

ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΚΑΟΡΟΦΟΥ ΣΥΜΜΙΚΤΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Καλλιόπη Δ. Στεφανάκη^a, Χρίστος Ν. Κάλφας^b, Δημήτριος Θ. Παχούμης^c, Άννα Α. Μαρινοπούλου^c

^a Υποψ. Διδ., MSc Πολιτικός Μηχανικός

^b Αναπλ. Καθηγητής Δ.Π.Θ.

^c Δρ. MSc Πολιτικός Μηχανικός

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών Δ.Π.Θ

Ξάνθη, Ελλάδα

e-mail : msslgroup@civil.duth.

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η μελέτη της σεισμικής απόκρισης (μη γραμμική δυναμική ανάλυση) σύμμικτων πλαισίων σύμφωνα με τις διατάξεις του Ευρωκώδικα 8. Συγκεκριμένα, εξετάζεται δεκαόροφο ενδιάμεσο πλαίσιο σύμμικτης κατασκευής, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Ευρωκώδικα 8 και του Ευρωκώδικα 4. Τα αποτελέσματα της αρχικής διαστασιολόγησης λαμβάνονται ως δεδομένα για τη μη γραμμική δυναμική ανάλυση και η σεισμική απόκριση του φορέα μελετάται για έξι διαφορετικά σειсмоγραφήματα, πραγματικά και τεχνητά. Ως κριτήριο αξιολόγησης των αποτελεσμάτων επιλέγεται ο δείκτης βλαβών της κατασκευής, ο οποίος δύναται να αξιολογήσει την απόκριση της κατασκευής τόσο αρχιτεκτονικά όσο και κατασκευαστικά. Επιπρόσθετα, η κατασκευή ελέγχεται τοπικά βάση των πλαστικών αρθρώσεων που αναπτύχθηκαν στις δοκούς και τα υποστυλώματα.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία 50 χρόνια στον τομέα των κατασκευών έχουν σημειωθεί σημαντικές αλλαγές ως προς την αύξηση του όγκου των δομημάτων (αυξημένο ύψος, μεγάλες επιφάνειες κάλυψης), την ποικιλία των ειδών επικάλυψης και μορφής των όψεων (γρανίτες, πλακίδια, υαλοπετάσματα κτλ), των εσωτερικών διαχωριστικών και στοιχείων (τοιχοποιίες, ελαφρά πετάσματα, κουφώματα κτλ) αλλά και του ηλεκτρομηχανολογικού τους εξοπλισμού. Εντούτοις ελάχιστες αλλαγές έχουν σημειωθεί σε ότι αφορά το σχεδιασμό του φέροντος οργανισμού. Κατά το πλείστον στην Ελλάδα, παρότι ιδιαίτερα σεισμογενής χώρα, τα φέροντα στοιχεία εξακολουθούν να σχεδιάζονται από ωπλισμένο σκυρόδεμα, γεγονός που πολλές φορές οδηγεί τόσο στον περιορισμό του μελετητή, όσον αφορά τη διαμόρφωση για παράδειγμα μεγάλων ανοιγμάτων, όσο και στο σχεδιασμό κατασκευών με μεγάλα ίδια βάρη (υψηλά νεκρά φορτία, αυξημένες δυνάμεις αδράνειας λόγω σεισμικής δράσης). Οδηγούμαστε λοιπόν σε ακριβότερες κατασκευές, γεγονός το οποίο αντιτίθεται στις σημερινές οικονομικές συνθήκες του ελλαδικού χώρου. Τόσο παγκοσμίως όσο και στη

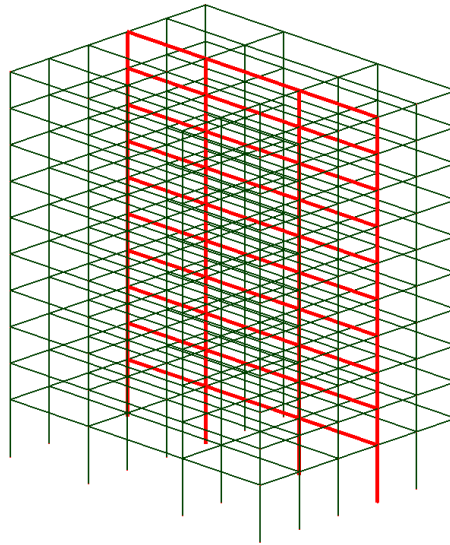
χώρα μας, παρατηρείται πλέον σημαντική άνοδος της χρήσης των σύμμικτων κατασκευών εξαιτίας της ανάπτυξης υπολογιστικών μεθόδων που βασίζονται στη βελτίωση της γνώσης της σύμμικτης συμπεριφοράς, των τεχνολογιών κατασκευής, αλλά και της ύπαρξης κανονισμών για τον υπολογισμό και τον σχεδιασμό αυτών των κατασκευών. Ωστόσο, το επίπεδο που έχει φτάσει η τεχνογνωσία απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση και γι' αυτό απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την συμπλήρωση και εξέλιξη των ελλείπων κανονισμών και υπολογιστικών μεθόδων. Ειδικότερα, η μελέτη της σεισμικής απόκρισης σύμμικτων πλαισίων είναι σαφώς πιο περιορισμένη απ' ό,τι πλαισίων ωπλισμένου σκυροδέματος ή ακόμη και από τα αμιγώς μεταλλικά. Αυτό οφείλεται στην πολυπλοκότητα της μη γραμμικής δυναμικής ανάλυσης, καθώς σε σύμμικτα πλαίσια πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι νόμοι τάσεων παραμορφώσεων όχι μόνο των δύο υλικών ξεχωριστά αλλά και της σύνθετης διατομής.

Στην παρούσα εργασία γίνεται ο σχεδιασμός και η διαστασιολόγηση σύμμικτου δεκαώροφου πλαισίου σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς (Ευρωκώδικας 1, Ευρωκώδικας 3, Ευρωκώδικας 4 και Ευρωκώδικας 8) και εν συνεχεία τα αδρανειακά χαρακτηριστικά των σύμμικτων διατομών των δοκών και των υποστυλωμάτων που προκύπτουν από τη διαστασιολόγηση χρησιμοποιούνται ως δεδομένα για τη μετατροπή τους σε αμιγώς μεταλλικές διατομές με τα ίδια αδρανειακά χαρακτηριστικά. Οι ισοδύναμες πλέον μεταλλικές διατομές (με κύριο υλικό το χάλυβα S235) εισάγονται για τη μη γραμμική δυναμική ανάλυση του σύμμικτου δεκαώροφου πλαισίου. Ως τυπικό πλαίσιο σύμμικτης κατασκευής, πλαισιωτή και στις δύο διευθύνσεις, χρησιμοποιήθηκε το μεσαίο, ως δυσμενέστερο στο οποίο εφαρμόστηκαν έξι διαφορετικά σειсмоγραφήματα, πραγματικά και τεχνητά. Για κάθε ένα από τα παραπάνω σειсмоγραφήματα, ελήφθησαν οι μέγιστες μετατοπίσεις κάθε ορόφου καθώς αναπτύχθηκαν και τα διαγράμματα της μετατόπισης του δέκατου ορόφου συναρτήσει του χρόνου. Επιπρόσθετα, καταγράφηκαν οι μέγιστες στροφές των κόμβων για κάθε σειсмоγράφημα καθώς και οι χρόνοι εμφάνισης πλαστικών αρθρώσεων σε δοκούς και υποστυλώματα. Ως δείκτης για τον έλεγχο των βλαβών στο σύμμικτο πλαίσιο ορίστηκε ο λόγος του αθροίσματος των πλαστικών στροφών προς το σύνολο των πλαστικών αρθρώσεων. Ο δείκτης βλαβών αξιολογεί την απόκριση της κατασκευής τόσο αρχιτεκτονικά, όσο και κατασκευαστικά. Πλέον σύμφωνα με τα αποτελέσματα του δείκτη βλαβών στις ισοδύναμες μεταλλικές διατομές μπορούμε να συμπεράνουμε για τις σύμμικτες διατομές, με τις οποίες ξεκινήσαμε.

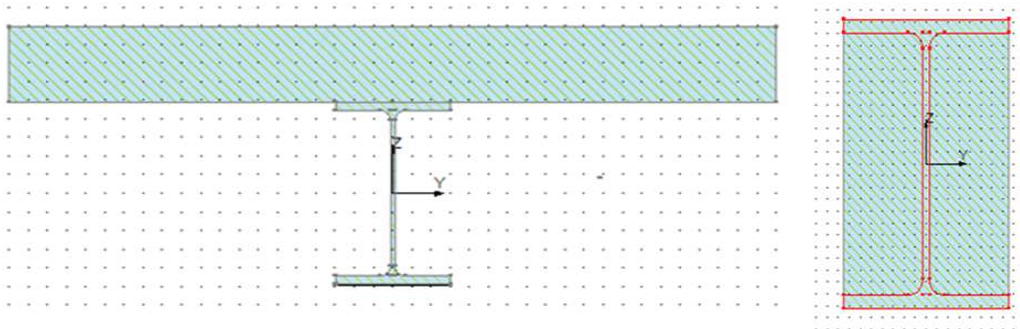
3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Το υπό ανάλυση πλαίσιο αποτελεί τμήμα μιας δεκαώροφης σύμμικτης κατασκευής από χάλυβα και ωπλισμένο σκυρόδεμα. Ο φορέας αποτελείται από πλαίσια κατά τις διευθύνσεις x και y . Στην παρούσα εργασία μελετάται το μεσαίο πλαίσιο (σχ. 1) ως το δυσμενέστερο. Η σύμμικτη κατασκευή που απεικονίζεται έχει ύψος 37,00 m, μήκος 32,00 m και πλάτος 25,00 m. Το ύψος του ισογείου είναι 5,50 m ενώ των υπόλοιπων ορόφων είναι 3,50 m. Τα ανοίγματα είναι διαδοχικά 10, 12 και 10 m ενώ τα πλαίσια επαναλαμβάνονται ανά 5,00 m. Το ανωτέρω σύμμικτο πλαίσιο αναλύθηκε με βάση τόσο τα στατικά φορτία (ίδιο βάρος, μεταβλητά φορτία, χιονοφόρτιση, άνεμος) όσο και με φορτία σεισμού, λαμβάνοντας υπόψη τις διατάξεις του Ευρωκώδικα 8. Ως συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς χρησιμοποιήθηκε $q = 1,5$. Οι σύμμικτες δοκοί που χρησιμοποιήθηκαν αποτελούνται από χαλύβδινη διατομή και από τμήμα πλάκας σκυροδέματος. Η χαλύβδινη διατομή είναι μερικώς εγκιβωτισμένη στο σκυρόδεμα και η χαρακτηριστική σύμμικτη δοκός παρουσιάζεται στο σχήμα 2. Οι διαστάσεις του τμήματος

της πλάκας της σύμμικτης διατομής της δοκού, ορίζονται σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα με την έννοια του συνεργαζόμενου πλάτους



σχ. 1: Δεκαόροφη σύμμικτη κατασκευή-Μεσαίο σύμμικτο πλαίσιο



σχ. 2.: Χαρακτηριστική διατομή σύμμικτης δοκού- υποστυλώματος

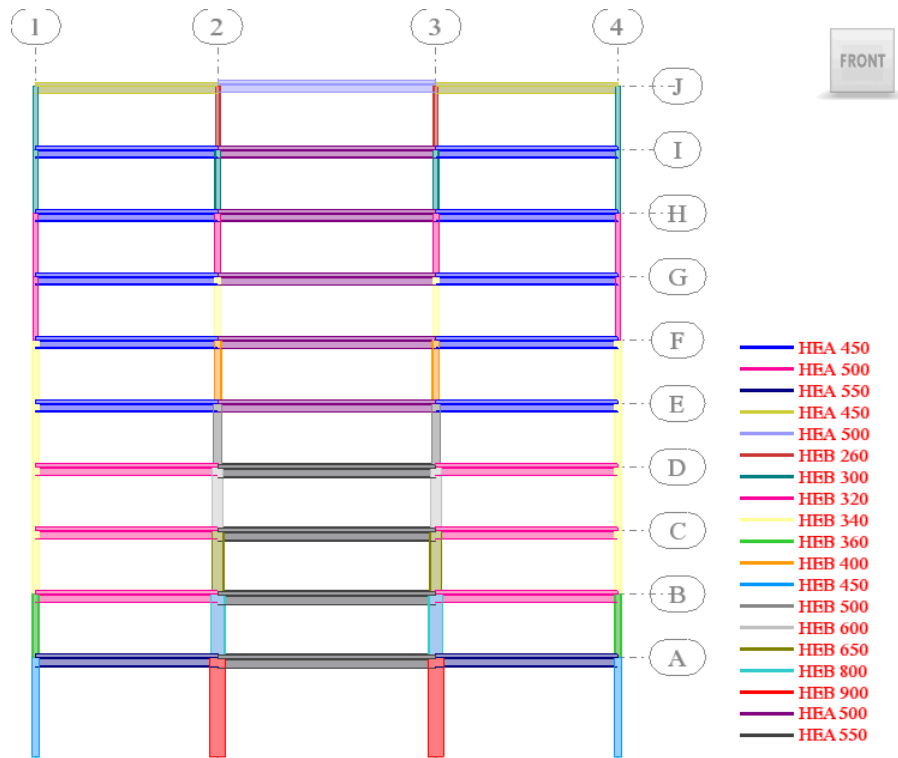
της δοκού, (πλάκα πάχους 17 cm). Με τον υπολογισμό του, λαμβάνεται υπόψη η διαφραγματική λειτουργία των πλακών. Αντίστοιχα με τις δοκούς, τα υποστυλώματα αποτελούνται από χαλύβδινη διατομή μερικώς εγκιβωτισμένη στο σκυρόδεμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 2. Το συνολικό βάρος των χαλύβδινων ισοδύναμων διατομών προέκυψε 71,2 tn.

Με το πέρας της ανάλυσης του σύμμικτου πλαισίου προέκυψαν οι παρακάτω διατομές, όπως φαίνεται στο σχήμα 3. Για τα υποστυλώματα χρησιμοποιήθηκαν εγκιβωτισμένες διατομές τύπου HEB και για τις δοκούς χρησιμοποιήθηκαν σύμμικτες διατομές τύπου HEA.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Εκ των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τη μη γραμμική δυναμική ανάλυση του δεκαόροφου σύμμικτου πλαισίου για τα έξι σεισμόγραφήματα, το επίκεντρο δόθηκε στη μέγιστη μετατόπιση του δέκατου ορόφου (πίν. 1), στις κατασκευαστικές βλάβες σύμφωνα

με τις τιμές της μέγιστης σχετικής μετατόπισης των ορόφων (πίν. 2-3), στους χρόνους εμφάνισης πλαστικών αρθρώσεων (σχ. 4) καθώς και στον δείκτη βλαβών (πίν. 4).



σχ. 3: Χρωματική απεικόνιση διατομών

Σεισμός	Μέγιστη μετατόπιση	Όροφος
2b8	0,059	10
2b24	0,046	10
ΚΟΒΕ	0,311	10
ΑΡΜΕΝΙΑ	0,112	10
ΕΛ CENTRO	0,193	10
ΘΕΣ/ΝΙΚΗ	0,022	10

πίν. 1: Μέγιστες μετατοπίσεις κόμβων.

Όροφος	2b8	2b24	Αρμενία	Θεσ/νικη	El centro	Kobe
1	0,00873	0,00618	0,01927	0,00291	0,177	0,04891
2	0,00057	0,00086	0,00086	0,00057	0,182	0,00714
3	0,00057	0,00086	0,00086	0,00029	0,185	0,00343
4	0,00057	0,00057	0,00057	0,00057	0,186	0,00171
5	0,00057	0,00086	0,00086	0,00086	0,187	0,00114
6	0,00086	0,00086	0,00086	0,00057	0,188	0,00086
7	0,00086	0,00114	0,00086	0,00057	0,190	0,00114
8	0,00086	0,00086	0,00114	0,00086	0,192	0,00114
9	0,00086	0,00086	0,00086	0,00086	0,193	0,00086
10	0,00057	0,00057	0,00057	0,00057	0,193	0,00057

πίν. 2: Κατασκευαστικές και αρχιτεκτονικές βλάβες σύμμικτου πλαισίου σύμφωνα με τις τιμές της μέγιστης σχετικής μετατόπισης των ορόφων (%)

Τύπος βλαβών	Όρια ανηγμένης μετατόπισης ορόφων %			
	Μικρές βλάβες	Μεσαίες βλάβες	Μεγάλες βλάβες	Κατάρρευση
Κατασκευαστικές	$\leq 0,5$	$0,5 \leq \text{MISDR} \leq 1,5$	$1,5 < \text{MISDR} \leq 2,5$	$> 2,5$
Αρχιτεκτονικές	$\leq 0,5$	$0,5 \leq \text{MISDR} \leq 1,2$	$1,2 < \text{MISDR} \leq 1,7$	$> 1,7$

πίν. 3: Όρια κατηγοριών βλαβών

Στον πίνακα 2 δίνονται οι τιμές των ανηγμένων μετατοπίσεων του κάθε ορόφου έκαστου σειсмоγραφήματος και επισημαίνεται ότι όλες οι τιμές είναι μικρότερες από 0,5, γεγονός το οποίο κατατάσσει (σύμφωνα με τον πίνακα 3) τόσο τις κατασκευαστικές όσο και τις αρχιτεκτονικές βλάβες του φορέα στη μικρότερη κατηγορία, ακόμα και για την περίπτωση πολύ μεγάλων σεισμικών δονήσεων, όπως αυτής του EL CENTRO.

Ως δείκτης για τον έλεγχο των βλαβών στο σύμμικτο πλαίσιο ορίστηκε ο λόγος του αθροίσματος των πλαστικών στροφών προς το σύνολο των πλαστικών αρθρώσεων για κάθε σειсмоγράφημα.

Σειсмоγράφημα	Συνολικός αριθμός πλαστικών αρθρώσεων	Άθροισμα πλαστικών αρθρώσεων (rad)	Δείκτης βλαβών (rad)	Δείκτης βλαβών %
2B8	13	0,04086	0,003143	0,31
2B24	16	0,04857	0,003036	0,30
ARMENIA	20	0,00661	0,003305	0,33
ΘΕΣΝΙΚΗ	12	0,0189	0,001575	0,16
EL CENTRO	27	0,61142	0,022645	2,26
KOBE	34	1,04423	0,030713	3,07

πίν. 4: Πλαστικές αρθρώσεις και δείκτης βλαβών πλαισίου

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή πραγματοποιήθηκε μη γραμμική δυναμική ανάλυση ενός δεκαώροφου σύμμικτου πλαισίου, το οποίο αποτελεί το μεσαίο και κατά συνέπεια δυσμενέστερο πλαίσιο σύμμικτης δεκαώροφης κατασκευής από χάλυβα και ωπλισμένο σκυρόδεμα. Σκοπός της εργασίας ήταν η διαστασιολόγηση του σύμμικτου φορέα και η σεισμική του απόκριση για έξι διαφορετικά σειсмоγραφήματα πραγματικά και τεχνητά. Ως συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς χρησιμοποιήθηκαν $q = 1,5$ και το πλαίσιο μελετήθηκε με βάση τον Ευρωκώδικα 8.

Από τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης προέκυψε ομαλή διακύμανση διατομών κατά τους ορόφους με μέγιστες χρησιμοποιούμενες HE 900B πλήρως εγκιβωτισμένες στο σκυρόδεμα για τα μεσαία υποστύλωματα του πρώτου ορόφου και σύμμικτη HE 550A για

Έπειτα από τη μη γραμμική δυναμική ανάλυση του φορέα προέκυψε η μέγιστη μετατόπιση του πλαισίου στο δέκατο όροφο, όπως ήταν αναμενόμενο, για το σεισμό του Kobe και η τιμή αυτής είναι 0,311 μέτρα. Σύμφωνα με τα αποδεκτά όρια ανηγμένων μετατοπίσεων των ορόφων συμπεραίνεται ότι οι κατασκευαστικές και αρχιτεκτονικές βλάβες του φορέα είναι πολύ μικρές και για την ακρίβεια η μέγιστη τιμή αυτών κυμαίνεται περίπου στο 19% για τον ισχυρότερο σεισμό του El Centro.

Σε γενικές γραμμές οι πλαστικές αρθρώσεις, για όλα τα επιταχυνσιογραφήματα, παρουσιάστηκαν στα υποστυλώματα, γεγονός το οποίο αντιτίθεται στις αρχές του ικανοτικού σχεδιασμού, ο οποίος ορίζει τη δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων πρώτα στις δοκούς. Συνεπώς, χρειάζεται λοιπόν προσοχή στο σχεδιασμό των σύμμικτων κατασκευών ώστε σε κόμβους με ισχυρές δοκούς να προβλέπεται ενίσχυση του υποστυλώματος.

6. ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

- [1] EN 1991-1-1-1: 2002, Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-1: General actions – Densities, self weight, imposed loads for buildings, CEN, Brussels, April 2002.
- [2] EN 1991-1-1: 2005, Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, CEN, Brussels, May 2005.
- [3] EN 1994-1-1: 2004, Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, CEN, Brussels, December 2004.
- [4] EN 1998-1: 2004, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules buildings, CEN, Brussels, December 2004.
- [5] X. N. Κάλφας, ‘Κατασκευές από Χάλυβα’, Εκδόσεις Icon, Ξάνθη 2010.
- [6] Βάγιας Κ. Ιωάννης, ‘Σύμμικτες κατασκευές’, Κλειδάριθμος, 2η έκδοση, 2001.
- [7] Λιώλιος Αστέριος, “Δυναμική των Κατασκευών”, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Ξάνθη, 2003.
- [8] Δερβίση Ζωή, “Μη γραμμική δυναμική ανάλυση δεκαώροφου σύμμικτου Πλαισίου”, μεταπτυχιακή διατριβή, Ξάνθη, 2006.

NONLINEAR ANALYSIS OF TEN STORY COMPOSITE STEEL-CONCRETE FRAME

Kalliopi D. Stefanaki^a, Christos N. Kalfas^b, Dimitrios T. Pachoumis^c, Anna A. Marinopoulou^c

^a Phd. Cand., MSc Civil Engineer

^b Associate. Professor DUTH

^c Dr, MSc Civil Engineer

Steel Structures Laboratory DUTH

Xanthi, Greece

e-mail : mslgroup@civil.duth.gr

ABSTRACT

This paper examines the seismic performance of composite steel-concrete moment-resisting frames in interrelation with the Eurocode 8 (EC8) design requirements. Specifically, a composite steel-concrete frame is designed according to the design rules of Eurocode 4 (EC 4) and Eurocode 8 (EC 8). After designing and detailing the composite frame, nonlinear incremental dynamic time history analysis is carried out to evaluate the structural seismic response. The present investigation utilized spectrum-compatible artificial accelerograms and recorded acceleration time-histories that generate a wide spectrum of damage, from negligible to severe, for statistical reasons. The spectrum-compatible artificial accelerograms are called 2B8 and 2B24, while the acceleration time-histories are those recorded in the earthquakes that occurred in Armenia, Thessaloniki (Greece), El Centro and Kobe. The aim is to obtain the response of the frame and to extract the damage indices (DI). As overall DI the maximum inter-story drift ratio (MISDR) has been used. The MISDR can be used as structural and as architectural DI. In addition, the plastic hinge rotations have been considered (as local DI at the ends of beams and columns), its overall sum and the mean plastic hinge rotations