



**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ**

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ»**

**Συμμετέχουσες Σχολές:
Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών ΕΜΠ
Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ
Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών – Μηχανικών
Γεωπληροφορικής ΕΜΠ**

**ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΗΣ
ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΟ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΚΑΝΤΑΣ ΟΔΥΣΣΕΑΣ
ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΗΣ 2022**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Ν. ΓΕΡΟΥΜΟΣ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΟ»

Συντάκτης: Κάντας Οδυσσέας

Επιβλέπων: Γερόλυμος Νικόλαος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

.....
ΓΕΡΟΛΥΜΟΣ
ΝΙΚΟΛΑΟΣ
ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

.....
ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ
ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ
ΟΜΟΤ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

.....
ΝΟΜΙΚΟΣ
ΠΑΥΛΟΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ 2022



Στον υιό μου
&
Στη μνήμη της θείας μου,
Κάντα Θεοδώρας



Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, αισθάνομαι την επιθυμία να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Γερόλυμο Νικόλαο. Η διαρκής κατάρτιση είναι κάτι το οποίο μου δόθηκε απλόχερα από εκείνον, αναθέτοντάς μου αρχικά την εν λόγω εργασία. Το θέμα που επιλέχθηκε αφορά άμεσα τον κλάδο στον οποίο εργάζομαι και η εμπάθунση με βοήθησε να καταρτιστώ σε μεγάλο βαθμό με γνώσεις που η εξειδίκευσή τους αποτελούν ευλογία για όποιον τις αποκτήσει.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω σε όλους τους καθηγητές μου, οι οποίοι μέσα από το Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων» συνέβαλαν ενεργά στην αποτελεσματικότερη κατανόηση και την αφομοίωση της σύγχρονης μελετητικής προσέγγισης και της τεχνολογίας κατασκευής των υπογείων έργων.

Τεράστιο στήριγμα σε όλην αυτήν την προσπάθεια δεν θα μπορούσε να είναι άλλο από την οικογένειά μου. Τους ευχαριστώ για την αγάπη τους.



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	10
ABSTRACT.....	12
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
1.1 Μεθοδολογία	14
1.2 Λογισμικό υπολογισμών.....	22
2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	29
3. ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗ	29
3.1 Κριτήρια σχεδιασμού	29
3.1.1 Υλικά – Παραδοχές	29
3.1.2 Δράσεις	30
3.1.2.1 Μόνιμα φορτία	30
3.1.2.2 Μεταβλητές δράσεις	30
3.1.2.3 Ωθήσεις γαιών	30
3.1.2.4 Εδαφικά υλικά	32
3.1.2.5 Πάσσαλοι – εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	34
3.1.2.6 Προεντεταμένα αγκύρια	35
4. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ	42
5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	43
5.1 Αρχική προκαταρκτική επίλυση	43
5.2 Δεύτερη επίλυση	59
5.3 Τρίτη επίλυση	74
5.4 Τελική επίλυση	90
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	106
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	116



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία με τίτλο «ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΟ», γίνεται μία προσπάθεια εύρεσης του αποδοτικότερου τρόπου ενός συστήματος αντιστήριξης με την μορφή εύκαμπτου τοίχου πακτωμένης βάσης με προεντεταμένες αγκυρώσεις, σύμφωνα τους κανονισμούς του Ευρωκώδικα 7 (EN 1997).

Η εκσκαφή και προσωρινή αντιστήριξη του σταθμού θα κατασκευαστεί με την μέθοδο της «Εκσκαφής και Επανεπίχωσης» (Cut & Cover). Η αποδοτικότερη διαστασιολόγηση επαφίεται στην εξασφάλιση των απαιτούμενων συνθηκών, με γνώμονα την προτεραιότητα πάντοτε της ασφάλειας σε όλα τα στάδια της ίδιας της κατασκευής του έργου και των εργαζομένων, καθώς και των υφιστάμενων κτιρίων, όπως ορίζεται από τους κανονισμούς.

Παρουσιάζονται τέσσερις επιλύσεις, ξεκινώντας από την πρώτη διερευνητική έως ότου προκύψει η τέταρτη και τελική επίλυση. Αποτελεί την ασφαλέστερη προσέγγιση του συστήματος αντιστήριξης σε όλες τις φάσεις κατασκευής του έργου με το χαμηλότερο κόστος από άποψη απαιτούμενων πόρων. Τέλος, κρίσιμα σε ευαισθησία σημεία θα παρουσιαστούν σχετικά με το πώς συμπεριφέρονται μέσα από τις διάφορες φάσεις κατασκευής έως την ολοκλήρωση του έργου.



ABSTRACT

In this master's thesis entitled "PRELIMINARY DESIGN METHODOLOGY FOR TEMPORARY EXCAVATION SUPPORT SYSTEMS FOR METRO STATIONS", an attempt is made to find the most efficient way of a support system in the form of a flexible wall of compacted base with pre-tensioned anchors, according to the regulations of Eurocode 7 (EN 1997).

The excavation and temporary support of the station will be constructed using the "Cut & Cover" method. The most efficient dimensioning is left to ensure the required conditions, always with the priority of safety at all stages of the construction of the project itself and the workers, as well as the existing buildings, as defined by the regulations.

Four solutions are presented, starting with the first exploratory one until the fourth and final solution emerges. It is the safest approach to the support system in all construction phases of the project with the lowest cost in terms of required resources. Finally, critical points in sensitivity will be presented on how they behave through the various construction phases to the completion of the project.



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

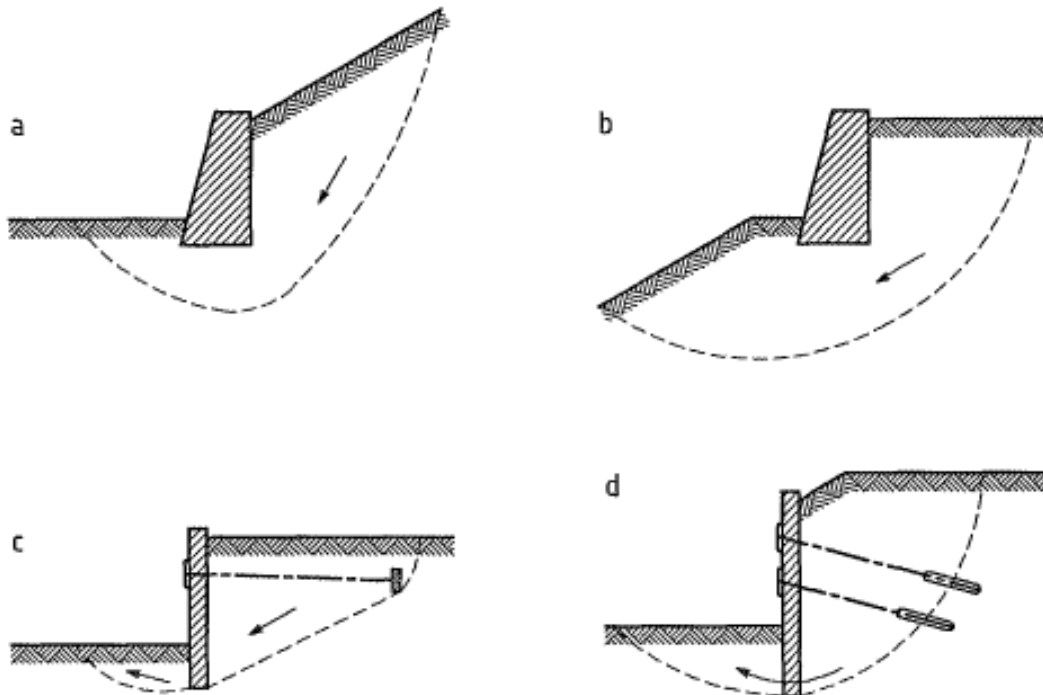
1.1 Μεθοδολογία

Στη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της εργασίας για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό συστημάτων προσωρινής αντιστήριξης της εκσκαφής σταθμών Μετρό, ελήφθησαν υπόψη οι σημειώσεις για τον Ευρωκώδικα 7 (EN 1997).

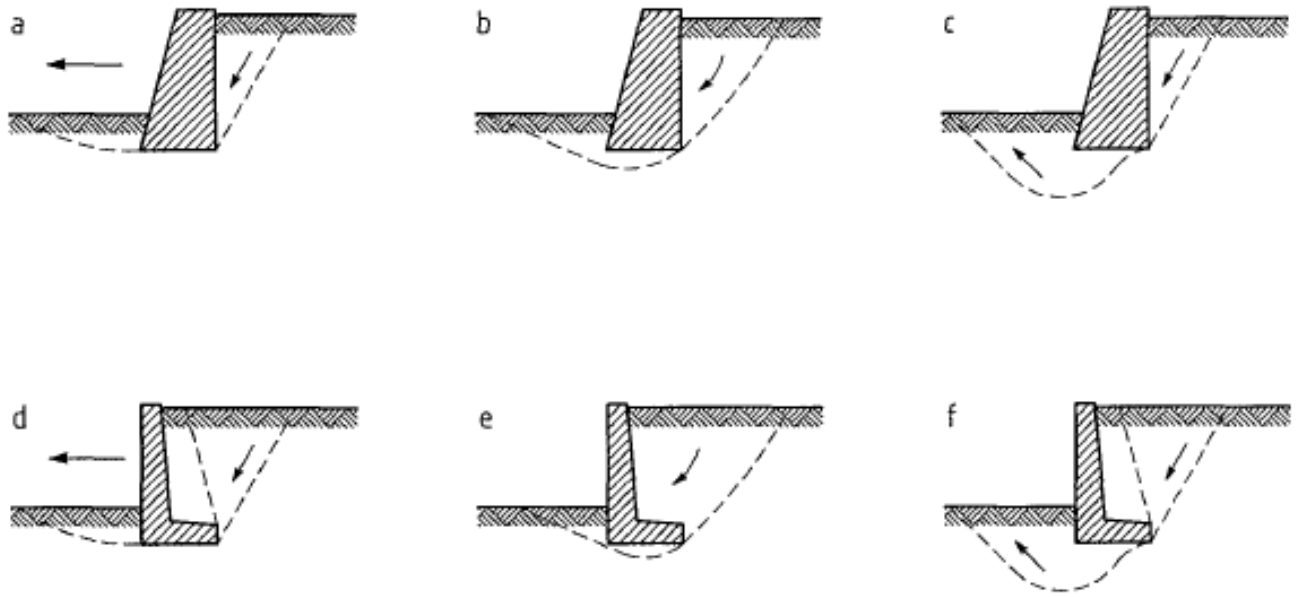
- Συγκεκριμένα στο κεφάλαιο 9 του EN 1997-1 με τίτλο: «Έργα αντιστήριξης», γίνεται εκτενής αναφορά σε όλες τις απαιτούμενες διεργασίες που πρέπει να ενσωματώνονται προκειμένου να αντιστηρίζονται επιτυχώς και με ασφάλεια όλα τα έργα σε έδαφος, βράχο, επιχώσεις και νερό. Τα έργα αντιστήριξης εμπλέκουν όλους του τύπους τοίχων και συστημάτων υποστήριξης με ή χωρίς αγκυρώσεις, αντηρίδες κλπ στα δομικά στοιχεία όπου ασκούνται δυνάμεις από το υλικό το οποίο αντιστηρίζεται. Τέτοια είναι οι τοίχοι βαρύτητας και οι εύκαμπτοι τοίχοι πακτωμένης βάσης, είτε συνδυασμός αυτών.
- Στα έργα αντιστήριξης, πρέπει να μελετώνται οι παρακάτω οριακές καταστάσεις αστοχίας:
 - Απώλεια ολικής ευστάθειας.
 - Αστοχία κάποιου δομικού στοιχείου που απαρτίζει το σύστημα αντιστήριξης.
 - Συνδυασμένη αστοχία εδάφους και δομικού στοιχείου (τοίχου, αγκυρίου, διαδοκίδας, αντηρίδας), είτε αστοχία της σύνδεσης μεταξύ αυτών.
 - Αστοχία λόγω υδραυλικής ανύψωσης και διασωλήνωσης.
 - Μετακίνηση του έργου αντιστήριξης. Εάν αυτή δύναται να προκαλέσει κατάρρευση ή να επηρεάσει την εμφάνιση ή την λειτουργικότητα του έργου, καθώς και γειτονικών έργων, υφιστάμενων κατασκευών, είτε δικτύων κοινής ωφέλειας τα οποία εξαρτώνται από αυτό.
 - Τη ΜΗ-αποδεκτή διαρροή εδάφους διαμέσου ή κάτω από τον τοίχο.
 - Τη ΜΗ-αποδεκτή μεταβολή στη δίαιτα της υπόγειας ροής.
- Όσων αφορά τους τοίχους βαρύτητας και τα σύνθετα έργα αντιστήριξης πρέπει να μελετώνται επίσης και οι οριακές καταστάσεις των επιφανειακών θεμελιώσεων που είναι:
 - Αστοχία λόγω υπέρβασης της φέρουσας αντίστασης (ικανότητας) του εδάφους κάτω από τη βάση του τοίχου.
 - Αστοχία λόγω ολίσθησης στη βάση του τοίχου.
 - Αστοχία λόγω ανατροπής του τοίχου.

- Ενώ για εύκαμπτους τοίχους πακτωμένης βάσης πρέπει να εξετάζονται και οι ακόλουθες οριακές καταστάσεις:
 - Αστοχία λόγω στροφής ή μετάθεσης του τοίχου ή τμημάτων αυτού.
 - Αστοχία λόγω έλλειψης ισορροπίας στην κατακόρυφη διεύθυνση.

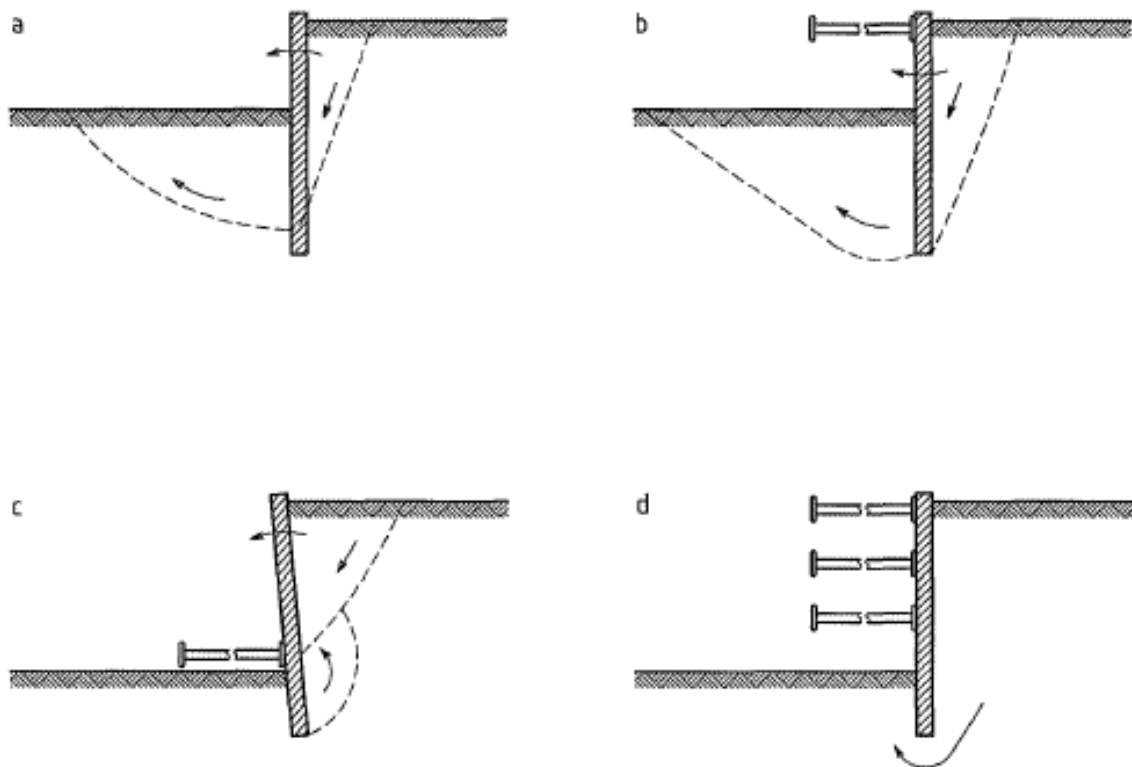
Έτσι λοιπόν, παρουσιάζονται παρακάτω σχηματικά παραδείγματα των οριακών καταστάσεων αστοχίας τα οποία και θα πρέπει να εξετάζονται: (Σχήματα 9.1 – 9.6 του EN 1997-1).



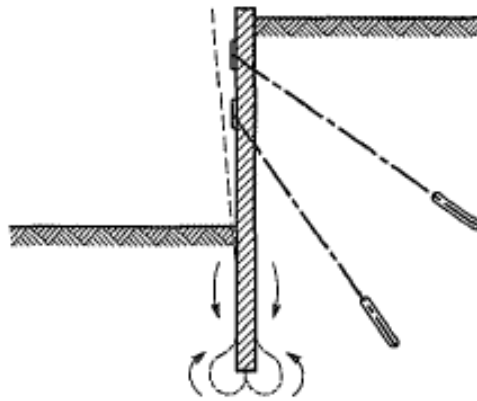
Σχήμα 1.1 του EN 1997-1 : Παραδείγματα τύπων οριακών καταστάσεων έναντι ολικής ευστάθειας έργων αντιστήριξης.



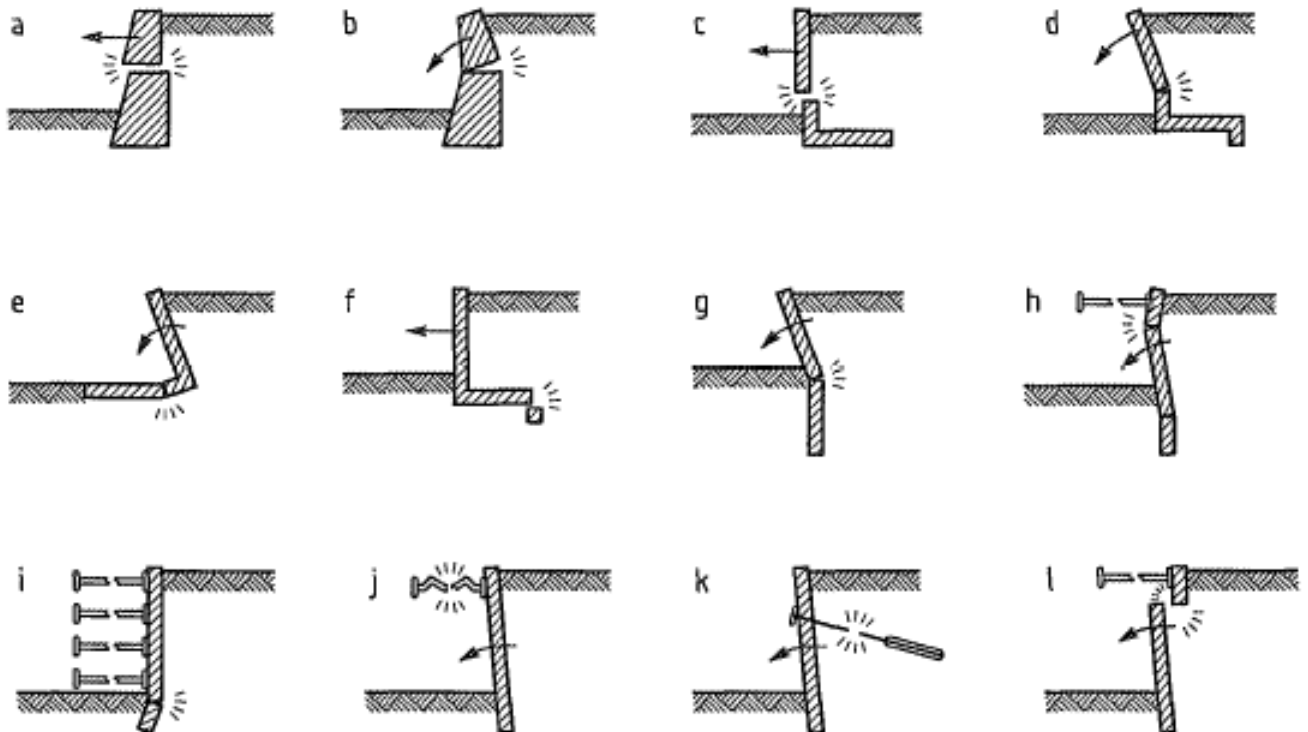
Σχήμα 1.2 του EN 1997-1 : Παραδείγματα τύπων οριακών καταστάσεων αστοχίας θεμελιώσεων τοίχων βαρύτητας.



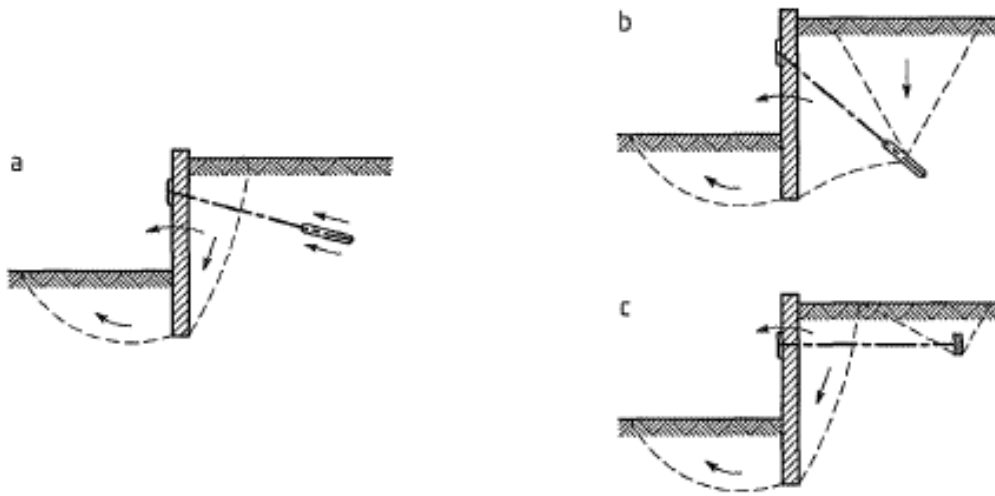
Σχήμα 1.3 του EN 1997-1 : Παραδείγματα τύπων οριακών καταστάσεων αστοχίας λόγω περιστροφής τοίχων πακτωμένης βάσης.



Σχήμα 1.4 του EN 1997-1 : Παράδειγμα τύπου οριακής κατάστασης κατακόρυφης αστοχίας τοίχων πακτωμένης βάσης.



Σχήμα 1.5 του EN 1997-1 : Παραδείγματα οριακών τύπων δομικής αστοχίας έργων αντιστήριξης



Σχήμα 1.6 του EN 1997-1 : Παραδείγματα οριακών τύπων αστοχίας λόγω εξόλκευσης των αγκυρίων.

- Στα έργα αντιστήριξης, ασκούνται ως επί τω πλείστο ωθήσεις γαιών, οι οποίες διακρίνονται σε ενεργητικές και παθητικές. Κρίσιμες, ως δυσμενέστερες χαρακτηρίζονται αυτές της ενεργητικών ωθήσεων. Η ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντα, έχει ως αποτέλεσμα επιπλέον δυσμενών δράσεων, αυτών των υδατικών πιέσεων. Ασκούνται στην ενεργητική πλευρά, καθώς και στην παθητική πλευρά εάν περιγράψουμε με απόλυτη σαφήνεια το φαινόμενο που διενεργείται ως διαφορά υδατικών πιέσεων. Ως αντιστάσεις θεωρούνται οι παθητικές ωθήσεις γαιών, ενώ δυνάμεις αγκύρωσης, αντηρίδων, σταθεροποίησης στον πόδα του τοίχου καθώς και του ίδιου του τοίχου, λογίζονται ως ευμενής δράσεις.

Οι χαρακτηριστικές τιμές των ωθήσεων των γαιών, υπολογίζονται εφαρμόζοντας τις χαρακτηριστικές τιμές των εδαφικών παραμέτρων.

- Κατά τη φάση σχεδιασμού, οι υπολογισμοί έναντι οριακών καταστάσεων αστοχίας, ικανοποιούνται εφαρμόζοντας την ανισότητα:

$$E_d \leq R_d$$

Όπου,

E_d : η τιμή σχεδιασμού της έντασης και

R_d : η τιμή σχεδιασμού της αντίστοιχης αντίστασης

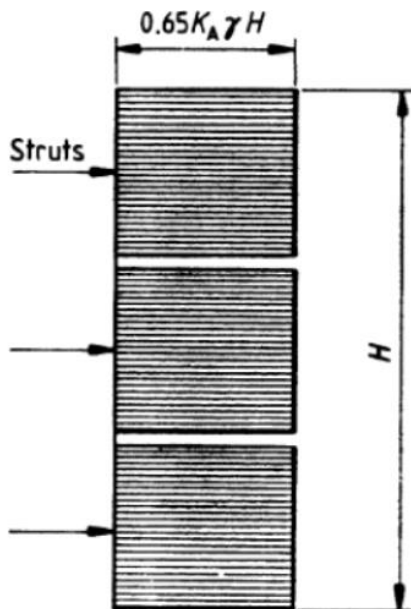
Σε αυτήν την φάση ελέγχου, απαιτούνται δύο ομάδες υπολογισμών:

- GEO: Γεωτεχνικού τύπου αστοχία ή υπερβολική παραμόρφωση του εδάφους.
- STR: Δομικού τύπου οριακή κατάσταση που περιλαμβάνει αστοχία δομικού στοιχείου ή υπερβολική παραμόρφωση της κατασκευής.

➤ Στην φάση σχεδιασμού έναντι οριακών καταστάσεων λειτουργικότητας, οι αναλύσεις των μετακινήσεων και των παραμορφώσεων της κατασκευής του συστήματος προσωρινής αντιστήριξης και των υφιστάμενων κατασκευών, υπολογίζονται με αριθμητικές μεθόδους ή με πεπερασμένα στοιχεία.

Ειδικότερα, για πασσαλότοιχους με περισσότερες της μίας στάθμης αγκύρωσης, όταν πραγματοποιούνται οι αναλύσεις, λαμβάνονται τα εξής υπόψη:

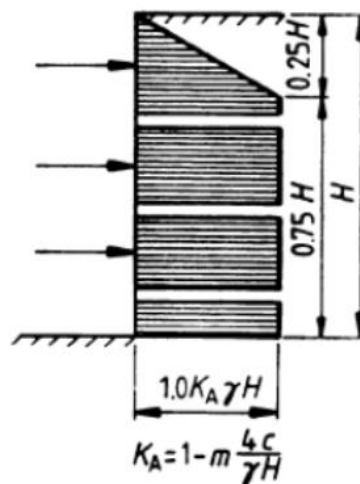
- Αρχικά το βάθος έμπηξης δεν προσδιορίζεται, αλλά λαμβάνεται εμπειρικά και στην συνέχεια ελέγχεται εάν επαρκεί. Προκειμένου να επιλεγθούν κατάλληλες τροποποιήσεις στο σύστημα αντιστήριξης, ώστε να επέλθει ισορροπία.
- Οι χαρακτηριστικές τιμές των αγκυρίων, θα προκύψουν από τις ωθήσεις των γαιών, όπως ενδεικτικά παρουσιάζεται παρακάτω σε σχήμα του EN 1997-1.



b)
Sand

Σχήμα 1.7

Διάγραμμα περιβαλλουσών ωθήσεων Terzaghi-Peck για άμμους

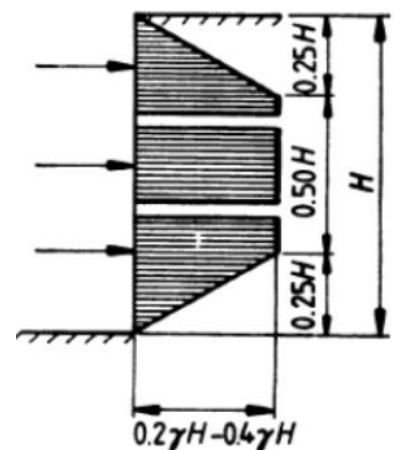


c)

Soft/medium clay

Σχήμα 1.8

Διάγραμμα περιβαλλουσών ωθήσεων Terzaghi-Peck για μαλακές και μέσες αργίλους



d)

Stiff clay

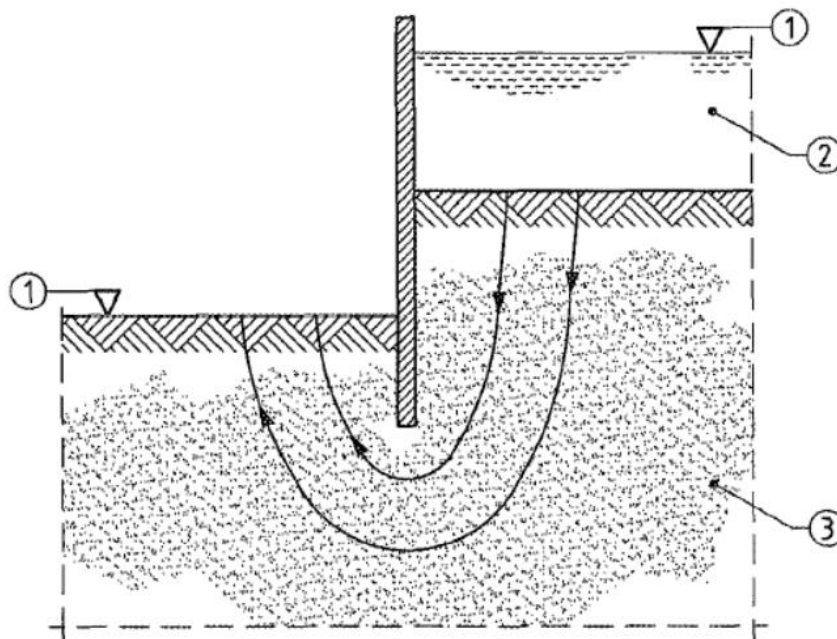
Σχήμα 1.9

Διάγραμμα περιβαλλουσών ωθήσεων Terzaghi-Peck για στιφρές ρηγματωμένες αργίλους

- Από τις χαρακτηριστικές τιμές των ωθήσεων και ακολούθως των δυνάμεων αγκύρωσης, θα καθοριστούν οι καμπτικές ροπές στο πέτασμα. Όστε ο τοίχος αντιστήριξης να είναι ικανός να παραλάβει την ροπή σχεδιασμού που θα προκύψει.

Το κεφάλαιο 10 του EN 1997-1, αναφέρεται στην υδραυλική αστοχία. Αναλύονται οι τέσσερις τύπου εδαφικές αστοχίες που δύναται να προκύψουν από την πίεση των πόρων οι οποίες παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

- Αστοχία λόγω ανύψωσης (UPL – uplift).
- Αστοχία εδάφους η οποία μπορεί να προκύψει από υψηλή υδραυλική κλίση (HYD).
- Αστοχία λόγω εσωτερικής διάβρωσης.
- Αστοχία λόγω διασωλήνωσης (ripping).



1 στάθμη εκσκαφής (αριστερά), υπόγειος ορίζοντας (δεξιά)

2 νερό

3 άμμος

Σχήμα 1.10 του EN 1997-1 : Παράδειγμα κατάστασης όπου η ανύψωση λόγω υδραυλικής κλίσης μπορεί να είναι κρίσιμη.



Λαμβάνοντας υπόψη, το κεφάλαιο 8 του EN 1997-1 που αναφέρεται στον σχεδιασμό προσωρινών και μόνιμων αγκυρώσεων των οποίων γίνεται χρήση στα έργα αντιστήριξης, ώστε να αναλαμβάνουν με ασφάλεια τα φορτία των σχηματισμών μέσω της εφελκυστικής τους δύναμης. Εάν η διάρκεια ωφέλιμης ζωής του έργου είναι μεγαλύτερη των δύο ετών, χαρακτηρίζονται ως μόνιμες, διαφορετικά πρόκειται για προσωρινές αγκυρώσεις. Διακρίνονται σε:

- Προεντεταμένες αγκυρώσεις, με κεφαλή αγκυρίου, ελεύθερο μήκος τένοντα και πακτωμένο μήκος τένοντα το οποίο ενεματώνεται.
- Μη προεντεταμένες αγκυρώσεις, με κεφαλή αγκυρίου, ελεύθερο μήκος τένοντα και μία πάκτωση.

Κατά τη φάση σχεδιασμού, θα πρέπει να ελέγχεται μία αγκύρωση ώστε να ικανοποιείται η ανισότητα:

$$P_d \leq R_{a;d}$$

Όπου,

P_d : η τιμή σχεδιασμού του φορτίου (δράσης) της αγκύρωσης

$R_{a;d}$: η τιμή σχεδιασμού της αντίστασης R_a

Τέλος, στο κεφάλαιο 11 του EN 1997-1, γίνεται αναφορά στις απαιτήσεις που πρέπει να διενεργείται ανάλυση ολικής ευστάθειας τυπικών έργων, όπως έργων αντιστήριξης όμοιας με την περίπτωση που εξετάζεται στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία.



1.2 Λογισμικό Υπολογισμών

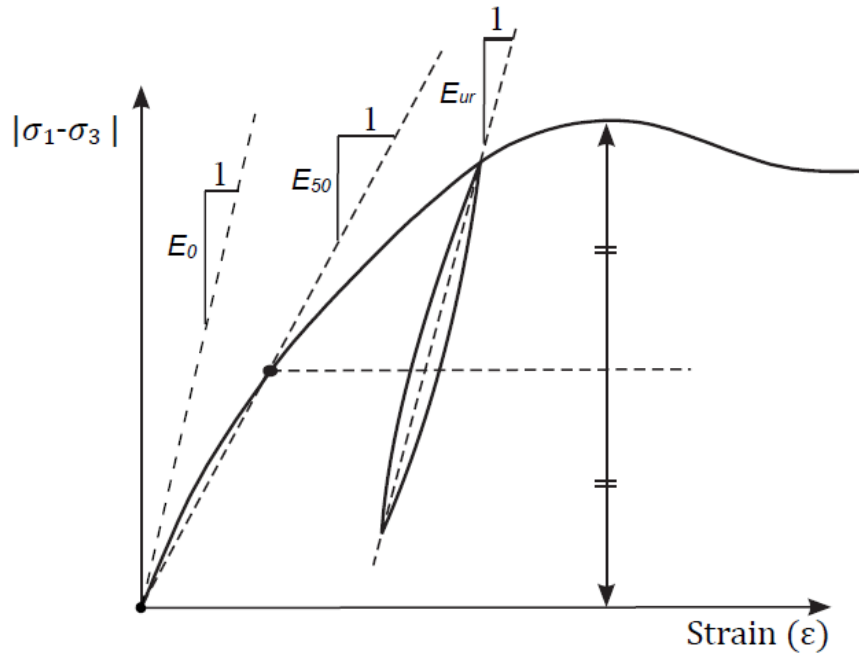
Προσομοίωση Εδαφικής Συμπεριφοράς

Το λογισμικό Plaxis 2D, υποστηρίζει 15 διαφορετικά μοντέλα προσομοίωσης της εδαφικής συμπεριφοράς. Η μηχανική συμπεριφορά των εδαφών και των πετρωμάτων μπορεί να μοντελοποιηθεί με διάφορους βαθμούς ακρίβειας. Ο νόμος του Hooke για την γραμμική, ιστροπική ελαστικότητα, για παράδειγμα, μπορεί να θεωρηθεί ως η απλούστερη διαθέσιμη σχέση τάσης-παραμόρφωσης, καθώς περιλαμβάνει μόνο δύο παραμέτρους εισόδου οι οποίες είναι το μέτρο ελαστικότητας του Young (E) και ο λόγος Poisson (ν), ωστόσο είναι πολύ γενικός για να αποτυπώσει βασικά χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς του εδάφους και των πετρωμάτων. Το γραμμικά ελαστικό - τέλεια πλαστικό μοντέλο (Mohr-Coulomb) μπορεί να θεωρηθεί ως μίας πρώτης τάξης προσέγγιση της συμπεριφοράς του εδάφους ή των πετρωμάτων. Ωστόσο, το PLAXIS περιλαμβάνει περισσότερα προηγμένα μοντέλα υλικών που περιλαμβάνουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όπως την τασικώς εξαρτώμενη δυσκαμψία, συμπεριφορά τύπου strain-hardening/softening, μνήμη προστερεοποίησης, κρίσιμη εντατική κατάσταση, ανισοτροπία, ερπυσμό, διόγκωση και συρρίκνωση. Το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα ενός φιλικού περιβάλλοντος προς τον χρήστη, προκειμένου να δημιουργήσει προηγμένα μοντέλα σε μια προσπάθεια αναλυτικότερης προσομοίωσης της συμπεριφοράς των εδαφών και των πετρωμάτων ρεαλιστικά, αποδίδοντας έτσι πιο ακριβή αποτελέσματα μέσα από τους υπολογισμούς του PLAXIS. Η χρήση της δυνατότητας του SoilTest βοηθάει στη βαθμονόμηση των αντίστοιχων παραμέτρων του μοντέλου (Plaxis Material Models Manual, Bentley, 2021).

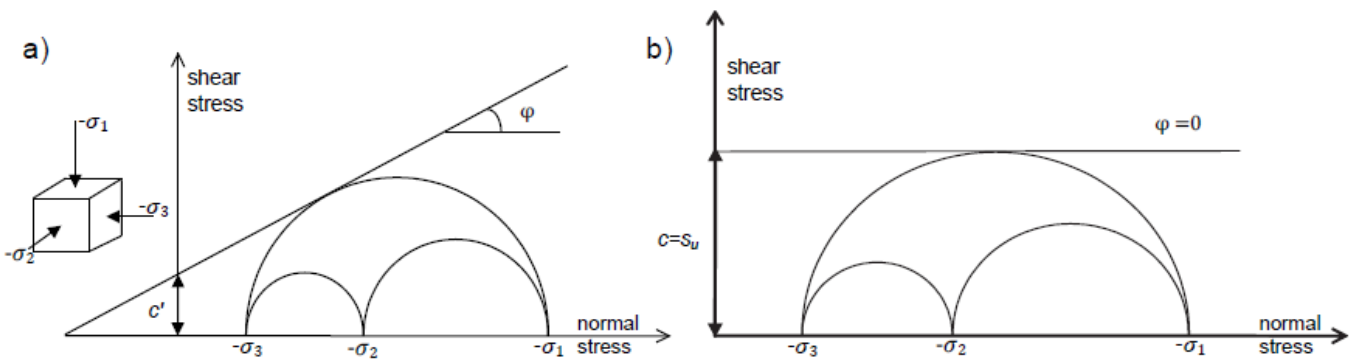
Παρακάτω δίνεται μία σύντομη περιγραφή των δύο μοντέλων προσομοίωσης εδαφικής συμπεριφοράς τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στο λογισμικό Plaxis 2D V21.01.

Μοντέλο Mohr-Coulomb (MC)

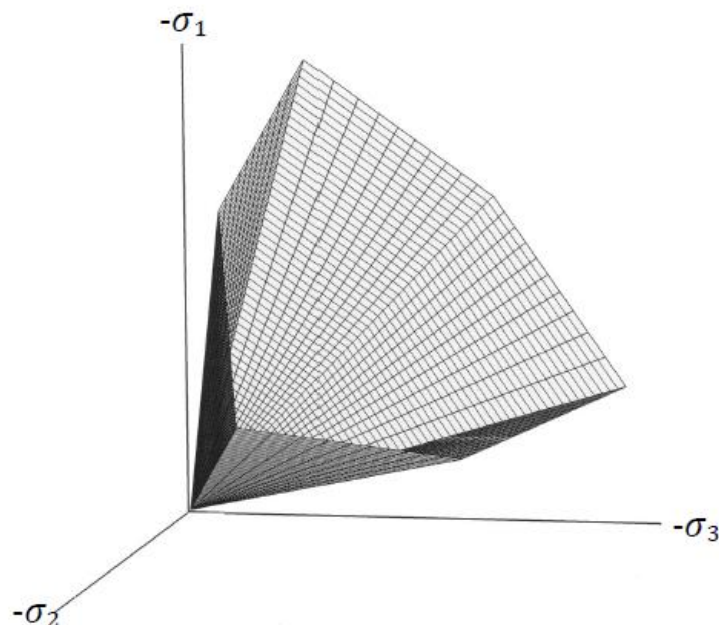
Το γραμμικά ελαστικό - τέλεια πλαστικό μοντέλο Mohr-Coulomb περιλαμβάνει πέντε παραμέτρους εισόδου, οι οποίες είναι το μέτρο ελαστικότητας (E), το λόγο του Poisson (ν), την εσωτερική γωνία τριβής (ϕ), τη συνοχή (c) και τη γωνία διογκωσιμότητας (ψ). Το εν λόγω μοντέλο αντιπροσωπεύει μία πρώιμη προσέγγιση της συμπεριφοράς του εδάφους ή των πετρωμάτων. Συνιστάται η χρήση αυτού του μοντέλου για μια πρώτη ανάλυση εξέτασης του προβλήματος. Για κάθε εδαφική στρώση υπολογίζεται μία μέση σταθερή δυσκαμψία ή δυσκαμψία που αυξάνεται με το βάθος.



Διάγραμμα 1.1 - Καθορισμός του E_0 , E_{50} και E_{ur} για στραγγιζόμενη τριαξονική δοκιμή (Plaxis – Material Model Manual 2021, σελίδα 37)



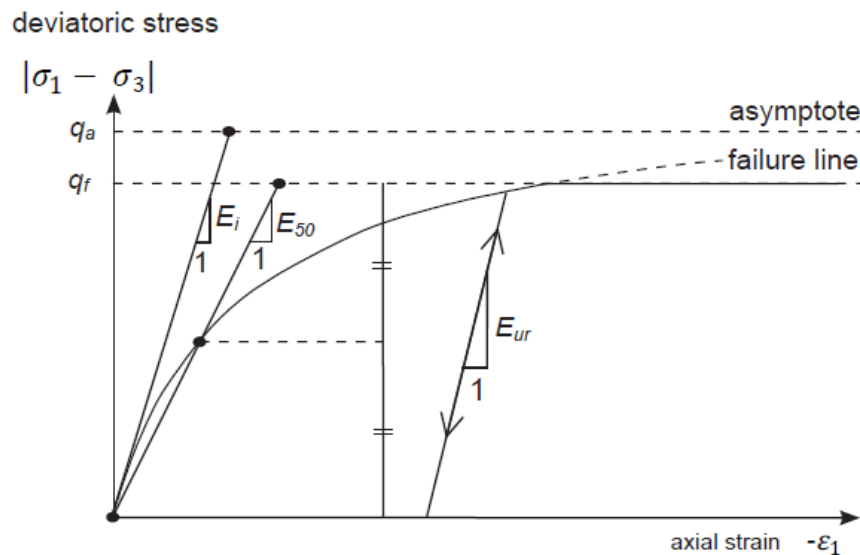
Διάγραμμα 1.2 - Περιβάλλουσα κύκλων κύριων τάσεων Mohr-Coulomb. α) Χρησιμοποιώντας αποτελεσματικές παραμέτρους αντοχής (Mohr-Coulomb) β) Χρήση παραμέτρων αντοχής χωρίς αποστράγγιση (Tresca). (Plaxis – Material Model Manual 2021, σελίδα 39)



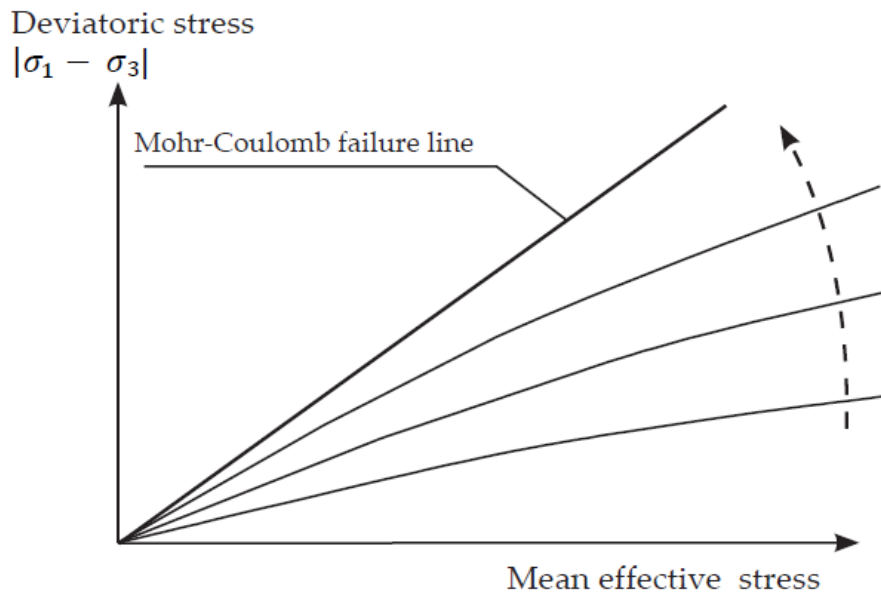
Διάγραμμα 1.3 - Επιφάνεια αστοχίας για το μοντέλο MC στο χώρο κύριων τάσεων για έδαφος χωρίς συνοχή (Plaxis – Material Model Manual 2021, σελίδα 39)

Μοντέλο Hardening Soil (HS)

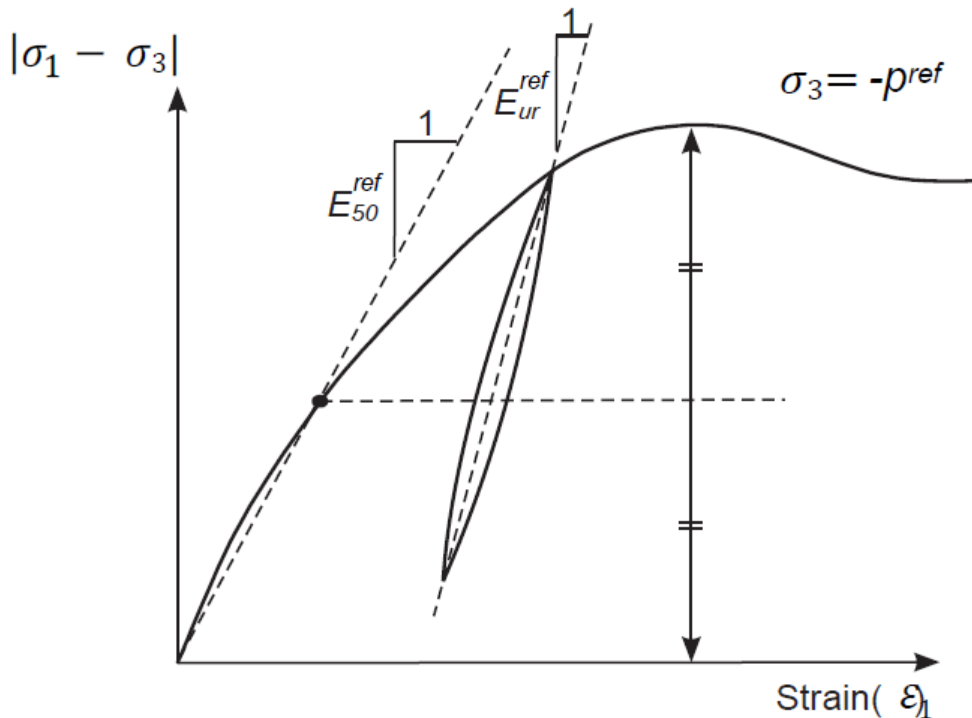
Το μοντέλο Hardening Soil είναι ένα προηγμένο μοντέλο για την προσομοίωση της συμπεριφοράς του εδάφους. Όσο για το Mohr-Coulomb μοντέλο, οι περιοριστικές καταστάσεις τάσης περιγράφονται μέσω της γωνίας τριβής, ϕ , της συνοχής, c και της γωνίας διογκωσιμότητας ψ . Ωστόσο, η δυσκαμψία του εδάφους περιγράφεται με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια χρησιμοποιώντας τρία διαφορετικά μέτρα συμπίεσότητας : το μετρό συμπίεσότητας από τριαξονική φόρτιση E_{50} , το μέτρο συμπίεσότητας επαναφοράς από τριαξονική αποφόρτιση E_{ur} και το οιδημετρικό μέτρο συμπίεσότητας E_{oed} . Ως μέσες τιμές για διάφορους τύπους εδαφών, το $E_{ur} \approx 3E_{50}$ και το $E_{oed} \approx E_{50}$ δίνονται ως προεπιλογή από το λογισμικό, ωστόσο σε πολύ μαλακά και σε πολύ στιφρά εδάφη ο λόγος E_{oed} / E_{50} τείνει να παίρνει άλλες διαφορετικές τιμές, τις οποίες μπορεί να εισάγει ο χρήστης. Σε αντίθεση με το μοντέλο Mohr-Coulomb, το μοντέλο Hardening Soil λαμβάνει επίσης υπόψη την αύξηση της δυσκαμψίας του εδάφους με την αύξηση των επικρατουσών τάσεων, καθώς και τις αρχικές συνθήκες του εδάφους όπως προστερεοποίηση κατά τον υπολογισμό των αρχικών τάσεων.



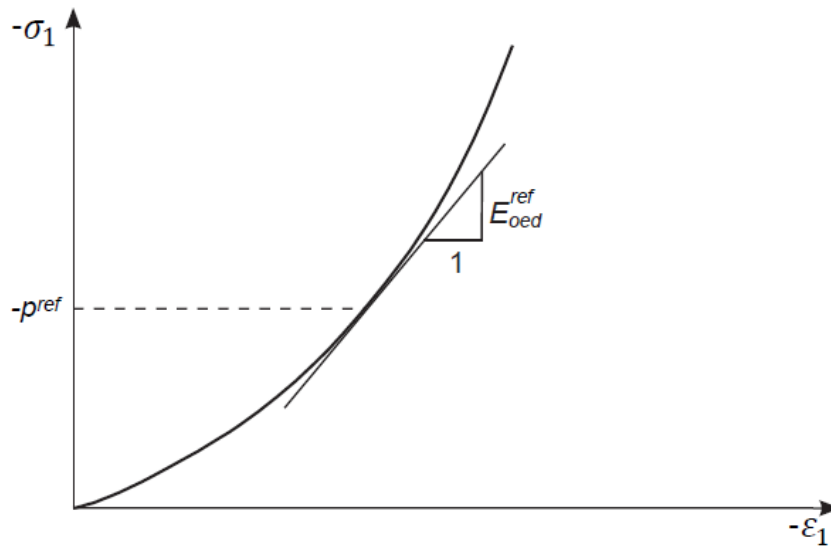
Διάγραμμα 1.4 - Υπερβολική σχέση τάσεων παραμορφώσεων κατά την φόρτιση σε στραγγιζόμενη τριαξονική δοκιμή (Plaxis – Material Model Manual 2021, σελίδα 69)



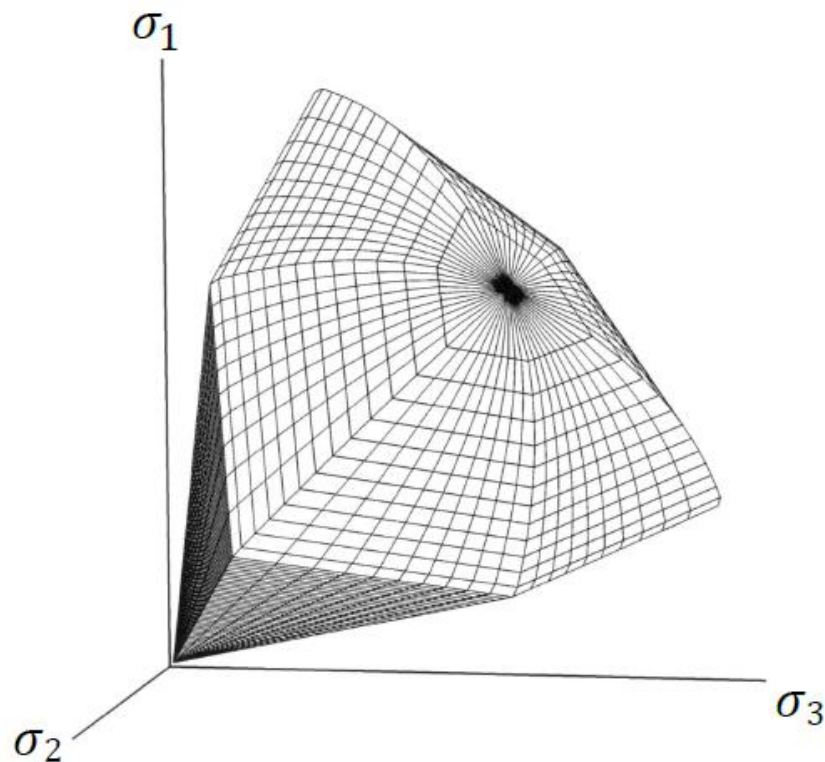
Διάγραμμα 1.5 - Διαδοχικές καμπύλες αστοχίας για τις διάφορες τιμές του γ^p (Plaxis – Material Model Manual 2021, σελίδα 71)



Διάγραμμα 1.6 - Καθορισμός του E_{50}^{ref} και E_{ur}^{ref} για στραγγιζόμενη τριαξονική δοκιμή (Plaxis – Material Model Manual 2021, σελίδα 75)



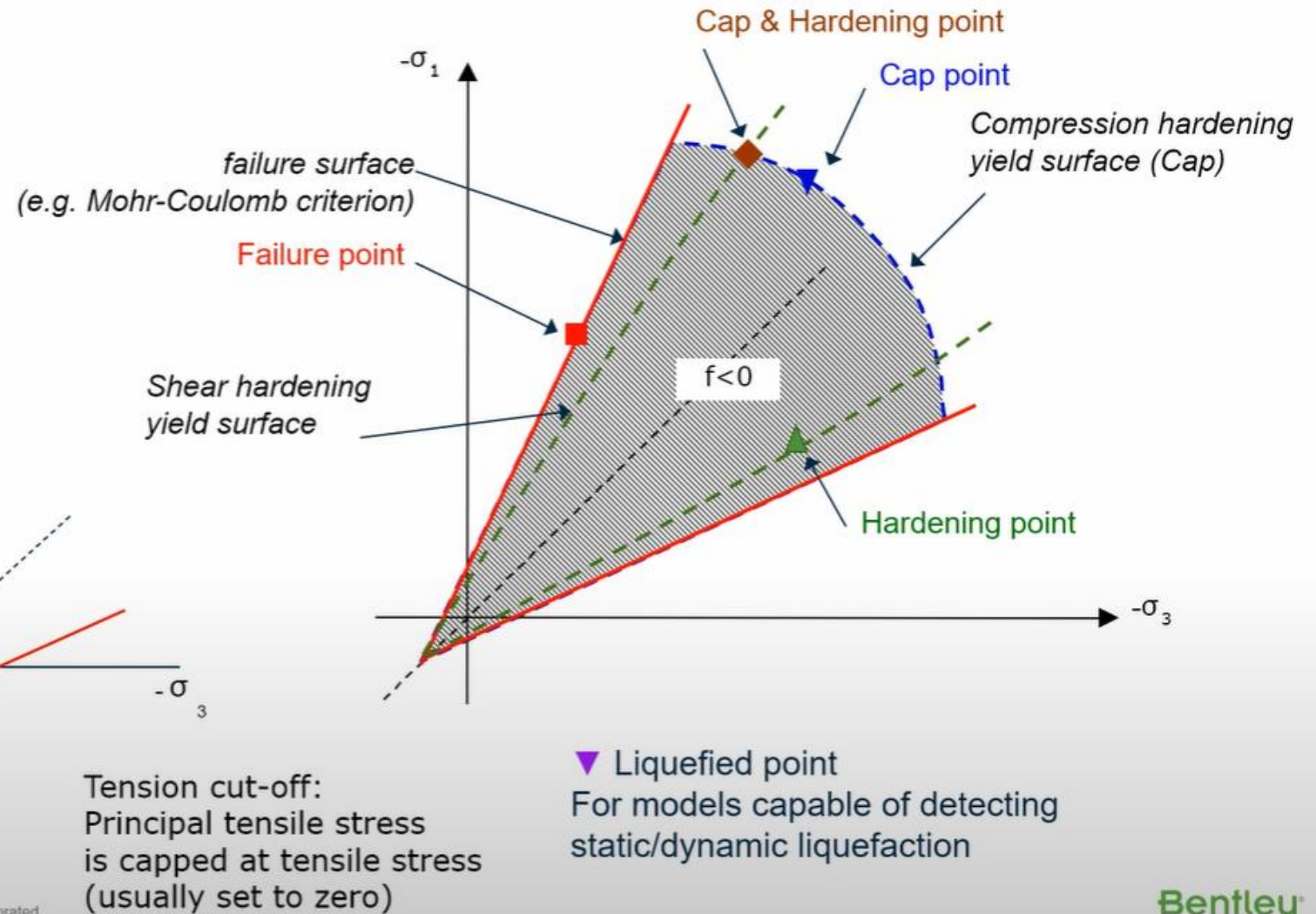
Διάγραμμα 1.7 - Καθορισμός του E_{oeed}^{ref} και E_{ur}^{ref} με αποτελέσματα δοκιμής συμπίεσομέτρου (Plaxis – Material Model Manual 2021, σελίδα 76)



Διάγραμμα 1.8 - Επιφάνεια αστοχίας για το μοντέλο HSM στο χώρο των κυρίων τάσεων για έδαφος χωρίς συνοχή (Plaxis – Material Model Manual 2021, σελίδα 81)

Plastic points

- Failure point
- Tension cut-off point
- ▼ Cap point
- ▲ Hardening point
- ◆ Cap + hardening point
- ▼ Liquefied point



Διάγραμμα 1.9 - Προσομοίωμα πλαστικών σημείων (PLAXIS Geotechnical Analysis, Bentley)

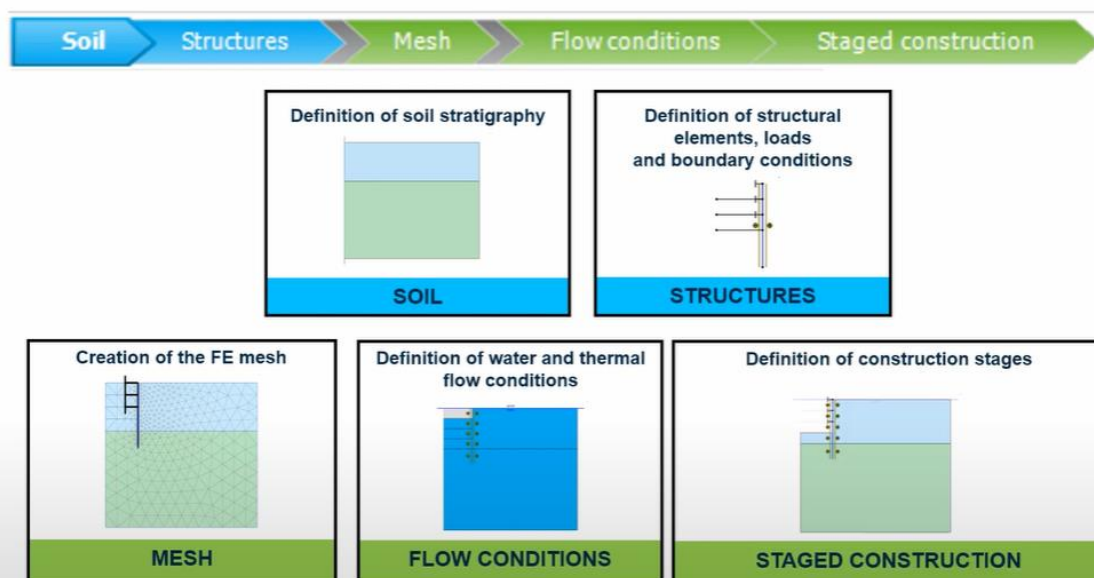
Στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, πραγματοποιήθηκαν τέσσερις προσομοιώσεις με την χρήση του λογισμικού Plaxis 2D έκδοση 21.01. Στόχος είναι να συγκριθούν τα αποτελέσματα των διαφορετικών αναλύσεων που θα προκύψουν, με τελική επιδίωξη την βέλτιστη σχεδίαση του συστήματος προσωρινής αντιστήριξης της εκσκαφής του σταθμού Μετρό. Προτεραιότητα είναι, πάντοτε η ασφάλεια σε όλα τα στάδια της ίδιας της κατασκευής του έργου και των εργαζομένων, καθώς και των υφιστάμενων κτιρίων, όπως ορίζεται από τους κανονισμούς.

Η διαδικασία εισαγωγής των δεδομένων προκειμένου να καταστρωθεί το δισδιάστατο μοντέλο, το οποίο θα αναλυθεί με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων προκύπτει μέσα από πέντε διακριτές ενότητες:

- Ενότητα 1 – ΕΔΑΦΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ
- Ενότητα 2 – ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ
- Ενότητα 3 – ΚΑΝΝΑΒΟΣ
- Ενότητα 4 – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ
- Ενότητα 5 – ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Παρακάτω θα ακολουθήσει η παρουσίαση των βημάτων που ακολουθήθηκαν, έτσι ώστε να προκύψει το εν λόγω δισδιάστατο μοντέλο και τελικώς να εξαχθούν τα αποτελέσματα των αναλύσεων.

Workflow PLAXIS 2D: Pre-process in 5 working modes





2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία έχει ως θέμα, αρχικά την προδιαστασιολόγηση και τελικά την ακριβή διαστασιολόγηση της εκσκαφής του σταθμού σε διάφορες φάσεις που θα αναπτυχθούν παρακάτω, προκειμένου να ολοκληρωθεί η προσωρινή αντιστήριξή του.

Η εκσκαφή του σταθμού θα πραγματοποιηθεί με την μέθοδο ανοικτού ορύγματος (cut and cover). Σε κάθε φάση του έργου, για την ασφάλεια της κατασκευής και των εργαζομένων, καθώς και της ύπαρξης υφιστάμενων κτιρίων που βρίσκονται εντός της ζώνης επιρροής του σταθμού λόγω του πυκνού αστικού ιστού, απαιτείται έλεγχος των παραμορφώσεων, έτσι όπως ορίζονται από τους κανονισμούς.

Η προσωρινή αντιστήριξη θα προσομοιωθεί ως εύκαμπτος τοίχος, τύπου προβόλου με φρεατοπασσάλους διαμέτρου $D=1.00$ m οι οποίοι θα κατασκευαστούν από οπλισμένο σκυρόδεμα σε απόσταση $s=1.50$ m αξονικά μεταξύ τους και θα συνδέονται μεταξύ τους με κεφαλόδεσμο. Σε κάθε φάση εκσκαφής, το τμήμα μεταξύ των πασσάλων τοποθετείται δομικό χαλύβδινο πλέγμα T118, το οποίο καλύπτεται με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 10 cm. Τα φορτία κατά τον οριζόντιο άξονα θα παραληφθούν από χαλύβδινα αγκύρια με ελεύθερο και πακτωμένο τμήμα στα οποία θα εφαρμοστεί προένταση. Τέλος, λόγω της ύπαρξης υδροφόρου ορίζοντα σε βάθος δύο μέτρων κάτω από την επιφάνεια εδάφους, στο ελεύθερο τμήμα μεταξύ των πασσάλων θα κατασκευασθούν πάνω από την εκάστοτε στάθμη αγκυρώσεων που θα προκύπτει αποστραγγιστικές οπές για την αποτόνωση των υδάτων εντός της περιοχής εκσκαφής.

3. ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗ

3.1 Κριτήρια σχεδιασμού

3.1.1 Υλικά – Παραδοχές

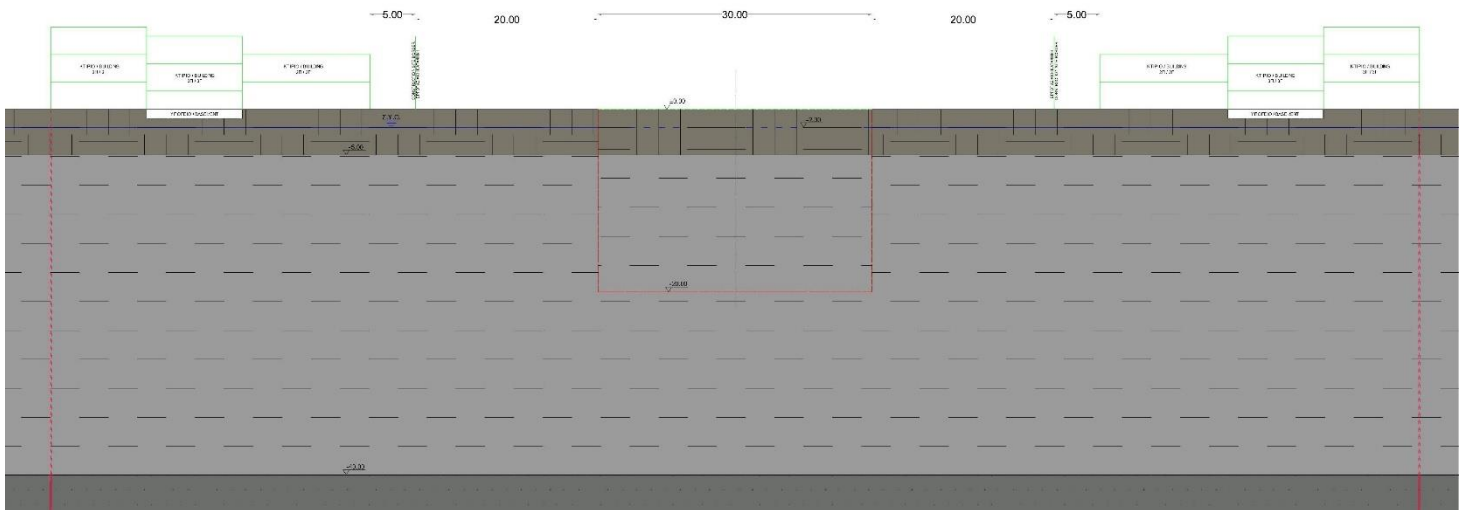
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ		ΧΑΛΥΒΑΣ	
Φρεατοπάσσαλοι	C20/25	Οπλισμός	B500C
Κεφαλόδεσμος	C20/25	Δομικό πλέγμα	B500A
Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	C20/25	Προένταση	St 17000/1900
Τοιχεία	C20/25		
Άοπλο σκυρόδεμα	C16/20		

3.1.2 Δράσεις

3.1.2.1 Μόνιμα φορτία

Το ίδιο βάρος της κατασκευής του εύκαμπτου τοίχου αντιστήριξης, προκύπτει από το ειδικό βάρος του οπλισμένου σκυροδέματος λαμβάνοντας το υπόψιν ως $\gamma_c=25 \text{ kN/m}^3$, ενώ του δομικού χάλυβα ως $\gamma_s=78,5 \text{ kN/m}^3$.

Στην προσπάθεια το προσομοίωμα να γίνει το δυνατόν αντιπροσωπευτικότερο των πραγματικών συνθηκών, λαμβάνεται υπόψη ως ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο $q=10 \text{ kN/m}^3$ θα υπολογίζεται για κάθε όροφο υφιστάμενων κτιριακών κατασκευών τα οποία βρίσκονται εντός της ζώνης επιρροής του έργου.



Εικόνα 3.1 - Γεωμετρία προδιαστασιολόγησης.

3.1.2.2 Μεταβλητές δράσεις

Στην περιοχή της εργοταξιακή κατάληψη του σταθμού θα μετακινούνται διαρκώς βαρέα οχήματα, οπότε αυτό λαμβάνεται υπόψη στον σχεδιασμό ως ομοιόμορφο φορτίο της τάξης των 50 kN/m^2 .

3.1.2.3 Ωθήσεις γαιών

Στην φάση προδιαστασιολόγησης του τοίχους αντιστήριξης για την αύξηση της δυσκαμψίας με απώτερο στόχο τον έλεγχο των μετακινήσεων όπως επιβάλλουν οι κανονισμοί, εφαρμόζεται ο μέσος όρος των ενεργητικών και των ωθήσεων ηρεμίας.

$$K=(K_a+K_0)/2, \text{ με } K_a=\tan^2(45-\phi/2)$$

K_0 : Από Έκθεση Γεωτεχνικής Αξιολόγησης Παραμέτρων Σχεδιασμού



Εικόνα 3.2 - Ωθήσεις Γαιών.

ΩΘΗΣΕΙΣ ΓΑΙΩΝ

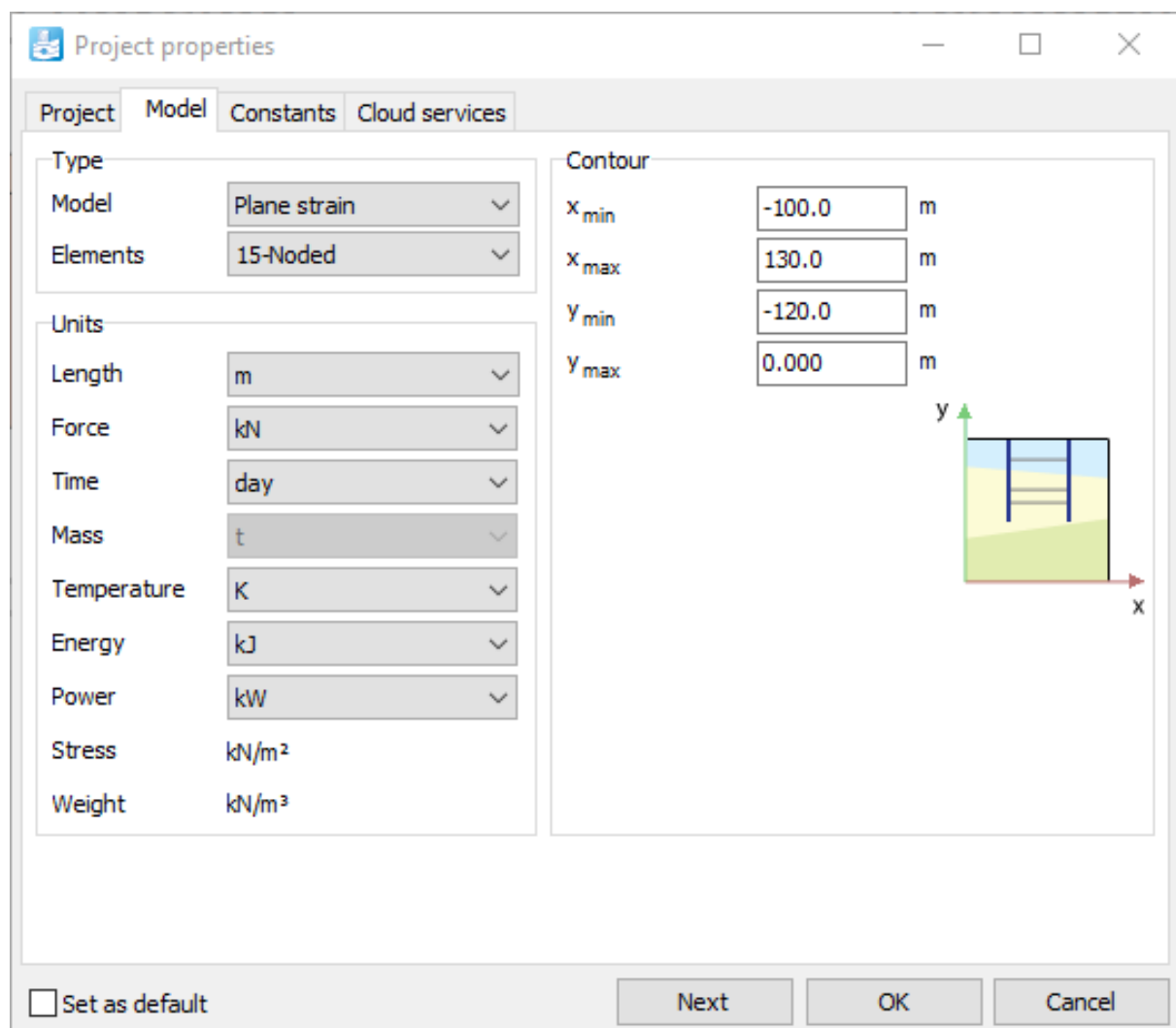
α/α	Μεγέθη	Μονάδες	Τύπος
1	Φαινόμενο βάρος ακόρεστες συνθήκες: $\gamma = 17$	kN/m^3	
2	Φαινόμενο βάρος κορεσμένες συνθήκες: $\gamma' = 19$	kN/m^3	
3	Γωνία εσωτερικής τριβής: $\phi_1 = 28$	°	
4	Πάχος στρώματος: $h_{01} = 3$	m	
5	Συντελεστής ουδέτερων ωθήσεων γαιών: $K_{01} = 0,531$		$K_{01} = 1 - \sin\phi$
6	Συντελεστής ενεργητικών ωθήσεων γαιών: $K_{a1} = 0,361$		$K_a = \tan^2(45 - \phi/2)$
7	Μέσος όρος συντελεστή ωθήσεων γαιών: $K_1 = 0,446$		$K_1 = (K_0 + K_{a1})/2$
8	Τάση γαιών: $\sigma_{h1} = 25$	kN/m^2	$\sigma_{h1} = \gamma'_{h01} \cdot h_{01} \cdot K_a$
9	Συνισταμένη ώθηση γαιών: $Ph_1 = 38$	KN/m	$Ph_1 = (\gamma'_{h01} \cdot h_{01}^2 \cdot K_a)/2$
1	Φαινόμενο βάρος ακόρεστες συνθήκες: $\gamma = 18$	kN/m^3	
2	Φαινόμενο βάρος κορεσμένες συνθήκες: $\gamma' = 21$	kN/m^3	
3	Γωνία εσωτερικής τριβής: $\phi_2 = 35$	°	
4	Πάχος στρώματος: $h_{02} = 17$	m	
5	Συντελεστής ουδέτερων ωθήσεων γαιών: $K_{02} = 0,426$		$K_{01} = 1 - \sin\phi$
6	Συντελεστής ενεργητικών ωθήσεων γαιών: $K_{a2} = 0,271$		$K_a = \tan^2(45 - \phi/2)$
7	Μέσος όρος συντελεστή ωθήσεων γαιών: $K_2 = 0,349$		$K_2 = (K_{02} + K_{a2})/2$
8	Τάση γαιών: $\sigma_{h2} = 150$	kN/m^2	$\sigma_{h1} = \gamma'_{h01} \cdot h_{01} \cdot K_a$
9	Συνισταμένη ώθηση γαιών: $Ph_2 = 1.490$	KN/m	$Ph_1 = (\gamma'_{h01} \cdot h_{01}^2 \cdot K_a)/2$
1	Φαινόμενο βάρος νερού: $\gamma' = 10$	kN/m^3	
2	Πάχος κορεσμένου στρώματος: $h_w = 18$	m	
3	Υδροστατική τάση: $\sigma_w = 180$	kN/m^2	$\sigma_{h1} = \gamma' \cdot h_w$
4	Υδροστατική πίεση: $P_w = 1.620$	KN/m	$Ph_1 = (\gamma' \cdot h_w^2)/2$
$P_{ολ} = 3.148$		KN/m	

3.1.2.4 Εδαφικά υλικά

Η σχετική ανάλυση του μηχανισμού αστοχίας του τοίχους αντιστήριξης, απλοποιείται και προσομοιώνεται σε δύο διαστάσεις προκειμένου να επιλυθεί με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό Plaxis 2D έκδοση 21.01.

Παρακάτω, αναλύονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την αρχικά προδιαστασιολόγηση και τελικά την ακριβή διαστασιολόγηση του συστήματος αντιστήριξης εύκαμπτου τοίχου τύπου προβόλου με αγκυρώσεις, όπως ορίζουν οι κανονισμοί.

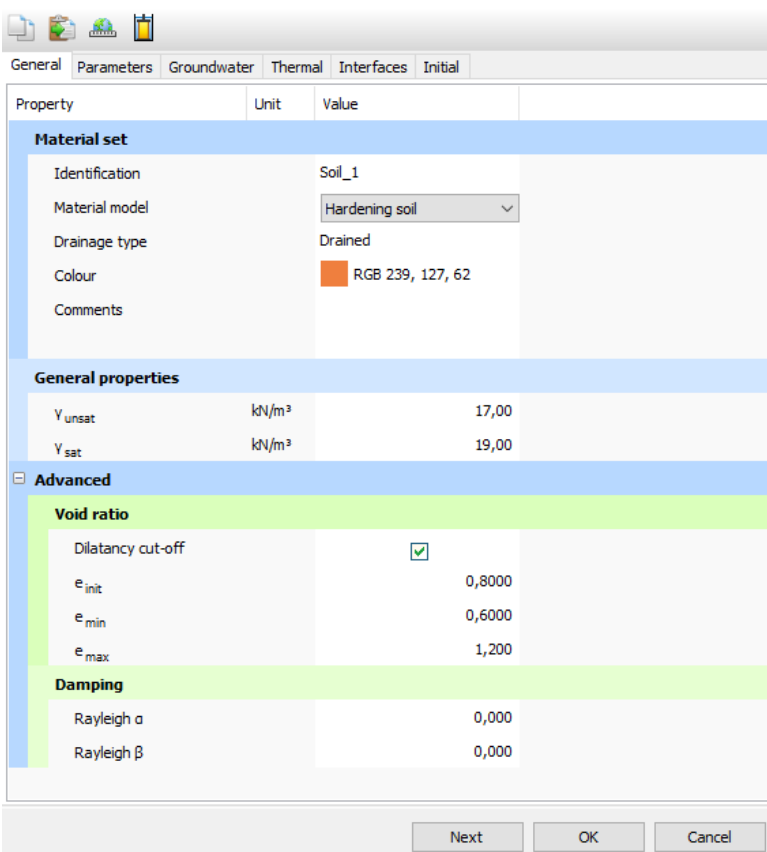
- Αρχικά δημιουργείται ένα εξιδανικευμένο εδαφικό προσομοίωμα σχεδιασμού δύο διαστάσεων, το οποίο αποτελείται από δύο στρώματα πάχους 5m και 30m αντίστοιχα (soil). Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα απαντάται σε βάθος 2m από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ στα 40m εντοπίζεται βράχος. Ως ζώνη επιρροής του σταθμού ορίζονται τα 60m από την παρειά του τοίχους αντιστήριξης. Σε αυτό το στάδιο, εισάγονται τα φορτία σχεδιασμού στην επιφάνεια και υπολογίζονται οι συντελεστές ενεργητικής, ουδέτερης και παθητικής ώθησης. Η αριθμητική ανάλυση του σταθμού επιλύεται ως επίπεδη παραμόρφωση με πεπερασμένα στοιχεία 15 κόμβων.



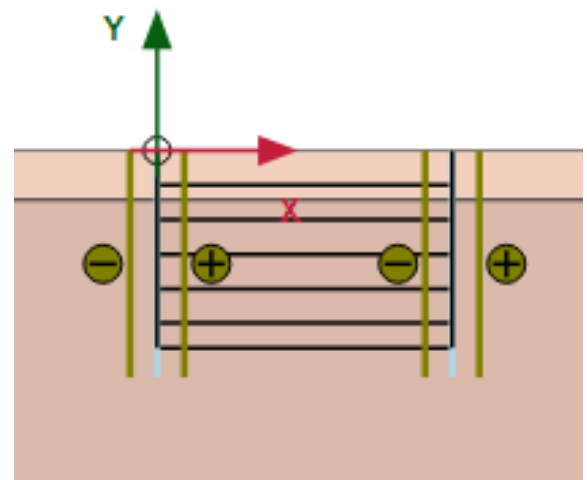
Εικόνα 3.3 - Αρχικοποίηση ρυθμίσεων

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ				
Hardening Soil Model Parameters				
α/α	Μεγέθη	Soil_1		Soil_2
1	Φαινόμενο βάρος άκορεστες συνθήκες: γ_{dry}	17	kN/m ³	18 kN/m ³
2	Φαινόμενο βάρος κορεσμένες συνθήκες: γ_{sat}	19	kN/m ³	21 kN/m ³
3	Τέμνον μέτρο ελαστικότητας: E_{50}^{ref}	100.000	kPa	140.000 kPa
4	Ειδιμετρικό μέτρο ελαστικότητας: E_{oed}^{ref}	100.000	kPa	140.000 kPa
5	Μέτρο ελαστικότητας αποφόρτισης / επαναφόρτισης: E_{ur}^{ref}	300.000	kPa	420.000 kPa
6	Λόγος Poisson: ν_{ur}	0,2		0,2
7	Βαθμός κράτυνσης: m	0,5		0,5
8	Τάση αναφοράς: p^{ref}	100	kPa	100 kPa
9	Συνοχή: c	5	kPa	10 kPa
10	Γωνία εσωτερικής τριβής: ϕ	28	°	35 °
11	Γωνία διασταλτικότητας: ψ	0	°	0 °
12	Συντελεστής ουδετέρων ωθήσεων για συνθήκες κανονικής στερεοποίησης: K_0^{NC}	-		-
13	Συντελεστής αντοχής: R_f	0,9		0,9
14	Συντελεστής διεπιφάνειας: R_{inter}	0,75		0,75
15	Εφελκυστική αντοχή: $tension$	0	kPa	0 kPa
16	Αρχικός δείκτης πόρων: e_0	0,8		0,8
17	Ελάχιστος δείκτης πόρων: e_{min}	0,6		0,6
18	Μέγιστος δείκτης πόρων: e_{max}	1,2		1,2
19	Οριζόντια υδραυλική αγωγιμότητα: k_x	5E-07	m/s	5E-08 m/s
20	Κατακόρυφη υδραυλική αγωγιμότητα: k_y	5E-07	m/s	5E-08 m/s

Soil - Hardening soil - Soil_1



Εικόνα 3.4 - Επιλογή μοντέλου εδαφικής συμπεριφοράς



Εικόνα 3.5 - Προσομοίωμα εδαφικού προφίλ

**3.1.2.5 Πάσσαλοι – Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα**

- Στην συνέχεια, στην επόμενη καρτέλα (structures) θα γίνει η προσομοίωση των γεωμετρικών στοιχείων του συστήματος αντιστήριξης (πάσσαλοι, τοίχος εκτοξευόμενου σκυροδέματος, αγκύρια) καθώς και οι στάθμες των διαδοχικών εκσκαφών που πρόκειται να διεξαχθούν κατά την εκσκαφή του σταθμού.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΑΣΣΑΛΟΥ - ΤΟΙΧΟΥΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ			
α/α	Μεγέθη	Μονάδες	Τύπος
1	Μέτρο Ελαστικότητας: $E= 30.000.000$	KN/m^2	
2	Διάμετρος: $D= 1$	m	
3	Φαινόμενο Βάρος: $\gamma= 24$	KN/m^3	
4	Επιφάνεια: $A_1= 0,7854$	m^2	$A_1= \pi \cdot D^2/4$
5	Ροπή αδράνειας: $I_1= 0,0491$	m^4	$I_1= \pi \cdot D^4/64$
6	Αξονική Δυστένεια: $EA_1= 23.561.945$	$\text{KN} \cdot \text{m}$	$EA_1= E \cdot A_1$
7	Καμπτική Δυσκαμψία: $EI_1= 1.472.622$	$\text{KN} \cdot \text{m}^2$	$EI_1= E \cdot I_1$
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ - ΤΟΙΧΟΥΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ			
α/α	Μεγέθη	Μονάδες	Τύπος
1	Μέτρο Ελαστικότητας: $E_2= 25.000.000$	KN/m^2	
2	Μήκος: $L_t= 0,50$	m	
3	Πλάτος: $W_t= 0,10$	m	
4	Φαινόμενο Βάρος: $\gamma= 24$	KN/m^3	
5	Επιφάνεια: $A_2= 0,05$	m^2	$A_2= W_t \cdot L$
6	Ροπή αδράνειας: $I_2= 0,000042$	m^4	$I_2= L \cdot W_t^3/12$
7	Αξονική Δυστένεια $EA_2= 1.250.000$	$\text{KN} \cdot \text{m}$	$EA_2= E \cdot A_2$
8	Καμπτική Δυσκαμψία: $EI_2= 1.042$	$\text{KN} \cdot \text{m}^2$	$EI_2= E \cdot I_2$
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΙΧΟΥΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ			
α/α	Μεγέθη	Μονάδες	Τύπος
1	Αξονική Δυστένεια: $\Sigma EA= 16.541.297$	$\text{KN} \cdot \text{m}/\text{m}$	$\Sigma EA= (EA_1+EA_2)/(D+L_t)$
2	Καμπτική Δυσκαμψία: $\Sigma EI= 982.442$	$\text{KN} \cdot \text{m}^2/\text{m}$	$\Sigma EI= (EI_1+EI_2)/(D+L_t)$
3	Ισοδύναμο πάχος: $D_{eq}= 0,844$	m	$D_{eq}= \sqrt{12(\Sigma EI/\Sigma EA)}$
4	Βάρος: $W= 20,26$	$\text{Kn}/\text{m}/\text{m}$	$W= \gamma_c \cdot D_{eq}$
5	Φαινόμενο Βάρος: $\gamma_c= 24$	KN/m^3	
6	Λόγος Poisson: $\nu= 0,20$	-	



3.1.2.6 Προεντεταμένα αγκύρια

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΑΓΚΥΡΙΟΥ			
α/α	Μεγέθη	Μονάδες	Τύπος
1	Μέτρο Ελαστικότητας: $E_s = 210.000.000$	KN/m^2	
2	Επιφάνεια τένοντα: $A = 0,000139$	m^2	
3	Αριθμός τενόντων: $N = 5$		
4	Συνολική επιφάνεια: $A_s = 0,000695$	m^2	$A_s = N \cdot A$
5	Δυστένεια: $E_s A_s = 145.950$	KN	$E_s A_s = E_s \cdot A_s$

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΕΜΑΤΟΣ - ΠΑΚΤΩΜΕΝΟ ΤΜΗΜΑ ΑΓΚΥΡΙΟΥ			
α/α	Μεγέθη	Μονάδες	Τύπος
1	Μέτρο Ελαστικότητας: $E_b = 30.000.000$	KN/m^2	
2	Διάμετρος βολβού πάκτωσης: $D = 0,15$	m	
3	Συνολική επιφάνεια: $A_b = 0,016976$	m^2	$A_b = \pi \cdot (D^2/4) \cdot A^5$
4	Δυστένεια: $E_b A_b = 509.294$	KN	$E_b A_b = E_b \cdot A_b$

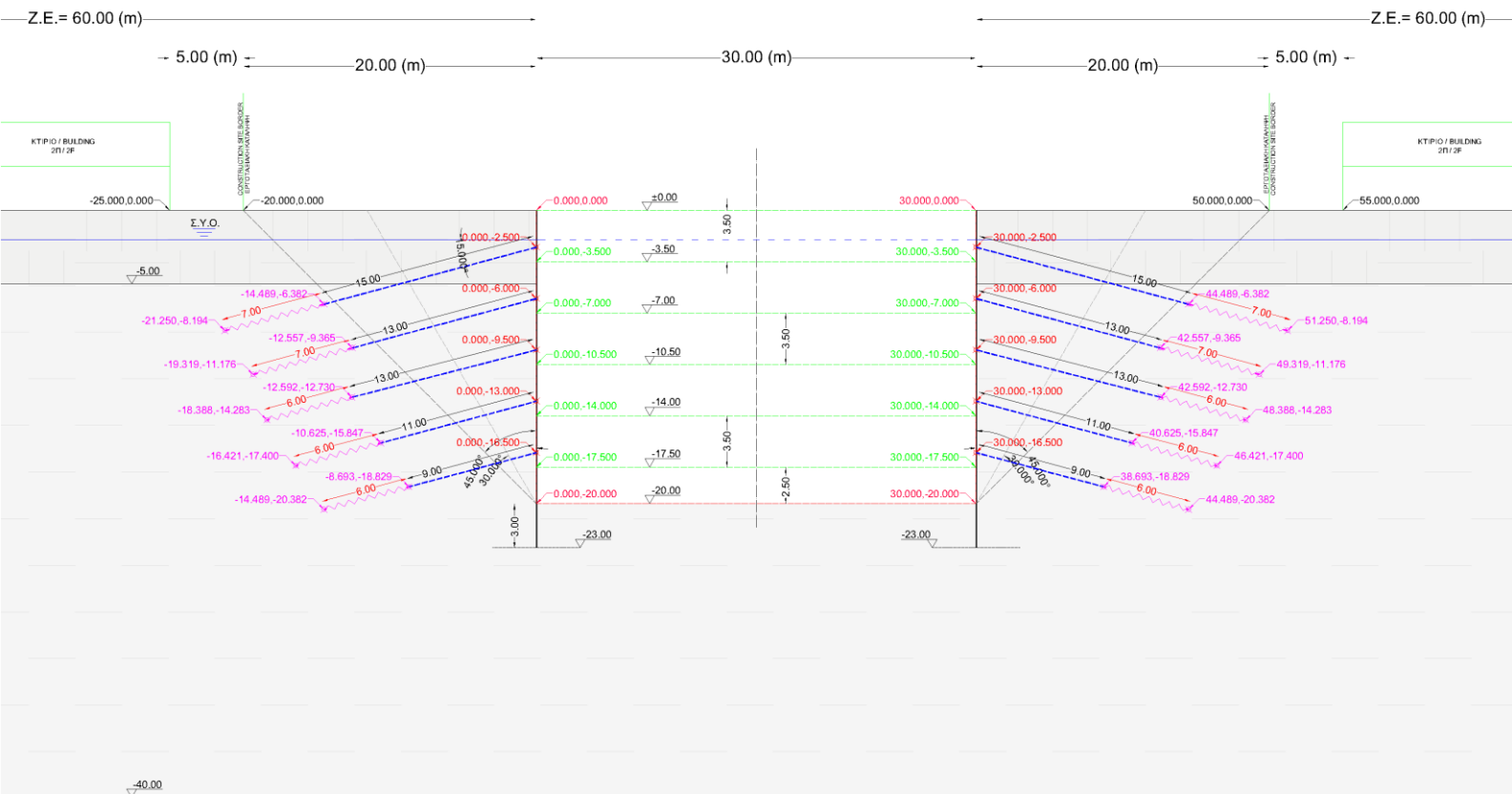
ΔΡΑΣΗ ΑΓΚΥΡΙΟΥ ΚΑΙ ΕΝΕΜΑΤΟΣ - ΠΑΚΤΩΜΕΝΟ ΤΜΗΜΑ ΑΓΚΥΡΙΟΥ			
α/α	Μεγέθη	Μονάδες	Τύπος
1	Συνολική Δυστένεια: $\Sigma E A = 655.244$	KN	$\Sigma E A = E_s \cdot A_s + E_b \cdot A_b$
2	Συνολική Δυστένεια ανά τρέχον μέτρο: $\Sigma E A / m = 436.829$	KN/m	$\Sigma E A = \Sigma E A / (D + L_T)$

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΩΝ ΑΓΚΥΡΩΣΕΩΝ			
α/α	Μεγέθη	Μονάδες	Τύπος
1	Αριθμός σειρών αγκυρίων = 5		
2	Αξονική απόσταση πασσάλων = 1,50	m	$L_{\pi} = D + L_T$
3	Φορτίο αγκυρίου ανά τρέχον μέτρο: $P_k = 630$	KN/m/αγκύριο	$P_k = P_{ολ} / 5$
4	Φορτίο αγκυρίου: $P_d = 850$	KN	$P_d = (P_{ολ} / 5) \cdot 1,35$
5	Αντίσταση σε εξόλκευση & θραύση τένοντα: $P_u = 1.063$	KN	$P_u = 1,25 \cdot P_d$

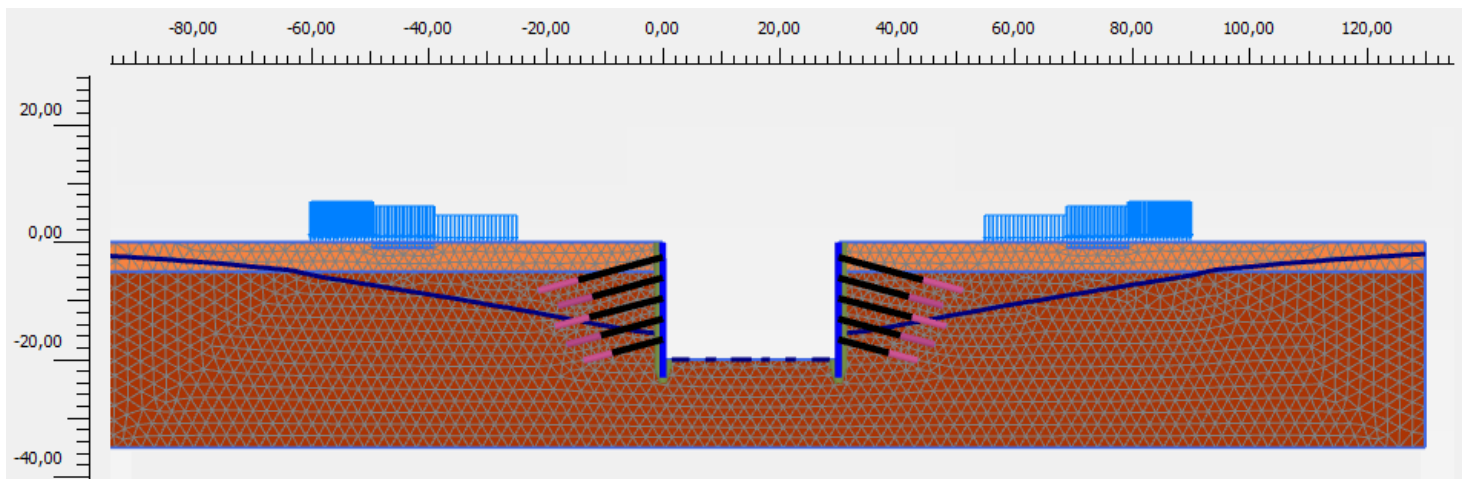
6	Τιμή σχεδιασμού εφελκυστικής αντοχής αγκυρίου: $R_{t,d} = 1.027$	KN/m^2	$R_{t,d} = n \cdot A_s \cdot f_{y,k} / \gamma_{at}$
---	---	-----------------	---

7	Τιμή σχεδιασμού αντίστασης εξόλκευσης 1ης σειράς αγκυρίων: $R_{1a,d} = 955$	KN/m^2	$R_{1a,d} = \pi \cdot d \cdot L_1 \cdot t_{gr} / \gamma_a$
8	Τιμή σχεδιασμού αντίστασης εξόλκευσης 2ης σειράς αγκυρίων: $R_{2a,d} = 955$	KN/m^2	$R_{2a,d} = \pi \cdot d \cdot L_2 \cdot t_{gr} / \gamma_a$
9	Τιμή σχεδιασμού αντίστασης εξόλκευσης 3ης σειράς αγκυρίων: $R_{3a,d} = 818$	KN/m^2	$R_{3a,d} = \pi \cdot d \cdot L_3 \cdot t_{gr} / \gamma_a$
10	Τιμή σχεδιασμού αντίστασης εξόλκευσης 4ης σειράς αγκυρίων: $R_{4a,d} = 818$	KN/m^5	$R_{4a,d} = \pi \cdot d \cdot L_4 \cdot t_{gr} / \gamma_a$
11	Τιμή σχεδιασμού αντίστασης εξόλκευσης 5ης σειράς αγκυρίων: $R_{5a,d} = 818$	KN/m^6	$R_{5a,d} = \pi \cdot d \cdot L_5 \cdot t_{gr} / \gamma_a$

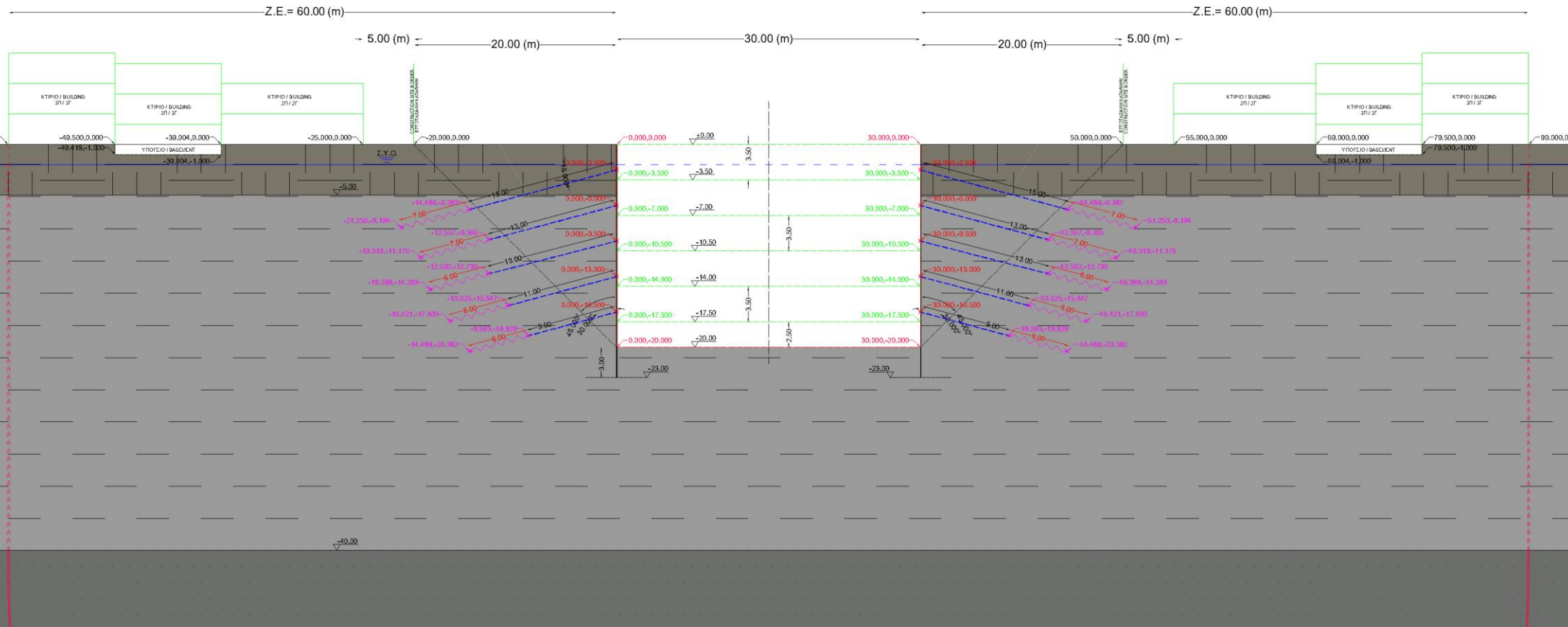
ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΩΝ ΑΓΚΥΡΩΣΕΩΝ									
Σειρά Αγκυριών	Στάθμη (m)	Κλίση (°)	Αριθμός Τενόντων Κλώνι	Φορτίο ανά Αγκύριο (KN)	Συνολικό Μήκος (m)	Πακτωμένο Μήκος (m)	$R_{a,d}$ (KN)	$R_{t,d}$ (KN)	
1η	-2,50	15	5	850	22,00	7,00	955	1.027	
2η	-6,00	15	5	850	20,00	7,00	955	1.027	
3η	-9,50	15	5	850	19,00	6,00	818	1.027	
4η	-13,00	15	5	850	17,00	6,00	818	1.027	
5η	-16,50	15	5	850	15,00	6,00	818	1.027	



Εικόνα 3.6 - Διαστασιολόγηση αγκυριών αντιστήριξης σταθμού.

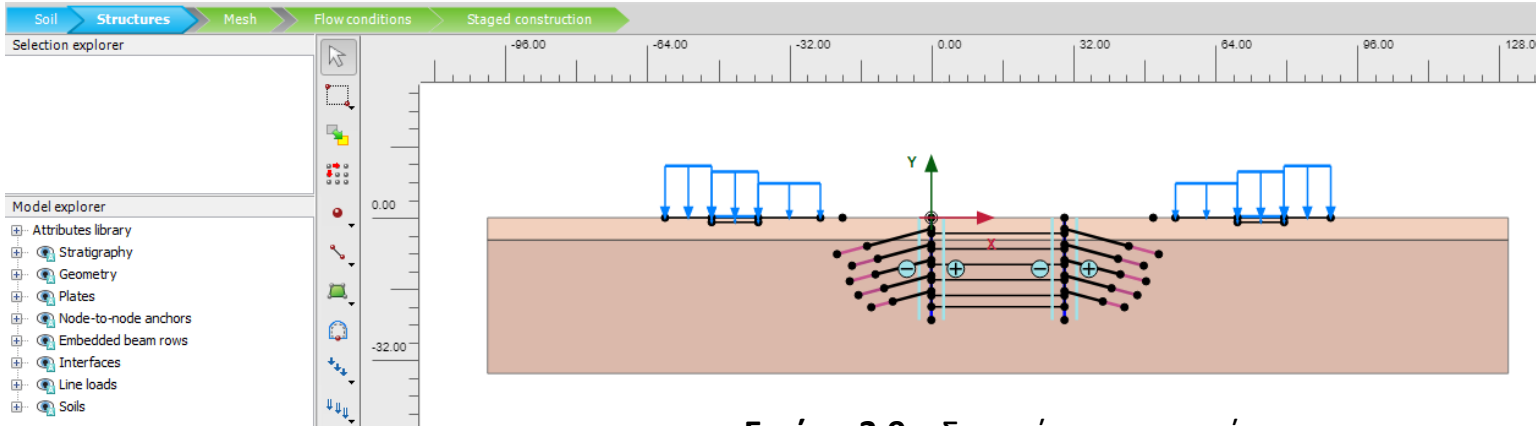


Εικόνα 3.7 – Τελική φάση εκσκαφής, στερεοποίησης και προσωρινής αντιστήριξης σταθμού.



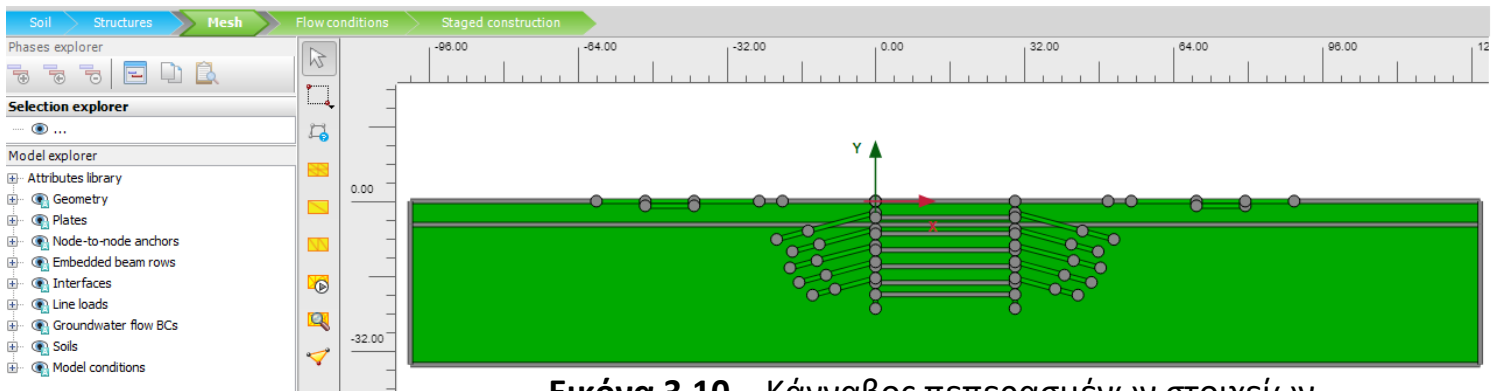
Εικόνα 3.8 - Ευρύτερη διαστασιολόγηση εκσκαφής & προσωρινής αντιστήριξης εντός της ζώνης επιρροής σταθμού.

- Έτσι λοιπόν, αφού έχει προσδιοριστεί με σαφήνεια τόσο η γεωμετρία του μοντέλου, όσο και οι ιδιότητες των στοιχείων που το συνθέτουν, ακολουθεί η μεταξύ τους αντιστοίχιση.

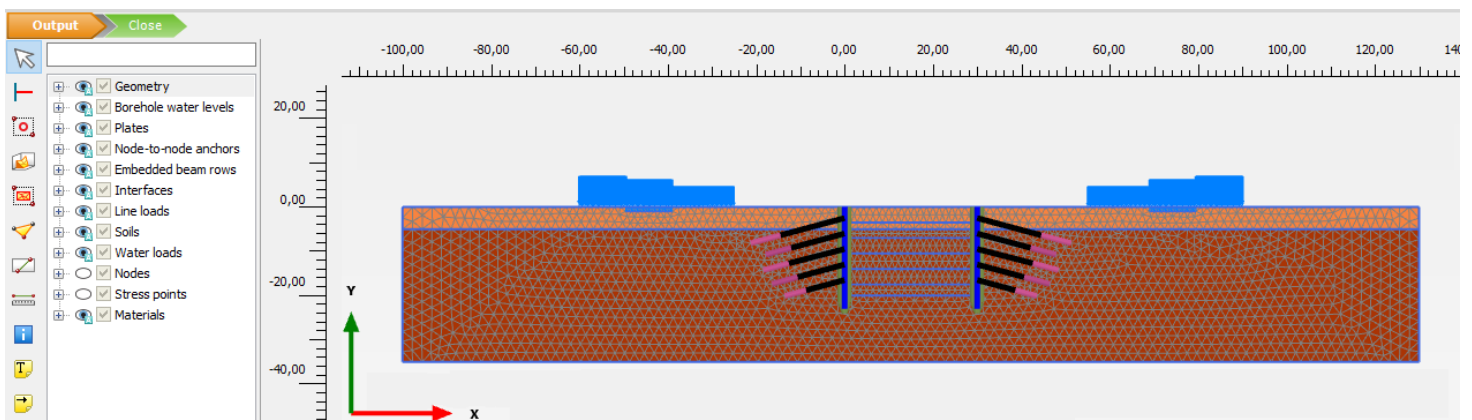


Εικόνα 3.9 – Στοιχεία κατασκευής

- Ακολουθεί η διακριτοποίηση του μοντέλου σε πολύ πυκνό με μεγάλη λεπτομέρεια κάρναβο πεπερασμένων στοιχείων. Σε αυτήν την ενότητα επιτυγχάνεται η κατά το δυνατόν ακριβέστερη προσομοίωση για να λάβει χώρα η δισδιάστατη ανάλυση. Διαδικασία όπου απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ και χρόνο για τα στάδια επίλυσης που θα προκύψουν από την επιλογή της ποιότητας του καννάβου των πεπερασμένων στοιχείων.

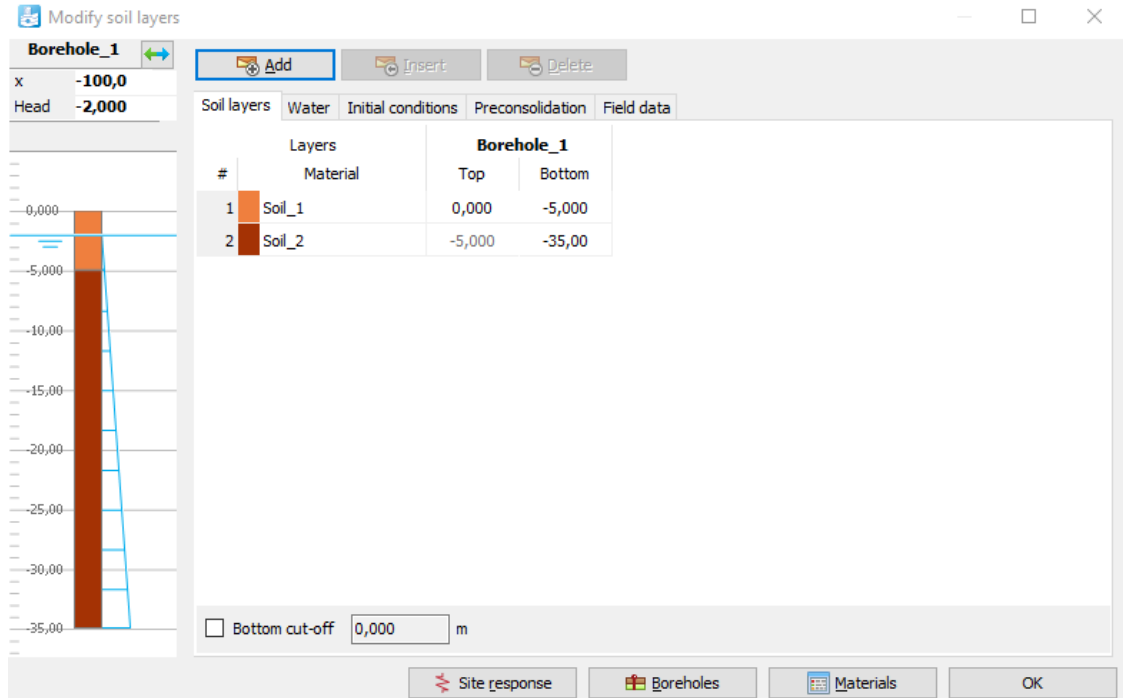


Εικόνα 3.10 – Κάρναβος πεπερασμένων στοιχείων

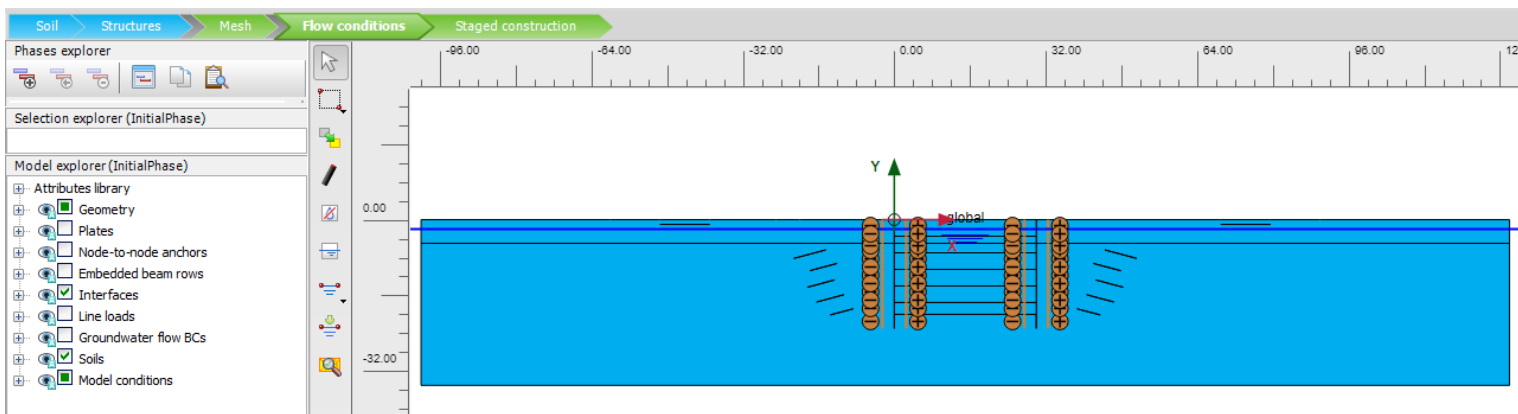


Εικόνα 3.11 – Παρουσίαση διακριτοποιημένου καννάβου

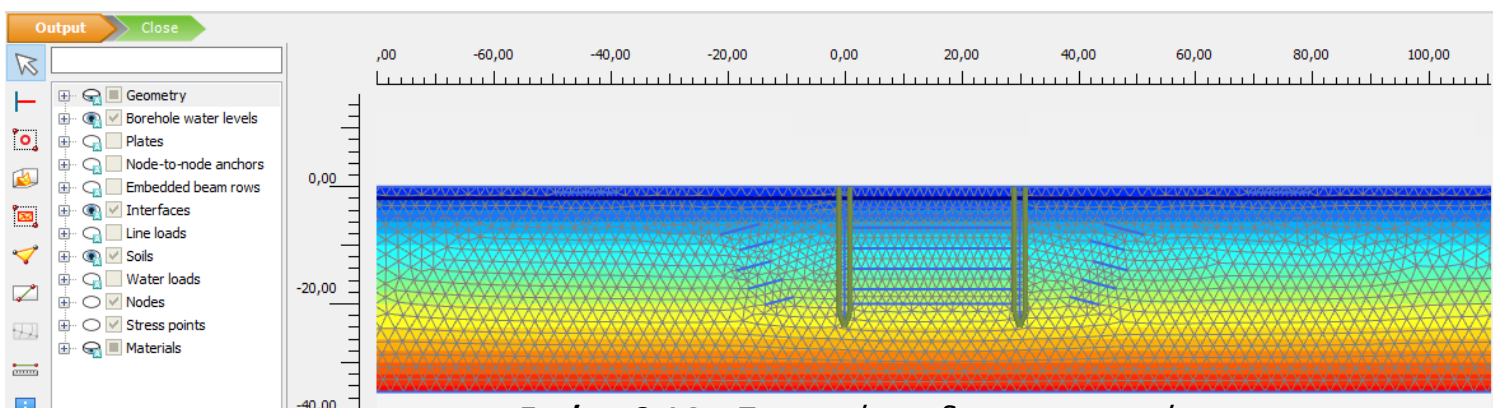
- Σειρά έχει η ενότητα των υδρογεωλογικών συνθηκών, με την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα να απαντάται στα 2m βάθος από την φυσική επιφάνεια του εδάφους.



Εικόνα 3.12 – Στοιχεία γεώτρησης και στάθμη υδροφόρου ορίζοντα



Εικόνα 3.13 – Υδρογεωλογικές συνθήκες

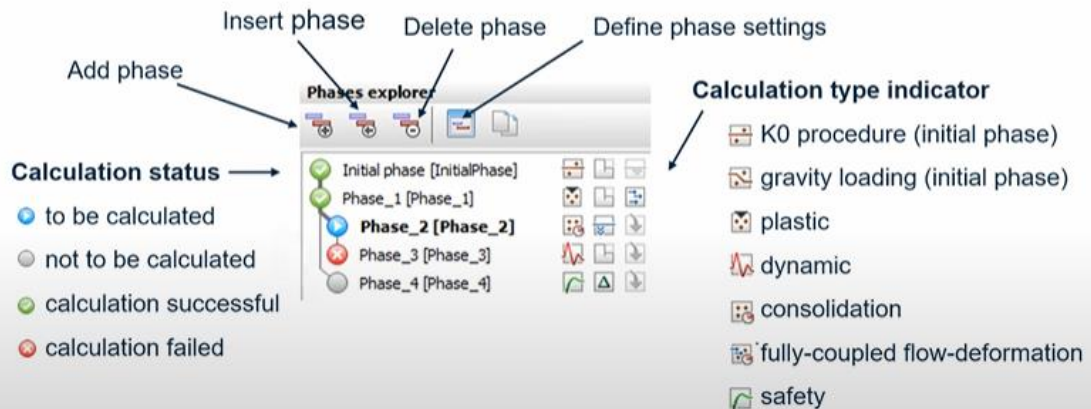


Εικόνα 3.14 – Παρουσίαση διακριτοποιημένου
καννάβου κορεσμένου εδαφικού προσομοιώματος

- Στην τελευταία ενότητα, καθορίζονται τα στάδια επίλυσης των φάσεων της κατασκευής. Έτσι το πρόγραμμα αναλύει κάθε φάση ξεχωριστά, όπου κάθε επόμενη χρησιμοποιεί τα αποτελέσματα των υπολογισμών της προηγούμενης φάσης επίλυσης.

Calculation definition - Phase explorer

- For creating and editing the calculation phases

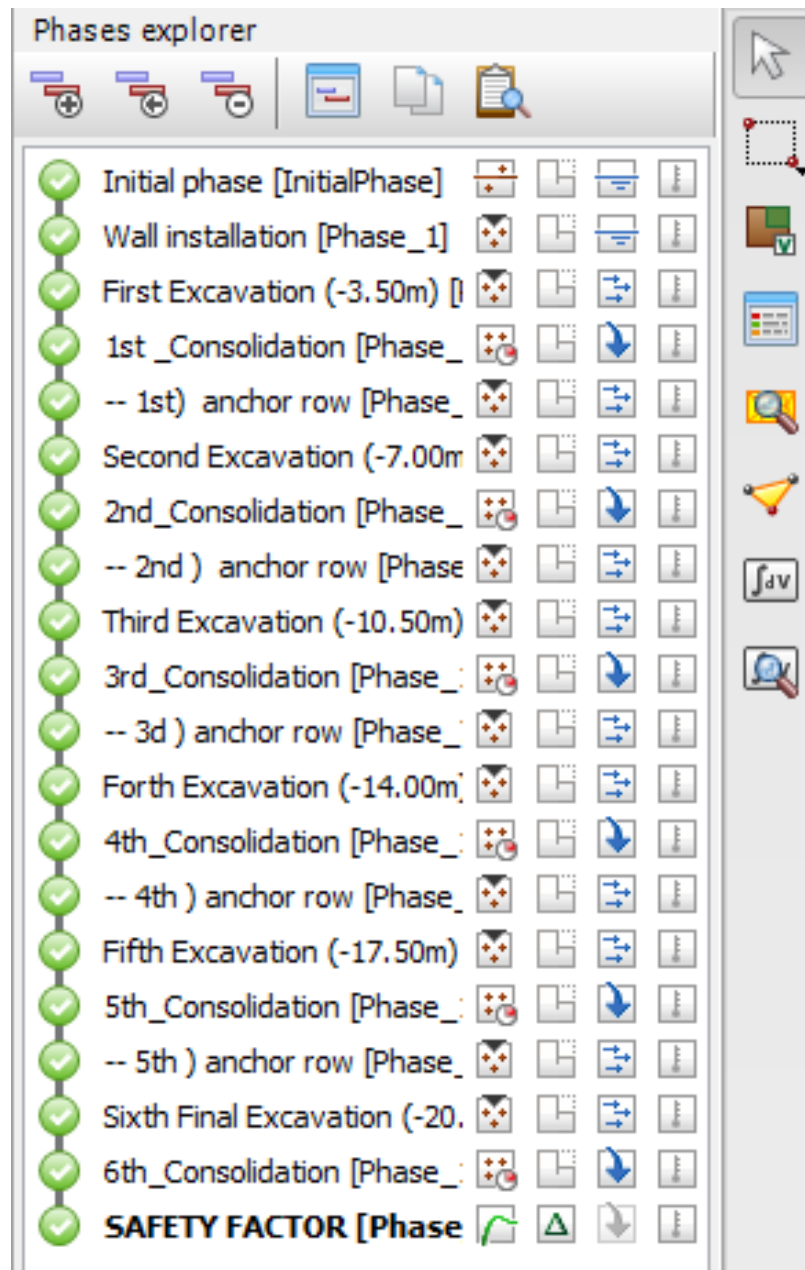


Εικόνα 3.15 – Σύμβολα φάσεων επίλυσης προσομοιώματος (PLAXIS Geotechnical Analysis, Bentley)

Ο τύπος υπολογισμού κάθε φάσης επιλέγεται να είναι η πλαστική ανάλυση (Plastic). Το τελευταίο μόνο στάδιο υπολογισμών διαφοροποιείται, όπου γίνεται επιλογή ανάλυσης ασφαλείας (Safety).

Η αλληλουχία των φάσεων της κατασκευαστικής ακολουθίας του έργου ξεκινά με την ενεργοποίηση των επιφανειακών φορτίων και των στοιχείων δοκού με τα οποία προσομοιώνεται ο πασσαλότοιχος. Σε αυτό το στάδιο θα αγνοηθούν οι μέχρι στιγμής μετακινήσεις, καθώς δεν αφορούν τους υπολογισμούς των αναλύσεων της εκσκαφής που θα επακολουθήσουν. Έτσι λοιπόν, αφαιρούνται τα στοιχεία του εδαφικού σχηματισμού της 1^{ης} φάσης εκσκαφής. Ακολουθεί η πρώτη φάση στερεοποίησης και μετά το τέλος αυτής ενεργοποιείται η 1^η σειρά αγκυρίων τα οποία θα προενταθούν. Με την ίδια ακριβώς σειρά, πραγματοποιούνται οι φάσεις μέχρι και την 5^η σειρά αγκυρίων. Ακολουθεί η 6^η τελική εκσκαφή που αποτελεί και τον πυθμένα του σκάμματος στην οποία δεν πραγματοποιείται αγκύρωση, αλλά γίνεται ενεργοποίηση της φάσης στερεοποίησης. Τέλος, διενεργείται ανάλυση του συντελεστή ασφαλείας σε ευστάθεια πρανούς.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι φάσεις της κατασκευαστικής ακολουθίας, έτσι όπως ελήφθησαν υπόψη στην αριθμητική προσομοίωση του έργου με τον κώδικα πεπερασμένων στοιχείων PLAXIS 2D έκδοση 21.01.



Εικόνα 3.16 - Φάσεις επίλυσης δισδιάστατου μοντέλου

Έτσι ολοκληρώνεται η κατάστρωση του δισδιάστατου μοντέλου, προκειμένου να εκκινήσει η διαδικασία των υπολογισμών της επίλυσης από το λογισμικό.



4. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ

Κατά τον προκαταρκτικό σχεδιασμό του συστήματος προσωρινής αντιστήριξης της εκσκαφής σταθμού Μετρό, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη περιοριστικές τιμές, έτσι λοιπόν προκύπτει παρακάτω ο πίνακας:

ΠΕΡΙΟΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ	
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΤΙΜΗ
Μέγιστη καθίζηση στην επιφάνεια	2,60 (cm)
Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση τοίχου αντιστήριξης	4,00 (cm)
Συντελεστής ασφαλείας σε ευστάθεια πρανούς	1,40

Όρια επιφυλακής και συναγερμού

Στην διάρκεια κατασκευής του έργου υπάρχει συμβατική υποχρέωση να πραγματοποιούνται μετρήσεις και να καταγράφονται από το τμήμα Γεωμηχανικής και Δομητικής Παρακολούθησης (ΓΔΠ). Τα αποτελέσματα της ενόργανης παρακολούθησης θα αξιολογούνται, προκειμένου να προλαμβάνονται αστοχίες μέσα από την εφαρμογή άμεσων μέτρων όταν αυτά απαιτούνται. Γνώμονας είναι η ασφάλεια του ίδιου του έργου, των υφιστάμενων κτιρίων εντός της ζώνης επιρροής, καθώς και όλων των εργαζομένων.

Μέτρα αντιμετώπισης έκτακτων καταστάσεων

Όταν το τμήμα της ΓΔΠ επιβεβαιώνει μέσα από τις πραγματοποιούμενες μετρήσεις πως δεν ικανοποιούνται οι περιοριστικές τιμές και τείνουν οριακά ή ξεπερνούν τα όρια επιφυλακής και συναγερμού, τότε ενεργοποιούνται μέτρα αντιμετώπισης έκτακτων καταστάσεων, τα οποία ενδεικτικά παρουσιάζονται παρακάτω:

- Μείωση του βήματος εκσκαφής
- Αύξηση σειρών αγκυρώσεων ή αντηρίδων
- Αύξηση μήκους αγκυρίων
- Αύξηση κλώνων αγκυρίων
- Μεγαλύτερα διαστήματα στερεοποίησης μεταξύ διαδοχικών εκσκαφών



5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1 Αρχική προκαταρκτική επίλυση

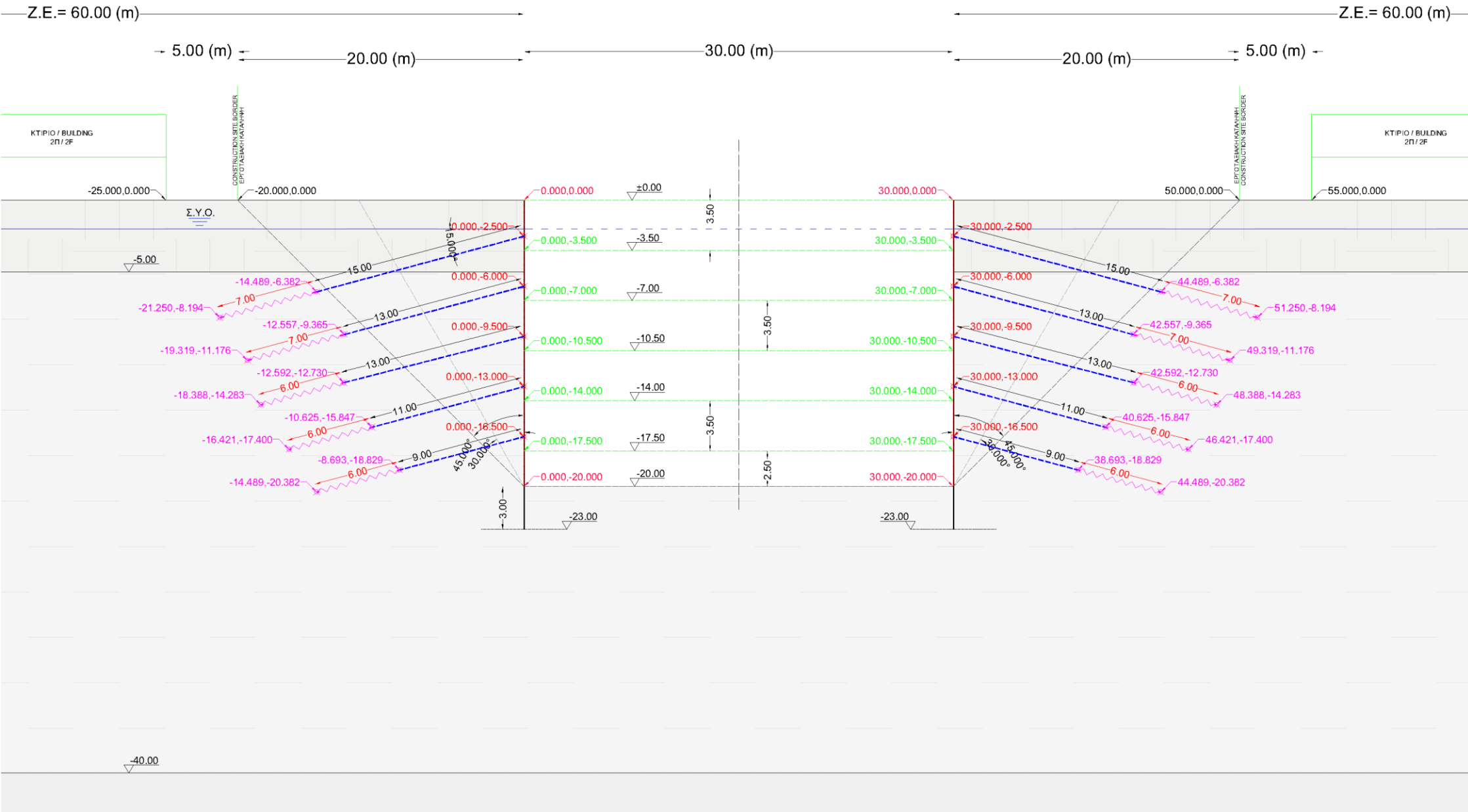
Γεωμετρικό προσομοίωμα

Αρχικά επισυνάπτεται το γεωμετρικό προσομοίωμα, έτσι όπως προσδιορίστηκε μέσω του προγράμματος AUTOCAD 2022 της AUTODESK. Παρουσιάζονται με ακρίβεια οι συντεταγμένες των στοιχείων του συστήματος αντιστήριξης, προκειμένου να εισαχθούν στην ενότητα 2 – ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ του προγράμματος PLAXIS 2D έκδοση 21.01.

Έγινε επιλογή πέντε σειρών προεντεταμένων αγκυριών με 5 κλώνους έκαστος όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί:

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΩΝ ΑΓΚΥΡΩΣΕΩΝ								
Σειρά Αγκυριών	Στάθμη (m)	Κλίση (°)	Αριθμός Τενόντων Κλώνοι	Φορτίο ανά Αγκύριο (KN)	Συνολικό Μήκος (m)	Πακτωμένο Μήκος (m)	R _{a,d} (KN)	R _{t,d} (KN)
1η	-2,50	15	5	850	22,00	7,00	955	1.027
2η	-6,00	15	5	850	20,00	7,00	955	1.027
3η	-9,50	15	5	850	19,00	6,00	818	1.027
4η	-13,00	15	5	850	17,00	6,00	818	1.027
5η	-16,50	15	5	850	15,00	6,00	818	1.027

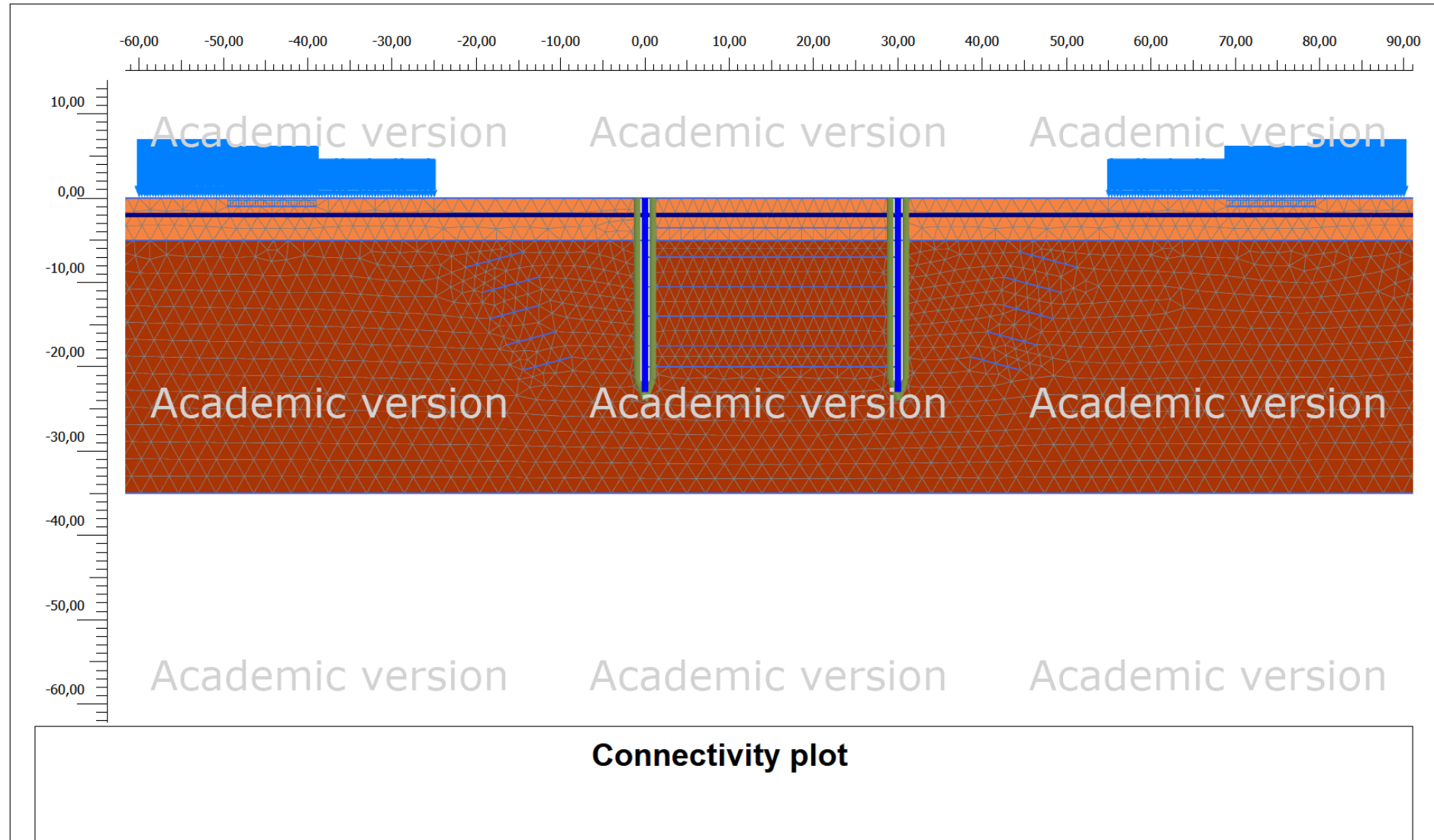
Έγινε επιλογή καννάβου πεπερασμένων στοιχείων με διαστάσεις 230m x 40m (x,y) με σκοπό να παραμείνει ανεπηρέαστη η περιοχή της εκσκαφής από τα όρια του προσομοιώματος. Παρακάτω φαίνονται οι θέσεις των πασσαλοτοιχών αντιστήριξης, οι στάθμες των αγκυριών, οι στάθμες των ενδιάμεσων εκσκαφών οι οποίες αποτελούν και τις φάσεις της κατασκευής του μοντέλου το οποίο πρόκειται να επιλυθεί. Δύο μέτρα κάτω από την φυσική επιφάνεια εδάφους, απαντάται η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Τέλος, τα επιφανειακά φορτία των υφιστάμενων κτιριακών κατασκευών, επισημαίνονται με χαρακτηριστικό μπλε χρώμα.



Εικόνα 5.1 - Διαστασιολόγηση αγκυρίων αντιστήριξης σταθμού
προκαταρκτικής επίλυσης



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.1]

Date

2/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντι ...

Step

325

Company

National Technical University of Athens



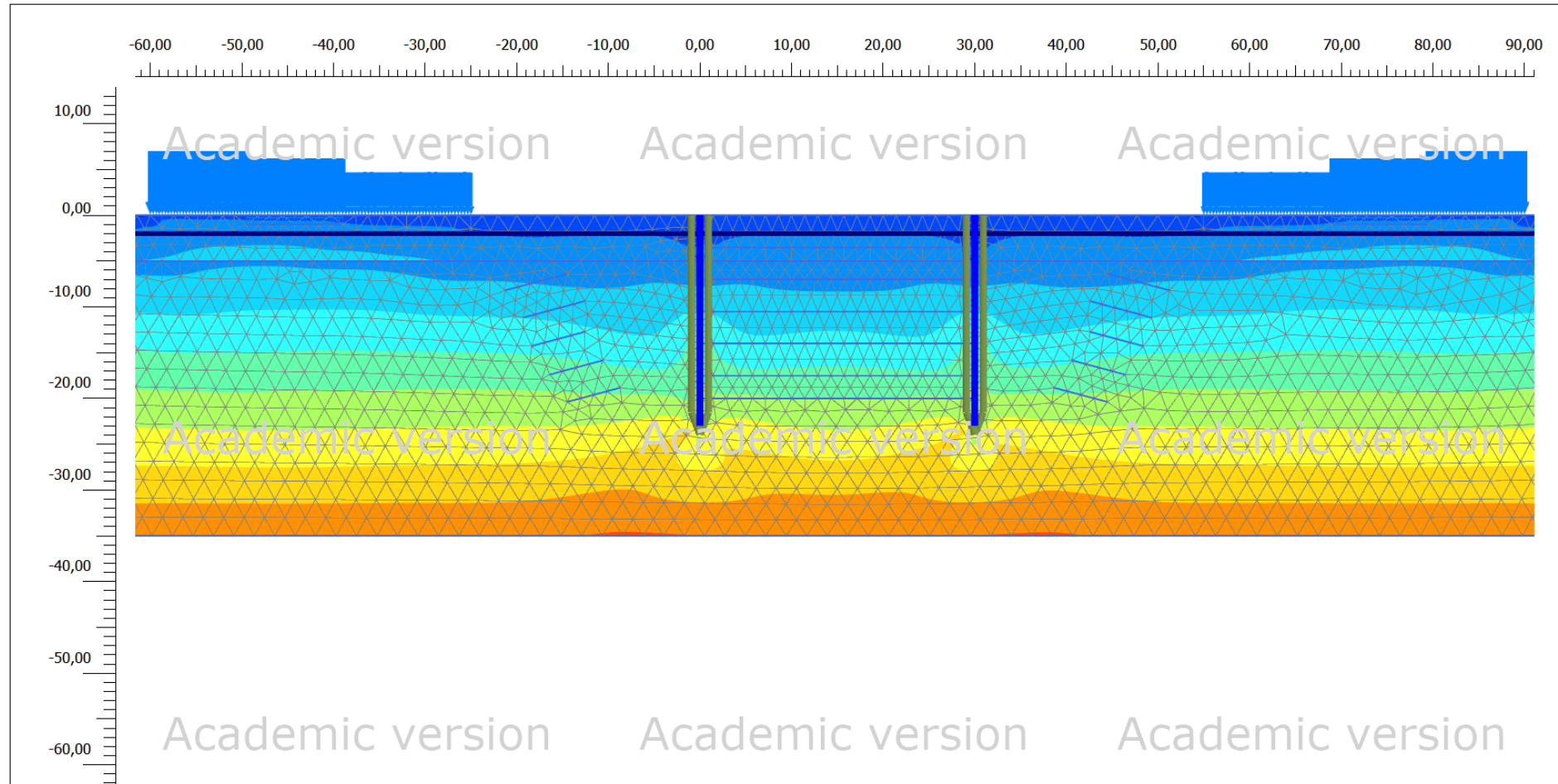
The screenshot shows the 'Phases' dialog box in a software application. The left pane lists 14 phases, with the last one, 'SAFETY FACTOR [Phase_14]', selected. The center pane displays a table of parameters for the selected phase, organized into three sections: General, Deformation control parameters, and Numerical control parameters. The right pane contains a 'Log info for last calculation' section with 'OK' and a 'Comments' section with an empty text box. An 'OK' button is located at the bottom right of the dialog.

Name	Value
General	
ID	SAFETY FACTOR [Phase_14]
Start from phase	6th_Consolidation
Calculation type	Safety
Loading type	Incremental multipliers
M _{sf}	
Pore pressure calculation type	Use pressures from previous
Thermal calculation type	Ignore temperature
First step	
Last step	
Design approach	(None)
Special option	
Deformation control parameters	
Ignore undr. behaviour (A,B)	<input type="checkbox"/>
Reset displacements to zero	<input type="checkbox"/>
Reset small strain	<input type="checkbox"/>
Reset state variables	<input type="checkbox"/>
Updated mesh	<input type="checkbox"/>
Updated water pressure	<input type="checkbox"/>
Ignore suction	<input checked="" type="checkbox"/>
Cavitation cut-off	<input type="checkbox"/>
Cavitation stress	
Numerical control parameters	
Max cores to use	
Max number of steps stored	
Use compression for result files	<input type="checkbox"/>
Use default iter parameters	<input checked="" type="checkbox"/>
Max steps	
Tolerated error	

Εικόνα 5.2 - Φάσεις προκαταρκτικής επίλυσης δισδιάστατου μοντέλου



Output Version 21.1.0.479



Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up 0,0500 times)

Maximum value = 5,450 kN/m² (Element 330 at Node 3798)

Minimum value = -212,8 kN/m² (Element 4086 at Node 22387)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.1]

Date

2/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντι ...

Step

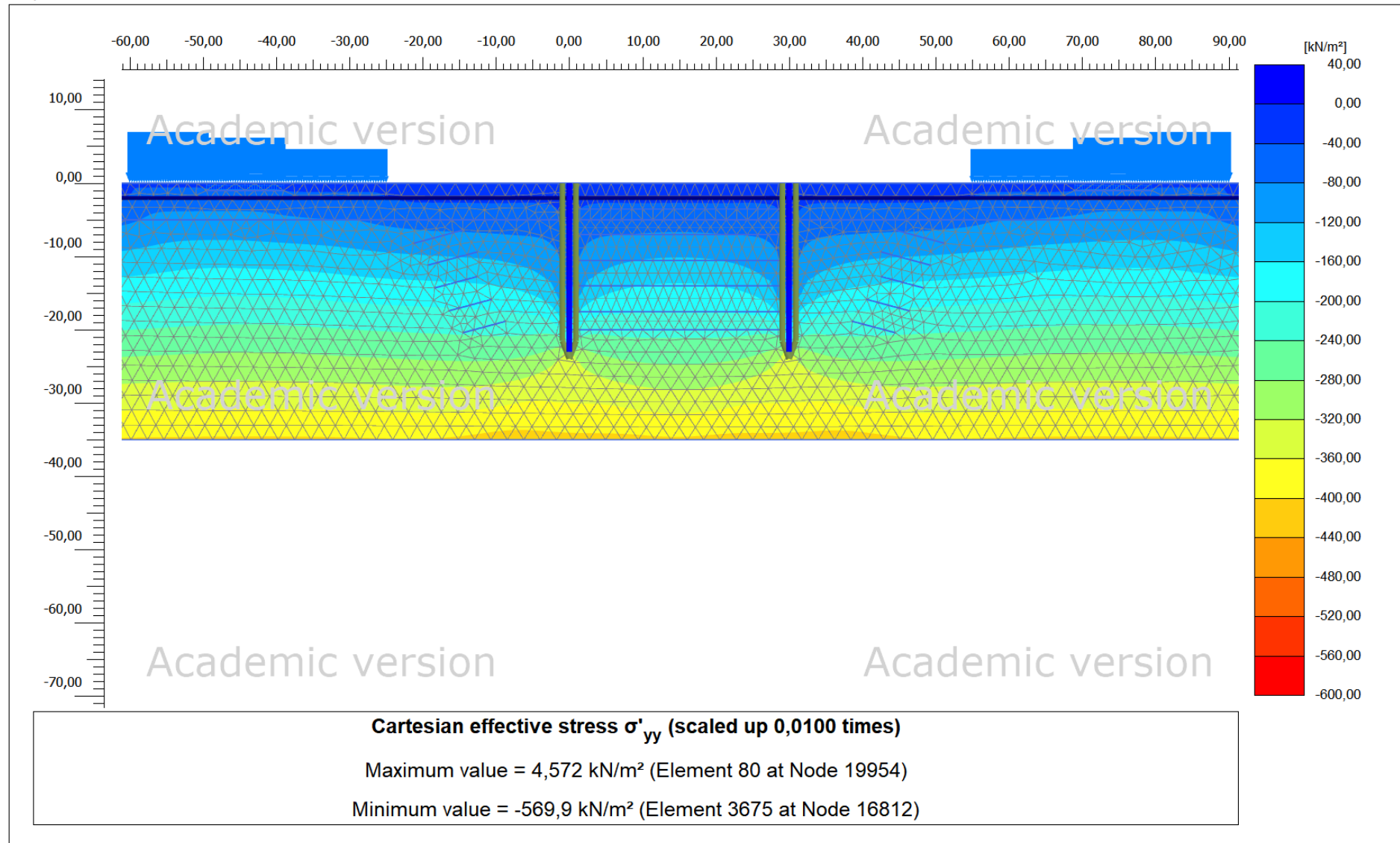
325

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.1]

Date

2/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντι ...

Step

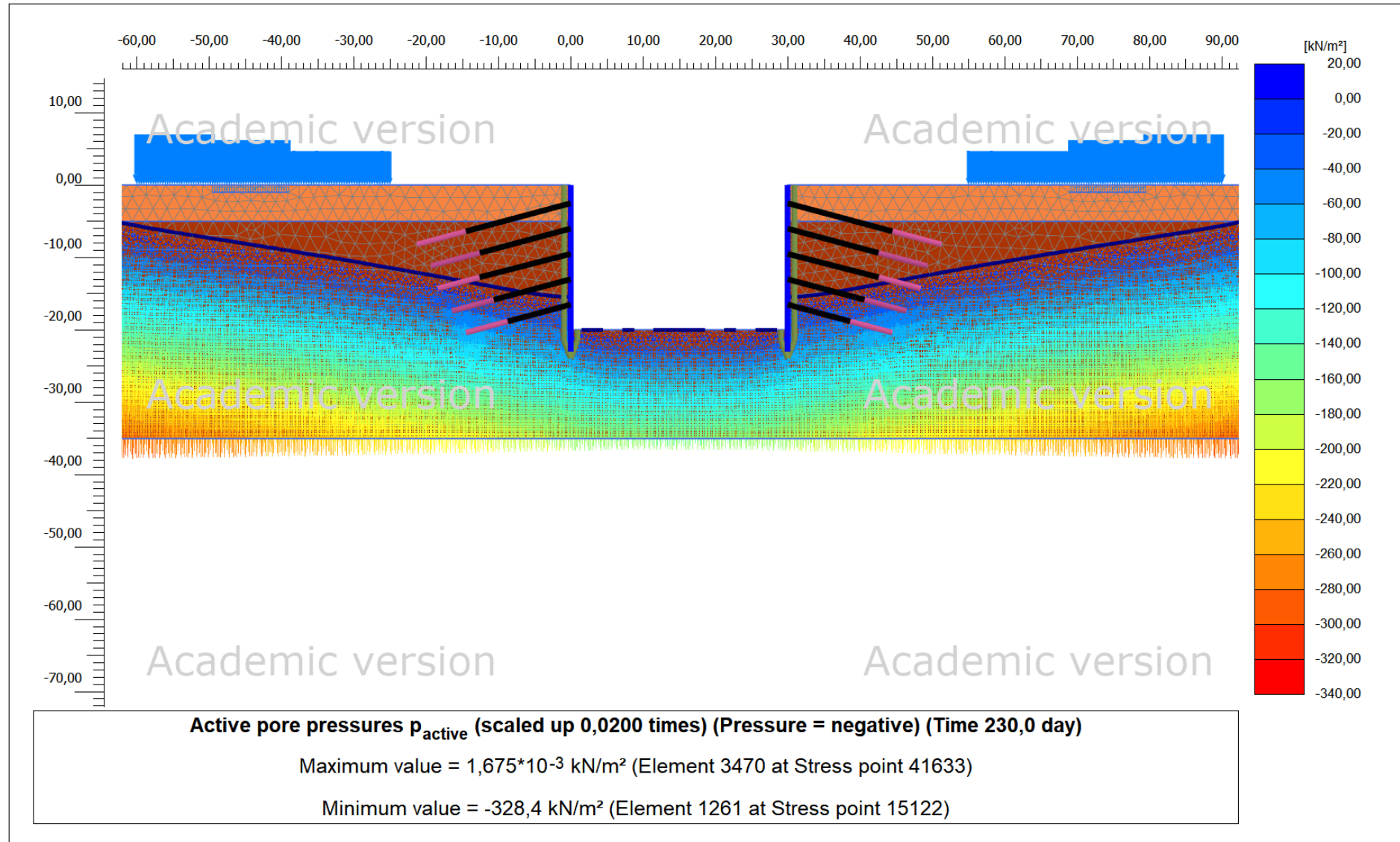
325

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.1]

Date

2/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντι ...

Step

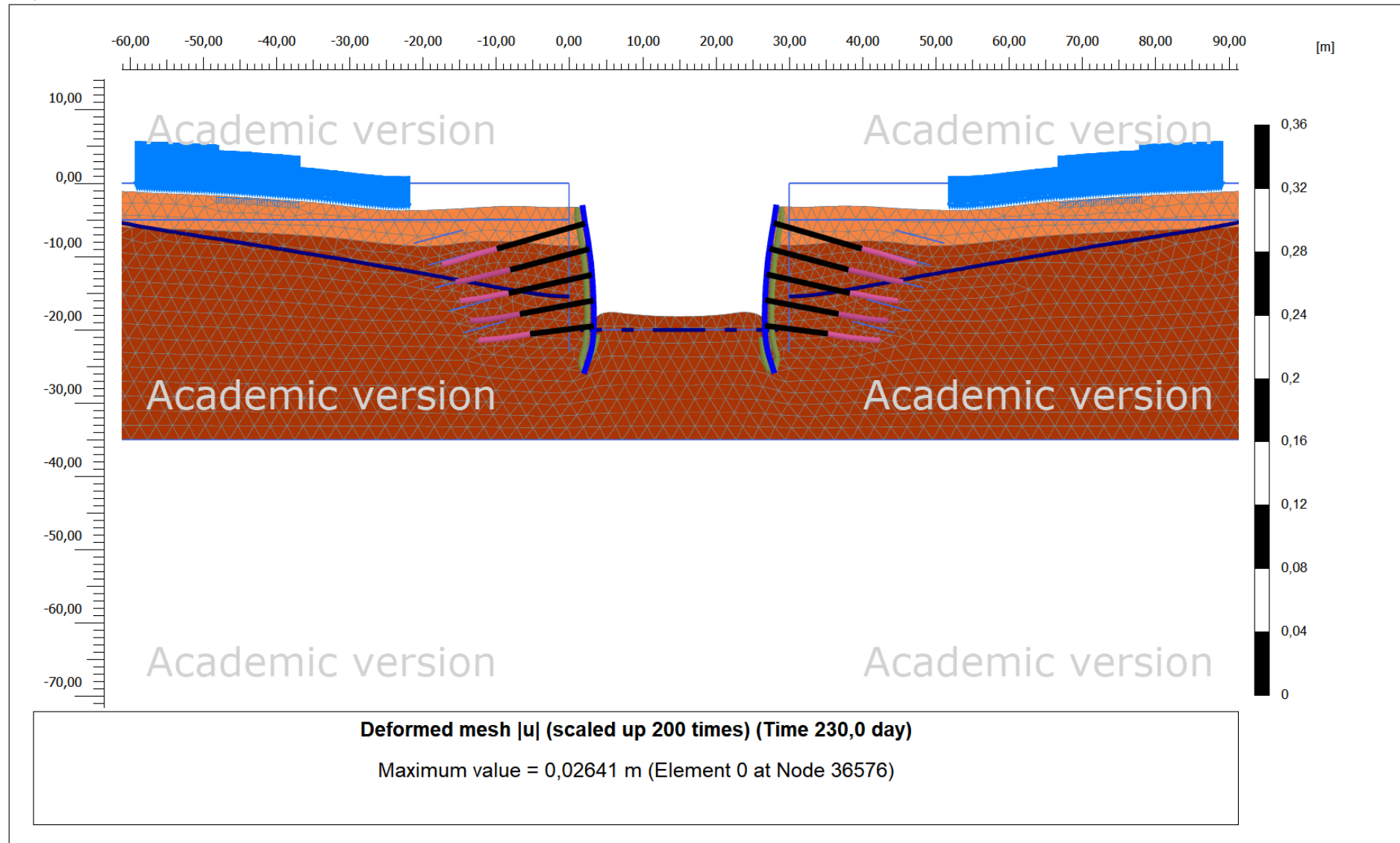
476

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.1]

Date

2/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντι ...

Step

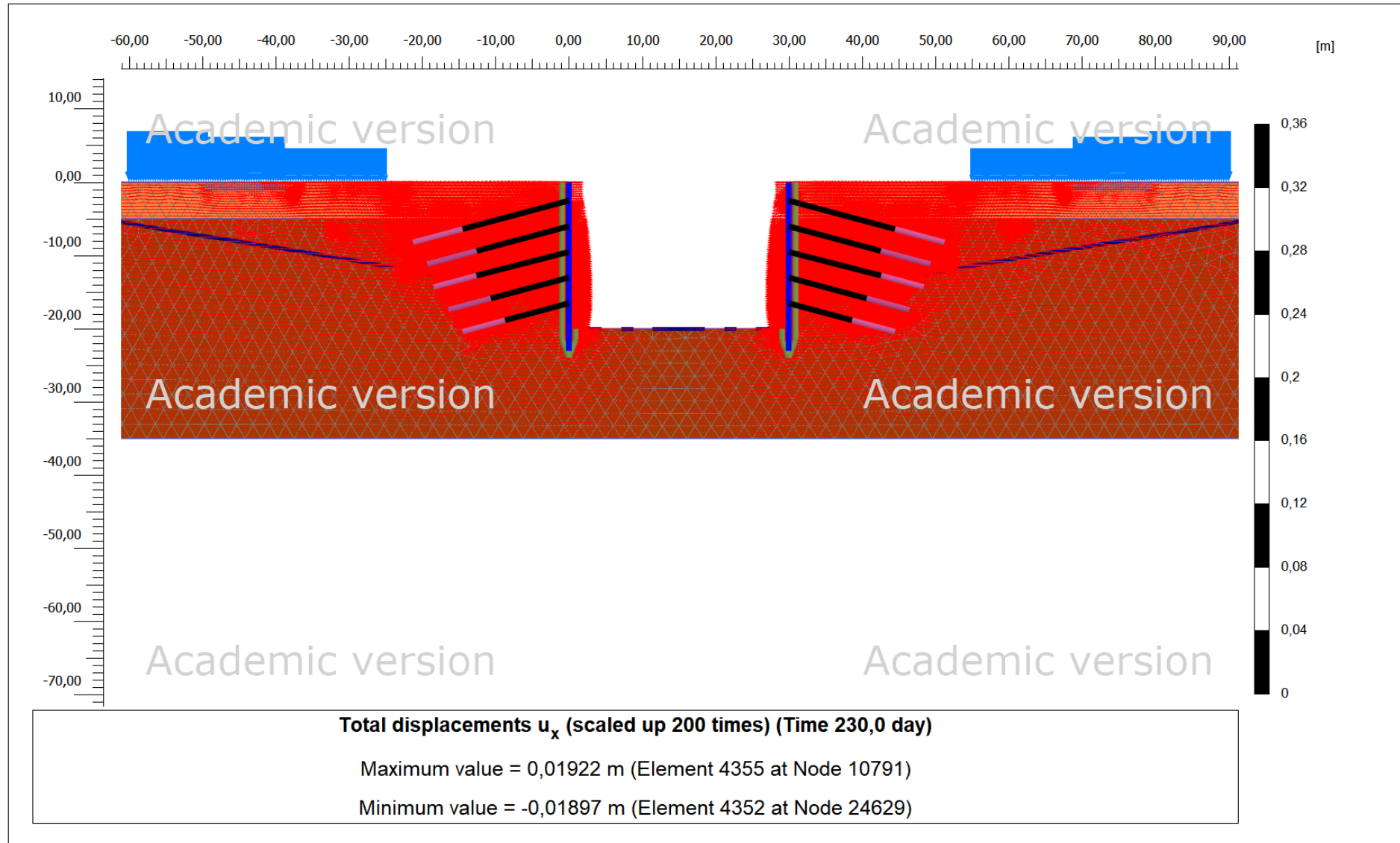
476

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.1]

Date

2/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντι ...

Step

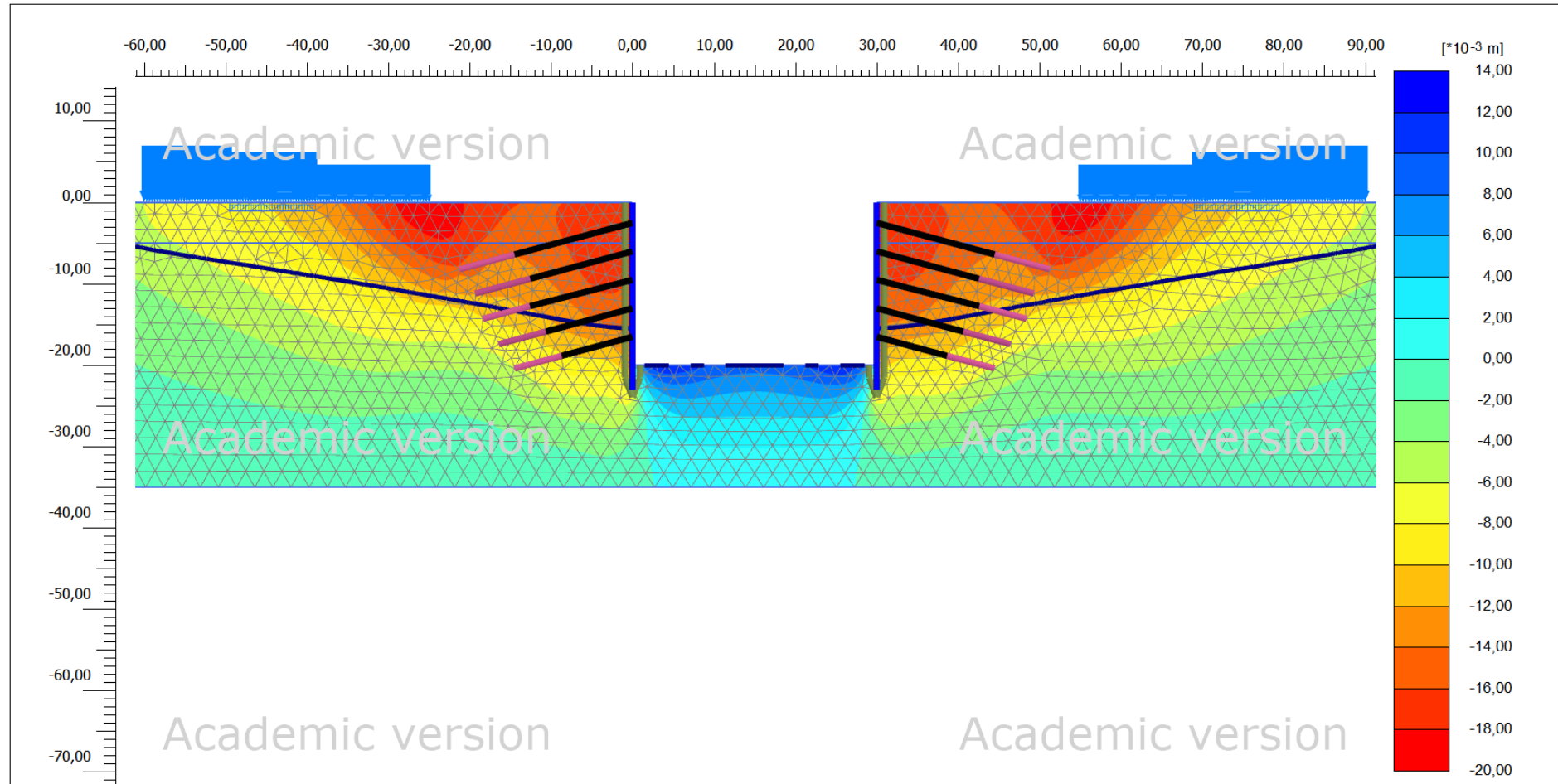
476

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



Total displacements u_y (scaled up 200 times) (Time 230,0 day)

Maximum value = 0,01208 m (Element 4262 at Node 21276)

Minimum value = -0,01866 m (Element 323 at Node 8435)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.1]

Date

2/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντι ...

Step

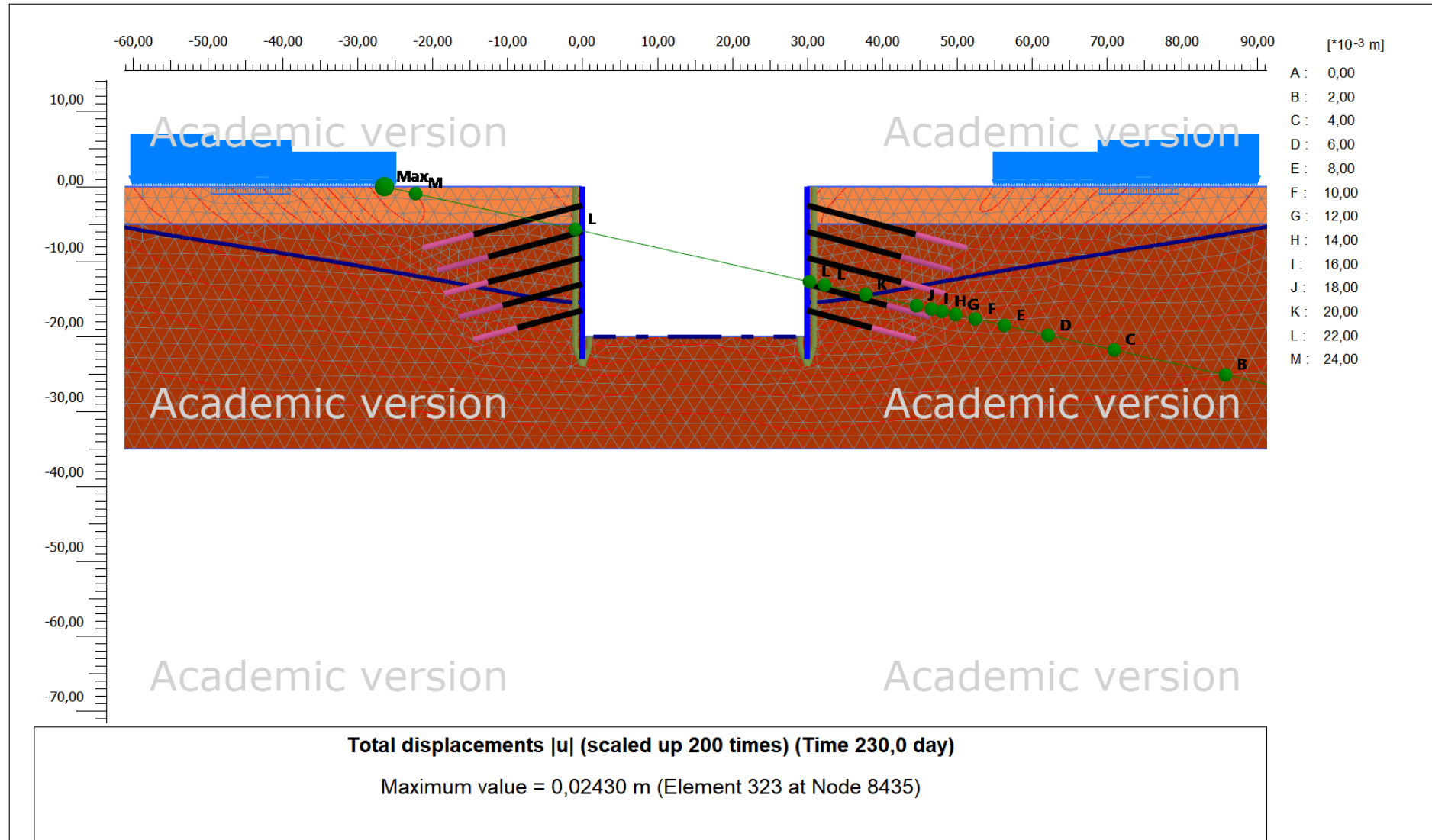
476

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
 CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.1]

Date

2/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντι ...

Step

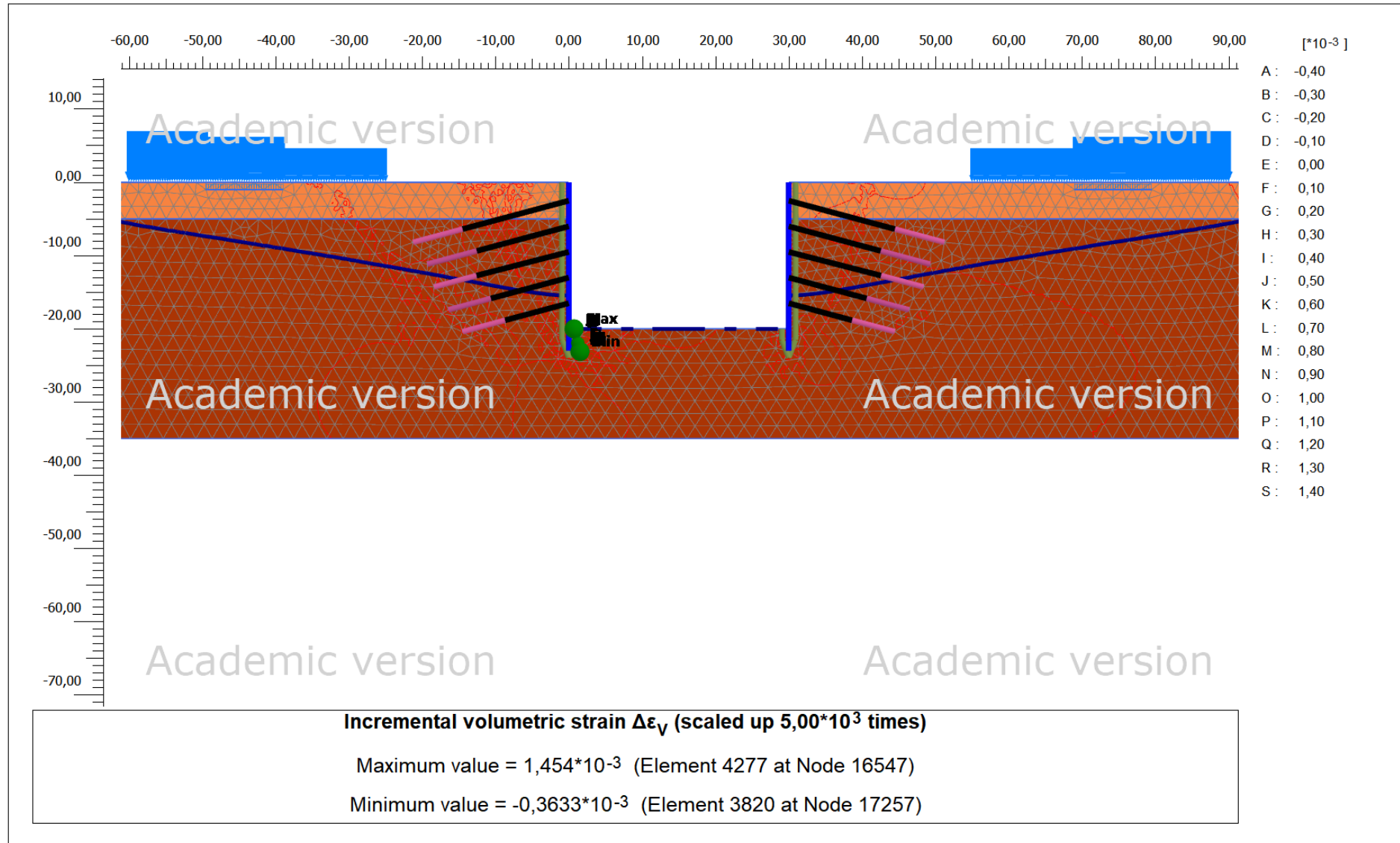
476

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.1]

Date

2/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντι ...

Step

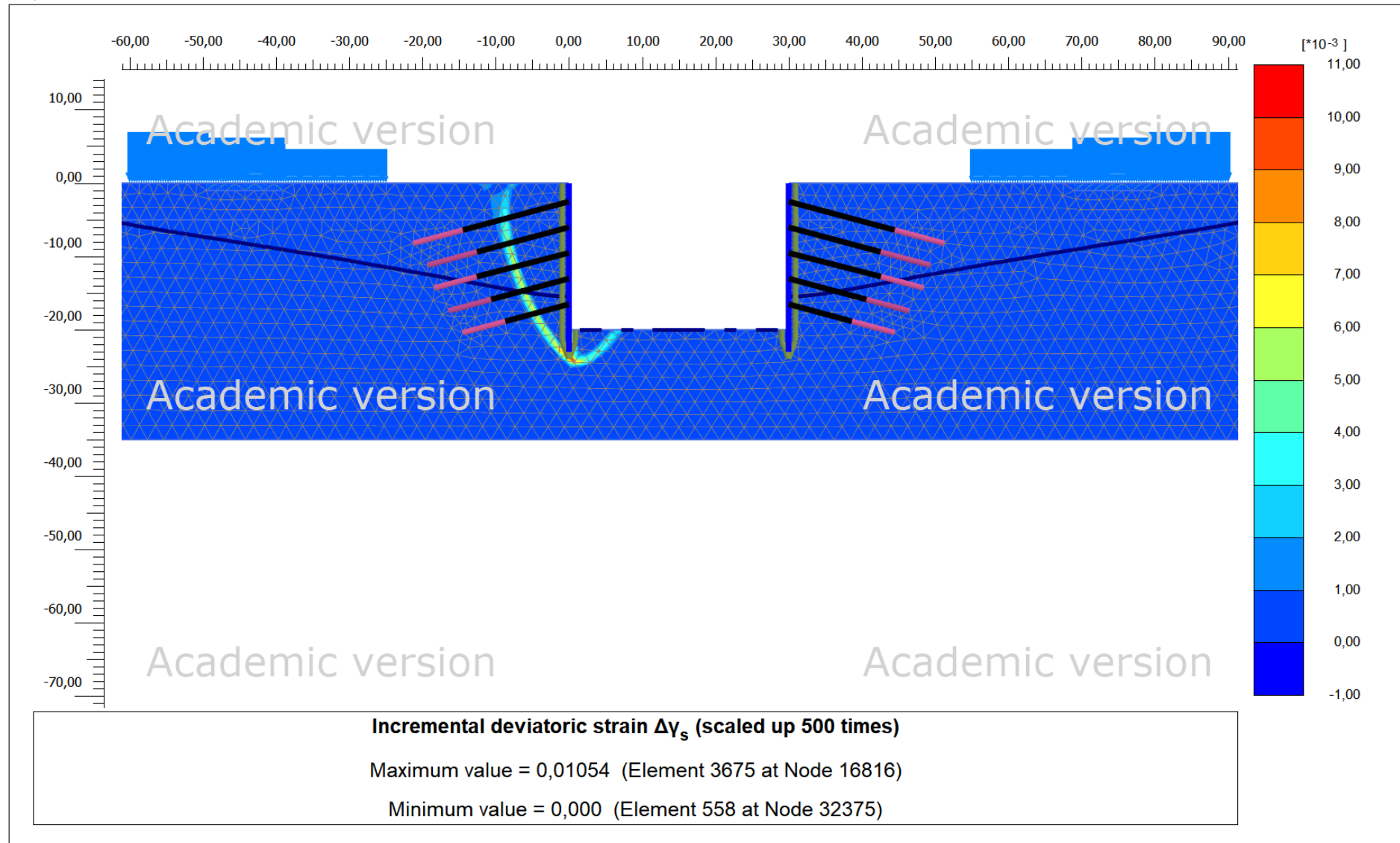
576

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.1]

Date

2/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντι ...

Step

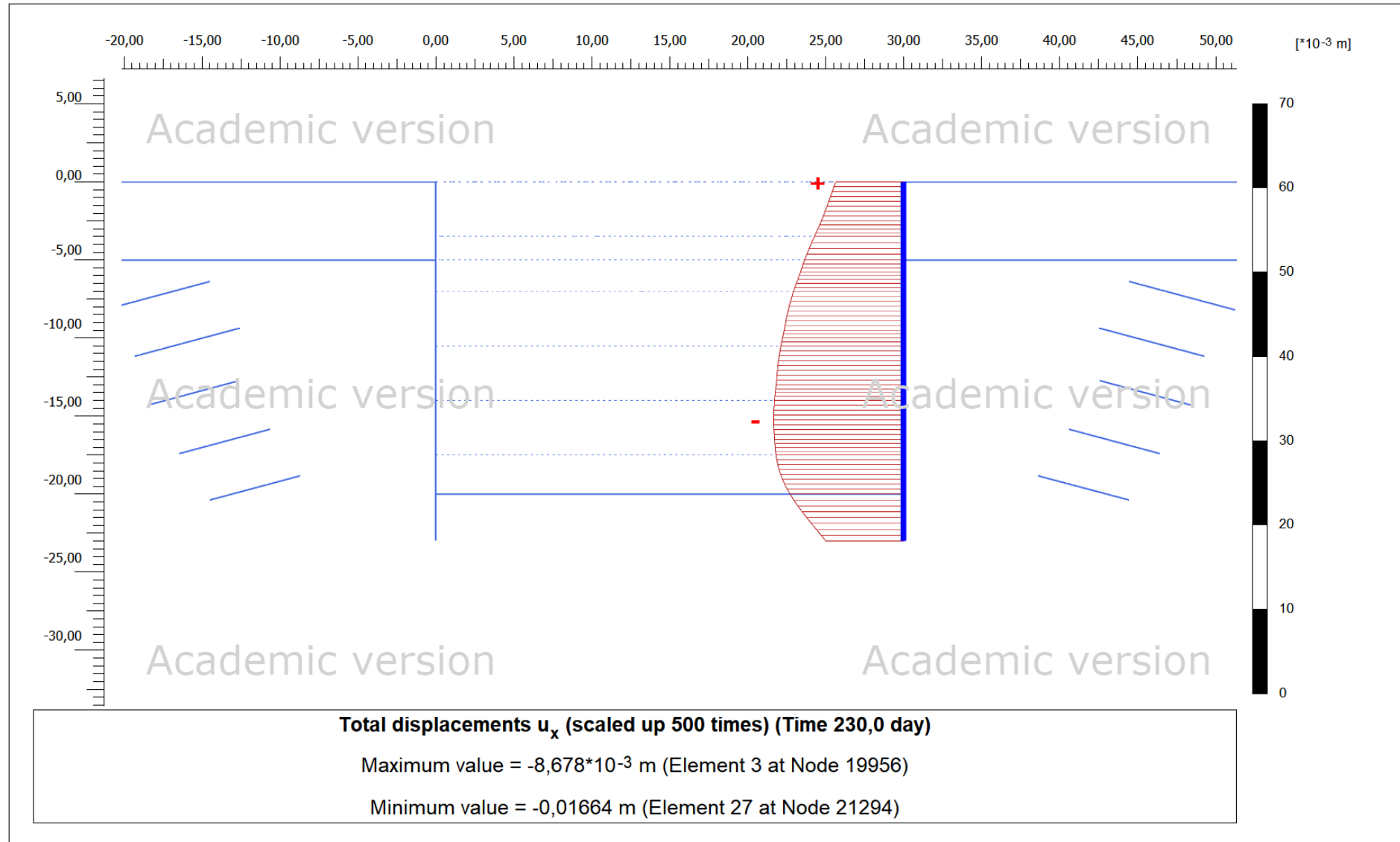
576

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS[®] 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.1]

Date

2/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντι ...

Step

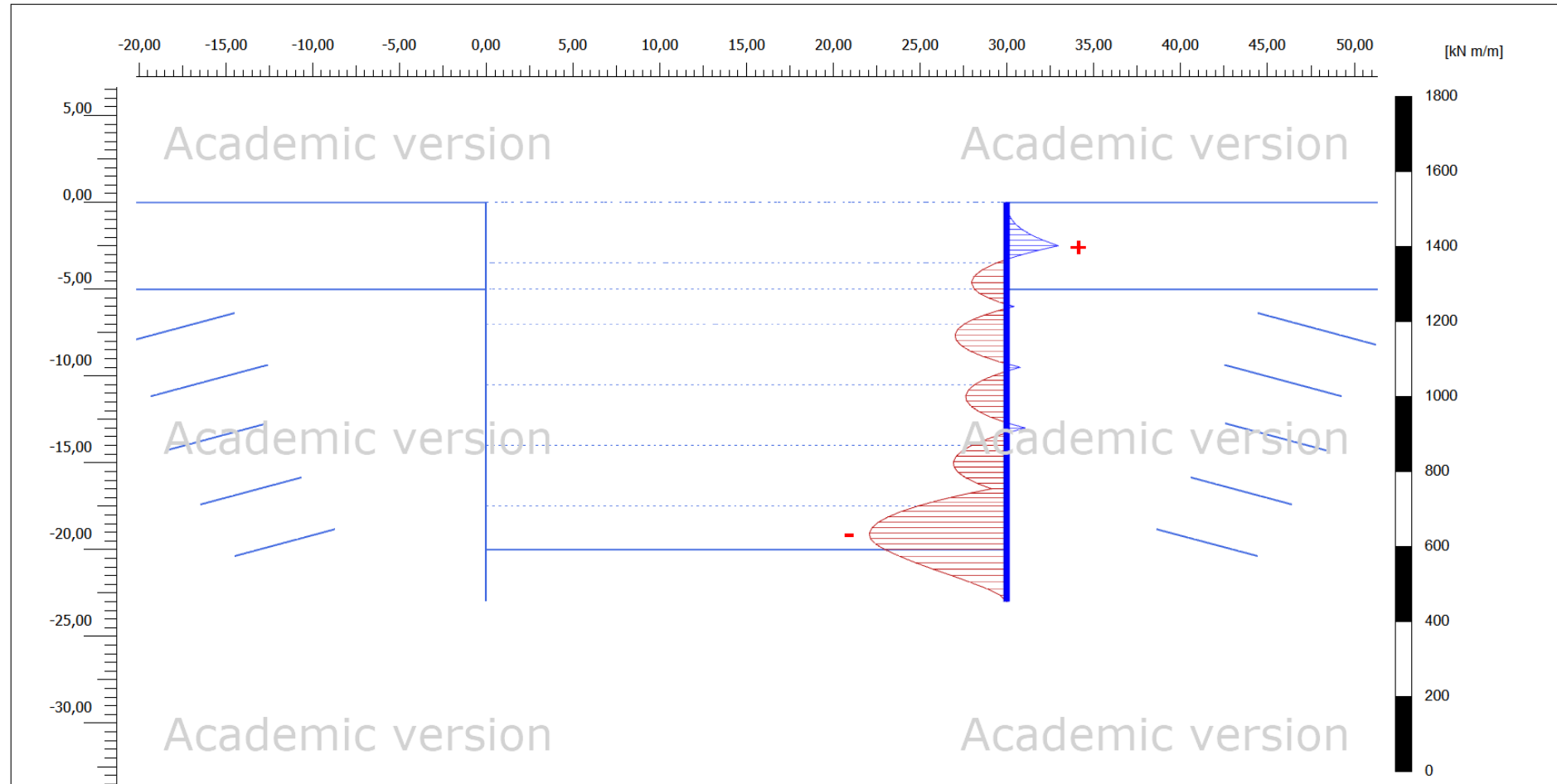
476

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



Bending moments M (scaled up 0,0200 times) (Time 230,0 day)

Maximum value = 148,9 kN m/m (Element 4 at Node 20212)

Minimum value = -395,5 kN m/m (Element 34 at Node 21707)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.1]

Date

2/10/2022

Project filename

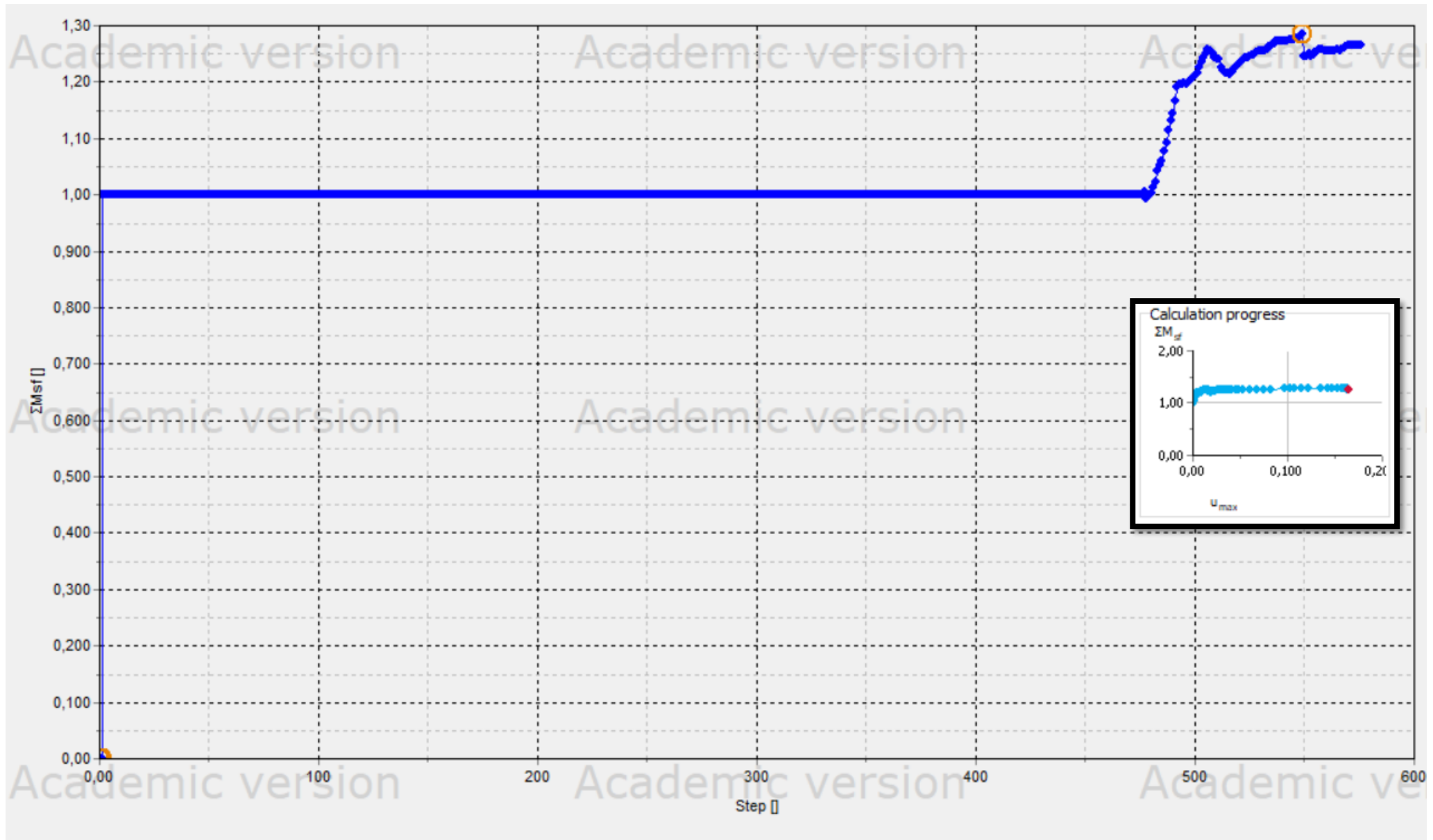
Εκσκαφή & Προσωρινή Αντι ...

Step

476

Company

National Technical University of Athens



Διάγραμμα 5.1 – Βήμα προόδου υπολογισμών - Συντελεστής ασφαλείας
προκαταρκτικής επίλυσης

5.2 Δεύτερη επίλυση

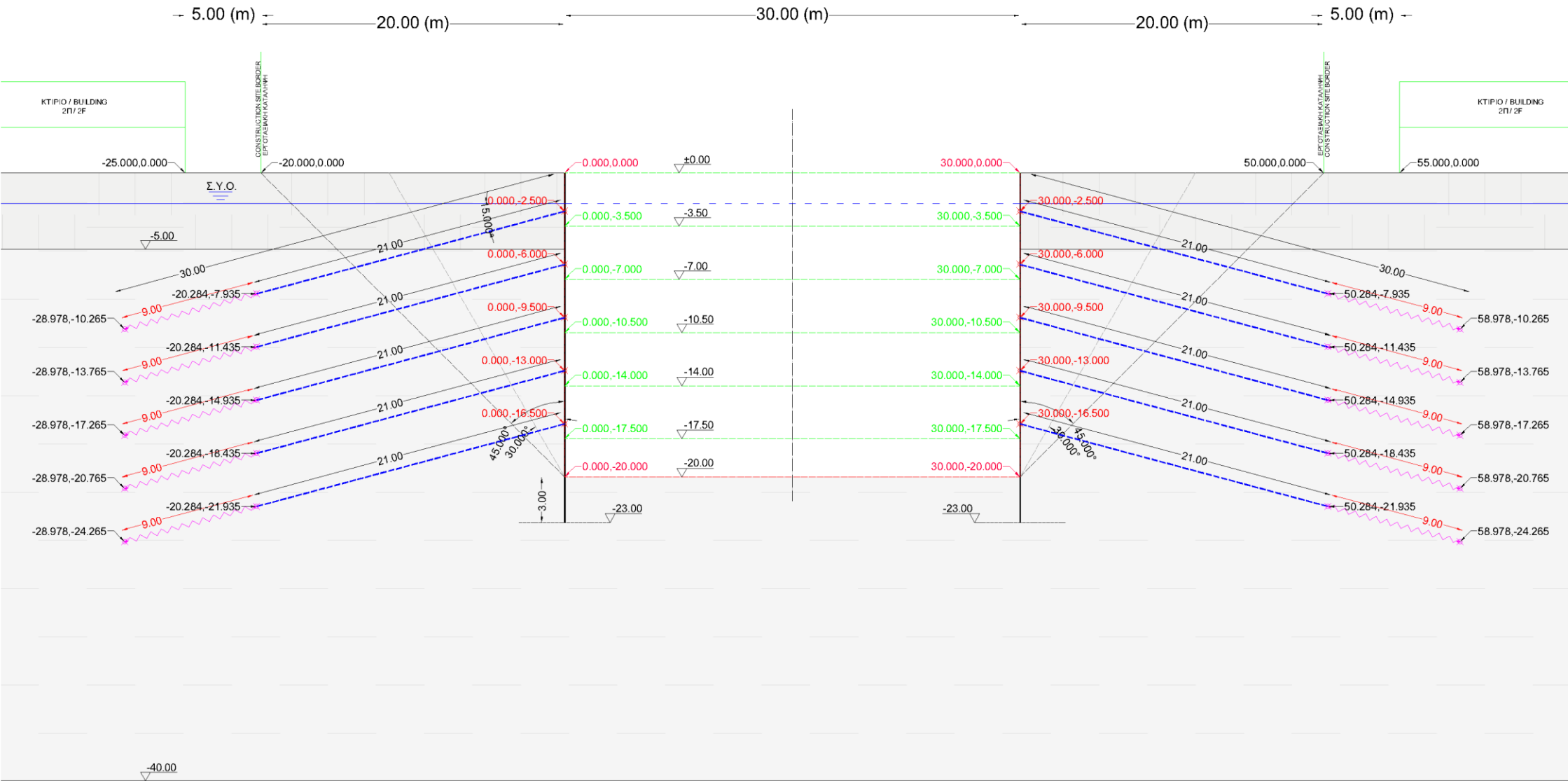
Γεωμετρικό προσομοίωμα

Στην συνέχεια επισυνάπτεται το δεύτερο γεωμετρικό προσομοίωμα, έτσι όπως προσδιορίστηκε μέσω του προγράμματος AUTOCAD 2022 της AUTODESK. Ομοίως παρουσιάζονται με ακρίβεια οι συντεταγμένες των στοιχείων του συστήματος αντιστήριξης.

Παραμένει ίδιο το πλήθος των πέντε σειρών προεντεταμένων αγκυρίων, με 6 κλώνους έκαστος αυτή την φορά. Αυξήθηκε τόσο το ελεύθερο, όσο και το πακτωμένο μήκος από την πρώτη, αρχική διερευνητική επίλυση όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί:

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΩΝ ΑΓΚΥΡΩΣΕΩΝ								
Σειρά Αγκυρίων	Στάθμη (m)	Κλίση (°)	Αριθμός Τενόντων Κλώνοι	Φορτίο ανά Αγκύριο (KN)	Συνολικό Μήκος (m)	Πακτωμένο Μήκος (m)	R _{a,d} (KN)	R _{t,d} (KN)
1η	-2,50	15	6	850	30,00	9,00	1.227	1.233
2η	-6,00	15	6	850	30,00	9,00	1.227	1.233
3η	-9,50	15	6	850	30,00	9,00	1.227	1.233
4η	-13,00	15	6	850	30,00	9,00	1.227	1.233
5η	-16,50	15	6	850	30,00	9,00	1.227	1.233

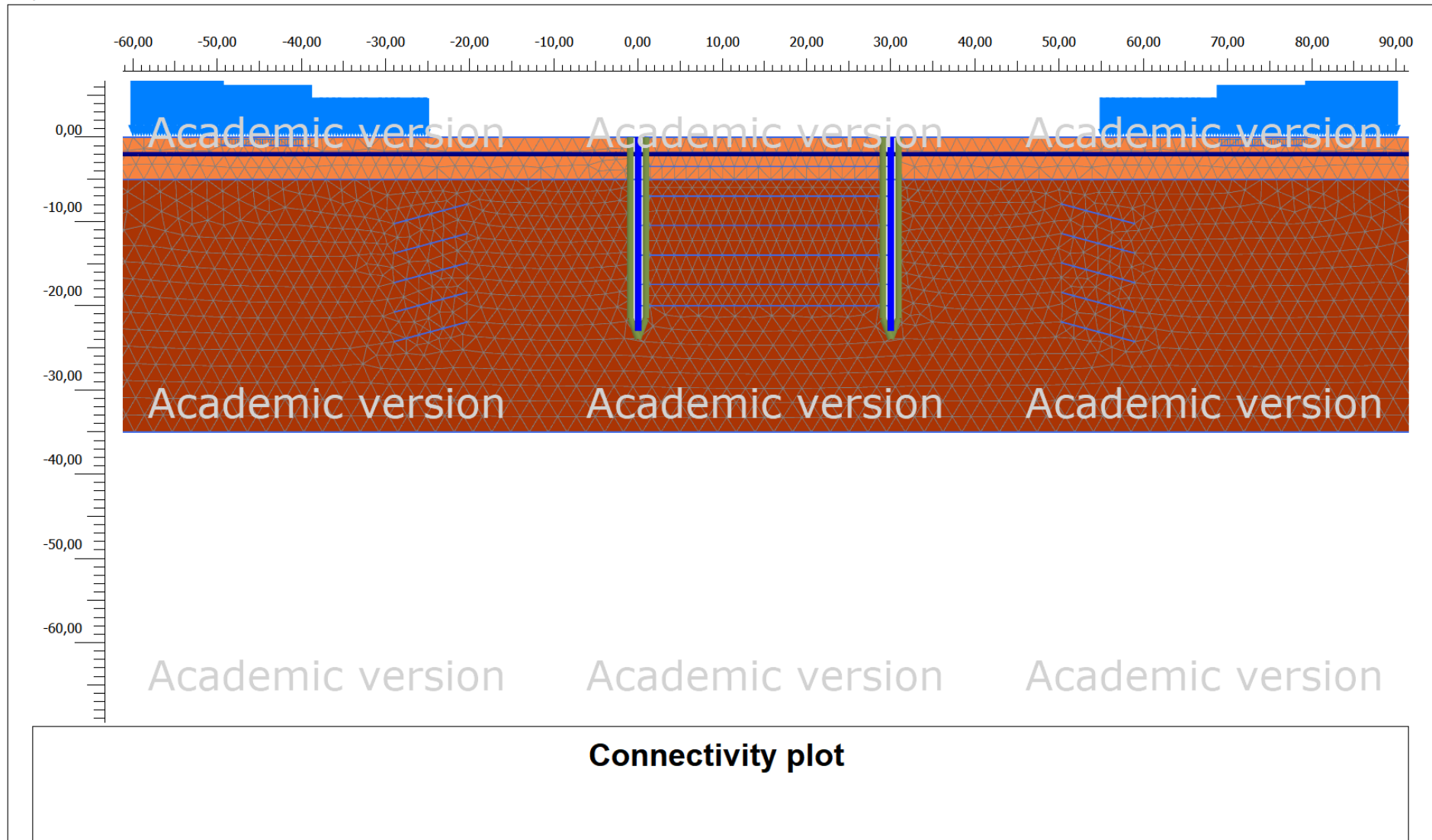
Ο κάρναβος πεπερασμένων στοιχείων, παραμένει ίδιος με διαστάσεις 230m x 40m (x,y) με σκοπό να εξασφαλιστεί ανεπηρέαστη η περιοχή της εκσκαφής από τα όρια του προσομοιώματος. Παρακάτω φαίνονται οι θέσεις των πασσαλοτοιχών αντιστήριξης, οι στάθμες των αγκυρίων, οι στάθμες των ενδιάμεσων εκσκαφών οι οποίες αποτελούν και τις φάσεις της κατασκευής του μοντέλου το οποίο πρόκειται να επιλυθεί. Δύο μέτρα κάτω από την φυσική επιφάνεια εδάφους, απαντάται η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Τέλος, τα επιφανειακά φορτία των υφιστάμενων κτιριακών κατασκευών, επισημαίνονται με χαρακτηριστικό μπλε χρώμα.



Εικόνα 5.3 - Διαστασιολόγηση αγκυρίων αντιστήριξης σταθμού δεύτερης επίλυσης



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS[®] 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.2]

Date

6/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντι ...

Step

235

Company

National Technical University of Athens

Phases

Initial phase [InitialPhase]
 Wall installation [Phase_1]
 First Excavation (-3.50m) [Phase_2]
 1st_Consolidation [Phase_15]
 -- 1st) anchor row [Phase_3]
 Second Excavation (-7.00m) [Phase_4]
 2nd_Consolidation [Phase_16]
 -- 2nd) anchor row [Phase_5]
 Third Excavation (-10.50m) [Phase_6]
 3rd_Consolidation [Phase_17]
 -- 3d) anchor row [Phase_7]
 Forth Excavation (-14.00m) [Phase_8]
 4th_Consolidation [Phase_18]
 -- 4th) anchor row [Phase_9]
 Fifth Excavation (-17.50m) [Phase_10]
 5th_Consolidation [Phase_19]
 -- 5th) anchor row [Phase_11]
 Sixth Final Excavation (-20.00m) [Phase_12]
 6th_Consolidation [Phase_13]
 SAFETY FACTOR [Phase_14]

Name	Value
General	
ID	SAFETY FACTOR [Phase_14]
Start from phase	6th_Consolidation
Calculation type	Safety
Loading type	Incremental multipliers
M_{sf}	
Pore pressure calculation type	Use pressures from previous
Thermal calculation type	Ignore temperature
First step	
Last step	
Design approach	(None)
Special option	
Deformation control parameters	
Ignore undr. behaviour (A,B)	<input type="checkbox"/>
Reset displacements to zero	<input type="checkbox"/>
Reset small strain	<input type="checkbox"/>
Reset state variables	<input type="checkbox"/>
Updated mesh	<input type="checkbox"/>
Updated water pressure	<input type="checkbox"/>
Ignore suction	<input checked="" type="checkbox"/>
Cavitation cut-off	<input type="checkbox"/>
Cavitation stress	
Numerical control parameters	
Max cores to use	
Max number of steps stored	
Use compression for result files	<input type="checkbox"/>
Use default iter parameters	<input checked="" type="checkbox"/>
Max steps	
Tolerated error	

Log info for last calculation
OK

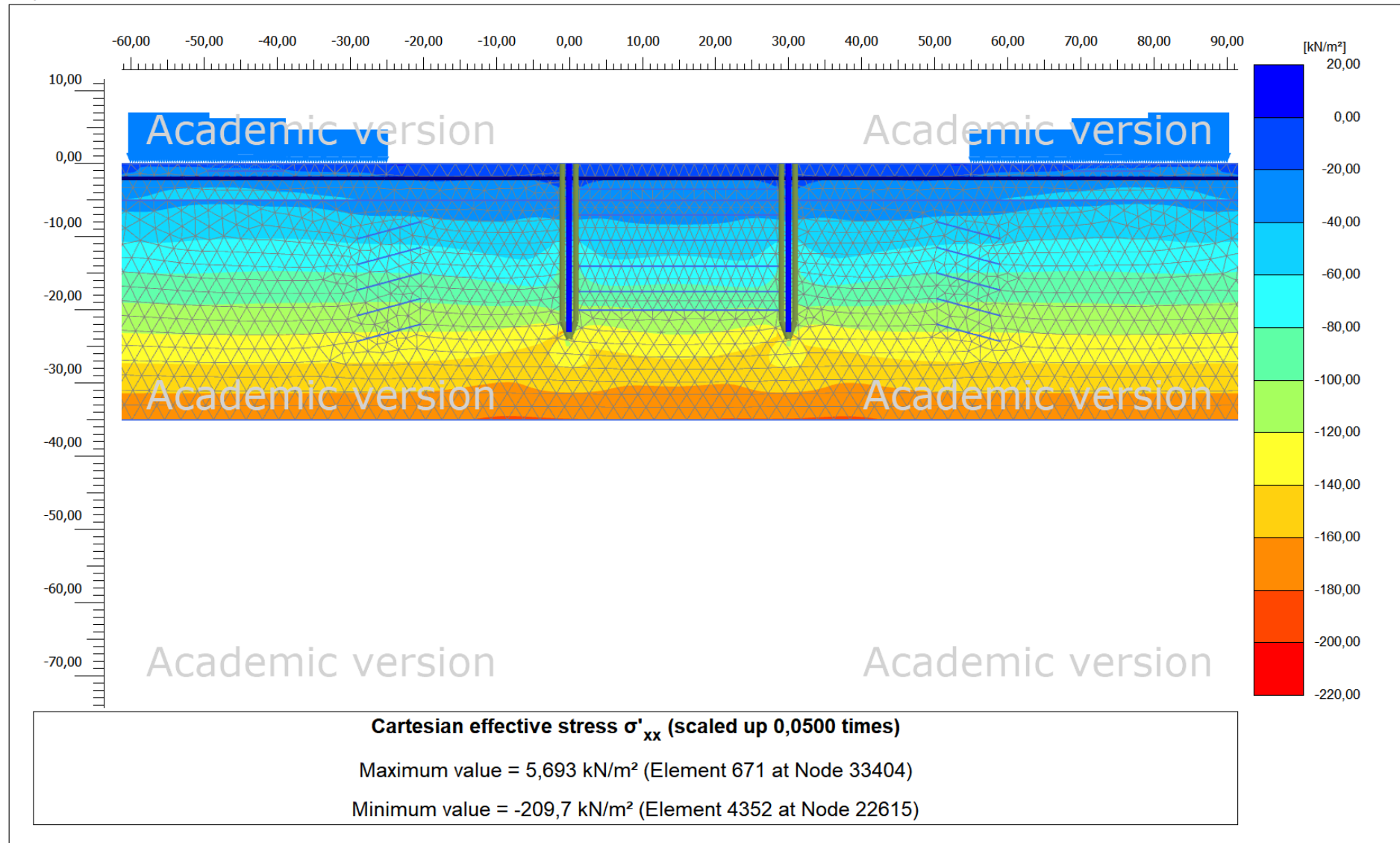
Comments

OK

Εικόνα 5.4 - Φάσεις δεύτερης επίλυσης διδιάστατου μοντέλου



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.2]

Date

6/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντι ...

Step

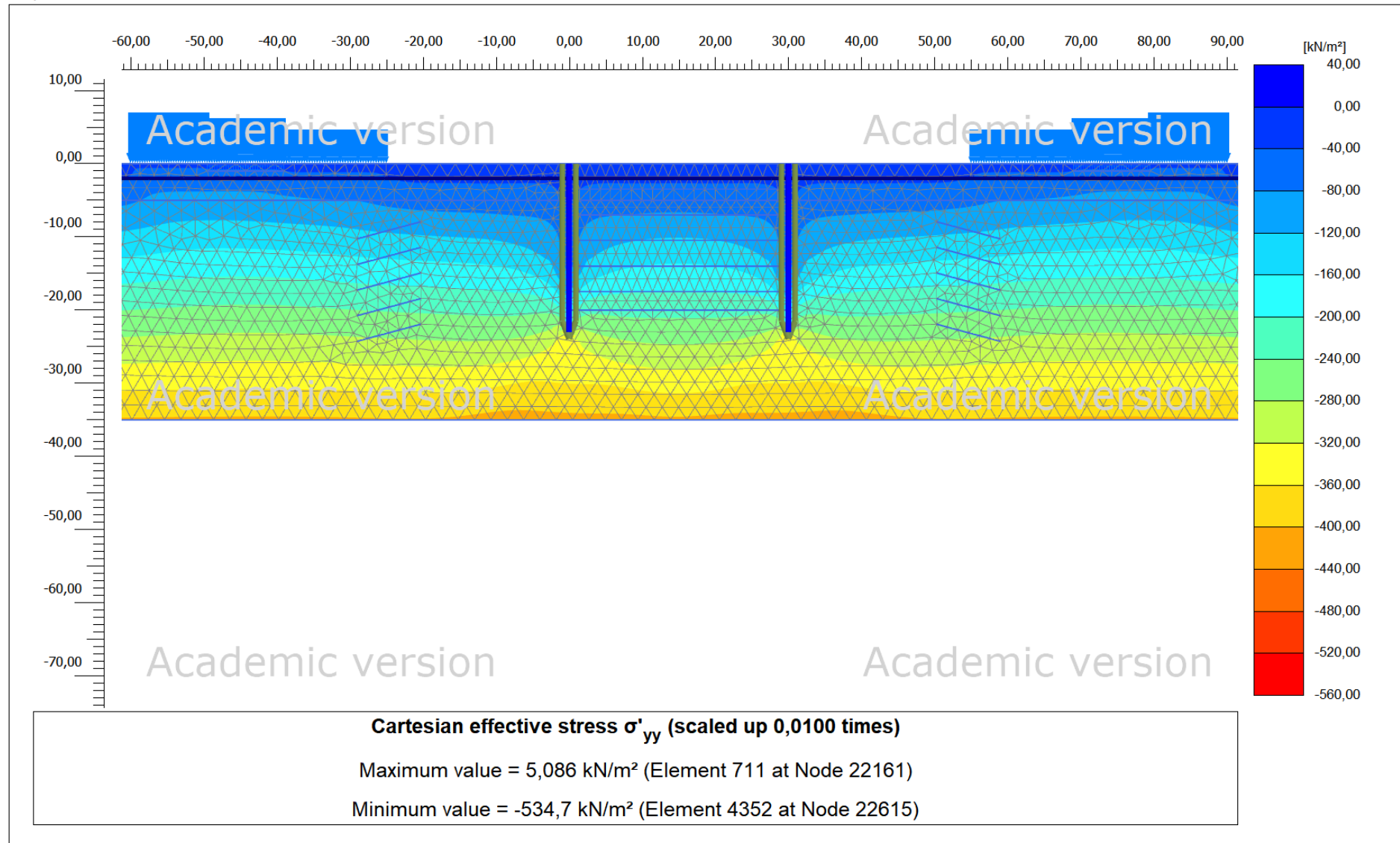
235

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.2]

Date

6/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντι ...

Step

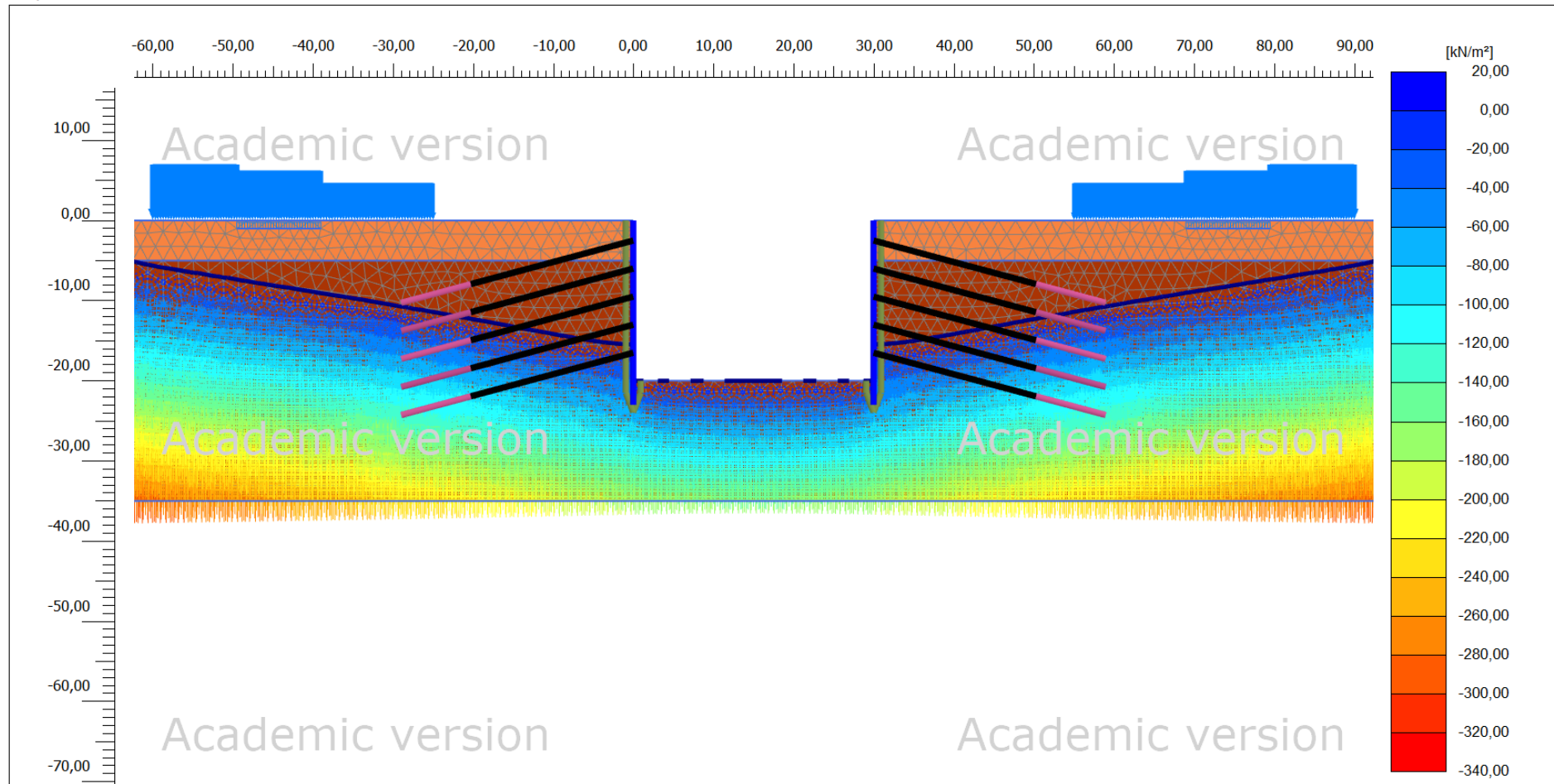
235

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



Active pore pressures p_{active} (scaled up 0,0200 times) (Pressure = negative)

Maximum value = $1,294 \cdot 10^{-3}$ kN/m² (Element 3395 at Stress point 40733)

Minimum value = -328,4 kN/m² (Element 1261 at Stress point 15122)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.2]

Date

6/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντι ...

Step

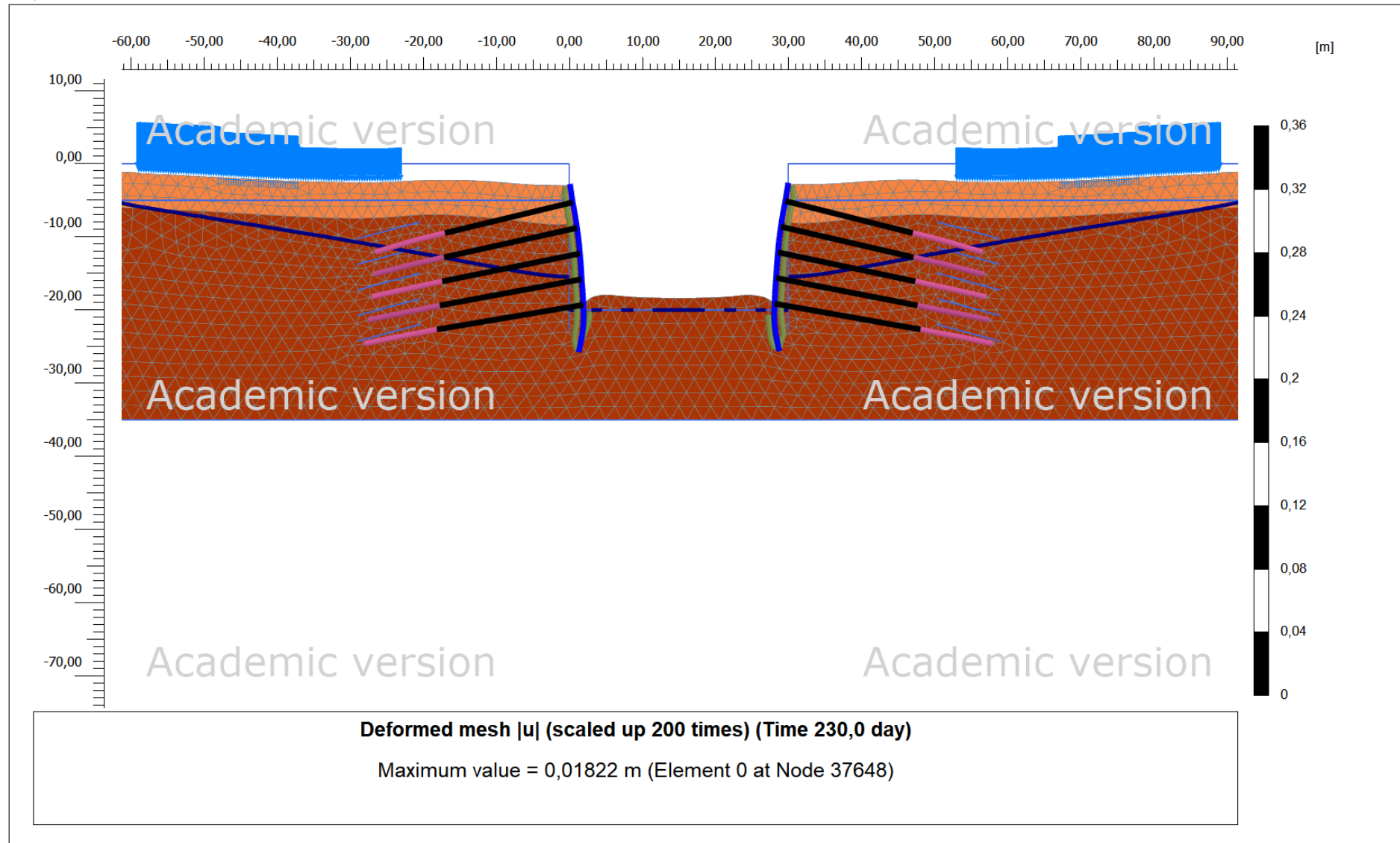
491

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.2]

Date

6/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντι ...

Step

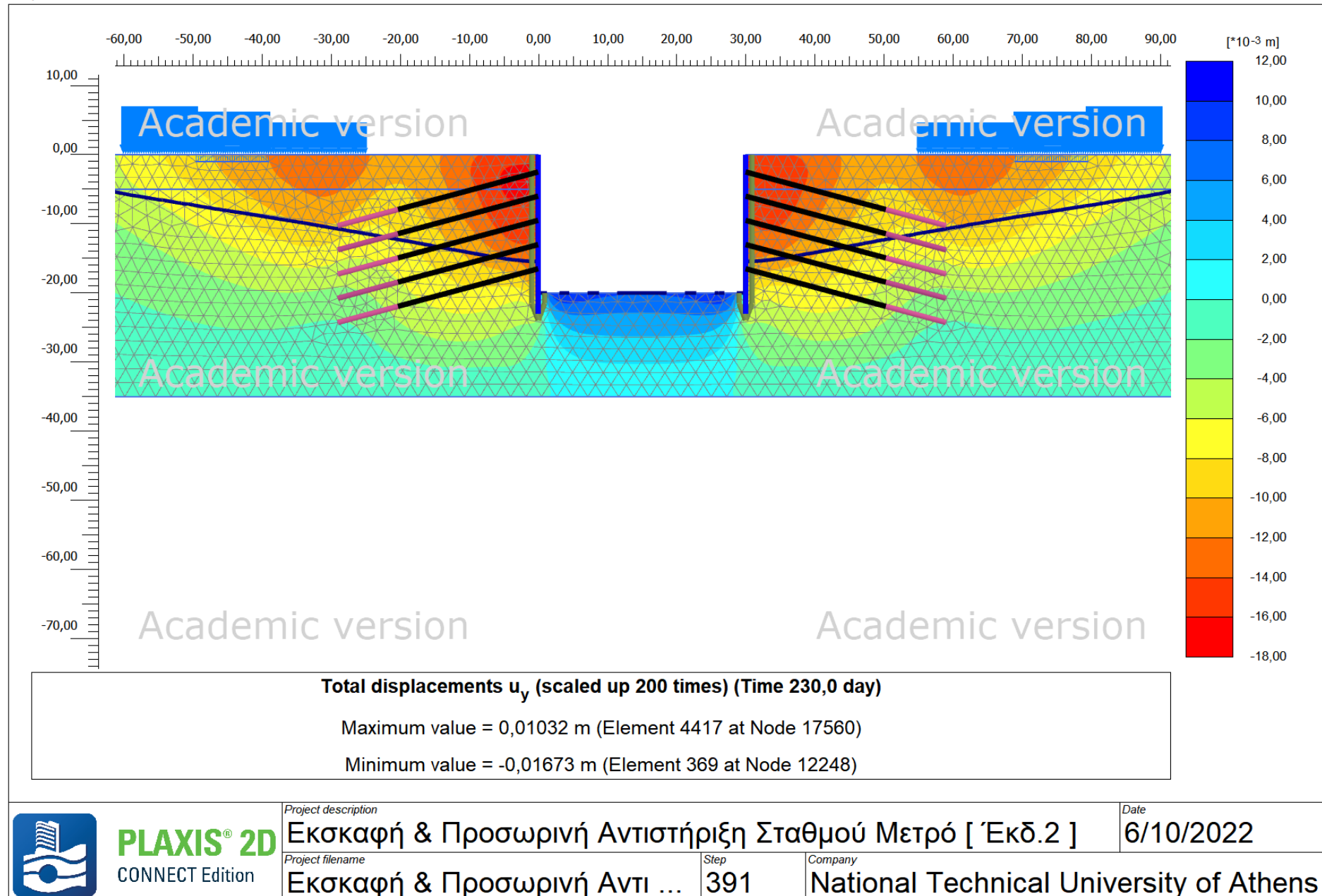
391

Company

National Technical University of Athens

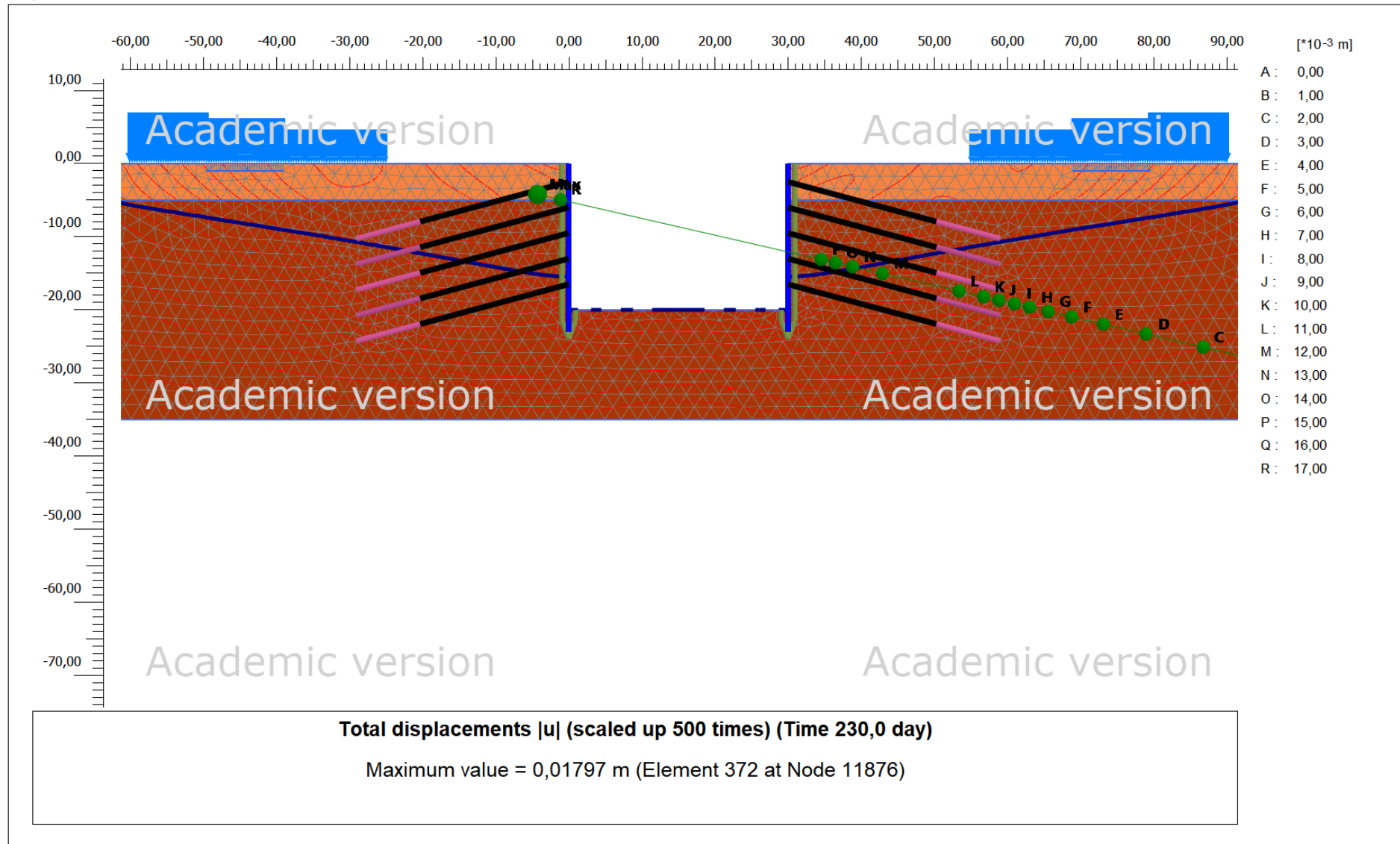


Output Version 21.1.0.479





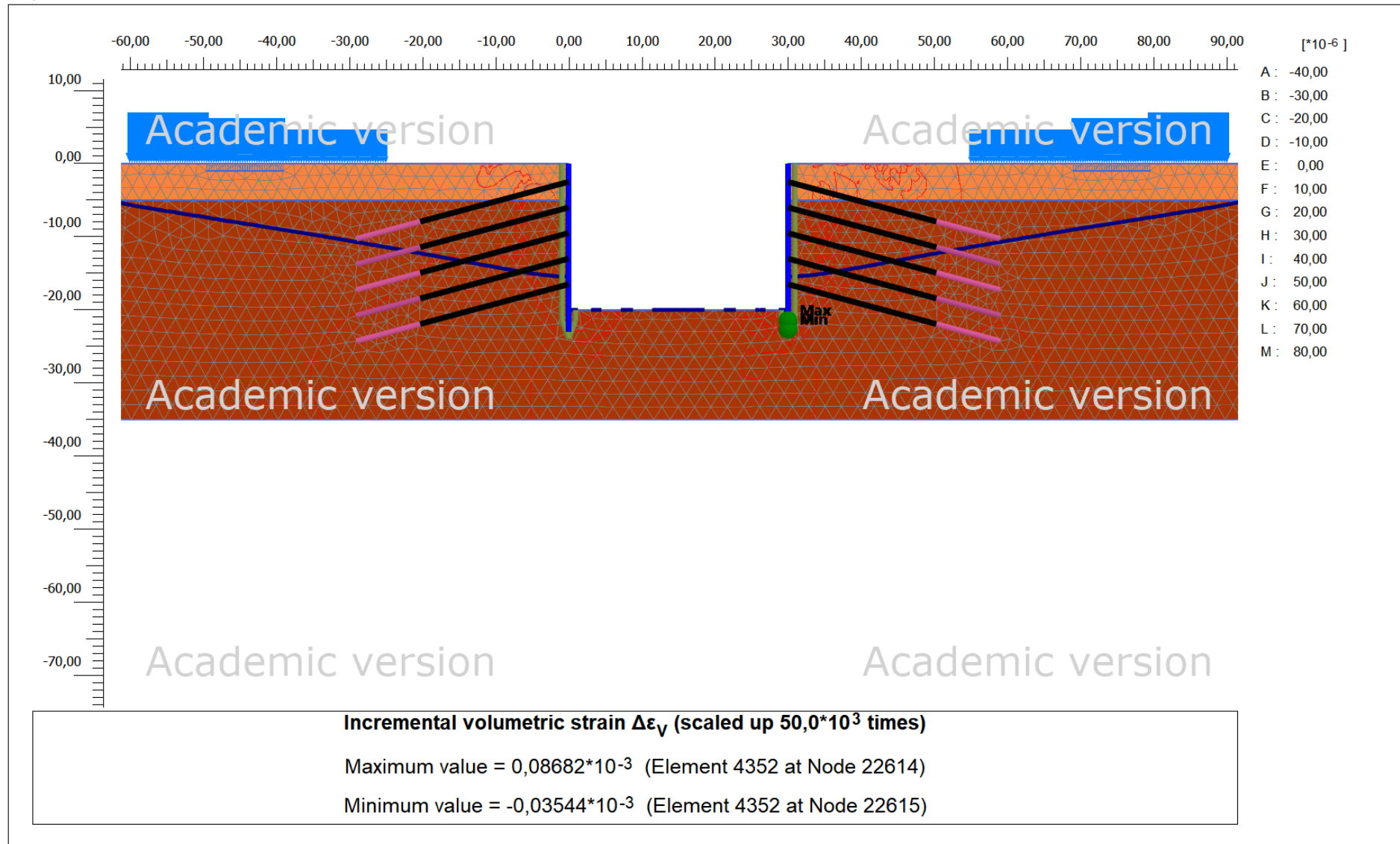
Output Version 21.1.0.479



	Project description		Date
	Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.2]		6/10/2022
	Project filename	Step	Company
	Εκσκαφή & Προσωρινή Αντι ...	391	National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.2]

Date

6/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντι ...

Step

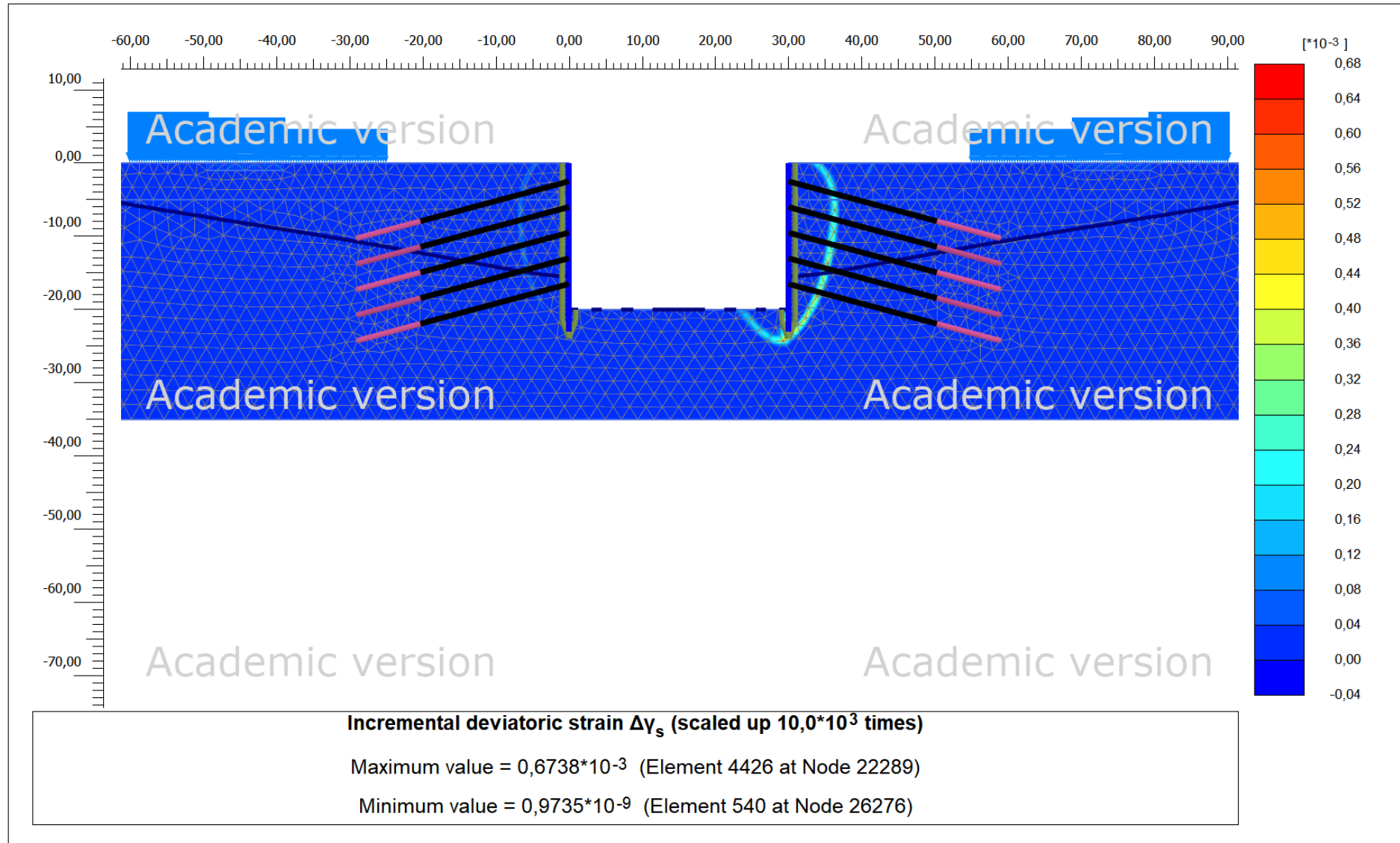
491

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.2]

Date

6/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντι ...

Step

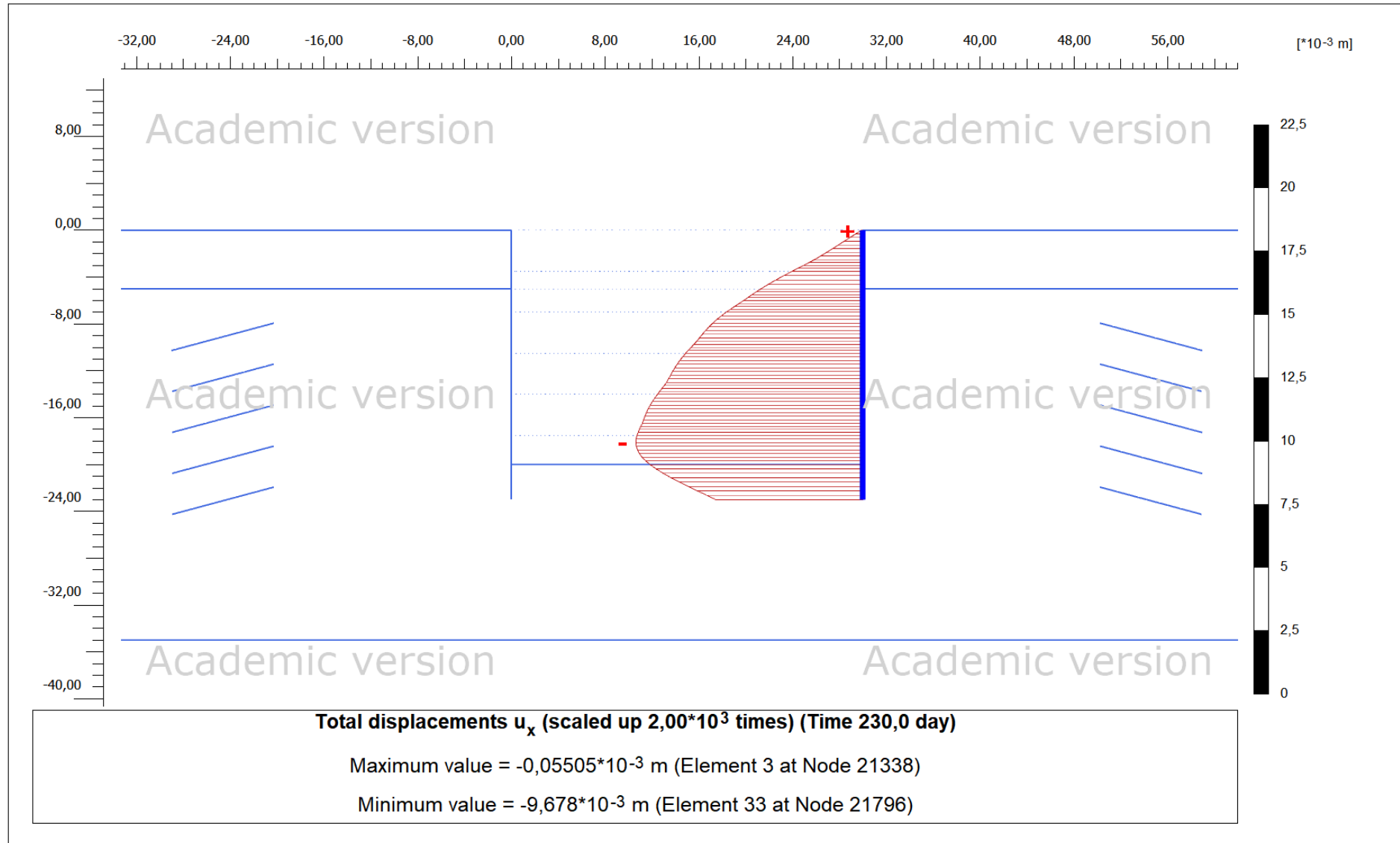
491

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



Total displacements u_x (scaled up $2,00 \cdot 10^3$ times) (Time 230,0 day)

Maximum value = $-0,05505 \cdot 10^{-3}$ m (Element 3 at Node 21338)

Minimum value = $-9,678 \cdot 10^{-3}$ m (Element 33 at Node 21796)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.2]

Date

6/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντι ...

Step

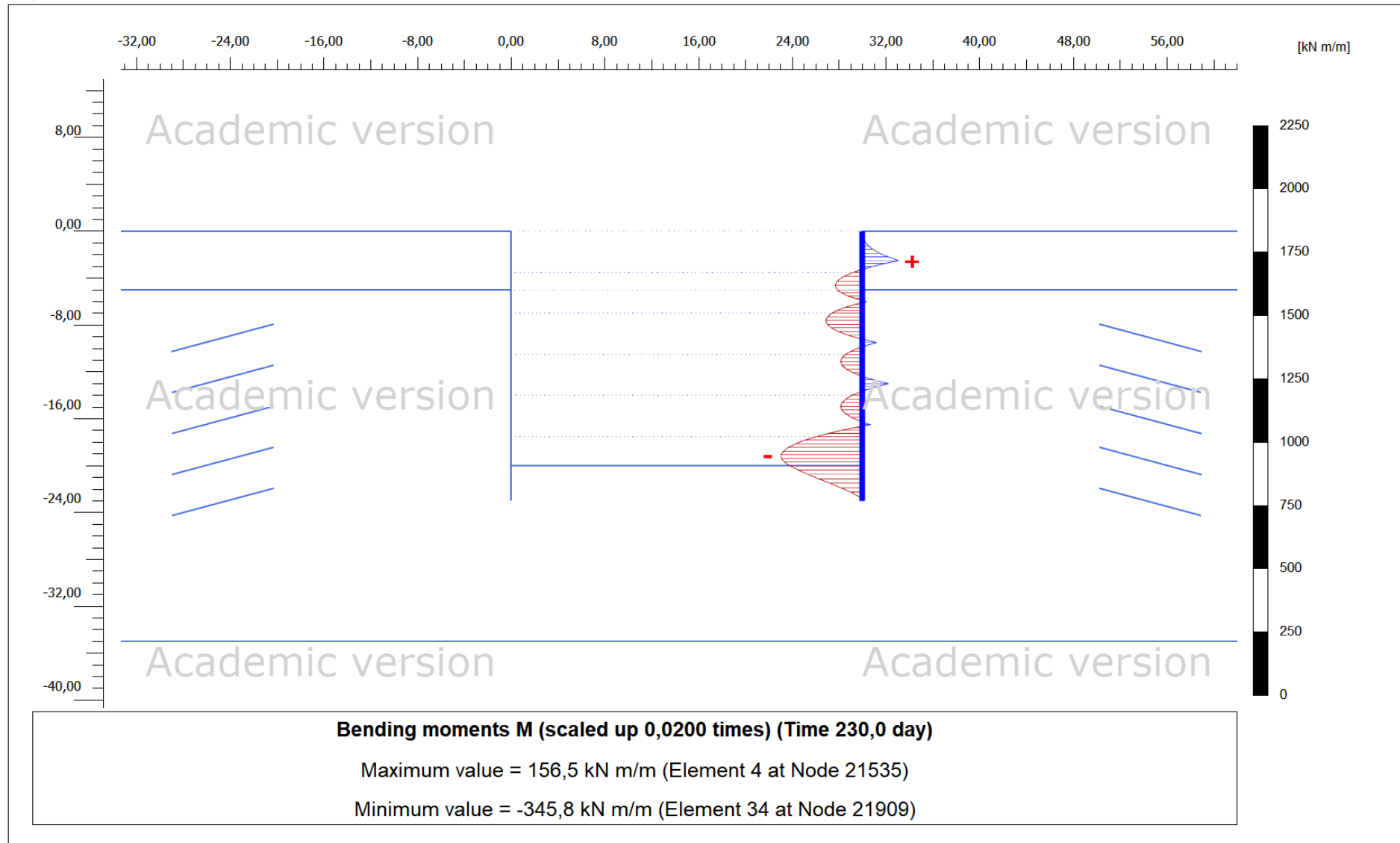
391

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.2]

Date

6/10/2022

Project filename

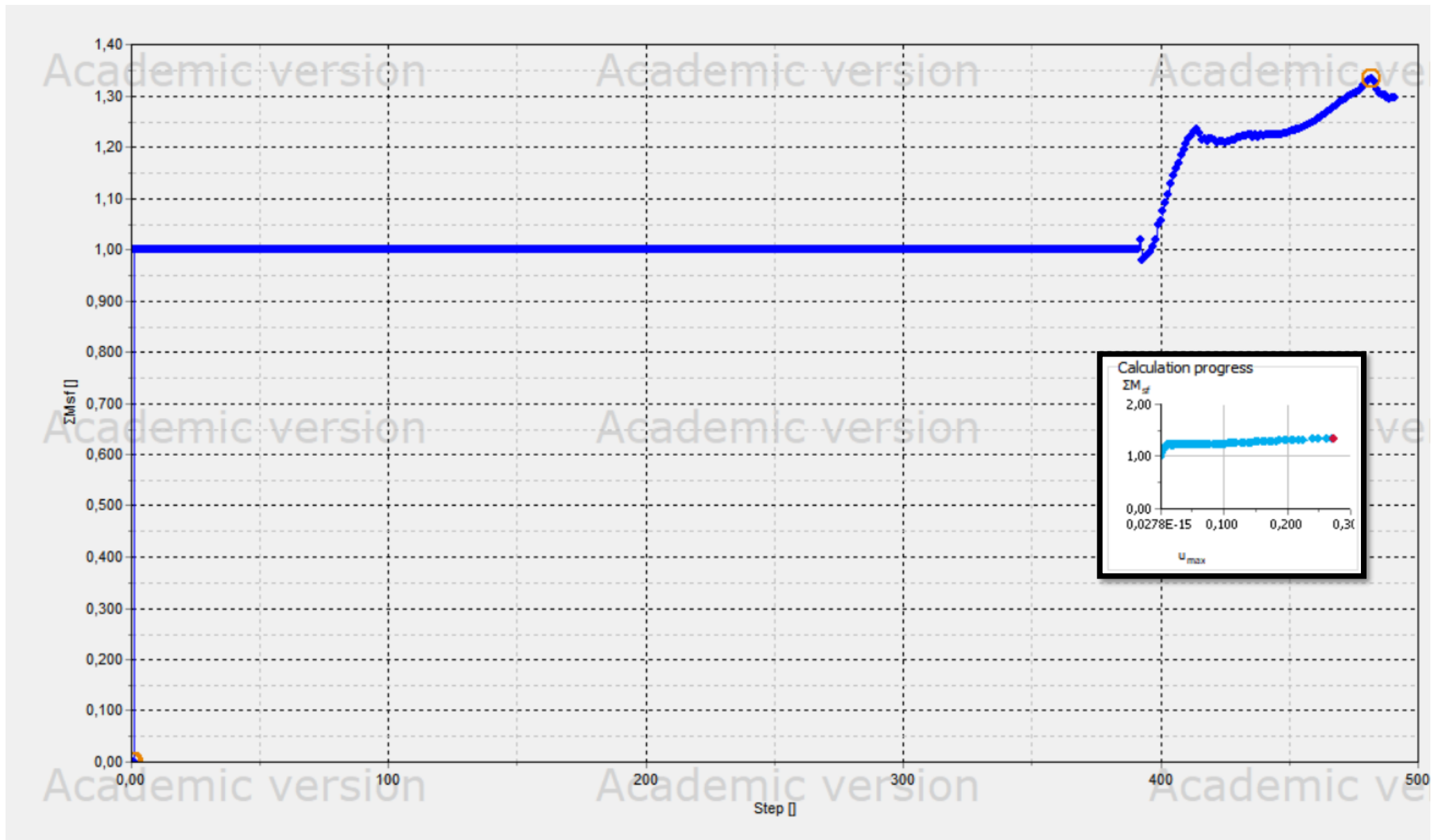
Εκσκαφή & Προσωρινή Αντι ...

Step

391

Company

National Technical University of Athens



Διάγραμμα 5.2 – Βήμα προόδου υπολογισμών - Συντελεστής ασφαλείας δεύτερης επίλυσης

5.3 Τρίτη επίλυση

Γεωμετρικό προσομοίωμα

Στην συνέχεια επισυνάπτεται το τρίτο γεωμετρικό προσομοίωμα, έτσι όπως προσδιορίστηκε μέσω του προγράμματος AUTOCAD 2022 της AUTODESK. Ομοίως παρουσιάζονται με ακρίβεια οι συντεταγμένες των στοιχείων του συστήματος αντιστήριξης.

Σε αυτήν την επίλυση, προστίθεται μία επιπλέον σειρά προεντεταμένων αγκυρίων. Έτσι λοιπόν, προκύπτουν έξι νέες σειρές με 6 κλώνους έκαστος, όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί:

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΩΝ ΑΓΚΥΡΩΣΕΩΝ								
Σειρά Αγκυρίων	Στάθμη (m)	Κλίση (°)	Αριθμός Τενόντων Κλώνοι	Φορτίο ανά Αγκύριο (KN)	Συνολικό Μήκος (m)	Πακτωμένο Μήκος (m)	R _{a,d} (KN)	R _{t,d} (KN)
1η	-2,86	15	6	708	30,00	9,00	1.227	1.233
2η	-5,71	15	6	708	30,00	9,00	1.227	1.233
3η	-8,57	15	6	708	30,00	9,00	1.227	1.233
4η	-11,43	15	6	708	30,00	9,00	1.227	1.233
5η	-14,29	15	6	708	30,00	9,00	1.227	1.233
6η	-17,14	15	6	708	30,00	9,00	1.227	1.233

Ο κάρναβος πεπερασμένων στοιχείων, παραμένει ίδιος με διαστάσεις 230m x 40m (x,y) με σκοπό να εξασφαλιστεί ανεπηρέαστη η περιοχή της εκσκαφής από τα όρια του προσομοιώματος. Παρακάτω φαίνονται οι θέσεις των πασσαλοτοιχών αντιστήριξης, οι στάθμες των αγκυρίων, οι στάθμες των ενδιάμεσων εκσκαφών οι οποίες αποτελούν και τις φάσεις της κατασκευής του μοντέλου το οποίο πρόκειται να επιλυθεί. Δύο μέτρα κάτω από την φυσική επιφάνεια εδάφους, απαντάται η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Τέλος, τα επιφανειακά φορτία των υφιστάμενων κτιριακών κατασκευών, επισημαίνονται με χαρακτηριστικό μπλε χρώμα.



Εικόνα 5.5 - Διαστασιολόγηση αγκυρίων αντιστήριξης σταθμού τρίτης επίλυσης



Phases

Initial phase [InitialPhase]
Wall installation [Phase_1]
First Excavation (-1.95m) [Phase_25]
1st_Consolidation [Phase_24]
Second Excavation (-3.90m) [Phase_...]
2nd_Consolidation [Phase_15]
-- 1st) anchor row [Phase_3]
Third Excavation (-6.75m) [Phase_4]
3rd_Consolidation [Phase_16]
-- 2nd) anchor row [Phase_5]
Forth Excavation (-9.60m) [Phase_6]
4th_Consolidation [Phase_17]
-- 3rd) anchor row [Phase_7]
Fifth Excavation (-12.45m) [Phase_ε]
5th_Consolidation [Phase_9]
-- 4th) anchor row [Phase_10]
Sixth Excavation (-15.30m) [Phase_...]
6th_Consolidation [Phase_12]
-- 5th) anchor row [Phase_13]
Seventh Excavation (-18.15m) [Phas...]
7th_Consolidation [Phase_18]
-- 6th) anchor row [Phase_19]
Eighth Final Excavation (-20.00m) [P...]
8th_Final_Consolidation [Phase_21]
SAFETY FACTOR [Phase_22]

Name	Value
General	
ID	SAFETY FACTOR [Phase_22]
Start from phase	8th_Final_Consolidation
Calculation type	Safety
Loading type	Incremental multipliers
M _{sf}	
Pore pressure calculation type	Use pressures from previous
Thermal calculation type	Ignore temperature
First step	
Last step	
Design approach	(None)
Special option	
Deformation control parameters	
Ignore undr. behaviour (A,B)	<input type="checkbox"/>
Reset displacements to zero	<input type="checkbox"/>
Reset small strain	<input type="checkbox"/>
Reset state variables	<input type="checkbox"/>
Updated mesh	<input type="checkbox"/>
Updated water pressure	<input type="checkbox"/>
Ignore suction	<input checked="" type="checkbox"/>
Cavitation cut-off	<input type="checkbox"/>
Cavitation stress	
Numerical control parameters	
Max cores to use	
Max number of steps stored	
Use compression for result files	<input type="checkbox"/>
Use default iter parameters	<input checked="" type="checkbox"/>

Log info for last calculation
OK

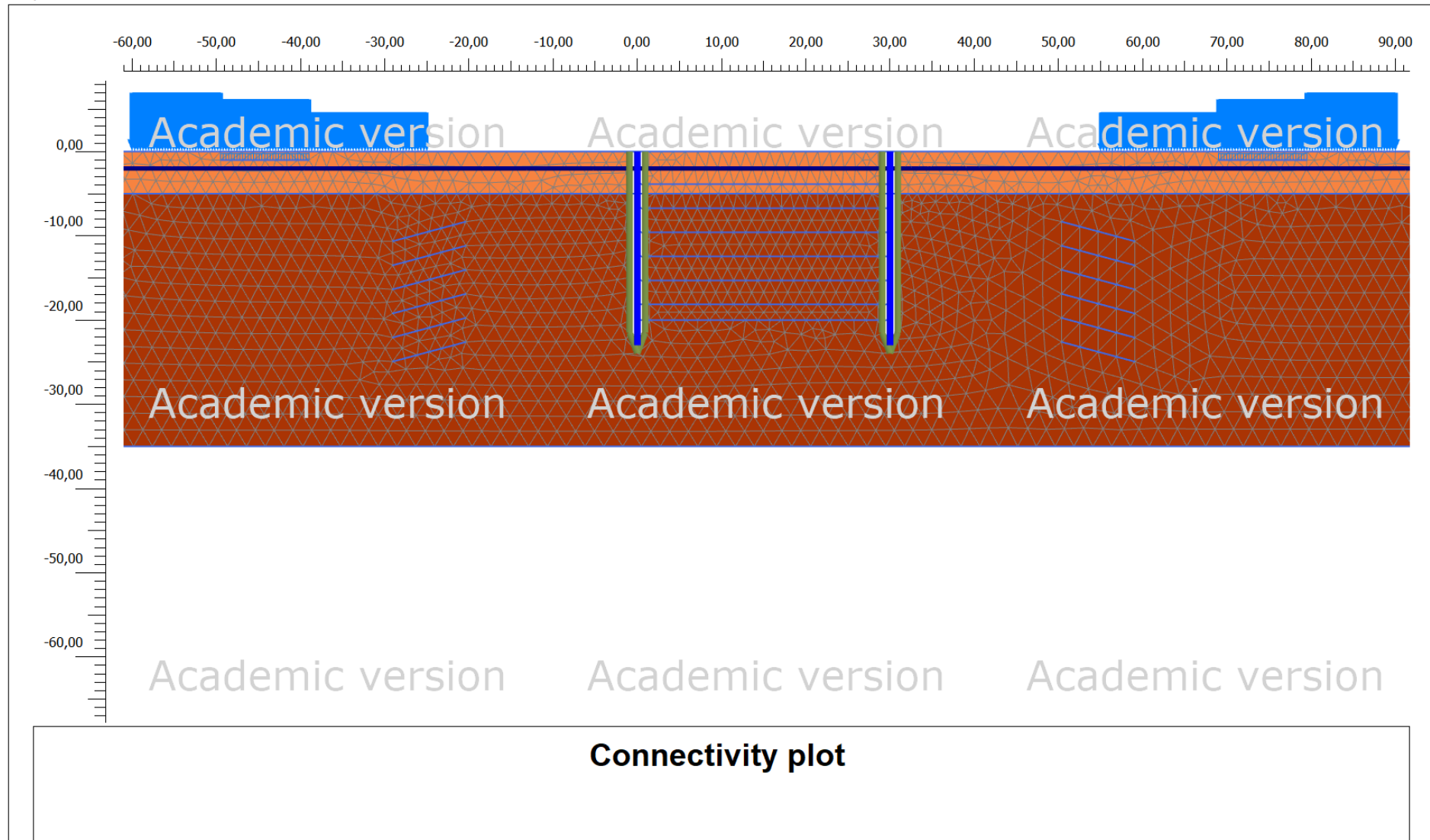
Comments

OK

Εικόνα 5.6 - Φάσεις τρίτης επίλυσης δισδιάστατου μοντέλου



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.3]

Date

9/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντισ...

Step

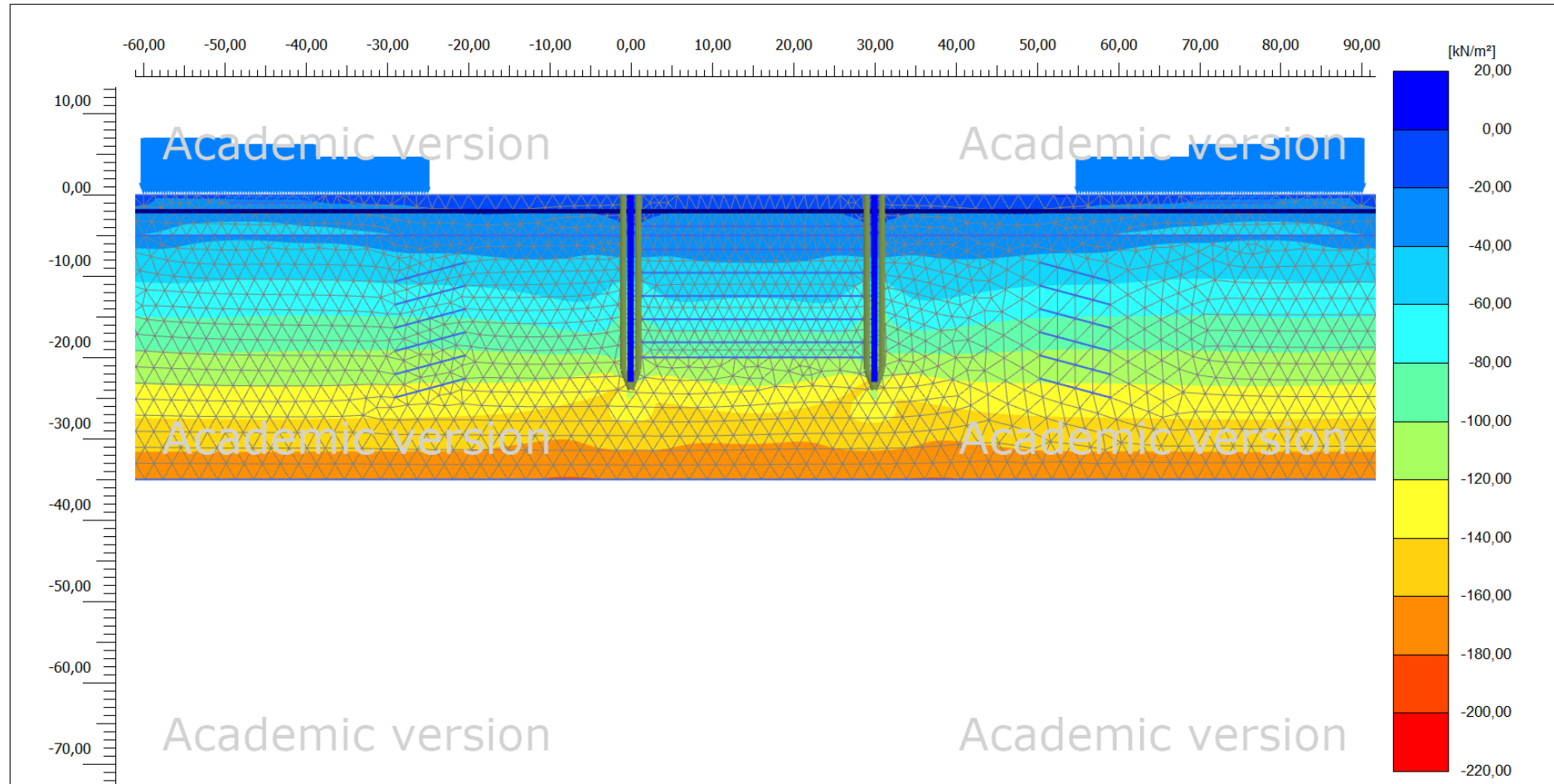
68

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up 0,0500 times)

Maximum value = 5,265 kN/m² (Element 650 at Node 26728)

Minimum value = -210,3 kN/m² (Element 4179 at Node 17676)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.3]

Date

9/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντισ...

Step

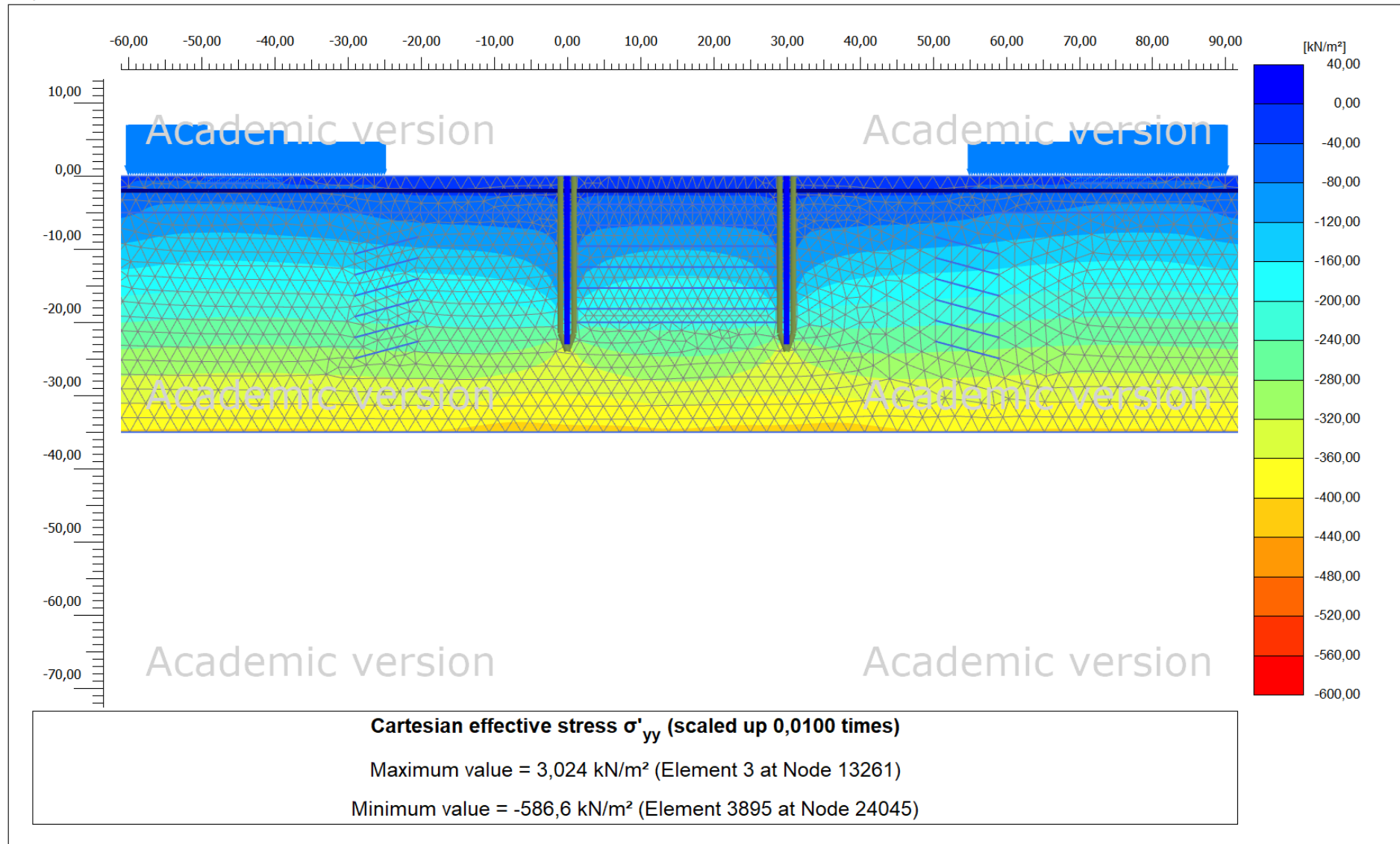
68

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.3]

Date

9/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντισ...

Step

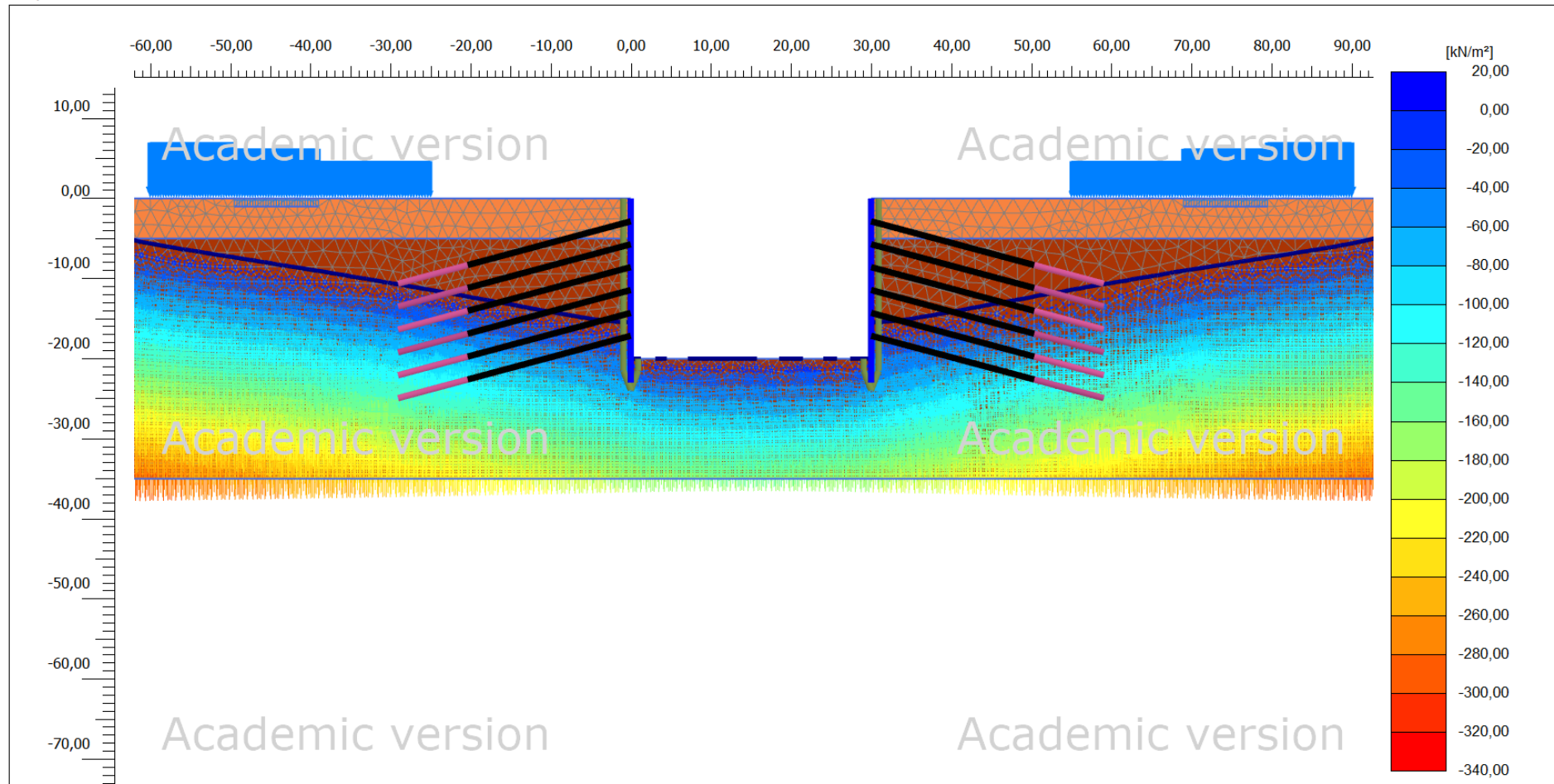
68

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



Active pore pressures p_{active} (scaled up 0,0200 times) (Pressure = negative) (Time 290,0 day)

Maximum value = $1,156 \cdot 10^{-3}$ kN/m² (Element 4012 at Stress point 48136)

Minimum value = -328,4 kN/m² (Element 1438 at Stress point 17246)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.3]

Date

9/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντισ...

Step

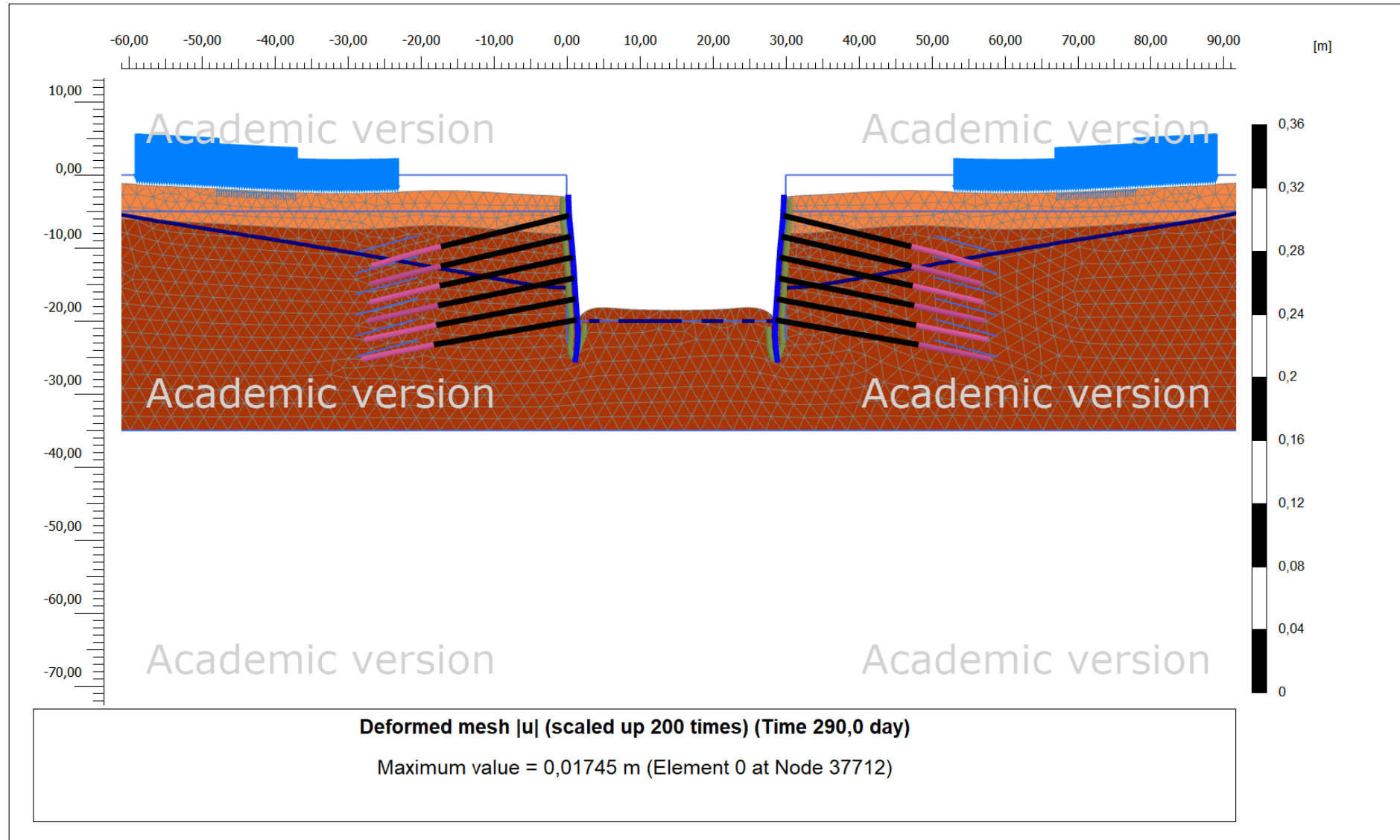
249

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.3]

Date

9/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντισ...

Step

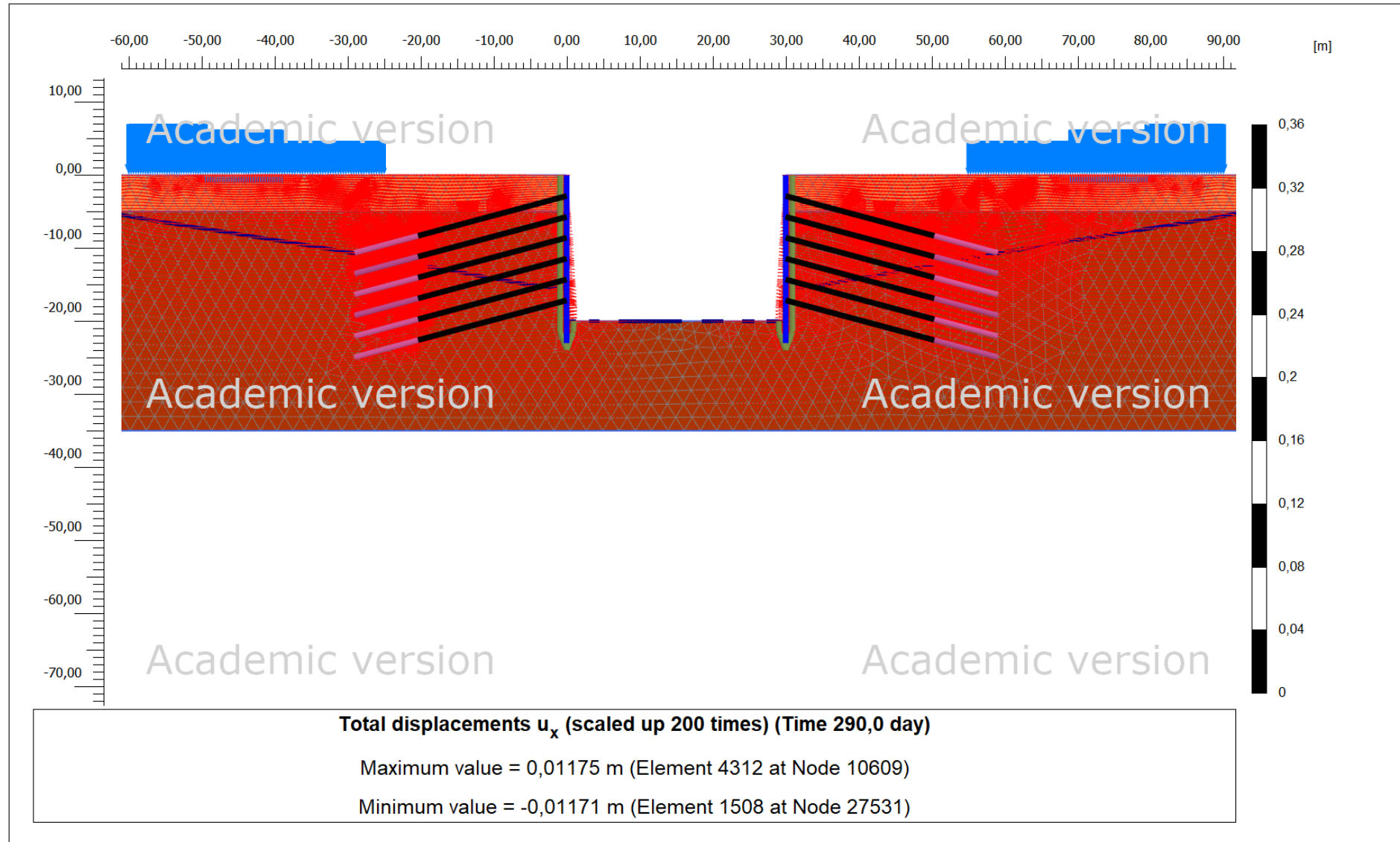
249

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.3]

Date

9/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντισ...

Step

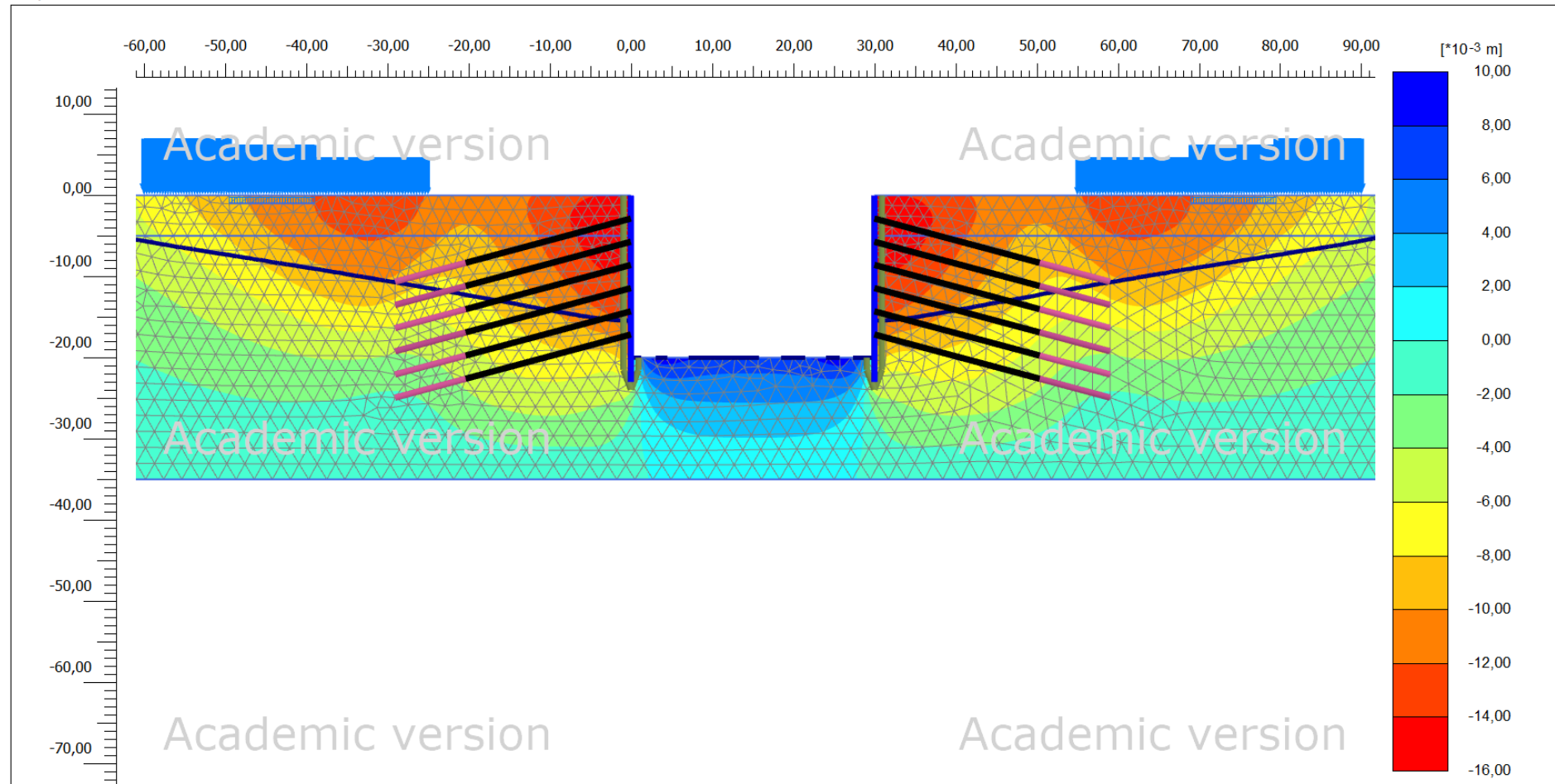
249

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



Total displacements u_y (scaled up 200 times) (Time 290,0 day)

Maximum value = $9,192 \cdot 10^{-3}$ m (Element 4432 at Node 22815)

Minimum value = -0,01557 m (Element 597 at Node 22828)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.3]

Date

9/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντισ...

Step

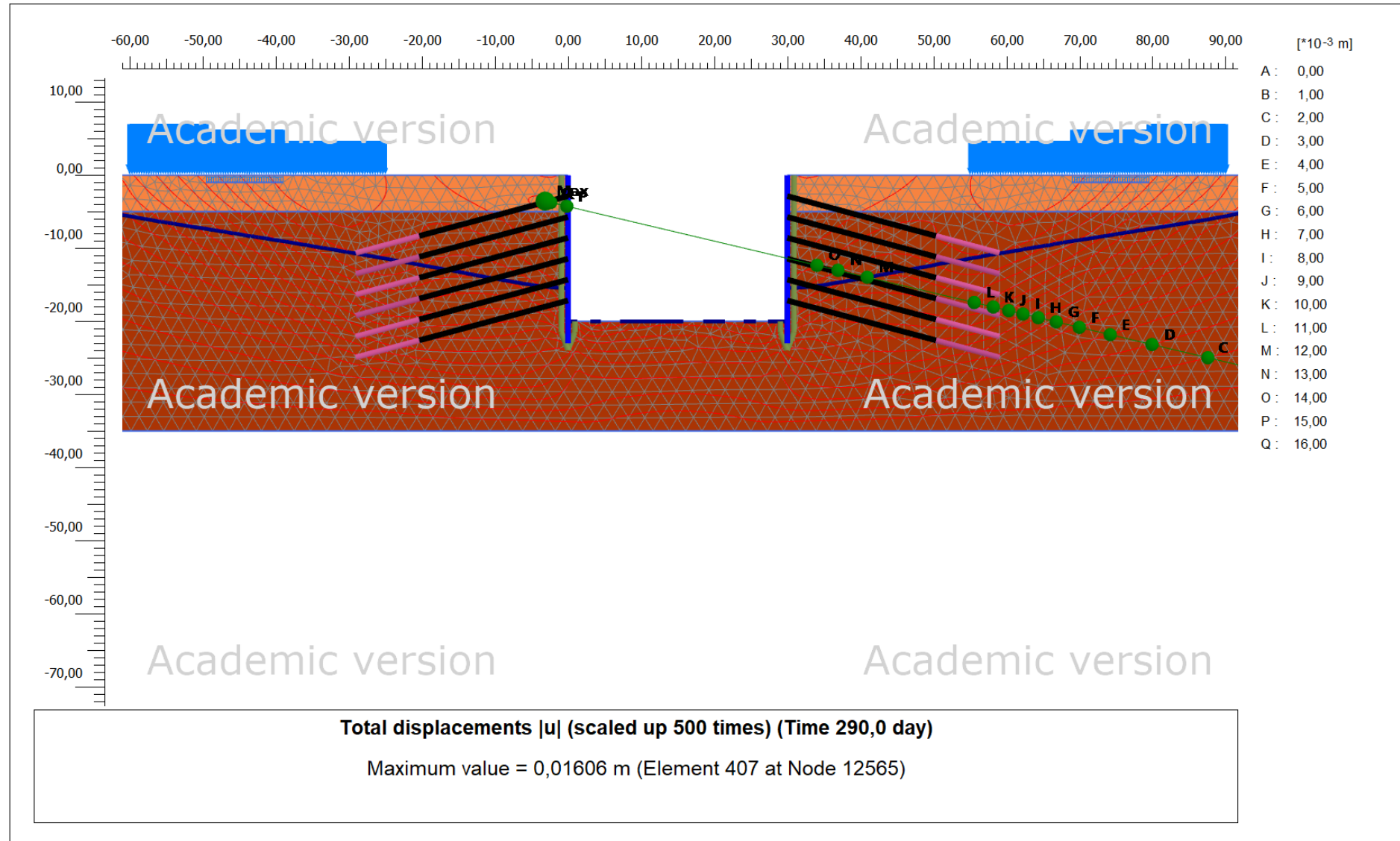
249

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.3]

Date

9/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντισ...

Step

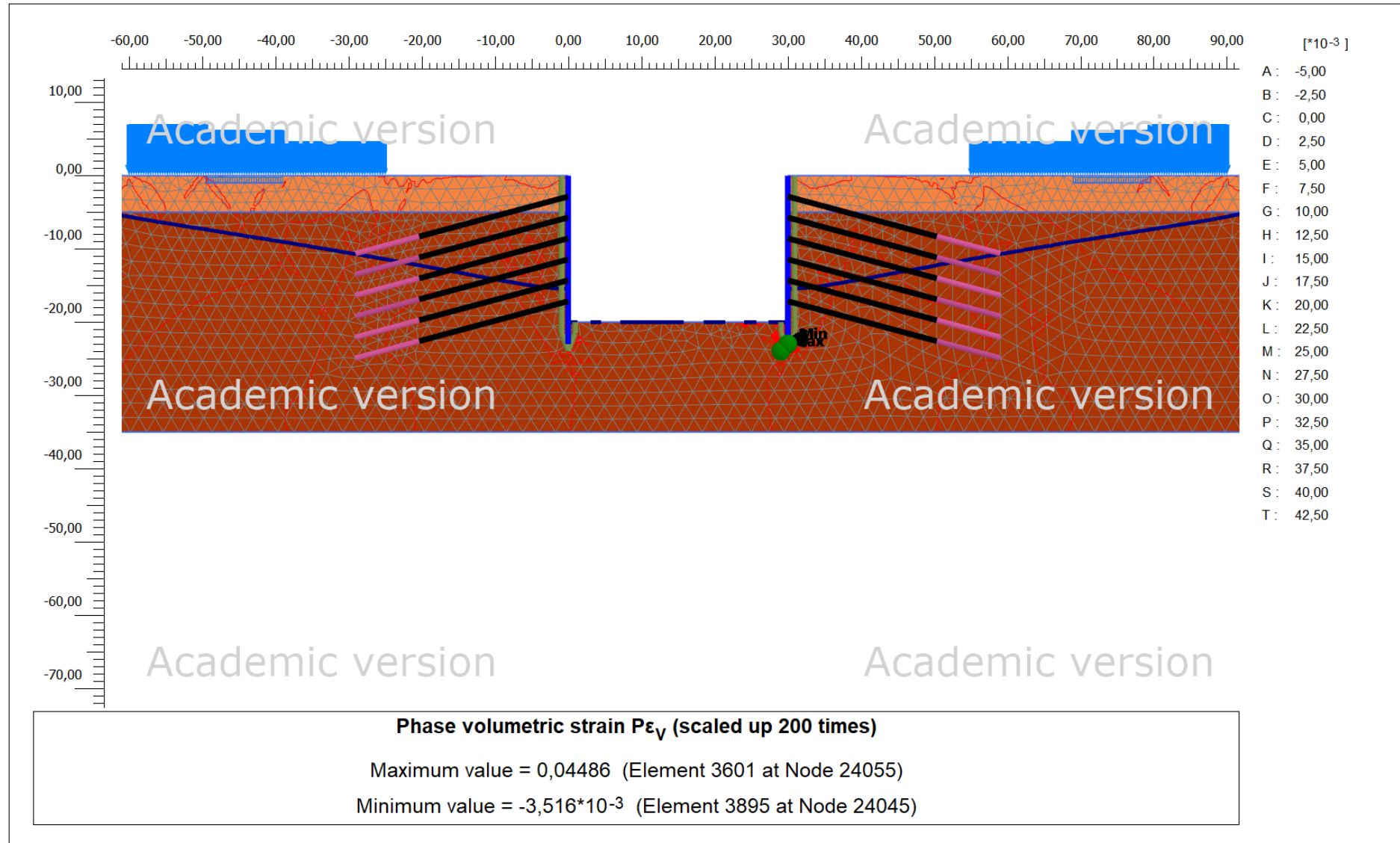
249

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description
Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.3]

Date
9/10/2022

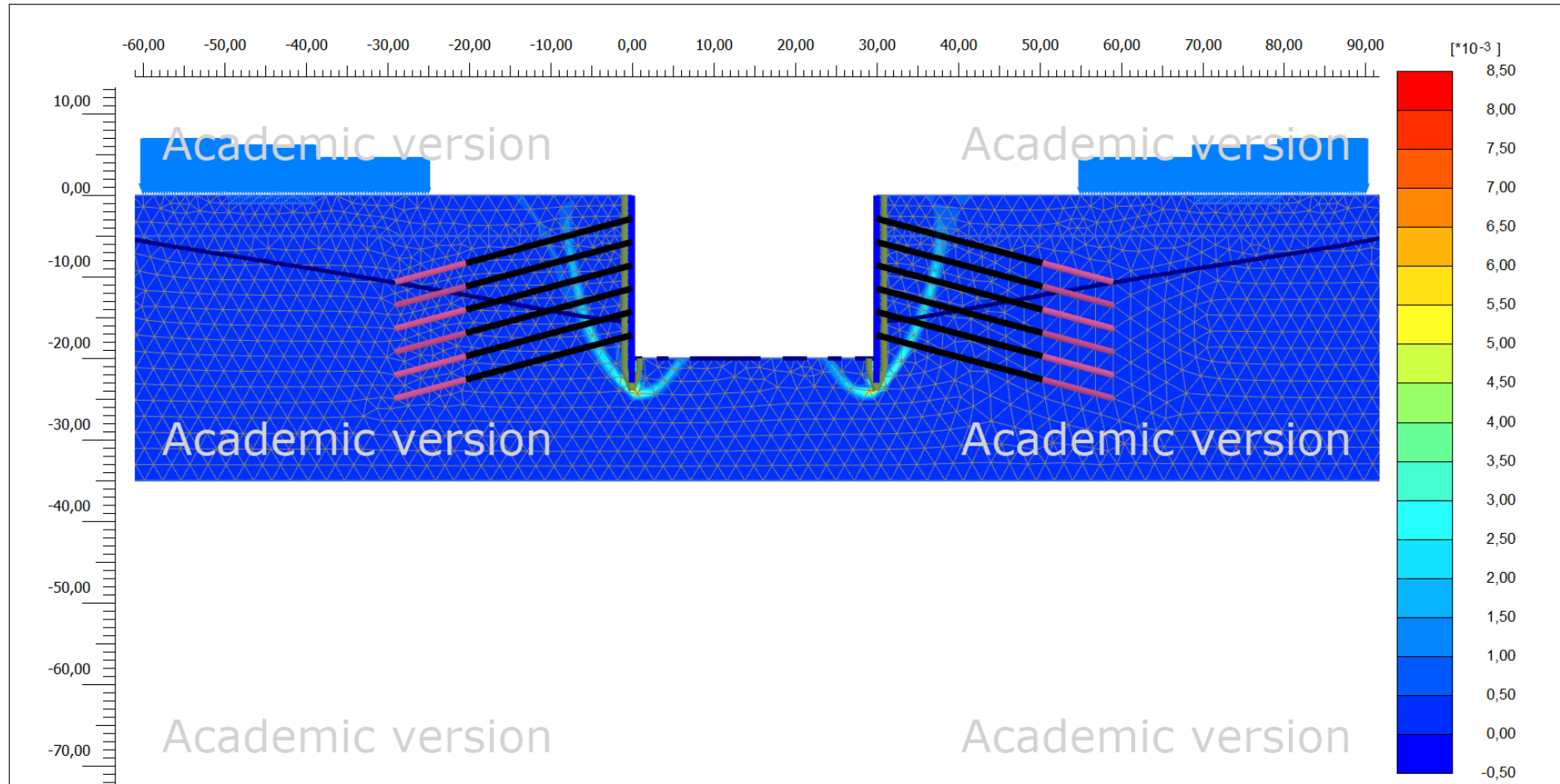
Project filename
Εκσκαφή & Προσωρινή Αντισ...

Step
349

Company
National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



Incremental deviatoric strain $\Delta\gamma_s$ (scaled up 500 times)

Maximum value = $8,186 \cdot 10^{-3}$ (Element 3710 at Node 24061)

Minimum value = $2,555 \cdot 10^{-9}$ (Element 1412 at Node 36133)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.3]

Date

9/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντισ...

Step

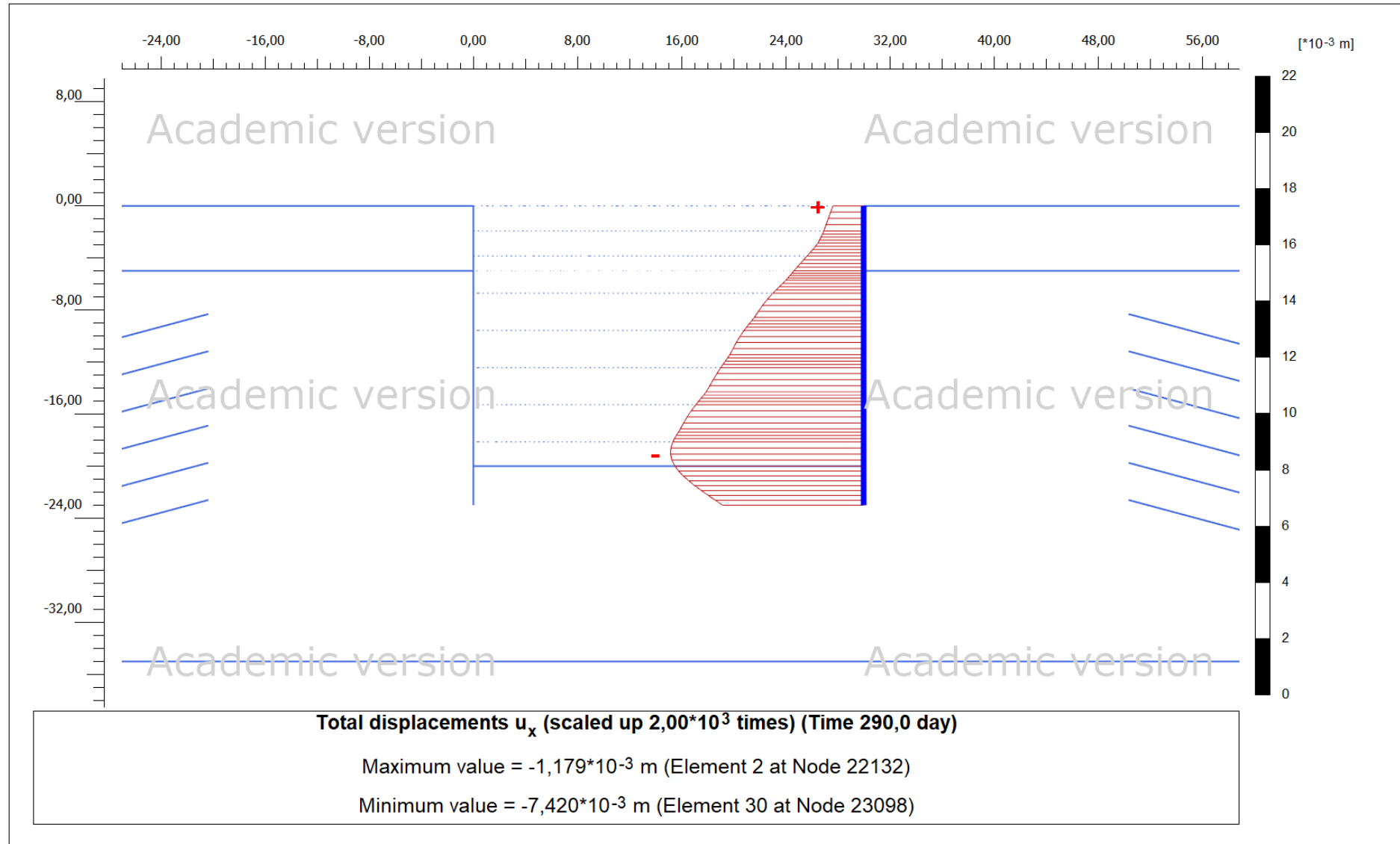
349

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.3]

Date

9/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντισ...

Step

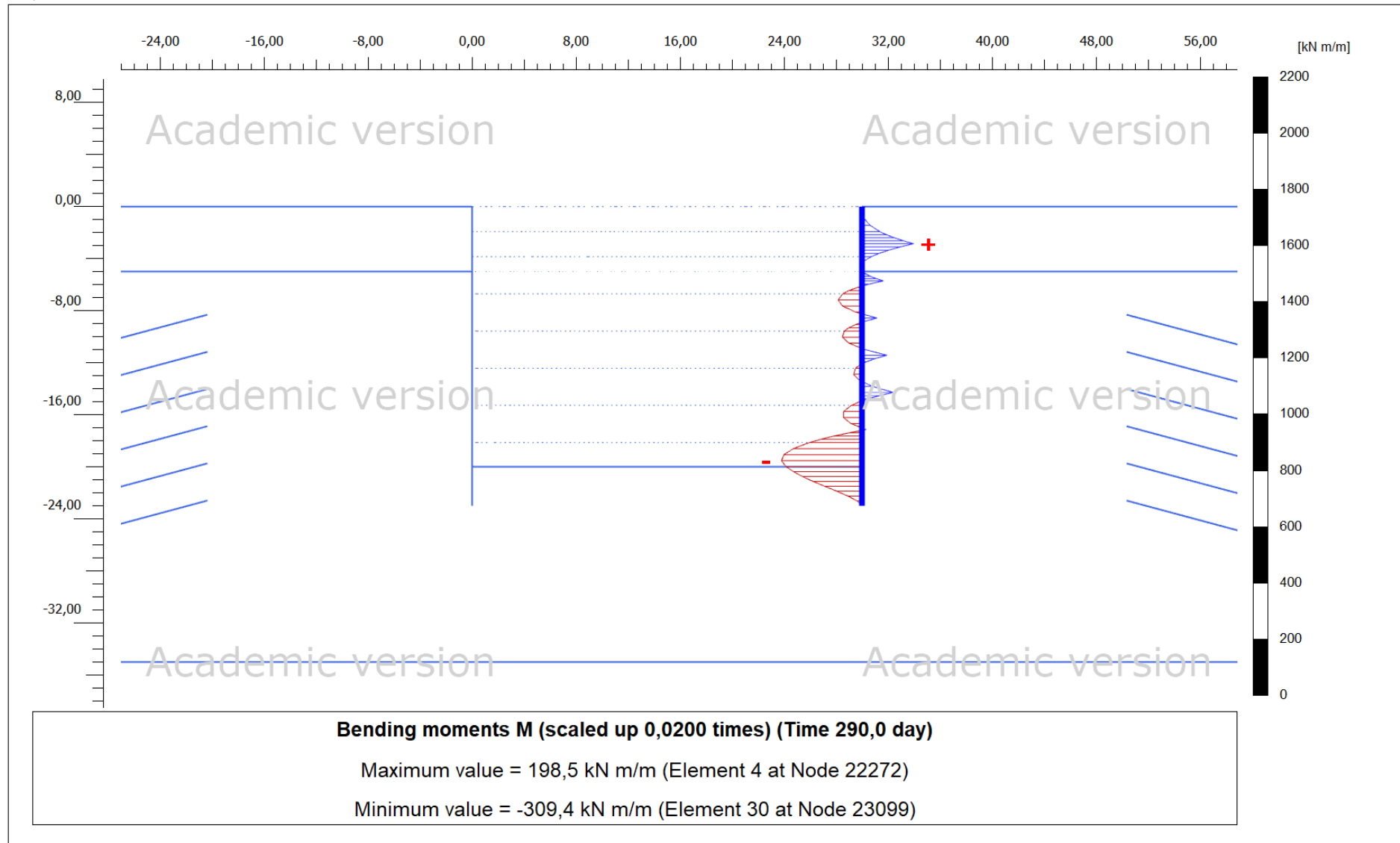
249

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.3]

Date

9/10/2022

Project filename

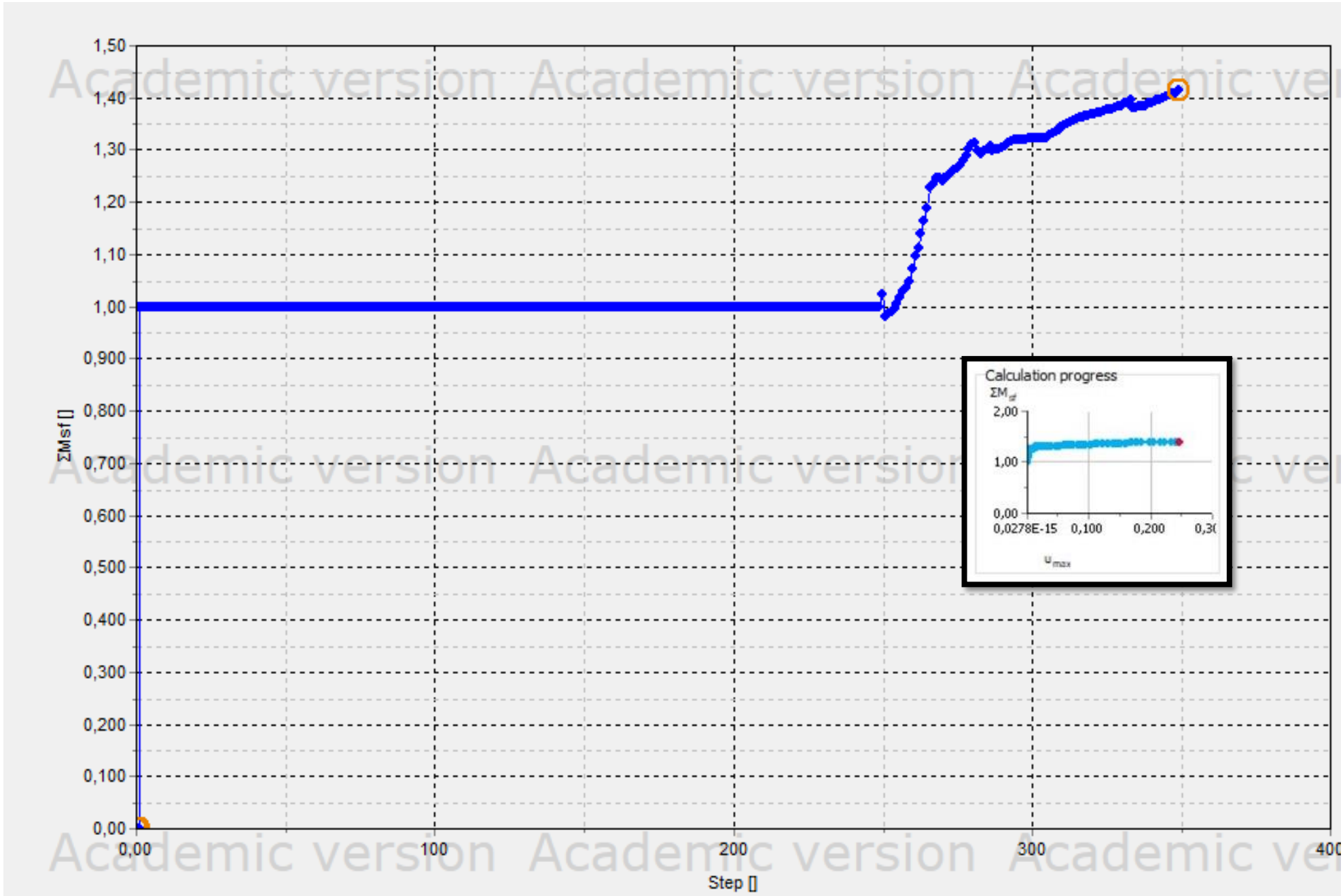
Εκσκαφή & Προσωρινή Αντισ...

Step

249

Company

National Technical University of Athens



Διάγραμμα 5.3 – Βήμα προόδου υπολογισμών - Συντελεστής ασφαλείας τρίτης επίλυσης

5.4 Τελική επίλυση

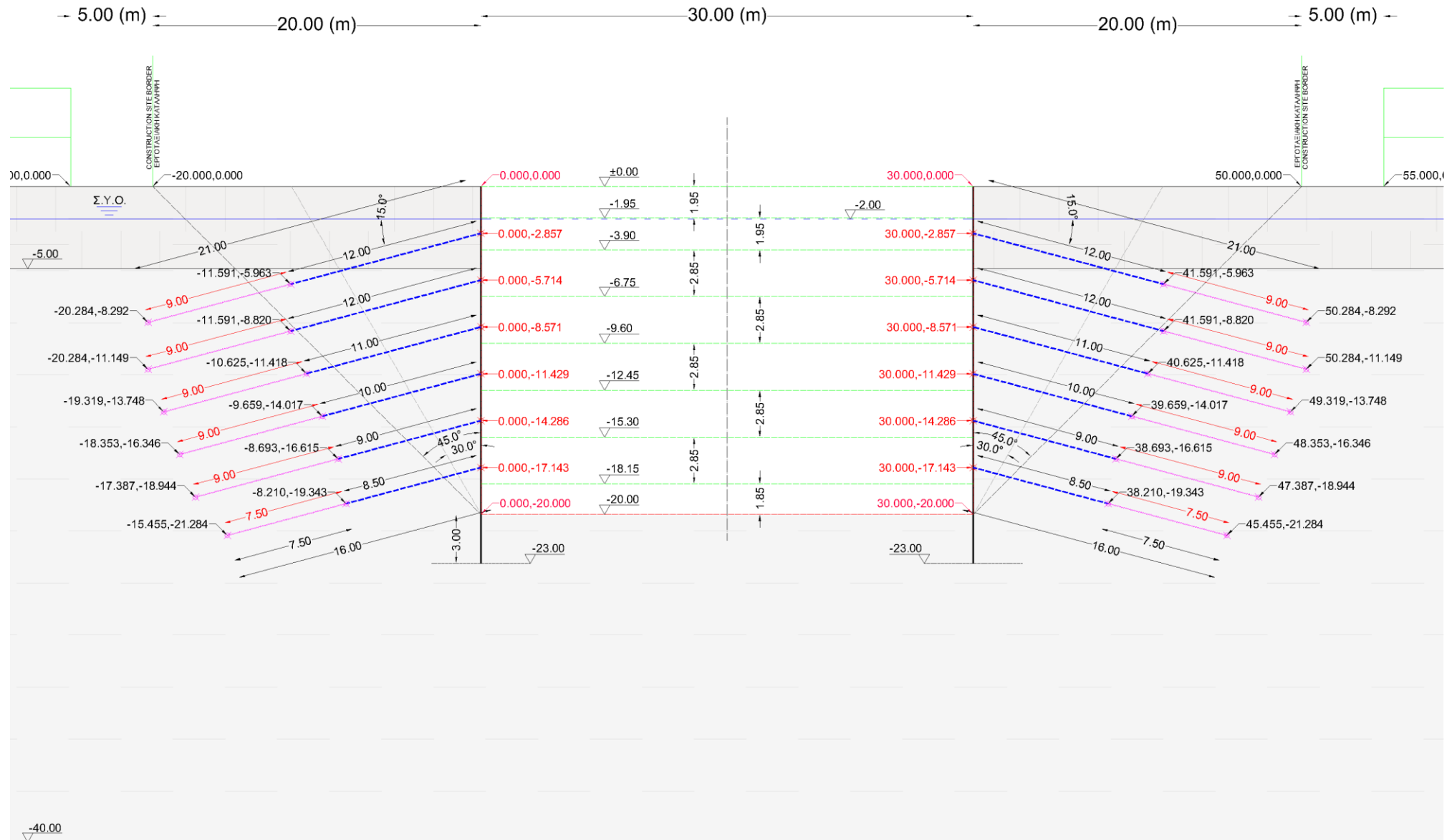
Γεωμετρικό προσομοίωμα

Στην συνέχεια επισυνάπτεται το τέταρτο γεωμετρικό προσομοίωμα, έτσι όπως προσδιορίστηκε μέσω του προγράμματος AUTOCAD 2022 της AUTODESK. Ομοίως παρουσιάζονται με ακρίβεια οι συντεταγμένες των στοιχείων του συστήματος αντιστήριξης.

Παραμένουν έξι σειρές προενταμένων αγκυρίων, με 6 κλώνους οι πέντε αρχικές στάθμες και 5 κλώνους η τελευταία στάθμη πρεοντεταμένων αγκυρώσεων, όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί:

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΩΝ ΑΓΚΥΡΩΣΕΩΝ								
Σειρά Αγκυρίων	Στάθμη (m)	Κλίση (°)	Αριθμός Τενόντων Κλώνοι	Φορτίο ανά Αγκύριο (KN)	Συνολικό Μήκος (m)	Πακτωμένο Μήκος (m)	R _{a,d} (KN)	R _{t,d} (KN)
1η	-2,86	15	6	708	21,00	9,00	1.227	1.233
2η	-5,71	15	6	708	21,00	9,00	1.227	1.233
3η	-8,57	15	6	708	20,00	9,00	1.227	1.233
4η	-11,43	15	6	708	19,00	9,00	1.227	1.233
5η	-14,29	15	6	708	18,00	9,00	1.227	1.233
6η	-17,14	15	5	708	16,00	7,50	1.023	1.027

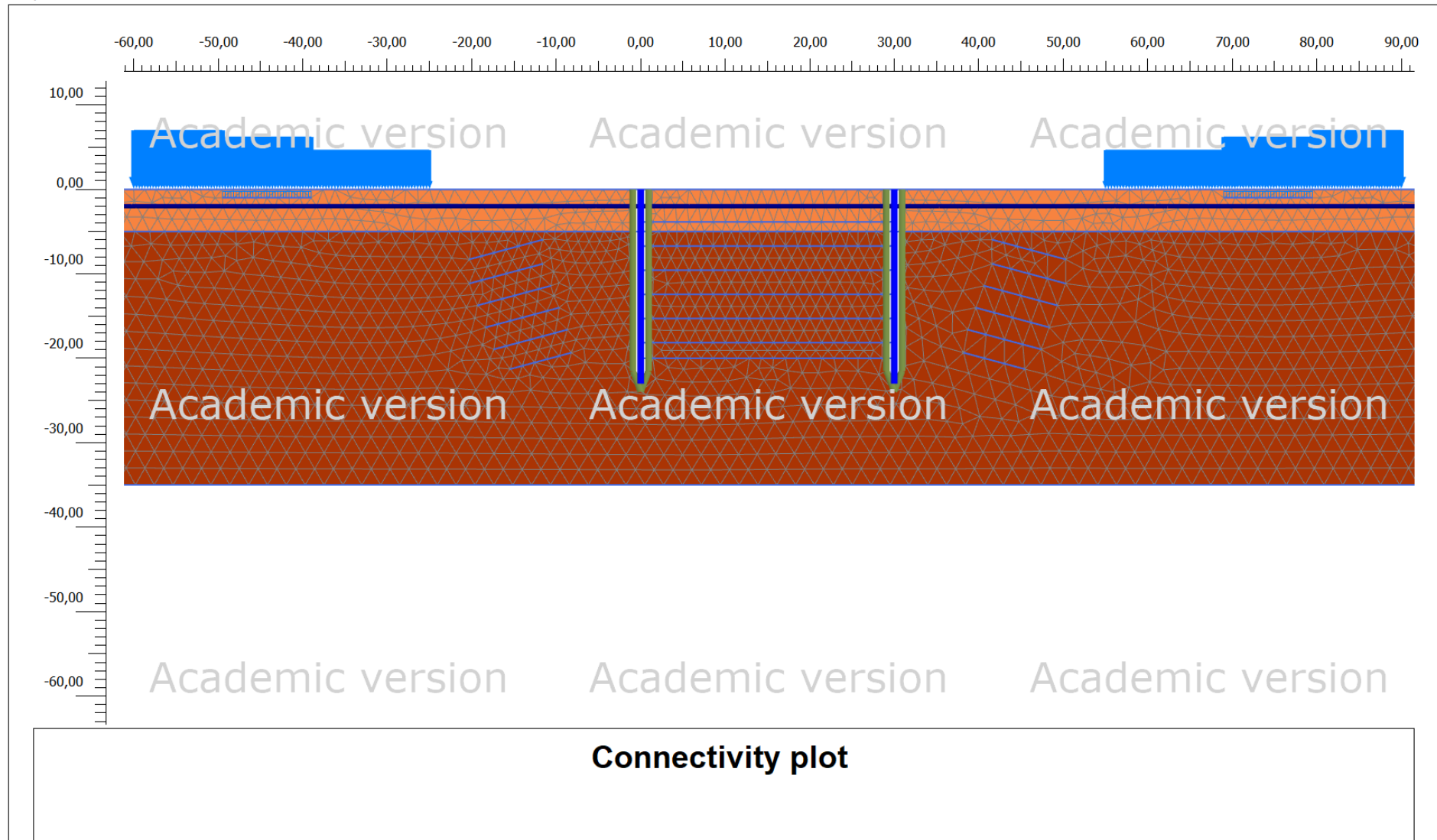
Ο κάρναβος πεπερασμένων στοιχείων, παραμένει ίδιος με διαστάσεις 230m x 40m (x,y) με σκοπό να εξασφαλιστεί ανεπηρέαστη η περιοχή της εκσκαφής από τα όρια του προσομοιώματος. Παρακάτω φαίνονται οι θέσεις των πασσαλοτοιχίων αντιστήριξης, οι στάθμες των αγκυρίων, οι στάθμες των ενδιάμεσων εκσκαφών οι οποίες αποτελούν και τις φάσεις της κατασκευής του μοντέλου το οποίο πρόκειται να επιλυθεί. Δύο μέτρα κάτω από την φυσική επιφάνεια εδάφους, απαντάται η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Τέλος, τα επιφανειακά φορτία των υφιστάμενων κτιριακών κατασκευών, επισημαίνονται με χαρακτηριστικό μπλε χρώμα.



Εικόνα 5.7 - Διαστασιολόγηση αγκυρίων αντιστήριξης σταθμού τελικής επίλυσης



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.4]

Date

12/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντισ...

Step

132

Company

National Technical University of Athens



Phases

Name	Value
General	
ID	SAFETY FACTOR [Phase_22]
Start from phase	8th_Final_Consolidation
Calculation type	<input checked="" type="checkbox"/> Safety
Loading type	<input checked="" type="checkbox"/> Incremental multipliers
M_{sf}	
Pore pressure calculation type	<input type="checkbox"/> Use pressures from previous
Thermal calculation type	<input checked="" type="checkbox"/> Ignore temperature
First step	
Last step	
Design approach	(None)
Special option	
Deformation control parameters	
Ignore undr. behaviour (A,B)	<input type="checkbox"/>
Reset displacements to zero	<input type="checkbox"/>
Reset small strain	<input type="checkbox"/>
Reset state variables	<input type="checkbox"/>
Updated mesh	<input type="checkbox"/>
Updated water pressure	<input type="checkbox"/>
Ignore suction	<input checked="" type="checkbox"/>
Cavitation cut-off	<input type="checkbox"/>
Cavitation stress	
Numerical control parameters	
Max cores to use	
Max number of steps stored	
Use compression for result files	<input type="checkbox"/>
Use default iter parameters	<input checked="" type="checkbox"/>

Log info for last calculation

OK

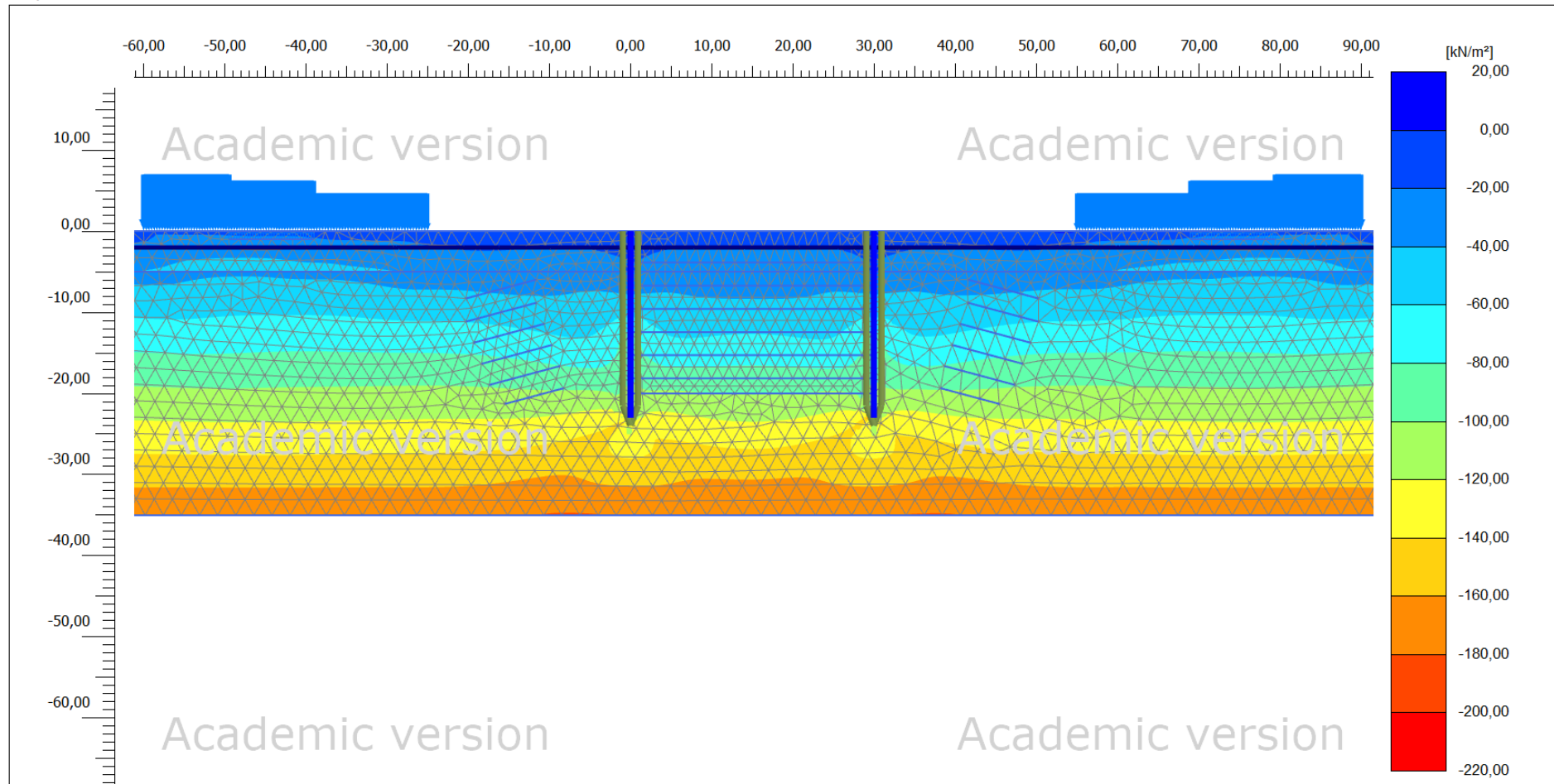
Comments

OK

Εικόνα 5.8 - Φάσεις τελικής επίλυσης διδιάστατου μοντέλου



Output Version 21.1.0.479



Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up 0,0500 times)

Maximum value = 8,458 kN/m² (Element 3674 at Node 23711)

Minimum value = -212,0 kN/m² (Element 3674 at Node 23729)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.4]

Date

12/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντισ...

Step

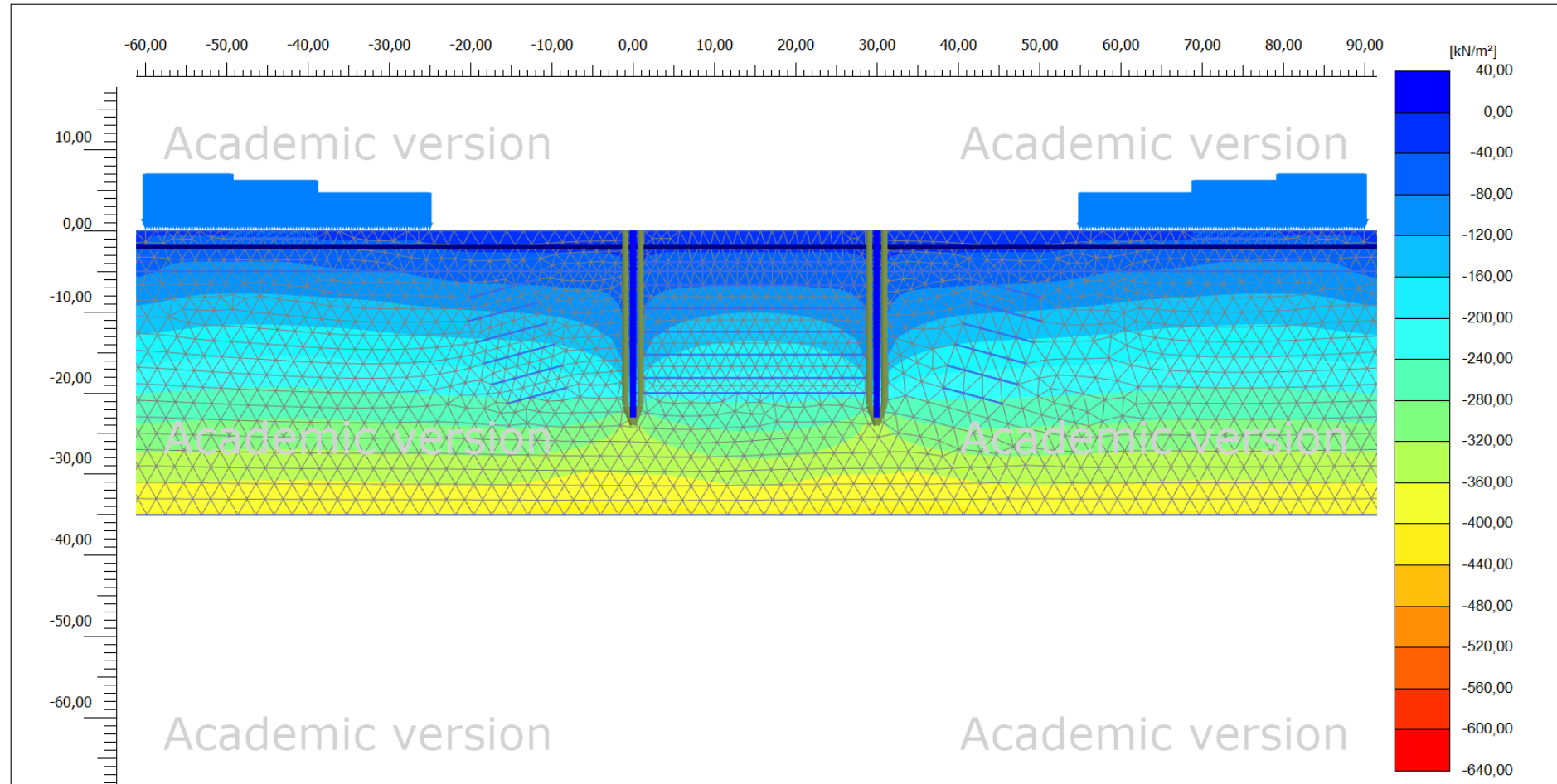
132

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up 0,0100 times)

Maximum value = 3,195 kN/m² (Element 216 at Node 11889)

Minimum value = -618,4 kN/m² (Element 3674 at Node 23729)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.4]

Date

12/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντισ...

Step

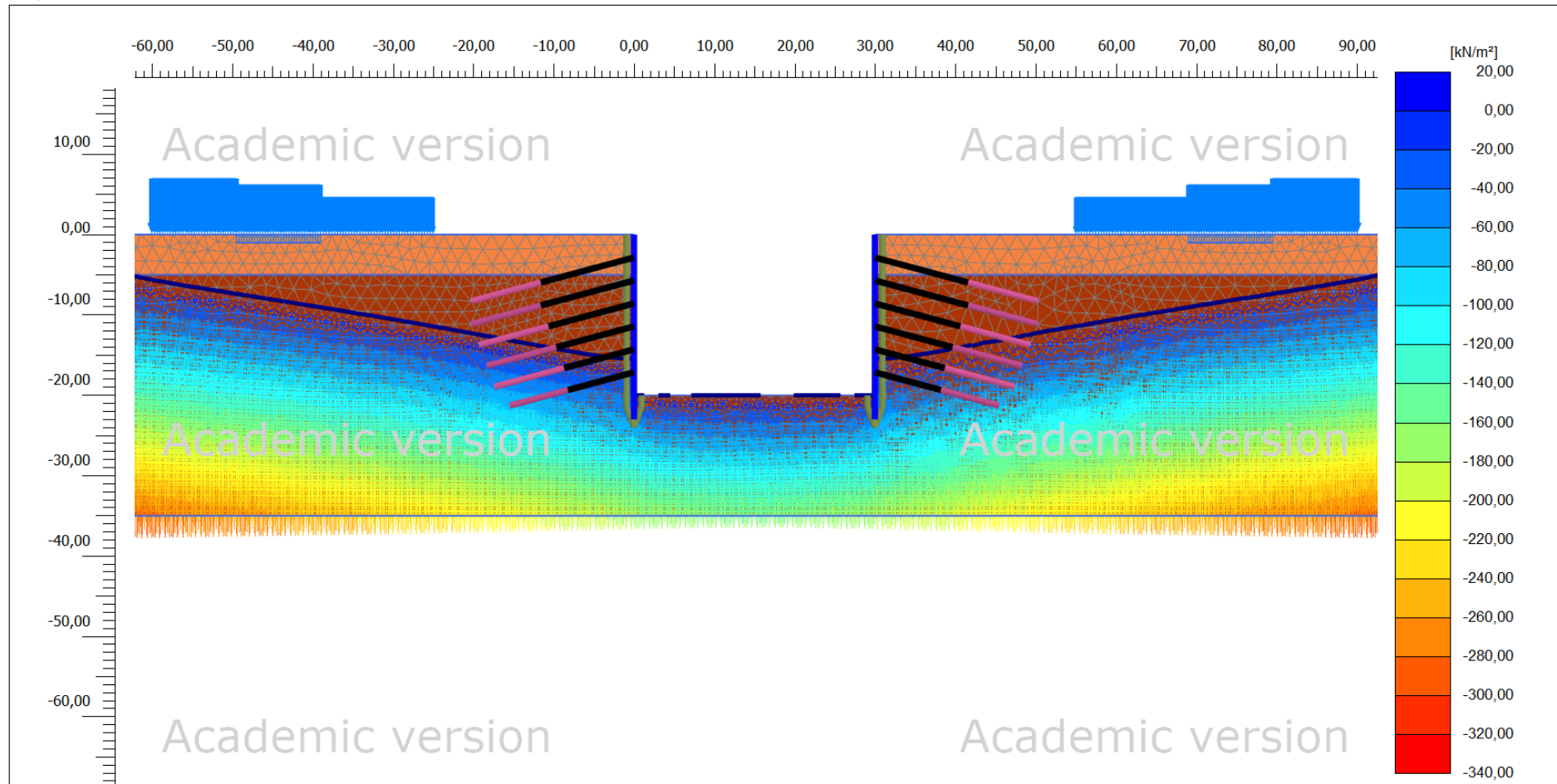
132

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



Active pore pressures p_{active} (scaled up 0,0200 times) (Pressure = negative) (Time 290,0 day)

Maximum value = $0,1071 \cdot 10^{-3}$ kN/m² (Element 4409 at Stress point 52906)

Minimum value = -328,4 kN/m² (Element 1450 at Stress point 17390)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.4]

Date

12/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντισ...

Step

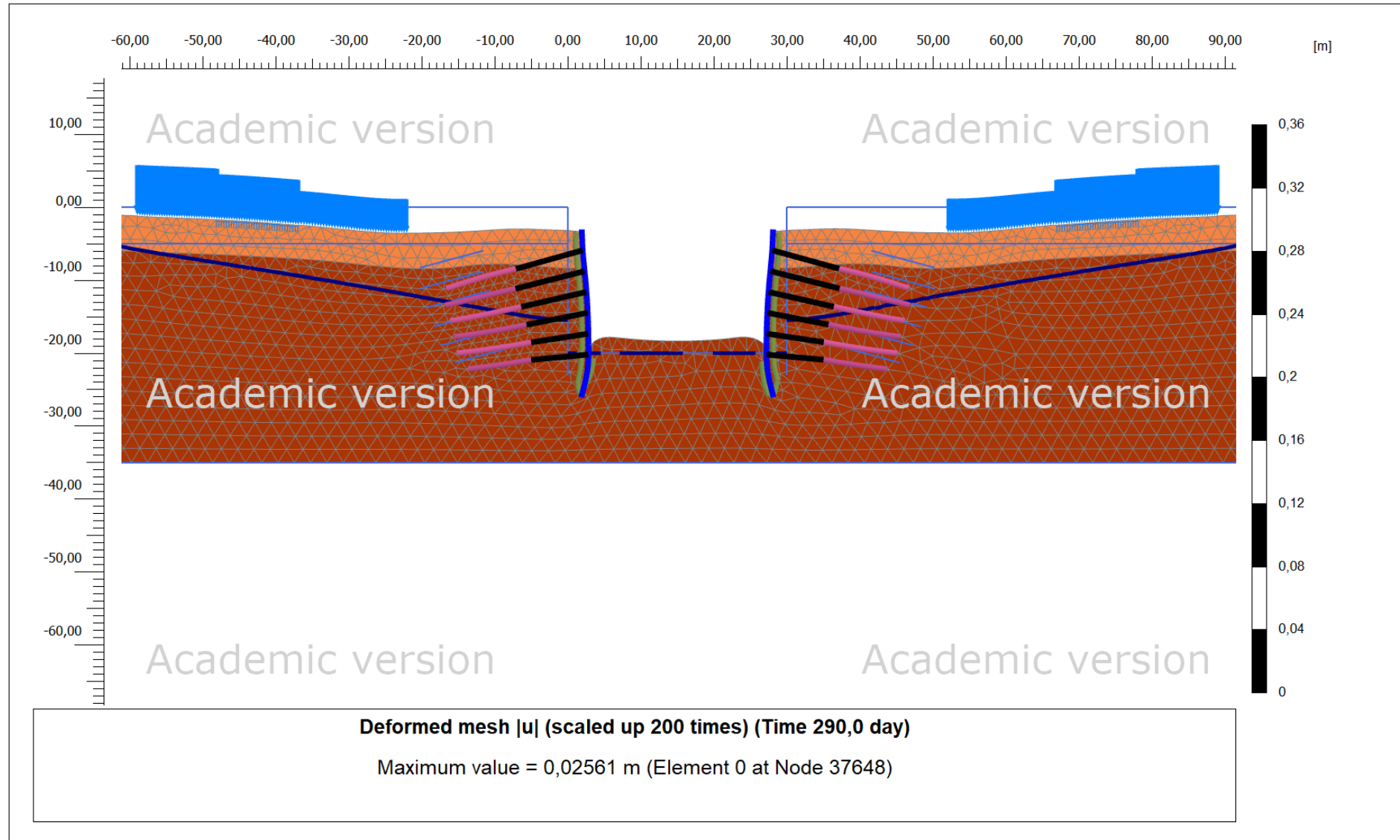
317

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.4]

Date

12/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντισ...

Step

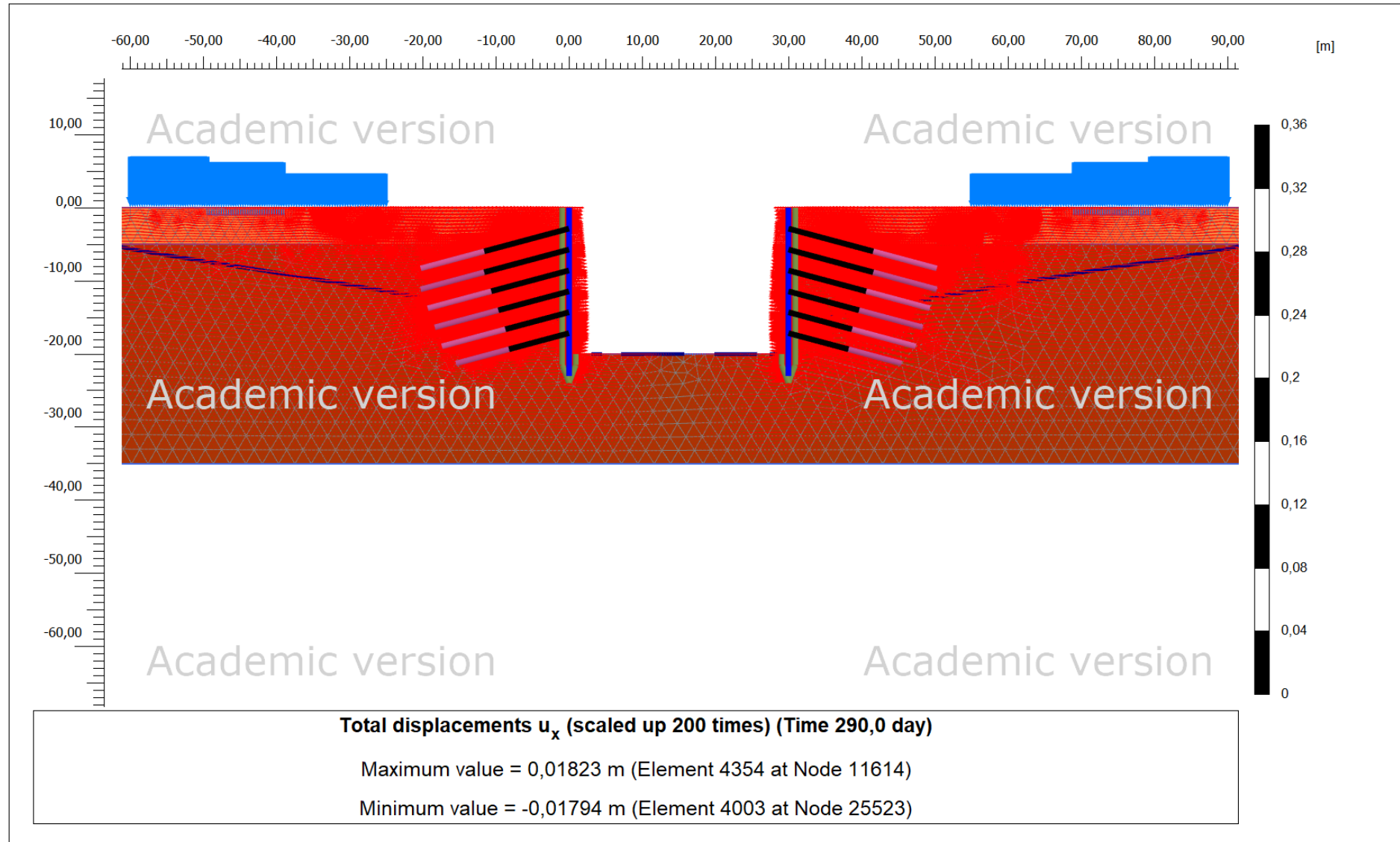
317

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.4]

Date

12/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντισ...

Step

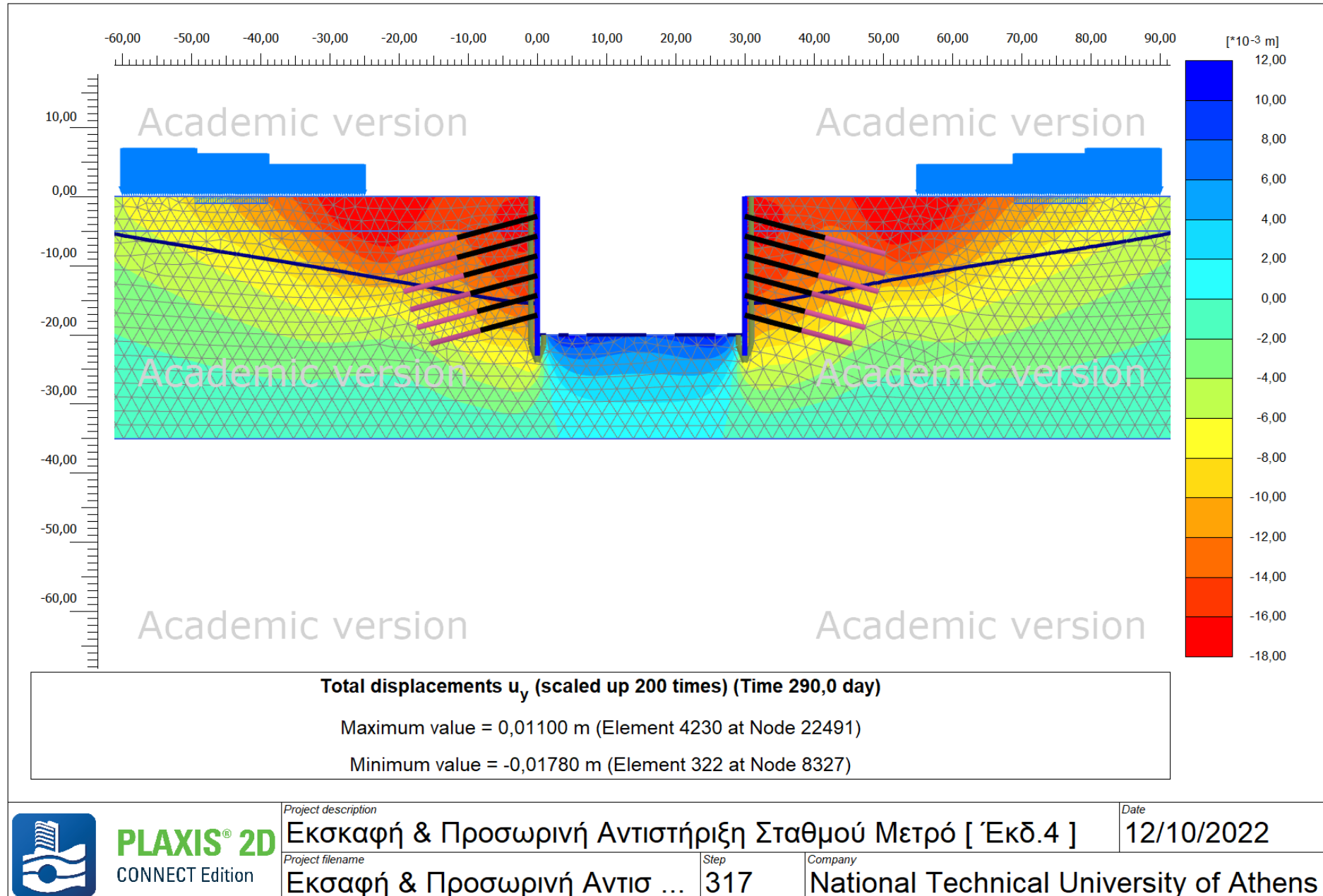
317

Company

National Technical University of Athens

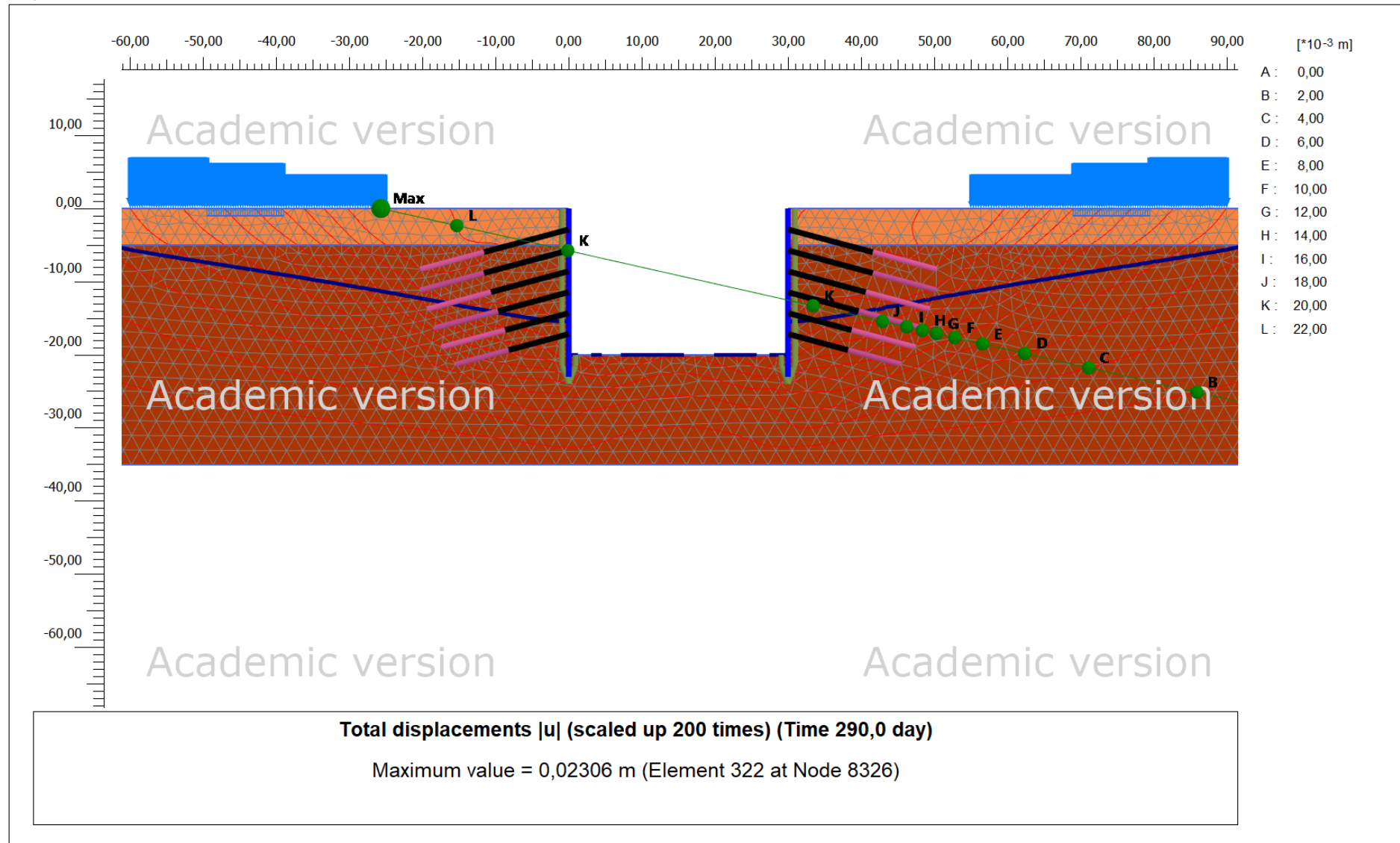


Output Version 21.1.0.479





Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.4]

Date

12/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντισ...

Step

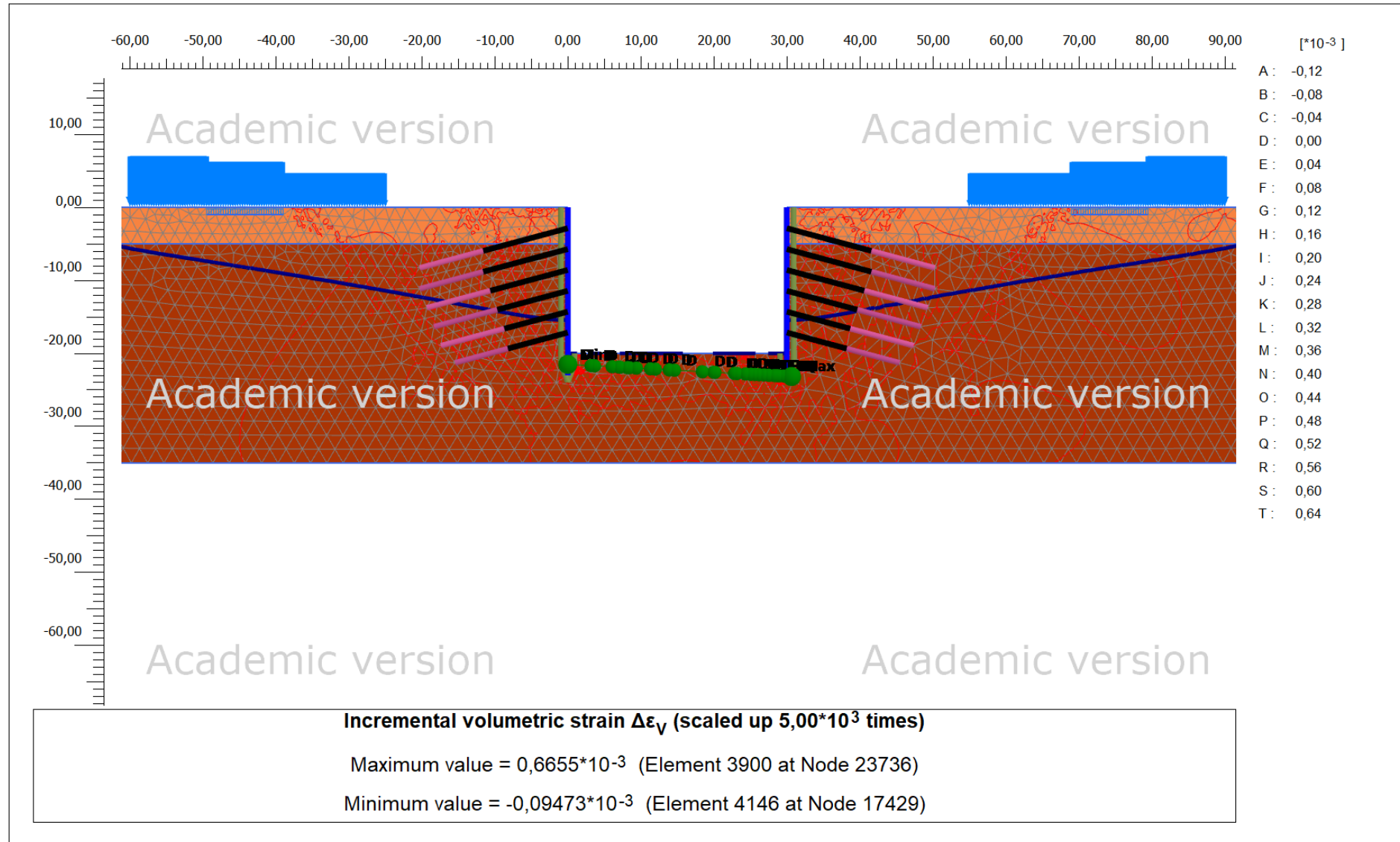
317

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description
Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.4]

Date
12/10/2022

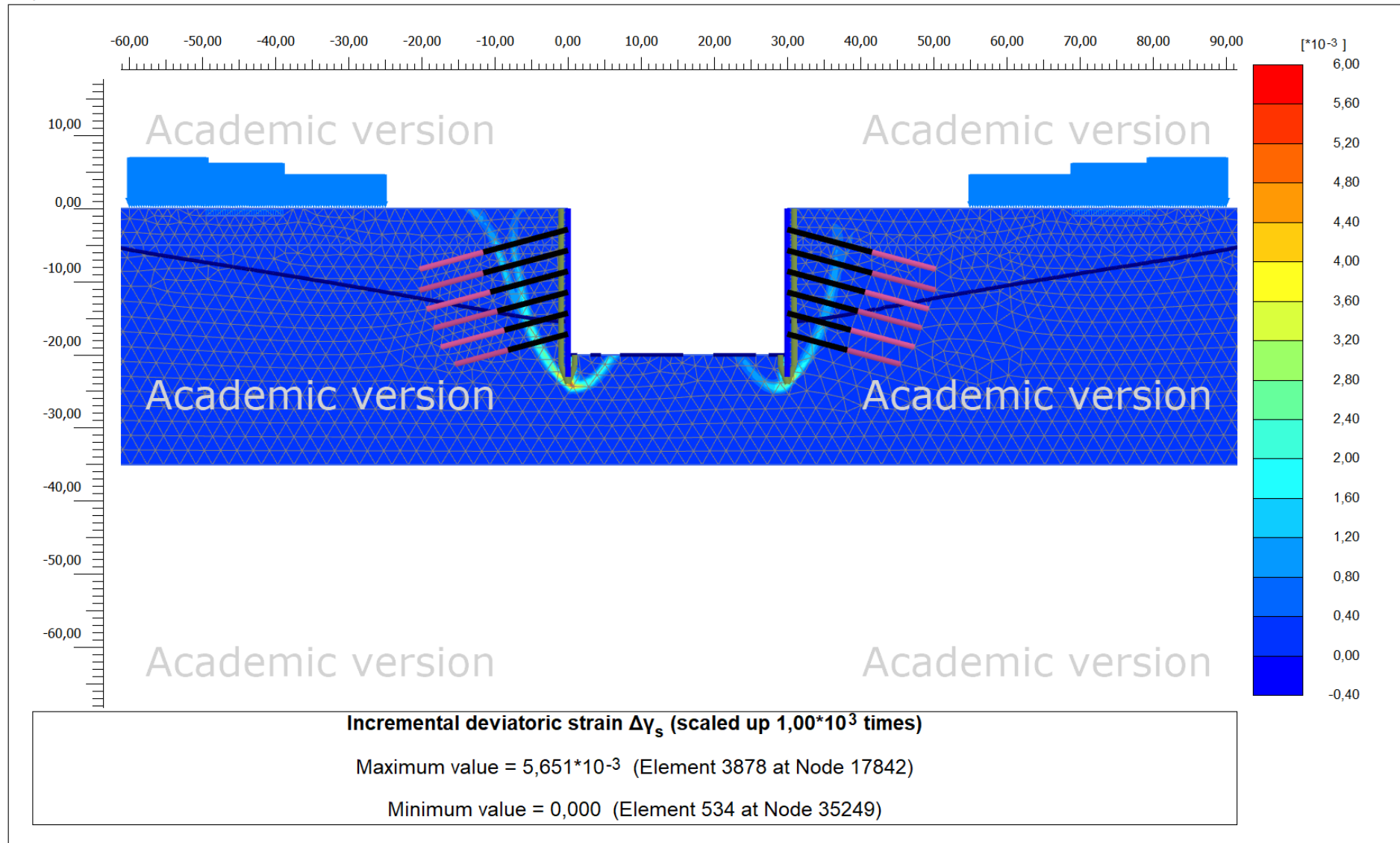
Project filename
Εκσκαφή & Προσωρινή Αντισ...

Step
417

Company
National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.4]

Date

12/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντισ...

Step

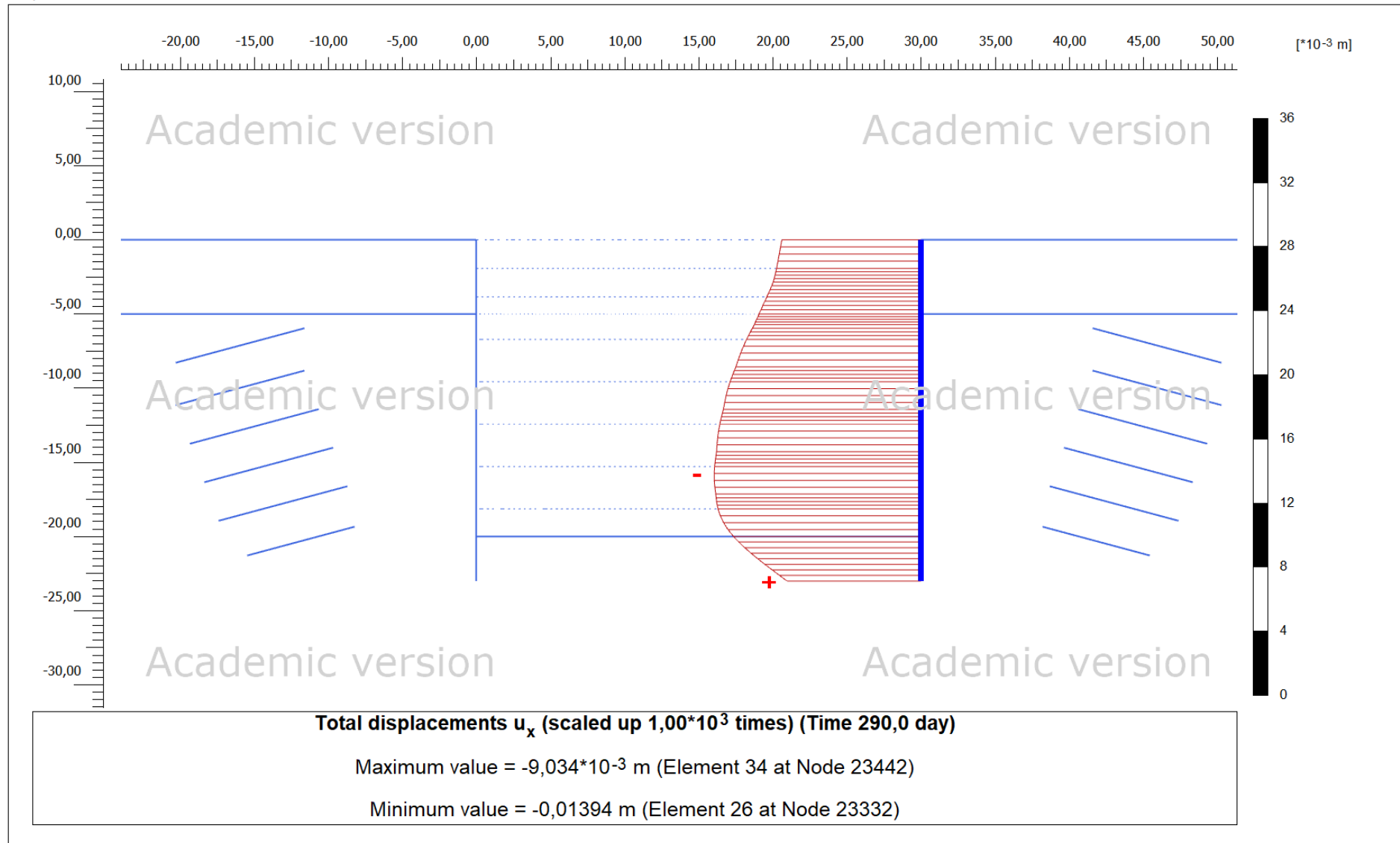
417

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.4]

Date

12/10/2022

Project filename

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντισ...

Step

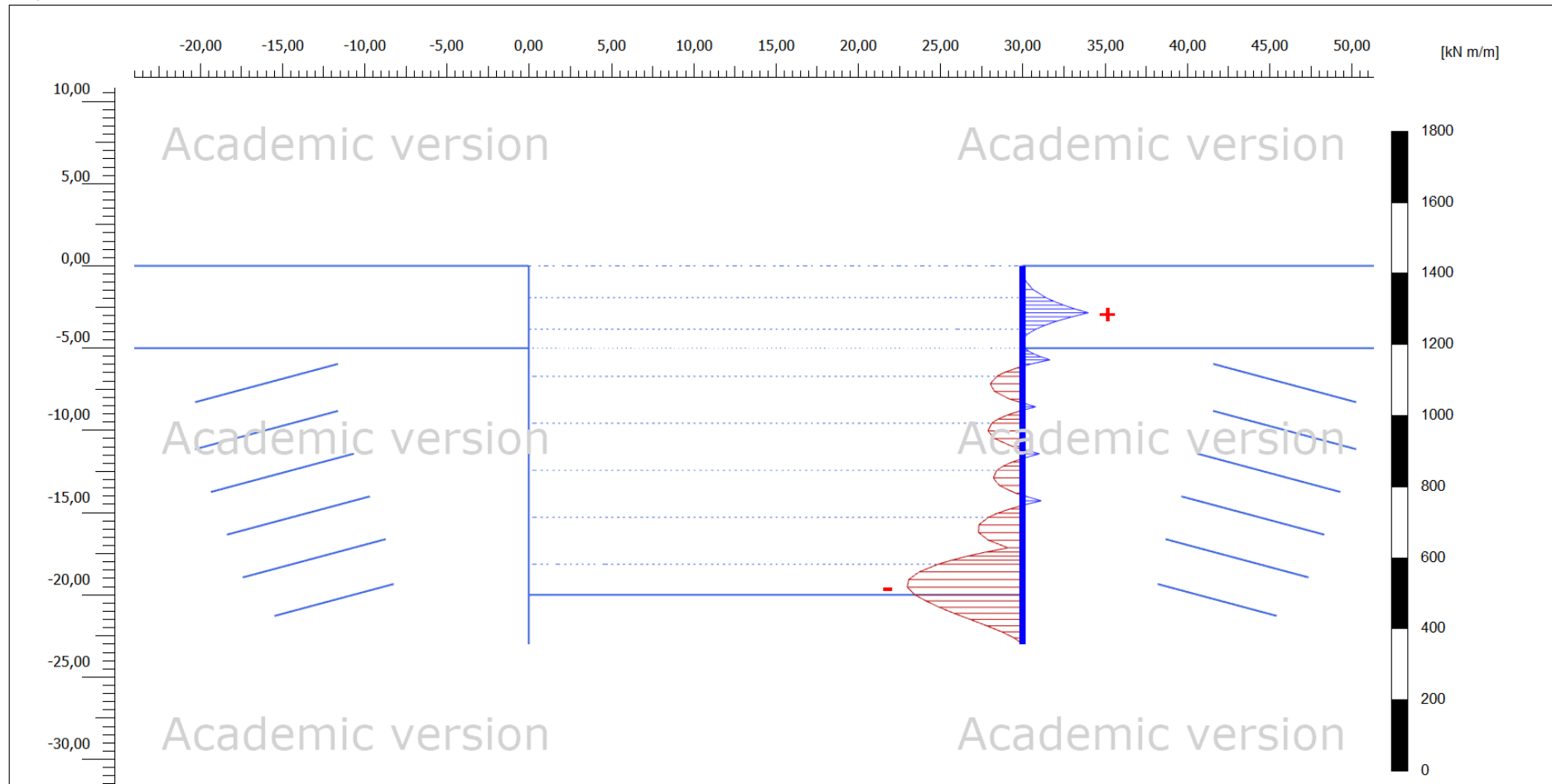
317

Company

National Technical University of Athens



Output Version 21.1.0.479



Bending moments M (scaled up 0,0200 times) (Time 290,0 day)

Maximum value = 200,3 kN m/m (Element 6 at Node 22092)

Minimum value = -350,2 kN m/m (Element 30 at Node 23084)



PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project description

Εκσκαφή & Προσωρινή Αντιστήριξη Σταθμού Μετρό [Έκδ.4]

Date

12/10/2022

Project filename

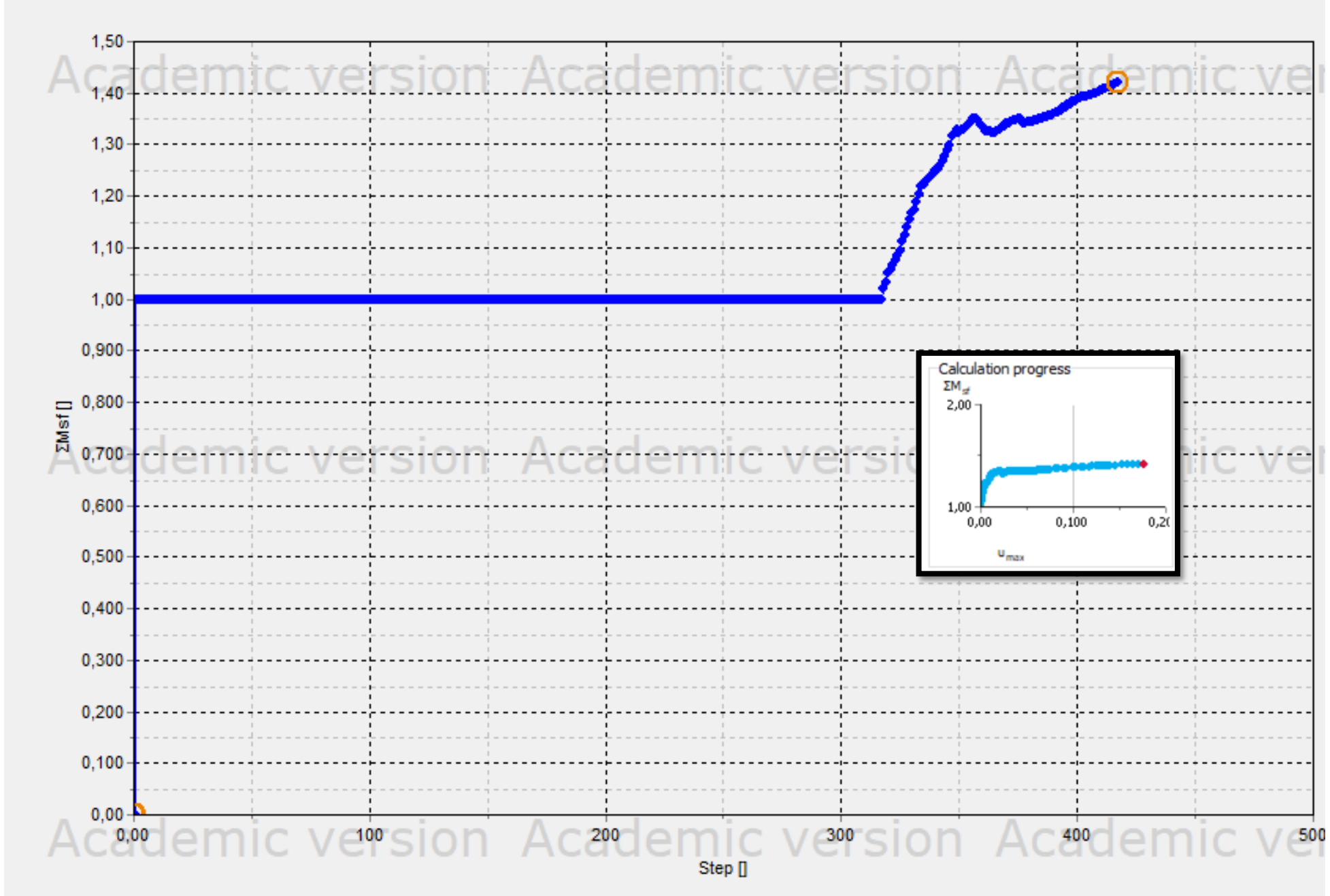
Εκσκαφή & Προσωρινή Αντισ...

Step

317

Company

National Technical University of Athens



Διάγραμμα 5.4 - Βήμα προόδου υπολογισμών - Συντελεστής ασφαλείας τελικής επίλυσης

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας, επιλέγονται τέσσερα αντιπροσωπευτικά σημεία κρισιμότητας, τα οποία θα παρατηρηθούν για το πως συμπεριφέρονται μιας και βρίσκονται σε θέσεις υψηλού ενδιαφέροντος. Παρακάτω, επισυνάπτεται ο πίνακας με

Curves manager

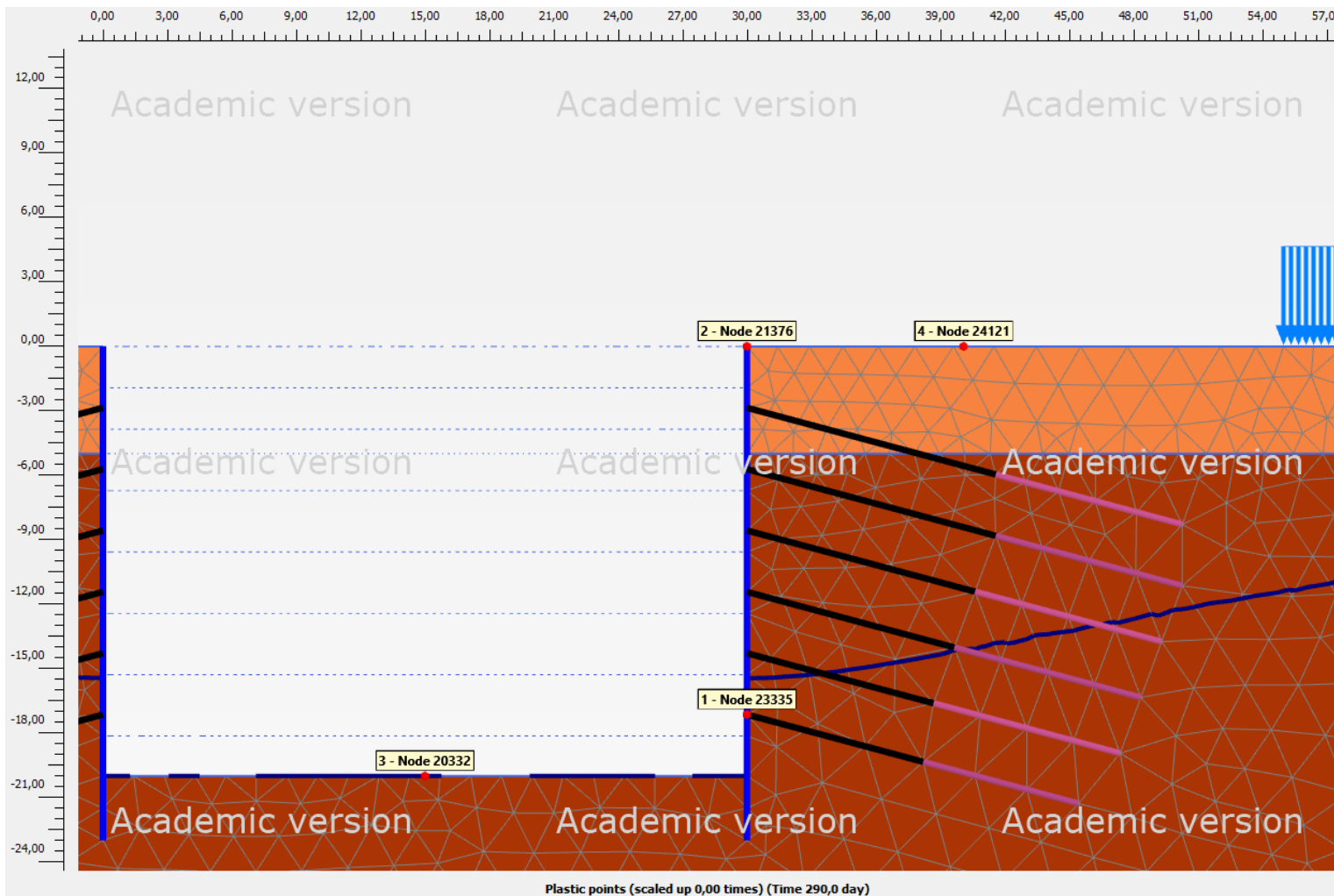
Charts Curve points Select points

Name	X	Y	Selected	Data from
1 - Node 23335	30,00	-17,14	Post-calc	Plate_2_14
2 - Node 21376	30,00	0,00	Post-calc	Plate_2_1
3 - Node 20332	15,00	-20,00	Post-calc	Soil_2_6
4 - Node 24121	40,10	0,00	Post-calc	Soil_1_3

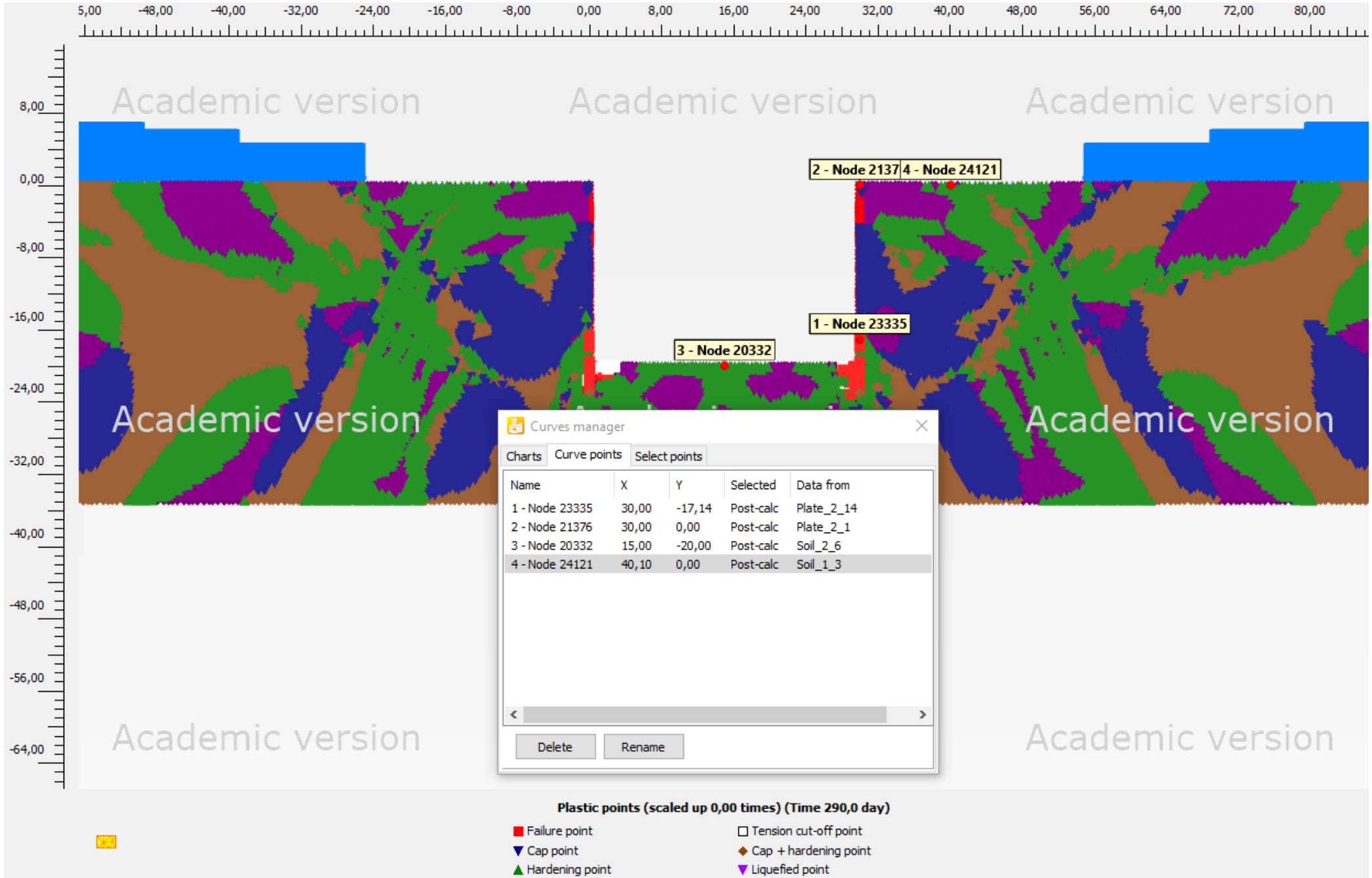
Delete Rename

τις συντεταγμένες τους, καθώς και η απεικόνισή τους στο μοντέλο προσομοίωσης.

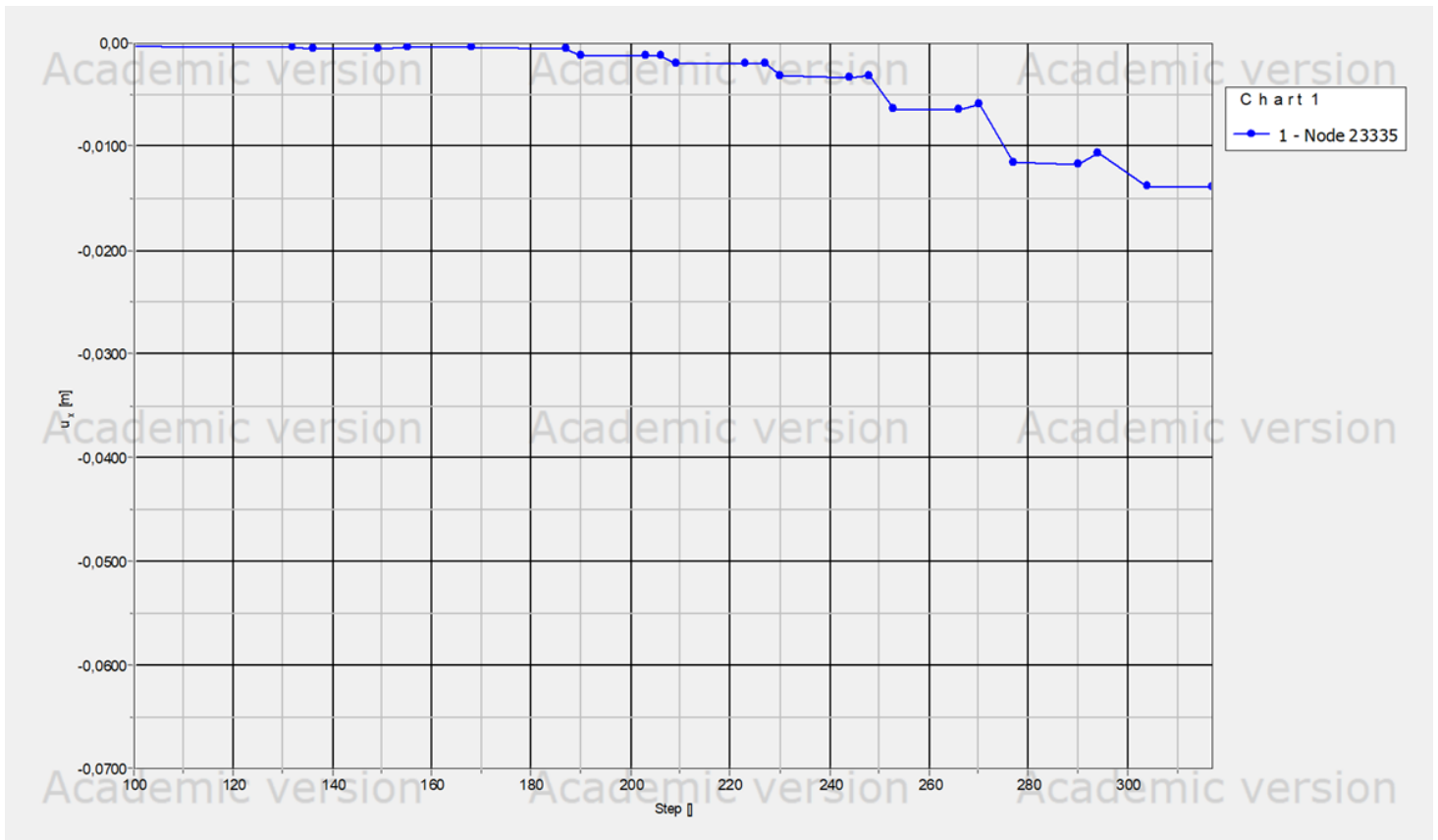
Εικόνα 6.1 – Συντεταγμένες σημείων παρατήρησης



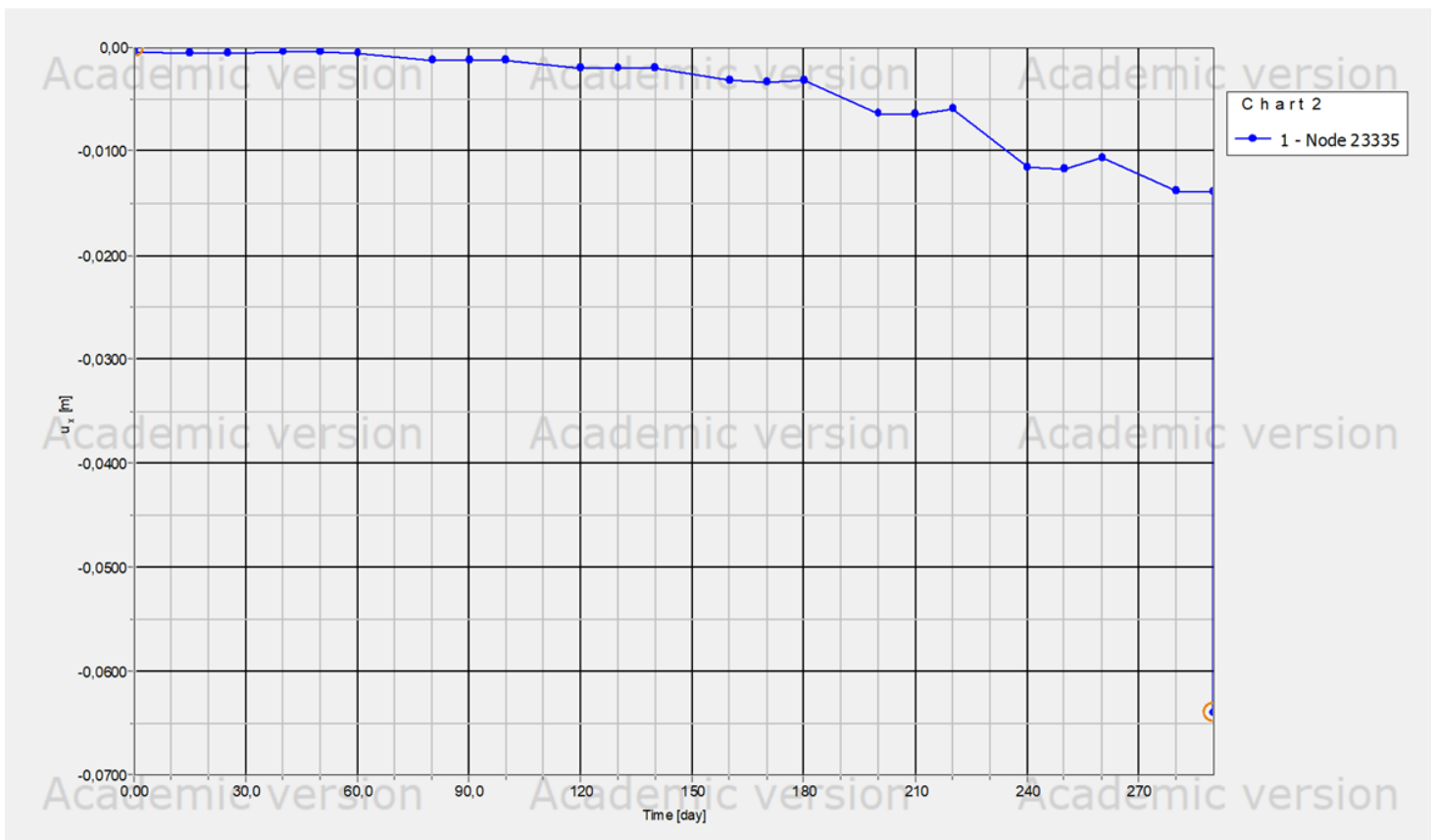
Εικόνα 6.2 – Σημεία παρατήρησης τελικού προσομοιώματος



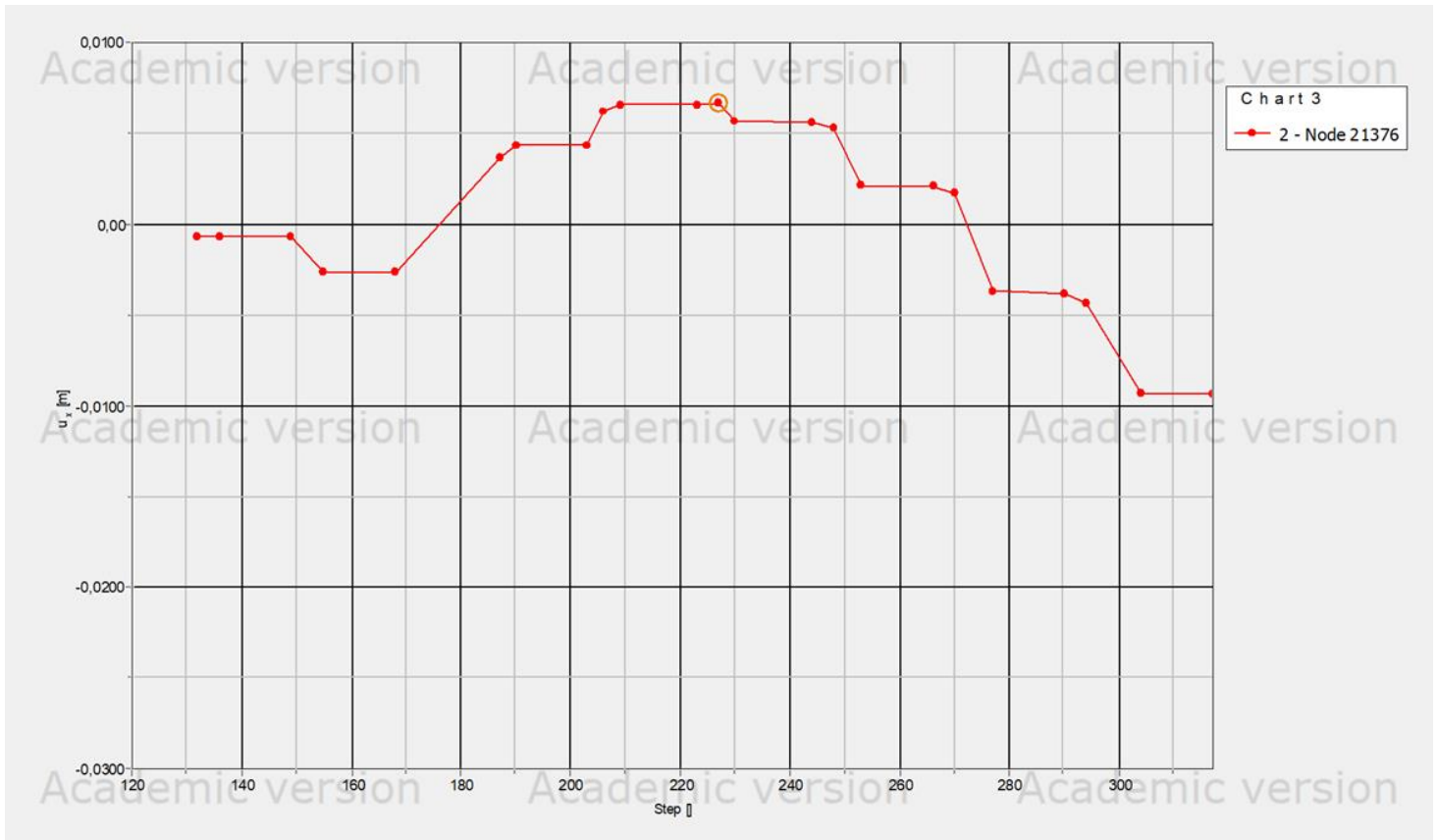
Εικόνα 6.3 – Ευρύτερη άποψη σημείων παρατήρησης τελικού προσομοιώματος



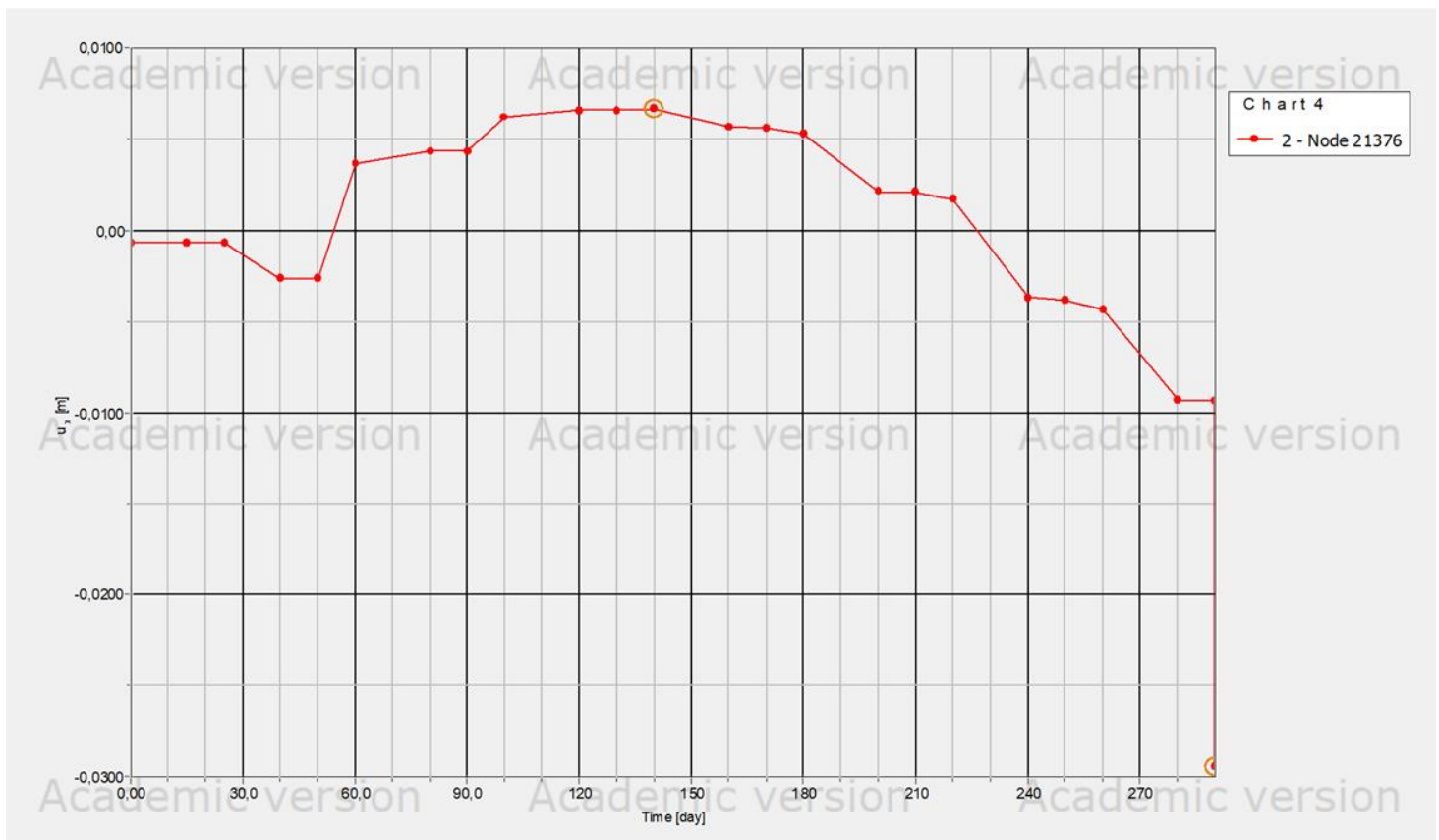
Διάγραμμα 6.1 – Βήμα προόδου υπολογισμών – Οριζόντιες μετακινήσεις (m)
Σημείου 1 - 23335



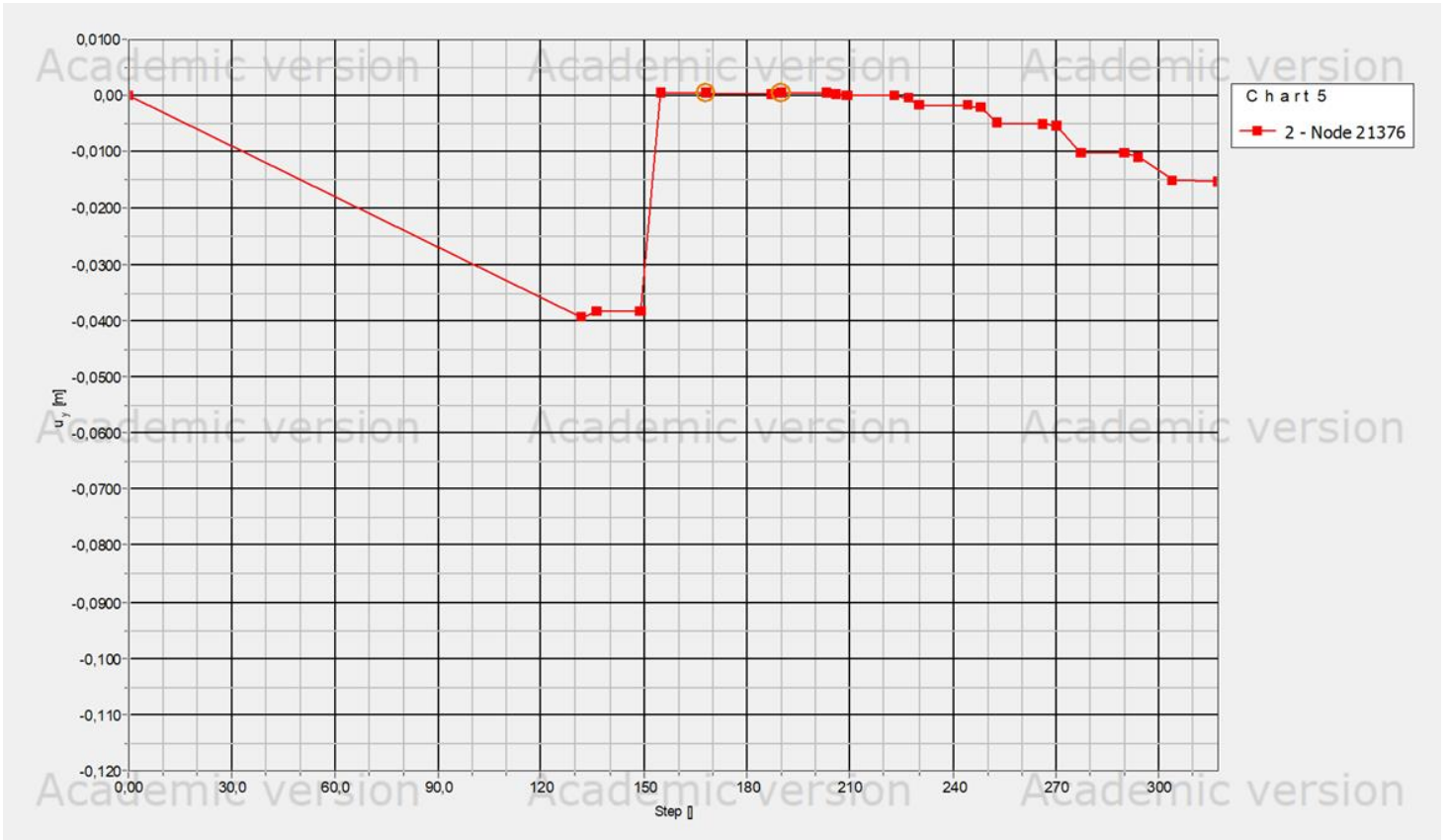
Διάγραμμα 6.2 – Χρόνος σε ημέρες – Οριζόντιες μετακινήσεις (m)
Σημείου 1 - 23335



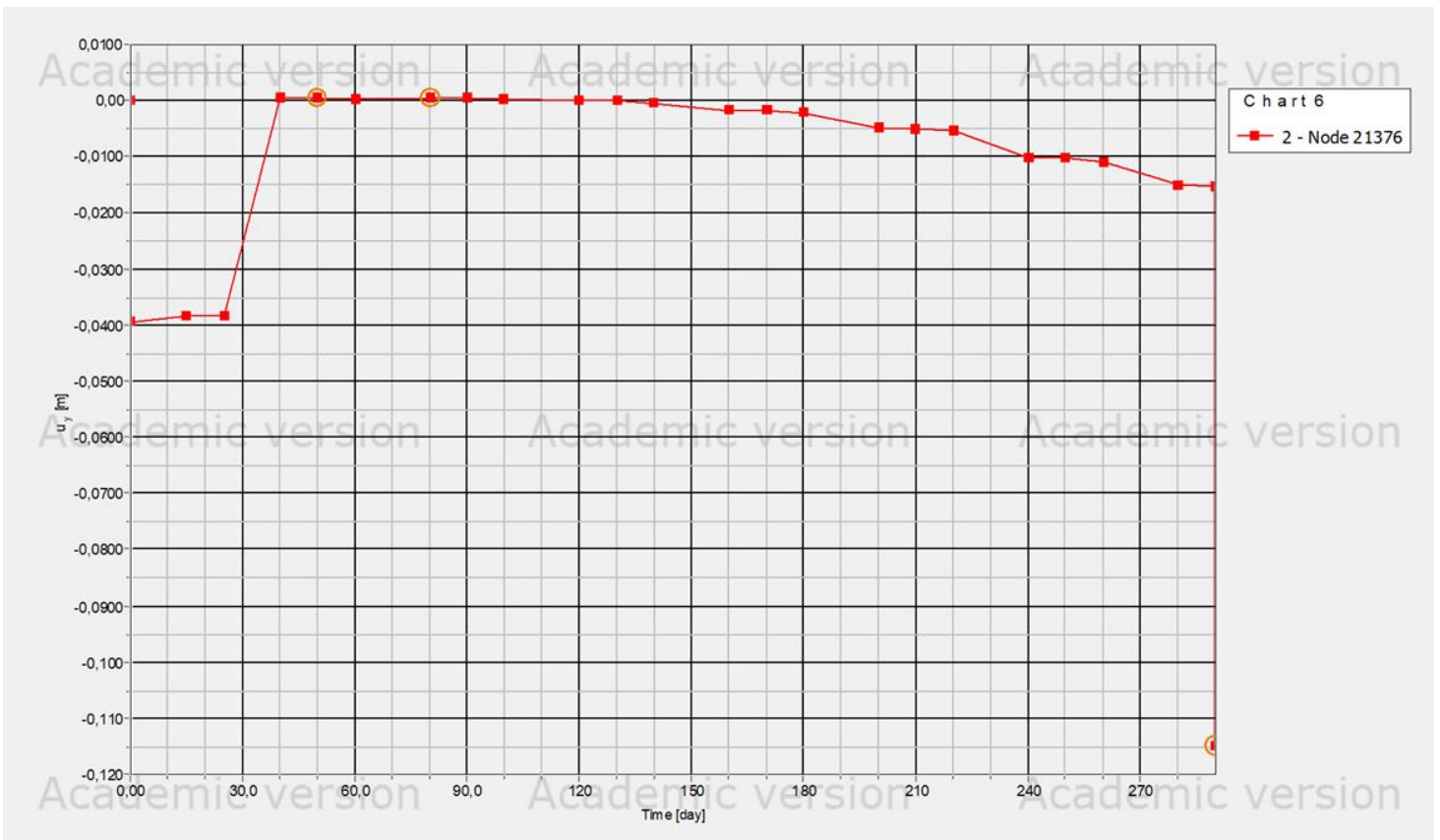
Διάγραμμα 6.3 – Βήμα προόδου υπολογισμών – Οριζόντιες μετακινήσεις (m)
Σημείου 2 - 21376



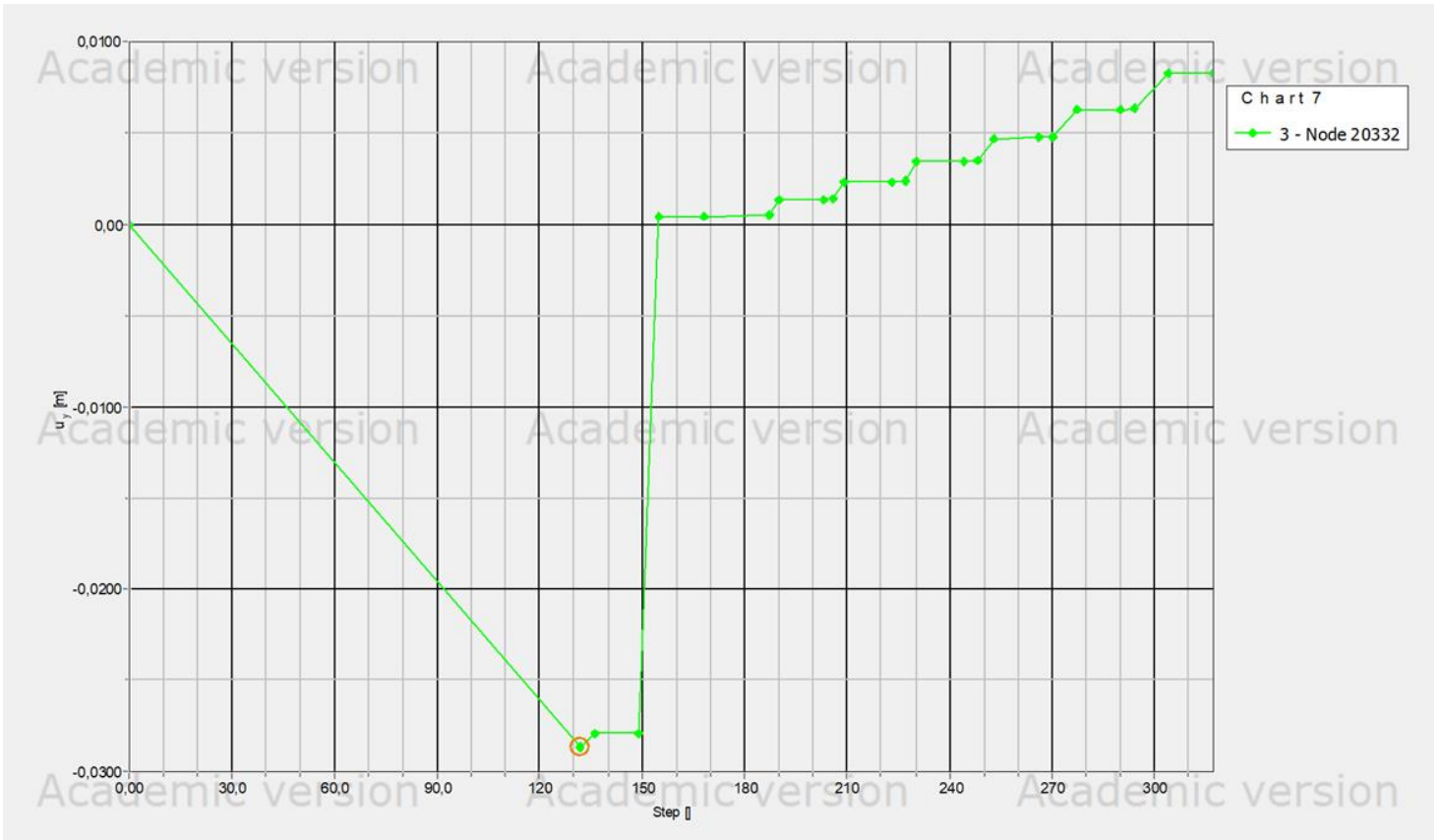
Διάγραμμα 6.4 – Χρόνος σε ημέρες – Οριζόντιες μετακινήσεις (m)
Σημείου 2 - 21376



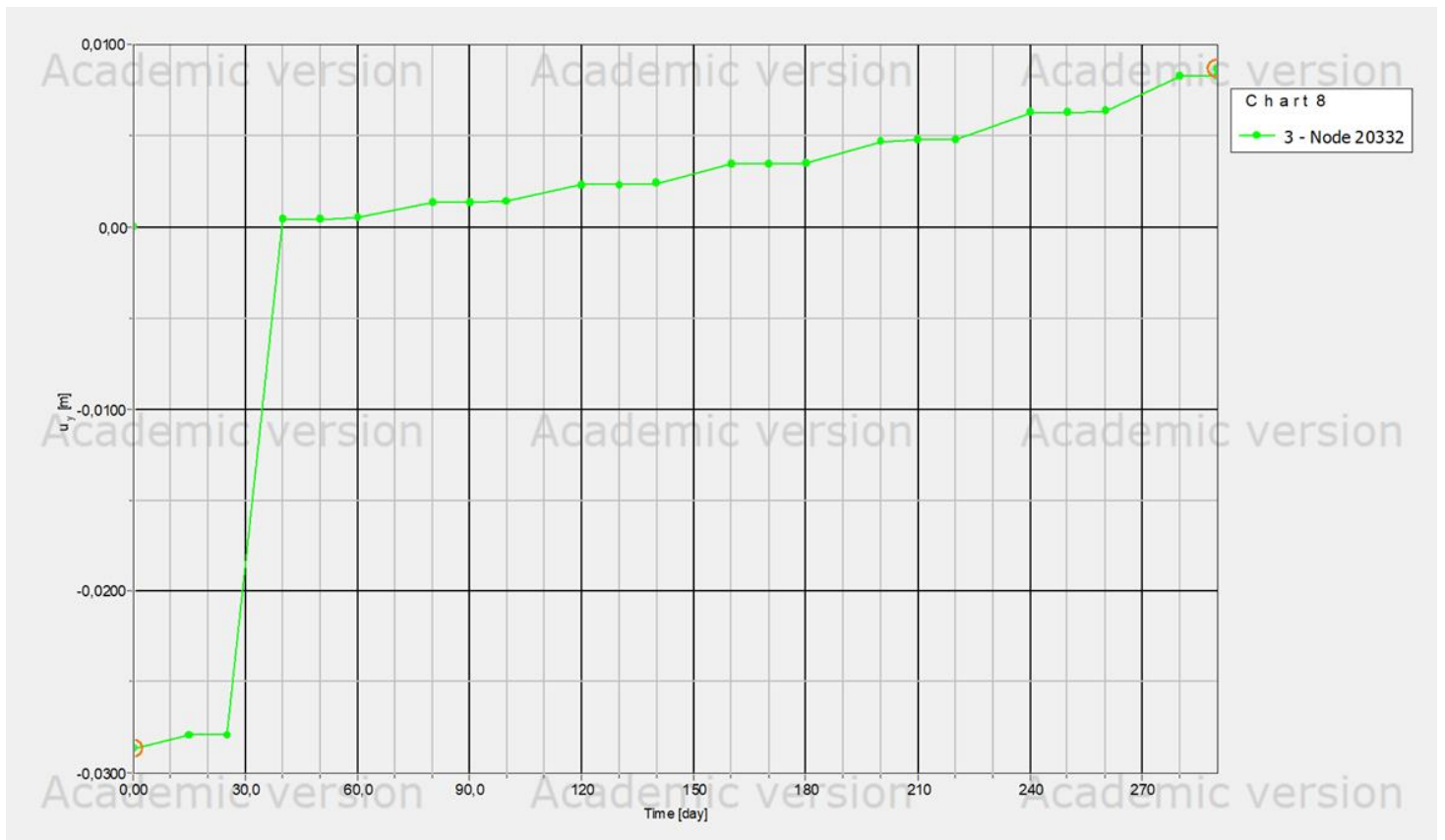
**Διάγραμμα 6.5 – Βήμα προόδου υπολογισμών – Κατακόρυφες μετατοπίσεις (m)
Σημείου 2 - 21376**



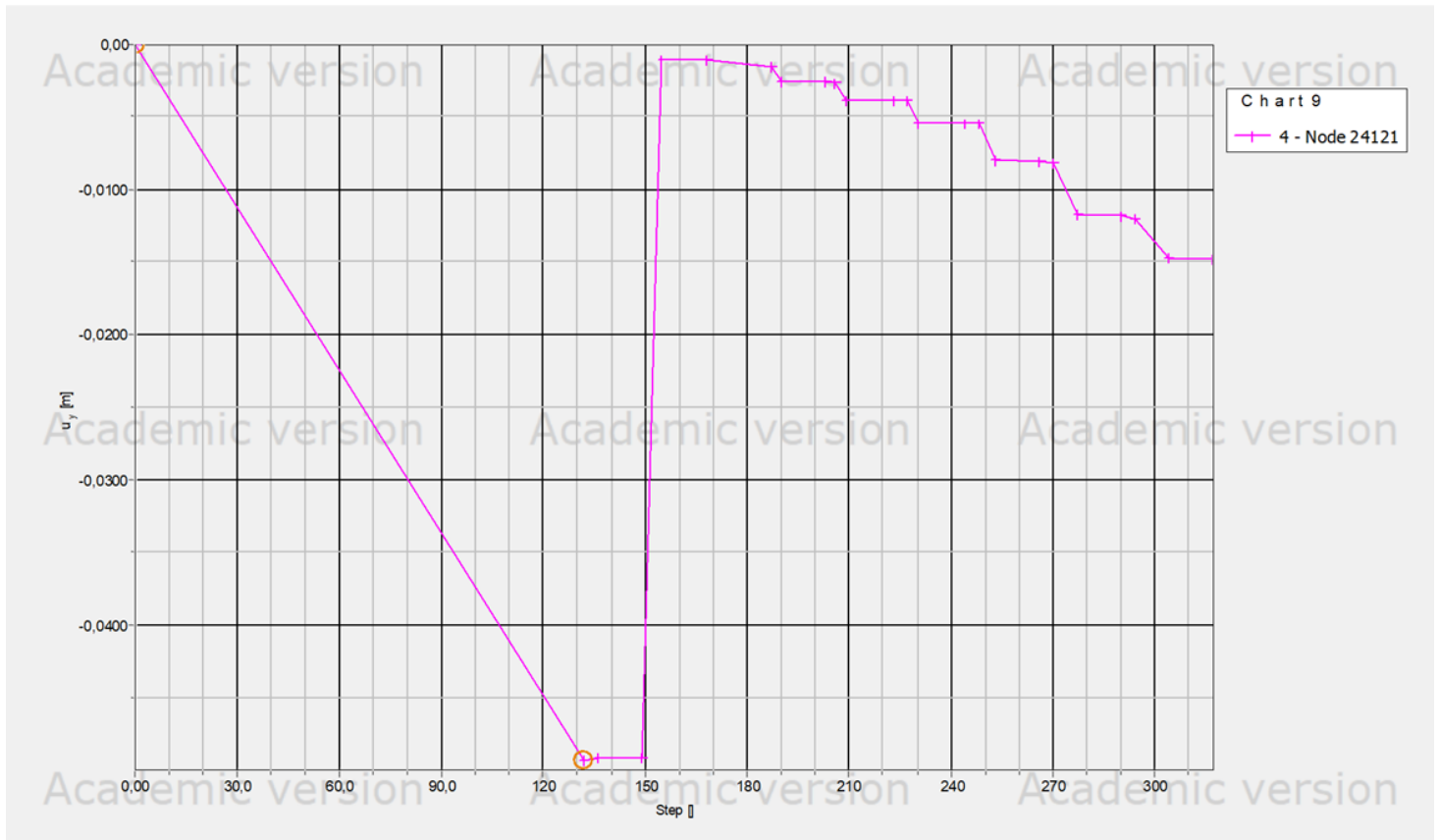
**Διάγραμμα 6.6 – Χρόνος σε ημέρες – Κατακόρυφες μετατοπίσεις (m)
Σημείου 2 - 21376**



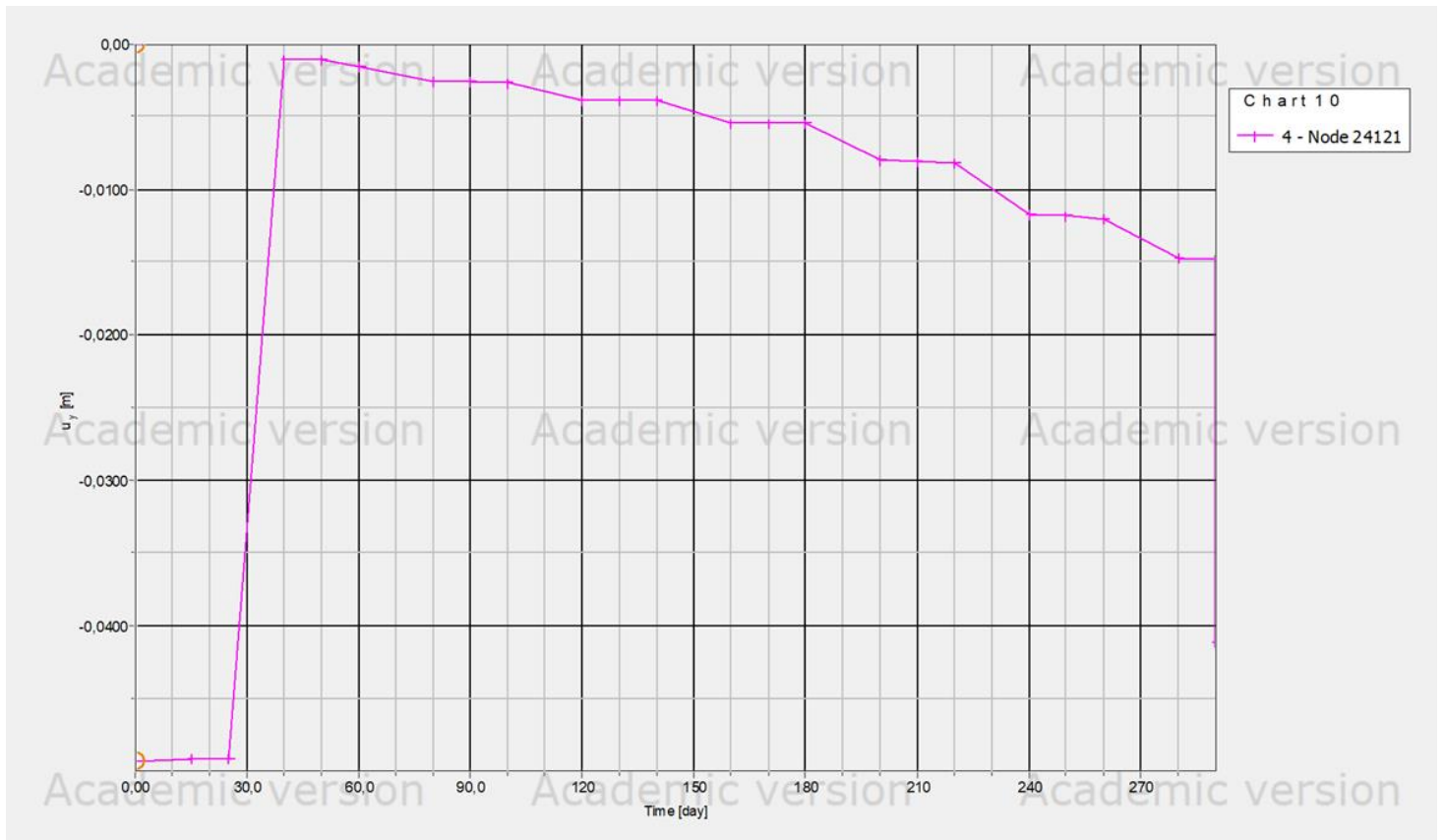
**Διάγραμμα 6.7 – Βήμα πρόόδου υπολογισμών – Ανύψωση πυθμένα (m)
Σημείου 3 - 20332**



**Διάγραμμα 6.8 – Χρόνος σε ημέρες – Ανύψωση πυθμένα (m)
Σημείου 3 - 20332**

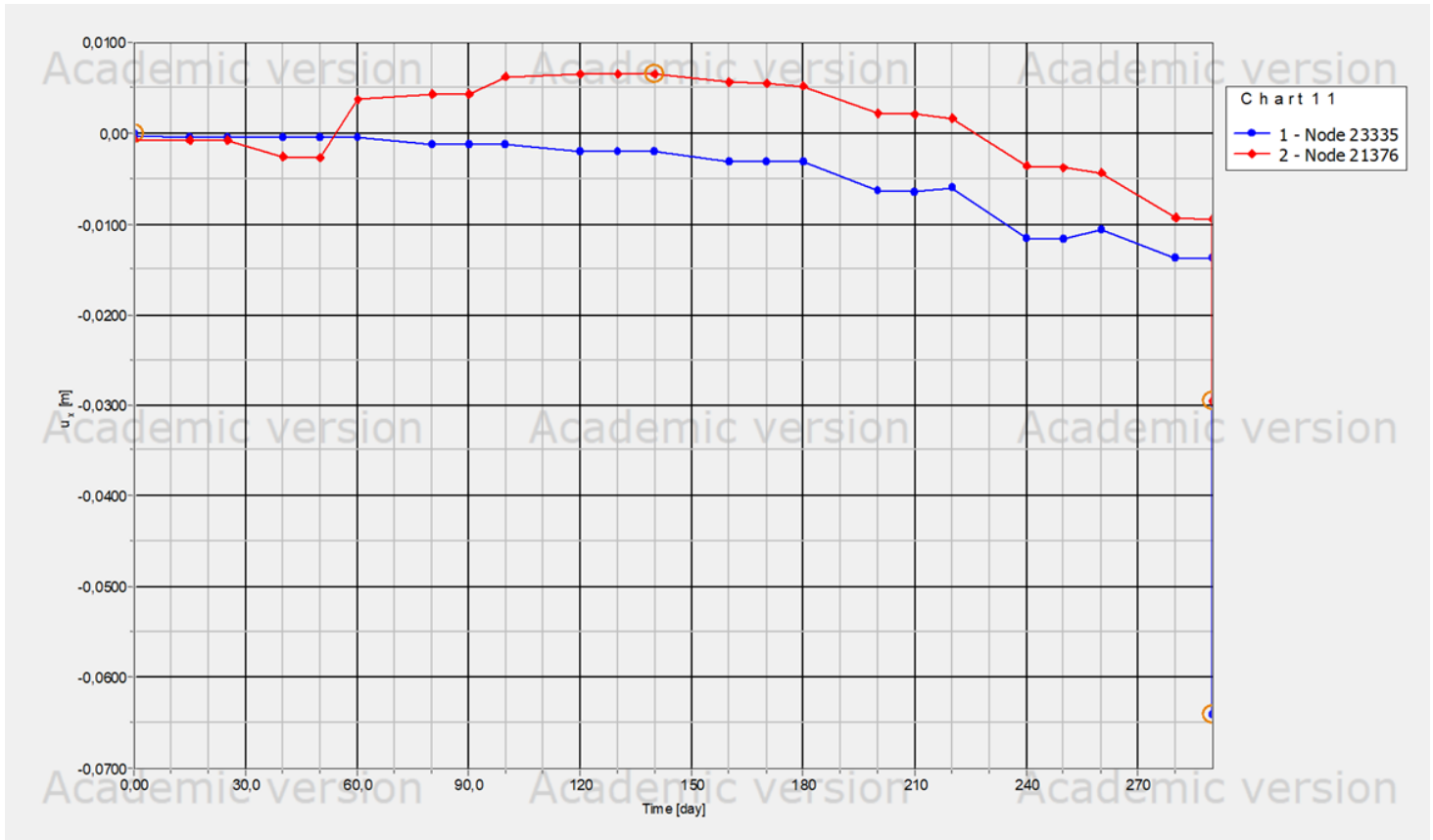


Διάγραμμα 6.9 – Βήμα προόδου υπολογισμών – Καθιζήσεις στην επιφάνεια του εδάφους (m)
Σημείου 4 - 24121

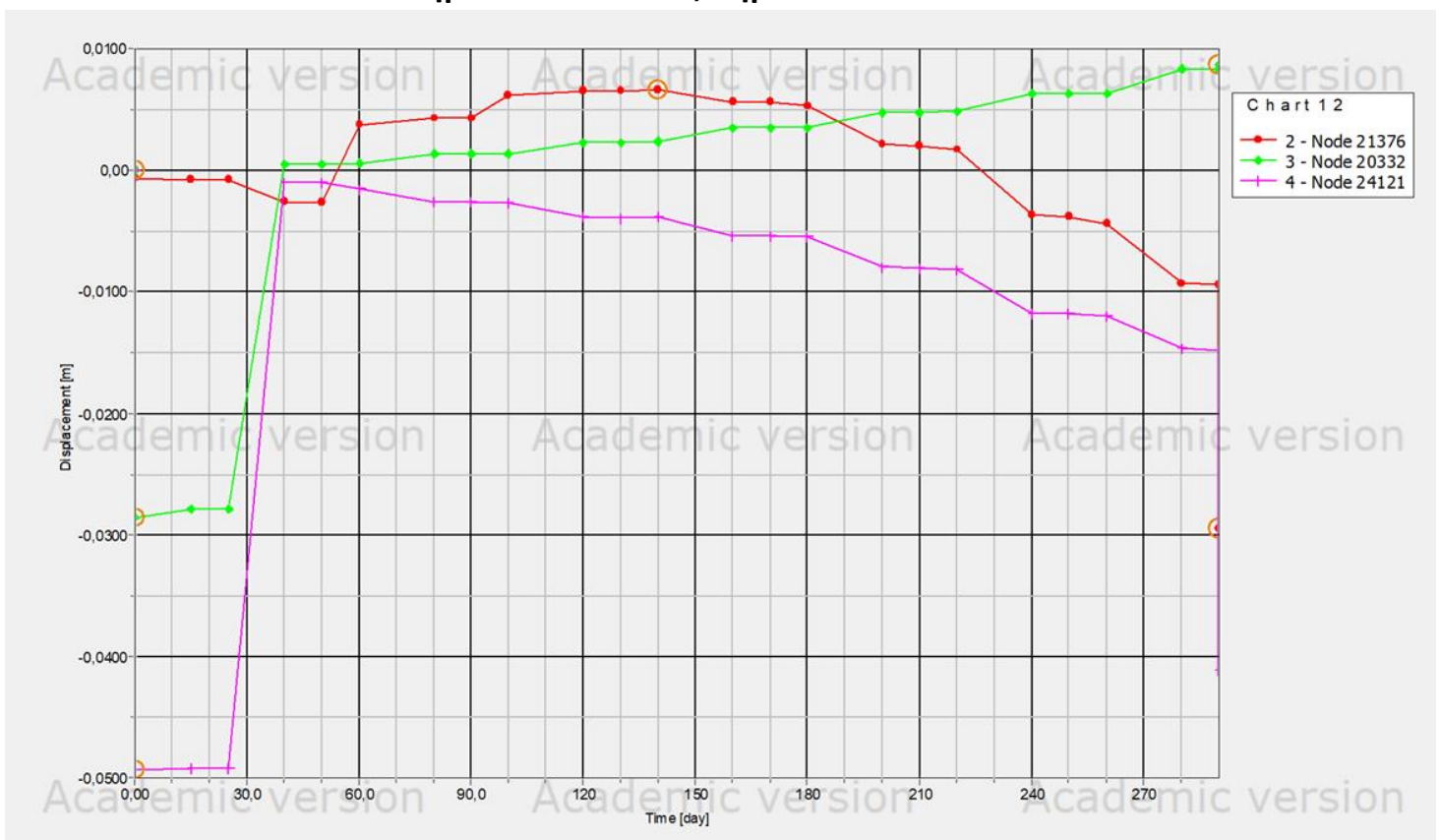


Διάγραμμα 6.10 – Χρόνος σε ημέρες – Καθιζήσεις στην επιφάνεια του εδάφους (m)
Σημείου 4 - 24121

Αφού πραγματοποιήθηκε αναλυτική παρουσίαση για την συμπεριφορά των κρίσιμων σημείων παρατήρησης, θα γίνει παρακάτω μία επιπλέον συγκεντρωτική παρουσίαση για πλήρη εποπτεία.



Διάγραμμα 6.11 – Χρόνος σε ημέρες – Οριζόντιες μετακινήσεις (m)
Σημείου 1 – 23335 , Σημείου 2 – 21376



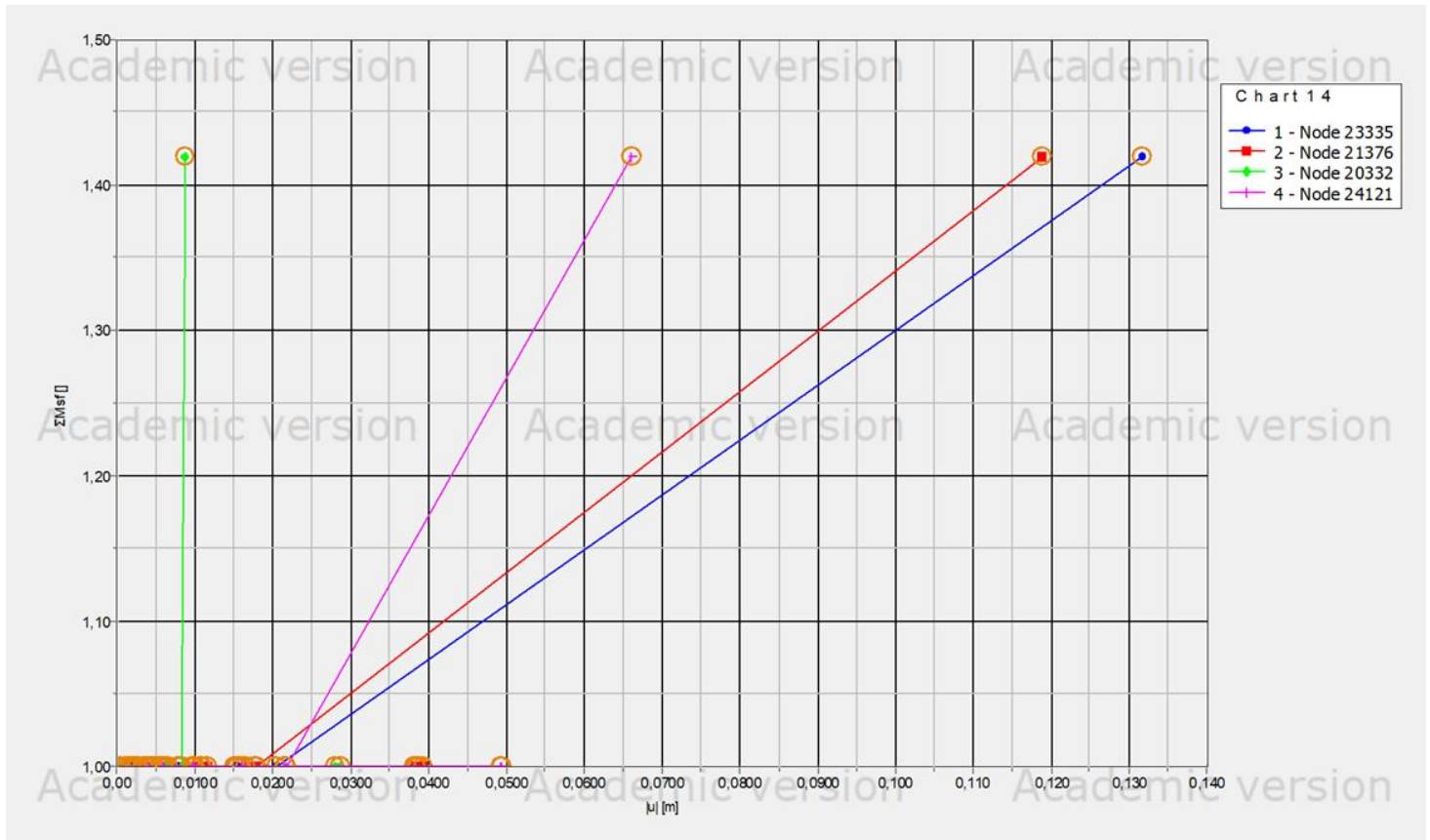
Διάγραμμα 6.12 – Χρόνος σε ημέρες – Κατακόρυφες μετακινήσεις (m)
Σημείου 2 – 21376 , Σημείου 3 – 20332 , Σημείου 4 - 24121

- Όσον αφορά το Σημείο 1 – 23335, το οποίο ανήκει στον πασσαλότοιχο σε βάθος όπου παρατηρούνται οι μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις, επιβεβαιώνουν την ανάγκη για παρακολούθηση, λόγω της συγκέντρωσης τάσεων όσο μεγαλώνει το βάθος εκσκαφής και της υψηλής πίεσης των πόρων λόγω ύπαρξης υδροφόρου ορίζοντα 2 μέτρων κάτω από την φυσική επιφάνεια του εδάφους.
- Οι μετακινήσεις του επιφανειακού Σημείου 2 – 21376, το οποίο βρίσκεται στην κορυφή του πασσαλότοιχου, συγκρίθηκε τόσο σε οριζόντιες, όσο και σε κατακόρυφες μετακινήσεις. Αρχικά, λόγω της τάνυσης των αγκυρίων, συγκλίνει προς τις εδαφικές παρειές, ενώ στην συνέχεια με την αύξηση του βάθους εκσκαφής, αρχίζει να παραλαμβάνει υψηλές πλευρικές ωθήσεις σε συνδυασμό με την πίεση πόρων από την ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντα, αποκτά μία αναμενόμενη συμπεριφορά, αυτήν της σύγκλισης προς το εσωτερικό του σκάμματος.

Ός προς τις κατακόρυφες μετακινήσεις, αρχικά λόγω τις προέντασης των αγκυρίων στο Σημείο 2 - 21376 παρατηρείται μία μικρή ανύψωση του πασσαλότοιχου στις αρχικές εκσκαφές. Όσο αυξάνεται το βάθος την εμφάνιση της κάνει μία εξισορρόπηση κατακόρυφων μετακινήσεων στην αρχική κατάσταση ηρεμίας στην οποία βρισκόταν ο πασσαλότοιχος. Στην συνέχεια, με την μεγαλύτερη αύξηση του βάθους εκσκαφής θα έχει ως αποτέλεσμα την περαιτέρω καθίζηση του πασσαλότοιχου στην κορυφή του, μιας και η αύξηση των εντατικών μεγεθών που ασκούνται στο σύστημα αντιστήριξης ανατρέπουν δυσμενώς την αρχική κατάσταση στην οποία βρισκόταν.

- Το Σημείο 3 – 20332, το οποίο βρίσκεται στον άξονα συμμετρίας του πυθμένα της εκσκαφής, παρουσιάζει διαρκείς ανυψώσεις. Απολύτως αναμενόμενη συμπεριφορά λόγω της αποφόρτισης του εδάφους από τα υπερκείμενα προϊόντα εκσκαφής του σκάμματος. Η μέγιστη τιμή ανύψωσης του πυθμένα, η οποία καταγράφεται στην τελευταία εκσκαφή έπειτα και του απαιτούμενου χρόνου στερεοποίησης, είναι αποδεκτή εντός των περιοριστικών τιμών κατασκευαστικών δραστηριοτήτων.
- Οι μετακινήσεις του εδαφικού επιφανειακού Σημείου 4 – 24121, το οποίο βρίσκεται περίπου 10m μακριά από την εκσκαφή, εντός της ζώνης επιρροής, εμφανίζει σημαντικές επιφανειακές καθιζήσεις. Η θέση που επιλέχθηκε, είναι πάνω από τα πακτωμένα τμήματα των αγκυρώσεων. Είναι λοιπόν αναμενόμενο να υπάρξουν καθιζήσεις, οι οποίες προκύπτουν κυρίως λόγω της τάνυσης των αγκυρίων και όχι επειδή γειτνιάζει με την εκσκαφή του σκάμματος.

Τέλος, παρατίθεται ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα όλων των ανωτέρω, κρίσιμων σημείων παρατήρησης του συντελεστή ασφαλείας έναντι αστοχίας ολικής ευστάθειας. Οι τιμές σε κάθε περίπτωση κρίσιμης διερεύνησης όλων των σημείων ενδιαφέροντος είναι μεγαλύτερες του 1.40 και οι απόλυτες μετακινήσεις αυτών μικρότερες των απαιτούμενων κατασκευαστικών δραστηριοτήτων έως το πέρας εργασιών και την ολοκλήρωση του έργου.



Διάγραμμα 6.13 – Συντελεστής ασφαλείας έναντι αστοχίας ολικής ευστάθειας. Σημείου 1 – 23335 , Σημείου 2 – 21376 , Σημείου 3 – 20332 , Σημείου 4 - 24121

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- EN 1997-1 (2004). “Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules”, CEN European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- Chanaton Surarak, Suched Likitlersuang, Dariusz Wanatowski, Arumugam Balasubramaniam, Erwin Oh, Hong Guan (2012). “Stiffness and strength parameters for hardening soil model of soft and stiff Bangkok clays”, Soils and Foundations, Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/j.sandf.2012.07.009>
- Eurocode 2, ULS design of circular (or tubular) reinforced concrete cross-section for bending and axial force
<https://eurocodeapplied.com/design/en1992/uls-design-circular-section>
- Plaxis 2D, Bentley, Connect edition V21.01 (2021). “Material Models”, “Tutorial Manual”
- Autocad, Autodesk (2022)

- Αναγνωστόπουλος Α., Καββαδάς Μ., Παπαδόπουλος Β. (2009), «Σημειώσεις για τον Ευρωκώδικα 7 (EN 1997)», Έκδοση Τ.Ε.Ε.
- Εθνικό Προσάρτημα για τον Ευρωκώδικα 7 «(EN 1997)», Έκδοση Τ.Ε.Ε.
- Γ. Γκαζέτας, Γ. Μπουκουβάλας, Μ. Καββαδάς, Ν. Γερόλυμος (2009), «Υπολογιστική Γεωτεχνική», Ε.Μ.Π.
- Παύλος Π. Νομικός (2015), «Εισαγωγή στη Μηχανική των Πετρωμάτων», ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ Ε.Μ.Π.
- Μ. Καββαδάς (Νοέμβριος-Δεκέμβριος 2009), «Εφαρμογές του Ευρωκώδικα 7 (EN 1997) σε θέματα σχεδιασμού Γεωτεχνικών Έργων» Μέρος 1, Τ.Ε.Ε.
- Μ. Καββαδάς (Ιούνιος 2007), «Ανάλυση Βαθιών Εκσκαφών με τον Ευρωκώδικα 7» (Αντιστηρίξεις με εύκαμπτα πετάσματα και προεντεταμένες αγκυρώσεις), ΗΜΕΡΙΔΑ ΣΠΟΛΚΜΗΚ, ΤΜΗΜΑ ΛΕΜΕΣΟΥ
- Παπαδοπούλου Κ. (2011), «Παραμετρική ανάλυση αντιστηρίξεων με προεντεταμένες αγκυρώσεις», Μεταπτυχιακή εργασία. Ε.Μ.Π.
- Γεωργιάννου Β.Ν. (2000), «Χρήση Γεωτεχνικών Οργάνων - Οργανομετρήσεις», Επιστημονικές Εκδόσεις «Γρ. Παρισιάνος»
- Αλέξανδρος Ι. Σοφιανός (Φεβρουάριος 2018), «Μέτρα Στήριξης Σηράγγων», Ε.Μ.Π.