

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΔΟΚΟΥ-ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΑΠΟΜΕΙΩΜΕΝΑ ΠΕΛΜΑΤΑ ΔΟΚΟΥ (RBS) ΥΠΟ ΚΥΚΛΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ

**Δημήτριος Θ. Παχούμης^a, Χρίστος Ν. Κάλφας^b, Ευάγγελος Γ. Γαλούσης^c,
Άννα Α. Μαρινοπούλου^a, Ιωάννης Ζ. Ευθυμίου^d**

^a Υποψ. Διδ., MSc Πολιτικός Μηχανικός

^b Επικ. Καθηγητής Δ.Π.Θ.

^c Καθηγητής Δ.Π.Θ.

^d MSc Πολιτικός Μηχανικός

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών Δ.Π.Θ

Ξάνθη, Ελλάδα

e-mail : msslgroup@civil.duth.gr

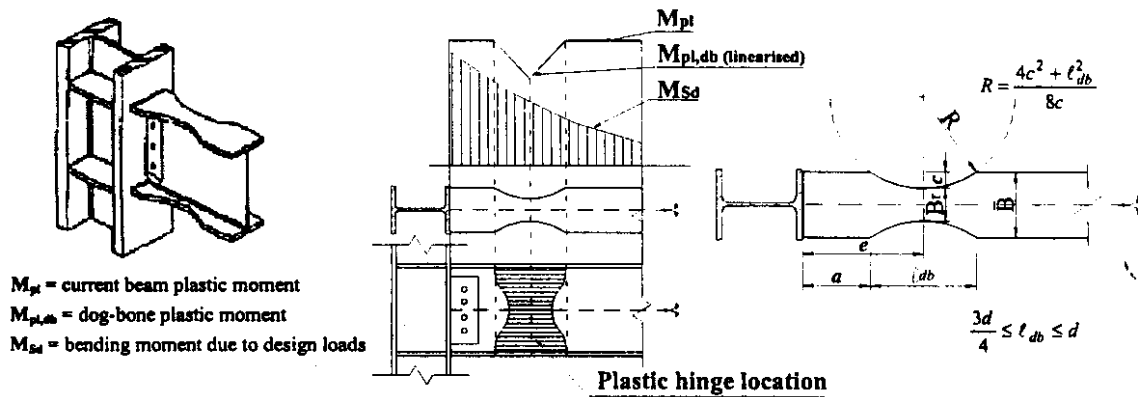
1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι συνδέσεις ροπής με απομειωμένα πέλματα δοκού (RBS), συμπεριλαμβάνονται μεταξύ των πλέον οικονομικών και αποτελεσματικών συνδέσεων πάγιων πλαισίων, που αναπτύχθηκαν μετά τους σεισμούς του Northridge το 1994 και του Kobe το 1995. Μολονότι, η αποτελεσματικότητα αυτού του τύπου συνδέσεων ερευνήθηκε διεξοδικά, χρησιμοποιώντας αμερικάνικες προδιαγραφές και αντίστοιχου τύπου διατομές, ελάχιστα δεδομένα υπάρχουν από την Ευρωπαϊκή πρακτική. Αυτός είναι και ο λόγος που ο EC8 υιοθέτησε, μέσες τιμές ή αυτούσιες, αυτές της FEMA, για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της απομείωσης πελμάτων με κυκλική απότμηση. Στο άρθρο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα πειραματικής διαδικασίας σύνδεσης δοκού-υποστυλώματος, με απομειωμένη διατομή πελμάτων δοκού, κυκλικού κοψίματος, και με τη χρήση διατομών Ευρωπαϊκού προφίλ, υπό κυκλική φόρτιση. Τα αποτελέσματα της έρευνας, καταδεικνύουν την αναγκαιότητα της αναπροσαρμογής των γεωμετρικών παραμέτρων, για τη χρήση τους σε διατομές Ευρωπαϊκού τύπου.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Έπειτα από τους σεισμούς του Northridge το 1994 και του Kobe το 1995, εκτεταμένη έρευνα και πειραματικές δοκιμές πραγματοποιήθηκαν ώστε να βρεθούν καλύτερες μέθοδοι σχεδιασμού και κατασκευής μεταλλικών συνδέσεων, ανθεκτικών έναντι σεισμού. Δύο μέθοδοι, κυρίως, αναπτύχθηκαν που να παρέχουν αξιόπιστη συμπεριφορά και μεγάλη όλκιμη απόκριση: η ενίσχυση της σύνδεσης και η εξασθένηση της δοκού του πλαισίου. Και οι δύο τύποι συνδέσεων επέδειξαν ικανοποιητικά επίπεδα όλκιμότητας, σε μεγάλο αριθμό πειραμάτων.

Σκοπός της ενίσχυσης, σε γενικούς όρους, είναι να εξασφαλίσει μια σύνδεση δοκού-υποστυλώματος η οποία θα είναι ισχυρότερη από τη διατομή της δοκού. Η ενίσχυση επι-

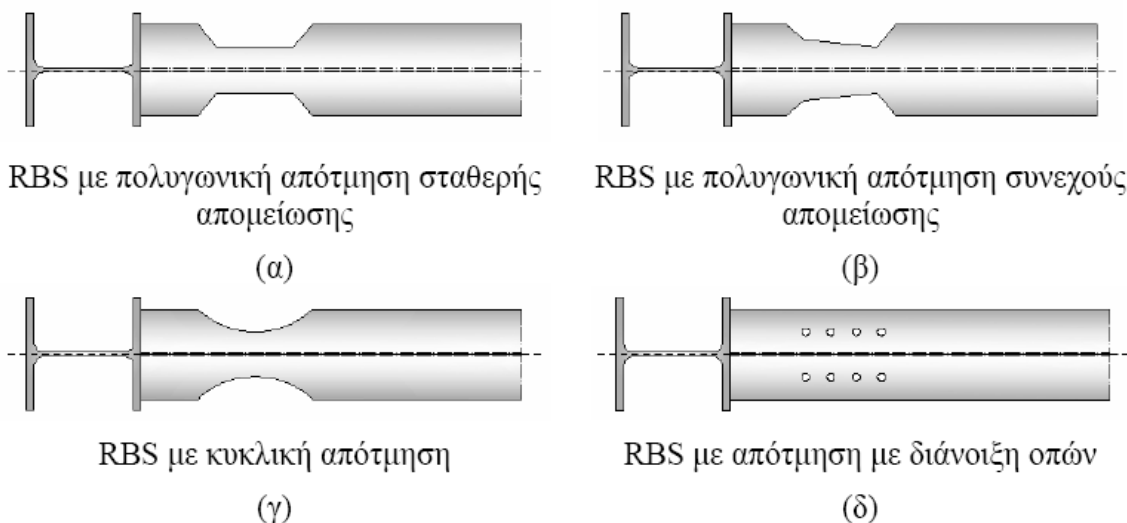


σχ. 1: Η ιδέα της απομείωσης (dogbone) [2]

τρέπει τη δημιουργία της πλαστικής άρθρωσης μακριά από το μέτωπο του υποστυλώματος και ωθεί τις υψηλές τάσεις και τις ανελαστικές παραμορφώσεις στο εσωτερικό της δοκού. Η ενίσχυση της σύνδεσης, ωστόσο, εμφανίζεται ως αντιοικονομική και οδηγεί σε αυξημένες καμπτικές απαιτήσεις στο υποστύλωμα.

Μια εναλλακτική λύση της ενίσχυσης, η οποία παρέχει παρόμοια οφέλη ενώ παράλληλα αποφεύγονται τα μειονεκτήματα αυτής, είναι η σύνδεση με απομειωμένα πέλματα δοκού (RBS), γνωστή και ως ‘dogbone’ σύνδεση. Η ιδέα της απομείωσης προτάθηκε από τον Plumier (σχ. 1), από το 1990 [2,3], όμως πρωτοεφαρμόστηκε από τον Georgescu [4] το 1996 σε βάσεις υποστυλωμάτων μεταλλικού κτιρίου. Ωστόσο, η τυπολογία των RBS συνδέσεων δοκού-υποστυλώματος, όπως και η συμπεριφορά τους υπό κυκλική φόρτιση, διερευνήθηκε διεξοδικά στις Η.Π.Α. μετά το σεισμό του Northridge [5].

Η ιδέα της απομείωσης βασίζεται στο γεγονός ότι τμήματα των πελμάτων της δοκού αποκόπτονται σε μια γειτονική στη σύνδεση δοκού-υποστυλώματος περιοχή. Πολλά σχήματα απομείωσης είναι πιθανά (πολυγωνική απότμηση σταθερής και συνεχούς απομείωσης, κυκλική απότμηση ή με διάνοιξη οπών) (σχ. 2). Η απομείωση αναγκάζει την πλαστική άρθρωση να σχηματιστεί στην εξασθενημένη απομειωμένη περιοχή της δοκού, μια περιοχή που μπορεί να αναλάβει μεγάλες ανελαστικές παραμορφώσεις, ενώ ταυτόχρονα η απομεί-



σχ. 2: Σχήματα απομείωσης της δοκού

FEMA 350 [1]/ 351 [13]	EC 8, Part 3 [14]
$a = 0.50 - 0.75 b_f$	$a = 0.60 b_f$
$b = 0.65 - 0.85 d_b$	$b = 0.75 d_b$
$c \leq 0.25 b_f$	$g \leq 0.25 b_f$
$s = a + b/2$	$s = a + b/2$
$r = (4c^2 + b^2)/8c$	$r = (4g^2 + b^2)/8g$

Πίν. 1: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά της απομειωμένης διατομής της δοκού

ωση περιορίζει την ανάπτυξη τάσεων στην λιγότερο όλκιμη περιοχή κοντά στο μέτωπο του υποστυλώματος. Εκτεταμένα πειραματικά [6, 7, 8] και αναλυτικά [9, 10, 11] προγράμματα διεξήχθησαν αποδεικνύοντας την αποτελεσματικότητα της συγκεκριμένης λύσης.

Το γεγονός ότι η χρήση πολυγωνικού προφίλ απότμησης συνεχούς απομείωσης (tapered cut) δεν πρέπει να παρουσιάζει οποιασδήποτε μορφής γεωμετρικές ασυνέχειες, ώστε να αποφευχθεί η συγκέντρωση τάσεων και η πρόκληση θραύσης κατά τη διάρκεια των ανελαστικών παραμορφώσεων, οδηγεί στη χρήση της κυκλικού σχήματος απότμησης. Επιπλέον πειραματικές έρευνες κατέδειξαν τη μεγαλύτερη, συγκριτικά με οποιοδήποτε άλλο προφίλ, στροφική ικανότητα, ενώ παράλληλα η κυκλική απομείωση, είναι η πλέον οικονομική από άποψη εκτέλεσης. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και άλλοι ερευνητές, όπως οι Engelhardt et al. κ.α.

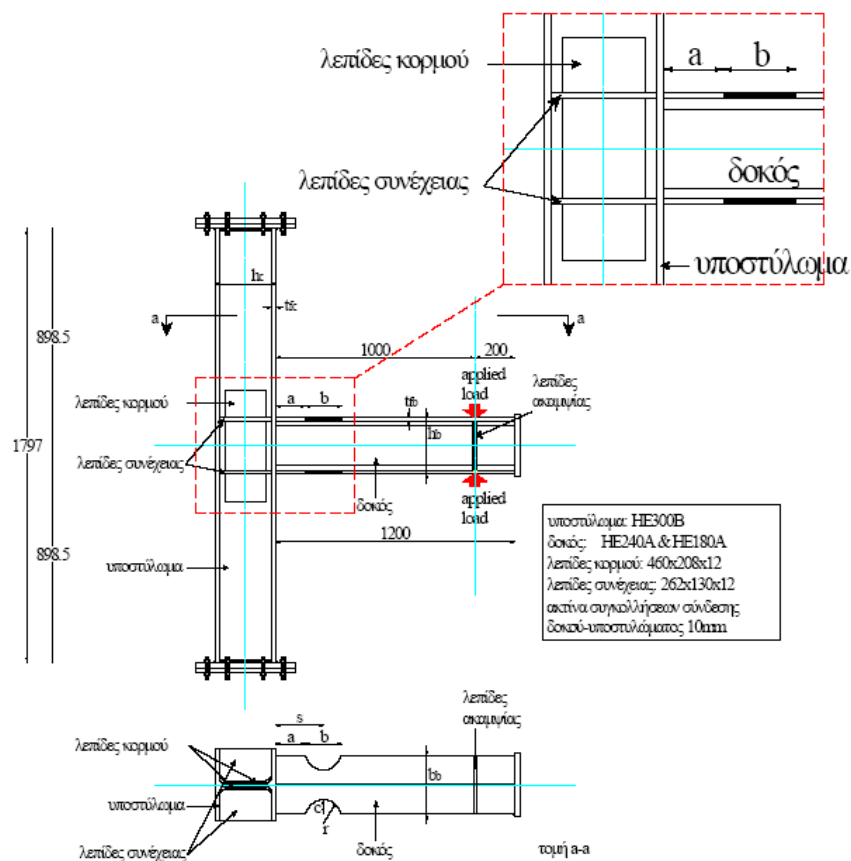
Συμπερασματικές, των ερευνητικών προσπαθειών του SAC προγράμματος [5], είναι οι προτάσεις για το σχεδιασμό και τις λεπτομέρειες της απομείωσης που δόθηκαν από τη FEMA 350 [1] και τη FEMA 351 [12]. Στην Ευρώπη, ακολουθώντας το πνεύμα των ανωτέρω προτάσεων, στον EC8, Part 3, [13], παρουσιάζεται ο τρόπος σχεδιασμού τέτοιου τύπου συνδέσεων. Στον πίν. 1 παρουσιάζονται οι προτάσεις κυκλικής απομείωσης της FEMA 350 [1], και του EC8 Part . Μπορεί κανείς, εύκολα, να διαπιστώσει ότι οι τιμές των a και b γεωμετρικών παραμέτρων του EC8, Part 3 είναι οι μέσες τιμές συγκρινόμενες με αυτές της FEMA 350, ενώ για τις παραμέτρους g , s και r οι ίδιες τιμές υιοθετούνται. Επισημαίνεται ότι υπάρχει διαφορά μεταξύ των Ευρωπαϊκών και Αμερικανικών σχεδιαστικών μεθόδων, καθώς επίσης και το γεγονός ότι δεν υπάρχουν πειραματικές έρευνες για Ευρωπαϊκού τύπου διατομές, εκτός αυτών του Plumier [2].

Στο παρόν άρθρο, εξετάζεται η συμπεριφορά σύνδεσης ροπής με απομειωμένα πέλματα δοκού (RBS), υπό κυκλική φόρτιση, και με χρήση διατομών Ευρωπαϊκού προφίλ (σχ. 3). Δύο πειράματα διεξήχθησαν ώστε να διερευνηθούν οι υιοθετημένες από τον EC8 τιμές των γεωμετρικών παραμέτρων. Από τα πειραματικά αποτελέσματα, γίνεται εμφανής η ανάγκη αναπροσαρμογής των τιμών των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της απομείωσης, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ασφαλώς και σε Ευρωπαϊκού τύπου διατομές.

3.ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Δύο τύποι δοκιμίων μελετήθηκαν και ονομάστηκαν RBS1 και RBS2. Κάθε δοκίμιο αποτελείται από δοκό διατομής HE240 A και ένα υποστύλωμα HE300 B. Η ιδέα αυτών

των δοκιμίων ήταν να συνδυάζουν την απότμηση ‘dogbone’ της δοκού με συγκολλητή σύνδεση



σχ.3: Πειραματική διάταξη

Δοκίμιο	Υποστυλώμα	Δοκός	Λεπίδες κορμού πάχους (mm)	Εγκάρσιες ενισχύσεις πάχους (mm)
RBS1	HE300B	HE240A	12	12
RBS2	HE300B	HE240A	12	12

Πιν. 2: Λεπτομέρειες των δοκιμίων.

Δοκίμιο	b_f (mm)	d_b (mm)	a (mm)	b (mm)	g (mm)	s (mm)	r (mm)			
RBS1	240	230	65	156	80	184	50	60	248	100.53
RBS2	240	230	65	156	80	184	30	36	248	135.56

Πιν. 3: Τιμές των γεωμετρικών παραμέτρων της απομείωσης

δοκού-υποστυλώματος μεγάλων ραφών. Διπλές λεπίδες κορμού και εγκάρσιες ενισχύσεις, πάχους ίσου με το πάχος του κορμού του υποστυλώματος και με το πάχος των πελμάτων της δοκού αντίστοιχα, χρησιμοποιήθηκαν στο υποστυλώμα, ώστε να δημιουργηθεί ένα ισχυρό panel zone, οδηγώντας τη δημιουργία της πλαστικής άρθρωσης στην απομειωμένη περιοχή της δοκού (πιν. 2). Η διαφοροποίηση των δύο δοκιμίων έγκειται στις γεωμετρικές παραμέτρους της κυκλικής απομείωσης. Οι RBS συνδέσεις σχεδιάστηκαν σύμφωνα με τις

προδιαγραφές που προτείνονται από τον Ευρωκώδικα EC8, Part 3 [13]. Οι τελικές διαστάσεις των γεωμετρικών παραμέτρων της απομείωσης φαίνονται στον πίν. 3.

4.ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Οι μηχανικές ιδιότητες των μεταλλικών διατομών και των λεπίδων που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των πειραματικών δοκιμών δίνονται στον πίν. 4. Οι τιμές αυτές προέκυψαν από πειραματικές δοκιμές κάμψης 3-σημείων στο Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών του Δ.Π.Θ., για την πραγματοποίηση των οποίων ελήφθησαν δοκίμια τόσο από τα πέλματα όσο και από τον κορμό των διατομών.

	Μέτρο Ελαστικότητας E (N/mm ²)	Μέτρο Poisson ν	Όριο διαρροής f _y (Mpa)	Παραμόρφωση διαρροής	Όριο θραύσης f _u (Mpa)	Παραμόρφωση θραύσης
RBS1	207000	0.3	300	2‰	510	20‰
RBS2	207000	0.3	300	2‰	510	20‰

Πίν. 4: Μηχανικές ιδιότητες πειραματικών δοκιμών

5.ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Κάθε δοκίμιο φορτίστηκε σε απόσταση 1.00m. από το μέτωπο του υποστυλώματος με την επιβολή εναλλασσόμενης μετατόπισης σύμφωνα με το πρωτόκολλο φόρτισης του πίν. 5.

Βήμα φόρτισης	Μέγιστη παραμόρφωση, δ _y	Αριθμός κύκλων, n
1	0.375	2
2	0.50	2
3	0.75	2
4	1.00	4
5	1.50	2
6	2.00	2
7	3.00	2

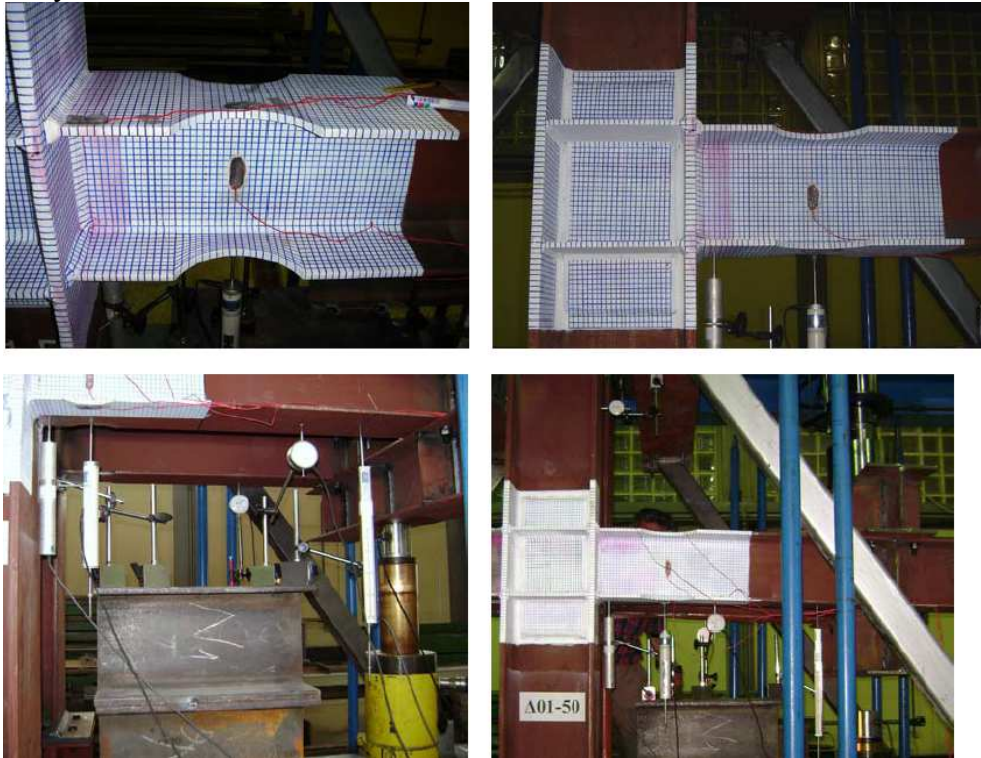
Συνέχεια με παραμορφώσεις πολλαπλάσια του 1.00 δ_y, και πραγματοποιώντας δύο κύκλους σε κάθε βήμα

Πίν. 5: Πρωτόκολλο φόρτισης

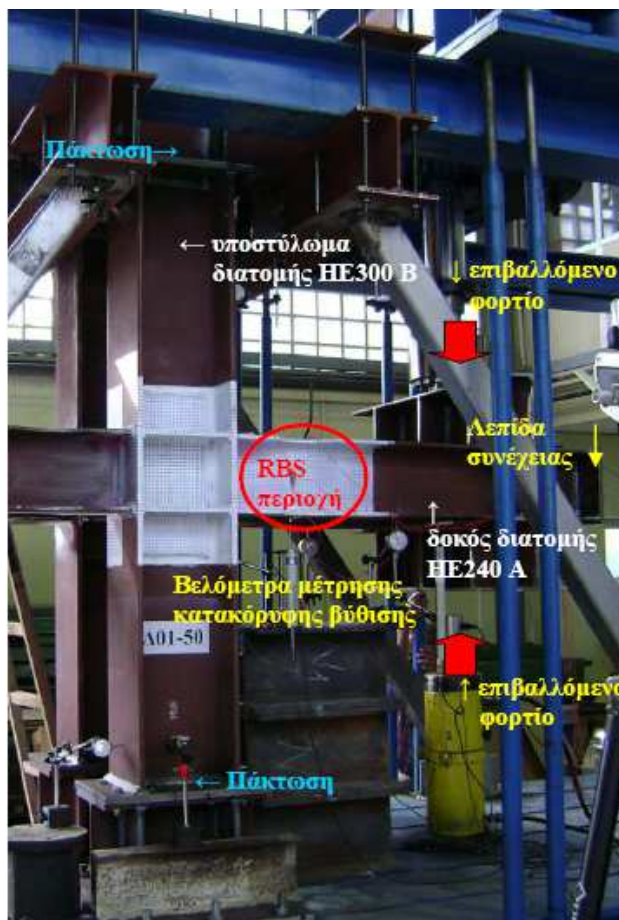
6.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Τα πειράματα έγιναν στο Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών της Πολυτεχνικής Σχολής του Δ.Π.Θ. Οι γεωμετρικές διαστάσεις των διατομών των δοκιμών βρέθηκε πως ήταν σε πλήρη συμφωνία με τις ονομαστικές. Οι εξωτερικές διαστάσεις των δοκιμών ήταν 1797 mm για το κατακόρυφο μέλος, που συμπεριφέρεται ως υποστύλωμα, και 1200 mm για το οριζόντιο μέλος, που λειτουργεί ως δοκός. Οι εγκάρσιες ενισχύσεις του υποστυλώματος ήταν πάχους ίσου με των πελμάτων της δοκού και οι λεπίδες κορμού ήταν πάχους μεγαλύτερου αυτού κορμού του υποστυλώματος. Χρησιμοποιήθηκε επίσης μια ακραία λεπίδα (t_p=20 mm), στο ελεύθερο άκρο της δοκού εξασφαλίζοντας την ομοιογενή συμπεριφορά των διατομών. Τα πέλματα και ο κορμός της δοκού συγκολλήθηκαν στο

μέτωπο του υποστυλώματος. Η ακτίνα συγκόλλησης είχε τιμή 10 mm για όλα τα δοκίμια και πιστοποιήθηκε με έλεγχο διεισδυτικών υγρών πριν από την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας.



φωτ. 1: Η βαφείσα επιφάνεια και τα βελόμετρα μέτρησης της κατακόρυφης βύθισης



φωτ. 2: Η πειραματική διάταξη.

Όλα τα δοκίμια αποφασίστηκε να βαφτούν στην περιοχή του υπό εξέταση κόμβου, από τη μία πλευρά μόνο, για τυχόν διαφορετικές ορατές παρατηρήσεις λόγω της ύπαρξης του χρώματος και της βαφής σε σχέση με την καθαρή επιφάνεια του μετάλλου. Έτσι, αφού καθορίστηκαν τα όρια συμμετρίας του κόμβου και η εξεταζόμενη περιοχή έγινε η βαφή τους με λευκό χρώμα κατάλληλο για μεταλλικές επιφάνειες. Μετά την ολοκλήρωση της βαφής, ακολούθησε ο σχεδιασμός του καννάβου πάνω στη χρωματισμένη επιφάνεια. Οι στηρίξεις, θεωρούμενες ως πακτώσεις, κατασκευάστηκαν με συνδέσεις εκτεταμένης λεπίδας. Το φορτίο επιβλήθηκε μέσω δυο υδραυλικών εμβόλων ικανότητας 1000 kN το καθένα. Βελόμετρα, αναλογικά και ηλεκτρονικά, τοποθετήθηκαν για τις απαραίτητες μετρήσεις των παραμορφώσεων (φωτ. 1). Η πειραματική διάταξη φαίνεται στη φωτ. 2.

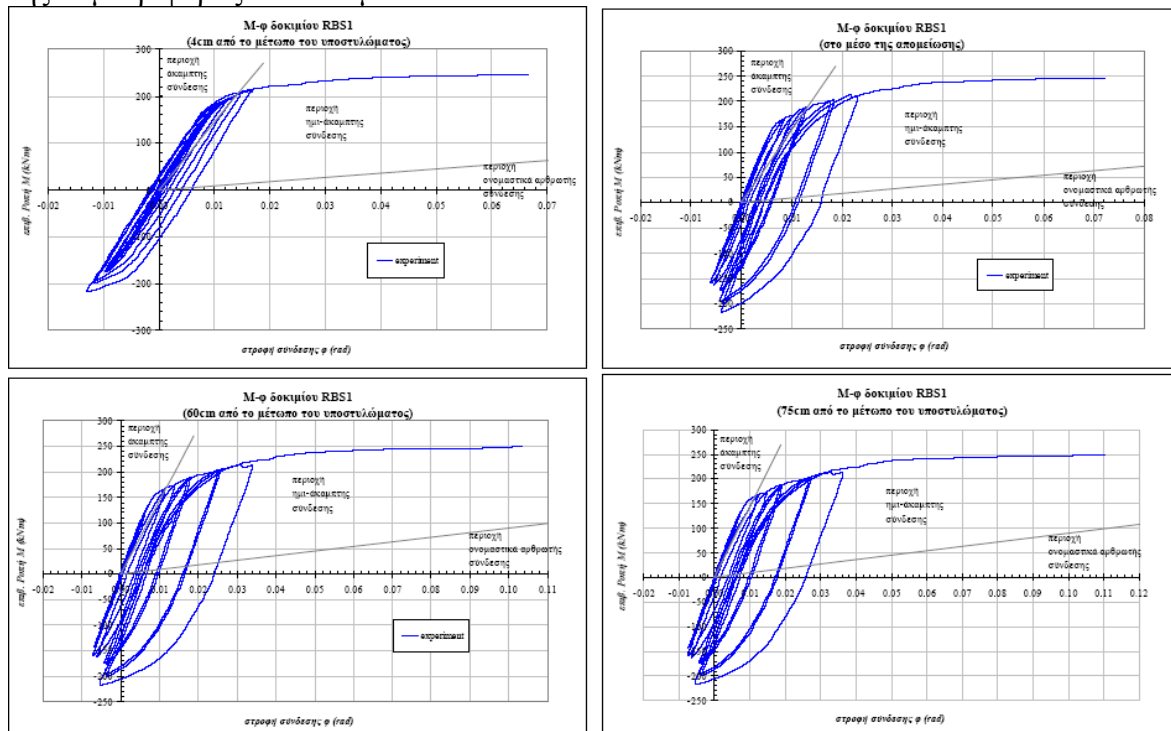
7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Αντικείμενο της έρευνας αποτέλεσε η διερεύνηση της λειτουργίας ή όχι της απομείωσης στην προστασία της σύνδεσης υπό κυκλική φόρτιση. Ενδεχόμενη λειτουργία της σηματοδοτείται από την εμφάνιση της πλαστικής άρθρωσης στο εσωτερικό της δοκού, συγκεκριμένα στην περιοχή της απομείωσης, και κατά συνέπεια αποφυγή ψαθυρής αστοχίας στην περιοχή της σύνδεσης. Τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών επικεντρώθηκαν στις παραμορφώσεις που εμφανίστηκαν καθώς και στις στροφές των συνδέσεων. Η ροπή υπολογίστηκε στη διεπιφάνεια δοκού-υποστυλώματος, $M=P \cdot l$, όπου l η απόσταση του άξονα επιβολής του φορτίου με τον άξονα στο μέτωπο του υποστυλώματος. Στα σχ. 4 & 5 παρουσιάζονται οι καμπύλες ροπής-στροφής των δύο

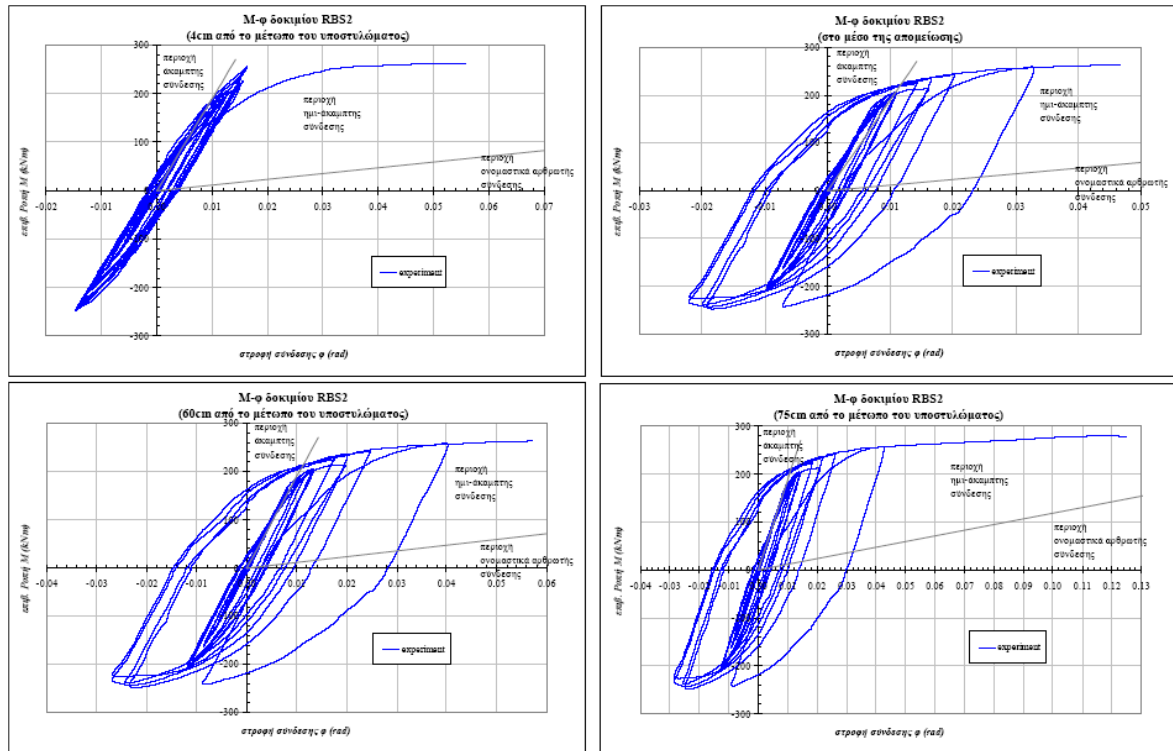
δοκιμίων, σε αποστάσεις 4 cm, 60 cm και 75 cm από το μέτωπο του υποστυλώματος, καθώς και στο μέσο της απομείωσης. Σημειώνεται, ότι στα διαγράμματα αυτά καθορίζονται και τα όρια ταξινόμησης με βάση τη στροφική ακαμψία της σύνδεσης για την κατηγοριοποίησή της.

Το δοκίμιο RBS1 επέδειξε άριστη συμπεριφορά υπό κυκλική φόρτιση. Η πλαστική άρθρωση σχηματίστηκε στην περιοχή της απομείωσης και όχι στην περιοχή της σύνδεσης της δοκού με το υποστυλώμα. Η ολκιμότητα, μετρημένη σε όρους στροφής, ξεπέρασε κατά πολύ τα 0.03 rad, στροφή που θεωρείται ως το άνω όριο της ϕ που απαιτείται στην πράξη, για τη διασφάλιση όλκιμης συμπεριφοράς υπό κυκλική φόρτιση.

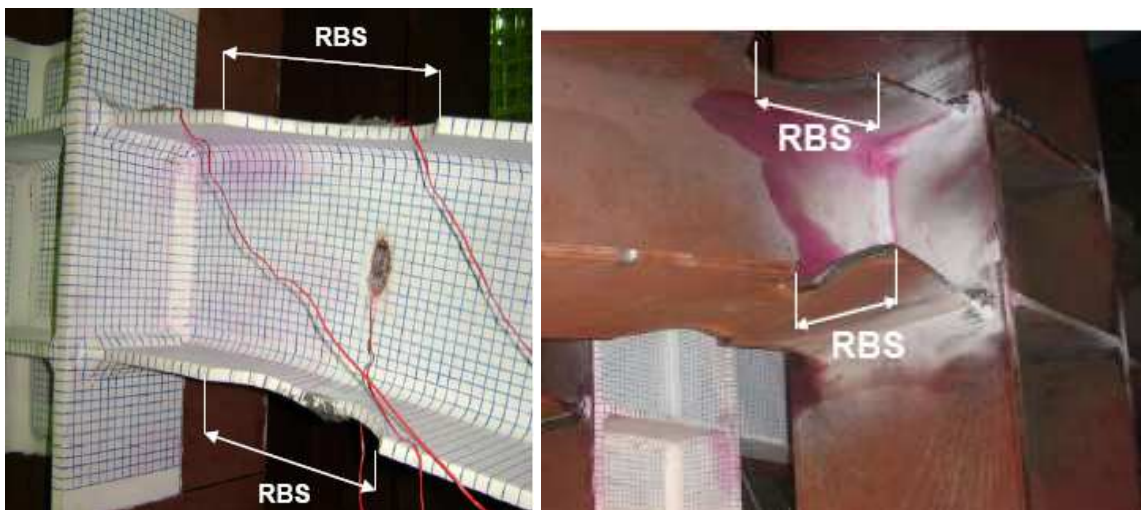
Η διαρροή του κόμβου εμφανίστηκε κατά τη διάρκεια του πρώτου κύκλου με τιμή μετατόπισης ίση με το $1.5\delta_y$ της θεωρητικής μετατόπισης διαρροής και έγινε εμφανής με τη διατήρηση μόνιμης παραμόρφωσης του συστήματος, με το πέρας της αποφόρτισης. Η πλαστική άρθρωση εμφανίστηκε στην περιοχή της απομείωσης και εξαιτίας αυτού η περιοχή της σύνδεσης δοκού-υποστυλώματος παρέμεινε στην ελαστική περιοχή. Προχωρώντας στην εφαρμογή του πρωτοκόλλου φόρτισης, η διαρροή γινόταν περισσότερο εμφανής, καθώς οι παραμένουσες παραμορφώσεις, που αποκτούσε το σύστημα συνολικά, λάμβαναν υψηλότερες τιμές. Κατά τη διάρκεια του πρώτου κύκλου στο τριπλάσιο της θεωρητικής μετατόπισης διαρροής δ_y και συγκεκριμένα στην θετική παραμόρφωση (φόρτιση προς τα κάτω) παρατηρήθηκαν οι πρώτες τριχοειδείς ρωγμές στη βαφείσα επιφάνεια του καννάβου, στην περιοχή της απομείωσης του θλιβόμενου, κάτω πέλματος της δοκού. Αντίστοιχα, κατά τον αρνητικό κλάδο του κύκλου, όμοιες ρωγμές εμφανίστηκαν στο θλιβόμενο, άνω πλέον πέλμα της δοκού. Οι ρωγμές αυτές έγιναν περισσότερο εμφανείς κατά το δεύτερο κύκλο της ίδιας μετατόπισης διαρροής. Στον επόμενο κύκλο, ($4\delta_y$), αναπτύχθηκε τοπικός λυγισμός του κάτω πέλματος στην περιοχή της απομείωσης, ο οποίος γινόταν ολοένα και περισσότερο εμφανής με κάθε περαιτέρω φόρτιση. Επισημαίνεται ότι ο λυγισμός αυτός δεν συνοδεύτηκε από σημαντική αλλοίωση της συμπεριφοράς του δοκιμίου.



σχ. 4: Καμπύλες $M-\phi$ δοκιμίου RBS 1



σχ. 5: Καμπύλες M-φ δοκιμίου RBS 2

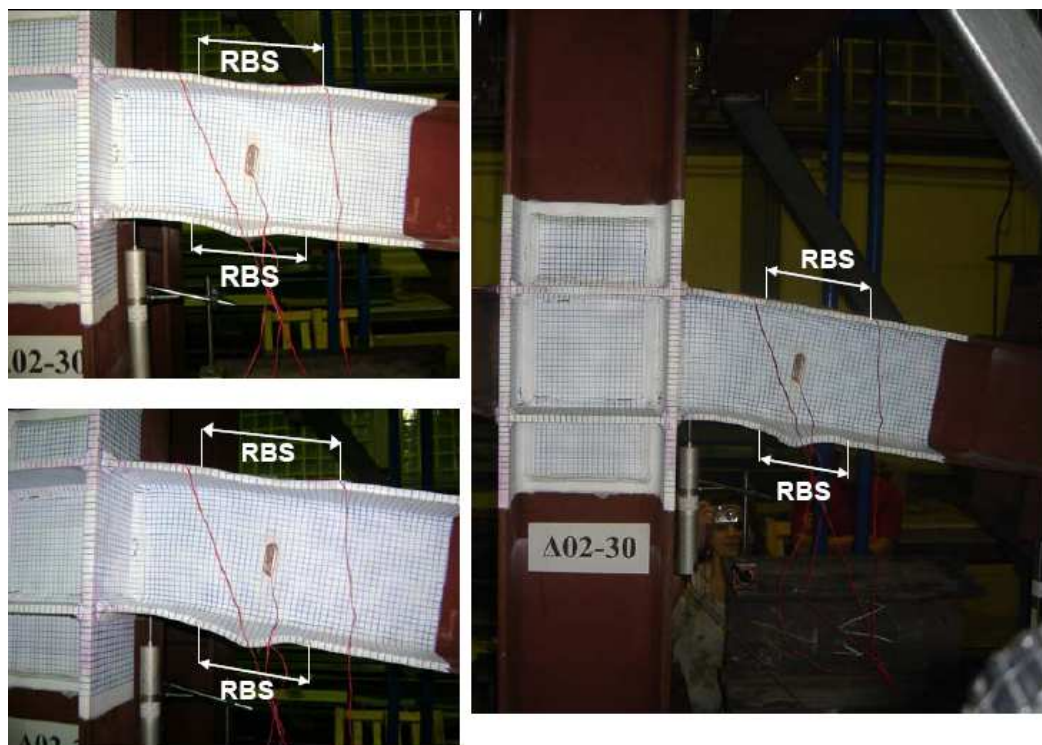


φωτ. 3: Η παραμόρφωση του κάτω πέλματος της δοκού για 0.06 & 0.10rad στροφής (RBS1)

Εξαιτίας των περιορισμών της πειραματικής διάταξης και ειδικότερα την αδυναμία επιβολής υψηλότερων τιμών φορτίου κατά την αρνητική φόρτιση, μετά την ολοκλήρωση του κύκλου στο τετραπλάσιο της μετατόπισης διαρροής δ_y το πείραμα συνεχίστηκε μονοτονικά. Κατά τη διάρκεια της τελευταίας φόρτισης ο τοπικός λυγισμός του κάτω

πέλματος γινόταν ολοένα και περισσότερο εμφανής στην περιοχή της απομείωσης. Το δοκίμιο RBS1 ξεπέρασε τα 0.11 rad στροφής χωρίς να παρατηρηθεί καμία μορφή αστοχίας στην περιοχή του κόμβου. Τόσο το υποστύλωμα όσο και οι συγκολλήσεις της σύνδεσης δοκού-υποστυλώματος παρέμειναν ανεπηρέαστα εξαιτίας της λειτουργίας της απομείωσης. Το πείραμα τερματίστηκε καθώς τερματίστηκαν τα διαθέσιμα όρια του πλαισίου φόρτισης (φωτ. 3).

Η συμπεριφορά του δοκιμίου RBS2, υπό κυκλική φόρτιση, δεν ήταν ικανοποιητική. Ενώ σύμφωνα με τους κανονισμούς, ο σχηματισμός της πλαστικής άρθρωσης θα έπρεπε να πραγματοποιηθεί στην περιοχή της απομείωσης, διαρροή του κόμβου εμφανίστηκε κατά τη διάρκεια του πρώτου κύκλου, με τιμή μετατόπισης ίση με τη θεωρητική μετατόπισης διαρροής και έγινε εμφανής με την διατήρηση μόνιμης παραμόρφωσης του συστήματος, με το πέρας της αποφόρτισης. Η εμφάνιση της πλαστικής άρθρωσης έλαβε στην περιοχή της σύνδεσης και όχι σε αυτή της απομείωσης. Όπως θα ήταν αναμενόμενο, αστοχία έπρεπε να έχει επέλθει στην περιοχή της σύνδεσης με αποκόλληση της συγκόλλησης, στην περιοχή του κάτω ή του άνω πέλματος. Κάτι τέτοιο δεν συνέβη και οφείλεται στο γεγονός της επιλογής συγκολλήσεων μεγάλης ακτίνας και υποστυλώματος ισχυρής διατομής, ενισχυμένο στην περιοχή του κόμβου, ώστε να μελετηθεί απρόσκοπτα η μετέπειτα συμπεριφορά της απομείωσης. Παρόμοια ήταν και η συμπεριφορά κατά την διάρκεια των δύο κύκλων στο διπλάσιο της μετατόπισης διαρροής με τις παραμορφώσεις να γίνονται ακόμη περισσότερο έντονες. Στον ακόλουθο κύκλο, στο τριπλάσιο της μετατόπισης διαρροής, αναπτύχθηκε τοπικός λυγισμός του κάτω πέλματος, ο οποίος γινόταν ολοένα και περισσότερο εμφανής με κάθε περαιτέρω φόρτιση. Μετά την ολοκλήρωση του κύκλου στο τριπλάσιο της μετατόπισης διαρροής δ_y το πείραμα συνεχίστηκε μονοτονικά. Κατά τη διάρκεια της τελευταίας φόρτισης ο τοπικός λυγισμός του κάτω πέλματος γινόταν ολοένα και περισσότερο εμφανής και οδηγούνταν προς την περιοχή της απομείωσης. Το δοκίμιο RBS2 είχε ξεπεράσει τα 0.12 rad στροφής όταν το πείραμα τερματίστηκε καθώς τερματίστηκαν τα διαθέσιμα όρια του πλαισίου φόρτισης (φωτ. 3).



φωτ. 4: Η παραμόρφωση του κάτω πέλματος της δοκού για 0.03rad στροφής (RBS2)

8.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στην τεχνική της σύνδεσης δοκού-υποστυλώματος με απομειωμένα πέλματα δοκού (RBS) κατέδειξαν τα κάτωθι:

- Τα αποτελέσματα και των δύο πειραμάτων επιβεβαίωσαν ότι η απόκριση αυτού του τύπου συνδέσεων, υπό κυκλική φόρτιση, είναι πάρα πολύ καλή όταν ο σχηματισμός της πλαστικής άρθρωσης πραγματοποιείται στην απομειωμένη περιοχή. Δεν παρατηρήθηκε θραύση των συγκολλήσεων σε κανένα από τα δύο πειράματα. Το δοκίμιο RBS1 ξεπέρασε το αποδεκτό όριο των 0.03 radian πλαστικής στροφής χωρίς θραύση, υπερθεματίζοντας την γενικότερη αξία της συγκεκριμένης διαδικασίας ανάλυσης.
- Η παρουσία των ζωνών απομείωσης οδηγούν σε μικρότερες απαιτήσεις αντοχής στις γειτονικές περιοχές. Κάτι τέτοιο παρατηρήθηκε στο δοκίμιο RBS1, όπου η πλαστική άρθρωση έλαβε χώρα στην περιοχή της απομείωσης.
- Απομειώνοντας τα πέλματα της δοκού κοντά στην περιοχή της σύνδεσης ώστε η αντοχή έναντι ροπής να είναι ίση με την αντοχή σχεδιασμού, δημιουργείται μια διευρυμένη πλαστική ζώνη και η ικανότητα παραμόρφωσης μπορεί να βελτιωθεί.
- Το δοκίμιο RBS2, το οποίο επίσης σχεδιάστηκε σύμφωνα με τις υποδείξεις που προτείνονται από τον EC8, επέδειξε πολύ φτωχή συμπεριφορά. Η διαρροή παρατηρήθηκε στο κάτω πέλμα της δοκού κοντά στο μέτωπο του υποστυλώματος και όχι στην περιοχή της απομείωσης όπως αναμενόταν. Οι γεωμετρικές παράμετροι της απομείωσης, για κυκλική απομείωση, θα πρέπει να αναπροσαρμοστούν ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν ασφαλώς σε Ευρωπαϊκού προφίλ διατομές.

9.ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

- [1] FEMA 350. “Recommended seismic design criteria for new steel moment-frame buildings”, Washington D.C., 2000.
- [2] Plumier A. “Reduced beam sections; a safety concept for structures in seismic zones”, *Buletinul Stiintific al universitatii ‘Politehnica ‘din Timisoara*, Romania, Tom.41, fasc.2, pp.46-59.
- [3] Plumier A. “New idea for safe structure in seismic zone”, *Proceedings of IAB-SE Symposium on Mixed Structures Including New Materials*, Brussels, Belgium, 1990, pp.431-436.
- [4] Georgescu D. “Recent developments in theoretical and experimental results on steel structures. Seismic resistant braced frames”, *Costruzioni Metalliche*; 1996, 1: pp. 39-52.
- [5] SAC 96-03. “Interim guidelines”. FEMA 276/A; SAC Join Venture, California.
- [6] Moore K., O. Malley J. and Engelhardt M. “Design of reduced beam section moment frame connection” Structural steel educational council: Technical information and product service. California.
- [7] Chen SJ., Chu JM. and Chou ZL. “Dynamic behavior of steel frames with beam flanges shaved around connection”, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol.42, No1, 1997, pp.49-70.

- [8] Popov E., Blondet M. and Stepanov L. “Application of dog bones for improvement of seismic behavior of steel connections”, *Report No UCB/EERC 96/05*, 1996, U.S.A.
- [9] Anastasiadis A. and Gioncu V. “Influence of joint details on the local ductility of steel moment resisting frames”, *Proceedings of 3rd National Greek Conference on Steel Structures*, 1998, pp.311-319.
- [10] Anastasiadis A., Gioncu V. and Mazzolani FM. “New upgrading procedures to improve the ductility of steel MR-frames”, *In: XVII C.T.A. Congress, Napoli*, 1999, pp.193-204.
- [11] Faggiano B. and Landolfo R. “Seismic analysis of steel MR frames with dog bone connections”, *Proceedings of 12th European Conference on Earthquake Engineering*, London, 2002, paper reference. 309.
- [12] FEMA 351. “Recommended seismic evaluation and upgrade criteria for existing welded steel moment frame buildings”, Washington D.C., 2000.
- [13] EN 1993-8:2005, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 3: Assessment and retrofitting of buildings, CEN 2005.

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF REDUCED BEAM SECTION MOMENT CONNECTIONS SUBJECTED TO CYCLIC LOADING

**Dimitrios T. Pachoumis^a Christos N. Kalfas^b, Evangelos G. Galoussis^c,
Anna A. Marinopoulou^a, Ioannis Z. Efthimiou^d**

^a Phd. Cand., MSc Civil Engineer

^b Assistant Professor DUTH

^c Professor DUTH

^d MSc Civil Engineer

Steel Structures Laboratory DUTH

Xanthi, Greece

e-mail: msslgroup@civil.duth.gr

SUMMARY

Reduced beam section (RBS) moment resisting connections are among the most economical and practical rigid steel connections developed in the aftermath of the 1994 Northridge and the 1995 Kobe earthquakes. Although the RBS connection effectiveness was widely investigated using US design and construction practices, only limited data exist from European research. In the present paper the results of an experimental study of RBS moment connection with radius cut subjected to cyclic loading and using the HEA profiles, widely used as beam members in Europe, is presented. The analyses confirm the need for readjustment of the geometrical characteristics of the RBS in order to apply for the European profiles.