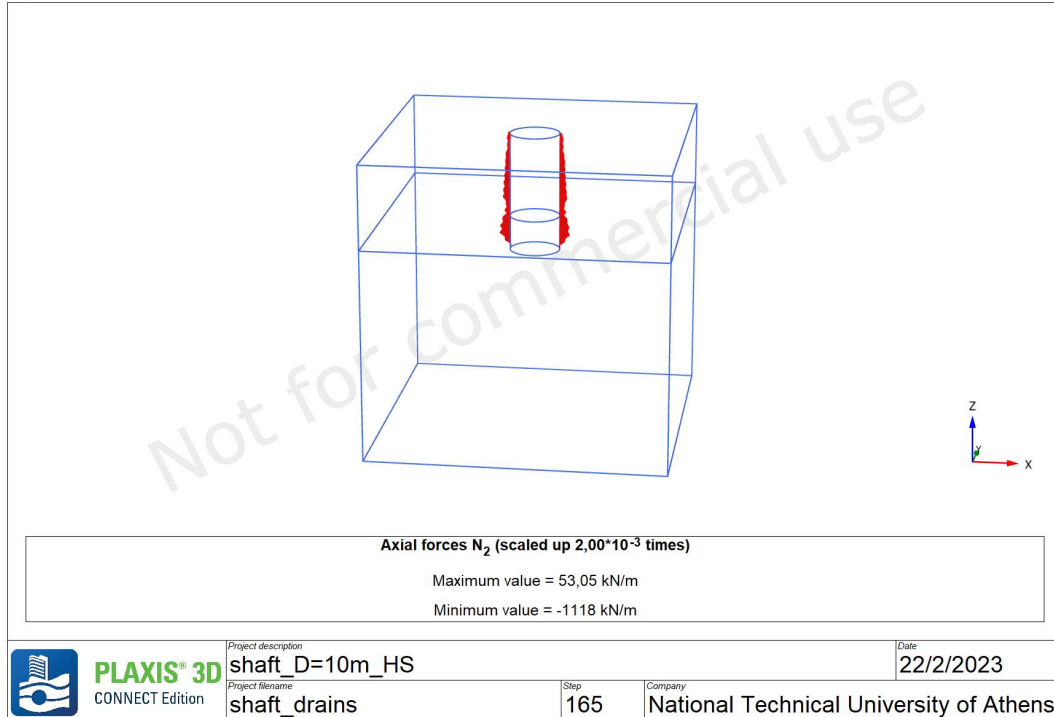


Εικόνα 144 - Plaxis 3D\_2η Ανάλυση\_Line Drains - Οι ενεργές πιέσεις πόρων στην τελευταία φάση (27η Φάση).



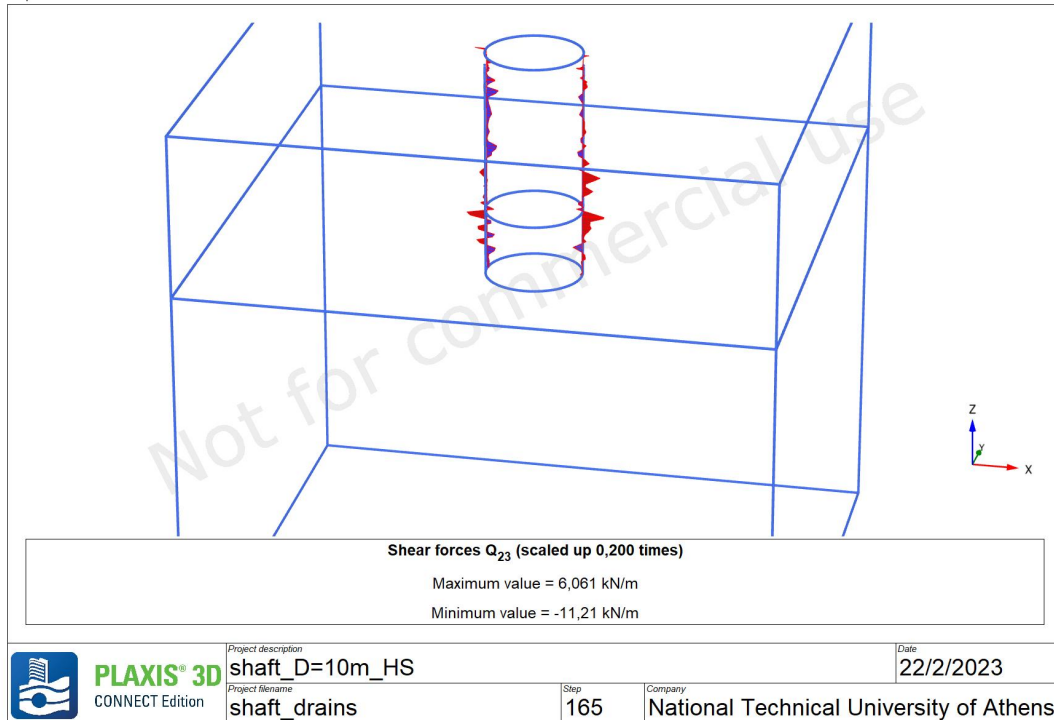
Εικόνα 145 - Plaxis 3D\_2η Ανάλυση\_Line Drains - Οι υπερβολικές πιέσεις πόρων στην τελευταία φάση(27η Φάση).

Output Version 22.0.0.1733

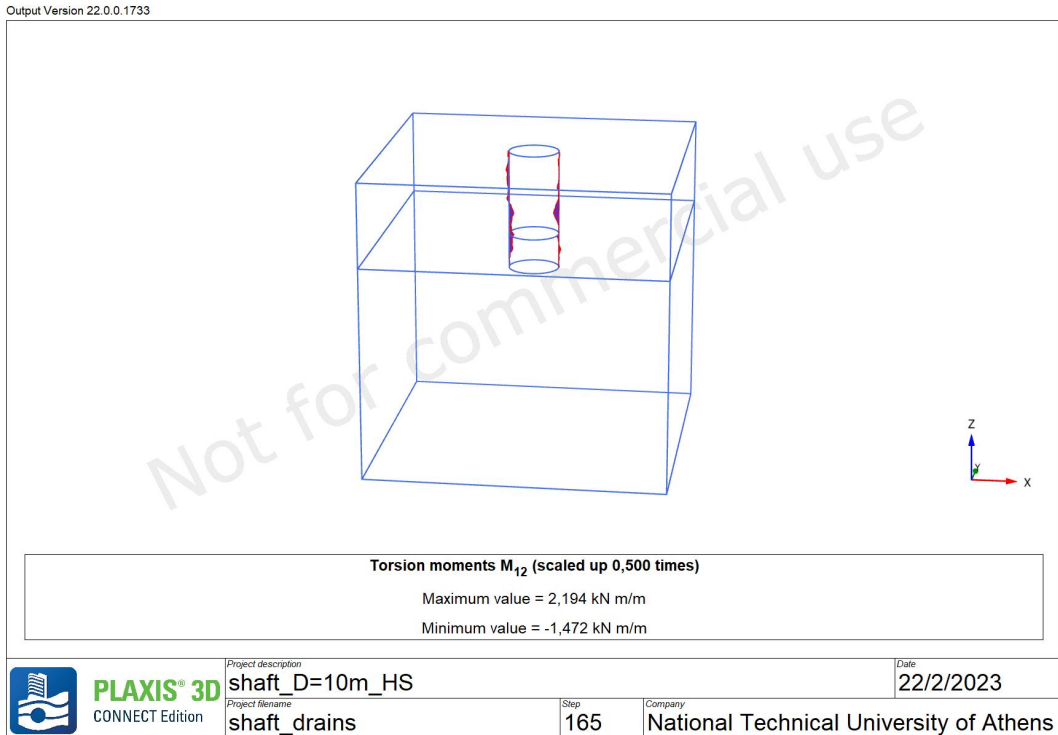


Εικόνα 146 - Plaxis 3D\_2η Ανάλυση\_Line Drains - Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων του φορέα στην τελευταία φάση (27η Φάση).

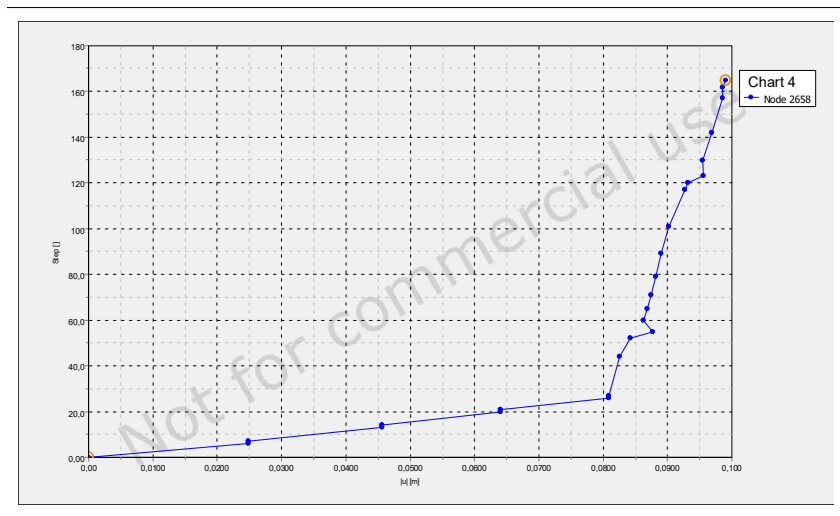
Output Version 22.0.0.1733



Εικόνα 147 - Plaxis 3D\_2η Ανάλυση\_Line Drains- Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων του φορέα κατά την τελευταία φάση.



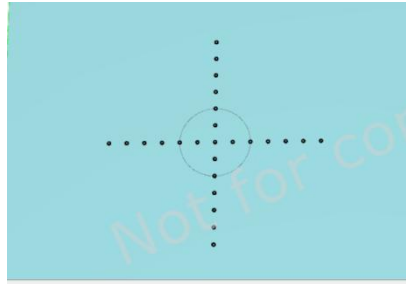
Εικόνα 148 - Plaxis 3D\_2η Ανάλυση\_Line Drains\_ Διάγραμμα καμπτικών ροπών του φορέα στην τελευταία φάση.



**Διάγραμμα 19** - Η καμπύλη ολικών μετακινήσεων σε ένα σημείο στην επιφάνεια του εδάφους (35,30,0).

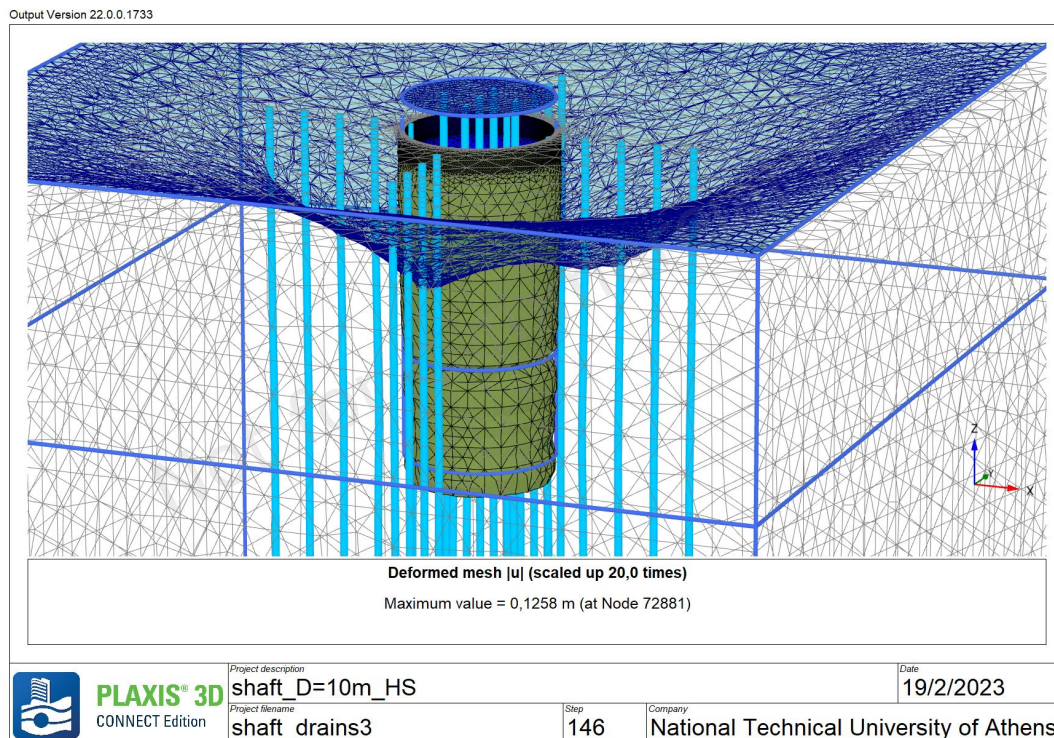
### 8.8 PLAXIS 3D\_ANALYSIS\_3η Ανάλυση\_Line Drains

Τέλος, πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση του φρέατος με παρουσία νερού και πραγματοποιήθηκε υποβιβασμός του υδροφόρου ορίζοντα με χρήση περισσότερων στραγγιστηρίων (line drains) και τοποθέτηση αυτών και στο εσωτερικό του φρέατος. Πιο αναλυτικά, τοποθετήθηκαν 24 κατακόρυφα στραγγιστήρια (line drains) με βήμα 2,5 μέτρα μεταξύ τους (Εικόνα 150).

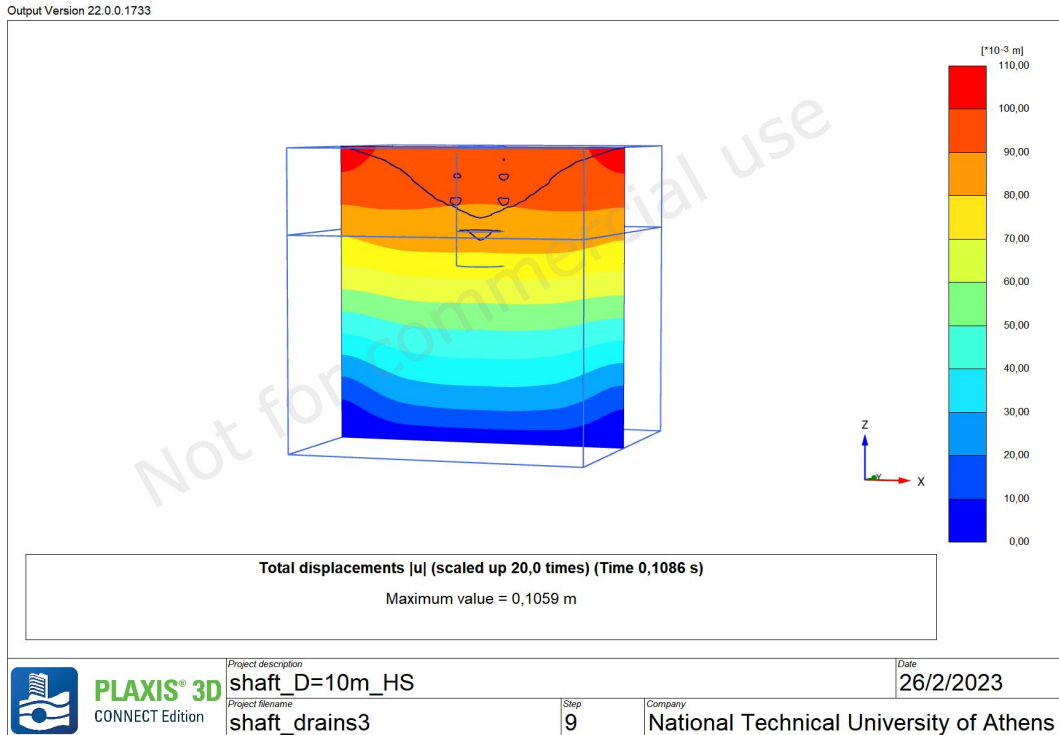


Εικόνα 149 - Διάταξη στραγγιστηρίων και στο εσωτερικό του φρέατος.

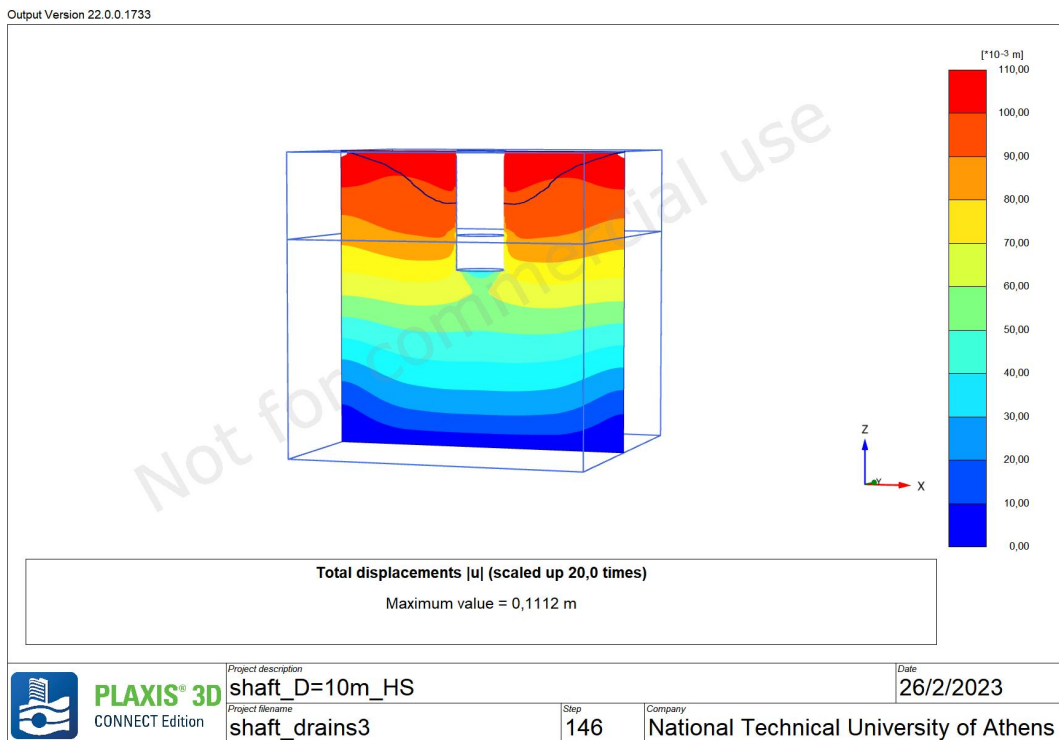
## 8.8 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - PLAXIS 3D\_ANALYSIS\_3η Ανάλυση\_Line Drains



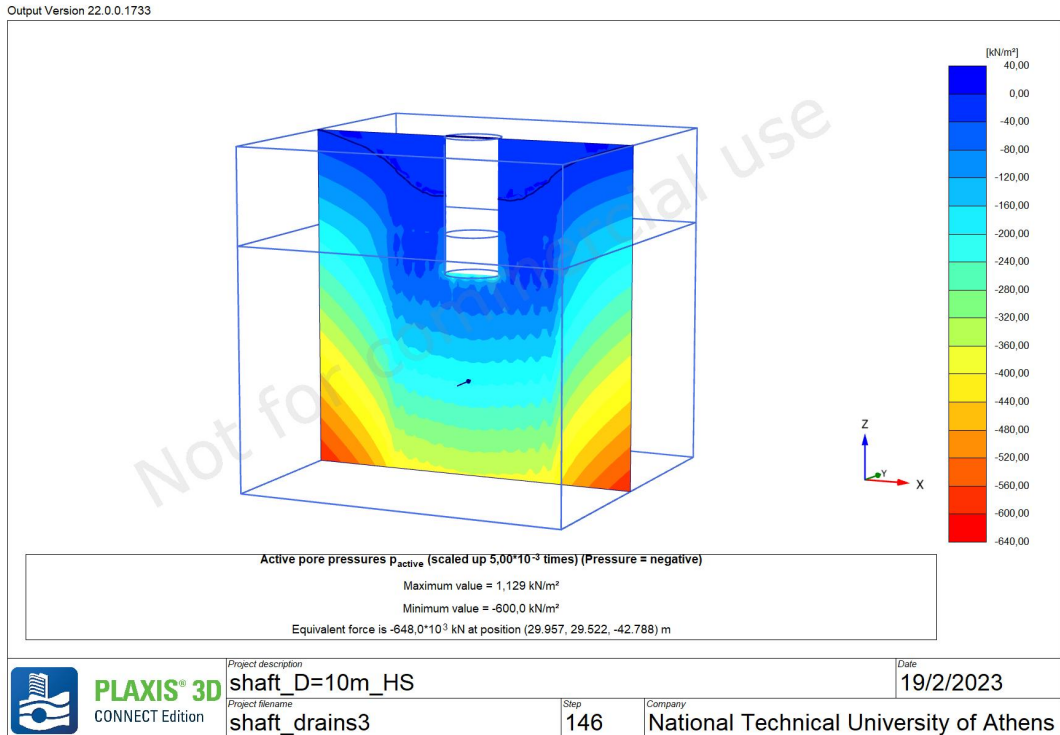
Εικόνα 150 - Plaxis 3D\_3η Ανάλυση\_Line Drains - Ο “παραμορφωμένος” κώνναβος στην τελευταία φάση.



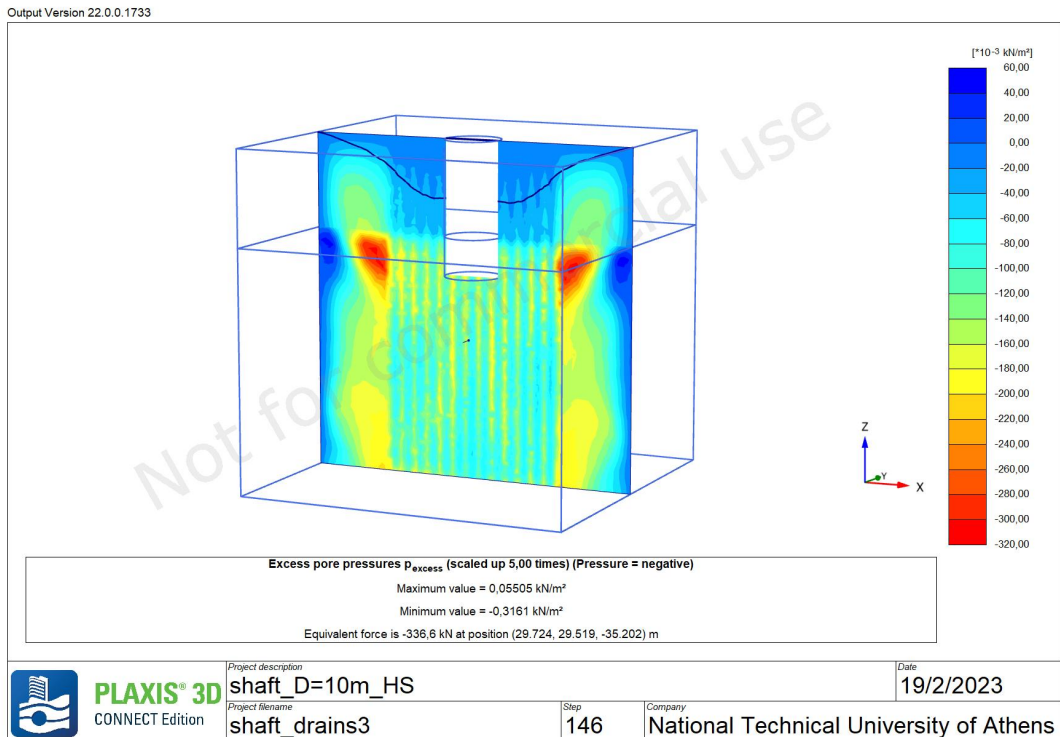
Εικόνα 151 - Plaxis 3D\_3η Ανάλυση\_Line Drains - Οι ολικές μετακινήσεις στην φάση στερεοποίησης πριν την έναρξη της εκσκαφής.



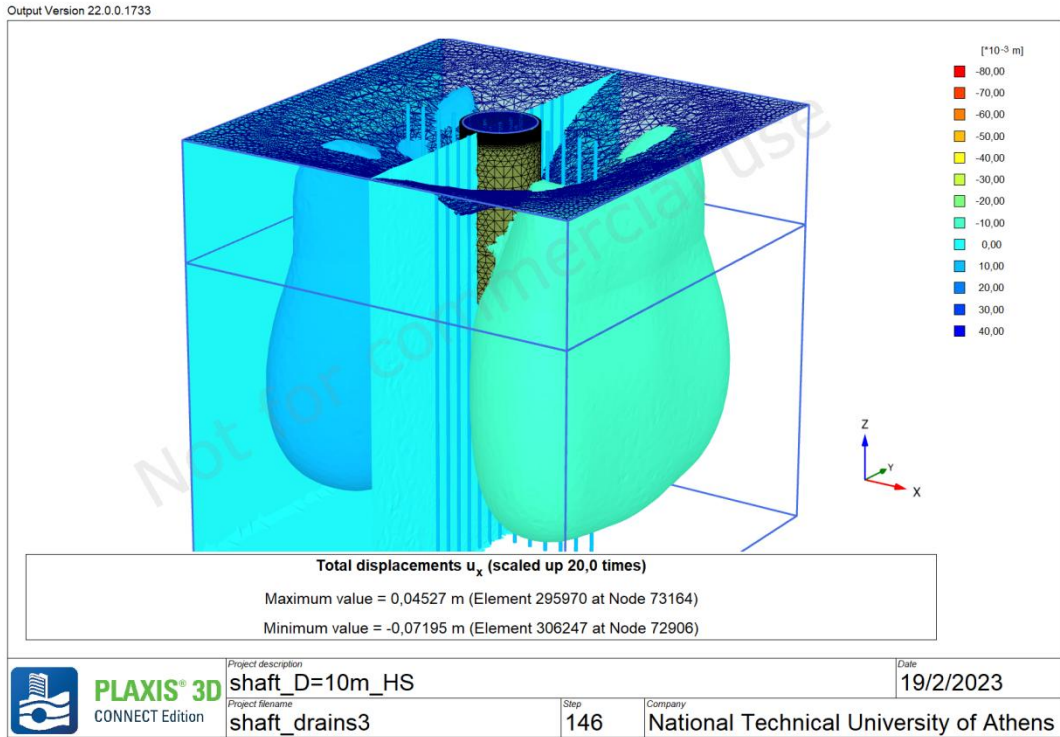
Εικόνα 152 - Plaxis 3D\_3η Ανάλυση\_Line Drains - Οι ολικές μετακινήσεις στην φάση στερεοποίησης πριν την έναρξη της εκσκαφής.



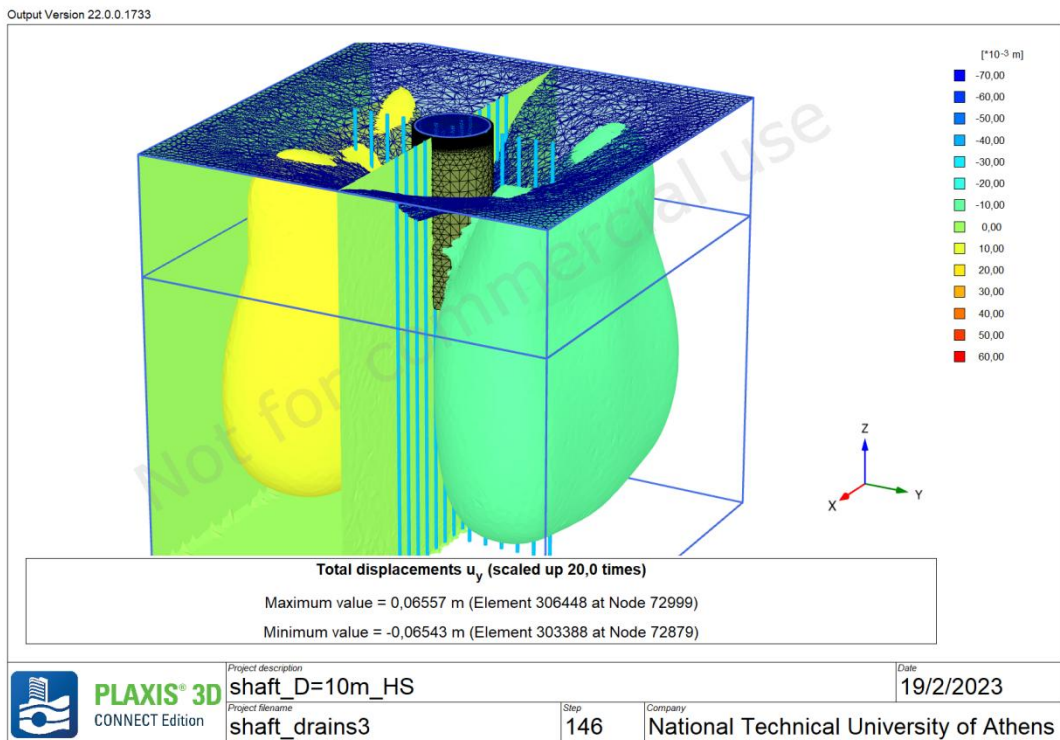
Εικόνα 153 - Plaxis 3D\_3η Ανάλυση\_Line Drains - Οι ενεργές πιέσεις πόρων στην τελευταία φάση.



Εικόνα 154 - Plaxis 3D\_3η Ανάλυση\_Line Drains - Οι υπερβολικές πιέσεις πόρων στην τελευταία φάση.

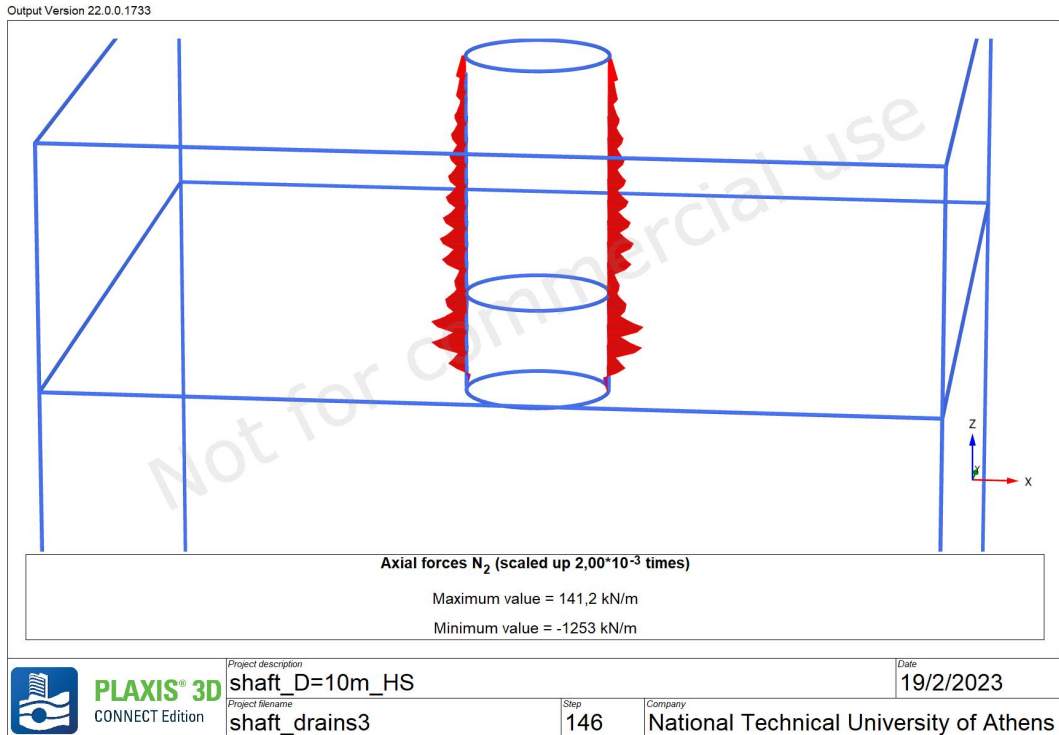


Εικόνα 155 - Plaxis 3D\_3η Ανάλυση\_Line Drains - Η μέγιστη οριζόντια μετακίνηση στην τελευταία φάση.

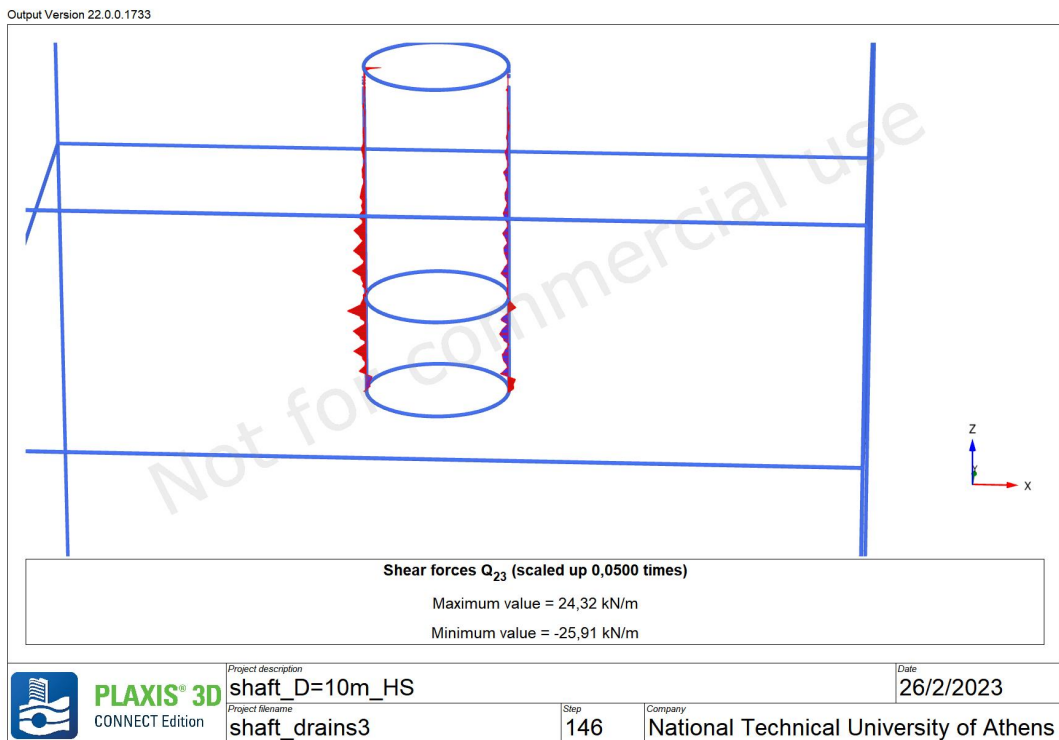


Εικόνα 156 - Plaxis 3D\_3η Ανάλυση\_Line Drains - Η μέγιστη οριζόντια μετακίνηση στην τελευταία φάση.

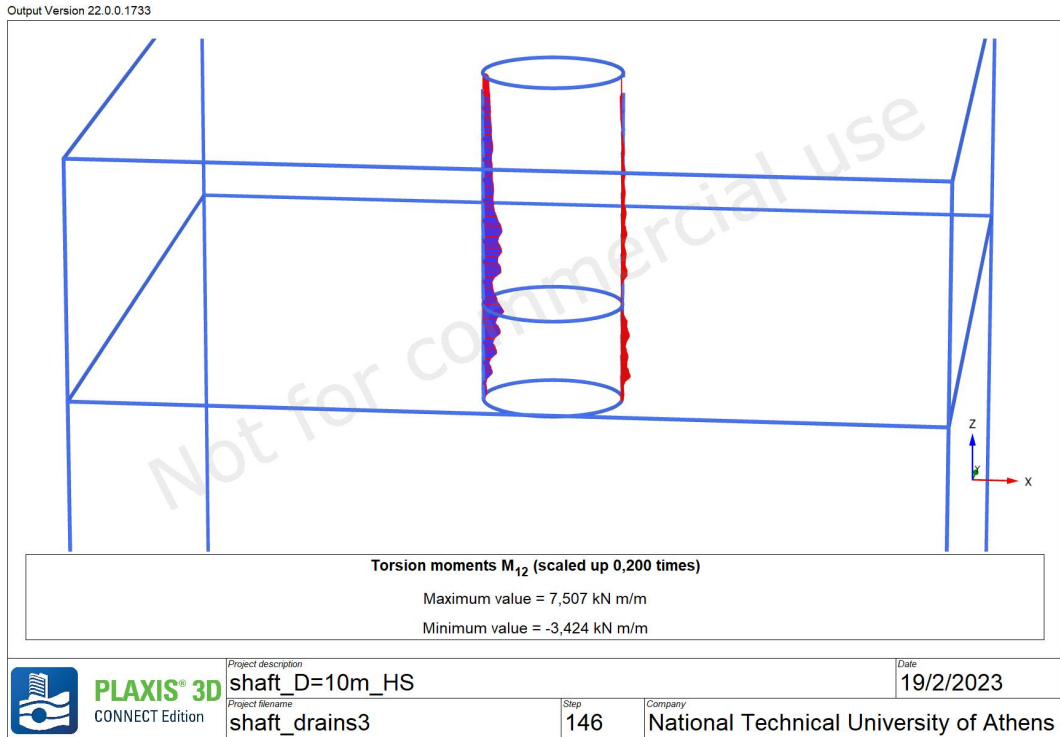




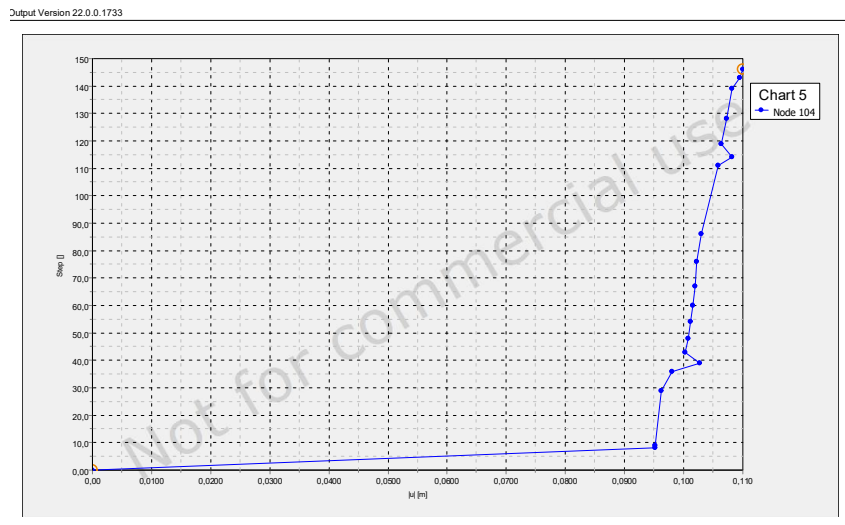
Εικόνα 157 - Plaxis 3D\_3η Ανάλυση\_Line Drains- Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων του φορέα στην τελευταία φάση.



Εικόνα 158 - Plaxis 3D\_3η Ανάλυση\_Line Drains- Διάγραμμα διατμητικών δυνάμεων του φορέα στην τελευταία φάση.



Εικόνα 159 - Plaxis 3D\_3η Ανάλυση\_Line Drains - Διάγραμμα καμπτικών ροπών του φορέα στην τελευταία φάση .



Διάγραμμα 20 - Η καμπύλη ολικών μετακινήσεων σε ένα σημείο στην επιφάνεια του εδάφους (35,30,0).

8.9. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - PLAXIS 3D\_2η Ανάλυση\_Line Drains ME PLAXIS 3D\_3η Ανάλυση\_Line Drains

	Ανάλυση 2η (8 line drains)	Ανάλυση 3η (24 line drains)
Total displacements $Iu_{I_{max}}$ (m)	0,09960	0,1112
Total displacements $Ux_{max}$ (m)	0,03286	0,04527
Total displacements $Iu_{I_{max}}$ (m)	0,03568	0,06557
Max Active pore pressures $p_{active}$ (kN/m <sup>2</sup> )	1,537	1,129
Max Excess pore pressures $p_{excess}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$2,239 \cdot 10^{-3}$	0,05505
min Groundwater head (m)	-21,67	
maxAxial Forces $N_2$ (kN/m)	53,05	141,2
minAxial Forces $N_2$ (kN/m)	-1118	-1253
max Shear Forces $Q_{23}$ (kN/m)	6,061	24,32
min Shear Forces $Q_{23}$ (kN/m)	-11,21	-25,91
max Torsion moments $M12$ (kN/m)	2,194	7,507
min Shear Forces $Q_{23}$ (kN/m)	-1,472	-3,424

Πίνακας 12 - Σύγκριση αποτελεσμάτων για στραγγιστήρια με διαφορετικό κάρναβο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΘΕΜΑΤΑ ΓΙΑ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

Πραγματοποιείται μελέτη με τη βοήθεια του λογισμικού PLAXIS για την προσομοίωση της κατασκευής ενός φρέατος αερισμού βάθους 24 μέτρων μέσω προκατασκευασμένων στοιχείων από σκυρόδεμα. Οι αναλύσεις πραγματοποιούνται τόσο σε ξηρές συνθήκες όσο και με παρουσία νερού στο έδαφος. Πραγματοποιούνται δισδιάστατες αναλύσεις για δύο διαφορετικές διαμέτρους 10 και 16m. Επιπλέον, πραγματοποιούνται τρισδιάστατες αναλύσεις για την προσομοίωση του νερού στο έδαφος και γίνεται προσπάθεια υποβιβασμού του υδροφόρου ορίζοντα τόσο με χρήση πηγαδιών όσο και με την χρήση κατακόρυφων στραγγιστηρίων. Τα αποτελέσματα υποδηλώνουν τη σταθερότητα ή την αστάθεια της κατασκευής. Με βάση αυτή τη εργασία, εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα.

#### 9.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- I. Συμπεραίνεται ότι η κατασκευή ενός κυκλικού φρέατος χωρίς την παρουσία νερού είναι δομικά σταθερή. Τα κυριότερα προβλήματα που παρατηρούνται είναι η ανύψωση του πυθμένα και η εμφάνιση οριζόντιων μετατοπίσεων στις κατακόρυφες παρειές της εκσκαφής λόγω αποφόρτισης. Επιπλέον, παρουσιάζεται “ανάπτυξη” πλαστικών παραμορφώσεων στην περιφέρεια του πυθμένα της κατασκευής.
- II. Διαπιστώθηκε ότι το κριτήριο αστοχίας “Mohr Coulomb” οδηγεί σε δυσμενέστερα αποτελέσματα σε σχέση με το κριτήριο Hardening Soil.
- III. Η διάμετρος του φρέατος αποτελεί σημαντική παράμετρο, με την αύξηση της διαμέτρου από 10 σε 16 μέτρα σημειώθηκε σημαντική αύξηση των μετακινήσεων του εδάφους.
- IV. Όταν εφαρμόζεται η μέθοδος “Deformation Analysis” παρατηρούνται σημαντικότερες καθιζήσεις στην επιφάνεια του εδάφους ενώ με την μέθοδο “Stress analysis” είναι περιορισμένες.
- V. Η παρουσία νερού οδηγεί σε αστοχία του πυθμένα λόγω ροής πριν την ολοκλήρωση της κατασκευής (Φάση 17). Συγκεκριμένα, στην 6η Φάση, δηλαδή περίπου στα 7,5 μέτρα εκσκαφής το έδαφος καταρρέει. Τα νερά που εισέρχονται, εκτός από το ότι εμποδίζουν την διαδικασία κατασκευής στο εσωτερικό της εκσκαφής, χαλαρώνουν το έδαφος, με αποτέλεσμα την κατάρρευση των πλευρών της εκσκαφής και την χαλάρωση του πυθμένα του φρέατος. Τα σημεία εδαφικής αστοχίας εμφανίζονται κυρίως στον πυθμένα της κατασκευής.
- VI. Ο υποβιβασμός της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα επιτυγχάνεται με την χρήση κατακόρυφων στραγγιστηρίων ομοιόμορφα με αποτέλεσμα την ολοκλήρωση με επιτυχία της κατασκευής του φρέατος με παρουσία νερού χωρίς κατάρρευση του εδάφους.
- VII. Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν μικρές αποκλίσεις τόσο με την χρήση 8 κατακόρυφων στραγγιστηρίων περιμετρικά του φρέατος όσο και με την πύκνωση του καννάβου σε 24 στραγγιστήρια με βήμα 2,5μέτρα περιμετρικά και στο εσωτερικό του φρέατος αερισμού.

- VIII. Ο υποβιβασμός υδροφόρου ορίζοντα με χρήση συστήματος πηγαδιών οδηγεί σε αστοχία του εδάφους στην 17η Φάση , δηλαδή περίπου στα 17,5 μέτρα ανεξαρτήτως ρυθμού άντλησης πηγαδιών και διάταξης αυτού.
- IX. Οι διαφορετικοί ρυθμοί άντλησης των πηγαδιών δεν αλλάζουν την μορφή του υδροφόρου ορίζοντα ιδιαίτερα, παρουσιάζουν μια μικρή αλλαγή στις μετακινήσεις διότι μειώνονται οι ενεργές πιέσεις πόρων και έτσι οι κόκκοι πλησιάζουν μεταξύ τους.
- X. Η αλλαγή της διάταξης των πηγαδιών σε ορθογώνιο κάναβο και η πύκνωση με περισσότερα πηγάδια (16 πηγάδια) δεν παρουσιάζει αλλαγή στην στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα σε σχέση με την διάταξη των πηγαδιών σε σταυροειδή κάναβο (8 πηγάδια).

## 9.2 ΘΕΜΑΤΑ ΓΙΑ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

Θέματα για περαιτέρω έρευνα αποτελούν ο υποβιβασμός του υδροφόρου ορίζοντα για άλλα εδάφη όπως άργιλο. Ακόμα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα αποτελούσε η προσομοίωση του φρέατος με παρουσία νερού με μεγαλύτερη διάμετρο και η μέθοδος υποβιβασμού του νερού. Τέλος, θέμα για περισσότερη έρευνα αποτελεί η μέθοδος αντιστήριξης , θα μπορούσε να εξεταστεί η κατασκευή φρέατος σε συνθήκες νερού με διαφορετική μέθοδο αντιστήριξης όπως μεταλλικές πασσαλοσανίδες και η επίδραση του νερού στην κατασκευή.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

### ΠΗΓΕΣ

Brinkgreve, R.B.J., Engin, E., Swolfs, W.M.2014. **Plaxis 2014 (Tutorial, Reference, Material Models and Scientific Manual), Delft**

Brinkgreve, R.B.J., Engin, E., Swolfs, W.M.2013. **Plaxis 3D (Tutorial, Reference, Material Models and Scientific Manual), Delft**

Κουμούσης, Β., 1998, **Ανάλυση Φορέων με Πεπερασμένα Στοιχεία – Σημειώσεις Μέρος Α΄**, Ε.Μ.Π.

Ραπαδοπούλος, D., 2014. **Analysis of circular ventilation shaft with 2D and 3D finite element models (FEM). NTUA**

Μουστάκιο, Ε., 2019, **Simulation of a cylindrical shaft with F.E.M.NTUA**

Καββαδας Μ. (2005). **Στοιχεία εδαφομηχανικής, Μόνιμη Υδατική Ροή διαμέσου του εδάφους. (www.civilntua.gr~kanvadas)**