

e - B o o k

Μεταλλικές κατασκευές με το ConSteel

ConSteel Blog Articles

www.consteelsoftware.eu



Τίτλος e-book : Μεταλλικές κατασκευές με το ConSteel

ConSteel Blog Articles

Η ERGOCAD αποτελεί τον επίσημο αποκλειστικό διανομέα & εκπαιδευτικό κέντρο του εξειδικευμένου λογισμικού για στατικές μελέτες μεταλλικών & σύμμικτων κατασκευών ConSteel σε Ελλάδα, Κύπρο, Γαλλία, Βέλγιο, Λουξεμβούργο & Ολλανδία.

Περισσότερες πληροφορίες για το ConSteel & δωρεάν demo έκδοση :
www.consteelsoftware.eu

Άλλες ιστοσελίδες της ERGOCAD:

www.ergocad.eu

www.lumion3d.gr

www.lumion-lb.com

www.yoursketchup.com

www.actcad.net

Ακολουθήστε την ERGOCAD σε όλα τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης για να ενημερώνεστε άμεσα για νέα tutorials/tips/άρθρα/events/συνέδρια & ειδικές προσφορές.



Copyright©2020, ERGOCAD

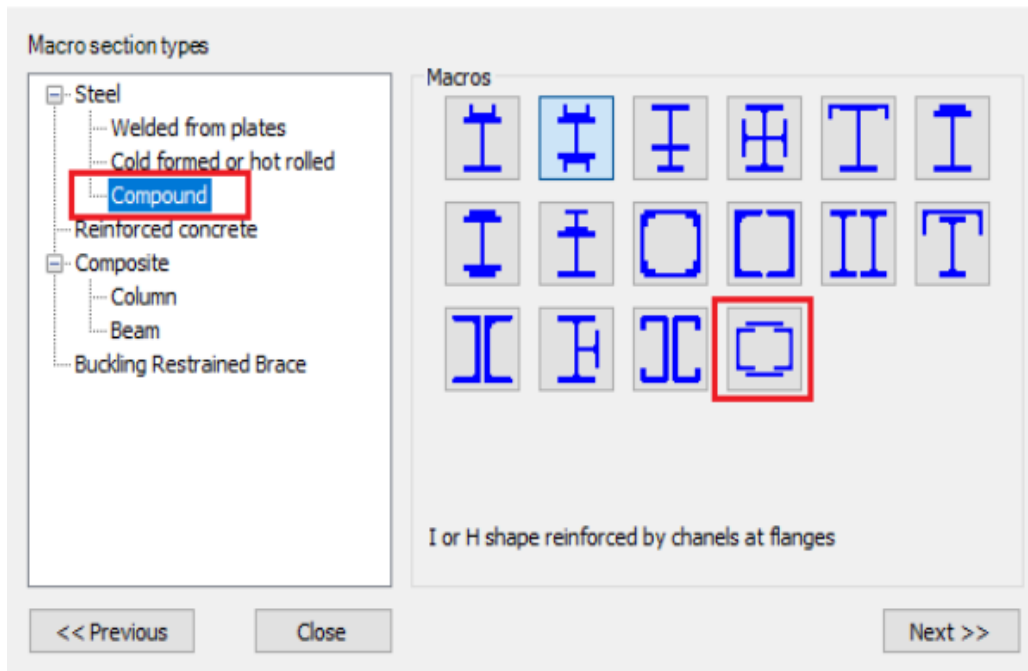
Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος του e-book με οποιοδήποτε μέσο χωρίς την έγγραφη άδεια του εκδότη.



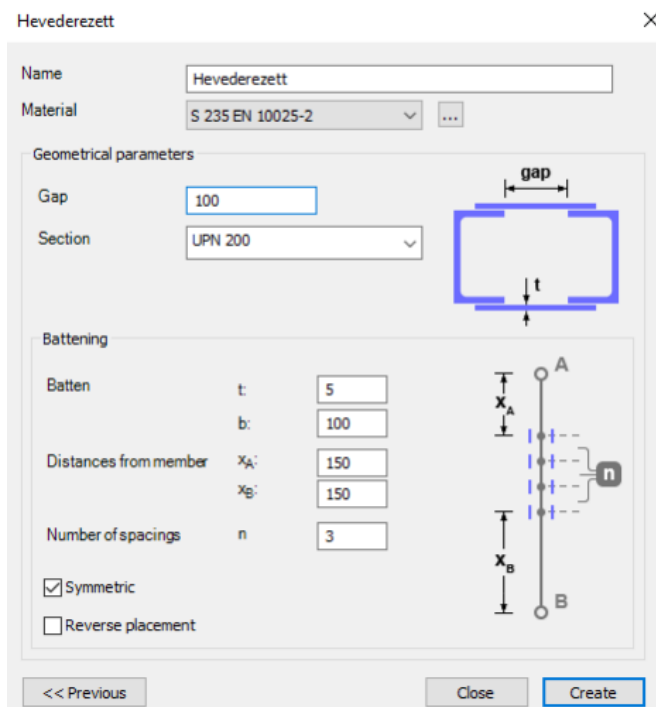
Αρκετά συχνά σε μεταλλικές κατασκευές χρειάζεται να αυξηθεί η αντοχή των υποστυλωμάτων. Ένας από τους τρόπους που χρησιμοποιούνται στην πράξη είναι και η κατασκευή σύνθετων διατομών με την εισαγωγή λεπίδων οι οποίες ενώνουν τα επιμέρους τμήματα ενός υποστυλώματος. Στην διπλανή φωτογραφία απεικονίζεται η γέφυρα San Francisco-Oakland Bay Bridge όπου διακρίνουμε τα σύνθετα μεταλλικά υποστυλώματα.

Στην έκδοση 12 του ConSteel προστέθηκε η δυνατότητα εισαγωγής μεταλλικών διατομών με λεπίδες οι οποίες μπορούν να δημιουργηθούν εύκολα και γρήγορα μέσω των μακροδιατομών που βρίσκονται στην βασική βιβλιοθήκη του προγράμματος και στην αντίστοιχη καρτέλα της διαχείρισης παραμετρικών διατομών.

Macro section



Στο πεδίο διαλόγου των μακρο-διατομών ο χρήστης μπορεί να καθορίσει εύκολα μία σειρά από παραμέτρους και να σχηματίσει την διατομή που ο ίδιος θέλει να χρησιμοποιήσει στο έργο:



Μέσα από το παράθυρο αυτό καθορίζεται επίσης το υλικό των πρότυπων διατομών καθώς και των λεπίδων:

Γεωμετρικές παράμετροι:

- Κενό: κενό μεταξύ των διατομών
- Διατομή: διατομή των κύριων στοιχείων. Στην παρούσα έκδοση μπορούν να χρησιμοποιηθούν διατομές μορφής I, H και U.

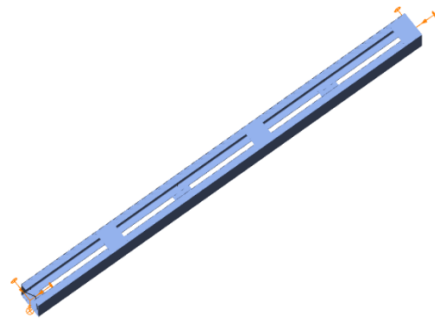
Λεπίδες

- Πάχος των λεπίδων (t)
- Πλάτος των λεπίδων (b) παράλληλα με την κύρια γραμμή των μελών. Η κάθετη διεύθυνση λαμβάνεται αυτόματα από την θέση των κύριων μελών
- Απόσταση από τα άκρα: Το αρχικό και το τελικό σημείο των λεπίδων μπορεί να καθοριστεί μέσω της απόστασης (x_A - από το αρχικό σημείο, x_B - από το τελικό σημείο)
- Πλήθος διαστημάτων: αριθμός κατατμήσεων. Ο αριθμός ελασμάτων λεπίδων θα είναι $n+1$

Μεταξύ των διατομών γίνεται συμμετρικά ή μη συμμετρικά:



Συμμετρική τοποθέτηση: στην περίπτωση αυτή τα ελάσματα των λεπίδων, τοποθετούνται και στις δύο πλευρές των κύριων διατομών στην ίδια θέση



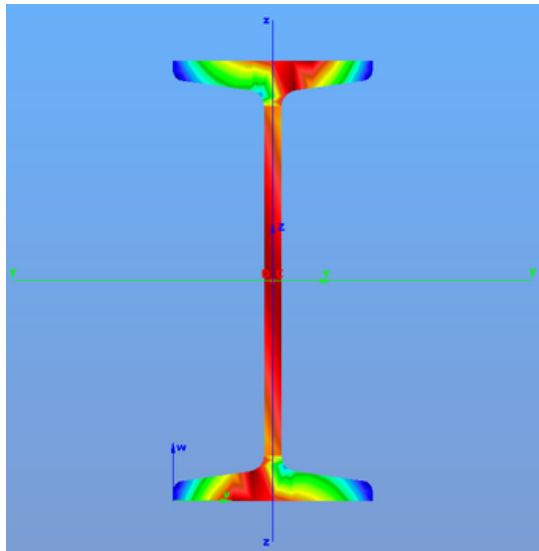
Μη συμμετρική τοποθέτηση: στην περίπτωση αυτή τα ελάσματα των λεπίδων τοποθετούνται μη συμμετρικά, ακριβώς σε κάθε δεύτερη θέση κάθε πλευράς

Μετά τον καθορισμό των διατομών και την εκτέλεση των αναλύσεων, το ConSteel μπορεί να υπολογίσει τις τελικές αντοχές των σύνθετων αυτών διατομών και να εμφανίσει τα αποτελέσματα σε μορφή διαγραμμάτων ή πινάκων, ενώ ταυτόχρονα γίνεται και η παραγωγή αναλυτικού τεύχους στην Ελληνική γλώσσα.

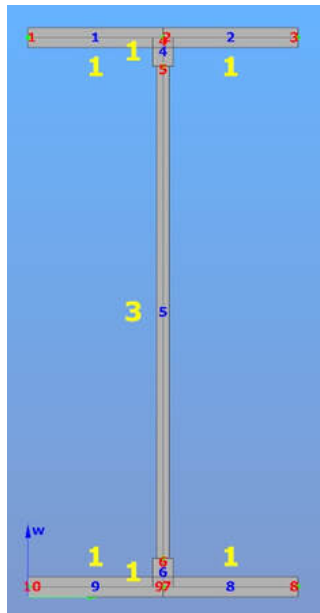
Στο ConSteel υπάρχουν δύο τύποι για την προσομοίωση των διατομών:

- Η γενική μέθοδος με στερεά (General Solid Section -GSS)
- Η μέθοδος διατομών με λεπτά τοιχώματα (Thin-Walled Section TWS)

Η μέθοδος **General Solid Section (GSS)** αποτελεί μία ακριβή μέθοδο η οποία χρησιμοποιεί πεπερασμένα στοιχεία με βάση την συνολική επιφάνεια μιας διατομής θεωρώντας ότι αυτή αποτελείται από ομογενές υλικό (οπλισμένο σκυρόδεμα, σύνθετη διατομή)



Η μέθοδος **Thin-Walled Section (TWS)** αποτελεί έναν απλοποιημένο τρόπο υπολογισμού διατομών οι οποίες συντίθενται από μικρού πάχους ελάσματα με ομοιόμορφο πάχος τα οποία ενώνονται μέσω της κεντροβαρικής γραμμής τους σε μία ενιαία διατομή.



Το μοντέλο GSS χρησιμοποιείται συνήθως για να προσδιοριστούν οι ιδιότητες των διατομών για την ανάλυση ενώ το μοντέλο TWS χρησιμοποιείται αντίστοιχα για να γίνει η αξιολόγηση της αντίστασης μιας διατομής θερμής έλασης, μιας συγκολλητής διατομής ή διατομής ψυχρής έλασης. Το μοντέλο TWS είναι ιδανικό τόσο για τον ακριβή όσο και για τον γρήγορο προσδιορισμό του ενεργού πλάτους και πάχους της ενεργής διατομής στα διάφορα σημεία των ελασμάτων που την αποτελούν. Με βάση το μοντέλο TWS το ConSteel μπορεί να εκτελέσει τους απαραίτητους υπολογισμούς για να κάνει το σχεδιασμό μεταλλικών λεπτότοιχων διατομών με βάση τις διατάξεις του Ευρωκώδικα 3.

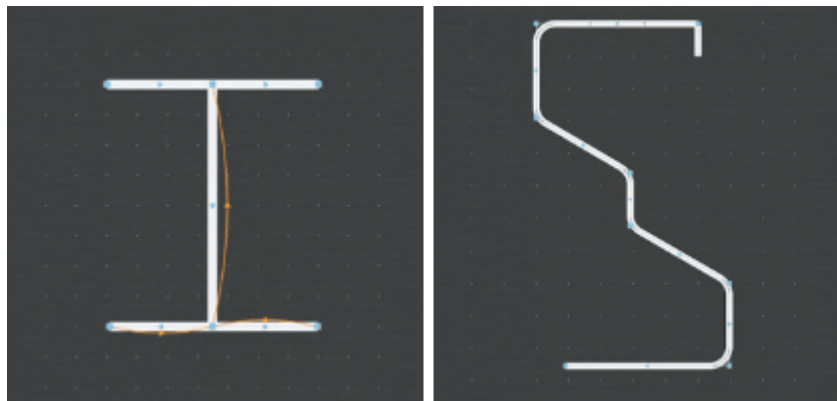
Οι διατομές με λεπτά τοιχώματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε 2 βασικές ομάδες:

- A - γενικές διατομές με λεπτά τοιχώματα
- B - διατομές ψυχρής έλασης με λεπτά τοιχώματα

Στην κατηγορία A ανήκουν όλες οι κοινές διατομές που παράγονται είτε με διαδικασίες θερμής έλασης είτε με συγκόλληση ελασμάτων τα οποία δημιουργούν την τελική επιθυμητή διατομή. Στο μέρος 1-1 του Ευρωκώδικα 3, περιλαμβάνονται όλες οι διατάξεις και οι τύποι για τον υπολογισμό αυτού του είδους των διατομών, με σαφή αναφορά στην βασική προϋπόθεση ότι αυτές οι διατομές πρέπει να έχουν ελάχιστο πάχος τοιχώματος τα 3 mm.

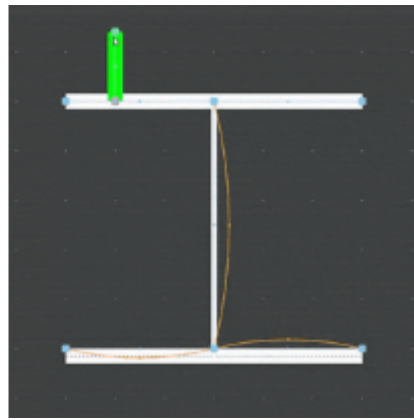
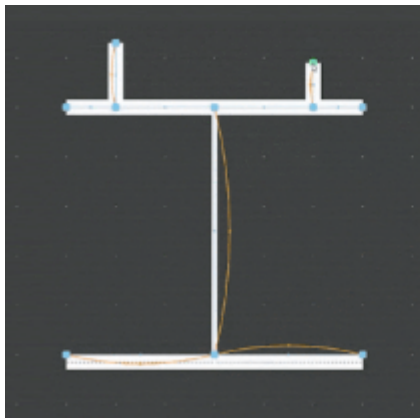
Στην κατηγορία **B** ανήκουν μέλη και φύλλα τα οποία παράγονται με διαδικασίες ψυχρής έλασης. Το μέρος 1-3 του Ευρωκώδικα 3, παρέχει τους συμπληρωματικούς τύπους για τον σχεδιασμό τέτοιου είδους διατομών με σαφή αναφορά στην βασική προϋπόθεση ότι αυτές οι διατομές πρέπει να έχουν ελάχιστο πάχος τοιχώματος τα 0.45mm.

Το **ConSteel 13** περιλαμβάνει ένα νέο εργαλείο σχεδιασμού διατομών και των δύο ως άνω αναφερόμενων κατηγοριών, οι οποίες μπορούν να σχεδιαστούν από τον ίδιο τον χρήστη. Λόγω της διαφορετικής διαδικασίας παραγωγής αυτών των διατομών από κάθε εργοστάσιο, τα βήματα για την προσομοίωση κάθε προφίλ είναι και αυτά διαφορετικά ανάλογα με το αν ο χρήστης θέλει να σχεδιάσει την δική του διατομή γενικής μορφής ή μία διατομή ψυχρής έλασης.



Οι διατομές γενικής μορφής με λεπτά τοιχώματα παράγονται είτε με θερμή έλαση είτε με συγκόλληση. Στην περίπτωση αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν ευθείες γραμμές και καμπύλα τμήματα με ομοιόμορφο πάχος για να δημιουργηθεί το επιθυμητό σχήμα μιας διατομής. Η τελική μορφή πρέπει να είναι ανοικτή, και δεν μπορεί να περιέχει κλειστά τμήματα. Εκτός από αυτό τον περιορισμό δεν υπάρχει άλλα γεωμετρικά όρια στο σχεδιασμό καθώς επιτρέπεται απεριόριστος αριθμός τμημάτων μέσω των οποίων δημιουργείται μία τελική διατομή.

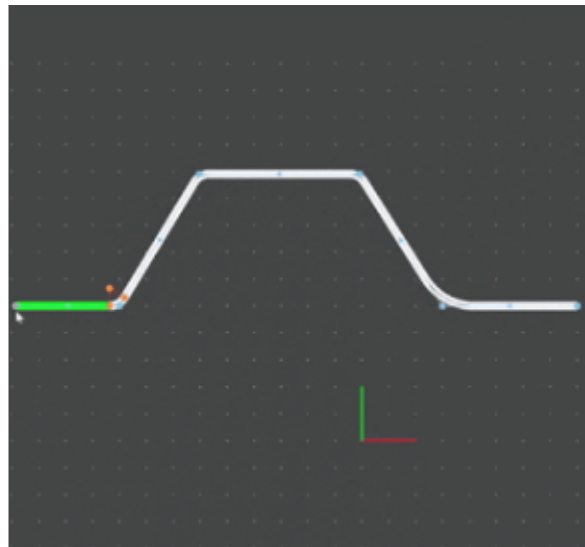
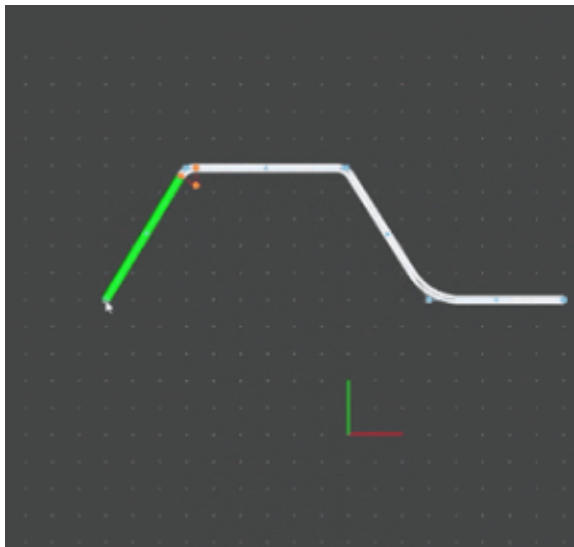
Σημαντική σημείωση: Στο ConSteel θεωρούμε ότι η τελική διατομή θα μετακινείται στο επίπεδο της ως ένα άκαμπτο στερεό σώμα χωρίς στρέβλωση της διατομής. Οι παραμορφώσεις από την στροφή των πελμάτων μπορεί αυτόματα να υπολογίζονται από τα ειδικού τύπου στοιχεία δοκού τα οποία διαθέτουν 7 βαθμούς ελευθερίας.



Οι διατομές ψυχρής έλασης είναι έτσι σχεδιασμένες ώστε να δημιουργούνται από μία και μόνο απλή λεπτή λωρίδα. Το τελικό σχήμα επιτυγχάνεται με την προσθήκη καμπύλων μεταξύ των επιμέρους τμημάτων καθώς και από την εισαγωγή ενισχύσεων στα επίπεδα ελάσματα. Λόγω αυτή της κατασκευαστικής λεπτομέρειας, το ονομαστικό πάχος παραμένει σταθερό σε κάθε σημείο της διατομής ενώ δεν επιτρέπεται καμία ασυνέχεια, καθώς η διατομή δημιουργείται στην ουσία από μία συνεχόμενη πολυγραμμή. Επιτρέπονται μόνο ανοικτές διατομές, χωρίς κλειστά τμήματα.

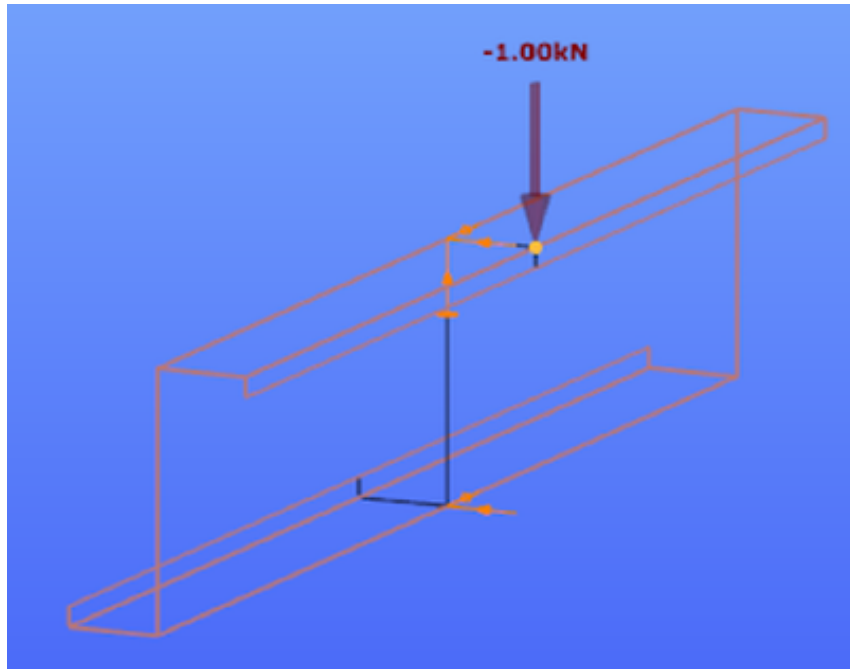
Σημαντική σημείωση: το ConSteel θα μπορεί να ενσωματώσει την περιορισμένη εντός επιπέδου στρέβλωση των ενισχυμένων ζωνών για τον έλεγχο των διατομών, μέσω των υπολογιζόμενων ιδιοτήτων των ενεργών διατομών.

Οι παραμορφώσεις από την στροφή των πελμάτων μπορεί αυτόματα να υπολογίζονται από τα ειδικού τύπου στοιχεία δοκού τα οποία διαθέτουν **7 βαθμούς ελευθερίας**.



Ο EN 1993-1-3 περιλαμβάνει 3 "μυστικούς" τύπους για μεταλλικές διατομές ψυχρής έλασης

Ο ευρωκώδικας EN 1993-1-3 περιλαμβάνει 3 "μυστικούς τύπους" για το θέμα των μεταλλικών διατομών ψυχρής έλασης. Οι πρώτοι δύο χρησιμοποιούνται για να προσδιοριστεί η ενεργός διατομή στον λυγισμό λόγω στρέβλωσης της διατομής όπου συμμετέχουν ακραίες ή ενδιάμεσες ενισχύσεις. Ο τρίτος τύπος χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η παραμόρφωση λόγω στρέβλωσης ολόκληρης της διατομής όταν ελέγχεται ένα συνδεδεμένο μεταλλικό πάνελ. Η φυσική ερμηνεία αυτών των τριών τύπων μπορεί εύκολα να εξηγηθεί μέσα από απλά μοντέλα του ConSteel με τα οποία γίνεται άμεσα κατανοητός ο μηχανισμός λειτουργίας αυτών.



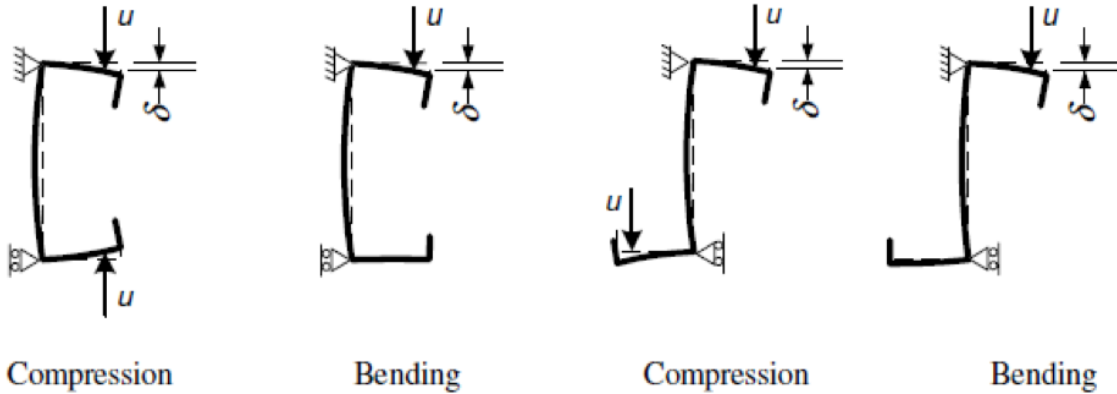
Οι τρεις αυτοί τύποι είναι οι παρακάτω:

$$K_1 = \frac{Et^3}{4(1-\nu^2)} \cdot \frac{1}{b_1^2 h_w + b_1^3 + 0,5 b_1 b_2 h_w k_f} \quad \dots (5.10b)$$

$$\delta = \frac{ub_1^2 b_2^2}{3(b_1 + b_2)} \cdot \frac{12(1-\nu^2)}{Et^3} \quad \dots (5.11)$$

$$\frac{1}{K} = \frac{4(1-\nu^2)}{Et^3} \cdot \frac{h^2 (h_d + b_{mod})}{C_D} + \frac{h^2}{C_D} \quad \dots (10.13)$$

Ο πρώτος τύπος (5.10) χρησιμοποιείται όταν ελέγχεται η ικανότητα μιας πλευρικής ενίσχυσης στο να σταθεροποιήσει ένα θλιβόμενο πέλμα μιας διατομής Z ή C. Κατά την διάρκεια του στρεβλωτικού λυγισμού το ενδιάμεσο σημείο του πέλματος με το lip (θεωρείται πλευρική ενίσχυση) αναμένεται να μετακινηθεί σε μία διεύθυνση κάθετη στο πέλμα. Ο τύπος αυτός δίνει την τιμή δυσκαμψίας που παρέχεται από μία διατομή Z ή C, όταν θεωρείται ότι κατά την διάρκεια των παραμορφώσεων το σημείο της τομής του πέλματος με τον κορμό δεν μετακινείται. Αυτό πρακτικά αντιστοιχεί στην εισαγωγή στηρίξεων στους σχετικούς κόμβους όπως εμφανίζεται στην εικόνα 5.6 του EN 1993-1-3.



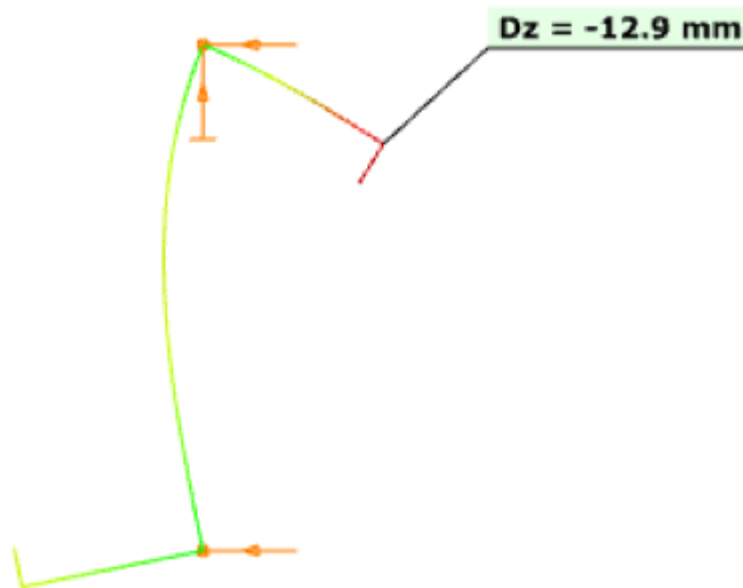
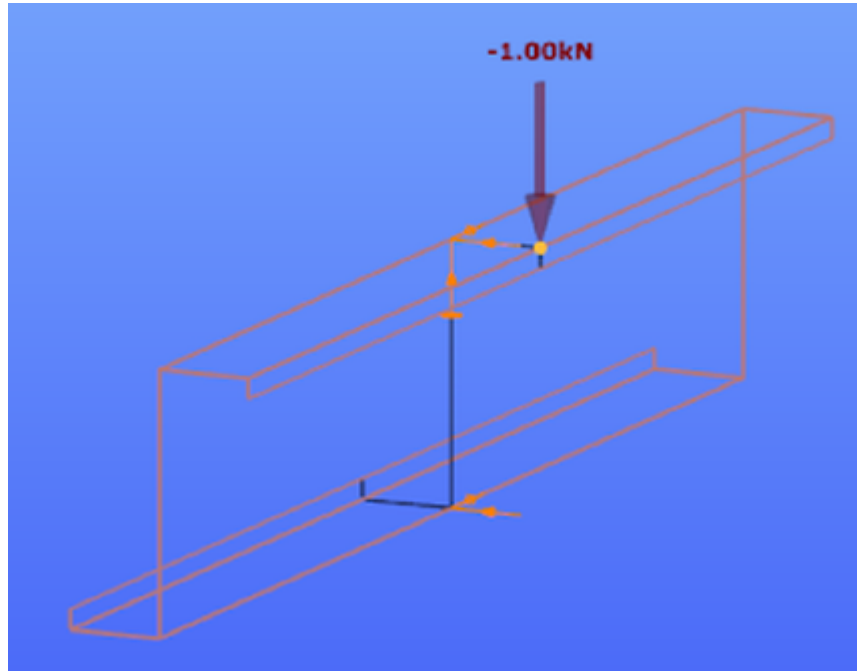
Όταν μία θλιβόμενη πλευρική ενίσχυση πάει να λυγίσει, τότε θα παρεμποδιστεί μερικώς η παραμόρφωσή της στους κόμβους στους οποίους συνδέεται με την υπόλοιπη διατομή. Ανάλογα με την κατανομή των ορθών τάσεων στην διατομή, μία ή δύο πλευρικές ενισχύσεις μπορεί να βρίσκονται υπό θλίψη. Αν και οι δύο ενισχύσεις βρίσκονται υπό θλίψη και τείνουν να λυγίσουν, τότε η ικανότητα της διατομής να παρεμποδίσει το λυγισμό θα πρέπει να μοιραστεί μεταξύ αυτών. Αυτή απαιτούμενη μοιρασιά αντιπροσωπεύεται από τον συντελεστή k_f . Η τιμή της ελαστικής δυσκαμψίας χρησιμοποιείται ως κατανομημένη ελαστική στήριξη στον υπολογισμό της αντίστασης σε λυγισμό της πλευρικής ενίσχυσης. Οι τιμές της δυσκαμψίας τυπικά υπολογίζονται ως ο λόγος των παραμορφώσεων που προκαλούνται από την εφαρμογή ενός μοναδιαίου φορτίου. Στην περίπτωση αυτή τα μοναδιαία φορτία εφαρμόζονται παράλληλα στην αναμενόμενη μετακίνηση των θλιβόμενων πλευρικών ενισχύσεων.

Στο παρακάτω μοντέλο του ConSteel ([Κατεβάστε το μοντέλο από εδώ](#)) αναπαράγεται ο υπολογισμός της δυσκαμψίας για μία διατομή μορφής Ζήτα με μήκος 1m (ως απλούστευση τα μοναδιαία φορτία τοποθετήθηκαν στο σημείο τομής του πέλματος με την ακραία ενίσχυση (lip) και όχι στον κεντροβαρικό άξονα της πλευρικής ζώνης):

Z τεγίδα, ονοματικό πάχος=1.30 mm, 200 mm ύψος, 72 mm πλάτος σε συμμετρικά πέλματα, 15.5 mm ύψος των lips

Στην περίπτωση της κάμψης M_y : $k_f = 0$, $b_1 = b_2 = 72$ mm, $h_w = 198.7$ mm, $t = 1.26$ mm

$K_1 = 210000 \cdot 1.26^3 / 4 \cdot (1 - 0.3^2) \cdot 1 / (72^2 \cdot 2 \cdot 198.7 + 72^3 + 0.5 \cdot 72 \cdot 72 \cdot 198.7 \cdot 1.0) = 0.08$ N/mm²



Προκύπτει κατακόρυφη μετακίνηση από το σημειακό φορτίο ίση με 12.9 mm.

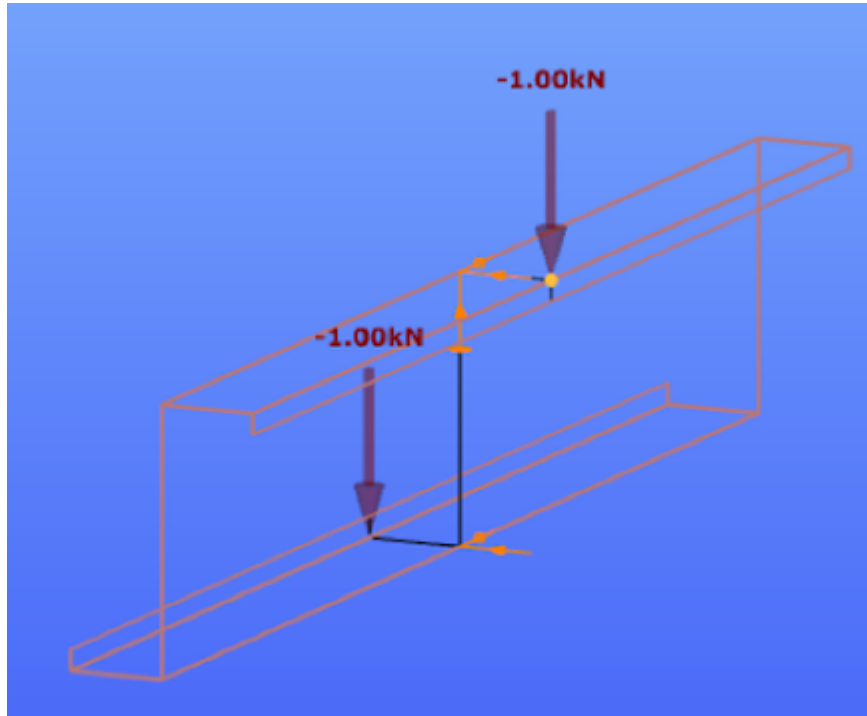
Η τιμή της ελαστικής δυσκαμψίας είναι: $K = u / \delta = 1 \text{ kN/m} / 12.9 \text{ mm} = 0.0775 \text{ N/mm}^2$ χωρίς την επίδραση από την εγκάρσια καταπόνηση.

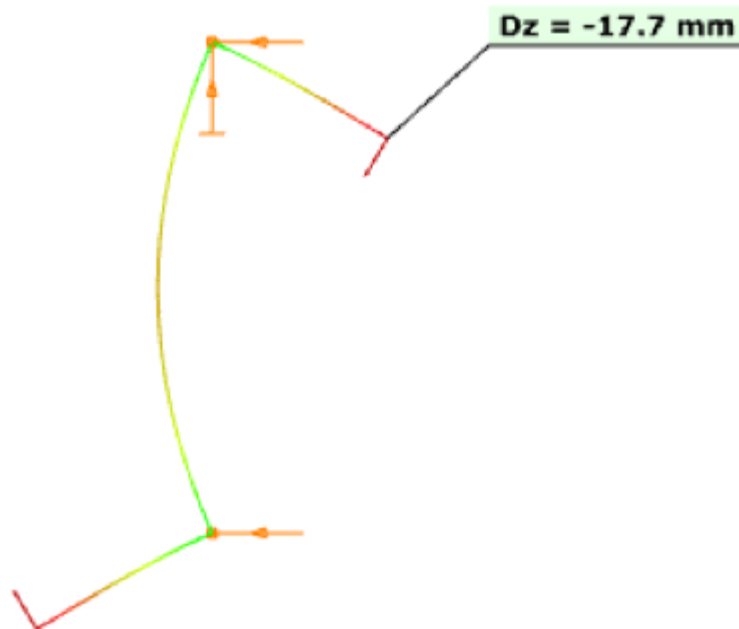
Πολλαπλασιάζοντας αυτή την τιμή με $(1-\nu^2)$ προκύπτει $0.0775 / (1-0.32)$ από όπου λαμβάνουμε τελικά την τιμή 0.08 N/mm^2 .

Στην περίπτωση της θλίψης:

$k_f = 1.0$, $b_1 = 72 \text{ mm}$, $h_w = 198.7 \text{ mm}$,

$t = 1.26 \text{ mm}$
 $K_1 = 210000 * 1.26^3 / 4 * (1 - 0.3^2) * 1 / (72^2 * 198.7 + 72^3 + 0.5 * 72 * 72 * 198.7 * 1.0) = 0.06 \text{ N/mm}^2$





Προκύπτει κατακόρυφη μετακίνηση από το σημειακό φορτίο ίση με 17.7 mm.

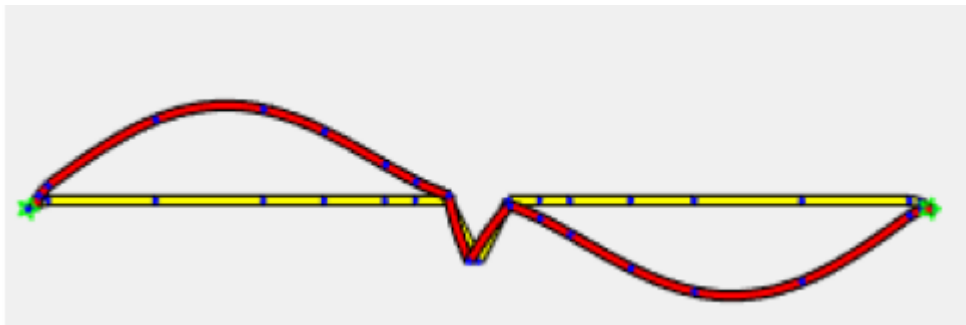
Η τιμή της ελαστικής δυσκαμψίας είναι: $K = u / \delta = 1 \text{ kN/m} / 17.7 \text{ mm} = 0.056 \text{ N/mm}^2$ χωρίς την επίδραση από την εγκάρσια καταπόνηση.

Πολλαπλασιάζοντας αυτή την τιμή με $(1-\nu^2)$ προκύπτει $0.056 / (1-0.32)$ από όπου λαμβάνουμε τελικά την τιμή 0.06 N/mm^2

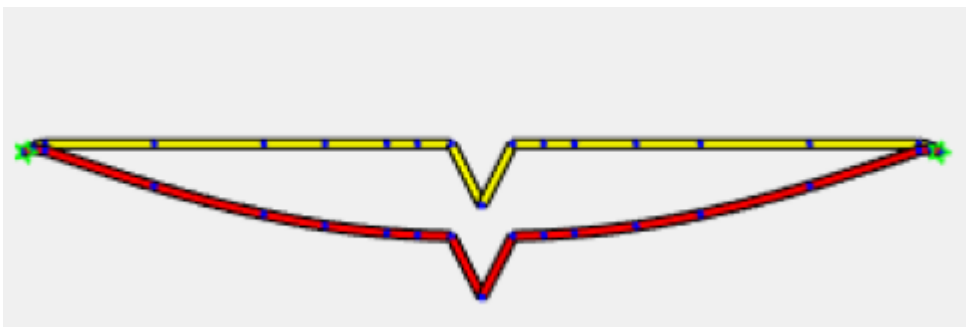
Συνεχίζουμε με τον δεύτερο "μυστικό" τύπο:

$$\delta = \frac{ub_1^2b_2^2}{3(b_1+b_2)} \cdot \frac{12(1-\nu^2)}{Et^3} \quad \dots (5.11)$$

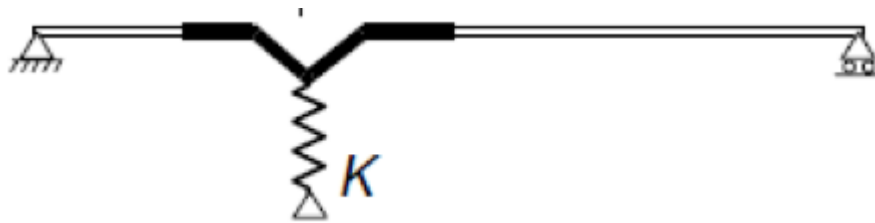
Ο τύπος αυτός (5.11) χρησιμοποιείται όταν ελέγχεται η ικανότητα μιας ενδιάμεσης ενίσχυσης να σταθεροποιήσει ένα θλιβόμενο έλασμα κορμού. Όταν η ενδιάμεση ενίσχυση είναι αρκετή δύσκαμπτη, τέμνει το μακρύτερο έλασμα του κορμού σε μικρότερα τμήματα. Κατά την διάρκεια του λυγισμού μία δύσκαμπτη ενίσχυση δεν θα μετακινηθεί, οπότε το έλασμα θα στρίψει μεταξύ των δύο άκρων (έχουμε την σταθεροποίηση από τα πέλματα) και της ενίσχυσης:



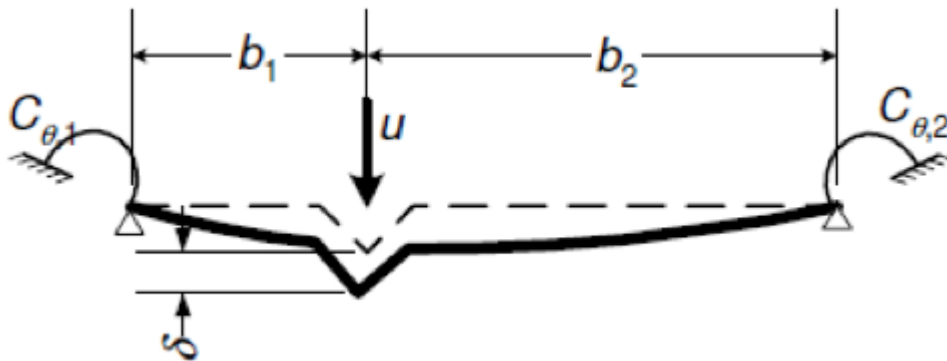
Αν η ενίσχυση δεν είναι αρκετά δύσκαμπτη, ήδη σε αρκετά χαμηλότερο επίπεδο έντασης θα εμφανιστεί λυγισμός λόγω στρέβλωσης ο οποίος χαρακτηρίζεται από μία μετακίνηση της ενίσχυσης και από τον λυγισμό του ελάσματος του κορμού με το μισό κύμα να είναι ίσο με το μήκος του ελάσματος:



Σε μία τέτοια περίπτωση ο Ευρωκώδικας επιτρέπει ακόμα ότι ο λυγισμός του ελάσματος του κορμού θα συμβεί μεταξύ των άκρων και των ενδιάμεσων ενισχύσεων, αλλά μειώνει το πάχος των ζωνών των ενδιάμεσων ενισχύσεων, με σκοπό να αντισταθμιστεί για δυσκαμψία μικρότερη από την ιδεατή. Αυτό το αντιστάθμισμα θα εξαρτάται από την αντίσταση σε λυγισμό της ενίσχυσης όταν υπόκειται σε θλίψη. Το απλοποιημένο μοντέλο που χρησιμοποιείται στην διαδικασία αυτή από τον Ευρωκώδικα εμφανίζεται παρακάτω. Ως απλούστευση θεωρείται ότι το έλασμα του κορμού συνδέεται με την υπόλοιπη διατομή με αρθρώσεις. Αυτό σημαίνει ότι η μορφή λυγισμού του δεν επηρεάζεται από την ενίσχυση των συνδεδεμένων τμημάτων και ότι τα άκρα τους μπορούν να περιστραφούν ελεύθερα. Τα άκρα του ελάσματος στηρίζονται και το έλασμα μπορεί και παρέχει μία ελαστική στρώση στην ενίσχυση, η οποία θα ληφθεί υπόψη ως "βοήθεια" στον υπολογισμό της αντίστασης σε λυγισμό. Αυτή η στρώση (bedding) αναπαριστάται από την ελαστική δυσκαμψία K :



Η τιμή του ελατηρίου η οποία αναπαριστά σε αυτό το μοντέλο την στρώση (bedding) η οποία παρέχεται από το έλασμα, υπολογίζεται ως ο λόγος της μετακίνησης που επιτυγχάνεται από την εφαρμογή ενός μοναδιαίου φορτίου στο κέντρο βάρους της ενίσχυσης. Στην περίπτωση αυτή το μοναδιαίο φορτίο εφαρμόζεται κάθετα στο έλασμα του κορμού. Ο τύπος (5.11) δίνει την βύθιση (δ) από ένα τέτοιο μοναδιαίο φορτίο (u).

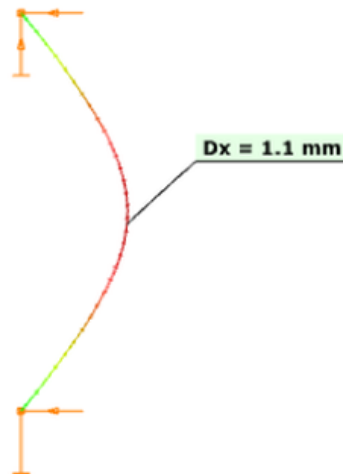
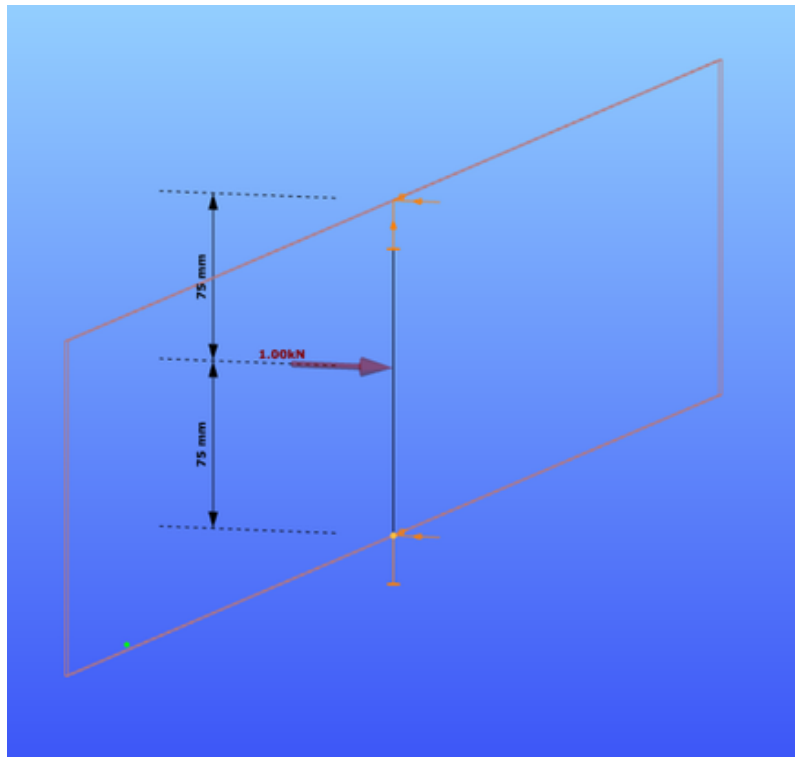


Στο παρακάτω μοντέλο του ConSteel ([κατεβάστε το από εδώ](#)) αναπαράγεται ο υπολογισμός της δυσκαμψίας του ελάσματος κορμού για μία διατομή μορφής C με μήκος 1m, όπου ο κορμός έχει ενισχυθεί μέσω μιας διαμήκουσ ενδιάμεσης ενίσχυσης κορμού. Καθώς ο τύπος (5.11) δίνει την βύθιση από ένα συγκεντρωμένο φορτίο, η ενδιάμεση ενίσχυση μορφής "V" δεν θα μοντελοποιηθεί, παρά μόνο τα επίπεδα ελάσματα με πάχος.

C διατομή, ονομαστικό πάχος = 1.524 mm, 150 mm ύψος με μία ενδιάμεση ενίσχυση 8 mm depth η οποία βρίσκεται στο μέσο του ελάσματος

Στην περίπτωση που εφαρμόζεται αξονική θλιπτική δύναμη στην διατομή τότε:

$$\delta = 1 \cdot 75^2 \cdot 75^2 / (3 \cdot (75 + 75)) \cdot 12 \cdot (1 - 0.3^2) / (210000 \cdot 1.524^2) = 1.033 \text{ mm}$$



Από τα παραπάνω προκύπτει οριζόντια μετακίνηση από το σημειακό φορτίο ίση με 1.135 mm χωρίς την επίδραση της εγκάρσιας καταπόνησης.

Πολλαπλασιάζονται αυτή την τιμή με $(1-\nu^2)$ παίρνουμε $1.135 \cdot (1-0.32) = 1.033$ mm

Αυτή η μετακίνηση θα μετατραπεί σε K τιμή ελαστικής δυσκαμψίας (spring).

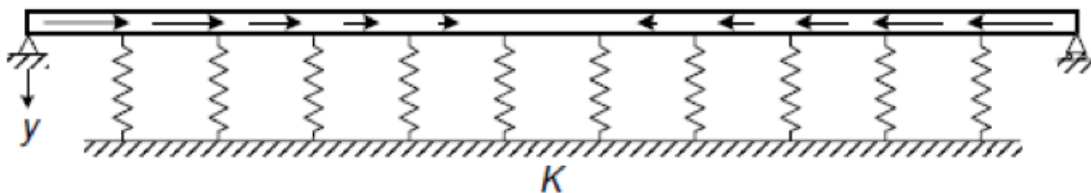
$$K = u/\delta$$

... (5.9)

με αποτέλεσμα $K = u/\delta = 1/1.033 = 0.968$ N/mm²

Στο σημείο αυτό, θα δείξουμε πώς υπολογίζεται η αντίσταση σε λυγισμό της ενίσχυσης. Για τον υπολογισμό αυτό χρειάζεται να λάβουμε υπόψη τις τιμές για τα ελατήρια. Μέχρι τώρα, έχουμε δείξει πώς υπολογίζεται η ελαστική δυσκαμψία „K” για την πλευρική και την ενδιάμεση ενίσχυση. Τώρα θα δείξουμε πώς μπορούμε να προχωρήσουμε παραπέρα. Ο στόχος είναι να προσδιοριστεί πόσο αποδοτικά μπορεί αυτή η ενίσχυση να στηρίξει τα συνδεδεμένα θλιβόμενα ελάσματα. Για να ληφθεί υπόψη ο τοπικός λυγισμός του θλιβόμενου ελάσματος θα υπολογιστούν το ενεργά πλάτη. Αυτά τα πλάτη μπορούν είτε να υπολογιστούν για ένα έλασμα στηριζόμενο στα δύο άκρα είτε για ένα έλασμα στηριζόμενο σε ένα άκρο μόνο, με την χρήση του πίνακα 4.1 και 4.2, αντίστοιχα. Αν μία ενίσχυση πληροί τις ελάχιστες κατασκευαστικές απαιτήσεις, θα υποθέσουμε αρχικά ότι είναι αρκετά άκαμπτη ώστε να δράσει ως στήριξη. Με βάση αυτή την υπόθεση θα βρούμε τα ενεργά μήκη των συνδεδεμένων θλιβόμενων ελασμάτων, θεωρώντας επίσης ότι εντείνονται λόγω φορτίων μέχρι το όριο διαρροής. Από τη στιγμή που γνωρίζουμε τα ενεργά πλάτη των τμημάτων των ελασμάτων που συνδέονται με την ενίσχυση, γνωρίζουμε επίσης το φορτίο για το οποίο υποτίθεται η ενίσχυση θα μπορεί αναλάβει χωρίς να εμφανίσει λυγισμό, ώστε να επαληθεύσουμε την πρώτη υπόθεση. Επομένως, στη συνέχεια υπολογίζουμε την αντίσταση σε καμπτικό λυγισμό της ενίσχυσης. Αν βρούμε ότι είναι μικρότερη από ότι στην αρχή θεωρήθηκε, επιστρέφουμε στο πρώτο βήμα, πηγαίνοντας χαμηλότερα από την ένταση η οποία πρέπει να είναι ίση με την επιτυγχανόμενη αντίσταση σε λυγισμό της ενίσχυσης (λυγισμός λόγω στρέβλωσης). Αυτό το χαμηλότερο επίπεδο έντασης μπορεί πράγματι να έχει ως αποτέλεσμα διαφορετικά ενεργά πλάτη. Μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας μπορούμε να φτάσουμε στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Μετά την ολοκλήρωση, ο υπολογισμός της τιμής της τελικής αντίστασης έναντι λυγισμού της ενίσχυσης, ενσωματώνεται σε ένα ισοδύναμο ενεργό πάχος το οποίο εφαρμόζεται στην ενίσχυση και στα συνδεδεμένα ενεργά τμήματα του ελάσματος.

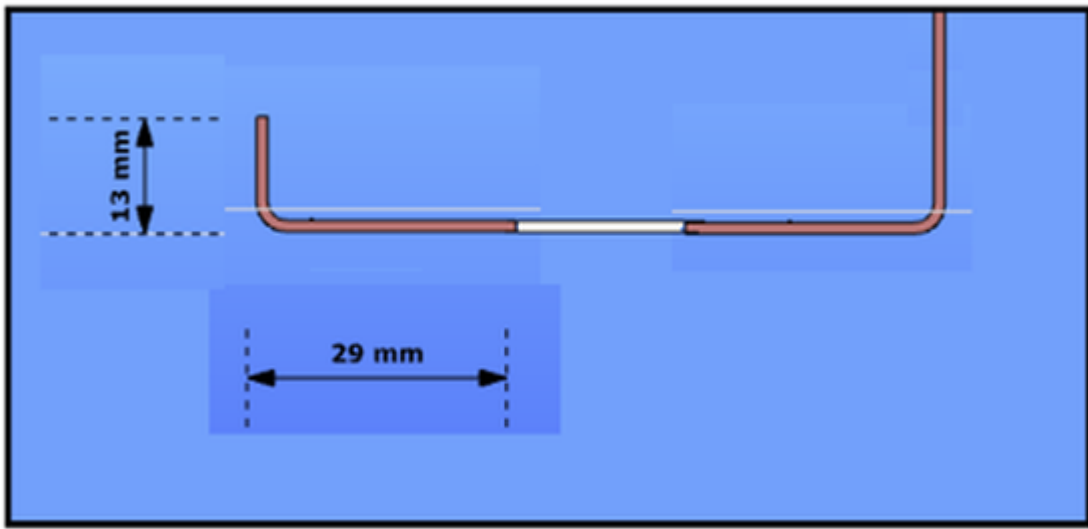
Στην ως άνω αναφερόμενη επαναληπτική διαδικασία, η τιμή „K” της ενίσχυσης θα χρειαστεί για να προσδιοριστεί η αντίσταση σε καμπτικό λυγισμό της ενίσχυσης. Αυτή η αντίσταση θα υπολογιστεί με την βοήθεια ενός μοντέλου μιας απλής δοκού, όπου η σταθεροποίηση που παρέχεται από τα εναπομείναντα τμήματα της διατομής χρησιμοποιείται ως μία συνεχής στρώση (bedding) του „K”. Η διατομή της δοκού αντιστοιχεί στην ενίσχυση και στα συνδεδεμένα τμήματα του ελάσματος και υπόκειται στο τρέχον επίπεδο έντασης κάθε φορά στην επαναληπτική διαδικασία, θεωρώντας μία απλούστευση με σκοπό να υπάρχει συνέχεια κατά μήκος. Το μήκος της δοκού στο μοντέλο αυτό είναι άγνωστο προς το παρόν, και χρειάζεται να είναι ίσο με το μισό του μήκους κύματος της μορφής λυγισμού η οποία αναμένεται να είναι περίπου 1.5-3 φορές το ύψος της εξεταζόμενης διατομής ψυχρής έλασης.



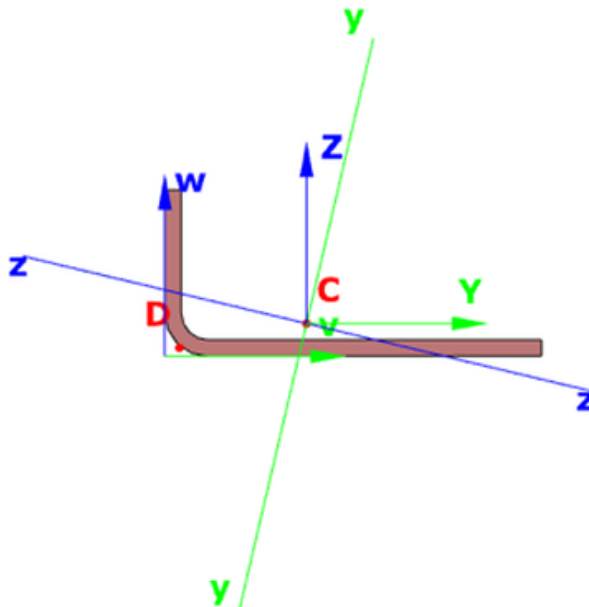
Ο λυγισμός λόγω στρέβλωσης θα εμφανιστεί μόνο αν το μήκος της ενίσχυσης είναι σημαντικά μεγαλύτερο από αυτό το τυπικό μήκος. Ως μία περαιτέρω απλούστευση ο Ευρωκώδικας προτείνει ένα άπειρο μήκος ως την δυσμενέστερη περίπτωση, επειδή σε αυτή την περίπτωση υπάρχει μία αναλυτική λύση στην βιβλιογραφία:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{2 \sqrt{K E I_s}}{A_s} \quad \dots (5.15)$$

Σε αυτό τον τύπο το „K” είναι η τιμή του ελατηρίου και αντιπροσωπεύει την ελαστική τιμή της ενίσχυσης την οποία η εναπομένουσα διατομή μπορεί να παρέχει στην ενίσχυση. Έχουμε επίσης τις ιδιότητες της διατομής της αντίστοιχης ενίσχυσης μαζί με τα συνδεδεμένα ενεργά πλάτη των στηριζόμενων ελασμάτων, την ονομαστική περιοχή και την αδράνεια περί κάθετο άξονα στην αναμενόμενη διεύθυνση λυγισμού της ενίσχυσης ενώ E είναι το μέτρο ελαστικότητας με βάση το υλικό του χάλυβα. Ο τύπος αυτός δίνει το επίπεδο ελαστικής τάσης όπου εμφανίζεται ο ελαστικός λυγισμός. Από τη στιγμή που αυτό πραγματοποιείται, υπολογίζεται η μειωμένη λυγηρότητα και επιτυγχάνεται η αντίσταση σε στρεβλωτικό λυγισμό με την χρήση των ειδικών καμπύλων λυγισμού σύμφωνα με τους τύπους (5.12a-c) του EN 1993-1-3. Η καταλληλότητα του τύπου (5.15) μπορεί εύκολα να παρουσιαστεί μέσω ενός απλού μοντέλου του ConSteel. Ας υποθέσουμε ότι έχουμε μία διατομή μορφής Z η οποία έχει αναφερθεί νωρίτερα, και η οποία υπόκειται σε θλιπτική δύναμη. Παράλληλα ας υποθέσουμε ότι έχουμε ήδη υπολογίσει τις τιμές του ενεργού πάχους. Η αντοχή διαρροής του υλικού είναι 235 MPa και το πάχος της επίστρωσης είναι 0.04 mm. Στη συνέχεια βρίσκουμε ότι το ενεργό πάχος της ακραίας ενίσχυσης (lip) και του πέλματος είναι αντίστοιχα \$c_{eff}=13\$ mm και \$b_{eff}=29\$ mm.



Οι ιδιότητες της διατομής μπορούν να υπολογιστούν από το ConSteel



Basic properties	
v_s	10.8 mm
w_s	2.5 mm
α	76.7 degree
A	49 mm ²
General properties in the principal axis system (y,z)	
I_y	4 442 mm ⁴
I_z	339 mm ⁴
i_y	9.5 mm
i_z	2.6 mm
$W^1_{el,y}$	247 mm ³
$W^1_{el,z}$	44 mm ³
$W^2_{el,y}$	347 mm ³
$W^2_{el,z}$	81 mm ³
General properties in the section edit system translated to the ce	
I_Y	555 mm ⁴
I_Z	4 226 mm ⁴
I_{YZ}	-917 mm ⁴
i_Y	3.4 mm
i_Z	9.3 mm
$W^1_{el,Y}$	55 mm ³
$W^1_{el,Z}$	236 mm ³
$W^2_{el,Y}$	224 mm ³
$W^2_{el,Z}$	392 mm ³
Torsional properties	
y_0	-4.0 mm
z_0	9.0 mm
Y_0	-9.7 mm
Z_0	-1.8 mm
I_t	26 mm ⁴
I_w	1 047 mm ⁶

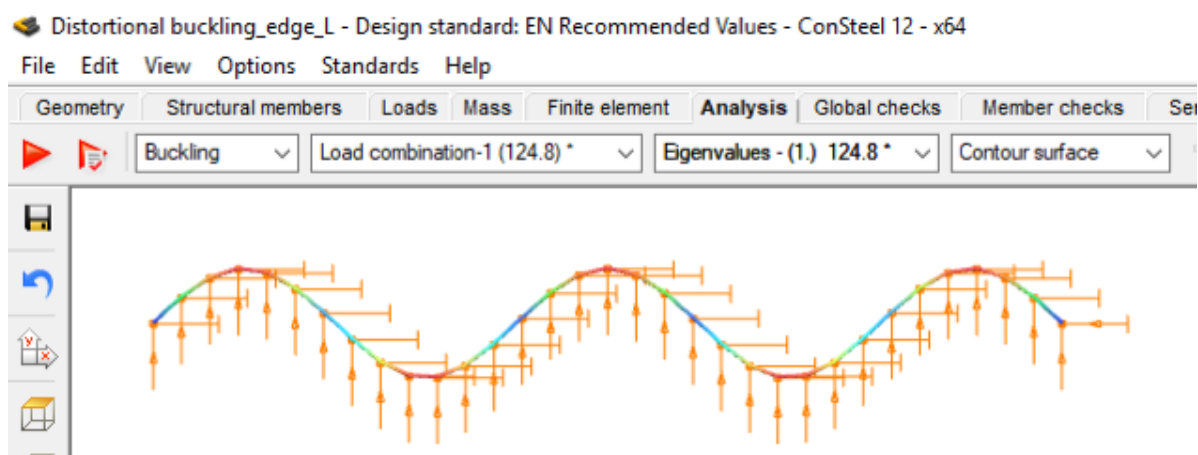
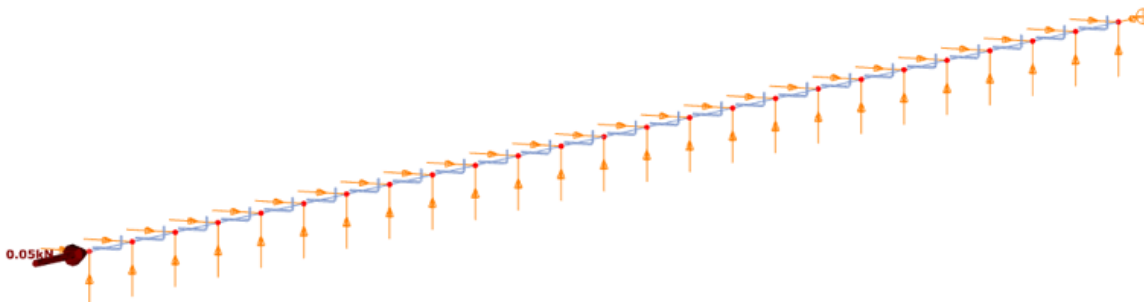
Στην αρχή αυτού του άρθρου αναφέρθηκε μία τιμή του „K” ίση με $K1=0.080 \text{ N/mm}^2$ για την πλευρική ενίσχυση.

Χρησιμοποιώντας τις τιμές αυτές όπως υπολογίζονται από τον αλγόριθμο του ConSteel για τις διατομές (section module) η κρίσιμη τάση θα είναι:

$$\sigma_{cr} = 2 \cdot \sqrt{K \cdot E \cdot I_s} / A_s = 2 \cdot \sqrt{0.080 \cdot 210000 \cdot 555} / 49 = 124.63 \text{ MPa}$$

Με σκοπό να δημιουργηθεί ένα μοντέλο στο ConSteel και να παρουσιαστεί αυτός ο υπολογισμός ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα αυθαίρετο μήκος μοντέλου 3000 mm το οποίο φαίνεται ότι είναι ικανό να προκαλέσει στρεβλωτικό λυγισμό (καμπτικό λυγισμό σε αυτή την περίπτωση).

Μία κατακόρυφη συνεχή στρώση (bedding) των 0.08 N/mm/mm έχει εφαρμοστεί καθώς και μία θλιπτική δύναμη $NEd=49 \cdot 1=49 \text{ N}$ αντίστοιχη με την μοναδιαία θλιπτική τάση του 1 MPa .



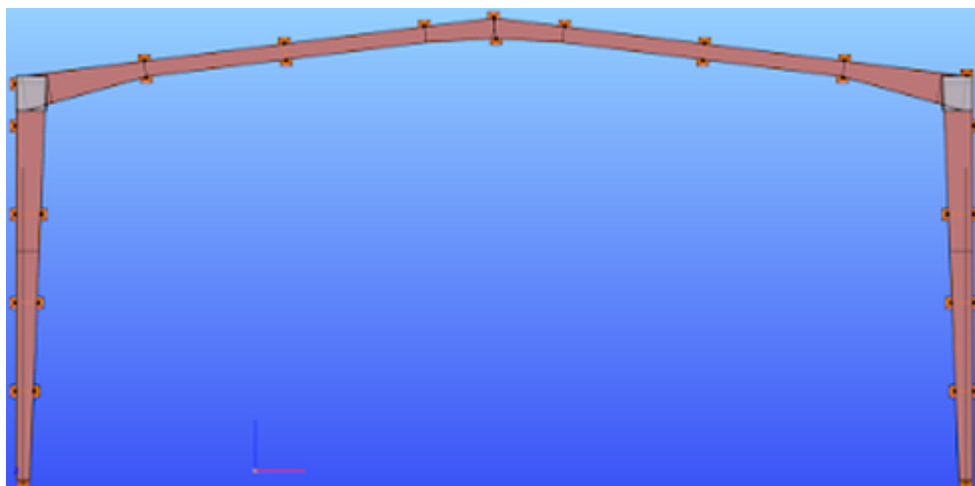
Για το μοντέλο αυτό του ConSteel έχουμε ένα πρώτο κρίσιμο πολλαπλασιαστή ίσο με 111.67

Αυτό αντιστοιχεί σε μία κρίσιμη τάση ίση με $\sigma_{cr} = 124.8 \cdot 1 = 124.8 \text{ MPa}$ η οποία είναι σχεδόν ίση με την τιμή που υπολογίζεται από τον τύπο (5.15) του EN 1993-1-3.

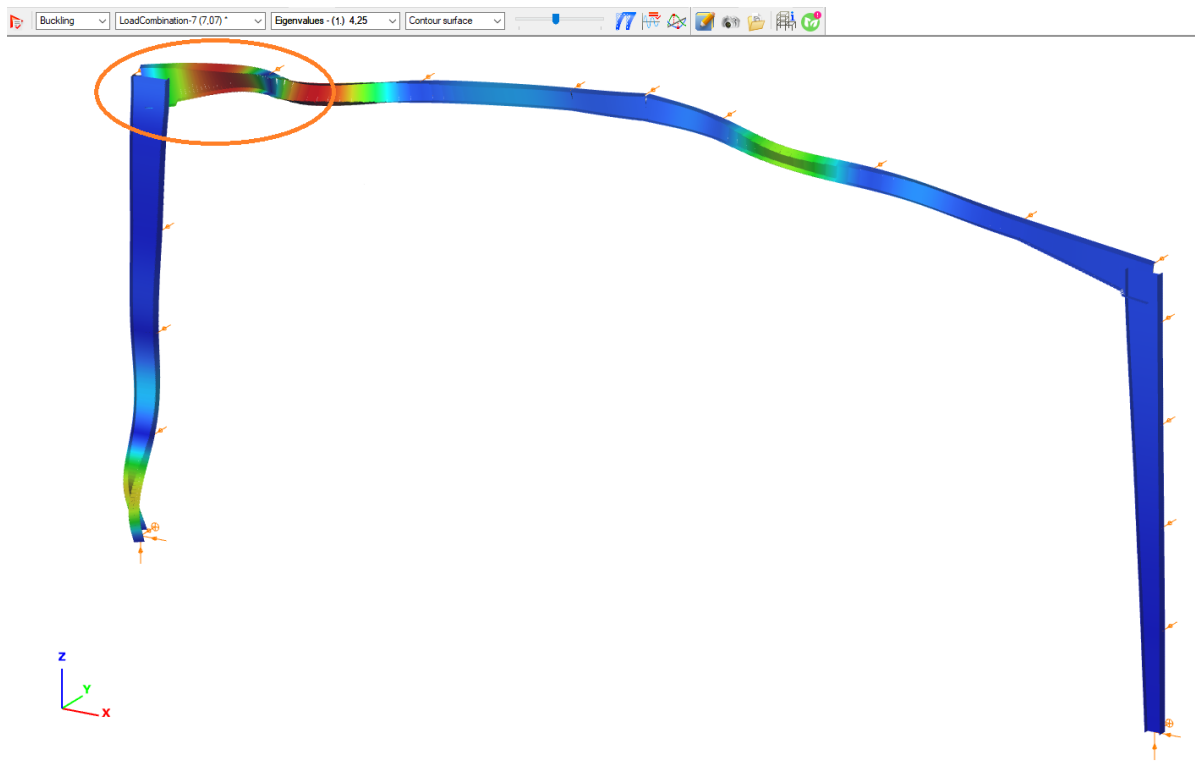
Έλεγχος μεταλλικής κατασκευής έναντι καθολικής ευστάθειας και τοπικού λυγισμού στο ίδιο μοντέλο

Αναρωτηθήκατε ποτέ πώς μπορείτε να ελέγξετε μία μεταλλική κατασκευή έναντι καθολικής ευστάθειας και τοπικού λυγισμού στο ίδιο μοντέλο; Όταν θέλουμε να ελέγξουμε την συμπεριφορά μιας μεταλλικής κατασκευής έναντι καθολικής ευστάθειας, μία εύκολη λύση είναι να εκτελέσουμε την ανάλυση λυγισμού. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αντιπροσωπεύουν την ενεργή απώλεια ευστάθειας της κατασκευής και τα επίπεδα των φορτίων (συντελεστές ελαστικού κρίσιμου φορτίου) στα οποία πραγματοποιήθηκε αυτή η απώλεια ευστάθειας. Οι συντελεστές αυτοί υπολογίζονται για κάθε συνδυασμό φόρτισης, και χρησιμοποιούνται στην καθολική ανάλυση για να προσδιοριστεί η λυγηρότητα και οι μειωτικοί συντελεστές για κάθε μέλος. Αν μειώσουμε την αντίσταση κάθε διατομής με τους μειωτικούς συντελεστές αυτό θα επηρεάζει την συνολική αντίσταση έναντι ευστάθειας της κατασκευής. Αν θέλουμε να έχουμε μία συνολική εικόνα για την συμπεριφορά έναντι τοπικού λυγισμού ενός μέλους της κατασκευής το οποίο είναι ευαίσθητο στον λυγισμό μπορούμε να ακολουθήσουμε την εξής διαδικασία στο Consteel:

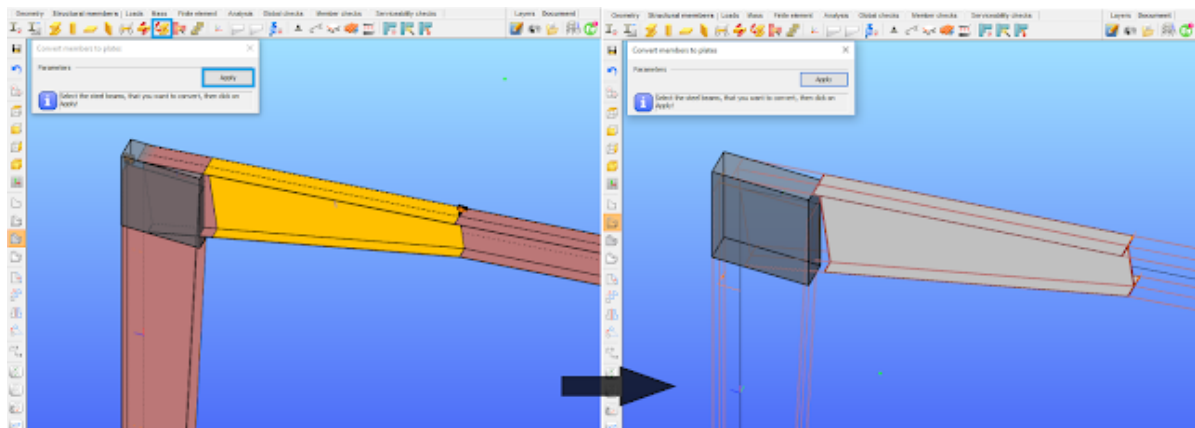
Αρχικά, μετατρέπουμε τα μέλη που θέλουμε σε απλά ελάσματα με την αντίστοιχη εντολή του Consteel. Ως αρχικό μοντέλο, θεωρούμε ένα απλό πλαίσιο δύο διαστάσεων, με μεταβλητά στοιχεία, το οποίο αποτελείται από διατομές μορφής I, με μία σχετική αύξηση του κορμού στις γωνίες:



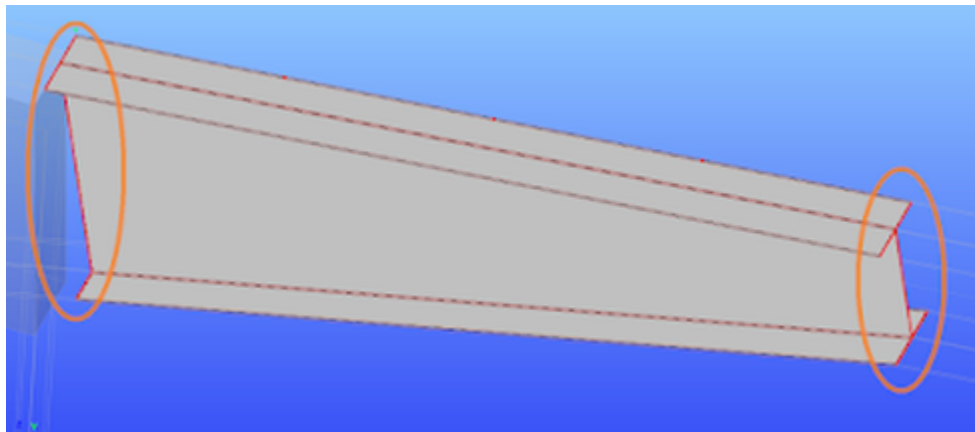
Εκτελώντας την ανάλυση λυγισμού, λαμβάνουμε τα εξής αποτελέσματα με τη μορφή παραμορφώσεων στο φορέα:



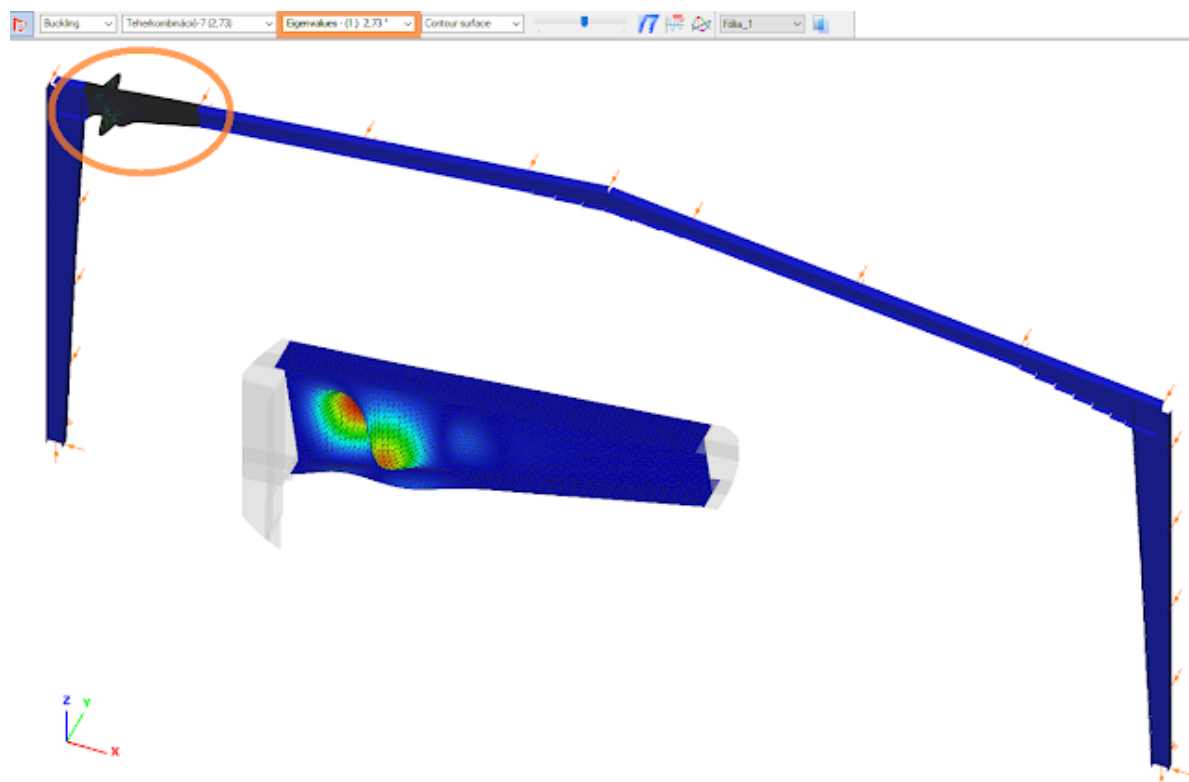
Από τον παραμορφωμένο φορέα, φαίνεται ότι η πιο καθοριστική διατομή της κατασκευής είναι αυτή που βρίσκεται στην γωνία του πλαισίου. Αξίζει λοιπόν να εξετάσουμε αυτή την περιοχή και το πως συμπεριφέρεται έναντι τοπικού λυγισμού. Το κρίσιμο φορτίο για τον λυγισμό είναι 4,25. Χρησιμοποιώντας στη συνέχεια την μετατροπή του μεταβλητού μέλους σε απλά ελάσματα, μετατρέπουμε την δοκό σε διατομή η οποία αποτελείται από συγκολλητά ελάσματα ενωμένα μεταξύ τους (να σημειωθεί ότι η τελική διατομή παραμένει ενιαία):



Όλες οι εκκεντρότητες, οι στηρίξεις, και οι παράμετροι του μοντέλου παραμένουν ίδιες κατά την μετατροπή. Είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε επίσης, ότι στα άκρα των τελικών μελών (μετά την μετατροπή) έχουν δημιουργηθεί τα απαραίτητα άκαμπτα τμήματα τα οποία παρέχουν την δυνατότητα να μεταφερθούν τα φορτία μεταξύ των ραβδωτών μελών και των ελασμάτων:

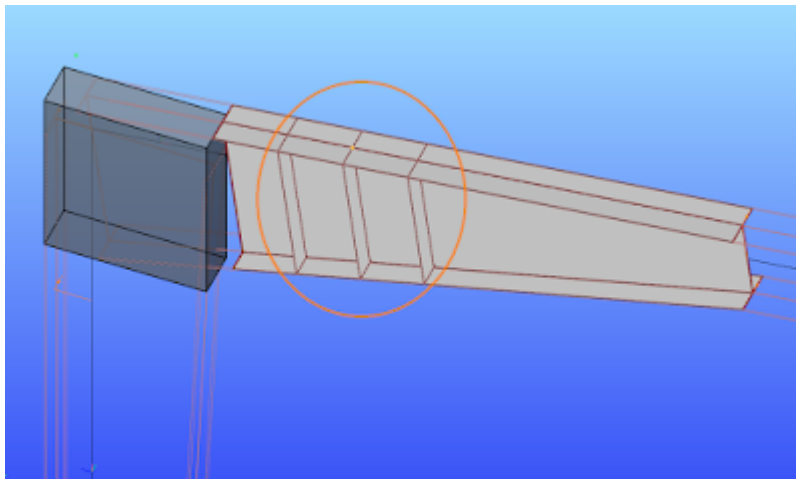


Κατόπιν, ελέγχουμε την συμπεριφορά αυτού του μέλους έναντι τοπικού λυγισμού, σε σχέση με ολόκληρη την κατασκευή, μετά την εκτέλεση της ανάλυσης λυγισμού στο μοντέλο:



Αυτή τη φορά ο συντελεστής κρίσιμου φορτίου για τον τοπικό λυγισμό είναι 2,73!

Έπειτα, προσθέτουμε, κάνοντας τις σχετικές μετατροπές στη δοκό μας, νευρώσεις (ελάσματα) στον κορμό της διατομής της δοκού:



Τελικά, εκτελώντας εκ νέου την ανάλυση λυγισμού, παρατηρούμε ότι πλέον ο έλεγχος σε τοπικό λυγισμό έχει διαφοροποιηθεί σημαντικά, καθώς ο συντελεστής κρίσιμου φορτίου για τον τοπικό λυγισμό είναι τώρα 3,52!

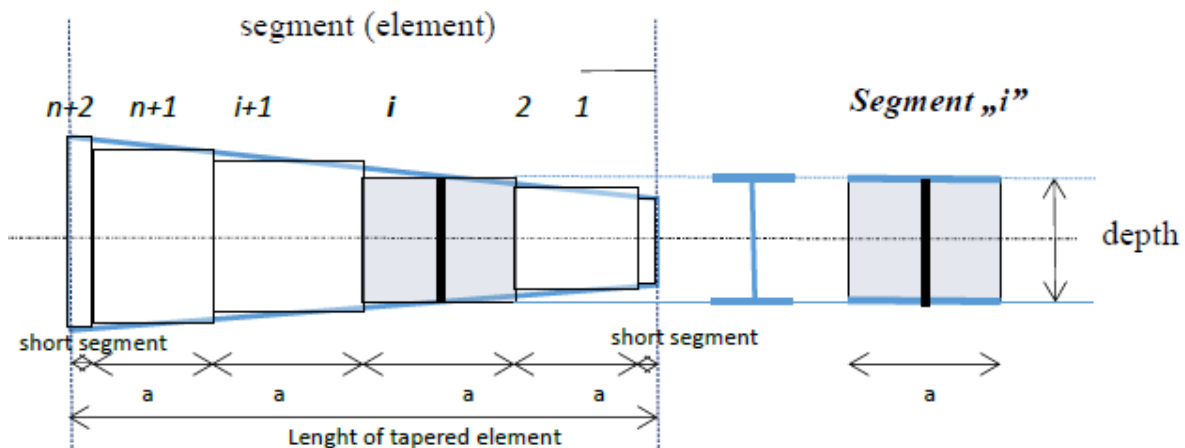
Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία μπορούμε να φτάσουμε εύκολα στο επιθυμητό συντελεστή!

Ο έλεγχος ευστάθειας σε μεταβλητά στοιχεία αποτελεί ένα δύσκολο πρόβλημα παρά την εκτεταμένη χρήση αυτών στις μεταλλικές κατασκευές. Το εξειδικευμένο λογισμικό ConSteel διαθέτει έξυπνα εργαλεία για την προσομοίωση και την ανάλυση τέτοιου είδους στοιχείων, παρέχοντας έναν εύκολο τρόπο για το σχεδιασμό τους.

Στον έλεγχο ευστάθειας των μεταβλητών διατομών, γίνεται χρήση στοιχείων που είχαν καταταμηθεί σε "n" μικρότερα μεμονωμένα στοιχεία, όπως για παράδειγμα στοιχεία I ή H με διαφορετικό πλάτος κορμού κατά μήκος της μεταβλητής διατομής το οποίο ήταν ισοδύναμο με το τελικό, μετρώντας το στο μέσο κάθε τμήματος. Τα μήκη αυτά των τμημάτων λαμβάνονταν ίσα, εκτός από τα άκρα όπου προστίθονταν κάποια μικρά τμήματα, με σκοπό η τελική προσομοίωση να φτάνει την πραγματική κατασκευή όσον αφορά στο πλάτος του μεταβλητού στοιχείου. Κάθε τμήμα, προσομοιωνόταν με ένα ραβδωτό στοιχείο δοκού, με 7 βαθμούς ελευθερίας.

Αυτού του είδους η προσομοίωση, αντιπροσώπευε επαρκώς τις εντός επιπέδου παραμορφώσεις, αλλά δεν λάμβανε υπόψη με ακρίβεια τις πρόσθετες στροφές που προκαλούνται από την αξονική τάση λόγω της στρέβλωσης στα πέλματα τα οποία δεν είναι παράλληλα με την γραμμή αναφοράς στα μεταβλητά μέλη.

Ως εκ τούτου, αυτή η προσέγγιση ίσως να προκαλούσε αποκλίσεις στους υπολογισμούς και τους ελέγχους σε λυγισμό, περιλαμβάνοντας στροφές όπως στις περιπτώσεις του στρεπτοκαμπτικού λυγισμού των υποσυλωμάτων ή των δοκών, ειδικά στις περιπτώσεις όπου τα πέλματα των δοκών είναι κατά μεγάλο ποσοστό χωρίς πλευρική εξασφάλιση.



Με σκοπό να βελτιωθεί η ακρίβεια στον έλεγχο ευστάθειας των μαθηματικών μοντέλων που περιλαμβάνουν μεταβλητές διατομές, εισήχθη ένα νέο «μεταβλητό» πεπερασμένο στοιχείο στο ConSteel 11 SP1. Μόλις πρόσφατα δημοσιεύτηκε η βάση της μεθοδολογίας για το στοιχείο αυτό από διάφορους ερευνητές, αλλά πρωτοπορώντας στο Consteel εφαρμόστηκε ήδη στο λογισμικό στην ανάλυση σε λυγισμό, αποτελώντας πλέον το πρώτο πρόγραμμα στον κόσμο το οποίο έχει αυτή τη δυνατότητα. Τα προαναφερθέντα προβλήματα που προκύπτουν από τα μη παράλληλα πέλματα μπορούν να λυθούν αν ληφθούν υπόψη κατάλληλοι πρόσθετοι όροι στο μητρώο δυσκαμψίας κάθε στοιχείου. Το τελικό μητρώο δυσκαμψίας μπορεί να γραφτεί ως άθροισμα του αρχικού μητρώου και των πρόσθετων όρων: $K_{st} = K_s + cK_I$ όπου K_s είναι το αρχικό μητρώο δυσκαμψίας με την ενιαία διατομή και K_I περιλαμβάνει τους πρόσθετους όρους κατάλληλους για διατομές με μονή και διπλή συμμετρία (μορφής τύπου I και H).

Οι πρόσθετοι όροι στο K_I χρησιμοποιούν τις παρακάτω παραμέτρους διατομών:

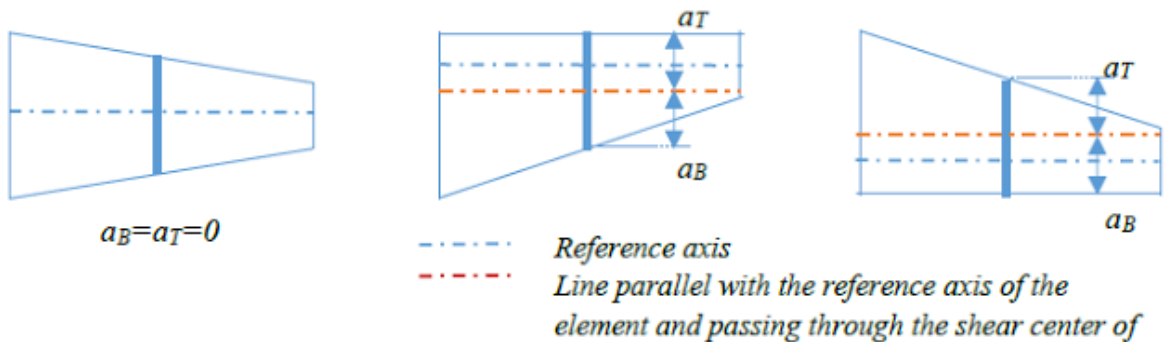
$$I_{\psi} = 4 \cdot \left(\frac{da_T}{dx}\right)^2 \cdot I_{fIzT} + \left(\frac{da_B}{dx}\right)^2 \cdot I_{fIzB}$$

$$I_{\omega\psi} = 2 \cdot \left(\frac{da_T}{dx} \cdot a_T \cdot I_{fIzT} + \frac{da_B}{dx} \cdot a_B \cdot I_{fIzB}\right)$$

$$I_{\psi z} = 2 \cdot \left(\frac{da_T}{dx} \cdot I_{fIzT} - \frac{da_B}{dx} \cdot I_{fIzB}\right)$$

$$I_{\omega z} = (a_T \cdot I_{fIzT} - a_B \cdot I_{fIzB})$$

Όπου I_{fIzT} και I_{fIzB} είναι οι ροπές αδράνειας των πέλματων σε σχέση με τον άξονα z, για το άνω (T) και το κάτω πέλμα (B), αντίστοιχα, a_T και a_B είναι η απόσταση μεταξύ της κεντρικής γραμμής του άνω και κάτω πέλματος και της γραμμής που είναι παράλληλη με την γραμμή αναφοράς τους στοιχείου, και διέρχεται μέσα από το κέντρο διάτμησης της μεσαίας διατομής όπως εμφανίζεται στην εικόνα που ακολουθεί για διατομές μορφής I και H, με διπλή συμμετρία.

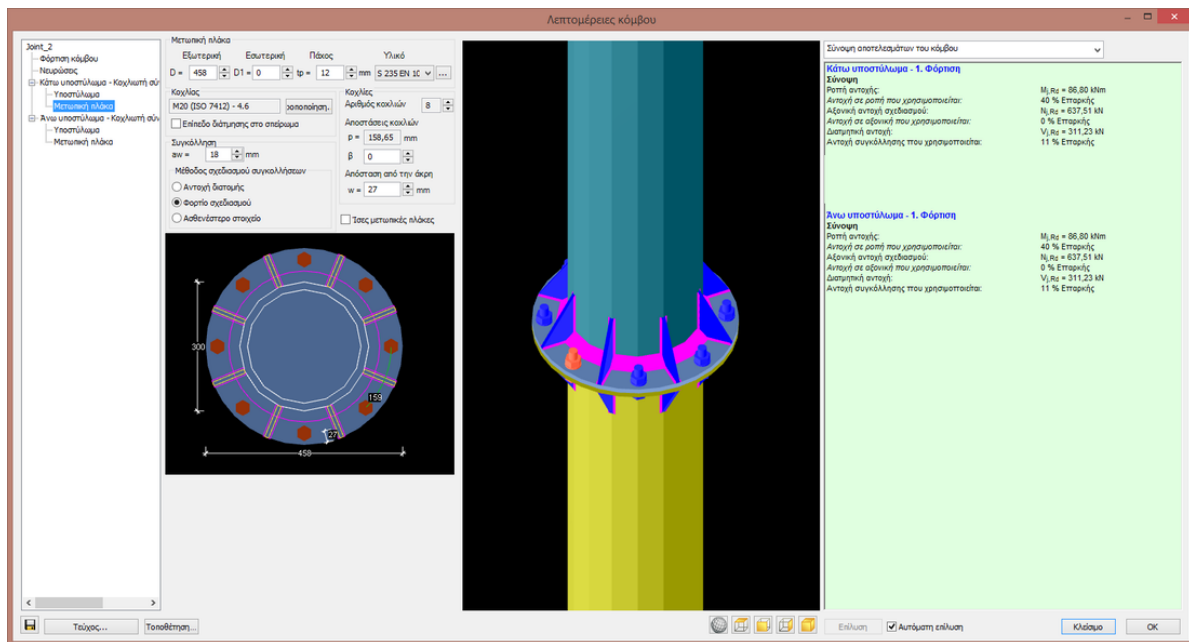


(Ορισμός των αT και αB στην περίπτωση διατομών διπλής συμμετρίας μορφής I και H.

Επιπρόσθετα, τα daT/dx και daB/dx αντιπροσωπεύουν τη γωνία μεταξύ του κατώτερου και ανώτερου πέλματος και της γραμμής που βρίσκεται παράλληλα στον γραμμή αναφοράς και διέρχεται από το κέντρο διάτμησης της μεσαίας διατομής. Η προσεγγιστική αυτή σχέση μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$\frac{da_T}{dx} = \alpha_{fIT} + 0.5 \cdot \delta_{shear} \quad \frac{da_B}{dx} = \alpha_{fIB} - 0.5 \cdot \delta_{shear}$$

Όπου αIT και αIB είναι οι γωνίες μεταξύ των πελμάτων και της γραμμής αναφοράς, δ_{shear} είναι η γωνία μεταξύ των γραμμών που διέρχονται από τις γραμμές από το κέντρο βάρους και το κέντρο διάτμησης των ακραίων διατομών των στοιχείων.



Ορισμός των αIT αIB στην περίπτωση διατομών I και H, με διπλή συμμετρία

Σύγκριση των αποτελεσμάτων

Παρατίθενται παρακάτω μερικά παραδείγματα για την επαλήθευση της ακρίβειας των νέων μεταβλητών πεπερασμένων στοιχείων τα οποία εφαρμόζονται στο Consteel, ενώ γίνεται σύγκριση με τα αποτελέσματα των δημοσιευμένων ερευνών με τη χρήση στοιχείων κελύφους. Μέσα από τα παραδείγματα αυτά αποδεικνύεται η μεγάλη ακρίβεια αυτών των στοιχείων ακόμα και στις πιο ακραίες περιπτώσεις λυγισμού όπου τα μεμονωμένα συνεχή στοιχεία δοκού δεν μπορούν να έχουν τέτοια ακρίβεια.

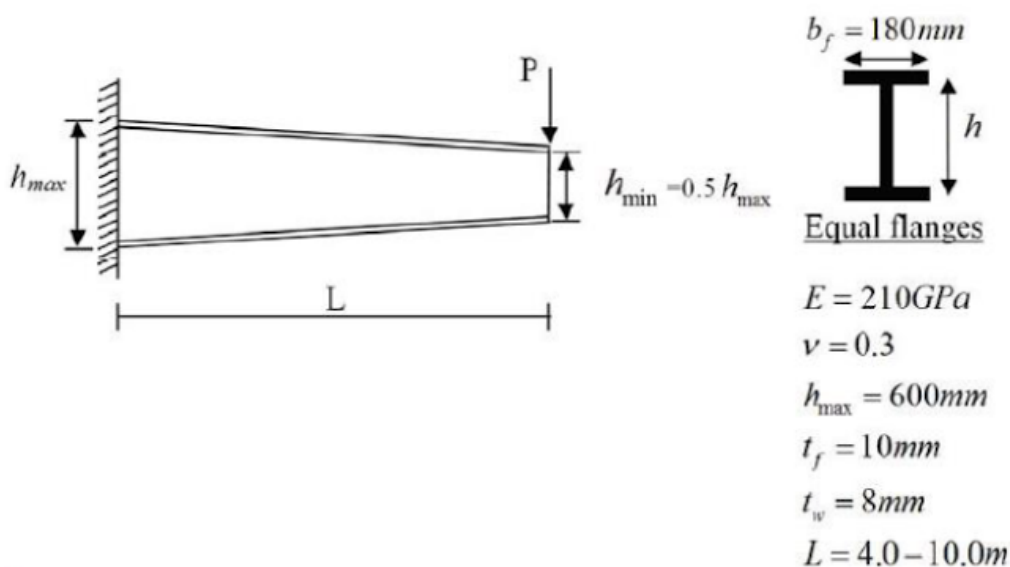
Παράδειγμα μεταβλητού προβόλου

Στο παράδειγμα αυτό παρουσιάζεται ένας μεταβλητός πρόβολος με συγκολλητή διατομή I. Το αρχικό ύψος είναι 600 mm και το τελικό είναι 300 mm. Το μήκος του προβόλου είναι μεταβλητό.

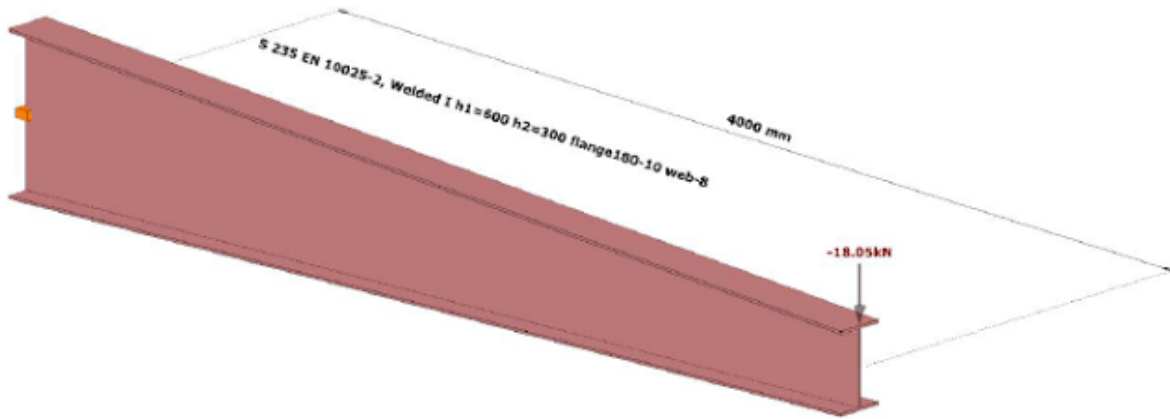
Η κρίσιμη δύναμη υπολογίζεται στο λογισμικό ConSteel με την χρήση μεταβλητής διατομής csBeam7. Τα αποτελέσματα του ConSteel συγκρίνονται με το πρόγραμμα Ansys, όπου χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία κελύφους [B. Asgarian, M. Soltani, Lateral –Torsional Buckling of Non-Prismatic Thin–Walled Beams with Non-Symmetric Cross Section. Procedia Engineering 14 (2011) 1653-1644] και με άλλες εφαρμογές [Andrade A, Camotim D. Lateral-torsional buckling of singly symmetric tapered beams: Theory and applications. Journal of Engineering Mechanics 2005; 131(6):586–97.].

Επιπλέον έγιναν συγκρίσεις με το λογισμικό SABRE2 (1).

Εικόνα : Μεταβλητός πρόβολος με συγκολλητή διατομή I (ίσα πέλματα)



Εικόνα : Στοιχείο csBeam7

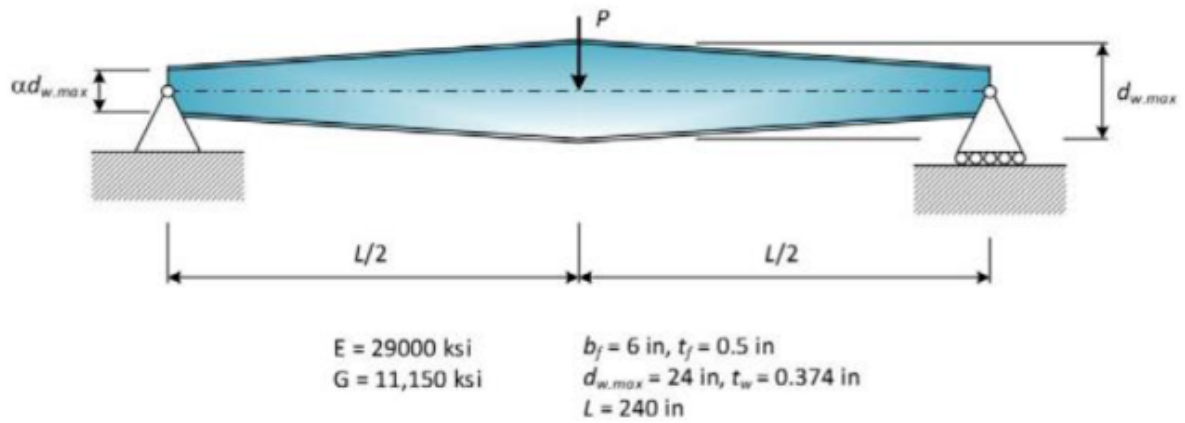


Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

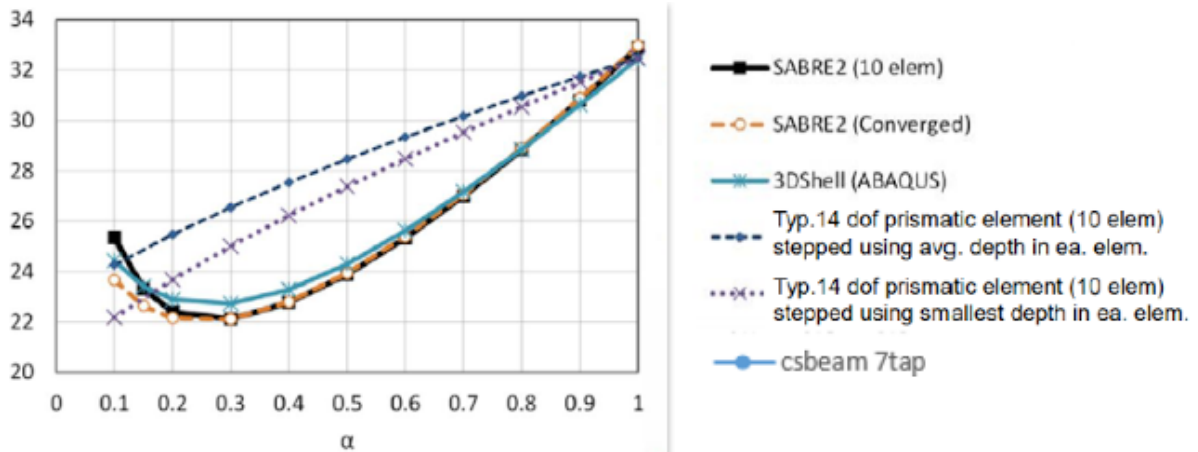
L [m]	Pcr [kN] FEM (ANSYS shell results) [Asgarian]	Pcr [kN] numerical solution [Andrade]	Pcr [kN] ConSteel tapered csbeam7	Pcr [kN] Sabre2 tapered beam
4	42,96	47,42	45,13	43,46
6	22,40	23,45	22,92	22,22
8	13,90	14,21	14,08	13,66
10	9,17	9,41	9,39	9,12

Μεταβλητό στοιχείο (στον κορμό), απλά στηριζόμενο, με βάση την μέθοδο των Yang & Yau & Andrade & Camotim

Τα αποτελέσματα από το μεταβλητό στοιχείο – δοκός του ConSteel (7tap) συγκρίθηκαν με αυτά που δημοσιεύτηκαν στο (2)



Ρcr δύναμη [kip] σε σχέση με τον συντελεστή μεταβλητότητας α



Αναφορές:

1: SABRE2 software Dr Donald w. White

© 2017 Georgia Institute of Technology <http://www.white.ce.gatech.edu/node/24>

2: Improved Design Assessment of LTB of I-Section Members via Modern Computational Methods, 2016 NASCC D. White, Georgia Tech

Προσδιορισμός της δυσκαμψίας των διατμητικών panels στο Consteel

Τα διατμητικά panels χρησιμοποιούνται στην καθημερινή πρακτική του σχεδιασμού κατασκευών, ιδίως στην Γερμανία, όπου λαμβάνεται υπόψη η συνδρομή των τραπεζοειδών χαλυβδόφυλλων στην ευστάθεια ενός κτιρίου, τα οποία είναι συνδεδεμένα με τα άλλα ραβδωτά στοιχεία της κατασκευής. Η συνδρομή αυτή στην ευστάθεια μπορεί να ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς, μόνο όταν το λογισμικό που χρησιμοποιούμε περιλαμβάνει ραβδωτά στοιχεία με 7 βαθμούς ελευθερίας. Στο ConSteel 11, έχει ενσωματωθεί η δυνατότητα να ληφθούν υπόψη τέτοιου είδους διατμητικά πεδία σε επίπεδο πεπερασμένου στοιχείου.

Υπολογισμός δυσκαμψίας διατμητικών στοιχείων

Όνομα στοιχείου διάτμησης: 2

Προφίλ του τραπεζοειδούς ελάσματος: T 135.1-0.75

Εφαρμοζόμενος υπολογισμός: Schardt/Strehl/DIN 18821

Ιδιότητες του διατμητικού στοιχείου

Fixing: κάθε νεύρωση κάθε δεύτερη νεύρωση

Μήκος επιφάνειας διάτμησης (ls): 6 m

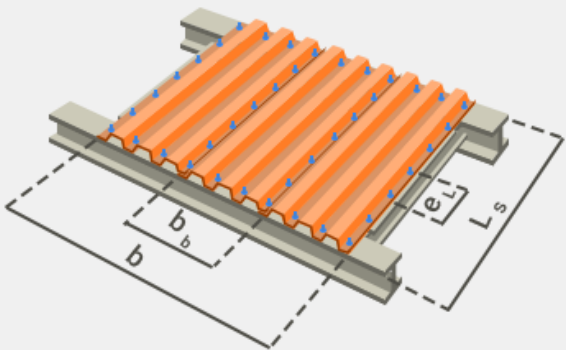
Καθορισμός απόστασης (ei): 3 m

Αριθμός των ανοιγμάτων: 1

Αριθμός των κατά μήκος συναρμογών (n' b): 1

Τιμή δυσκαμψίας διατμητικού στοιχείου: 0 kN/m

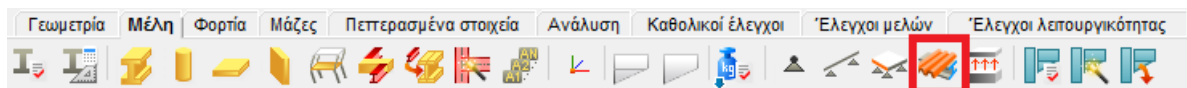
Νέο Διαγραφή Κλείσιμο Εφαρμογή



Για τον υπολογισμό της δυσκαμψίας που προσφέρει το διατμητικό πεδίο, έχουν συμπεριληφθεί στο Consteel διάφορες μέθοδοι που προέρχονται τόσο από κανονιστικά πρότυπα όσο και από τις ίδιες τις εταιρείες παραγωγής αυτών.

Υπολογισμός της διατμητικής δυσκαμψίας στην περίπτωση που τα panels παράγονται από την εταιρεία Hoesch [1]

Η προτεινόμενη αυτή μέθοδος χρησιμοποιεί την παρακάτω εξίσωση (DIN 18807, Schardt/Strehl method):



$$S = \frac{10^4}{K_1 + \frac{K_2}{L}} * a$$

Σχέση 1

S: δυσκαμψία του διατμητικού πεδίου [kN]

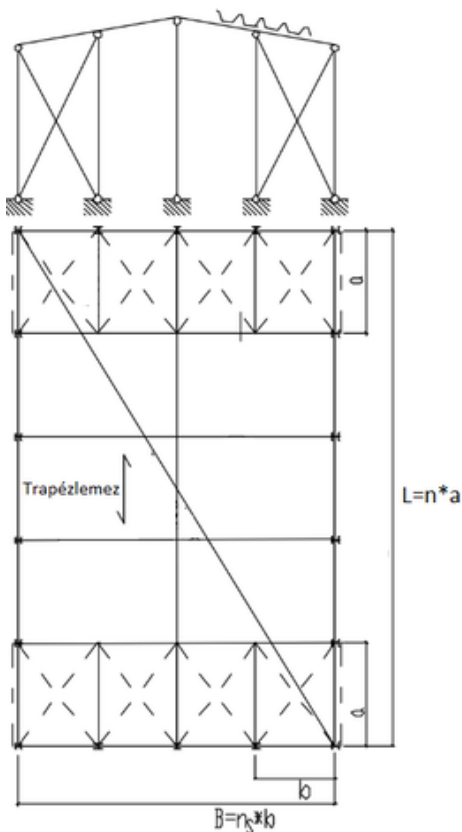
K1: συγκεκριμένη παράμετρος για το επιλεγμένο panel [m/kN]

K2: συγκεκριμένη παράμετρος για το επιλεγμένο panel [m²/kN]

L: Μήκος του διατμητικού πεδίου παράλληλο στην διεύθυνση των νευρώσεων του panel [m]

a: εφαρμοζόμενο ενεργό πλάτος [m]

Στην εικόνα 1 εμφανίζεται το σκαρίφημα ενός κτιρίου με τις διαστάσεις, όπως αυτές χρησιμοποιούνται στην προηγούμενη εξίσωση. Η μέθοδος αυτή υποθέτει ότι τα panels και στις 4 πλευρές κατά μήκος του ορίου του εξεταζόμενου διατμητικού πεδίου είναι πλήρως συνδεδεμένες στις υποστηριζόμενες κατασκευές με επαρκή απόσταση.



Εικόνα 1

Οι τιμές K1 και K2 έχουν προσδιοριστεί από τον παραγωγό για κάθε τύπο panel λαμβάνοντας υπόψη το ίδιο το πάχος του. Αυτές οι τιμές μπορούν να βρεθούν στην επίσημη ιστοσελίδα του παραγωγού ή σε επίσημα πιστοποιητικά. Αξίζει να σημειωθεί, ότι αυτά τα πιστοποιητικά έχουν συγκεκριμένη εφαρμογή της μεθόδου, και ως εκ τούτου συνιστάται να γίνει διπλός έλεγχος της καταλληλότητας των τιμών που θα ληφθούν υπόψη στους υπολογισμούς στο ConSteel. Η τιμή S που προσδιορίζεται από την εξίσωση (1) είναι κατάλληλη αν τα τραπεζοειδή φύλλα είναι πλήρως συνδεδεμένα με κάθε νεύρωση που στηρίζεται στην κατασκευή. Η τιμή S χρειάζεται να πολλαπλασιαστεί με τιμή 0.2 στην περίπτωση που η σύνδεση γίνεται σε κάθε δεύτερη νεύρωση μόνο.

Υπολογισμός της διατμητικής δυσκαμψίας στην περίπτωση που τα panels παράγονται από την εταιρεία Fischer [2]

Η προτεινόμενη αυτή μέθοδος χρησιμοποιεί την παρακάτω εξίσωση (βελτιωμένη μέθοδος Schardt/Strehl) (2). Η εξίσωση 3 περιλαμβάνει πρόσθετες παραμέτρους (K1*, K2* και eL) σε σύγκριση με την κλασική μέθοδο, για να λάβει υπόψη την επίδραση της συνδεσιμότητας των panels.

$$S = \frac{1}{(K_1 + K_1^* e_L) + \frac{K_2 + K_2^*}{L}} * a$$

S: δυσκαμψία του διατμητικού πεδίου [kN]

K1: συγκεκριμένη παράμετρος για το επιλεγμένο panel [10⁻⁴*m/kN]

K2: συγκεκριμένη παράμετρος για το επιλεγμένο panel [10⁻⁴*m²/kN]

K1*: συγκεκριμένη παράμετρος για το επιλεγμένο panel [10⁻⁴*1/kN]

K2*: συγκεκριμένη παράμετρος για το επιλεγμένο panel [10⁻⁴*m²/kN]

eL: απόσταση μεταξύ των κατά μήκος στερεώσεων [m]

L: Μήκος του διατμητικού πεδίου παράλληλα στην διεύθυνση των νευρώσεων του panel [m]

a: εφαρμοζόμενο ενεργό πλάτος [m]

Η μέθοδος αυτή υποθέτει ότι τα panels και στις 4 πλευρές κατά μήκος του ορίου του εξεταζόμενου διατμητικού πεδίου είναι πλήρως συνδεδεμένες στις υποστηριζόμενες κατασκευές με επαρκή απόσταση. Η τιμή S που προσδιορίζεται από την εξίσωση (2) είναι κατάλληλη αν τα τραπεζοειδή φύλλα είναι πλήρως συνδεδεμένα με κάθε νεύρωση που στηρίζεται στην κατασκευή. Η τιμή S χρειάζεται να πολλαπλασιαστεί με τιμή 0.2 στην περίπτωση που η σύνδεση γίνεται σε κάθε δεύτερη νεύρωση μόνο.

Υπολογισμός της διατμητικής δυσκαμψίας στην περίπτωση που τα panels παράγονται από την εταιρεία Arcelor [3]

Η προτεινόμενη αυτή μέθοδος χρησιμοποιεί την παρακάτω εξίσωση (3) (Bryan/Davies method):

$$S = \frac{10^4}{\left[(K_1' + \alpha_2 + K_1' e_L) + \frac{(K_2' + \alpha_1 + \alpha_4 + K_2' + \alpha_3)}{L_s} \right]} * a$$

S: δυσκαμψία του διατμητικού πεδίου [kN]

K1': συγκεκριμένη παράμετρος για το επιλεγμένο panel [m/kN]

K2': συγκεκριμένη παράμετρος για το επιλεγμένο panel [m²/kN]

K1*: συγκεκριμένη παράμετρος για το επιλεγμένο panel [1/kN]

K2*: συγκεκριμένη παράμετρος για το επιλεγμένο panel [m²/kN]

L_s: Μήκος διατμητικού πεδίου παράλληλα στην διεύθυνση των νευρώσεων του panel [m]

α₁, α₂, α₃: πρόσθετες παράμετροι εξαρτώμενες από τα ανοίγματα που καθορίζονται στους πίνακες

α₄: πρόσθετες παράμετροι εξαρτώμενες από τον αριθμό των συνδέσεων του panel κατά μήκος

a: εφαρμοζόμενο ενεργό πλάτος [m]

Η μέθοδος αυτή υποθέτει ότι τα panels και στις 4 πλευρές κατά μήκος του ορίου του εξεταζόμενου διατμητικού πεδίου είναι πλήρως συνδεδεμένες στις υποστηριζόμενες κατασκευές με επαρκή απόσταση. Η τιμή S που προσδιορίζεται από την εξίσωση (3) είναι κατάλληλη αν τα τραπεζοειδή φύλλα είναι πλήρως συνδεδεμένα με κάθε νεύρωση που στηρίζεται στην κατασκευή. Η τιμή S χρειάζεται να πολλαπλασιαστεί με τιμή 0.2 στην περίπτωση που η σύνδεση γίνεται σε κάθε δεύτερη νεύρωση μόνο.

Υπολογισμός της διατμητικής δυσκαμψίας με βάση τον Ευρωκώδικα 3 [4]

Η προτεινόμενη αυτή μέθοδος χρησιμοποιεί την παρακάτω εξίσωση (4): $S = (1000 * \sqrt{t^3}) * (50 + 10 * \sqrt[3]{(b_{roof})}) * 1/hw * a$ (4)

S: δυσκαμψία του διατμητικού πεδίου [kN]

t: πάχος του panel [mm]

hw: ύψος panel [mm]

a: εφαρμοζόμενο ενεργό πλάτος [m]

b_{roof}: Μήκος του διατμητικού πεδίου παράλληλα στην διεύθυνση των νευρώσεων του panel (πλάτος της στέγης) [mm]

Στην μέθοδο αυτή δεν χρειάζεται τα panels που είναι πλήρως συνδεδεμένα και στις 4 πλευρές κατά μήκος του ορίου του εξεταζόμενου διατμητικού πεδίου να είναι πλήρως συνδεδεμένα στις υποστηριζόμενες κατασκευές. Απαιτείται όμως, η ελάχιστη σύνδεση απευθείας σε σταθερά μέλη της κατασκευής σε 2 πλευρές με επαρκή απόσταση.

Η τιμή S που προσδιορίζεται από την εξίσωση (4) είναι κατάλληλη αν τα τραπεζοειδή φύλλα είναι πλήρως συνδεδεμένα με κάθε νεύρωση που στηρίζεται στην κατασκευή. Η τιμή S χρειάζεται να πολλαπλασιαστεί με τιμή 0.2 στην περίπτωση που η σύνδεση γίνεται σε κάθε δεύτερη νεύρωση μόνο.

Παραδείγματα προσδιορισμού της δυσκαμψίας των διατμητικών panels

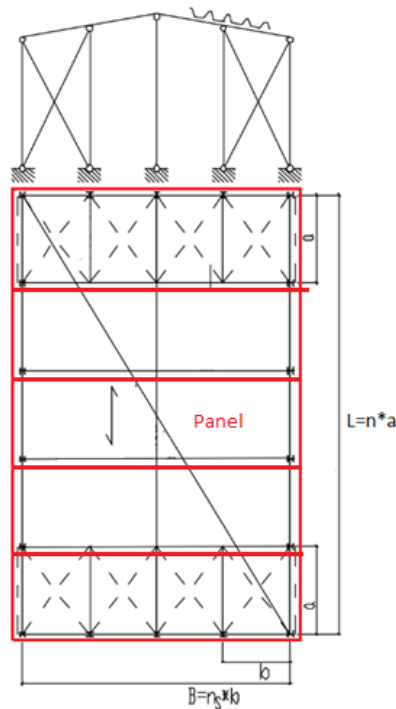
Παράμετροι

$L=25$ m (Μήκος του διατμητικού πεδίου παράλληλα στην διεύθυνση των νευρώσεων του panel)

$n=5$ (αριθμός πλαισίων)

$a=5$ m (απόσταση πλαισίων)

$B=12$ m (άνοιγμα)

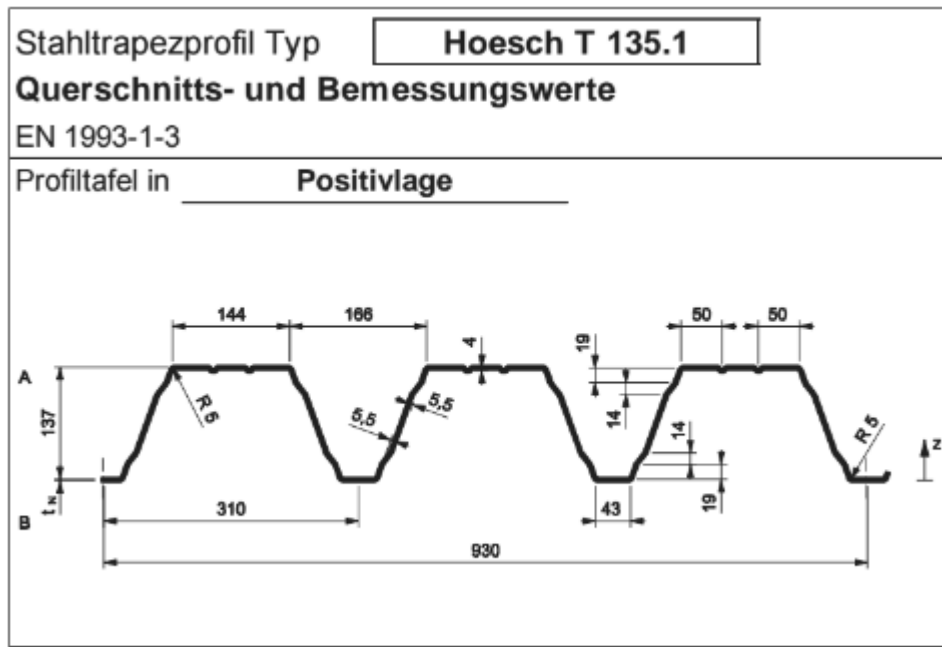


Εικόνα 2 : Κάτοψη & τομή μιας τυπικής μεταλλικής κατασκευής

Το κτίριο του παραδείγματος εμφανίζεται στην εικόνα 2. Σε αυτό το κτίριο δεν έχουν εισαχθεί τεγίδες, παρά μόνο ένα βαθύ κυματοειδές τραπεζοειδές panel το οποίο έχει τοποθετηθεί πάνω από τις κύριες δοκούς. Ολόκληρη η στέγη του κτιρίου έχει υποθεθεί ότι λειτουργεί ως ένα διατμητικό πεδίο. Για να επιβεβαιωθεί όμως κάτι τέτοιο, τα panels είναι πλήρως συνδεδεμένα στις κύριες δοκούς καθώς και στις διαμήκης δοκούς που βρίσκονται στις κορυφές των πλαισίων. Τα panels θεωρούνται συνδεδεμένα πάνω από την κορυφή του κτιρίου σχηματίζοντας ένα συνεχόμενο διάφραγμα με κατάλληλα συνδεδεμένα στοιχεία (κόκκινες γραμμές). Τα panels είναι πλήρως συνδεδεμένα σε κάθε νεύρωση στην στηριζόμενη κατασκευή. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι σε τέτοια περίπτωση ολόκληρη η επιφάνεια της στέγης με τα διατμητικά πεδία προσφέρει καθολική ευστάθεια στην κατασκευή και ως εκ τούτου θα πρέπει στο μέλλον να γίνονται τροποποιήσεις ή δημιουργία ανοιγμάτων μόνο κατόπιν σχετικών ελέγχων από μηχανικούς.

Hoesch panel (Schardt/Strehl method)

Χρησιμοποιούμενο Panel:· Hoesch T 135.1· 0.75 mm πάχος, με θετική κατεύθυνση, κανονική σύνδεση



Εξαγωγή του πίνακα για τον προσδιορισμό των πρόσθετων παραμέτρων:

Schubfeldwerte										
Nennblechdicke t_N mm	$\min L_S$ ¹³⁾ m	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ¹⁶⁾				Grenzzustand der Tragfähigkeit ¹⁷⁾		F _{t,Rk} in kN ¹⁹⁾		
		T _{2,Rk} kN/m	L _G ¹⁴⁾ m	T _{3,Rk} = G _s / 750 [kN/m] ¹⁵⁾		T _{1,Rk} kN/m	K ₃ -	Einleitungslänge a		
				K ₁ m/kN	K ₂ m ² /kN			≥ 130 mm	≥ 280 mm	
Normalausführung: Verbindung in jedem Untergurt										
0,75	4,98	1,68	6,53	0,274	54,836	2,54	0,884	13,5	18,0	
0,88	4,58	2,55	5,54	0,232	36,017	3,27	0,884	16,0	21,3	
1,00	4,29	3,56	4,86	0,203	25,795	3,99	0,884	18,3	24,3	
1,25	3,82	6,35	3,87	0,161	14,463	5,65	0,884	23,1	30,7	
1,50	3,48	10,16	3,48	0,133	9,043	7,49	0,884	27,8	37,0	
Sonderausführung: Verbindung mit 2 Schrauben oder verstärkter Unterlegscheibe in jedem Untergurt ¹⁶⁾										
0,75	5,18	1,60	11,05	0,274	39,674	5,69	0,795	13,5	18,0	
0,88	4,76	2,44	9,41	0,232	26,059	7,33	0,795	16,0	21,3	
1,00	4,45	3,41	8,28	0,203	18,663	8,95	0,795	18,3	24,3	
1,25	3,97	6,08	6,64	0,161	10,464	12,67	0,795	23,1	30,7	
1,50	3,61	9,73	5,56	0,133	6,543	16,79	0,795	27,8	37,0	

Τιμές των παραμέτρων ειδικά για το χρησιμοποιούμενο panel με βάση τα έγγραφα πιστοποίησης:

- K1=0,274 [m/kN]
- K2=54,836 [m²/kN]

-Η τιμή της δυσκαμψίας του διατμητικού πεδίου σε ένα ενδιάμεσο πλαίσιο είναι (με σύνδεση σε κάθε νεύρωση) (5):

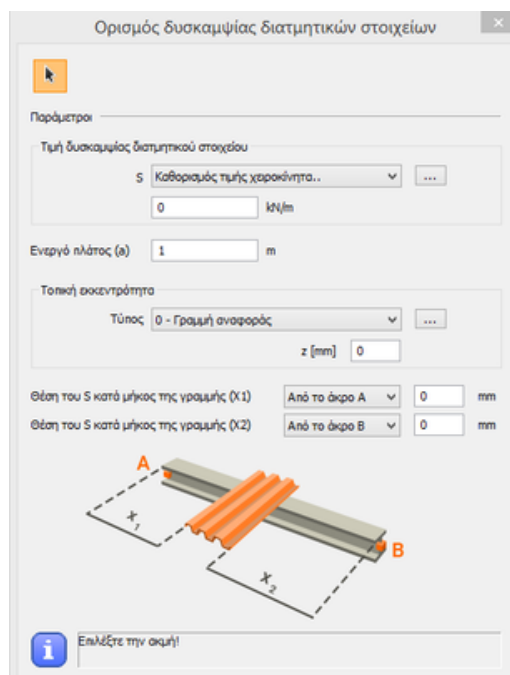
$$S_{\text{intermediate}} = 10^4 / (K_1 + K_2/L) * a = 10^4 / (0,274 + 54,836/25) * 5 = 20263,92 \text{ kN(5)}$$

-Στην περίπτωση σύνδεσης σε κάθε δεύτερη νεύρωση μόνο, η παραπάνω τιμή μειώνεται ως εξής (6):

$$S_{\text{reduced}} = S_{\text{intermediate}} * 0,2 = 20263,92 * 0,2 = 4052,78 \text{ kN(6)}$$

-Στην περίπτωση ακραίου πλαισίου (σύνδεση σε κάθε νεύρωση) (7):

$$S_{\text{endwall}} = 10^4 / (K_1 + K_2/L) * a/2 = 10^4 / (0,274 + 54,836/25) * 5/2 = 10131,96 \text{ kN (7)}$$



Υπολογισμός δυσκαμψίας διατμητικών στοιχείων

Όνομα στοιχείου διάτμησης: 1 Η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο, αν όλες οι (4) πλευρές της διατμητικής επιφάνειας συνδέονται με την υποκατασκευή.

Προφίλ του τραπεζοειδούς ελάσματος: T 135.1-0.75

Εφαρμοζόμενος υπολογισμός: Schardt/Strehl/DIN 18821

Ιδιότητες του διατμητικού στοιχείου

Φοίση: κάθε νεύρωση
 κάθε δεύτερη νεύρωση

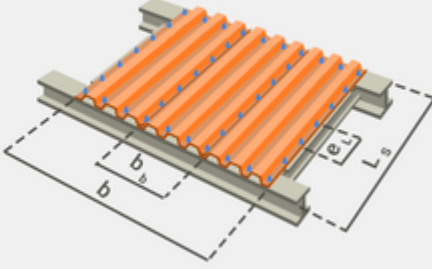
Μήκος επιφάνειας διάτμησης (b): 25 m

Καθορισμός απόστασης (e₁): 3 m

Αριθμός των ανοιγμάτων: 1

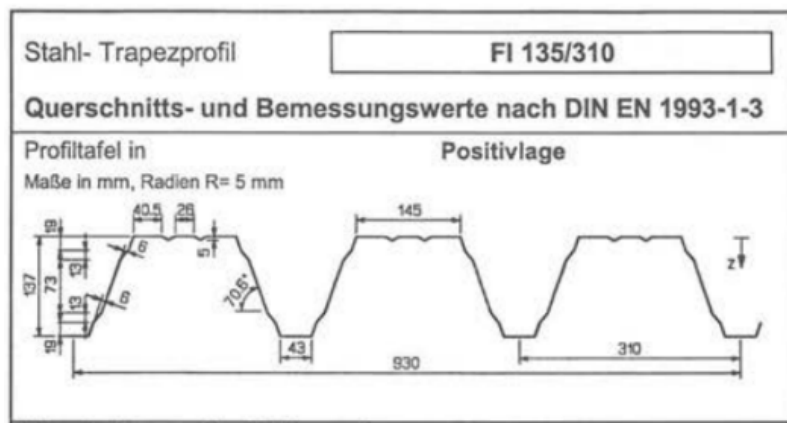
Αριθμός των κατά μήκος συναρμολογιών (n₁): 1

Τμή δυσκαμψίας διατμητικού στοιχείου: 4053 kNm



Fisher panel (improved Schardt/Strehl method)

Χρησιμοποιούμενο Panel:· Fischer 135/310· 0.75 mm πάχος, με θετική κατεύθυνση, κανονική σύνδεση



Εξαγωγή του πίνακα για τον προσδιορισμό των πρόσθετων παραμέτρων:

Schubfeldwerte												
t_w	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ¹⁷⁾					Grenzzustand der Tragfähigkeit ¹⁸⁾						
	$T_{k,G}$	$K_1^{14) 15)}$	$K_2^{14) 15)}$	$K_1^{* 15)}$	$K_2^{* 15)}$	$T_{Rk,G}^{16)}$	$L_R^{16)}$	$T_{Rk,I}$	$K_3^{19)}$	Lasteinleitung		
										$T_{URk}^{22)}$	$F_{URk}^{21)}$ für $a \geq$	
mm	kN/m	$10^{-4} \cdot m/kN$	$10^{-4} \cdot m^2/kN$	$10^{-4} \cdot 1/kN$	$10^{-4} \cdot m^2/kN$	kN/m	m	kN/m	-	kN/m	130 mm	280 mm
Normalbefestigung: Verbindung in jedem Untergurt												
0,75	1,65	0,274	55,589	3,763	2,170	13,26	7,00	18,70	0,512	2,53	13,53	18,00
0,88	2,51	0,232	36,512	3,763	2,170	17,06	7,00	30,97	0,557	3,26	16,00	21,29
1,00	3,51	0,203	26,149	3,763	2,170	20,84	7,00	46,23	0,595	3,98	18,29	24,34
1,25	6,26	0,161	14,661	3,763	2,170	29,48	7,00	92,58	0,668	5,64	23,05	30,67
1,50	10,00	0,133	9,167	3,763	2,170	39,06	7,00	116,8	0,734	7,47	27,81	37,01
Sonderbefestigung: Verbindung mit 2 Schrauben oder verstärkter Unterlegscheibe in jedem Untergurt ²⁰⁾												
0,75	1,58	0,274	40,601	3,763	1,085	13,26	7,00	18,70	0,791	5,64	13,53	18,00
0,88	2,40	0,232	26,668	3,763	1,085	17,06	7,00	30,97	0,791	7,26	16,00	21,29
1,00	3,36	0,203	19,099	3,763	1,085	20,84	7,00	46,23	0,791	8,88	18,29	24,34
1,25	5,98	0,161	10,708	3,763	1,085	29,48	7,00	92,58	0,791	12,56	23,05	30,67
1,50	9,57	0,133	6,696	3,763	1,085	39,06	7,00	116,8	0,791	16,65	27,81	37,01

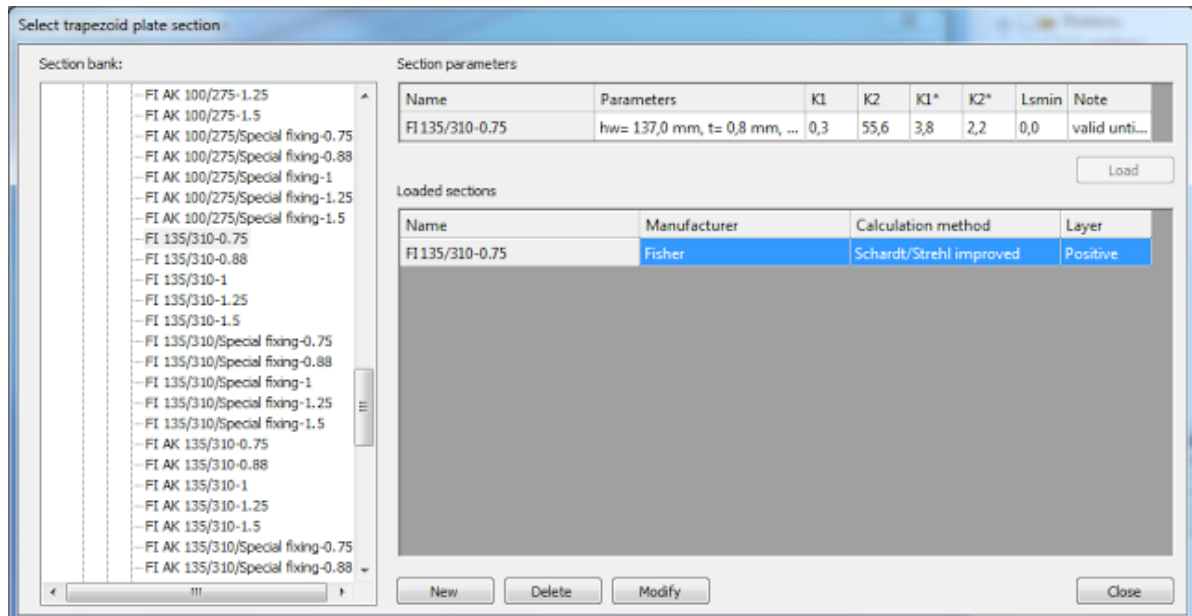
Τιμές των παραμέτρων για το χρησιμοποιούμενο panel με βάση τον παραπάνω πίνακα:

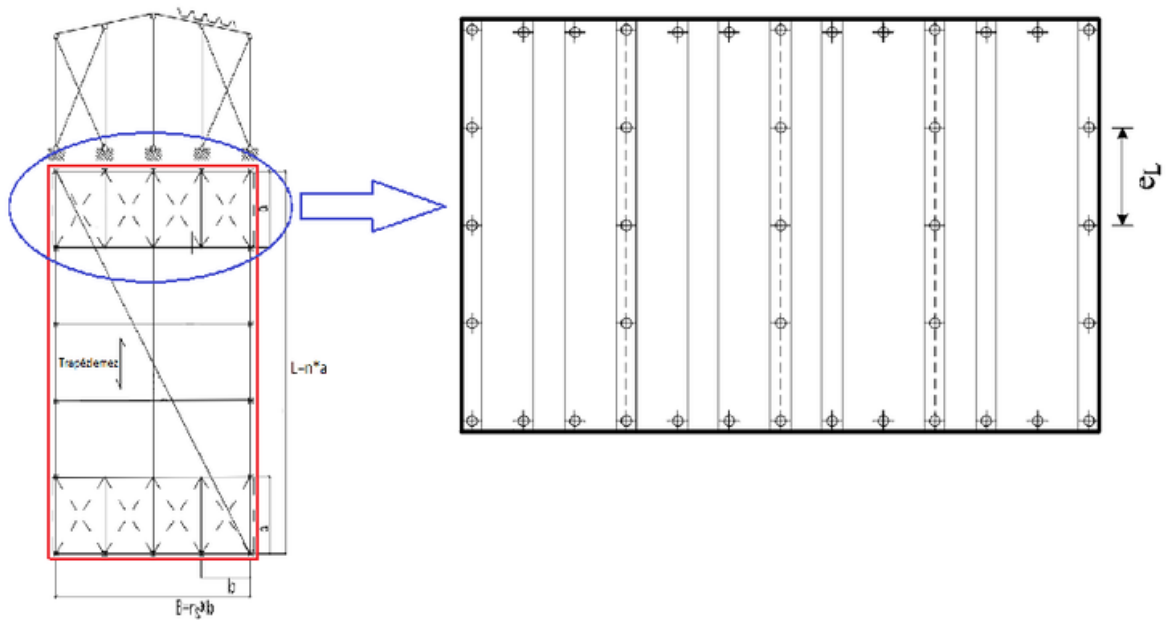
$K_1=0,274 [10^{-4} \cdot m/kN]$

$K_2= 55,589 [10^{-4} \cdot m^2/kN]$

$K_1^*=3,763 [10^{-4} \cdot 1/kN]$

$K_2^*=2,170 [10^{-4} \cdot m^2/kN]$





Τιμή δυσκαμψίας του διατμητικού πεδίου το οποίο χρησιμοποιείται σε ενδιάμεσο πλαίσιο (σύνδεση σε κάθε νεύρωση) (8):

$$S_{intermediate} = \frac{1}{(K_1 + K_1^* e_L) + \frac{K_2 + K_2^*}{L}} * a = \frac{1}{(0,274 + 3,763 * 0,15) + \frac{55,589 + 2,170}{25}} * 5 * 10^4 = 15879,02 \text{ kN} \quad (8)$$

Στην περίπτωση σύνδεσης σε κάθε δεύτερη νεύρωση μόνο, η παραπάνω τιμή μειώνεται ως εξής (9):

$$S_{reduced} = S_{intermediate} * 0,2 = 15879,02 * 0,2 = 3175,80 \text{ kN} \quad (9)$$

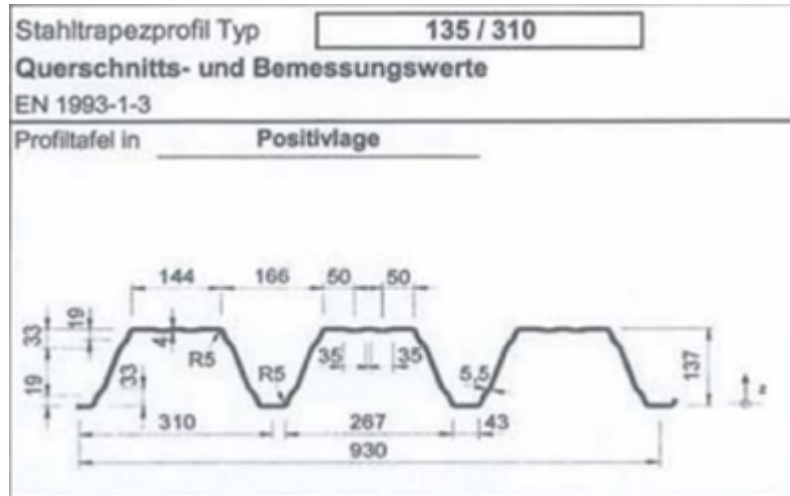
Στην περίπτωση ακραίου πλαισίου (σύνδεση σε κάθε νεύρωση) (10):

$$S_{endwall} = \frac{1}{(K_1 + K_1^* e_L) + \frac{K_2 + K_2^*}{L}} * \frac{a}{2} = \frac{1}{(0,274 + 3,763 * 0,15) + \frac{55,589 + 2,170}{25}} * \frac{5}{2} * 10^4 = 7939,51 \text{ kN} \quad (10)$$

Arcelor panel (Bryan/Davies method)

Χρησιμοποιούμενο Panel:

- Arcelor 135/310
- 0.75 mm πάχος, με θετική κατεύθυνση, κανονική σύνδεση



Schubfeldwerte											
Nennblechdicke t_{bl}	Grenzzustand der Tragfähigkeit ¹⁵⁾				Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ¹⁶⁾				F _{crit} in kN ¹⁸⁾		
	L _R	T _{1,Rk}	T _{crit,G}	T _{crit,S}	T _{1,Rk,N}	T _{1,Rk,S}	k ₁ '	k ₂ '	Einleitungslänge a		
	¹¹⁾		¹¹⁾ ¹²⁾	¹²⁾		¹⁷⁾	¹³⁾ ¹⁴⁾		≥ 130 mm	≥ 260 mm	
mm	m	kN/m						m/kN	m ² /kN		
0,75	8,00	56,80	8,65	29,34	1,68	1,60	0,277	48,560	13,50	18,00	
0,88	8,00	67,20	11,13	44,67	2,55	2,44	0,234	31,895	15,90	21,30	
1,00	8,00	76,80	13,60	62,37	3,56	3,41	0,205	22,843	18,30	24,30	
1,13	8,00	87,20	16,51	85,67	4,89	4,68	0,180	16,629	20,70	27,60	
1,25	8,00	96,80	19,31	111,23	6,35	6,08	0,162	12,807	22,95	30,75	
1,50	8,00	116,80	25,58	177,89	10,16	9,73	0,135	8,008	27,75	37,05	

Beiwerte:

$k_1^* = 3,76 \text{ 1/kN}$ ¹⁴⁾	$k_2^* = 2,17 \text{ m}^2/\text{kN}$ ¹⁴⁾	$k_3^* = 0,884$ ¹⁵⁾
--	---	--------------------------------

Τιμές των παραμέτρων για το χρησιμοποιούμενο panel με βάση τον παραπάνω πίνακα:
 $K_1^* = 0,277 \text{ [m/kN]}$ $K_2^* = 48,560 \text{ [m}^2/\text{kN]}$ $K_1^* = 3,76 \text{ [1/kN]}$ $K_2^* = 2,17 \text{ [m}^2/\text{kN]}$

Anzahl der Felder →	1	2	3	4	5	6	7	8
Anzahl der Auflager →	2	3	4	5	6	7	8	9
σ_1	1,00	1,00	0,85	0,70	0,60	0,60	0,60	0,60
σ_2	1,00	1,00	0,75	0,67	0,55	0,50	0,44	0,40
σ_3	1,00	1,00	0,90	0,80	0,71	0,64	0,58	0,53

Εξαγωγή του πίνακα για τον προσδιορισμό των πρόσθετων παραμέτρων στην περίπτωση συνεχόμενων panels με 5 ανοίγματα και 6 στηρίξεις (σε κύριες δοκούς):

$$\alpha_1=0,6$$

$$\alpha_2=0,55$$

$$\alpha_3=0,71$$

$$\alpha_4 = 1,00$$

(ohne Querstoß im Schubfeld)

$$\alpha_4 = 1,3 + 0,3 * n'b$$

(n'b = Anzahl der Querstöße)

Τα μεμονωμένα panels έχουν μήκος 9.0m, και ως εκ τούτου χρησιμοποιούνται 3 panels κατά μήκος με υπερκάλυψη. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν 2 panel splices κατά τη διεύθυνση του μήκους:

n'b: 2

$$\alpha_4=1,3+0,3*2=1,9 \quad (11)$$

Τιμή δυσκαμψίας του διατμητικού πεδίου το οποίο χρησιμοποιείται σε ενδιάμεσο πλαίσιο (σύνδεση σε κάθε νεύρωση) (12):

$$S_{intermediate} = \frac{10^4}{\left[(K_1' * \alpha_2 + K_1' e_L) + \frac{(K_2' * \alpha_1 * \alpha_4 + K_2' * \alpha_3)}{L_s} \right]} * a$$

$$= \frac{10^4}{\left[(0,277 * 0,55 + 3,76 * 0,15) + \frac{(48,56 * 0,6 * 1,9 + 2,17 * 0,71)}{25} \right]} * 5 =$$

$$S_{intermediate} = 16709,48 \text{ kN}$$

Στην περίπτωση σύνδεσης σε κάθε δεύτερη νεύρωση μόνο, η παραπάνω τιμή μειώνεται ως εξής (13):

$$S_{reduced} = S_{intermediate} * 0,2 = 16709,48 * 0,2 = 3341,89 \text{ kN}$$

Στην περίπτωση ακραίου πλαισίου (σύνδεση σε κάθε νεύρωση) (14):

$$S_{endwall} = \frac{10^4}{\left[(K_1' * \alpha_2 + K_1' e_L) + \frac{(K_2' * \alpha_1 * \alpha_4 + K_2' * \alpha_3)}{L_s} \right]} * \frac{a}{2} = 8354,74 \text{ kN}$$

Γενικό panel (Μέθοδος Eurocode 3)

Χρησιμοποιούμενο Panel: Pruszinsky T-35 0.7· 0.70 mm πάχος, με θετική κατεύθυνση, κανονική σύνδεση.

Τιμή δυσκαμψίας του διατμητικού πεδίου το οποίο χρησιμοποιείται σε ενδιάμεσο πλαίσιο (σύνδεση σε κάθε νεύρωση):

$$S_{intermediate} = \left(1000 * \sqrt{0.70^3} * (50 + 10 * \sqrt[3]{25000}) * \frac{1}{35} \right) * 5000 = 28647 \text{ kN}$$

Στην περίπτωση ακραίου πλαισίου (σύνδεση σε κάθε νεύρωση):

$$S_{endwall} = \left(1000 * \sqrt{0.70^3} * (50 + 10 * \sqrt[3]{25000}) * \frac{1}{35} \right) * \frac{5000}{2} = 14323.5 \text{ kN}$$

Πηγές:

[1] Hoesch trapezprofil - Querschnitts und Bemessungswerte EN 1993-1-3 EC3,

Produktionsstandardt Deutschland

(http://www.hoeschbau.com/uploads/tx_downloads/436D_1114_Produktion-Deutschland.pdf)

[2] FisherTrapez, Typenprüfung Querschnitts und Bemessungswerte nach DIN EN 1993-1-3

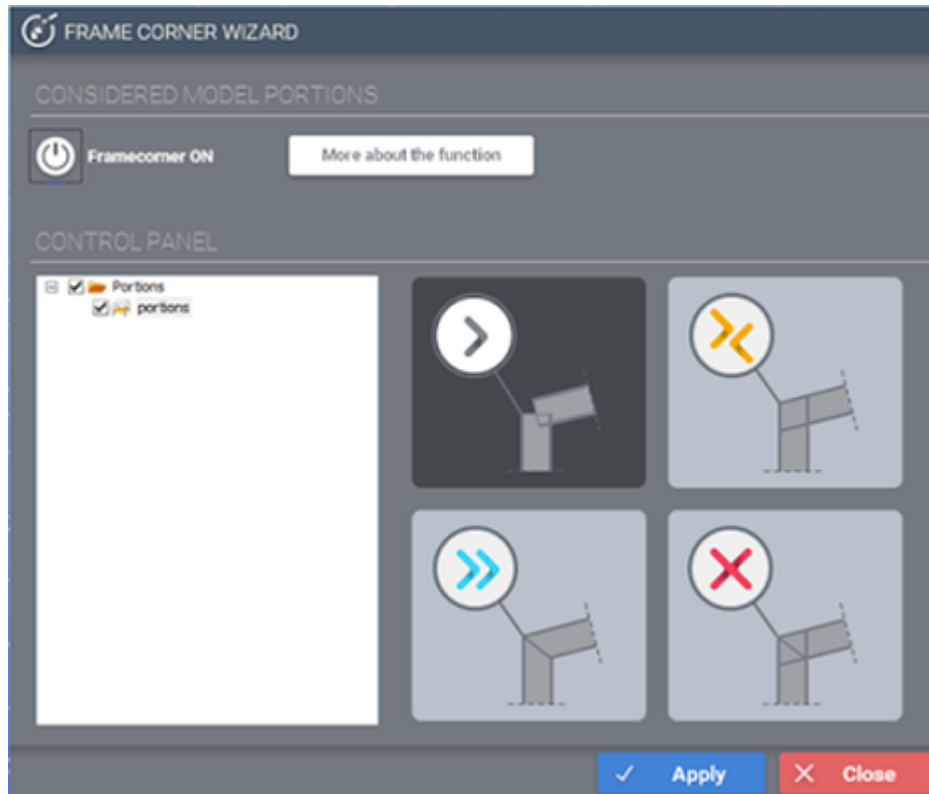
(<http://www.fischerprofil.de/dbfiles/FischerTRAPEZ-Q-B-02-2015%20i.pdf2015%20i.pdf>)

[3] Bescheid über die baustatische Typenprüfung, Arcelor Trapezprofil (

http://ds.arcelormittal.com/construction/germany/download_service/zulassungen_pruefbescheide/language/DEn_pruefbescheide/language/DE)

[4] EN 1993-1-3 10.1b

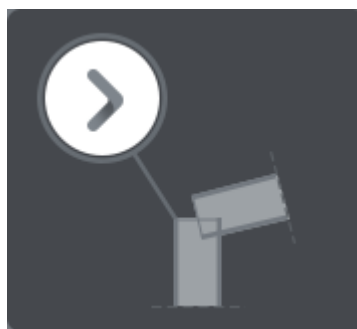
Στο ConSteel 11, έχει βελτιωθεί σημαντικά το παράθυρο του οδηγού γωνίας πλαισίου, μέσω του οποίου λαμβάνεται υπόψη ο καθορισμός της μορφής του κόμβου (γωνίας πλαισίου) στην ανάλυση της κατασκευής.



Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τέσσερις διαφορετικοί τύποι γωνιών πλαισίου, για την σύνδεση που ακολουθεί (Σύνδεση ροπής δοκού σε στύλο), στην οποία μεταφέρονται 7 βαθμοί ελευθερίας αντίστοιχα.

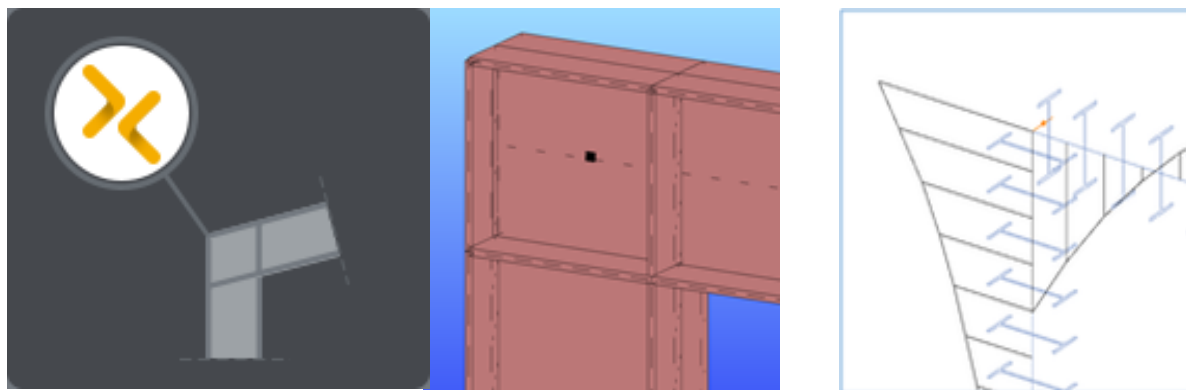
Προκαθορισμένη μορφή γωνίας πλαισίου

Η τιμή των 7 βαθμών ελευθερίας μεταφέρεται ανεξάρτητα από τη μορφή του κόμβου



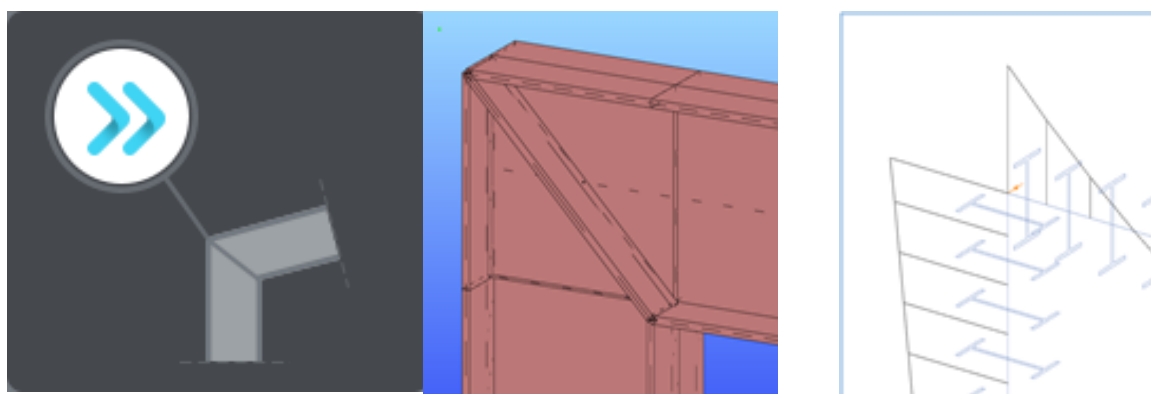
Πλήρης και έμμεση γωνία πλαισίου για άκαμπτους κόμβους τύπου BOX

Η τιμή των 7 βαθμών ελευθερίας είναι ίση στη δοκό και στο υποστύλωμα αλλά η διεύθυνση των 7 βαθμών ελευθερίας είναι αντίστροφη στη δοκό και στο υποστύλωμα



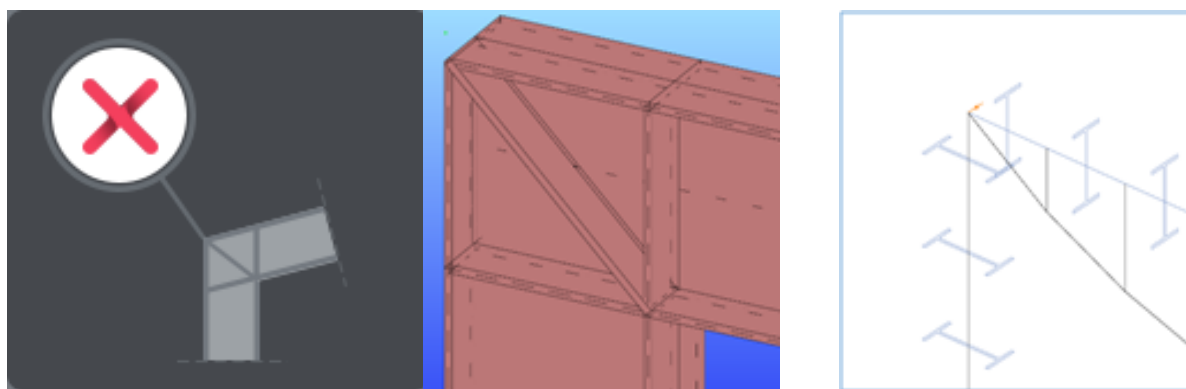
Πλήρης και άμεση γωνία πλαισίου για άκαμπτους κόμβους τύπου Διαγωνίου

Η τιμή των 7 βαθμών ελευθερίας και η διεύθυνση είναι ίση στη δοκό και στο υποστύλωμα

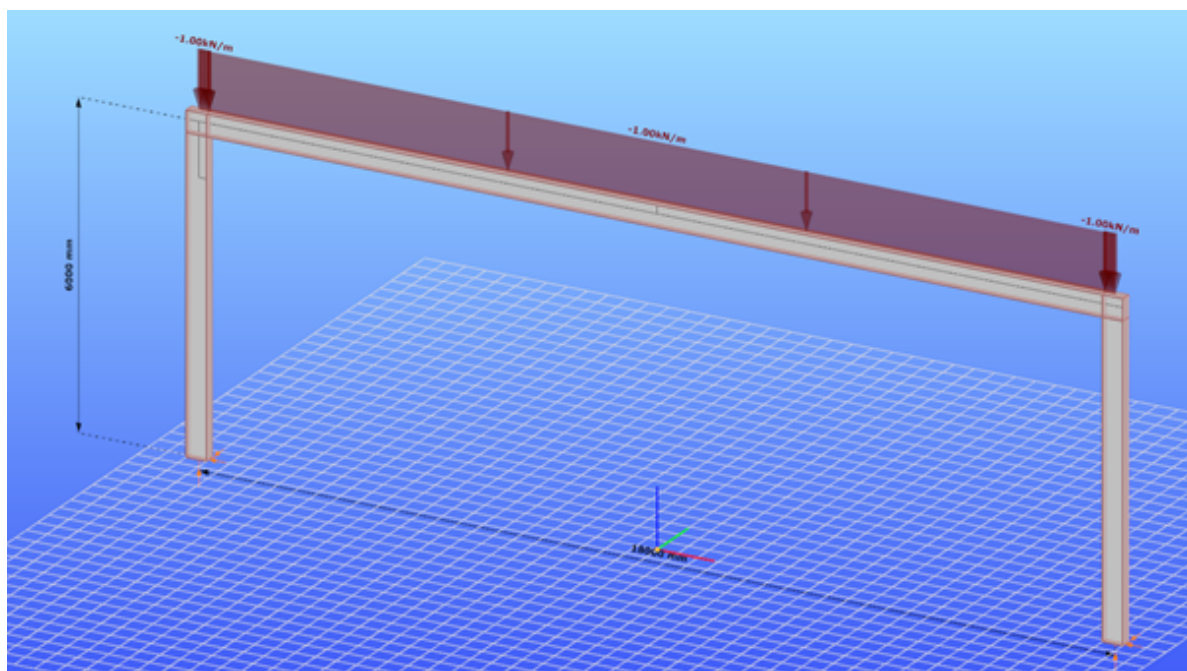


Γωνία πλαισίου άκαμπτη έναντι στρέβλωσης για κόμβους μορφής BOX και διαγωνίου

Δεν γίνεται μεταφορά των 7 βαθμών ελευθερίας



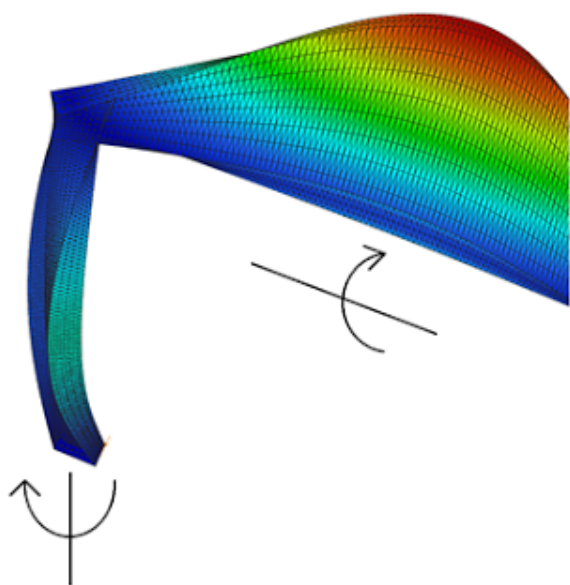
Για να συγκριθεί και να αξιολογηθεί η συμπεριφορά των διαφορετικών μορφών γωνιών πλαισίου, παρουσιάζεται παρακάτω ένα απλό μαθηματικό μοντέλο ενός δίστυλου πλαισίου το οποίο έχει δημιουργηθεί στην πρώτη περίπτωση με επιφανειακά μέλη και στη δεύτερη με ραβδωτά.



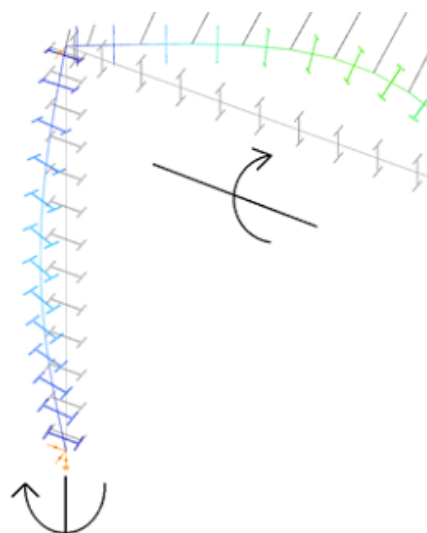
Στις εικόνες που ακολουθούν, εμφανίζεται η απόκριση του φορέα έναντι της πρώτης ιδιομορφής σε κάθε πλαίσιο. Όπως διαπιστώνεται η συμπεριφορά τους είναι η ίδια.

Άκαμπτος κόμβος μορφής BOX

Μοντέλο με επιφανειακά μέλη

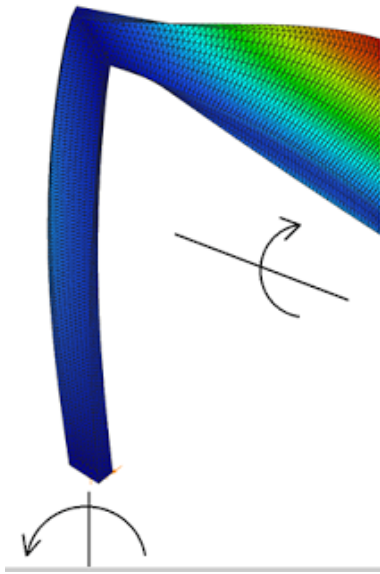


Μοντέλο με ραβδωτά μέλη

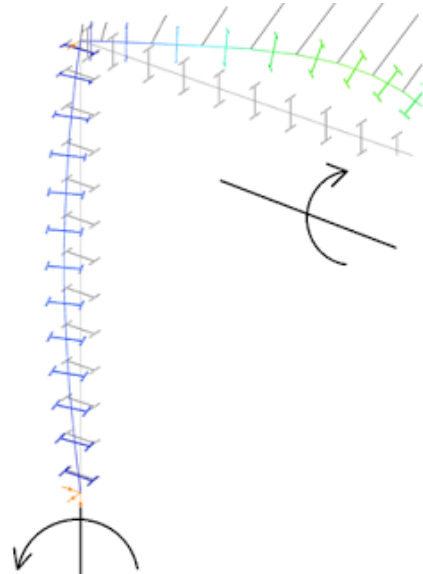


Άκαμπτος κόμβος μορφής διαγώνιου

Μοντέλο με επιφανειακά μέλη



Μοντέλο με ραβδωτά μέλη



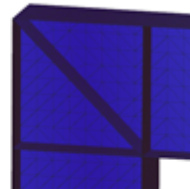
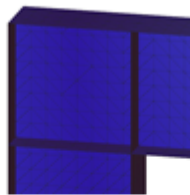
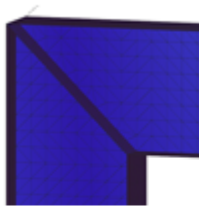
Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα από την πρώτη ιδιομορφή, στις εικόνες που ακολουθούν, παρατηρούμε ότι και τα δύο μοντέλα (επιφανειακά – ραβδωτά πεπερασμένα στοιχεία), όπου έχουν ενσωματωθεί διαφορετικές μορφές κόμβου έχουν παραπλήσιες τιμές.

Διαγώνιος κόμβος

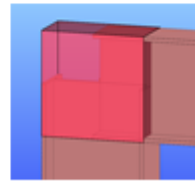
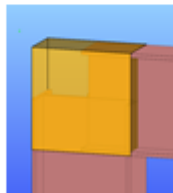
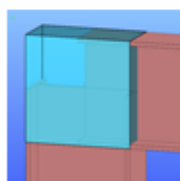
Κόμβος τύπου BOX

Κόμβος BOX + Διαγώνιος

(μοντέλο με επιφανειακά)



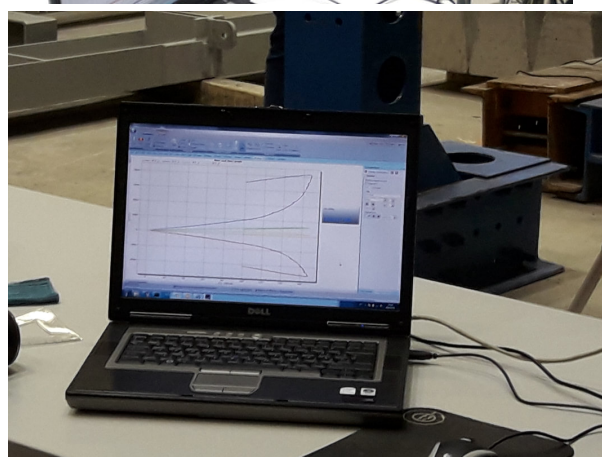
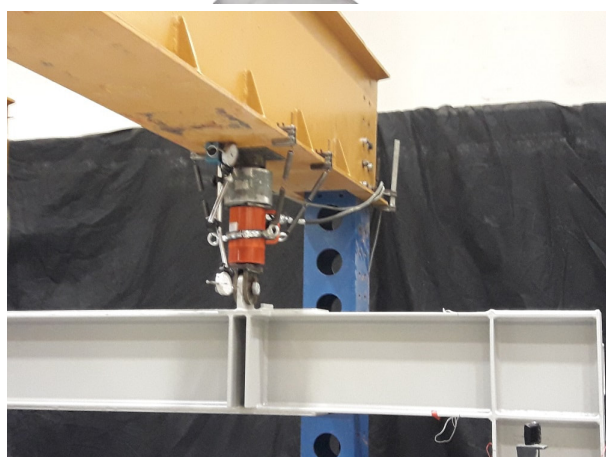
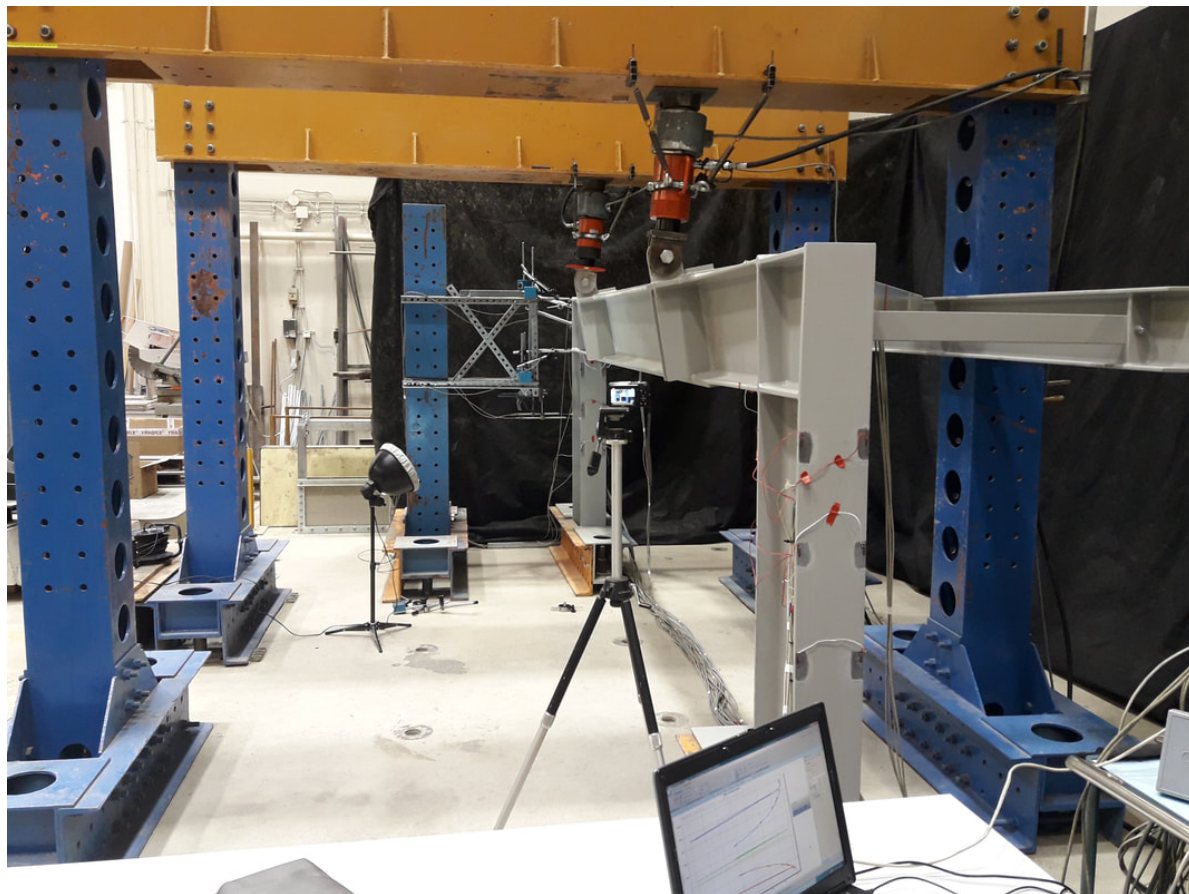
(μοντέλο με ραβδωτά και τον οδηγό γωνίας πλαισίου)



Για τις ανάγκες επαλήθευσης του μαθηματικού αλγορίθμου που χρησιμοποιείται στην ειδική προσομοίωση των γωνιών πλαισίου του Consteel, ομάδα μηχανικών της ERGOCAD επισκέφτηκε το εργαστήριο μεταλλικών κατασκευών του Szechenyi Istvan University στο Győr της Ουγγαρίας, όπου συναντήθηκαν με τον επικεφαλής της ομάδας έρευνας και ανάπτυξης καθηγητή Ferenc Papp.

Στο εργαστήριο, ένα δισδιάστατο πλαίσιο από χαλύβδινες διατομές, με νευρώσεις στην περιοχή των κόμβων είχε κατασκευαστεί για να υποβληθεί σε φόρτιση εκτός του επιπέδου του και στη συνέχεια να συγκριθούν τα αποτελέσματα με το λογισμικό Consteel.

Με τη χρήση υπολογιστή μετρήθηκαν οι σταδιακές παραμορφώσεις σε επιλεγμένα σημεία και επιβεβαιώθηκαν τα αποτελέσματα μέσω του προγράμματος και του αλγορίθμου προσομοίωσης των γωνιών πλαισίου.



Δείτε στο συνοπτικό video την διαδικασία της φόρτισης, τα σκαριφήματα των σχεδίων καθώς και τα τελικά αποτελέσματα:



Κάντε κλικ για να
ξεκινήσει το video

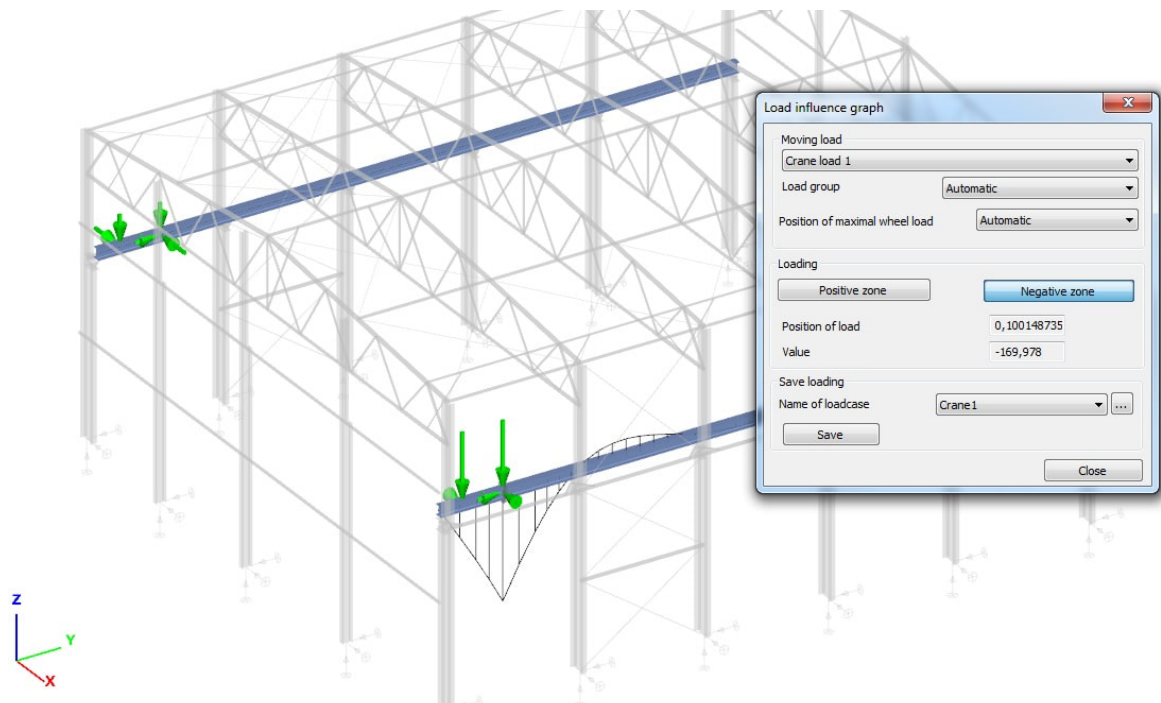
Υπολογισμός φορτίων γερανογέφυρας με έτοιμα σενάρια ανάλυσης

Το Consteel περιλαμβάνει ένα καινοτόμο αλγόριθμο για να υπολογίσει τα φορτία που δημιουργούνται σε μία μεταλλική κατασκευή η οποία περιλαμβάνει γερανογέφυρα. Μέσω ενός ειδικού παραθύρου καθορίζονται πρώτα όλες οι απαραίτητες παράμετροι και στη συνέχεια εκτελείται αυτόματα η ανάλυση και παράγεται η περιβάλλουσα των φορτίσεων.



Η διαδικασία αυτόματου υπολογισμού των φορτίων γερανογέφυρας περιλαμβάνει τρία απλά βήματα:

- α) Με βάση τους ευρωκώδικες καθορίζονται αρχικά οι παράμετροι του γερανού όπως το ίδιο βάρος του γερανού, ο τύπος του και ο αριθμός των αξόνων ώστε να υπολογιστούν από τον αλγόριθμο του CONSTEEL οι δυναμικοί συντελεστές και τα αντίστοιχα φορτία σε κάθε διεύθυνση και θέση (είτε από την κίνηση του γερανού είτε από την πέδηση).
- β) Στη συνέχεια επιλέγεται η διαδρομή (μονοπάτι) του κινούμενου φορτίου
- γ) Τοποθετούνται τα φορτία σε επιλεγμένες θέσεις (ανοίγματα ή στηρίξεις) και παράγεται η περιβάλλουσα των φορτίσεων και διαστασιοποιούνται συνολικά τα μέλη της κατασκευής.



Με τα παραπάνω εργαλεία δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει με ασφάλεια και σε ελάχιστο χρόνο σύνθετες φορτίσεις όπως αυτές που παράγονται από γερανογέφυρες σε βιομηχανικά κτίρια.

Πώς γίνεται η προσομοίωση των ημι-άκαμπτων συνδέσεων στις κατασκευές?

Η επίδραση της συμπεριφοράς των συνδέσεων στην ανάλυση των κατασκευών γενικά θα έπρεπε να λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς. Για να αποφασίσουμε αν η επίδραση των συνδέσεων στην συμπεριφορά της κατασκευής στην ανάλυση είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη, διακρίνουμε τρία απλοποιημένα μοντέλα συνδέσεων:

- Απλή (η σύνδεση υποθέτουμε ότι δεν μεταφέρει ροπές)
- Συνεχής (η σύνδεση μπορεί να υποθεθεί ότι δεν έχει καμία επίδραση στην ανάλυση)
- Ημι-συνεχής (η σύνδεση χρειάζεται να ληφθεί υπόψη στην ανάλυση)



Οι συνδέσεις θα έπρεπε να έχουν επαρκή αντοχή για να μεταφέρουν τις δυνάμεις και τις ροπές που δρουν στους κόμβους ως αποτέλεσμα της ανάλυσης. Ένας κόμβος μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως άκαμπος, αρθρωτός ή ημι-άκαμπος, σύμφωνα με την στροφική δυσκαμψία που διαθέτει, συγκρίνοντας την αρχική του στροφική δυσκαμψία $S_{j,i}$ με τα αντίστοιχα όρια κάθε κατηγορίας. Ένας κόμβος που δεν ικανοποιεί τα κριτήρια για έναν άκαμπο κόμβο ή για έναν αρθρωτό, θα πρέπει να θεωρηθεί ως ημι-άκαμπος. Οι ημι-άκαμπτοι κόμβοι παρέχουν έναν προβλεπόμενο βαθμό αλληλεπίδρασης μεταξύ των μελών, με βάση τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού ροπής – στροφής, των κόμβων.

Στην περίπτωση των ημι-άκαμπτων κόμβων, η στροφική δυσκαμψία S_j σε σχέση με την καμπτική ροπή M_{jed} θα έπρεπε γενικά να χρησιμοποιείται στην ανάλυση. Αν η M_{jed} δεν υπερβαίνει τα $2/3$ της M_{jrd} , η αρχική στροφική δυσκαμψία $S_{j,ini}$ θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στην καθολική ανάλυση. Οι προϋποθέσεις για τον προσδιορισμό της $S_{j,ini}$ για κόμβους που συνδέουν Η ή Ι διατομές δίνονται στο πρότυπο EC3-1-8 6.3.1. Οι προϋποθέσεις για τον προσδιορισμό της $S_{j,ini}$ για κόμβους που συνδέουν διατομές κοιλοδοκών δίνονται στον EC3. Κατηγοριοποίηση της δυσκαμψίας του κόμβου στο ConsteelTo ConSteel και το csJoint υπολογίζουν τη δυσκαμψία του $S_{j,ini}$ για ημι-άκαμπτους κόμβους που συνδέουν διατομές Η ή Ι. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται το παράθυρο εργασίας του csJoint για μία σύνδεση δοκού σε άλλη δοκό με μετωπική πλάκα σύνδεσης:

The screenshot displays the csJoint software interface for configuring and analyzing a beam-to-beam connection with an end-plate. The interface is divided into several sections:

- End-plate configuration:**
 - Width: $b_p = 120$ mm
 - Height: $h_p = 230$ mm
 - Thickness: $t_p = 10$ mm
 - Material: S 235 EN 10
 - Bolt: M16 (ISO 7412) - 10.9
 - Position of end-plate: $e_p = 5$ mm
 - Edge distance: $w_1 = 26$ mm
 - Pitch of holes: $w_2 = 26$ mm
 - Number of bolt rows: 2
 - Vertical positions of bolts: $e_1 = 30$ mm, $p_1 = 170$ mm, $e_{1n} = 30$ mm
- 3D Model:** A 3D perspective view of the joint showing a yellow beam connected to a blue beam via a green end-plate with two rows of bolts.
- 2D Plan View:** A 2D top-down view of the end-plate showing dimensions: total width 120 mm, hole spacing 26 mm, hole diameter 34 mm, and vertical positions 30 mm, 170 mm, and 30 mm.
- Summary of results of the whole joint:**
 - Left beam - Load combination-1 (P1):**
 - Moment resistance: $M_{j,Rd} = 33,37$ kNm
 - Moment utilization: 96 % Adequate
 - Axial design resistance: $N_{j,Rd} = 289,90$ kN
 - Shear resistance: $V_{j,Rd} = 209,25$ kN
 - Shear utilization: 0 % Adequate
 - Dominant weld component: Web weld
 - Dominant weld utilization: 100 % Adequate
 - Initial stiffness: $S_{j,ini} = 26375,52$ kNm/rad
 - Secant stiffness for applied moment: $S_{j,sec} = 9882,06$ kNm/rad
 - Stiffness class: Semi-rigid (77,5%)
 - Class of strength: Partial strength

Red arrows labeled 1, 2, and 3 point to the initial stiffness, moment resistance, and stiffness class/strength, respectively.

1. Η τιμή της αρχικής δυσκαμψίας είναι $S_{jini}=26375 \text{ kNm/rad}$. Αυτή η τιμή είναι ίση με $0,848S_b$ (η μέτρηση του ημι-άκαμπτου είναι 77,5%) όπου S_b είναι η οριακή τιμή για τον άκαμπτο κόμβο.

2. Η ροπή αντίστασης είναι $M_{jrd}=33,7 \text{ kNm}$

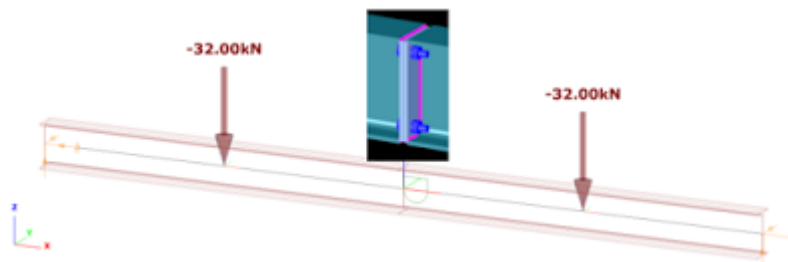
Ο κόμβος φορτίζεται από $M_{yed}=40\text{kNm}$

Η αντίσταση της διατομής είναι $M_{crd}=86,2$

3. Η ροπή αντίστασης (M_{jrd}) είναι μεγαλύτερη από την καμπτική ροπή σχεδιασμού (M_{yed}), αλλά μικρότερη από την αντίσταση της διατομής. Συνεπώς, ο κόμβος έχει μερική αντοχή.

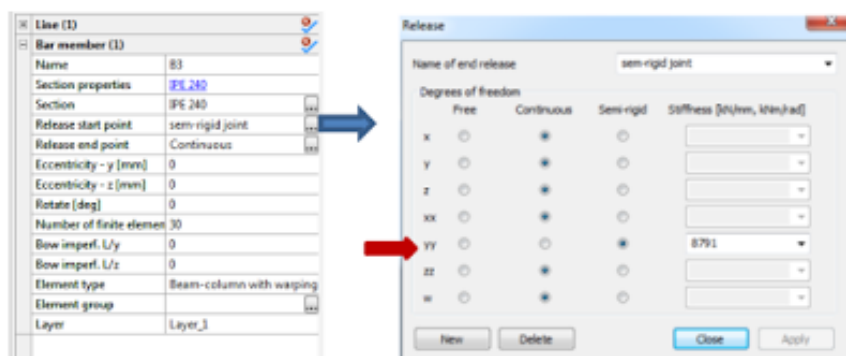
Μεταφορά της δυσκαμψίας της σύνδεσης στο συνολικό μοντέλο

Η δυσκαμψία των ημι-άκαμπτων συνδέσεων θα έπρεπε να λαμβάνεται υπόψη στο στατικό μοντέλο. Για την ελαστική ανάλυση, η δυσκαμψία του κόμβου μπορεί να προσεγγισθεί από ένα γραμμικό στροφικό ελατήριο με την χαρακτηριστική τιμή S_{jini} να τοποθετείται στον κόμβο.

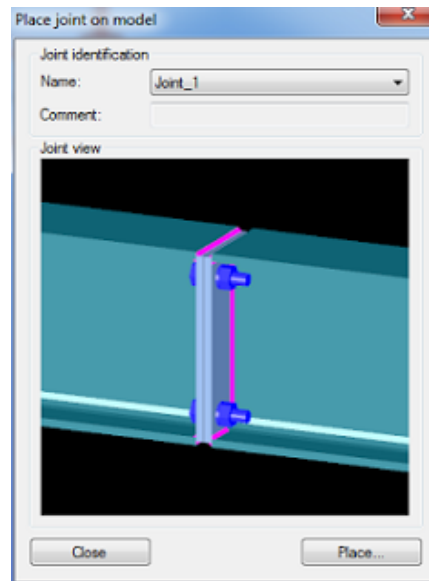


Στο ConSteel, τα χαρακτηριστικά του ελατηρίου μπορούν να καθοριστούν στα άκρα των μελών.

Τα χαρακτηριστικά του ελατηρίου συνδέονται με το στοιχείο ελευθερίας στο άκρο ενός μέλους. Ένα μέλος περιλαμβάνει επτά χαρακτηριστικά ελατηρίου (7 βαθμούς ελευθερίας). Τα χαρακτηριστικά του ελατηρίου ενός ημι-άκαμπτου κόμβου αντιστοιχούν στον $\alpha\gamma$ βαθμό ελευθερίας (στην περίπτωση μας, το $\gamma\gamma$ δείχνει τον κατάλληλο βαθμό ελευθερίας) σε kNm .



Το χαρακτηριστικό του ελατηρίου μπορεί να δημιουργηθεί μέσα στο κατασκευαστικό μοντέλο μέσα από μία αυτόματη διαδικασία. Για να γίνει αυτό, η σύνδεση που δημιουργήθηκε, χρειάζεται να τοποθετηθεί στο σημείο όπου του ίδιου του κόμβου.

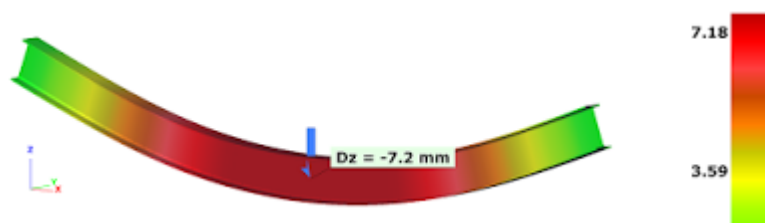


Η αυτόματη διαδικασία περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

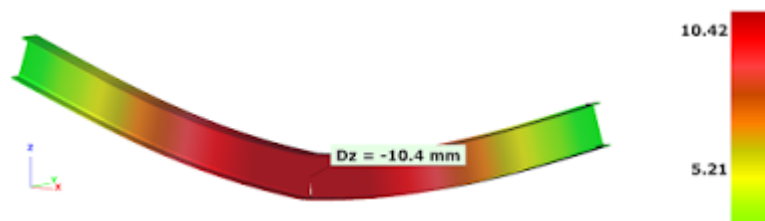
1. Δημιουργία των συνδέσεων από το csJoint
2. Καταχώρηση της σύνδεσης και κλείσιμο του csJoint
3. "Τοποθέτηση..." της σύνδεσης στον κατάλληλο κόμβο στο μοντέλο (place- τοποθέτηση)
4. Εκτέλεση ανάλυσης
5. Άνοιγμα του csJoint και επιλογή του κόμβου του μοντέλου
6. Έλεγχος της αντίστασης του κόμβου

Στο βήμα 3 το χαρακτηριστικό του ελατηρίου δημιουργείται στο στατικό μοντέλο. Στο βήμα 4 η ανάλυση θα συμπεριλάβει την επίδραση της δυσκαμψίας του κόμβου (εκτός και αν ήταν απαιτούμενο στο παράθυρο διαλόγου των παραμέτρων). Στο βήμα 5 το csJoint διαβάζει τις δυνάμεις σχεδιασμού με σκοπό τον έλεγχο του κόμβου.

Παραμόρφωση της δοκού χωρίς την δυσκαμψία του κόμβου:



Παραμόρφωση της δοκού με την επιρροή του ημι-άκαμπτου κόμβου:



Ένα μοναδικό έργο που θα στεγάζει το νέο Ζωολογικό και βοτανολογικό Κήπο της Βουδαπέστης με το ConSteel

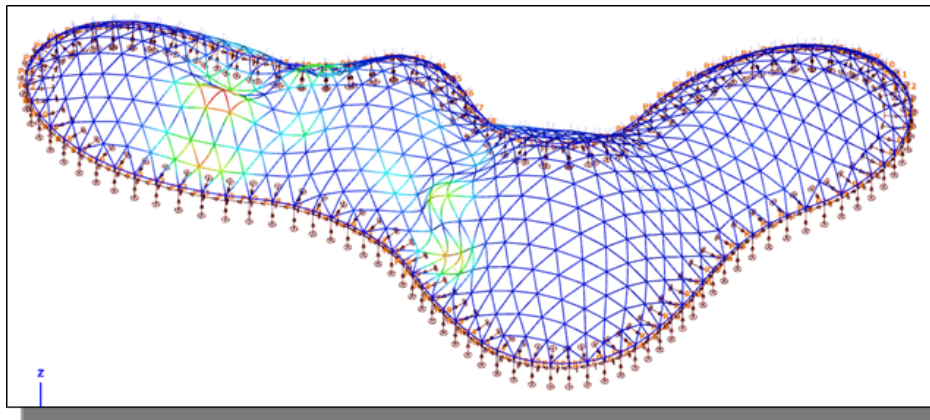
Ένα ακόμη σύνθετο έργο, του οποίου η στατική μελέτη εκπονήθηκε με το λογισμικό ConSteel, είναι το και το κτίριο Biodome of the Pannon Park, που θα στεγάζει το νέο Ζωολογικό και βοτανολογικό Κήπο της Βουδαπέστης. Το Αρχιτεκτονικό Γραφείο που ανέλαβε τη συγκεκριμένη μελέτη είναι το Mérték Architectural Studio, ενώ η Στατική Μελέτη έγινε από την Εταιρία ARC-S Engineering & Design td and ΜΥΕΡ Ltd.



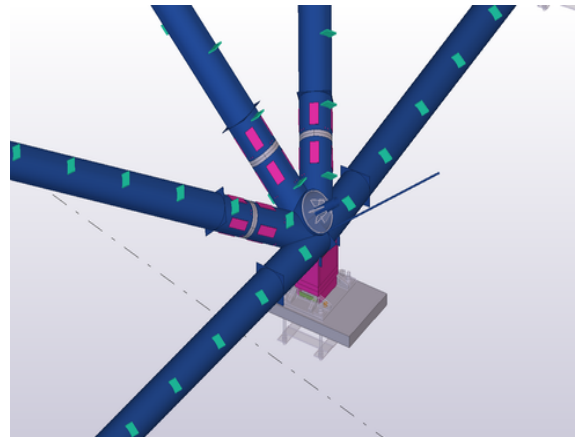
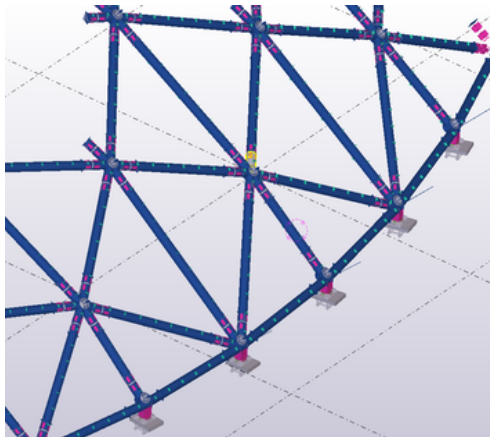
Φωτογραφία: mertek.hu

Στο video που ακολουθεί, περιλαμβάνονται πλάνα από την επίσκεψη μηχανικών της ERGOCAD, στο εργοτάξιο του υπό κατασκευή ζωολογικού πάρκου. Πρόκειται για ένα από τα μεγαλύτερα εργοτάξια κτιριακού έργου στην Ουγγαρία.

Το νέο κτίριο θα έχει μέγεθος 17.000m², ύψος 36m και άνοιγμα του δικτυώματος χωρίς καμία στήριξη περίπου 140m x 40m. Το σχήμα του μεταλλικού στεγαστρού έχει τελείως ελεύθερη μορφή και αρχικά μοντελοποιήθηκε στο λογισμικό Rhino-Grasshopper ενώ στη συνέχεια εισήχθη ως μαθηματικό μοντέλο χωρικού καμπύλου δικτυώματος στο ConSteel.

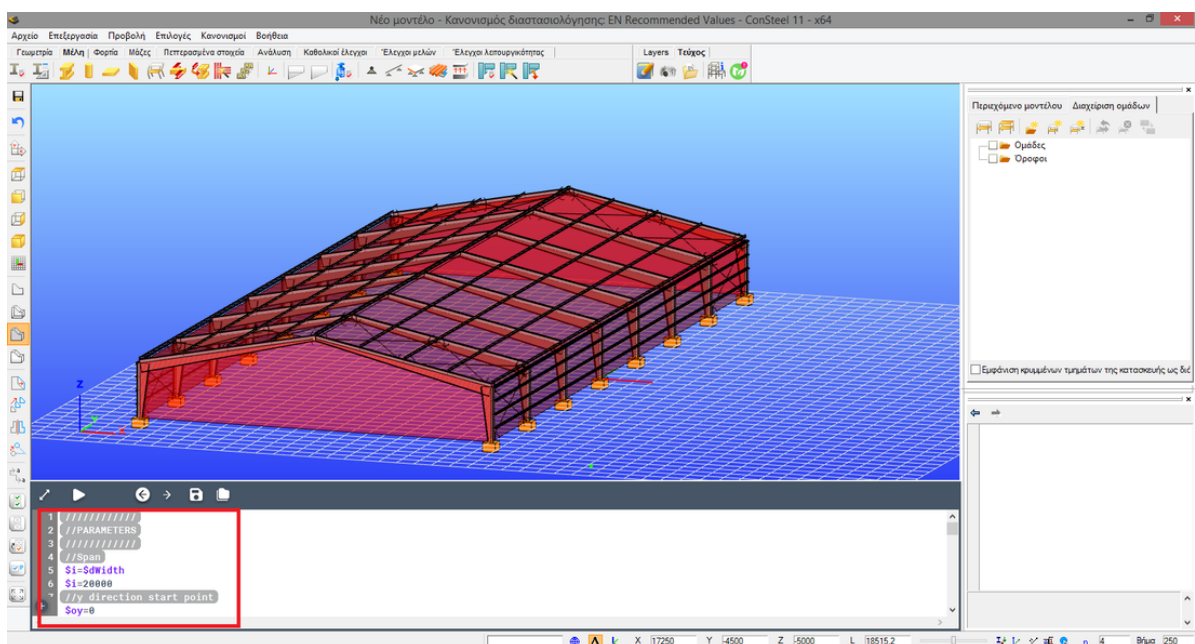


Μέσω προκαταρκτικής ανάλυσης έγινε προέλεγχος για την καθολική συμπεριφορά της κατασκευής όπου οι υπολογιζόμενες δυσκαμψίες των συνδέσεων και τα αντίστοιχα σχήματα λυγισμού με τα κατάλληλα πλάτη τοποθετήθηκαν στο μαθηματικό μοντέλο του ConSteel και επετεύχθη η βελτιστοποίηση του τελικού σχήματος ώστε να υπάρχει υψηλού επιπέδου ευστάθεια. Με βάση το τελικό μοντέλο στο οποίο είχαν τοποθετηθεί οι ατέλειες, το μελετητικό γραφείο έλεγξε συνολικά έναντι ευστάθειας ολόκληρη την κατασκευή με τις διατάξεις του Ευρωκώδικα 3, ενώ στο τέλος με την εξαγωγή του μοντέλου στο πρόγραμμα Tekla Structures και την χρήση τεχνολογίας BIM που διαθέτει το ConSteel ολοκληρώθηκαν και τα αναλυτικά σχέδια της κατασκευής.

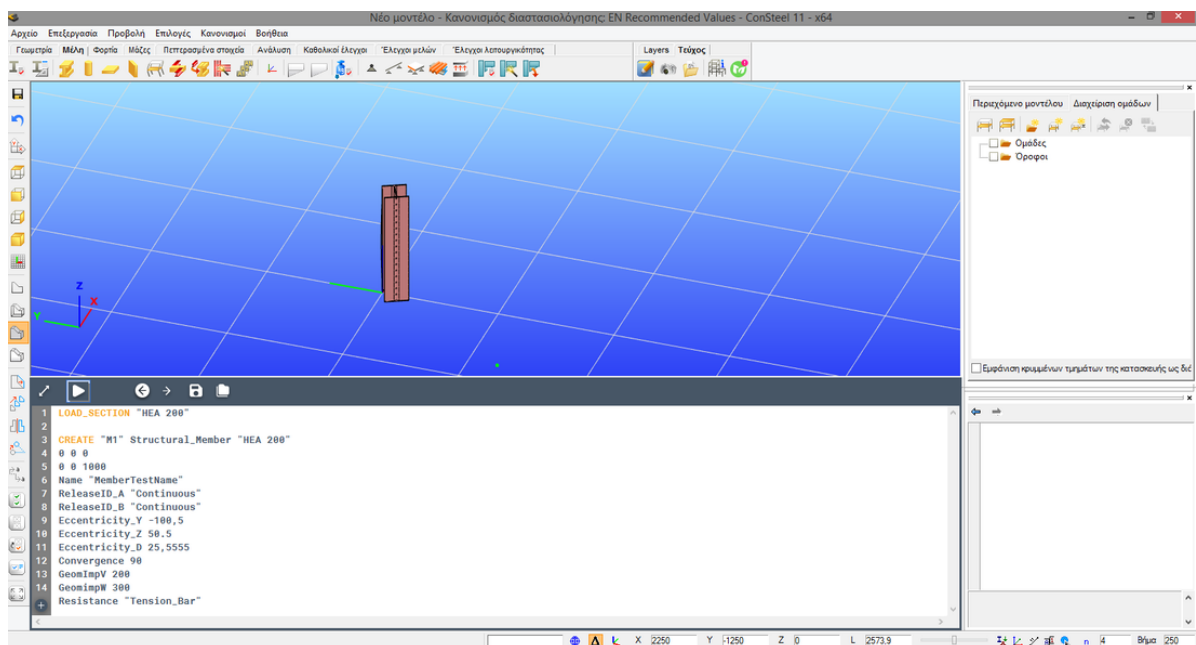


Δημιουργήστε παραμετρικές κατασκευές στο ConSteel μέσα από το περιβάλλον προγραμματισμού csPI

Στο νέο περιβάλλον προγραμματισμού στο Consteel "csPI" ο χρήστης του προγράμματος μπορεί να δημιουργήσει γρήγορα πλήρως παραμετρικά μοντέλα και να τα χρησιμοποιήσει σε άλλες μελέτες. Το σημαντικότερο όφελος μέσα από αυτή τη διαδικασία είναι ότι ο μελετητής δημιουργεί κατασκευές ορίζοντας ως παραμέτρους το ύψος των υποστυλωμάτων, των δοκών, των ανοιγμάτων, τον αριθμό των πλαισίων ή των δικτυωμάτων, των φορτίων και μία σειρά άλλων χαρακτηριστικών, τα οποία με μία απλή αλλαγή στην τιμή τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα νέο έργο χωρίς να χρειάζεται εκ νέου μοντελοποίηση. Για παράδειγμα, αν ο χρήστης δημιουργήσει μία κατασκευή με 5 κύρια πλαίσια σε αποστάσεις των 6 μέτρων, και αλλάξει την παράμετρο των 6 μέτρων σε 7, τότε με ένα και μόνο κλικ θα ενημερωθεί ολόκληρη η κατασκευή, που σημαίνει ότι δεν χρειάζεται γραφικά να γίνουν διορθώσεις στις αποστάσεις των πλαισίων, στις συνδέσεις των μελών, στα μήκη των τεγίδων, μηκίδων κλπ



Για να γίνει κατανοητή η διαδικασία, παρουσιάζεται παρακάτω ένα συνοπτικό παράδειγμα για την χρήση του csPI για την εισαγωγή ενός μέλους υποστυλώματος: CREATE "ID of the member" STRUCTURAL_MEMBER "Cross section of the member"x1 y1 z1 → Συντεταγμένες σημείου αρχήςx2 y2 z2 → Συντεταγμένες σημείου τέλουςName →Όνομα του μέλουςReleaseID_A →Βαθμοί ελευθερίας σημείου αρχήςReleaseID_B → Βαθμοί ελευθερίας σημείου τέλουςEccentricity_Y →Εκκεντρότητα στον άξονα YEccentricity_Z →Εκκεντρότητα στον άξονα ZEccentricity_D →Στροφή του μέλουςConvergence →Αριθμός πεπερασμένων τμημάτωνGeomImpV →Αρχική ατέλεια στην διεύθυνση YGeomImpW →Αρχική ατέλεια στην διεύθυνση ZResistance →Τύπος του μέλους



Με τον τρόπο αυτό οι χρήστες του ConSteel μπορούν να δημιουργήσουν ολόκληρες παραμετρικές κατασκευές οι οποίες καταχωρούνται σε βιβλιοθήκη και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε παρόμοιες μελέτες, οι οποίες με μικρές αλλαγές θα είναι έτοιμες μέσα σε μερικά δευτερόλεπτα.

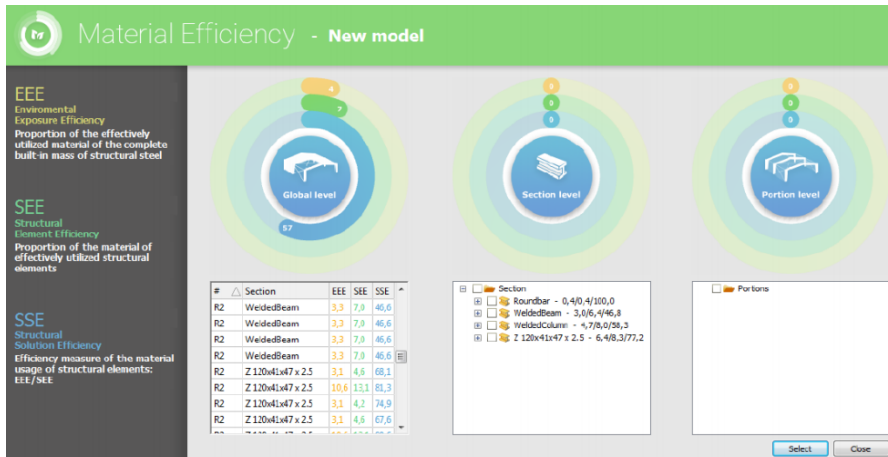
csPi

Για να μάθετε περισσότερα σχετικά με την χρήση του csPi κατεβάστε το
σχετικό εγχειρίδιο της ERGOCAD

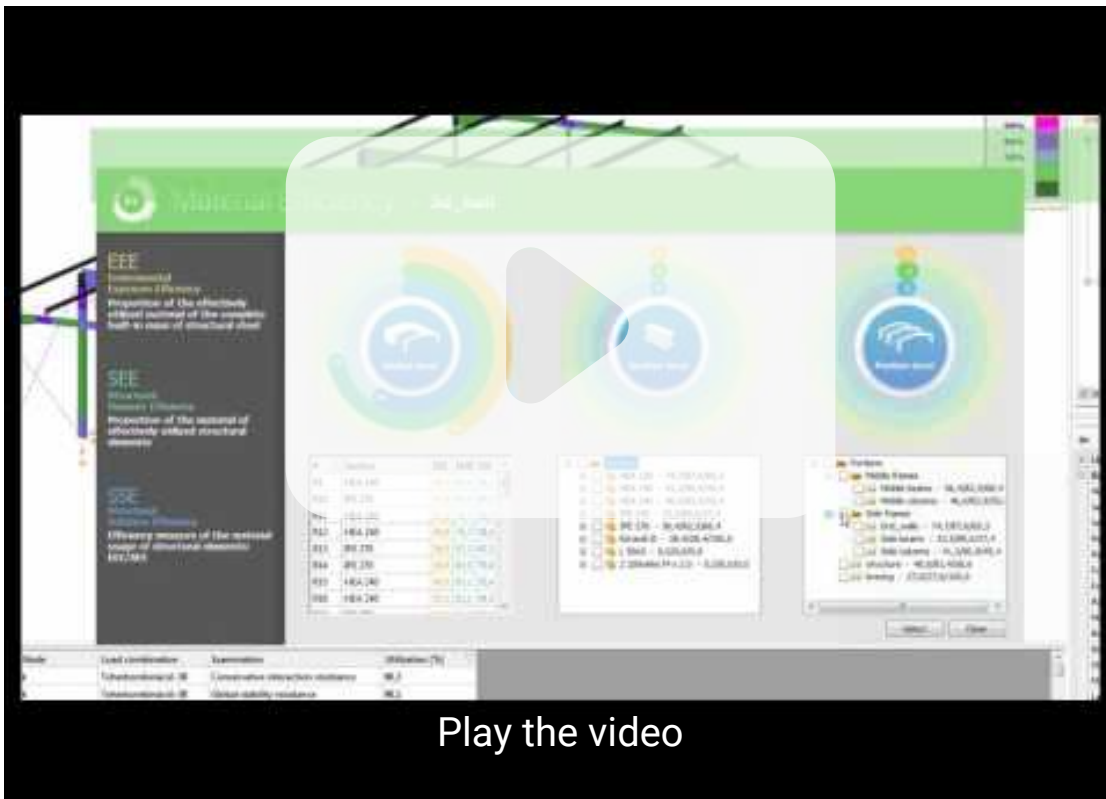
[Download](#)

Αποδοτικότητα υλικού - Material efficiency

Σχεδιάζοντας στο Consteel, μπορείτε να εξοικονομήσετε σημαντικές ποσότητες χάλυβα από την τελική κατασκευή και φυσικά να προστατέψετε το περιβάλλον από την επιβάρυνση που προέρχεται από την έκλυση διοξειδίου του άνθρακα κατά την παραγωγή του χάλυβα. Με τα έξυπνα εργαλεία που διαθέτει το πρόγραμμα μπορείτε να επιλέξετε τον βέλτιστο τύπο κατασκευής (π.χ. πλαίσιο ή δικτύωμα) καθώς και την μορφή της διατομής που έχει την μέγιστη απόδοση και ασφάλεια (π.χ. μεταβλητή, σύνθετη, σύμμικτη κλπ) ή ακόμα και να συγκρίνετε μεταξύ τους διαφορετικές λύσεις για το ίδιο έργο. Με το εργαλείο της αποδοτικότητας υλικού έχετε πλέον μία πλήρη εικόνα για την οικονομία στο έργο που σχεδιάζετε.



Ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία του εργαλείου αυτού, είναι και το ότι ο μελετητής μπορεί να δημιουργήσει όσες ομάδες θέλει και να ελέγξει ανά μέλος, ανά κατηγορία διατομής ή ανά ομάδα τις βέλτιστες λύσεις σχεδιασμού. Δείτε τις δυνατότητες αυτού του καινοτόμου στοιχείου του ConSteel σε ένα συνοπτικό video.

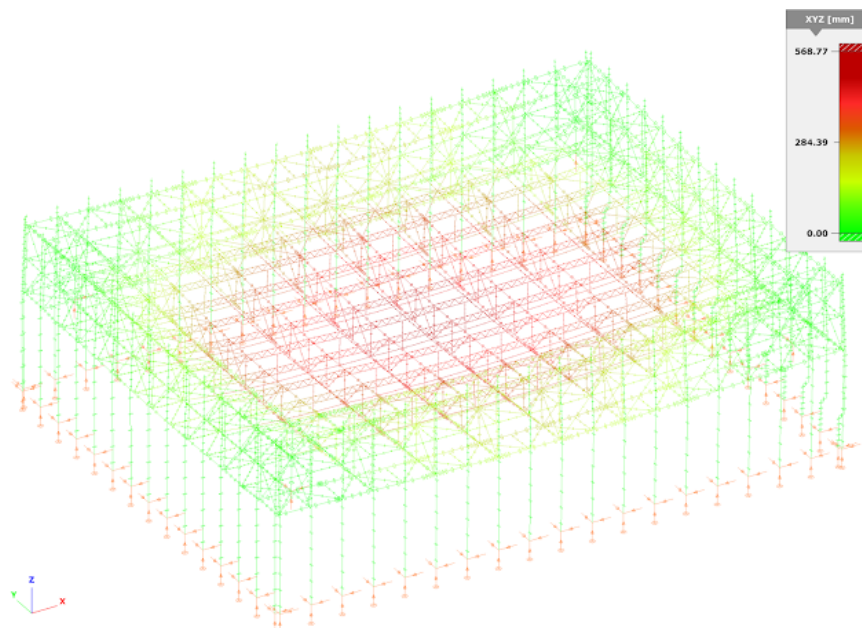


Ένα ακόμα σημαντικό έργο σχεδιάστηκε με το λογισμικό Consteel

Το νέο θαύμα της Βουδαπέστης, ονομάζεται "Dagály Swimming Complex" και αποτελεί τον κύριο χώρο στον οποίο θα διεξαχθεί το παγκόσμιο πρωτάθλημα υγρού στίβου 2017. Η κατασκευή είναι σε εξέλιξη και ήδη θεωρείται επίτευγμα ότι η ολοκλήρωση θα έχει γίνει σε λιγότερο από 2 έτη - χρόνος ρεκόρ για μία τέτοια κατασκευή. *Το συγκρότημα διαθέτει δύο πισίνες ολυμπιακών διαστάσεων - με την κύρια να έχει βάθος 3m, ενώ το βάθος της πισίνας προθέρμανσης μπορεί να ρυθμιστεί! Σύμφωνα με τις ανάγκες των συμμετοχών, μπορεί να φιλοξενήσει περισσότερους από 15.000 θεατές και να εξυπηρετήσει εκδηλώσεις μεγάλης κλίμακας.*

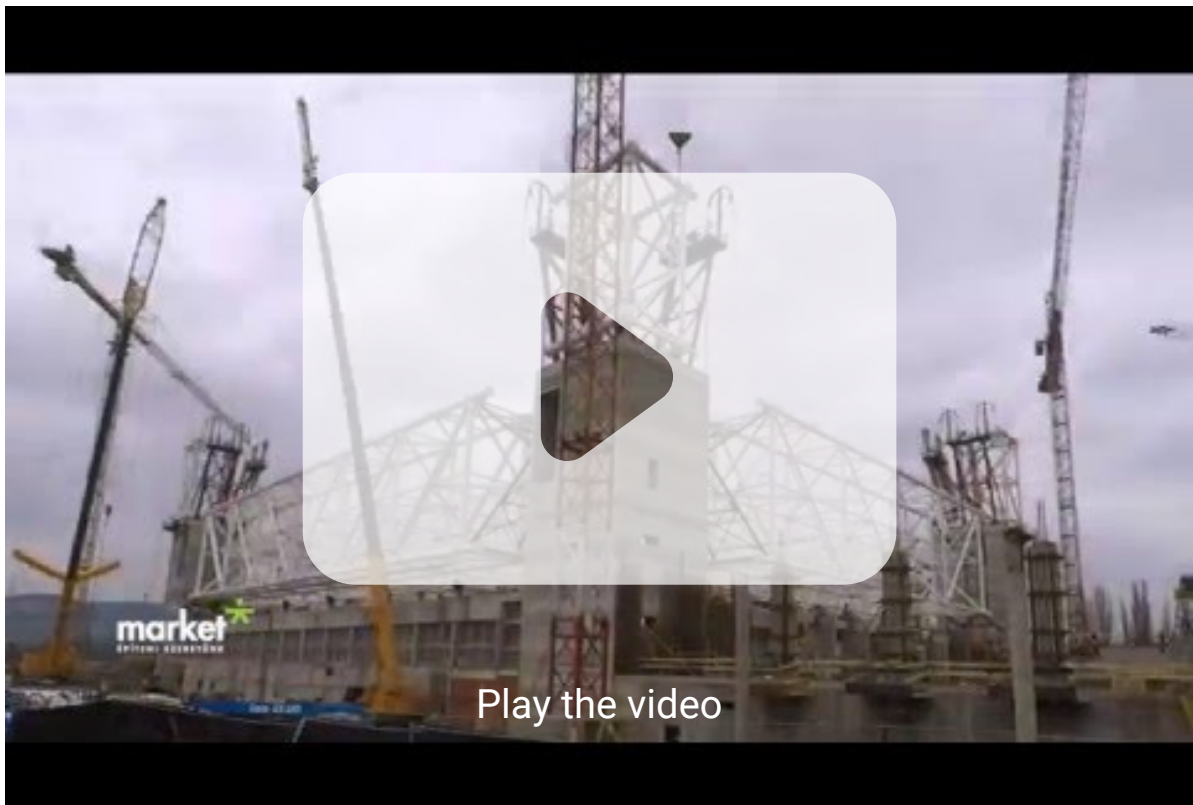


Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση, το σχεδιασμό τόσο κατά τη φάση σχεδιασμού όσο και στη φάση της κατασκευής ήταν το consteel, με το οποίο πραγματοποιήθηκαν και όλοι οι έλεγχοι καθολικής ευστάθειας.

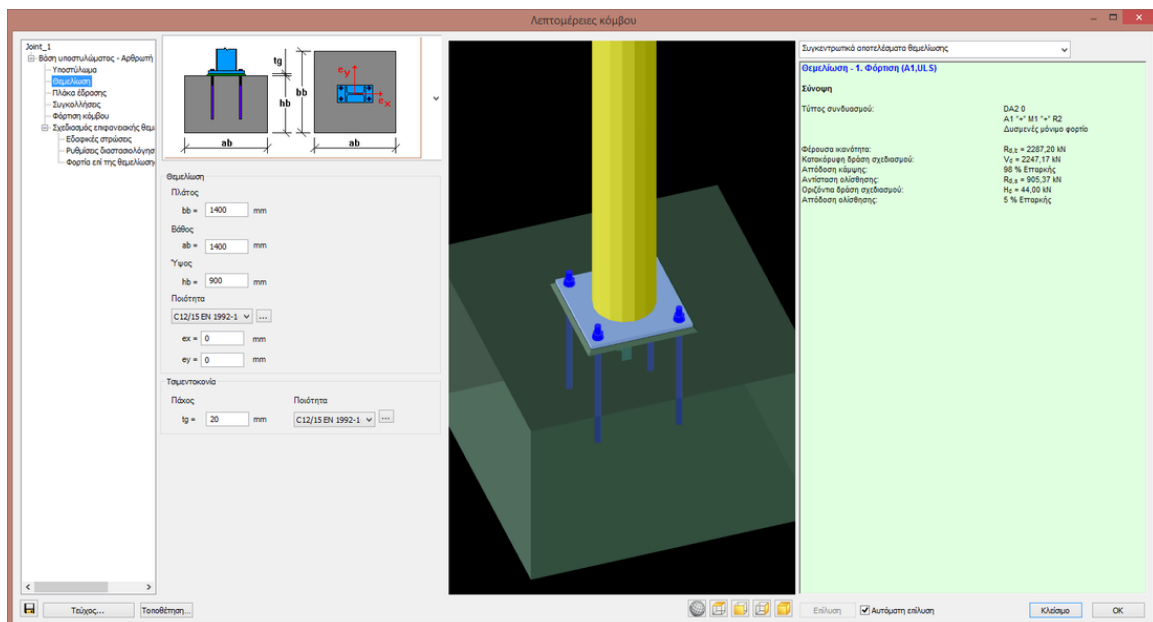


Τα τεράστια σε μέγεθος ανοίγματα της στέγης (μεγέθους 108m x 84m) τοποθετήθηκαν στην στάθμη των 10,8m και στη συνέχεια με τη βοήθεια ανυψωτικών συστημάτων συνδέθηκαν στην κορυφή των στοιχείων σκυροδέματος, στα περίπου 29m.

Δείτε συνοπτικό video από την διαδικασία κατασκευής:



Χάρη στην υψηλού επιπέδου τεχνολογία BIM που περιλαμβάνεται στον πυρήνα του Consteel, έγινε εξαγωγή του μοντέλου προσομοίωσης στο πρόγραμμα Tekla για ταχύτερη σχεδίαση των λεπτομερειών. Με τον τρόπο αυτό οι μελετητές εκτός από την αποφυγή λαθών κατά τη σχεδίαση, εξοικονόμησαν παράλληλα πολύτιμο χρόνο για την ολοκλήρωση της μελέτης του συνολικού έργου.



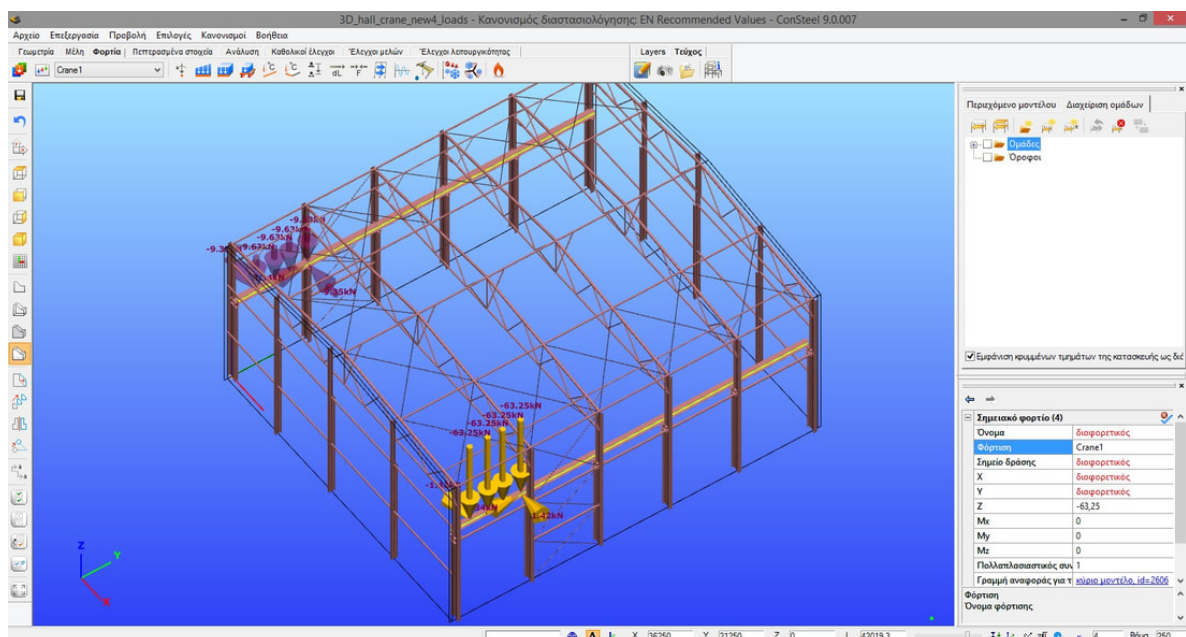
Υπολογισμός φορτίων γερανογέφυρας με έτοιμα σενάρια ανάλυσης

Το Consteel περιλαμβάνει ένα καινοτόμο αλγόριθμο για να υπολογίσει τα φορτία που δημιουργούνται σε μία μεταλλική κατασκευή η οποία περιλαμβάνει γερανογέφυρα. Μέσω ενός ειδικού παραθύρου καθορίζονται πρώτα όλες οι απαραίτητες παράμετροι και στη συνέχεια εκτελείται αυτόματα η ανάλυση και παράγεται η περιβάλλουσα των φορτίσεων.



Η διαδικασία αυτόματου υπολογισμού των φορτίων γερανογέφυρας περιλαμβάνει τρία απλά βήματα:

- α) Με βάση τους ευρωκώδικες καθορίζονται αρχικά οι παράμετροι του γερανού όπως το ίδιο βάρος του γερανού, ο τύπος του και ο αριθμός των αξόνων ώστε να υπολογιστούν από τον αλγόριθμο του CONSTEEL οι δυναμικοί συντελεστές και τα αντίστοιχα φορτία σε κάθε διεύθυνση και θέση (είτε από την κίνηση του γερανού είτε από την πέδηση).
- β) Στη συνέχεια επιλέγεται η διαδρομή (μονοπάτι) του κινούμενου φορτίου
- γ) Τοποθετούνται τα φορτία σε επιλεγμένες θέσεις (ανοίγματα ή στηρίξεις) και παράγεται η περιβάλλουσα των φορτίσεων και διαστασιολογούνται συνολικά τα μέλη της κατασκευής.



Το CONSTEEL περιλαμβάνει και δεύτερη επιλογή για την εισαγωγή φορτίων και την διαστασιολόγηση γερανογέφυρας μέσω μιας διαδικασίας η οποία στηρίζεται στο γράφημα επιρροής (επιλεγμένο καθοριστικό εντατικό μέγεθος από το χρήστη όπως π.χ M_y). Περιλαμβάνονται τρεις τύποι γραφήματος επιρροής οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στην ανάλυση:

Μετακίνηση

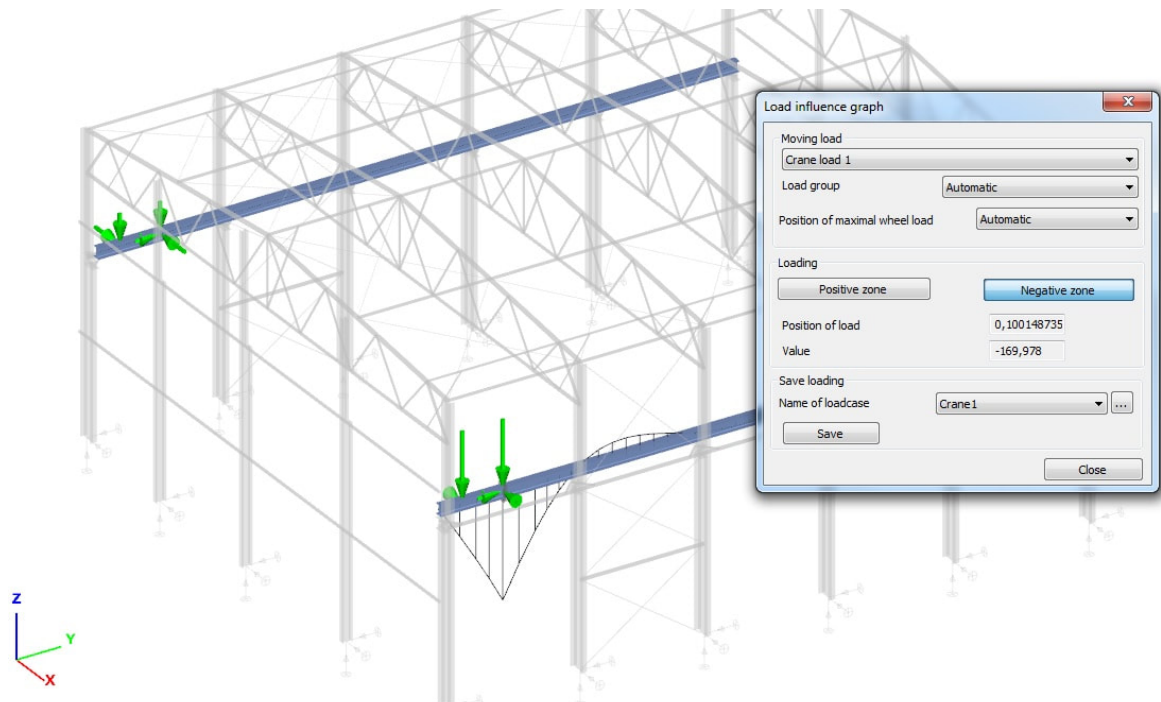
Μετακίνηση στους τοπικούς άξονες x , y και z
Στροφή γύρω από τους τοπικούς άξονες x , y και z

Δύναμη

Κύρια (M_y) και δευτερεύουσα (M_z) καμπτική ροπή
Αξονική δύναμη(N)
Κύρια (V_y) και δευτερεύουσα (V_z) τέμνουσα
Στρέψη (T)
Διαξονική (B)

Αντίδραση

Δύναμη αντίδρασης στους καθολικούς άξονες X , Y και Z
Αντίδραση ροπής γύρω από τους καθολικούς άξονες X , Y και Z



Με τα παραπάνω εργαλεία δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει με ασφάλεια και σε ελάχιστο χρόνο σύνθετες φορτίσεις όπως αυτές που παράγονται από γερανογέφυρες σε βιομηχανικά κτίρια.

Στη θέση μίας αποθήκης σιτηρών κατασκευάστηκε ένας νέος χώρος γραφείων του οποίου η στατική μελέτη εκπονήθηκε με το Consteel

Το 2016, στη θέση μίας παλιάς αποθήκης σιτηρών κατασκευάστηκε ένας μοντέρνος χώρος γραφείων του οποίου η στατική μελέτη εκπονήθηκε με το πρόγραμμα Consteel. Ο παλιός μύλος καθώς και ο σταθμός διαλογής σιτηρών κατεδαφίστηκε, και οι παλιές αποθήκες έγιναν τμήμα του νέου κτιρίου με το κεντρικό στοιχείο να παίρνει το χαρακτηριστικό σχήμα του αυγού.

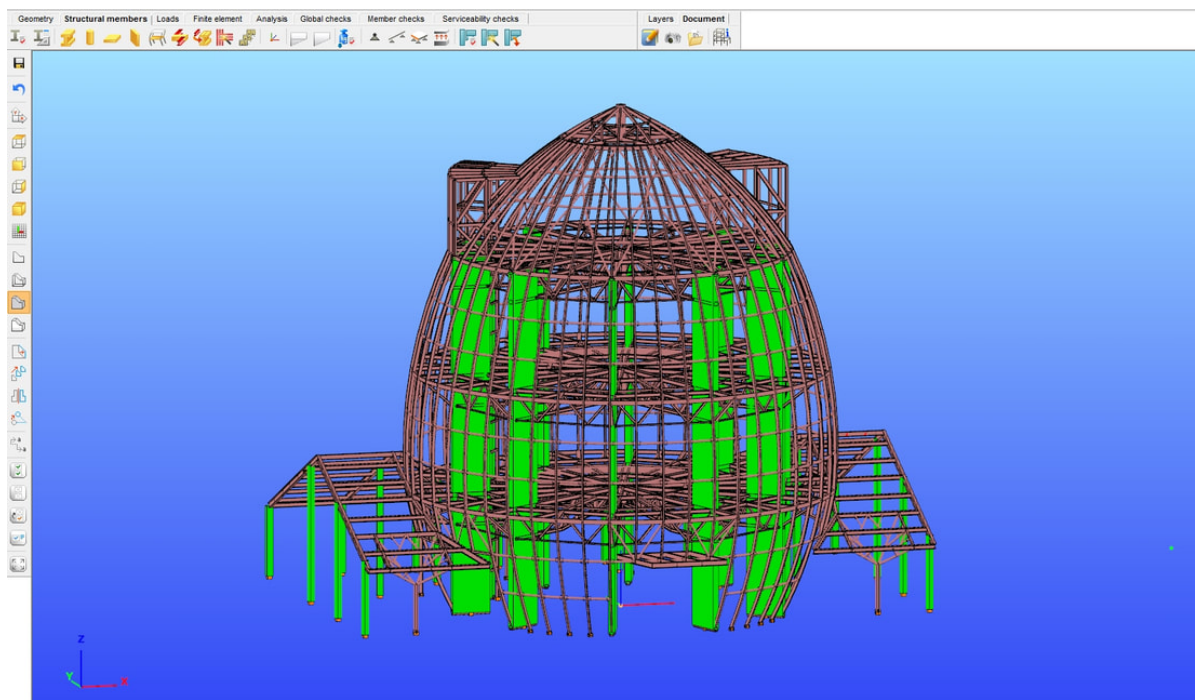


Οι κύριες απαιτήσεις του πελάτη ήταν οι εξής:

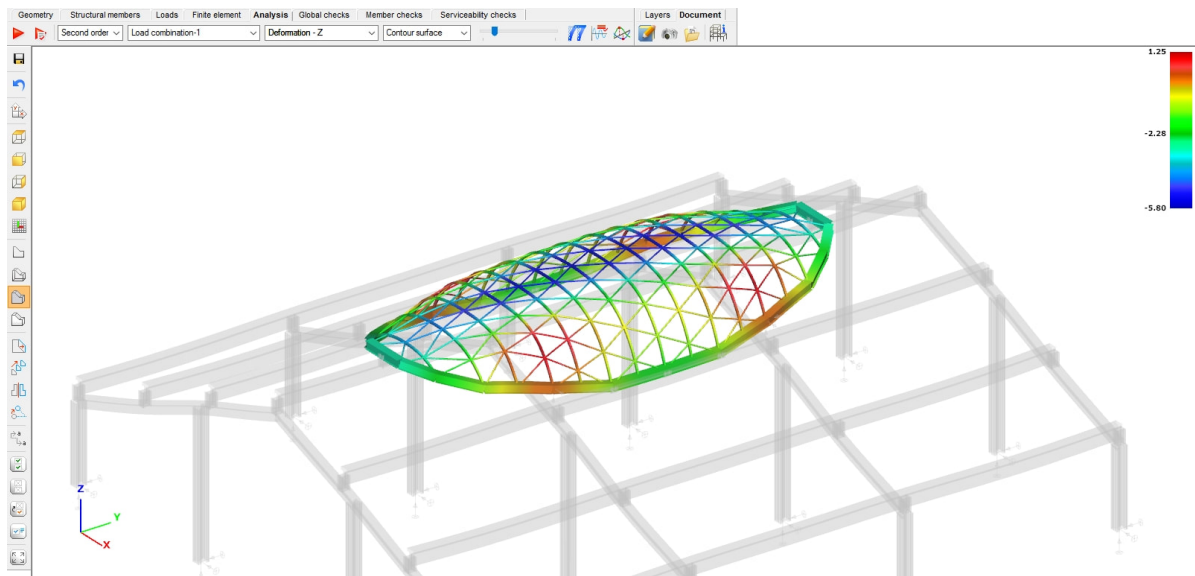
- Να κατασκευαστεί ένα κτίριο γραφείων με υψηλές προδιαγραφές τόσο από κατασκευαστική όσο και από αρχιτεκτονική πλευρά
- Να δημιουργηθεί ένας εσωτερικός χώρος, πλούσιος σε φυσικό φωτισμό
- Να ανακαινιστεί η αρχική προκατασκευή από σκυρόδεμα με σκοπό να μεγιστοποιηθεί ο ωφέλιμος χώρος.

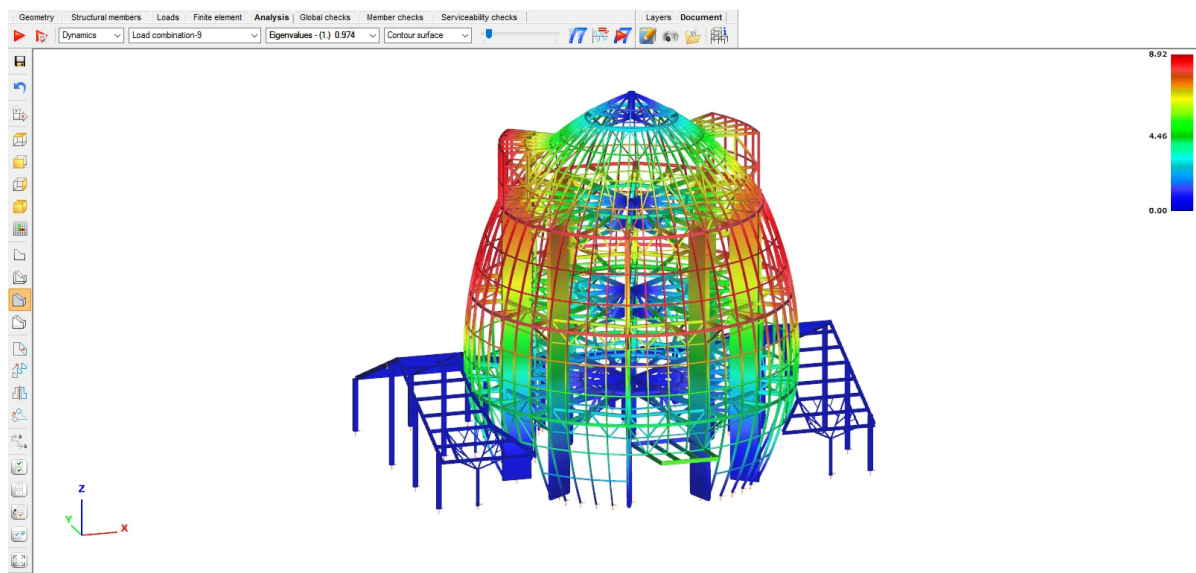
Το 3όροφο κτίριο γραφείων με σχήμα αυγού έχει συνολικά επιφάνεια 1350 m², ενώ κάθε πτέρυγα από τις επιμήκεις πλευρές έχει εμβαδό 2050 m².

Με το πρόγραμμα για μεταλλικές & σύμμικτες κατασκευές ConSteel έχει ο σχεδιασμός ολόκληρης της κατασκευής και ειδικότερα οι έλεγχοι ευστάθειας. Για τη συνολική απόκριση του φορέα και για το σχεδιασμό των διατομών και μελών χρησιμοποιήθηκε ένα 3D μοντέλο περιλαμβάνοντας όλα τα στοιχεία στην ανάλυση (τόσο από χάλυβα όσο και από σκυρόδεμα).



Χάρη στο καινοτόμο περιβάλλον εργασίας, το οποίο βασίζεται στην τεχνολογία BIM, η σχεδιαστική ομάδα μπόρεσε να μελετήσει τις επιμέρους φάσεις ανέγερσης της μεταλλικής κατασκευής και να παρατηρήσει επιπλέον τα πιθανά προβλήματα τα οποία θα μπορούσαν να προκληθούν αργότερα στην κατασκευή.





Το ως άνω αναφερόμενο έργο σχεδιάστηκε από τον αρχιτέκτονα ΒΡ Străjan και βρίσκεται στην Alba Iulia στην Ρουμανία.

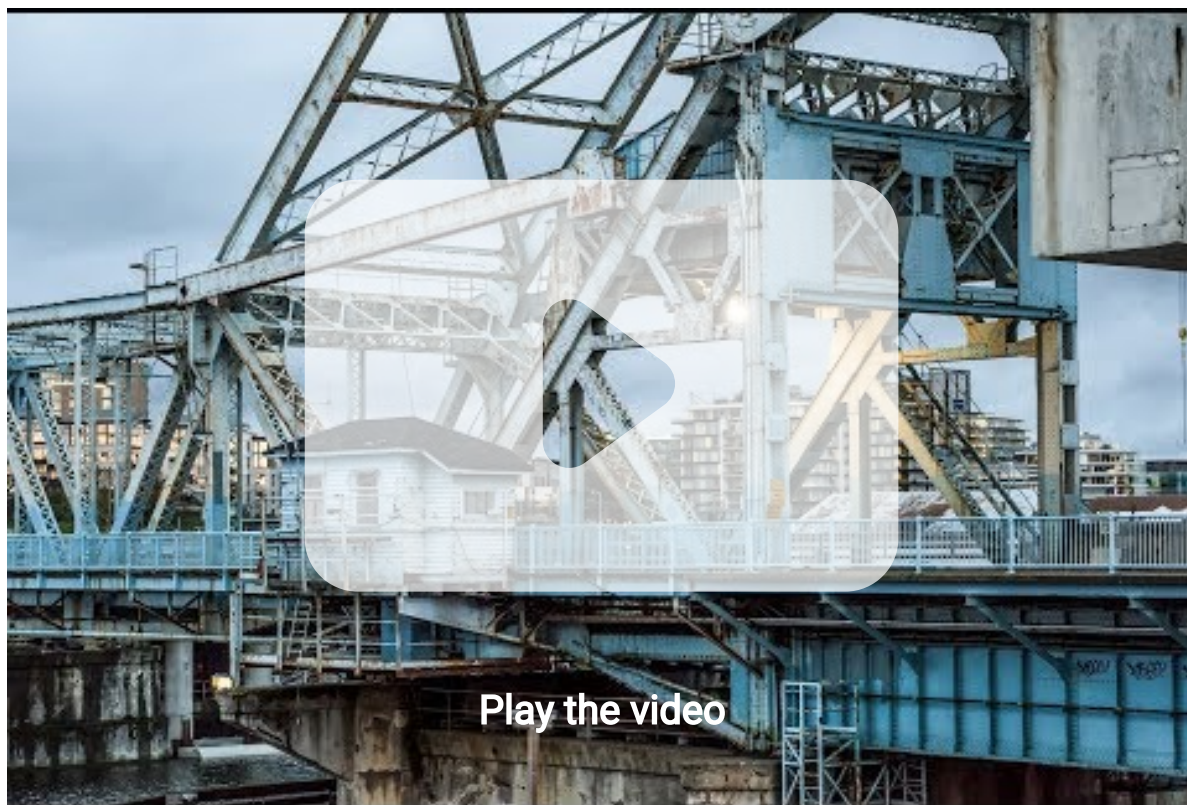


Δείτε το σχετικό video που ακολουθεί:



Στο επίσημο κανάλι της ERGOCAD στο youtube μπορείτε να παρακολουθήσετε δεκάδες online μαγνητοσκοπημένα tutorials, παρουσιάσεις, ομιλίες από σημαντικά συνέδρια για όλα μας τα προγράμματα και να ενημερωθείτε άμεσα για τις νέες εκδόσεις και για ειδικές προσφορές.

Παρακάτω έχουμε επιλεκτικά συμπεριλάβει μία αναλυτική παρουσίαση του Consteel για να γνωρίσετε τα βασικά χαρακτηριστικά του προγράμματος.



Γνωρίστε σημαντικές μεταλλικές & σύμμικτες κατασκευές που έχουν μελετηθεί με το ConSteel σε διάφορες χώρες.

[Download](#)

Ζητήστε το αναλυτικό εγχειρίδιο χρήσης του ConSteel, το οποίο περιλαμβάνει όλες τις οδηγίες μέσα από 365 σελίδες στην Ελληνική γλώσσα.

info@ergocad.eu

Πίνακας περιεχομένων

Διαστασιολόγηση σύνθετης μεταλλικής διατομής με λεπίδες στο ConSteel	2
Ολοκληρωμένος οδηγός για την χρήση λεπτότοιχων μεταλλικών διατομών	5
Ο EN 1993-1-3 περιλαμβάνει 3 "μυστικούς" τύπους για μεταλλικές διατομές ψυχρής έλασης	9
Έλεγχος μεταλλικής κατασκευής έναντι καθολικής ευστάθειας και τοπικού λυγισμού στο ίδιο μοντέλο	21
Εφαρμογή ακριβούς προσομοίωματος για μεταβλητές διατομές	25
Προσδιορισμός της δυσκαμψίας των διατμητικών panels στο Consteel	31
Βελτιστοποίηση απόκρισης γωνίας πλαισίου με βάση την οδηγό του Consteel	44
Υπολογισμός φορτίων γερανογέφυρας με έτοιμα σενάρια ανάλυσης	50
Πώς γίνεται η προσομοίωση των ημι-άκαμπτων συνδέσεων στις κατασκευές?	53
Ένα μοναδικό έργο που θα στεγάζει το νέο Ζωολογικό και βοτανολογικό Κήπο της Βουδαπέστης μελετήθηκε με το ConSteel	57
Δημιουργήστε παραμετρικές κατασκευές στο ConSteel μέσα από το περιβάλλον προγραμματισμού csPI	59
Αποδοτικότητα υλικού - Material efficiency	61
Ένα ακόμα σημαντικό έργο σχεδιάστηκε με το λογισμικό Consteel	62
Υπολογισμός φορτίων γερανογέφυρας με έτοιμα σενάρια ανάλυσης	64
Στη θέση μίας αποθήκης σιτηρών κατασκευάστηκε ένας νέος χώρος γραφείων του οποίου η στατική μελέτη εκπονήθηκε με το Consteel	66

e - B o o k

Μεταλλικές κατασκευές με το ConSteel

ConSteel Blog Articles

www.consteelsoftware.eu

