

Σχεδιασμός θλιβόμενων μελών φερουσών κατασκευών αλουμινίου στα πλαίσια του Ευρωκώδικα 9

Δ.Ν. Καζιόλας

Dr.-Ing., Επίκουρος Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Καβάλας
Τμήμα Δασοπονίας & Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος
Δράμα, Ελλάδα
e-mail: dnkazio@teikav.edu.gr

Χ.Κ. Μπανιωτόπουλος

Dr.-Ing., Καθηγητής Α.Π.Θ.
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών - Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Θεσσαλονίκη, Ελλάδα
e-mail: ccb@civil.auth.gr

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αλουμίνιο αποτελεί σήμερα ένα από τα δομικά υλικά του οποίου η χρήση σε φέρουσες κατασκευές αυξάνεται όλο και περισσότερο, τόσο στον ελληνικό χώρο, όσο και σε διεθνές επίπεδο. Ο πρόσφατα ολοκληρωμένος Ευρωκώδικας 9 [1] παρέχει ήδη το πλαίσιο αρχών σχεδιασμού φερουσών κατασκευών από αλουμίνιο και ως εκ τούτου, αποτελεί σήμερα αυτός αντικείμενο μελέτης και διερεύνησης της εφαρμογής του τόσο από τους μηχανικούς όσο και από τους ερευνητές που ασχολούνται με τις φέρουσες κατασκευές αλουμινίου. Παρά το γεγονός ότι ο χάλυβας και το αλουμίνιο παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες ως δομικά υλικά, εν τούτοις οι μέθοδοι σχεδιασμού χαλύβδινων δομικών στοιχείων δεν μπορούν να εφαρμοστούν άμεσα και με τον ίδιο τρόπο στο σχεδιασμό μελών αλουμινίου. Γίνεται έτσι αντιληπτό το μεγάλο ενδιαφέρον σχετικά με τη διερεύνηση της δομικής συμπεριφοράς φερουσών κατασκευών από αλουμίνιο και των μελών τους και ειδικότερα, οι σχετικές μέθοδοι σχεδιασμού τους. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται εν συντομία και διερευνάται η εφαρμογή της μεθόδου σχεδιασμού θλιβόμενων στοιχείων αλουμινίου όπως αυτή παρέχεται από τον Ευρωκώδικα 9, δίνοντας έμφαση στα σημεία εκείνα που κατά καιρούς έχουν αποτελέσει αντικείμενο ενδελεχούς διερεύνησης από ερευνητές.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αλουμίνιο είναι ένα από τα δομικά υλικά που η χρήση του έχει ήδη αρχίσει να εισάγεται στις φέρουσες κατασκευές λόγω ορισμένων πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει έναντι του χάλυβα. Τα πλεονεκτήματα αυτά συνοπτικά είναι: το πολύ μικρό του βάρος (περίπου το ένα τρίτο του βάρους του χάλυβα), η μη οξείδωση του ακόμα και σε έντονα

οξειδωτικό περιβάλλον (π.χ. παραθαλάσσιο), η δυνατότητα να χρησιμοποιείται ως κράμα με άλλα στοιχεία (Mn, Mg, Si, Zn, Cu) με αποτέλεσμα τα κράματα που προκύπτουν να έχουν αυξημένη αντοχή. Λαμβάνοντας ακόμη υπόψη πως με την εφαρμογή ψυχρής ή θερμικής κατεργασίας οδηγούμαστε σε τιμές ελαστικού ορίου μέχρι 350-400N/mm² και πως με τη χρησιμοποίηση εξελιγμένων μεθόδων υπολογισμού αντιμετωπίζονται τα προβλήματα τοπικού λυγισμού που παρουσιάζονται στα κράματα αλουμινίου, γίνεται αντιληπτός ο λόγος που το αλουμίνιο άρχισε σήμερα να χρησιμοποιείται ως εναλλακτική λύση ως προς το χάλυβα σε ορισμένα τεχνικά μεταλλικά έργα.

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των κραμάτων του αλουμινίου δεν επιτρέπουν την ανάλυση της συμπεριφοράς του με απλά στατικά μοντέλα διότι τα διάφορα κράματα παρουσιάζουν διαφορετικό μέτρο ελαστικότητας και επιπλέον η διαδικασία παραγωγής τους επηρεάζει άμεσα τη σκληρότητά τους [2]. Τα παραπάνω έχουν ως συνέπεια να μην είναι εφικτή η κατηγοριοποίηση των διατομών σε κλάσεις με βάση τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους αφού οι καμπύλες τάσεων-παραμορφώσεων που προκύπτουν διαφέρουν κατά πολύ μεταξύ τους. Έτσι η ανάλυση των κατασκευών από αλουμίνιο πρέπει να γίνεται με την παραδοχή ότι αυτές παρουσιάζουν ανελαστική συμπεριφορά με αποτέλεσμα διάφοροι ερευνητές να έχουν αναπτύξει ποικίλα μοντέλα για την κατηγοριοποίηση των διατομών σε κλάσεις.

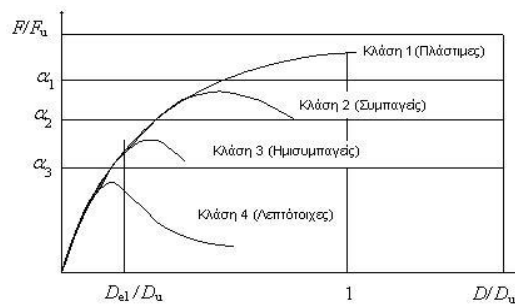
Τα κράματα αλουμινίου είναι λιγότερο δύσκαμπτα από ότι ο χάλυβας, γεγονός που υποδηλώνει ότι τα πρώτα παρουσιάζουν αυξημένη λυγηρότητα. Έτσι οι κατασκευές από αλουμίνιο παρουσιάζουν μια αυξημένη ευαισθησία σε λυγισμό. Γνωρίζοντας ότι οι θλιπτικές τάσεις είναι αυτές οι οποίες επιδρούν στο φαινόμενο του λυγισμού, γίνεται κατανοητό γιατί η μελέτη και ο σχεδιασμός θλιβόμενων μελών φερουσών κατασκευών αλουμινίου αποτελεί ένα από τα κύρια αντικείμενο διερεύνησης από τους ερευνητές.

3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΣΕ ΚΛΑΣΕΙΣ

Στον Ευρωκώδικα 9 η ταξινόμηση των διατομών σε κλάσεις γίνεται με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους και εξαρτάται από το μέγεθος της αναλογίας του πλάτους προς το πάχος των μελών που υπόκεινται σε θλίψη όπως ακριβώς συμβαίνει και στον Ευρωκώδικα 3. Έτσι ορίζονται οι ακόλουθες κλάσεις: i) Διατομές κλάσης 1 είναι αυτές που είναι δυνατόν να φτάσουν σε δημιουργία πλαστικής άρθρωσης με την απαιτούμενη από την πλαστική ανάλυση ικανότητα στροφής χωρίς μείωση της αντοχής της διατομής. ii) Διατομές κλάσης 2 είναι εκείνες που μπορούν να αναπτύξουν την πλαστική ροπή αντοχής τους αλλά έχουν περιορισμένη ικανότητα στροφής λόγω τοπικού λυγισμού. iii) Διατομές κλάσης 3 είναι αυτές που η τάση στην ακραία θλιβόμενη ίνα του μέλους αλουμινίου μπορεί να φτάσει την αντοχή διαρροής, αλλά ο τοπικός λυγισμός είναι πιθανόν να αποτρέψει την ανάπτυξη της πλαστικής ροπής αντοχής. iv) Διατομές κλάσης 4 είναι εκείνες στις οποίες ο τοπικός λυγισμός θα συμβεί πριν την ανάπτυξη της τάσης διαρροής σε ένα ή περισσότερα μέρη της διατομής.

Στο παράρτημα F του Ευρωκώδικα 9 συμπληρωματικά με την παραπάνω ταξινόμηση, γίνεται μία ποιοτική κατηγοριοποίηση των διατομών σε κλάσεις, με βάση τη δυνατότητά τους να φτάσουν τις ακόλουθες καταστάσεις: ελαστική οριακή κατάσταση λυγισμού, ελαστική οριακή κατάσταση, πλαστική οριακή κατάσταση, οριακή κατάσταση κατάρρευσης. Μια τέτοια κατηγοριοποίηση μπορεί να εφαρμοστεί αν πρέπει να καθοριστούν οι δυνατότητες της διατομής να αρχίσει να συμπεριφέρεται στην πλαστική περιοχή. Ανάλογα με τη σχέση γενικευμένης δύναμης F - μετατόπισης D , οι διατομές

διακρίνονται (Σχ. 1) σε: πλαστικές (Κλάση 1), συμπαγείς (Κλάση 2), ημισυμπαγείς (Κλάση 3) και λεπτότοιχες (Κλάση 4).



Σχ. 1 Ταξινόμηση διατομών

Η αντοχή των διατομών που υπόκεινται σε αξονική θλίψη μπορεί να υπολογιστεί αναφορικά με τις παραπάνω οριακές καταστάσεις υπολογίζοντας την τιμή του αξονικού φορτίου από τη σχέση:

$$N_{Ed} = \alpha_{N,j} A f_d \tag{1}$$

όπου $f_d = f_o / \gamma_{M1}$ η τιμή σχεδιασμού του συμβατικού ορίου διαρροής 0,2% , f_o είναι η χαρακτηριστική τιμή του συμβατικού ορίου διαρροής 0,2%, A το εμβαδόν της πλήρους διατομής και $\alpha_{N,j}$ διορθωτικός συντελεστής, που δίνεται στον Πίν.1 και εξαρτάται από τη θεωρούμενη οριακή κατάσταση.

Αξονικό φορτίο	Οριακή Κατάσταση	Κατηγορία Διατομής	Διορθωτικός συντελεστής
N_u	Κατάρρευση	Κατηγορία 1	$\alpha_{N,1} = f_t / f_d$
N_{pl}	Πλαστική	Κατηγορία 2	$\alpha_{N,2} = 1$
N_{el}	Ελαστική	Κατηγορία 3	$\alpha_{N,3} = 1$
N_{red}	Ελαστικός λυγισμός	Κατηγορία 4	$\alpha_{N,4} = A_{eff} / A$

Πιν. 1 Τιμές διορθωτικού συντελεστή α συναρτήσει του οριακού αξονικού φορτίου

Στον Πιν.1, A_{eff} είναι η ενεργός επιφάνεια της διατομής, που υπολογίζεται αφού ληφθούν υπόψη φαινόμενα τοπικού λυγισμού και $f_t = f_u / \gamma_{M2}$ η τιμή σχεδιασμού της οριακής αντοχής. Το οριακό φορτίο όμως που υπολογίζεται από τη σχέση (1) δεν καλύπτει φαινόμενα λυγισμού και ως εκ τούτου η σχέση (1) δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί με άμεσο τρόπο για τους ελέγχους αυτούς.

4. ΑΝΤΟΧΗ ΜΕΛΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΣΕ ΘΛΙΨΗ

Πειράματα θλίψης [3] που έχουν γίνει σε δοκίμια διαφόρων διατομών αλουμινίου έχουν δείξει διάφορους τρόπους συμπεριφοράς – απόκρισης. Αυτή η συμπεριφορά ταυτίζεται, όσο αφορά τον τρόπο αστοχίας, με αντίστοιχους αριθμητικούς υπολογισμούς. Η συμπεριφορά των δοκιμίων μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ανάλογα με το αν αυτά βρίσκονται σε αρχικό στάδιο λυγισμού ή σε τελικό οπότε οδηγούνται σε αστοχία. Τα φορτία που μπορούν να προσδιοριστούν είναι: το αξονικό θλιπτικό φορτίο όταν αρχίζει ο

λυγισμός και το οριακό φορτίο ή φορτίο κατάρρευσης. Οι μορφές συμπεριφοράς που παρατηρήθηκαν είναι: Σύνθλιψη με την ξαφνική εμφάνιση σημαντικών πλαστικών παραμορφώσεων εκτός επιπέδου, καμπτικός και στρεπτικός ή στρεπτοκαμπτικός λυγισμός όπου το διάγραμμα φορτίου-μετακινήσεων έχει μικρές παρεκκλίσεις από την ελαστική συμπεριφορά μέχρι το οριακό φορτίο, τοπικός λυγισμός, συστροφικός λυγισμός και αλληλεπίδραση τοπικού και καμπτικού λυγισμού όπου οι διατομές αλουμινίου λόγω της ευπάθειας τους σε τοπικές αστάθειες προσεγγίζουν γραμμικά ελαστικά το κρίσιμο φορτίο με συνέπεια να οδεύουν σταδιακά σε ελαστική κατάρρευση που χαρακτηρίζεται από φαινόμενα καθολικού λυγισμού του μέλους.

Αυτός είναι ο λόγος που η Διεθνής Ένωση Αλουμινίου (Aluminum Association) για το σχεδιασμό θλιβόμενων στοιχείων αλουμινίου, συνιστά τον υπολογισμό μίας οριακής αντοχής η οποία είναι μικρότερη i) από την αντοχή σε καθολικό λυγισμό, ii) από τη μέση τιμή της αντοχής σε λυγισμό όλων των επιμέρους στοιχείων του μέλους, και iii) από την αντοχή που υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση τοπικού και καθολικού λυγισμού, όταν το φορτίο διαρροής σε τοπικό λυγισμό είναι μικρότερο από αυτό σε καθολικό. Στο πλαίσιο παρόμοιας φιλοσοφίας, οι έλεγχοι που επιβάλλονται από τον Ευρωκώδικα 9 εξετάζουν και το ενδεχόμενο πλαστικοποίησης αλλά και τα φαινόμενα αστάθειας. Ως οριακό φορτίο λαμβάνεται το μικρότερο που προκύπτει από τις δύο ομάδες ελέγχων οι οποίες εξετάζουν και τις επιδράσεις τοπικού λυγισμού και μείωσης της αντοχής στις συγκολλήσεις. Οι μέθοδοι σχεδιασμού που ορίζονται στον Ευρωκώδικα 9 για τον τοπικό λυγισμό βασίζονται σε θεωρητικές λύσεις που προέκυψαν από τη λύση του προβλήματος σε λυγισμό πλακών. Μία τέτοια αντιμετώπιση είναι κατάλληλη για τις λεγόμενες «παραδοσιακές» διατομές, δηλαδή τις διατομές μορφής I και U, τις κοίλες ορθογωνικές διατομές αλλά δεν μπορεί να εφαρμοστεί άμεσα στις υπόλοιπες διατομές αφού δεν λαμβάνονται υπόψη οι αλληλεπιδράσεις των πλακολωρίδων που τις αποτελούν.

Συνεπώς, πρωταρχικά, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 9, η τιμή σχεδιασμού της αξονικής θλιπτικής δύναμης N_{Ed} πρέπει να πληροί τη σχέση:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (2)$$

Η αντοχή σχεδιασμού σε ομοιόμορφη θλίψη $N_{c,Rd}$ πρέπει να είναι η μικρότερη από τις $N_{u,Rd}$ και $N_{c,Rd}$ όπου :

$$\text{για διατομές με οπές: } N_{u,Rd} = A_{net} \cdot f_u / \gamma_{M2} \quad (3)$$

$$\text{για τις λοιπές διατομές: } N_{c,Rd} = A_{eff} \cdot f_o / \gamma_{M1} \quad (4)$$

Στις σχέσεις (3) και (4), A_{net} είναι η καθαρή διατομή, με μείωση της διατομής για τις οπές και εξασθένηση των θερμικά επηρεασμένων ζωνών (ΘΕΖ) εάν είναι αναγκαίο. Για οπές που βρίσκονται σε περιοχές μειωμένου πάχους οι μειώσεις μπορούν να βασίζονται στο μειωμένο πάχος και όχι στο ολικό πάχος. A_{eff} είναι η ενεργός διατομή βασιζόμενη σε μειωμένο πάχος λαμβάνοντας υπόψη τον τοπικό λυγισμό και την εξασθένηση στις ΘΕΖ αλλά αγνοώντας τις οπές.

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι, αξονικά θλιβόμενα μέλη αλουμινίου μπορεί να αστοχήσουν με έναν από τους ακόλουθους τρόπους: λόγω καμπτικού λυγισμού, στρεπτικού ή στρεπτοκαμπτικού λυγισμού, τοπικής σύνθλιψης. Ο έλεγχος αστοχίας σε καμπτικό λυγισμό πρέπει να πραγματοποιείται πάντα. Ο έλεγχος αστοχίας σε στρεπτικό ή στρεπτοκαμπτικό λυγισμό είναι αναγκαίος αλλά μπορεί να παραλείπεται σε ορισμένες

περιπτώσεις, ενώ ο έλεγχος σε τοπική σύνθλιψη εκτελείται μόνο σε θλιβόμενες ράβδους μικρής λυγηρότητας στις οποίες υπάρχει σημαντική εξασθένηση λόγω οπών ή συγκολλήσεων.

Η ανηγμένη λυγηρότητα $\bar{\lambda}$ για καμπτικό λυγισμό δίνεται από τη σχέση:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_o}{N_{\text{cr}}}} = \frac{L_{\text{cr}}}{i} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_o}{A E}} \quad (5)$$

Στην παραπάνω σχέση L_{cr} είναι το μήκος λυγισμού στο επίπεδο λυγισμού που ελέγχεται και i είναι η ακτίνα αδράνειας στον αντίστοιχο άξονα της διατομής που υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τα χαρακτηριστικά της πλήρους διατομής. Το μήκος λυγισμού L_{cr} ισούται με kL , όπου L είναι το μήκος μεταξύ των σημείων πλευρικής στήριξης, όπου για μία θλιβόμενη αμφιέριστη ράβδο, L είναι το γεωμετρικό μήκος της. Η τιμή του συντελεστή μήκους λυγισμού k για θλιβόμενες ράβδους, προσδιορίζεται από τις συνοριακές συνθήκες.

Η ανηγμένη λυγηρότητα $\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_T$ για στρεπτικό και στρεπτοκαμπτικό λυγισμό δίνεται από τη σχέση:

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_o}{N_{\text{cr}}}} \quad (6)$$

Στην σχέση (6) A_{eff} είναι η διατομή που υπολογίζεται σύμφωνα με τον Πίν.2, και N_{cr} είναι το ελαστικό κρίσιμο φορτίο για στρεπτικό λυγισμό, λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση με τον καμπτικό λυγισμό, όπου αυτό είναι απαραίτητο (στρεπτοκαμπτικός λυγισμός) (Παράρτημα Ι, Ευρωκώδικα 9).

Διατομή	α	$\bar{\lambda}_0$	A_{eff}
Γενικά	0,35	0,4	A_{eff}
Διατομές ακτινωτής μορφής	0,20	0,6	A

Πιν. 2 Τιμές των α , $\bar{\lambda}_0$, και A_{eff} για στρεπτικό και στρεπτοκαμπτικό λυγισμό

Από την ανηγμένη λυγηρότητα $\bar{\lambda}$ υπολογίζεται για την αντίστοιχη μορφή λυγισμού ο μειωτικός συντελεστής χ από τη σχέση:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}, \quad \chi < 1,0 \text{ με } \phi = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2) \quad (7)$$

Στη σχέση (7), α είναι ο συντελεστής ατελειών, $\bar{\lambda}_0$ είναι το όριο του οριζόντιου κλάδου που αντιστοιχεί στην κατάλληλη καμπύλη λυγισμού και προκύπτει από τους Πιν.2 και 3, ανάλογα με τον έλεγχο λυγισμού που γίνεται. Οι τιμές για τον μειωτικό συντελεστή χ για την κατάλληλη ανηγμένη λυγηρότητα $\bar{\lambda}$ δίδονται στα Σχ.2 και 3. Η κατηγορία λυγισμού του υλικού προκύπτει από τις ιδιότητες του υλικού για διάφορα ελατά κράματα αλουμινίου και δίνεται σε ειδικούς πίνακες στο κεφάλαιο 3 του Ευρωκώδικα 9.

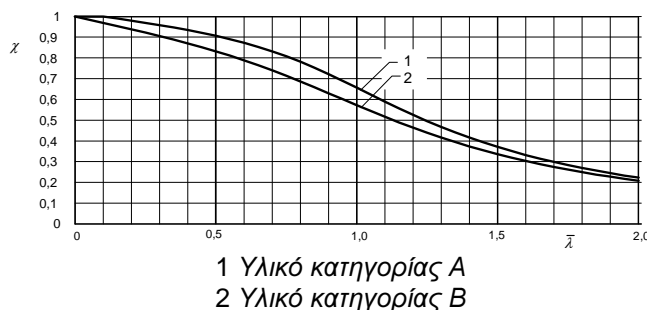
Η αντοχή σχεδιασμού λυγισμού ενός θλιβόμενου μέλους υπολογίζεται τώρα από τη σχέση:

$$N_{\text{b,Rd}} = \chi A_{\text{eff}} f_o / \gamma_{\text{M1}} \quad (8)$$

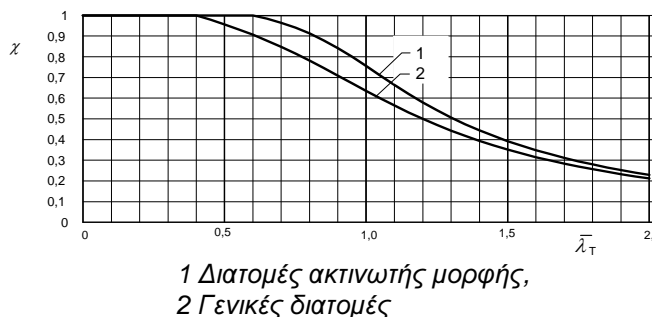
όπου κ είναι ο συντελεστής μέσω του οποίου λαμβάνεται υπόψη η εξασθένηση λόγω συγκολλήσεων. Αν υπάρχουν διαμήκεις συγκολλήσεις, τότε στην περίπτωση του καμπτικού λυγισμού το κ υπολογίζεται από τον Πίν.4 ενώ για στρεπτικό ή στρεπτοκαμπτικό λυγισμό $\kappa = 1$. Επίσης στη σχέση (8), $A_{\text{eff}} = A$ για διατομές κλάσης 1, 2 ή 3, ενώ για διατομές κλάσης 4 A_{eff} είναι η ενεργός επιφάνεια για να ληφθεί υπόψη ο τοπικός λυγισμός. Για στρεπτικό και στρεπτοκαμπτικό λυγισμό το A_{eff} υπολογίζεται από τον Πιν.2.

Κατηγορία λυγισμού υλικού	α	$\bar{\lambda}_0$
Κατηγορία A	0,20	0,10
Κατηγορία B	0,32	0,00

Πιν. 3 Τιμές των α και $\bar{\lambda}_0$ για καμπτικό λυγισμό



Σχ. 2 Συντελεστής μείωσης χ για καμπτικό λυγισμό



Σχ. 3 Συντελεστής μείωσης χ για στρεπτικό και στρεπτοκαμπτικό λυγισμό

Υλικό κατηγορίας A	Υλικό κατηγορίας B
$\kappa = 1 - \left(1 - \frac{A_1}{A}\right) 10^{-\bar{\lambda}} - \left(0,05 + 0,1 \frac{A_1}{A}\right) \bar{\lambda}^{-1,3(1-\bar{\lambda})}$ <p>με $A_1 = A - A_{\text{haz}}(1 - \rho_{\text{a,haz}})$ όπου $A_{\text{haz}} = \text{περιοχή } \Theta\text{EZ}$</p>	$\kappa = 1 \text{ αν } \bar{\lambda} \leq 0,2$ $\kappa = 1 + 0,04(4\bar{\lambda})^{(0,5-\bar{\lambda})} - 0,22\bar{\lambda}^{1,4(1-\bar{\lambda})}$ <p>αν $\bar{\lambda} > 0,2$</p>

Πίν. 4 Τιμές του συντελεστή κ για μέλη με διαμήκεις συγκολλήσεις

Ορίζοντας ως N_{Ed} την τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής δύναμης, ένα θλιβόμενο στοιχείο αλουμινίου είναι εξασφαλισμένο έναντι αστοχίας εξαιτίας καμπτικού και στρεπτοκαμπτικού λυγισμού όταν ικανοποιείται η σχέση:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (9)$$

5. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Για τον έλεγχο διατομής με μορφή με χαρακτηριστικά ίδια αυτής της HEB από κράμα αλουμινίου EN-AW 6063 T6 ($f_o=160\text{N/mm}^2$, κατηγορία υλικού A, $E=70000\text{N/mm}^2$) χωρίς διαμήκεις συγκολλήσεις ($\kappa=1$), για θλιβόμενη ράβδο μήκους 3,00m, με αμετάθετα τα δύο άκρα αλλά όχι άστρεπτα και στις δυο διευθύνσεις τής διατομής ($\kappa=1,0$), που υπόκειται σε δύναμη 250kN, ξεκινώντας από την ταξινόμηση της διατομής σε κλάσεις, υπολογίζουμε την ελάχιστη αποδεκτή διατομή όπως φαίνεται στον Πιν.5 που είναι η HEB160. Ο έλεγχος γίνεται μόνο για καμπτικό λυγισμό αφού λόγω της διπλής συμμετρίας της διατομής δεν είναι απαραίτητος ο έλεγχος σε στρεπτικό και στρεπτοκαμπτικό λυγισμό.

ΔΙΑΤΟΜΗ	ΚΛΑΣΗ	$\bar{\lambda}$ (y-y)	$\bar{\lambda}$ (z-z)	χ (y-y)	χ (z-z)	$N_{b,Rd}$ (y-y)	$N_{b,Rd}$ (z-z)	$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}}$ (y-y)	$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}}$ (z-z)
HEB 120	≤3	0,91	1,49	0,72	0,37	355,25	185.00	0,70	1,35
HEB 140	≤3	0,77	1,28	0,80	0,48	394.26	237.68	0,63	1,05
HEB 160	≤3	0,67	1,13	0,84	0,57	417.03	282.40	0,60	0,89

Πίν. 5 Υπολογισμός θλιβόμενης ράβδου από αλουμίνιο σε καμπτικό λυγισμό

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο σχεδιασμός θλιβόμενων μελών σε φέρουσες κατασκευές αλουμινίου σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 9 είναι μια διαδικασία που απαιτεί αυξημένη προσοχή από το μελετητή εξαιτίας της μεγάλης ποικιλίας ιδιοτήτων των διαφόρων κραμάτων αλουμινίου. Γνωρίζοντας την ποιότητα του υλικού των κραμάτων, αρχικά γίνεται κατηγοριοποίηση του υλικού και εν συνεχεία, βάση αυτής της κατηγοριοποίησης και λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός αν υπάρχουν ή όχι διαμήκεις συγκολλήσεις στη διατομή, καθορίζεται η κατάταξη της διατομής σε κλάσεις. Στην τελική φάση γίνεται ο έλεγχος σε καμπτικό λυγισμό, και έπειτα αναλόγως της μορφής και της κλάσης της διατομής καθορίζεται εάν θα πρέπει να γίνει έλεγχος σε στρεπτικό και στρεπτοκαμπτικό λυγισμό.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION, prEN 1999-1: 2004 Eurocode 9 – “Design of aluminium structures” – Part 1-1: General structural rules, 2004, Brussels.
- [2] MAZZOLANI F.M., “Aluminum Alloy Structures”
- [3] MENNINK J., SOETENS F., SNIDGER H.H., “Cross-sectional stability of aluminium extrusions with arbitrary cross-sectional shapes-experimental and numerical research”, Heron, (2005), Vol. 50, No 2.

Design of structural aluminum members in compression in the framework of Eurocode 9

D.N. Kaziolas

Dr.-Ing., Assistant Professor
Technological Educational Institute of Kavala
Drama, Greece
e-mail: dnkazio@teikav.edu.gr

C.C. Baniotopoulos

Professor Dr.-Ing. AUTH
Institute of Steel Structures
GR-54124 Thessaloniki, Greece
e-mail: ccb@civil.auth.gr

1. Summary

Aluminium is one of the structural materials whose use in constructions is nowadays increased worldwide. The recently completed Eurocode 9 provides the frame of the design of aluminum structures. According to this code the design of structural works from aluminium is an issue of study for engineers and researchers.

Steel and aluminium appear some similarities as structural materials. However the methods of design of steel structural works can not be applied straightly to the design of aluminium elements. Thus, it is obvious the great interest in point of the study of structural behavior of aluminium civil engineering and structural works and especially the relevant directives of their design.

In the present work, the application of the methods of design in aluminium elements in compression, as provided by Eurocode 9, is presented. Attention is paid to those points that have been objects of study for many decades for researchers. These points concern the classification of aluminium cross-sections according to their capability to reach the defined in Eurocode 9 limit states (elastic buckling, elastic, plastic, collapse limit state) and the verification of compression members against flexural and torsional or torsional-flexural buckling. At the final chapter of the paper, a numerical application illustrates the previously presented methodology.