

ΡΑΦ

ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

Εκδ. 7.xx

**ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ &
ΟΔΗΓΟΣ ΧΡΗΣΗΣ**

**ΠΟΛΥΜΕΛΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ &
ΣΥΜΜΕΙΚΤΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ**



ΤΟΛ
ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΟΙΚΟΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ
www.tol.com.gr

Απρίλιος 2019



ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΟΙΚΟΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Καρτερού 60, 71201 Ηράκλειο - Τηλ.: 2810 332684

www.tol.com.gr info@tol.com.gr

Copyright © 2008-2019

Απαγορεύεται οποιαδήποτε μερική ή ολική ανατύπωση, αναδημοσίευση, φωτοτύπηση ή αναπαραγωγή με άλλο τρόπο ολόκληρου του παρόντος ή μέρους του, χωρίς την σύμφωνη γνώμη και την γραπτή άδεια του εκδότη.

Το περιεχόμενο του κειμένου, αντιστοιχεί στην τελική έκδοση του προϊόντος λογισμικού που συνοδεύει, όποτε αυτό είναι δυνατό. Το περιεχόμενο του τεύχους αυτού είναι δυνατό να αλλάξει από τον εκδότη χωρίς προειδοποίηση. Ο εκδότης δεν φέρει καμία ευθύνη για την πληρότητα ή και την ορθότητα του κειμένου και δεν φέρει καμία ευθύνη για τυχόν ζημία ή απώλεια οποιουδήποτε είδους που οφείλεται στο περιεχόμενο αυτού του τεύχους.

1. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	1
2. Εισαγωγή	3
3. Κανονισμοί – Μονάδες Μέτρησης	4
3.1 Κανονισμοί	4
3.2 Μονάδες μέτρησης	4
4. Υπολογισμός αδρανειακών χαρακτηριστικών	5
4.1 Κατηγορίες διατομών	5
4.2 Καμπτική αντοχή διατομών	6
4.3 Τα κριτήρια κατάταξης των διατομών	7
4.4 Μεθοδολογία κατάταξης διατομών που ακολουθείται στο ΡΑΦ	8
5. Κατηγοριοποίηση πολυμελών μεταλλικών διατομών	10
5.1 Έλεγχος έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας από καθαρό εφελκυσμό	11
5.2 Έλεγχος έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας από καθαρή θλίψη .	12
5.3 Έλεγχος έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας από καθαρή μονοαξονική κάμψη	14
5.4 Έλεγχος έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας από διάτμηση	15
5.5 Έλεγχος έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας από διάτμηση και στρέψη	16
5.6 Έλεγχος έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας από μονοαξονική κάμψη και διάτμηση	17
5.7 Έλεγχος έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας από μονοαξονική κάμψη και αξονική δύναμη	18
5.8 Έλεγχος έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας από μονοαξονική κάμψη, διάτμηση και αξονική δύναμη	20
5.9 Έλεγχος έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας από διαξονική κάμψη, διάτμηση και αξονική δύναμη	21
6. Έλεγχος αντοχής μελών σε λυγισμό	22
6.1 Μέλη σταθερής διατομής υπό θλίψη – Καμπτικός λυγισμός	22
6.2 Στρεπτοκαμπτικός λυγισμός	25
6.2.1 Στρεπτοκαμπτικός λυγισμός μελών υπό καθαρή θλίψη	25
7. Βιβλιογραφία	31
8. Οδηγός Χρήσης	33
8.1 Κατηγορίες πολυμελών μεταλλικών διατομών στο ΡΑΦ	33
8.1.1 Πολυμελείς μεταλλικές διατομές υποστυλωμάτων	33

8.1.2	Πολυμελείς μεταλλικές διατομές δοκών.....	34
8.1.3	Πολυμελείς μεταλλικές διατομές συνδέσμων.....	36
8.2	Διάλογος δημιουργίας νέας πολυμελούς μεταλλικής διατομής.....	37
8.3	Τροποποίηση υπάρχουσας πολυμελούς διατομής.....	42
8.4	Σύμμεικτες διατομές σκυροδέματος με πολυμελείς μεταλλικές.....	43
8.4.1	Σύμμεικτες διατομές υποστυλωμάτων με πολυμελείς μεταλλικές.....	43
8.4.2	Σύμμεικτες διατομές δοκών με πολυμελείς μεταλλικές.....	46
8.5	Έλεγχος επάρκειας συγκόλλησης πολυμελούς διατομής.....	47
8.6	Πραγματοποίηση ελέγχου επάρκειας.....	48

2. Εισαγωγή

Η υπομονάδα «ΠΟΛΥΜΕΛΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ & ΣΥΜΜΕΙΚΤΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ» του προγράμματος ΡΑΦ δίνει τη δυνατότητα στη μηχανικό να συνθέσει δύο ή περισσότερες τυπικές διατομές από δομικό χάλυβα σε μία ενιαία διατομή και να τη χρησιμοποιήσει είτε ως έχει είτε να δημιουργήσει σύμμεικτες διατομές τις οποίες στη συνέχεια αποδίδει στα δομικά μέλη του φορέα.

Η προσομοίωση των στοιχείων από πολυμελείς διατομές γίνεται μέσω ραβδόμορφων στοιχείων, με ακραίες συνθήκες στήριξης που επιλέγονται από τη χρήστη και μπορεί να είναι πλήρεις αρθρώσεις, μερικές πακτώσεις ή πλήρεις πακτώσεις, ανάλογα με το είδος του δομικού στοιχείου.

Για τον έλεγχο επάρκειας των πολυμελών διατομών ακολουθούνται οι διατάξεις των αντίστοιχων Ευρωκωδίκων για στοιχεία από χάλυβα (EN 1993-1-1) και σύμμεικτα στοιχεία (EN 1994-1-1). Περισσότερες πληροφορίες για τους ελέγχους επάρκειας αυτών των στοιχείων μπορείτε να δείτε στο εγχειρίδιο της υπομονάδας [«Μεταλλικά Κτήρια»](#) και στο εγχειρίδιο της υπομονάδας [«Σύμμεικτα Κτήρια»](#).

Στα κεφάλαια που ακολουθούν θα περιγραφεί η διαδικασία που ακολουθείται για τον υπολογισμό των αδρανειακών χαρακτηριστικών πολυμελών διατομών και τις ιδιαιτερότητες που συναντώνται σε αυτές, καθώς και τις επιμέρους διαφορές ή πρόσθετους ελέγχους που αφορούν αυτές τις διατομές.

Το τελευταίο κεφάλαιο του παρόντος εγχειριδίου αποτελεί τον οδηγό χρήσης της υπομονάδας, όπου περιγράφονται αναλυτικά και με χρήση εικόνων όλες οι δυνατότητες που προσφέρονται με την υπομονάδα «Πολυμελείς μεταλλικές και σύμμεικτες διατομές» και ο τρόπος με τον οποίο μπορεί ο μηχανικός μπορεί να τις αξιοποιήσει μέσα από το γραφικό περιβάλλον του ΡΑΦ.



Πρόσθετες πληροφορίες καθώς και επίκαιρο εκπαιδευτικό υλικό για τα τη χρήση και τα αποτελέσματα της υπομονάδας «Πολυμελείς Μεταλλικές και Σύμμεικτες Διατομές» του ΡΑΦ μπορείτε να αναζητήσετε στο δικτυακό τόπο του ΤΟΛ® στη διεύθυνση: <http://www.tol.com.gr>.

3. Κανονισμοί – Μονάδες Μέτρησης

3.1 Κανονισμοί

Καλύπτονται πλήρως οι διατάξεις των Κανονισμών:

- (α) **ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 0**: για τους συνδυασμούς δράσεων.
- (β) **ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 1**: για τις τιμές των φορτίων των κτιρίων.
- (γ) **ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 3 Μέρος 1-1**: για τον έλεγχο των στοιχείων από δομικό χάλυβα.
- (δ) **ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 4 Μέρος 1-1**: για τον έλεγχο των σύμμεικτων στοιχείων από Ο/Σ και δομικό χάλυβα.
- (ε) **ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 3 Μέρος 1-8**: για τον έλεγχο των μεταλλικών συνδέσεων.

3.2 Μονάδες μέτρησης

Οι μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούνται στηρίζονται στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (S.I.) και παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Δυνάμεις	kN
Ροπές	kNm
Μετατοπίσεις	m
Στροφές	rad
Μήκη δομικών στοιχείων	m
Γωνίες αξόνων στοιχείων	μοίρες
Θερμοκρασία	°C
Μάζες	t
Κατανομημένα φορτία ραβδωτών στοιχείων	kN/m
Κατανομημένα φορτία επιφανειακών στοιχείων	kN/m ²
Τάσεις και Αντοχές	kN/m ²
Ειδικά ή φαινόμενα βάρη	kN/m ³
Δείκτης εδάφους	kN/m ³

4. Υπολογισμός αδρανειακών χαρακτηριστικών

Ο σχεδιασμός ενός φορέα με τα στοιχεία από τα οποία συντίθεται, προϋποθέτει την επιλογή μιας κατάλληλης μεθόδου ανάλυσης και ελέγχου. Η επιλογή αυτή αφορά αφενός τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο ανάλυσης, μέσω της οποίας προσδιορίζονται τα εντατικά και παραμορφωσιακά μεγέθη των δομικών μελών και αφετέρου τον τρόπο υπολογισμού της αντοχής των διατομών.

Στα πλαίσια των διατάξεων του ΕΚ3-1-1 οι μεταλλικές διατομές κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες. Σύμφωνα με την παράγραφο 5.5.1(1) ο ρόλος της κατάταξης των διατομών είναι να αναγνωρίσει την έκταση στην οποία η αντοχή και η ικανότητα στροφής των διατομών περιορίζεται από την αντοχή τους σε τοπικό λυγισμό.

4.1 Κατηγορίες διατομών

Έτσι με βάση την παράγραφο 5.5.2(1) ορίζονται οι παρακάτω κατηγορίες διατομών:

Διατομές κατηγορίας 1

Είναι εκείνες που μπορούν να σχηματίσουν πλαστική άρθρωση με την απαιτούμενη από την πλαστική ανάλυση δυνατότητα στροφής χωρίς μείωση της αντοχής τους. Αυτό σημαίνει ότι σε στοιχεία που έχουν διατομές κατηγορίας 1 είναι δυνατός ο σχηματισμός πλαστικών αρθρώσεων με ταυτόχρονη σημαντική ικανότητα στροφής. Αν λοιπόν σε ένα φορέα όλα τα στοιχεία έχουν διατομές κατηγορίας 1, τότε για το φορέα αυτό είναι δυνατός ο σχηματισμός πλαστικού μηχανισμού. Επομένως σε φορείς που έχουν στοιχεία με διατομές κατηγορίας 1 μπορεί η μέθοδος ανάλυσης να είναι πλαστική, όπως επίσης πλαστική μπορεί να είναι και η μέθοδος προσδιορισμού των αντοχών των διατομών.

Διατομές κατηγορίας 2

Είναι εκείνες που μπορούν να αναπτύξουν την πλαστική τους αντοχή (όπως οι διατομές κατηγορίας 1) αλλά έχουν περιορισμένη ικανότητα στροφής, λόγω τοπικού λυγισμού. Αυτό σημαίνει ότι ένα στοιχείο που έχει διατομή κατηγορίας 2, δεν έχει την ικανότητα σχηματισμού πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα του. Επομένως σε φορείς που έχουν στοιχεία με διατομές κατηγορίας 2 ως οριακή κατάσταση αστοχίας δεν είναι η κατάσταση που αντιστοιχεί στην δημιουργία πλαστικού μηχανισμού αλλά η κατάσταση στην οποία σχηματίζεται η πρώτη πλαστική άρθρωση. Έτσι στους φορείς αυτούς η μέθοδος προσδιορισμού των εντασιακών μεγεθών δεν μπορεί να είναι πλαστική, αλλά ελαστική. Όμως εφόσον οι διατομές μπορούν να αναπτύξουν την πλήρη αντοχή τους, ο υπολογισμός των αντοχών για τις διατομές κατηγορίας 2 μπορεί να γίνει με πλαστική μέθοδο. (Σημείωση: από τα παραπάνω προκύπτει ότι όταν έχουμε φορείς με διατομές κατηγορίας 2 δεν επιτρέπεται η ανακατανομή ροπών).

Διατομές κατηγορίας 3

Στις διατομές αυτές η τάση στην ακραία θλιβόμενη ίνα μπορεί να φτάσει στην αντοχή διαρροής του χάλυβα, αλλά δεν είναι δυνατή η ανάπτυξη της πλήρους αντοχής λόγω της εμφάνισης τοπικού λυγισμού. Στις περιπτώσεις αυτές η ανάλυση δεν μπορεί να γίνει με πλαστική μέθοδο, αλλά επιβάλλεται η ελαστική. Επιπλέον δεν μπορεί να υπολογιστεί η αντοχή της διατομής με πλαστική μέθοδο. Άρα τόσο ο υπολογισμός της έντασης όσο και ο υπολογισμός της αντοχής θα πρέπει να γίνει ελαστικά. Έτσι σε φορείς με διατομές κατηγορίας 3 η οριακή κατάσταση αστοχίας αντιστοιχεί στην εμφάνιση διαρροής στην πιο δυσμενή ίνα.

Διατομές κατηγορίας 4

Στις διατομές αυτές ο τοπικός λυγισμός απαγορεύει ακόμα και την ανάπτυξη της τάσης διαρροής στην ακραία θλιβόμενη ίνα. Σε αυτές τις περιπτώσεις – όπως και για τις διατομές κατηγορίας 3 – τόσο η ανάλυση όσο και ο υπολογισμός της αντοχής των διατομών θα πρέπει να γίνουν με ελαστικές μεθόδους. Ωστόσο στην συγκεκριμένη περίπτωση θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ιδιότητες των ενεργών διατομών, ΕΚ3-1-1 § 6.2.2.5 προκειμένου να ληφθούν υπόψη μειώσεις στην αντοχή λόγω ακριβώς των επιδράσεων του τοπικού λυγισμού ΕΚ3-1-1 § 5.5.2(2).


Σημείωση:

Από την παραπάνω ανάλυση είναι προφανές είναι πολύ σημαντική η προστασία των μεταλλικών δομικών στοιχείων από φαινόμενα τοπικού λυγισμού ειδικά στην περίπτωση αντισεισμικών κτιρίων. Ο αυξημένος κίνδυνος από τοπικό λυγισμό, εμποδίζει την ανάπτυξη της πλήρους αντοχής των διατομών, και μειώνει την ικανότητα πλαστικών στρωφών. Δηλαδή με άλλα λόγια μειώνει την πλαστιμότητα του κτιρίου.

4.2 Καμπτική αντοχή διατομών

Με βάση τον ορισμό και τις ιδιότητες των τεσσάρων κατηγοριών διατομών, μπορεί να συνταχθεί ο παρακάτω πίνακας που αφορά στον ορισμό των καμπτικών αντοχών τους (Σχήμα 4.1):

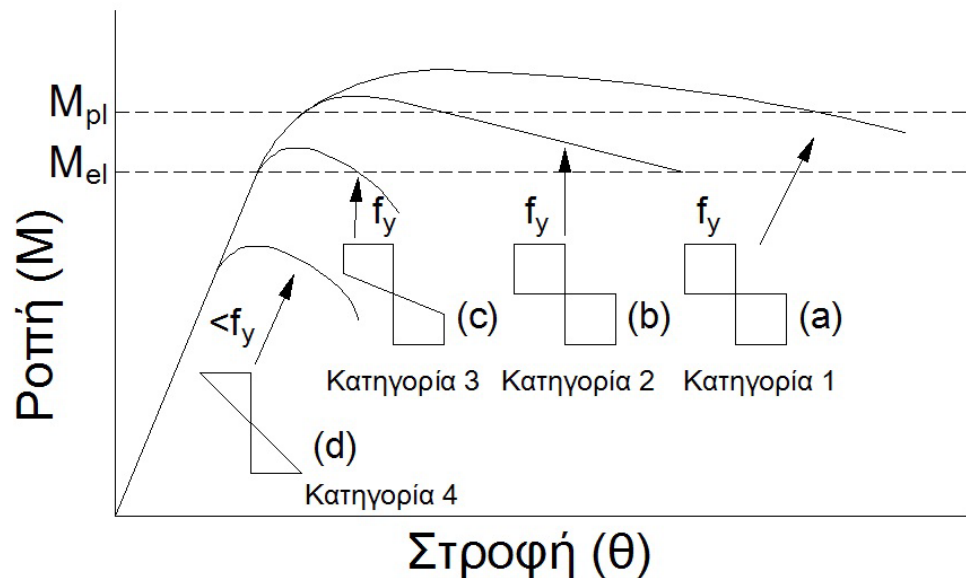
Κατηγορία διατομής	Ροπή αντοχής
1	Η πλαστική ροπή: $M_{pl} = W_{pl} \cdot f_y$
2	Η πλαστική ροπή: $M_{pl} = W_{pl} \cdot f_y$
3	Η ελαστική ροπή: $M_{el} = W_{el} \cdot f_y$
4	Η ροπή τοπικού λυγισμού: $(M_0 < M_{el})$

4.3 Τα κριτήρια κατάταξης των διατομών

Στον ΕΚ3-1-1 § 5.5.2 δίνονται οι οδηγίες για την κατάταξη τους στις κατηγορίες αυτές:

- Σύμφωνα με τον ΕΚ3-1-1 § 5.5.2(2) η κατάταξη μίας διατομής σε κάποια από τις τέσσερις κατηγορίες εξαρτάται από τη σχέση πλάτους / πάχος = c/t των τμημάτων τους που βρίσκονται – λόγω αξονικής δύναμης ή/και ροπής – υπό θλίψη. Δηλαδή η κατηγορία στην οποία ανήκει μία διατομή εξαρτάται τόσο από τη γεωμετρία της όσο και από την φόρτιση από την οποία καταπονείται.
- Σύμφωνα με τον ΕΚ3-1-1 § 5.5.2(4) τα θλιβόμενα τμήματα μίας διατομής περιλαμβάνουν όλα τα τμήματα που θλιβονται εν μέρει ή εξ ολοκλήρου υπό τον εκάστοτε εξεταζόμενο συνδυασμό δράσεων. Υπό την έννοια αυτή τα διάφορα θλιβόμενα τμήματα μίας διατομής (π.χ. ο κορμός ή το πέλμα) μπορούν να ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες (ΕΚ3-1-1 § 5.5.2(5)).
- Η διατομή μπορεί να κατατάσσεται σύμφωνα με την υψηλότερη (και άρα λιγότερο ευμενή) από τις κατηγορίες κατάταξης των θλιβόμενων στοιχείων της (ΕΚ3-1-1 § 5.5.2(6)).
- Μια εναλλακτική διαδικασία κατάταξης των διατομών είναι η κατάταξη λαμβάνοντας υπόψη τόσο την κατηγορία που ανήκει ο κορμός όσο και η κατηγορία που ανήκουν τα πέλματα (ΕΚ3-1-1 § 5.5.2(7)).
- Τα όρια για την κατάταξη θλιβομένων στοιχείων στις κατηγορίες 1, 2 και 3 δίνονται στον Πίνακα 5.2 που βρίσκεται στο κείμενο του ΕΚ3-1-1. Εάν ένα στοιχείο μίας διατομής δεν ικανοποιεί τα όρια της κατηγορίας 3 θα πρέπει να καταταγεί στην κατηγορία 4 (ΕΚ3-1-1 § 5.5.2(8)).
- Για την καλύτερη εφαρμογή του Πίνακα 5.2 θα πρέπει να σημειωθούν τα εξής (βλ. [6]):
 Μία διατομή αποτελείται από διάφορα πλακοειδή (τύπου πλάκας) στοιχεία, όπως ο κορμός και τα πέλματα. Τα στοιχεία αυτά ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο στηρίζονται διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:
 - *Εσωτερικά στοιχεία*: τα οποία απολήγουν σε άλλα εγκάρσια στοιχεία της διατομής. Μπορούν να θεωρηθούν αμφιέριστα μεταξύ των γραμμών επαφής τους με τα άλλα εγκάρσια στοιχεία. Π.χ. ο κορμός μίας διατομής διπλού Τ είναι ένα εσωτερικό στοιχείο μεταξύ των δύο πελμάτων.
 - *Προεξέχοντα στοιχεία*: τα οποία θεωρούνται ότι στηρίζονται κατά μήκος μίας ακμής και είναι ελεύθερα κατά μήκος της άλλης παράλληλα με την κατεύθυνση της θλιπτικής τάσης.
- Σε όποιες περιπτώσεις ο κορμός θεωρείται ότι αναλαμβάνει μόνον διατμητικές δυνάμεις και δεν συνεισφέρει στην αντοχή της διατομής έναντι κάμψης και ορθής δύναμης, η διατομή μπορεί να κατατάσσεται στις κατηγορίες 2, 3 ή 4 μόνον με βάση την κατηγορία των πελμάτων (ΕΚ3-1-1 § 5.5.2(12)).

- Τα όρια για τα θλιβόμενα στοιχεία κατηγορίας 1, 2 και 3 λαμβάνονται από τον πίνακα 5.2 του ΕΚ3-1-1. Αν ένα στοιχείο της διατομής δεν ικανοποιεί τα όρια της κατηγορίας 3, κατατάσσεται στην κατηγορία 4. Σε διατομές κατηγορίας 4, προκειμένου να ληφθούν υπόψη οι μειώσεις στην αντοχή λόγω των επιδράσεων του τοπικού λυγισμού, χρησιμοποιούνται τα ενεργά πλάτη σύμφωνα με τον EN 1993-1-5.



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα ροπής-στροφής διαφορετικών κατηγοριών διατομών

4.4 Μεθοδολογία κατάταξης διατομών που ακολουθείται στο ΡΑΦ

Οι διαστάσεις c_w και c_t υπολογίζονται ως εξής:

$$c_w = h - 2t_f - 2r \quad (4.1)$$

$$c_f = \frac{1}{2}(b - t_w - 2r) \quad (4.2)$$

Για τον έλεγχο της διατομής εφόσον είναι κλάσης 3 χρειάζεται να υπολογιστεί η κατανομή των ελαστικών τάσεων. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας τις παρακάτω σχέσεις:

$$\sigma_N = \frac{N_{Ed}}{A} \quad (4.3)$$

$$\sigma_{My} = -\frac{|M_{y,Ed}|}{W_{y,el}} \quad (4.4)$$

$$\sigma_{Mz} = -\frac{|M_{z,Ed}|}{W_{z,el}} \quad (4.5)$$

5. Κατηγοριοποίηση πολυμελών μεταλλικών διατομών

Στον ΕΚ3-1-1 § 6.2 αναφέρονται οι οριακές καταστάσεις αστοχίας για τις οποίες πρέπει να ελέγχονται τα δομικά στοιχεία μεταλλικών κατασκευών. Σε αυτή την παράγραφο γίνεται μία εκτενής αναφορά στις σχέσεις υπολογισμού των αντοχών των διατομών των μεταλλικών στοιχείων υπό τους συνήθεις συνδυασμούς εντασιακών μεγεθών μίας διατομής.

Η γενική μορφή των απαιτούμενων ελέγχων αντοχής των διατομών είναι η γνωστή ανίσωση:

$$E_d \leq R_d \quad (5.1)$$

Όπου:

E_d είναι η τιμή σχεδιασμού του αποτελέσματος των δράσεων (π.χ. αξονική δύναμη, ροπές ή τέμνουσες) η οποία προκύπτει από τον εκάστοτε μελετώμενο συνδυασμό δράσεων οριακής κατάστασης αστοχίας.

R_d είναι η αντοχή σχεδιασμού έναντι του μεγέθους το οποίο ελέγχεται. Προκύπτει από την χαρακτηριστική τιμή της αντοχής διαιρεμένη με τον αντίστοιχο συντελεστή ασφάλειας.

Στον ΕΚ3-1-1 § 6.2.1 παρουσιάζεται μία σειρά από συγκεκριμένες γενικές οδηγίες για τους ελέγχους αντοχής των διατομών:

- ΕΚ3-1-1 § 6.2.1 (1): Η τιμή σχεδιασμού του αποτελέσματος του συνδυασμού των δράσεων οριακής κατάστασης αστοχίας (δηλ. των εντασιακών μεγεθών σχεδιασμού) σε μία ελεγχόμενη διατομή, δεν πρέπει να υπερβαίνει την αντίστοιχη τιμή σχεδιασμού της αντοχής. Η αρχή αυτή θα πρέπει να ισχύει για κάθε συνδυασμό εντασιακών μεγεθών που καταπονεί τη διατομή.
- ΕΚ3-1-1 § 6.2.1 (3): Οι τιμές σχεδιασμού των αντοχών εξαρτώνται από την κατηγορία στην οποία κατατάσσονται οι ελεγχόμενες διατομές.
- ΕΚ3-1-1 § 6.2.1(7): Ως μία συντηρητική αλλά πολύ απλοποιητική διαδικασία ελέγχου μεταλλικών διατομών κατηγορίας 1, 2 ή 3 υπό διαξονική κάμψη με ορθή δύναμη προτείνεται η διαδικασία ελέγχου που γίνεται με βάση την ακόλουθη σχέση (σχέση 6.2 του ΕΚ3-1-1):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1.0 \quad (5.2)$$

όπου N_{Rd} , $M_{y,Rd}$, $M_{z,Rd}$ είναι οι τιμές σχεδιασμού των αντοχών σε αξονική δύναμη και ροπές οι οποίες θα πρέπει να υπολογιστούν συναρτήσει της κατηγορίας στην οποία ανήκει η διατομή, λαμβάνοντας υπόψη και την μείωση που προκαλεί στις τιμές τους η ενδεχόμενη επιρροή της διάτμησης (σύμφωνα με το εδάφιο 6.2.8 όπως θα δούμε παρακάτω).

Η αντίστοιχη σχέση για διατομές κατηγορίας 4 δίνεται στο εδάφιο 6.2.9.3.2(2).

- ΕΚ3-1-1 § 6.2.1(8): Όταν όλα τα θλιβόμενα τμήματα μίας διατομής είναι κατηγορίας 1 ή 2 τότε η διατομή μπορεί να θεωρηθεί ικανή να αναπτύξει την πλήρη πλαστική της αντοχή σε κάμψη.
- ΕΚ3-1-1 § 6.2.1(9): Όταν όλα τα θλιβόμενα τμήματα μίας διατομής είναι κατηγορίας 3 η αντοχή της θα πρέπει να υπολογίζεται με βάση ελαστική κατανομή παραμορφώσεων. Οι θλιπτικές τάσεις στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να περιορίζονται στις τιμές διαρροής του χάλυβα στις ακραίες ίνες.

5.1 Έλεγχος έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας από καθαρό εφελκυσμό

Σύμφωνα με τον ΕΚ3-1-1 § 6.2.3 εφελκυσόμενα μέλη συναντώνται σε δικτυωτούς φορείς στεγών, σε χωρικούς δικτυωτούς πυργοειδείς φορείς (π.χ. πυλώνες, ιστοί κ.τ.λ.), σε συνδέσμους δυσκαμψίας, ως ελκυστήρες ή αναρτήρες αλλά και σε περιπτώσεις όπου γίνεται χρήση απλών κυκλικών ράβδων ή καλωδίων. ([6]).

Ανίσωση ελέγχου :

Η ανίσωση ελέγχου στην περίπτωση της εφελκυστικής επιπόνησης είναι (εδάφιο 6.2.3(1)):

$$N_{Ed} / N_{t,Rd} \leq 1.0 \quad (5.3)$$

Υπολογισμός της αντοχής :

Οι σχέσεις υπολογισμού των αντοχών δεν διαφοροποιούνται με βάση την κατηγορία στην οποία ανήκει η διατομή, αλλά διαφοροποιούνται με βάση το ότι έχει ή δεν έχει οπές. Έτσι:

A. Διατομές χωρίς οπές

Σε διατομές χωρίς οπές οι εφελκυστικές τάσεις κατανέμονται ομοιόμορφα στη διατομή μέχρι του ορίου διαρροής του χάλυβα. Έτσι η σχέση από την οποία υπολογίζεται η αντοχή είναι:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (5.4)$$

Στην παραπάνω σχέση:

A είναι το εμβαδόν της πλήρους διατομής

f_y είναι το όριο (τάση) διαρροής του χάλυβα

γ_{M0} είναι ο επιμέρους συντελεστής ασφάλειας του χάλυβα έναντι διαρροής. Σύμφωνα με το Ελληνικό Εθνικό προσάρτημα του ΕΚ3-1-1 η τιμή του συγκεκριμένου συντελεστή είναι 1.00.

B. Διατομές με οπές

Σύμφωνα με τον ΕΚ3-1-1 § 6.2.3(2) η αντοχή σχεδιασμού σε εφελκυσμό λαμβάνεται η μικρότερη από τις δύο ακόλουθες τιμές:

$$N_{t,Rd} = \min \left\{ N_{pl,Rd} \left(= \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \right); N_{u,Rd} \left(= \frac{0.9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \right) \right\} \quad (5.5)$$

Στην παραπάνω σχέση:

A_{net} είναι το εμβαδόν της καθαρής διατομής (δηλ. του εμβαδού που προκύπτει με βάση τις οδηγίες του ΕΚ3-1-1 § 6.2.2.2).

f_u η εφελκυστική αντοχή (τάση θραύσης) του χάλυβα

γ_{M2} είναι ο επιμέρους συντελεστής ασφάλειας του χάλυβα έναντι εφελκυστικής θραύσης. Σύμφωνα με το Ελληνικό Εθνικό προσάρτημα του ΕΚ3-1-1 η τιμή του συγκεκριμένου συντελεστή είναι 1.25.

Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες απαιτείται να κυριαρχούν οι πλάστιμες μορφές αστοχίας όπως κατά κανόνα σε αντισεισμικές κατασκευές (ικανοτικός σχεδιασμός), τότε θα πρέπει η αστοχία να προέρχεται από υπέρβαση της $N_{pl,Rd}$ και όχι της $N_{u,Rd}$. Δηλαδή με άλλα λόγια θα πρέπει: $N_{u,Rd} > N_{pl,Rd}$ (βλ. ΕΚ3-1-1 § 6.2.3(3)):

$$\frac{0.9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \geq \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow \frac{A_{net}}{A} \geq \frac{(f_y/f_u) \cdot (\gamma_{M2}/\gamma_{M0})}{0.9} \quad (5.6)$$

Ειδική μέριμνα θα πρέπει να δίνεται σύμφωνα με το εδάφιο 6.2.3(5) για γωνιακά που συνδέονται μέσω του ενός σκέλους τους. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα γραφόμενα του ΕΚ3-1-1 § 3.10.3. Πιο συγκεκριμένα η περίπτωση των γωνιακών που συνδέονται στο ένα σκέλος τους είναι μία περίπτωση σύνδεσης με εκκεντρότητα. Ο ΕΚ3-8 δίνει τη δυνατότητα αντιμετώπισης του προβλήματος με τη θεώρηση ότι το συνδεόμενο μέλος είναι κεντρικά φορτισμένο αλλά η αντοχή του θα πρέπει να υπολογιστεί με βάση μία απομειωμένη διατομή η οποία υπολογίζεται σε εξάρτηση με τον αριθμό των κοχλιών που υλοποιούν την σύνδεση (βλ. εδάφιο 3.10.3(2) του ΕΚ3-8 και αντίστοιχο σχήμα 3.9).

5.2 Έλεγχος έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας από καθαρή θλίψη

Σύμφωνα με τον ΕΚ3-1-1 § 6.2.4 μέλη τα οποία καταπονούνται μόνον από θλίψη είναι υποστυλώματα υπό ειδικές συνθήκες στήριξης και φόρτισης, αλλά και αμφιαρθρωτά θλιβόμενα μέλη δικτυωμάτων ή υποστυλώματα πολυμελούς διατομής ή τέλος εγκάρσια μέλη στήριξης. Η μεγάλη διαφορά των καθαρώς θλιβόμενων στοιχείων από τα καθαρώς εφελκυσόμενα είναι ότι τα πρώτα αντιμετωπίζουν τον κίνδυνο αστοχίας από τοπικό ή καθολικό λυγισμό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επέρχεται η αστοχία λόγω λυγισμού προτού οι διατομές του στοιχείου εξαντλήσουν την αντοχή τους σε θλιπτικές τάσεις. Αυτό σημαίνει ότι η αστοχία ενός θλιβόμενου στοιχείου ελέγχεται σε επίπεδο μέλους και όχι σε επίπεδο διατομής. Η περίπτωση κατά την οποία η αντοχή των διατομών είναι αυτή που καθορίζει την αντοχή όλου του μέλους είναι η περίπτωση κατά την οποία τα θλιβόμενα στοιχεία έχουν πολύ μικρή λυγηρότητα και επαρκή πλευρική στήριξη.

Ανίσωση ελέγχου :

Η ανίσωση ελέγχου στην περίπτωση της θλιπτικής επιπόνησης είναι, σύμφωνα με τον ΕΚ3-1-1 § 6.2.4(1):

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} \leq 1.0 \quad (5.7)$$

Υπολογισμός της αντοχής :

Ο υπολογισμός της αντοχής των διατομών σε καθαρή θλίψη γίνεται με βάση τον ΕΚ3-1-1 § 6.2.4(2) και εξαρτάται από την κατηγορία στην οποία ανήκει η διατομή. Έτσι έχουμε:

Διατομές κατηγορίας 1, 2, 3:
$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (5.8)$$

Διατομές κατηγορίας 4:
$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (5.9)$$

Όπου A_{eff} η ενεργός επιφάνεια της διατομής (υπολογισμός με βάση τον ΕΚ3-1-1 § 6.2.2.5).

Όταν το ενεργό τμήμα μίας διατομής που ανήκει στην κατηγορία 4 είναι ασύμμετρο, τότε ο έλεγχος πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας υπόψη μία πρόσθετη ροπή λόγω της εκκεντρότητας του κεντροβαρικού άξονα της ενεργού διατομής. Σύμφωνα με τον ΕΚ3-1-1 § 6.2.4(4) σε μία τέτοια περίπτωση θα πρέπει να γίνεται εφαρμογή της μεθόδου που περιγράφεται τον ΕΚ3-1-1 § 6.2.9.3.

Τέλος, σύμφωνα τον ΕΚ3-1-1 § 6.2.4(3) οι οπές από κοχλίες δεν χρειάζεται να ληφθούν υπόψη σε θλιβόμενα μέλη (εκτός από την περίπτωση υπερμεγέθων ή επιμήκων οπών) όταν σε αυτές τοποθετούνται οι αντιστοιχούντες κοχλίες.

5.3 Έλεγχος έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας από καθαρή μονοαξονική κάμψη

Σύμφωνα με τον ΕΚ3-1-1 § 6.2.5 από μονοαξονική κάμψη επιπνούνται οι δοκοί στις οποίες το επίπεδο φόρτισης διέρχεται από το κέντρο διάτμησης και είναι ταυτόχρονα παράλληλο με έναν από τους δύο κύριους άξονες αδράνειας της διατομής. Κατά κανόνα συνοδεύεται και από διάτμηση.

Ανίσωση ελέγχου :

Η ανίσωση ελέγχου στην περίπτωση της καμπτικής επιπόνησης είναι (εδάφιο 6.2.5(1)):

$$M_{Ed}/M_{c,Rd} \leq 1.0 \quad (5.10)$$

Υπολογισμός της αντοχής :

Ο υπολογισμός της αντοχής σε κάμψη που θα παρουσιαστεί ακολούθως έχει ισχύ στην περίπτωση που τα μελετώμενα στοιχεία έχουν επαρκή πλευρική στήριξη. Σε αντίθετη περίπτωση η αντοχή σε κάμψη αντιστοιχεί στην αντοχή έναντι πλευρικού λυγισμού. Σύμφωνα με το εδάφιο 6.5.2(2) η αντοχή σχεδιασμού μίας διατομής για κάμψη περί τον κύριο άξονα της εξαρτάται από την κατηγορία της διατομής και δίνεται από τον ακόλουθο πίνακα:

$$\text{Διατομές κατηγορίας 1, 2: } M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (5.11)$$

$$\text{Διατομές κατηγορίας 3: } M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (5.12)$$

$$\text{Διατομές κατηγορίας 4: } M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (5.13)$$

Όπου:

$W_{el,min}$ είναι η ελαστική ροπή αντίστασης που αντιστοιχεί σε πρώτη διαρροή των ακραίων ινών. Σε μονοσυμμετρικές διατομές αντιστοιχεί στην πρώτη διαρροή της ακραίας θλιβόμενης ίνας (**Error! Reference source not found.**).

$W_{eff,min}$ είναι η αντίστοιχη ελαστική ροπή αντίστασης της ενεργού διατομής.

Στην περίπτωση της ύπαρξης οπών για κοχλίες ισχύουν τα εξής:

- ΕΚ3-1-1 § 6.2.5(6): Οι οπές από κοχλίες στην θλιβόμενη ζώνη δεν χρειάζεται να λαμβάνονται υπόψη αν έχουν τοποθετηθεί οι αντίστοιχοι κοχλίες. Εξαίρεση αποτελεί η ύπαρξη υπερμεγέθων ή επιμήκων οπών.
- ΕΚ3-1-1 § 6.2.5(4): Οπές σε εφελκόμενο πέλμα μπορούν να αγνοηθούν εφόσον για το εφελκόμενο πέλμα ισχύει:

$$\frac{0.9 \cdot A_{f,net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \geq \frac{A_f \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow \frac{A_{f,net}}{A_f} \geq \frac{(f_y/f_u) \cdot (\gamma_{M2}/\gamma_{M0})}{0.9} \quad (5.14)$$

Όπου A_f και $A_{f,net}$ είναι το πλήρες και καθαρό αντίστοιχα εμβαδόν επιφανείας του εφελκυσμένου πέλματος. Η παραπάνω σχέση επιβάλλεται να ισχύει σε κρίσιμες περιοχές δοκών όπου αναμένεται ο σχηματισμός πλαστικών αρθρώσεων.

- EK3-1-1 § 6.2.5(5): Οπές στην εφελκυσμένη ζώνη του κορμού δεν χρειάζεται να λαμβάνονται υπόψη εφόσον ισχύει η σχέση του εδαφίου 6.2.5(4) όπου όμως ως εμβαδά λαμβάνονται τα εμβαδά του εφελκυσμένου πέλματος και του εφελκυσμένου τμήματος του κορμού.

5.4 Έλεγχος έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας από διάτμηση

Η διάτμηση ως επιπόνηση συνοδεύει κατά κανόνα την κάμψη. Ωστόσο σε συγκεκριμένες περιπτώσεις η διάτμηση μπορεί να είναι εξαιρετικά κρίσιμη λόγω της ανάπτυξης τεμνουσών με υψηλές τιμές. Αυτό μπορεί π.χ. να συμβεί σε δοκούς μικρού μήκους με σημαντικά συγκεντρωμένα φορτία ή σε διατομές σύνθετων δοκών με λεπτό κορμό.

Σύμφωνα με τον EK3-1-1 § 6.2.6 :

Ανίσωση ελέγχου :

Η ανίσωση ελέγχου στην περίπτωση της διατμητικής επιπόνησης είναι (EK3-1-1 § 6.2.6(1)):

$$V_{Ed}/V_{c,Rd} \leq 1.0 \quad (5.15)$$

Υπολογισμός της αντοχής :

Ο υπολογισμός της αντοχής μπορεί να γίνει είτε στα πλαίσια του πλαστικού είτε στα πλαίσια του ελαστικού υπολογισμού. Εφόσον γίνει υπολογισμός στα πλαίσια του πλαστικού υπολογισμού και με προϋπόθεση την απουσία στρέψης ισχύει η σχέση που δίνεται στον EK3-1-1 § 6.2.6(2) η οποία είναι:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \quad (5.16)$$

Όπου A_v είναι η επιφάνεια διάτμησης της διατομής. Ο υπολογισμός της επιφάνειας διάτμησης για τις συνήθεις περιπτώσεις διατομών μεταλλικών στοιχείων γίνεται με βάση τις διατάξεις του EK3-1-1 § 6.2.6(3).

Για τον ελαστικό υπολογισμό δίνονται οδηγίες EK3-1-1 § 6.2.6(4),(5),(6). Σύμφωνα με τη σημείωση που δίνεται τον EK3-1-1 § 6.2.6(4), ο ελαστικός έλεγχος είναι ιδιαίτερα συντηρητικός και έτσι θα πρέπει να γίνεται μόνον όταν δεν μπορεί να εκτελεστεί ο πλαστικός υπολογισμός. Επιπλέον σε περίπτωση ελαστικού ελέγχου θα πρέπει να γίνεται και έλεγχος έναντι διατμητικής κύρτωσης για κορμούς διατομών χωρίς ενδιάμεσες ενισχύσεις (με βάση το κεφάλαιο 5 του EK3-5) εφόσον πληρείται το κριτήριο του EK3-1-1 § 6.2.6(6).

- Οι οπές των κοχλιών δεν χρειάζεται να λαμβάνονται υπόψη στον έλεγχο διάτμησης εκτός από την περίπτωση ελέγχου σε περιοχές συνδέσεων (EK3-1-1 § 6.2.6(7)).

- Σύμφωνα με τον ΕΚ3-1-1 § 6.2.6(8), όπου μαζί με την τέμνουσα συνυπάρχει και στρεπτική ροπή, η πλαστική αντοχή σε διάτμηση $V_{pl,Rd}$ θα πρέπει να μειώνεται από την τιμή που υπολογίστηκε παραπάνω, με διαδικασία που παρουσιάζεται στον ΕΚ3-1-1 § 6.2.7(9) και θα παρουσιαστεί και στα πλαίσια του παρόντος κειμένου.

5.5 Έλεγχος έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας από διάτμηση και στρέψη

Σύμφωνα με τον ΕΚ3-1-1 § 6.2.7(9) όταν μία διατομή καταπονείται από την συνδυασμένη δράση διάτμησης και στρέψης, τότε η πλαστική αντοχή σε διάτμηση θα πρέπει να μειώνεται και έτσι ο έλεγχος σε διάτμηση να γίνεται με βάση την παρακάτω σχέση:

$$V_{Ed}/V_{pl,T,Rd} \leq 1.0 \quad (5.17)$$

Όπου η απομειωμένη αντοχή σε διάτμηση δίνεται από τις παρακάτω σχέσεις:

- Για διατομές I και H:

$$V_{pl,T,Rd} = \left(\sqrt{1 - \frac{T_{t,Ed}}{1.25 \cdot \left[(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} \right]}} \right) \cdot V_{pl,Rd} \quad (5.18)$$

- Για διατομές U:

$$V_{pl,T,Rd} = \left(\sqrt{1 - \frac{T_{t,Ed}}{1.25 \cdot \left[(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} \right]} - \frac{T_{w,Ed}}{\left[(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} \right]}} \right) \cdot V_{pl,Rd} \quad (5.19)$$

- Για κοίλες διατομές

$$V_{pl,T,Rd} = \left(1 - \frac{T_{t,Ed}}{\left[(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} \right]} \right) \cdot V_{pl,Rd} \quad (5.20)$$

5.6 Έλεγχος έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας από μονοαξονική κάμψη και διάτμηση

Σύμφωνα με τον ΕΚ3-1-1 § 6.2.8 όταν σε μία διατομή αναπτύσσεται καμπτική ροπή και ταυτόχρονα σημαντική τέμνουσα δύναμη θα πρέπει η επιρροή της τελευταίας να λαμβάνεται υπόψη στον έλεγχο (βλ. εδάφιο 6.2.8(1)) διότι η επιρροή της τέμνουσας προκαλεί μείωση της αντοχής σε κάμψη καθώς μέρος της διατομής αναλίσκεται για την παραλαβή της τέμνουσας.

Έτσι σύμφωνα με το εδάφιο 6.2.8(2) κριτήριο για την αγνόηση της επιρροής της τέμνουσας είναι το μέγεθος της σε σχέση με το ήμισυ της πλαστικής διατμητικής αντοχής:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \quad (5.21)$$

Έτσι όταν η τέμνουσα που αναπτύσσεται στη διατομή είναι μικρότερη από το ήμισυ της παραπάνω τιμής, τότε η επιρροή της επί της καμπτικής αντοχής μπορεί να αγνοηθεί. Εξαίρεση, σύμφωνα με το ίδιο εδάφιο, αποτελεί η περίπτωση κινδύνου από διατμητική κύρτωση (βλ. ΕΚ3-5).

Σε διαφορετική περίπτωση (σύμφωνα με το εδάφιο 6.2.8(3)) θα πρέπει να λαμβάνεται μία απομειωμένη τιμή της καμπτικής αντοχής σχεδιασμού η οποία προκύπτει αν γίνει χρήση μίας μειωμένης τιμής για την αντοχή διαρροής του χάλυβα με βάση τον μειωτικό συντελεστή ρ MONON για το τμήμα της διατομής που παραλαμβάνει την τέμνουσα, δηλ. μόνον για την επιφάνεια διάτμησης. Η απομείωση αυτή γίνεται ως ακολούθως:

$$f_{yw} = (1 - \rho) \cdot f_y$$

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (5.22)$$

Όταν συνυπάρχει και στρέψη, τότε η παραπάνω απομείωση γίνεται (σύμφωνα με το εδάφιο 6.2.8(4)) με βάση την διατμητική αντοχή $V_{pl,T,Rd}$ και όχι με την $V_{pl,Rd}$. Δηλαδή:

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (5.23)$$

(Το ρ θα λαμβάνεται ίσο με 0 αν $V_{Ed} < V_{pl,T,Rd}$)

5.7 Έλεγχος έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας από μονοαξονική κάμψη και αξονική δύναμη

Συνδυασμός κάμψης με αξονική δύναμη συναντάται κατά κανόνα σε μέλη πλαισίων όπως τα υποστυλώματα στα οποία το επίπεδο της αξονικής δύναμης είναι υψηλό. Στην περίπτωση αυτή μέρος της διατομής αναλύσκειται στην παραλαβή της αξονικής δύναμης και έτσι τα περιθώρια αντοχής σε κάμψη μειώνονται. Η απομείωση που επέρχεται στη καμπτική αντοχή εξαρτάται σύμφωνα με τον ΕΚ3-1-1 § 6.2.9 από την κατηγορία στην οποία ανήκει η διατομή.

Διατομές κατηγορίας 1 και 2

Στην συγκεκριμένη περίπτωση η ανίσωση του ελέγχου είναι η εξής (εδάφιο 6.2.9(2)):

$$M_{Ed}/M_{N,Rd} \leq 1.0 \quad (5.24)$$

Όπου $M_{N,Rd}$ είναι η απομειωμένη λόγω αξονικής δύναμης πλαστική ροπή αντοχής.

Η τιμή της απομειωμένης πλαστικής ροπής αντοχής υπολογίζεται ανάλογα με την μορφή της διατομής ως ακολούθως:

– Για ορθογωνικές συμπαγείς διατομές χωρίς οπές κοχλιών (εδάφιο 6.2.9.1(3)):

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot \left[1 - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \right)^2 \right] \quad (5.25)$$

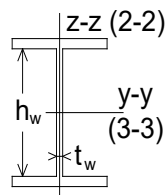
Όπου $N_{pl,Rd}$ είναι η αξονική δύναμη σχεδιασμού διαρροής της διατομής.

– Για διατομές διπλής συμμετρίας όπως οι I και H ή άλλες διατομές που έχουν πέλματα η απομείωση δεν είναι απαραίτητο να γίνει για την πλαστική ροπή αντοχής περί τον άξονα y-y όταν ικανοποιούνται ταυτόχρονα τα δύο παρακάτω κριτήρια (εδάφιο 6.2.9.1(4)):

$$N_{Ed} \leq 0.25 \cdot N_{pl,Rd}$$

και

$$N_{Ed} \leq \frac{0.5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$



Το αντίστοιχο κριτήριο για την πλαστική ροπή αντοχής περί τον άξονα z-z είναι:

$$N_{Ed} \leq \frac{h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (5.26)$$

Σύμφωνα με το εδάφιο 6.2.9.1(5) σε διατομές I ή H με ίσα πέλματα (ελατές ή συγκολλητές), όταν δεν λαμβάνονται υπόψη οι οπές από κοχλίες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω σχέσεις για τον προσεγγιστικό

υπολογισμό της απομειωμένης – λόγω αξονικής δύναμης – πλαστικής ροπής αντοχής:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \left[\frac{1-n}{1-(0.5 \cdot a)} \right] \text{ με } M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$\text{για } n \leq a \rightarrow M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd}$$

$$\text{για } n > a \rightarrow M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right]$$

όπου: $n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$ και $a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A$ με $a \leq 0.5$

(5.27)

Όπου το b είναι το πλάτος του πέλματος και t_f το πάχος του.

- Σε κοίλες ορθογωνικές διατομές σταθερού πλάτους και για συγκολλητές κλειστές διατομές με ίσα πέλματα και κορμούς, όταν δεν λαμβάνονται υπόψη οι οπές των κοχλιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω σχέσεις:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \left[\frac{1-n}{1-(0.5 \cdot a_w)} \right] \text{ με } M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \left[\frac{1-n}{1-(0.5 \cdot a_f)} \right] \text{ με } M_{N,z,Rd} \leq M_{pl,z,Rd}$$

όπου:

$$a_w = (A - 2 \cdot b \cdot t) / A \text{ με } a_w \leq 0.5 \text{ για κοίλες διατομές}$$

$$a_w = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A \text{ με } a_w \leq 0.5 \text{ για συγκολλητές κιβωτοειδείς διατομές}$$

$$a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t) / A \text{ με } a_f \leq 0.5 \text{ για κοίλες διατομές}$$

$$a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t_w) / A \text{ με } a_f \leq 0.5 \text{ για συγκολλητές κιβωτοειδείς διατομές}$$
(5.28)

Όπου:

t είναι το πάχος της κοίλης διατομής (βλ. σχήμα 1.1 του ΕΚ3-1-1)

b είναι το μήκος του οριζοντίου σκέλους της κοίλης διατομής (βλ. σχήμα 1.1 του ΕΚ3-1-1)

h είναι το μήκος του κατακορύφου σκέλους της κοίλης διατομής (βλ. σχήμα 1.1 του ΕΚ3-1-1)

t_w είναι το πάχος του κατακορύφου σκέλους της κιβωτοειδούς διατομής

t_f είναι το πάχος του οριζοντίου σκέλους της κιβωτοειδούς διατομής

b είναι το μήκος του οριζοντίου σκέλους της κιβωτοειδούς διατομής

h είναι το μήκος του κατακορύφου σκέλους της κιβωτοειδούς διατομής

Διατομές κατηγορίας 3

Οι διατομές που ανήκουν στην κατηγορία 3 δεν μπορούν να αναπτύξουν την πλήρη αντοχή τους λόγω του ότι προηγείται τοπικός λυγισμός. Αυτό, σύμφωνα με την φιλοσοφία σχεδιασμού του ΕΚ3-1-1, σημαίνει ότι τόσο η αναπτυσσόμενη ένταση όσο και η αντοχή μελών που έχουν διατομή

κατηγορίας 3 θα πρέπει να γίνεται στα πλαίσια της ελαστικής ανάλυσης. Επομένως ο έλεγχος σε κάμψη, με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχει διατμητική δύναμη, μπορεί να γίνει με βάση τον έλεγχο της ορθής τάσης στην δυσμενέστερη ίνα της διατομής μέσω της σχέσης:

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (5.29)$$

Πρόκειται για έναν κλασσικό έλεγχο τάσεων, ο οποίος μπορεί να γίνει εφόσον υπολογιστούν οι ορθές τάσεις σε μία διατομή βάση των σχέσεων της κλασσικής αντοχής υλικών.

5.8 Έλεγχος έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας από μονοαξονική κάμψη, διάτμηση και αξονική δύναμη

Όταν σε μία διατομή ασκείται συνδυασμένη επιρροή κάμψης διάτμησης και αξονικής δύναμης, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η επιρροή της διάτμησης αλλά και της αξονικής δύναμης στην τιμή της ροπής αντοχής σύμφωνα με τον ΕΚ3-1-1 § 6.2.10(1).

Στη περίπτωση επομένως που συνυπάρχει η επιρροή της διάτμησης και της αξονικής δύναμης τότε:

(α) Ελέγχεται σύμφωνα με τον ΕΚ3-1-1 § 6.2.8 εάν η τιμή της τέμνουσας υπερβαίνει το 50% της τιμής της πλαστικής αντοχής σε τέμνουσα. Αν ναι τότε θα πρέπει να γίνει η απομείωση με τρόπο που περιγράφεται στην § 6.2.8..

(β) Μετά από την ενδεχόμενη μείωση της καμπτικής αντοχής λόγω της τέμνουσας, ακολουθεί η αντίστοιχη μείωση λόγω της αξονικής δύναμης μέσω των διατάξεων της § 6.2.9.

5.9 Έλεγχος έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας από διαξονική κάμψη, διάτμηση και αξονική δύναμη

Ξεχωριστή αναφορά θα πρέπει να γίνει για την περίπτωση διαξονικής κάμψης με ορθή δύναμη και ενδεχομένως και με παρουσία σημαντικής διάτμησης. Ο λόγος είναι ότι αυτή η επιπόνηση είναι σημαντική και πολύ συχνά εμφανιζόμενη σε υποστυλώματα μεταλλικών κτιρίων που υπόκεινται σε σεισμική καταπόνηση.

Έτσι τον ΕΚ3-1-1 § 6.2.9.1(6) προτείνει για διατομές κατηγορίας 1 και 2 την ακόλουθη σχέση αλληλεπίδρασης:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Ed}} \right]^{\alpha} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Ed}} \right]^{\beta} \leq 1.0 \quad (5.30)$$

Όπου τα α και β μπορούν συντηρητικά να λαμβάνονται ίσα με τη μονάδα ή:

- Για διατομές I ή H: α=2 και β=5·n>1.0
- Για κοίλες κυκλικές διατομές: α=2 και β=2
- Για κοίλες ορθογωνικές διατομές: α=β=1.66/(1-1.13n²) αλλά πρέπει α=β<6

Όπου n=N_{Ed}/N_{pl,Rd}.

Στην παραπάνω σχέση αλληλεπίδρασης η επιρροή της αξονικής δύναμης εισάγεται έμμεσα μέσω της κατάλληλης μείωσης – λόγω της αξονικής δύναμης – των ροπών αντοχής.

6. Έλεγχος αντοχής μελών σε λυγισμό

Στον ΕΚ3-1-1 § 6.3 γίνεται ανάλυση των διαδικασιών αναφορικά με τον έλεγχο αντοχής των μελών σε λυγισμό.

Χαρακτηριστικό στοιχείο των δομικών στοιχείων από χάλυβα είναι ότι η αντοχή τους δεν καθορίζεται πάντοτε από την αντοχή των δυσμενέστερα επιπονούμενων διατομών τους αλλά από την απώλεια της ευστάθειας τους. Απώλεια ευστάθειας σημαίνει την δυνατότητα ισορροπίας σε θέση πέραν της αρχικής, δηλ. για τον κίνδυνο αστοχίας από λυγισμό. Το επίπεδο της φόρτισης για το οποίο ένα μέλος κινδυνεύει από αστοχία λόγω λυγισμού είναι πολλές φορές πολύ μικρότερο από το επίπεδο φόρτισης για το οποίο αστοχούν οι κρίσιμες διατομές του. Επομένως ο κίνδυνος αστοχίας λόγω λυγισμού είναι πολλές φορές καθοριστικός για την εξασφάλιση της αντοχής ενός στοιχείου. Έτσι η παράγραφος 6.3. του ΕΚ3-1-1 αναφέρεται στις περιπτώσεις κατά τις οποίες η αντοχή ενός στοιχείου δεν εξαρτάται από την αντοχή των διατομών του αλλά από τον κίνδυνο απώλειας της ευστάθειας τους.

6.1 Μέλη σταθερής διατομής υπό θλίψη – Καμπτικός λυγισμός

Η ανίσωση ελέγχου στην περίπτωση ενός θλιβόμενου μέλους από καμπτικό λυγισμό είναι σύμφωνα με τον ΕΚ3-1-1 § 6.3.1.1(1) :

$$N_{Ed}/N_{b,Rd} \leq 1.0 \quad (6.1)$$

Όπου:

N_{Ed} είναι η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής δύναμης,

$N_{b,Rd}$ είναι η αντοχή του θλιβόμενου μέλους έναντι καμπτικού λυγισμού.

(Ειδικά για μέλη με μη συμμετρικές διατομές κατηγορίας 4 πρέπει να γίνει πρόβλεψη για την πρόσθετη ροπή ΔM_{Ed} λόγω εκκεντρότητας του κεντροβαρικού άξονα της ενεργού διατομής: βλ. ΕΚ3-1-1 § 6.2.2.5(4). Η αλληλεπίδραση πρέπει να στηριχθεί στις § 6.3.4 ή § 6.3.3.).

Υπολογισμός της αντοχής

Η αντοχή ενός θλιβόμενου στοιχείου έναντι λυγισμού εξαρτάται από την κατηγορία στην οποία ανήκει η διατομή του:

- *Στοιχεία με διατομές κατηγορίας 1, 2, 3:* Για τα στοιχεία αυτά η αντοχή δίνεται από την παρακάτω σχέση του ΕΚ3-1-1 § 6.3.1.1(3):

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad (6.2)$$

- *Στοιχεία με διατομές κατηγορίας 4:* Για τα στοιχεία αυτά η αντοχή δίνεται από την παρακάτω σχέση του ΕΚ3-1-1 § 6.3.1.1(3):

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad (6.3)$$

(Για τον καθορισμό του A και του A_{eff} δεν χρειάζεται να λαμβάνονται υπόψη οι σπές των κοχλιώσεων που ενδεχομένως βρίσκονται στα άκρα του μέλους (ΕΚ3-1-1 § 6.3.1.1(4)).

Στις παραπάνω σχέσεις η παράμετρος χ είναι ένας μειωτικός συντελεστής η τιμή του οποίου εξαρτάται από τη μορφή του λυγισμού. Έτσι για τον λυγισμό αξονικώς θλιβομένων στοιχείων, ισχύουν οι σχέσεις του ΕΚ3-1-1 § 6.3.1.2(1):

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.00 \quad (6.4)$$

$$\Phi = 0.5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2] \quad (6.5)$$

Όπου η ανηγμένη λυγηρότητα δίνεται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 1,2,3} \quad (6.6)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr}}} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 4}$$

Επίσης:

το α είναι ένας συντελεστής ατελειών η τιμή του οποίου εξαρτάται από την χρησιμοποιούμενη καμπύλη λυγισμού. Στον ΕΚ3-1-1 § 6.3.1.2(2) παρατίθεται ο Πίνακας 6.1 από τον οποίο προκύπτει η τιμή του συντελεστή α :

Πίνακας 6.1: Συντελεστές ατελειών για καμπύλες λυγισμού ([1])

Καμπύλη λυγισμού	a_0	a	b	c	d
Συντελεστής ατελειών α	0.13	0.21	0.34	0.49	0.76

Όσον αφορά στην καμπύλη λυγισμού η οποία θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς, αυτή εξαρτάται από τη μορφή της διατομής, τις διαστάσεις της, την ποιότητα του χάλυβα αλλά και το επίπεδο λυγισμού. Για τα στοιχεία αυτά δίνονται πληροφορίες στον Πίνακα 6.2 του ΕΚ3-1-1.



Για λυγηρότητα $\lambda \leq 0.2$ ή για $N_{Ed}/N_{cr} \leq 0.04$ οι επιδράσεις του λυγισμού μπορούν να αγνοούνται και να εφαρμόζονται μόνο έλεγχοι διατομών.

N_{cr} το ελαστικό κρίσιμο φορτίο λυγισμού που αντιστοιχεί σε λυγισμό στοιχείων υπό αξονική θλίψη το οποίο υπολογίζεται με βάση τις ιδιότητες της πλήρους διατομής:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L_{cr}^2} \quad (6.7)$$

Η παραπάνω σχέση εφαρμόζεται στο επίπεδο κάμψης (y-y ή z-z) που είναι και το ασθενέστερο, και επομένως τα μεγέθη (EI) και (L_{cr}) που είναι το ισοδύναμο μήκος λυγισμού αντιστοιχούν στο συγκεκριμένο επίπεδο .

Πίνακας 6.2: Επιλογή καμπύλης λυγισμού για δεδομένη διατομή [1]()

Διατομή	Όρια	Λυγισμός περί τον άξονα	Καμπύλη λυγισμού	
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
 Ελαττές διατομές	$h/b > 1,2$	y-y z-z	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	a a ₀
			$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	b c
	$h/b \leq 1,2$	y-y z-z	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	b c
			$t_f > 100 \text{ mm}$	d c
 Συγκολλητές I-διατομές	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	b c
			$t_f > 40 \text{ mm}$	c d
 Κοίλες Διατομές	Εν θερμώ έλαση	Κάθε	a	a ₀
	Ψυχρή έλαση	Κάθε	c	c
 Συγκολλητές κίβωποειδείς διατομές	Γενικά (εκτός των κατωτέρω)	Κάθε	b	b
	Μεγάλα πάχη ραφής: $\alpha > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	Κάθε	c	c
 U-, I- και συμπλεγείς διατομές		Κάθε	c	c
 L-διατομές		Κάθε	b	b

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να γίνει αναφορά και σε δύο άλλες μορφές λυγισμού που αφορούν αξονικώς θλιβόμενα στοιχεία:

- (α) Στον στρεπτικό λυγισμό αξονικώς φορτισμένων στοιχείων, και
- (β) Στον στρεπτοκαμπτικό λυγισμό αξονικώς φορτισμένων στοιχείων.

6.2 Στρεπτοκαμπτικός λυγισμός

Ο στρεπτοκαμπτικός λυγισμός είναι μία από τις μορφές αστάθειας θλιβόμενου ή/και καμπτόμενου μέλους και το κύριο χαρακτηριστικό του είναι το γεγονός ότι μετά την εκδήλωση του οι διατομές υπόκεινται σε στροφή γύρω από το κέντρο διάτμησης και ταυτόχρονα σε μετατόπιση σε σχέση με τον αρχικά ευθύγραμμο διαμήκη άξονα. Ανάλογα με τη μορφή επιπόνησης διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις οι οποίες προβλέπονται και από τον ΕΚ3-1-1:

- a) Στρεπτοκαμπτικός λυγισμός μελών υπό καθαρή θλίψη (Torsional flexural buckling),
- b) Στρεπτοκαμπτικός ή πλευρικός λυγισμός μελών μη προστατευμένων πλευρικά υπό καθαρή κάμψη περί τον ισχυρό άξονα (Lateral torsional buckling),
- c) Στρεπτοκαμπτικός λυγισμός μελών υπό θλίψη και κάμψη (Torsional flexural buckling). Στην περίπτωση αυτή η κάμψη μπορεί να είναι είτε μονοαξονική είτε διαξονική.

6.2.1 Στρεπτοκαμπτικός λυγισμός μελών υπό καθαρή θλίψη

Ο στρεπτοκαμπτικός λυγισμός μελών υπό καθαρή θλίψη, αποτελεί συνδυασμό καμπτικού και στρεπτικού λυγισμού. Προκαλεί ταυτόχρονα μετατοπίσεις των διατομών κατά τις διευθύνσεις των κυρίων αξόνων τους, καθώς και στροφή περί το κέντρο διάτμησης. Ο λυγισμός αυτής της μορφής, αφορά ανοικτές διατομές απλής ή διπλής συμμετρίας. Όπως αποδεικνύεται, η εξίσωση από την οποία προκύπτει το κρίσιμο φορτίο στρεπτοκαμπτικού λυγισμού στοιχείων υπό καθαρή θλίψη είναι

$$(N_{cr} - N_{cr,z}) \cdot \left[i_p^2 \cdot (N_{cr} - N_{cr,y}) \cdot (N_{cr} - N_{cr,T}) - (N_{cr} \cdot y_M)^2 \right] = 0 \quad (6.8)$$

Όπου:

N_{cr} το ζητούμενο κρίσιμο φορτίο στρεπτοκαμπτικού λυγισμού (άγνωστος της εξίσωσης),

$N_{cr,y}$ το κρίσιμο φορτίο καμπτικού λυγισμού περί τον άξονα y της διατομής που θεωρείται ως ισχυρός,

$N_{cr,z}$ το κρίσιμο φορτίο καμπτικού λυγισμού περί τον άξονα z της διατομής που θεωρείται ως ασθενής,

$N_{cr,T}$ το κρίσιμο φορτίο στρεπτικού λυγισμού

y_M απόσταση του κέντρου βάρους από το κέντρο διάτμησης κατά τον ισχυρό άξονα y ,

$i_p^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_M^2$ η πολική ακτίνα αδράνειας της διατομής ως προς το κέντρο διάτμησης,

i_y^2 ακτίνα αδράνειας της διατομής για κάμψη περί τον άξονα y

i_z^2 ακτίνα αδράνειας της διατομής για κάμψη περί τον άξονα z

Για τα μεγέθη που υπεισέρχονται στην εξίσωση (6.8) ισχύουν οι κάτωθι σχέσεις:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E I_y}{L_{cr,y}^2} \quad (6.9)$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E I_z}{L_{cr,z}^2} \quad (6.10)$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_M^2} \cdot \left(G I_t + \frac{\pi^2 \cdot E I_w}{L_{cr,T}^2} \right) \quad (6.11)$$

$$i_y = \sqrt{I_y / A} \quad (6.12)$$

$$i_z = \sqrt{I_z / A} \quad (6.13)$$

Όπου το E είναι το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα, I_y και I_z οι ροπές αδράνειας για κάμψη περί τους άξονες y και z αντίστοιχα, I_w η στρεβλωτική ροπή αδράνειας, A η επιφάνεια της διατομής και $L_{cr,y}$, $L_{cr,z}$, $L_{cr,T}$ τα κρίσιμα μήκη λυγισμού για κάμψη περί τους άξονες y, z και για στρεπτικό λυγισμό.

Από τη μελέτη της εξίσωσης (6.8) προκύπτει το συμπέρασμα ότι το αριστερό της μέλος αποτελείται από ένα γινόμενο δύο όρων. Η λύση της επομένως προκύπτει είτε από το μηδενισμό του πρώτου όρου είτε από το μηδενισμό του δεύτερου.

$$(N_{cr} - N_{cr,z}) = 0 \quad \Rightarrow \quad N_{cr} = N_{cr,z}$$

$$i_p^2 \cdot (N_{cr} - N_{cr,y}) \cdot (N_{cr} - N_{cr,T}) - (N_{cr} \cdot y_M)^2 = 0 \Rightarrow \left(1 - \frac{y_M^2}{i_p^2} \right) \cdot N_{cr}^2 - (N_{cr,y} + N_{cr,T}) \cdot N_{cr} + (N_{cr,y} \cdot N_{cr,T}) = 0$$

Από το μηδενισμό του πρώτου όρου προκύπτει τιμή κρίσιμου φορτίου στρεπτοκαμπτικού λυγισμού ίση με την τιμή του κρίσιμου φορτίου καμπτικού λυγισμού για κάμψη περί τον ασθενή άξονα z της διατομής.

Από το μηδενισμό του δεύτερου όρου προκύπτει μία εξίσωση δευτέρου βαθμού από την επίλυση της οποίας προκύπτουν άλλες δύο τιμές για το κρίσιμο φορτίο στρεπτοκαμπτικού λυγισμού.

Επομένως η εξίσωση (6.8) αποδίδει τρεις τιμές για το κρίσιμο φορτίο στρεπτοκαμπτικού λυγισμού από τις οποίες προφανώς πρακτική αξία έχει η μικρότερη. Φυσικά ένα πολύ απλό συμπέρασμα που μπορεί να βγει είναι ότι στην περίπτωση που το φορτίο λυγισμού για κάμψη στην ασθενή διεύθυνση

z είναι πολύ μικρό τότε το στοιχείο αστοχεί πρώτα από καμπτικό λυγισμό και δεν κινδυνεύει πρωτίστως από στρεπτοκαμπτικό λυγισμό.

Μετά τον υπολογισμό του κρίσιμου ελαστικού φορτίου στρεπτοκαμπτικού λυγισμού ακολουθεί μία διαδικασία ελέγχου η οποία περιγράφεται στο κείμενο του ΕΚ3. Η διαδικασία αυτή συνίσταται από τα ακόλουθα βήματα:

1. Υπολογισμός της ανηγμένης λυγηρότητας στρεπτοκαμπτικού λυγισμού, από τη σχέση (ΕΚ3-1-1 § 6.3.1.4):

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 1,2,3} \quad (6.14)$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr}}} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 4}$$

Όπου A_{eff} είναι η ενεργός επιφάνεια της διατομής, και f_y η αντοχή διαρροής του χάλυβα.

2. Υπολογισμός του μειωτικού συντελεστή χ για την αντοχή του θλιβόμενου στοιχείου σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό. Για τον υπολογισμό αυτό χρησιμοποιείται η σχέση (6.49) του ΕΚ3-1-1 § 6.3.1.2:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_T^2}} \leq 1.00 \quad (6.15)$$

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_T - 0.2) + \bar{\lambda}_T^2 \right] \quad (6.16)$$

Όπου α είναι ένας συντελεστής ατελειών η τιμή του οποίου λαμβάνεται από τον πίνακα 6.1 του εδαφίου 6.3.1.2 βάσει της καμπύλης λυγισμού που επιλέγεται. Σύμφωνα με το εδάφιο 6.3.1.4(3) η κατάλληλη καμπύλη λυγισμού για στρεπτοκαμπτικό λυγισμό, θα μπορεί να λαμβάνεται από τον Πίνακα 6.2 του κανονισμού θεωρώντας την περίπτωση λυγισμού περί τον ασθενή άξονα z.

3. Υπολογισμός της αντοχής του μέλους σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό από τις σχέσεις (6.47), (6.48) του εδαφίου 6.3.1.1(3):

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 1,2,3} \quad (6.17)$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 4}$$

Οι παραπάνω αντοχές συγκρίνονται με τις αντίστοιχες αξονικές δυνάμεις σχεδιασμού και έτσι προκύπτει ο τελικός λόγος εξάντλησης που δηλώνει τον βαθμό επάρκειας ή ανεπάρκειας της εκλεγμένης διατομής του μέλους. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι για μη συμμετρικές διατομές κατηγορίας 4 θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη πάντα και μία πρόσθετη ροπή λόγω της εκκεντρότητας του κεντροβαρικού άξονα της ενεργού διατομής. Έτσι στο

εδάφιο 6.3.1.1(2) δηλώνεται ότι στην συγκεκριμένη περίπτωση θα πρέπει οι διατομές αυτές να εξετάζονται πάντα ως διατομές υπό κάμψη και αξονική δύναμη, και σύμφωνα με τις μεθόδους που περιγράφονται στις παραγράφους 6.3.3 και 6.3.4 του κανονισμού.

Αριθμητικό παράδειγμα

Να εξεταστεί η επάρκεια έναντι λυγισμού, ενός υποστυλώματος διατομής HEM100 με μήκος $L=4.5\text{m}$. Το υποστύλωμα φέρει αξονικό φορτίο $N_{Ed}=450\text{kN}$. Τα άκρα του είναι αμετάθετα. Στον πόδα είναι πακτωμένο και στις δύο διευθύνσεις ενώ στην κεφαλή είναι πακτωμένο για κάμψη περί τον ασθενή άξονα και αρθρωτό για κάμψη περί τον ισχυρό. Όσον αφορά στην συμπεριφορά των στηρίξεων του σε στρέψη το υποστύλωμα θεωρείται ότι έχει και στα δύο άκρα διχαλωτές στηρίξεις. Ο χάλυβας είναι κατηγορίας S235.

Επίλυση:

Η επίλυση του προβλήματος θα γίνει με βάση τα ακόλουθα βήματα:

1. Κατάταξη της διατομής στις κατηγορίες του ΕΚ3-1-1: Η κατάταξη αυτή γίνεται με βάση πίνακες οι οποίοι δίνουν την κατηγορία της διατομής ανάλογα με τον τύπο του χάλυβα και την μορφή της επιπόνησης (Καθαρή κάμψη/Καθαρή θλίψη). Έτσι στην παρούσα περίπτωση η διατομή HEM100, από χάλυβα κατηγορίας S235 η οποία υπόκειται σε καθαρή θλίψη, προκύπτει ότι ανήκει στην κατηγορία 1.

2. Υπολογισμός των μηκών λυγισμού: Με βάση τα δεδομένα του προβλήματος προκύπτουν τα ακόλουθα:

Κάμψη περί τον ισχυρό άξονα y: Για κάμψη περί τον ισχυρό άξονα y το υποστύλωμα είναι μονόπακτο. Επομένως: $L_{cr,y}=0.70\cdot 450=315\text{cm}$.

Κάμψη περί τον ασθενή άξονα z: Για κάμψη περί τον ασθενή άξονα z το υποστύλωμα είναι αμφίπακτο. Επομένως: $L_{cr,z}=0.50\cdot 450=225\text{cm}$.

Για στρέψη: Οι στηρίξεις του υποστυλώματος χαρακτηρίζονται ως διχαλωτές. Επομένως: $L_{cr,T}=450\text{cm}$.

3. Υπολογισμός κρίσιμων φορτίων λυγισμού:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{3.14^2 \cdot 21000 \cdot 1143}{315^2} = 2387.5\text{kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{3.14^2 \cdot 21000 \cdot 399.2}{225^2} = 1634.4\text{kN}$$

$$i_M^2 = (4.63)^2 + (2.74)^2 + 0^2 = 28.944\text{cm}^2$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_M^2} \cdot \left(G I_t + \frac{\pi^2 \cdot EI_w}{L_{cr,T}^2} \right) = \frac{1}{28.944} \cdot \left(\frac{21000}{2.6} \cdot 68.21 + \frac{3.14^2 \cdot (21000 \cdot 9925)}{450^2} \right) = 19385\text{kN}$$

4. Κατάστρωση και επίλυση της εξίσωσης (6.8):

Εισάγοντας τα δεδομένα του προβλήματος αλλά και τα μεγέθη που υπολογίστηκαν κατά τα δύο προηγούμενα βήματα, στην εξίσωση (6.8) προκύπτει:

$$N_{cr} = N_{cr,z} = 1634.4 \text{ kN}$$

$$N_{cr}^2 - (2.18 \cdot 10^4) \cdot N_{cr} + (4.62 \cdot 10^7) = 0 \Rightarrow \begin{cases} N_{cr} = 2387.5 \text{ kN} \\ N_{cr} = 19385 \text{ kN} \end{cases}$$

Παρατηρούμε ότι λόγω το γεγονός ότι $y_M=0$ (δηλαδή το κέντρο βάρους και το κέντρο διάτμησης της διατομής ταυτίζονται) οι τρεις λύσεις της εξίσωσης (6.8) είναι τα ελαστικά φορτία λυγισμού λόγω κάμψης κατά τον ισχυρό και τον ασθενή άξονα της διατομής, καθώς και το ελαστικό φορτίο στρεπτικού λυγισμού. Από τα τρία αυτά φορτία λυγισμού, το μικρότερο είναι αυτό που αντιστοιχεί σε κάμψη περί τον ασθενή άξονα της διατομής. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι το θλιβόμενο στοιχείο κινδυνεύει πρωτίστως από λυγισμό για κάμψη περί τον ασθενή άξονα. Επομένως οι περαιτέρω υπολογισμοί θα γίνουν με $N_{cr}=N_{cr,z}=1634.4 \text{ kN}$.

5. Υπολογισμός της ανηγμένης λυγηρότητας στρεπτοκαμπτικού λυγισμού:

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{53.24 \cdot 23.5}{1634.4}} = 0.875$$

6. Υπολογισμός του μειωτικού συντελεστή χ για την αντοχή σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό:

Θα πρέπει αρχικά να επιλεγεί η κατάλληλη καμπύλη λυγισμού με βάση τον Πίνακα 6.2 του ΕΚ3-1-1. Για τη διατομή HEM100 ισχύουν: $h/b=120/106=1.13 < 1.2$ και $t_f=20 < 100 \text{ mm}$. Έτσι με βάση τον πίνακα 6.2 προκύπτει (για λυγισμό περί τον ασθενή άξονα z σύμφωνα με το εδάφιο 6.3.1.4(3)) ότι η κατάλληλη καμπύλη λυγισμού είναι η καμπύλη c. Για την συγκεκριμένη καμπύλη – σύμφωνα με τον Πίνακα 6.1 – η τιμή του συντελεστή ατελειών α είναι 0.49. Έτσι:

$$\Phi = 0.5 \cdot [1 + 0.49 \cdot (0.875 - 0.2) + 0.875^2] = 1.048$$

$$\chi = \frac{1}{1.048 + \sqrt{1.048^2 - 0.875^2}} = 0.615$$

7. Υπολογισμός της αντοχής του μέλους σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.615 \cdot 53.24 \cdot 23.5}{1.0} = 770 \text{ kN}$$

8. Υπολογισμός του λόγου εξάντλησης της αντοχής του μέλους:

$$CR = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{400}{770} = 0.52 \quad (\text{Επαρκής διατομή})$$

7. Βιβλιογραφία

- [1] EN 1993-1-1 (2005): Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- [2] EN 1993-1-3 (2006): Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold-formed members and sheeting, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- [3] EN 1993-1-3 (2006): Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold-formed members and sheeting, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- [4] EN 1993-1-5 (2006): Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-5: General rules – Plated structural elements, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- [5] EN 1993-1-8 (2005): Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- [6] Ι. Κ. Βάγιας, Ι. Χ. Ερμόπουλος και Γ. Ι. Ιωαννίδης, Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα με παραδείγματα εφαρμογής, Εκδόσεις Κλειδάριθμος 2013
- [7] Χ. Κ. Μπανιωτόπουλος, Κατασκευές από χάλυβα – Αρχές σχεδιασμού στο πλαίσιο του Ευρωκώδικα 3, Εκδόσεις Ζήτη 2009
- [8] Greiner R, Lechner A, Kettler M, Jaspart JP, Weynand K, Ziller C, Oerder R, Herbrand M, Simões da Silva L and Dehan V., Design guidelines for cross-section and member design according to Eurocode 3 with particular focus on semicompact sections, Valorisation Project SEMICOMP+: “Valorisation action of plastic member capacity of semicompact steel sections – a more economic approach”, RFS2CT201000023, Brussels 2011
- [9] Gardner L, Nethercot DA, Designers’ Guide to EN 1993-1-1, Eurocode 3: Design of steel structures – General rules and rules for buildings, Thomas Telford, SCI 2005
- [10] Kindmann R., Kraus M., Steel Structures: Design using FEM, Ernst & Sohn, 2011
- [11] Kindmann R. Frickel J., Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit, Grundlagen, Methoden, Berechnungsverfahren, Beispiele, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2002

ΡΑΦ

ΠΟΛΥΜΕΛΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ

ΟΔΗΓΟΣ ΧΡΗΣΗΣ

8. Οδηγός Χρήσης

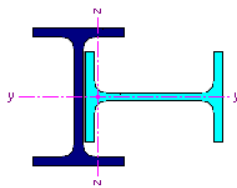
8.1 Κατηγορίες πολυμελών μεταλλικών διατομών στο ΡΑΦ

Στο ΡΑΦ έχουν εισαχθεί οι παρακάτω τύποι πολυμελών μεταλλικών διατομών οι οποίοι προκύπτουν από σύνθεση επιμέρους τυπικών ή/και κομματιών τυπικών διατομών. Ο εμπλουτισμός της βιβλιοθήκης του ΡΑΦ με αυτές τις διατομές, δίνει στο μελετητή μηχανικό νέες δυνατότητες στη μόρφωση μεταλλικών και σύμμεικτων κτηρίων.

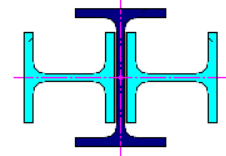
Η παρουσίαση παρακάτω θα βασιστεί στην συνηθέστερη χρήση ως δομικό μέλος του κάθε τύπου διατομής (υποστυλώμα, δοκός, σύνδεσμος). Η ονοματολογία των διατομών είναι αυτή που έχει ακολουθηθεί και στην επιφάνεια εργασίας του ΡΑΦ ώστε η αντιστοίχιση να είναι άμεση.

8.1.1 Πολυμελείς μεταλλικές διατομές υποστυλωμάτων

- **Διατομές I:** Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται διατομές που προκύπτουν από σύνθεση δύο ή τριών διατομών μορφής διπλού Ταυ.

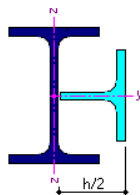


I + 1 x I κάθετα

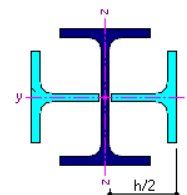


I + 2 x I κάθετα

- **Διατομές I + 1/2 I:** Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται διατομές που προκύπτουν από σύνθεση μίας κύριας διατομής διπλού T και ενός ή δύο μισών διατομών διπλού T.



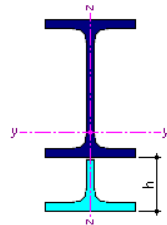
I + 1 x 1/2 I κάθετα



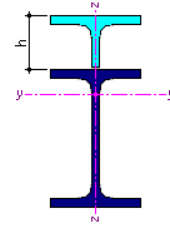
I + 2 x 1/2 I κάθετα

8.1.2 Πολυμελείς μεταλλικές διατομές δοκών

- **Διατομές $I + \frac{1}{2} I$:** Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται διατομές που προκύπτουν από σύνθεση μίας κύριας διατομής διπλού T και ενός ή δύο μισών διατομών διπλού T. Οι συγκεκριμένες διατομές συνήθως βρίσκουν εφαρμογή σε ακραίους κόμβους ή στον κορφιά πλαισίων για ενίσχυση της συγκεκριμένης περιοχής του ζυγώματος.

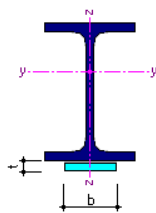


$I + \frac{1}{2} I$ κάτω

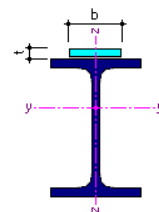


$I + \frac{1}{2} I$ πάνω

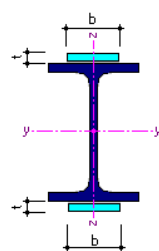
- **Διατομές $I +$ λεπίδες πέλματος:** Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται διατομές που προκύπτουν από ενίσχυση μιας διατομής διπλού T προσθέτοντας ενισχυτικά ελάσματα είτε στο ένα είτε και στα δύο πέλματα της.



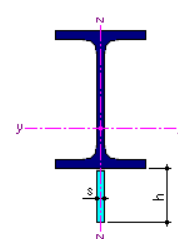
$I +$ λεπίδα πέλματος κάτω



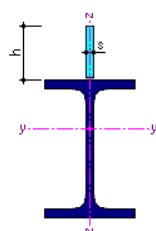
$I +$ λεπίδα πέλματος πάνω



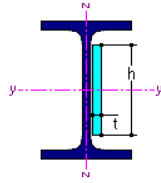
$I +$ λεπίδα πέλματος πανω-κάτω $I +$ λεπίδα πέλματος κάτω κάθετα



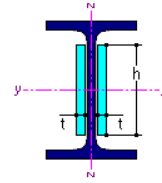
$I +$ λεπίδα πέλματος πάνω κάθετα



- **Διατομές I + λεπίδες κορμού:** Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται διατομές που προκύπτουν από ενίσχυση μιας διατομής διπλού T προσθέτοντας ενισχυτικά ελάσματα στον κορμό της. Ο συγκεκριμένος τύπος διατομής χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις ενίσχυσης έναντι διάτμησης.

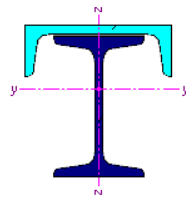


I + λεπίδα κορμού

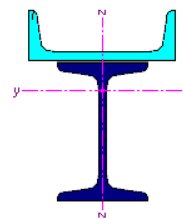


I + 2 λεπίδες κορμού

- **Διατομές I + U:** Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται διατομές που προκύπτουν από σύνθεση μιας κύριας διατομής διπλού T και μιας διατομής U.



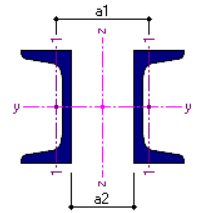
I + Ua



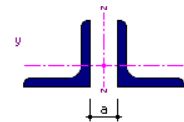
I + Ub

8.1.3 Πολυμελείς μεταλλικές διατομές συνδέσμων

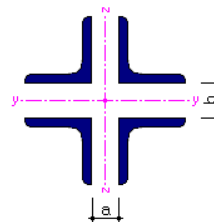
- **Διμελείς U:** Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται διατομές που προκύπτουν από σύνθεση δύο διατομών U.



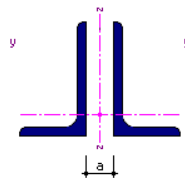
- **Διμελείς L:** Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται διατομές που προκύπτουν από σύνθεση δύο ισοσκελών γωνιακών διατομών.



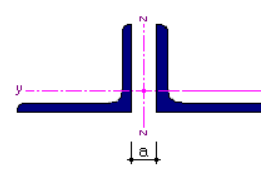
- **Τετραμελείς L:** Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται διατομές που προκύπτουν από σύνθεση τεσσάρων ισοσκελών γωνιακών διατομών.



Διμελείς Lu: Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται διατομές που προκύπτουν από σύνθεση δύο ανισοσκελών γωνιακών διατομών.



2 x Lu_a

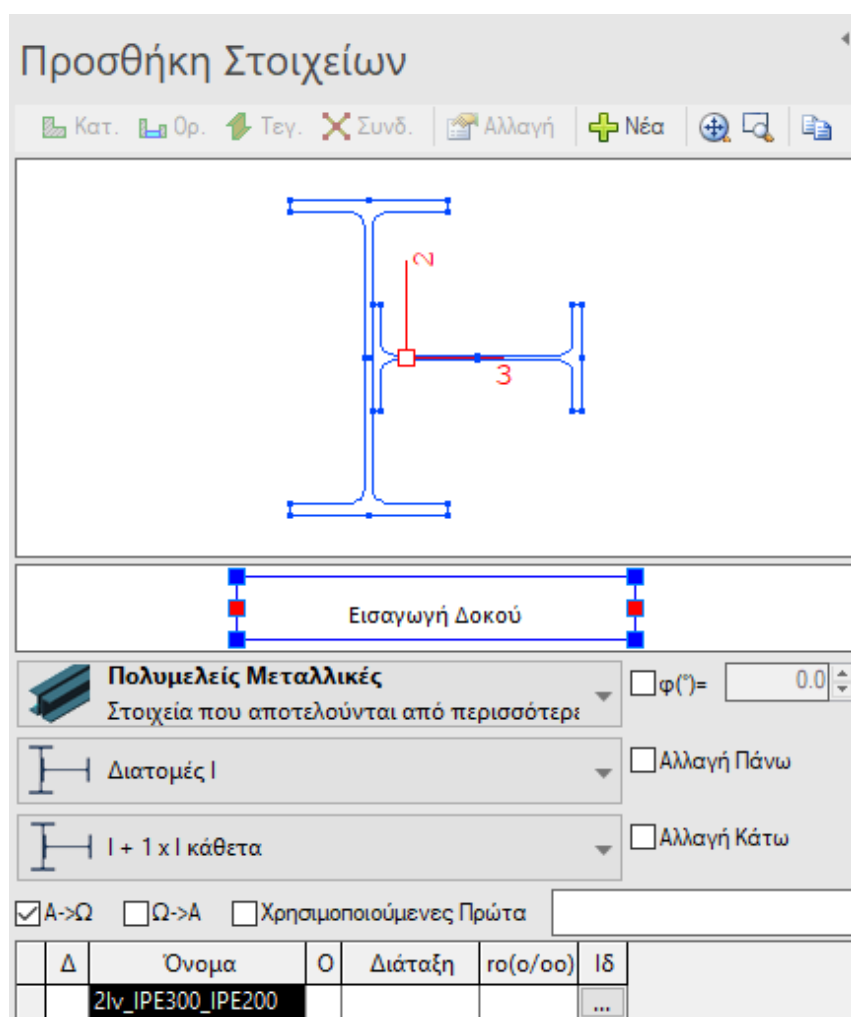


2 x Lu_b

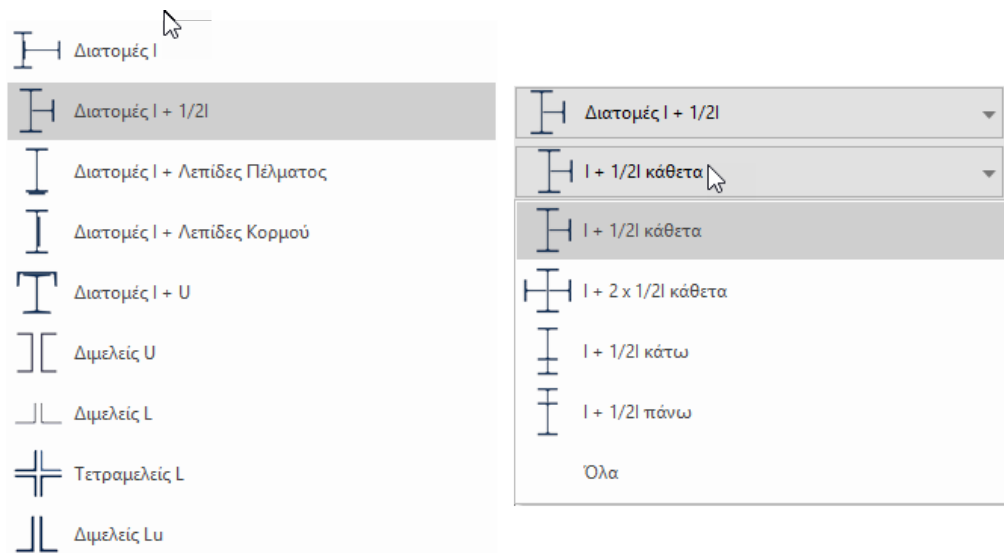
8.2 Διάλογος δημιουργίας νέας πολυμελούς μεταλλικής διατομής

Για τη δημιουργία πολυμελών διατομών δημιουργήθηκε στο ΡΑΦ ένας νέος διάλογος μέσω του οποίου ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει νέες διατομές για τις κατηγορίες που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Ο διάλογος είναι κοινός για όλους τους τύπους των διατομών κάνοντας τον εξαιρετικά απλό στη χρήση του.

Οι πολυμελείς διατομές έχουν προστεθεί στον κατάλογο των διατομών του ΡΑΦ στην «Πινακίδα Δεδομένων» στο φύλλο *Προσθήκη Στοιχείων* (Εικ. 1). Η κατηγοριοποίηση των διατομών γίνεται σε δύο επίπεδα ακολουθώντας τη λογική που παρουσιάστηκε προηγουμένως. Ενδεικτικά παρουσιάζεται η κατηγορία «Διατομές I + ½ I» και η λίστα των διατομών που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία (Εικ. 2).



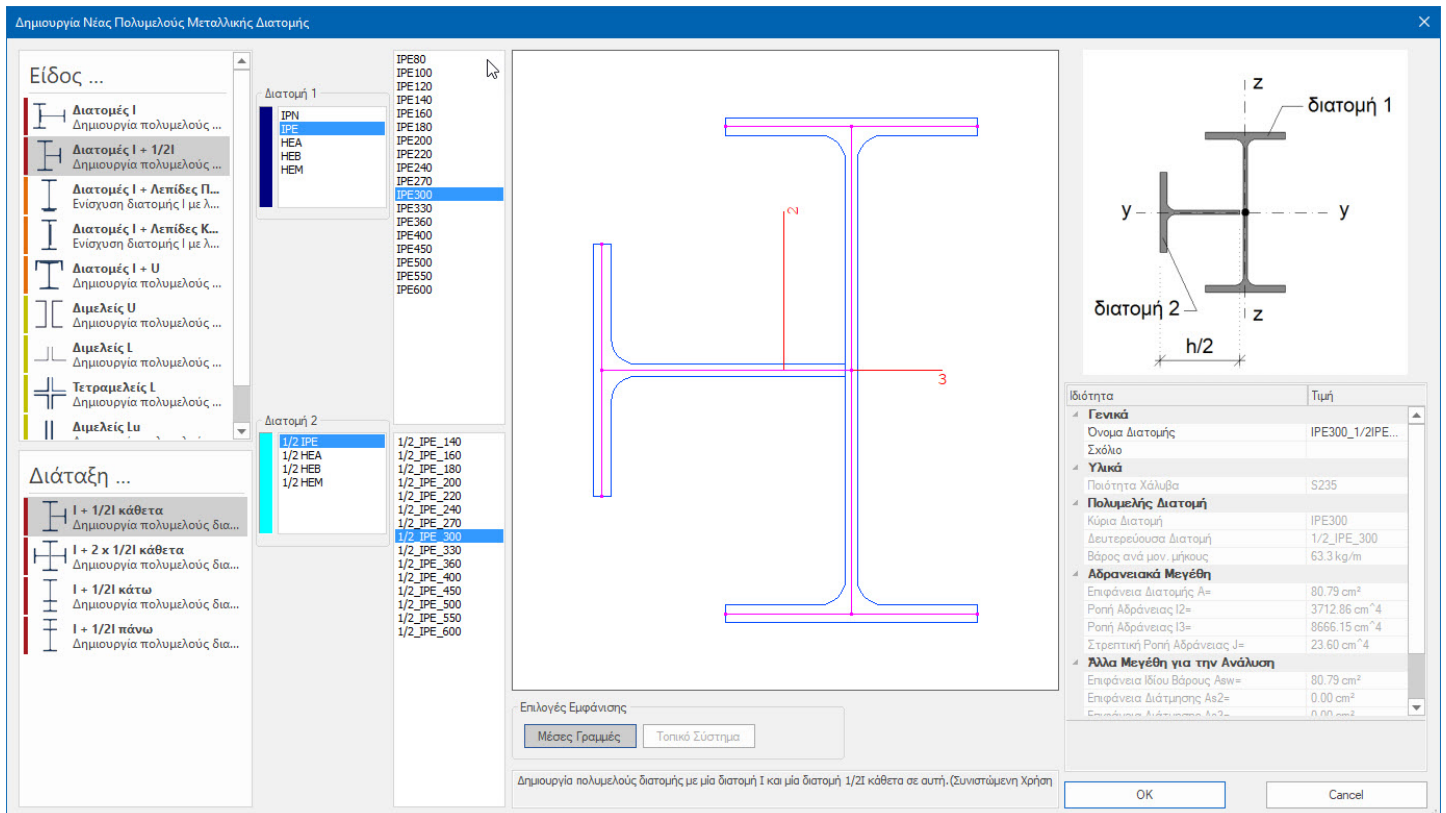
Εικ. 1: Λίστα με τις κατηγορίες των πολυμελών διατομών στο φύλλο «Προσθήκη Στοιχείων»



Εικ. 2: Κατηγορίες πολυμελών μεταλλικών διατομών (αριστερά) και διατομές κατηγορίας $I + \frac{1}{2} I$ (δεξιά)

Στη συνέχεια θα ακολουθήσει η παρουσίαση του διαλόγου δημιουργίας νέας πολυμελούς διατομής (Εικ. 3).

Για τη δημιουργία νέας πολυμελούς μεταλλικής διατομής επιλέγουμε **Πολυμελείς Μεταλλικές** και πατάμε το πλήκτρο [Νέα] **Νέα** ώστε να ανοίξει ο διάλογος δημιουργίας νέας διατομής.

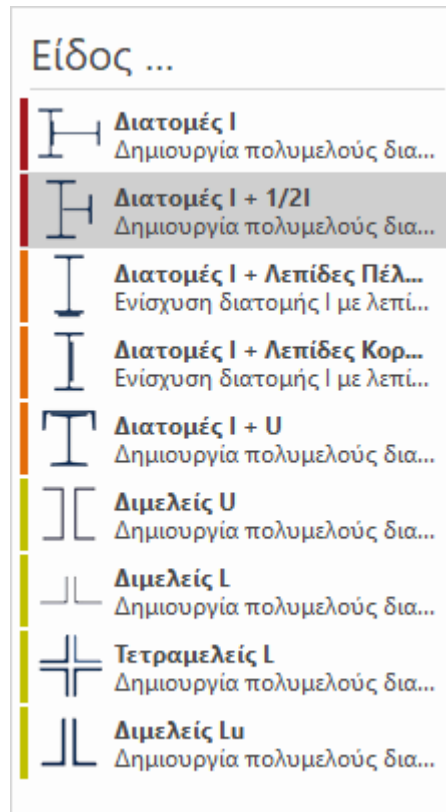


Εικ. 3: Διάλογος «Δημιουργία Νέας Πολυμελούς Μεταλλικής Διατομής»

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

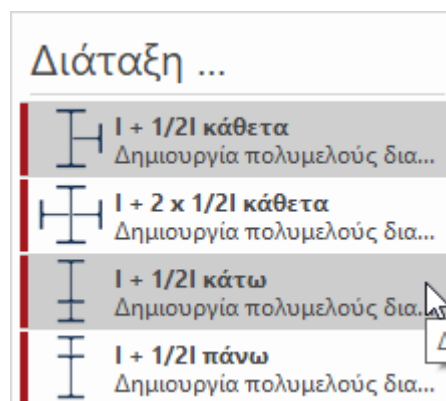
- **Επιλογή είδους διατομής**

Με βάση τα όσα έχουν αναπτυχθεί παραπάνω επιλέγεται το είδος της νέας διατομής που θα δημιουργηθεί. Το χρώμα που υπάρχει δίπλα από την εικόνα της κάθε κατηγορίας σχετίζεται με τη συνιστώμενη χρήση του κάθε είδους διατομής. Συγκεκριμένα το κόκκινο χρώμα αφορά διατομές που χρησιμοποιούνται κυρίως ως υποστυλώματα, το πορτοκαλί χρώμα διατομές που χρησιμοποιούνται κυρίως ως δοκοί και το πράσινο χρώμα διατομές που χρησιμοποιούνται κυρίως ως συνδέσμους.



- **Επιλογή διάταξης διατομής**

Στη συνέχεια επιλέγεται η διάταξη της διατομής η οποία σχετίζεται με την κατηγορία που έχουμε επιλέξει στο προηγούμενο βήμα. Κάθε κατηγορία διατομών έχει συγκεκριμένες διατάξεις, οι οποί

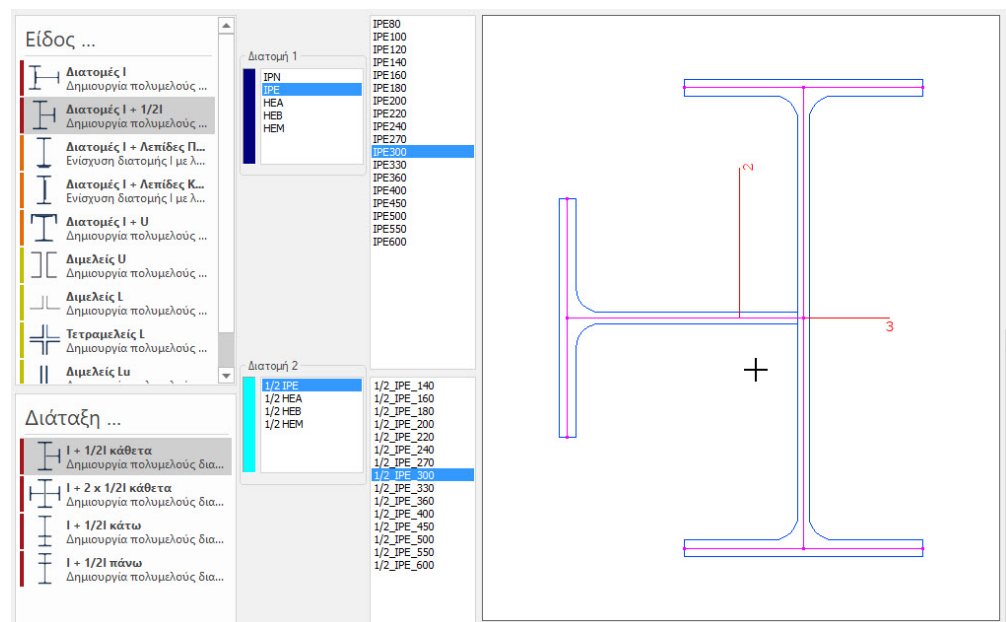
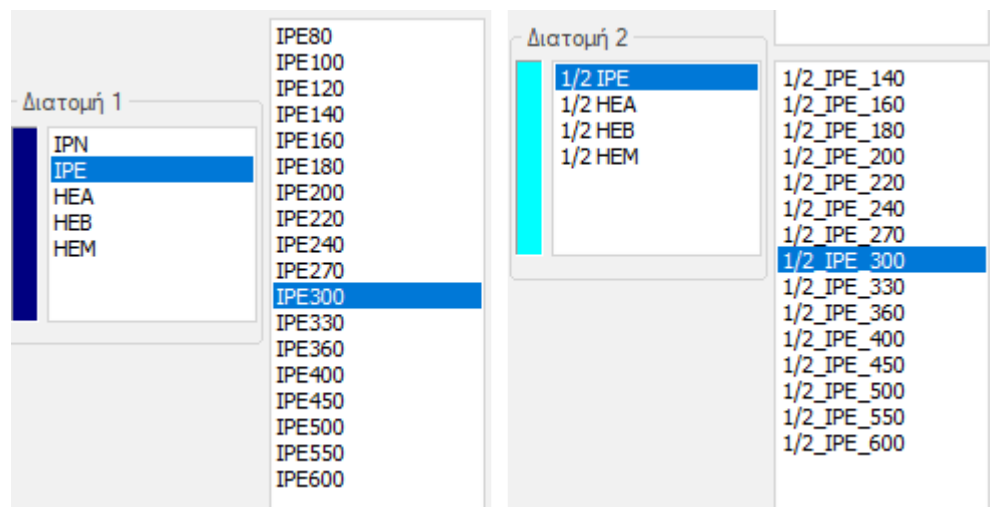




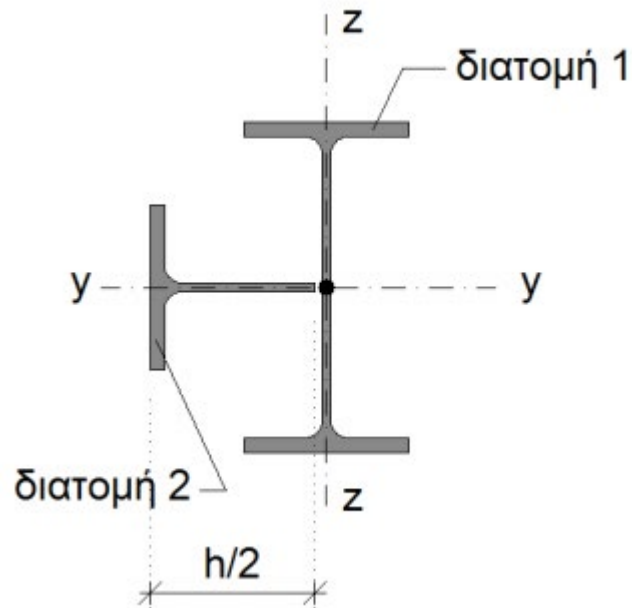
Σε αυτό το σημείο επισημαίνουμε ότι εφόσον είχαμε επιλέξει ένα συγκεκριμένο τύπο διατομής (π.χ. I + λεπίδα πέλματος κάτω) τότε ο διάλογος θα είχε ανοίξει έτοιμος για τη δημιουργία αυτής της συγκεκριμένης διατομής χωρίς να χρειαστεί να γίνει η επιλογή «Είδος» και «Διάταξη» στον διάλογο.

- **Επιλογή επιμέρους διατομών**

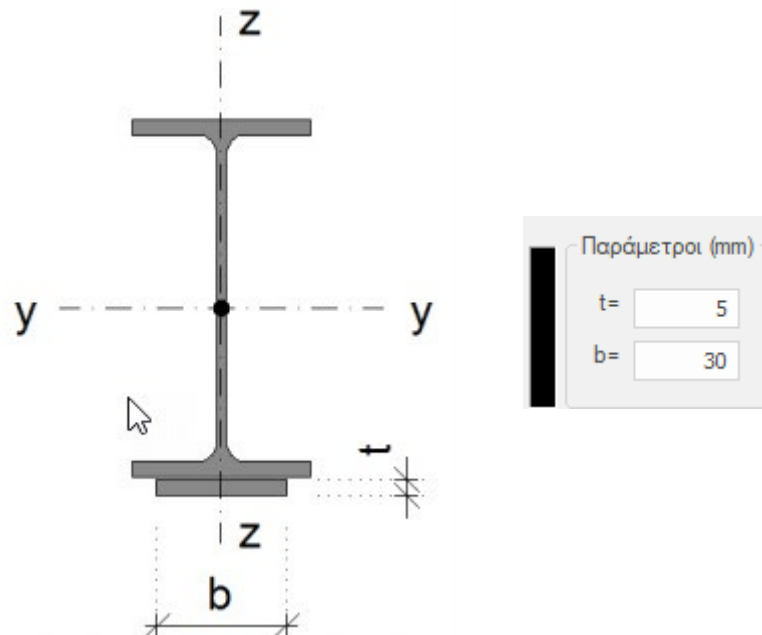
Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή των επιμέρους διατομών που συνθέτουν την ενιαία πολυμελή διατομή. Αυτό γίνεται από τις λίστες που υπάρχουν στο διάλογο και γεμίζουν ανάλογα με το είδος και τη διάταξη που έχει επιλεγεί προηγουμένως. Η λίστα των συμβατών διατομών για τη 2^η διατομή λαμβάνει υπόψη και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της 1^{ης} διατομής ώστε η τελική διατομή που θα προκύψει να μπορεί να κατασκευαστεί και στην πράξη.



Το σχήμα που υπάρχει στην πάνω δεξιά γωνία του παραθύρου μας δίνει τις απαραίτητες πληροφορίες για τη διατομή που πρόκειται να δημιουργηθεί.



Αν η πολυμελής διατομή αποτελείται από μία διατομή και ενισχυτικά ελάσματα τότε στο διάλογο εμφανίζονται τα απαιτούμενα πεδία για την εισαγωγή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των ενισχυτικών ελασμάτων. Π.χ., παρακάτω βλέπουμε τις παραμέτρους που απαιτούνται για την προσθήκη ενισχυτικής λεπίδας στο κάτω πέλμα διατομής διπλού T.



- **Επιλογή ποιότητας χάλυβα και παρουσίαση αδρανειακών χαρακτηριστικών**

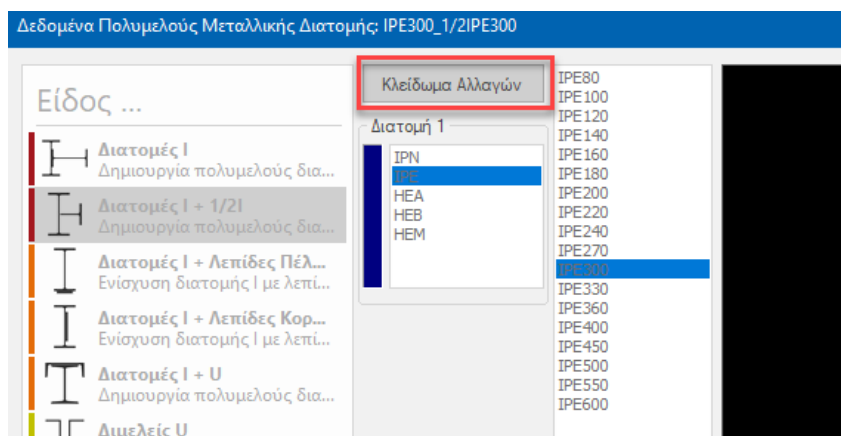
Τέλος, πριν την οριστική δημιουργία της διατομής επιλέγεται η ποιότητα του χάλυβα της διατομής από τη λίστα με τις ιδιότητες της. Στη συγκεκριμένη λίστα ο μηχανικός μπορεί να δει και τα αδρανειακά χαρακτηριστικά της πολυμελούς διατομής.

Ιδιότητα	Τιμή
Γενικά	
Όνομα Διατομής	IPE300_1/2IPE300
Σχόλιο	
Υλικά	
Ποιότητα Χάλυβα	S235
Αδρανειακά Μεγέθη	
Επιφάνεια Διατομής A=	80.79 cm ²
Ροπή Αδράνειας I2=	3712.86 cm ⁴
Ροπή Αδράνειας I3=	8666.15 cm ⁴
Στρεπτική Ροπή Αδράνειας J=	87.16 cm ⁴
Άλλα Μεγέθη για την Ανάλυση	
Επιφάνεια Ιδίου Βάρους Asw=	80.79 cm ²
Επιφάνεια Διάτμησης As2=	0.00 cm ²
Επιφάνεια Διάτμησης As3=	0.00 cm ²

Ολοκληρώνοντας τα παραπάνω βήματα και πατώντας το πλήκτρο [OK] η διατομή έχει δημιουργηθεί και βρίσκεται διαθέσιμη στην αντίστοιχη λίστα ώστε να εισαχθεί στο προσομοίωμα.

8.3 Τροποποίηση υπάρχουσας πολυμελούς διατομής

Η τροποποίηση υπάρχουσας διατομής γίνεται κάνοντας χρήση του ίδιου διαλόγου με μόνη διαφοροποίηση ότι όταν ανοίγει ο διάλογος για επεξεργασία υπάρχουσας διατομής για να ενεργοποιηθεί αυτή η δυνατότητα θα πρέπει ο χρήστης να πατήσει το πλήκτρο [Κλειδίωμα Αλλαγών] ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία της διατομής.

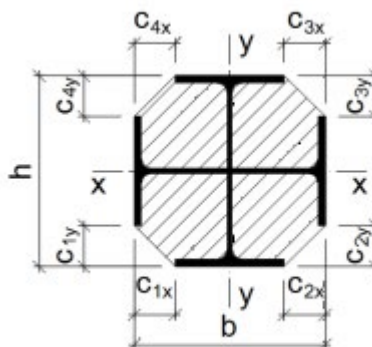


8.4 Σύμμεικτες διατομές σκυροδέματος με πολυμελείς μεταλλικές

Στο ΡΑΦ δίνεται η δυνατότητα οι πολυμελείς μεταλλικές διατομές να χρησιμοποιηθούν και στη δημιουργία σύμμεικτων διατομών τόσο υποστυλωμάτων όσο και δοκών. Για το σκοπό αυτό έχουν δημιουργηθεί νέοι τύποι διατομών σύμμεικτων υποστυλωμάτων, αλλά έχουν τροποποιηθεί και εμπλουτιστεί και οι διάλογοι δημιουργίας σύμμεικτων διατομών ώστε να δίνεται η δυνατότητα επιλογής και πολυμελών διατομών. Στις επόμενες παραγράφους θα παρουσιαστούν αυτές οι δυνατότητες στην επιφάνεια εργασίας του ΡΑΦ.

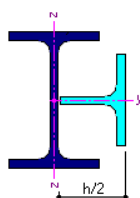
8.4.1 Σύμμεικτες διατομές υποστυλωμάτων με πολυμελείς μεταλλικές

Πέρα από τον εμπλουτισμό των υφιστάμενων σύμμεικτων διατομών των υποστυλωμάτων με τη δυνατότητα χρήσης πολυμελών μεταλλικών διατομών, δημιουργήθηκε και μία νέα διατομή υποστυλώματος με λοξότμηση στα άκρα η οποία συναντάται συχνά σε πρακτικές εφαρμογές (Εικ. 4).

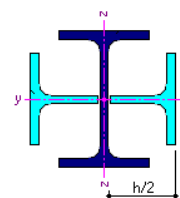


Εικ. 4: Σύμμεικτο υποστυλῶμα με λοξότμηση στα άκρα και πολυμελή μεταλλική διατομή

Στα σύμμεικτα υποστυλώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα παρακάτω είδη πολυμελών διατομών τα οποία θεωρούνται ότι συναντώνται τις περισσότερες περιπτώσεις σε πρακτικές εφαρμογές.



$I + 1 \times \frac{1}{2} I$ κάθετα



$I + 2 \times \frac{1}{2} I$ κάθετα



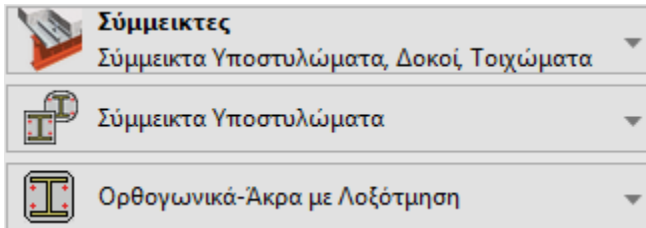
Οι συγκεκριμένες διατομές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ορθογωνικά, ορθογωνικά με καμπύλα άκρα, ορθογωνικά με λοξότμηση στα άκρα και κυκλικά σύμμεικτα υποστυλώματα.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί η διαδικασία δημιουργίας νέου ορθογωνικού σύμμεικτου υποστυλώματος με λοξότμηση στα άκρα μέσω του αντίστοιχου διαλόγου.



Η δημιουργία των υπόλοιπων σύμμεικτων διατομών υποστυλωμάτων ακολουθεί την ίδια διαδικασία και περισσότερα στοιχεία μπορεί να αναζητήσει ο χρήστης στο αντίστοιχο εγχειρίδιο της υπομονάδας «Σύμμεικτα Κτήρια» (https://tol.com.gr/docsManager.php?doc_id=4)

8.4.1.1 Δημιουργία νέου σύμμεικτου υποστυλώματος με λοξότμηση άκρων



Επιλέγοντας το πλήκτρο [Σύμμεικτα] από το φύλλο [Εισαγωγή] εμφανίζονται στην «Πινακίδα Δεδομένων» οι επιλογές για την εισαγωγή των γραμμικών στοιχείων στο φύλλο *Προσθήκη Στοιχείων*. Για την δημιουργία ορθογωνικής σύμμεικτης διατομής με λοξότμηση στα άκρα επιλέγουμε *Σύμμεικτες* → *Σύμμεικτα*

Υποστυλώματα → *Ορθογωνικά-Άκρα με Λοξότμηση* και πατάμε το πλήκτρο [Νέα].

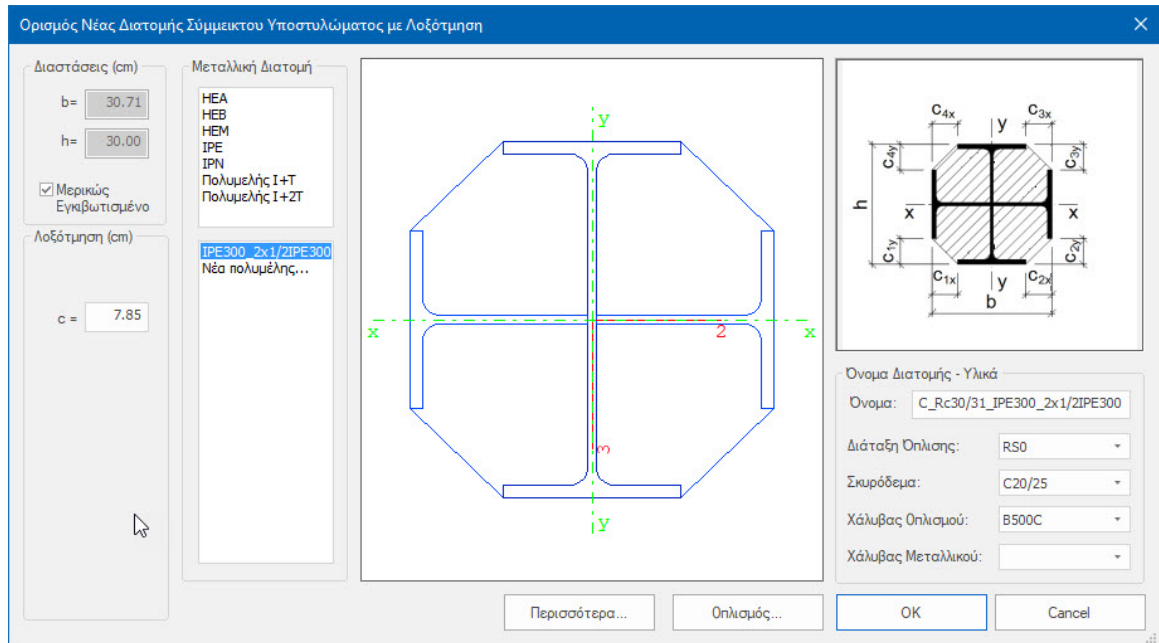
Με αυτό τον τρόπο εμφανίζεται το παράθυρο «Ορισμός Νέας Διατομής Σύμμεικτου Υποστυλώματος με Λοξότμηση» (Εικ. 5). Η γεωμετρία της συγκεκριμένης διατομής περιλαμβάνει τις εξής διαστάσεις:

- **Πλάτος b:** το πλάτος της διατομής σε εκατοστά (cm)
- **Ύψος h:** το ύψος της διατομής σε εκατοστά (cm)

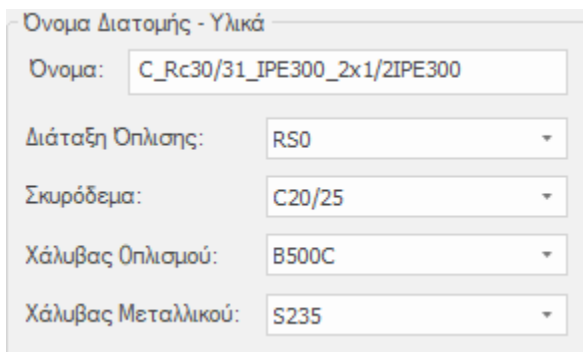
Η επιλογή «*Μερικώς Εγκλιβωτισμένο*» προσαρμόζει αυτόματα τις διαστάσεις της διατομής σκυροδέματος σε αυτές της μεταλλικής διατομής καθώς επίσης και το μέγεθος της λοξότμησης. Αυτή η επιλογή είναι και η συνηθέστερη. Σε άλλη περίπτωση μπορεί ο χρήστης να δώσει τόσο τις διαστάσεις της διατομής σκυροδέματος όσο και το μέγεθος της λοξότμησης των άκρων.

Η μεταλλική διατομή είτε ελατή είτε πολυμελής επιλέγεται από την αντίστοιχη λίστα των διατομών. Στη δεύτερη λίστα εμφανίζονται οι διατομές που αντιστοιχούν στο είδος της διατομής που έχουμε επιλέξει στην πρώτη λίστα. Ειδικότερα για τις πολυμελείς διατομές δίνεται η δυνατότητα εφόσον η διατομή δεν έχει δημιουργηθεί πριν τη δημιουργία της σύμμεικτης διατομής να δημιουργηθεί κάνοντας διπλό κλικ στην καταχώρηση [Νέα πολυμελής...].

Αυτή η ενέργεια θα ανοίξει το διάλογο δημιουργίας νέας πολυμελούς διατομής μέσω του οποίου ακολουθώντας τη διαδικασία που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο δημιουργείται νέα πολυμελής διατομή η οποία θα χρησιμοποιηθεί στη διατομή σύμμεικτου υποστυλώματος.



Εικ. 5: Διάλογος Ορισμού Νέας Διατομής Σύμμεικτου Υποστυλώματος με Λοξότμηση

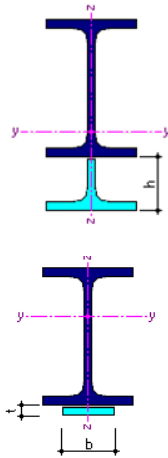


Η ποιότητα του σκυροδέματος, η ποιότητα του χάλυβα του οπλισμού καθώς επίσης και η ποιότητα του δομικού χάλυβα της μεταλλικής διατομής επιλέγονται από τις αντίστοιχες λίστες οι οποίες περιλαμβάνουν τα αντίστοιχα υλικά της βιβλιοθήκης του ΡΑΦ. Σε αυτά ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προσθέσει τα δικά του χωρίς κάποιον περιορισμό.

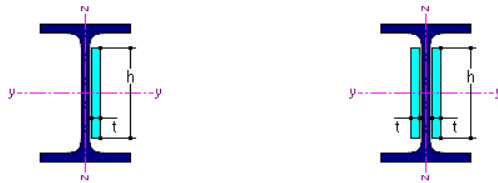
Υπάρχει επίσης η δυνατότητα να επιλεγεί η διάταξη όπλισης η οποία εμφανίζεται στην οθόνη ώστε ο χρήστης να γνωρίζει ποια διάταξη όπλισης αφορούν οι εκάστοτε επιλογές που σχετίζονται με αυτή (π.χ. χάλυβας οπλισμού).

8.4.2 Σύμμεικτες διατομές δοκών με πολυμελείς μεταλλικές

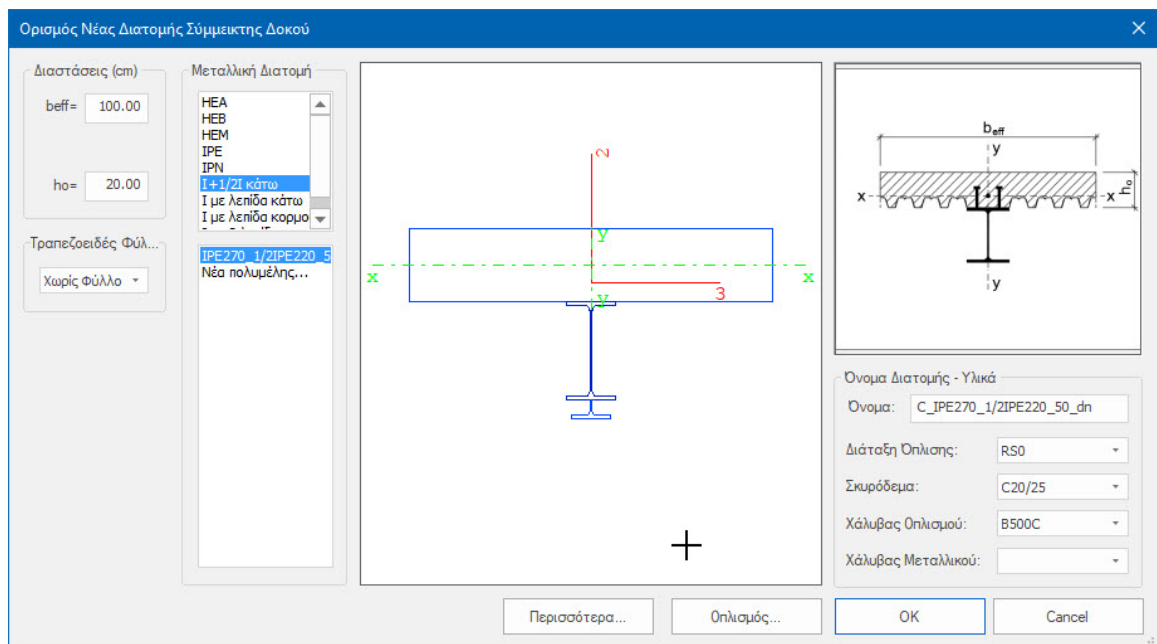
Για τις σύμμεικτες δοκούς δίνεται η δυνατότητα χρήσης των παρακάτω πολυμελών μεταλλικών διατομών.



- **I + ½ I κάτω** (για την ενίσχυση σύμμεικτων δοκών έναντι κάμψης). Η ενίσχυση μπορεί να γίνεται μόνο σε συγκεκριμένο ποσοστό μήκους της δοκού για περαιτέρω οικονομία. Αυτό γίνεται μέσω της διαίρεσης και αλλαγής διατομής της δοκού στο συγκεκριμένο τμήμα που απαιτείται.
- **I + λεπίδα πέλματος κάτω** (για την ενίσχυση σύμμεικτων δοκών έναντι κάμψης). Η ενίσχυση μπορεί να γίνεται μόνο σε συγκεκριμένο ποσοστό μήκους της δοκού για περαιτέρω οικονομία. Αυτό γίνεται μέσω της διαίρεσης και αλλαγής διατομής της δοκού στο συγκεκριμένο τμήμα που απαιτείται.
- **I + λεπίδα κορμού ή I + 2 λεπίδες κορμού** (για την ενίσχυση του κορμού σύμμεικτων διατομών έναντι διάτμησης)



Ο διάλογος δημιουργίας νέας διατομής σύμμεικτης δοκού μετά την προσθήκη των πολυμελών μεταλλικών διατομών παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα (Εικ. 6).



Εικ. 6: Διάλογος Ορισμού Νέας Διατομής Σύμμεικτης Δοκού

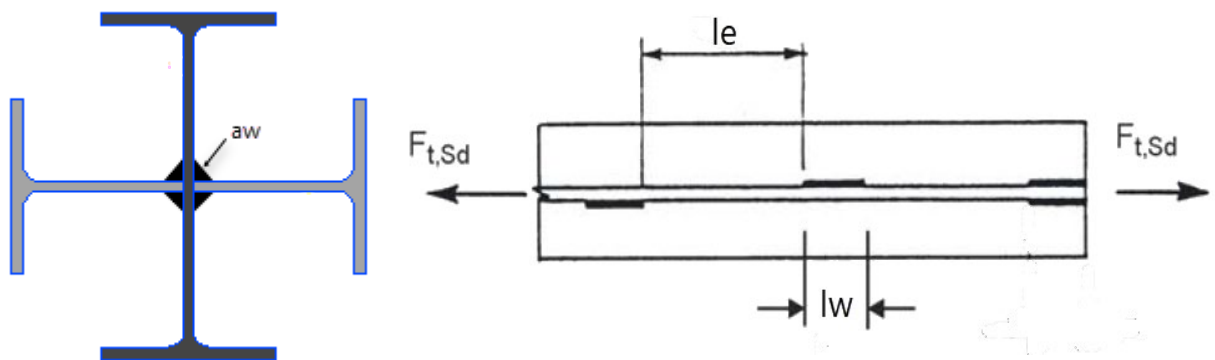


Η διαδικασία δημιουργίας των σύμμεικτων διατομών δοκών καθώς και περισσότερα στοιχεία για αυτές τις διατομές μπορεί να αναζητήσει ο χρήστης στο αντίστοιχο εγχειρίδιο της υπομονάδας «Σύμμεικτα Κτήρια» (https://tol.com.gr/docsManager.php?doc_id=4)

8.5 Έλεγχος επάρκειας συγκόλλησης πολυμελούς διατομής

Για τον έλεγχο επάρκειας της συγκόλλησης πολυμελών διατομών ο μηχανικός επιλέγοντας ένα στοιχείο δίνει τα δεδομένα της συγκόλλησης όπως φαίνονται στην παρακάτω εικόνα. Για τις ελάχιστες διαστάσεις του μήκους της συγκόλλησης αλλά και την μέγιστη απόσταση μεταξύ των τμημάτων της συγκόλλησης, ο μηχανικός πρέπει να ανατρέξει στην παράγραφο 4.3.2.2 του EN 1993-1-8 ([5]).

Συγκόλληση Πολυμελούς Διατομής	
Ακτίνα Εξωραφής a_w =	5.00 mm
Μήκος τμ. συγκολ. l_w =	100.00 mm
Απόσταση μεταξύ τμ. συγκολ. l_e =	100.00 mm



Ο έλεγχος επάρκειας πραγματοποιείται σύμφωνα με τη μέθοδο των συνιστωσών (§ 4.5.3.2, [5]) και το αποτέλεσμα του εμφανίζεται στο συνοπτικό κείμενο αποτελεσμάτων για το συγκεκριμένο μέλος (Εικ. 7).

```

+. Έλεγχος Επάρκειας Συγκόλλησης Πολυμελούς Διατομής (EN 1993-1-8, § 4.3.2.2 & 4.5.3.2)

Ακτίνα εξωραφής                : a_w = 5.00 mm
Μήκος τμήματος συγκόλλησης     : l_w = 100.00 mm
Απόσταση μεταξύ τμημάτων συγκόλλησης: l_e = 100.00 mm

Δύναμη Διεπιφάνειας FEd = 632.15 kN
Μήκος Ανάπτυξης Δύναμης L = 1500.00 mm

Διατμητική τάση συγκόλλησης: tau|| = FEd / (2 * a_w * L) * [(l_w + l_e) / l_w] = 84.29 N/mm2 [EN 1993-1-8 § 4.9(7)]
Αντοχή συγκόλλησης           : f_w,Rd = f_u / (beta * gamma_M2) = 360.00 N/mm2 [EN 1993-1-8, Eq. 4.1]

Τάση Von Mises: sigma_VM = sqrt(sigma_t^2 + 3 * (tau_t^2 + tau||^2)) = 145.99 N/mm2

CR_w = sigma_VM / f_w,Rd = 145.99 / 360.00 = 0.41 ✓
    
```

Εικ. 7: Αποτελέσματα ελέγχου επάρκειας συγκόλλησης πολυμελούς διατομής

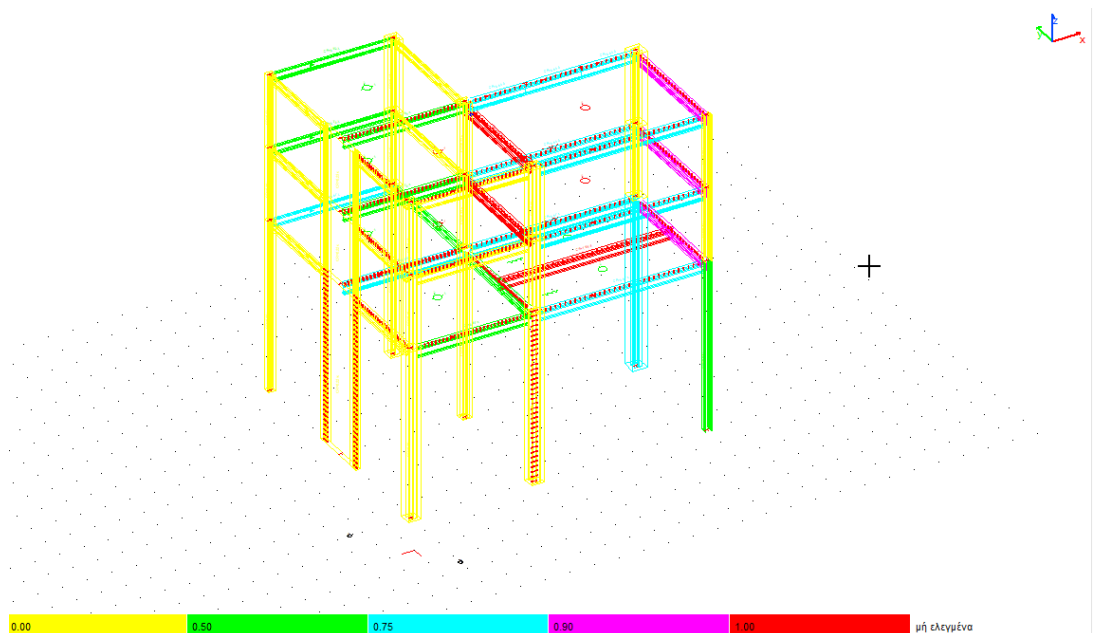
8.6 Πραγματοποίηση ελέγχου επάρκειας

Ο έλεγχος επάρκειας τόσο των μεταλλικών όσο και των σύμμεικτων πολυμελών διατομών ακολουθεί τις προδιαγραφές και τις διατάξεις μεταλλικών και σύμμεικτων διατομών. Οι αντίστοιχες αναφορές υπάρχουν στα εγχειρίδια των υπομονάδων «Μεταλλικά Κτήρια» και «Σύμμεικτα Κτήρια» τα οποία βρίσκονται αναρτημένα στην ιστοσελίδα του ΤΟΛ στην ενότητα Έντυπο Υλικό (<https://tol.com.gr/raf/documentation/docs.php>). Σε αυτό το σημείο δεν κρίνεται αναγκαίο η περαιτέρω αναφορά σε αυτή τη διαδικασία.

Θα γίνει μόνο μία απλή αναφορά στα αποτελέσματα των ελέγχων επάρκειας και πως αυτά οργανώνονται στην επιφάνεια εργασίας του ΡΑΦ.

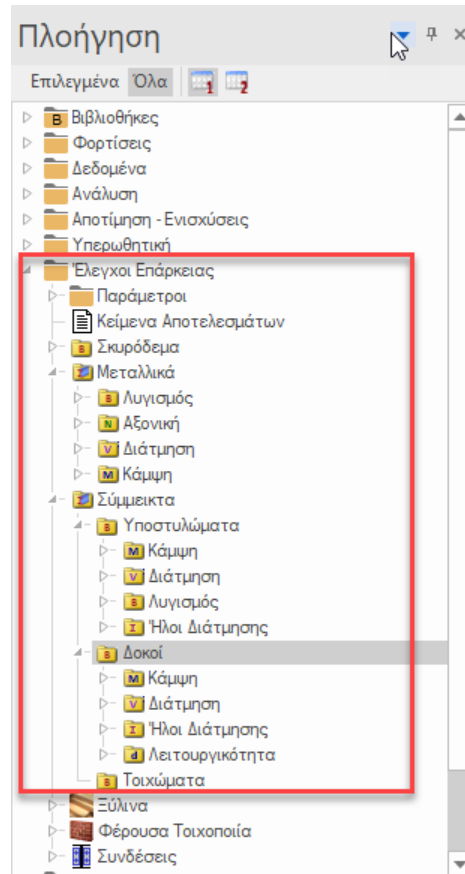
Πέραν της χρωματικής απεικόνισης (Εικ. 8), υπάρχουν οι παρακάτω τρόποι παρουσίασης των αποτελεσμάτων:

- Πίνακας συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων για το μεταλλικό ή σύμμεικτο μέλος συνολικά ή ανά είδος ελέγχου
- Συνοπτικό κείμενο αποτελεσμάτων για το μέλος συνολικά
- Αναλυτικό κείμενο αποτελεσμάτων ανά έλεγχο με αναφορές στις αντίστοιχες παραγράφους και εξισώσεις του κανονισμού και λεπτομερή παρουσίαση της διαδικασίας του ελέγχου



Εικ. 8: Χρωματική απεικόνιση λόγων εξάντλησης

Από το παράθυρο «Πλοήγηση» που εμφανίζεται στα αριστερά της οθόνης επιλέγοντας το φάκελο Έλεγχοι Επάρκειας και στη συνέχεια Μεταλλικά ή Σύμμεικτα (Υποστυλώματα, Δοκοί) εμφανίζονται οι συγκεντρωτικοί πίνακες των αποτελεσμάτων για τα αντίστοιχα στοιχεία.



Εικ. 9: Εμφάνιση πινάκων με τα αποτελέσματα των ελέγχων επάρκειας

Παράθυρο Εργασίας 1

Κείμενο Αποτελεσμάτων Συγχρονισμός Επιλεγμένα Όλα Διαμενέστερα Όλες οι Θέσεις Συνατογραφίες

Έλεγχος Επάρκειας Μεταλλικών Μακροστοιχείων

α/α	Μέλος	Διατομή Υλικό	L2	L3	NEd	MbEd3	MEd2	MEd3	VEd2	VEd3	Δυσμενέστερο CR	
			LB2	LB3	NRd	MbRd3	MRd2	MRd3	VRd2	VRd3	Ορθ.Τασ	Διτμ.Τασ
			m			kNm			kN			
1	Υ7-Σ2	HEB260	3.00	3.00	-162.10	57.33	48.40	57.33	-42.77	-9.22		
2		S235	3.00	3.00	2773.00	301.50	141.47	301.50	504.04	1234.66	0.41	0.08
3	Δ9-Σ1	ΙΡΕ300	4.54	4.54	0.00	47.29	-0.00	-47.29	28.67	0.00		
4		S235	4.54	4.54	1264.30	92.53	29.38	147.58	348.28	435.52	0.51	0.08
5	Δ7-Σ3	ΙΡΕ300	3.60	3.60	0.00	34.25	-0.00	-34.25	-26.75	0.00		
6		S235	3.60	3.60	1264.30	118.04	29.38	147.58	348.28	435.52	0.29	0.08
7	Υ7-Σ3	HEB260	3.00	3.00	-80.14	59.88	-0.24	-69.35	-38.62	1.14		
8		S235	3.00	3.00	2773.00	301.50	141.47	301.50	504.04	1234.66	0.23	0.08
9	Δ1-Σ2	ΙΡΕ300	4.85	4.85	0.00	66.85	-0.00	-66.85	37.45	0.00		
10		S235	4.85	4.85	1264.30	91.01	29.38	147.58	348.28	435.52	0.73	0.11
11	Δ7-Σ1	ΙΡΕ300	3.60	3.60	0.00	36.40	-0.00	-36.40	-27.84	-0.00		
12		S235	3.60	3.60	1264.30	116.00	29.38	147.58	348.28	435.52	0.31	0.08
13	Δ1-Σ3	ΙΡΕ300	4.85	4.85	0.00	51.14	-0.00	-51.14	33.98	-0.00		
14		S235	4.85	4.85	1264.30	97.64	29.38	147.58	348.28	435.52	0.52	0.10
15	Υ7-Σ1	HEB260	7.00	7.00	-314.41	58.41	30.73	71.33	-19.32	-8.27		
16		S235	7.00	7.00	2773.00	249.60	141.47	301.50	504.04	1234.66	0.64	0.04
17	Δ1-Σ1	ΙΡΕ300	4.85	4.85	0.00	82.95	-0.00	-82.95	42.70	0.00		
18		S235	4.85	4.85	1264.30	94.93	29.38	147.58	348.28	435.52	0.87	0.12
19	Δ7-Σ2	ΙΡΕ300	3.60	3.60	0.00	38.09	-0.00	-38.09	-29.27	-0.00		
20		S235	3.60	3.60	1264.30	112.52	29.38	147.58	348.28	435.52	0.34	0.08
21	Δ9-Σ3	ΙΡΕ300	4.54	4.54	0.00	35.85	-0.00	-35.85	27.15	-0.00		
22		S235	4.54	4.54	1264.30	94.41	29.38	147.58	348.28	435.52	0.38	0.08

Αποτελέσματα Παράθυρο Εργασίας 1 Παράθυρο Εργασίας 2 Βοήθεια

Εικ. 10: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων μεταλλικών μακροστοιχείων

Παράθυρο Εργασίας 1

Κείμενο Αποτελεσμάτων Συγχρονισμός Επιλεγμένα Όλα Δυσμενέστερα Όλες οι Θέσεις Συντομογραφίες

Έλεγχος Επάρκειας Σύμμεικτων Υποστυλωμάτων													
α/α	Μέλος	Διατομή	Υλικό	L2	L3	NEd	MEd2	MEd3	MEd,II	VEd2	VEd3	Δυσμενέστερο CR	
				LB2	LB3	NRd	MRd2	MRd3	MRd,II	VRd2	VRd3		
				m		kN		kNm		kN		Ορθ.Ταξ.	Διτμ.Ταξ.
1	Y11-Σ1	HEA300	7.00	7.00	-186.47	323.33	285.23	285.23	54.21	70.00			
2	S235 / C	7.00	7.00	-272.86	473.14	417.38	669.61	1139.69	512.18	0.78	0.14		
3	Y12-Σ1	HEB260	7.00	7.00	-502.46	-51.49	-77.23	102.46	19.95	13.87			
4	S355 / C	7.00	7.00	-1499.61	-153.68	-230.48	304.00	1865.13	761.42	0.42	0.02		
5	Y13-Σ2	HEA300	3.00	3.00	-107.17	-16.75	-58.75	58.75	2.38	15.13			
6	S235 / C	3.00	3.00	-805.10	-125.81	-441.32	470.63	1139.69	512.18	0.16	0.03		
7	Y16-Σ2	HEA300	3.00	3.00	-18.18	12.17	66.78	64.95	-12.43	-20.54			
8	S235 / C	3.00	3.00	-122.18	81.76	448.76	469.42	1139.69	512.18	0.19	0.04		
9	Y11-Σ3	HEA300	3.00	3.00	-78.55	3.61	-78.96	78.96	-41.31	3.23			
10	S235 / C	3.00	3.00	-671.63	30.89	-675.15	600.10	1139.69	512.18	0.13	0.04		
11	Y17-Σ2	HEA300	3.00	3.00	-336.52	73.39	-78.72	101.93	41.86	-37.80			
12	S235 / C	3.00	3.00	-1399.89	305.28	-327.46	471.30	1139.69	512.18	0.28	0.07		
13	Y12-Σ3	HEB260	3.00	3.00	-129.82	55.52	37.74	55.52	19.84	31.83			
14	S355 / C	3.00	3.00	-638.92	273.24	185.73	554.92	1865.13	761.42	0.22	0.04		
15	Y14-Σ3	HEM140	3.00	3.00	-13.40	20.46	35.66	34.49	19.68	13.37			
16	S235 / C	3.00	3.00	-38.26	58.42	101.82	127.87	871.59	260.77	0.37	0.05		
17	Y13-Σ3	HEA300	3.00	3.00	-45.28	-7.36	-51.28	51.28	1.50	21.95			
18	S235 / C	3.00	3.00	-405.31	-65.88	-459.02	469.81	1139.69	512.18	0.14	0.04		
19	Y14-Σ2	HEM140	3.00	3.00	-97.21	-18.47	-38.25	37.18	23.87	12.49			
20	S235 / C	3.00	3.00	-266.75	-50.68	-104.95	128.89	871.59	260.77	0.38	0.05		
21	Y17-Σ3	HEA300	3.00	3.00	-78.66	1.76	90.11	90.11	-4.13	-30.22			
22	S235 / C	3.00	3.00	-412.54	9.20	472.60	470.25	1139.69	512.18	0.22	0.06		

Εικ. 11: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων σύμμεικτων υποστυλωμάτων

Παράθυρο Εργασίας 1

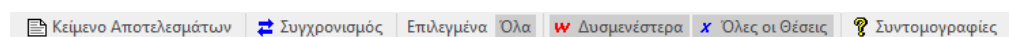
Κείμενο Αποτελεσμάτων Συγχρονισμός Επιλεγμένα Όλα Δυσμενέστερα Όλες οι Θέσεις Συντομογραφίες

Έλεγχος Επάρκειας Σύμμεικτων Δοκών												
α/α	Μέλος	Διατομή	Υλικό	H/οι	MEd3	VEd2	VLEd	Επάρκεια			Λειτουργικότητα	
					MRd3	VRd2	η _{lex}	CR_M	CR_V	CR_LV	CR_SLS	
					kNm	kN						
1	Δ6-Σ2	IPE300			-46.03	34.08	463.96					
2	S235 / C	ST_19_10	-147.58	286.68	1.79	0.31	0.10	0.22	0.03			
3	Δ3-Σ2		-89.01	-75.88	442.76							
4	C12/15 / ST_16_10	-147.58	286.68	0.47	0.60	0.22	0.84	0.18				
5	Δ5-Σ2		-85.05	-75.87	433.28							
6	C12/15 / ST_16_10	-147.58	286.68	0.48	0.58	0.22	0.83	0.18				
7	Δ10-Σ2		-64.47	27.42	309.27							
8	C12/15 / ST_16_10	-147.58	286.68	0.42	0.44	0.08	0.95	0.04				
9	Δ13-Σ1		137.76	-76.99	916.30							
10	C12/15 / ST_16_10	182.28	286.68	0.24	0.76	0.22	1.65	0.75				
11	Δ10_2-Σ1		-112.55	60.78	309.27							
12	C12/15 / ST_16_10	-147.58	286.68	0.42	0.76	0.17	0.95	0.16				
13	Δ5-Σ1		-127.92	-115.68	433.28							
14	C12/15 / ST_16_10	-147.58	286.68	0.48	0.87	0.33	0.83	0.31				
15	Δ8_2-Σ1		-82.78	77.85	597.12							
16	C12/15 / ST_16_12	-147.58	286.68	0.77	0.56	0.22	0.52	0.18				
17	Δ8_1-Σ1		-96.94	-92.23	597.12							
18	C12/15 / ST_16_12	-147.58	286.68	0.77	0.65	0.26	0.52	0.18				
19	Δ4-Σ1	IPE300	-98.71	51.68	573.75							
20	S235 / C	ST_19_10	-147.58	286.68	1.78	0.67	0.15	0.22	0.03			
21	Δ10_1-Σ1		-76.96	-49.82	309.27							
22	C12/15 / ST_16_10	-147.58	286.68	0.42	0.52	0.14	0.95	0.17				

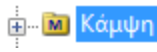
Εικ. 12: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων σύμμεικτων δοκών

Από το “δέντρο” που εμφανίζεται στην αριστερή πλευρά του παραθύρου επιλέγουμε την ενότητα *Μεταλλικά* (Εικ. 9), ώστε να δούμε τον συγκεντρωτικό πίνακα αποτελεσμάτων για τα επιλεγμένα ή για όλα τα μεταλλικά στοιχεία (Εικ. 10). Επίσης μπορούμε να δούμε τον πίνακα αποτελεσμάτων για κάθε έλεγχο ξεχωριστά κινούμενοι στις επιμέρους ενότητες

Στον πίνακα ανάλογα με τις επιλογές που κάνουμε μπορούν να εμφανίζονται είτε τα επιλεγμένα στοιχεία είτε όλα. Επίσης, μπορούμε να εμφανίσουμε τα αποτελέσματα για το δυσμενέστερο συνδυασμό φόρτισης είτε για όλους τους συνδυασμούς φόρτισης. Οι επιλογές αυτές καθορίζονται από τη γραμμή εργαλείων που βρίσκεται στην κορυφή του παραθύρου (Εικ. 13)



Εικ. 13: Γραμμή εργαλείων για την εμφάνιση των πινάκων

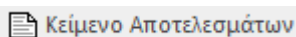


Τέλος αν πατήσουμε το πλήκτρο [+] το οποίο βρίσκεται δίπλα στο όνομα του κάθε ελέγχου τότε ανοίγει μία λίστα με όλους τους συνδυασμούς φόρτισης για τους οποίους έχει γίνει ο συγκεκριμένος έλεγχος.

Έτσι εφόσον το επιθυμούμε μπορούμε να δούμε αποτελέσματα για ένα συγκεκριμένο συνδυασμό φόρτισης είτε σε όλες τις θέσεις ελέγχου του στοιχείου (πατώντας το πλήκτρο [Όλες οι Θέσεις]) είτε στη θέση που έχει προκύψει το δυσμενέστερο αποτέλεσμα (Εικ. 14)

		Έλεγχος Επάρκειας σε Κάμψη												
α/α	Μάρκο	Στοιχείο	Π.Φ.	Θέση m	NEd	VEd2	VEd3	MEd2	MEd3	McRd2	McRd3	CR2	CR3	CRbiax
				kNm										
1		Υ95-Σ1	1.35-G+1.5-Q+1.5-ψ0-W14	0.00	-2.27	-0.34	-0.01	-0.00	-0.00	4.51	20.75	0.00	0.00	0.00
2		Υ95-Σ1	1.35-G+1.5-Q+1.5-ψ0-W14	2.50	-2.27	0.09	-0.01	0.02	0.32	4.51	20.75	0.01	0.02	0.01
3		Υ95-Σ1	1.35-G+1.5-Q+1.5-ψ0-W14	5.00	-2.27	0.51	-0.01	0.05	-0.43	4.51	20.75	0.01	0.02	0.01

Εικ. 14: Πίνακας αποτελεσμάτων ελέγχου επάρκειας σε κάμψη για το στοιχείο Υ95-Σ1 για ένα συγκεκριμένο συνδυασμό φόρτισης και όλες τις θέσεις ελέγχου



Μετάβαση στο κείμενο των αποτελεσμάτων ενώ βρισκόμαστε στους πίνακες των αποτελεσμάτων μπορεί να γίνει πατώντας το πλήκτρο [Κείμενο Αποτελεσμάτων]. Με αυτόν τον τρόπο μεταβαίνουμε στο φύλλο [Αποτελέσματα] και αναλόγως τον πίνακα στον οποίο βρισκόμαστε εμφανίζεται και το αντίστοιχο κείμενο το οποίο αφορά μία συγκεκριμένη γραμμή του πίνακα.

Το συνοπτικό κείμενο των αποτελεσμάτων (Εικ. 15) εμφανίζεται όταν βρισκόμαστε στο συγκεντρωτικό πίνακα αποτελεσμάτων (Εικ. 10) ενώ το αναλυτικό κείμενο (Εικ. 16) που αφορά κάθε έλεγχο ξεχωριστά εμφανίζεται όταν βρισκόμαστε στους πίνακες με τα αποτελέσματα για κάθε έλεγχο.



Επίσης, το συνοπτικό κείμενο των αποτελεσμάτων εμφανίζεται επιλέγοντας κάποιο στοιχείο ή μακροστοιχείο στην οθόνη αφότου έχει γίνει ο έλεγχος επάρκειας. Μπορούμε επίσης να βλέπουμε ταυτόχρονα τους πίνακες και το κείμενο των αποτελεσμάτων διαμορφώνοντας κατάλληλα το περιβάλλον εργασίας του ΡΑΦ.

Output

Ελεγχος | Συνοπτικά | Αναλυτικά | Θέση Μάζας 1 | Αναγραφή και δεδομένων επιλεγμένων στοιχείων | Συντομογραφίες | Πίνακες Αποτελεσμάτων

[[**]] ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (ΕΚ3 EN1993-1-1)

1. Δεδομένα

Μακροστοιχείο : ME38-Σ1
 Υλικό / Διατομή : S235 / IPE300

2. Έλεγχος σε Αξονική Δύναμη (ΕΚ3 EN1993-1-1, § 6.2.3 & 6.2.4)

Συνδυασμός φόρτισης : 1.35·G+1.5·ψ0·W11+1.5·S
 Στοιχείο / Θέση : Y148-Σ1 / x = 1.5 m
 Κατηγοριοποίηση Διατομής: ΚΩΛΕΗ 1

CR = NEd / NRd = -46.18 / 1264.30 = 0.04

3. Έλεγχος σε Τέμνουσα Δύναμη (ΕΚ3 EN1993-1-1, § 6.2.6)

Συνδυασμός φόρτισης : 1.35·G+1.5·W11+1.5·ψ0·W31
 Στοιχείο / Θέση : Y148-Σ1 / x = 1.5 m
 Κατηγοριοποίηση Διατομής: ΚΩΛΕΗ 1

CR_2 = VEd,2 / VRd,2 = -52.03 / 348.28 = 0.15
 CR_3 = VEd,3 / VRd,3 = 0.10 / 435.52 = 0.00

4. Έλεγχος σε συνδυασμό Κάμψης, Διάτμησης και Αξονικής (ΕΚ3 EN1993-1-1, § 6.2.9 & 6.2.10)

Συνδυασμός φόρτισης : 1.35·G+1.5·W11+1.5·ψ0·W31
 Στοιχείο / Θέση : Y148-Σ1 / x = 1.5 m
 Κατηγοριοποίηση Διατομής: ΚΩΛΕΗ 1

CR_2 = MEd,2 / M_NRd,2 = 0.00 / 29.38 = 0.00
 CR_3 = MEd,3 / M_NRd,3 = 91.66 / 147.58 = 0.62
 CR_biax = (CR_3)^α + (CR_2)^β = (0.62)^2.00 + (0.00)^1.00 = 0.39

5. Έλεγχος Μέλους σε λυγισμό υπό Κάμψη και Θλίψη (ΕΚ3 EN1993-1-1, § 6.3.3)

Συνδυασμός φόρτισης : 1.35·G+1.5·W11+1.5·ψ0·W31
 Αυσμενέστερη Κατηγοριοποίηση Διατομής: ΚΩΛΕΗ 2

Ελεύθερα Μήκη : L_2 = 3.00 m, L_3 = 6.00 m, L_lt = 3.00 m
 Συντελεστές Ενεργού Μήκους λυγισμού : k_2 = 1.00, k_3 = 1.00, k_lt = 1.00
 Συντελεστές Ισοδύναμης Ομοιόμορφης Ροπής Cm: Cm_y = 0.475, Cm_z = 0.600, CmLT = 0.528

----- + kyγ ----- + kyz ----- (1) [ΕΚ3 EN1993-1-1, Εξ. 6.61]
 χy·NRk/γM1 χLT·MRk_3/γM1 MRk_2/γM1

(1) => ----- + 0.475 ----- + 0.376 ----- = 0.35
 0.920·1264.30/1.00 0.917·147.58/1.00 29.38/1.00

----- + kyγ ----- + kyz ----- (2) [ΕΚ3 EN1993-1-1, Εξ. 6.62]
 χz·NRk/γM1 χLT·MRk_3/γM1 MRk_2/γM1

(2) => ----- + 0.600 ----- + 0.528 ----- = 0.71
 26.95 91.66 0.15

ky Δεδομένα | Αποτελέσματα... | ky Αποτελέσματα... | ky Output | Υπερωθητική | Υπολογισμός Ο... | Πίνακας Κοπή... | Προμετρήσεις | Εικόνες Τεύχους

Εικ. 15: Συνοπτικό κείμενο αποτελεσμάτων μακροστοιχείου



ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΟΙΚΟΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Καρτερού 60, 71201 Ηράκλειο - Τηλ.: 2810.332684

www.tol.com.gr info@tol.com.gr

