

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΟΙΛΟΔΟΚΩΝ ΠΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΜΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΩΝ ΙΔΕΑΤΩΝ ΑΜΙΓΩΣ ΧΑΛΥΒΑΙΝΩΝ

Άννα Α. Μαρινοπούλου^a, Χρίστος Ν. Κάλφας^b, Δημήτριος Θ. Παχούμης^a

^a Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

^b Αναπλ. Καθηγητής Δ.Π.Θ.

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών Δ.Π.Θ.

Ξάνθη, Ελλάδα

e-mail: amarinop@civil.duth.gr

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε προηγούμενη εργασία [1] έχει παρουσιασθεί μεθοδολογία για την προσομοίωση υποστυλωμάτων από κοιλοδοκούς, πληρωμένες με σκυρόδεμα, με αμιγώς χαλύβδινες ιδεατές διατομές. Η μέθοδος στηρίζεται στην ισοδυναμία των αξονικών και καμπτικών δυσκαμψιών της σύμμικτης και της ιδεατής κοιλοδοκού. Σκοπός της μεθόδου είναι ο ακριβής προσδιορισμός ισοδύναμων αμιγώς χαλύβδινων διατομών, με τις οποίες να αντικαθίστανται οι διατομές των κοίλων πληρωμένων με σκυρόδεμα υποστυλωμάτων, προκειμένου να καταστεί ευχερέστερη η καθολική ελαστική ανάλυση σύμμικτων δομημάτων. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ο πειραματικός έλεγχος αμφιαρθρωτών υποστυλωμάτων από κοίλες διατομές πληρωμένες με σκυρόδεμα, καθώς και των αντιστοιχών τους ιδεατών χαλύβδινων, προκειμένου να διερευνηθεί και πειραματικά ο βαθμός αξιοπιστίας της προταθείσης μεθοδολογίας. Τα υποστυλώματα καταπονούνται σε αξονικό θλιπτικό φορτίο, καθώς και σε εγκάρσιο, που προκαλεί κάμψη της διατομής στον ασθενή άξονά της. Τα μεγέθη που μετρούνται είναι οι παραμορφώσεις των διατομών στα σημεία επιβολής του εγκάρσιου φορτίου.

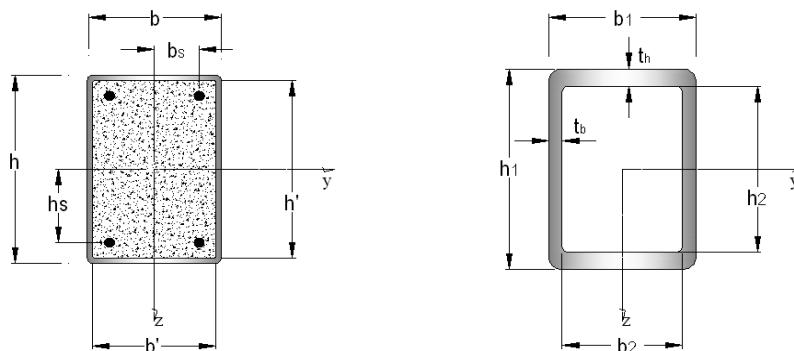
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μέθοδος προσομοίωσης πληρωμένων με σκυρόδεμα κοιλοδοκών με αμιγώς χαλύβδινες ιδεατές διατομές, που προτείνεται στην [1], εξασφαλίζει την ισοδυναμία ιδεατής και πραγματικής διατομής, με εξασφάλιση των:

1. Η αξονική δυσκαμψία της ιδεατής διατομής εξισώνεται με την αντίστοιχη δυσκαμψία της σύμμικτης διατομής.
2. Οι καμπτικές δυσκαμψίες και ως προς τους δύο κεντροβαρικούς άξονες της ιδεατής διατομής εξισώνονται με τις αντίστοιχες δυσκαμψίες της σύμμικτης διατομής.

Προέκυψε ότι η ιδεατή χαλύβδινη διατομή, που προσομοιώνει πλήρως την πληρωμένη με σκυρόδεμα ορθογωνική ή τετραγωνική κοιλοδοκό, έχει την ίδια

μορφή-σχήμα με την τελευταία αλλά με διαφορετικές εσωτερικές και εξωτερικές διαστάσεις. Επισημαίνεται ότι τα πάχη των πελμάτων της ιδεατής κοιλοδοκού είναι γενικά διαφορετικά από τα πάχη των παρειών της. Στο Σχ.1 εικονίζονται αφ' ενός η διατομή του σύμμικτου υποστυλώματος και αφ' ετέρου η ιδεατή αμιγώς χαλύβδινη διατομή με την οποία προσομοιώνεται.



α. Σύμμικτη διατομή

β. Ιδεατή χαλύβδινη διατομή

Σχ. 1. Προσομοίωση πληρωμένης με σκυρόδεμα κοιλοδοκού με ιδεατή αμιγώς χαλύβδινη

Από τα δύο κριτήρια ισοδυναμίας των δύο διατομών, που αναφέρονται ανωτέρω, προκύπτει ένα μη – γραμμικό σύστημα τριών εξισώσεων με τρεις αγνώστους, τις αδιαστατοποιημένες γεωμετρικές διαστάσεις β_1 , η_1 και α , όπου $\beta_1 = b_1/b$, $\eta_1 = h_1/h$ και $\alpha = b_2/b_1 = h_2/h_1 < 1$, αντίστοιχα. Οι συμβολισμοί των διαφόρων διαστάσεων φαίνονται στο Σχ. 1. Το παραπάνω σύστημα επιλύεται και προκύπτει μία κλειστή λύση αυτού, με την οποία ικανοποιούνται επακριβώς οι απαιτήσεις ισοδυναμίας των δύο διατομών.

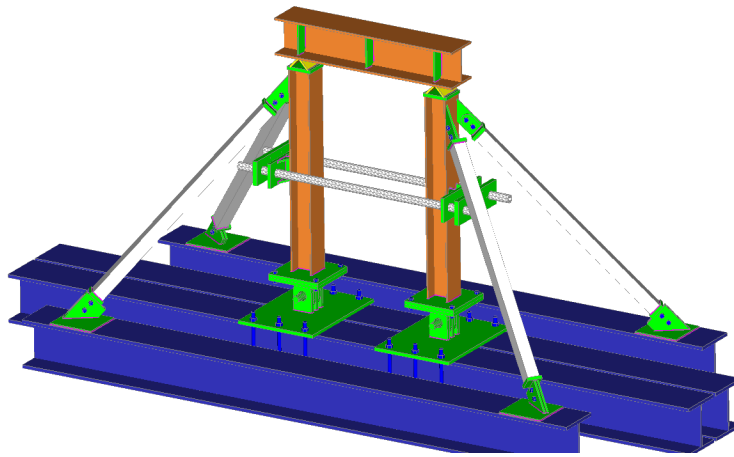
Προκειμένου να εξασφαλισθεί η μέγιστη δυνατή αξιοπιστία της προτεινόμενης μεθόδου και να απαλειφθούν οι τυχόν διαφορές από το θεωρητικό υπολογισμό των δυσκαμψιών των σύμμικτων διατομών, κρίνεται απαραίτητο, στην εργασία αυτή, να γίνει και πειραματική επιβεβαίωση της προτεινόμενης μεθόδου.

3. ΕΚΛΟΓΗ & ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

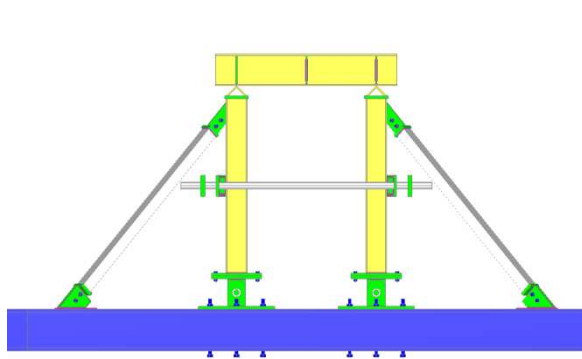
Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των παραμορφώσεων των υποστυλωμάτων και της εν γένει συμπεριφοράς τους φαίνεται στα Σχ. 2, Σχ. 3 και Σχ. 4, που ακολουθούν [2].

Η άρθρωση στην κορυφή εκάστου υποστυλώματος επιτυγχάνεται με δύο τεμνόμενες ράβδους (αντηρίδες), οι οποίες εμποδίζουν, επιπλέον, τις εκτός επιπέδου ανεπιθύμητες μετακινήσεις του πλαισίου. Οι ράβδοι τέμνονται, στο κάτω μέρος της λεπίδας, στην οποία συγκολλάται η γωνιακή διατομή, επί της οποίας εδράζεται το ζύγωμα του επιπέδου πλαισίου με τα υποστυλώματα.

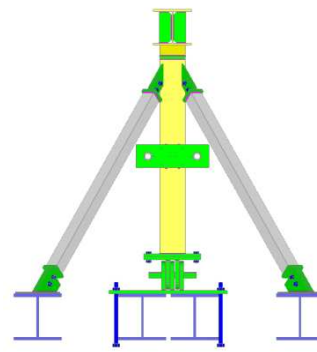
Η άρθρωση στη βάση εκάστου υποστυλώματος υλοποιείται με μια κλασική σύνδεση βλήτρου (πεύρου). Ο πείρος περνά μέσα από τρεις λεπίδες διερχόμενος ταυτόχρονα μέσα από κυλισιοτριβείς (ρουλεμάν). Η σχεδόν τέλεια επαφή των “ρουλεμάν” με το βλήτρο δεν αφήνει ανεπιθύμητες ανοχές και η λίπανση τους εξουδετερώνει τις τριβές, που μπορούν να εμποδίσουν την ομαλή λειτουργία της άρθρωσης.



Σχ. 2: Γενική άποψη πειραματικής διάταξης



Σχ. 3: Κύρια όψη πειραματικής διάταξης



Σχ. 4: Πλάγια όψη πειραματικής διάταξης

Το αξονικό φορτίο στους δίδυμους στύλους δίνεται από την πρέσα φόρτισης. Η πρέσα, μέσω μιας αρκετά άκαμπτης μεταλλικής γέφυρας (διατομής HE240A), μεταβιβάζει αξονικό θλιπτικό φορτίο στα υποστρώματα. Λεπτομέρεια φαίνεται στη Φωτ. 2. Τα υποστρώματα συνδέονται με τη γέφυρα με γωνιακές διατομές (συγκολλώνται οι γωνίες στη γέφυρα), καθώς, επίσης, είναι συγκολλημένες σε μία πλάκα, που έχει συγκολληθεί στα άκρα των υποστρωμάτων. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η σημειακή στήριξη της γέφυρας στα υποστρώματα.

Το εγκάρσιο φορτίο, που προκαλεί την κάμψη, εφαρμόζεται με ιδιοκατασκευασμένο σύστημα, του οποίου τα κύρια μέρη είναι δύο ελκυστήρες (ντίτζες), οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με κοχλιοστροφέα (μούφα). Στο εσωτερικό των άκρων του κοχλιοστροφέα κατασκευάζονται αντίρροπα σπειρώματα, στα οποία κοχλιώνονται τα αντίστοιχα σπειρώματα των άκρων των δύο τμημάτων του κάθε ελκυστήρα. Στους δύο ελκυστήρες, που είναι τοποθετημένοι εκατέρωθεν των υποστρωμάτων του πλαισίου, κοχλιώνονται στα άκρα τους κατακόρυφες λεπίδες, στις οποίες στερεώνονται οι κυψέλες μέτρησης φορτίου [3]. Με το σύστημα αυτό, καθώς συσφίγγεται ο κοχλιοστροφέας των ελκυστήρων, η εφελκυστική δύναμη, που αναπτύσσεται, μεταβιβάζεται μέσω των ακίδων των κυψελών φόρτισης και των λεπίδων, στα πέλατα των υποστρωμάτων, η οποία ως εγκάρσιο φορτίο προκαλεί κάμψη του υποστρώματος. Λεπτομέρειες του συστήματος επιβολής του εγκάρσιου φορτίου στα υποστρώματα φαίνεται στις φωτ. 3 και φωτ. 4.

4. ΕΚΛΟΓΗ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΥΤΩΝ

Τα πειραματικά δοκίμια σχεδιάστηκαν σε κλίμακα 1:1. Η εκλογή της διατομής των δοκιμίων έγινε με γνώμονα τον υπάρχοντα μηχανολογικό εξοπλισμό του Εργαστηρίου Μεταλλικών Κατασκευών του Δ.Π.Θ. και με κριτήρια που αφορούν στη δυνατότητα στρογγύλευσης των διαστάσεων των λεπίδων (τουλάχιστον όσον αφορά στα πάχη τους), με τις οποίες κατασκευάζεται η ιδεατή διατομή, καθώς και στο μετρήσιμο των παραμορφώσεων.

Κατασκευάζονται δοκίμια πληρωμένων με σκυρόδεμα κοιλοδοκών, καθώς και τα αντίστοιχα ιδεατά με διαστάσεις που προκύπτουν από τη λύση του συστήματος, που προέκυψε στην [1]. Οι διαστάσεις και τα υλικά των χρησιμοποιούμενων λεπίδων περιέχονται στον Πιν. 1.

Δοκίμιο σύμμικτου υποστυλώματος		Δοκίμιο ιδεατού υποστυλώματος	
Χαλύβδινη διατομή	RHS 150x100x5	Λεπίδες κορμού (mm)	133.86 x 8.5
Ποιότητα χάλυβα	S 275	Λεπίδες πελμάτων (mm)	77.50 x 12.0
Κατηγορία σκυροδέματος	C 20/25	Ποιότητα χάλυβα	S 275

Πιν. 1. Διαστάσεις και υλικά δοκιμίων

Συμβολισμός	Υποστύλωμα		Παραμορφώσεις
	Αριθμός	Είδος	Θέση μέτρησης
Θ.Φ.Fict_1	1	Ιδεατό	Θέση επιβολής φορτίου
Θ.Φ.Comp_1	1	Σύμμικτο	Θέση επιβολής φορτίου
Θ.Φ.Fict_2	2	Ιδεατό	Θέση επιβολής φορτίου
Θ.Φ.Comp_2	2	Σύμμικτο	Θέση επιβολής φορτίου
Θ.20.A.Fict_1	1	Ιδεατό	20 cm από άνω άρθρωση
Θ.20.K.Fict_1	1	Ιδεατό	20 cm από κάτω άρθρωση
Θ.20.A.Fict_2	2	Ιδεατό	20 cm από άνω άρθρωση
Θ.20.K.Fict_2	2	Ιδεατό	20 cm από κάτω άρθρωση
Θ.20.A.Comp_1	1	Σύμμικτο	20 cm από άνω άρθρωση
Θ.20.K. Comp_1	1	Σύμμικτο	20 cm από κάτω άρθρωση
Θ.20.A. Comp_2	2	Σύμμικτο	20 cm από άνω άρθρωση
Θ.20.K. Comp_2	2	Σύμμικτο	20 cm από κάτω άρθρωση

Πιν. 2. Υπόμνημα για τους συμβολισμούς των διαγραμμάτων

5. ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ & ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Εκτελούνται πέντε δοκιμές με διάφορες τιμές αξονικού φορτίου και, ειδικότερα, με μηδενικό θλιπτικό φορτίο, καθώς και φορτία των 20, 40, 60 και 80 kN περίπου. Σε κάθε μία από τις δοκιμές αυτές, υπό σταθερό αξονικό θλιπτικό φορτίο, το εγκάρσιο φορτίο αυξάνει σταδιακά έως την τιμή του μεγίστου με σταθερό βήμα της τάξεως των 5 kN και στη συνέχεια γίνεται αποφόρτιση των δοκιμίων με το ίδιο βήμα. Ο

πειραματικός έλεγχος περιορίζεται στην ελαστική περιοχή, δεδομένου ότι η προτεινόμενη μέθοδος προσομοίωσης στοχεύει μόνο σε ελαστικές αναλύσεις. Η *Φωτ. 1* απεικονίζει τα υποστυλώματα από κοίλες διατομές πληρωμένες με σκυρόδεμα τοποθετημένα στο πλαίσιο φόρτισης.

Από τις μετρήσεις, που καταγράφονται κατά τη διάρκεια των προαναφερθέντων πειραματικών δοκιμών τόσο των ιδεατών όσο και των σύμμικτων υποστυλωμάτων, κατασκευάζονται τα διαγράμματα εγκάρσιου φορτίου P και παραμόρφωσης δ , για τις διάφορες τιμές του αξονικού φορτίου (Σχ. 5 - Σχ. 8). Οι συμβολισμοί που περιέχονται στα εν λόγω διαγράμματα αναγράφονται στον Πιν. 2.

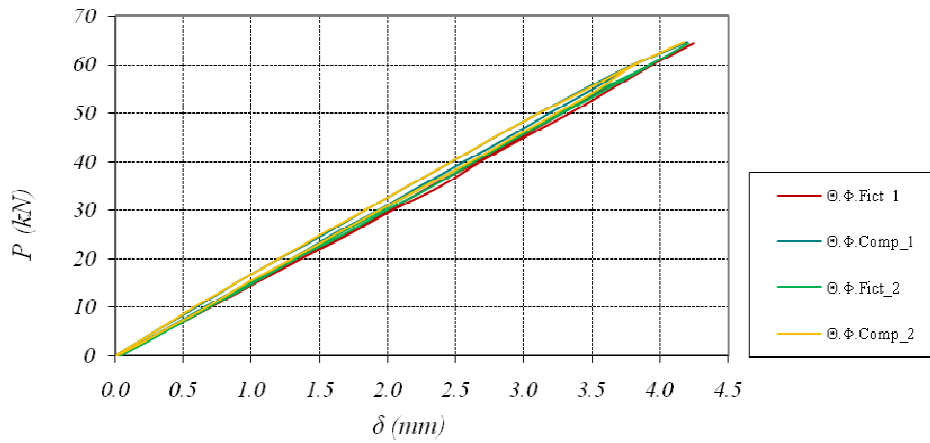


Φωτ. 1. Γενική άποψη της πειραματικής διάταξης με τα σύμμικτα υποστυλώματα

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

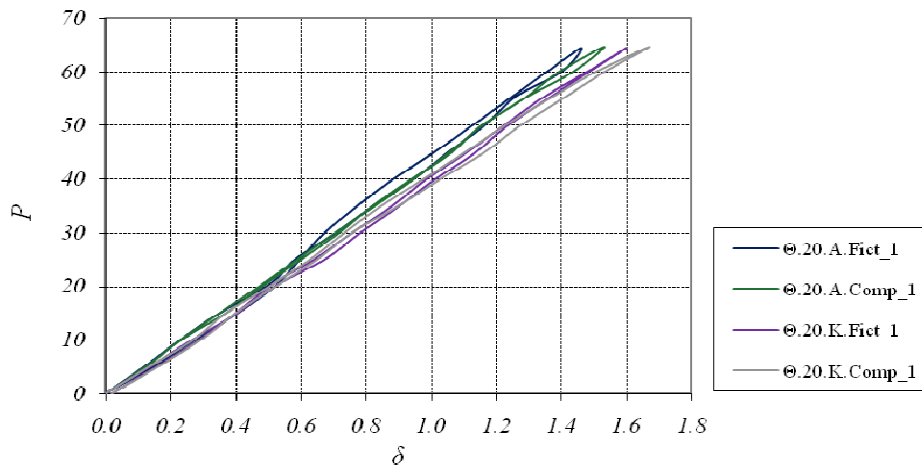
Από τη σύγκριση των διαγραμμάτων εγκάρσιου φορτίου – παραμόρφωσης στη θέση επιβολής του φορτίου σύμμικτου και αντίστοιχου ιδεατού υποστυλώματος, υπό οποιοδήποτε αξονικό θλιπτικό φορτίο, αποδεικνύεται ότι τα δύο δοκίμια παρουσιάζουν όμοια ελαστική συμπεριφορά. Ανάλογα συμπεράσματα προκύπτουν και από τη σύγκριση των καμπυλών φορτίου – παραμόρφωσης στα σημεία που βρίσκονται σε αποστάσεις 20 cm άνω και κάτω από τις θέσεις των θεωρητικών αρθρώσεων, υπό οποιοδήποτε και πάλι αξονικό φορτίο. Αποδεικνύεται έτσι ότι οι δύο διαφορετικοί τύποι διατομών παρουσιάζουν ισοδύναμες αξονικές και καμπτικές ως προς τον ασθενή άξονα δυσκαμψίες σε όλο το μήκος τους.

Διάγραμμα P-δ (αξονικό φορτίο 0 kN)



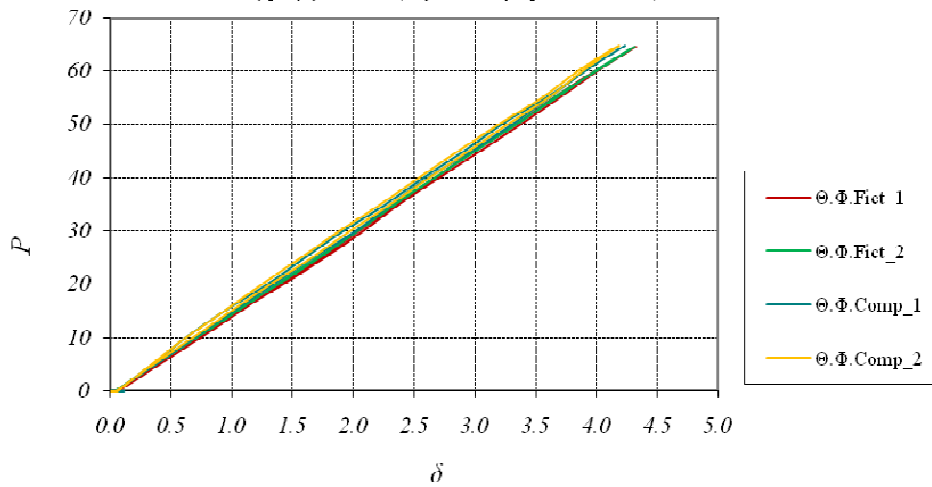
Σχ. 5. Διάγραμμα $P - \delta$ από πείραμα (υποστύλωμα 1 & 2)

Διάγραμμα P-δ (αξονικό φορτίο 0 kN)

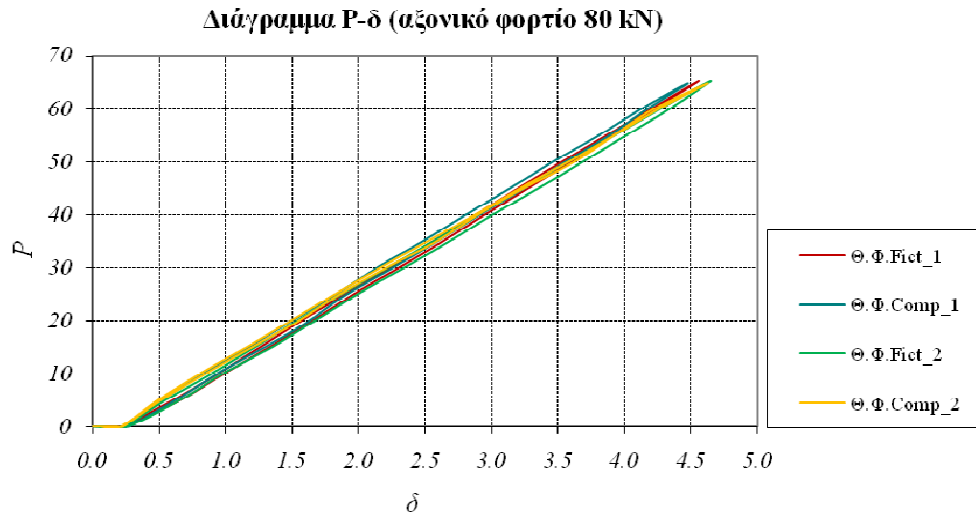


Σχ. 6. Διάγραμμα $P - \delta$ από πείραμα σε 20 cm από αρθρώσεις (υποστύλωμα 1)

Διάγραμμα P-δ (αξονικό φορτίο 20 kN)



Σχ. 7. Διάγραμμα $P - \delta$ πειραματικών μετρήσεων (υποστύλωμα 1 & 2)



Σχ. 8. Διάγραμμα P – δ πειραματικών μετρήσεων (υποστύλωμα 1 & 2)

Από την ανωτέρω διαπίστωση προκύπτει ότι η ιδεατή διατομή έχει τις απαιτούμενες διαστάσεις προκειμένου να παρουσιάζει την ίδια καμπτική δυσκαμψία ως προς τον ασθενή άξονα με τη σύμμικτη διατομή. Οι καμπτικές δυσκαμψίες ως προς τον ισχυρό άξονα των σύμμικτων και των ιδεατών διατομών είναι, επίσης, ισοδύναμες, δεδομένου ότι βασίζονται σε ταυτοτικές γεωμετρικές παραμέτρους και υλικά με την ίδια μηχανική συμπεριφορά. Κατά συνέπεια, σύμμικτες κοιλοδοκοί πληρωμένες με σκυρόδεμα και αντίστοιχα ιδεατά υποστυλώματα παρουσιάζουν τις ίδιες αξονικές και καμπτικές και ως προς τους δύο άξονες δυσκαμψίες.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Μαρινοπούλου Α., Κάλφας Χ., Μπαλόπουλος Β., Γαλούσης Ε. “Προσομοίωση υποστυλωμάτων από κοιλοδοκούς πληρωμένες με σκυρόδεμα με αμιγώς χαλύβδινες διατομές κοιλοδοκών”, 6^ο Εθνικό Συνέδριο Μεταλλικών Κατασκευών, Ιωάννινα, Οκτώβριος 2008, Τόμος Ι, σελ.112-124.
- [2] Μαρινοπούλου Α., Κάλφας Χ., Γαλούσης Ε., Παχούμης Δ. “Πειραματικός έλεγχος σύμμικτων διατομών υποστυλωμάτων και αντίστοιχων ιδεατών αμιγώς χαλύβδινων”, 6^ο Εθνικό Συνέδριο Μεταλλικών Κατασκευών, Ιωάννινα, Οκτώβριος 2008, Τόμος Ι, σελ.64-71.
- [3] Kyowa Electronic Instruments Co. Ltd, 1-22-14, Toranomon, Minato-ku, Tokyo 105-0001, Japan, <http://www.kyowa-ei.com>.

EXPERIMENTAL TESTING OF COMPOSITE CONCRETE-FILLED TUBES AND THEIR FICTITIOUS PURELY STEEL COUNTERPARTS

Anna A. Marinopoulou^a, Christos N. Kalfas^b, Dimitrios Th. Pachoumis^a

^a Phd. Civil Engineer

^b Associate Professor DUTH
Steel Structures Laboratory DUTH

Xanthi, Greece

e-mail: amarinop@civil.duth.gr

SUMMARY

A method for simulating composite concrete-filled tubes as equivalent steel columns of fictitious cross-section, for the purposes of linear elastic analysis, has been presented in [1]. The fictitious purely-steel cross-section chosen for simulating concrete-filled rectangular (RHS) and square (SHS) columns has the same shape as the actual steel profile; i.e., rectangular or square, respectively, but has different dimensions and its walls do not generally have equal thickness. It is described by *four* unknown dimensions; two external, h_1 and b_1 , and two internal h_2 and b_2 . These are determined in non-dimensional form, $\beta_1 = b_1/b$, $\beta_2 = b_2/b$, $\eta_1 = h_1/h$, $\eta_2 = h_2/h$, from *three* equations of stiffness equivalence (axial stiffness and flexural about the two principal axes), subject to *one* arbitrary constraint $\alpha = b_2/b_1 = h_2/h_1 < 1$. Normalized algebraic expressions for the equivalence criteria and a closed-form solution are derived. To further establish the reliability of the proposed methodology, columns made of composite concrete-filled tubes and their fictitious purely-steel counterparts are experimentally tested and compared in this work. For each cross-section examined, a simply supported span is subjected to axial compression and minor-axis bending (the latter due to a transverse point load) and the deformations under the transverse load are measured. The experimental results show that the deformations of the composite sections agree to within approximately 3% with those of their fictitious counterparts. Therefore, the proposed methodology of simulation is proven reliable by experiment.