

**ΠΡΟΤΑΣΗ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ  
ΓΙΑ ΜΙΚΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ ΚΑΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ****Αθανάσιος Παπαγεωργίου**

Υποψήφιος Διδάκτορας  
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
Αθήνα, Ελλάδα  
e-mail: [cv97044@yahoo.gr](mailto:cv97044@yahoo.gr)

**Χάρης Γαντές**

Αναπληρωτής Καθηγητής  
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
Αθήνα, Ελλάδα  
e-mail : [chgantes@central.ntua.gr](mailto:chgantes@central.ntua.gr)

**1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η παρούσα εργασία ασχολείται με τη δυναμική συμπεριφορά μικτών κατασκευών, οι οποίες αποτελούνται από δύο τμήματα. Το πρώτο εδράζεται επί του εδάφους, είναι κατασκευασμένο από σκυρόδεμα, και έχει συντελεστή απόσβεσης ίσο με 5%, ενώ το δεύτερο εδράζεται επί του τμήματος από σκυρόδεμα, είναι κατασκευασμένο από χάλυβα, και έχει συντελεστή απόσβεσης ίσο με 2%. Οι ισχύοντες κανονισμοί δεν καλύπτουν το σχεδιασμό των κατασκευών αυτού του τύπου, ειδικά στις περιπτώσεις που το τμήμα από χάλυβα έχει μάζα συγκρίσιμη με αυτήν του τμήματος από σκυρόδεμα. Αντιθέτως, η μόνη αναλυτικού τύπου λύση που υπάρχει είναι σε μιγαδική μορφή, κάτι που την καθιστά ακατάλληλη για χρήση στο σχεδιασμό. Για τη μελέτη αυτών των κατασκευών εκτελούνται δυναμικές αναλύσεις με χρονική ολοκλήρωση, διβάθμιων συστημάτων υπό αρμονική διέγερση σε συντονισμό με την πρώτη ιδιομορφή, με σκοπό να εκτιμηθεί το σφάλμα που προκύπτει από τη χρήση των μιγαδικών ιδιομορφικών μεγεθών σε μια συνήθη ιδιομορφική ανάλυση, και οι ιδιομορφικοί συντελεστές απόσβεσης χρησιμοποιούνται στην ανάλυση μιας πραγματικής διώροφης κατασκευής.

**2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της δυναμικής απόκρισης μικτών κατασκευών οι οποίες αποτελούνται από δύο τμήματα, ένα που αποκαλείται πρωτεύον σύστημα ή υποκατασκευή, και το οποίο εδράζεται επί του εδάφους, και ένα δεύτερο το οποίο αποκαλείται δευτερεύον σύστημα ή υπερκατασκευή και εδράζεται επί του πρωτεύοντος.

Η υποκατασκευή συνήθως συμβολίζεται με το γράμμα p (primary structure) και η υπερκατασκευή με το γράμμα s (secondary structure). Τα δύο αυτά τμήματα της κατασκευής χαρακτηρίζονται από διαφορετική δυναμική συμπεριφορά. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην κατανομή του υλικού καθ' ύψος της κατασκευής, π.χ. το p τμήμα μπορεί να αποτελείται από σκυρόδεμα και το s από χάλυβα, με αποτέλεσμα ο συντελεστής απόσβεσης ζ να παίρνει διαφορετικές τιμές για το κάθε κομμάτι. Ένας άλλος λόγος μπορεί να είναι η κατανομή της δυσκαμψίας καθ' ύψος, για παράδειγμα το πρωτεύον σύστημα μπορεί να έχει διαγώνιους συνδέσμους ή τοιχώματα, ενώ το δευτερεύον σύστημα να αποτελείται από πλαίσια. Η διαφορετική δυναμική συμπεριφορά μπορεί να είναι και αποτέλεσμα συνδυασμού των παραπάνω αιτιών. Σε κάθε περίπτωση, η δυναμική απόκριση της κατασκευής είναι δύσκολο να μελετηθεί με τις διαδικασίες που χρησιμοποιούνται στις κανονικές κατασκευές.

Τέτοιες κατασκευές απαντώνται συχνά σε στάδια, όπου οι κερκίδες των θεατών, που στεγάζουν επίσης και βοηθητικές λειτουργίες του γηπέδου, διαμορφώνονται συνήθως σαν πλαίσια από οπλισμένο σκυρόδεμα, ενώ το στέγαστρό τους συνήθως είναι χαλύβδινα πλαίσια ή δικτυώματα, τα οποία εδράζονται επί των κερκίδων. Επίσης, τέτοιου τύπου κατασκευές είναι και οι καθ' ύψος προσθήκες ελαφρών μεταλλικών πλαισίων πάνω σε υπάρχοντα κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος, με σκοπό να μειωθεί το βάρος της κατασκευής ή να μειωθεί ο χρόνος της κατασκευής. Στην παρούσα εργασία ερευνώνται κατασκευές, στις οποίες το κατώτερο τμήμα τους κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα και έχει συντελεστή απόσβεσης ίσο με 5%, τυπική τιμή για τις περισσότερες περιπτώσεις κτιρίων από σκυρόδεμα, και το ανώτερο τμήμα τους κατασκευάζεται από χάλυβα με συντελεστή απόσβεσης ίσο με 2%, επίσης μια τυπική τιμή για μεταλλικές κατασκευές με συγκολλητές συνδέσεις. Γίνεται η παραδοχή ελαστικής συμπεριφοράς και εξετάζεται το πρόβλημα της απόσβεσης.

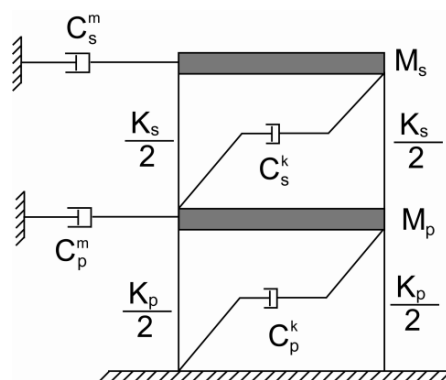
Ο αντισεισμικός σχεδιασμός αυτού του τύπου των κατασκευών δεν καλύπτεται από τις τρέχουσες κανονιστικές διατάξεις αντισεισμικού σχεδιασμού (EAK, EC8), ειδικά για τις περιπτώσεις στις οποίες η μάζα του τμήματος s είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με αυτήν του τμήματος p. Εάν κάποιος αποφασίσει να εκτελέσει πλήρη ανάλυση χρονοϊστορίας για μια τέτοιου τύπου κατασκευή, θα πρέπει να διαμορφώσει ένα μητρώο απόσβεσης, το οποίο να αντιστοιχεί στους συντελεστές απόσβεσης των δύο τμημάτων. Κάτι τέτοιο προβλέπει την κατασκευή δύο υπομητρώων απόσβεσης, ενός για το κάθε τμήμα, και ακολούθως την ένωσή τους με κατάλληλο τρόπο, ώστε να σχηματιστεί το συνολικό μητρώο απόσβεσης. Μια τέτοια διαδικασία δεν είναι συνήθης και δεν καλύπτεται από εμπορικούς κώδικες λογισμικού. Μια άλλη επιλογή είναι ο διαχωρισμός την κατασκευής στις ιδιομορφές της και η εκτέλεση ιδιομορφικής ανάλυσης χρονοϊστορίας, ή φασματικής ανάλυσης. Το πρόβλημα τώρα είναι ότι οι ιδιομορφές που προκύπτουν δεν διαγωνιοποιούν το μητρώο απόσβεσης, και κατά συνέπεια οι ιδιομορφικές εξισώσεις είναι συζευγμένες μεταξύ τους, ενώ για να προκύψει σύστημα εξισώσεων πλήρως αποζευγμένο θα πρέπει να υπολογιστούν μιγαδικές ιδιομορφές, κάτι που επίσης δεν συνηθίζεται στην διαδικασία σχεδιασμού. Σε περίπτωση που κάποιος αποφασίσει να προχωρήσει σε ανάλυση με μιγαδικές ιδιομορφές, τότε είναι δυνατή η χρήση ενός φάσματος απόκρισης προκειμένου να βρεθούν τα μέγιστα της απόκρισης, όπως δείχνουν οι Igusa και der Kiureghian [1]. Εν τέλει, η πλέον διαδεδομένη λύση για την αντιμετώπιση τέτοιων κατασκευών είναι η υιοθέτηση ενός ενιαίου συντελεστή απόσβεσης, που συχνά λαμβάνεται συντηρητικά ίσος με 2%. Με τον τρόπο αυτό είναι πλέον εφικτός ο υπολογισμός των μεγίστων της απόκρισης της κατασκευής χρησιμοποιώντας φάσματα σχεδιασμού ή ακόμα και η ιδιομορφική ανάλυση χρονοϊστορίας, χωρίς το μειονέκτημα των μιγαδικών ιδιομορφών.

Κατά το παρελθόν έχουν προταθεί μέθοδοι για την προσομοίωση κατασκευών με μη κανονική κατανομή της απόσβεσης, με εφαρμογή κυρίως σε περιπτώσεις κτιρίων με αποσβεστήρες, λόγω της ευρείας πλέον διάδοσής τους και της επακόλουθης ανάγκης για διαδικασίες σχεδιασμού, οι οποίες να μπορούν να λάβουν υπόψη ορθά την κατανομή της απόσβεσης στην κατασκευή. Η πλέον διαδεδομένη μέθοδος είναι η λεγόμενη μέθοδος της ενέργειας των ιδιομορφικών παραμορφώσεων (modal strain energy method). Με βάση την μέθοδο αυτή, έχουν προκύψει άλλες διαδικασίες σχεδιασμού και ανάλυσης με σκοπό να βελτιωθούν τα αποτελέσματά της (Chang et al. [2]). Η μέθοδος αυτή και οι παραλλαγές της μπορούν να εφαρμοστούν σε μη κανονικές κατασκευές σκυροδέματος – χάλυβα, αν η απόσβεση σε κάθε βαθμό ελευθερίας προσομοιωθεί κατάλληλα με αποσβεστήρες. Σε μια διαφορετική προσέγγιση οι Huang et al. [3] εξετάζουν μια πολυβάθμια κατασκευή, η οποία αποτελείται από δύο τμήματα, το κάθε ένα με διαφορετικό συντελεστή απόσβεσης, και εξάγουν συμπεράσματα για την ισοδύναμη ιδιομορφική απόσβεση, εξετάζοντας το σφάλμα μεταξύ μιας αριθμητικής ανάλυσης με την ορθή κατανομή της απόσβεσης και μιας προσεγγιστικής – αναλυτικής, στην οποία αγνοούνται οι μη διαγώνιοι όροι του μητρώου απόσβεσης.

Στην παρούσα εργασία γίνεται χρήση των μιγαδικών τιμών της απόσβεσης για κάθε ιδιομορφή σε μια πραγματική ιδιομορφική χρονική ανάλυση, με την οποία είναι πιο εύκολο να εξαχθεί η απόκριση μιας κατασκευής. Σκοπός είναι η διερεύνηση του συνεπαγόμενου σφάλματος, ώστε να διαπιστωθεί αν είναι δυνατή η ευρύτερη εφαρμογή των μιγαδικών ιδιομορφικών μεγεθών.

### 3. ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΙ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ

Στην παρούσα εργασία προτείνεται μια διαδικασία παρόμοια με αυτήν των Huang et al [3] με χρήση μιγαδικών ιδιομορφών. Εξετάζονται ελαστικές διβάθμιες κατασκευές, όπως αυτή που φαίνεται στο Σχ. 1, όπου με  $M_i$  και  $K_i$ ,  $i = s, p$  συμβολίζονται η μάζα και η δυσκαμψία του κάθε τμήματος.



Σχ. 1: Διβάθμια μικτή κατασκευή

Οι συντελεστές  $C_i^m$  και  $C_i^k$  αντιπροσωπεύουν τους αναλογικούς (κατά Rayleigh) συντελεστές απόσβεσης. Στην περίπτωση κατασκευών με ενιαία απόσβεση, ο υπολογισμός τους είναι αρκετά απλός. Σε περιπτώσεις όμως όπως αυτές που εξετάζονται εδώ, με μικτή απόσβεση των δύο τμημάτων,  $\zeta_p = 5\%$  και  $\zeta_s = 2\%$  αντίστοιχα, θα πρέπει να γίνει μια μικρή τροποποίηση (Papageorgiou και Gantes [4]).

Προκειμένου να χαρακτηριστεί η συνολική απόκριση της κατασκευής με τρόπο που να σχετίζεται και με τις ιδιότητες των δύο τμημάτων, ορίζονται ο λόγος ιδιοσυχνοτήτων  $R_\omega$  και ο λόγος μαζών  $R_m$ :

$$R_\omega = \frac{\omega_s}{\omega_p}, R_m = \frac{M_s}{M_p} \quad (1)$$

Για τις αναλύσεις, το πρωτεύον σύστημα επιλέγεται να έχει ιδιοπερίοδο ίση με 0,1 sec και μάζα ίση με 1.000 Mgr. Εξετάζεται ένα μεγάλο εύρος λόγων μαζών και ιδιοσυχνοτήτων των δύο τμημάτων, και για κάθε ζεύγος λόγων, και με δεδομένα τα χαρακτηριστικά του πρωτεύοντος τμήματος, είναι δυνατός ο υπολογισμός των χαρακτηριστικών του δευτερεύοντος τμήματος, και επομένως η διαμόρφωση του συνολικού διβάθμιου συστήματος.

Για κάθε ζεύγος λόγων  $R_\omega - R_m$ , εκτελούνται δύο ειδών δυναμικές αναλύσεις. Αρχικά, γίνεται μια ανάλυση του πλήρους συστήματος με τη ορθή διαμόρφωση του μητρώου απόσβεσης, με επιβαλλόμενη εδαφική διέγερση αρμονική σε συντονισμό με την πρώτη ιδιομορφή, όπως φαίνεται στην εξ. (2), όπου  $[M]$ ,  $[C]$  και  $[K]$  είναι τα μητρώα μάζας, απόσβεσης και δυσκαμψίας της κατασκευής, αντίστοιχα. Το διάνυσμα  $\{y\}$  υποδηλώνει τις σχετικές ως προς τη βάση μετακινήσεις των βαθμών ελευθερίας της κατασκευής και  $r = (1 \ 1)^T$ . Από την απόκριση καταγράφονται και αξιολογούνται αποτελέσματα σε όρους απόλυτων επιταχύνσεων  $\{\bar{y}\} = \{\ddot{y}\} + \{r\}\ddot{x}_g$  και τεμνουσών ορόφου  $\{V\}$ .

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = -[M]\{r\}\ddot{x}_g \quad (2)$$

Ακολούθως, η εξ. (2) μετατρέπεται στον χώρο κατάστασης (state-space configuration), και με ιδιομορφική ανάλυση εξάγονται οι ιδιοτιμές  $s_i$ ,  $i=1,2$ , οι οποίες είναι σε μιγαδική μορφή. Για κάθε ιδιομορφή, ο αντίστοιχος συντελεστής απόσβεσης υπολογίζεται όπως στην εξ. (3), οπότε προκύπτουν οι τιμές που φαίνονται στο Σχ. 2.

$$\zeta_i = \frac{-\text{Re}(s_i)}{|s_i|} \quad (3)$$

Σε μια προσπάθεια προσέγγισης της ακριβούς διαδικασίας με μια προσεγγιστική ανάλυση που μπορεί εύκολα να πραγματοποιηθεί μη χρήση συνήθους λογισμικού αντισεισμικού σχεδιασμού των κατασκευών, οι ιδιομορφικοί συντελεστές απόσβεσης  $\zeta_1$  και  $\zeta_2$  που προκύπτουν από το Σχ. 2, χρησιμοποιούνται σε μια ιδιομορφική δυναμική ανάλυση, με πραγματικές τιμές αυτήν τη φορά, υπό την ίδια εδαφική διέγερση  $\ddot{x}_g$ , όπως φαίνεται στην εξ. (4), όπου με  $\Gamma_i$  συμβολίζεται το ποσοστό συμμετοχής της ιδιομορφής  $i$ .

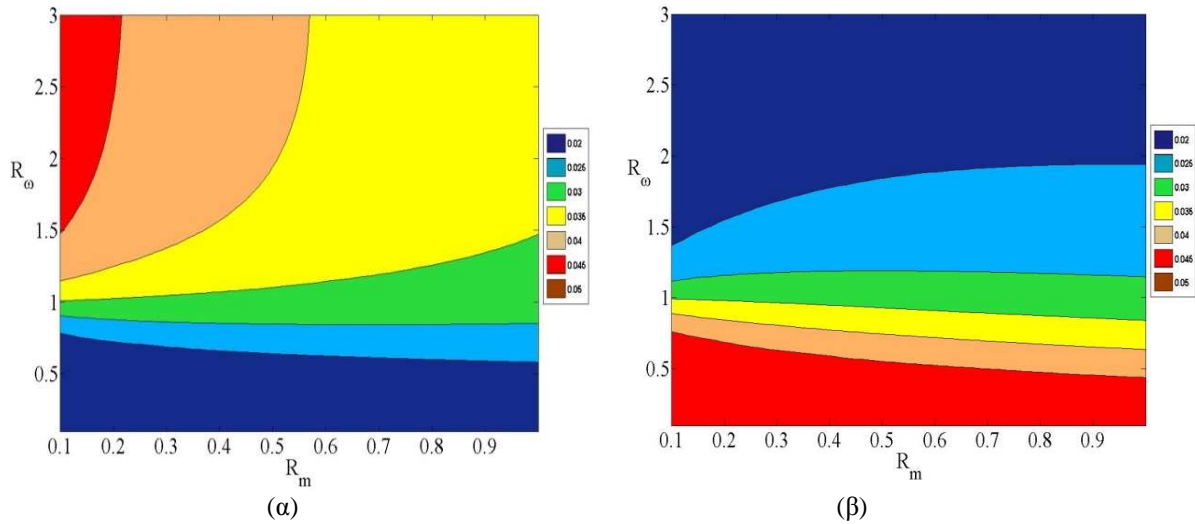
$$\ddot{q}_i + 2\zeta_i\omega_i\dot{q}_i + \omega_i^2q_i = -\Gamma_i\ddot{x}_g, \quad i=1,2 \quad (4)$$

Η τελική απόκριση  $\{y'\}$  υπολογίζεται όπως στην εξ. (5), όπου  $\Phi$  είναι ο πίνακας των ιδιοδιανυσμάτων.

$$\{y'\} = [\Phi]\{q\} \quad (5)$$

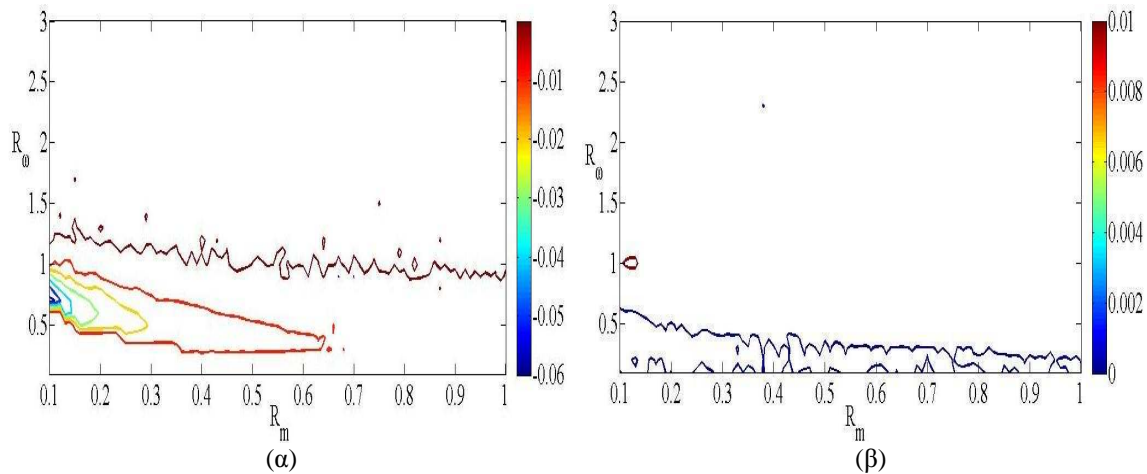
Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται, είναι πάλι σε όρους απόλυτων επιταχύνσεων  $\{\bar{y}'\} = \{\ddot{y}'\} + \{r\}\ddot{x}_g$  και τεμνουσών ορόφου  $\{V'\}$ .

Για να αξιολογηθεί η ακρίβεια της προτεινόμενης διαδικασίας, λαμβάνονται τα μέγιστα των αποκρίσεων των δύο αναλύσεων, ακριβούς και προσεγγιστικής, και για κάθε επίπεδο της κατασκευής υπολογίζεται το σφάλμα μεταξύ των δύο αναλύσεων σε όρους απόλυτων επιταχύνσεων και τεμνουσών ορόφου, σύμφωνα με την εξ. (6). Τα σφάλματα που προκύπτουν απεικονίζονται στα Σχ. 3 και Σχ. 4.

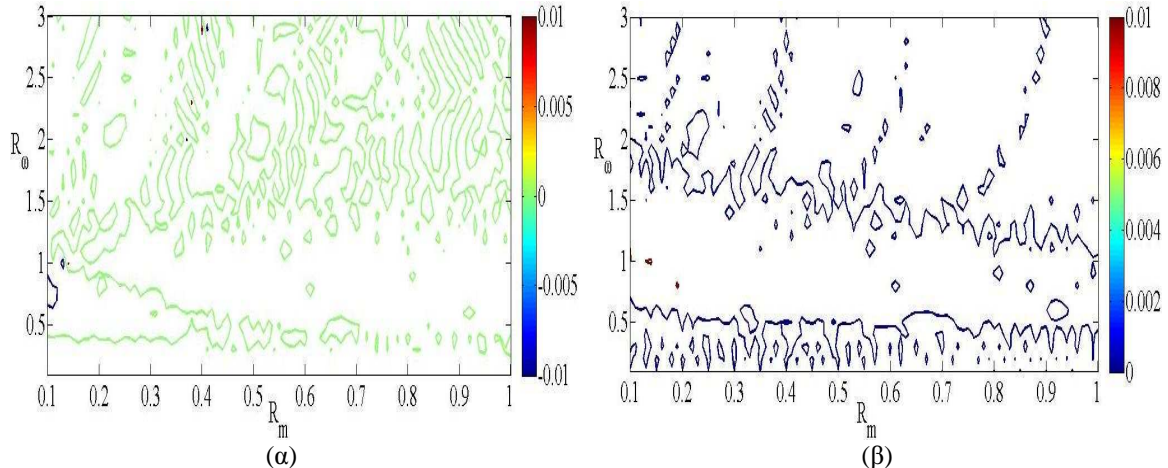


Σχ. 2: Κατανομή ιδιομορφικών συντελεστών απόσβεσης, (α) 1<sup>η</sup> και (β) 2<sup>η</sup> ιδιομορφή

$$e_{accl} = \frac{\max(|\bar{y}|) - \max(|\bar{y}'|)}{\max(|\bar{y}|)} \cdot e_{shear} = \frac{\max(|V|) - \max(|V'|)}{\max(|V|)} \quad (6)$$



Σχ. 3: Σφάλμα σε όρους απολύτων επιταχύνσεων, (α) υποκατασκευή (β) υπερκατασκευή

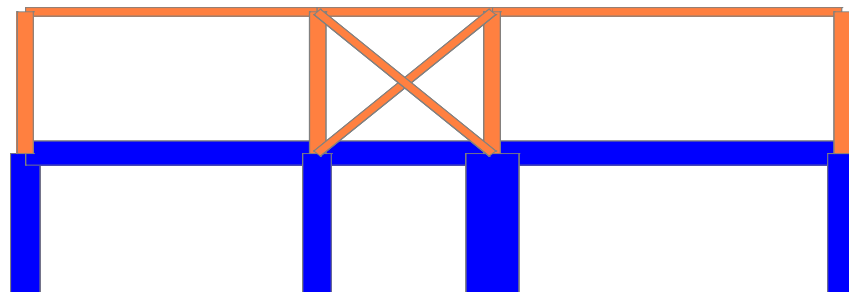


Σχ. 4: Σφάλμα σε όρους τεμνουσών ορόφων, (α) υποκατασκευή (β) υπερκατασκευή

Όπως φαίνεται από τα Σχ. 3 και 4 το σφάλμα που προκύπτει με χρήση των ιδιομορφικών συντελεστών απόσβεσης σε ανάλυση με πραγματικές ιδιομορφές είναι πολύ μικρό, επιτρέποντας έτσι την εφαρμογή της μεθόδου σε ανάλυση πραγματικών κατασκευών.

#### 4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Οι προτεινόμενοι ιδιομορφικοί συντελεστές απόσβεσης εφαρμόζονται στην διάφορη πλαίσιακή κατασκευή του Σχ. 5, με ισόγειο κατασκευασμένο από σκυρόδεμα και απόσβεση ίση με 5% και όροφο από χάλυβα με απόσβεση ίση με 2%. Το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος είναι ίσο με 27,5MPa και του χάλυβα ίσο με 2,1GPa. Τα υποστρώματα της υποκατασκευής έχουν διατομές 50/50 και 90/90, ενώ τα αντίστοιχα της υπερκατασκευής HEB280. Η μάζα του πρωτεύοντος συστήματος είναι ίση με 60Mgr και του δευτερεύοντος ίση με 36Mgr. Αυτά τα μεγέθη αντιστοιχούν σε λόγο ιδιοσυχνοτήτων ίσο με 0,8 και λόγο μαζών ίσο με 0,6, και από το Σχ. 2 προκύπτει ότι οι ισοδύναμοι συντελεστές απόσβεσης για την πρώτη ιδιομορφή (περίοδος ίση με 0,08 sec και συντελεστής συμμετοχής 0,81) είναι 2,5% και για τη δεύτερη ιδιομορφή (περίοδος 0,04 sec και συντελεστής συμμετοχής 0,19) 3,5%.



Σχ. 5: Διβάθμια μικτή κατασκευή

Για την εν λόγω κατασκευή η οποία υποβάλλεται σε εδαφική διέγερση σε συντονισμό με την πρώτη της ιδιομορφή, εκτελείται μια ακριβής ανάλυση με χρονική ολοκλήρωση, κατά την οποία λαμβάνεται υπόψη η πραγματική κατανομή της απόσβεσης, μια ιδιομορφική δυναμική ανάλυση στην οποία χρησιμοποιούνται οι ισοδύναμοι συντελεστές απόσβεσης 2,5% και 3,5% και δύο δυναμικές αναλύσεις με ενιαίες αποσβέσεις 2% και 5% αντίστοιχα. Επίσης, εκτελούνται και φασματικές αναλύσεις χρησιμοποιώντας το φάσμα απόκρισης της αρμονικής εδαφικής διέγερσης και το φάσμα του ΕΑΚ με τις ιδιομορφικές αποκρίσεις να συνδυάζονται με τον κανόνα CQC. Για κάθε μια από τις αναλύσεις, ακριβείς και προσεγγιστικές, λαμβάνονται ως αποτελέσματα τα μέγιστα των απολύτων επιταχύνσεων και το προκύπτον σφάλμα για κάθε στάθμη υπολογίζεται σύμφωνα με την εξ. (7). Το σφάλμα που προκύπτει μεταξύ της ακριβούς δυναμικής ανάλυσης και των προσεγγιστικών αναλύσεων, είτε αυτές είναι δυναμικές ιδιομορφικές είτε φασματικές, φαίνεται στον Πίν. 1, ενώ οι τιμές της φασματικής ενίσχυσης με εφαρμογή των ισοδύναμων ιδιομορφικών αποσβέσεων στο φάσμα του ΕΑΚ φαίνονται στον Πίν. 2.

$$e^* = \frac{\max(|\bar{y}_{ex}|) - \max(|\bar{y}_{appr}|)}{\max(|\bar{y}_{ex}|)} \quad (7)$$

ζ	e* δυναμικές αναλ.		e* φασματικές αναλ.	
	p	s	p	s
2%	-0,30	-0,26	-0,28	-0,11
ζ <sub>1</sub> =2.5% - ζ <sub>2</sub> =3.5%	-0,16	-0,14	-0,17	-0,01
5%	0,21	0,23	0,18	0,29

Πίν. 1: Σφάλμα από χρήση ισοδύναμων και ενιαίων συντελεστών απόσβεσης

Οι διαφορές μεταξύ της ακριβούς ανάλυσης και των προσεγγιστικών αναλύσεων με τους ιδιομορφικούς συντελεστές απόσβεσης και με τους ενιαίους συντελεστές 2% και 5% επιβεβαιώνουν ότι η επιλογή των ισοδύναμων ιδιομορφικών συντελεστών απόσβεσης επιτρέπει την πιο ρεαλιστική προσομοίωση της κατασκευής. Όπως φαίνεται και από τον Πίν. 1, η επιλογή ενιαίας απόσβεσης 2% αποτελεί συντηρητική θεώρηση για την μικτή κατασκευή, όπως άλλωστε ήταν αναμενόμενο, ενώ η επιλογή ενιαίας απόσβεσης 5% υποεκτιμά τις επιταχύνσεις. Η θεώρηση της αρμονικής διέγερσης σε συντονισμό με την πρώτη ιδιομορφή είναι μάλλον συντηρητική και σε περίπτωση σεισμικής διέγερσης τα τελικά σφάλματα θα είναι μικρότερα. Έτσι όμως επιτυγχάνεται μια εκτίμηση του άνω ορίου του σφάλματος από τη χρήση των ισοδύναμων συντελεστών απόσβεσης.

$\zeta$	$p$	$s$
2%	4,64	9,92
$\zeta_1=2.5\% - \zeta_2=3.5\%$	4,38	9,46
5%	3,84	8,02

Πιν. 2: Φασματικές ενισχύσεις με τη χρήση ισοδύναμων και ενιαίων  $\zeta$

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εξετάζονται κατασκευές οι οποίες έχουν μη κανονική κατανομή απόσβεσης καθ' ύψος, με σκοπό να εξαχθούν συμπεράσματα για τη χρήση ισοδύναμων συντελεστών απόσβεσης. Για ένα μεγάλο εύρος δυναμικών χαρακτηριστικών υπολογίζονται τα μιγαδικά ιδιομορφικά μεγέθη και εφαρμόζονται σε πραγματική ιδιομορφική ανάλυση, γίνεται εκτίμηση του προκύπτοντος σφάλματος και προτείνονται κατανομές ισοδύναμων ιδιομορφικών συντελεστών απόσβεσης. Εξετάζεται ένα παράδειγμα μιας πραγματικής πλαισιακής κατασκευής με μικτή απόσβεση και οι προτεινόμενοι συντελεστές απόσβεσης αποδεικνύονται αποτελεσματικοί ως προς την εκτίμηση της τελικής απόκρισης.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το έργο συγχρηματοδοτείται κατά 75% της Δημόσιας Δαπάνης από την Ευρωπαϊκή Ένωση – Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο, κατά 25% της Δημόσιας Δαπάνης από το Ελληνικό Δημόσιο – Υπουργείο Ανάπτυξης – Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας, και από τον Ιδιωτικό Τομέα στο πλαίσιο του Μέτρου 8.3 του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα – Γ' Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] IGUSA T., DER KIUREGHIAN A., “Response Spectrum Method for Systems with Non-Classical Damping”, Proceedings 4th Engineering Mechanics Division Specialty conference, 1983.
- [2] CHANG, K. C., SOONG, T. T., OH, S. T., LAI, M. L., “Seismic behaviour of steel frame with added viscoelastic dampers”, Journal of Structural Engineering, Vol. 121, No. 10, 1995, pp. 1418-1426.
- [3] HUANG, B. C., LEUNG, A. Y. T., LAM, K. M., CHEUNG, Y. K., “Analytical determination of equivalent modal damping ratios of a composite tower in wind induced vibrations”, Computers & Structures, Vol. 59, No.2, 1994, pp. 311-316.
- [4] PAPAGEORGIOU A. V., GANTES C. J., “Decoupling Criteria for the Dynamic Response of Primary/Secondary Structural Systems”, Proceedings of the 4th European Workshop on the Seismic Behaviour of Irregular and Complex Structures, 2005.

## PROPOSED MODAL DAMPING RATIOS FOR MIXED CONCRETE/STEEL STRUCTURES

**Athanasios Papageorgiou**

Ph.D. Candidate

National Technical University of Athens

Athens, Greece

e-mail: [cv97044@yahoo.gr](mailto:cv97044@yahoo.gr)

**Charis Gantes**

Associate Professor

National Technical University of Athens

Athens, Greece

e-mail: [chgantes@central.ntua.gr](mailto:chgantes@central.ntua.gr)

### SUMMARY

The present work deals with the dynamic response of structures with irregular damping, consisting of two parts. The first part is founded on the ground, it is made of concrete, and has a damping ratio equal to 5%, while the second one is resting on the first one, it is made of steel, and has a damping ratio equal to 2%. Current codes do not cover the design of such structures, particularly the cases where the steel part has considerable mass compared to that of the concrete part. The only analytical solution existing is in complex form, thus it is not suitable for everyday use. In order to address the difficulties associated with the analysis of such structures, time history analyses of 2-DOF systems are carried out, in order to evaluate the error occurring due to the use of these complex modal characteristics in real valued modal analysis. The results are shown in contour plots of modal equivalent damping ratio and resulting errors, as functions of the dynamic characteristics of the two parts of the structure. These modal damping ratios are then applied in the analysis of a real 2-story irregularly damped structure, and the results confirm the merit of the use of the equivalent modal damping ratios.