

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΑΣΤΗΛΩΣΗΣ ΑΡΧΑΙΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ (ΔΑΑΜ)

ΕΡΓΟ

ΣΤΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ
ΑΝΑΛΗΜΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΘΗΣΑΥΡΩΝ ΤΟΥ ΚΡΟΝΙΟΥ ΛΟΦΟΥ

ΜΕΛΕΤΗΤΗΣ

ΚΑΡΝΑΒΕΖΟΣ ΧΡΙΣΤΟΣ

M.Sc. ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π.

ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ
ΤΕΥΧΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

ΣΦΡΑΓΙΔΕΣ

ΧΡΙΣΤΟΣ Ι. ΚΑΡΝΑΒΕΖΟΣ
ΔΙΠΛΩΜ. ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ
ΕΘΝΙΚΟΥ ΜΕΤΕΩΡΙΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ
ΜΕΛΟΣ Τ.Ε.Ε. ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ 79628
ΧΑΝΤΖΕΡΗ 3Α, ΑΘΗΝΑ 11526 ΤΗΛ.: 2106998048

ΕΛΕΓΧΘΗΚΕ

Δρ Μιχαήλ Δ. Λεφαντζής
Αρχιτέκτων Μηχανικός



ΘΕΩΡΗΘΗΚΕ

Σύμφωνα με τους όρους της
απόφασης ΥΠΟΥΡΓΕΙΟΥ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ

320496/15.9.23

Ο ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΓΕΝΙΚΟΣ ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ
ΤΗΣ ΔΑΑΜ ΘΕΜΙΣΤΟΚΛΗΣ ΒΛΑΧΟΥΛΗΣ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2 0 2 3

«ΣΤΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΑΛΗΜΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΘΥΣΑΥΡΩΝ ΤΟΥ ΚΡΟΝΙΟΥ ΛΟΦΟΥ»

ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ

1. Εισαγωγή

Η παρούσα στατική μελέτη αφορά στην προστασία και αποκατάσταση του αναλήμματος των θησαυρών του Κρόνιου Λόφου της αρχαίας Ολυμπίας. Πρόκειται για αναλημματικό τοίχο συνολικού μήκους περίπου 100μ ο οποίος διατηρείται σε ύψος έως 3.25μ. Ο τοίχος είναι κατασκευασμένος από λιθόπλινθους από πωρόλιθο τοποθετημένους σε σειρές κατά μήκος σύμφωνα με το ισόδομο σύστημα δόμησης, οι οποίοι συνδέονταν με μεταλλικούς συνδέσμους. Ανά 6,50μ (αξονική απόσταση) ο τοίχος ενισχύεται εξωτερικά με αντηρίδες. Στην υφιστάμενη κατάσταση το ανάλημα βρίσκεται σε οριακή ισορροπία, παρουσιάζει μεγάλη κλίση από την κατακόρυφο και υποστηρίζεται από μια προσωρινή αντιστήριξη από μεταλλικές κοιλοδοκούς, η οποία είναι άναρχα δομημένη και χρήζει αντικατάστασης.

Η παρούσα μελέτη αποτελεί επανεξέταση της εγκεκριμένης (Υ.Α. ΑΔΑ:Ψ2Ξ246532Π4-ΔΑΜ 17/08/2022) μελέτης του 2022 και συμμόρφωση με τις παρατηρήσεις της εγκριτικής απόφασης του Κεντρικού Αρχαιολογικού Συμβουλίου.

Η στατική μελέτη είναι σε συμφωνία με τις υπόλοιπες μελέτες που εκπονήθηκαν παράλληλα, αρχιτεκτονική, γεωτεχνική και υδραυλική.

Η τεχνική έκθεση συνοδεύει το τεύχος στατικών υπολογισμών καθώς και τα στατικά σχέδια που αφορούν στις απαραίτητες επεμβάσεις αποκατάστασης.

2. Πρόταση

Η αρχική στατική μελέτη αφορούσε στην προσωρινή αντιστήριξη του αρχαίου αναλήμματος με αναδιάταξη των υφιστάμενων μεταλλικών αντηρίδων και ήταν σύμφωνη με τις προτάσεις της υπουργικής απόφασης που αφορούσε την «Προστασία – Συντήρηση –Αποκατάσταση- Ανάδειξη Ρωμαϊκών μνημείων Ολυμπίας» (ΑΔΑ : 9ΚΠΖ4653Π4-Μ4Χ). Σύμφωνα ωστόσο με τις με τις παρατηρήσεις της εγκριτικής απόφασης η στατική μελέτη επανεξετάζεται με όρους:

1. Να μην κατασκευαστούν μεταλλικές αντηρίδες εξωτερικά του αναλήμματος, ούτε οι πρόσθιοι πάσσαλοι και μικροπάσσαλοι (παρατήρηση Β.1).
2. Να αντιμετωπιστεί το θέμα της άρσης της απόκλισης από την κατακόρυφο του αναλημματικού τοίχου και ενδεχομένως τοπικά να αντικατασταθούν λίθοι αφού καταβιβάσουν και επαναδομηθούν (παρατήρηση Β.2).

Η νέα πρόταση αποκατάστασης περιλαμβάνει την καταβίβαση του ανώτερου τμήματος του αρχαίου τοίχου, την κατασκευή αναλημματικής και αποστραγγιστικής διάταξης εσωτερικά και την επανατοποθέτηση των λίθων στις αρχικές τους θέσεις, με την ελάχιστη προσθήκη νέου υλικού, αφού προηγουμένως συγκολληθούν και συμπληρωθούν όπου απαιτείται.

Με την παρούσα στατική μελέτη, προτείνεται ο καταβιβασμός κατα μέγιστο έως και επτά σειρών λίθων (η στάθμη καταβιβασμού φαίνεται στα σχέδια της μελέτης (σχ. Σ1) και αποτελεί από κοινού πρόταση της μελετητικής ομάδας).

Σημειώνεται ότι ο καταβιβασμός των λίθων θα πρέπει να γίνει με ιδιαίτερη προσοχή λόγω της μικρής αντοχής και των ρηγματώσεων που οι αρχαίοι λίθοι παρουσιάζουν και μπορεί να προκληθούν επιπλέον θραύσεις και απώλεια υλικού, για τον λόγο αυτό άλλωστε δεν επιλέχθηκε στην αρχική μελέτη.

Η παρούσα στατική μελέτη, σε συνδυασμό με την αρχιτεκτονική πρόταση αποκατάστασης η οποία συνυποβάλλεται, περιλαμβάνει τη δομική αποκατάσταση των αρχαίων υπαρχόντων λίθων που έχουν υποστεί φθορές ή ενδεχομένως να υποστούν τοπικές θραύσεις κατά την αποσυναρμολόγηση του αναλήμματος κατά τον καταβιβασμό τους.

Στην εσωτερική παρειά του αναλήμματος θα αφαιρεθεί όλο το υφιστάμενο έδαφος μέχρι τους πασσάλους (σχ.Σ2-Σ5) και θα αντικατασταθεί με συρματοκιβώτια με ανοξείδωτο πλέγμα. Μετά την ολοκλήρωση των παραπάνω εργασιών θα επανατοποθετηθούν οι λίθοι στις αρχικές τους θέσεις.

3. Μέθοδος επέμβασης

1. Αρίθμηση των λιθοπλίνθων επί των σχεδίων υπάρχουσας κατάστασης
2. Αξιολόγηση της κατάστασης διατήρησης κάθε λίθου (θραύσεις, ρηγματώσεις, διάβρωση κ.α) και απεικόνιση της κατάστασης διατήρησης επί των σχεδίων υπάρχουσας κατάστασης.
3. Αποσυναρμολόγηση του αρχαίου αναλήμματος από δυτικά προς ανατολικά. Ενδείκνυται η χρήση αρπάγης. Εφόσον απαιτείται, για θραυσμένους λίθους ή λίθους με ρηγματώσεις ή λίθους με πιθανές ρηγματώσεις, πριν την μετακίνησή τους θα προηγηθεί περίδεση.
4. Τακτοποίηση των λίθων μπροστά από το ανάλημα σε αντίστοιχες θέσεις, αφήνοντας ελεύθερη ζώνη μεταξύ των λίθων και του αρχαίου αναλήμματος για την κατασκευή σκαλωσιάς και ελιγμών των μηχανημάτων.
5. Σφράγιση των ρωγμών, συγκόλληση θραυσμένων μελών και κατασκευή και συγκόλληση των συμπληρωμάτων (βλ. παρακάτω). Επιπλέον θα λαξευτούν τα νέα μέλη.
6. Αφαίρεση εδάφους εσωτερικά του αναλήμματος και κατασκευή αναλημματικής διάταξης συρματοκιβωτίων.
7. Επανατοποθέτηση των λίθων η οποία θα γίνει τμηματικά από δυτικά προς ανατολικά. Η χρήση αρπάγης ενδείκνυται. Οι λίθοι θα αλφαδιάζονται κατά την κατά μήκος και κατά την εγκάρσια διεύθυνση ενώ όπου απαιτηθεί, θα γίνει χρήση φύλλων μολύβδου.
8. Τέλος θα κατασκευαστεί σύμφωνα με την υδραυλική μελέτη σωλήνα απορροής ομβρίων υδάτων για αποστράγγιση του πρανούς καθώς και επιφανειακή κάλυψη με γεωμεμβράνη για την αποφυγή εισροής υδάτων εσωτερικά του πρανούς. βλ υδραυλική μελέτη.

4. Σφράγιση ρωγμών

Θα πραγματοποιηθούν όπου παρατηρούνται μικρές και μεγάλες ρωγμές, με το προτεινόμενο

κονίαμα με βάση την υδραυλική άσβεστο . Το αδρανές υλικό θα έχει πάχος κατά μέγιστο το 1/3 της ρηγμάτωσης.

Πριν την εφαρμογή της σφράγισης θα αφαιρεθούν, με ιδιαίτερη προσοχή με μηχανικά μέσα (σκουπάκια και πινέλα) το χώμα/ιλύς και τα χαλαρά υλικά. Είναι δυνατόν κατά τον καθαρισμό για την απομάκρυνση του χώματος να χρησιμοποιηθεί και νερό.

5. Συμπληρώματα

Η συμπλήρωση θα γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να πραγματοποιηθούν οι λιγότερες επεμβάσεις στην αρχαία κατασκευή, η μικρότερη απώλεια αυθεντικού υλικού.

Οι συμπληρώσεις των απολεσθέντων τμημάτων των λίθων θα πραγματοποιηθούν με φυσικό λίθο όμοιο με αυτόν που χρησιμοποιήθηκε για τις αρχαίες κατασκευές. Η τελική επιφάνεια των συμπληρωμάτων θα διαμορφωθεί χειρονακτικά με λιθοξοϊκό εργαλείο.

6. Συγκολλήσεις τεμαχίων

Τα τεμάχια θα συγκολληθούν σύμφωνα με την ενδεδειγμένη μέθοδο που εφαρμόζεται στην αναστήλωση αρχαίων μνημείων, με κονίαμα με βάση την υδραυλική άσβεστο και κοχλιοτομημένες ράβδους ανοξείδωτου χάλυβα κατά AISI 316.

Πριν από την συγκόλληση θα αφαιρεθούν, με ιδιαίτερη προσοχή με μηχανικά μέσα (σκουπάκια και πινέλα) το χώμα/ιλύς και τα χαλαρά υλικά. Είναι δυνατόν κατά τον καθαρισμό για την απομάκρυνση του χώματος να χρησιμοποιηθεί και νερό. Οι θραυσιγενείς επιφάνειες καθαρίζονται με επιμέλεια ώστε να απομακρυνθούν όλα τα χαλαρά υλικά και οι ρύποι.

Τα διατρήματα διανοίγονται με τρυπάνι με αδαμαντοφόρο κεφαλή, με Ø 2mm μεγαλύτερη από τις ράβδους, στις θραυσιγενείς επιφάνειες σε ακριβώς αντίστοιχες θέσεις. Τα διατρήματα, όταν τα θραύσματα προσαρμοστούν στην ορθή θέση, θα πρέπει να βρίσκονται σε ευθεία γραμμή. Τέλος, οι οπές γεμίζουν με πολτό υδραυλικής ασβέστου. Τυχόν απομένουσες επιφάνειες συγκολλούνται με κονίαμα.

Στις περιπτώσεις μικρών θραυσμάτων και συμπληρωμάτων θα τοποθετηθούν τρεις μεταλλικές ράβδοι σύμφωνα με την ενδεικτική πρόταση (σχ.6) ενώ στην περίπτωση μεγάλων θραυσμάτων και συμπληρωμάτων θα τοποθετηθούν δύο σειρές των τριών μεταλλικές ράβδοι (σχ.6).

Στην περίπτωση που θα διαπιστωθεί ότι ο λίθος στον οποίο πρόκειται να γίνει η συμπλήρωση είναι κατακερματισμένος εσωτερικά, η αποκατάσταση της μονολιθικότητας μπορεί επιτευχθεί με συγκόλληση – συρραφή των θραυσμάτων με κοχλιοτομημένες ράβδους ανοξείδωτου χάλυβα κατά AISI 316.

7. Ανακτήσεις

Όλες οι επανατοποθετήσεις λίθων θα γίνουν εν ξηρώ. Αν και στην αρχαία κατασκευή οι λιθόπλινθοι συνδέονταν με μεταλλικούς συνδέσμους, εκτιμάται ότι με την προτεινόμενη εσωτερικά αναλημματική διάταξη οι νέοι μεταλλικοί σύνδεσμοι δεν είναι απαραίτητοι.

8. Προτάσεις σύστασης κονιαμάτων

Τα προτεινόμενα κονιάματα είναι τα παρακάτω:

Α) Κονίαμα με βάση την υδραυλική άσβεστο

Το κονίαμα που προτείνουμε θα είναι τύπου 1 ή τύπου 2 το οποίο θα ελέγχθεί πριν την εφαρμογή για να διαπιστωθεί ο φυσικομηχανικός χαρακτηρισμός σε εργαστήριο δομικών υλικών (θλίψη, κάμψη, φαινόμενο πορώδους στις 28 και 90 ημέρες). Το κονίαμα τύπου 2 αφορά τη σφράγιση μικρών ρωγμών.

Σύνθεση Τύπου 1

Συνδετικό υλικό / Αδρανή = 1/ (3.0 – 3.5)

Νερό / Συνδετικό υλικό = 0.60-0.65

Αδρανή: σύμφωνα με την παρακάτω κοκκομετρία επί των οποίων θα προστεθεί και 8% κ.β. κεραμάλευρο 0-2.

Συνδετικό υλικό:

Το συνδετικό υλικό θα αποτελείται από:

Υδραυλική άσβεστος NHL 5 90%κβ

Ποζολάνη τύπου Lava 10% κ.β.

Σύνθεση Τύπου 2

Συνδετικό υλικό / Αδρανή = 1/ (3.0 – 3.5)

Νερό / Συνδετικό υλικό = 0.60-0.65

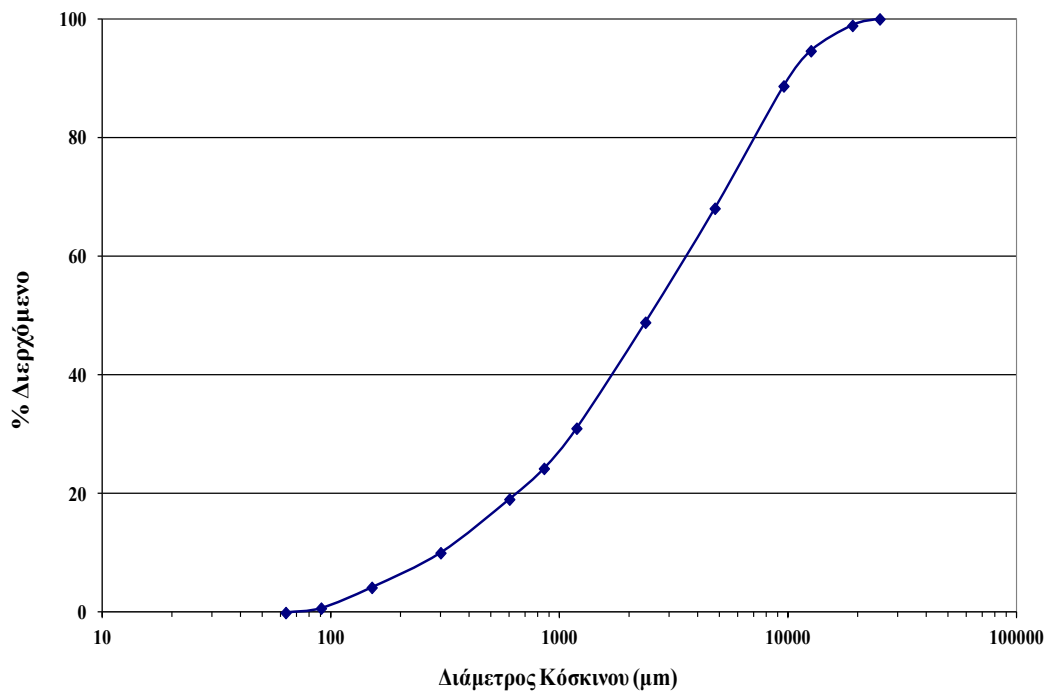
Αδρανή: σύμφωνα με την παρακάτω κοκκομετρία επί των οποίων θα προστεθεί και 8% κ.β. κεραμάλευρο 0-2. Τα αδρανή στο κονίαμα τύπου 2 θα είναι αναλογικά μικρότερα.

Συνδετικό υλικό:

Το συνδετικό υλικό θα αποτελείται από:

Υδραυλική άσβεστος NHL Z 5 90%κβ

Ποζολάνη τύπου Lava 10% κ.β.



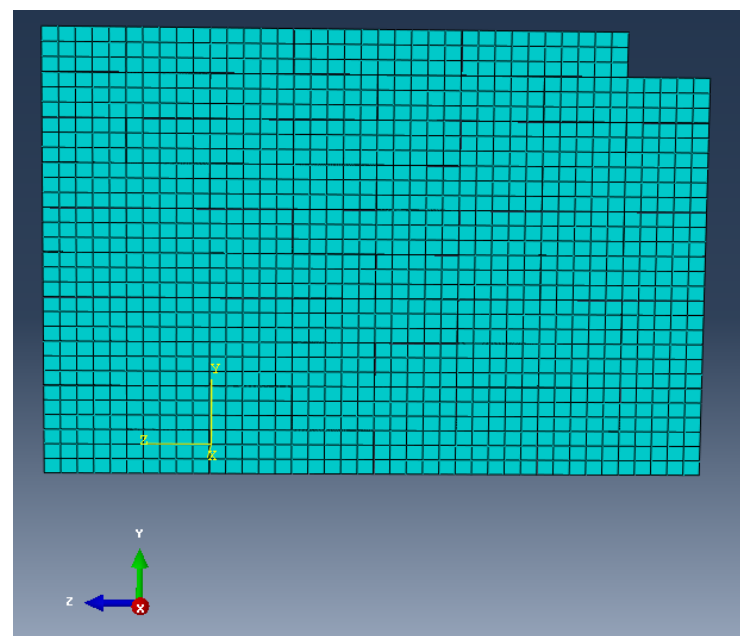
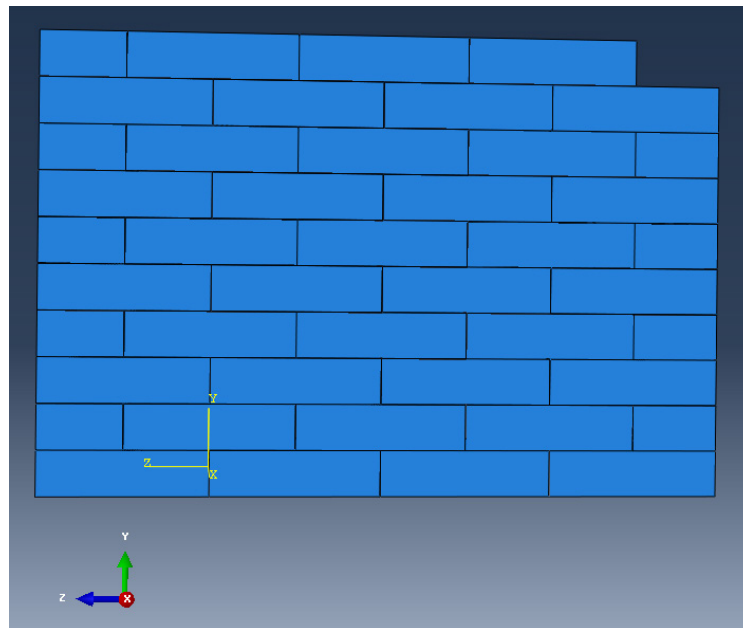
9. ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΟΜΙΚΗΣ ΕΥΣΤΑΘΙΑΣ

9.1 Το λογισμικό

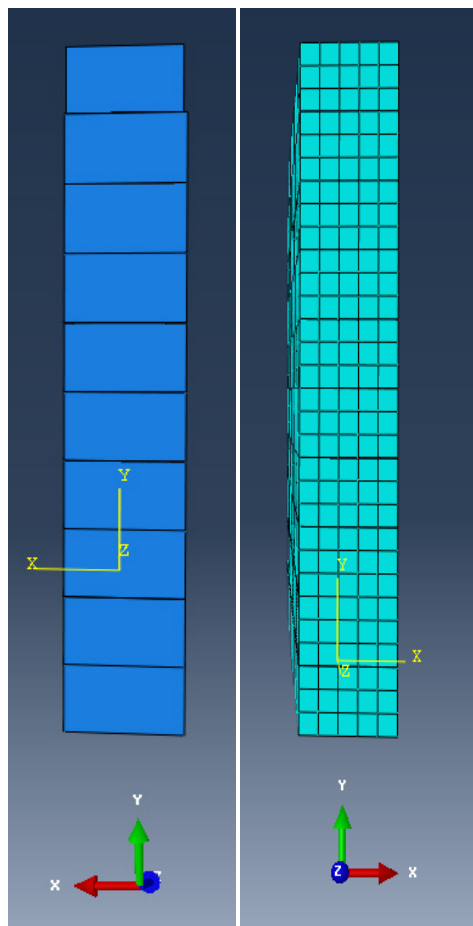
Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκε για τις δυναμικές αναλύσεις το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ABAQUS/Standard. Η επιλογή βασίστηκε στο ότι το λογισμικό αυτό είναι από τα πιο αξιόπιστα αριθμητικά εργαλεία για την επίλυση προβλημάτων με έντονες μη-γραμμικότητες γεωμετρίας στα οποία ο φορέας υποβάλλεται σε δυναμικά φορτία. Πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι χρήση του παραπάνω λογισμικού έχει γίνει για την ανάλυση παρόμοιων προβλημάτων κι έτσι η αξιοπιστία και η ευχρηστία του σε τέτοια προβλήματα είναι επιβεβαιωμένη.

9.1.1 Τα αριθμητικά προσομοιώματα - Στατικό Μοντέλο

Με το λογισμικό ABAQUS/Standard δημιουργήθηκε τρισδιάστατο αριθμητικό προσομοίωμα αντιπροσωπευτικού τμήματος του τείχους μετά την επέμβαση (Εικόνα 1-2).



Εικόνα 1. Αριθμητικό προσομοίωμα αντιπροσωπευτικού τμήματος ύστερα από την πρόταση-επέμβαση (όψη)



Εικόνα 2. Αριθμητικό προσομοίωμα αντιπροσωπευτικού τμήματος στην αποκατεστημένη κατάσταση (πλάγια όψη)

Κάθε λίθινο τεμάχιο προσομοιώθηκε έτσι ώστε να αποτελεί ξεχωριστό μέλος. Μεταξύ των στοιχείων τοποθετήθηκαν διεπιφάνειες μεταβίβασης τάσεων και τριβής. Η διακριτοποίηση του προσομοιώματος έγινε με τη χρήση τρισδιάστατων εξαεδρικών στοιχείων 8 κόμβων (ABAQUS/C3D8R). Στη βάση του φορέα εισάγονται δεσμεύσεις των κινηματικών βαθμών ελευθερίας ($U_1=U_2=U_3=0$). Οι μηχανικές ιδιότητες των λίθων που εισήχθησαν στο λογισμικό φαίνονται στον πίνακα 1. Επίσης, η απόσβεση του υλικού λήφθηκε ίση με 1% και εισήχθη στα προσομοιώματα σαν απόσβεση Rayleigh.

Πίνακας 1. Μηχανικές ιδιότητες Υλικών	
Πυκνότητα (kg/m^3)	2650
Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	70
Λόγος Poisson	0.26

9.1.2 Προσδιορισμός είδους επαφής

Οι λίθοι του τείχους που εξετάζεται προσομοιώνονται ως ξεχωριστά στοιχεία. Ιδιαίτερη σημασία έχει η εξιδανίκευση των αρμών μεταξύ των λίθων. Για αυτή χρησιμοποιήθηκε κατά μήκος των αρμών μηχανισμός τριβής, ενώ κάθετα στις διεπιφάνειες μεταβίβαση τάσεων, όταν οι επιφάνειες του αρμού ευρίσκονται σε επαφή και μηδενισμός αυτών όταν οι διεπιφάνειες διαχωρίζονται. Ο συντελεστής τριβής ολίσθησης λήφθηκε $\mu_s=0.7$. Για την επίτευξη των παραπάνω χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία γενικής επαφής (general contact) στο ABAQUS.

9.2 Φορτίσεις

Τα προσομοιώματα της προτεινόμενης αποκατάστασης φορτίστηκαν από το ίδιο βάρος τους και σεισμικές διεγέρσεις του ελλαδικού χώρου. Αυτές εισήχθησαν σαν επιβαλλόμενες επιταχύνσεις στη βάση της κατασκευής. Για τις σεισμικές διεγέρσεις του προσομοιώματος χρησιμοποιήθηκαν οι хроνοϊστορίες των επιταχύνσεων τριών καταγραφών σεισμικών συμβάντων (Καλαμάτα-1996,

Αίγιο-1995, Αθήνα-1999) κατάλληλα κλιμακωμένων σύμφωνα με τις διατάξεις του EC8.

9.2.1 Η προσομοίωση των σεισμικών διεγέρσεων

Σύμφωνα με την παράγραφο 2.1(1)P του Ευρωκώδικα 8, οι φορείς για να ικανοποιούν με ικανοποιητική αξιοπιστία την απαίτηση μη-κατάρρευσης, πρέπει να μελετώνται ώστε να αναλαμβάνουν την σεισμική δράση, χωρίς τοπική ή γενική κατάρρευση, διατηρώντας τη στατική ακεραιότητα του και τη φέρουσα ικανότητα του μετά το σεισμικό γεγονός. Η σεισμική δράση σχεδιασμού εκφράζεται α) με την τιμή αναφοράς της πιθανότητας υπέρβασης, $P_{NCR} = 10\%$ σε 50 έτη ή σε εκείνη της περιόδου επαναφοράς $T_{NCR} = 475$ έτη και β) με τον συντελεστή σπουδαιότητας $\gamma_I (=1.40$ σε αυτή τη μελέτη) ώστε να ληφθεί υπόψη διαφοροποίηση αξιοπιστίας. Σύμφωνα με την παράγραφο 3.2.3.1 του EC8-1, η σεισμική δράση μπορεί να προσομοιωθεί σε όρους χρονοϊστοριών εδαφικής επιτάχυνσης και αντίστοιχων μεγεθών (ταχύτητα και μετακίνηση). Η περιγραφή της σεισμικής κίνησης μπορεί να γίνει με τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα καθώς και καταγραφές επιταχυνσιογραφημάτων. Επίσης, σύμφωνα με την 3.2.3.1.3 σε περίπτωση χρήσης καταγραφών ή προσομοιώσεις επιταχυνσιογραφημάτων αυτά πρέπει να είναι κατάλληλα επιλεγμένα όσον αφορά τα σεισμογεννητικά χαρακτηριστικά των πηγών και τις εδαφικές συνθήκες της περιοχής του έργου και οι τιμές τους να έχουν υποστεί κλιμακώσεις για προσαρμογή στην τιμή $a_{g,S}$ για την ζώνη που εξετάζεται. Η ομάδα των επιταχυνσιογραφημάτων πρέπει να τηρεί τους ακόλουθους κανόνες

1. πρέπει κατ' ελάχιστον να χρησιμοποιούνται τρία επιταχυνσιογραφήματα
2. η μέση τιμή της επιτάχυνσης φασματικής απόκρισης μηδενικής περιόδου (που υπολογίζεται από τις μεμονωμένες χρονοϊστορίες) δεν θα είναι μικρότερη από την τιμή $a_{g,S}$ για την θέση που εξετάζεται.
3. στην περιοχή περιόδων μεταξύ $0,2T_1$ και $2T_1$, όπου T_1 είναι η θεμελιώδης περίοδος του φορέα στην διεύθυνση όπου θα εφαρμοστεί το επιταχυνσιογράφημα., καμία τιμή του μέσου ελαστικού φάσματος απόσβεσης 5%, που υπολογίζεται από όλες τις χρονοϊστορίες, δεν πρέπει να είναι μικρότερη από το 90% της αντίστοιχης τιμής του ελαστικού φάσματος απόκρισης, με απόσβεση 5%.

9.2.2 Οι καταγραφές σεισμών που χρησιμοποιήθηκαν

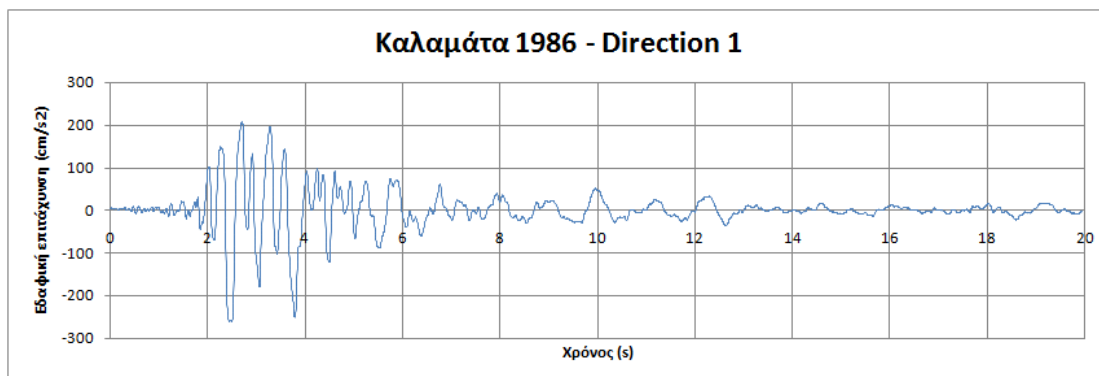
Οι σεισμικές καταγραφές που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής:

1. Η καταγραφή του σεισμού της Καλαμάτας στις 13/09/1986, μεγέθους $M=6.0$
2. Η καταγραφή του σεισμού του Αιγίου στις 15/06/1995, μεγέθους $M=6.4$
3. Η καταγραφή του σεισμού της Αθήνας στις 07/09/1999, μεγέθους $M=5.9$

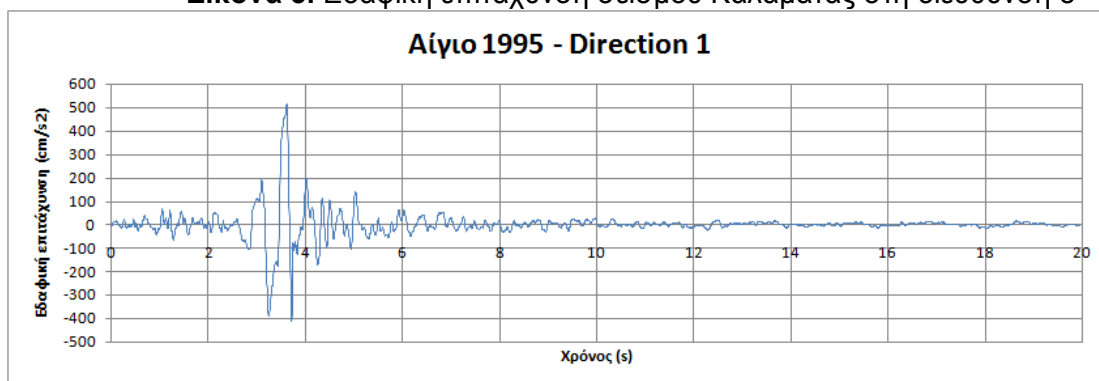
Η επιλογή των συγκεκριμένων καταγραφών έγινε καθώς θεωρούνται αντιπροσωπευτικές των σεισμικών κινήσεων του ελλαδικού χώρου. Τα διαγράμματα των καταγραφών παρουσιάζονται στις Εικόνες 3-5. Οι μέγιστες τιμές των επιταχύνσεων, ταχυτήτων και μετατοπίσεων των σεισμικών καταγραφών, καθώς και οι δεσπτόζουσες περίοδοι στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις τους, φαίνονται στους πίνακες 2 και 3.

Πίνακας 2. Μέγιστες επιταχύνσεις, ταχύτητες και μετατοπίσεις των καταγραφών που χρησιμοποιήθηκαν									
Καταγραφή	Μέγιστη Επιτάχυνση (g)			Μέγιστη Ταχύτητα (cm/s)			Μέγιστη Μετατόπιση (cm)		
	Διαμήκης	Κατακόρυφη	Εγκάρσια	Διαμήκης	Κατακόρυφη	Εγκάρσια	Διαμήκης	Κατακόρυφη	Εγκάρσια
Καλαμάτα	0.27	0.19	0.23	24.0	8.1	30.9	5.6	1.4	7.1
Αίγιο	0.54	0.20	0.50	48.1	14.5	43.4	6.1	2.6	6.7
Αθήνα	0.30	0.16	0.26	14.7	7.0	16.1	2.1	1.8	1.9

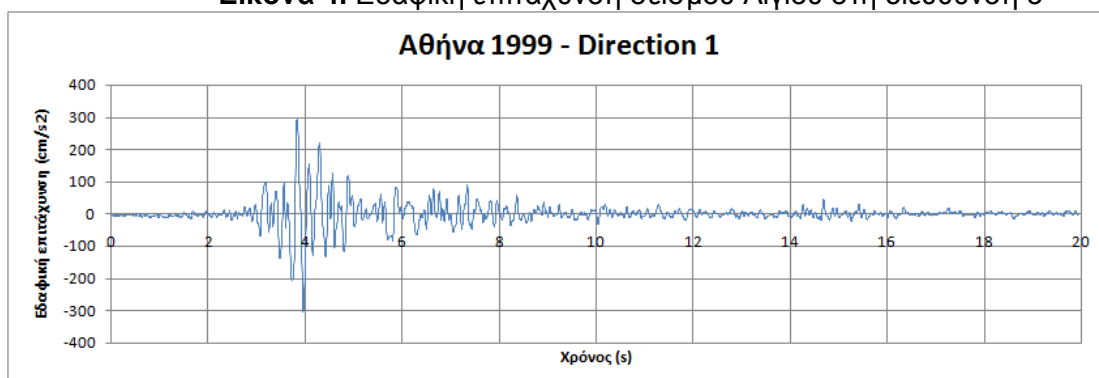
Πίνακας 3. Δεσπόζουσες περίοδοι των σεισμικών καταγραφών			
Καταγραφή	Δεσπόζουσα περίοδος (s)		
	Διαμήκης	Εγκάρσια	Μέση Τιμή
Καλαμάτα	0.600	0.650	0.625
Αίγιο	0.500	0.600	0.550
Αθήνα	0.250	0.700	0.475



Εικόνα 3. Εδαφική επιτάχυνση σεισμού Καλαμάτας στη διεύθυνση 3



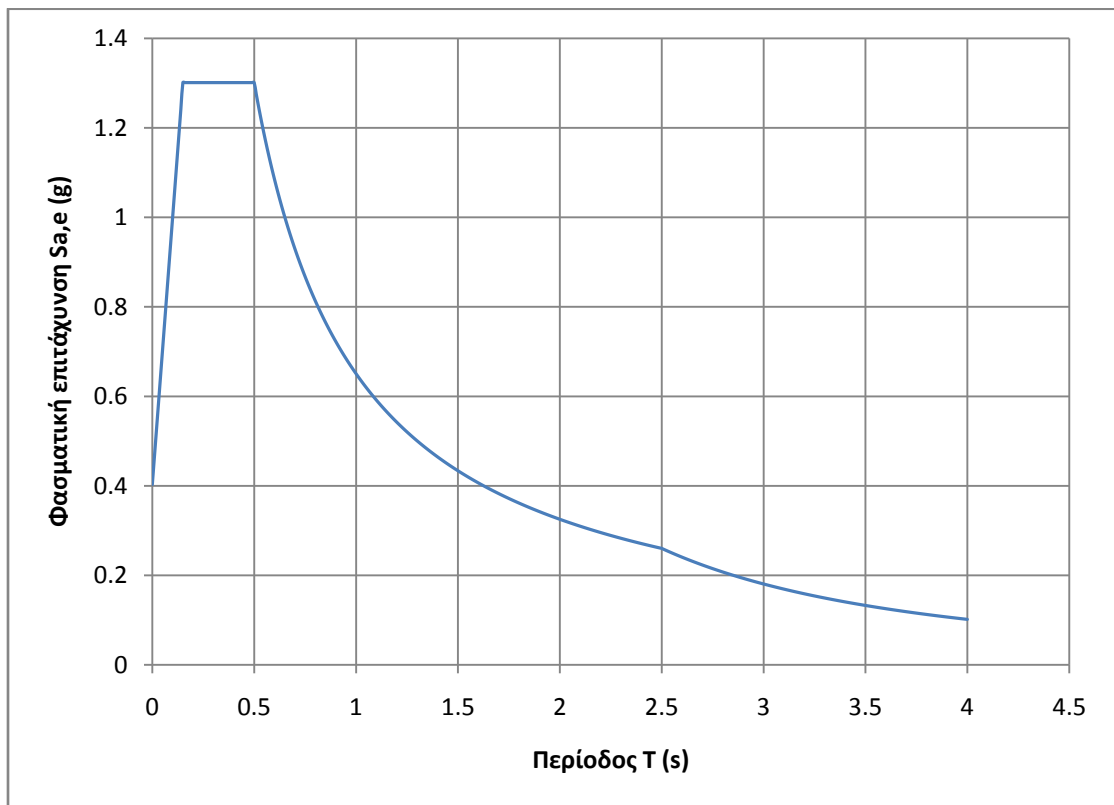
Εικόνα 4. Εδαφική επιτάχυνση σεισμού Αιγίου στη διεύθυνση 3



Εικόνα 5. Εδαφική επιτάχυνση σεισμού Αθήνας στη διεύθυνση 3

9.2.3 Κλιμάκωση καταγραφών

Η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση αναφοράς για την περιοχή των Θερμοπυλών ορίζεται από τις σχετικές διατάξεις του Εθνικού Προσαρτήματος του EC8-1. Για εδάφη κατηγορίας Β, όπως αυτή του μνημείου, η εδαφική επιτάχυνση είναι ίση με $0.24g$. Λόγω της σημασίας του μνημείου και του γεγονότος ότι θα είναι επισκέψιμο, στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε σπουδαιότητα $\Sigma 4$ με συντελεστή $\gamma_I = 1.40$. Επομένως, η σεισμική επιτάχυνση προέκυψε ίση με $\alpha_g = \alpha_{gR} \gamma_I = 0.24g \cdot 1.40 = 0.336g$. Το ελαστικό φάσμα επιτάχυνσης του Ευρωκώδικα 8 για την τοποθεσία του μνημείου με έδαφος Β, σπουδαιότητα IV ($\gamma_I = 1.40$) και λόγο απόσβεσης $\zeta = 1\%$ φαίνεται στην Εικόνα 6.



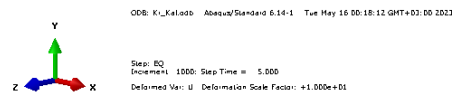
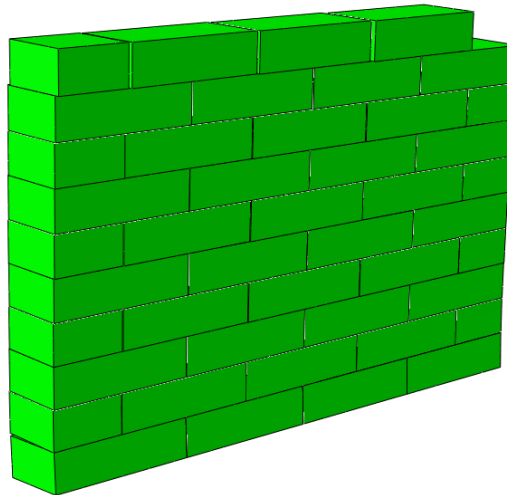
Εικόνα 6. Ελαστικό φάσμα επιτάχυνσης για την τοποθεσία του μνημείου

Για την ομάδα των σεισμικών καταγραφών που επιλέχθηκε και σύμφωνα με το δεύτερο κριτήριο της 2.1.1 η μέση τιμή της επιτάχυνσης φασματικής απόκρισης μηδενικής περιόδου ($T=0s$) για κάθε μια καταγραφή δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από την τιμή $\alpha_g \cdot S$ για τη θέση που εξετάζεται, δηλαδή $0.336g \cdot 1.20 = 0.4032g$. **Για τις τρεις επιλεγθείσες καταγραφές, οι επιβαλλόμενες κλιμακώσεις φαίνονται στον πίνακα 4.**

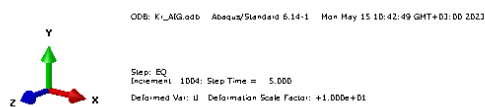
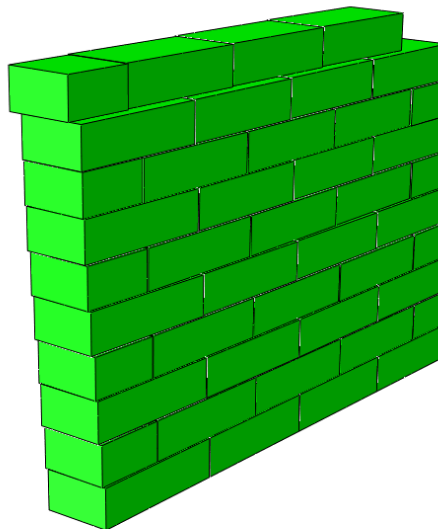
Πίνακας 4. Συντελεστές κλιμάκωσης	
Σεισμική καταγραφή	Συντελεστής κλιμάκωσης
Καλαμάτα	1.49
Αίγιο	1.00
Αθήνα	1.30

9.3 Κύρια αριθμητικά αποτελέσματα

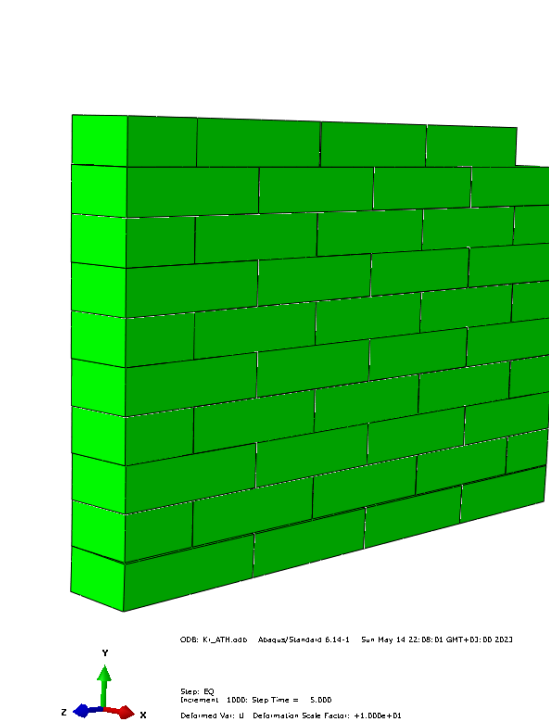
Από τις δυναμικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν παρατηρήθηκε ότι το μνημείο μετά την αποκατάσταση παρουσιάζει καλή σεισμική συμπεριφορά με ανεκτές μετακινήσεις λίθων, χωρίς να παρατηρούνται καταπτώσεις.



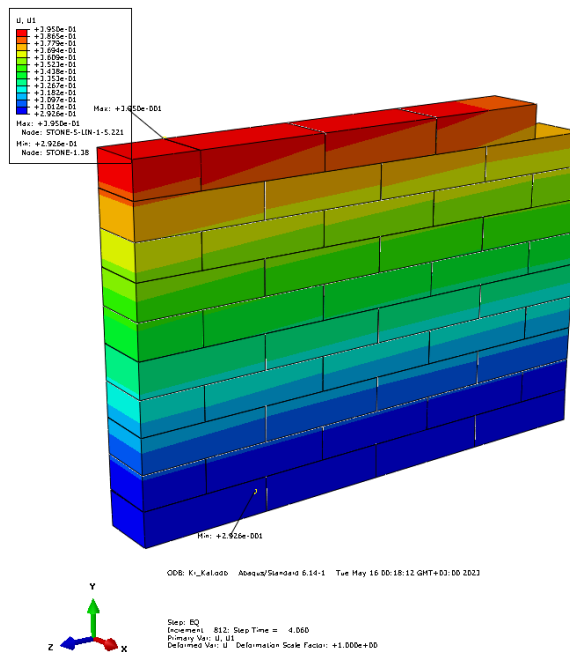
Εικόνα 7. Παραμορφωμένη κατάσταση στο πέρας 5s υπό την σεισμική καταγραφή της Καλαμάτας 1986 (scale factor=10)



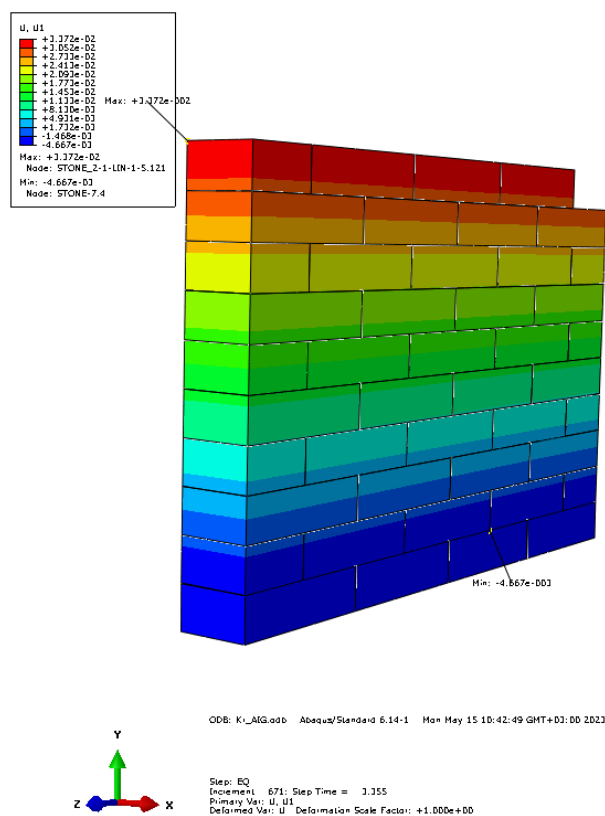
Εικόνα 8. Παραμορφωμένη κατάσταση στο πέρας 5s υπό την σεισμική καταγραφή του Αιγίου 1995 (scale factor=10)



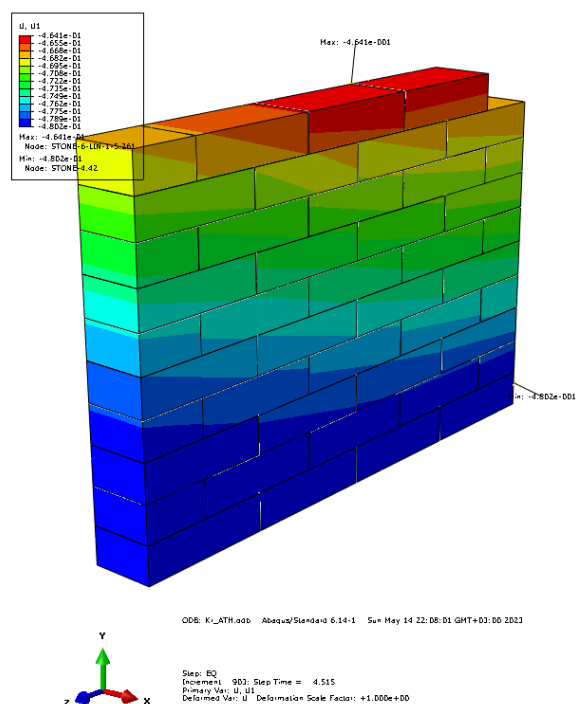
Εικόνα 9. Παραμορφωμένη κατάσταση στο πέρας 5s υπό την σεισμική καταγραφή της Αθήνας 1999 (scale factor=10)



Εικόνα 10. Μετακίνηση κορυφαίου λίθου στο πέρας 5s υπό την σεισμική καταγραφή της Καλαμάτας 1986



Εικόνα 11. Μετακίνηση κορυφαίου λίθου στο πέρας 5s υπό την σεισμική καταγραφή του Αιγίου 1995



Εικόνα 12. Μετακίνηση κορυφαίου λίθου στο πέρας 5s υπό την σεισμική καταγραφή της Αθήνας 1999

9.4 Συμπεράσματα

Κατά τον έλεγχο δομικής ευστάθειας δημιουργήθηκε με κατάλληλο λογισμικό τρισδιάστατο αριθμητικό προσομοίωμα τμήματος του αναλήμματος θησαυρώντου Κρονίου Λόφου. Για το προσομοίωμα της κατάστασης μετά την επέμβαση πραγματοποιήθηκε μη-γραμμική ανάλυση χρονοϊσορίας. Από την ανάλυση αυτή προέκυψαν μετακινήσεις λίθων, χωρίς ωστόσο να παρατηρούνται κατάπτωσεις. Συνεπώς σεισμική συμπεριφορά του μνημείου στην αποκατεστημένη του μορφή κρίνεται ικανοποιητική.

Συμπερασματικά, ο αναλημματικός τοίχος μετά την επέμβαση είναι ασφαλής και μπορεί να παραλάβει με ασφάλεια τα φορτία που προβλέπονται από τους ισχύοντες κανονισμούς.

10.ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Ανοξείδωτος χάλυβας

E500 κατά AISI 316

11. ΦΟΡΤΙΑ

11.1 ΦΟΡΤΙΑ ΜΟΝΙΜΑ

- Μόνιμα (G)

Οπλισμένο σκυρόδεμα	25.00 KN/m ³
Χάλυβας	79.00 KN/m ³
Αοπλο σκυρόδεμα	24.00 KN/m ³
Ξύλο	8.00 KN/m ³
Ίδιον βάρος ύδατος	10.00 KN/m ³
Φαινόμενο βάρος γαιών	20.00 KN/m ³

11.2 ΦΟΡΤΙΑ ΚΙΝΗΤΑ

Κινητό περιβάλλοντα χώρου	10.00 KN/m ²
---------------------------	-------------------------

11.3 ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ (κατά EN1998-1)

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας	Z2
Σεισμική επιτάχυνση εδάφους	agR = 0.24
Συντελεστής Σπουδαιότητας	γ ₁ = 1.40
Κατηγορία εδάφους B	S=1.20

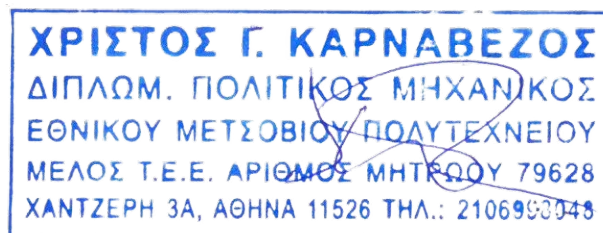
12. ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ-ΩΘΗΣΕΙΣ ΓΑΙΩΝ

Ωθήσεις γαιών και ωθήσεις εκ κινητών φορτίων κατά EN1997-1
Επαύξηση ωθήσεων λόγω σεισμού κατά EN1998-5

14. ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

1. ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ EC0 (Βάσεις σχεδιασμού)
2. ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ EC1 (Φορτία κατασκευών)
3. ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ EC2 (Μελέτη έργων από σκυρόδεμα)
4. ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ EC3 (Μελέτη έργων από Χάλυβα)
5. ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ EC5 (Μελέτη έργων από Ξύλο)
6. ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ EC7 (Γεωτεχνικός σχεδιασμός)
7. ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ EC8 (Αντισεισμικός σχεδιασμός κατασκευών)
8. ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (Ε.Κ.Ω.Σ. ΦΕΚ 1329 – Δ' 6/11/2000, ΦΕΚ 447 Β' – 3/5/2004), μετά των ισχυουσών τροποποιήσεων αυτού
9. ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (Ε.Α.Κ. ΦΕΚ 2184Β – 20/12/99 ΦΕΚ Β' 423/12.4.01, ΦΕΚ 1154/ 12-8-2003) μετά των ισχυουσών τροποποιήσεων αυτού
10. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ 2016
11. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΧΑΛΥΒΩΝ 2008

Αθήνα, ΙΟΥΝΙΟΣ 2023



Ο συντάξας

Καρναβέζος Χρίστος Msc Πολιτικός Μηχ/κός ΕΜΠ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Συνδυαστικός έλεγχος ευστάθειας της αναστηλωτικής πρότασης και της χωματουργικής αποκαταστάσης του πρανούς (ο παρακάτω έλεγχος έχει διενεργηθεί από τον μελετητή της γεωτεχνικής μελέτης και επισυνάπτεται για την πληρότητα της στατικής μελέτης)

A.1 Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο αξιολογείται συνολικά η προκύπτουσα (υπολογιστικά) ευστάθεια της τελικής διαμόρφωσης του αναλήμματος των Θησαυρών. Ειδικότερα εξετάζεται η ευστάθεια της αναστηλωμένης περιοχής στη δυσμενέστερη (από γεωμετρική άποψη με έμφαση στην εσωτερική και εξωτερική ευστάθεια του –προς αναστήλωση- αρχαίου αναλήμματος. Η διαμόρφωση αυτή προκύπτει ως αποτέλεσμα της εφαρμογής των επιμέρους ειδικότερων μελετητικών σχεδιασμών στην περιοχή μελέτης (αθροιστικό αποτέλεσμα γεωτεχνικής, αρχιτεκτονικής, στατικής και υδραυλικής μελέτης και ειδικότερα του γεωτεχνικού σχεδιασμού αποκατάστασης του πρανούς και της αρχιτεκτονικής αναστηλωτικής παρέμβασης στο ανάλημα, σύμφωνα με τις οδηγίες του ΚΑΣ).

Προς τον σκοπό αυτό πραγματοποιούνται κατάλληλες 2-Δ ελαστοπλαστικές αναλύσεις αλληλεπίδρασης αρχαίου αναλήμματος και (ως αποτέλεσμα γεωτεχνικού σχεδιασμού) διαμορφωμένου πρανούς, στη δυσμενή διατομή S14, η οποία αντιπροσωπεύει χαρακτηριστικά την περιοχή του αναλήμματος μεταξύ των αντηρίδων Ε και Ζ, με χρησιμοποίηση πεπερασμένων και διακριτών στοιχείων.

Η ανάλυση γίνεται σε στάδια αντιπροσωπευτικά των κατασκευαστικών σταδίων χωματουργικής διαμόρφωσης και αναστήλωσης:

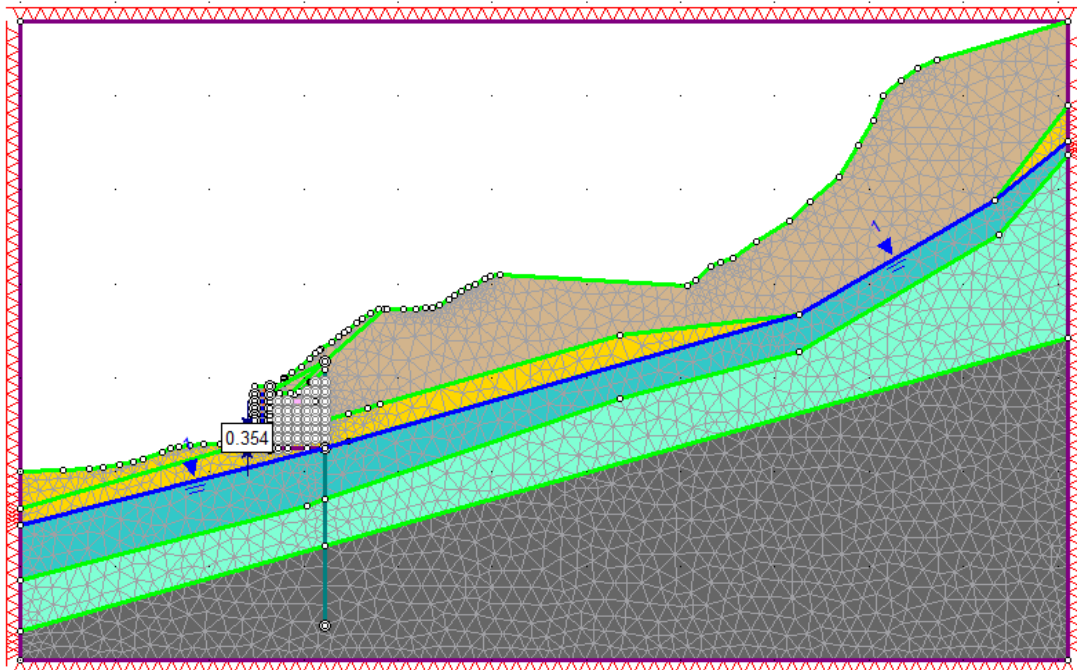
- Απομάκρυνση των υφιστάμενων συρματοκιβωτίων ανάντη του αναλήμματος (επέμβαση 2015-16)
- Διαδοχική εκσκαφή του εδάφους ανάντη του πρανούς (μεταξύ αναλήμματος και πασσάλων σταθεροποίησης του πρανούς) σε βάθος 1 δόμου και καθαίρεση του αντίστοιχου δόμου του αναλήμματος
- Διατήρηση των κατώτερων δόμων και πλήρης απομάκρυνση του ανάντη εδάφους
- Τοποθέτηση συρματοκιβωτίων μεταξύ των πασσάλων σταθεροποίησης του πρανούς και του αναλήμματος σε πλάτος 3 m: α) της κάτω στάθμης προτειχίσματος συρματοκιβωτίων (έως το ύψος του αναλήμματος) και β)

της βαθμιδωτής διάταξης της άνω στάθμης προτειχίσματος συρματοκιβωτίων για την αποκατάσταση της γεωμετρίας του πρανούς

- Αναδόμηση των δόμων του αναλήμματος (σύμφωνα με τα δεδομένα της αρχιτεκτονικής πρότασης) με αποκατάσταση της αρχικής γεωμετρίας του αναλήμματος και –παράλληλα- τοποθέτηση ζώνης διαχωρισμού από εδαφικό υλικό κλάσης E4, μεταξύ αναλήμματος και συρματοκιβωτίων
- Διαμόρφωση της επιφάνειας του πρανούς με διάστρωση καλά συμπυκνωμένου αμμοχάλικου και κατασκευή των προβλεπόμενων στεγανωτικών και υδραυλικών διατάξεων
- Επιβολή της σεισμικής δράσης του ακραίου σεισμού σχεδιασμού στο πρανές ($a_h=0.24g$, $a_v=0.12g$) σύμφωνα με τις κανονιστικές προβλέψεις του EC-8, για έδαφος κατηγορίας B ($S=1.20$), θεώρηση τοπογραφικής επιδείνωσης ($ST=1.20$) και περίοδο επαναφοράς, $T=1300$ έτη ($\gamma_I=1.40$).

Θεώρηση διεύθυνσης κατακόρυφης συνιστώσας ΑΝΩ και ΚΑΤΩ

Η αντιπροσωπευτική υπολογιστική διατομή ανάλυσης (θέση μεταξύ των αντηρίδων Ε και Ζ) παρουσιάζεται στην Εικ. 13.



Εικ. Α1: Χαρακτηριστική υπολογιστική διατομή ανάλυσης (θέση μεταξύ των αντηρίδων Ε και Ζ)

Η συνολική αξιολόγηση της ευστάθειας με τις 2 ψευδοστατικές ελαστοπλαστικές αναλύσεις (έλεγχος της απόκρισης του αναλήμματος σε αλληλεπίδραση με το διαμορφωμένο πρηνές) γίνεται σε 2 άξονες:

α) με κατάλληλο επιτελεστικό κριτήριο (κριτήριο K) το οποίο βρίσκει εφαρμογή σε αναλημματικές δομές και εκφράζει τη σχετική μετακίνηση της στέψης του αναλήμματος ως προς τη βάση, ανηγμένη στο ύψος του αναλήμματος (ισοδύναμο της στροφής του αναλήμματος).

Το επιτελεστικό κριτήριο παρουσιάζεται στον ακόλουθο Πίνακα 5.

Πίνακας 1: Στάθμες επιτελεστικότητας κριτηρίου K

Ανηγμένο (ως προς το ύψος) σχετικό βέλος κορυφής-ποδός	Στάθμη Επιτελεστικότητας Οριακή Κατάσταση Ελέγχου
<2%	Οιονεί Πλήρης Λειτουργικότητα
2%-5%	Περιορισμένες Βλάβες
5%-10%	Σημαντικές Βλάβες
10%-15%	Οιονεί Κατάρρευση

β) Με τον προσδιορισμό της δημιουργίας πλαστικών ζωνών στα επιμέρους συστήματα τα οποία δομούν τη συνολική επέμβαση στο –υπό μελέτη- πρηνές.

A.2 Αποτελέσματα 2-Δ ψευδοστατικής ελαστοπλαστικής ανάλυσης

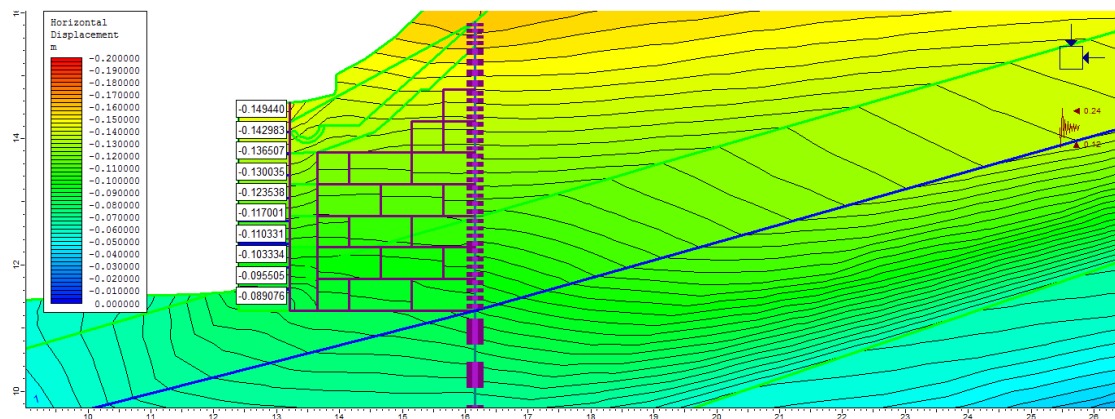
Τα αποτελέσματα των 2-Δ ελαστοπλαστικών αναλύσεων (στη δυσμενέστερη γεωμετρικά διατομή για το ανάλημμα και το πρηνές: S14) και η αξιολόγηση της απόκρισης της αναστηλωτικής πρότασης αναστήλωσης του αρχαίου αναλήμματος, βάσει του προαναφερθέντος επιτελεστικού κριτηρίου K, παρουσιάζονται συστηματικά στον Πίνακα 6.

Πίνακας 2 Αποτελέσματα επιτελεστικής απόκρισης του αναστηλωμένου τμήματος του αρχαίου αναλήμματος (μεταξύ των αντηρίδων E και Z) στον ακραίο (κατά EC-8) κανονιστικό σεισμό

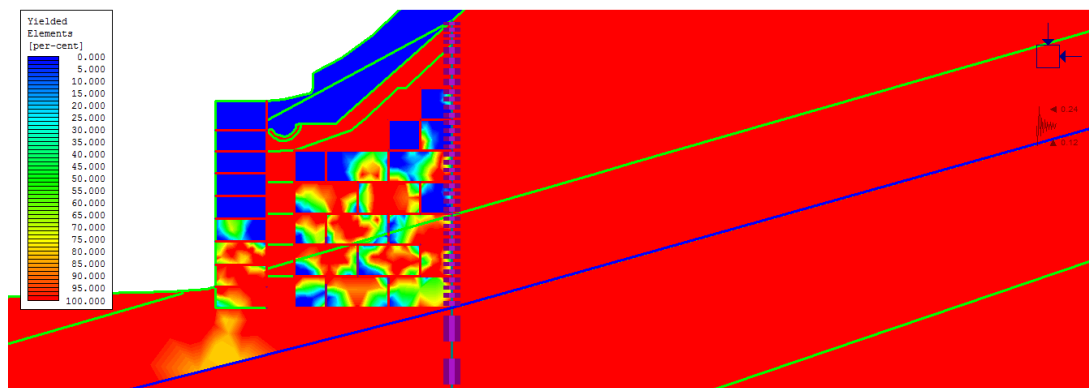
ΔΙΑΤΟΜΗ	ΦΟΡΤΙΣΗ	ΜΕΤΡΑ	Μετακίνηση στέψης αναλήμματος (m)	Μετακίνηση βάσης αναλήμματος (m)	Ελεύθερο ύψος αναλήμματος (m)	Επιτελεστική απόκριση (κριτήριο K%)	Αξιολόγηση απόκρισης
S14	Ακραίος Σεισμός: $a_{hd} = 0.24$, $a_{vd} = 0.12$ ΑΝΩ	ΑΝΑΣΤΗΛΩΣΗ με α) αποκατάσταση γεωμετρίας και β) ΠΡΟΤΕΙΧΙΣΜΑ από Σ-K*	0.149	0.089	2.95	2.03	ΑΠΟΔΕΚΤΗ (οιονεί ελαστική)
S14	Ακραίος Σεισμός: $a_{hd} = 0.24$, $a_{vd} = 0.12$ ΚΑΤΩ	ΑΝΑΣΤΗΛΩΣΗ με α) αποκατάσταση γεωμετρίας και β) ΠΡΟΤΕΙΧΙΣΜΑ από Σ-K*	0.085	0.050	2.95	1.19	ΑΠΟΔΕΚΤΗ (ελαστική)

* Σ-K = Συρματοκιβώτια με λιθορριπή

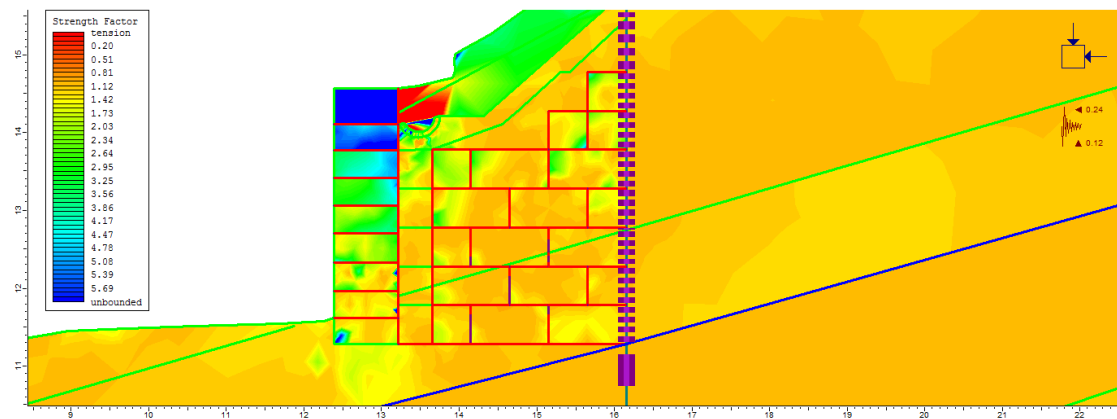
Χαρακτηριστικά εποπτικά αποτελέσματα από τη 2-Δ ελαστοπλαστική ανάλυση αλληλεπίδρασης πρανούς και αναλήμματος (κατακόρυφη σεισμική συνιστώσα προς τα ΑΝΩ) αναφορικά με α) τις μόνιμες μετακινήσεις του αναλήμματος, β) την δημιουργία πλαστικών περιοχών (υπέρβαση τεθέντος ελαστικού ορίου αναλόγως του υλικού και του νόμου ο οποίος διέπει την καταστατική συμπεριφορά του) και γ) την εντατική κατάσταση των πασσάλων σταθεροποίησης του πρανούς, για την περίπτωση του ακραίου –κατά EC-8- σεισμού, παρουσιάζονται στις Εικόνες 14 – 18.



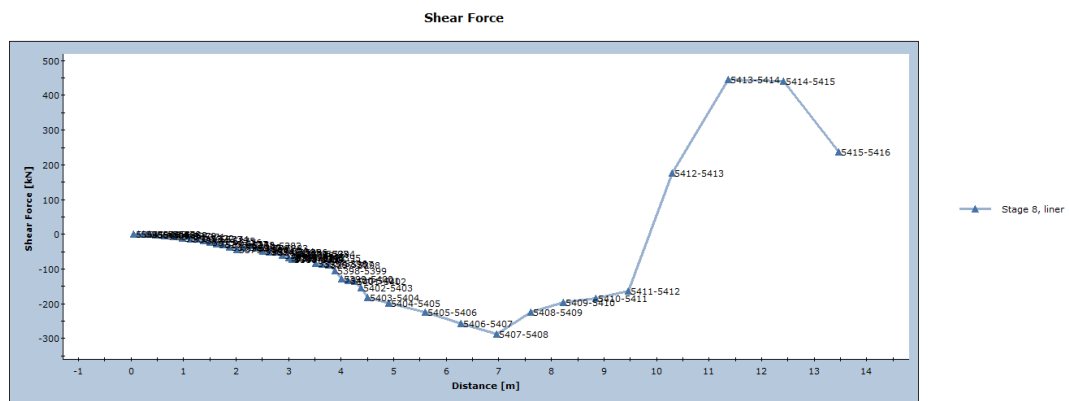
Εικ. Α2: Μόνιμες οριζόντιες μετακινήσεις αναστηλωμένου αρχαίου αναλήμματος. Διατομή S14 (περιοχή αντηρίδων E-Z). Ακραίος (κατά EC-8) σεισμός, κατακόρυφη συνιστώσα προς τα ΑΝΩ



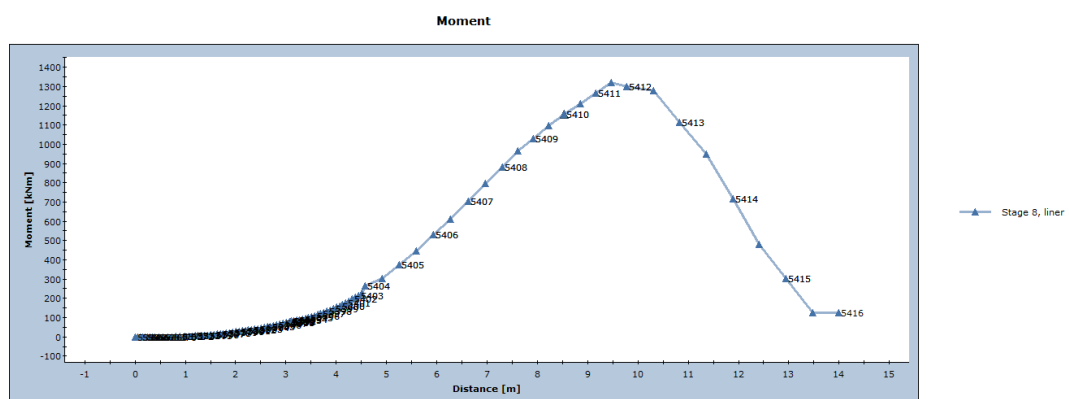
Εικ. Α3: Κατάσταση πλαστικής διαρροής των στοιχείων στην περιοχή της προτεινόμενης από τη μελέτη επέμβασης. Διατομή S14 ((περιοχή αντηρίδων E-Z) χωρίς διάταξη μικροπασσάλων – κόκκινο = πλαστική περιοχή, μπλε = ελαστική περιοχή. Ακραίος (κατά EC-8) σεισμός, κατακόρυφη συνιστώσα προς τα ΑΝΩ



Εικ. A4: Συντελεστής ασφαλείας έναντι σύνθετου κριτηρίου αστοχίας κατά Hoek-Brown. Ακραίος (κατά EC-8) σεισμός, κατακόρυφη συνιστώσα προς τα ΑΝΩ



Εικ. A5 Μέγιστη σεισμικά αναπτυσσόμενη ΤΕΜΝΟΥΣΑ επί των πασσάλων σταθεροποίησης του ανάντη πρανούς Ακραίος (κατά EC-8) σεισμός, κατακόρυφη συνιστώσα προς τα ΑΝΩ



Εικ. A6: Μέγιστη σεισμικά αναπτυσσόμενη ΡΟΠΗ επί των πασσάλων σταθεροποίησης του ανάντη πρανούς Ακραίος (κατά EC-8) σεισμός, κατακόρυφη συνιστώσα προς τα ΑΝΩ

Από τα αποτελέσματα των ελαστοπλαστικών αναλύσεων προκύπτουν:

- η υπολογιστική στατική επάρκεια της αναστηλωτικής μελετητικής πρότασης για το αρχαίο ανάλημμα στην εξεταζόμενη δυσμενή περιοχή (περιοχή μεταξύ αντηρίδων E και Z).
- Η καταπόνηση των πασσάλων σταθεροποίησης του ανάντη πρανούς εντός αποδεκτών κανονιστικά ορίων (μέγιστη ροπή $M = 1350 \text{ kNm}$, μέγιστη τέμνουσα $V = 450 \text{ kN}$).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

1.ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Ανοξείδωτος χάλυβας οπλισμών E500 κατά AISI 316

2.ΦΟΡΤΙΑ

Μόνιμα

Ιδιο βάρος ωπλισμένου σκυροδέματος	25.00 kN/m ³
Ιδιο βάρος αόπλου σκυροδέματος	24.00 kN/m ³
Ιδιο βάρος ξύλου	8.00 kN/m ³
Ιδιο βάρος γαιών	20.00 kN/m ³
Ειδικό βάρος ύδατος	10.00 kN/m ³

Κινητά

Κινητό περιβάλλοντα χώρου	10.00 kN/m ²
---------------------------	-------------------------

Σεισμικά Φορτία

Ελάχιστο Φάσμα Σχεδιασμού κατά EN1998-1

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Z2

Σεισμική επιτάχυνση εδάφους agR= 0.24g

Κατηγορία Σπουδαιότητας έργου IV $\gamma = 1.40$

Εδαφος κατηγορίας B S=1.20

3.ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ - ΩΘΗΣΕΙΣ ΓΑΙΩΝ

Ωθήσεις γαιών και ωθήσεις εκ κινητών φορτίων κατά EN1997-1

Επαύξηση ωθήσεων λόγω σεισμού κατά EN1998-5

4.ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

Ευρωκώδικας EN1990 (Βάσεις σχεδιασμού)

Ευρωκώδικας EN1991 (Φορτία κατασκευών)

Ευρωκώδικας EN1992 (Μελέτη έργων από σκυρόδεμα)

Ευρωκώδικας EN1993 (Μελέτη έργων από χάλυβα)

Ευρωκώδικας EN1995 (Μελέτη έργων από ξύλο)

Ευρωκώδικας EN1997 (Γεωτεχνικός σχεδιασμός)

Ευρωκώδικας EN1998 (Αντισεισμικός Σχεδιασμός κατασκευών)

Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος ΕΚΩΣ 2000 (ΦΕΚ 1329Δ/6-11-2000, ΦΕΚ 447Β3-5-2004)

Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ) (ΦΕΚ 2184/Β/20-12-1999, ΦΕΚ 423Β12-4-2001,ΦΕΚ 1154/ 12-8-2003)

Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος ΚΤΣ 2016

Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων 2008

BS 8007 (Σχεδιασμός κατασκευών απο σκυρόδεμα για την αποθήκευση υγρών)

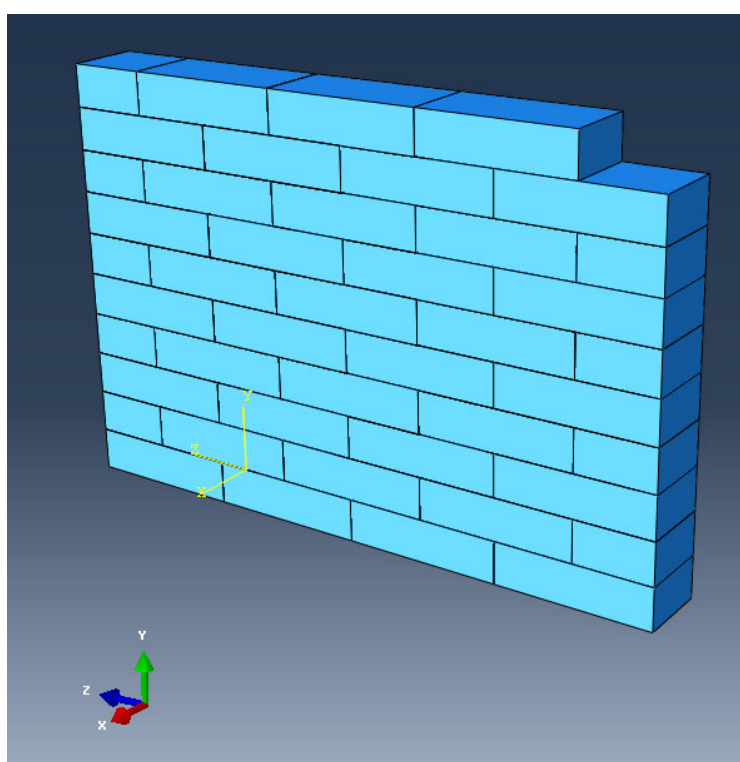
DIN 15018 (μέρη 1 & 2), Γερανοί - Βάσεις υπολογισμού & εκτέλεση

DIN 4132 (μέρη 1 & 2), Γερανοτροχιές - Βάσεις υπολογισμού & εκτέλεση

DIN 18800 (Μελέτη έργων από Χάλυβα)

Οι κανονισμοί νοούνται με τις συμπληρώσεις, διευκρινήσεις και τροποποιήσεις που έγιναν μέχρι σήμερα.

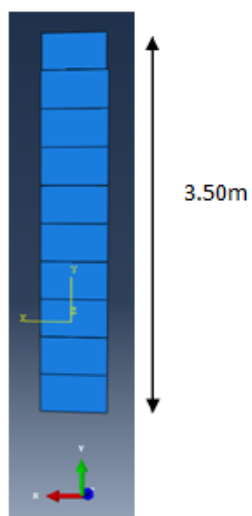
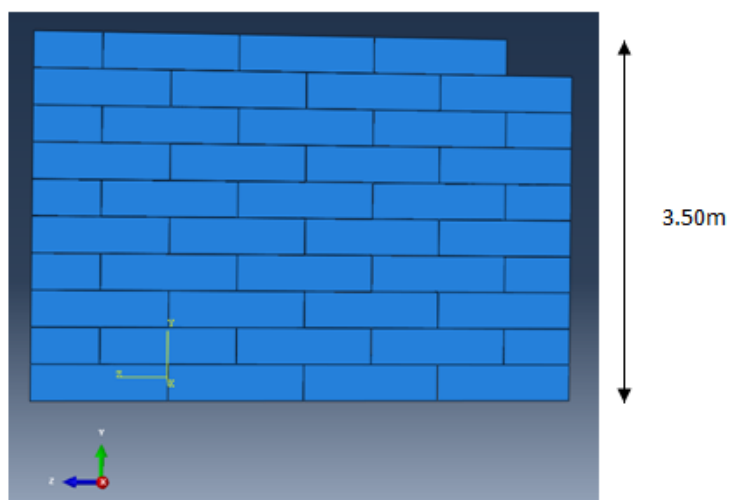
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β. ΤΕΥΧΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

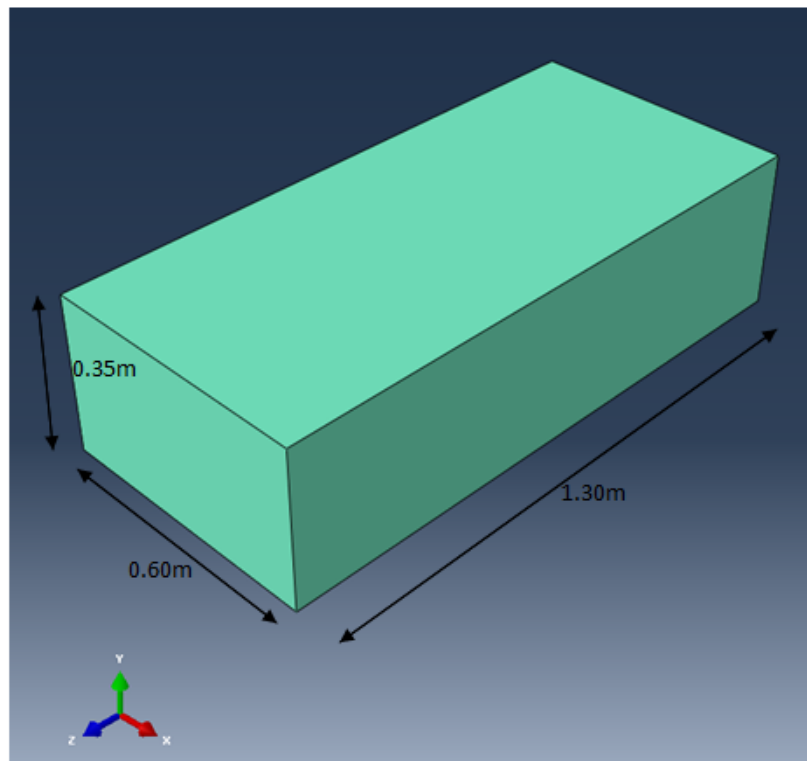


1. Structural model

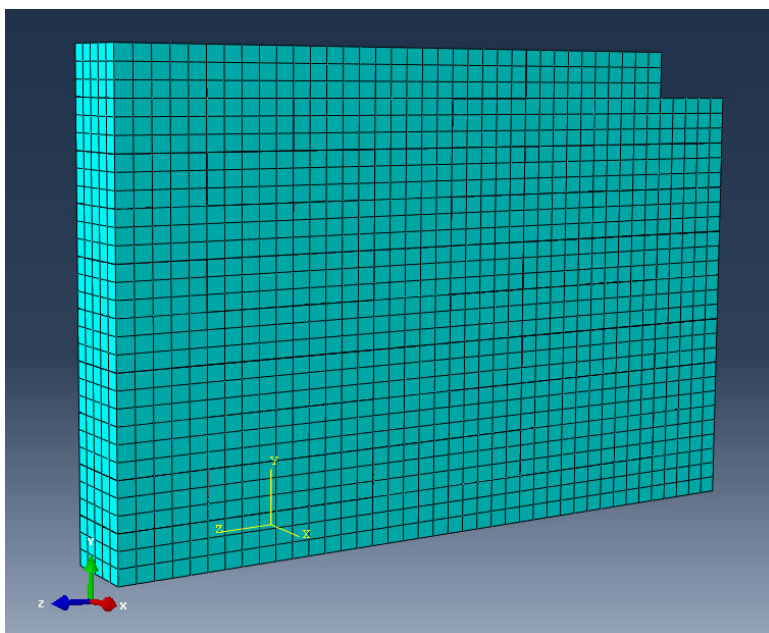
This section provides model geometry information, including items such as joint coordinates, joint restraints, and element connectivity.

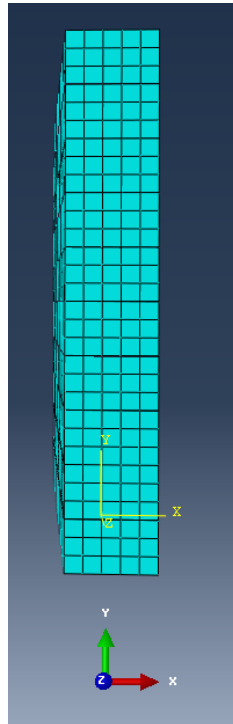
1.1. Model Geometry



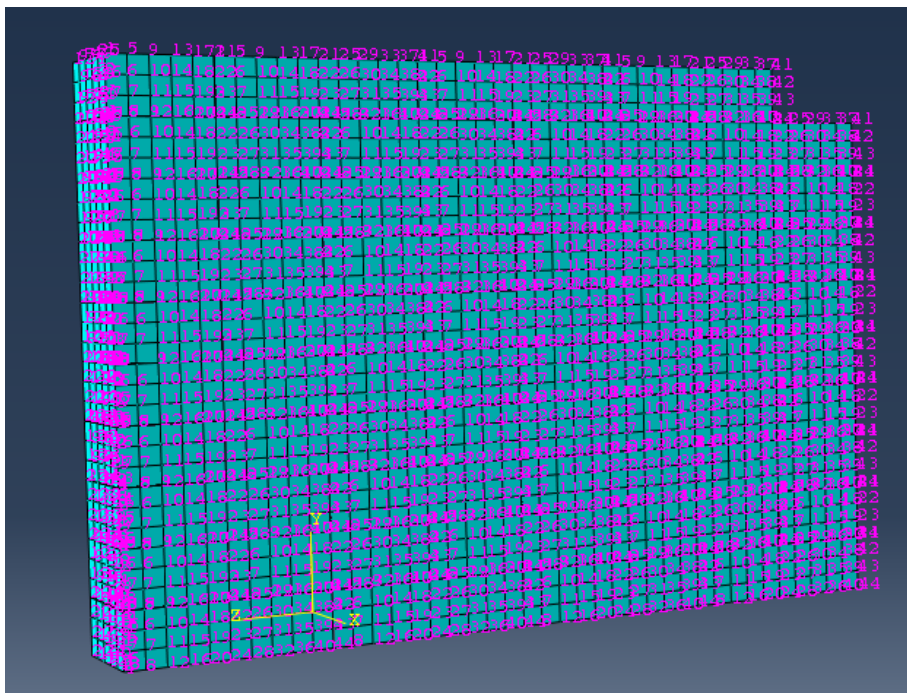


1.2. Finite Element Mesh

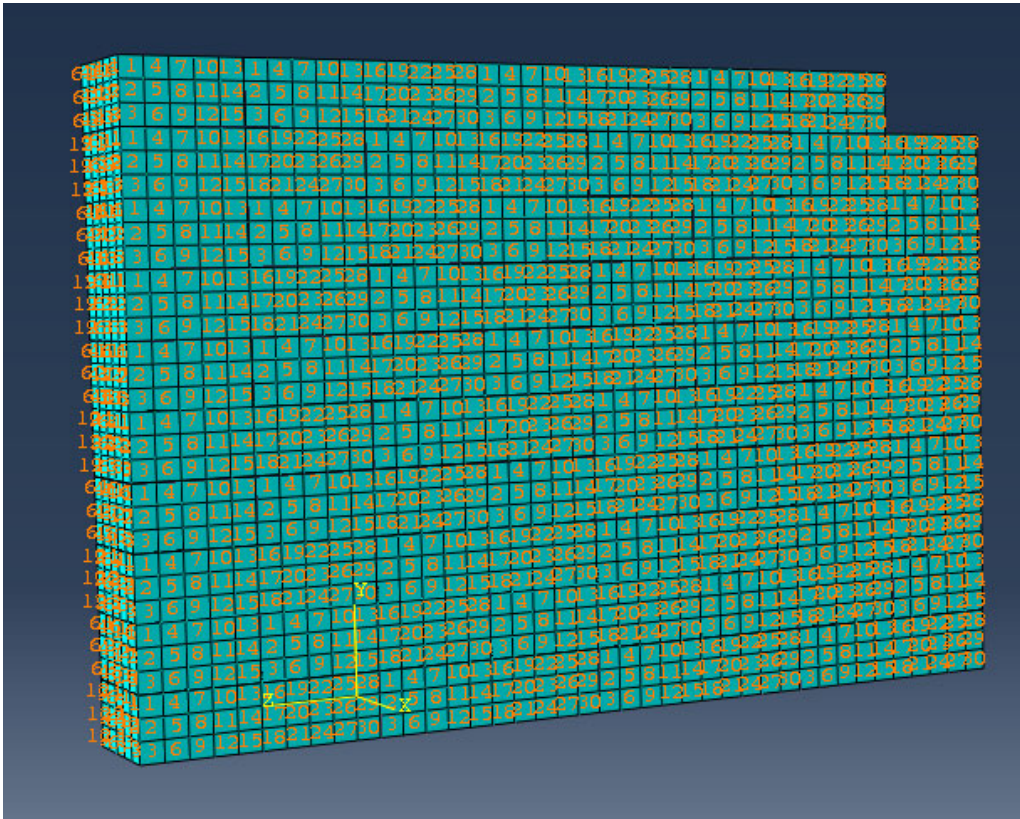




1.3. Joint coordinates



1.4. Element connectivity



2. Material properties

This section provides material property information for materials used in the model.

Table 4: Material Properties 02 - Basic Mechanical Properties

Material	UnitMass N-s2/m4	E1 N/m2	G12 N/m2	U12
Tufa	2650	10000000000.	3968253968	0.26

3. Contact Information

This section provides contact information applied on element edges. Information are shown on following images.

Name: Friction

Contact Property Options

Tangential Behavior

Normal Behavior

Mechanical Thermal Electrical

Tangential Behavior

Friction formulation: Penalty

Friction

Shear Stress

Elastic Slip

Directionality: ☒ Isotropic ☐ Anisotropic (Standard only)

☐ Use slip-rate-dependent data

☐ Use contact-pressure-dependent data

☐ Use temperature-dependent data

Number of field variables: 0

Friction Coeff
0.7

Name: Friction

Contact Property Options

Tangential Behavior

Normal Behavior

Mechanical Thermal Electrical

Normal Behavior

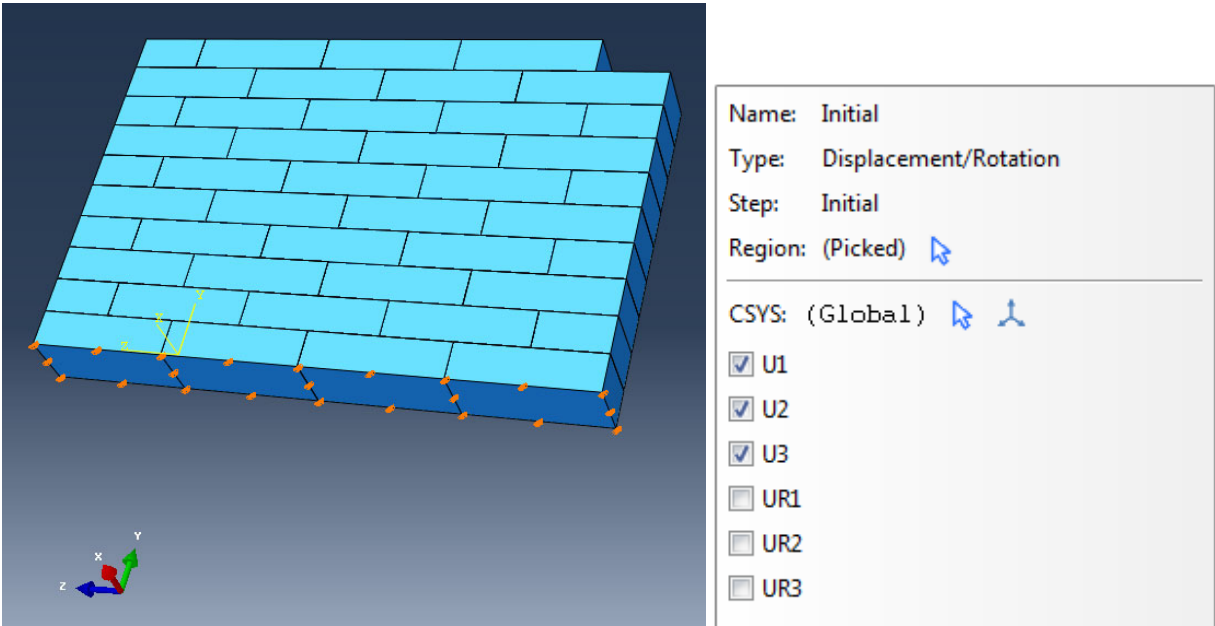
Pressure-Overclosure: "Hard" Contact

Constraint enforcement method: Default

☒ Allow separation after contact

4. Restraints definitions

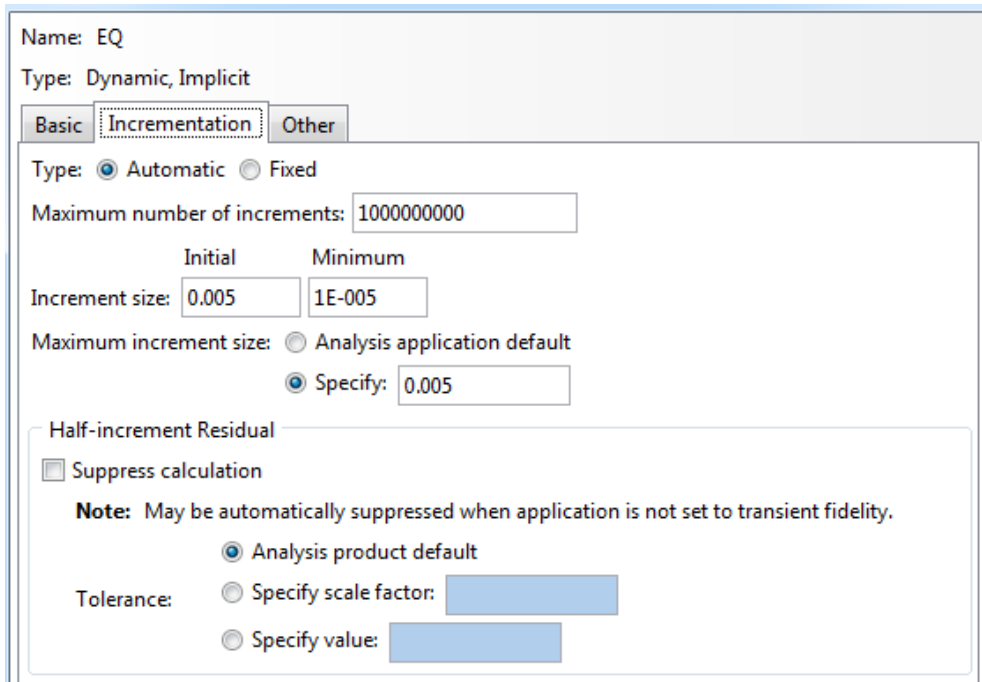
This section provides restraints information applied on element edges. Information are shown on following images.



5. Steps/Applied Loads

This section provides step and loading information as applied to the model.

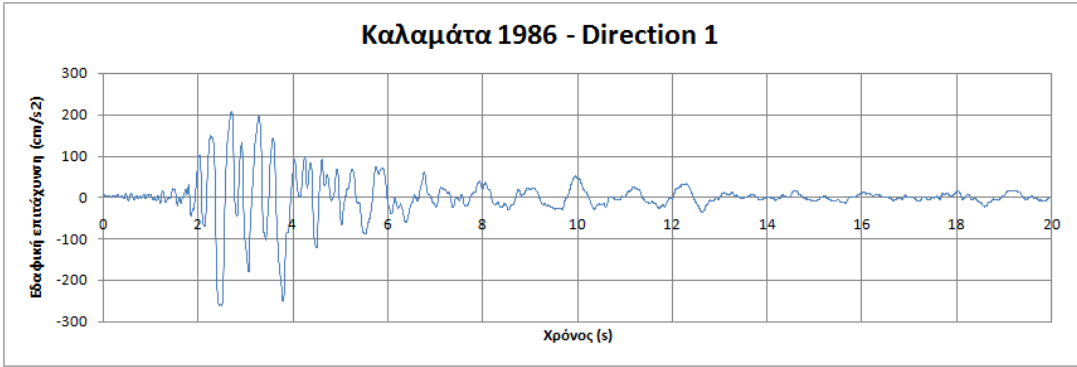
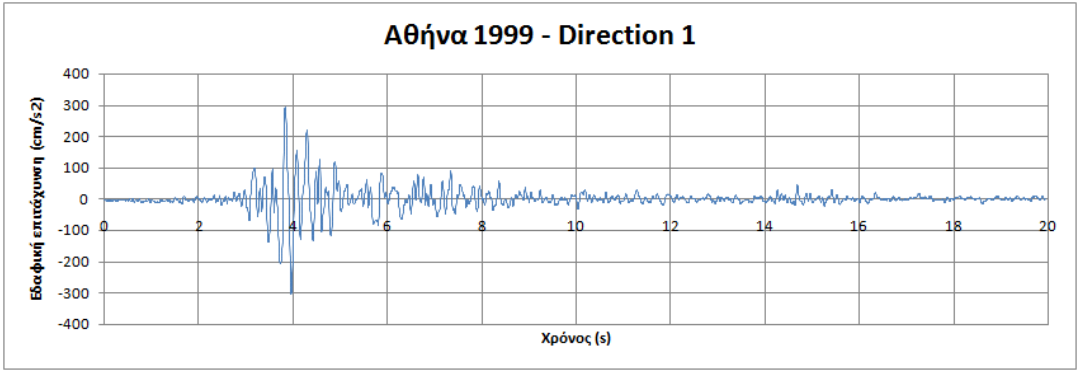
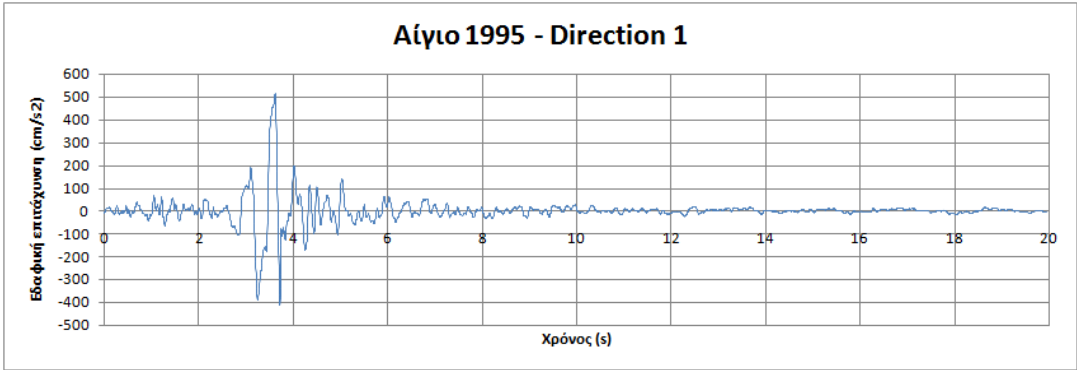
5.1. Steps definitions



5.2. Load Definitions

Table 11: Load Pattern Definitions

Load	SelfWtMult	Type
Gravity	1.	Mechanical/Static
Aegion1995	0.	Mechanical/Acceleration
Athens1999	0.	Mechanical/Acceleration
Kalamata1986	0.	Mechanical/Acceleration



6. Modal Results

6.1 MODAL FREQUENCY

MODE NO	FREQUENCY(CYCLES/TIME)
1	15.013
2	27.486
3	59.856
4	67.709
5	84.254
6	98.893
7	123.21
8	136.53
9	141.73
10	152.65
11	182.19
12	192.56
13	197.25
14	207.63
15	212.02
16	224
17	239.41
18	250.27
19	272.78
20	290.76
21	290.79
22	290.79
23	290.8
24	290.82

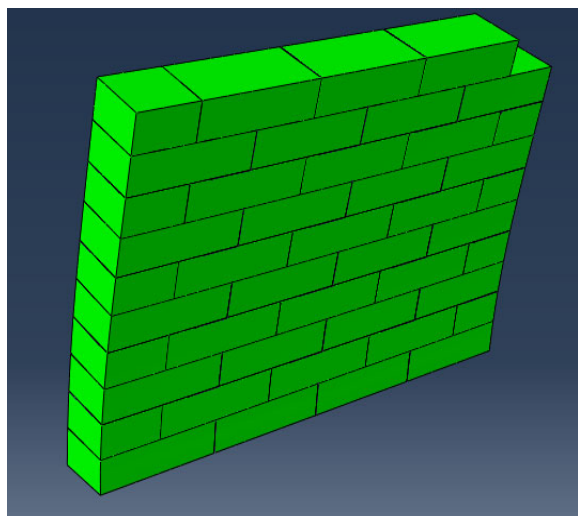
6.2 EFFECTIVE MASS

MODE NO	X-COMPONENT	Y-COMPONENT	Z-COMPONENT	X-ROTATION	Y-ROTATION	Z-ROTATION
1	17305	4.04E-27	7.25E-26	3.85E-25	24590	96690
2	37.66	6.14E-27	2.10E-25	1.94E-24	45657	90.058
3	280.18	2.62E-26	4.81E-23	3.26E-22	1019.8	185.65
4	1.08E-24	3.4498	19428	1.32E+05	9.13E-24	1.30E-25
5	5346.9	8.97E-26	6.75E-25	1.88E-24	6001.8	1524.4
6	80.633	4.62E-26	8.63E-25	3.14E-24	10983	17.041
7	22.856	2.53E-24	1.23E-25	1.34E-23	1097.3	2.8748
8	9.30E-28	21671	97.858	31180	1.94E-26	5.34E-26
9	20.864	1.46E-24	3.47E-26	1.56E-24	406.38	4.6301
10	2.90E-26	355.89	4089.3	18575	2.45E-26	6.92E-27
11	8.34E-22	58.368	12.354	130.51	4.22E-21	4.78E-24

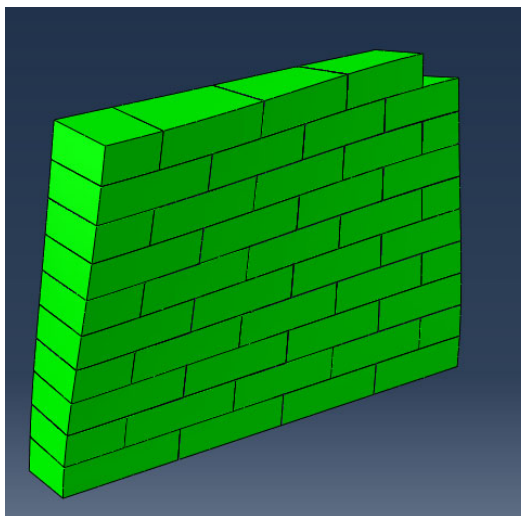
12	129.73	2.02E-20	2.66E-21	7.43E-22	1493.2	8.8155
13	753.9	5.79E-19	1.77E-20	5.39E-19	1066.3	45.423
14	911.61	1.01E-19	6.58E-19	6.23E-19	57.444	53.388
15	6.21E-17	928.66	11.727	1901.4	8.45E-16	5.40E-19
16	162.9	1.13E-15	2.03E-16	2.13E-15	4136.7	7.6132
17	5.43E-24	0.31383	1342.2	1706.4	1.09E-21	3.48E-22
18	0.1241	8.21E-24	6.97E-24	1.29E-22	76.003	0.20014
19	53.552	9.54E-25	1.15E-25	6.45E-25	390.24	0.91834
20	3.34E-06	6.42E-20	3.22E-18	1.83E-17	1.05E-04	4.60E-08
21	4.46E-06	6.77E-20	3.68E-18	7.88E-18	3.25E-05	7.70E-08
22	8.93E-07	1.02E-19	9.37E-19	5.25E-18	3.57E-06	6.63E-08
23	4.02E-07	1.61E-18	4.63E-17	9.30E-17	9.47E-07	6.36E-08
24	5.12E-07	5.51E-20	9.48E-19	9.01E-18	5.54E-08	2.19E-08
TOTAL	25106	23018	24981	1.85E+05	96975	98631

6.3 MODE SHAPES

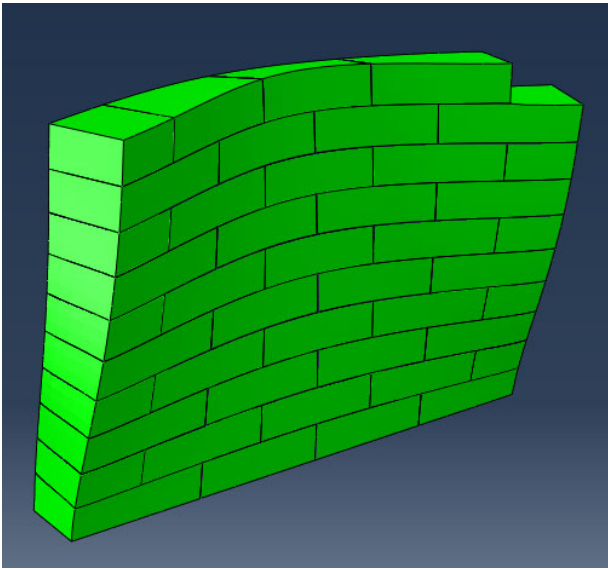
MODE 1



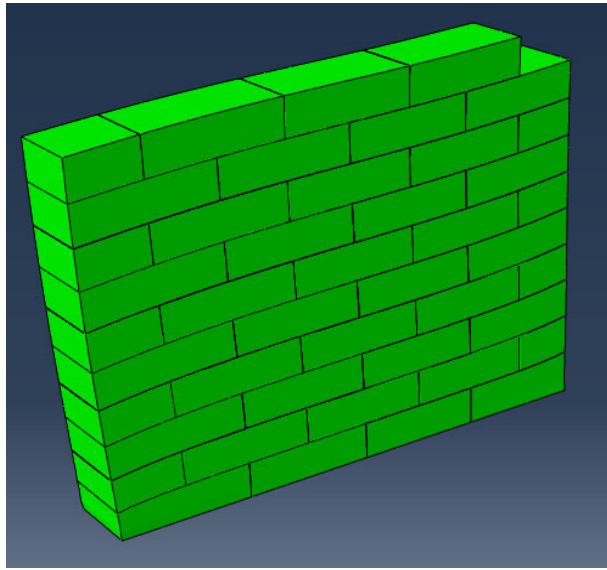
MODE 2



MODE 3



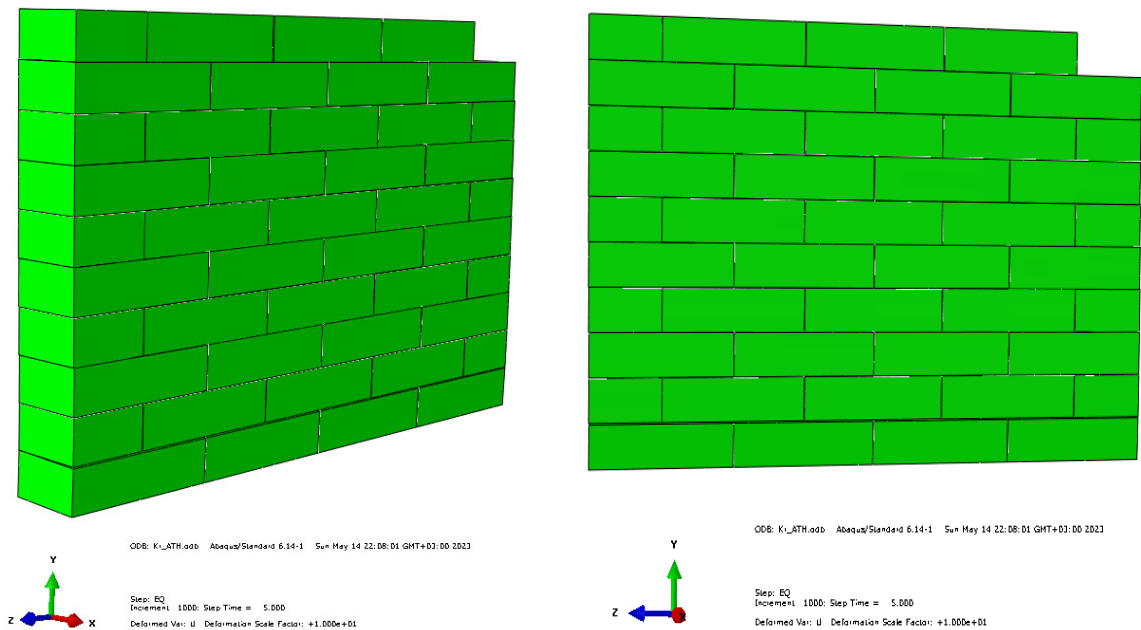
MODE 4



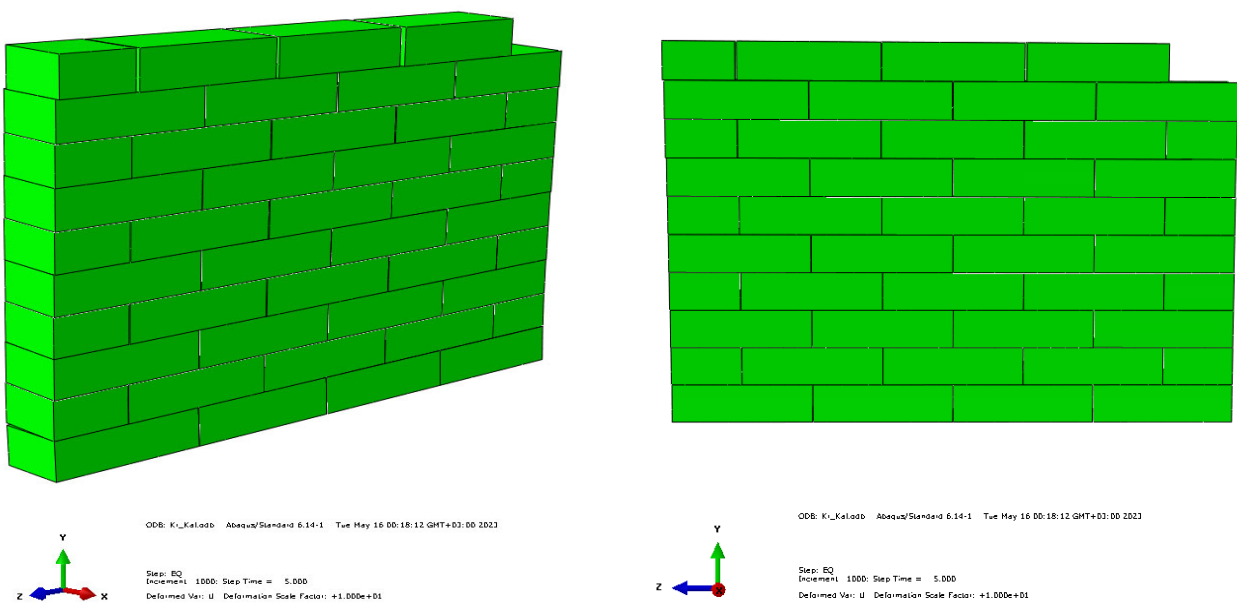
7. Time history results

7.1 Deformed shape (5s)

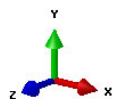
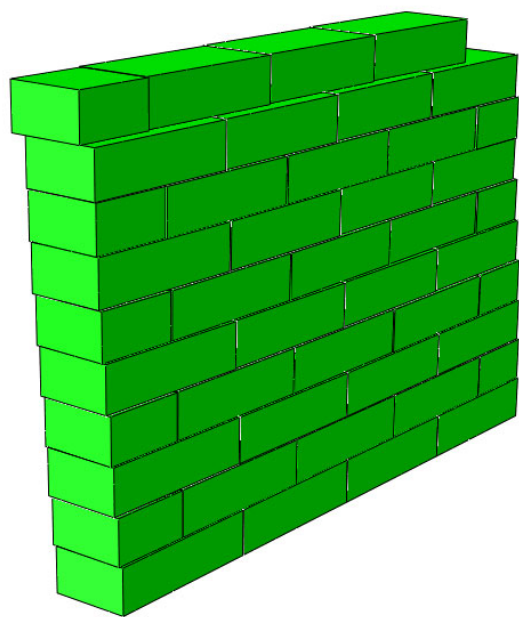
7.1.1 Athens 1999 (scale factor=10)



7.1.2 Kalamata 1986 (scale factor=10)

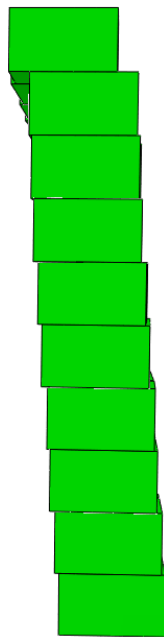


7.1.3 Aigion 1995 (scale factor=10)



ODB: K:\AIG.odb - Abaqus/Standard 6.14-1 Mon May 15 10:42:49 GMT+03:00 2023

Step: EQ
Increment: 1004; Step Time = 5.000
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.000e+01

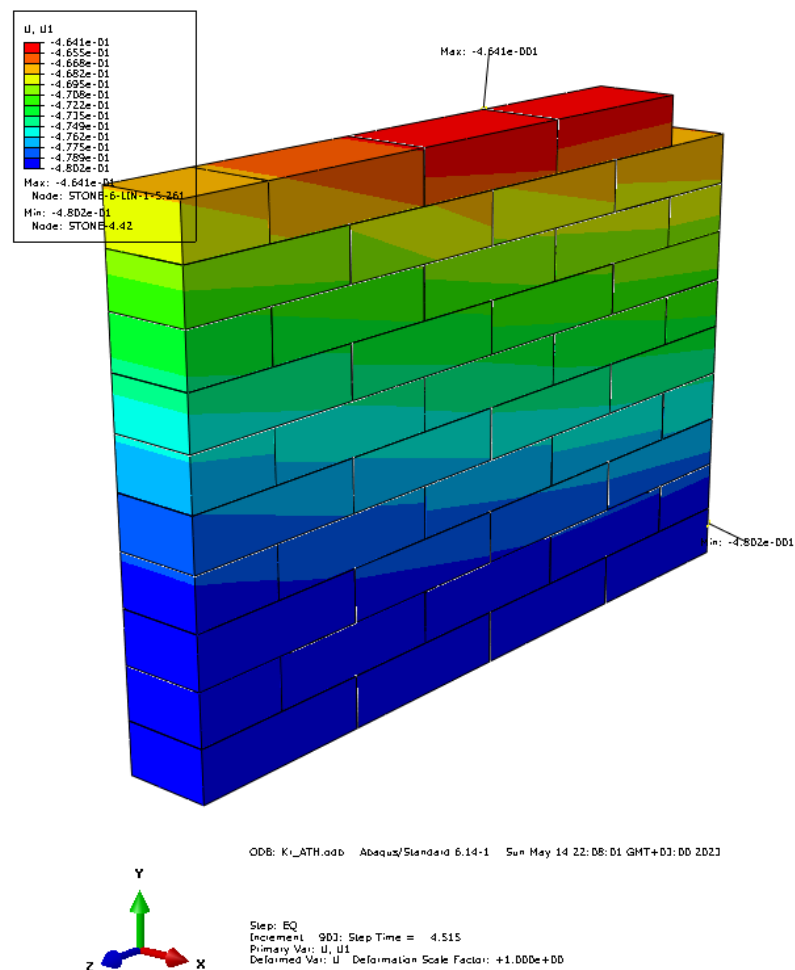


ODB: K:\AIG.odb - Abaqus/Standard 6.14-1 Mon May 15 10:42:49 GMT+03:00 2023

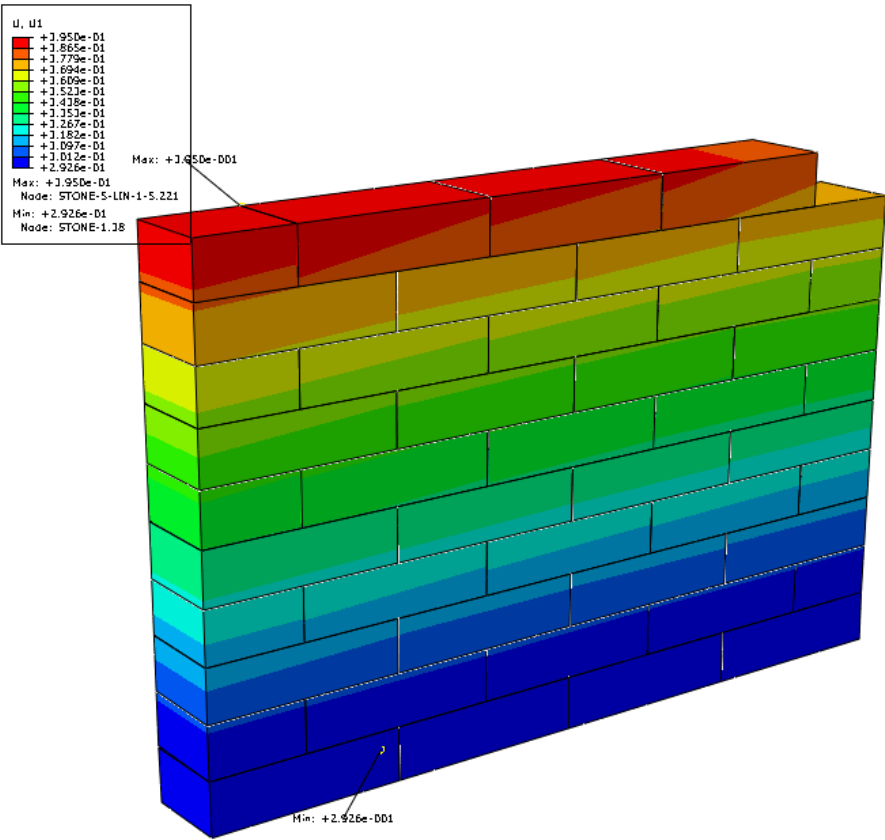
Step: EQ
Increment: 1004; Step Time = 5.000
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.000e+01

7.2. Max Displacement

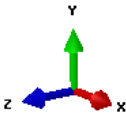
7.2.1 Athens 1999



7.2.2 Kalamata 1986

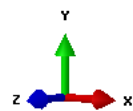
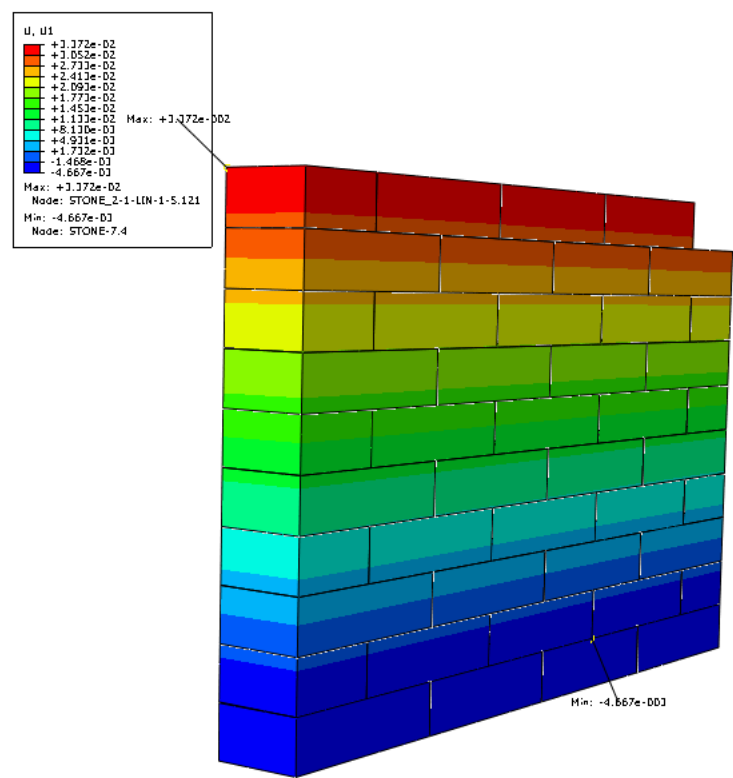


ODB: K1_Kal.odb Abaqus/Standard 6.14-1 Tue May 16 00:18:12 GMT+03:00 2023



Step: EQ
Increment: 812; Step Time = 4.060
Primary Var: U, U1
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.000e+00

7.2.3 Aigion 1995

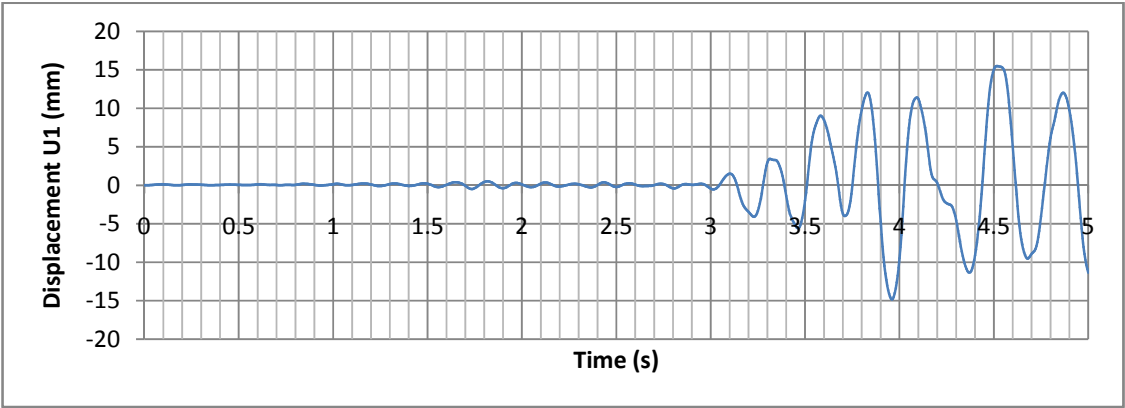


ODB: K1_ATG.odb Abaqus/Standard 6.14-1 Mon May 15 10:42:49 GMT+03:00 2023

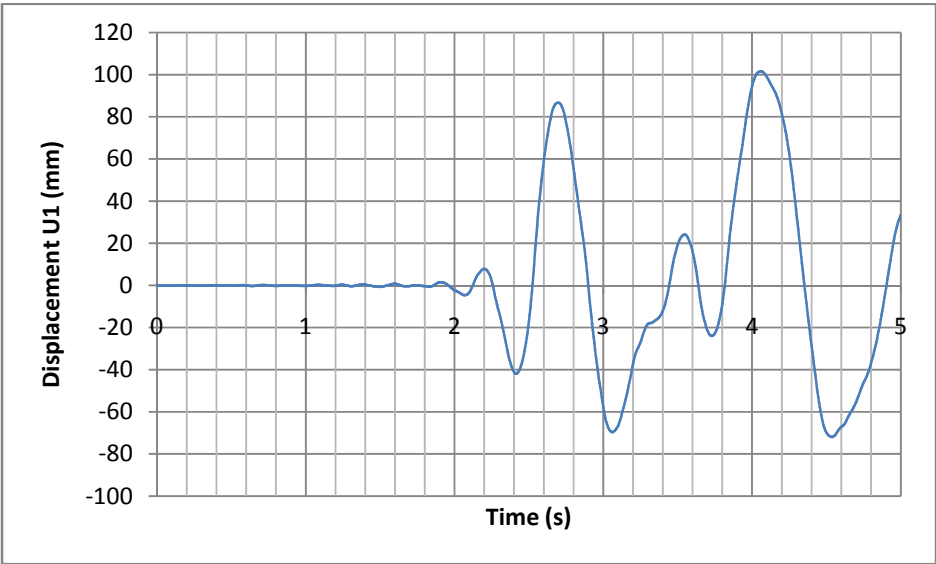
Step: EQ
Increment: 671; Step Time = 3.355
Primary Var: U, U1
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.000e+00

7.3. Critical stone UX time history

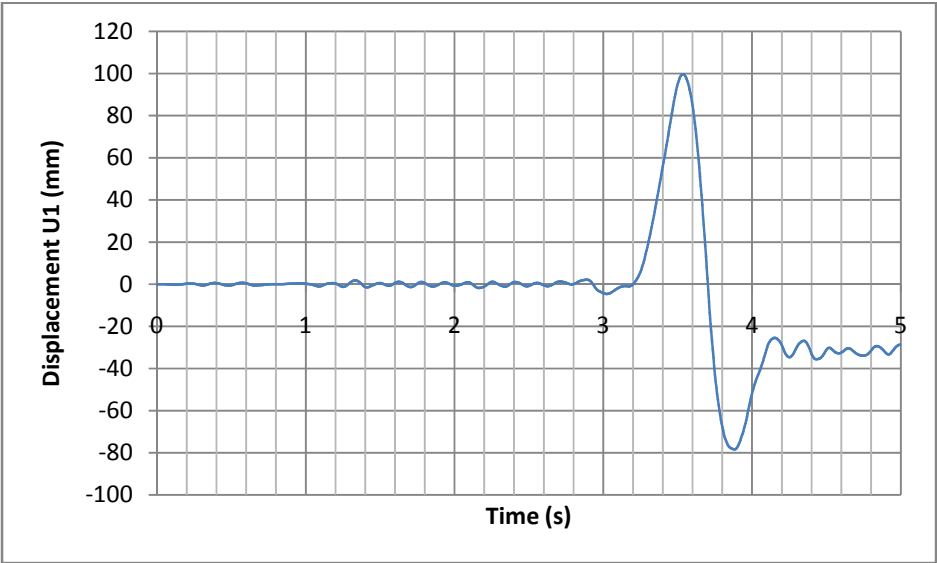
7.3.1 Athens 1999



7.3.2 Kalamata 1986



7.3.3 Aigion 1995



**ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΗΣ ΑΝΑΣΤΗΛΩΤΙΚΗΣ
ΠΡΟΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ
ΠΡΑΝΟΥΣ**

Phase2 Analysis Information

Project1

Project Summary

File Name: ANASTILOTIKI PROTASI EQ=0.24 UP
Last saved with Phase2 version: 8.005
Project Title: Project1

General Settings

Number of Stages: 8
Analysis Type: Plane Strain
Solver Type: Gaussian Elimination
Units: Metric, stress as kPa

Analysis Options

Maximum Number of Iterations: 500
Tolerance: 0.01
Number of Load Steps: 10
Convergence Type: Absolute Energy
Tensile Failure: Reduces Shear Strength
Joint tension reduces joint stiffness by a factor of 0.01

Groundwater Analysis

Method: Piezometric Lines
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
Probability: None

Field Stress

Field stress: constant
Sigma one: 10 kPa (compression positive)
Sigma three: 10 kPa (compression positive)
Sigma Z: 10 kPa (compression positive)
Angle from the horizontal to sigma 1: 0 degrees (counter-clockwise)

Seismic Loading

Horizontal seismic load coefficient: -0.24 (positive to the right)
Vertical seismic load coefficient: 0.12 (positive up)
Seismic load applied in: Stage 8

Mesh

Mesh type: graded
 Element type: 3 noded triangles
 Number of elements on Stage 1: 6448
 Number of nodes on Stage 1: 3779
 Number of elements on Stage 2: 6448
 Number of nodes on Stage 2: 3779
 Number of elements on Stage 3: 6448
 Number of nodes on Stage 3: 3779
 Number of elements on Stage 4: 6448
 Number of nodes on Stage 4: 3779
 Number of elements on Stage 5: 6640
 Number of nodes on Stage 5: 3779
 Number of elements on Stage 6: 6640
 Number of nodes on Stage 6: 3779
 Number of elements on Stage 7: 6640
 Number of nodes on Stage 7: 3779
 Number of elements on Stage 8: 6640
 Number of nodes on Stage 8: 3779

Mesh Quality

12 of 9706 Elements (0.1 % of elements) are poor quality elements
 8 of 9706 Elements (0.1 % of elements) are poor quality elements because of the side length ratio
 12 of 9706 Elements (0.1 % of elements) are poor quality elements because of the minimum interior angle
 0 of 9706 Elements (0.0 % of elements) are poor quality elements because of the maximum interior angle
 0 of 9706 Elements (0.0 % of elements) are poor quality elements because they are inverted
Note: Elements can be of poor quality for more than one reason

Poor quality elements defined as:

Side length ratio (maximum / minimum) > 30.00
 Minimum interior angle < 2.0 degrees
 Maximum interior angle > 175.0 degrees

Reset Displacements

Displacements reset after: Stage 6

Excavation Areas

Original Un-deformed Areas

External Boundary Area: 1885.519 m²
 External Boundary Perimeter: 179.000 m

Stage 1

External Boundary Area: 1885.519 m² (0 m² change from original area)
 External Boundary Perimeter: 179.000 m (0 m change from original perimeter)

Stage 2

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 3

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 4

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 5

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 6

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 7

Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 8

Values not available until this stage is viewed in a window

Material Properties

Material: UNIT I

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	19 kN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	10000 kPa
Poisson's ratio	0.3
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	3 kPa
Residual tensile strength	0 kPa
Peak friction angle	28 degrees
Peak cohesion	3 kPa
Material type	Plastic
Dilation Angle	0 degrees
Residual Friction Angle	28 degrees
Residual Cohesion	3 kPa
Piezo to use	1
Hu Type	Auto

Material: UNIT II

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	19.5 kN/m ³
Elastic type	isotropic
Young's modulus	20000 kPa
Poisson's ratio	0.3
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	5 kPa
Residual tensile strength	0 kPa
Peak friction angle	28 degrees
Peak cohesion	5 kPa
Material type	Plastic
Dilation Angle	0 degrees
Residual Friction Angle	28 degrees
Residual Cohesion	5 kPa
Piezo to use	1
Hu Type	Auto

Properties changed in Stage 1

Young's modulus: 40000 kPa (factor = 2)

Material: UNIT III

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	21 kN/m ³
Elastic type	isotropic
Young's modulus	30000 kPa
Poisson's ratio	0.3
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	7 kPa
Residual tensile strength	0 kPa
Peak friction angle	33 degrees
Peak cohesion	7 kPa
Material type	Plastic
Dilation Angle	0 degrees
Residual Friction Angle	33 degrees
Residual Cohesion	7 kPa
Piezo to use	1
Hu Type	Auto

Material: UNIT IV

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	22.2 kN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	175000 kPa
Poisson's ratio	0.3
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	60 kPa
Residual tensile strength	0 kPa
Peak friction angle	34 degrees
Peak cohesion	60 kPa
Material type	Plastic
Dilation Angle	0 degrees
Residual Friction Angle	34 degrees
Residual Cohesion	60 kPa
Piezo to use	1
Hu Type	Auto

Material: UNIT V STONE WALL

Color	
Initial element loading	body force only
Unit weight	25 kN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	1.38234e+006 kPa
Poisson's ratio	0.4
Failure Criterion	Generalized Hoek-Brown
Material type	Plastic
Dilation Parameter	0
Compressive strength	15000 kPa
mb parameter	1.5091
s parameter	0.003866
a parameter	0.505734
Residual mb parameter	1.2623
Residual s parameter	0.002218
Residual a parameter	0.508086
Piezo to use	1
Hu Type	Auto

Material: UNIT II UNDER WT

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	19.5 kN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	20000 kPa
Poisson's ratio	0.3
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	5 kPa
Residual tensile strength	0 kPa
Peak friction angle	28 degrees
Peak cohesion	5 kPa
Material type	Plastic
Dilation Angle	0 degrees
Residual Friction Angle	28 degrees
Residual Cohesion	5 kPa
Piezo to use	1
Hu Type	Auto

Material: GABION

Color	
Initial element loading	body force only
Unit weight	18 kN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	100000 kPa
Poisson's ratio	0.3
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	20 kPa
Residual tensile strength	0 kPa
Peak friction angle	32 degrees
Peak cohesion	20 kPa
Material type	Plastic
Dilation Angle	0 degrees
Residual Friction Angle	32 degrees
Residual Cohesion	20 kPa
Piezo to use	1
Hu Type	Auto

Material: SW

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	19 kN/m ³
Elastic type	isotropic
Young's modulus	40000 kPa
Poisson's ratio	0.3
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	1 kPa
Residual tensile strength	0 kPa
Peak friction angle	35 degrees
Peak cohesion	1 kPa
Material type	Plastic
Dilation Angle	0 degrees
Residual Friction Angle	35 degrees
Residual Cohesion	1 kPa
Piezo to use	1
Hu Type	Auto

Material: AIR

Color	
Initial element loading	No initial element loading
Elastic type	isotropic
Young's modulus	1 kPa
Poisson's ratio	0.2
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	0 kPa
Residual tensile strength	0 kPa
Peak friction angle	0.01 degrees
Peak cohesion	0.01 kPa
Material type	Elastic
Piezo to use	1
Hu Type	Custom
Hu value	1

Joint Properties

Joint: Joint SOIL

Color	
Normal stiffness	200000 kPa/m
Shear stiffness	20000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Not Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	Mohr-Coulomb
Tensile strength	0 kPa (tension positive)
Residual Tensile strength	0 kPa
Cohesion	0 kPa
Residual Cohesion	0 kPa
Friction angle	30 degrees
Residual Friction angle	25 degrees

Joint: Joint UNIT V Infr

Color	
Normal stiffness	1e+006 kPa/m
Shear stiffness	100000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Not Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	Mohr-Coulomb
Tensile strength	0 kPa (tension positive)
Residual Tensile strength	0 kPa
Cohesion	0 kPa
Residual Cohesion	0 kPa
Friction angle	32 degrees
Residual Friction angle	28 degrees

Joint: Joint 4 GABIONS

Color	
Normal stiffness	500000 kPa/m
Shear stiffness	50000 kPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Not Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	Mohr-Coulomb
Tensile strength	0 kPa (tension positive)
Residual Tensile strength	0 kPa
Cohesion	3 kPa
Residual Cohesion	2 kPa
Friction angle	30 degrees
Residual Friction angle	28 degrees

Liner Properties

Liner: PILE Ø120

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	2.63918e+007 kPa
Equivalent thickness	0.582056 m
Poisson ratio	0

Reinforcement Properties

Type	Rebar(Europe): #20 (diameter=20mm)
Spacing	0.147 m
Section Depth	0.465 m
Area	0.000628 m ²
Moment of inertia	3.3963e-005 m ⁴
Young's modulus	2e+008 kPa
Poisson ratio	0.25
Compressive strength	350000 kPa
Tensile strength	350000 kPa

Concrete Properties

Thickness	0.565 m
Young's modulus	2.5e+007 kPa
Poisson ratio	0.15
Compressive strength	25000 kPa
Tensile strength	2500 kPa

Structural Interface Properties

Structural Interface: PILE Φ 120
 Joint (positive side): Joint SOIL
 Liner: PILE Φ 120
 Joint (negative side): Joint SOIL

Displacements

Displacement data is not available for Stage 1 until total displacement is viewed in a window
 Displacement data is not available for Stage 2 until total displacement is viewed in a window
 Displacement data is not available for Stage 3 until total displacement is viewed in a window
 Displacement data is not available for Stage 4 until total displacement is viewed in a window
 Displacement data is not available for Stage 5 until total displacement is viewed in a window
 Displacement data is not available for Stage 6 until total displacement is viewed in a window
 Displacement data is not available for Stage 7 until total displacement is viewed in a window
 Displacement data is not available for Stage 8 until total displacement is viewed in a window

Yielded Elements

Yielded Mesh Elements

Number of yielded mesh elements on Stage 1: 3521

Number of yielded mesh elements is not available for Stage 2 until the stage is viewed in a window
 Number of yielded mesh elements is not available for Stage 3 until the stage is viewed in a window
 Number of yielded mesh elements is not available for Stage 4 until the stage is viewed in a window
 Number of yielded mesh elements is not available for Stage 5 until the stage is viewed in a window
 Number of yielded mesh elements is not available for Stage 6 until the stage is viewed in a window
 Number of yielded mesh elements is not available for Stage 7 until the stage is viewed in a window
 Number of yielded mesh elements is not available for Stage 8 until the stage is viewed in a window

Yielded Liner Elements

Number of yielded liner elements on Stage 1: 0
 Number of yielded liner elements on Stage 2: 0
 Number of yielded liner elements on Stage 3: 0
 Number of yielded liner elements on Stage 4: 0
 Number of yielded liner elements on Stage 5: 0
 Number of yielded liner elements on Stage 6: 0
 Number of yielded liner elements on Stage 7: 0
 Number of yielded liner elements on Stage 8: 0

Yielded Joint Elements

Number of yielded joint elements on Stage 1: 71
 Number of yielded joint elements on Stage 2: 71
 Number of yielded joint elements on Stage 3: 108

Number of yielded joint elements on Stage 4: 108
 Number of yielded joint elements on Stage 5: 201
 Number of yielded joint elements on Stage 6: 201
 Number of yielded joint elements on Stage 7: 202
 Number of yielded joint elements on Stage 8: 288

List of All Coordinates

External boundary

X	Y
55.5684	-7.1e-015
55.5684	17.1049
55.5684	26.8204
55.5684	27.5842
55.5684	29.483
55.5684	33.9315
0	10
0	8.06994
0	7.18572
0	4.23588
0	1.55304
0	0

Material boundary

X	Y
0	4.23588
15.2007	8.22223
16.1516	8.54739
31.8106	13.9022
41.2871	16.3922
51.8868	22.5935
55.5684	26.8204

Material boundary

X	Y
55.5684	17.1049
16.1516	6.07337
0	1.55304

Material boundary

X	Y
0	7.18572
16.1516	11.282
17.3506	11.6197
41.2871	18.3622
51.6729	24.4664
55.5684	27.5842

Material boundary

--

X	Y
55.5684	29.483
51.6729	24.4664

X	Y
41.2871	18.3622
31.8106	17.2892
19.0359	13.5869
18.3846	13.3981
17.3506	13.0985
16.1516	12.751
15.1516	12.4611
14.5334	12.282
13.6516	12.0264
13.2106	11.8986

X	Y
13.6516	13.782
14.5527	14.1117
14.7587	14.282
15.3079	14.782
15.4183	14.782
16.1516	15.4602

X	Y
12.3898	14.5677
12.3898	14.1077
12.3898	13.7738
12.3898	13.421
12.3898	13.0634
12.3898	12.7024
12.3898	12.3324
12.3898	11.9686
12.3898	11.615

--

X	Y
19.3002	18.658
18.9771	18.6323
18.5115	18.465
18.072	18.1564
17.7947	17.9158
17.353	17.5736
17.1772	17.4206
16.8777	17.2123
16.4903	16.9162
15.9487	16.5364
15.8413	16.4736
15.6347	16.3379
15.3246	16.0441
14.8695	15.6074
14.3939	15.2638
13.978	15.0342
13.9455	15.0042
13.9417	14.933
13.9455	14.7851
13.9201	14.7088
13.4773	14.5969
13.2106	14.5677

Material boundary

X	Y
13.7506	14.2103
13.6796	14.1946
13.6705	14.1486
13.6508	14.106
13.6218	14.0692
13.5849	14.0401
13.5423	14.0205
13.4963	14.0113
13.4494	14.0132
13.4043	14.0259
13.3633	14.0488
13.3289	14.0807
13.3028	14.1197
13.2106	14.1077
13.2563	14.0604
13.2825	14.0272
13.3136	13.9984
13.3488	13.9749
13.3873	13.9572
13.428	13.9457
13.4701	13.9407
13.5124	13.9424
13.5539	13.9506
13.5936	13.9653
13.6305	13.986
13.6638	14.0122
13.6925	14.0433
13.716	14.0785
13.7338	14.1169

13.7453	14.1577
13.7506	14.2103
14.3101	14.2103
16.1516	15.8516
19.3002	18.658
19.4375	18.6689
20.3199	18.6401
20.9532	18.6895
21.481	18.7027
21.8336	18.7489
22.2118	18.8926
22.7339	19.1429
23.0375	19.3719
23.3694	19.6432
23.7495	19.8305
24.1027	19.9749
24.5845	20.2585
24.9111	20.3816
25.3982	20.4619
35.3524	19.9295
35.8113	20.1918
36.6389	20.9336
37.1096	21.1759
37.7615	21.3931
39.0469	22.2497
40.7966	23.3561
41.8425	24.3331
43.4032	25.7118
44.4386	27.3893
45.2242	28.7099
45.7241	29.9948
46.6882	30.78
47.5451	31.4225
48.5806	31.9222
55.5684	33.9315

Material boundary

X	Y
13.2106	11.282
12.3898	11.282

Material boundary

X	Y
12.3898	11.282
12.3898	11.615

Material boundary

--	--

X	Y
0	10
2.26616	10.104
3.59516	10.184
4.35573	10.2561
5.24441	10.3841
5.98897	10.5282
6.50936	10.6882
7.48559	11.0373
7.96027	11.2383
8.36254	11.3429
8.96594	11.4474
9.72219	11.4876
10.5911	11.5118
11.6962	11.5432
12.2505	11.5734
12.3898	11.615

Material boundary

X	Y
12.3898	14.5677
13.2106	14.5677

Material boundary

X	Y
13.2106	14.2587
16.1516	15.8516

Material boundary

X	Y
13.2106	11.782
13.6516	11.782

Material boundary

X	Y
13.2106	12.282
13.6516	12.282

Material boundary

X	Y
13.2106	12.782
13.6516	12.782

Material boundary

X	Y
13.2106	13.282
13.6516	13.282

Material boundary

X	Y
13.2106	13.7738
13.6516	13.782

Structural interface

X	Y
16.1516	15.8516
16.1516	15.4602
16.1516	14.782
16.1516	14.282
16.1516	13.782
16.1516	13.282
16.1516	12.782
16.1516	12.751
16.1516	12.282
16.1516	11.782
16.1516	11.282
16.1516	8.54739
16.1516	6.07337
16.1516	1.85159

Joint boundary

X	Y
13.2106	11.282
13.6516	11.282
14.1516	11.282
15.1516	11.282
16.1516	11.282

Joint boundary

X	Y
13.2106	11.282
13.2106	11.615

Joint boundary

X	Y
13.2106	14.1077
12.3898	14.1077

Joint boundary

X	Y
13.2106	13.7738
12.3898	13.7738

Joint boundary

X	Y

X	Y
13.2106	13.421
12.3898	13.421

Joint boundary

X	Y
13.2106	13.0634
12.3898	13.0634

Joint boundary

X	Y
13.2106	12.7024
12.3898	12.7024

Joint boundary

X	Y
13.2106	12.3324
12.3898	12.3324

Joint boundary

X	Y
13.2106	11.9686
12.3898	11.9686

Joint boundary

X	Y
12.3898	11.615
13.2106	11.615

Joint boundary

X	Y
13.2106	11.615
13.2106	11.782
13.2106	11.8986
13.2106	11.9686
13.2106	12.282
13.2106	12.3324
13.2106	12.7024
13.2106	12.782
13.2106	13.0634
13.2106	13.282
13.2106	13.421
13.2106	13.7738
13.2106	14.1077

Joint boundary

--

X	Y
13.2106	14.1077
13.2106	14.2587
13.2106	14.5677

Piezometric line

X	Y
0	7.18572
16.1516	11.282
41.2871	18.3622
51.6729	24.4664
55.5684	27.5842