

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΝΤΟΧΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΛΕΠΤΟΤΟΙΧΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΟΛΥΜΕΛΕΙΣ ΚΑΙ ΜΟΝΟΜΕΛΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΘΕΡΜΗΣ ΕΛΑΣΕΩΣ

Αναστάσιος Σ. Δερβέναγας^a, Δημήτριος Θ. Παχούμης^b, Χρήστος Ε. Σοφίας^b, Παρθένα-Μαρία Κ. Κοσμίδου^c, Χρήστος Ν. Κάλφας^d

^a MSc. Πολιτικός Μηχανικός Δ.Π.Θ.

^b Δρ MSc. Πολιτικός Μηχανικός Δ.Π.Θ.

^c Υποψ. Διδ., MSc. Πολιτικός Μηχανικός Δ.Π.Θ.

^d Καθηγητής Δ.Π.Θ.

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών Δ.Π.Θ.

Ξάνθη, Ελλάδα

e-mail: msslgroup@civil.duth.gr

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία διερευνάται ο συνδυασμός των πλεονεκτημάτων που απορρέουν από τις λεπτότοιχες και τις πολυμελείς διατομές, από άποψη βάρους και δυσκαμψίας κατά τον ασθενή άξονα, αντίστοιχα. Προς τούτο, δημιουργήθηκαν ειδικά προγράμματα σε φύλλα excel για το σχεδιασμό σύνθετων υποστυλωμάτων με πέλματα και ράβδους πλήρωσης από διατομές ψυχρής ελάσεως, με βάση τις διατάξεις του EC3. Παράλληλα, διαστασιολογήθηκαν σύνθετα υποστυλώματα, μέσω προγράμματος excel, και μονομελή στοιχεία με τη χρήση του λογισμικού Robot Structural Analysis, όλα από διατομές θερμής ελάσεως. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των αντοχών όλων των ανωτέρω στοιχείων, έναντι συνδυασμένης διαξονικής κάμψης και θλίψης, παρουσιάζονται αναλυτικά. Η σύγκριση αφορά το απαιτούμενο βάρος του κάθε στοιχείου που προκύπτει από τις απαιτήσεις του σχεδιασμού. Επιπλέον παρουσιάζεται και συγκριτική μελέτη κόστους μεταξύ δύο σύνθετων υποστυλωμάτων, ενός με λεπτότοιχα μέλη και ενός με στοιχεία θερμής ελάσεως.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ανάγκες για κατακόρυφα δομικά στοιχεία με χαμηλό βάρος, χαμηλό κόστος και υψηλές αντοχές ως προς τους δύο άξονες είναι αυξημένες, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια. Στην παρούσα εργασία σύνθετα υποστυλώματα από πολυμελείς διατομές ψυχρής διαμόρφωσης ελέγχονται στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (ΟΚΑ). Σκοπός του συγκεκριμένου εγχειρήματος είναι ο συνδυασμός των πλεονεκτημάτων των διατομών ψυχρής διαμόρφωσης και των αντίστοιχων πολυμελών υποστυλωμάτων. Τα πλεονεκτήματα αυτά είναι το χαμηλό ίδιο βάρος των λεπτότοιχων διατομών (ψυχρής διαμόρφωσης) και η αυξημένη δυσκαμψία και ως προς τους δύο άξονες των σύνθετων υποστυλωμάτων από πολυμελείς διατομές.

Για το σχεδιασμό των σύνθετων λεπτότοιχων στοιχείων, δημιουργήθηκαν ειδικά προγράμματα σε φύλλα excel, με βάση τις διατάξεις του EC3. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά

των διατομών ψυχρής ελάσεως και των πολυμελών στοιχείων ελήφθησαν υπόψη κατά τη σύνταξη των προγραμμάτων.

Όσον αφορά στις λεπτότοιχες διατομές:

1. εξαιτίας του μικρού πάχους τους και των μεγάλων διαστάσεων των επιμέρους στοιχείων των διατομών, καθίστανται επιρρεπείς σε τοπικούς λυγισμούς και κατατάσσονται κατά κανόνα στην κλάση 4. Θα πρέπει επομένως, να υπολογιστούν τα ενεργά γεωμετρικά και αδρανειακά χαρακτηριστικά τους.
2. Το μικρό πάχος σε συνδυασμό με τη μονοσυμμετρικότητα των υπό εξέταση διατομών, τις καθιστά ευαίσθητες σε στρεπτικές καταπονήσεις και σε λυγισμούς με στρεπτικές ιδιομορφές (καμπτικοστρεπτικός, στρεπτικός λυγισμός).

Σχετικά με τα στοιχεία πολυμελούς διατομής:

1. λόγω της υψηλής τιμής του λόγου ύψος διατομής/ύψος στοιχείου (h/L), πρέπει να συνυπολογιστούν και οι διατμητικές παραμορφώσεις. Τα στοιχεία αυτά είναι στοιχεία Timoshenko και αυτό υπεισέρχεται στη μείωση του κρίσιμου φορτίου λυγισμού:

$$N_{cr} = \frac{1}{\frac{1}{N_E} + \frac{1}{S_V}} < N_E \quad (1)$$

όπου N_E , το κρίσιμο φορτίο Euler, και S_V η διατμητική δυσκαμψία του στοιχείου.

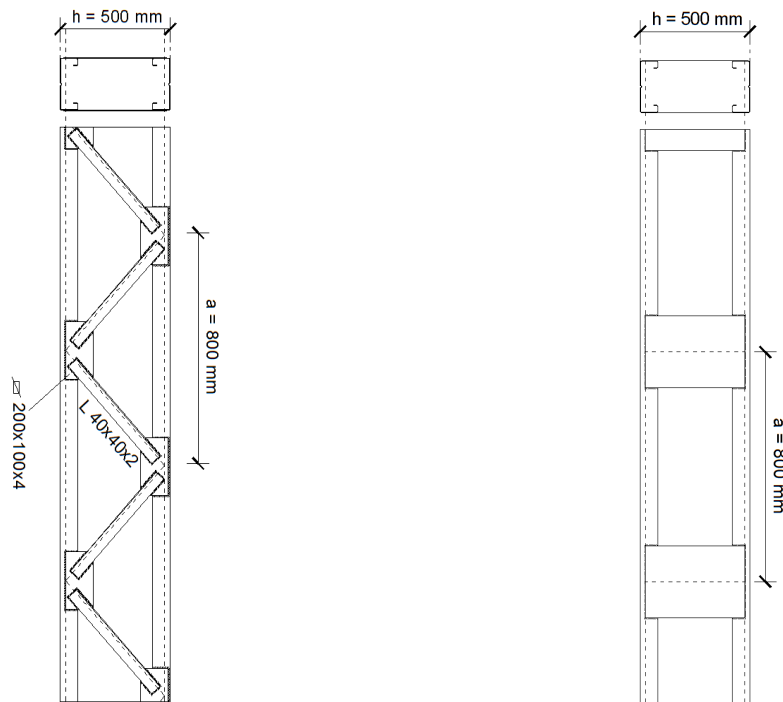
2. Εξαιτίας κατασκευαστικών κυρίως ατελειών κατά τον ασθενή άξονα z , στα στοιχεία αυτά θα πρέπει να προστεθούν και εντατικά μεγέθη λόγω φαινομένων 2ας τάξεως.

Για να εξακριβωθεί αν τα στοιχεία αυτά παρουσιάζουν καλή συμπεριφορά, γίνεται σύγκριση με πολυμελή και μονομελή υποστυλώματα διατομών θερμής ελάσεως.

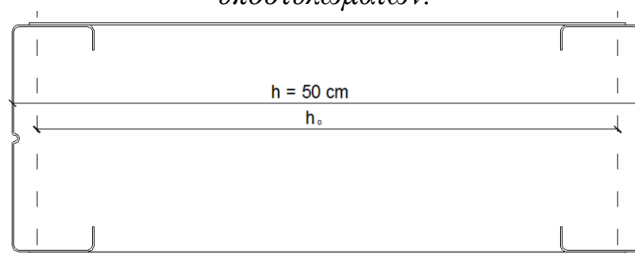
3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΠΟ ΕΞΕΤΑΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

Τα υπό εξέταση υποστυλώματα αποτελούν στοιχεία μονώροφου δομικού συστήματος ύψους 8 m. Το στατικό τους σύστημα είναι αμφιαρθρωτό και καθ' ύψος δεν υπάρχει καμία δέσμευση ούτε πλευρική αντιστήριξη. Στα πολυμελή στοιχεία είτε θερμής είτε ψυχρής ελάσεως, τα φατνώματά τους έχουν απόσταση 80 cm. Για κάθε τύπο διατομής πέλματος εξετάζονται δύο τρόποι σύνδεσής τους, με ράβδους δικτύωσης (δικτυωτά υποστυλώματα) και με λεπίδες σύνδεσης (πλαισιωτά υποστυλώματα). Επιπρόσθετα, η αξονική απόσταση μεταξύ των πελμάτων είναι σε όλες τις περιπτώσεις $h = 50$ cm. Στο σχ. 1 εικονίζεται η διαμόρφωση των σύνθετων υποστυλωμάτων που εξετάζονται, ενώ στο σχ. 2 η αξονική απόσταση των πελμάτων. Τα στοιχεία καταπονούνται από θλιπτικό αξονικό φορτίο $N_{Ed} = 850$ kN και εγκάρσιο διανεμημένο και ως προς τις δύο διευθύνσεις $q_{Edy} = q_{Edz} = 5$ kN/m. Επομένως και για τις δύο διευθύνσεις προκύπτουν ροπές $M_{Ed} = 40$ kNm και τέμνουσες $V_{Ed} = 20$ kN.

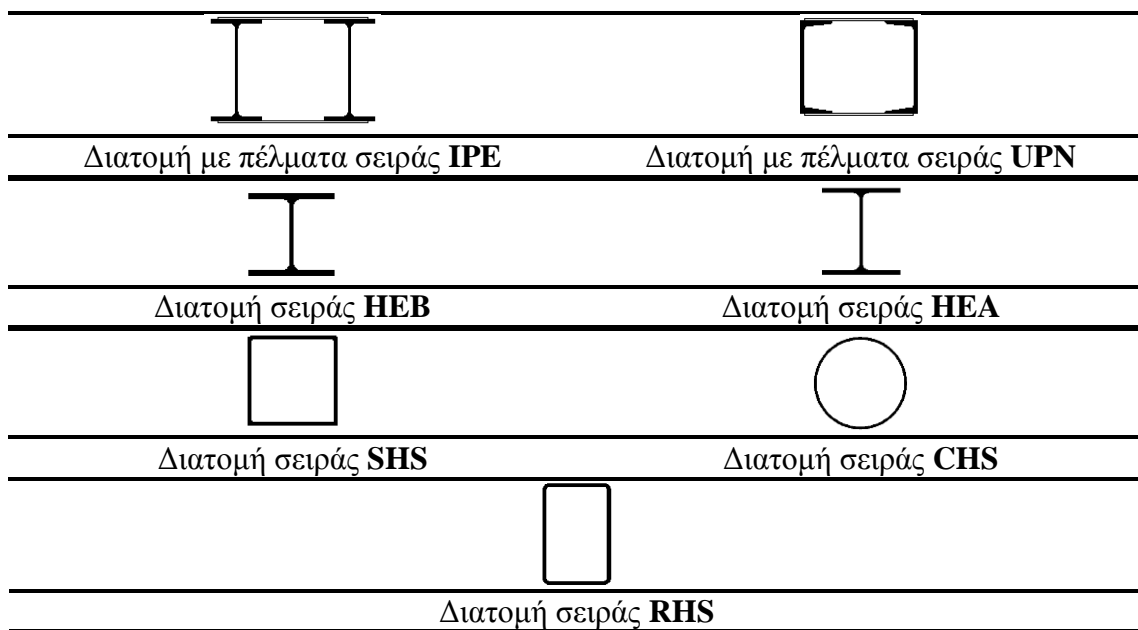
Σημειώνεται ότι το βασικότερο κριτήριο για τη θεώρηση μίας διατομής ως κατάλληλης ή μη, είναι το βάρος του στοιχείου που τελικά προκύπτει από τους υπολογισμούς. Επιπλέον, εξετάζεται και το ύψος της διατομής, αν δηλαδή είναι πολύ μεγαλύτερο από την αξονική απόσταση των πελμάτων καθώς και αν τα πλάτη των πελμάτων των διατομών είναι τόσο μεγάλα ώστε να περιορίζεται η προσβασιμότητα για την πραγματοποίηση των συνδέσεων. Στον υπολογισμό του βάρους των σύνθετων στοιχείων, προσμετρώνται τα βάρη των πελμάτων των ράβδων πλήρωσης και των κομβοελασμάτων, εφόσον υπάρχουν.



Σχ.1: Όψη τυπικών φατνωμάτων δικτυωτών (αριστερά) και πλαισιωτών (δεξιά) σύνθετων υποστυλωμάτων.



Σχ.2: Αξονική απόσταση πελμάτων διατομής σύνθετου υποστυλώματος.



Πίν.1: Εξεταζόμενες πολυμελείς και μονομελείς διατομές θερμής ελάσεως.

4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΘΕΡΜΗΣ ΕΛΑΣΕΩΣ

Για το σχεδιασμό των πολυμελών και μονομελών στοιχείων από διατομές θερμής ελάσεως, ακολουθούνται οι διατάξεις του μέρους 1.1 του EC 3. Στον πιν.1 εικονίζονται οι εξεταζόμενες πολυμελείς και μονομελείς διατομές.

Ο σχεδιασμός των σύνθετων υποστυλωμάτων θερμής ελάσεως πραγματοποιήθηκε σε υπάρχοντα προγράμματα excel, ενώ των μονομελών στοιχείων στο λογισμικό Robot Structural Analysis. Για τα υποστυλώματα με διατομή τύπου Η και σειράς RHS, ο κρισιμότερος έλεγχος ήταν ο συνδυασμός καμπτικού λυγισμού και ως προς τους δύο άξονες, με διαξονική κάμψη υπό πλάγιοστρεπτικό λυγισμό, που δίνεται από τις παρακάτω σχέσεις όπως ορίζονται από τον EC3:

$$\left(\frac{\sigma_{bEd}}{f_{yb}}\right)_y = \frac{N_{ch,c,Ed}}{\chi_y N_{cRd} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{chy,Ed} + \Delta M_{chy,Ed}}{\chi_{LT} M_{yRd} / \gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{chz,Ed} + \Delta M_{chz,Ed}}{M_{zRd} / \gamma_{M1}} \leq 1 - \rho_{max} \quad (2)$$

$$\left(\frac{\sigma_{bEd}}{f_{yb}}\right)_z = \frac{N_{ch,c,Ed}}{\chi_z N_{cRd} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{chy,Ed} + \Delta M_{chy,Ed}}{\chi_{LT} M_{yRd} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{chz,Ed} + \Delta M_{chz,Ed}}{M_{zRd} / \gamma_{M1}} \leq 1 - \rho_{max} \quad (3)$$

Για τα υποστυλώματα πολυμελούς διατομής και κοιλοδοκών SHS και CHS, στα οποία η δυσκαμψία εκτός επιπέδου είναι ίση ή και μεγαλύτερη (όπως στην περίπτωση των πολυμελών), ο κρισιμότερος έλεγχος ήταν ο συνδυασμός καμπτικού λυγισμού και ως προς τους δύο άξονες, με διαξονική κάμψη υπό πλάγιοστρεπτικό λυγισμό:

$$\left(\frac{\sigma_{bEd}}{f_{yb}}\right)_y = \frac{N_{ch,c,Ed}}{\chi_y N_{cRd} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{chy,Ed} + \Delta M_{chy,Ed}}{M_{yRd} / \gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{chz,Ed} + \Delta M_{chz,Ed}}{M_{zRd} / \gamma_{M1}} \leq 1 - \rho_{max} \quad (4)$$

$$\left(\frac{\sigma_{bEd}}{f_{yb}}\right)_z = \frac{N_{ch,c,Ed}}{\chi_z N_{cRd} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{chy,Ed} + \Delta M_{chy,Ed}}{M_{yRd} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{chz,Ed} + \Delta M_{chz,Ed}}{M_{zRd} / \gamma_{M1}} \leq 1 - \rho_{max} \quad (5)$$

Στο σχήμα 3 εικονίζονται τα προσομοιώματα των μονομελών στοιχείων από διατομές τύπου Η και κιβωτιοειδείς, ο σχεδιασμός των οποίων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό Robot Structural Analysis.



Σχ.3: Προσομοιώματα μονομελών στοιχείων στο λογισμικό Robot.

Τα αποτελέσματα του σχεδιασμού των σύνθετων στοιχείων είναι τα ακόλουθα:

1. IPE 270, με γωνιακά L 50 x 50 x 5, για τις ράβδους δικτύωσης και λεπίδες διατομής ύψους 150 mm και πάχους 15 mm, για τις λεπίδες σύνδεσης.
2. UPN 260, με γωνιακά L 50 x 50 x 5, για τις ράβδους δικτύωσης και λεπίδες διατομής ύψους 150 mm και πάχους 15 mm, για τις λεπίδες σύνδεσης.

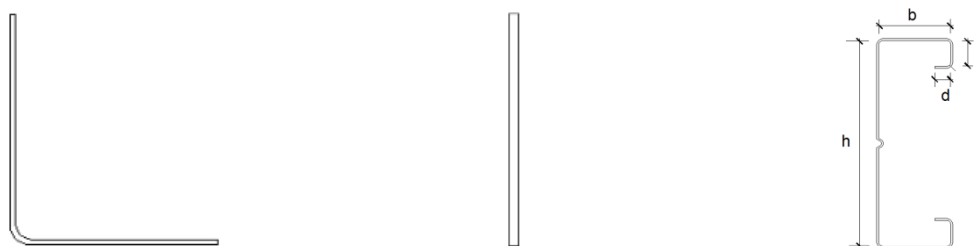
Στον πιν.2 παρατίθενται οι διατομές και τα βάρη των στοιχείων θερμής ελάσεως, πολυμελών και μονομελών, που προκύπτουν από τη διαστασιολόγηση. Όπως προκύπτει το ελαφρύτερο σύνθετο υποστύλωμα είναι το δικτυωτό με πέλματα IPE. Ακόμη διαπιστώνεται ότι όλα τα πολυμελή στοιχεία είναι βαρύτερα από όλες τις κοίλες διατομές. Το υποστύλωμα διατομής SHS είναι ελαφρύτερο όλων. Μάλιστα, το δικτυωτό υποστύλωμα τύπου IPE που είναι το ελαφρύτερο πολυμελές, αποδεικνύεται κατά περίπου 40% βαρύτερο σε σχέση με αυτό διατομής SHS. Επαληθεύεται επομένως, ότι οι πολυμελείς διατομές υπερτερούν έναντι των πλατύπελων διατομών αλλά υστερούν έναντι των κιβωτιοειδών [8].

Διατομή	Εμβαδό διατομής (cm ²)	Συνολικό βάρος (kg)	
HEA 340	133.5	838.4	
HEB 300	149.1	936.3	
RHS 300 x 200 x 8	94.9	596	
CHS 323.9 x 8	79.4	498.6	
SHS 260 x 8	62.82	394.5	
Διατομή πέλματος	Εμβαδό διατομής πέλματος (cm ²)	Συνολικό βάρος (kg)	
IPE 270	45.95	Δικτυωτό	664.5
		Πλαισιωτό	771.4
UPN 260	48.3	Δικτυωτό	683.2
		Πλαισιωτό	800.9

Πίν.2: Διατομές και βάρη μονομελών και πολυμελών στοιχείων θερμής ελάσεως.

5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΨΥΧΡΗΣ ΕΛΑΣΕΩΣ


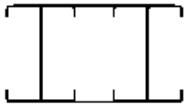

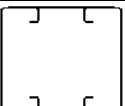
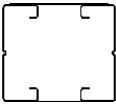
Κατά το σχεδιασμό σύνθετων δικτυωτών και πλαισιωτών υποστυλωμάτων, για τις διατομές των πέλματος χρησιμοποιήθηκαν πέντε διαφορετικοί τύποι που έχουν ως βάση τη διατομή C. Οι ράβδοι δικτύωσης σχεδιάστηκαν με διατομή λεπτότοιχων γωνιακών και οι λεπίδες σύνδεσης με ορθογωνική διατομή, μεγίστου πάχους μέχρι και 8 mm. Στο σχήμα 4 απεικονίζονται οι διατομές των ράβδων πλήρωσης καθώς και μία εκ των διατομών του πέλματος με τους συμβολισμούς των διαστάσεών της.



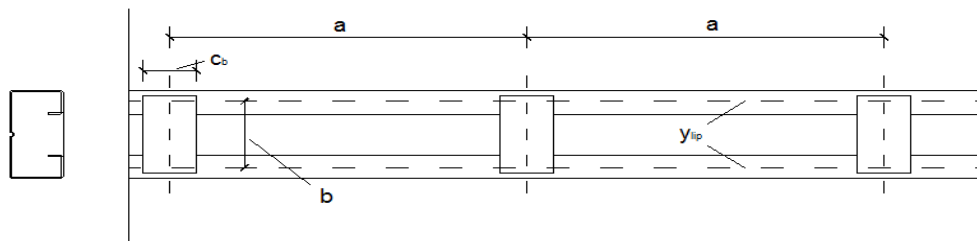
Σχ.4: Διατομές ράβδων πλήρωσης και πέλματος διατομής τύπου 5.

Στον πίν. 3 παρατίθενται οι σύνθετες υπό εξέταση διατομές ψυχρής διαμόρφωσης. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο σχεδιασμός των λεπτότοιχων σύνθετων στοιχείων πραγματοποιήθηκε σε πρόγραμμα excel που καταστρώθηκε ειδικά για το σκοπό αυτό. Για το σχεδιασμό των ράβδων δικτύωσης κρισιμότερος έλεγχος ήταν ο έλεγχος έναντι στρεπτικού λυγισμού και για τις λεπίδες σύνδεσης έναντι πλαγιοστρεπτικού λυγισμού. Για τα πέλματα του στοιχείου, ο δυσμενέστερος έλεγχος ήταν ο συνδυασμός διαξονικής κάμψης χωρίς πλάγιοστρεπτικό λυγισμό, υπό καμπτικοστρεπτικό λυγισμό κατά το μέρος 1.3 του EC 3 :

$$\left(\frac{N_{ch, c, Ed}}{\chi_{\min} N_{cRd}} \right)^{0.8} + \left(\frac{M_{chy, Ed} + \Delta M_{chy, Ed}}{M_{yRd}} \right)^{0.8} + \left(\frac{M_{chz, Ed} + \Delta M_{chz, Ed}}{M_{zRd}} \right)^{0.8} \leq 1 \quad (6)$$

	
Διατομή με πέλματα τύπου C με απλές ενισχύσεις στα πέλματα (Διατομή τύπου 1)	Διατομή με πέλματα τύπου 2C (Διατομή τύπου 2)
	
Διατομή με πέλματα τύπου C, με νεύρωση στο μέσον του κορμού (Διατομή τύπου 3)	Διατομή με πέλματα τύπου C, με διπλές ακραίες ενισχύσεις (Διατομή τύπου 4)
	
Διατομή με πέλματα τύπου C, με διπλές ακραίες ενισχύσεις και νεύρωση στο μέσον του κορμού (Διατομή τύπου 5)	

Πίν.3: Εξεταζόμενες πολυμελείς διατομές ψυχρής ελάσεως.



Σχ.5: Λεπίδες ενίσχυσης κατά μήκος του πέλματος του σύνθετου υποστύλωματος.

Στην περίπτωση των λεπτότοιχων στοιχείων, εξετάστηκαν δύο περιπτώσεις: στην μεν πρώτη τα πέλματα ήταν ελεύθερα ενώ στη δεύτερη τοποθετήθηκαν λεπίδες ενίσχυσης συγκολλημένες στα άκρα τους ανά 1 m. Η διαμόρφωση αυτή απεικονίζεται στο σχήμα 5.

Από τον πίν. 4 προκύπτει ότι μικρότερο εμβαδό διατομής πέλματος χωρίς λεπίδες ενίσχυσης, 49.24 cm², έχει η διατομή τύπου 5 με δικτυωτό υποστύλωμα. Το εμβαδό αυτό είναι μεγαλύτερο από εκείνο των πελμάτων των πολυμελών θερμής ελάσεως. Άρα η ύπαρξη καμπτικοστρεπτικού λυγισμού υποβάλλει το στοιχείο σε στρεπτικές καταπονήσεις και απαιτούνται υψηλές τιμές εμβαδού διατομής.

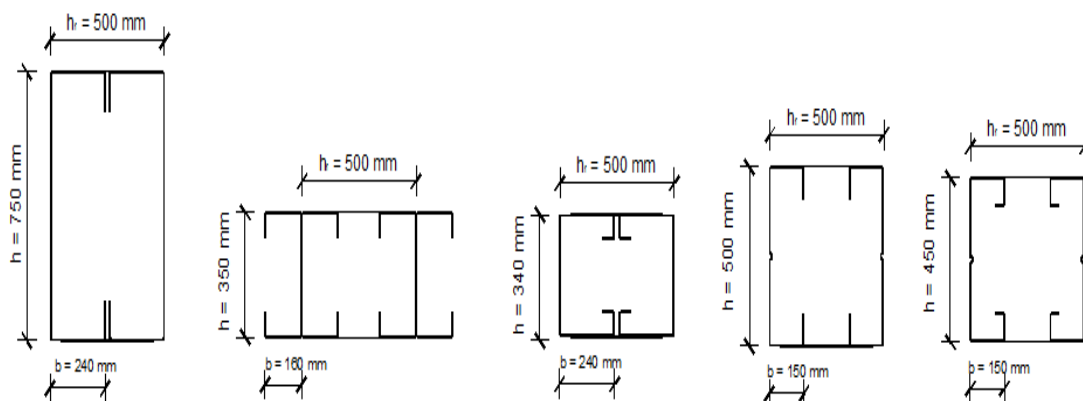
Συγκρίνοντας τις τιμές του εμβαδού διατομής πέλματος με λεπίδες ενίσχυσης με εκείνες χωρίς και με τις τιμές των εμβαδών του πιν. 2, διαπιστώνεται ότι με την τοποθέτηση λεπί-

δων ενίσχυσης, η αντοχή των λεπτότοιχων σύνθετων υποστυλωμάτων βελτιώνεται σημαντικά. Αφενός τα εμβαδά των πελμάτων είναι μικρότερα σε σχέση με εκείνα των στοιχείων χωρίς λεπίδες ενίσχυσης, αφετέρου στα δικτυωτά σύνθετα στοιχεία τύπου 3 και 5 προκύπτει βάρος μικρότερο σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα λεπτότοιχα. Πέραν τούτου, τα στοιχεία με τις παραπάνω διατομές είναι ελαφρύτερα από όλα τα πολυμελή θερμής ελάσεως, από τα μονομελή τύπου Η και από το στοιχείο κοιλοδοκού RHS. Σε σχέση με την κυκλική και την τετράγωνη κοιλοδοκό είναι βαρύτερες κατά 4.5 και 24%, αντίστοιχα. Παρουσιάζουν επομένως μικρότερη διαφορά βάρους σε σχέση με τα εν θερμώ ελατά πολυμελή.

Διατομή Σύνθετου Λεπτότοι- χου	Εμβαδό διατομής πέλματος χωρίς λεπίδες ενίσχυσης (cm ²)	Εμβαδό διατομής πέλματος με λεπί- δες ενίσχυσης (cm ²)	Συνολικό βάρος στοιχείων με λεπίδες ενίσχυσης (kg)
Τύπου 1	58	58	Δικτυωτό 786.8
	54	54	Πλαισιωτό 814.6
Τύπου 2	57	48.6	Δικτυωτό 670.5
	60	52	Πλαισιωτό 784.8
Τύπου 3	60.53	37.9	Δικτυωτό 525.1
	60.53	45.48	Πλαισιωτό 688.2
Τύπου 4	52.8	42.4	Δικτυωτό 562.6
	82.8	50.0	Πλαισιωτό 714.4
Τύπου 5	49.24	37.76	Δικτυωτό 521.5
	49.76	39.74	Πλαισιωτό 600.9

Πίν.4: Εμβαδά διατομών πελμάτων και συνολικά βάρη σύνθετων λεπτότοιχων στοιχείων με λεπίδες ενίσχυσης.

Στο σχήμα 6 απεικονίζονται οι διαστάσεις των πολυμελών λεπτότοιχων διατομών δικτυωτών στοιχείων, όπως υπολογίσθηκαν από το πρόγραμμα excel. Η διατομή τύπου 1 έχει ύψος αρκετά μεγαλύτερο από την απομάκρυνση των πελμάτων και τα πλάτη των διατομών των πελμάτων είναι τέτοια ώστε να μην υπάρχει προσβασιμότητα για συνδέσεις. Η τελευταία διαπίστωση ισχύει και για τη διατομή τύπου 4. Οι διατομές που ικανοποιούν το βέλτιστο συνδυασμό βάρους, με ύψος διατομής και πλάτος διατομής πελμάτων, είναι οι διατομές τύπου 3 και 5. Μάλιστα το υποστυλώμα διατομής τύπου 5 είναι και το ελαφρύτερο. Επομένως, συμπεραίνεται ότι τα σύνθετα υποστυλώματα από λεπτότοιχα στοιχεία, είναι δυνατό να συγκριθούν με εκείνα από πολυμελείς και μονομελείς διατομές θερμής έλασης.



Σχ.6: Διαστάσεις λεπτότοιχων διατομών δικτυωτών σύνθετων υποστυλωμάτων.

6. ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΘΕΡΜΗΣ ΚΑΙ ΨΥΧΡΗΣ ΕΛΑΣΕΩΣ ΜΕ ΑΡΑΙΟΤΕΡΑ ΦΑΤΝΩΜΑΤΑ

Για να επιτευχθεί περισσότερη εξοικονόμηση υλικού πραγματοποιείται περαιτέρω διερεύνηση. Έτσι σε όλα τα πολυμελή αραιώνονται τα φατνώματα από τα 80 στα 100 cm. Με τον τρόπο αυτό στην περίπτωση των δικτυωτών στοιχείων, ελαττώνονται τόσο οι ράβδοι δικτύωσης όσο και τα κομβοελάσματα. Στον πίν. 5 παρατίθενται τα βάρη όλων των σύνθετων υποστυλωμάτων από διατομές θερμής και ψυχρής ελάσεως με φατνώματα 80 και 100 cm και τα ποσοστά διαφοράς βάρους.

Διατομή	Μορφή στοιχείου	Βαρος για a = 80 cm	Βάρος για a = 100 cm	Ποσοστό (%) διαφοράς βάρους
2 IPE 270	Δικτυωτό	664.5	663.7	-0.12
	Πλαισιωτό	771.4	736.1	-4.58
2 UPN 260	Δικτυωτό	683.2	673.0	-1.49
	Πλαισιωτό	800.9	765.6	-4.41
Λεπτότοιχη τύπου 1	Δικτυωτό	786.8	781.9	-0.62
	Πλαισιωτό	814.6	844.0	3.48
Τύπου 2	Δικτυωτό	670.5	665.9	-0.69
	Πλαισιωτό	784.8	783.7	-0.14
Τύπου 3	Δικτυωτό	525.1	521	-0.78
	Πλαισιωτό	688.2	752	8.48
Τύπου 4	Δικτυωτό	562.6	564.7	0.37
	Πλαισιωτό	714.4	784.4	8.92
Τύπου 5	Δικτυωτό	521.5	517.3	-0.81
	Πλαισιωτό	600.9	645.8	6.95

Πίν.5: Συνολικά βάρη σύνθετων υποστυλωμάτων με φατνώματα μήκους 80 cm και 100 cm.

Όπως προκύπτει στα περισσότερα στοιχεία, η αραιώση των φατνωμάτων μειώνει ακόμα περισσότερο το βάρος. Αυτό ισχύει και για τις λεπτότοιχες διατομές τύπου 5 και 3, οι οποίες παρουσιάζουν τη μέγιστη αντοχή έναντι των υπολοίπων πολυμελών θερμής και ψυχρής έλασης.

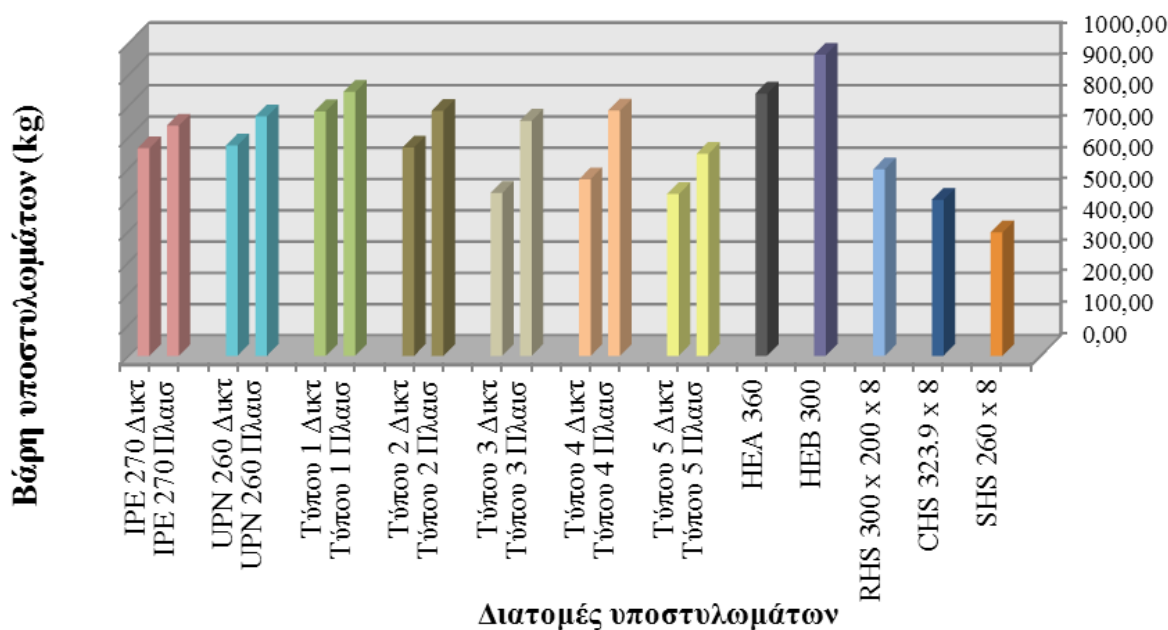
Η περαιτέρω μείωση του βάρους στην πολυμελή λεπτότοιχη τύπου 5, συνεπάγεται την ελαφρά μείωση της διαφοράς βάρους με τα υποστυλώματα από κυκλική και τετράγωνη κοιλοδοκό. Έτσι το δικτυωτό υποστυλώμα με διατομή τύπου 5 με αραιότερα φατνώματα, είναι βαρύτερο κατά 3,6% από τη CHS και 23,7% από τη SHS. Στον πιν. 6 παρατίθενται οι διαφορές βάρους του στοιχείου με διατομή τύπου 5 σε σχέση με τις εν θερμώ ελατές διατομές.

UPN 260		IPE 270		HEA	HEB	RHS	CHS	SHS
ΔΙΚΤΥ-ΩΤΟ	ΠΛΑΙ-ΣΙΩΤΟ	ΔΙΚΤΥ-ΩΤΟ	ΠΛΑΙ-ΣΙΩΤΟ					
-23.14	-32.43	-22.06	-29.72	-37.3	-46.3	-13.2	3.61	23.74

*Το πρόσημο (-) στα ποσοστά δηλώνει ότι το λεπτότοιχο στοιχείο είναι ελαφρύτερο του εν θερμώ ελατού, ενώ το (+)βαρύτερο

Πίν.6: Σύγκριση βάρους υποστυλώματος διατομής τύπου 5 με τις υπόλοιπες διατομές θερμής ελάσεως.

ΒΑΡΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΜΟΝΟΜΕΛΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΥΜΕΛΩΝ ΜΕ ΑΡΑΙΑ ΦΑΤΝΩΜΑΤΑ



Σχ.7: Βάρη υποστυλωμάτων με όλες τις υπό εξέταση διατομές.

Στο ιστόγραμμα του σχήματος 7 παρουσιάζονται τα βάρη που αντιστοιχούν στις υπό εξέταση διατομές. Από το διάγραμμα προκύπτει ότι οι πλατύπελμες διατομές καθίστανται απαγορευτικές για υψηλές τιμές φορτίων καθώς το βάρος τους προσεγγίζει τον 1 tn. Περίπου το ίδιο ισχύει και για τα πολυμελή με διατομή λεπτότοιχη τύπου 1. Από τα λεπτότοιχα στοιχεία, τα δικτυωτά με διατομές τύπου 3 και 5 αποδεικνύονται ελαφρύτερα από όλα τα υπόλοιπα υπό εξέταση μονομελή και πολυμελή, εκτός από εκείνα με διατομές CHS και SHS.

7. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΚΤΥΩΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΛΕΠΤΟΤΟΙΧΩΝ ΚΑΙ ΘΕΡΜΗΣ ΕΛΑΣΕΩΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ, ΜΕ ΔΙΑΤΟΜΗ ΤΥΠΟΥ 5 ΚΑΙ 2 ΙΡΕ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ

Μετά τη σύγκριση των διατομών υποστυλωμάτων από άποψη βάρους, γίνεται εκτίμηση του κόστους σύνθετου δικτυωτού υποστυλώματος από λεπτότοιχα στοιχεία με διατομή τύπου 5 και δικτυωτού από διατομές θερμής ελάσεως με πέλματα ΙΡΕ 270. Οι τιμές ανά κιλό είναι αυτές που επικρατούν στην αγορά την τρέχουσα περίοδο. Έτσι στον πιν.7, παρατίθενται τα κόστη ανά kg, τα τεμάχια των επιμέρους στοιχείων και η συνολική τιμή.

Υπολογίζοντας το τελικό κόστος κάθε στοιχείου αποδεικνύεται ότι η διαφορά είναι πολύ μικρή, με το λεπτότοιχο να είναι περίπου κατά 2 € φθηνότερο. Το υποστυλωμα με στοιχεία ψυχρής διαμόρφωσης βέβαια έχει το πρόσθετο πλεονέκτημα του μικρότερου βάρους. Αυτό το καθιστά πιο εύχρηστο στη μεταφορά και τοποθέτησή του στο εργοτάξιο. Η τελική επιλογή ανάμεσα στα δύο στοιχεία για μία κατασκευή όμως, εξαρτάται και από τη χρήση του έργου αλλά και από τη φύση των φορτίων. Για παράδειγμα, σε κτίριο με δοκούς κυλίσεως γερανογέφυρας θα επιλεγεί το πολυμελές θερμής ελάσεως.

Στοιχεία	Κόστος (€ / kg)	Όγκος τεμαχίου (m ³)	Τεμάχια	Συνολικό κόστος (€)
Τύπου 5	0.94	0.03021	2	445.81
ΙΡΕ 270	0.72	0.03676	2	415.54
Λεπτότοιχο γωνιακό	0.60	0.00009	20	8.38
L 50 x 5	0.69	0.00046	20	49.29
Κομβοέλασμα 5 mm	0.60	0.00012	16	9.04
Κομβοέλασμα 4 mm	0.60	0.00008	16	6.03
Λεπίδες ενίσχυσης	0.60	0.00014	18	11.45
Κόστος λεπτότοιχου :				471.67 €
Κόστος εν θερμώ ελατού :				473.87 €

Πιν.7: Υπολογισμός κόστους υποστυλώματος πολυμελούς λεπτότοιχου και θερμής ελάσεως.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα εξαγόμενα των υπολογισμών, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα σχετικά με τις πολυμελείς διατομές ψυχρής διαμόρφωσης:

1. Τα δικτυωτά σύνθετα υποστυλώματα παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με τα πλαισιωτά. Αυτό συμβαίνει κυρίως γιατί τα πέλματα των τελευταίων, καλούνται να παραλάβουν πρόσθετη ένταση λόγω κάμψης κατά τον ασθενή άξονα. Γι' αυτό και αποδίδουν περισσότερο βάρος σε σύγκριση με τα αντίστοιχα δικτυωτά.
2. Τα πολυμελή λεπτότοιχα υποστυλώματα είναι ικανά να συγκριθούν με πολυμελή και μονομελή θερμής ελάσεως, στην παραλαβή φορτίων κυρίως στατικής και σεισμικής φύσεως. Το χαμηλό πάχος των στοιχείων ψυχρής διαμόρφωσης και μειωμένη ολκιμότη-

τητά τους, καθιστούν τα στοιχεία αυτά απαγορευτικά για παραλαβή επαναλαμβανόμενων δυναμικών φορτίσεων.

3. Όσο περισσότερες και πιο δύσκαμπτες ενισχύσεις υπάρχουν στη διατομή, τόσο περισσότερα ενεργά τμήματα και κατ' επέκταση μεγαλύτερη αντοχή θα έχει αυτή. Το παραπάνω αποδεικνύεται από το ότι τα στοιχεία με λεπτότοιχες διατομές τύπου 3 και 5, οι οποίες έχουν και τις περισσότερες νευρώσεις, είναι από τα στοιχεία με τις υψηλότερες αντοχές.
4. Λαμβάνοντας τα κατάλληλα μέτρα στα στοιχεία ψυχρής ελάσεως, η επιρροή των στρεπτικών φαινομένων μπορεί να μετριασθεί ή και να εξαλειφθεί. Η άποψη αυτή επαληθεύεται συγκρίνοντας την εμφανώς υψηλότερη αντοχή των στοιχείων με λεπίδες ενίσχυσης καθ' ύψος, σε σχέση με τα αντίστοιχα χωρίς λεπίδες.
5. Διαμορφώνοντας κατάλληλα ένα σύνθετο υποστύλωμα από στοιχεία ψυχρής ελάσεως, μπορεί να προσεγγίσει σε αντοχή την κοίλοδοκό. Αυτό ισχύει γιατί συγκρίνοντας το σύνθετο δικτυωτό υποστύλωμα με διατομή 2 IPE με ένα διατομής τύπου 5, το πρώτο προκύπτει κατά 40% βαρύτερο από το στοιχείο από τετράγωνη κοίλοδοκό ενώ στο δεύτερο η διαφορά μειώνεται στα 23,7 %.
6. Εκτός από το βάρος κάθε στοιχείου, για το συνολικό κόστος θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν συνδυασμός ποικίλων παραγόντων. Έτσι η κοίλοδοκός είναι μεν το ελαφρύτερο σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα στοιχεία, αλλά η διαμόρφωση σύνδεσης παραλαβής ροπής καθίσταται δυσχερής. Κάτι τέτοιο ενδεχομένως να αυξήσει το κόστος του συγκεκριμένου στοιχείου.

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Dubina D., Ungureanu V., Landolfo R.: “Design of cold formed steel structures”, ECCS European Convention of Constructional Steelwork, 2012.
- [2] ECCS Technical committee 7: “Cold formed steel: Worked examples according to EN 1993–1–3”, European Convention of Constructional Steelwork, 2008.
- [3] EN 1993 Eurocode 3 - Design of steel structures: Part 1.3: “General rules – Supplementary rules for cold formed members and sheeting:”.
- [4] Timoshenko & Gere: “Theory of elastic stability”, Mc Graw – Hill International Book Company, 1936.
- [5] Βάγιας Ι., Dubina D.: “Σιδηρές κατασκευές από λεπτότοιχες διατομές ψυχρής διαμόρφωσης”, εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα, 2004.
- [6] Γαλούσης Ε., Νικηφοριάδης Α.: “Υπολογισμός δομικών στοιχείων από χάλυβα”, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Δ.Π.Θ., Ξάνθη 1985.
- [7] Κάλφας Χ.: “Κατασκευές από χάλυβα – Διαστασιολόγηση δομικών στοιχείων από χάλυβα, σύμφωνα με τους ευρωκώδικες”, εκδόσεις iCON, Ξάνθη, 2010.
- [8] Κάλφας Χ.: “Κατασκευές από χάλυβα – Διαστασιολόγηση δομικών στοιχείων από χάλυβα, σύμφωνα με τους ευρωκώδικες – Παραδείγματα εφαρμογών”, εκδόσεις iCON, Ξάνθη, 2012.

COMPARISON OF STRENGTH BETWEEN BUILT - UP COLUMNS WITH THIN GAUGE SECTIONS AND SINGLE BUILT – UP COLUMNS WITH HOT ROLLED SECTIONS

Anastasios S. Dervenagas^a, Dimitrios T. Pachoumis^b, Christos E. Sofias^b, Parthena-Maria K. Kosmidou^c, Christos N. Kalfas^d

^a MSc. Civil Engineer DUTH

^b Dr. MSc. Civil Engineer DUTH

^c Phd. Cand., MSc. Civil Engineer

^d Professor DUTH

Steel Structures Laboratory DUTH

Xanthi, Greece

e-mail: msslgroup@civil.duth.gr

SUMMARY

This paper examines the combination of the advantages of light gauge sections, (low weight) and built – up columns (high strength along the weak axis). Programs in excel have been devised in order to design these members. Five different section types for the flange are chosen. In all of them, the section type C is the basic characteristic. In every built - up type, both laced and battened columns are examined. The cold formed sections, due to their small thickness, belong to class 4 and for this reason, their effective inertial and geometrical characteristics must be computed. They also are sensitive in flexural torsional buckling. Furthermore, the built up columns are characterized as Timoshenko members because the shear strains must not be neglected. All these characteristics are taken into account by the software. They have been tested built up columns with free flanges and flanges which are strengthened by batten plates at their lips. In order to check the strength of built – up members with light gauge sections, they are compared with single and built up columns of hot rolled profiles. For every case the member's height is 8 m and its edges are pinned. The magnitude of compression axial load is 850 kN, the bending moment 40 kNm and the shear force 20 kN in both directions. The most important criterion for the suitability of the section, is the column's weight, which must be as lower as possible. The elements with built up hot rolled sections have been designed in excel and the columns with a single section in Robot Structural Analysis software. The results show that the laced built – up columns with light gauge sections with batten plates on the flanges and flange section type C with double stiffened lips and a stiffener in the middle of the web, are lighter than all of the other built up columns and the single members with hot rolled sections, except of the elements with CHS and SHS profile.