

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Απόκριση σεισμικά μονωμένης γέφυρας η οποία
διατρέχει σεισμικό ρήγμα

Διπλωματική εργασία

Σαρβάνη Γρηγόρη

Επιβλέπων: Αναπληρωτής Καθηγητής Πάνος Τσόπελας

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή.

| | |
|-------------------------------------|---|
| 1.1 Παρουσίαση του προβλήματος..... | 3 |
| 1.2 Προγενέστερες μελέτες..... | 6 |
| 1.3 Παρούσα Εργασία..... | 7 |

Κεφάλαιο2 : Εφεδράνο Τριβής σε Σφαιρική Επιφάνεια.

| | |
|---|----|
| 2.1 Εισαγωγή..... | 9 |
| 2.2 Βασικές Αρχές Λειτουργίας του Εφεδράνου Τριβής σε Σφαιρική Επιφάνεια..... | 9 |
| 2.3 Μοντέλο Εφεδράνου Τριβής σε Σφαιρική Επιφάνεια..... | 12 |

Κεφάλαιο3 : Μοντέλα γεφυρών με χρήση πεπερασμένων στοιχείων.

| | |
|---|----|
| 3.1 Γέφυρα δέκα (10) ανοιγμάτων..... | 14 |
| 3.2 Συμμετρική γέφυρα πέντε (5) ανοιγμάτων..... | 19 |

Κεφάλαιο4 : Προσομοίωση κίνησης εδάφους στην Bolu Viaduct.

| | |
|--|----|
| 4.1 Εισαγωγή..... | 21 |
| 4.2 Εδαφική διέγερση χαμηλών συχνοτήτων..... | 21 |
| 4.3 Εδαφική διέγερση υψηλών συχνοτήτων | 23 |
| 4.4 Ευρυζωνική εδαφική διέγερση..... | 25 |

Κεφάλαιο 5: Φορτίσεις Γέφυρας λόγω Ολίσθησης Διατρέχοντος Ρήγματος

| | |
|--|----|
| Φορτίσεις Γέφυρας λόγω Ολίσθησης Διατρέχοντος Ρήγματος | 26 |
|--|----|

Κεφάλαιο 6: Παραμετρική ανάλυση.

| | |
|--|----|
| 6.1. Εισαγωγή | 32 |
| 6.2 Αποτελέσματα παραμετρικής ανάλυσης για την συμμετρική γέφυρα πέντε (5) ανοιγμάτων..... | 32 |

| | |
|---|----|
| 6.3 Αποτελέσματα παραμετρικής ανάλυσης για την μη συμμετρική γέφυρα δέκα (10) ανοιγμάτων..... | 44 |
|---|----|

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα

| | |
|-------------------|----|
| Συμπεράσματα..... | 64 |
|-------------------|----|

A. Παράρτημα

| | |
|---|----|
| A1. Τυπικό αρχείο δεδομένων του μοντέλου γέφυρας πέντε ανοιγμάτων για το λογισμικό Abaqus (input file)..... | 66 |
| A2. Υπορουτίνα FRIC_COEF..... | 75 |
| A3. Αναφορές..... | 76 |

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Παρουσίαση του προβλήματος

Αρκετές κατασκευές πολιτικού μηχανικού (κτήρια, γέφυρες) διατρέχουν ενεργά τεκτονικά ρήγματα σε περιοχές με υψηλή επικινδυνότητα σεισμού σε όλον τον κόσμο. Πρόσφατοι σεισμοί έδειξαν ότι η συμπεριφορά των κατασκευών σε αυτές τις περιπτώσεις δεν είναι η επιθυμητή όταν αυτά έχουν διαστασιολογηθεί με συμβατικές μεθόδους. Η αποφυγή της κατασκευής κτηρίων και γεφυρών πάνω από ενεργά ρήγματα αποτελεί την καλύτερη τακτική, αυτό όμως δεν είναι πάντα εφικτό. Στην πολιτεία της Καλιφόρνιας υπάρχουν τουλάχιστον 120 γέφυρες οι οποίες διατρέχουν ενεργά σεισμικά ρήγματα ή βρίσκονται πολύ κοντά σε αυτά.

Η περίπτωση της Bolu Viaduct αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού του προβλήματος (Εικόνα 1.1.1.). Στις 12 Νοεμβρίου 1999 ο σεισμός με μέγεθος 7.2 Μ και με επίκεντρο που βρισκόταν κοντά στην γέφυρα χτύπησε την Bolu Viaduct προκαλώντας της εκτεταμένες ζημιές και φέροντάς την πολύ κοντά στην κατάρρευση (Εικόνες 1.1.2. και 1.1.3.). Το ρήγμα του σεισμού διέσχισε τον άξονα της γέφυρας όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.1.4. Εκείνη την χρονική περίοδο η γέφυρα βρισκόταν ακόμα υπό κατασκευή. Παρά το γεγονός ότι ήταν σεισμικά μονωμένη οι καταστροφές ήταν ιδιαίτερα εκτεταμένες πράγμα που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι απαιτείται περαιτέρω μελέτη σε περιπτώσεις κατασκευών οι οποίες διατρέχουν σεισμικά ρήγματα. Η συγκεκριμένη γέφυρα επιδιορθώθηκε μετά το σεισμό και μονώθηκε σεισμικά εκ νέου με διαφορετικού τύπου εφέδρανα (εφέδρανα τριβής σε σφαιρική επιφάνεια).



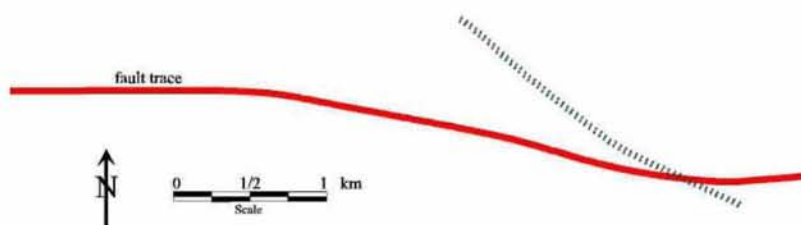
Εικόνα 1.1.1. Bolu Viaduct.



Εικόνα 1.1.2. Οριζόντια μετατόπιση του καταστρώματος της Bolu Viaduct στο βάθρο 10L.
(www.engineering.purdue.edu/~anatolia/viaduct/research/report.html)



Εικόνα 1.1.3. Κατακόρυφη μετατόπιση 13,5 cm του νότιου καταστρώματος της Bolu Viaduct.
(www.engineering.purdue.edu/~anatolia/viaduct/research/report.html)

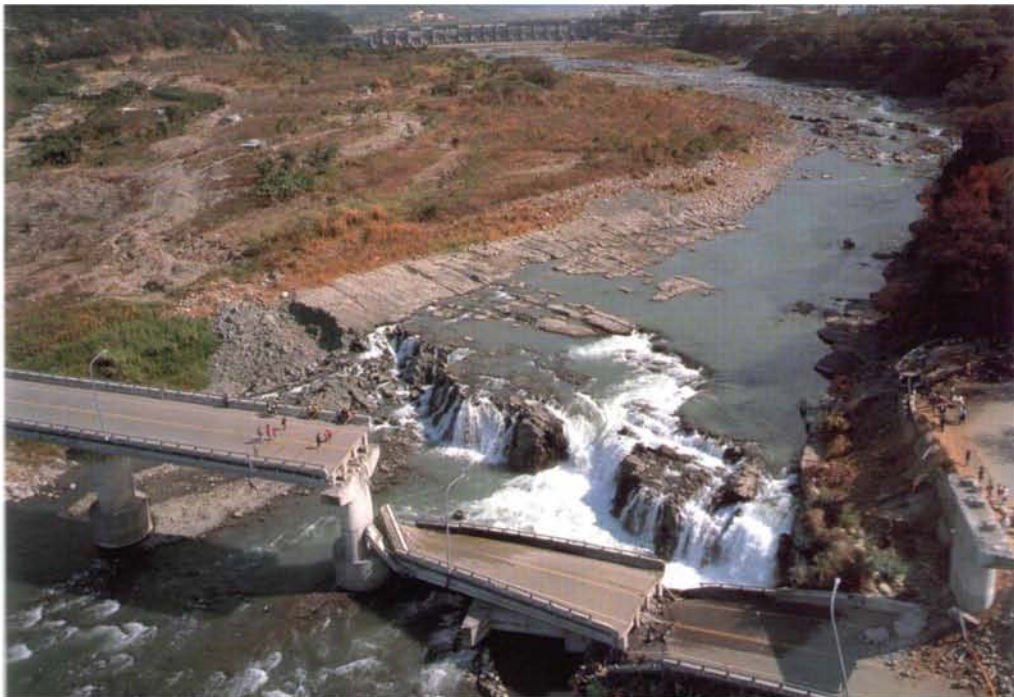


Εικόνα 1.1.4. Σχηματική απεικόνιση της Bolu Viaduct σε σχέση με το ρήγμα.
(www.engineering.purdue.edu/~anatolia/viaduct/research/report.html)

Στις 18 Μαΐου 2008 ο σεισμός στην Wenchuan, China προκάλεσε πολλές καταστροφές σε γέφυρες και αναφέρθηκαν αρκετές περιπτώσεις πλήρους κατάρρευσης γεφυρών οι οποίες βρισκόταν επάνω σε ρήγματα (βλεπε Εικόνα 1.1.5). Παρόμοιες καταστροφές συνέβησαν και στην Τaiwan κατά στον σεισμό Chi-Chi το 1999 όπως παρουσιάζεται στη Εικόνα 1.1.6.



Εικόνα 1.1.5. Γέφυρα στην Wenchuan, China η οποία κατέρρευσε στον σεισμό του 2008.



Εικόνα 1.1.6. Γέφυρα στο Chi-Chi (Taiwan) η οποία κατέρρευσε στο σεισμό του 1999.

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 ο σωστότερος σχεδιασμός είναι αυτός ο οποίος αποφεύγει τη δόμηση επάνω ή και πολύ κοντά σε ενεργά σεισμικά ρήγματα (EC8, 1994). Κάτι τέτοιο κρίνεται υπερβολικό αν όχι και ανεφάρμοστο σε περιοχές μεγάλης σεισμικότητας όπως για παράδειγμα California, Ελλάδα, Τουρκία και ιδίως για έργα μεγάλου μήκους όπως αυτοκινητόδρομοι, σιδηροδρομικές γραμμές και αγωγούς αερίου/πετρελαίου. Γι' αυτό το λόγο θα πρέπει οι μηχανικοί να αναπτύξουν μεθοδολογίες ανάλυσης και σχεδιασμού ώστε να αποφεύγονται ζημιές όπως αυτές που περιγράφηκαν στις προηγούμενες παραγράφους.

1.2 Προγενέστερες μελέτες

Ελάχιστες μελέτες έχουν γίνει μέχρι στιγμής οι οποίες να εξετάζουν το πρόβλημα γεφυρών οι οποίες διατρέχουν ενεργά σεισμικά ρήγματα.

Οι Gloyd et al. (2002) ανέπτυξαν μια μεθοδολογία σχεδιασμού για γέφυρες οι οποίες διατρέχουν ενεργά σεισμικά ρήγματα θεωρώντας 2 συγκεκριμένες περιπτώσεις φόρτισης. Στην μέθοδο αυτήν δεν λαμβάνονται υπόψη καθόλου τα δυναμικά χαρακτηριστικά της γέφυρας.

Οι Anastasopoulos et.al. (2008) ανέπτυξαν μια ορθολογική μέθοδο ανάλυσης γεφυρών οι οποίες διατρέχουν ενεργές ρηξιγενείς δομές. Στην μέθοδο αυτήν υπολογίζεται αρχικά οι σεισμική απόκριση ενός μεμονωμένου βάρους της γέφυρας και στη συνέχεια γίνεται χρήση αυτών των αποτελεσμάτων για την μόρφωση διαφορετικών σεναρίων φόρτισης ολόκληρης της γέφυρας.

Οι Goel and Chopra (2008) παρουσίασαν δυο μεθόδους δυναμικής ανάλυσης, μια φάσματική και μια γραμμικής στατικής ανάλυσης για την πρόβλεψη του δυναμικού τμήματος της σεισμικής απαίτησης μιας γραμμικής ελαστικής γέφυρας η οποία διατρέχει σεισμικό ρήγμα. Ο συνδυασμός αυτών των 2 μεθόδων με μια ψευδο-στατική απαίτηση μπορεί να δώσει μια αίσθηση της μέγιστης απόκρισης. Οι ίδιοι ερευνητές επέκτειναν τη μελέτη τους σε μια μεθοδολογία πρόβλεψης των σεισμικών απαιτήσεων γεφυρών με ελαστοπλαστική συμπεριφορά. Η μεθοδολογία αυτή συνδυάζει ιδιομορφική «pushover» ανάλυση, γραμμική δυναμική ανάλυση και γραμμική στατική ανάλυση.

1.3 Παρούσα Εργασία

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η επιρροή της θέσης του ρήγματος και της γωνίας αυτού ως προς τον άξονα της γέφυρας στη δυναμική συμπεριφορά της κατασκευής (μετακινήσεις, δυνάμεις). Για τον σκοπό αυτό προσομοιώθηκαν δύο (2) σεισμικά μονωμένες γέφυρες στο λογισμικό Abaqus (2004), μία συμμετρική πέντε (5) ανοιγμάτων και μία μη συμμετρική δέκα (10) ανοιγμάτων. Το μοντέλο της γέφυρας δέκα (10) ανοιγμάτων είναι το μοντέλο ενός τμήματος της γέφυρας Bolu η οποία υπέστη εκτεταμένες ζημιές κατά τη διάρκεια του σεισμού του Dunze το 1999.

Στα προαναφερθέντα μοντέλα επιβλήθηκε ένα σενάριο συνθετικών εδαφικών διεγέρσεων αποτελούμενο από 2 ζεύγη (fault parallel και fault normal)

επιταχυνσιογραφήματων (ένα για κάθε πλευρά του ρήγματος). Τα συγκεκριμένα επιταχυνσιογραφήματα αποτελούν τον συνδυασμό μιας εδαφικής διέγερσης (επιτάχυνση) χαμηλών συχνοτήτων και μιας εδαφικής διέγερσης (επιτάχυνση) υψηλών συχνοτήτων (Mavroeidis 2013) [24]. Η πρώτη παράχθηκε με την μέθοδο discrete wavenumber representation (Bouchon and Aki 1977; Bouchon 1979) ενώ η δεύτερη πραγματοποιήθηκε με την χρήση του μοντέλου barrier (Papageorgiou and Aki 2003).

Η παραμετρική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε εμπεριέχει την ανάλυση χρονοϊστορίας των 2 γεφυρών για ύπαρξη ρήγματος σε κάθε ένα άνοιγμα και σε γωνία 30° , 60° και 90° μοιρών ως προς τον άξονα της γέφυρας, η γωνία αυτήν ορίζεται ως η γωνία που πρέπει να στραφεί ο άξονας της γέφυρας με αντιωρολογιακή φορά για να συμπέσει με την διεύθυνση του ρήγματος. Αρχικά αναλύεται η συμπεριφορά καθώς και ο τρόπος προσομοίωσης του συστήματος σεισμικής μόνωσης της γέφυρας (εφέδρανο τριβής σε σφαιρική επιφάνεια), στην συνέχεια αναφέρεται ο τρόπος με τον οποίο έχουν προσομοιωθεί οι γέφυρες στο λογισμικό Abaqus καθώς και το πως παράχθηκαν οι εδαφικές διεγέρσεις. Εξετάζονται οι 4 δυνατές περιπτώσεις φόρτισης της γέφυρας για το ίδιο σενάριο εδαφικών διεγέρσεων και τέλος παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την ανάλυση χρονοϊστορίας.

Κεφάλαιο 2

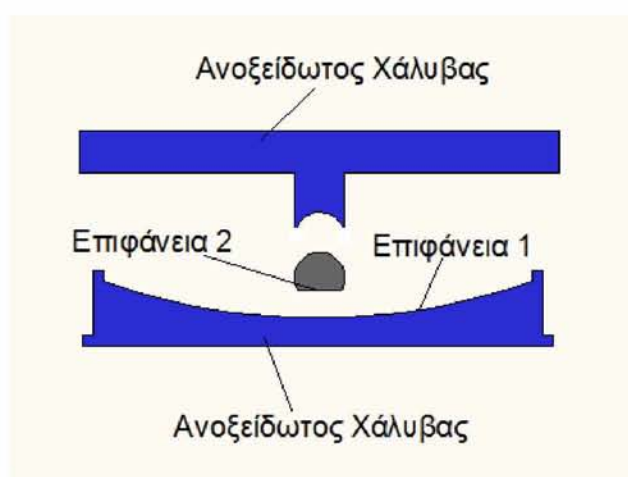
Εφέδρανο Τριβής σε Σφαιρική Επιφάνεια

2.1 Εισαγωγή

Για την επισκευή της σεισμικής μόνωσης της γέφυρας Bolu σχεδιάστηκαν και τοποθετήθηκαν εφέδρανα τριβής σε σφαιρική επιφάνεια. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι βασικές αρχές λειτουργίας του συγκεκριμένου τύπου εφεδράνων η μηχανική τους συμπεριφορά, και ο τρόπος μεταβολής του συντελεστή τριβής της διεπιφάνειας χάλυβα με Teflon® σε σχέση με την ταχύτητα ολίσθησης. Επιπλέον παρουσιάζονται τα μοντέλα των εφεδράνων αυτών τα οποία αναπτύχθηκαν στο λογισμικό ABAQUS.

2.2 Βασικές Αρχές Λειτουργίας του Εφεδράνου Τριβής σε Σφαιρική Επιφάνεια.

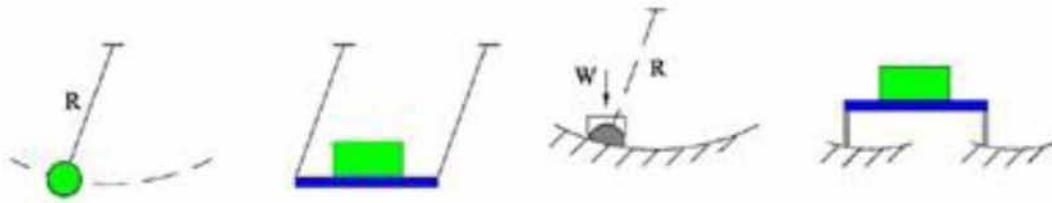
Το εφέδρανο τριβής σε σφαιρική επιφάνεια αποτελείται από 3 μέρη όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2.1. Οι επιφάνειες 1 και 2 έχουν την ίδια καμπυλότητα. Η επιφάνεια 2 είναι επενδυμένη με μια στρώση υλικού βασισμένου στο Teflon® το οποίο παρουσιάζει χαμηλή τριβή όταν χρησιμοποιείται σε διεπιφάνειες με ανοξείδωτο χάλυβα.



Εικόνα 2.2.1. Σχηματική απεικόνιση εφεδράνου τριβής σε σφαιρική επιφάνεια.

Η απόκριση του εφεδράνου εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του, δηλαδή την ακτίνα καμπυλότητας της σφαιρικής επιφάνειας, από τον συντελεστή τριβής στη

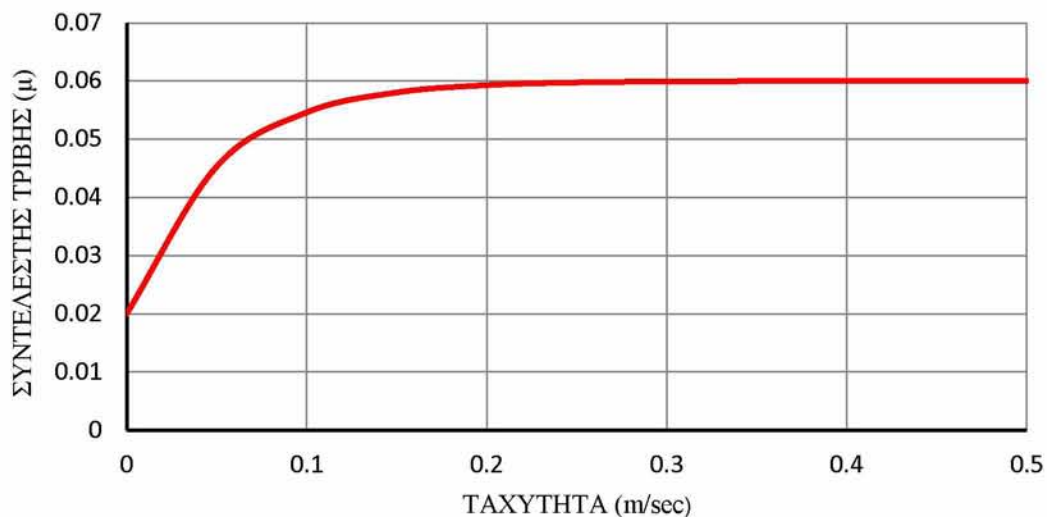
διεπιφάνεια ανοξείδωτου χάλυβα με Teflon® και από την κατακόρυφη δύναμη που μεταφέρει το εφεδρανο (αξονική δύναμη εφεδράνου). Η δυσκαμψία του εφεδράνου προκύπτει από την καμπυλότητα της επιφάνειας ολίσθησης και η απόσβεση ενέργειας που πραγματοποιείται κατά την κίνηση του οφείλεται στην τριβή.



Εικόνα 2.2.2. Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας εφεδράνου.

(www.earthquakeprotection.com/product2.html)

Ο συντελεστής τριβής της διεπιφάνειας ανοξείδωτου χάλυβα και Teflon® είναι συνάρτηση της ταχύτητας ολίσθησης και δίνεται από την Εξίσωση 1 (Constantinou and Mokha, 1988).



Διάγραμμα 2.2.1. Σχέση συντελεστή τριβής με ταχύτητα ολίσθησης για $f_{max} = 0.06$ $f_{min} = 0.02$ και $a = 10 \text{ sec/m}$

$$\mu = f_{max} - (f_{max} - f_{min})e^{-\alpha*|\dot{u}|} \quad (1)$$

Όπου f_{max} ο συντελεστής τριβής σε μεγάλες ταχύτητες ολίσθησης, f_{min} ο συντελεστής τριβής σε πολύ μικρές ταχύτητες ολίσθησης, και α μία σταθερά που καθορίζει την μεταβολή του “ μ ” μεταξύ f_{min} και f_{max} . Το Διάγραμμα 2.2.1 παρουσιάζει τη μεταβολή του συντελεστή τριβής με την ταχύτητα ολίσθησης για συγκεκριμένες τιμές των παραμέτρων της Εξίσωσης 1.

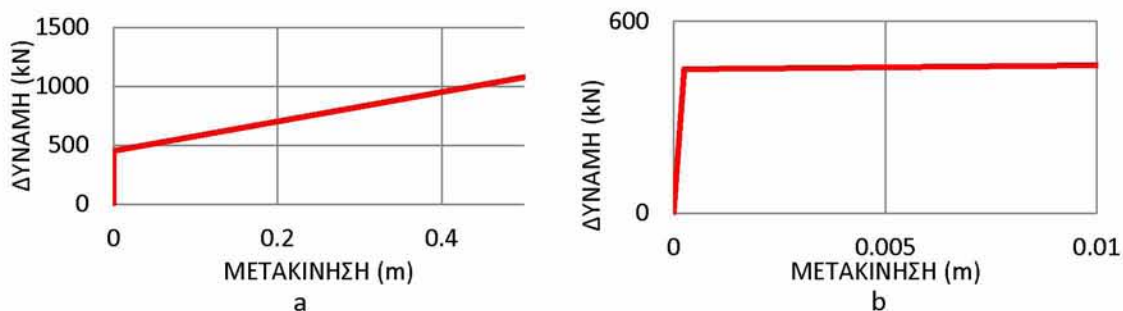
Το Διάγραμμα 2.2.2 παρουσιάζει τη σχέση δύναμης μετατόπισης του εφεδράνου η οποία περιγράφεται από τον παρακάτω εξίσωση:

$$F = \frac{N}{R}u + N * \mu * sgn(\dot{u}) \quad (2)$$

Όπου “ N ” η κατακόρυφη δύναμη που φθάνει στο εφέδρανο, “ u ” η σχετική μετακίνηση του επάνω τμήματος του εφεδράνου ως προς το κάτω τμήμα, και R είναι η ακτίνα της σφαιρικής επιφάνειας ολίσθησης. Το πρώτο μέρος της σχέσης είναι η δύναμη επαφοράς του εφεδράνου, ενώ το δεύτερο είναι η δύναμη της τριβής η οποία και καθορίζει την δυνατότητα απόσβεσης ενέργειας του εφεδράνου. Τα Διαγράμματα 2.2.2a και 2.2.2b παρουσιάζουν την απόκριση εφεδράνου, για σχετική μετατόπιση εφεδράνου 0.5 m και 0.01 m αντίστοιχα, με τα εξής χαρακτηριστικά:

- ακτίνα καμπυλότητας $R = 6$ m,
- συντελεστής τριβής για μικρές ταχύτητες ολίσθησης $f_{min} = 0.02$,
- συντελεστής τριβής για μεγάλες ταχύτητες ολίσθησης $f_{max} = 0.06$,
- συντελεστής $\alpha = 10$ sec/m,
- κάθετη δύναμη $N = 7500$ kN.

Η ελαστική κλίση που φαίνεται στο Διάγραμμα 2.2.2b προέρχεται από τη διατμητική παραμόρφωση της στρώσης του Teflon[®] η οποία είναι της τάξης των 0.25 mm.



Διάγραμμα 2.2.2a, b. Σχέση Δύναμης – Μετατόπισης εφεδράνου τριβής σε σφαιρική επιφάνεια

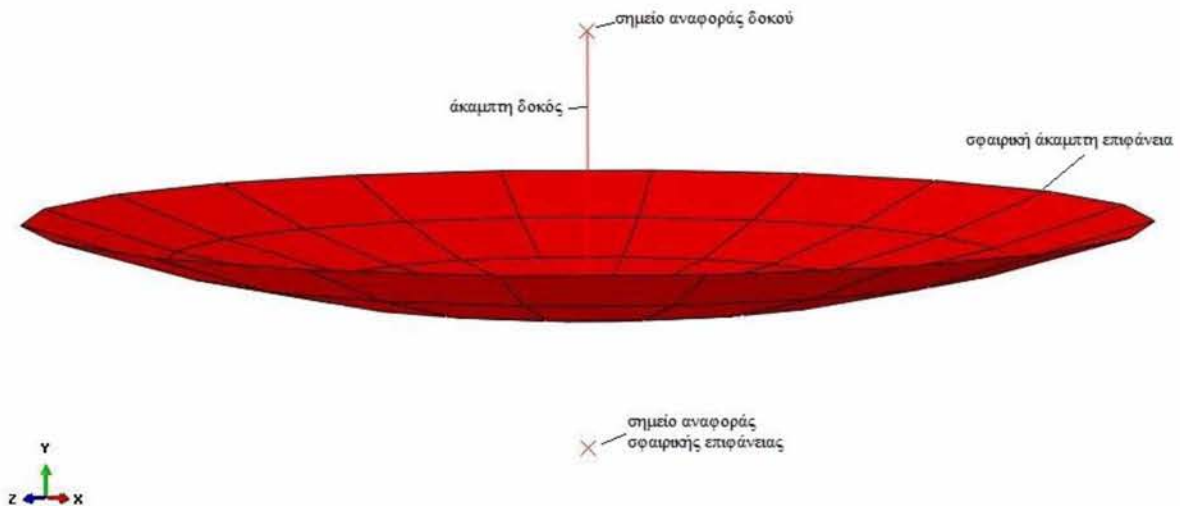
2.3 Μοντέλο Εφεδράνου Τριβής σε Σφαιρική Επιφάνεια.

Το λογισμικό ABAQUS το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία δεν διαθέτει μοντέλο για το συγκεκριμένο εφέδρανο. Το ασυνήθιστο της ολίσθησης σε σφαιρική επιφάνεια μαζί με την πολυπλοκότητα του νόμου τριβής της διεπιφάνειας του εφεδράνου (ο συντελεστής τριβής είναι συνάρτηση της ταχύτητας ολίσθησης στην διεπιφάνεια) έκαναν απαραίτητη την κατασκευή λεπτομερούς γεωμετρικού μοντέλου του εφεδράνου όπως και προγραμματισμού του καταστατικού νόμου της τριβής στο λογισμικό ABAQUS. Το μοντέλο αυτό θα πρέπει να προσομοιώνει με ακρίβεια την συμπεριφορά των εφεδράνων αυτών αλλά και να μην επιβαρύνει υπολογιστικά την ανάλυση περίπλοκων μοντέλων κατασκευών που θα ενσωματώνουν το μοντέλο του εφεδράνου.

Η Εικόνα 2.3.1 παρουσιάζει το μοντέλο του εφεδράνου τριβής σε σφαιρική επιφάνεια όπως κατασκευάστηκε στο ABAQUS. Το μοντέλο απαρτίζεται από 4 τμήματα:

- α) μια άκαμπτη σφαιρική επιφάνεια (analytical rigid surface),
- β) ένα άκαμπτο στοιχείο δοκού (rigid beam), και
- γ και δ) 2 σημεία αναφοράς (reference points).

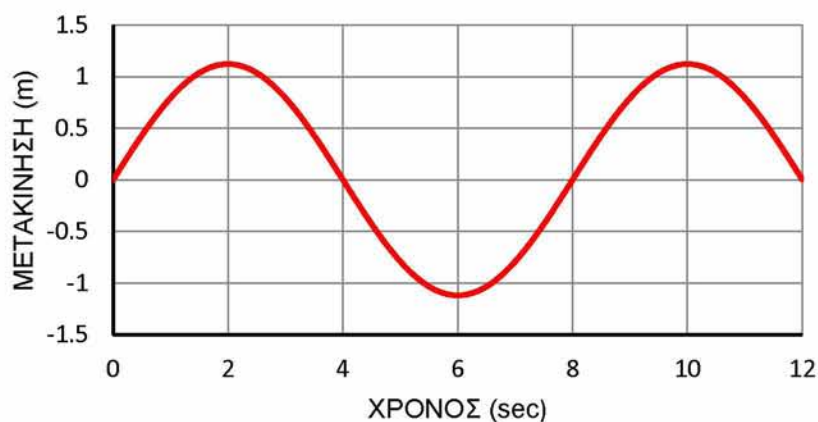
Το κάθε ένα σημείο αναφοράς ορίζει τις μετακινήσεις των 2 στερεών σωμάτων. Στο σημείο αναφοράς του στοιχείου δοκού δεσμεύθηκαν οι στροφές ως προς και τους 3 άξονες με σκοπό το στοιχείο δοκού και κατ' επέκταση το φορτίο που μεταφέρεται από αυτό στην σφαιρική επιφάνεια να παραμένει κάθετο στο επίπεδο «xz» όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.3.1. Μεταξύ της σφαιρικής επιφάνειας και του ενός εκ των δύο (2) κόμβων του στοιχείου δοκού ορίστηκε η επαφή των δύο (2) τμημάτων (node-to-surface contact), για την οποία ο συντελεστής τριβής υπολογίζεται με την χρήση της υπορουτίνας FRIC_COEF, στην οποία έχει οριστεί η καταστατική σχέση της τριβής στην διεπιφάνεια (Εξίσωση 1) που παρουσιάστηκε στο υποκεφάλαιο 2.2.



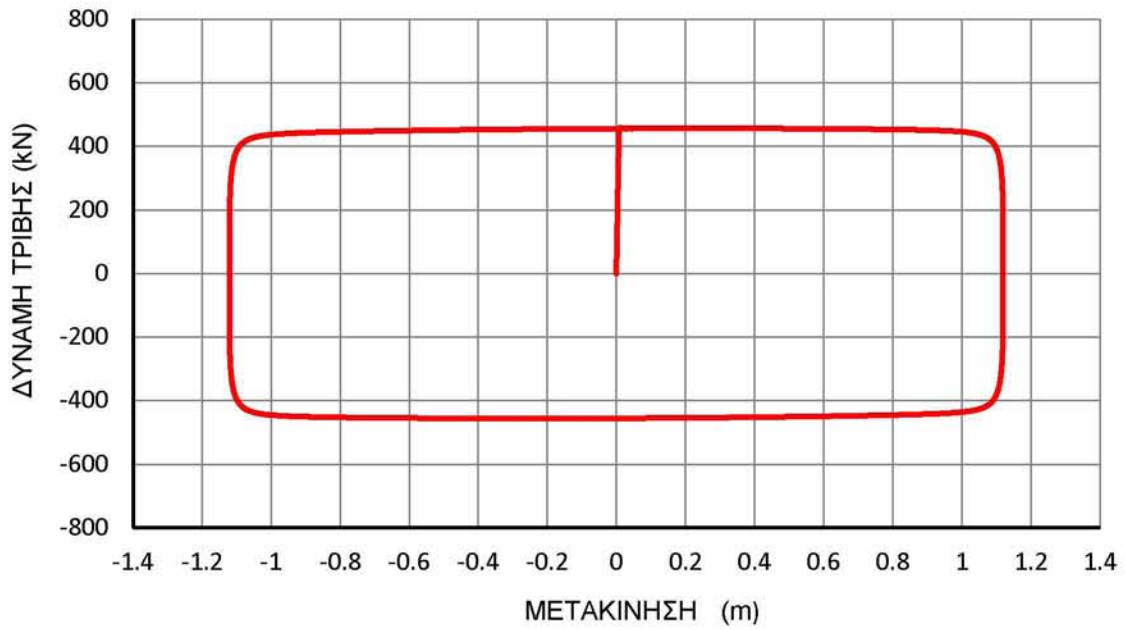
Εικόνα 2.3.1. Μοντέλο Εφεδράνου Τριβής σε σφαιρική επιφάνεια

Η συμπεριφορά του μοντέλου του εφεδράνου τριβής σε σφαιρική επιφάνεια υπολογίστηκε για αρμονική διέγερση (Διάγραμμα 2.3.1) (σχετική μετακίνηση του στοιχείου δοκού ως προς την σφαιρική επιφάνεια). Η απόκριση του εφεδράνου παρουσιάζεται στα Διαγράμματα 2.3.2 & 2.3.3. Στην συγκεκριμένη ανάλυση τα χαρακτηριστικά του εφεδράνου ήταν τα ακόλουθα:

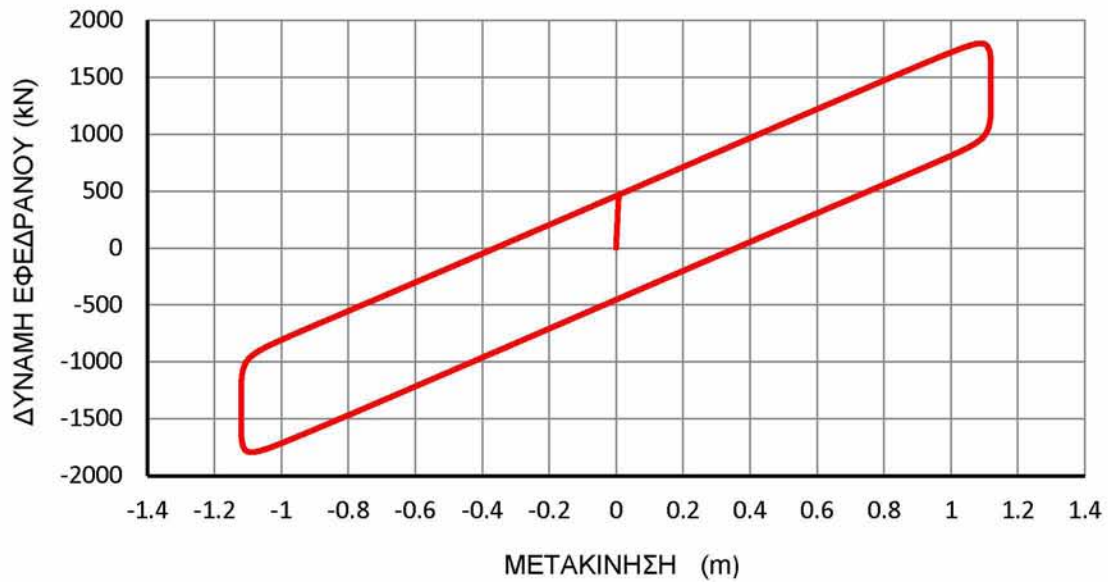
- ακτίνα καμπυλότητας $R = 6 \text{ m}$,
- συντελεστής τριβής για μικρές ταχύτητες ολίσθησης $f_{\min} = 0.02$,
- συντελεστής τριβής για μεγάλες ταχύτητες ολίσθησης $f_{\max} = 0.06$,
- συντελεστής $\alpha = 10 \text{ sec/m}$,
- ελαστική ολίσθηση (διατμητική παραμόρφωση Teflon[®]) 0.00025 m
- κάθετη δύναμη $N = 7500 \text{ kN}$.



Διάγραμμα 2.3.1. Αρμονική διέγερση (μετακίνηση) του στοιχείου δοκού



Διάγραμμα 2.3.2. Δύναμη τριβής σε ημιτονοειδή μετακίνηση του στοιχείου δοκού



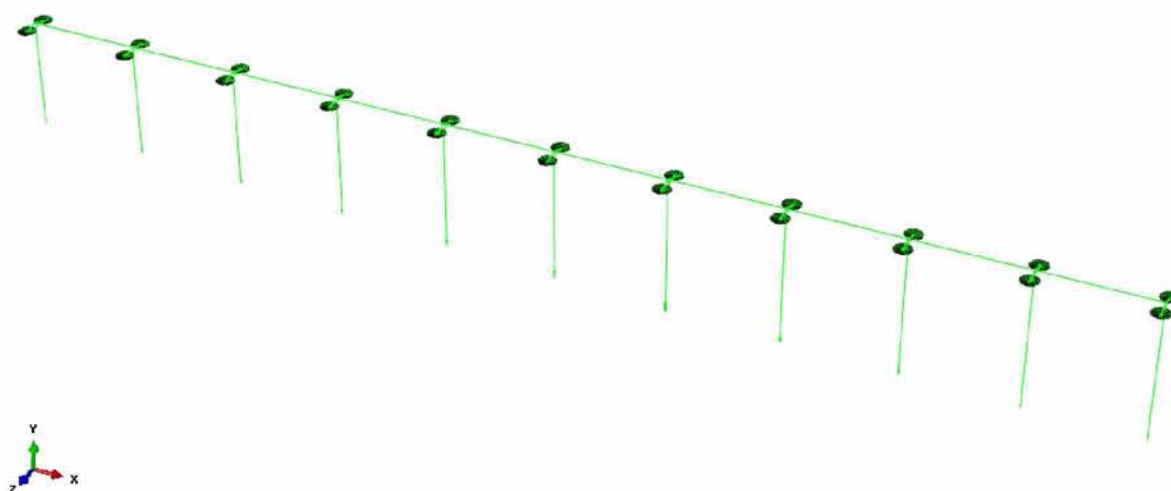
Διάγραμμα 2.3.3. Απόκριση Εφεδράνου σε ημιτονοειδή μετακίνηση του στοιχείου δοκού

Κεφάλαιο 3

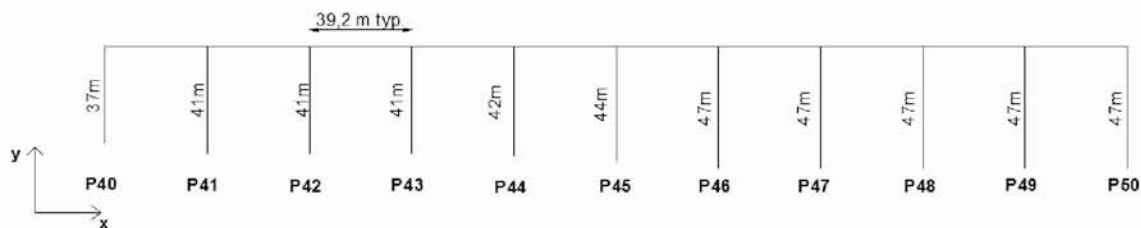
Μοντέλα γεφυρών με χρήση πεπερασμένων στοιχείων

3.1 Γέφυρα 10 ανοιγμάτων

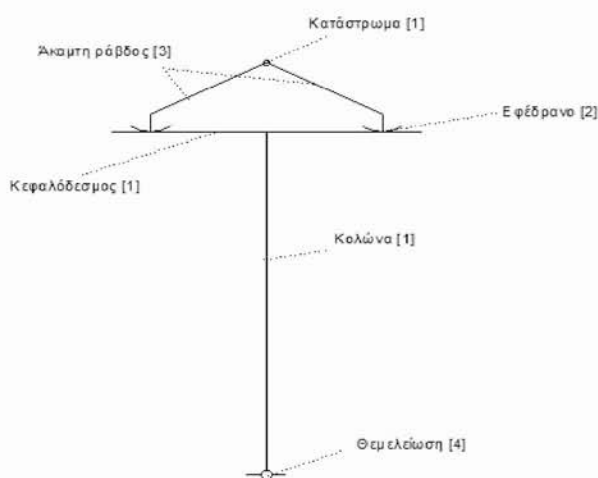
Στην Εικόνα 3.1.1. παρουσιάζεται το μοντέλο γέφυρας το οποίο προσομοιώνει ένα τμήμα δέκα (10) ανοιγμάτων της γέφυρας Bolu μεταξύ των βάθρων P40 – P50. Το μοντέλο της γέφυρας κατασκευάστηκε στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ABAQUS/Standard. Η γέφυρα προσομοιώθηκε με τρισδιάστατα στοιχεία δοκού καθώς και στοιχεία στερεών σωμάτων, τα μηχανικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οποίων δίνονται στον Πίνακα 3.1.1. Ο διαμήκης άξονας της γέφυρας ταυτίζεται με τον άξονα «x» και ο κατακόρυφος άξονας με τον άξονα «y» όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.1.1. Το μοντέλο ενός τυπικού υποστρώματος της γέφυρας παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.1.1 και είναι παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιήθηκε από τους Roussis et al (2003). Το ίδιο βάρος της κατασκευής προσομοιώθηκε με συγκεντρωμένα φορτία 3500 kN και 7500 kN τα οποία ασκήθηκαν στην κορυφή των ακραίων και ενδιάμεσων εφεδράνων αντίστοιχα. Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει την δυνατότητα να αποκριθεί και σε κατακόρυφη διέγερση λόγω της χρήσης του μοντέλου εφεδράνου τριβής σε σφαιρική επιφάνεια το οποίο παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 2.



Εικόνα 3.1.1. Τυπική εικόνα μοντέλου



Εικόνα 3.1.2. Σχηματική απεικόνιση της γέφυρας της Bolu



- [1]: Ελαστικό στοιχείο δοκού
- [2]: Εφέδρανο τριβής σε σφαιρική επιφάνεια
- [3]: Στοιχείο στερεού σώματος
- [4]: Ελαστικό ελατήριο

Σχήμα 3.1.1. Σχηματική απεικόνιση μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων ενός τυπικού υποστυλώματος.

Πίνακας 3.1.1. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και Ιδιότητες υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο της γέφυρας Bolu. Οι Ροπές Αδράνειας αναφέρονται στο καθολικό σύστημα αναφοράς του μοντέλου.

| | Βάθρα | Ακραία Βάθρα | Κεφαλή Βάθρων | Κατάστρωμα |
|---------------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| E (N/m²) | 23.6 10 ⁹ | 11.8 10 ⁹ | 23.6 10 ⁹ | 31.2 10 ⁹ |
| G (N/m²) | 10.08 10 ⁹ | 5.04 10 ⁹ | 10.08 10 ⁹ | 13.33 10 ⁹ |
| A (m²) | 14.3 | 14.3 | 100 | 12.88 |
| I_{xx} (m⁴) | 106.3 | 106.3 | 1000 | 2.33 |
| I_{yy} (m⁴) | 88.5 | 88.5 | 1000 | 328 |
| I_{zz} (m⁴) | 38.3 | 38.3 | 1000 | 0.581 |

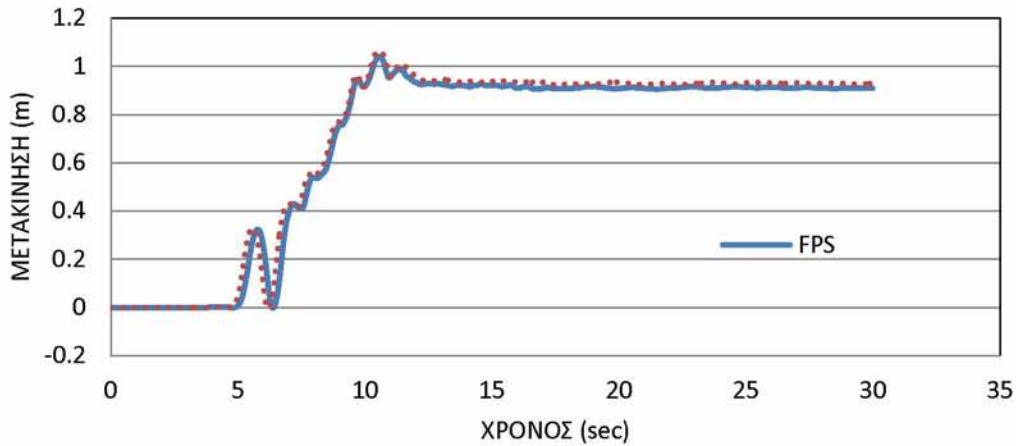
Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των κεφαλών των υποστυλωμάτων επιλέχθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε τα στοιχεία αυτά να συμπεριφερθούν ως στερεά σώματα. Το σύστημα θεμελίωσης προσομοιώθηκε με ελαστικά ελατήρια οι ιδιότητες των οποίων δίνονται στον Πίνακα 3.1.2.

Πίνακας 3.1.2. Ελαστικές σταθερές των ελατηρίων του συστήματος θεμελίωσης. (Roussis et al 2003)

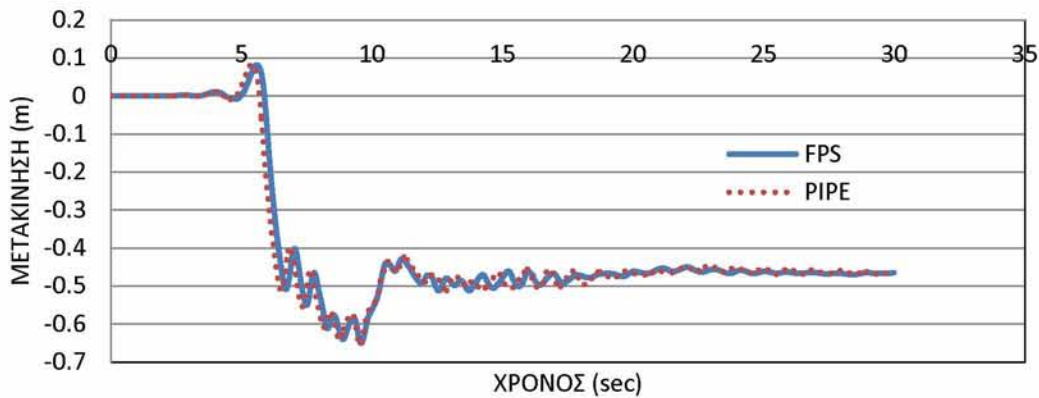
| | P40 | P41 | P42 | P43 | P44 | P45 | P46 | P47 | P48 | P49 | P50 |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Kx (GN/m) | 1.4 | 2.8 | 2.8 | 3.9 | 3.9 | 3.9 | 3.9 | 3.5 | 3.1 | 2.6 | 1.1 |
| Kz (GN/m) | 1.4 | 2.8 | 2.8 | 3.9 | 3.9 | 3.9 | 3.9 | 3.5 | 3.1 | 2.6 | 1.1 |
| Rx (GNm) | 170 | 340 | 340 | 380 | 380 | 380 | 380 | 350 | 320 | 290 | 130 |
| Rz (GNm) | 170 | 340 | 340 | 380 | 380 | 380 | 380 | 350 | 320 | 290 | 130 |

Οι Roussis et al (2003) χρησιμοποίησαν ένα στοιχείου σωλήνα (Pipe element) το οποίο συμπεριφερόταν ελαστοπλαστικά για να προσομοιώσουν την συμπεριφορά του αρχικού συστήματος σεισμικής μόνωσης πριν τον σεισμό (low friction slider and moon shaped steel yielding devices). Το ίδιο μοντέλο (στοιχείο σωλήνα) χρησιμοποιήθηκε και από τους Ucak et al. (2013) για να προσομοιώσουν τα εφεδράνα τριβής σε σφαιρική επιφάνεια τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην επέμβαση αποκατάστασης των ζημιών του φορέα της γέφυρας και του συστήματος σεισμικής μόνωσης μετά τον σεισμό του Douzce 1999. Το όριο διαρροής καθώς και οι δυσκαμψίες πριν και μετά από αυτό επιλέχθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε η συμπεριφορά του στοιχείου να είναι πολύ κοντά στην συμπεριφορά του εφεδράνου τριβής. Το μοντέλο αυτό αδυνατούσε να περιγράψει την επιρροή της ταχύτητας ολίσθησης στον συντελεστή τριβής καθώς και την μεταβολή της δυσκαμψίας του εφεδράνου λόγω μεταβολής του κατακόρυφου φορτίου που έφθανε σε αυτό (λόγω οριζόντιων φορτίων αδράνειας). Γι' αυτόν το λόγο αναπτύχθηκε το μοντέλο εφεδράνου τριβής σε σφαιρική επιφάνεια (FPS) στο λογισμικό Abaqus (βλέπε Κεφάλαιο 2). Στα Διαγράμματα 3.1.1 έως και 3.1.4 φαίνεται η σύγκριση των δυο μεθόδων προσομοίωσης για απόκριση εφεδράνων και ολικές μετατοπίσεις κόμβων, για την περίπτωση της ύπαρξης ρήγματος στην Bolu Viaduct μεταξύ των υποστυλωμάτων P46–P47 και σε γωνία 25° σε σχέση με τον άξονα της γέφυρας.

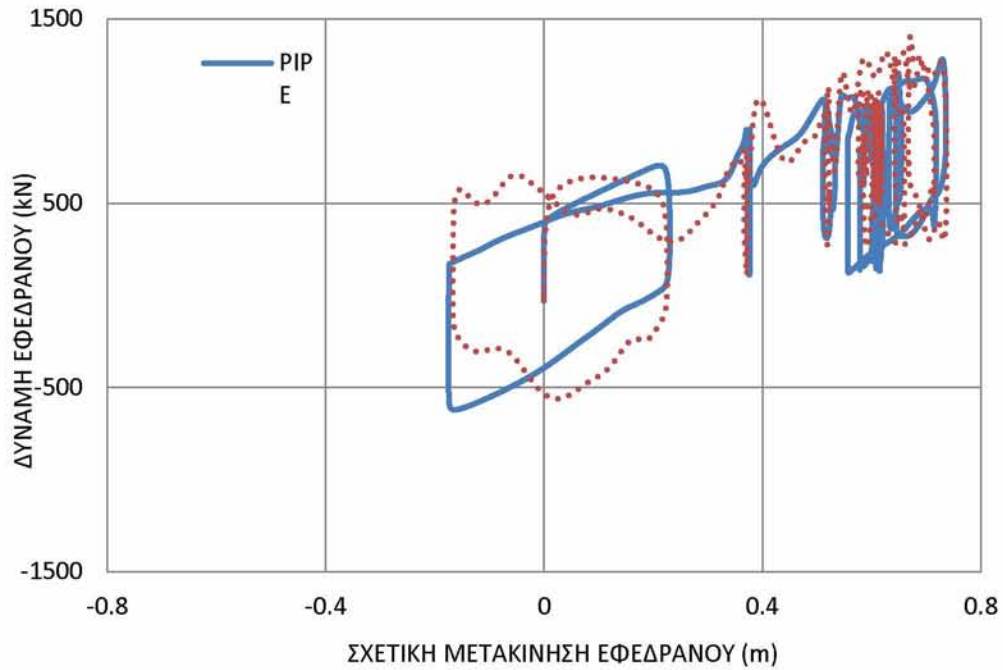
Όπως φαίνεται στα Διαγράμματα 3.1.1 και 3.1.2 οι μετακινήσεις των κεφαλών των υποστυλωμάτων και για τους δύο (2) τρόπους προσομοίωσης του συστήματος σεισμικής μόνωσης είναι πολύ κοντά. Στα Διαγράμματα 3.1.3 και 3.1.4 παρουσιάζονται διαφορές στη δύναμη του εφεδράνου πράγμα που οφείλεται στο γεγονός ότι το στοιχείο σωλήνα (Pipe) δεν λαμβάνει υπόψη την μεταβολή του συντελεστή τριβής καθώς και την μεταβολή του κάθετου φορτίου που φθάνει στο εφέδρανο.



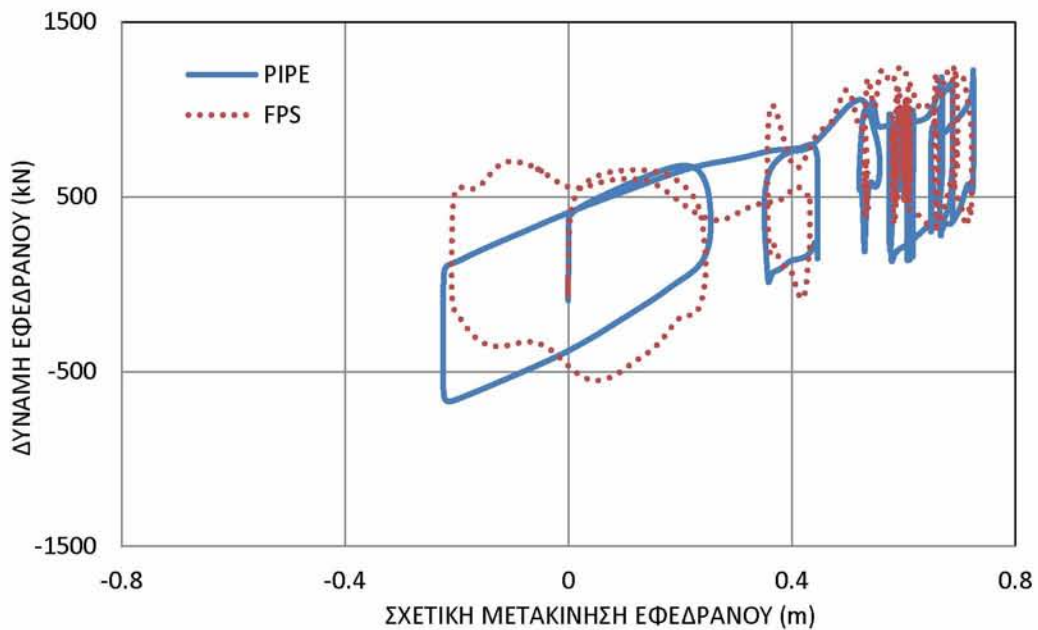
Διάγραμμα 3.1.1. Ολική μετατόπιση κόμβου της κεφαλής του υποστυλώματος P41 στη διεύθυνση z για τις 2 περιπτώσεις, στοιχείου σωλήνα (Pipe) και προσομοίωση εφεδράνου τριβής (FPS)



Διάγραμμα 3.1.2. Ολική μετατόπιση κόμβου της κεφαλής του υποστυλώματος P41 στη διεύθυνση x για τις 2 περιπτώσεις, στοιχείου σωλήνα (Pipe) και προσομοίωση εφεδράνου τριβής (FPS).



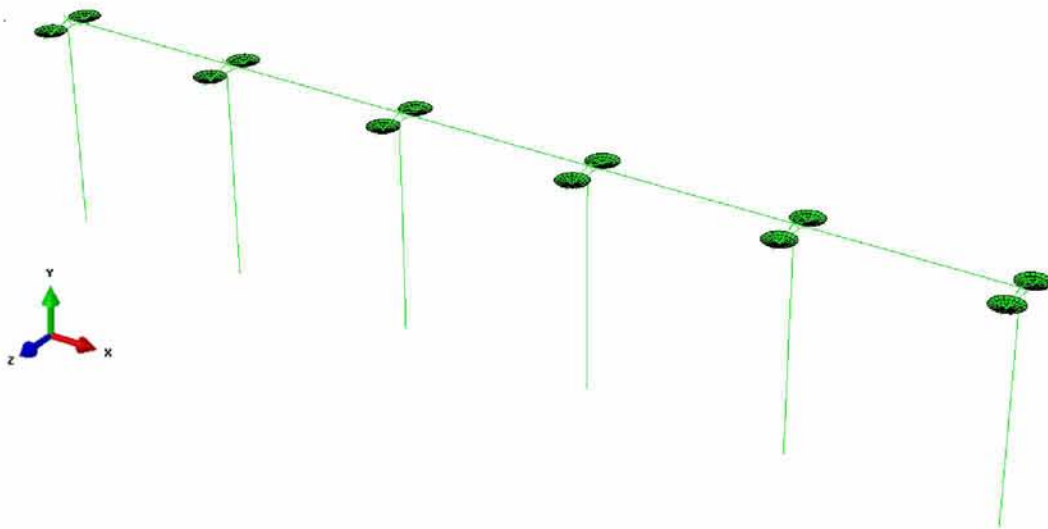
Διάγραμμα 3.1.3. Απόκριση εφεδράνου του υποστυλώματος P41 στη διεύθυνση z για τις 2 περιπτώσεις, στοιχείου σωλήνα (Pipe) και προσομοίωση εφεδράνου τριβής (FPS)



Διάγραμμα 3.1.4. Απόκριση εφεδράνου του υποστυλώματος P46 στη διεύθυνση z για τις 2 περιπτώσεις, στοιχείου σωλήνα (Pipe) και προσομοίωση εφεδράνου τριβής (FPS).

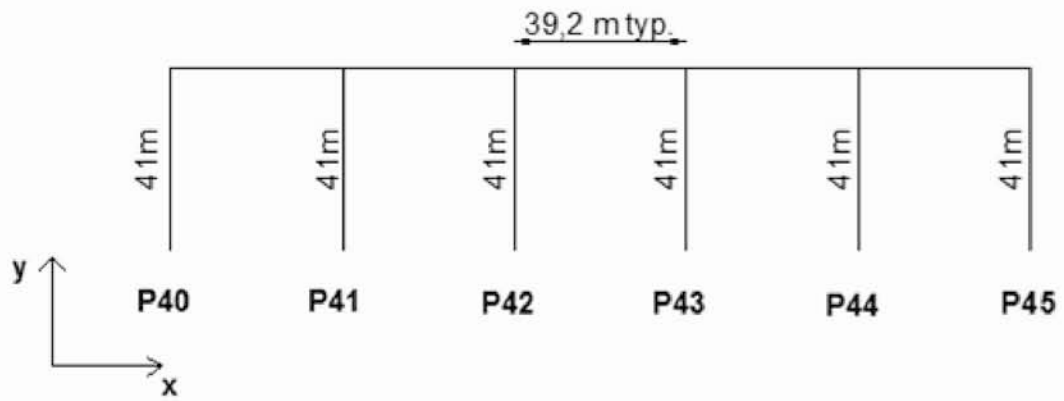
3.2 Συμμετρική γέφυρα 5 ανοιγμάτων

Το μοντέλο αυτό επιλέχθηκε με σκοπό την απαλοιφή ασυμμετριών που σχετίζονται με γεωμετρικές διαφορές των βάθρων και της θεμελίωσης, οι οποίες υπάρχουν στο προηγούμενο μοντέλο των 10 ανοιγμάτων το οποίο είναι μοντέλο πραγματικής κατασκευής. Στο μοντέλο αυτό (των 5 ανοιγμάτων) μπορεί να φανεί η επιρροή της θέσης και της γωνίας του ρήγματος, σε σχέση με τον άξονα της γέφυρας, στη δυναμική συμπεριφορά της γέφυρας απαλλαγμένη από ασυμμετρίες, όπως διαφορές στο ύψος των βάθρων (στη δυσκαμψία τους), όπως και από την επιρροή της αλληλεπίδρασης εδάφους κατασκευής.



Εικόνα 3.2.1. Τυπική εικόνα μοντέλου συμμετρικής γέφυρας 5 ανοιγμάτων.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του καταστρώματος, των διατομών των βάθρων και οι ιδιότητες των υλικών των στοιχείων του συγκεκριμένου μοντέλου ταυτίζονται με αυτά του μοντέλου της γέφυρας δέκα (10) ανοιγμάτων που περιγράφηκε πριν. Σε αυτήν την περίπτωση αγνοήθηκε η αλληλεπίδραση εδάφους κατασκευής γι' αυτό και οι βάσεις των βάθρων θεωρήθηκαν πακτωμένες. Επίσης το ύψος όλων των υποστλωμάτων διατηρήθηκε ίδιο και ίσο με 41 m.



Εικόνα 3.2.2. Σχηματική απεικόνιση συμμετρικής γέφυρας 5 ανοιγμάτων.

Κεφάλαιο 4

Προσομοίωση κίνησης εδάφους στην Bolu Viaduct

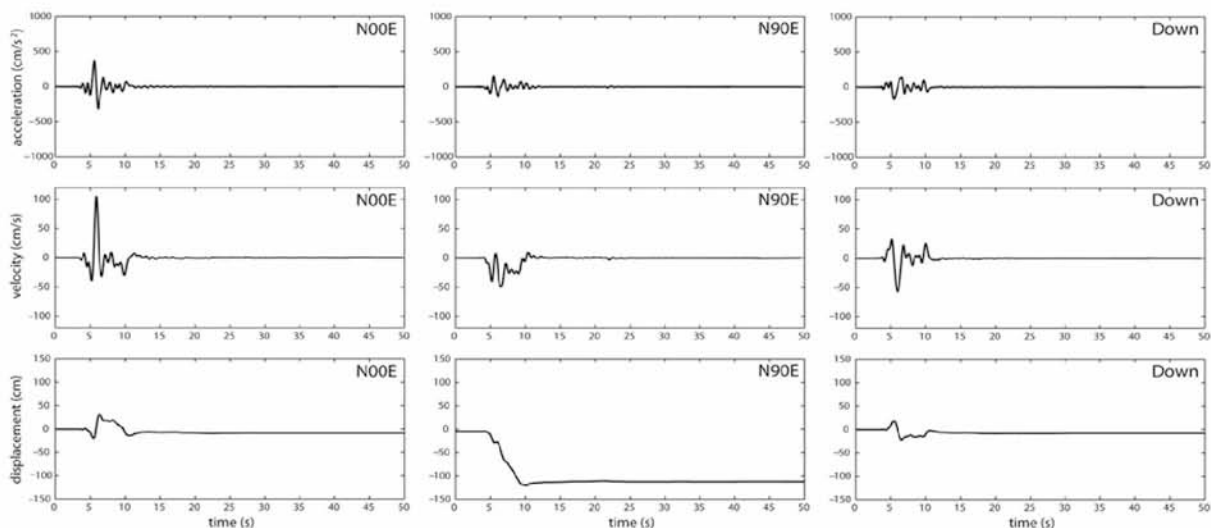
4.1 Εισαγωγή

Οι σεισμικές διεγέρσεις του εδάφους στον σεισμό του Duzce, ο οποίος χτύπησε στο βορειοανατολικό τμήμα του ρήγματος της δυτικής Τουρκίας, καταγράφηκε από 3 όργανα (i.e., DZC, BOL, GOL). Κανένα από αυτά όμως δεν βρισκόταν κοντά στην Bolu Viaduct. Οι αποστάσεις των σταθμών DZC, BOL, GOL από την γέφυρα είναι 19, 20 και 40 km αντίστοιχα. Οι χαμηλές συχνότητες της εδαφικής διέγερσης προσομοιώθηκαν με την χρήση της μεθόδου discrete wavenumber representation (Bouchon and Aki 1977; Bouchon 1979), ενώ οι υψηλές συχνότητες προσομοιώθηκαν με το μοντέλο barrier (Parageorgiou and Aki 1983a,b; Parageorgiou 2003). Στην προσομοίωση της εδαφικής διέγερσης χαμηλών συχνοτήτων λήφθηκαν υπόψη η μεταβολή της ολίσθησης, ο χρόνος ανόδου και η ταχύτητα ρήξης στο επίπεδο του ρήγματος τα οποία προήλθαν από αντίστροφη ανάλυση σεισμολογικών και γεωδαιτικών δεδομένων.

4.2 Εδαφική διέγερση χαμηλών συχνοτήτων

Ο υπολογισμός των χαμηλών συχνοτήτων της εδαφικής διέγερσης πραγματοποιήθηκε με την χρήση της μεθόδου discrete wavenumber representation (Bouchon and Aki 1977; Bouchon 1979). Το άνοιγμα του ρήγματος προσομοιώθηκε ως ένα σύνολο εκτεταμένων πηγών εξαρμύσεων με χαρακτηριστικά ρήξης (π.χ. ολίσθηση, χρόνος ανόδου, ταχύτητα ρήξης) τα οποία συμβαδίζουν με το μοντέλο ρήγματος που προτάθηκε από τους Bouin et al. (2004).

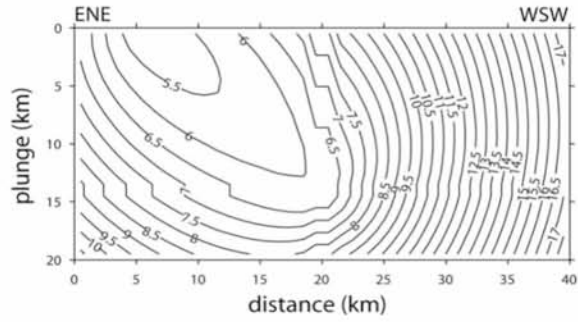
Από τη στιγμή που το εξιδανικευμένο ορθογώνιο ρήγμα που προέκυψε από την αντίστροφη ανάλυση δεν τέμνει την Bolu Viaduct στο επιθυμητό σημείο (μεταξύ των κολονών P45 & P46), η συνθετική εδαφική διέγερση παράχθηκε σε μια αντιπροσωπευτική περιοχή της γέφυρας. Στα Διαγράμματα 4.2.1 απεικονίζονται οι χρονοϊστορίες των χαμηλών συχνοτήτων ($0 < f < 2.5$ Hz) των επιταχύνσεων, των ταχυτήτων και των μετακινήσεων σε ένα χρονικό περιθώριο 50 sec. Η οριζόντια συνιστώσα της διέγερσης είναι προσανατολισμένη κατά μήκος των διευθύνσεων Βορρά – Νότου και Ανατολής – Δύσης



Διάγραμμα 4.2.1. Χαμηλών συχνοτήτων συνιστώσα εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετακίνησης. Mavroeidis (2013)

Η συνιστώσα της εδαφικής διέγερσης κατά μήκος της διεύθυνσης Βορρά – Νότου, η οποία συμπίπτει με την κάθετη στο ρήγμα διεύθυνση, χαρακτηρίζεται από έναν έντονο παλμό με κατευθυντικότητα προς τα εμπρός όπως είναι εμφανές και από τις χρονοϊστορίες της επιτάχυνσης και της ταχύτητας. Το εύρος του παλμού της εδαφικής ταχύτητας είναι περίπου 100 cm/sec. Η συνιστώσα της εδαφική διέγερσης κατά μήκος της διεύθυνσης Ανατολής – Δύσης, η οποία συμπίπτει με την παράλληλη με τον ρήγμα διεύθυνση, είναι επηρεασμένη από την μόνιμη παραμόρφωση του εδάφους όπως φαίνεται και στην χρονοϊστορία της μετακίνησης. Σύμφωνα με τους Akyuz et al. (2002), Pucci et al. (2007) και Guney et al. (2010), το μέγεθος της μόνιμης εδαφικής παραμόρφωσης στην παράλληλη με το ρήγμα διεύθυνση ήταν της τάξης των 1.5 – 2.0 m στην περιοχή της γέφυρας, πράγμα που συνεπάγεται στατική μετακίνηση της τάξης του 0.75 – 1.0 m με αντίθετες φορές στις αντίθετες πλευρές του ρήγματος. Παρ' όλα αυτά στην παρούσα μελέτη θεωρήθηκε στατική μετακίνηση εδάφους ίση με 1.1 m.

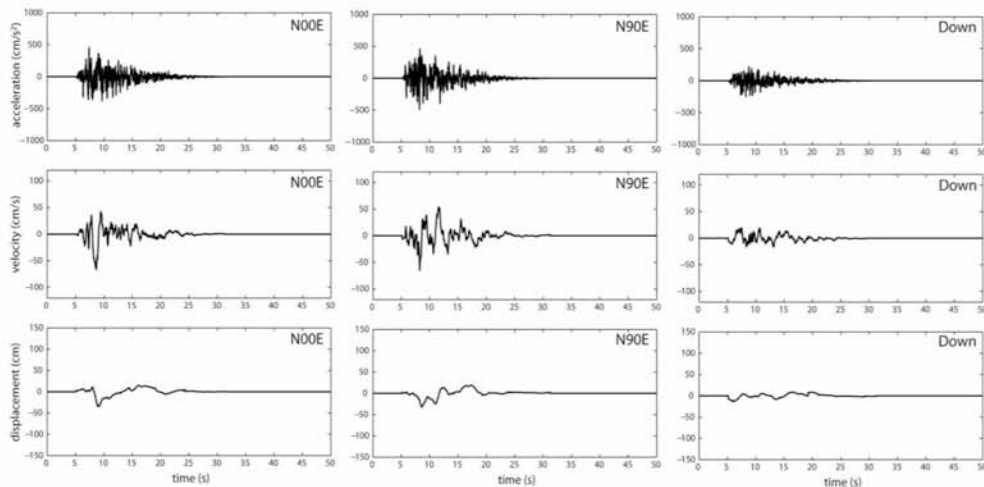
Για την σύνδεση των χαρακτηριστικών του ρήγματος του σεισμού Duzce με τις παραγόμενες εδαφικές διεγέρσεις στην περιοχή της γέφυρας χρησιμοποιήθηκαν οι ισόχρονες καμπύλες (Διάγραμμα 4.2.2) . Οι τελευταίες χρησιμοποιούνται στην σεισμολογία για την πρόβλεψη συντελεστών που επηρεάζουν έντονα την παραγωγή εδαφικών διεγέρσεων. Απεικονίζοντας τις ισόχρονες καμπύλες των S – κυμάτων στο επίπεδο του ρήγματος προκύπτουν άμεσα τα χαρακτηριστικά του ρήγματος τα οποία σχετίζονται με τους παλμούς μεγάλων περιόδων.



Διάγραμμα 4.2.2. Ισόχρονες καμπύλες

4.3 Εδαφική διέγερση υψηλών συχνοτήτων

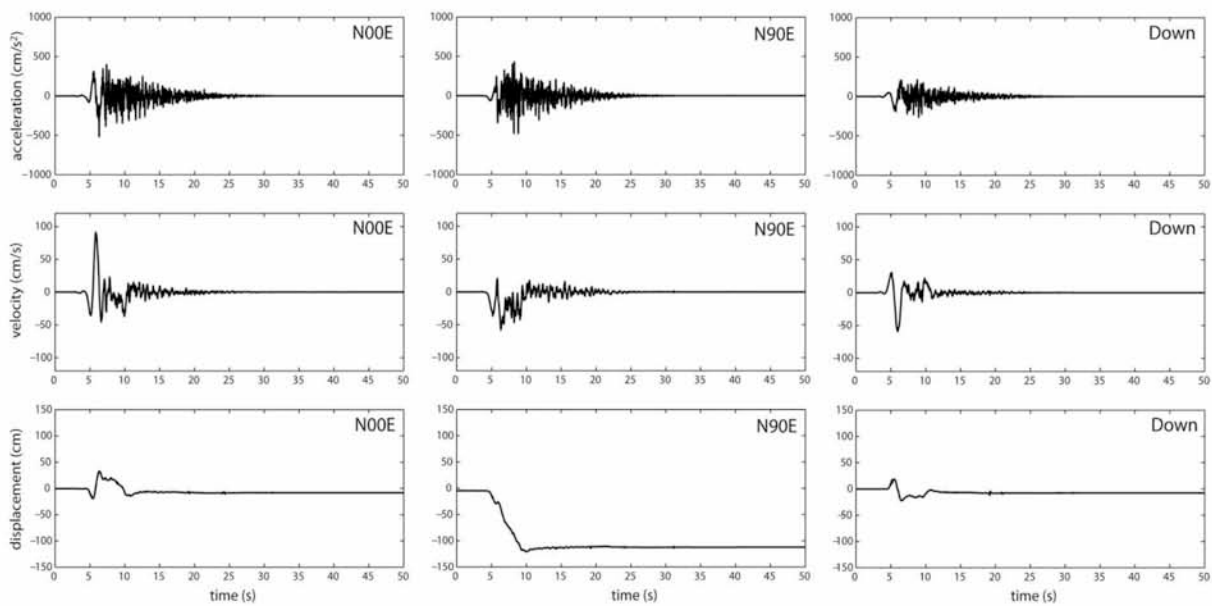
Ο υπολογισμός των εδαφικών διεγέρσεων υψηλών συχνοτήτων πραγματοποιήθηκε με την χρήση του μοντέλου barrier (Papageorgiou and Aki 1983a,b; Papageorgiou 2003). Το συγκεκριμένο μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για περιπτώσεις όπου υπάρχει ρήγμα κοντά στην κατασκευή είτε όχι, αυτό επιτρέπει την προσομοίωση εδαφικών διεγέρσεων σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων και για όλες τις αποστάσεις που ενδιαφέρουν έναν μηχανικό. Στο μοντέλο αυτό το ρήγμα αναπαρίσταται με μη επικαλυπτόμενους κύκλους ίσης διαμέτρου οι οποίοι καλύπτουν το ορθογώνιο ρήγμα. Η ρήξη των κύκλων αυτών ξεκινάει από το κέντρο τους και εκτείνεται ακτινικά με σταθερή ταχύτητα. Το μοντέλο αυτό έχει προσαρμοστεί για σεισμούς μικρού βάθους σε 3 διαφορετικές τεκτονικές περιοχές: interpolate, intraplate και extensional regimes (Halldorsson and Papageorgiou 2005).



Διάγραμμα 4.3.1. Υψηλών συχνοτήτων συνιστώσα εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετακίνησης. Mavroeidis (2013)

4.4 Ευρυζωνική εδαφική διέγερση

Στο Διάγραμμα 4.4.1 παρουσιάζονται οι ευρυζωνικές διεγέρσεις (επιτάχυνση, ταχύτητα, μετακίνηση) οι οποίες προέκυψαν από συνδυασμό των διεγέρσεων χαμηλών και υψηλών συχνοτήτων. Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι εδαφικές διεγέρσεις έχουν παραχθεί σε μια αντιπροσωπευτική περιοχή της γέφυρας, νότια της τομής του άνω άκρου του επιπέδου του ρήγματος με την γέφυρα. Επειδή το ρήγμα τέμνει τη γέφυρα σε γωνία 25° , είναι απαραίτητη η παραγωγή συνθετικών εδαφικών διεγέρσεων και για την αντίθετη πλευρά του ρήγματος. Θεωρήθηκε ότι η κάθετη στο ρήγμα διέγερση (normal) είναι ίδια και στις 2 πλευρές του ρήγματος ενώ η παράλληλη (parallel) στο ρήγμα διέγερση είναι ίση και αντίθετη στις 2 πλευρές του ρήγματος. Η θεώρηση αυτή είναι ρεαλιστική όταν το ρήγμα είναι κατακόρυφο (dip angle = 90°), η ολίσθηση πάνω στο ρήγμα είναι παράλληλη με το ίχνος του ρήγματος και το ρήγμα τέμνει την ελεύθερη επιφάνεια.

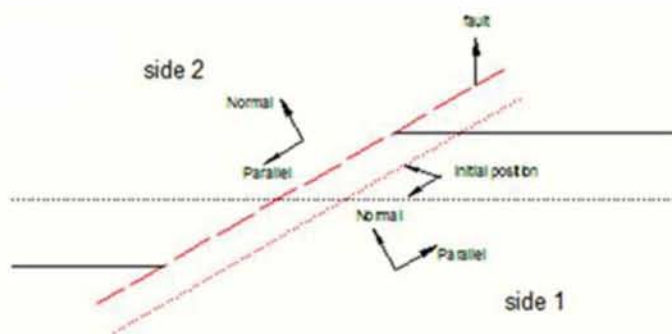


Διάγραμμα 4.4.1. Ευρυζωνική εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα και μετακίνηση. Mavroeidis (2013)

Κεφάλαιο 5

Φορτίσεις Γέφυρας λόγω Ολίσθησης Διατρέχοντος Ρήγματος

Το Σχήμα 5.1 παρουσιάζει την γεωμετρία ενός ρήγματος (κόκκινη διακεκομμένη γραμμή) το οποίο διατρέχει μια γέφυρα (μαύρη διακεκομμένη γραμμή). Το ρήγμα χωρίζει το έδαφος σε δύο μέρη (side 1 και side 2) τα οποία α) ολισθαίνουν το ένα ως προς το άλλο όταν το ρήγμα ενεργοποιηθεί αλλά και β) μετακινούνται σύγχρονα (in unison) στην διεύθυνση κάθετα στο ρήγμα. Η γεωμετρία και η θέση του ρήγματος και της γέφυρας καθώς και ο τρόπος κίνησης του εδάφους έχουν σαν αποτέλεσμα 4 περιπτώσεις φόρτισης της γέφυρας όπως παρουσιάζονται στο Σχημα 5.2.



Σχήμα 5.1. Οι 4 δυνατές περιπτώσεις φόρτισης της γέφυρας για την ίδια τετράδα εδαφικών διεγέρσεων

Για την δυναμική ανάλυση μίας σεισμικά μονωμένης γέφυρας η οποία διατρέχεται από ένα ρήγμα δίνεται ένα ζεύγος επιταχυνσιογράμμων (βλεπε Κεφάλαιο 4). Ένα επιταχυνσιογράμμα στη διεύθυνση του ρήγματος (parallel) και ένα δεύτερο υπό γωνία 90° (normal). Θεωρούμε ότι και τα δύο μέρη του εδάφους στη διεύθυνση κάθετα στο ρήγμα κινούνται μαζί (δεν υπάρχει αποκόλληση στην διεπιφάνεια του ρήγματος) ενώ τα δύο μέρη στη διεύθυνση του ρήγματος κινούνται αντίφορα με το ίδιο όμως μέτρο (το μέτρο του επιταχυνσιογράμματος). Από τα δύο αυτά επιταχυνσιογράμματα προκύπτουν οι τέσσερις (4) πιθανές περιπτώσεις φόρτισης της γέφυρας σε περίπτωση που το ρήγμα τέμνει τον άξονα της γέφυρας. Σε αυτές τις περιπτώσεις το μέτρο των διανυσμάτων (Normal και Parallel) παραμένει σταθερό αλλά η διεύθυνση τους αλλάζει. Οι κινήσεις (FP' , FN'), για κάθε περίπτωση (Case #1, #2, #3, #4) προκύπτουν από το γινόμενο ενός διαγώνιου πίνακα, του

οποίου τα στοιχεία είναι 1 ή -1, με το διάνυσμα της κάθετης και παράλληλης διέγερσης στην διεύθυνση του ρήγματος (FP , FN).

$$Case\ 1 \rightarrow \begin{bmatrix} FP' \\ FN' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FP \\ FN \end{bmatrix}$$

$$Case\ 2 \rightarrow \begin{bmatrix} FP' \\ FN' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FP \\ FN \end{bmatrix}$$

$$Case\ 3 \rightarrow \begin{bmatrix} FP' \\ FN' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FP \\ FN \end{bmatrix}$$

$$Case\ 4 \rightarrow \begin{bmatrix} FP' \\ FN' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FP \\ FN \end{bmatrix}$$

Η κάθετη και η διαμήκης, στον άξονα της γέφυρας, διέγερση ($Tran$, $Long$) προκύπτουν από την χρήση του μητρώου περιστροφής διανυσμάτων όπως φαίνεται και από την εξίσωση 5.1.1.

$$\begin{bmatrix} Tran \\ Long \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FP' \\ FN' \end{bmatrix} \quad (5.1.1)$$

Όπου « θ » η συμπληρωματική γωνία του ρήγματος σε σχέση με τον άξονα της γέφυρας, το διάνυσμα $\begin{bmatrix} FP' \\ FN' \end{bmatrix}$ αλλάζει στην κάθε περίπτωση κίνησης.

Από τις παραπάνω εξισώσεις μπορούμε να κατανοήσουμε ότι η περίπτωση φόρτισης #1 είναι ακριβώς η αντίθετη από την περίπτωση #4 και η περίπτωση φόρτισης #2 η αντίθετη της #3. Οπότε αναμένουμε το εύρος των μετακινήσεων της γέφυρας να είναι σχεδόν το ίδιο μεταξύ των περιπτώσεων 1 και 4 και μεταξύ των περιπτώσεων 2 και 3.

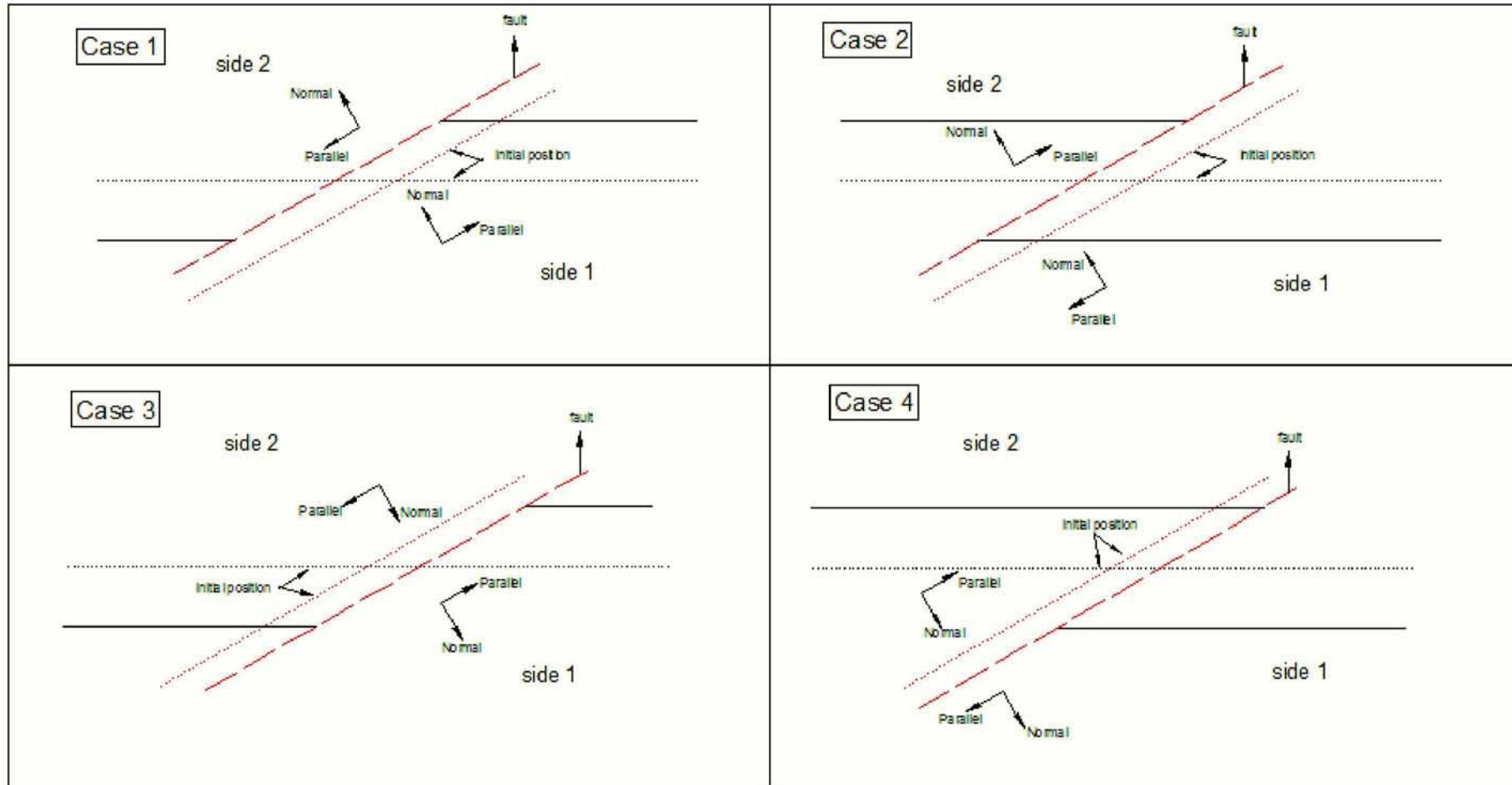
Για την περίπτωση 1:

$$\begin{bmatrix} Tran_{case1} \\ Long_{case1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & -\cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FP \\ FN \end{bmatrix} \quad (5.1.2)$$

Για την περίπτωση 3:

$$\begin{bmatrix} Tran_{case3} \\ Long_{case3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos \theta & \sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FP \\ FN \end{bmatrix} \quad (5.1.3)$$

Από τις εξισώσεις 2 & 3 μπορούμε να συμπεράνουμε ότι $\begin{bmatrix} |Tran_{case1}| \\ |Long_{case1}| \end{bmatrix} \neq \begin{bmatrix} |Tran_{case3}| \\ |Long_{case3}| \end{bmatrix}$



Σχήμα 5.2. Οι 4 δυνατές περιπτώσεις φόρτισης της γέφυρας για την ίδια τετράδα εδαφικών διεγέρσεων

Στους Πίνακες 5.1.1 έως 5.1.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις 4 περιπτώσεις στην γέφυρα 5 ανοιγμάτων (βλέπε Εικόνα 3.2.2.) για θέση του ρήγματος μεταξύ των βάθρων P42-P43 και γωνία 30° μοιρών. Στα αποτελέσματα είναι εμφανές ότι μεταξύ των περιπτώσεων 1 και 4 καθώς και μεταξύ των περιπτώσεων 2 και 3 τα μέτρα των μετακινήσεων είναι ίσα. Σημειώνεται ότι η μέγιστη μετακίνηση των εφεδράνων καθώς και η σχετική μετακίνηση των βάθρων αντιπροσωπεύουν το μέτρο των διανυσμάτων των πραγματικών μετακινήσεων ενώ τα υπόλοιπα μεγέθη που παρασιάζονται αποτελούν τις προβολές των πραγματικών μετακινήσεων στους άξονες «x» & «z».

Πίνακας 5.1.1. Περίπτωση #1. Γέφυρα 5 ανοιγμάτων, ρήγμα μεταξύ P42-P43, $\theta=30^\circ$.

| Fault crossing angle 30° between P42-P43 | | | | | | | | |
|---|--------------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| CASE 1 | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.992 | 0.154 | 0.977 | 0.151 | -0.457 | 0.532 | -0.326 | 0.607 |
| P41 | 0.964 | 0.157 | 0.665 | 0.146 | -0.458 | 0.532 | -0.326 | 0.595 |
| P42 | 1.026 | 0.158 | 0.350 | 0.143 | -0.458 | 0.531 | -0.325 | 0.581 |
| P43 | 0.999 | -0.049 | -0.278 | 0.132 | 1.026 | -0.392 | 0.895 | -0.382 |
| P44 | 0.955 | -0.037 | -0.557 | 0.134 | 1.028 | -0.393 | 0.894 | -0.393 |
| P45 | 1.024 | -0.049 | -0.932 | 0.128 | 1.030 | -0.394 | 0.902 | -0.406 |

Πίνακας 5.1.2. Περίπτωση #2. Γέφυρα 5 ανοιγμάτων, ρήγμα μεταξύ P42-P43, $\theta=30^\circ$.

| Fault crossing angle 30° between P42-P43 | | | | | | | | |
|---|--------------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| CASE 2 | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.955 | -0.057 | -0.943 | 0.137 | 1.031 | -0.396 | 0.894 | -0.410 |
| P41 | 0.883 | -0.045 | -0.568 | 0.136 | 1.028 | -0.394 | 0.892 | -0.394 |
| P42 | 0.936 | 0.145 | 0.029 | 0.134 | 1.025 | -0.391 | 0.892 | -0.378 |
| P43 | 1.087 | 0.148 | 0.354 | 0.136 | -0.458 | 0.531 | -0.329 | 0.577 |
| P44 | 1.030 | 0.146 | 0.669 | 0.140 | -0.458 | 0.531 | -0.330 | 0.590 |
| P45 | 1.080 | 0.038 | 0.885 | 0.132 | -0.454 | 0.531 | -0.332 | 0.580 |

Πίνακας 5.1.3. Περίπτωση #3. Γέφυρα 5 ανοιγμάτων, ρήγμα μεταξύ P42-P43, $\theta=30^\circ$.

| Fault crossing angle 30° between P42-P43 | | | | | | | | |
|---|--------------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| CASE 3 | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.954 | 0.056 | 0.937 | 0.137 | -1.031 | 0.396 | -0.895 | 0.408 |
| P41 | 0.883 | 0.044 | 0.563 | 0.135 | -1.026 | 0.393 | -0.891 | 0.392 |
| P42 | 0.936 | -0.145 | -0.029 | 0.134 | -1.025 | 0.391 | -0.892 | 0.380 |
| P43 | 1.087 | -0.147 | -0.353 | 0.137 | 0.458 | -0.531 | 0.329 | -0.578 |
| P44 | 1.030 | -0.145 | -0.667 | 0.140 | 0.458 | -0.531 | 0.330 | -0.590 |
| P45 | 1.079 | -0.039 | -0.881 | 0.132 | 0.455 | -0.531 | 0.332 | -0.580 |

Πίνακας 5.1.4. Περίπτωση #4. Γέφυρα 5 ανοιγμάτων, ρήγμα μεταξύ P42-P43, $\theta=30^\circ$.

| Fault crossing angle 30° between P42-P43 | | | | | | | | |
|---|--------------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| CASE 4 | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.992 | -0.154 | -0.981 | 0.151 | 0.457 | -0.532 | 0.326 | -0.607 |
| P41 | 0.964 | -0.157 | -0.667 | 0.146 | 0.459 | -0.532 | 0.326 | -0.594 |
| P42 | 1.026 | -0.159 | -0.352 | 0.143 | 0.459 | -0.531 | 0.325 | -0.580 |
| P43 | 0.999 | 0.049 | 0.280 | 0.132 | -1.027 | 0.392 | -0.895 | 0.380 |
| P44 | 0.955 | 0.037 | 0.560 | 0.134 | -1.028 | 0.394 | -0.894 | 0.394 |
| P45 | 1.026 | 0.049 | 0.939 | 0.129 | -1.030 | 0.395 | -0.902 | 0.408 |

Στον Πίνακα 5.1.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις 4 περιπτώσεις φόρτισης, στη γέφυρα των 10 ανοιγμάτων, για θέση του ρήγματος μεταξύ των P45-P46 και γωνία ρήγματος ως προς τον άξονα της γέφυρας 30° μοιρών. Και σε αυτήν την περίπτωση είναι

εμφανές ότι μεταξύ των περιπτώσεων 1 και 4 καθώς και μεταξύ των περιπτώσεων 2 και 3 τα μέτρα των μετακινήσεων είναι ίσα. Σημειώνεται ότι οι προβολές των μετακινήσεων του καταστρώματος στους άξονες «x» & «z» λαμβάνουν χώρα τη στιγμή που πραγματοποιείται η μέγιστη σχετική μετακίνηση των εφεδράνων κάθε βάθρου ενώ οι προβολές των μετακινήσεων του πόδα και της κεφαλής των βάθρων λαμβάνουν χώρα τη στιγμή που πραγματοποιείται η μέγιστη σχετική μετακίνηση των βάθρων.

Πίνακας 5.1.5. Περιπτώσεις 1 έως 4, Γέφυρα 10 ανοιγμάτων, ρήγμα μεταξύ P45-P46, $\theta=30^\circ$

| Fault crossing angle 30o between P45-P46 | | | | | | | | |
|--|-------------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| CASE 1 | MAX DISPL ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.953 | -0.074 | 0.911 | 0.104 | -0.451 | 0.532 | -0.357 | 0.577 |
| P41 | 0.902 | -0.079 | 0.771 | 0.104 | -0.451 | 0.532 | -0.357 | 0.577 |
| P42 | 0.876 | 0.026 | 0.747 | 0.105 | -0.453 | 0.532 | -0.358 | 0.576 |
| P43 | 0.875 | 0.027 | 0.605 | 0.120 | -0.455 | 0.531 | -0.348 | 0.585 |
| P44 | 0.900 | 0.025 | 0.444 | 0.126 | -0.457 | 0.531 | -0.342 | 0.583 |
| P45 | 0.957 | 0.026 | 0.268 | 0.144 | -0.071 | 0.453 | 0.072 | 0.435 |
| P46 | 1.102 | -0.184 | -0.225 | 0.158 | 1.028 | -0.393 | 0.871 | -0.374 |
| P47 | 1.048 | -0.160 | -0.353 | 0.168 | 1.031 | -0.395 | 0.863 | -0.380 |
| P48 | 1.027 | -0.169 | -0.555 | 0.178 | 1.034 | -0.398 | 0.856 | -0.390 |
| P49 | 1.036 | -0.169 | -0.745 | 0.184 | 1.036 | -0.399 | 0.852 | -0.400 |
| P50 | 1.070 | -0.169 | -0.933 | 0.188 | 1.037 | -0.400 | 0.849 | -0.409 |
| Fault crossing angle 30o between P45-P46 | | | | | | | | |
| CASE 2 | MAX DISPL ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.889 | 0.077 | -0.959 | 0.106 | 1.023 | -0.391 | 0.917 | -0.408 |
| P41 | 0.834 | 0.077 | -0.818 | 0.110 | 1.024 | -0.391 | 0.914 | -0.400 |
| P42 | 0.799 | 0.076 | -0.679 | 0.115 | 1.026 | -0.392 | 0.911 | -0.393 |
| P43 | 0.792 | 0.090 | -0.471 | 0.119 | 1.028 | -0.393 | 0.909 | -0.389 |
| P44 | 0.811 | 0.093 | -0.308 | 0.124 | 1.028 | -0.393 | 0.904 | -0.383 |
| P45 | 0.895 | 0.180 | -0.038 | 0.128 | 1.028 | -0.393 | 0.901 | -0.377 |
| P46 | 1.186 | 0.278 | 0.292 | 0.170 | -0.462 | 0.531 | -0.300 | 0.584 |
| P47 | 1.124 | 0.275 | 0.472 | 0.192 | -0.464 | 0.531 | -0.284 | 0.598 |
| P48 | 1.089 | 0.274 | 0.647 | 0.219 | -0.098 | 0.475 | 0.121 | 0.475 |
| P49 | 1.085 | 0.275 | 0.815 | 0.246 | -0.108 | 0.480 | 0.138 | 0.491 |
| P50 | 1.113 | 0.274 | 0.979 | 0.274 | -0.118 | 0.484 | 0.155 | 0.508 |
| Fault crossing angle 30o between P45-P46 | | | | | | | | |
| CASE 3 | MAX DISPL ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.888 | -0.077 | 0.955 | 0.106 | -1.021 | 0.390 | -0.916 | 0.406 |
| P41 | 0.834 | -0.077 | 0.814 | 0.110 | -1.024 | 0.392 | -0.915 | 0.400 |
| P42 | 0.799 | -0.078 | 0.657 | 0.115 | -1.026 | 0.392 | -0.911 | 0.393 |
| P43 | 0.792 | -0.091 | 0.470 | 0.119 | -1.027 | 0.392 | -0.908 | 0.388 |
| P44 | 0.810 | -0.093 | 0.307 | 0.124 | -1.027 | 0.392 | -0.903 | 0.382 |
| P45 | 0.895 | -0.179 | 0.039 | 0.128 | -1.028 | 0.393 | -0.901 | 0.378 |
| P46 | 1.185 | -0.277 | -0.291 | 0.171 | 0.462 | -0.531 | 0.300 | -0.584 |
| P47 | 1.123 | -0.273 | -0.469 | 0.192 | 0.464 | -0.531 | 0.284 | -0.598 |
| P48 | 1.088 | -0.274 | -0.645 | 0.218 | 0.096 | -0.474 | -0.122 | -0.473 |
| P49 | 1.085 | -0.275 | -0.813 | 0.245 | 0.106 | -0.479 | -0.139 | -0.490 |
| P50 | 1.113 | -0.273 | -0.977 | 0.274 | 0.118 | -0.485 | -0.155 | -0.509 |
| Fault crossing angle 30o between P45-P46 | | | | | | | | |
| CASE 4 | MAX DISPL ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.954 | 0.075 | -0.913 | 0.106 | 0.976 | -0.618 | 0.873 | -0.643 |
| P41 | 0.903 | 0.079 | -0.772 | 0.110 | 0.451 | -0.532 | 0.353 | -0.582 |
| P42 | 0.876 | -0.026 | -0.748 | 0.117 | 0.453 | -0.532 | 0.350 | -0.587 |
| P43 | 0.875 | -0.027 | -0.606 | 0.120 | 0.455 | -0.531 | 0.348 | -0.585 |
| P44 | 0.900 | -0.026 | -0.446 | 0.126 | 0.457 | -0.531 | 0.342 | -0.583 |
| P45 | 0.957 | -0.026 | -0.268 | 0.144 | 0.071 | -0.454 | -0.072 | -0.435 |
| P46 | 1.102 | 0.184 | 0.226 | 0.158 | -1.028 | 0.393 | -0.871 | 0.374 |
| P47 | 1.048 | 0.160 | 0.354 | 0.168 | -1.031 | 0.395 | -0.863 | 0.380 |
| P48 | 1.028 | 0.170 | 0.557 | 0.178 | -1.033 | 0.397 | -0.856 | 0.389 |
| P49 | 1.037 | 0.170 | 0.748 | 0.184 | -1.036 | 0.399 | -0.852 | 0.400 |
| P50 | 1.071 | 0.170 | 0.939 | 0.188 | -1.037 | 0.400 | -0.849 | 0.409 |

Συμπερασματικά οι τέσσερις (4) δυνατές περιπτώσεις φόρτισης της γέφυρας δίνουν ίδια αποτελέσματα ανα δύο (2), πράγμα που σημαίνει ότι για την ίδια τετράδα εδαφικών διεγέρσεων χρειάζεται να γίνουν 2 αναλύσεις. Δηλαδή εάν κάποιος επιλέξει αυθαίρετα μια φορά για την παράλληλη και την κάθετη διέγερση στην διεύθυνση του ρήγματος αρκεί να ξανατρέξει την ανάλυση του αλλάζοντας ή την κάθετη φορά της διέγερσης ή την παράλληλη, όχι και τις δύο (2), και θα πάρει τα μέγιστα μεγέθη για τον σχεδιασμό κατ' απόλυτη τιμή .

Κεφάλαιο 6

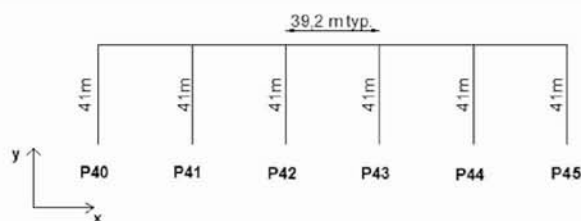
Παραμετρική ανάλυση

6.1. Εισαγωγή

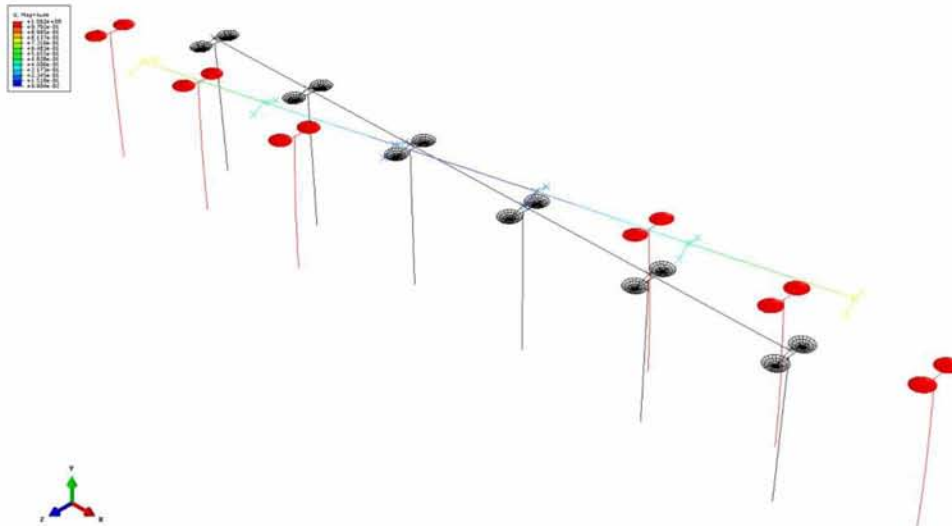
Στο παρόν Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παραμετρικής ανάλυσης ως προς την θέση και την γωνία του ρήγματος σε σχέση με τον άξονα της γέφυρας, για γωνίες 30° , 60° και 90° μοιρών. Αρχικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις αναλύσεις με το μοντέλο της συμμετρικής γέφυρας πέντε (5) ανοιγμάτων και στη συνέχεια τα αποτελέσματα με το μοντέλο της μη συμμετρικής γέφυρας δέκα (10) ανοιγμάτων.

6.2 Συμμετρική γέφυρα 5 ανοιγμάτων

Η παραμετρική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε αφορά την επιρροή της θέσης του ρήγματος και της γωνίας αυτού ως προς τον άξονα της γέφυρας. Στους παρακάτω Πίνακες (6.2.1 έως 6.2.9) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης τα οποία περιλαμβάνουν τις μέγιστες σχετικές μετατοπίσεις των εφεδράνων, δηλαδή την σχετική μετατόπιση του σημείου αναφοράς της άκαμπτης δοκού και του σημείου αναφοράς της αναλυτικής επιφάνειας (από εδώ και στο εξής αυτό θα αναφέρεται ως μετατόπιση εφεδράνου), και τις σχετικές μετακινήσεις των βάθρων ως προς την βάση τους καθώς και τις μετακινήσεις της κεφαλής και του πόδα των βάθρων τη χρονική στιγμή που πραγματοποιείται η μέγιστη μετακίνηση του εφεδράνου. Σημειώνεται ότι η μέγιστη μετακίνηση των εφεδράνων καθώς και η σχετική μετακίνηση των βάθρων αντιπροσωπεύουν το μέτρο των διανυσμάτων των πραγματικών μετακινήσεων ενώ τα υπόλοιπα μεγέθη που παρουσιάζονται αποτελούν τις προβολές των πραγματικών μετακινήσεων στους άξονες «x» & «z». Επίσης θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι μετακινήσεις των εφεδράνων αναφέρονται στα εφέδρανα που βρίσκονται στην αρνητική μεριά του άξονα «z». Επειδή η γέφυρα είναι συμμετρική έχουν πραγματοποιηθεί αναλύσεις για ύπαρξη ρήγματος μεταξύ των κολωνών P42-P43, P43-P44, P44-P45 και για γωνίες 30° , 60° και 90° .



Εικόνα 6.2.1. Σχηματική απεικόνιση συμμετρικής γέφυρας 5 ανοιγμάτων



Εικόνα 6.2.2. Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης της γέφυρας, θέση ρήγματος P42-P43, γωνία ρήγματος 30°, Case 1. (μετακινήσεις μεγεθυμένες 30 φορές.)

Πίνακας 6.2.1. Θέση ρήγματος μεταξύ P42-P43 και γωνία 30°

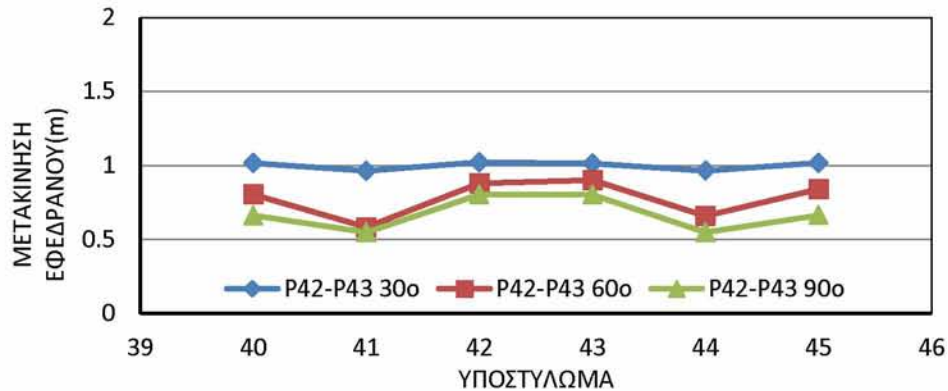
| Fault crossing angle 30o between P42-P43 | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| CASE 1 | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 1.016 | 0.045 | 0.888 | 0.057 | -1.009 | 0.552 | -0.952 | 0.548 |
| P41 | 0.963 | 0.143 | 0.661 | 0.035 | -0.888 | 0.684 | -0.856 | 0.698 |
| P42 | 1.021 | 0.146 | 0.348 | 0.039 | -0.889 | 0.686 | -0.851 | 0.695 |
| P43 | 1.013 | 0.142 | 0.022 | 0.022 | 1.035 | -0.429 | 1.013 | -0.428 |
| P44 | 0.964 | -0.036 | -0.535 | 0.071 | 0.962 | -0.541 | 0.891 | -0.534 |
| P45 | 1.017 | -0.051 | -0.901 | 0.082 | 0.950 | -0.552 | 0.869 | -0.563 |

Πίνακας 6.2.2. Θέση ρήγματος μεταξύ P42-P43 και γωνία 60°

| Fault crossing angle 60o between P42-P43 | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| CASE 1 | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.804 | 0.048 | 1.561 | 0.015 | -0.599 | 0.983 | -0.585 | 0.986 |
| P41 | 0.582 | 0.244 | 0.915 | 0.047 | -0.421 | 1.047 | -0.380 | 1.070 |
| P42 | 0.880 | 0.240 | 0.374 | 0.040 | -0.424 | 1.046 | -0.384 | 1.054 |
| P43 | 0.900 | -0.060 | -0.302 | 0.041 | 0.559 | -0.948 | 0.525 | -0.925 |
| P44 | 0.659 | -0.062 | -0.875 | 0.033 | 0.560 | -0.948 | 0.527 | -0.943 |
| P45 | 0.839 | -0.062 | -1.565 | 0.059 | 0.530 | -0.989 | 0.471 | -0.985 |

Πίνακας 6.2.3. Θέση Ρήγματος μεταξύ P42-P43 και γωνία 90°

| Fault crossing angle 90o between P42-P43 | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| CASE 1 | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.662 | 0.047 | 1.821 | 0.039 | -0.043 | 1.153 | -0.081 | 1.161 |
| P41 | 0.547 | -0.162 | 0.291 | 0.049 | 0.310 | 0.242 | 0.359 | 0.232 |
| P42 | 0.803 | 0.275 | 0.318 | 0.004 | 0.143 | 1.121 | 0.147 | 1.120 |
| P43 | 0.802 | 0.275 | -0.320 | 0.004 | 0.143 | -1.121 | 0.147 | -1.120 |
| P44 | 0.547 | -0.162 | -0.291 | 0.050 | 0.310 | -0.242 | 0.359 | -0.232 |
| P45 | 0.663 | 0.047 | -1.824 | 0.040 | -0.043 | -1.153 | -0.082 | -1.161 |

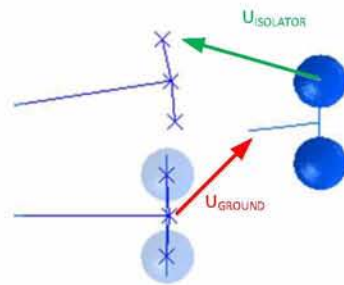


Διάγραμμα 6.2.1. Μέγιστες μετατοπίσεις εφεδράνων κάθε βάθρου για ύπαρξη ρήγματος μεταξύ P42-P43 και γωνίες 30°, 60° & 90°.

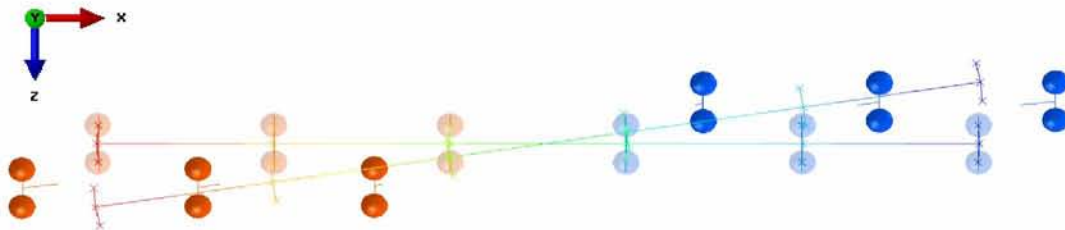
Στο Διάγραμμα 6.2.1 παρουσιάζονται οι απόλυτες μέγιστες μετακινήσεις των εφεδράνων σε κάθε υποστυλώμα. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η μετακινήσεις αυτές δεν συμβαίνουν την ίδια χρονική στιγμή και δεν είναι απαραίτητα στην ίδια διεύθυνση.

Από τους Πίνακες 6.2.1 έως 6.2.3 καθώς και από το Διάγραμμα 6.2.1 φαίνεται ότι η μέγιστη μετακίνηση εφεδράνου συμβαίνει στα εφέδρανα των υποστυλωμάτων που βρίσκονται εκατέρωθεν του ρήγματος, επίσης η περίπτωση όπου το ρήγμα τέμνει τον διαμήκη άξονα της γέφυρας σε γωνία 30° μοιρών είναι η δυσμενέστερη σε σχέση με τις περιπτώσεις όπου η γωνία είναι 60° και 90° μοίρες. Τα αποτελέσματα αυτά παρατηρούνται και στις υπόλοιπες περιπτώσεις όπου το ρήγμα βρίσκεται μεταξύ των υποστυλωμάτων P43-P44 και P44-P45. Όσον αφορά την επιρροή της θέσης του ρήγματος στην μετακίνηση των εφεδράνων γίνεται αντιληπτό ότι η μέγιστη μετακίνηση προκύπτει για θέση του ρήγματος στο ακραίο άνοιγμα (P44-P45).

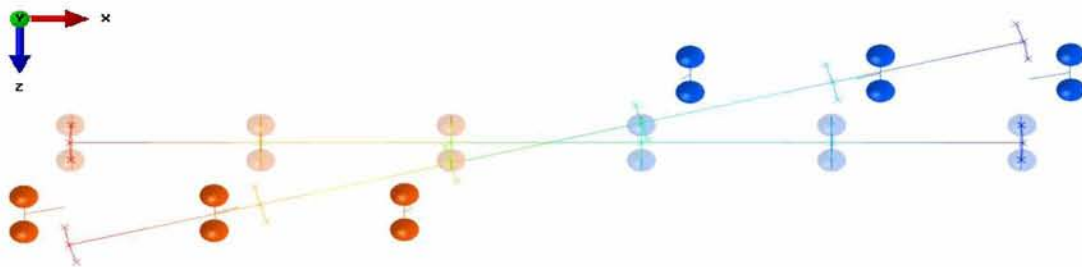
Οι Εικόνες 6.2.2, 6.2.3 και 6.2.4 παρουσιάζουν τις τελικές παραμορφωμένες καταστάσεις των διαφόρων περιπτώσεων, οι μετακινήσεις είναι μεγεθυμένες κατά 30 φορές. Η καμπύλη επιφάνεια των εφεδράνων παρουσιάζεται με ξεθωριασμένου χρώματος κύκλους στην αρχική τους θέση και με έντονου χρώματος κύκλους στην τελική τους (permanent) θέση. Οι σχετικές μετακινήσεις των εφεδράνων δεν είναι η απόσταση μεταξύ των ξεθωριασμένων και των έντονων κύκλων αλλά η απόσταση μεταξύ των έντονων κύκλων και των αντίστοιχων άκρων των καθέτων στον παραμορφωμένο άξονα της γέφυρας μελών (βλεπε Σχημα 6.2.1).



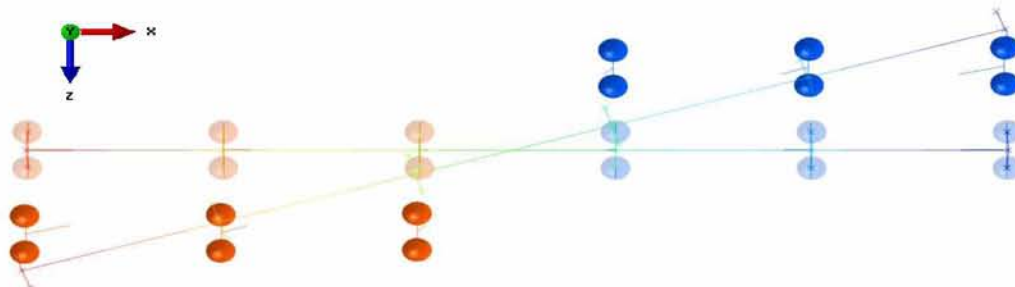
Σχήμα 6.2.1. Σχετική Μετακίνηση Εφεδράνου και Μετακίνηση εδάφους στην βάση βαθρου.



Εικόνα 6.2.2. Τελική παραμορφωμένη κατάσταση γέφυρας 5 ανοιγμάτων για θέση ρήγματος μεταξύ P42-P43 και γωνία 30° .



Εικόνα 6.2.3. Τελική παραμορφωμένη κατάσταση γέφυρας 5 ανοιγμάτων για θέση ρήγματος μεταξύ P42-P43 και γωνία 60° .



Εικόνα 6.2.4. Τελική παραμορφωμένη κατάσταση γέφυρας 5 ανοιγμάτων για θέση ρήγματος μεταξύ P42-P43 και γωνία 90° .

Πίνακας 6.2.4. Θέση ρήγματος μεταξύ P43-P44 και γωνία 30°

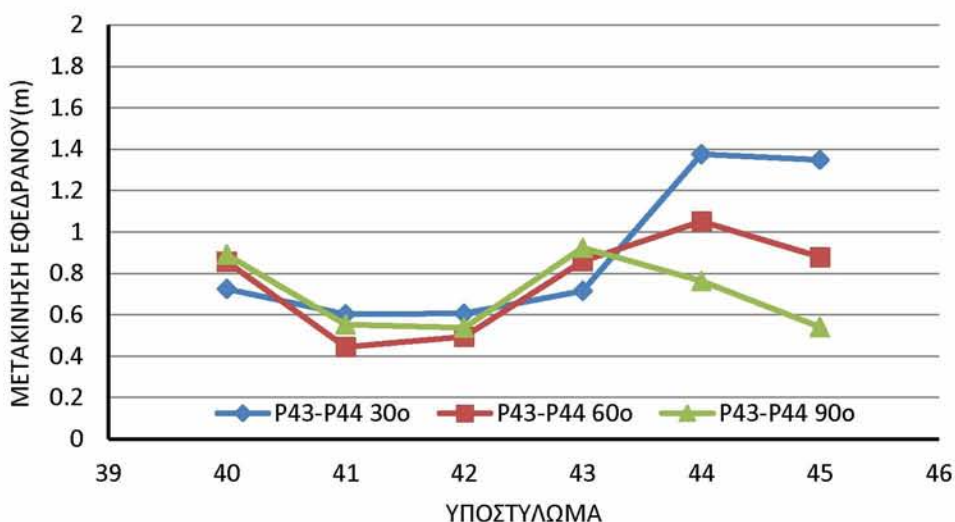
| Fault crossing angle 30o between P43-P44 | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| CASE 1 | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.724 | -0.397 | 1.023 | 0.024 | -1.009 | 0.552 | -0.986 | 0.558 |
| P41 | 0.601 | -0.260 | 0.829 | 0.027 | -0.889 | 0.686 | -0.881 | 0.712 |
| P42 | 0.606 | -0.251 | 0.566 | 0.028 | -0.890 | 0.690 | -0.871 | 0.711 |
| P43 | 0.715 | -0.250 | 0.296 | 0.023 | -0.890 | 0.691 | -0.871 | 0.702 |
| P44 | 1.375 | -0.469 | -0.297 | 0.112 | 0.953 | -0.583 | 0.841 | -0.590 |
| P45 | 1.348 | -0.469 | -0.590 | 0.108 | 0.952 | -0.580 | 0.845 | -0.596 |

Πίνακας 6.2.5. Θέση ρήγματος μεταξύ P43-P44 και γωνία 60°

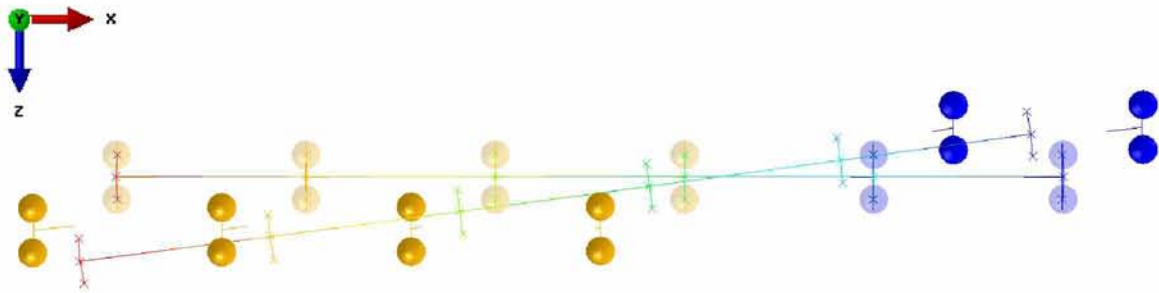
| Fault crossing angle 60o between P43-P44 | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| CASE 1 | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.855 | -0.209 | 1.778 | 0.015 | -0.599 | 0.983 | -0.610 | 0.993 |
| P41 | 0.444 | -0.182 | 0.268 | 0.084 | 0.154 | 0.364 | 0.238 | 0.355 |
| P42 | 0.493 | 0.028 | 0.735 | 0.031 | -0.418 | 1.047 | -0.392 | 1.063 |
| P43 | 0.859 | 0.019 | 0.272 | 0.025 | -0.423 | 1.047 | -0.399 | 1.051 |
| P44 | 1.050 | -0.308 | -0.335 | 0.063 | 0.562 | -0.948 | 0.502 | -0.928 |
| P45 | 0.878 | -0.306 | -0.832 | 0.053 | 0.561 | -0.948 | 0.508 | -0.944 |

Πίνακας 6.2.6. Θέση ρήγματος μεταξύ P43-P44 και γωνία 90°

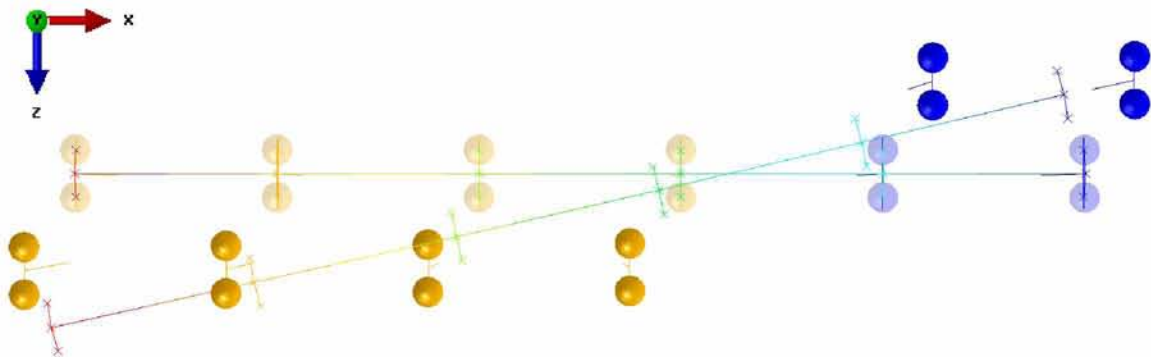
| Fault crossing angle 90o between P43-P44 | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| CASE 1 | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.890 | 0.037 | 2.055 | 0.046 | -0.044 | 1.149 | -0.086 | 1.166 |
| P41 | 0.552 | -0.161 | 0.376 | 0.047 | 0.308 | 0.240 | 0.354 | 0.232 |
| P42 | 0.537 | -0.156 | 0.220 | 0.049 | 0.315 | 0.246 | 0.363 | 0.233 |
| P43 | 0.923 | 0.131 | 0.225 | 0.030 | -0.019 | 1.161 | 0.009 | 1.148 |
| P44 | 0.762 | 0.276 | -0.363 | 0.004 | 0.144 | -1.121 | 0.148 | -1.122 |
| P45 | 0.540 | -0.159 | -0.286 | 0.049 | 0.310 | -0.242 | 0.358 | -0.231 |



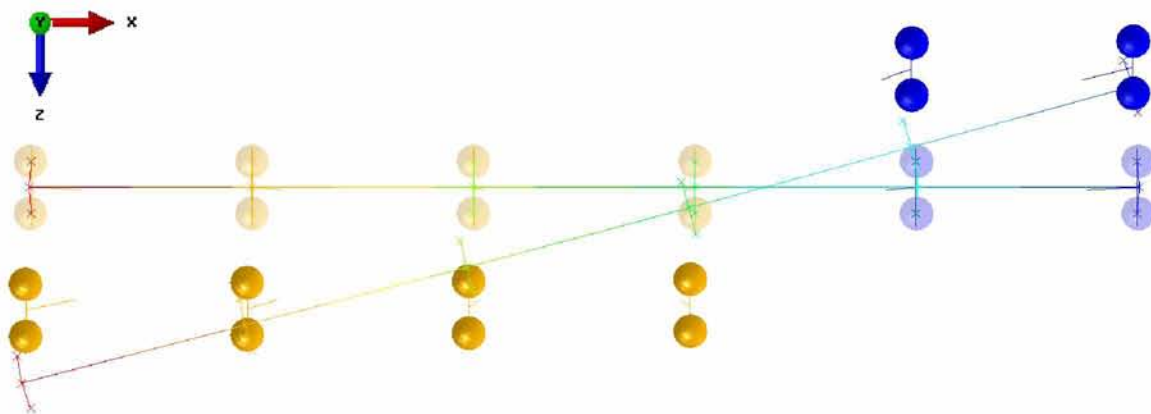
Διάγραμμα 6.2.2. Μέγιστες μετατοπίσεις εφεδράνων κάθε υποστυλώματος για ύπαρξη ρήγματος μεταξύ P43-P44 και γωνίες 30°, 60° & 90°



Εικόνα 6.2.5. Τελική παραμορφωμένη κατάσταση γέφυρας 5 ανοιγμάτων για θέση ρήγματος μεταξύ P43-P44 και γωνία 30° .



Εικόνα 6.2.6. Τελική παραμορφωμένη κατάσταση γέφυρας 5 ανοιγμάτων για θέση ρήγματος μεταξύ P43-P44 και γωνία 60° .



Εικόνα 6.2.7. Τελική παραμορφωμένη κατάσταση γέφυρας 5 ανοιγμάτων για θέση ρήγματος μεταξύ P43-P44 και γωνία 90° .

Πίνακας 6.2.7. Θέση ρήγματος μεταξύ P44-P45 και γωνία 30°

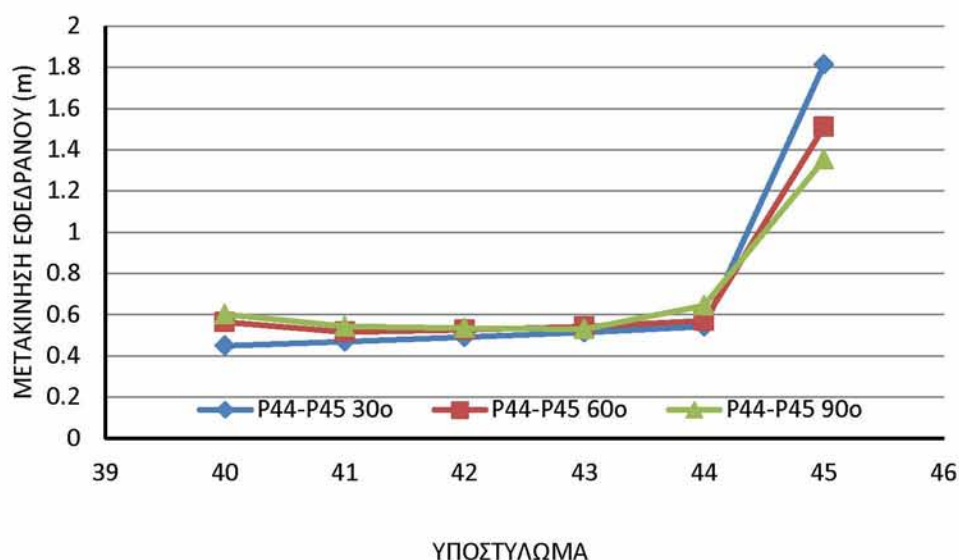
| Fault crossing angle 30o between P44-P45 | | | | | | | | |
|--|-------------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| CASE 1 | MAX DISPL ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.448 | -0.332 | 0.127 | 0.082 | -0.048 | 0.388 | 0.033 | 0.383 |
| P41 | 0.469 | -0.331 | 0.094 | 0.081 | -0.049 | 0.391 | 0.033 | 0.385 |
| P42 | 0.490 | -0.331 | 0.059 | 0.081 | -0.049 | 0.391 | 0.032 | 0.384 |
| P43 | 0.513 | -0.331 | 0.026 | 0.081 | -0.049 | 0.394 | 0.031 | 0.386 |
| P44 | 0.541 | -0.330 | -0.004 | 0.082 | -0.050 | 0.402 | 0.031 | 0.395 |
| P45 | 1.814 | -0.845 | 0.106 | 0.169 | 0.978 | -0.597 | 0.809 | -0.599 |

Πίνακας 6.2.8. Θέση ρήγματος μεταξύ P44-P45 και γωνία 60°

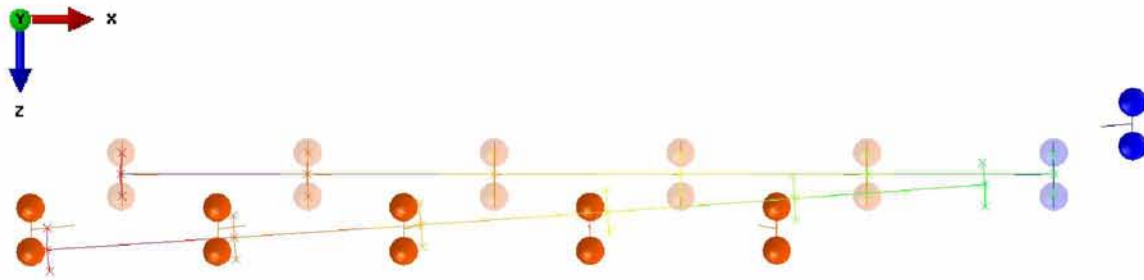
| Fault crossing angle 60o between P44-P45 | | | | | | | | |
|--|-------------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| CASE 1 | MAX DISPL ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.563 | -0.446 | 1.529 | 0.032 | -0.599 | 0.983 | -0.631 | 0.987 |
| P41 | 0.516 | -0.269 | 0.270 | 0.079 | 0.154 | 0.364 | 0.233 | 0.356 |
| P42 | 0.526 | -0.268 | 0.218 | 0.079 | 0.155 | 0.367 | 0.233 | 0.357 |
| P43 | 0.542 | -0.267 | 0.164 | 0.078 | 0.156 | 0.370 | 0.233 | 0.358 |
| P44 | 0.569 | -0.263 | 0.108 | 0.077 | 0.159 | 0.378 | 0.236 | 0.367 |
| P45 | 1.511 | -0.563 | 0.139 | 0.088 | 0.526 | -0.989 | 0.443 | -0.963 |

Πίνακας 6.2.9. Θέση ρήγματος μεταξύ P44-P45 και γωνία 90°

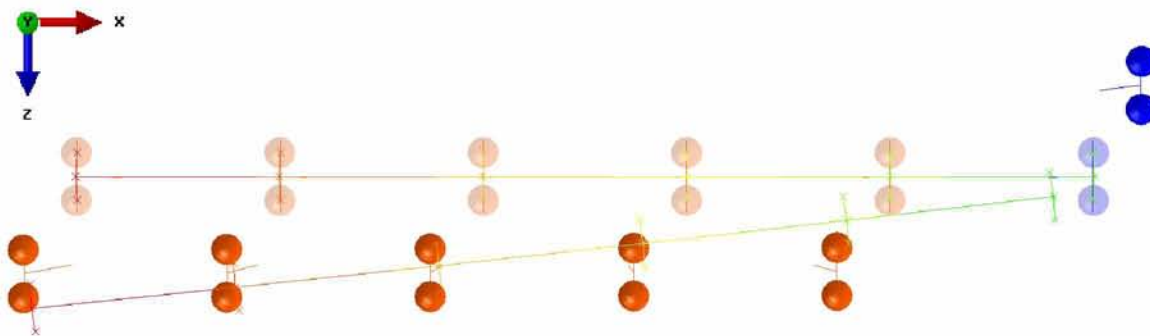
| Fault crossing angle 90o between P44-P45 | | | | | | | | |
|--|-------------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| CASE 1 | MAX DISPL ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.601 | 0.039 | 1.754 | 0.043 | -0.043 | 1.151 | -0.086 | 1.160 |
| P41 | 0.543 | -0.166 | 0.369 | 0.047 | 0.307 | 0.240 | 0.353 | 0.231 |
| P42 | 0.534 | -0.164 | 0.310 | 0.049 | 0.309 | 0.241 | 0.357 | 0.232 |
| P43 | 0.530 | -0.162 | 0.248 | 0.049 | 0.311 | 0.243 | 0.359 | 0.231 |
| P44 | 0.645 | 0.278 | 0.486 | 0.004 | 0.145 | 1.121 | 0.147 | 1.124 |
| P45 | 1.353 | 0.115 | 0.224 | 0.034 | -0.028 | -1.157 | -0.009 | -1.128 |



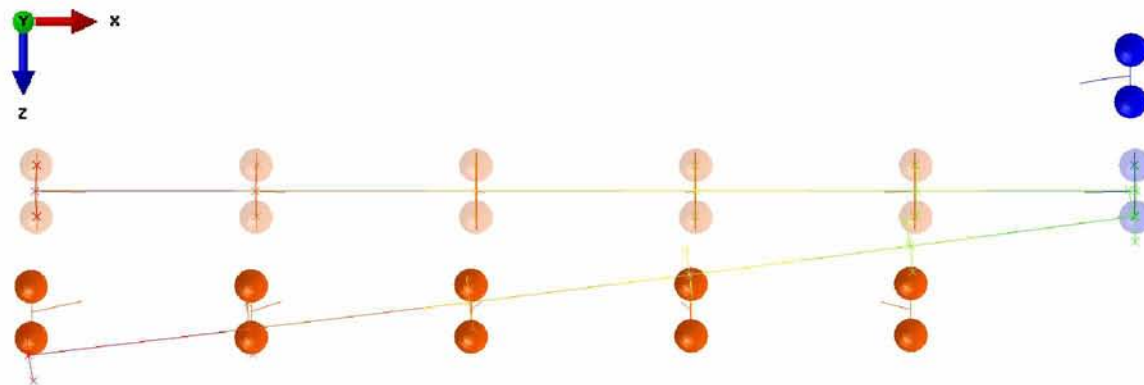
Διάγραμμα 6.2.3. Μέγιστες μετατοπίσεις εφεδράνων κάθε υποστυλώματος για ύπαρξη ρήγματος μεταξύ P44-P45 και γωνίες 30°, 60° & 90°.



Εικόνα 6.2.8. Τελική παραμορφωμένη κατάσταση γέφυρας 5 ανοιγμάτων για θέση ρήγματος μεταξύ P44-P45 και γωνία 30° .



Εικόνα 6.2.9. Τελική παραμορφωμένη κατάσταση γέφυρας 5 ανοιγμάτων για θέση ρήγματος μεταξύ P44-P45 και γωνία 60° .



Εικόνα 6.2.10. Τελική παραμορφωμένη κατάσταση γέφυρας 5 ανοιγμάτων για θέση ρήγματος μεταξύ P44-P45 και γωνία 90° .

Οι μετακινήσεις των εφεδράνων επηρεάζονται αφενός από τη στροφή του καταστρώματος στο επίπεδο «xz» και αφετέρου από την κάμψη του καταστρώματος περί τον άξονα «y». Το γεγονός ότι όσο πιο μικρή είναι η γωνία του ρήγματος σε σχέση με τον διαμήκη άξονα της γέφυρας τόσο μεγαλύτερη είναι η μετακίνηση των εφεδράνων που

βρίσκονται εκατέρωθεν του ρήγματος εξηγείται από το γεγονός ότι όσο μικραίνει η γωνία μεταξύ γέφυρας και ρήγματος τόσο τα εφεδράνα καλούνται να παραλάβουν τη παράλληλη στο ρήγμα διαφορική μετακίνηση της μία πλευράς σε σχέση με την άλλη. Στην οριακή κατάσταση όπου το ρήγμα βρίσκεται σε γωνία 0° μοιρών σε σχέση με τον άξονα της γέφυρας και η θέση του ρήγματος βρίσκεται μεταξύ των P42-P43 τότε ολόκληρη η διαφορική μετακίνηση της μίας πλευράς του ρήγματος σε σχέση με την άλλη θα αναληφθεί από τα εφεδράνα. Όσο η γωνία μεγαλώνει η γέφυρα στρέφεται στο επίπεδο «xz» και κάμπτεται περι τον άξονα «y» με αποτέλεσμα οι μετακινήσεις των εφεδράνων να μειώνονται.

Όσον αφορά την επιρροή της θέσης του ρήγματος στις μετακινήσεις των εφεδράνων φαίνεται από τα αποτελέσματα ότι όσο το ρήγμα απομακρύνεται από το μέσον του διαμήκη άξονα της γέφυρας τόσο μεγαλώνει η μετακίνηση των εφεδράνων εκατέρωθεν του ρήγματος. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι το κατάστρωμα της γέφυρας επηρεάζεται περισσότερο από την εδαφική διέγερση της πλευράς του ρήγματος που βρίσκονται τα περισσότερα υποστυλώματα. Η κάμψη του καταστρώματος παίζει πολύ σημαντικό ρόλο για το που θα εμφανιστεί η μεγαλύτερη μετακίνηση των εφεδράνων. Στην ακραία περίπτωση που το κατάστρωμα της γέφυρας ήταν άκαμπτο και το ρήγμα δεν βρισκόταν στο μέσον του διαμήκη άξονα τότε η μέγιστη μετακίνηση εφεδράνου θα εμφανιζόταν στο ακραίο υποστυλώμα της πλευράς του ρήγματος όπου βρίσκονται τα περισσότερα υποστυλώματα. Επειδή όμως όσο μεγαλώνει η μετακίνηση εφεδράνου αυξάνεται και η αντίδραση του εφεδράνου το κατάστρωμα της γέφυρας κάμπτεται αντί να στρέφεται, έτσι η μέγιστη μετακίνηση εφεδράνου εμφανίζεται στα υποστυλώματα εκατέρωθεν του ρήγματος.

Στους πίνακες που ακολουθούν (6.2.10 έως 6.2.18) παρουσιάζονται οι μέγιστες σχετικές μετακινήσεις των βάθρων ως προς την βάση τους, οι σχετικές μετακινήσεις των εφεδράνων, καθώς και οι προβολές της μετακίνησης του καταστρώματος, της κεφαλής και του πόδα των βάθρων στους άξονες «x» & «z», την χρονική στιγμή που λαμβάνουν χώρα οι μέγιστες σχετικές μετακινήσεις των βάθρων.

Πίνακας 6.2.10. Θέση ρήγματος μεταξύ P44-P45 και γωνία 30°

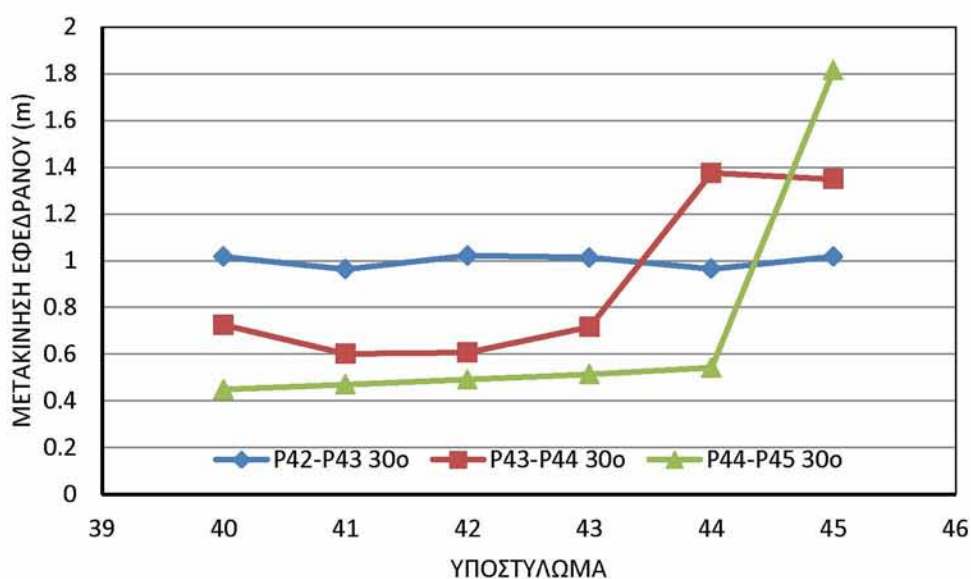
| Fault crossing angle 30o between P44-P45 | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| CASE 1 | DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.090 | -0.263 | 0.001 | 0.094 | -0.220 | 0.095 | -0.312 | 0.079 |
| P41 | 0.108 | -0.261 | -0.023 | 0.093 | -0.223 | 0.092 | -0.314 | 0.074 |
| P42 | 0.126 | -0.260 | -0.046 | 0.092 | -0.225 | 0.090 | -0.315 | 0.070 |
| P43 | 0.145 | -0.258 | -0.070 | 0.091 | -0.228 | 0.087 | -0.316 | 0.065 |
| P44 | 0.164 | -0.256 | -0.094 | 0.090 | -0.231 | 0.084 | -0.318 | 0.061 |
| P45 | 1.609 | -0.583 | 0.329 | 0.183 | 1.028 | -0.393 | 0.845 | -0.381 |

Πίνακας 6.2.11. Θέση ρήγματος μεταξύ P44-P45 και γωνία 60°

| Fault crossing angle 60o between P44-P45 | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| CASE 1 | DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.047 | -0.234 | 0.180 | 0.121 | -0.163 | 0.186 | -0.285 | 0.183 |
| P41 | 0.060 | -0.234 | 0.143 | 0.121 | -0.163 | 0.186 | -0.284 | 0.182 |
| P42 | 0.087 | -0.234 | 0.106 | 0.120 | -0.163 | 0.186 | -0.283 | 0.180 |
| P43 | 0.121 | -0.232 | 0.065 | 0.118 | -0.167 | 0.185 | -0.284 | 0.177 |
| P44 | 0.158 | -0.232 | 0.023 | 0.116 | -0.167 | 0.185 | -0.283 | 0.175 |
| P45 | 1.499 | -0.470 | 0.200 | 0.123 | 0.548 | -1.006 | 0.428 | -0.980 |

Πίνακας 6.2.10. Θέση ρήγματος μεταξύ P44-P45 και γωνία 90°

| Fault crossing angle 90o between P44-P45 | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| CASE 1 | DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 4.83E-02 | -1.71E-01 | 3.11E-01 | 1.17E-01 | -6.81E-02 | 2.47E-01 | -1.84E-01 | 2.63E-01 |
| P41 | 1.16E-02 | -1.71E-01 | 2.67E-01 | 1.20E-01 | -6.81E-02 | 2.47E-01 | -1.87E-01 | 2.62E-01 |
| P42 | 4.11E-02 | -1.71E-01 | 2.23E-01 | 1.22E-01 | -6.81E-02 | 2.47E-01 | -1.89E-01 | 2.61E-01 |
| P43 | 8.54E-02 | -1.71E-01 | 1.76E-01 | 1.23E-01 | -6.81E-02 | 2.47E-01 | -1.90E-01 | 2.60E-01 |
| P44 | 1.32E-01 | -1.71E-01 | 1.27E-01 | 1.22E-01 | -6.81E-02 | 2.47E-01 | -1.89E-01 | 2.58E-01 |
| P45 | 3.19E-01 | -1.71E-01 | 7.49E-02 | 1.10E-01 | -6.81E-02 | -2.47E-01 | -1.78E-01 | -2.45E-01 |



Διάγραμμα 6.2.4. Μέγιστες μετατοπίσεις εφεδράνων κάθε υποστυλώματος για γωνία ρήγματος 30° και θέση ρήγματος μεταξύ P42-P43, P43-P44 και P44-P45.

Πίνακας 6.2.13. Θέση ρήγματος μεταξύ P43-P44 και γωνία 30°

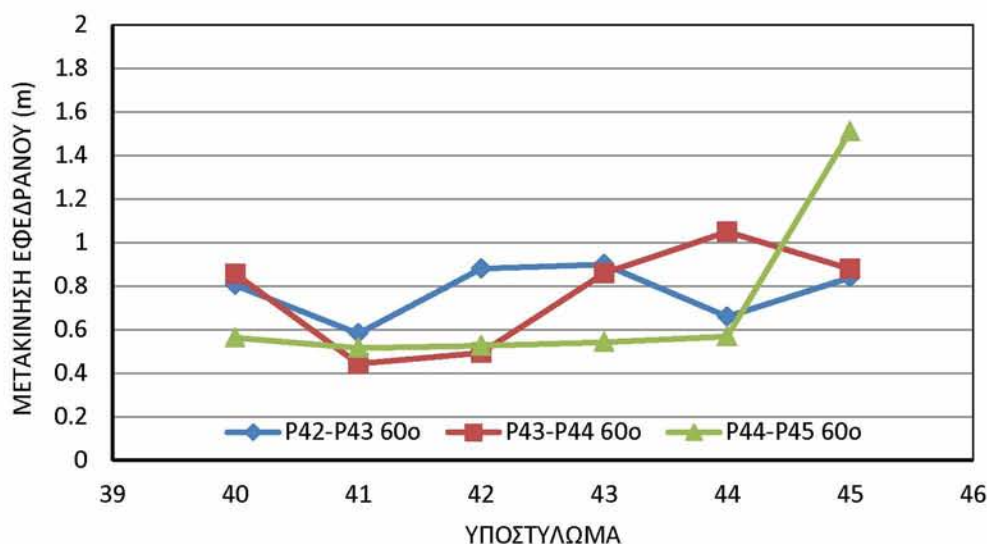
| Fault crossing angle 30o between P43-P44 | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| CASE 1 | DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.406 | -0.037 | 0.828 | 0.094 | -0.453 | 0.531 | -0.367 | 0.567 |
| P41 | 0.333 | -0.036 | 0.675 | 0.092 | -0.455 | 0.530 | -0.368 | 0.561 |
| P42 | 0.317 | -0.036 | 0.520 | 0.090 | -0.455 | 0.530 | -0.369 | 0.556 |
| P43 | 0.367 | -0.035 | 0.365 | 0.089 | -0.457 | 0.530 | -0.370 | 0.551 |
| P44 | 1.203 | -0.206 | 0.066 | 0.148 | 1.026 | -0.392 | 0.878 | -0.388 |
| P45 | 1.139 | -0.207 | -0.199 | 0.145 | 1.028 | -0.393 | 0.883 | -0.400 |

Πίνακας 6.2.14. Θέση ρήγματος μεταξύ P43-P44 και γωνία 60°

| Fault crossing angle 60o between P43-P44 | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| CASE 1 | DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.094 | -0.179 | 0.251 | 0.110 | -0.153 | 0.189 | -0.262 | 0.191 |
| P41 | 0.079 | -0.180 | 0.149 | 0.112 | -0.149 | 0.191 | -0.261 | 0.188 |
| P42 | 0.156 | -0.178 | 0.042 | 0.107 | -0.157 | 0.188 | -0.264 | 0.180 |
| P43 | 0.249 | -0.174 | -0.065 | 0.103 | -0.167 | 0.185 | -0.270 | 0.170 |
| P44 | 0.172 | -0.163 | -0.167 | 0.103 | 0.048 | -0.258 | -0.051 | -0.285 |
| P45 | 0.118 | -0.159 | -0.268 | 0.101 | 0.040 | -0.263 | -0.057 | -0.294 |

Πίνακας 6.2.15. Θέση ρήγματος μεταξύ P43-P44 και γωνία 90°

| Fault crossing angle 90o between P43-P44 | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| CASE 1 | DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 1.14E-01 | -1.66E-01 | 3.79E-01 | 1.12E-01 | -7.36E-02 | 2.48E-01 | -1.85E-01 | 2.65E-01 |
| P41 | 8.21E-03 | -1.68E-01 | 2.70E-01 | 1.19E-01 | -6.65E-02 | 2.47E-01 | -1.84E-01 | 2.62E-01 |
| P42 | 1.04E-01 | -1.68E-01 | 1.55E-01 | 1.22E-01 | -6.65E-02 | 2.47E-01 | -1.88E-01 | 2.59E-01 |
| P43 | 2.15E-01 | -1.68E-01 | 3.70E-02 | 1.16E-01 | -6.65E-02 | 2.47E-01 | -1.82E-01 | 2.51E-01 |
| P44 | 1.71E-01 | -1.68E-01 | -8.43E-02 | 1.19E-01 | -6.65E-02 | -2.47E-01 | -1.85E-01 | -2.55E-01 |
| P45 | 5.43E-02 | -1.68E-01 | -2.06E-01 | 1.21E-01 | -6.65E-02 | -2.47E-01 | -1.87E-01 | -2.60E-01 |



Διάγραμμα 6.2.5. Μέγιστες μετατοπίσεις εφεδράνων κάθε υποστυλώματος για γωνία ρήγματος 60° και θέση ρήγματος μεταξύ P42-P43, P43-P44 και P44-P45.

Πίνακας 6.2.16. Θέση ρήγματος μεταξύ P42-P43 και γωνία 30°

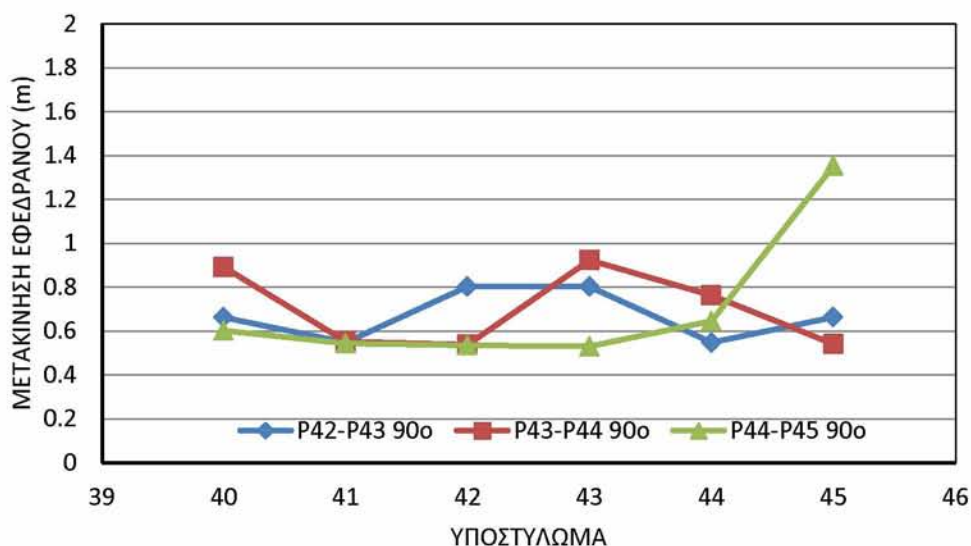
| Fault crossing angle 30o between P42-P43 | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| CASE 1 | DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.572 | 0.206 | 0.793 | 0.119 | -0.456 | 0.530 | -0.341 | 0.564 |
| P41 | 0.527 | 0.206 | 0.606 | 0.118 | -0.456 | 0.530 | -0.341 | 0.559 |
| P42 | 0.541 | 0.206 | 0.418 | 0.117 | -0.456 | 0.530 | -0.340 | 0.553 |
| P43 | 0.905 | 0.173 | 0.088 | 0.116 | 1.027 | -0.392 | 0.911 | -0.386 |
| P44 | 0.794 | 0.174 | -0.200 | 0.118 | 1.027 | -0.392 | 0.909 | -0.395 |
| P45 | 0.773 | 0.173 | -0.487 | 0.121 | 1.028 | -0.393 | 0.909 | -0.407 |

Πίνακας 6.2.17. Θέση ρήγματος μεταξύ P42-P43 και γωνία 60°

| Fault crossing angle 60o between P42-P43 | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| CASE 1 | DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.376 | 0.295 | 0.969 | 0.119 | -0.132 | 0.688 | -0.015 | 0.709 |
| P41 | 0.280 | 0.296 | 0.646 | 0.117 | -0.133 | 0.689 | -0.017 | 0.699 |
| P42 | 0.456 | 0.296 | 0.320 | 0.116 | -0.133 | 0.689 | -0.018 | 0.685 |
| P43 | 0.151 | -0.121 | -0.163 | 0.100 | 0.050 | -0.256 | -0.046 | -0.284 |
| P44 | 0.081 | -0.117 | -0.280 | 0.098 | 0.039 | -0.263 | -0.052 | -0.296 |
| P45 | 0.140 | -0.118 | -0.401 | 0.091 | 0.042 | -0.261 | -0.043 | -0.292 |

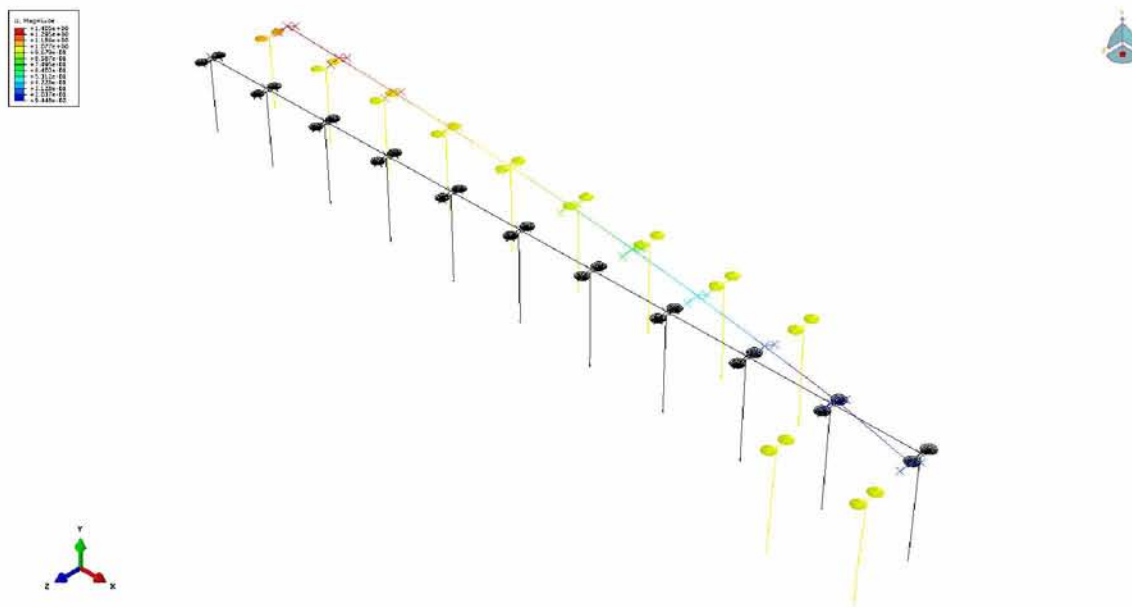
Πίνακας 6.2.18. Θέση ρήγματος μεταξύ P42-P43 και γωνία 90°

| Fault crossing angle 90o between P42-P43 | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| CASE 1 | DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.082 | -0.169 | 0.345 | 0.114 | -0.070 | 0.248 | -0.183 | 0.263 |
| P41 | 0.053 | -0.170 | 0.209 | 0.122 | -0.066 | 0.247 | -0.188 | 0.261 |
| P42 | 0.184 | -0.170 | 0.070 | 0.118 | -0.066 | 0.247 | -0.184 | 0.254 |
| P43 | 0.184 | -0.170 | -0.070 | 0.118 | -0.066 | -0.247 | -0.184 | -0.254 |
| P44 | 0.053 | -0.170 | -0.209 | 0.122 | -0.066 | -0.247 | -0.188 | -0.261 |
| P45 | 0.082 | -0.169 | -0.345 | 0.114 | -0.070 | -0.248 | -0.183 | -0.263 |



Διάγραμμα 6.2.6. Μέγιστες μετατοπίσεις εφεδράνων κάθε υποστυλώματος για γωνία ρήγματος 90° και θέση ρήγματος μεταξύ P42-P43, P43-P44 και P44-P45.

6.3 Ελαφρά μη συμμετρική γέφυρα 10 ανοιγμάτων (Bolu Viaduct)



Εικόνα 6.3.1. Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης της γέφυρας, θέση ρήγματος P48-P49, γωνία ρήγματος 90° . Οι μετακινήσεις είναι μεγεθυμένες κατά 30 φορές.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το μοντέλο αυτό προσομοιώνει ένα τμήμα της γέφυρας Bolu μεταξύ των βάθρων P40 – P50 (βλέπε Σχήμα 3.1.2), η οποία έφθασε πολύ κοντά στην κατάρρευση κατά το σεισμό Dunze του 1999. Σε αυτό το μοντέλο πραγματοποιήθηκε παραμετρική ανάλυση ως προς την θέση του ρήγματος για όλα τα ανοίγματα της γέφυρας μεταξύ των υποστυλωμάτων P45 και P50 καθώς και για γωνίες ρήγματος σε σχέση με τον διαμήκη άξονα της γέφυρας 30° , 60° και 90° μοίρες. Το συγκεκριμένο μοντέλο εμπεριέχει ασυμμετρίες οι οποίες προκύπτουν από διαφορές στα ύψη των βάθρων αλλά και από τις διαφορετικές δυσκαμψίες των ελαστικών ελατηρίων που προσομοιώνουν την θεμελίωση (βλέπε Κεφάλαιο 3).

Στους παρακάτω πίνακες (6.3.1 έως 6.3.15) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης τα οποία περιλαμβάνουν τις μέγιστες σχετικές μετατοπίσεις των εφεδράνων και τις σχετικές μετακινήσεις των βάθρων ως προς την βάση τους καθώς και τις μετακινήσεις της κεφαλής και του πόδα των βάθρων την χρονική στιγμή που πραγματοποιείται η μέγιστη μετακίνηση του εφεδράνου. Σημειώνεται ότι η μέγιστη μετακίνηση των εφεδράνων καθώς και η σχετική μετακίνηση των βάθρων αντιπροσωπεύουν το μέτρο των διανυσμάτων των πραγματικών μετακινήσεων ενώ τα υπόλοιπα μεγέθη που παρουσιάζονται αποτελούν τις προβολές των πραγματικών μετακινήσεων στους άξονες «x» & «z». Στις εικόνες που

ακολουθούν με τις τελικές παραμορφωμένες καταστάσεις των διαφόρων περιπτώσεων οι μετακινήσεις είναι μεγεθυμένες κατά 30 φορές.

Πίνακας 6.3.1. Θέση ρήγματος μεταξύ P45-P46 και γωνία 30°

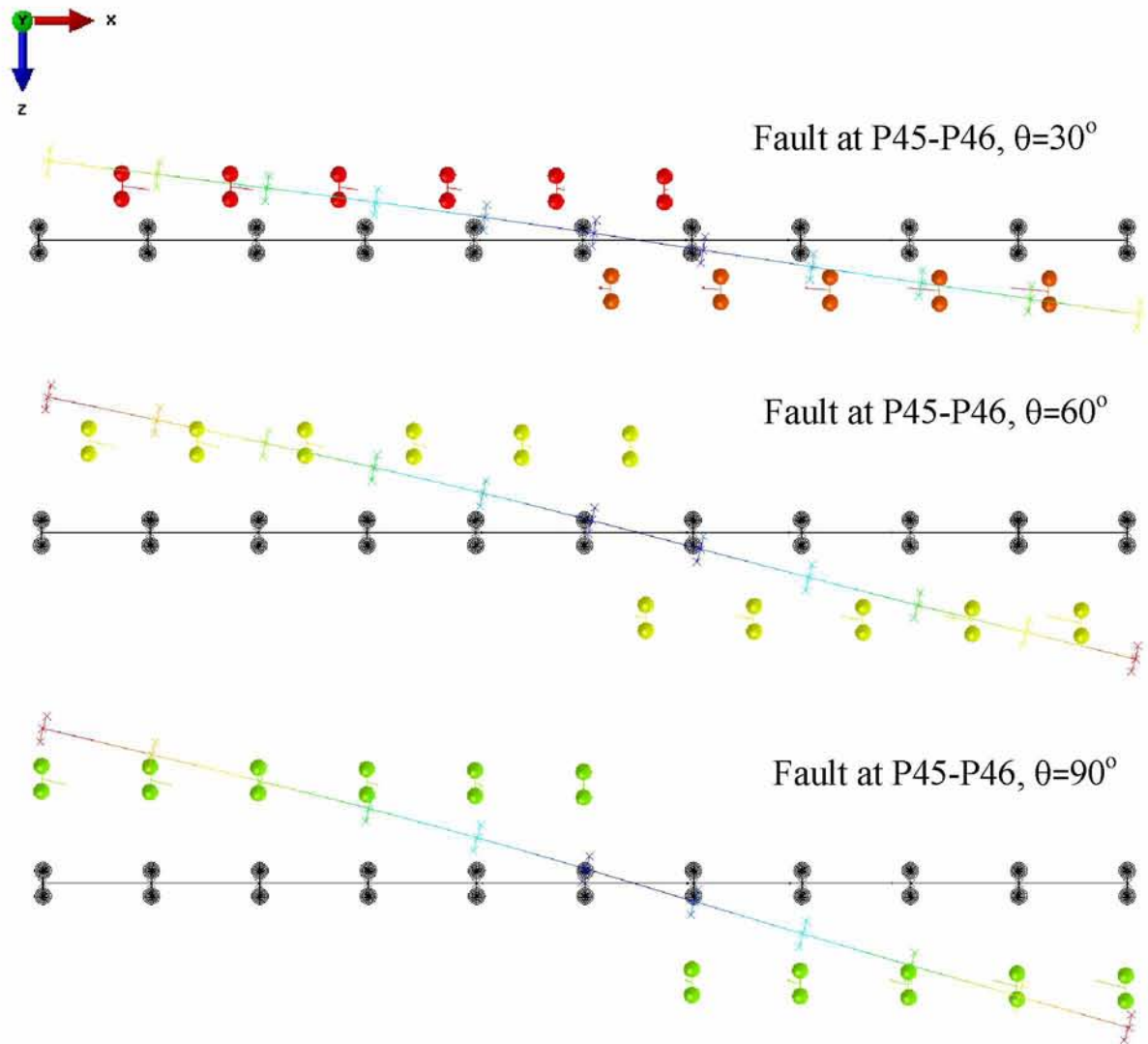
| Fault crossing angle 30o between P45-P46 | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.954 | 0.075 | -0.913 | 0.036 | 1.009 | -0.552 | 0.973 | -0.552 |
| P41 | 0.903 | 0.079 | -0.772 | 0.040 | 1.010 | -0.551 | 0.970 | -0.549 |
| P42 | 0.876 | -0.026 | -0.748 | 0.046 | 0.888 | -0.685 | 0.865 | -0.725 |
| P43 | 0.875 | -0.027 | -0.606 | 0.045 | 0.888 | -0.685 | 0.859 | -0.720 |
| P44 | 0.900 | -0.026 | -0.446 | 0.045 | 0.888 | -0.684 | 0.853 | -0.712 |
| P45 | 0.957 | -0.026 | -0.268 | 0.044 | 0.888 | -0.683 | 0.848 | -0.702 |
| P46 | 1.102 | 0.184 | 0.226 | 0.123 | -0.951 | 0.580 | -0.829 | 0.598 |
| P47 | 1.048 | 0.160 | 0.354 | 0.108 | -0.956 | 0.541 | -0.855 | 0.502 |
| P48 | 1.028 | 0.170 | 0.557 | 0.126 | -0.961 | 0.540 | -0.835 | 0.526 |
| P49 | 1.037 | 0.170 | 0.748 | 0.135 | -0.961 | 0.541 | -0.826 | 0.551 |
| P50 | 1.071 | 0.170 | 0.939 | 0.148 | -0.961 | 0.541 | -0.817 | 0.578 |

Πίνακας 6.3.2. Θέση ρήγματος μεταξύ P45-P46 και γωνία 60°

| Fault crossing angle 60o between P46-P45 | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.827 | 0.013 | -1.605 | 0.008 | 0.600 | -0.983 | 0.596 | -0.990 |
| P41 | 0.665 | 0.013 | -1.359 | 0.008 | 0.600 | -0.983 | 0.595 | -0.989 |
| P42 | 0.564 | -0.193 | -1.057 | 0.054 | 0.426 | -1.046 | 0.398 | -1.093 |
| P43 | 0.622 | -0.197 | -0.804 | 0.050 | 0.425 | -1.047 | 0.389 | -1.081 |
| P44 | 0.767 | -0.192 | -0.535 | 0.046 | 0.426 | -1.044 | 0.388 | -1.071 |
| P45 | 0.983 | -0.187 | -0.237 | 0.042 | 0.426 | -1.041 | 0.388 | -1.057 |
| P46 | 0.987 | -0.031 | 0.158 | 0.048 | -0.562 | 1.006 | -0.516 | 0.993 |
| P47 | 0.789 | 0.148 | 0.515 | 0.066 | -0.554 | 0.945 | -0.502 | 0.905 |
| P48 | 0.685 | 0.154 | 0.829 | 0.074 | -0.556 | 0.947 | -0.490 | 0.916 |
| P49 | 0.732 | 0.127 | 0.423 | 0.085 | -0.426 | 0.054 | -0.433 | -0.031 |
| P50 | 0.843 | 0.150 | 1.575 | 0.108 | -0.522 | 0.993 | -0.414 | 0.987 |

Πίνακας 6.3.3. Θέση ρήγματος μεταξύ P45-P46 και γωνία 90°

| Fault crossing angle 90o between P46-P45 | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.789 | 0.054 | -1.924 | 0.019 | 0.031 | -1.119 | 0.032 | -1.137 |
| P41 | 0.577 | 0.177 | -0.411 | 0.046 | -0.314 | -0.235 | -0.355 | -0.216 |
| P42 | 0.569 | 0.171 | -0.327 | 0.059 | -0.324 | -0.242 | -0.375 | -0.214 |
| P43 | 0.568 | 0.166 | -0.238 | 0.068 | -0.332 | -0.250 | -0.391 | -0.216 |
| P44 | 0.669 | -0.301 | -0.475 | 0.017 | -0.154 | -1.118 | -0.157 | -1.135 |
| P45 | 0.996 | -0.295 | -0.132 | 0.009 | -0.152 | -1.116 | -0.158 | -1.123 |
| P46 | 0.912 | -0.118 | 0.232 | 0.020 | 0.018 | 1.152 | 0.001 | 1.142 |
| P47 | 0.621 | 0.139 | 0.173 | 0.124 | -0.356 | 0.282 | -0.467 | 0.228 |
| P48 | 0.628 | 0.135 | 0.279 | 0.133 | -0.358 | 0.288 | -0.479 | 0.233 |
| P49 | 0.650 | 0.131 | 0.382 | 0.142 | -0.361 | 0.293 | -0.489 | 0.233 |
| P50 | 0.685 | 0.129 | 0.484 | 0.148 | -0.362 | 0.295 | -0.493 | 0.226 |



Εικόνα 6.3.2. Τελική παραμορφωμένη κατάσταση γέφυρας 10 ανοιγμάτων. Ρήγμα μεταξύ P45-P46 και γωνία 30° , 60° , 90° αντίστοιχα.

Πίνακας 6.3.4. Θέση ρήγματος μεταξύ P46-P47 και γωνία 30°

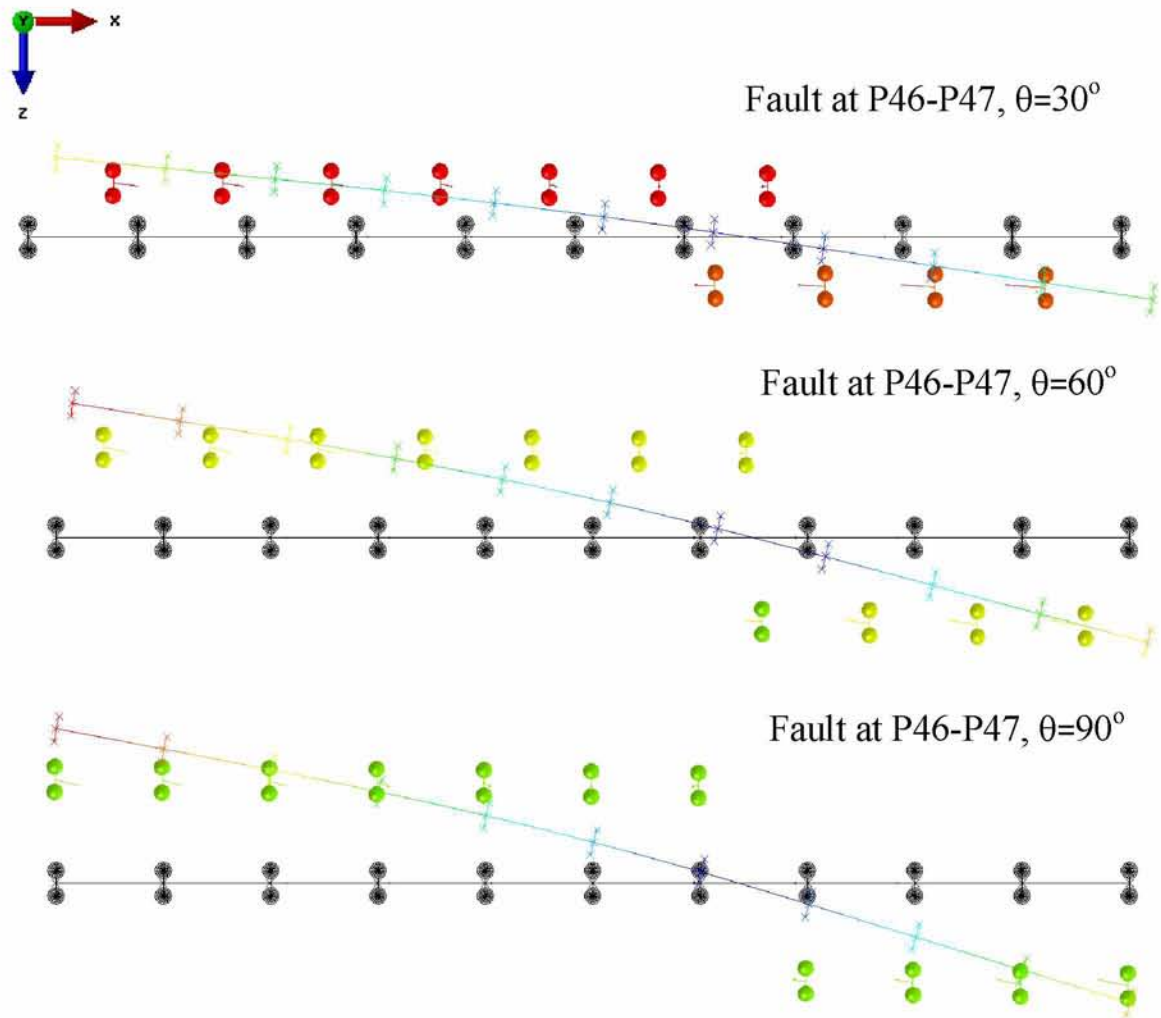
| Fault crossing angle 30o between P47-P46 | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.779 | 0.295 | -0.938 | 0.021 | 1.009 | -0.552 | 0.988 | -0.557 |
| P41 | 0.725 | 0.170 | -0.919 | 0.043 | 0.889 | -0.688 | 0.882 | -0.730 |
| P42 | 0.700 | 0.170 | -0.819 | 0.044 | 0.889 | -0.688 | 0.876 | -0.730 |
| P43 | 0.688 | 0.169 | -0.707 | 0.043 | 0.889 | -0.687 | 0.871 | -0.726 |
| P44 | 0.695 | 0.169 | -0.577 | 0.041 | 0.889 | -0.686 | 0.866 | -0.720 |
| P45 | 0.731 | 0.171 | -0.426 | 0.036 | 0.888 | -0.685 | 0.862 | -0.710 |
| P46 | 0.801 | 0.172 | -0.257 | 0.033 | 0.888 | -0.684 | 0.859 | -0.700 |
| P47 | 1.263 | 0.331 | 0.155 | 0.153 | -0.970 | 0.596 | -0.819 | 0.621 |
| P48 | 1.217 | 0.388 | 0.443 | 0.154 | -0.949 | 0.576 | -0.796 | 0.595 |
| P49 | 1.201 | 0.387 | 0.631 | 0.162 | -0.949 | 0.551 | -0.791 | 0.586 |
| P50 | 1.212 | 0.372 | 0.804 | 0.168 | -0.960 | 0.544 | -0.795 | 0.571 |

Πίνακας 6.3.5. Θέση ρήγματος μεταξύ P46-P47 και γωνία 60°

| Fault crossing angle 60o between P47-P46 | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.781 | 0.148 | -1.636 | 0.011 | 0.600 | -0.983 | 0.610 | -0.989 |
| P41 | 0.626 | 0.148 | -1.439 | 0.010 | 0.600 | -0.983 | 0.608 | -0.989 |
| P42 | 0.496 | 0.146 | -1.233 | 0.009 | 0.600 | -0.983 | 0.604 | -0.991 |
| P43 | 0.473 | -0.084 | -0.966 | 0.044 | 0.425 | -1.047 | 0.398 | -1.082 |
| P44 | 0.557 | -0.080 | -0.749 | 0.042 | 0.426 | -1.046 | 0.397 | -1.076 |
| P45 | 0.721 | -0.073 | -0.498 | 0.036 | 0.426 | -1.043 | 0.399 | -1.067 |
| P46 | 0.947 | -0.067 | -0.210 | 0.031 | 0.427 | -1.040 | 0.399 | -1.053 |
| P47 | 1.029 | 0.301 | 0.291 | 0.102 | -0.533 | 0.981 | -0.432 | 0.972 |
| P48 | 0.858 | 0.266 | 0.561 | 0.084 | -0.555 | 0.946 | -0.481 | 0.908 |
| P49 | 0.781 | 0.286 | 0.902 | 0.107 | -0.562 | 0.949 | -0.455 | 0.939 |
| P50 | 0.817 | 0.302 | 1.255 | 0.123 | -0.551 | 0.957 | -0.435 | 0.996 |

Πίνακας 6.3.6. Θέση ρήγματος μεταξύ P46-P47 και γωνία 90°

| Fault crossing angle 90o between P46-P47 | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.796 | 0.055 | -1.936 | 0.022 | 0.030 | -1.118 | 0.032 | -1.140 |
| P41 | 0.581 | 0.176 | -0.429 | 0.045 | -0.317 | -0.237 | -0.358 | -0.220 |
| P42 | 0.574 | 0.173 | -0.365 | 0.057 | -0.322 | -0.241 | -0.372 | -0.215 |
| P43 | 0.570 | 0.169 | -0.295 | 0.066 | -0.328 | -0.246 | -0.387 | -0.216 |
| P44 | 0.581 | 0.160 | -0.217 | 0.081 | -0.339 | -0.258 | -0.411 | -0.220 |
| P45 | 0.704 | -0.294 | -0.438 | 0.016 | -0.153 | -1.117 | -0.155 | -1.134 |
| P46 | 1.018 | -0.287 | -0.108 | 0.009 | -0.151 | -1.115 | -0.156 | -1.122 |
| P47 | 0.873 | -0.284 | 0.257 | 0.012 | -0.150 | 1.113 | -0.151 | 1.125 |
| P48 | 0.632 | 0.130 | 0.184 | 0.141 | -0.361 | 0.296 | -0.489 | 0.236 |
| P49 | 0.639 | 0.123 | 0.285 | 0.153 | -0.363 | 0.305 | -0.502 | 0.241 |
| P50 | 0.660 | 0.119 | 0.383 | 0.165 | -0.364 | 0.310 | -0.512 | 0.236 |



Εικόνα 6.3.3. Τελική παραμορφωμένη κατάσταση γέφυρας 10 ανοιγμάτων για θέση ρήγματος μεταξύ P46-P47 και γωνία 30° , 60° , 90° αντίστοιχα

Πίνακας 6.3.7. Θέση ρήγματος μεταξύ P48-P47 και γωνία 30°

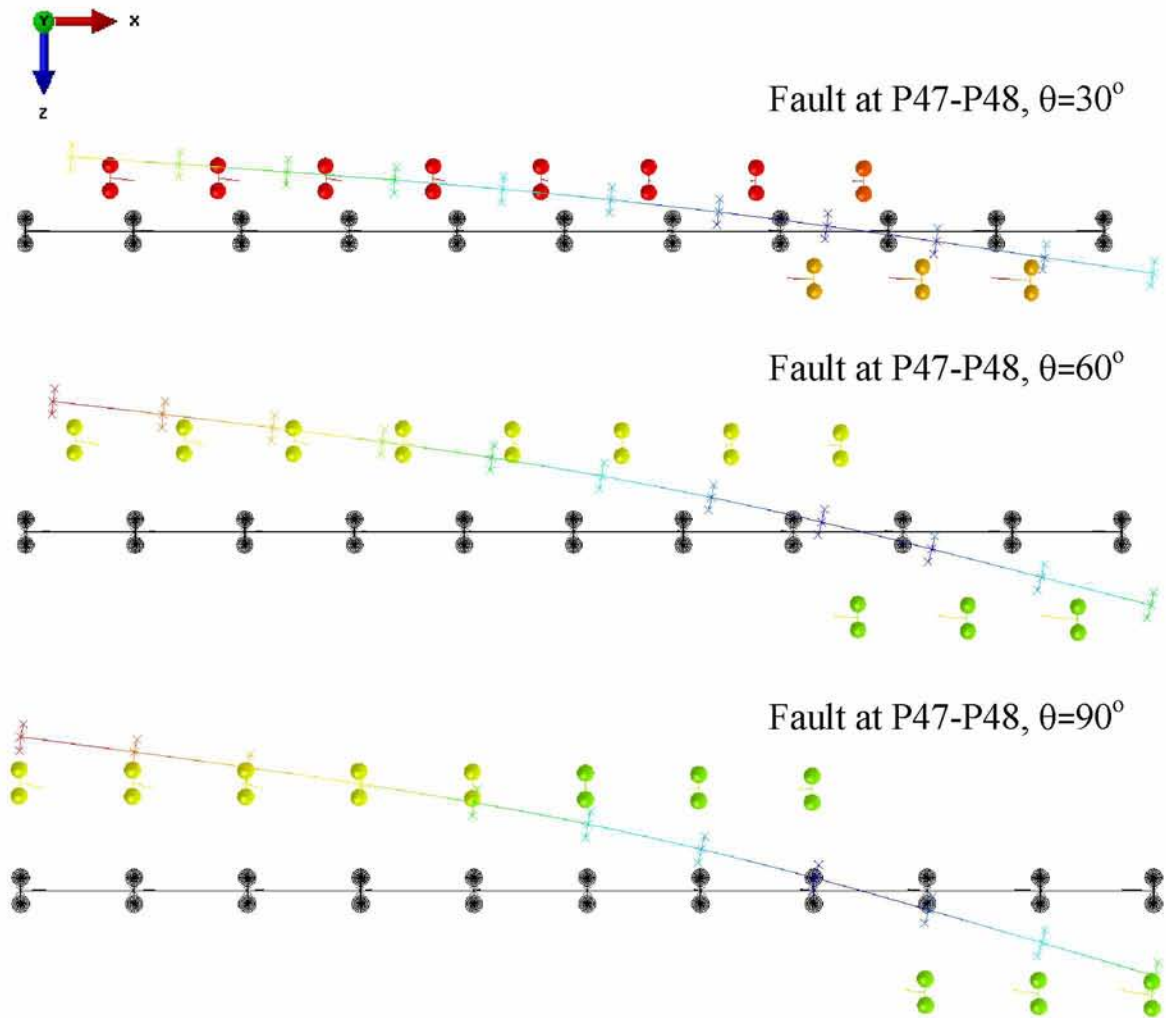
| Fault crossing angle 30o between P48-P47 | | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|--|
| | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) | |
| P40 | 0.606 | 0.509 | -0.921 | 0.008 | 1.010 | -0.552 | 1.005 | -0.559 | |
| P41 | 0.559 | 0.358 | -0.928 | 0.043 | 0.890 | -0.689 | 0.891 | -0.732 | |
| P42 | 0.534 | 0.357 | -0.855 | 0.041 | 0.890 | -0.690 | 0.885 | -0.731 | |
| P43 | 0.517 | 0.356 | -0.773 | 0.038 | 0.890 | -0.690 | 0.882 | -0.727 | |
| P44 | 0.512 | 0.356 | -0.678 | 0.036 | 0.890 | -0.689 | 0.877 | -0.723 | |
| P45 | 0.526 | 0.358 | -0.564 | 0.031 | 0.890 | -0.688 | 0.876 | -0.715 | |
| P46 | 0.570 | 0.361 | -0.428 | 0.024 | 0.889 | -0.686 | 0.875 | -0.706 | |
| P47 | 0.652 | 0.366 | -0.267 | 0.016 | 0.888 | -0.684 | 0.877 | -0.695 | |
| P48 | 1.432 | 0.544 | 0.146 | 0.186 | -0.967 | 0.596 | -0.783 | 0.619 | |
| P49 | 1.387 | 0.587 | 0.411 | 0.182 | -0.949 | 0.575 | -0.767 | 0.582 | |
| P50 | 1.364 | 0.587 | 0.598 | 0.194 | -0.948 | 0.574 | -0.754 | 0.585 | |

Πίνακας 6.3.8. Θέση ρήγματος μεταξύ P48-P47 και γωνία 60°

| Fault crossing angle 60o between P48-P47 | | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|--|
| | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) | |
| P40 | 0.696 | 0.277 | -1.600 | 0.024 | 0.600 | -0.982 | 0.623 | -0.986 | |
| P41 | 0.564 | 0.275 | -1.446 | 0.021 | 0.600 | -0.982 | 0.621 | -0.986 | |
| P42 | 0.480 | 0.224 | -0.274 | 0.089 | -0.159 | -0.370 | -0.246 | -0.349 | |
| P43 | 0.498 | 0.221 | -0.236 | 0.099 | -0.161 | -0.378 | -0.257 | -0.355 | |
| P44 | 0.526 | 0.216 | -0.188 | 0.114 | -0.164 | -0.388 | -0.275 | -0.360 | |
| P45 | 0.563 | 0.210 | -0.128 | 0.131 | -0.166 | -0.399 | -0.293 | -0.366 | |
| P46 | 0.662 | 0.043 | -0.495 | 0.026 | 0.426 | -1.042 | 0.411 | -1.062 | |
| P47 | 0.889 | 0.052 | -0.224 | 0.018 | 0.427 | -1.038 | 0.412 | -1.049 | |
| P48 | 1.123 | 0.418 | 0.248 | 0.119 | -0.534 | 0.976 | -0.417 | 0.956 | |
| P49 | 0.965 | 0.421 | 0.561 | 0.121 | -0.536 | 0.969 | -0.415 | 0.969 | |
| P50 | 0.876 | 0.421 | 0.884 | 0.131 | -0.539 | 0.965 | -0.410 | 0.991 | |

Πίνακας 6.3.9. Θέση ρήγματος μεταξύ P48-P47 και γωνία 90°

| Fault crossing angle 90o between P48-P47 | | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|--|
| | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) | |
| P40 | 0.720 | -0.018 | -1.868 | 0.043 | 0.032 | -1.136 | 0.074 | -1.150 | |
| P41 | 0.577 | 0.177 | -0.422 | 0.045 | -0.316 | -0.237 | -0.357 | -0.218 | |
| P42 | 0.576 | 0.174 | -0.382 | 0.056 | -0.321 | -0.240 | -0.371 | -0.215 | |
| P43 | 0.574 | 0.170 | -0.334 | 0.065 | -0.327 | -0.246 | -0.385 | -0.218 | |
| P44 | 0.580 | 0.164 | -0.273 | 0.078 | -0.335 | -0.253 | -0.405 | -0.219 | |
| P45 | 0.594 | 0.154 | -0.201 | 0.094 | -0.345 | -0.265 | -0.430 | -0.225 | |
| P46 | 0.692 | -0.286 | -0.448 | 0.016 | -0.152 | -1.116 | -0.152 | -1.132 | |
| P47 | 0.989 | -0.278 | -0.137 | 0.009 | -0.149 | -1.113 | -0.152 | -1.121 | |
| P48 | 0.899 | -0.275 | 0.223 | 0.006 | -0.149 | 1.112 | -0.147 | 1.118 | |
| P49 | 0.649 | 0.108 | 0.152 | 0.171 | -0.363 | 0.327 | -0.521 | 0.262 | |
| P50 | 0.652 | 0.102 | 0.241 | 0.190 | -0.363 | 0.335 | -0.539 | 0.265 | |



Εικόνα 6.3.4. Τελική παραμορφωμένη κατάσταση γέφυρας 10 ανοιγμάτων για θέση ρήγματος μεταξύ P47-P48 και γωνία 30° , 60° , 90° αντίστοιχα.

Πίνακας 6.3.10. Θέση ρήγματος μεταξύ P48-P49 και γωνία 30°

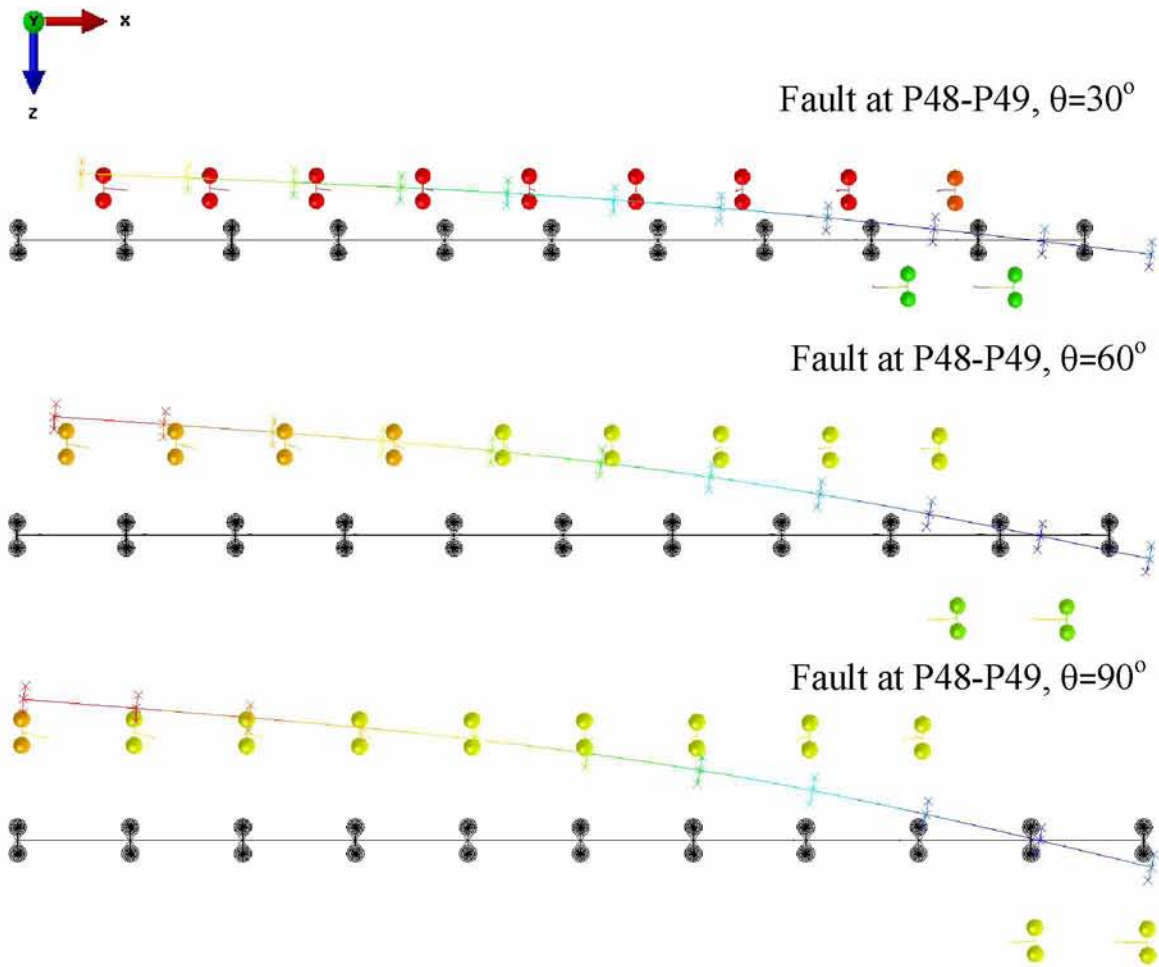
| Fault crossing angle 30o between P48-P49 | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.446 | 0.378 | -0.975 | 0.025 | 0.730 | -0.664 | 0.725 | -0.688 |
| P41 | 0.449 | 0.313 | -0.083 | 0.077 | 0.046 | -0.383 | -0.031 | -0.372 |
| P42 | 0.463 | 0.312 | -0.082 | 0.088 | 0.046 | -0.392 | -0.041 | -0.381 |
| P43 | 0.478 | 0.312 | -0.074 | 0.096 | 0.048 | -0.398 | -0.048 | -0.387 |
| P44 | 0.501 | 0.311 | -0.060 | 0.108 | 0.049 | -0.406 | -0.059 | -0.395 |
| P45 | 0.529 | 0.310 | -0.035 | 0.120 | 0.050 | -0.412 | -0.070 | -0.401 |
| P46 | 0.563 | 0.309 | -0.004 | 0.132 | 0.051 | -0.417 | -0.080 | -0.407 |
| P47 | 0.604 | 0.307 | 0.031 | 0.147 | 0.054 | -0.424 | -0.093 | -0.416 |
| P48 | 0.648 | 0.305 | 0.069 | 0.163 | 0.056 | -0.432 | -0.107 | -0.428 |
| P49 | 1.616 | 0.747 | 0.044 | 0.225 | -0.967 | 0.596 | -0.743 | 0.618 |
| P50 | 1.566 | 0.751 | 0.226 | 0.227 | -0.963 | 0.596 | -0.740 | 0.636 |

Πίνακας 6.3.11. Θέση ρήγματος μεταξύ P48-P49 και γωνία 60°

| Fault crossing angle 60o between P48-P49 | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.548 | 0.396 | -1.483 | 0.033 | 0.600 | -0.982 | 0.633 | -0.982 |
| P41 | 0.504 | 0.271 | -0.277 | 0.075 | -0.155 | -0.362 | -0.228 | -0.343 |
| P42 | 0.519 | 0.268 | -0.269 | 0.087 | -0.159 | -0.370 | -0.243 | -0.349 |
| P43 | 0.533 | 0.265 | -0.252 | 0.097 | -0.161 | -0.378 | -0.255 | -0.356 |
| P44 | 0.554 | 0.262 | -0.225 | 0.111 | -0.164 | -0.386 | -0.272 | -0.360 |
| P45 | 0.580 | 0.257 | -0.188 | 0.128 | -0.166 | -0.396 | -0.290 | -0.367 |
| P46 | 0.610 | 0.253 | -0.141 | 0.143 | -0.167 | -0.404 | -0.306 | -0.371 |
| P47 | 0.646 | 0.248 | -0.088 | 0.161 | -0.167 | -0.412 | -0.324 | -0.376 |
| P48 | 0.646 | 0.248 | -0.088 | 0.171 | -0.168 | -0.412 | -0.335 | -0.375 |
| P49 | 1.297 | 0.531 | 0.059 | 0.146 | -0.534 | 0.974 | -0.393 | 0.938 |
| P50 | 1.141 | 0.532 | 0.333 | 0.151 | -0.539 | 0.964 | -0.388 | 0.962 |

Πίνακας 6.3.12. Θέση ρήγματος μεταξύ P48-P49 και γωνία 90°

| Fault crossing angle 90o between P48-P49 | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.580 | -0.009 | -1.724 | 0.044 | 0.046 | -1.143 | 0.090 | -1.150 |
| P41 | 0.567 | 0.183 | -0.401 | 0.046 | -0.310 | -0.240 | -0.352 | -0.221 |
| P42 | 0.573 | 0.181 | -0.381 | 0.056 | -0.315 | -0.243 | -0.366 | -0.219 |
| P43 | 0.575 | 0.178 | -0.354 | 0.064 | -0.319 | -0.247 | -0.377 | -0.221 |
| P44 | 0.581 | 0.173 | -0.316 | 0.076 | -0.325 | -0.253 | -0.394 | -0.220 |
| P45 | 0.590 | 0.165 | -0.268 | 0.091 | -0.334 | -0.263 | -0.416 | -0.225 |
| P46 | 0.602 | 0.156 | -0.211 | 0.106 | -0.342 | -0.274 | -0.439 | -0.229 |
| P47 | 0.622 | 0.145 | -0.149 | 0.126 | -0.350 | -0.288 | -0.464 | -0.234 |
| P48 | 0.843 | -0.256 | -0.290 | 0.013 | -0.135 | -1.115 | -0.133 | -1.128 |
| P49 | 1.101 | -0.052 | -0.002 | 0.054 | 0.044 | 1.153 | 0.052 | 1.100 |
| P50 | 0.790 | -0.022 | 0.333 | 0.045 | 0.044 | 1.149 | 0.080 | 1.122 |



Εικόνα 6.3.5. Τελική παραμορφωμένη κατάσταση γέφυρας 10 ανοιγμάτων για θέση ρήγματος μεταξύ P48-P49 και γωνία 30° , 60° , 90° αντίστοιχα

Πίνακας 6.3.13. Θέση ρήγματος μεταξύ P49-P50 και γωνία 30°

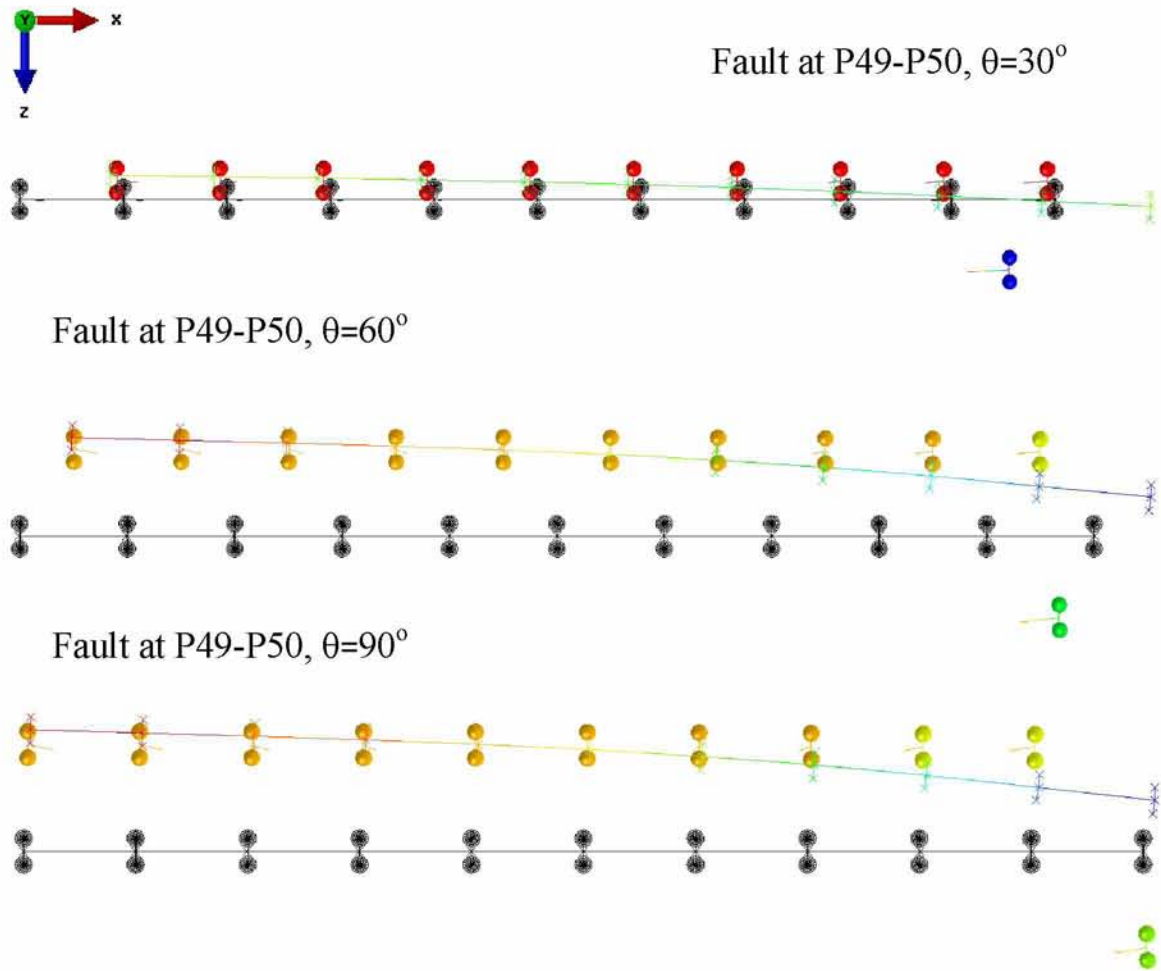
| Fault crossing angle 30o between P49-P50 | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.507 | 0.403 | -0.048 | 0.066 | 0.058 | -0.360 | -0.006 | -0.348 |
| P41 | 0.516 | 0.403 | -0.048 | 0.075 | 0.059 | -0.363 | -0.015 | -0.351 |
| P42 | 0.527 | 0.403 | -0.050 | 0.084 | 0.059 | -0.368 | -0.025 | -0.357 |
| P43 | 0.536 | 0.403 | -0.049 | 0.092 | 0.060 | -0.374 | -0.031 | -0.363 |
| P44 | 0.551 | 0.403 | -0.044 | 0.103 | 0.061 | -0.380 | -0.042 | -0.369 |
| P45 | 0.569 | 0.402 | -0.034 | 0.115 | 0.062 | -0.385 | -0.052 | -0.376 |
| P46 | 0.589 | 0.401 | -0.023 | 0.127 | 0.065 | -0.393 | -0.062 | -0.385 |
| P47 | 0.612 | 0.401 | -0.008 | 0.139 | 0.066 | -0.398 | -0.073 | -0.394 |
| P48 | 0.636 | 0.399 | 0.002 | 0.154 | 0.070 | -0.407 | -0.084 | -0.409 |
| P49 | 0.661 | 0.397 | 0.013 | 0.169 | 0.075 | -0.417 | -0.094 | -0.427 |
| P50 | 1.833 | 0.977 | -0.195 | 0.284 | -0.917 | 0.667 | -0.633 | 0.661 |

Πίνακας 6.3.14. Θέση ρήγματος μεταξύ P49-P50 και γωνία 60°

| Fault crossing angle 60o between P49-P50 | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.539 | 0.325 | -0.237 | 0.061 | -0.146 | -0.356 | -0.204 | -0.338 |
| P41 | 0.551 | 0.324 | -0.242 | 0.072 | -0.149 | -0.362 | -0.218 | -0.341 |
| P42 | 0.565 | 0.322 | -0.246 | 0.084 | -0.152 | -0.370 | -0.234 | -0.347 |
| P43 | 0.575 | 0.320 | -0.246 | 0.094 | -0.153 | -0.375 | -0.244 | -0.353 |
| P44 | 0.591 | 0.318 | -0.240 | 0.108 | -0.155 | -0.381 | -0.260 | -0.356 |
| P45 | 0.608 | 0.314 | -0.233 | 0.123 | -0.158 | -0.391 | -0.278 | -0.365 |
| P46 | 0.626 | 0.310 | -0.220 | 0.139 | -0.159 | -0.399 | -0.295 | -0.372 |
| P47 | 0.646 | 0.305 | -0.207 | 0.157 | -0.160 | -0.409 | -0.315 | -0.381 |
| P48 | 0.664 | 0.300 | -0.192 | 0.175 | -0.160 | -0.421 | -0.332 | -0.390 |
| P49 | 0.687 | 0.290 | -0.181 | 0.201 | -0.156 | -0.441 | -0.355 | -0.411 |
| P50 | 1.701 | 0.516 | -0.503 | 0.183 | -0.538 | 1.020 | -0.375 | 0.937 |

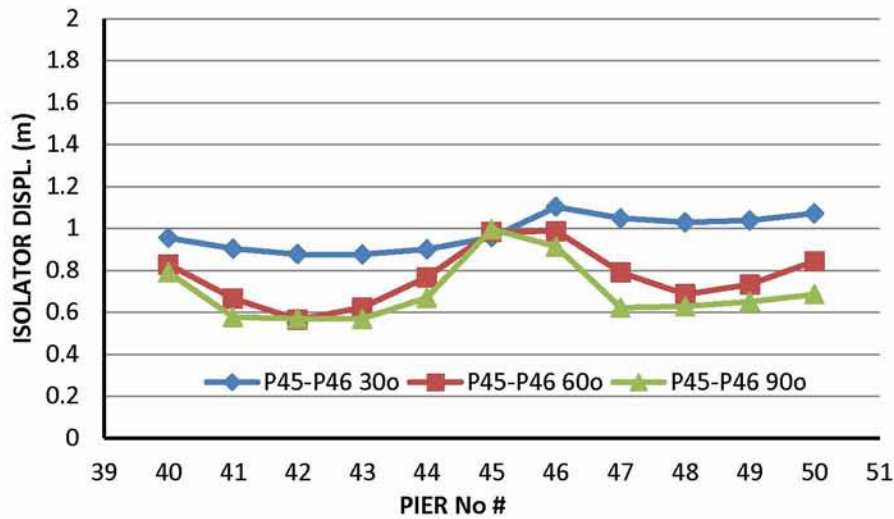
Πίνακας 6.3.15. Θέση ρήγματος μεταξύ P49-P50 και γωνία 90°

| Fault crossing angle 90o between P49-P50 | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | MAX DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.549 | 0.193 | -0.360 | 0.037 | -0.305 | -0.237 | -0.337 | -0.218 |
| P41 | 0.561 | 0.190 | -0.358 | 0.047 | -0.310 | -0.240 | -0.352 | -0.217 |
| P42 | 0.571 | 0.188 | -0.354 | 0.057 | -0.315 | -0.243 | -0.366 | -0.217 |
| P43 | 0.577 | 0.185 | -0.346 | 0.064 | -0.319 | -0.247 | -0.377 | -0.220 |
| P44 | 0.587 | 0.180 | -0.335 | 0.075 | -0.325 | -0.253 | -0.393 | -0.221 |
| P45 | 0.597 | 0.174 | -0.320 | 0.087 | -0.333 | -0.261 | -0.413 | -0.226 |
| P46 | 0.606 | 0.167 | -0.302 | 0.101 | -0.339 | -0.269 | -0.432 | -0.230 |
| P47 | 0.617 | 0.160 | -0.281 | 0.117 | -0.345 | -0.278 | -0.452 | -0.231 |
| P48 | 0.628 | 0.148 | -0.260 | 0.135 | -0.352 | -0.293 | -0.476 | -0.238 |
| P49 | 0.638 | 0.134 | -0.236 | 0.157 | -0.356 | -0.313 | -0.500 | -0.252 |
| P50 | 1.654 | -0.041 | -0.617 | 0.113 | 0.044 | 1.152 | 0.058 | 1.040 |

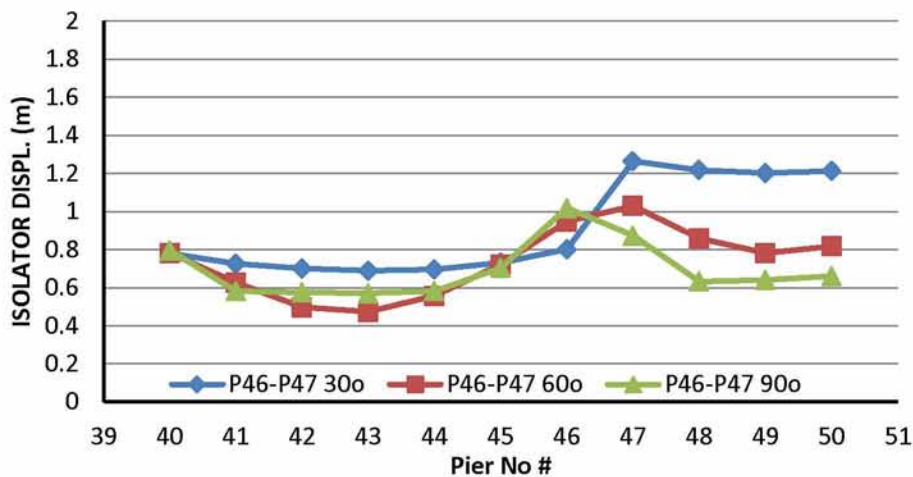


Εικόνα 6.3.6. Τελική παραμορφωμένη κατάσταση γέφυρας 10 ανοιγμάτων για θέση ρήγματος μεταξύ P49-P50 και γωνία 30° , 60° , 90° αντίστοιχα.

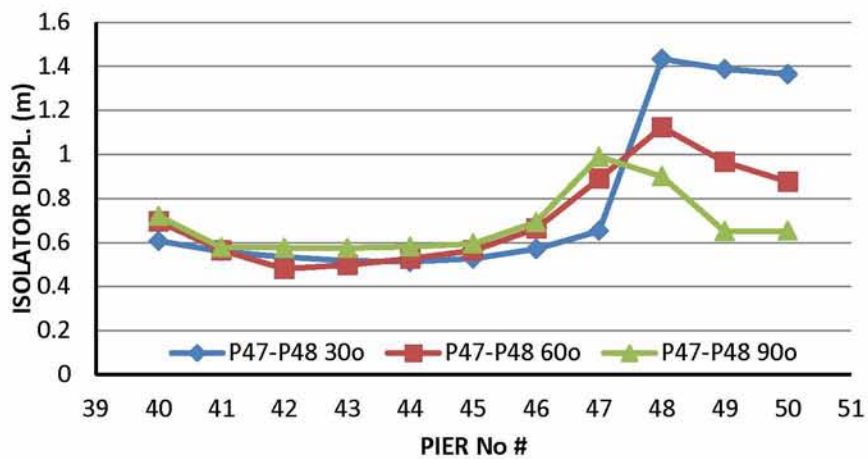
Τα αποτελέσματα της παραμετρικής ανάλυσης της γέφυρας δέκα (10) ανοιγμάτων δεν διαφέρουν ιδιαίτερα από αυτά της γέφυρας πέντε (5) ανοιγμάτων. Οι **μέγιστες μετακινήσεις των εφεδράνων** παρουσιάζονται στα βάθρα εκατέρωθεν του ρήγματος. Οι τελευταίες μεγαλώνουν όσο μικραίνει η γωνία μεταξύ του ρήγματος και του διαμήκη άξονα της γέφυρας όπως φαίνεται στα Διαγράμματα 6.3.1 έως 6.3.5 .



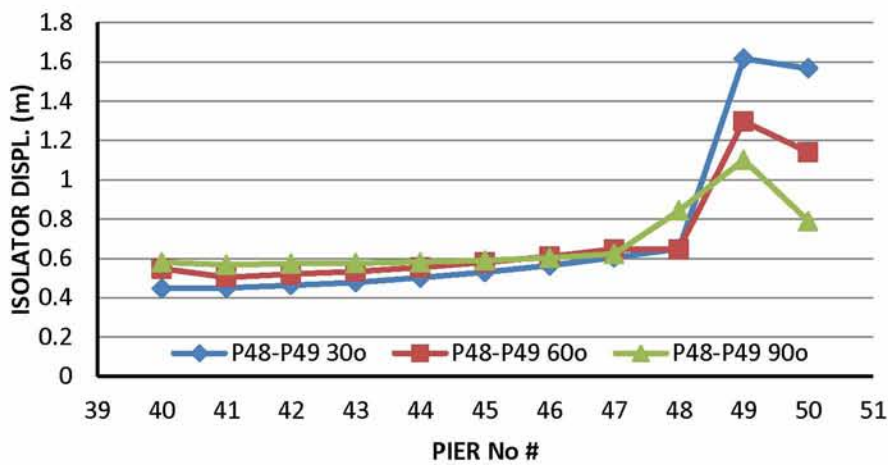
Διάγραμμα 6.3.1. Μέγιστες μετατοπίσεις εφεδράνων κάθε υποστυλώματος για θέση ρήγματος μεταξύ P45-P46 και γωνία ρήγματος 30°, 60° και 90°.



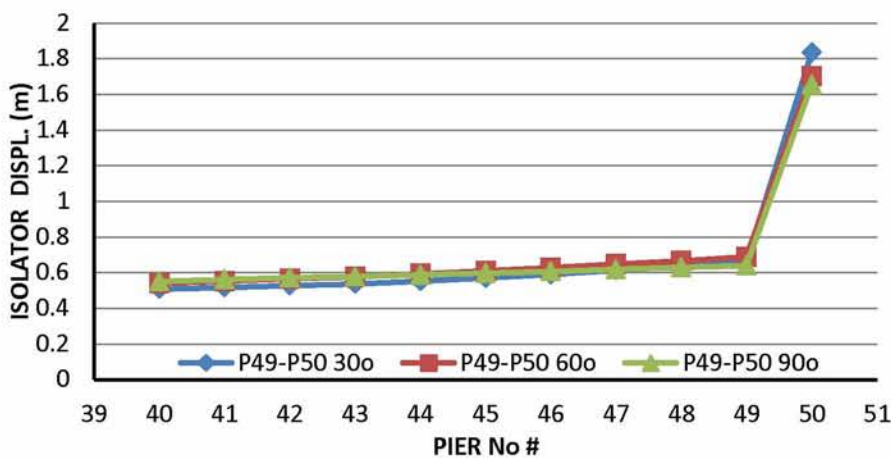
Διάγραμμα 6.3.2. Μέγιστες μετατοπίσεις εφεδράνων κάθε υποστυλώματος για θέση ρήγματος μεταξύ P46-P47 και γωνία ρήγματος 30°, 60° και 90°.



Διάγραμμα 6.3.3. Μέγιστες μετατοπίσεις εφεδράνων κάθε υποστυλώματος για θέση ρήγματος μεταξύ P47-P48 και γωνία ρήγματος 30°, 60° και 90°.

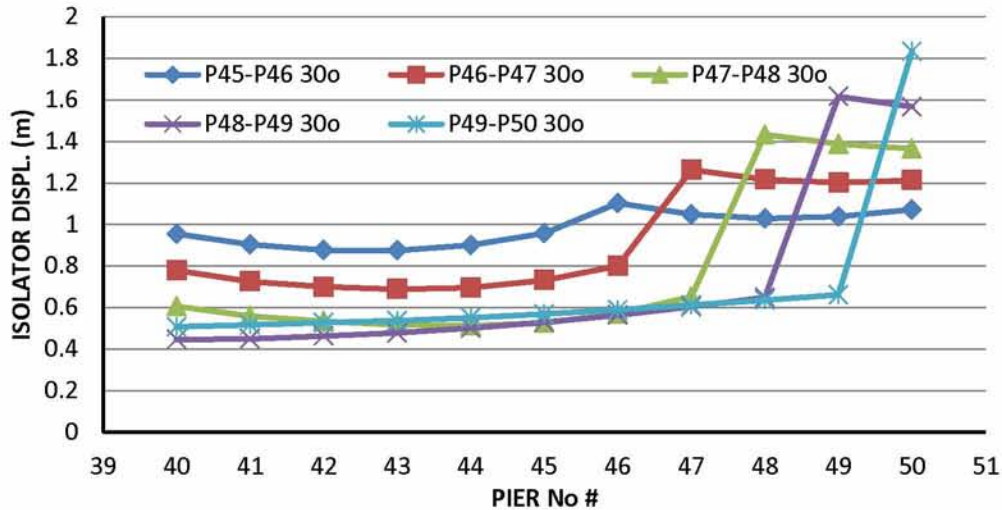


Διάγραμμα 6.3.4. Μέγιστες μετατοπίσεις εφεδράνων κάθε υποστυλώματος για θέση ρήγματος μεταξύ P48-P49 και γωνία ρήγματος 30°, 60° και 90°.

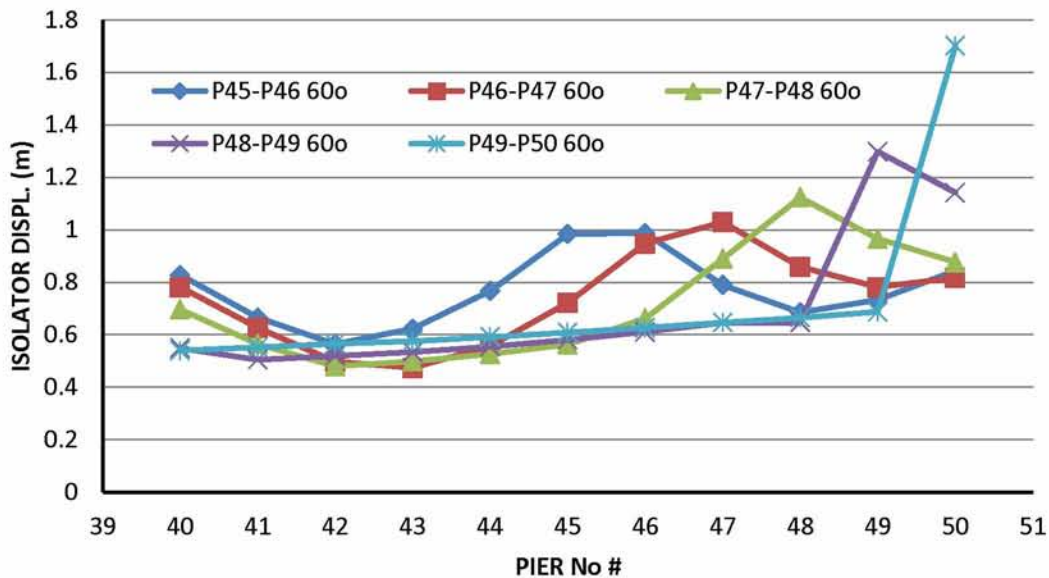


Διάγραμμα 6.3.5. Μέγιστες μετατοπίσεις εφεδράνων κάθε υποστυλώματος για θέση ρήγματος μεταξύ P49-P50 και γωνία ρήγματος 30°, 60° και 90°.

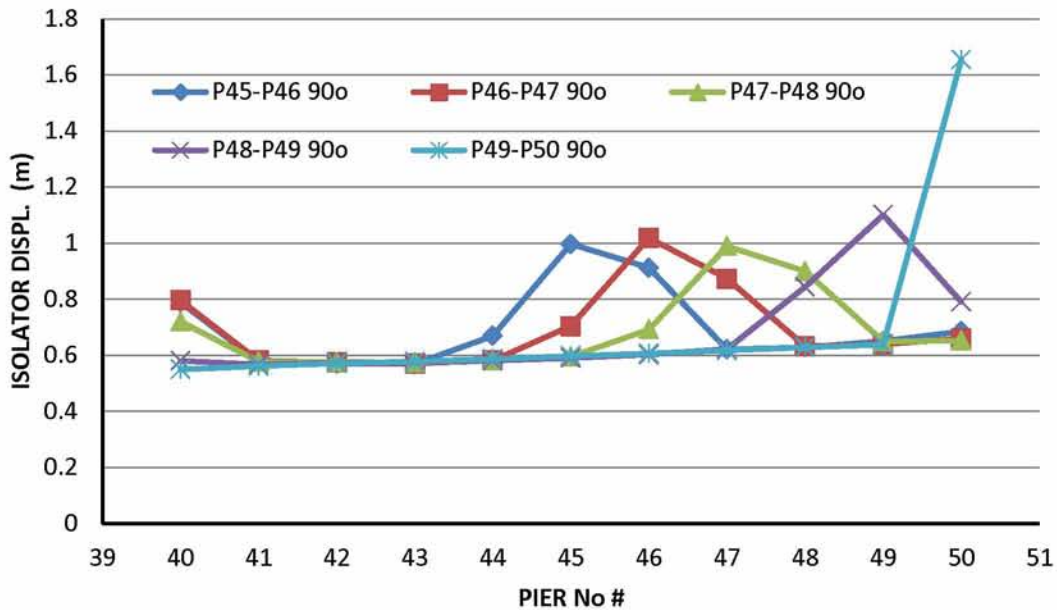
Επίσης η μετακίνηση στα εφεδράνα των βάθρων που βρίσκονται εκατέρωθεν του ρήγματος μεγαλώνουν όσο η θέση του ρήγματος απομακρύνεται από το μέσον του διαμήκη άξονα της γέφυρας όπως φαίνεται και στα Διαγράμματα 6.3.6 έως 6.3.8.



Διάγραμμα 6.3.6. Μέγιστες μετατοπίσεις εφεδράνων κάθε υποστρώματος για γωνία ρήγματος 30° και θέση ρήγματος μεταξύ P45-P46, P46-P47, P47-P48, P48-P49, P49-P50.



Διάγραμμα 6.3.7. Μέγιστες μετατοπίσεις εφεδράνων κάθε υποστρώματος για γωνία ρήγματος 60° και θέση ρήγματος μεταξύ P45-P46, P46-P47, P47-P48, P48-P49, P49-P50.



Διάγραμμα 6.3.8. Μέγιστες μετατοπίσεις εφεδράνων κάθε υποστλώματος για γωνία ρήγματος 90° και θέση ρήγματος μεταξύ P45-P46, P46-P47, P47-P48, P48-P49, P49-P50.

Στις εικόνες 6.3.2 έως 6.3.6 γίνεται εμφανές το μέγεθος της παραμόρφωσης λόγω κάμψης του καταστρώματος της γέφυρας κάτι το οποίο δεν ήταν ιδιαίτερα εμφανές στην περίπτωση της γέφυρας πέντε (5) ανοιγμάτων. Το γεγονός ότι στην γέφυρα δέκα (10) ανοιγμάτων η παραμόρφωση λόγω κάμψης είναι μεγαλύτερη από την γέφυρα πέντε (5) ανοιγμάτων είναι λογικό λόγω του ότι η μεγαλύτερη γέφυρα είναι πολύ πιο εύκαμπτη σε κάμψη σε σχέση με την μικρότερη.

Στα αποτελέσματα φαίνεται ότι οι σχετικές μετακινήσεις των βάθρων σε σχέση με την βάση τους δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλες εάν ληφθεί υπόψη ότι το ύψος των υποστλωμάτων είναι της τάξης των 40 m. Αυτό ήταν αναμενόμενο από την στιγμή που τα εφείδρανα είναι πολύ πιο εύκαμπτα από τα βάρθρα. Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι τα βάρθρα σε μια τέτοια περίπτωση θα πρέπει να σχεδιαστούν πλήρως ελαστικά.

Στους πίνακες που ακολουθούν (6.3.16 έως 6.3.30) παρουσιάζονται οι μέγιστες σχετικές μετακινήσεις των βάθρων ως προς την βάση τους, οι σχετικές μετακινήσεις των εφεδράνων, καθώς και οι προβολές της μετακίνησης του καταστρώματος, της κεφαλής και του πόδα των βάθρων στους άξονες «x» & «z», την χρονική στιγμή που λαμβάνουν χώρα οι μέγιστες σχετικές μετακινήσεις των βάθρων.

Πίνακας 6.3.16. Θέση ρήγματος μεταξύ P45-P46 και γωνία 30°

| Fault crossing angle 30o between P45-P46 | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.896 | 0.025 | -0.984 | 0.106 | 0.976 | -0.618 | 0.873 | -0.643 |
| P41 | 0.479 | -0.110 | -0.738 | 0.110 | 0.451 | -0.532 | 0.353 | -0.582 |
| P42 | 0.456 | -0.111 | -0.657 | 0.117 | 0.453 | -0.532 | 0.350 | -0.587 |
| P43 | 0.450 | -0.113 | -0.569 | 0.120 | 0.455 | -0.531 | 0.348 | -0.585 |
| P44 | 0.458 | -0.114 | -0.472 | 0.126 | 0.457 | -0.531 | 0.342 | -0.583 |
| P45 | 0.513 | 0.080 | 0.053 | 0.144 | 0.071 | -0.454 | -0.072 | -0.435 |
| P46 | 0.981 | -0.066 | -0.158 | 0.158 | -1.028 | 0.393 | -0.871 | 0.374 |
| P47 | 0.896 | -0.066 | 0.009 | 0.168 | -1.031 | 0.395 | -0.863 | 0.380 |
| P48 | 0.837 | -0.066 | 0.170 | 0.178 | -1.033 | 0.397 | -0.856 | 0.389 |
| P49 | 0.808 | -0.065 | 0.325 | 0.184 | -1.036 | 0.399 | -0.852 | 0.400 |
| P50 | 0.804 | -0.064 | 0.475 | 0.188 | -1.037 | 0.400 | -0.849 | 0.409 |

Πίνακας 6.3.17. Θέση ρήγματος μεταξύ P45-P46 και γωνία 60°

| Fault crossing angle 60o between P45-P46 | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.371 | -0.238 | -0.988 | 0.109 | 0.131 | -0.689 | 0.024 | -0.710 |
| P41 | 0.285 | -0.239 | -0.857 | 0.111 | 0.131 | -0.689 | 0.022 | -0.709 |
| P42 | 0.243 | -0.240 | -0.724 | 0.115 | 0.132 | -0.690 | 0.019 | -0.710 |
| P43 | 0.274 | -0.242 | -0.581 | 0.117 | 0.134 | -0.690 | 0.018 | -0.707 |
| P44 | 0.201 | 0.140 | -0.014 | 0.127 | 0.157 | -0.189 | 0.282 | -0.164 |
| P45 | 0.248 | 0.142 | 0.048 | 0.140 | 0.149 | -0.191 | 0.286 | -0.161 |
| P46 | 0.190 | 0.139 | 0.117 | 0.143 | -0.082 | 0.233 | 0.054 | 0.280 |
| P47 | 0.136 | 0.140 | 0.192 | 0.156 | -0.088 | 0.228 | 0.056 | 0.288 |
| P48 | 0.097 | 0.141 | 0.270 | 0.169 | -0.090 | 0.225 | 0.060 | 0.303 |
| P49 | 0.090 | 0.142 | 0.349 | 0.186 | -0.093 | 0.223 | 0.065 | 0.321 |
| P50 | 0.121 | 0.144 | 0.431 | 0.206 | -0.099 | 0.218 | 0.067 | 0.340 |

Πίνακας 6.3.18. Θέση ρήγματος μεταξύ P45-P46 και γωνία 90°

| Fault crossing angle 90o between P46-P45 | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.044 | 0.149 | -0.307 | 0.101 | 0.073 | -0.247 | 0.172 | -0.265 |
| P41 | 0.020 | 0.152 | -0.271 | 0.112 | 0.066 | -0.246 | 0.176 | -0.266 |
| P42 | 0.038 | 0.155 | -0.232 | 0.124 | 0.055 | -0.245 | 0.178 | -0.265 |
| P43 | 0.080 | 0.158 | -0.183 | 0.133 | 0.047 | -0.243 | 0.179 | -0.261 |
| P44 | 0.133 | 0.161 | -0.123 | 0.144 | 0.036 | -0.240 | 0.179 | -0.254 |
| P45 | 0.197 | 0.165 | -0.051 | 0.155 | 0.024 | -0.237 | 0.178 | -0.247 |
| P46 | 0.214 | 0.167 | 0.031 | 0.167 | 0.016 | 0.235 | 0.183 | 0.245 |
| P47 | 0.135 | 0.171 | 0.120 | 0.185 | -0.001 | 0.231 | 0.183 | 0.254 |
| P48 | 0.057 | 0.174 | 0.212 | 0.199 | -0.014 | 0.227 | 0.182 | 0.268 |
| P49 | 0.026 | 0.177 | 0.309 | 0.216 | -0.026 | 0.224 | 0.181 | 0.282 |
| P50 | 0.227 | -0.191 | 0.733 | 0.250 | -0.237 | 0.593 | 0.013 | 0.602 |

Πίνακας 6.3.19. Θέση ρήγματος μεταξύ P46-P47 και γωνία 30°

| Fault crossing angle 30o between P47-P46 | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.419 | 0.003 | -0.797 | 0.095 | 0.452 | -0.532 | 0.368 | -0.577 |
| P41 | 0.389 | 0.003 | -0.742 | 0.100 | 0.452 | -0.532 | 0.365 | -0.582 |
| P42 | 0.365 | 0.002 | -0.685 | 0.107 | 0.453 | -0.532 | 0.362 | -0.588 |
| P43 | 0.351 | 0.002 | -0.618 | 0.109 | 0.454 | -0.532 | 0.360 | -0.588 |
| P44 | 0.450 | 0.160 | -0.032 | 0.122 | 0.060 | -0.437 | -0.061 | -0.422 |
| P45 | 0.497 | 0.154 | 0.008 | 0.139 | 0.069 | -0.451 | -0.069 | -0.433 |
| P46 | 0.555 | 0.151 | 0.061 | 0.159 | 0.077 | -0.460 | -0.080 | -0.441 |
| P47 | 1.102 | 0.118 | -0.140 | 0.194 | -1.031 | 0.395 | -0.837 | 0.374 |
| P48 | 1.030 | 0.120 | 0.034 | 0.205 | -1.034 | 0.398 | -0.830 | 0.383 |
| P49 | 0.984 | 0.121 | 0.203 | 0.211 | -1.037 | 0.400 | -0.825 | 0.392 |
| P50 | 0.961 | 0.122 | 0.366 | 0.217 | -1.038 | 0.401 | -0.820 | 0.399 |

Πίνακας 6.3.20. Θέση ρήγματος μεταξύ P46-P47 και γωνία 60°

| Fault crossing angle 60o between P47-P46 | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.320 | -0.176 | -0.964 | 0.103 | 0.131 | -0.689 | 0.031 | -0.709 |
| P41 | 0.253 | -0.176 | -0.874 | 0.105 | 0.131 | -0.689 | 0.028 | -0.710 |
| P42 | 0.110 | 0.166 | -0.130 | 0.114 | 0.152 | -0.191 | 0.265 | -0.183 |
| P43 | 0.124 | 0.166 | -0.110 | 0.122 | 0.151 | -0.191 | 0.272 | -0.179 |
| P44 | 0.145 | 0.167 | -0.076 | 0.133 | 0.147 | -0.192 | 0.280 | -0.175 |
| P45 | 0.180 | 0.168 | -0.027 | 0.146 | 0.143 | -0.193 | 0.287 | -0.169 |
| P46 | 0.233 | 0.171 | 0.041 | 0.159 | 0.135 | -0.195 | 0.292 | -0.165 |
| P47 | 0.197 | 0.166 | 0.121 | 0.158 | -0.089 | 0.226 | 0.060 | 0.278 |
| P48 | 0.140 | 0.167 | 0.211 | 0.172 | -0.092 | 0.224 | 0.066 | 0.293 |
| P49 | 0.108 | 0.168 | 0.308 | 0.190 | -0.094 | 0.222 | 0.072 | 0.313 |
| P50 | 0.127 | 0.170 | 0.409 | 0.212 | -0.100 | 0.217 | 0.075 | 0.335 |

Πίνακας 6.3.21. Θέση ρήγματος μεταξύ P46-P47 και γωνία 90°

| Fault crossing angle 90o between P46-P47 | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.024 | 0.150 | -0.276 | 0.102 | 0.073 | -0.247 | 0.173 | -0.265 |
| P41 | 0.022 | 0.153 | -0.266 | 0.113 | 0.066 | -0.246 | 0.176 | -0.266 |
| P42 | 0.022 | 0.156 | -0.254 | 0.124 | 0.055 | -0.245 | 0.177 | -0.266 |
| P43 | 0.038 | 0.159 | -0.231 | 0.133 | 0.047 | -0.243 | 0.178 | -0.264 |
| P44 | 0.070 | 0.162 | -0.192 | 0.145 | 0.035 | -0.240 | 0.179 | -0.261 |
| P45 | 0.120 | 0.166 | -0.135 | 0.157 | 0.023 | -0.237 | 0.180 | -0.254 |
| P46 | 0.188 | 0.168 | -0.058 | 0.168 | 0.015 | -0.235 | 0.183 | -0.246 |
| P47 | 0.209 | 0.171 | 0.036 | 0.184 | 0.003 | 0.232 | 0.186 | 0.245 |
| P48 | 0.115 | 0.175 | 0.143 | 0.200 | -0.014 | 0.227 | 0.184 | 0.257 |
| P49 | 0.022 | 0.179 | 0.259 | 0.217 | -0.031 | 0.222 | 0.179 | 0.274 |
| P50 | 0.187 | -0.192 | 0.604 | 0.251 | -0.237 | 0.592 | 0.014 | 0.590 |

Πίνακας 6.3.22. Θέση ρήγματος μεταξύ P47-P48 και γωνία 30°

| Fault crossing angle 30o between P48-P47 | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.318 | 0.116 | -0.761 | 0.086 | 0.453 | -0.532 | 0.379 | -0.576 |
| P41 | 0.295 | 0.116 | -0.727 | 0.090 | 0.453 | -0.532 | 0.377 | -0.580 |
| P42 | 0.274 | 0.116 | -0.690 | 0.095 | 0.453 | -0.532 | 0.375 | -0.587 |
| P43 | 0.435 | 0.237 | -0.085 | 0.104 | 0.054 | -0.422 | -0.050 | -0.409 |
| P44 | 0.466 | 0.234 | -0.060 | 0.118 | 0.059 | -0.434 | -0.059 | -0.420 |
| P45 | 0.501 | 0.229 | -0.031 | 0.135 | 0.069 | -0.451 | -0.065 | -0.434 |
| P46 | 0.544 | 0.225 | 0.009 | 0.153 | 0.079 | -0.462 | -0.073 | -0.443 |
| P47 | 0.601 | 0.222 | 0.058 | 0.177 | 0.086 | -0.467 | -0.091 | -0.451 |
| P48 | 1.237 | 0.301 | -0.148 | 0.232 | -1.034 | 0.398 | -0.804 | 0.371 |
| P49 | 1.177 | 0.302 | 0.017 | 0.238 | -1.036 | 0.400 | -0.800 | 0.376 |
| P50 | 1.134 | 0.305 | 0.182 | 0.246 | -1.038 | 0.402 | -0.793 | 0.383 |

Πίνακας 6.3.23. Θέση ρήγματος μεταξύ P47-P48 και γωνία 60°

| Fault crossing angle 60o between P48-P47 | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.102 | 0.185 | -0.120 | 0.098 | 0.172 | -0.184 | 0.270 | -0.176 |
| P41 | 0.095 | 0.189 | -0.130 | 0.108 | 0.162 | -0.188 | 0.269 | -0.180 |
| P42 | 0.093 | 0.192 | -0.136 | 0.118 | 0.154 | -0.190 | 0.272 | -0.182 |
| P43 | 0.095 | 0.193 | -0.133 | 0.127 | 0.150 | -0.191 | 0.276 | -0.183 |
| P44 | 0.104 | 0.196 | -0.118 | 0.139 | 0.142 | -0.193 | 0.281 | -0.183 |
| P45 | 0.125 | 0.198 | -0.084 | 0.153 | 0.134 | -0.195 | 0.286 | -0.180 |
| P46 | 0.168 | 0.199 | -0.029 | 0.166 | 0.130 | -0.196 | 0.294 | -0.173 |
| P47 | 0.230 | 0.202 | 0.046 | 0.183 | 0.122 | -0.198 | 0.302 | -0.167 |
| P48 | 0.202 | 0.195 | 0.134 | 0.174 | -0.096 | 0.220 | 0.068 | 0.279 |
| P49 | 0.149 | 0.197 | 0.233 | 0.192 | -0.098 | 0.217 | 0.076 | 0.297 |
| P50 | 0.130 | 0.199 | 0.337 | 0.214 | -0.104 | 0.212 | 0.081 | 0.320 |

Πίνακας 6.3.24. Θέση ρήγματος μεταξύ P47-P48 και γωνία 90°

| Fault crossing angle 90o between P48-P47 | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.032 | 0.151 | -0.248 | 0.104 | 0.074 | -0.247 | 0.176 | -0.265 |
| P41 | 0.023 | 0.155 | -0.256 | 0.113 | 0.063 | -0.246 | 0.175 | -0.266 |
| P42 | 0.022 | 0.157 | -0.261 | 0.123 | 0.056 | -0.245 | 0.178 | -0.267 |
| P43 | 0.020 | 0.159 | -0.258 | 0.132 | 0.048 | -0.243 | 0.178 | -0.266 |
| P44 | 0.025 | 0.164 | -0.241 | 0.145 | 0.033 | -0.240 | 0.175 | -0.264 |
| P45 | 0.060 | 0.167 | -0.202 | 0.158 | 0.021 | -0.237 | 0.177 | -0.261 |
| P46 | 0.117 | 0.170 | -0.138 | 0.171 | 0.013 | -0.234 | 0.182 | -0.254 |
| P47 | 0.193 | 0.173 | -0.051 | 0.185 | 0.000 | -0.231 | 0.185 | -0.243 |
| P48 | 0.191 | 0.176 | 0.055 | 0.201 | -0.012 | 0.227 | 0.188 | 0.245 |
| P49 | 0.093 | 0.180 | 0.171 | 0.217 | -0.029 | 0.222 | 0.184 | 0.262 |
| P50 | 0.251 | -0.193 | 0.405 | 0.253 | -0.238 | 0.593 | 0.014 | 0.572 |

Πίνακας 6.3.25. Θέση ρήγματος μεταξύ P48-P49 και γωνία 30°

| Fault crossing angle 30o between P48-P49 | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.132 | 0.209 | 0.046 | 0.079 | 0.252 | -0.057 | 0.323 | -0.022 |
| P41 | 0.130 | 0.214 | 0.042 | 0.088 | 0.246 | -0.066 | 0.325 | -0.028 |
| P42 | 0.127 | 0.223 | 0.037 | 0.097 | 0.235 | -0.080 | 0.324 | -0.042 |
| P43 | 0.127 | 0.228 | 0.034 | 0.104 | 0.226 | -0.089 | 0.324 | -0.052 |
| P44 | 0.131 | 0.233 | 0.036 | 0.116 | 0.218 | -0.098 | 0.327 | -0.059 |
| P45 | 0.523 | 0.303 | -0.062 | 0.130 | 0.067 | -0.448 | -0.062 | -0.434 |
| P46 | 0.551 | 0.299 | -0.038 | 0.148 | 0.078 | -0.461 | -0.069 | -0.446 |
| P47 | 0.589 | 0.297 | -0.008 | 0.170 | 0.087 | -0.469 | -0.082 | -0.455 |
| P48 | 0.635 | 0.295 | 0.028 | 0.195 | 0.095 | -0.473 | -0.100 | -0.465 |
| P49 | 1.401 | 0.482 | -0.244 | 0.271 | -1.037 | 0.400 | -0.770 | 0.356 |
| P50 | 1.351 | 0.486 | -0.105 | 0.275 | -1.039 | 0.403 | -0.768 | 0.359 |

Πίνακας 6.3.26. Θέση ρήγματος μεταξύ P48-P49 και γωνία 60°

| Fault crossing angle 60o between P48-P49 | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.098 | 0.208 | -0.105 | 0.101 | 0.179 | -0.181 | 0.279 | -0.171 |
| P41 | 0.089 | 0.212 | -0.118 | 0.111 | 0.169 | -0.185 | 0.279 | -0.176 |
| P42 | 0.081 | 0.217 | -0.130 | 0.122 | 0.158 | -0.189 | 0.280 | -0.180 |
| P43 | 0.076 | 0.220 | -0.137 | 0.132 | 0.150 | -0.191 | 0.281 | -0.183 |
| P44 | 0.079 | 0.223 | -0.136 | 0.145 | 0.142 | -0.193 | 0.286 | -0.185 |
| P45 | 0.090 | 0.226 | -0.120 | 0.159 | 0.134 | -0.195 | 0.292 | -0.185 |
| P46 | 0.115 | 0.229 | -0.086 | 0.173 | 0.126 | -0.198 | 0.298 | -0.182 |
| P47 | 0.157 | 0.234 | -0.033 | 0.191 | 0.113 | -0.201 | 0.303 | -0.179 |
| P48 | 0.157 | 0.238 | -0.033 | 0.210 | 0.100 | -0.204 | 0.308 | -0.174 |
| P49 | 1.087 | 0.085 | -0.117 | 0.192 | -0.696 | 0.859 | -0.530 | 0.763 |
| P50 | 0.187 | 0.231 | 0.194 | 0.211 | -0.110 | 0.206 | 0.083 | 0.291 |

Πίνακας 6.3.27. Θέση ρήγματος μεταξύ P48-P49 και γωνία 90°

| Fault crossing angle 90o between P48-P49 | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.042 | 0.158 | -0.234 | 0.105 | 0.078 | -0.249 | 0.181 | -0.267 |
| P41 | 0.032 | 0.160 | -0.247 | 0.114 | 0.071 | -0.249 | 0.183 | -0.268 |
| P42 | 0.021 | 0.164 | -0.260 | 0.124 | 0.060 | -0.247 | 0.182 | -0.269 |
| P43 | 0.016 | 0.166 | -0.267 | 0.132 | 0.052 | -0.245 | 0.182 | -0.268 |
| P44 | 0.012 | 0.170 | -0.264 | 0.144 | 0.041 | -0.243 | 0.182 | -0.268 |
| P45 | 0.025 | 0.173 | -0.245 | 0.157 | 0.029 | -0.240 | 0.183 | -0.267 |
| P46 | 0.062 | 0.177 | -0.203 | 0.170 | 0.017 | -0.236 | 0.185 | -0.264 |
| P47 | 0.120 | 0.180 | -0.138 | 0.186 | 0.004 | -0.233 | 0.189 | -0.257 |
| P48 | 0.191 | 0.182 | -0.056 | 0.201 | -0.004 | -0.230 | 0.196 | -0.246 |
| P49 | 0.207 | 0.186 | 0.036 | 0.218 | -0.021 | 0.225 | 0.196 | 0.242 |
| P50 | 0.472 | -0.182 | 0.123 | 0.250 | -0.227 | 0.594 | 0.020 | 0.558 |

Πίνακας 6.3.28. Θέση ρήγματος μεταξύ P49-P50 και γωνία 30°

| Fault crossing angle 30o between P49-P50 | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.097 | 0.265 | 0.057 | 0.085 | 0.262 | -0.041 | 0.340 | -0.007 |
| P41 | 0.097 | 0.274 | 0.055 | 0.094 | 0.254 | -0.052 | 0.341 | -0.017 |
| P42 | 0.099 | 0.285 | 0.054 | 0.104 | 0.242 | -0.066 | 0.339 | -0.031 |
| P43 | 0.103 | 0.291 | 0.052 | 0.112 | 0.233 | -0.075 | 0.339 | -0.041 |
| P44 | 0.107 | 0.295 | 0.053 | 0.123 | 0.227 | -0.081 | 0.345 | -0.044 |
| P45 | 0.115 | 0.301 | 0.056 | 0.136 | 0.218 | -0.090 | 0.349 | -0.051 |
| P46 | 0.125 | 0.305 | 0.063 | 0.149 | 0.212 | -0.096 | 0.355 | -0.053 |
| P47 | 0.140 | 0.311 | 0.076 | 0.166 | 0.203 | -0.105 | 0.362 | -0.057 |
| P48 | 0.618 | 0.391 | -0.042 | 0.187 | 0.112 | -0.448 | -0.075 | -0.446 |
| P49 | 0.646 | 0.390 | -0.032 | 0.212 | 0.121 | -0.453 | -0.091 | -0.461 |
| P50 | 1.607 | 0.686 | -0.464 | 0.329 | -0.997 | 0.459 | -0.679 | 0.375 |

Πίνακας 6.3.29. Θέση ρήγματος μεταξύ P49-P50 και γωνία 60°

| Fault crossing angle 60o between P49-P50 | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.083 | 0.239 | -0.104 | 0.104 | 0.187 | -0.180 | 0.290 | -0.170 |
| P41 | 0.080 | 0.243 | -0.110 | 0.114 | 0.180 | -0.182 | 0.294 | -0.172 |
| P42 | 0.075 | 0.248 | -0.118 | 0.126 | 0.170 | -0.186 | 0.295 | -0.176 |
| P43 | 0.071 | 0.252 | -0.124 | 0.136 | 0.161 | -0.188 | 0.297 | -0.179 |
| P44 | 0.069 | 0.257 | -0.129 | 0.150 | 0.150 | -0.192 | 0.300 | -0.183 |
| P45 | 0.070 | 0.262 | -0.129 | 0.165 | 0.138 | -0.195 | 0.303 | -0.187 |
| P46 | 0.077 | 0.268 | -0.122 | 0.181 | 0.125 | -0.199 | 0.306 | -0.190 |
| P47 | 0.091 | 0.273 | -0.106 | 0.200 | 0.113 | -0.202 | 0.312 | -0.190 |
| P48 | 0.112 | 0.278 | -0.083 | 0.219 | 0.100 | -0.205 | 0.318 | -0.189 |
| P49 | 0.287 | 0.103 | -0.417 | 0.245 | 0.106 | -0.619 | 0.347 | -0.577 |
| P50 | 1.474 | 0.198 | -0.584 | 0.249 | -0.687 | 0.870 | -0.490 | 0.717 |

Πίνακας 6.3.30. Θέση ρήγματος μεταξύ P49-P50 και γωνία 90°

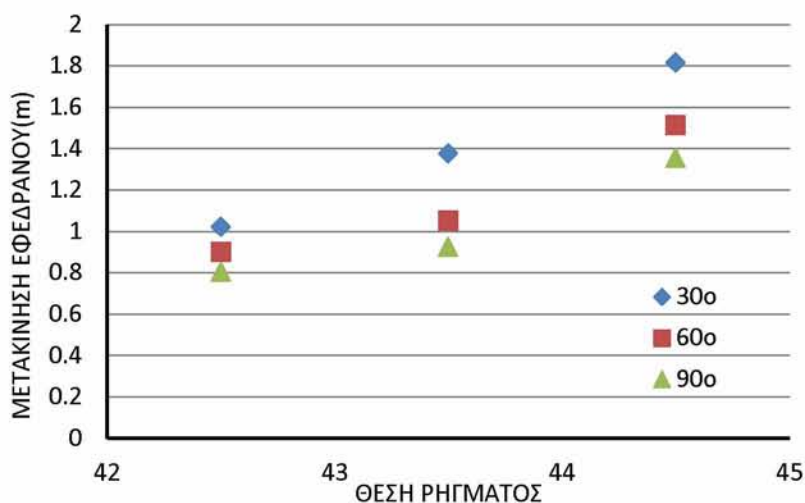
| Fault crossing angle 90o between P49-P50 | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | DISPL. ISO (m) | Ux deck (m) | Uz deck (m) | MAX DISPL COL (m) | Ux col base (m) | Uz col base (m) | Ux col top (m) | Uz col top (m) |
| P40 | 0.045 | 0.161 | -0.229 | 0.106 | 0.078 | -0.249 | 0.183 | -0.266 |
| P41 | 0.037 | 0.163 | -0.238 | 0.115 | 0.071 | -0.249 | 0.184 | -0.267 |
| P42 | 0.027 | 0.167 | -0.248 | 0.125 | 0.060 | -0.247 | 0.183 | -0.268 |
| P43 | 0.020 | 0.169 | -0.254 | 0.133 | 0.052 | -0.245 | 0.183 | -0.268 |
| P44 | 0.015 | 0.173 | -0.259 | 0.144 | 0.041 | -0.243 | 0.183 | -0.268 |
| P45 | 0.015 | 0.176 | -0.256 | 0.157 | 0.029 | -0.240 | 0.183 | -0.269 |
| P46 | 0.026 | 0.180 | -0.244 | 0.170 | 0.017 | -0.237 | 0.184 | -0.268 |
| P47 | 0.047 | 0.183 | -0.223 | 0.186 | 0.004 | -0.233 | 0.187 | -0.268 |
| P48 | 0.074 | 0.187 | -0.194 | 0.201 | -0.008 | -0.229 | 0.190 | -0.267 |
| P49 | 0.105 | 0.190 | -0.162 | 0.216 | -0.021 | -0.225 | 0.191 | -0.265 |
| P50 | 0.811 | -0.173 | -0.261 | 0.248 | -0.227 | 0.593 | 0.013 | 0.533 |

Κεφάλαιο 7

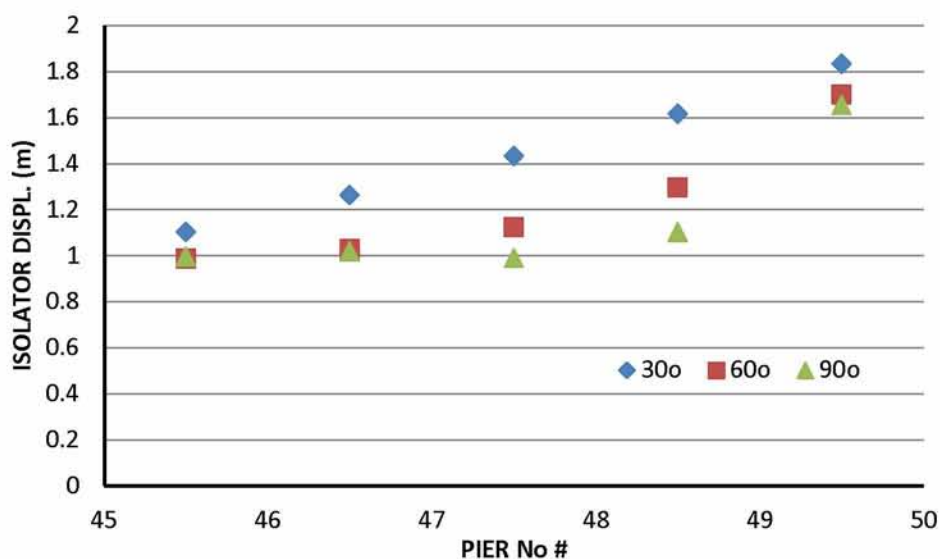
Συμπεράσματα

Από τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν προκύπτει ότι το εφέδρανο τριβής σε σφαιρική επιφάνεια μπορεί να προσομοιωθεί στο λογισμικό ABAQUS με τέτοιο τρόπο ώστε να λαμβάνει υπόψη όλες τις παραμέτρους που επηρεάζουν την συμπεριφορά του, όπως είναι η εξάρτηση του συντελεστή τριβής από την ταχύτητα ολίσθησης καθώς και η μεταβολή της κάθετης δύναμης που φθάνει στο εφέδρανο. Επίσης το συγκεκριμένο μοντέλο δεν επιβαρύνει τις αναλύσεις με επιπλέον υπολογιστικό χρόνο και παρέχει την δυνατότητα χρήσης κατακόρυφης διέγερσης.

Από τα αποτελέσματα των δύο (2) περιπτώσεων που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 6 προκύπτει ότι στην περίπτωση σεισμικά μονωμένης γέφυρας η οποία διατρέχει σεισμικό ρήγμα οι μέγιστες μετακινήσεις των εφεδράνων παρουσιάζονται στα βάρθρα εκατέρωθεν του ρήγματος. Οι τελευταίες μεγαλώνουν όσο μικραίνει η γωνία μεταξύ του ρήγματος και του διαμήκη άξονα της γέφυρας. Η μετακίνηση στα εφέδρανα των βάρθρων που βρίσκονται εκατέρωθεν του ρήγματος μεγαλώνουν όσο η θέση του ρήγματος απομακρύνεται από το μέσον του διαμήκη άξονα της γέφυρας. Στο Διάγραμμα 7.1 παρουσιάζονται οι μέγιστες μετακινήσεις εφεδράνων για όλες τις περιπτώσεις που αναλύθηκαν στην γέφυρα πέντε (5) ανοιγμάτων και στο Διάγραμμα 7.2 παρουσιάζονται οι μέγιστες μετακινήσεις εφεδράνων για όλες τις περιπτώσεις που αναλύθηκαν στη γέφυρα δέκα (10) ανοιγμάτων.



Διάγραμμα 7.1. Μέγιστες μετακινήσεις εφεδράνων Γεφυρα 5 ανοιγμάτων για γωνίες 30°, 60° και 90° μοιρών και θέση ρήγματος μεταξύ P42-P43, P43-P44 και P44-P45



Διάγραμμα 7.2. Μεγιστες μετακινήσεις εφεδράνων Γεφυρα 10 ανοιγμάτων για γωνίες 30°,60° και 90° μοιρών και θέση ρήγματος μεταξύ P45-P46, P46-P47 και P47-P48, P48-P49, P49-P50.

Στην ανάλυση χρονοϊστορίας πολύ σημαντικό ρόλο παίζει η επιλογή των εδαφικών διεγέρσεων. Στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν συνθετικές εδαφικές διεγέρσεις οι οποίες είναι αποδεκτές από σεισμολογικής πλευράς. Από τα αποτελέσματα του Κεφαλαίου 5 προκύπτει το συμπέρασμα ότι η επιλογή της φοράς στην οποία θα ασκηθούν οι εδαφικές διεγέρσεις επηρεάζει τα αποτελέσματα. Συγκεκριμένα οι τέσσερις (4) δυνατές περιπτώσεις φόρτισης της γέφυρας δίνουν ίδια αποτελέσματα ανά δύο (2), πράγμα που σημαίνει ότι για το ίδιο σενάριο εδαφικών διεγέρσεων χρειάζεται να γίνουν 2 αναλύσεις. Δηλαδή εάν κάποιος επιλέξει αυθαίρετα μία φορά για την παράλληλη και την κάθετη διέγερση στην διεύθυνση του ρήγματος αρκεί να ξανατρέξει την ανάλυση του αλλάζοντας ή την κάθετη φορά της διέγερσης ή την παράλληλη, όχι και τις δύο (2).

Στη γενική περίπτωση που δεν είναι γνωστή η θέση του ρήγματος η λογική με την οποία θα πρέπει να διαστασιολογηθούν τα εφέδρανα είναι η εξής στο μέσον της γέφυρας πρέπει να τοποθετηθούν εφέδρανα με μέγιστη δυνατή σχετική μετατόπιση τουλάχιστον ίση με την αναμενόμενη ολίσθηση του ρήγματος ενώ τα υπόλοιπα εφέδρανα θα πρέπει να έχουν όλο και μεγαλύτερη ικανότητα σχετικής μετακίνησης, από την αναμενόμενη ολίσθηση του ρήγματος, καθώς απομακρύνονται από το μέσον της γέφυρας.

Παράρτημα

A1. Τυπικό αρχείο δεδομένων του μοντέλου γέφυρας πέντε ανοιγμάτων για το λογισμικό Abaqus (input file)

```
*HEADING
5 SPAN BRIDGE FPS BEARING CASE 1 P42-P43 FAULT 30o - SSI MODEL [N-m]
*****
**Column Nodes
**-----
*NODE
1005, 0.0, -41., .0.
1105, 0.0, 0., .0.
2005, 39.2, -41., .0.
2105, 39.2, 0., .0.
3005, 78.4, -41., .0.
3105, 78.4, 0., .0.
4005, 117.6, -41., .0.
4105, 117.6, 0., .0.
5005, 156.8, -41., .0.
5105, 156.8, 0., .0.
6005, 196.0, -41., .0.
6105, 196.0, 0., .0.
*NGEN
1005, 1105, 10
2005, 2105, 10
3005, 3105, 10
4005, 4105, 10
5005, 5105, 10
6005, 6105, 10
**Foundation Nodes
**-----
*NODE
1001, 0.0, -41., .0.
2001, 39.2, -41., .0.
3001, 78.4, -41., .0.
4001, 117.6, -41., .0.
5001, 156.8, -41., .0.
6001, 196.0, -41., .0.
**Cap Beams Nodes
**-----
*NODE
1102, 0., 0., -6.9
1108, 0., 0., 6.9
2102, 39.2, 0., -6.9
2108, 39.2, 0., 6.9
3102, 78.4, 0., -6.9
3108, 78.4, 0., 6.9
4102, 117.6, 0., -6.9
4108, 117.6, 0., 6.9
5102, 156.8, 0., -6.9
5108, 156.8, 0., 6.9
6102, 196., 0., -6.9
6108, 196., 0., 6.9
*NGEN, Nset=CapBeam
1102, 1108, 1
2102, 2108, 1
3102, 3108, 1
4102, 4108, 1
5102, 5108, 1
6102, 6108, 1
**Isolation Nodes
**-----
*NODE
1113, 0., 0.2, -4.6
1117, 0., 0.2, 4.6
6113, 196.0, 0.2, -4.6
```

```

6117,196.0 ,0.2 , 4.6
*NGEN
1113 ,6113, 1000
1117 ,6117, 1000
**-----
*NODE
11130 ,0. ,0. , -4.6
11170 ,0. ,0. , 4.6
16130 ,196.0 ,0. , -4.6
16170 ,196.0 ,0. , 4.6
*NGEN
11130 ,16130, 1000
11170 ,16170, 1000
**Additional Nodes for the Isolation
**-----
*NODE
1123 , 0. ,0.2 , -4.6
1127 , 0. ,0.2 , 4.6
6123 ,196.0 ,0.2 , -4.6
6127 ,196.0 ,0.2 , 4.6
*NGEN
1123 ,6123 , 1000
1127 ,6127 , 1000
**Deck Nodes
**-----
*Node
1200 , 0. ,1.7 ,0
6200 , 196.0 ,1.7 ,0
*NGEN
1200,6200,250
**-----
**DEFINE ELEMENTS
**-----
**COLUMNS
**-----
*ELEMENT,TYPE=B31,ELSET=END_COL
101 ,1005 ,1015
601 ,6005 ,6015
*ELGEN,ELSET=END_COL
101 ,10,10,1,1,1000,100
601 ,10,10,1,1,1000,100
**-----
*ELEMENT,TYPE=B31,ELSET=COL
201 ,2005 ,2015
*ELGEN,ELSET=COL
201 ,10,10,1,4,1000,100
**-----
**CAP BEAMS
**-----
*ELEMENT,TYPE=B31,ELSET=END_CBEAM
121 ,1102 ,1103
126 ,1107 ,1108
621 ,6102 ,6103
626 ,6107 ,6108
**-----
*ELEMENT,TYPE=B31,ELSET=CBEAM
221,2102,2103
226,2107,2108
*ELGEN,ELSET=CBEAM
221,1,1,1,4,1000,100
226,1,1,1,4,1000,100
**-----
**RIGID CAP BEAMS
**-----
*ELEMENT,TYPE=B31,ELSET=END_RCBEAM
122 ,1103 ,1104
622 ,6103 ,6104
*ELGEN,ELSET=END_RCBEAM
122 ,4,1,1,1,1000,100
622 ,4,1,1,1,1000,100
**-----

```

```

*ELEMENT,TYPE=B31,ELSET=RCBEAM
222,2103,2104
*ELGEN,ELSET=RCBEAM
222,4,1,1,4,1000,100
**-----
**ISOLATION SYSTEM
**-----
** INTERACTION PROPERTIES
**
*Surface Interaction, name=IntProp-1
1.,
*Friction, user=coefficient, properties=3, elastic slip=0.00025
0.06, 0.03, 20.
**-----
**FPS11
**-----
*Surface, type=REVOLUTION, name=RigidSurface11
0., 0., -4.6, 0., 1., -4.6
START, 0., 0.
CIRCL, 3, 0.8038, 0, 6.
*Rigid body, analytical surface=RigidSurface11, ref node=1103
**-----
*Nset, nset=slave11
11130,
*Surface, type=NODE, name=slavesurf11
slave11,1.
**-----
** INTERACTIONS
**
** Interaction: Int-11
*Contact Pair, interaction=IntProp-1, TYPE=NODE TO SURFACE
slavesurf11, RigidSurface11
**-----
**FPS12
**-----
*Surface, type=REVOLUTION, name=RigidSurface12
0., 0., 4.6, 0., 1., 4.6
START, 0., 0.
CIRCL, 3, 0.8038, 0, 6.
*Rigid body, analytical surface=RigidSurface12, ref node=1107
**-----
*Nset, nset=slave12
11170,
*Surface, type=NODE, name=slavesurf12
slave12,1.
**-----
** INTERACTIONS
**
** Interaction: Int-12
*Contact Pair, interaction=IntProp-1, TYPE=NODE TO SURFACE
slavesurf12, RigidSurface12
**-----
**FPS21
**-----
*Surface, type=REVOLUTION, name=RigidSurface21
39.2, 0., -4.6, 39.2, 1., -4.6
START, 0., 0.
CIRCL, 3, 0.8038, 0, 6.
*Rigid body, analytical surface=RigidSurface21, ref node=2103
**-----
*Nset, nset=slave21
12130,
*Surface, type=NODE, name=slavesurf21
slave21,1.
**-----
** INTERACTIONS
**
** Interaction: Int-21
*Contact Pair, interaction=IntProp-1, TYPE=NODE TO SURFACE
slavesurf21, RigidSurface21
**-----

```

```

**FPS22
** -----
*Surface, type=REVOLUTION, name=RigidSurface22
39.2 , 0. , 4.6 , 39.2 , 1. , 4.6
START, 0., 0.
CIRCL, 3 , 0.8038 , 0 , 6.
*Rigid body, analytical surface=RigidSurface22, ref node=2107
** -----
*Nset, nset=slave22
12170,
*Surface, type=NODE, name=slavesurf22
slave22,1.
** -----
** INTERACTIONS
**
** Interaction: Int-22
*Contact Pair, interaction=IntProp-1, TYPE=NODE TO SURFACE
slavesurf22, RigidSurface22
** -----
**FPS31
** -----
*Surface, type=REVOLUTION, name=RigidSurface31
78.4 , 0. , -4.6 , 78.4 , 1. , -4.6
START, 0., 0.
CIRCL, 3 , 0.8038 , 0 , 6.
*Rigid body, analytical surface=RigidSurface31, ref node=3103
** -----
*Nset, nset=slave31
13130,
*Surface, type=NODE, name=slavesurf31
slave31,1.
** -----
** INTERACTIONS
**
** Interaction: Int-31
*Contact Pair, interaction=IntProp-1, TYPE=NODE TO SURFACE
slavesurf31, RigidSurface31
** -----
**FPS32
** -----
*Surface, type=REVOLUTION, name=RigidSurface32
78.4 , 0. , 4.6 , 78.4 , 1. , 4.6
START, 0., 0.
CIRCL, 3 , 0.8038 , 0 , 6.
*Rigid body, analytical surface=RigidSurface32, ref node=3107
** -----
*Nset, nset=slave32
13170,
*Surface, type=NODE, name=slavesurf32
slave32,1.
** -----
** INTERACTIONS
**
** Interaction: Int-32
*Contact Pair, interaction=IntProp-1, TYPE=NODE TO SURFACE
slavesurf32, RigidSurface32
** -----
**FPS41
** -----
*Surface, type=REVOLUTION, name=RigidSurface41
117.6 , 0. , -4.6 , 117.6 , 1. , -4.6
START, 0., 0.
CIRCL, 3 , 0.8038 , 0 , 6.
*Rigid body, analytical surface=RigidSurface41, ref node=4103
** -----
434, 41130, 4113
*Nset, nset=slave41
14130,
*Surface, type=NODE, name=slavesurf41
slave41,1.
** -----

```

```

** INTERACTIONS
**
** Interaction: Int-41
*Contact Pair, interaction=IntProp-1, TYPE=NODE TO SURFACE
slavesurf41, RigidSurface41
** -----
**FPS42
** -----
*Surface, type=REVOLUTION, name=RigidSurface42
117.6, 0., 4.6, 117.6, 1., 4.6
START, 0., 0.
CIRCL, 3, 0.8038, 0, 6.
*Rigid body, analytical surface=RigidSurface42, ref node=4107
** -----
*Nset, nset=slave42
14170,
*Surface, type=NODE, name=slavesurf42
slave42,1.
** -----
** INTERACTIONS
**
** Interaction: Int-42
*Contact Pair, interaction=IntProp-1, TYPE=NODE TO SURFACE
slavesurf42, RigidSurface42
** -----
**FPS51
** -----
*Surface, type=REVOLUTION, name=RigidSurface51
156.8, 0., -4.6, 156.8, 1., -4.6
START, 0., 0.
CIRCL, 3, 0.8038, 0, 6.
*Rigid body, analytical surface=RigidSurface51, ref node=5103
** -----
*Nset, nset=slave51
15130,
*Surface, type=NODE, name=slavesurf51
slave51,1.
** -----
** INTERACTIONS
**
** Interaction: Int-51
*Contact Pair, interaction=IntProp-1, TYPE=NODE TO SURFACE
slavesurf51, RigidSurface51
** -----
**FPS52
** -----
*Surface, type=REVOLUTION, name=RigidSurface52
156.8, 0., 4.6, 156.8, 1., 4.6
START, 0., 0.
CIRCL, 3, 0.8038, 0, 6.
*Rigid body, analytical surface=RigidSurface52, ref node=5107
** -----
*Nset, nset=slave52
15170,
*Surface, type=NODE, name=slavesurf52
slave52,1.
** -----
** INTERACTIONS
**
** Interaction: Int-52
*Contact Pair, interaction=IntProp-1, TYPE=NODE TO SURFACE
slavesurf52, RigidSurface52
** -----
**FPS61
** -----
*Surface, type=REVOLUTION, name=RigidSurface61
196., 0., -4.6, 196., 1., -4.6
START, 0., 0.
CIRCL, 3, 0.8038, 0, 6.
*Rigid body, analytical surface=RigidSurface61, ref node=6103
** -----

```

```

*Nset, nset=slave61
16130,
*Surface, type=NODE, name=slavesurf61
slave61,1.
** -----
** INTERACTIONS
**
** Interaction: Int-61
*Contact Pair, interaction=IntProp-1, TYPE=NODE TO SURFACE
slavesurf61, RigidSurface61
** -----
**FPS62
** -----
*Surface, type=REVOLUTION, name=RigidSurface62
196., 0., 4.6, 196., 1., 4.6
START, 0., 0.
CIRCL, 3, 0.8038, 0, 6.
*Rigid body, analytical surface=RigidSurface62, ref node=6107
** -----
*Nset, nset=slave62
16170,
*Surface, type=NODE, name=slavesurf62
slave62,1.
** -----
** INTERACTIONS
**
** Interaction: Int-62
*Contact Pair, interaction=IntProp-1, TYPE=NODE TO SURFACE
slavesurf62, RigidSurface62
** -----
*ELEMENT,TYPE=RB2D2,ELSET=LINK1
142, 1200, 1123
146, 1200, 1127
*ELCOPY, ELEMENT SHIFT=100, OLD SET=LINK1, SHIFT NODES=1000, NEW SET=LINK2
*ELCOPY, ELEMENT SHIFT=200, OLD SET=LINK1, SHIFT NODES=2000, NEW SET=LINK3
*ELCOPY, ELEMENT SHIFT=300, OLD SET=LINK1, SHIFT NODES=3000, NEW SET=LINK4
*ELCOPY, ELEMENT SHIFT=400, OLD SET=LINK1, SHIFT NODES=4000, NEW SET=LINK5
*ELCOPY, ELEMENT SHIFT=500, OLD SET=LINK1, SHIFT NODES=5000, NEW SET=LINK6
** -----
*RIGID BODY, REF NODE=1200, ELSET=LINK1
*RIGID BODY, REF NODE=2200, ELSET=LINK2
*RIGID BODY, REF NODE=3200, ELSET=LINK3
*RIGID BODY, REF NODE=4200, ELSET=LINK4
*RIGID BODY, REF NODE=5200, ELSET=LINK5
*RIGID BODY, REF NODE=6200, ELSET=LINK6
** -----
*ELEMENT,TYPE=RB3D2,ELSET=RBEAM1
152, 1113, 11130
*ELCOPY, ELEMENT SHIFT=100, OLD SET=RBEAM1, SHIFT NODES=1000, NEW SET=RBEAM2
*ELCOPY, ELEMENT SHIFT=200, OLD SET=RBEAM1, SHIFT NODES=2000, NEW SET=RBEAM3
*ELCOPY, ELEMENT SHIFT=300, OLD SET=RBEAM1, SHIFT NODES=3000, NEW SET=RBEAM4
*ELCOPY, ELEMENT SHIFT=400, OLD SET=RBEAM1, SHIFT NODES=4000, NEW SET=RBEAM5
*ELCOPY, ELEMENT SHIFT=500, OLD SET=RBEAM1, SHIFT NODES=5000, NEW SET=RBEAM6
** -----
*RIGID BODY, REF NODE=1113, ELSET=RBEAM1
*RIGID BODY, REF NODE=2113, ELSET=RBEAM2
*RIGID BODY, REF NODE=3113, ELSET=RBEAM3
*RIGID BODY, REF NODE=4113, ELSET=RBEAM4
*RIGID BODY, REF NODE=5113, ELSET=RBEAM5
*RIGID BODY, REF NODE=6113, ELSET=RBEAM6
** -----
*ELEMENT,TYPE=RB3D2,ELSET=RBEAM12
156, 1117, 11170
*ELCOPY, ELEMENT SHIFT=100, OLD SET=RBEAM12, SHIFT NODES=1000, NEW SET=RBEAM22
*ELCOPY, ELEMENT SHIFT=200, OLD SET=RBEAM12, SHIFT NODES=2000, NEW SET=RBEAM32
*ELCOPY, ELEMENT SHIFT=300, OLD SET=RBEAM12, SHIFT NODES=3000, NEW SET=RBEAM42
*ELCOPY, ELEMENT SHIFT=400, OLD SET=RBEAM12, SHIFT NODES=4000, NEW SET=RBEAM52
*ELCOPY, ELEMENT SHIFT=500, OLD SET=RBEAM12, SHIFT NODES=5000, NEW SET=RBEAM62
** -----
*RIGID BODY, REF NODE=1117, ELSET=RBEAM12
*RIGID BODY, REF NODE=2117, ELSET=RBEAM22

```



```

*RIGID BODY, REF NODE=3117, ELSET=RBEAM32
*RIGID BODY, REF NODE=4117, ELSET=RBEAM42
*RIGID BODY, REF NODE=5117, ELSET=RBEAM52
*RIGID BODY, REF NODE=6117, ELSET=RBEAM62
**-----
*KINEMATIC COUPLING, REF NODE=1123
1113, 1, 3
*KINEMATIC COUPLING, REF NODE=1127
1117, 1, 3
*KINEMATIC COUPLING, REF NODE=2123
2113, 1, 3
*KINEMATIC COUPLING, REF NODE=2127
2117, 1, 3
*KINEMATIC COUPLING, REF NODE=3123
3113, 1, 3
*KINEMATIC COUPLING, REF NODE=3127
3117, 1, 3
*KINEMATIC COUPLING, REF NODE=4123
4113, 1, 3
*KINEMATIC COUPLING, REF NODE=4127
4117, 1, 3
*KINEMATIC COUPLING, REF NODE=5123
5113, 1, 3
*KINEMATIC COUPLING, REF NODE=5127
5117, 1, 3
*KINEMATIC COUPLING, REF NODE=6123
6113, 1, 3
*KINEMATIC COUPLING, REF NODE=6127
6117, 1, 3
**-----
**GIRDER
**-----
*ELEMENT,TYPE=B31,ELSET=GIRDER
6101,1200,1450
*ELGEN,ELSET=GIRDER
6101,1,1,1,20,250,1
**-----
*BEAM GENERAL SECTION,ELSET=END_COL, DENSITY=1251
14.30,106.3,,38.30,88.50
1,0,0
11.8E9,5.04E9
*DAMPING, ALPHA=0.04927, BETA=0.00658
**-----
*BEAM GENERAL SECTION,ELSET=COL, DENSITY=2502
14.30,106.3,,38.30,88.50
1,0,0
23.6E9,10.08E9
*DAMPING, ALPHA=0.04927, BETA=0.00658
**-----
*BEAM GENERAL SECTION, ELSET=END_CBEAM, DENSITY=1251
7.5,1.4,,15.6,4.6
1,0,0
11.8E9,5.04E9
*DAMPING, ALPHA=0.04927, BETA=0.00658
**-----
*BEAM GENERAL SECTION, ELSET=CBEAM, DENSITY=2502
7.5,1.4,,15.6,4.6
1,0,0
23.6E9,10.08E9
*DAMPING, ALPHA=0.04927, BETA=0.00658
**-----
*BEAM GENERAL SECTION, ELSET=END_RCBEAM, DENSITY=125
100,1000,,1000,1000
1,0,0
23.6E9,10.08E9
*DAMPING, ALPHA=0.04927, BETA=0.00658
**-----
*BEAM GENERAL SECTION, ELSET=RCBEAM, DENSITY=250
100,1000,,1000,1000
1,0,0
23.6E9,10.08E9

```

```

*DAMPING, ALPHA=0.04927, BETA=0.00658
**-----
*BEAM GENERAL SECTION,ELSET=GIRDER, DENSITY=2867
12.88,0.581,,328,2.33
,,
31.20E9,13.33E9
*DAMPING, ALPHA=0.04927, BETA=0.00658
**-----
*NGEN, NSET=BASE1
1005,3005,1000
*NGEN, NSET=BASE2
4005,6005,1000
*NGEN, NSET=PIER_BASE
1005,6005,1000
*NGEN, NSET=PIER_TOP
1103,6103,1000
1107,6107,1000
*NGEN, NSET=ISO_TOP2
2123,5123,1000
2127,5127,1000
*NGEN, NSET=ISO_TOP1
1123,6123,5000
1127,6127,5000
*NGEN, NSET=RFDECK2
2200,5200,1000
*NGEN, NSET=RFDECK1
1200,6200,5000
*NGEN, NSET=ISO_TOP
1113,6113,1000
1117,6117,1000
*NGEN, NSET=ISO_BASE
11130,16130,1000
11170,16170,1000
*BOUNDARY
BASE1 , 1, 6
BASE2 , 1, 6
PIER_BASE , 2, 2
PIER_BASE , 5, 5
ISO_TOP , 4, 6
ISO_BASE , 4, 6
RFDECK1 , 6, 6
RFDECK2 , 6, 6
**-----
*AMPLITUDE, NAME=Acc11, INPUT=Long_S2_30.inp
*AMPLITUDE, NAME=ACC31, INPUT=Tran_S2_30.inp
*AMPLITUDE, NAME=ACC12, INPUT=Long_S1_30.inp
*AMPLITUDE, NAME=ACC32, INPUT=Tran_S1_30.inp
*STEP, INC=20000
*DYNAMIC, TIME INTEGRATOR=BWE
0.005, 30., 1E-15, 0.005
*CLOAD
ISO_TOP2, 2, -7500000
*CLOAD
ISO_TOP1, 2, -3750000
*BOUNDARY, TYPE=ACCELERATION, AMPLITUDE=Acc11
Base1,1,1,-0.01
*BOUNDARY, TYPE=ACCELERATION, AMPLITUDE=Acc31
Base1,3,3,-0.01
*BOUNDARY, TYPE=ACCELERATION, AMPLITUDE=Acc12
Base2,1,1,-0.01
*BOUNDARY, TYPE=ACCELERATION, AMPLITUDE=Acc32
Base2,3,3,-0.01
*OUTPUT, FIELD, FREQUENCY=1
*NODE OUTPUT
A, U, V
*ELEMENT OUTPUT, ELSET=END_CBEAM
SF, NFORC
*ELEMENT OUTPUT, ELSET=CBEAM
SF, NFORC
*ELEMENT OUTPUT, ELSET=RCBEAM
SF, NFORC

```

```
*ELEMENT OUTPUT, ELSET=END_RCBEAM
SF, NFORC
*ELEMENT OUTPUT, ELSET=COL
SF, NFORC
*ELEMENT OUTPUT, ELSET=END_COL
SF, NFORC
*OUTPUT, HISTORY, FREQUENCY=1
*NODE OUTPUT ,NSET=PIER_TOP
U1,U3
*NODE OUTPUT ,NSET=PIER_BASE
U1,U3
*ELEMENT OUTPUT, ELSET=END_CBEAM
SF, NFORC
*ELEMENT OUTPUT, ELSET=CBEAM
SF, NFORC
*ELEMENT OUTPUT, ELSET=RCBEAM
SF, NFORC
*ELEMENT OUTPUT, ELSET=COL
SF, NFORC
*ELEMENT OUTPUT, ELSET=END_COL
SF, NFORC
*ELEMENT OUTPUT, ELSET=END_RCBEAM
SF, NFORC
*END STEP
```

A2. Υπορουτίνα FRIC_COEF

```
subroutine fric_coef(fCoef, fCoefDeriv, nBlock, nProps,  
* nTemp, nFields, jFlags, rData, surfInt, surfSlv, surfMst,  
* props, slipRate, pressure, tempAvg, fieldAvg )  
  
include 'aba_param.inc'  
  
parameter( jKStep = 1,  
* jKInc = 2,  
* nFlags = 2,  
* jTimStep = 1,  
* jTimGlb = 2,  
* jDTimCur = 3,  
* nData = 3,  
* idfdSlipRate = 1,  
* idfdPressure = 2,  
* idfdtemperature = 3)  
  
dimension props(nProps), slipRate(nBlock), pressure(nBlock),  
* tempAvg(nBlock), fieldAvg(nBlock,nFields),  
* jFlags(nFlags), rData(nData)  
  
real*8 fCoef(nBlock), fCoefDeriv(nBlock,3)  
  
character*80 surfInt, surfSlv, surfMst  
  
uk = props(1)  
us = props(2)  
dc = props(3)  
  
do k1=1,nBlock  
  
decay = dexp( -dc * dabs( slipRate(k1) ) )  
u = uk-(uk-us)*decay  
fCoef(k1) = u  
fCoefDeriv(k1,idfdSlipRate) = dc*(uk-us)*decay  
  
end do  
  
return  
end
```

A3. Αναφορές

- [1] ABAQUS. (2004). ABAQUS analysis user's manual, ABAQUS Inc., Providence, Rhode Island.
- [2] Akyuz, H. S., R. Hartleb, A. Barka, E. Altunel, G. Sunal, B. Meyer, and R. Armijo (2002). Surface rupture and slip distribution of the 12 November 1999 Duzce earthquake (M 7.1), North Anatolian fault, Bolu, Turkey, *Bull. Seism. Soc. Am.* **92**, 61-66.
- [3] Bouchon, M. (1979). Discrete wave-number representation of elastic wave fields in three-space dimensions, *J. Geophys. Res.* **84**, 3609-3614.
- [4] Bouchon, M., and K. Aki (1977). Discrete wave-number representation of seismic-source wave fields, *Bull. Seism. Soc. Am.* **67**, 259-277.
- [5] EC8 (2004) European Committee for Standardization, EN-1998-1:2004: E, Eurocode No. 8, Design of Structures for Earthquake Resistance, Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, Brussels, Belgium
- [6] EC8 (2009) European Committee for Standardization, EN-1998-2:2005/A1:2009: E, Eurocode No. 8, Design of Structures for Earthquake Resistance, Part 2: Bridges, Brussels, Belgium
- [7] Gloyd, S., R. Fares, A. Sánchez, and C. Trinh (2002). Designing ordinary bridges for ground fault rupture, in *Proc. of the Third National Seismic Conference and Workshop on Bridges and Highways*, Portland, Oregon.
- [8] Goel, R. K., and Chopra, A. K. (2008). "Analysis of ordinary bridges crossing fault-rupture zones." Rep. No. UCB/EERC-2008/01, Earthquake Engineering Research Center, Univ. of California, Berkeley, California
- [9] Goel, R. K., and A. K. Chopra (2009a). Linear analysis of ordinary bridges crossing fault-rupture zones, *J. Bridge Eng. – ASCE* **14**, 203-215.
- [10] Goel, R. K., and A. K. Chopra (2009b). Nonlinear analysis of ordinary bridges crossing fault-rupture zones, *J. Bridge Eng. – ASCE* **14**, 216-224.
- [11] Halldorsson, B., and Papageorgiou, A. S. (2005). Calibration of the specific barrier model to earthquakes of different tectonic regions, *Bull. Seismol. Soc. Am.* **95**, 1276–1300.
- [12] Luco, J. E., and J. Anderson (1983). Steady state response of an elastic half-space to a moving dislocation of finite width, *Bull. Seism. Soc. Am.* **73**, 1-22.
- [13] Luco, J. E., and R. J. Apsel (1983). On the Green's functions for a layered half-space. Part I, *Bull. Seism. Soc. Am.* **73**, 909-929.
- [14] Mavroeidis, G. P., and A. S. Papageorgiou (2003). A mathematical representation of near-fault ground motions, *Bull. Seism. Soc. Am.* **93**, 1099-1131.
- [15] Mavroeidis, G. P., and A. S. Papageorgiou (2010). Effect of fault rupture characteristics on near-fault strong ground motions, *Bull. Seism. Soc. Am.* **100**, 37-58.
- [16] Papageorgiou, A. S. (2003). The barrier model and strong ground motion, *Pure Appl. Geophys.* **160**, 603-634.

- [17] Papageorgiou, A. S., and K. Aki (1983a). A specific barrier model for the quantitative description of inhomogeneous faulting and the prediction of strong ground motion. I. Description of the model, *Bull. Seism. Soc. Am.* **73**, 693-722.
- [18] Papageorgiou, A. S., and K. Aki (1983b). A specific barrier model for the quantitative description of inhomogeneous faulting and the prediction of strong ground motion. II. Applications of the model, *Bull. Seism. Soc. Am.* **73**, 953-978.
- [19] Park, S. W., H. Ghasemi, J. Shen, P. G. Somerville, W. P. Yen, and M. Yashinsky (2004). Simulation of the seismic performance of the Bolu Viaduct subjected to near-fault ground motions, *Earthquake Engrg. Struct. Dyn.* **33**, 1249-1270.
- [20] Priestley, M. J. N., and G. M. Calvi (2002). Strategies for repair and seismic upgrading of Bolu Viaduct 1, Turkey, *J. Earthquake Eng.* **6**, 157-184.
- [21] Pucci, S., D. Pantosti, M. R. Barchi, and N. Palyvos (2007). A complex seismogenic shear zone: The Duzce segment of North Anatolian Fault (Turkey), *Earth Planet. Sci. Lett.* **262**, 185-203.
- [22] Roussis, P. C., M. C. Constantinou, M. Erdik, E. Durukal, and M. Dicleli (2003). Assessment of performance of seismic isolation system of Bolu Viaduct, *J. Bridge Eng. – ASCE* **8**, 182-190.
- [23] Ucak, A., G. Pekcan, D. Xu, and P. Tsopelas (2007). Demand uncertainties on a seismically isolated multispan bridge due to soil-foundation-structure interaction, in *Proc. of the 10th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures (ASSISI)*, Istanbul, Turkey.
- [24] Ucak A., Mavroeidis G. P., P. Tsopelas (2013). Behavior of a seismically isolated bridge crossing a fault rupture zone
- [25] Αναστασόπουλος Ι., Γκαζέτας Γ., Μάλιος Ι. (2008) Μεγάλη Σιδηροδρομική Γέφυρα Δομοκού (ΣΓ26) Σχεδιασμός έναντι Σεισμικής Διάρρηξης, 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας.