

Μελέτη της συμπεριφοράς ομοιωμάτων ελαστομεταλλικών εφεδράνων γεφυρών Ο/Σ κάτω από προδιαγεγραμμένες φορτιστικές καταπονήσεις

Σ. Μητούλης
Πολιτικός Μηχανικός ΑΠΘ, Υποψ. Διδάκτωρ

Β. Κουρτίδης
Πολιτικός Μηχανικός

Γ. Μάνος
Καθηγητής ΑΠΘ

Ι. Τέγος
Καθηγητής ΑΠΘ

Λέξεις κλειδιά: ελαστομεταλλικά εφεδράνα, φυσικά ομοιώματα, επάρκεια, δυσστησία, απόσβεση, προδιαγεγραμμένες καταπονήσεις

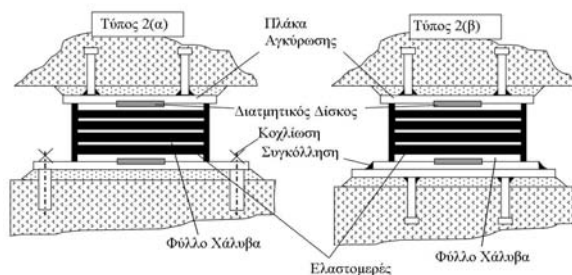
ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Παρουσιάζονται εδώ τα αποτελέσματα μιας πειραματικής μελέτης υπό εξέλιξη όπου εξετάζονται φυσικά ομοιώματα ελαστομεταλλικών εφεδράνων (ΦΟΕΕ). Η παρούσα μελέτη αξιοποιεί τις πρόσφατες «Οδηγίες για μελέτη γεφυρών με σεισμική μόνωση» που επιτρέπουν τον καθορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών ελαστομεταλλικών εφεδράνων. Απώτεροι στόχοι της παρούσας μελέτης είναι: (α) ο έλεγχος της επάρκειας των πρωτοτύπων ελαστομεταλλικών εφεδράνων, (β) η εύρεση των μηχανικών τους χαρακτηριστικών και (γ) η αριθμητική προσομοίωση της δυναμικής αποκρίσεως των πειραματικώς μετρουμένων ιδιοτήτων των εφεδράνων. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά που επιδιώκεται να προσδιοριστούν είναι: (1) η δυσστησία, (2) η ικανότητα απόσβεσης, (3) η επιρροή του ανηγμένου αξονικού φορτίου στο μέτρο διατμήσεως των ελαστομερών (G) και (4) η επιρροή της συχνότητας επιβολής φορτίου στο μέτρο διατμήσεως των ελαστομερών. Παράλληλα με την πειραματική γίνεται και διερεύνηση της δυνατότητας αριθμητικής προσομοίωσης των ελαστομεταλλικών εφεδράνων η οποία στοχεύει στην εύρεση σχετικώς απλών προσομοιωμάτων βάσει των οποίων είναι δυνατό να περιγραφεί η απόκριση των ΦΟΕΕ.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σεισμική μόνωση αποτελεί μία τεχνική προστασίας των δομημάτων από το σεισμό η οποία στοχεύει στην μέγιστη δυνατή αποσύζευξη της κατασκευής από τις σεισμικές κινήσεις του εδάφους. Η υλοποίηση της σεισμικής μόνωσης συνίσταται στην επιλογή μίας διεπιφάνειας μεταξύ εδάφους και της ανωδομής στην οποία τοποθετούνται εφεδράνα που χάριν της μικρής αντιστάσεώς τους σε διάτμηση αλλοιώνουν την δυναμική απόκριση της κατασκευής. Η δυσκαμψία της κατασκευής μειώνεται σημαντικά, καθώς αυτή καθορίζεται κυρίως από την δυσκαμψία του ευκάμπτου συστήματος μόνωσης, με αποτέλεσμα τα εισαγόμενα αδρανειακά φορτία να μειώνονται σημαντικά για τις προσδιορισμένες από το συνήθη φάσματα σχεδιασμού σεισμικές δράσεις.

Τα τελευταία χρόνια η σεισμική μόνωση εφαρμόζεται σε πληθώρα κατασκευών είτε νέων, όπως για παράδειγμα σε περιπτώσεις σημαντικών κτιρίων, είτε υφισταμένων, σε περιπτώσεις που οι συμβατικές μέθοδοι είτε δεν είναι δυνατό είτε δεν επιτρέπεται να εφαρμοστούν, όπως για παράδειγμα σε περιπτώσεις διατηρητέων κτιρίων. Αν και η σεισμική μόνωση αποτελεί λύση μάλλον οικονομικώς επαχθή για την αντιμετώπιση του σεισμικού κινδύνου σε κτίρια με συμβατική θεμελίωση και σε άμεση γειτνίαση με άλλες κατασκευές, στη σύγχρονη γεφυροποιία η σεισμική μόνωση αποτελεί σε πολλές περιπτώσεις, γεφυρών μεγάλου μήκους, την μοναδική λύση στα μεγάλα προβλήματα των καταναγκασμών που καταπονούν τα ακραία, κυρίως, κατακόρυφα φέροντα στοιχεία. Οι ΗΠΑ και η Ιαπωνία έχουν σήμερα σαφές προβάδισμα έναντι των υπολοίπων χωρών σε θέματα τόσο τεχνογνωσίας όσο και εφαρμογής των συστημάτων σεισμικής μόνωσης. Στην Ελλάδα, μία χώρα με υψηλή σεισμικότητα, φαίνεται ότι η τεχνολογία της μόνωσης των κατασκευών έχει ήδη βρει ένα ευρύ πεδίο εφαρμογής με την κατασκευή πληθώρας σεισμικώς μονωμένων γεφυρών στην Εγνατία Οδό. Η παρούσα εργασία ασχολείται με ελαστομεταλλικά εφεδρανα, Σχήμα 1, τα οποία αποτελούνται από επάλληλες στρώσεις ελαστομερούς και φύλλων χάλυβα και των οποίων οι προδιαγραφές παραγωγής και κατασκευής είναι προδιαγεγραμμένες. Ο ρόλος των χαλυβδίνων φύλλων είναι να «οπλίσουν» το ελαστομερές έναντι του φαινομένου Poisson, δηλαδή της εγκάρσιας διογκώσεως του ελαστομερούς από καθαρώς θλιπτικά φορτία. Τα ελαστομεταλλικά εφεδρανα είναι δυνατό να είναι είτε χαμηλής είτε υψηλής απόσβεσης και αποτελούν τα δημοφιλέστερα εφεδρανα εφαρμογής, λόγω της σχετικώς μακράς εφαρμογής τους και της εμπειρίας που αποκτήθηκε από αυτήν, ανάμεσα σε μία πληθώρα εφεδράνων εφαρμογής. Η παρούσα εργασία ασχολείται αποκλειστικά με τον πειραματικό έλεγχο τέτοιων ελαστομεταλλικών εφεδράνων.

Ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ 2000) στην §1.1.1 αναφέρει: «...για έργα για τα οποία προβλέπεται μερική ή πλήρης αντισεισμική μόνωση απαιτείται συμπλήρωση του Κανονισμού με πρόσθετες διατάξεις». Κανονιστικώς ο έλεγχος των ελαστομεταλλικών εφεδράνων, προδιαγράφεται από το 1993 με την τότε Εγκύκλιο 39/93, έλεγχος ο οποίος υφίσταται και στην τελευταία σχετική Εγκύκλιο (Εγκύκλιος 39/99). Ωστόσο, η σεισμική μόνωση των κατασκευών στον Ελληνικό χώρο απέκτησε ιδιαίτερο ενδιαφέρον με τις τελευταίες «Οδηγίες για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση», (ΟΣΜ 2004). Στις Οδηγίες αυτές, οι οποίες εξεδόθησαν τον Ιανουάριο του 2006, προδιαγράφονται οι βασικές απαιτήσεις, τα κριτήρια συμμόρφωσης και οι προτεινόμενες μέθοδοι ανάλυσης σεισμικώς μονωμένων γεφυρών.



Σχήμα 1: Δύο τύποι αγκυρούμενων ελαστομεταλλικών εφεδράνων.

Στο Παράρτημα Α των ΟΣΜ, το οποίο αποτελεί πιστή μετάφραση του Παραρτήματος J του Ευρωκώδικα 8 Μέρος 2 (Eurocode 8 Part 2), προδιαγράφονται οι απαιτούμενες δοκιμές για τον προσδιορισμό της μεταβλητότητας των παραμέτρων σχεδιασμού των εφεδράνων. Οι δοκιμές αυτές, αν και δεν στοχεύουν στην διασφάλιση του ποιοτικού ελέγχου των εφεδράνων, παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθότι υπάρχει τουλάχιστον κανονιστικώς η δυνατότητα να ελέγχεται η επάρκεια των εφεδράνων που αξιοποιούνται σε συστήματα μόνωσης στον ελληνικό χώρο με βάση συγκεκριμένα κριτήρια αποδοχής, τα οποία επίσης προδιαγράφονται από τις ΟΣΜ. Οι

προδιαγραφόμενες δοκιμές των ΟΣΜ σε συνδυασμό με το ενδιαφέρον που απέκτησαν οι εφαρμογές σεισμικής μονώσεως στη χώρα μας τα τελευταία χρόνια αποτέλεσαν την αφορμή της παρούσας πειραματικής διερεύνησης, στα πλαίσια της οποίας ετέθησαν επιπλέον στόχοι που αφορούν την μεταβλητότητα της αποκρίσεως των ελαστομεταλλικών εφεδράνων όταν μεταβάλλονται βασικές παράμετροι της φορτίσεως.

2 Η ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΟΜΕΝΗ ΑΠΟ ΤΙΣ ΟΣΜ ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΠΩΣ ΑΥΤΗ ΕΦΑΡΜΟΣΤΗΚΕ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ.

Οι δοκιμές που προδιαγράφουν οι ΟΣΜ ακολουθούν μία συγκεκριμένη αλληλουχία και απαιτούν ταυτόχρονη εφαρμογή κατακόρυφου θλιπτικού φορτίου και δυναμική μετακίνηση, η οποία είναι διαφορετική σε κάθε μία από τις δοκιμές. Επίσης σε κάθε δοκιμή διαφοροποιούνται η συχνότητα φορτίσεως και ο αριθμός των κύκλων φόρτισης. Δεδομένου ότι οι δοκιμές προδιαγράφονται για εφέδρανα, τα οποία πρόκειται να τοποθετηθούν σε πραγματικές κατασκευές, προέκυψε θέμα καθορισμού αφενός του κατακόρυφου φορτίου, με το οποίο θα καταπονηθούν αξονικά τα εφέδρανα, και αφετέρου της μετακίνησης διατημήσεως-στόχο η οποία θα επιβάλλονταν ταυτόχρονα στα δοκίμια. Το πρόβλημα του προσδιορισμού του κατακόρυφου φορτίου διευθετήθηκε με την εύρεση αντιπροσωπευτικών συστημάτων γεφυρών στις οποίες έχουν τοποθετηθεί ελαστομεταλλικά εφέδρανα για τα οποία εκτιμήθηκε το επίπεδο της κατακόρυφης τάσης που τα καταπονεί $\sigma_{G+Q}=5\sim 7\text{MPa}$. Η βιβλιογραφική αναζήτηση (Ηλιάδης 2001), (Abe, Yoshida, Fujino, 2004) έδειξε ότι η παραπάνω εκτίμηση είναι σωστή. Όσον αφορά την οριζόντια μετακίνηση στόχο αυτή καθορίζεται, βάσει των ΟΣΜ, από τις μετακινήσεις που αναπτύσσονται στην Οριακή Κατάσταση Λειτουργίας και στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας, δηλαδή από τους καταναγκασμούς που επιβάλλουν οι θερμικές επιδράσεις, η μη σεισμική δράση σχεδιασμού καθώς και οι σεισμικές μετακινήσεις. Ύστερα από έρευνα που πραγματοποιήθηκε (Abe, Yoshida, Fujino, 2004), (Kelly, Takhiron 2001) βρέθηκε ότι τα εφέδρανα υποβάλλονται πειραματικώς σε μέγιστες γωνίες διατημήσεως $\gamma=100\sim 150\%$. Επειδή υπάρχουν αντικειμενικώς εργαστηριακές δυσκολίες για να επιβληθούν πολύ μεγάλες γωνίες διατημήσεως της τάξης του $\gamma=150\%\sim 200\%$ και επιπλέον επειδή οι προδιαγραφές δεν επιβάλλουν την εύρεση της παραμορφώσεως αστοχίας των εφεδράνων επιλέχθηκε οι δοκιμές της παρούσας φάσεως να έχουν οριακή γωνία διατημητικής παραμορφώσεως ίση με $\gamma_{\max}=100\%$. Με βάση την μέχρι στιγμής παραμετρική διερεύνηση του προβλήματος και την τιμή της οριακής γωνίας διατημήσεως που αναφέρθηκε προηγουμένως ($\gamma_{\max}=100\%$) έγινε στον Πίνακα 1, για κάθε κατηγορία-συνδυασμό δράσεων, η επιλογή της διατημητικής παραμόρφωσης που επιβλήθηκε στην αντίστοιχη πειραματική δοκιμή.

Κατά την πειραματική διαδικασία για τις δοκιμές T3, T4 και T6 έπρεπε να επιλεγεί, εκτός του πειραματικώς επιβαλλομένου κατακόρυφου θλιπτικού φορτίου και της οριζόντιας μετακίνησης-στόχος, η συχνότητα επιβολής των μετακινήσεων, καθώς βάσει των ΟΣΜ §Α.2.2(2) οι δοκιμές αυτές «πρέπει να διεξάγονται με συχνότητα ίση με το αντίστροφο της ενεργής περιόδου του συστήματος μονώσεως». Η συχνότητα αυτή επιλέχθηκε ίση με $\nu_{\text{eff}}=1\text{Hz}$ ύστερα από διερεύνηση του εύρους συχνοτήτων ενός αριθμού σεισμικώς μονωμένων γεφυρών, που θεωρήθηκε στην παρούσα φάση ότι είναι αντιπροσωπευτικές.

Πίνακας 1. Η αντιστοίχιση των κανονιστικών απαιτήσεων οριζοντίων μετακινήσεων σε πειραματικές επιβαλλόμενες διατμητικές παραμορφώσεις

a/a ΔΟΚΙΜΗΣ	Απαίτηση Μετακίνησης κατά ΟΣΜ	Πειραματικός επιβαλλόμενη Διατμητική Παραμόρφωση γs %	Περιγραφή Φόρτισης Συχνότητα ή Ταχύτητα Hz mm/s
T1	Θερμική Μετακίνηση	25%	Στατική 0.10mm/s
T2	Μη σεισμική δράση σχεδιασμού	50%	Δυναμική 0.5Hz
T3	Σεισμική δράση σχεδιασμού	75%	Δυναμική 1.0Hz
T4	Μετακίνηση σχεδιασμού	100%	Δυναμική 1.0Hz
T5	Μη σεισμική δράση σχεδιασμού	50%	Δυναμική 0.5Hz
T6	Μετακίνηση σχεδιασμού	100%	Δυναμική 1.0Hz

3 Η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΕΦΕΔΡΑΝΩΝ.

Στα πλαίσια της παρούσας πειραματικής μελέτης διερευνήθηκε η στατική και η δυναμική απόκριση ελαστομεταλλικών εφεδράνων, τα οποία υποβλήθηκαν στην προδιαγεγραμμένη αλληλουχία δοκιμών σύμφωνα με τις πρόσφατες ΟΣΜ και τον Πίνακα 1. Όπως προαναφέρθηκε, οι ΟΣΜ προδιαγράφουν την επιβολή ενός κατακόρυφου φορτίου, το οποίο αντιστοιχεί στη μέση τιμή του μονίμου φορτίου που δέχεται το εφέδρανο, με ταυτόχρονη επιβολή οριζοντίων στατικών και δυναμικών μετακινήσεων, που αντιστοιχούν σε πραγματικές καταστάσεις φορτίσεως, δηλαδή της κατάστασης λειτουργίας και της κατάστασης αστοχίας της κατασκευής.

Το κατακόρυφο φορτίο επιβλήθηκε στα υπό δοκιμή εφέδρανα με τη βοήθεια των μηχανών θλίψεως του Εργαστηρίου Πειραματικής Αντοχής Υλικών και Κατασκευών του ΑΠΘ, οι οποίες έχουν εύρος φορτίσεως από 40tn έως 600tn. Η επιβολή των προδιαγραφόμενων οριζοντίων στατικών ή δυναμικών διατμητικών παραμορφώσεων των εφεδράνων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια ενός ηλεκτρονικά ελεγχόμενου σερβοϋδραυλικού εμβόλου με δυνατότητα δυναμικής απόκρισης 0-50Hz. Στο Σχήμα 2 απεικονίζεται ο τρόπος με τον οποίο ελέγχθηκαν τα δοκίμια των ΦΟΕΕ. Αρχικά επιβάλλονταν κατακόρυφο φορτίο που αντιστοιχούσε σε ορθή τάση είτε 2,5 είτε 5,0MPa. Στη συνέχεια γινόταν η επιβολή του ιστορικού της οριζόντιας μετακίνησης είτε με πολύ αργό ρυθμό (δοκιμή T1) είτε με προεπιλεγμένη συχνότητα (δοκιμές T2~T6). Οι άνω και κάτω πλάκες αγκύρωσης του εφεδράνου έφεραν εκ κατασκευής οπές όπου τοποθετούνταν διατμητικοί δίσκοι (βλ. Σχήμα 1, 2) Η οριζόντια μετακίνηση του δυναμικού εμβόλου επιβάλλονταν στην άνω πλάκα αγκύρωσης ενώ η κάτω πλάκα του παγιώθηκε. Λήφθηκε ειδική μέριμνα ώστε αφενός το επίπεδο της άνω πλάκας αγκύρωσης να παραμένει οριζόντια αφετέρου να ελαχιστοποιηθούν ο τριβές μεταξύ της μηχανής θλίψεως και αυτής της πλάκας μέσω ολισθητήρων. Οι πειραματικές μετρήσεις περιελάμβαναν:

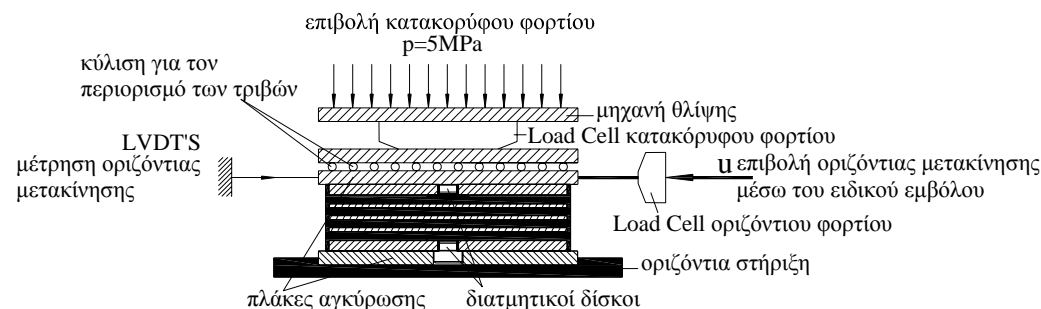
(α) Μέτρηση του κατακόρυφου φορτίου με τη βοήθεια load cell το οποίο παρεμβάλλονταν ανάμεσα στην μηχανή θλίψεως και στην άνω πλάκα των ολισθητήρων (Σχήμα 2). Η μέτρηση αυτή

ήταν συνεχής ώστε να αποτυπώνει τυχόν μεταβολή του επιπέδου αξονικής συνθλίψεως των $\Phi O E E$ κατά την διάρκεια της δοκιμής.

(β) Μέτρηση του επιβαλλομένου οριζόντιου στατικού ή δυναμικού φορτίου με τη βοήθεια load cell το οποίο παρεμβαλλόταν μεταξύ του οριζοντίου δυναμικού εμβόλου και της άνω πλάκας αγκύρωσης του εφεδράνου.

(γ) Μέτρηση της οριζόντιας μετακίνησης στις δύο άκρες της άνω πλάκας αγκύρωσης του εφεδράνου με τη βοήθεια οριζοντίων LVDT'S, Σχήμα 2.

(δ) Μέτρηση της κατακόρυφης μετακινήσεων της άνω ως προς την κάτω πλάκα αγκύρωσης με τη βοήθεια κατακορύφων LVDT'S.



Σχήμα 2: Η επιβολή του κατακορύφου φορτίου και των μετακινήσεων.

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ – ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΤΩΝ ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΕΦΕΔΡΑΝΩΝ

Η παρούσα πειραματική διερεύνηση βασίστηκε στις προδιαγραφόμενες δοκιμές των ΟΣΜ, μέσω των οποίων είναι δυνατό να προσδιοριστούν τόσο οι ιδιότητες όσο και να διαπιστωθεί η επάρκεια ή όχι των ελεγχόμενων ελαστομεταλλικών εφεδράνων. Πραγματοποιήθηκαν λοιπόν δοκιμές με στόχο τον προσδιορισμό των βασικών δυναμικών ιδιοτήτων των εφεδράνων και τη μεταβλητότητα τους όταν μεταβάλλεται η επιβαλλόμενη φόρτιση. Η διερεύνηση περιλαμβάνει επίσης και την εύρεση ενός σχετικώς απλού αριθμητικού προσομοιώματος βάσει του οποίου είναι δυνατό να προσεγγισθεί η συμπεριφορά των ελαστομεταλλικών εφεδράνων μέσω πεπερασμένων στοιχείων.

Δοκιμάστηκαν 2 εφεδράνα συμβατικής μορφής, ως προς τη γεωμετρία τον αριθμό και το πάχος των στρώσεων του ελαστομερούς και των φύλλων χάλυβα, και 1 μη συμβατικής μορφής. Η εξαγωγή των αποτελεσμάτων βασίζεται στην παραδοχή ότι η επιβαλλόμενη κατακόρυφη και οριζόντια φόρτιση κατανέμεται ομοιόμορφα στην επιφάνεια των εφεδράνων. Η γεωμετρία των δοκιμών που εξετάστηκαν είναι η εξής: (α) εφεδράνο κυκλικής διατομής διαμέτρου $d=200\text{mm}$, συνολικού ύψους $h=71\text{mm}$ και καθαρό πάχος ελαστικού $\Sigma t_i=32\text{mm}$ συμβατικής μορφής $\Phi 200 \times 71(32)$, (β) εφεδράνο ορθογωνικής διατομής $b_x \cdot b_y=200 \times 250\text{mm}$ συνολικού ύψους $h=134\text{mm}$ και καθαρού πάχους ελαστικού $\Sigma t_i=56\text{mm}$ συμβατικής μορφής $200 \times 250 \times 134(56)$ και (γ) εφεδράνο ορθογωνικής διατομής $b_x \cdot b_y=150 \times 150\text{mm}$ συνολικού ύψους $h=150\text{mm}$ και καθαρού πάχους ελαστικού $\Sigma t_i=120\text{mm}$ μη συμβατικής μορφής $150 \times 150 \times 150(120)$. Τα πειραματικά αποτελέσματα δίνονται με τη μορφή βρόχων υστέρησης οι οποίοι απεικονίζουν είτε την μεταβολή της οριζόντιας δύναμης (F) και της αντίστοιχης στατικής ή δυναμικής μετακίνησης (u) είτε τη μεταβολή της διατμητικής τάσεως (τ) και της αντίστοιχης γωνίας διατμήσεως (γ). Στις σχέσεις 1 και 2 καθορίζονται τα προαναφερθέντα μεγέθη της διατμητικής τάσεως και της γωνίας διατμήσεως αντίστοιχα συναρτήσει της οριζόντιας δύναμης και οριζόντιας μετατόπισης:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{u}{\Sigma t_i} \quad (2)$$

όπου A το εμβαδόν της διατομής των εφεδράνων και Σt_i το συνολικό πάχος του ελαστομερούς.

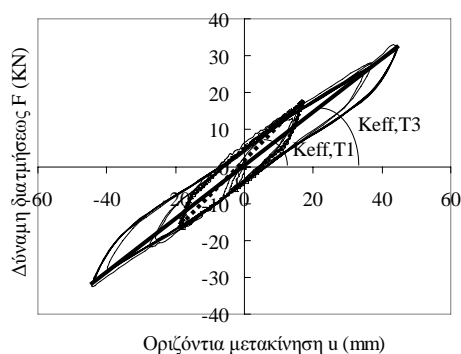
4.1 Η δυσκαμψία και το μέτρο διατμήσεως των εφεδράνων

Η ενεργός δυσκαμψία των εφεδράνων K_{eff} , δηλαδή η αντίσταση σε διάτμηση ή αλλιώς δυστημψία (Αβραμίδης 2003), είναι βασική παράμετρος σχεδιασμού των εφεδράνων και προσδιορίστηκε βάσει της κάτωθι σχέσεως που προδιαγράφουν οι ΟΣΜ:

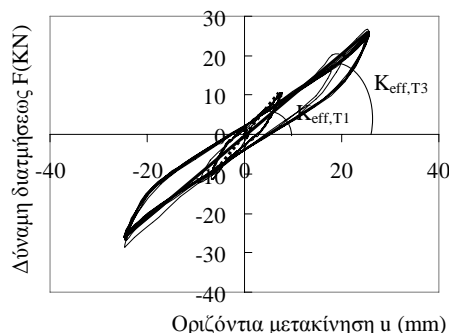
$$K_{eff} = (F_p - F_n) / (d_p - d_n) \quad (3)$$

όπου d_p και d_n η μέγιστη θετική και αρνητική μετακίνηση της δοκιμής αντίστοιχα και F_p και F_n οι μέγιστες θετικές και αρνητικές δυνάμεις αντίστοιχα. Σημειωτέον ότι οι ΟΣΜ προδιαγράφουν ότι η K_{eff} θα πρέπει να προσδιορίζεται σε κάθε μία από τις δοκιμές στις οποίες υποβάλλονται τα εφάδρανα.

Στο Σχήμα 3 έχουν σχεδιαστεί οι βρόχοι υστέρησης $F-u$ που αντιστοιχούν στις δοκιμές T1 και T3 των ΟΣΜ για το **200x250x134(56)**. Παρατηρείται ότι για τις μικρές μετακινήσεις-στόχος της δοκιμής T1 το εφάδρανο εμφανίζει αυξημένη ενεργό δυσκαμψία $K_{eff}=951\text{KN/m}$, συμπέρασμα το οποίο συμφωνεί με τα πειραματικά αποτελέσματα παρόμοιων ερευνών (Kelly 1997), (Abe, Yoshida, Fujino, 2004). Για μεγαλύτερες τιμές των μετακινήσεων της δοκιμής T3 η δυσκαμψία μειώνεται κατά 23%, $K_{eff}=735\text{KN/m}$. Έχει παρατηρηθεί ότι γενικώς τα εφάδρανα εμφανίζουν



Σχήμα 3: Η επιρροή της οριζόντιας μετακίνησης στην δυσκαμψία του ελαστομεταλλικού εφεδράνου 200x250x134(56).



Σχήμα 4: Η επιρροή της οριζόντιας μετακίνησης στην δυσκαμψία του ελαστομεταλλικού εφεδράνου Ø200x71(32).

αυξημένη αντίσταση σε διάτμηση για μικρές γωνίες διατμήσεως γ , γεγονός που προδιαγράφεται και από τις ΟΣΜ. Ανάλογα είναι τα αποτελέσματα και για τα άλλα 2 εφάδρανα συμβατικής και μη μορφής, το **Ø200x71(32)** (Σχήμα 4), και το **150x150x150(120)**. Για το τελευταίο η δυσκαμψία, όπως υπολογίστηκε από τη δοκιμή T1, είναι κατά 30% μεγαλύτερη από την δυσκαμψία που υπολογίστηκε από την δοκιμή T3.

Εκτός από τον προσδιορισμό της ενεργού δυσκαμψίας διερευνήθηκε επίσης η μεταβλητότητα του μέτρου διατμήσεως G , όπως υπολογίστηκε από κάθε δοκιμή, παρότι οι οδηγίες δεν προδιαγράφουν ειδική δοκιμή για τον προσδιορισμό του G . Βρέθηκε τιμή του G περίπου ίση με 1MPa, τιμή την οποία προδιαγράφει και ο Ευρωκώδικας 8 Μέρος 2. Οι ακραίες τιμές του μέτρου διατμήσεως G , όπως προέκυψαν από τις μετρήσεις ήταν 0.95MPa η κατώτερη και 1.5MPa η ανώτερη και για τα τρία εφάδρανα που εξετάστηκαν. Σημειώνεται ότι η παραπάνω διακύμανση του μέτρου διατμήσεως είναι αποδεκτή από τον Ευρωκώδικα 8 Μέρος 2 βάσει του οποίου οι ανώτερες και οι κατώτερες επιτρεπόμενες τιμές του μέτρου διατμήσεως είναι:

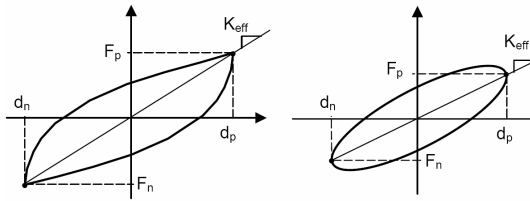
$$G_{\max}=1,5\text{MPa} \quad (4)$$

$$G_{\min}=0,9\text{MPa} \quad (5)$$

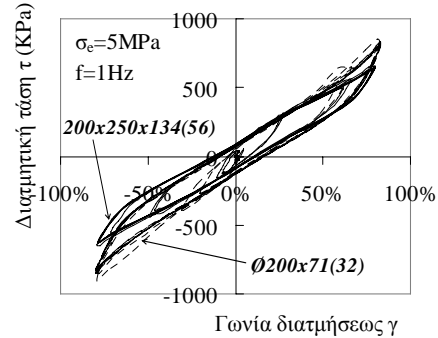
Στην βιβλιογραφία αναφέρεται (Kelly 2001) ότι το μέτρο διατμήσεως είναι δυνατό να μειώνεται για γωνίες διατμήσεως ως και $\gamma=150\%$ ενώ για γωνίες διατμήσεως μεγαλύτερες από αυτήν το μέτρο διατμήσεως μάλλον αυξάνεται.

4.2 Η ικανότητα των ελαστομεταλλικών εφεδράνων σε απόσβεση ενέργειας

Η απόσβεση ενέργειας μέσω των εφεδράνων είναι δυνατό να προέρχεται από υστερητική, ιξώδη ή συμπεριφορά τριβής (Σχήμα 5). Τα 3 εφέδρανα που ελέγχθηκαν παρουσιάζουν υστερητική συμπεριφορά. Ανεξάρτητα από το είδος της απόσβεσης το ποσοστό της κρίσιμης απόσβεσης προσδιορίζεται από την δοκιμή T3 των ΟΣΜ βάσει της §Α.2.3.2. Το ποσοστό της ενεργού απόσβεσης των εφεδράνων δίδεται από την σχέση 6, (Chopra 1995):



Σχήμα 5: (α) Συμπεριφορά υστερητική ή τριβής, (β) Συμπεριφορά Ιξώδης.



Σχήμα 6: Η επιρροή της οριζόντιας μετακίνησης στην αποσβεστική ικανότητα των εφεδράνων 200x250x134(56) και Ø200x71(32).

$$\xi_{\text{eff}} = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{E_D}{K_{\text{eff}} \cdot d_b^2} \right] \quad (6)$$

όπου E_D είναι η αποσβεστική ενέργεια ανά υστερητικό κύκλο της δοκιμής T3 στη μετακίνηση στόχο του εφεδράνου που είναι ίση προς το εμβαδόν του βρόχου, K_{eff} είναι η ενεργός δυσκαμψία του εφεδράνου που ορίστηκε στην §4.1 και d_b είναι η μετακίνηση-στόχος που επιβάλλεται στο εφέδρανο κατά την δοκιμή. Σημειώνεται ότι τα εφέδρανα χωρίζονται στις εξής δύο κατηγορίες ανάλογα με το ενεργό ποσοστό απόσβεσης που υπολογίζεται για αυτά (ΟΣΜ 2004), (Naeim, Kelly 1999): (α) εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης όταν $\xi_{\text{eff}} < 6\%$ και (β) εφέδρανα υψηλής απόσβεσης όταν $10\% < \xi_{\text{eff}} < 20\%$.

Στο Σχήμα 6 έχουν σχεδιαστεί οι βρόχοι υστέρησης $\tau - \gamma$ για τα δύο συμβατικά εφέδρανα που υποβλήθηκαν στη δοκιμή T3 κατά τις ΟΣΜ σε μετακίνηση που αντιστοιχεί σε $\gamma=75\%$. Η θλιπτική τάση ήταν του επιπέδου των $\sigma_e=5\text{MPa}$, το οποίο αντιστοιχεί στο φορτίο λειτουργίας των εφεδράνων. Παρατηρείται ότι τα συμβατικά αυτά εφέδρανα αποκρίνονται με βρόχους υστέρησης ίσου περίπου εμβαδού, που αντιστοιχεί σε ποσοστό ενεργού απόσβεσης ίσο με $\xi_{\text{eff}}=7,5\%$ δηλαδή τα υπό μελέτη εφέδρανα ανήκουν μάλλον στην κατηγορία των εφεδράνων χαμηλής απόσβεσης. Σημειώνεται ότι βάση του Ευρωκώδικα 8 Μέρος 2 §7.5.2.2.2(5) το ποσοστό της ενεργού απόσβεσης είναι δυνατό να παρουσιάζει διακύμανση 20% σε σχέση με το κανονιστικώς ορισθέν $\xi_{\text{eff}}=5,0\%$. Φαίνεται ότι τα εφέδρανα που δοκιμάστηκαν εμφανίζουν μεγαλύτερη απόσβεση από την προδιαγραφόμενη. Το μη συμβατικό εφέδρανο 150x150x150(120) για θλιπτική τάση $\sigma_e=6\text{MPa}$ και

μέγιστη μετακίνηση που αντιστοιχεί σε $\gamma=45\%$ εμφάνισε $\xi_{\text{eff}}=15\%$, που κατατάσσει το εν λόγω εφέδρανο στην κατηγορία των εφεδράνων υψηλής απόσβεσης.

Η παρούσα πειραματική διερεύνηση υπολόγισε τα ποσοστά ενεργού απόσβεσης και για γωνίες διατμήσεως στόχους μικρότερες αλλά και μεγαλύτερες από αυτές που προδιαγράφουν οι ΟΣΜ. Βρέθηκε ότι η απόσβεση των ελαστομεταλλικών εφεδράνων μειώνεται κατά περίπου 15% όταν η επιβαλλόμενη γωνία διατμήσεως αυξάνεται από 50% σε 100%.

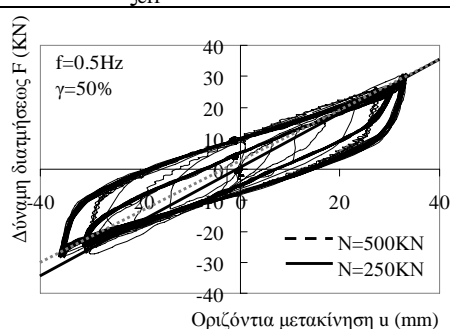
4.3 Η επιρροή του ανηγμένου αξονικού φορτίου επί των δυναμικών ιδιοτήτων των ελαστομεταλλικών εφεδράνων

Το ανηγμένο αξονικό φορτίο επηρεάζει την στατική αλλά και δυναμική απόκριση των ελαστομεταλλικών εφεδράνων μέσω της αυξήσεως των ορθών αλλά και των διατμητικών τάσεων που αναπτύσσονται μεταξύ του ελαστομερούς και των φύλλων του χάλυβα, (Naeim, Kelly 1999). Η προσαύξηση των διατμητικών τάσεων στο εσωτερικό των εφεδράνων είναι δυνατό να ληφθεί υπόψη μέσω της ανηγμένης διατμητικής παραμορφώσεως λόγω θλίψεως (γ_c) των εφεδράνων που προβλέπει η Ε.39/99 στην §2.7.3(7). Η σχέση που δίδεται είναι μάλλον συντηρητική και οδηγεί σε υπερεκτίμηση της γ_c . Σχετικά μεγάλες τιμές της θλιπτικής τάσης σ_e των εφεδράνων είναι επίσης δυνατό να οδηγήσει σε δυσμενή φαινόμενα β' τάξεως (Naeim, Kelly 1999) καθώς οι μεγάλες παραμορφώσεις του ελαστομερούς ευνοούν την ανάπτυξη ροπών β' τάξης.

Εδώ διερευνήθηκε κυρίως η επιρροή της θλιπτικής τάσης σ_e επί της ενεργού δυσκαμψίας και επί του ποσοστού ενεργού απόσβεσης των ελαστομεταλλικών εφεδράνων που ελέγχθηκαν. Στο Σχήμα 7 έχουν σχεδιαστεί οι βρόχοι υστέρησης που αντιστοιχούν στη δοκιμή T2 των ΟΣΜ για το εφέδρανο **200x250x134(56)**. Το αξονικό φορτίο που επιβλήθηκε ήταν $N_1=250\text{KN}$ στην μία δοκιμή και $N_2=500\text{KN}$ στην επόμενη δοκιμή, που αντιστοιχούν σε τιμές της θλιπτικής τάσης $\sigma_{e,1}=5\text{MPa}$ και $\sigma_{e,2}=10\text{MPa}$. Οι γωνίες διατμήσεως που επιβλήθηκαν στο εφέδρανο ήταν της τάξης του $\gamma=55\%$ και στις δύο περιπτώσεις αξονικής φορτίσεως. Στον Πίνακα 2 που ακολουθεί περιλαμβάνονται οι μεταβολές της ενεργού δυσκαμψίας και του ποσοστού ενεργού απόσβεσης για αυτό το εφέδρανο συναρτήσει της μεταβολής της θλιπτικής τάσης. Για το συμβατικό εφέδρανο **200x250x134(56)** παρατηρείται μια μικρή μεταβολή της ενεργού δυσκαμψίας με την μεταβολή της θλιπτικής τάσης που δεν μπορεί να υπαγορευτεί ένα συγκεκριμένο συμπέρασμα, ενώ η αύξηση του ενεργού ποσοστού απόσβεσης με την αύξηση της θλιπτικής τάσης είναι αρκετά εμφανής (Πίνακας 2).

Πίνακας 2: Η επιρροή της θλιπτικής τάσεως επί της ενεργού δυσκαμψίας και του ποσοστού της ενεργού απόσβεσης του εφεδράνου 200x250x134(56).

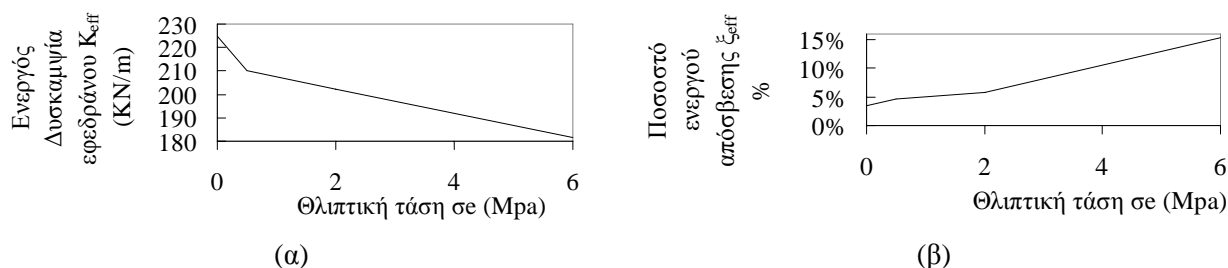
200x250x134(56)	θλιπτική τάση $\sigma_e=5\text{MPa}$	θλιπτική τάση $\sigma_e=10\text{MPa}$
K_{eff}	827KN/m	852KN/m.
ξ_{eff}	12%	17%



Σχήμα 7: Η μεταβολή της δυσκαμψίας και της αποσβέσεως των ελαστομεταλλικών εφεδράνων όταν μεταβάλλεται το θλιπτικό κατακόρυφο φορτίο που καταπονεί το εφέδρανο 200x250x134(56).

Για το μη συμβατικό εφέδρανο **150x150x150(120)** η μεταβολή της θλιπτικής τάσης ακολούθησε τα επίπεδα 0MPa, 0,5MPa, 2,0MPa, και 6,0MPa. Οι αντίστοιχες μεταβολές της ενεργού δυσκαμψίας και του ενεργού ποσοστού απόσβεσης απεικονίζονται στα Σχήμα 8α κα 8β αντίστοιχα.

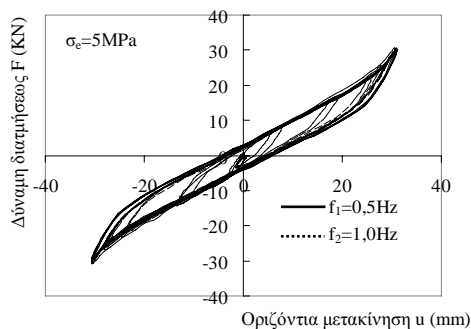
Η μείωση της ενεργού δυσκαμψίας με την αύξηση της θλιπτικής τάσης πιστοποιείται από το Σχήμα 8α και είναι σε συμφωνία με αντίστοιχες διαπιστώσεις από άλλες πειραματικές μελέτες της συμπεριφοράς των εφεδράνων (Kelly 1997), (Abe, Yoshida, Fujino,2004) (Ryan, Kelly, Chopra 2004). Η μείωση αυτή αποδίδεται στα φαινόμενα β' τάξεως που εμφανίζονται στις σχετικώς μεγάλες διατμητικές παραμορφώσεις με τις οποίες αποκρίνονται τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα (Kelly 2003). Με το Σχήμα 8β πιστοποιείται η αντίστοιχη αύξηση του ενεργού ποσοστού απόσβεσης με την αύξηση της θλιπτικής τάσης που εξασκείται επί του εφεδράνου, που επίσης παρατηρήθηκε και στο συμβατικό εφέδρανο και σχολιάσθηκε προηγουμένως (Πίνακας 2).



Σχήμα 8: Η επιρροή της κατακόρυφης θλιπτικής τάσης επί της δυσκαμψίας και του ποσοστού ενεργού απόσβεσης στο εφέδρανο 150x150x150(120).

4.4 Η επιρροή της συχνότητας της επιβαλλόμενης φορτίσεως

Στα πλαίσια των πειραμάτων που διεξήχθησαν μελετήθηκε και η επιρροή της συχνότητας επιβολής της οριζόντιας μετακίνησης, η οποία προκαλεί τη διατμητική παραμόρφωση των υπό δοκιμή εφεδράνων. Στο Σχήμα 9 έχουν σχεδιαστεί οι βρόχοι υστέρησης **F- u** που αντιστοιχούν στη δοκιμή T4 των ΟΣΜ για το εφέδρανο **Ø200x71(32)**. Η κατακόρυφη θλιπτική τάση ήταν ίση με $\sigma_c = 6,0\text{MPa}$. Στην μια δοκιμή η συχνότητα επιβολής της οριζόντιας μετακίνησης ήταν $f_1 = 0,5\text{Hz}$ ενώ στην επόμενη δοκιμή διπλασιάστηκε ($f_2 = 1,0\text{Hz}$) κρατώντας και στις δύο περιπτώσεις την τιμή της μέγιστης γωνίας διατμήσεως ίδια (της τάξης του $\gamma = 100\%$). Από την μετρηθείσα απόσβεση του εφεδράνου αυτού (Σχήμα 9) δεν παρατηρείται ουσιαστική επιρροή της μεταβολής της συχνότητας στην ενεργό δυσκαμψία και το ενεργό ποσοστό απόσβεσης για το εύρος των συχνοτήτων που εξετάστηκε. Το ίδιο συμπέρασμα εξάγεται και από τις μετρήσεις του συμβατικού εφεδράνου **200x250x134(56)**. Για το μη συμβατικό εφέδρανο **150x150x150(120)** η πειραματική διερεύνηση επεκτάθηκε στο εύρος συχνοτήτων από 0,4Hz έως 2Hz. Στην περίπτωση αυτή ενώ δεν υπήρξε ουσιαστική μεταβολή της ενεργού δυσκαμψίας η αύξηση της συχνότητας είχε σαν αποτέλεσμα την μείωση έως και 40% του ενεργού ποσοστού απόσβεσης, με αφετηρία της σύγκρισης την απόκριση για 0,4Hz. Πιθανόν απαιτούνται περισσότερα πειράματα για την καλύτερη πιστοποίηση αυτής της επιρροής για τα συμβατικά εφέδρανα.



Σχήμα 9: Η μεταβολή της δυσκαμψίας και της αποσβέσεως των ελαστομεταλλικών εφεδράνων όταν μεταβάλλεται η συχνότητας επιβολής των γωνιών διάτμησης Ø200x71(32).

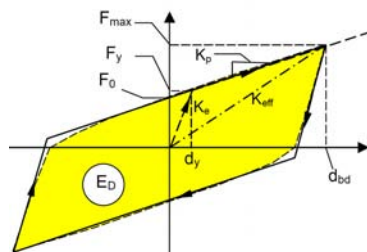
5 Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΕΦΕΔΡΑΝΩΝ ΣΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Η προσπάθεια εδώ στοχεύει στην εύρεση ενός σχετικώς απλού αριθμητικού προσομοιώματος μέσω του οποίου να είναι δυνατό να προσεγγισθεί η δυναμική απόκριση πραγματικών κατασκευών που εμπεριέχουν ελαστομεταλλικά εφεδράνα. Στην παρούσα φάση αυτό υλοποιείται μέσα από την προσπάθεια προσομοίωσης των μεμονωμένων εφεδράνων που ελέγχθηκαν πειραματικά. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για όλες τις αναλύσεις ήταν το SAP 2000 το οποίο διαθέτει μη γραμμικά στοιχεία κατάλληλα για την προσομοίωση της δυναμικής αποκρίσεως ελαστομεταλλικών εφεδράνων.

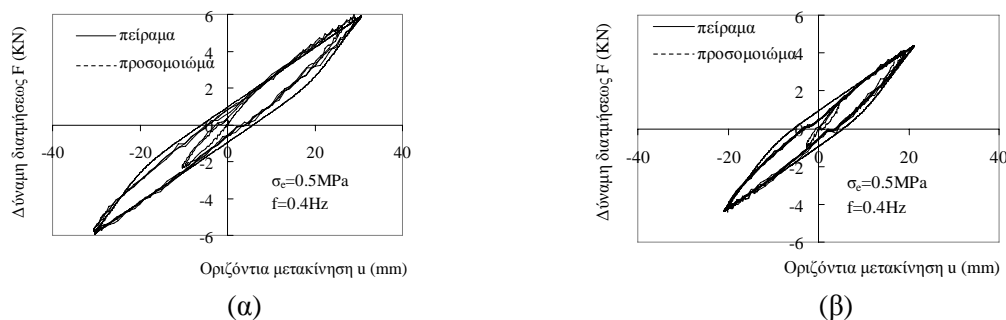
Η προσομοίωση των εφεδράνων στην περίπτωση μη γραμμικής ανάλυσης της ιστορίας φορτίσεως είναι δυνατό να γίνει με τη βοήθεια στοιχείων μη γραμμικής αποκρίσεως (non-linear links) που διαθέτουν αρκετά από τα προγράμματα ακαδημαϊκού χαρακτήρα, όπως είναι το SAP 2000. Για τα στοιχεία αυτά συνήθως καθορίζονται ξεχωριστά δύο διαφορετικές κατηγορίες ιδιοτήτων: (α) η δυσκαμψία K_{eff} και η απόσβεση ξ_{eff} του εφεδράνου για τη γραμμική ανάλυση και (β) η ελαστική δυσκαμψία K_e , η δύναμη διαρροής F_y και η μετελαστική δυσκαμψία K_p , για τη μη γραμμική ανάλυση. Μέσω όλων αυτών των παραμέτρων γίνεται ο καθορισμός του μη γραμμικού βρόχου που απεικονίζεται στο Σχήμα 10. Από τους πειραματικούς ελέγχους, όπως περιγράφηκαν στην παράγραφο 4.1. έως 4.4. είναι δυνατό να προσδιοριστούν τα εξής μεγέθη: (α) Η δύναμη F_o για μηδενική μετακίνηση στο πείραμα της ανακυκλιζόμενης φόρτισης, (β) η F_{max} δηλαδή η μέγιστη δύναμη η οποία αντιστοιχεί στην μετακίνηση σχεδιασμού, (γ) η d_{bd} δηλαδή η μετακίνηση σχεδιασμού του εφεδράνου και (δ) η K_p δηλαδή η μετελαστική (εφαπτομενική) δυσκαμψία του. Όλα τα παραπάνω μεγέθη είναι δυνατό να μετρηθούν μέσω του βρόχου υστέρησης που έχει προκύψει από τις μετρήσεις της απόκρισης ενός πειραματικώς ελεγχόμενου εφεδράνου. Η ελαστική δυσκαμψία K_e είναι σχετικά δύσκολο να προσδιοριστεί μέσω των δυναμικών πειραματικών δοκιμών καθώς δεν είναι εξαρχής γνωστή η μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου. Η τιμή της παραμέτρου αυτής μπορεί ωστόσο να εκτιμηθεί με βάση την εκτεταμένη βιβλιογραφία που υπάρχει πάνω στα ελαστομεταλλικά εφεδράνα και είναι περίπου διπλάσια ή τριπλάσια της μετελαστικής δυσκαμψίας ($K_e=(2\sim3)K_p$), (Naeim, Kelly 1999). Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις είναι δυνατόν να καθοριστεί ο βρόχος της συμπεριφοράς του μη-γραμμικού στοιχείου (non-linear link) που αντιπροσωπεύει το εφεδράνο στην επιχειρούμενη αριθμητική προσομοίωση. Στο Σχήμα 11 συγκρίνεται η ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά $F-u$ του μη συμβατικού εφεδράνου $150x150x150(120)$, όπως έχει προκύψει από την πειραματική ακολουθία για θλιπτική τάση 0,5MPa και συχνότητα κυκλικής μετακίνησης 0,4Hz, με την αντίστοιχη συμπεριφορά που έχει προκύψει από την αριθμητική προσομοίωση του εν λόγω εφεδράνου, όπως περιγράφηκε

προηγούμενος. Η σύγκριση αυτή γίνεται τόσο για μετακίνηση σχεδιασμού $d_{bd,1}=30\text{mm}$, Σχήμα 11α, όσο και για μετακίνηση σχεδιασμού $d_{bd,2}=20\text{mm}$, Σχήμα 11β, που αντιστοιχούν σε τιμές της γωνίας διατμήσεως 25% και 18%. Οι τιμές των διαφόρων παραμέτρων που απαιτούνται για τον καθορισμό του αριθμητικού προσομοιώματος λήφθηκαν από το πείραμα με μέγιστη μετακίνηση $d_{bd,1}=30\text{mm}$ και χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση τόσο του πειράματος με μέγιστη μετακίνηση την ίδια όσο και του πειράματος με μέγιστη μετακίνηση $d_{bd,2}=20\text{mm}$. Παρατηρείται ότι το εν λόγω αριθμητικό προσομοίωμα προσεγγίζει προφανώς με καλή ακρίβεια τον πειραματικώς μετρηθέντα βρόχο υστέρησης του εφεδράνου για μέγιστη μετακίνηση $d_{bd,1}=30\text{mm}$ και αρκετά ικανοποιητικά τον μετρηθέντα βρόχο για μέγιστη μετακίνηση $d_{bd,2}=20\text{mm}$.

Η άξια λόγου απόκλιση στην δεύτερη περίπτωση αφορά το ενεργό ποσοστό απόσβεσης. Η αριθμητική προσομοίωση που περιγράφηκε έχει σαν αποτέλεσμα στην δεύτερη περίπτωση της υπερεκτίμησης του ποσοστού αυτού. Σε κάθε περίπτωση είναι σκόπιμο η σύγκριση αυτή να επεκταθεί σε μεγαλύτερο εύρος πειραμάτων και παραμέτρων πριν εξαχθούν γενικευμένα συμπεράσματα. Η διαπίστωση αυτή οδηγεί επίσης στο συμπέρασμα ότι είναι σημαντικός τόσο καθορισμός της μετακίνησης-στόχος d_{bd} κατά την αριθμητική προσομοίωση των εφεδράνων που είναι ενσωματωμένα σε μια κατασκευή όσο και η πηγή προέλευσης των τιμών των παραμέτρων που καθορίζουν τις διάφορες ιδιότητες του στοιχείου μη γραμμικής αποκρίσεως (non-linear links) που θα χρησιμοποιηθεί σε τέτοιου τύπου αριθμητικής προσομοίωσης.



Σχήμα 10: Διγραμμική προσομοίωση υστερητικής συμπεριφοράς μονωτήρα βάσει των ΟΣΜ.



Σχήμα 11: Σύγκριση των βρόχων υστέρησης του πειράματος και του αναλυτικού προσομοιώματος.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα πειραματική έρευνα προσδιόρισε με βάση τις πρόσφατες Οδηγίες Σεισμικής Μονώσεως: (1) τη δυστημσία, (2) την ικανότητα απόσβεσης, (3) το μέτρο διατμήσεως των ελαστομερών (G) καθώς και την επιρροή (4) του ανηγμένου αξονικού φορτίου και (5) της συχνότητας επιβολής φορτίου σε όλες τις προηγούμενες παραμέτρους (1,2,3). Παράλληλα διερεύνησε την δυνατότητα ενός απλού αριθμητικού προσομοιώματος να προσεγγίσει την παρατηρηθείσα απόκριση των ελαστομεταλλικών εφεδράνων. Η διεξαχθείσα διερεύνηση κατέληξε στα κάτωθι συμπεράσματα:

- Πιστοποιήθηκε η μείωση της ενεργού δυσκαμψίας με την αύξηση της θλιπτικής τάσης. Η παρατήρηση αυτή και είναι σε συμφωνία με αντίστοιχες διαπιστώσεις από άλλες πειραματικές μελέτες της συμπεριφοράς των εφεδράνων.

- Επίσης, πιστοποιήθηκε η αντίστοιχη αύξηση του ενεργού ποσοστού απόσβεσης με την αύξηση της θλιπτικής τάσης που εξασκείται επί του εφεδράνου.

- Η αύξηση της συχνότητας επιβολής της οριζόντιας μετακίνησης δεν επιφέρει ουσιαστική μεταβολή της ενεργού δυσκαμψίας αλλά έχει σαν αποτέλεσμα την σημαντική μείωση του ενεργού ποσοστού απόσβεσης. Απαιτούνται περισσότερα πειράματα για την καλύτερη πιστοποίηση αυτής της επιρροής για τα συμβατικά εφέδρανα.

- Το αριθμητικό προσομοίωμα που χρησιμοποιήθηκε προσεγγίζει αρκετά ικανοποιητικά τους μετρηθέντες βρόχους υστέρησης. Η απόκλιση που παρατηρείται εστιάζεται κυρίως στο ενεργό ποσοστό απόσβεσης. Είναι σκόπιμο τα συμπεράσματα της αριθμητικής προσομοίωσης να βασισθούν σε μεγαλύτερο εύρος πειραμάτων και παραμέτρων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε τις τεχνικές εταιρείες που προσέφεραν τις τεχνικές πληροφορίες καθώς και τα αντίστοιχα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διάρκεια των δοκιμών και ειδικότερα την ΕΛΕΜΚΑ ΑΕ.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Αβραμίδης Ι.Ε., 2003. Ανάλυση Κατασκευών, Γενική εισήγηση, 14^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, σελ. 29-46, Τόμος Α΄.

Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός, ΕΑΚ 2000, ΟΑΣΠ.

Εγκύκλιος 39/99, Οδηγίες για την Αντισεισμική Μελέτη Γεφυρών.

Ηλιάδης Ι., 2001. Σεισμική μόνωση: Μία νέα αντιμετώπιση αντισεισμικής αντιμετώπισης των κτιρίων, 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής σεισμολογίας, Τόμος Β΄, σελ.485-493.

Οδηγίες για μελέτη γεφυρών με σεισμική μόνωση, Ιανουάριος 2004

Abe M., Yoshida J., Fujino Y., 2004. Multiaxial Behaviors of Laminated Rubber Bearings and Their Modeling. I: Experimental Study, *Journal of Structural Engineering*, Vol.130, No 8.

Abe M., Yoshida J., Fujino Y., 2004. Multiaxial Behaviors of Laminated Rubber bearings and Their Modeling. II: Modeling, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 130, No. 8.

Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 2: Bridges, DRAFT No 3.

Chopra A.K., 1995. Dynamic of structures, Theory and applications to earthquake engineering, Prentice Hall International Inc.

Kelly J.M., Takhirov, S.M., 2001. Analytical and Experimental Study of Fiber-Reinforced Elastomeric Isolators, PEER 2001/11.

Kelly J.M., 1997. Earthquake Resistant Design with rubber, Springer.

Kelly J.M., 2003. Tension buckling in multilayer elastomeric bearings, *Journal of Engineering Mechanics (ASCE)*, 129(12):1363-1368.

Kelly Tr., 2001. Base isolation of structures, Holmes consulting Group Ltd, Rev.0.

Naeim F., Kelly J.M., 1999. Design of seismic isolated structures, from theory to practice, John Wiley and Sons, Inc.

Ryan K.L., Kelly J.M., Chopra A.K., 2004. Experimental observation of axial load effects in isolation bearings, 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 1707.