

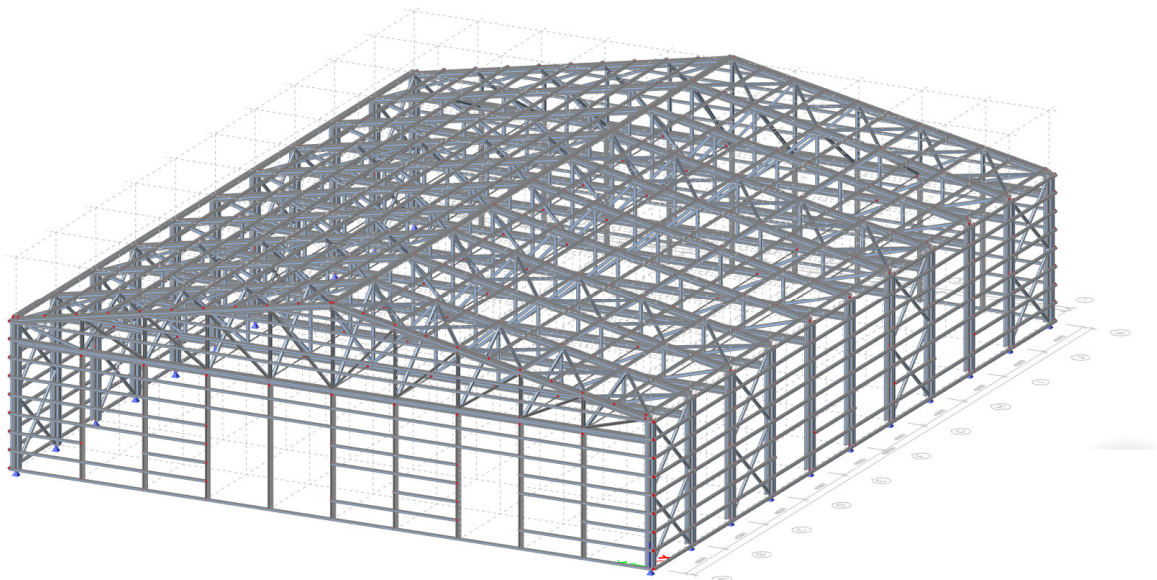


**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

## Σχεδιασμός βιομηχανικού χώρου από λεπτότοιχα στοιχεία στη Φλώρινα



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μαντζαβράς Χ. Παναγιώτης**

Επιβλέπων: Ιωάννης Βάγιας

Αθήνα, Μάρτιος 2021

ΕΜΚ ΔΕ 2021/12

Μαντζαβράς Π. Χ. (2021).  
Σχεδιασμός βιομηχανικού χώρου από λεπτότοιχα στοιχεία στη Φλώρινα  
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2021/12  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Mantzavras P. C. (2021).  
Design of a factory structure built of cold-formed parts in Florina  
Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2021/12  
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

# Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη .....	3
Abstract .....	4
Ευχαριστίες .....	5
1 Εισαγωγή .....	6
1.1 Αντί προλόγου – Στροφή στην χρήση Ελαφρών Μεταλλικών-Γιατί; .....	6
1.2 Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας .....	6
2 Παρουσίαση Έργου .....	7
2.1 Περιγραφή του κτηρίου .....	7
2.2 Αρχική προσέγγιση Κυρίου Φορέα .....	7
2.2.1 Πλαίσια .....	7
2.2.2 Κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας .....	8
2.2.3 Οριζόντιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας .....	9
2.2.4 Μηκίδες .....	10
2.2.5 Τεγίδες .....	11
2.2.6 Στοιχεία παραλαβής φορτίων εμπρόσθιας & οπίσθιας όψης .....	12
2.2.7 Μέλη στήριξης κάτω πελμάτων μετοπικών ζυγωμάτων .....	13
2.2.8 Ελκυστήρες μεταξύ ζυγωμάτων .....	13
2.2.9 Ντίζες οροφής .....	14
2.3 Υλικά κατασκευής .....	15
2.3.1 Δομικός Χάλυβας .....	15
2.3.2 Φύλλα επικάλυψης (Panel) .....	15
3 Δράσεις υπολογισμού .....	18
3.1 Μόνιμες δράσεις .....	18
3.2 Μεταβλητές δράσεις .....	18
3.2.1 Κατασκευαστικά φορτία .....	18
3.2.2 Φορτίο Χιονιού .....	18
3.2.3 Φορτίο Ανέμου .....	23
3.2.4 Σεισμικές Δράσεις .....	46
3.2.5 Θερμοκρασιακά Φορτία .....	53
3.3 Συνδυασμοί δράσεων .....	54
3.3.1 Οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ) .....	54
3.3.2 Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (ΟΚΛ) .....	58
4 Έλεγχοι στην οριακή κατάσταση αστοχίας .....	60
4.1 Κατάταξη διατομών κατά τον Ευρωκώδικα 3 .....	60
4.2 Διατομές κατηγορίας 4 εν ψυχρώ κατεργασίας .....	63
4.2.1 Ενισχύσεις διατομών .....	63
4.2.2 Μοντελοποίηση ενισχύσεων .....	64
4.2.3 Γεωμετρικοί περιορισμοί μόρφωσης ενισχύσεων .....	64
4.3 Τοπικός λυγισμός - Ενεργά πλάτη στοιχείων .....	65
4.4 Αξονικός εφελκυσμός .....	67
4.5 Αξονική θλίψη-τοπικός λυγισμός .....	67
4.6 Μονοαξονική κάμψη .....	68
4.6.1 Ελαστοπλαστική αντοχή .....	69
4.7 Διαξονική κάμψη .....	70
4.8 Θλίψη και διαξονική Κάμψη .....	70
4.9 Εφελκυσμός και διαξονική Κάμψη .....	71

4.10	Διάτμηση .....	71
4.11	Κάμψη και διάτμηση .....	73
4.12	Στρέψη.....	73
4.13	Ευστάθεια μελών.....	74
5	Διαστασιολόγηση .....	76
5.1	Υποστυλώματα.....	76
5.2	Άνω Πέλμα.....	89
5.3	Κάτω Πέλμα .....	97
5.4	Ελκυστήρες Δικτύματος Ζυγώματος.....	103
5.5	Ορθοστάτες Δικτύματος Ζυγώματος.....	108
5.6	Κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας.....	113
5.7	Οριζόντιοι Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας.....	116
5.8	Μηκίδες.....	119
5.9	Τεγίδες.....	126
5.10	Μετωπικά Υποστυλώματα .....	132
5.11	Οριζόντια.....	135
5.12	Διαγώνια (διαπλαισιακά στοιχεία εξασφάλισης Κάτω Πελμάτων) .....	141
5.13	Ντίζες Οροφής.....	144
5.14	Κεφαλοδοκοί & Κορφιάς.....	148
6	Έλεγχος ΟΚΛ.....	155
7	Συμπεράσματα.....	156
8	Βιβλιογραφία.....	157

## Σχεδιασμός βιομηχανικού χώρου από λεπτότοιχα στοιχεία στη Φλώρινα

Μαντζαβράς Π. Χ. (Επιβλέπων: Βάγιας Ι.)

### Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται ο σχεδιασμός μιας μονώροφης βιομηχανικής αποθήκης από χαλύβδινες διατομές ψυχρής έλασης. Η μόρφωση του φορέα γίνεται βάσει δεδομένων αρχιτεκτονικών απαιτήσεων ως προς τη γεωμετρία και τα ανοίγματα. Οι διαστάσεις της κτηρίου είναι 40m μήκος και 32m πλάτος. Ο κύριος φορέας μορφώνεται από πλαίσια με ολόσωμα υποστυλώματα και δικτυωτά ζυγώματα.

Επί της κατασκευής ασκούνται μόνιμα φορτία, σεισμική καταπόνηση, φορτίο χιονιού, δράσεις ανέμου και θερμοκρασιακά φορτία. Ο προσδιορισμός τους γίνεται βάσει ευρωκωδίκων και αντίστοιχων εθνικών προσαρτημάτων ενώ στην συνέχεια συνδυάζονται κατάλληλα ώστε να ασκηθούν στο προσομοίωμα της κατασκευής και να γίνει ανάλυση και διαστασιολόγηση των μελών της.

Η προσομοίωση και ανάλυση του φορέα γίνεται με τη βοήθεια του λογισμικού SCIA Engineer 20.0.2028. Με επαναληπτική διαδικασία ανάλυσης και διαστασιολόγησης επιλέγονται οι κατάλληλες διατομές των μελών σύμφωνα με τις διατάξεις του EN 1993, ώστε να ικανοποιούνται τα κριτήρια έναντι Οριακής Κατάστασης Αστοχίας (ULS) και Οριακής Κατάστασης Λειτουργικότητας (SLS), ενώ παράλληλα να εξασφαλίζεται η οικονομία. Οι χρησιμοποιούμενες διατομές είναι χαλύβδινες ψυχρής έλασης, ορθογωνικής μορφής με ενισχύσεις, ενώ τα πάχη κυμαίνονται από 3mm έως 5mm ανάλογα με το μέλος. Για την επικάλυψη της οροφής και των τοίχων επιλέγονται θερμομονωτικά πάνελ πολυουρεθάνης με κριτήριο τα φορτία ανέμου.

Συμπερασματικά, διαπιστώνεται πως παρά τα ειδικά προβλήματα σχεδιασμού που συνδέονται με τη χρήση λεπτότοιχων διατομών ψυχρής έλασης λόγω της ευαισθησίας τους έναντι φαινομένων αστάθειας, είναι δυνατόν να συνθέσουν εξ' ολοκλήρου ένα βιομηχανικό κτήριο, προσφέροντας αντοχή, ελαφρότητα και οικονομία.

## **Design of a factory structure built of cold-formed parts in Florina**

Mantzavras P. C. (supervised by Vayas I.)

### **Abstract**

The present thesis covers the design of a factory building built of cold formed parts in Florina, Greece. The formation was dictated by specific architectural requirements about geometry and openings. The structure's dimensions are 40m long and 32m wide and consists of frames with full-body columns and truss girder rafters.

Permanent and variable loads are applied on the structure, such as self weight, snow, wind, temperature variation and seismic force. Their definition was made according to Eurocodes and their respective national annexes. Afterwards, loads are combined accordingly on the structure's model in order to determine the type and sizes of the structure's parts.

Modeling and analysis of the structure was carried out in SCIA Engineer 20.0.2028 environment. The iterative process of analyzing and sizing, brought as a result the types and sizes of the parts, who were valid for the checks of Ultimate Limit State (ULS) and Serviceability Limit State (SLS) of the EN 1993 and also inexpensive. The cross sections used are cold formed steel, rectangular in shape with reinforcements, while the thicknesses ranges from 3mm to 5mm depending on the member. For the coating of the roof and the walls, polyurethane thermal insulation panels are selected based on the wind loads.

In conclusion, we find out that despite the special design problems associated with the use of thin-walled cold-formed sections due to their being prone to instability, it is possible to completely assemble an industrial building, offering durability, lightness and economy.

## Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ιωάννη Βάγια, Καθηγητή του τομέα Δομοστατικής και Διευθυντή του Εργαστηρίου Μεταλλικών Κατασκευών της σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για την ανάθεση και επίβλεψη της διπλωματικής μου εργασίας, καθώς και την άμεση επιστημονική καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της.

Ακόμα, ευχαριστώ την κ. Σοφία Αντωνοδημητράκη, υποψήφια Διδάκτωρα της σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για τις έγκαιρες και πολύτιμες συμβουλές της και την επιστημονική της βοήθεια που συνέβαλαν σημαντικά στην ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Επιπρόσθετα ευχαριστώ και τους υπολοίπους καθηγητές και λοιπούς ακαδημαϊκούς της σχολής, με τους οποίους είχα την τύχη να συνεργαστώ για τις γνώσεις, τις προτροπές και την έμπνευση που μου έδωσαν τα χρόνια παρουσίας μου εκεί.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου που με στήριξε όλα αυτά τα χρόνια σπουδών μου και φρόντιζε να μου παρέχει ό,τι χρειάζομαι ώστε να ασχολούμαι απερίσπαστος με τις φοιτητικές μου υποχρεώσεις.

Ευχαριστώ και τους φίλους που είτε είχα από πριν, είτε γνώρισα στην σχολή, οι οποίοι με βοήθησαν είτε ψυχολογικά είτε ως συνεργάτες.

# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Αντί προλόγου – Στροφή στην χρήση Ελαφρών Μεταλλικών–Γιατί;

Διατομές ψυχρής έλασης, που συνθέτουν μέλη και αυτοτελείς ελαφρές μεταλλικές κατασκευές, είναι διατομές ιδιαίτερα λιγυρές (επιμήκεις, με αναλογία μήκος/πάχος ελάσματος  $\gg 1$ ), στην ανάπτυξη των οποίων οδήγησαν δυο ικανότητες, μια τεχνική και μια σύνθετη ανάγκη/κατεύθυνση.

Η κινήτρια -προς αυτήν την κατεύθυνση- *ανάγκη* ήταν η δημιουργία κατασκευών, που να εξυπηρετούν τον σκοπό τους με τον επιθυμητό τρόπο, με το *χαμηλότερο δυνατό κόστος*. Το τελευταίο κομμάτι συνίσταται και αυτό σε δύο άλλα, την ανθρώπινη εργασία και την ποσότητα του υλικού. Το αυξανόμενο πλήθος (και στην χώρα μας) μεταλλικών κατασκευών, έχει δημιουργήσει μια οικειότητα με την τεχνογνωσία στα συνεργεία που απασχολούνται σε αυτόν τον χώρο και αυτή η *τεχνογνωσία* έχει καταστήσει την επιλογή δημιουργίας ποιοτικών μεταλλικών φορέων μια εφικτή λύση. Το εγχείρημα ανάπτυξης του σχεδιασμού για κατασκευή μελών ψυχρής έλασης ώστε αυτά να χρησιμοποιηθούν σε κατασκευές ως φέροντα στοιχεία, ήταν και είναι δρόμος μετ' εμποδίων, μιας και τα μειονεκτήματα χρησιμοποίησης τέτοιων ελασμάτων δημιουργούν προβλήματα ευστάθειας των προκυπτόντων μελών πέραν των ήδη υπαρχόντων στα επιμήκη μέλη. Επιπρόσθετα με την τεχνογνωσία των εργαζομένων, η συνεχής ανάπτυξη της *τεχνολογίας* των υλικών στηρίζει την προσπάθεια οικονομικών κατασκευών, οι οποίες έχουν και βελτιωμένη συμπεριφορά σε περίπτωση σεισμού, όχι από την άποψη να υπομένουν μεγάλες μετακινήσεις, αλλά να έχουν να αντιμετωπίσουν σημαντικά μικρότερες δυνάμεις έχοντας, αντίστοιχα, σημαντικά μικρότερη μάζα. Η χρήση των δύο, αυτών, εφοδίων χρησιμοποιήθηκε από την *μηχανική* (<μηχανένομαι, η τεχνική σκέψη που περιβάλλεται από φυσικούς κανονισμούς, μέσω της οποίας χρησιμοποιούμε τους πόρους που μας παρέχονται προς επίτευξη/ικανοποίηση ενός στόχου/ανάγκης).

Με την πάροδο του χρόνου, η σκέψη να χρησιμοποιούνται οι διατομές ψυχρής έλασης πέραν των δευτερευόντων κατασκευών ωρίμασε και δημιουργήθηκαν -όπως περιγράφηκε παραπάνω- οι κατάλληλες συνθήκες, ώστε οι προσπάθειες υλοποίησης προϊόντων με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά οικονομίας και επιτελεσματικότητας να ευοδωθούν. Τα τελευταία χρόνια, ολοένα και περισσότερα αντικείμενα που συναντούμε στην καθημερινότητα γίνεται εφικτό να σχεδιαστούν εξ αρχής, ή αντικαθίστανται από ελαφρές μεταλλικές κατασκευές, των οποίων παραδείγματα απαντώνται σε ιστούς σηματοδότησης, στέγαστρα κ.α..

## 1.2 Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη ενός μονορόφου μεταλλικού κτηρίου βιομηχανικής χρήσης μεγάλων διαστάσεων με κύριους φορείς από δίστηλα πλαίσια. Η προσομοίωση και η ανάλυση του κτιρίου έγινε με τη χρήση του προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή SCIA Engineer 20 και βασίστηκε στους Ευρωκώδικες EN1990, EN1991, EN1993, EN1998 και τα Ελληνικά Εθνικά Προσαρτήματα.



## 2 Παρουσίαση Έργου

### 2.1 Περιγραφή του κτηρίου

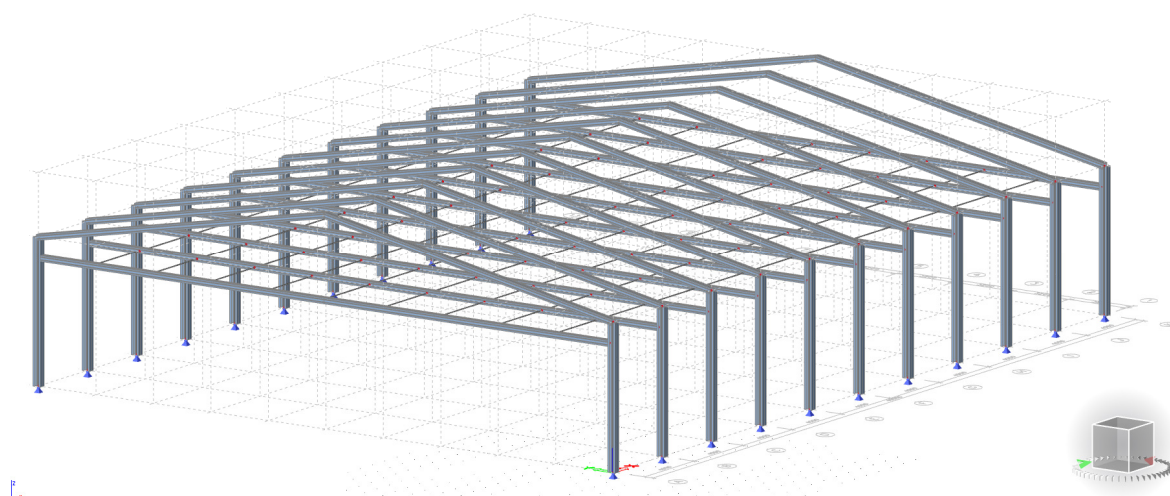
Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής μελετάται το κτήριο βιομηχανικού χώρου από λεπτότοιχα στοιχεία στη Φλώρινα. Οι διαστάσεις του κτηρίου είναι 40,15m μήκος x 32,4m πλάτος (διαστάσεις κυρίου φορέα, συμπεριλαμβανομένων και των παχών, των τελικών υποστυλωμάτων) ενώ το ύψος του κτηρίου ξεκινάει 7m στα άκρα και φτάνει τα 10m στον κορφιά της στέγης.

### 2.2 Αρχική προσέγγιση Κυρίου Φορέα

- Πλαισιωτός φορέας
- Αρθρωτή στήριξη στο έδαφος

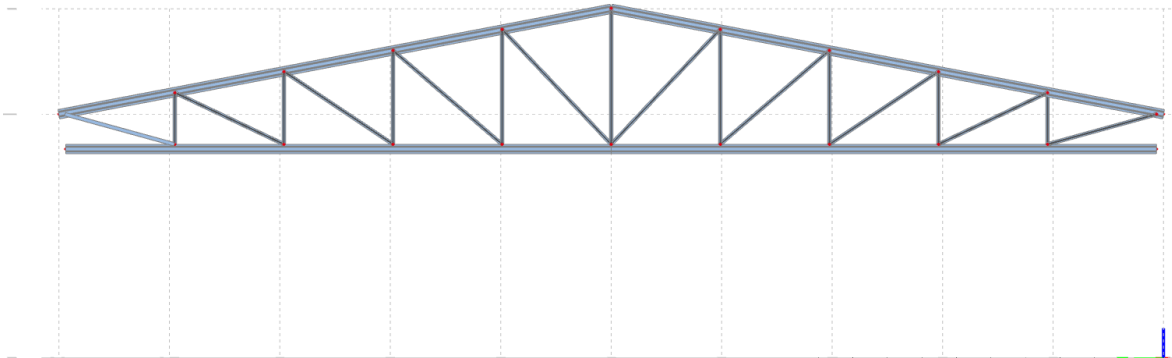
#### 2.2.1 Πλαίσια

Ο φορέας -δεδομένων των διαστάσεών του- επιλέγεται να αποτελείται από μια σειρά -κατά την διεύθυνση του μήκους, του κτηρίου, x- πλαισίων των οποίων η διεύθυνση λειτουργίας είναι η y. Λόγω του σχετικά μεγάλου μεγέθους των διαστάσεων, για κατασκευή τέτοιου τύπου (στοιχεία ψυχρής έλασης) και της αδυναμίας τοποθέτησης ενδιάμεσων υποστυλωμάτων (δίστυλα και όχι τρίστυλα πλαίσια) τα εντατικά μεγέθη, που μεταφέρονται στα υποστυλώματα των πλαισίων, είναι *αυξημένα*. Επίσης, ένας λόγος περαιτέρω αύξησης των εντατικών μεγεθών (των ροπών εν προκειμένω), είναι η θεώρηση αρθρωτής στήριξης των πλαισίων στο έδαφος, που έχει σαν αποτέλεσμα την σχετικά αυξημένη ροπή στην κεφαλή του υποστυλώματος (στον κόμβο με το ζύγωμα). Για να επιτευχθεί μια μείωση στην αυξημένη, αυτή, καταπόνηση, επιλέγεται ο φορέας να αποτελείται από ολόσωμα υποστυλώματα και δικτυωτό ζύγωμα απόστασης πελμάτων 1m στους κόμβους με τα υποστυλώματα και 3m στο μέσον των ανοιγμάτων (το άνω πέλμα ακολουθεί την κλίση της στέγης ενώ το κάτω πέλμα παραμένει οριζόντιο).



Ο κορμός, του δικτυώματος, του ζυγώματος, επιλέγεται να αποτελείται από ζεύγη ορθοστατών και ελκυστήρων, τα οποία θα γεφυρώνουν το άνοιγμα μεταξύ των πελμάτων

του δικτυώματος κατά τμήματα (επιλέγεται το μήκος των 32m μεταξύ των υποστυλωμάτων να χωριστεί σε 10 τμήματα των 3,2m αξονικά).



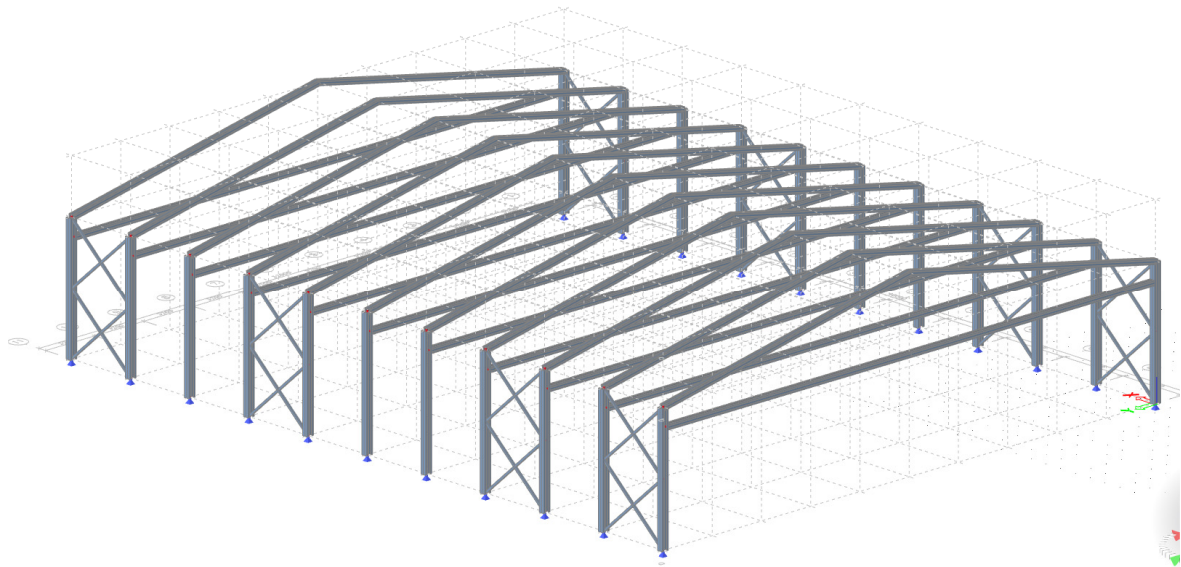
## 2.2.2 Κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας

Οι κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας, είναι συνήθως δικτυωτοί σχηματισμοί διαφόρων μορφών, που τοποθετούνται μεταξύ δύο διαδοχικών υποστυλωμάτων και μεταφέρουν στην θεμελίωση τα οριζόντια φορτία, τα οποία περιλαμβάνουν από τους οριζόντιους συνδέσμους και τις κεφαλοδοκούς.

Στην διαμήκη διεύθυνση (κάθετα στα πλαίσια) τοποθετούνται χιαστί σύνδεσμοι δυσκαμψίας μεταξύ υποστυλωμάτων διαδοχικών πλαισίων, με σκοπό να στηρίξουν τον φορέα σε κάμψη και διάτμηση στην διεύθυνση του μήκους του ( $M_y$  &  $Q_x$ ). Για να επιτυγχάνεται βέλτιστη λειτουργία των συνδέσμων, επιλέγεται η ύπαρξη σειράς 2 συνεχόμενων καθ' ύψος των υποστυλωμάτων με γωνία προς το οριζόντιο επίπεδο:

$$\theta = \tan^{-1}(3/4) = 38,87^\circ$$

έτσι επιτυγχάνεται γωνία κοντά στις  $45^\circ$  που είναι και η βέλτιστη τιμή. Μια καλή αναλογία στηριζόμενων ενδιάμεσων προς τα συνολικά είναι  $1/3$ . Εν προκειμένω, για να μην υποσκελιστεί η ανωτέρω τιμή, αλλά και να μην είναι υπερβολικά πυκνή η διάταξή των -λόγω της προβλεπόμενης θέσης κουφωμάτων στις πλευρικές όψεις του κτηρίου-, αποφασίζεται να μπουν σύνδεσμοι στα  $1^\circ$ ,  $3^\circ$ ,  $7^\circ$ ,  $10^\circ$  μεσοδιαστήματα (ξεκινώντας την αρίθμηση από το πλησιέστερο στην εμπρόσθια όψη).



### 2.2.3 Οριζόντιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας

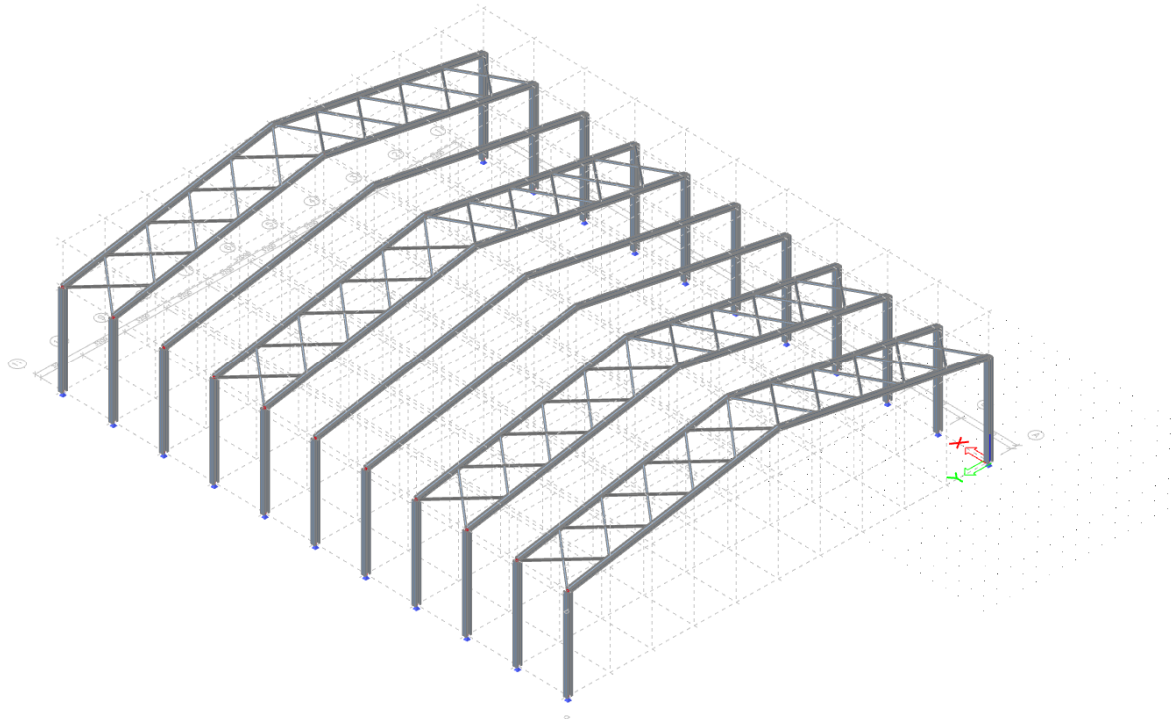
Εκτός των κατακόρυφων, τοποθετούνται και οριζόντιοι χιαστί σύνδεσμοι δυσκαμψίας, σκοπός των οποίων είναι να βοηθήσουν την κατασκευή να μην στρεβλωθεί σε κάτοψη -λόγω ανομοιομορφίας στην κατανομή οριζοντίων πλευρικών φορτίων- να λειτουργήσει, δηλαδή, πιο μαζικά και όχι τόσο σαν ανεξάρτητα πλαίσια κατά την y διεύθυνση. Η συμβολή τους όμως δεν περιορίζονται στην αντιμετώπιση φορτίσεων στην y διεύθυνση. Οριζόντιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας διατάσσονται κατά κανόνα στα ακραία φαντώματα του υπόστεγου και σε ενδιάμεσες θέσεις. Η τοποθέτηση του συνδέσμου στα ακραία φαντώματα εξυπηρετεί την άμεση παραλαβή της ανεμοπίεσης που είναι κάθετη στο μέτωπο, σε αντίθετη περίπτωση η ανεμοπίεση θα φτάσει στο σύνδεσμο μέσω των τεγίδων, οι οποίες θα επιβαρυνθούν με πρόσθετες αξονικές δυνάμεις. Με σκοπό να πετύχουμε γωνία κλίσης των στελεχών, των συνδέσμων, με το κάθετο στο άνω πέλμα επίπεδο, τοποθετούνται 10 σύνδεσμοι σε κάθε ζύγωμα (στα μεσοδιαστήματα των πλαισίων που τοποθετήθηκαν και οι κατακόρυφοι).

Οι κύριες λειτουργίες των συνδέσμων αυτών είναι:

1. Η μεταφορά στους κατακόρυφους συνδέσμους δυσκαμψίας των οριζόντιων ανεμοπιέσεων και των οριζόντιων σεισμικών δράσεων οι οποίες ασκούνται στο επίπεδο των ζυγμάτων.
2. Η διαμόρφωση στοιχείου δυσκαμψίας στο οποίο ακυρώνονται οι τεγίδες εκείνες που προσφέρουν πλευρική στήριξη στα ζυγώματα.

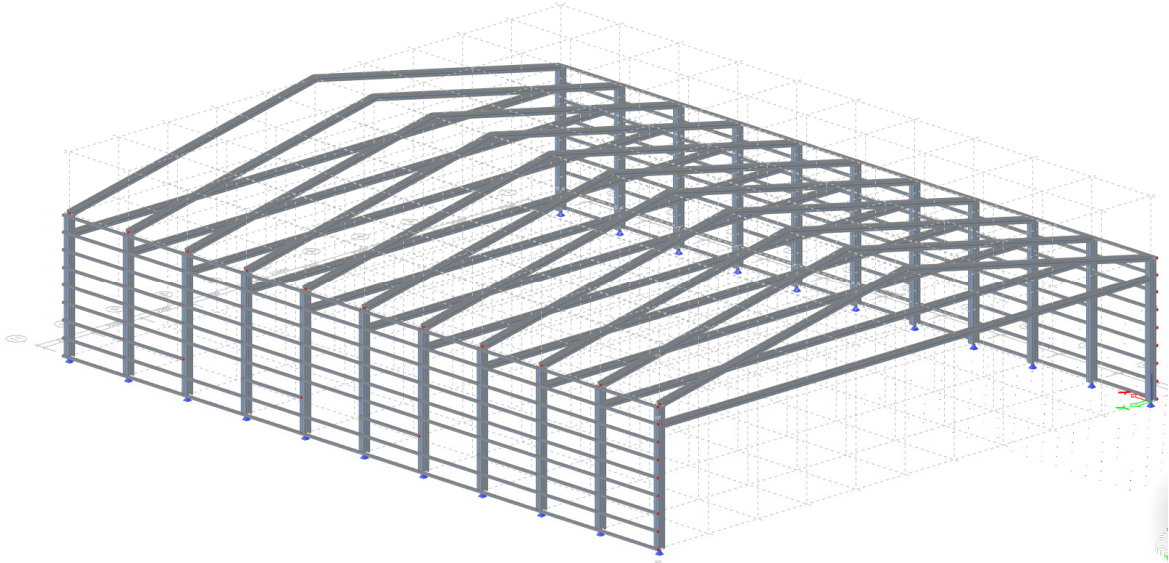
Ένα επιπλέον πλεονέκτημα τοποθέτησης αυτών, των συνδέσμων, είναι η συμβολή στην

ευστάθεια της κατασκευής κατά τη διάρκεια της ανέγερσης



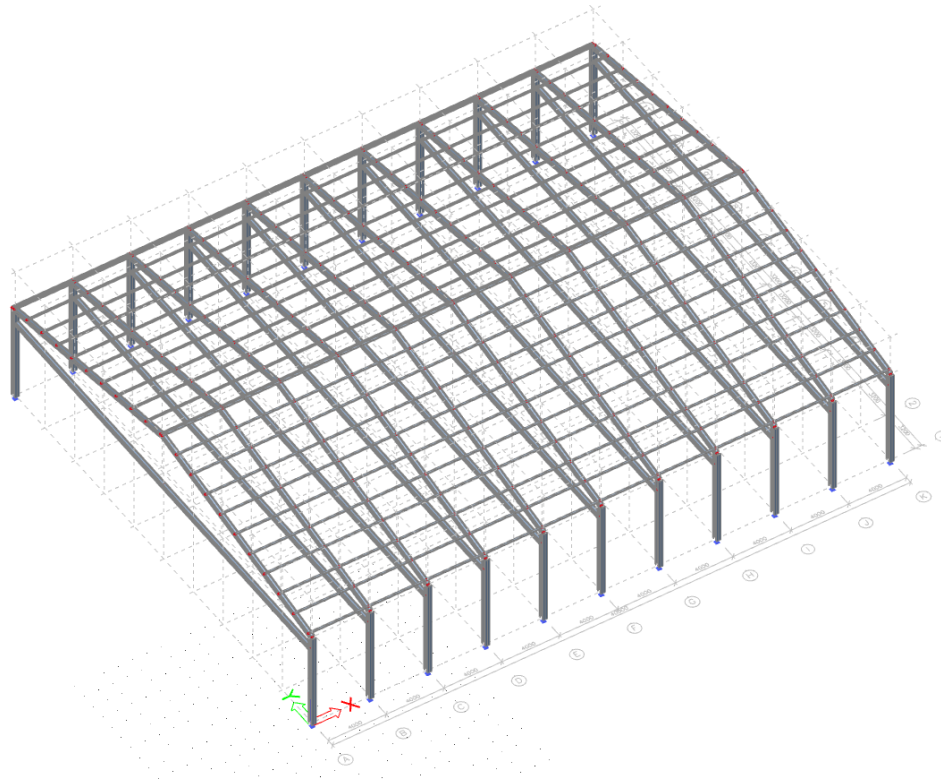
#### 2.2.4 Μηκίδες

Για την μεταφορά των φορτίων (περιβαλλοντικές δράσεις και ίδια βάρη πάνελς) από τα πάνελς επικάλυψης στα υποστυλώματα, τοποθετούνται -στην εξωτερική παρειά των υποστυλωμάτων- μηκίδες. Τα φύλλα της πλευρικής επένδυσης, λόγω της μεγάλης δυσκαμψίας στο επίπεδό τους, προσφέρουν συνεχή στήριξη στο εξωτερικό πέλμα και παρεμποδίζουν τις πλευρικές παραμορφώσεις του. Συνεπώς, -από την στιγμή που οι μηκίδες έχουν τοποθετηθεί ως αμφιαρθρωτές- λόγω της ανεμοπίεσης θλίβεται το εξωτερικό πέλμα το οποίο είναι εξασφαλισμένο από την πλευρική επένδυση, έτσι μειώνεται αισθητά το μήκος λυγισμού της τεγίδας και οδηγούμαστε σε αρκετά μικρότερες διατομές. Με πρόχειρη/αρχική εκτίμηση των φορτίων και των απαιτήσεων των πάνελ, χωρίζεται το ύψος των υποστυλωμάτων σε 8 ίσα τμήματα (9 τεγίδες,  $1/87,5\text{cm}$ ).



### 2.2.5 Τεγίδες

Οι τεγίδες αποτελούν δευτερεύοντα δομικά στοιχεία που συμπληρώνουν το κέλυφος του φέροντα οργανισμού. Κύρια λειτουργία τους είναι η μεταφορά των κατακόρυφων φορτίων (κινητά, άνεμος, χιόνι) στους κύριους φορείς. Δευτερευόντως λειτουργούν ως στοιχεία που συμμετέχουν στους οριζόντιους συνδέσμους δυσκαμψίας προσφέροντας πλευρική εξασφάλιση στα ζυγώματα. Αντίστοιχα με τις μηκίδες, τοποθετούνται τεγίδες για μεταβίβαση των φορτίων από τα πάνελς, ανά 1/20 του ανοίγματος και έχουν κατασκευαστεί ως αμφιέρειστα στοιχεία ενός ανοίγματος μεταξύ δύο διαδοχικών ζυγωμάτων. Η διατομή τους, επειδή καταπονούνται κυρίως σε κάμψη επιλέγεται να είναι ορθογωνική με τον ισχυρό άξονα παράλληλο στην στέγη (δηλαδή, σε τοπικούς άξονες μέλους:  $I_y > I_z$ ). Αντί αμφιερείστων, οι τεγίδες θα μπορούσαν να είχαν σχεδιαστεί σαν συνεχείς πολλών ανοιγμάτων. Η μορφή αυτή έχει ευνοϊκή κατανομή των καμπτικών ροπών κατά μήκος της και μικρές παραμορφώσεις. Απαιτεί όμως συνδέσεις αποκατάστασης της συνέχειας σε πολλές ενδιάμεσες θέσεις, η δε παρουσία κοχλιών, για τις συνδέσεις αυτές, στο άνω πέλμα των τεγίδων δυσχεραίνει την τοποθέτηση των φύλλων επικάλυψης. Αντιθέτως τα αμφιέρειστα στοιχεία παρουσιάζουν απλότητα στις συνδέσεις και αρκετά μεγάλη ευκολία στην ανέγερση συγκριτικά με άλλες στατικές μορφές. Οι τεγίδες τοποθετούνται στο άνω πέλμα του ζυγώματος. Με αυτό τον τρόπο προσφέρουν στη διατομή του ζυγώματος άμεση πλευρική δέσμευση του θλιβόμενου πέλματος όταν το πέλμα αυτό είναι το ανώτερο.

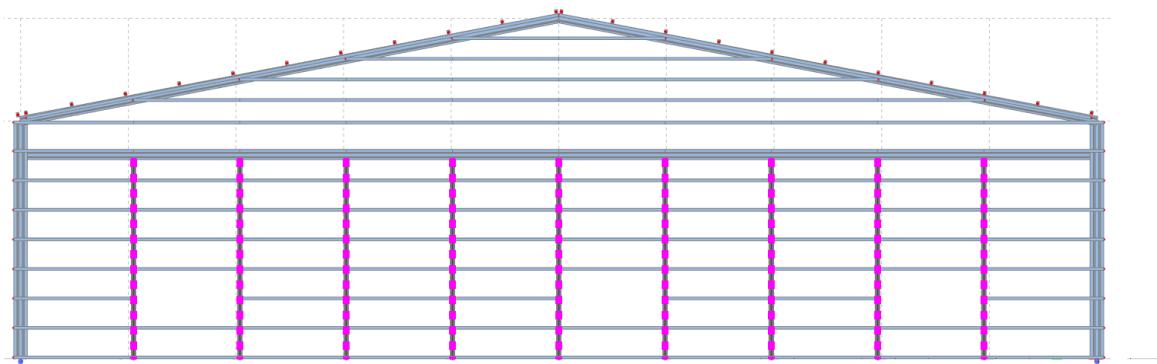


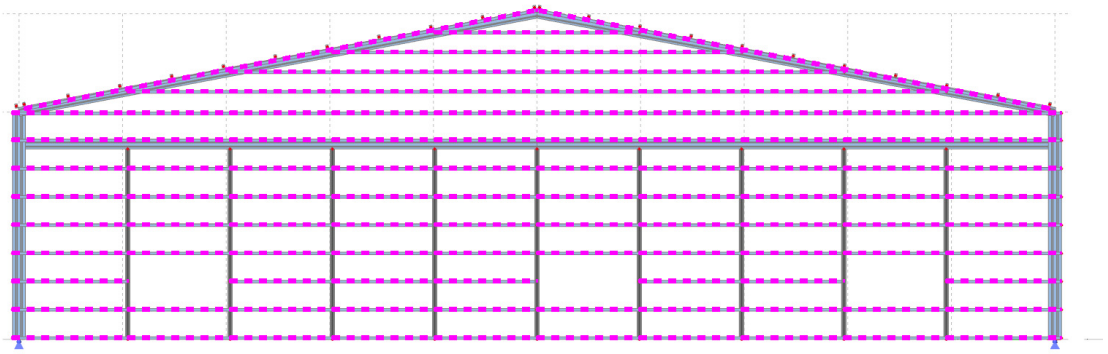
## 2.2.6 Στοιχεία παραλαβής φορτίων εμπρόσθιας & οπίσθιας όψης

### 2.2.6.1 Μετωπικά υποστυλώματα

### 2.2.6.2 Ράβδοι διανομής

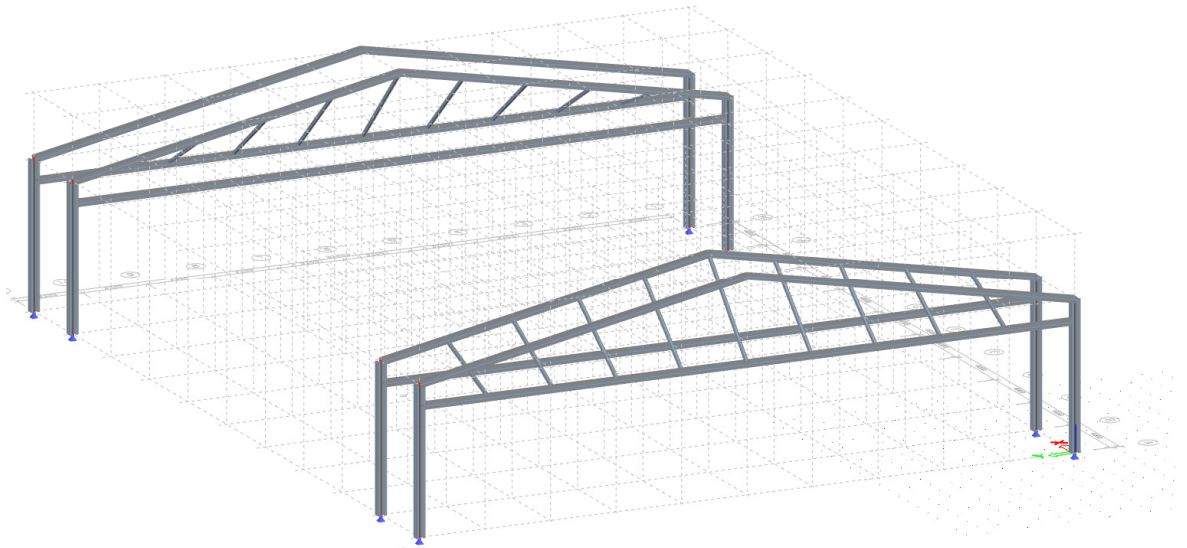
Στην εμπρόσθια και την οπίσθια όψη τοποθετούνται -αρθρωτά με το έδαφος και το κάτω πέλμα του αντίστοιχου εξωτερικού πλαισίου- υποστυλώματα τα οποία -σε συνδυασμό με τα οριζόντια στοιχεία διανομής- μεταφέρουν τα φορτία από τα πάνελς των μετωπικών όψεων, στο έδαφος και το κάτω πέλμα του πλαισίου. Οριζόντια στοιχεία διανομής (αντίστοιχα των μηκίδων) υπάρχουν και μπροστά από τα εξωτερικά δικτυώματα, τα οποία κατανέμουν τα φορτία των ανωτέρων πάνελς των δύο όψεων, στο άνω πέλμα και τους ορθοστάτες.





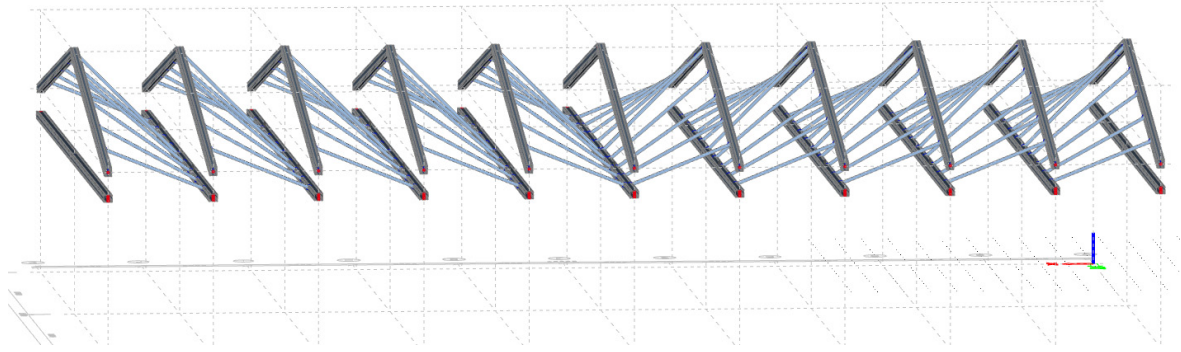
### 2.2.7 Μέλη στήριξης κάτω πελμάτων μετοπικών ζυγωμάτων

Κατά την διαδικασία μόρφωσης του φέροντος οργανισμού, κρίθηκε καλό να τοποθετηθούν μέλη στήριξης των κάτω πελμάτων, των μετοπικών ζυγωμάτων, καθώς αυτά παρουσίαζαν μεγάλη μεταθετότητα στους συνδυασμούς με φορτία ανέμου.



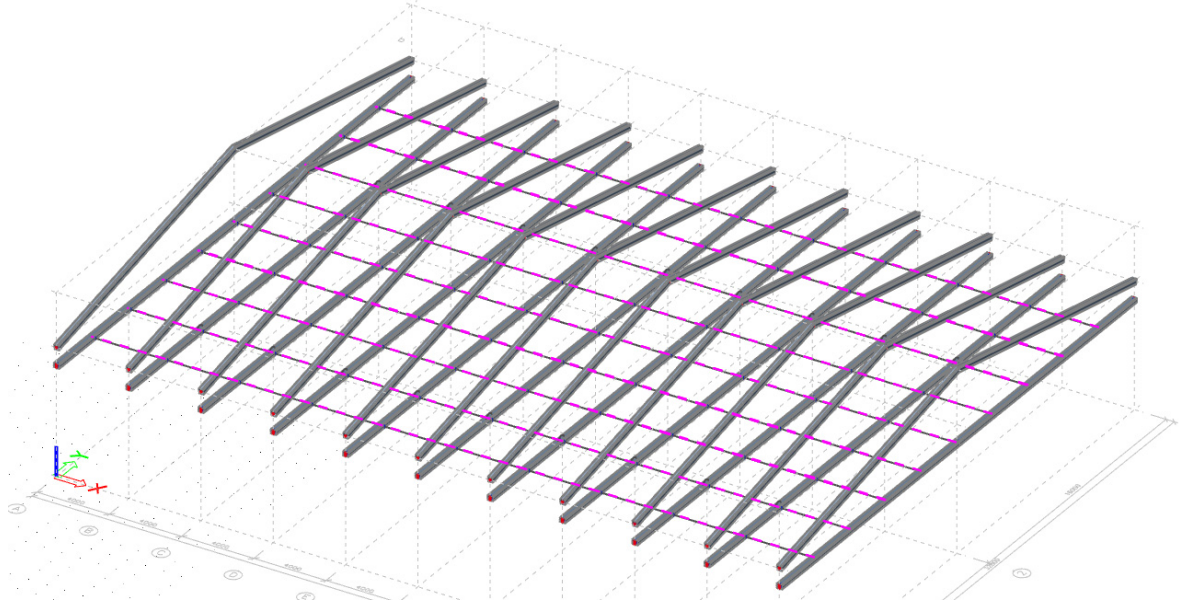
### 2.2.8 Ελκυστήρες μεταξύ ζυγωμάτων

Η εμφάνιση μεγάλων παραμορφώσεων στα ζυγώματα του μεσαίου τρίτου -κυρίως- του μήκους του φορέα, στους συνδυασμούς που περιλαμβάνουν φορτίο χιονιού, ώθησε στην τοποθέτηση ελκυστήρων μεταξύ άνω πέλματος-κάτω πέλματος διαδοχικών ζυγωμάτων



### 2.2.9 Ντίζες οροφής

Για την καλύτερη δυνατή συμπεριφορά των ζυγωμάτων (κυρίως στις φορτίσεις κατά την x διεύθυνση) τοποθετήθηκαν και ελκυστήρες (ντίζες) μεταξύ των κάτω πελμάτων των ζυγωμάτων. Ο σκοπός τοποθέτησής τους είναι ο συντονισμός της λειτουργίας των πλαισίων και αντίστοιχα των κατακορύφων συνδέσμων δυσκαμψίας.





## 2.3 Υλικά κατασκευής

### 2.3.1 Δομικός Χάλυβας

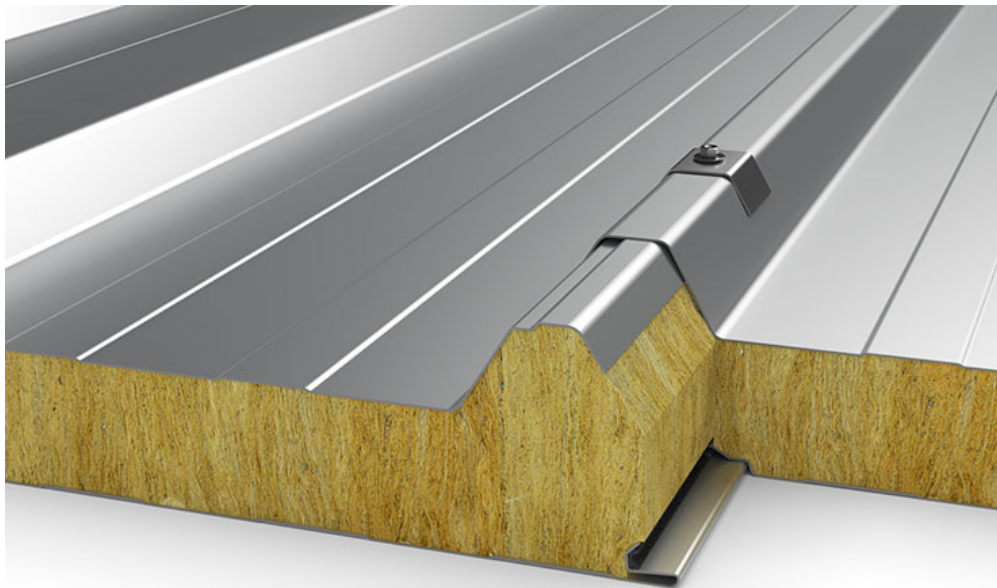
Ο χάλυβας που χρησιμοποιήθηκε σε όλα τα δομικά στοιχεία της κατασκευής είναι κατηγορίας S350GD+Z και οι ονομαστικές τιμές του ορίου διαρροής  $f_y$  και της εφελκυστικής αντοχής  $f_u$  για εν θερμώ ελατούς χάλυβες δίνονται στα Ευρωπαϊκά Πρότυπα EN 10147 και EN 1993-1-1. Τα χαρακτηριστικά του χάλυβα που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζονται στην τελευταία γραμμή του παρακάτω πίνακα:

Συνεχώς εν θερμώ επιμεταλλωμένα φύλλα δομικού χάλυβα	EN 10147	S220GD+Z	220	300
		S250GD+Z	250	330
		S280GD+Z	280	360
		S320GD+Z	320	390
		S350GD+Z	350	420

Οι τιμές σχεδιασμού για τους κύριους συντελεστές υλικού των δομικών χαλύβων, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς, δίνονται στον EN 1990 και είναι οι εξής:

- Μέτρο ελαστικότητας  $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$
- Μέτρο διάτμησης  $G \approx 8077 \text{ N/mm}^2$
- Λόγος Poisson στην ελαστική περιοχή  $\nu = 0.3$
- Συντελεστής θερμικής διαστολής  $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ ανά } ^\circ\text{C}$
- Ειδικό βάρος  $\gamma_a = 78,5 \text{ kN/m}^3$
- Τάση σχεδιασμού  $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_M, \gamma_M = 1,0$

### 2.3.2 Φύλλα επικάλυψης (Panel)



Πάνελ οροφής με τις χαρακτηριστικές αυλακώσεις της διατομής



*Πάνελ όψεων κατά την τοποθέτηση*



*Τελικό αποτέλεσμα με τοίχους πλήρωσης από πάνελ τύπου sandwich*

Με τον όρο επικάλυψη εννοούμε τα φύλλα με τα οποία επικαλύπτεται και επενδύεται πλευρικά ο φέρων οργανισμός του κτιρίου. Τα φύλλα πρέπει να έχουν επαρκή αντοχή και να έχουν επίσης επαρκώς αγκυρωθεί επί των στοιχείων επί των οποίων στηρίζονται ώστε να μπορούν να μεταφέρουν σε αυτά (τεγίδες και μηκίδες) τις πιέσεις και υποπιέσεις, που εξασκούν ο άνεμος και το χιόνι. Τα πάνελς οροφής, πρέπει να έχουν και ανάγλυφη διαμόρφωση της επιφάνειάς τους με κυματισμούς, ώστε να συσσωρεύεται και -κατά την κλίσης της στέγης- να απομακρύνεται ο υετός προς αποφυγή λιμνάζοντων υδάτων που επιταχύνουν την φθορά των πάνελ και δευτερευόντως επιβαρύνουν με φορτία την κατασκευή. Η στήριξή τους γίνεται με κατάλληλες βίδες οι οποίες καλύπτονται με αρμοκάλυπτρα προκειμένου να παρέχεται η απαραίτητη μόνωση.

Εκτός από το να έχουν επαρκή αντοχή για να μεταφέρουν τα φορτία στον φέροντα οργανισμό και να παρέχουν υγραμόνωση τα φύλλα πρέπει να παρέχουν και την απαραίτητη θερμομόνωση και ηχομόνωση. Γι' αυτό το λόγο τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα στοιχεία επικάλυψης είναι τα θερμομονωτικά πάνελα τύπου «σάντουιτς». Πρόκειται για θερμο-ηχομονωτικά προκατασκευασμένα φύλλα επικάλυψης, των οποίων η γενική μορφή είναι ένα σκληρό στρώμα πολυουρεθανίου (θερμο-ηχομονωτικό υλικό) πάχους 30-100mm, με επικάλυψη μεταλλικού φύλλου (χαλύβδινου ή αλουμινένιου), πάχους 0,5mm.

Στην παρούσα μελέτη, αν και βάσει προδιαγραφών θα επαρκούσε το πάνελ πάχους 60mm, η επικάλυψη θα υλοποιηθεί με χρήση των πάνελ με το μεγαλύτερο διατιθέμενο πάχος, ήτοι 100mm.

τεχνικά χαρακτηριστικά															
πάχος πάνελ (t) mm.	Θερμική αγωγιμότητα (K)		βάρος πάνελ Kgr./m2	ωφέλιμο ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο Kgr./m2											
				60 80 100 120 140 160			60 80 100 120 140 160								
	Kcal/m2hC	W/m2K		άνοιγμα 2 τεγίδων l σε cm.			Άνοιγμα 3 τεγίδων l σε cm.								
30	0,49	0,56	10,1	310	280	255	240	225	215	360	325	300	280	265	250
40	0,44	0,50	10,3	345	310	285	265	250	235	395	355	330	310	290	275
50	0,35	0,40	10,7	405	360	335	310	295	280	460	420	385	360	340	325
60	0,30	0,34	11,1	455	410	380	355	335	315	525	475	435	410	385	370
80	0,23	0,26	11,9	545	490	450	420	395	375	620	565	520	485	460	435
100	0,18	0,21	12,7	635	570	525	490	460	435	725	655	605	565	535	510

## 3 Δράσεις υπολογισμού

### 3.1 Μόνιμες δράσεις

Με τον όρο αυτό νοούνται όλες οι δράσεις, οι οποίες αναμένεται να απαντηθούν κατά την διάρκεια μια δεδομένης περιόδου αναφοράς (π.ε. για συνήθη κτηριακά έργα: 50 χρόνια), για την οποία η διαφοροποίηση του μεγέθους τους στο χρόνο είναι αμελητέα. Περιλαμβάνονται όλα τα κατακόρυφα φορτία που δρουν καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της κατασκευής, όπως τα ίδια βάρη (φέροντα στοιχεία, επικαλύψεις, μηχανολογικός εξοπλισμός).

Οι τιμές των μόνιμων φορτίων που δρουν στον φορέα είναι:

1. Ίδιο βάρος χάλυβα:  $g = 78,5 \text{ kN/m}^3$
2. Βάρος επικάλυψης:  $g = 0,129 \text{ kN/m}^2$

### 3.2 Μεταβλητές δράσεις

Τα φορτία, αυτής της κατηγορίας δράσεων, που προβλέπονται για την προκείμενη κατασκευή, είναι τα φορτία χιονιού, ανέμου και τα αναπτυσσόμενα εντατικά μεγέθη λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών.

#### 3.2.1 Κατασκευαστικά φορτία

Εκτός των περιβαλλοντικών φορτίσεων, το κτήριο καταπονείται και στην φάση κατασκευής/συντήρησής του. Πιο συγκεκριμένα η στέγη του είναι, από αυτήν την άποψη, κατηγορία H: «Στέγες μη προσβάσιμες, παρά μόνον για την κανονική συντήρηση και επισκευή». Για τις στέγες κατηγορίας H, οι τιμές των επιβαλλόμενων φορτίων δίνονται στον πίνακα:

Στέγη (κλίση <math>< 20^\circ</math>)	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]
<b>Κατηγορία H</b>	<b>0,5</b>	<b>1,0</b>
ΣΗΜΕΙΩΣΗ : Το $q_k$ μπορεί να θεωρηθεί ότι δρα είτε σε όλη τη στέγη είτε σε ένα τμήμα της στέγης εμβαδού, πάντως όχι μικρότερου, των 10m <sup>2</sup> .		

#### 3.2.2 Φορτίο Χιονιού



Λόγω του σχήματος του κτηρίου (σχετικά ευρεία κάτοψη για το ύψος του) η φόρτιση του χιονιού αναμένεται να είναι μεταξύ των σημαντικών/κρισίμων στοιχείων των

συνδυασμών φορτίσεων. Η φόρτιση θεωρείται στατική, εφόσον ο ρυθμός επιβολής της είναι αρκετά μικρός και αντίστοιχα ο χρόνος που παραμένει επί της κατασκευής είναι πολύ μεγαλύτερος. Κυριότεροι παράγοντες διαμόρφωσης του φορτίου είναι:

- μορφή της στέγης,
- τα θερμικά της χαρακτηριστικά
- η τραχύτητα της επιφάνειάς της
- το ποσό της θερμότητας που εκλύεται κάτω από την στέγη (θερμαινόμενος εσωτερικός χώρος ή μη, εργασίες που λαμβάνουν χώρα εντός του κτηρίου κ.α.)
  - η απόσταση των γειτονικών κτηρίων, αν υπάρχουν
  - ο περιβάλλον χώρος
  - οι τοπικές κλιματολογικές συνθήκες

### 3.2.2.1 Κανονιστικές διατάξεις (EN 1991-1-3)

Σύμφωνα με την παράγραφο §5.2 του EN 1991-1-3 το φορτίο χιονιού πρέπει να υπολογίζεται σε μία στέγη για 2 περιπτώσεις:

- Μη-συσσωρευμένο/ομοιόμορφα στρωμένο χιόνι
- Φερτό/συσσωρευμένο χιόνι

και προσδιορίζεται από της σχέσεις:

- a) Για καταστάσεις σχεδιασμού «με διάρκεια/παροδικές»

$$s = \mu_i \times C_e \times C_t \times s_k$$

- b) Για τυχηματικούς συνδυασμούς, όπου το προσπίπτον -ομοιόμορφα στρωμένο- χιόνι είναι η τυχηματική δράση (εκτός των περιπτώσεων που υπάγονται στο (c))

$$s = \mu_i \times C_e \times C_t \times s_{Ad}$$

Όπου:

$\mu_i$	είναι ο συντελεστής μορφής φορτίου χιονιού
$s_k$	είναι η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού επί του εδάφους
$C_e$	είναι ο συντελεστής έκθεσης
$C_t$	είναι ο θερμικός συντελεστής
$s_{Ad}$	είναι η τιμή σχεδιασμού του εξαιρετικού φορτίου χιονιού επί του εδάφους για μια δεδομένη τοποθεσία

- c) Για τυχηματικούς συνδυασμούς, όπου το φερτό/συσσωρευμένο χιόνι είναι η τυχηματική δράση και όπου το παράρτημα Β εφαρμόζεται:

$$s = \mu_i \times s_k$$

### Παρατηρήσεις:

- Η δράση του χιονιού πρέπει να θεωρείται κατακόρυφη και ότι φορτίζει την οριζόντια προβολή της οροφής
- Όταν η απομάκρυνση του χιονιού γίνεται τεχνητά, πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν αναμενόμενες κατανομές
- Σε περιοχές με εναλλαγές καιρού και τύπου νετού, όπου υπάρχει η πιθανότητα να δημιουργούνται στρώσεις πάγου επί του στρωμένου χιονιού, τα φορτία πρέπει να λαμβάνονται αυξημένα, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου χιόνι και πάγος δύνανται να εμποδίζουν το σύστημα αποστράγγισης της στέγης
- Ο συντελεστής έκθεσης  $C_e$  πρέπει να χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του φορτίου χιονιού και να είναι ανάλογος και με αναμενόμενη μελλοντική διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου. Η συνίσταται να λαμβάνεται ίσος με την μονάδα, εκτός αν άλλως ορίζει το εθνικό προσάρτημα.
- Ο θερμοκρασιακός συντελεστής  $C_t$  πρέπει να χρησιμοποιείται για να λαμβάνεται υπ' όψιν η εκλυόμενη θερμότητα από το εσωτερικό του κτηρίου, σε στέγες με υψηλή θερμική αγωγιμότητα ( $>1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) και ειδικά σε γυάλινες στέγες λόγω του λιώσιμου από την εκλυόμενη θερμότητας. Για όλες τις άλλες περιπτώσεις,  $C_t=1$ .

### Συντελεστές σχήματος στέγης

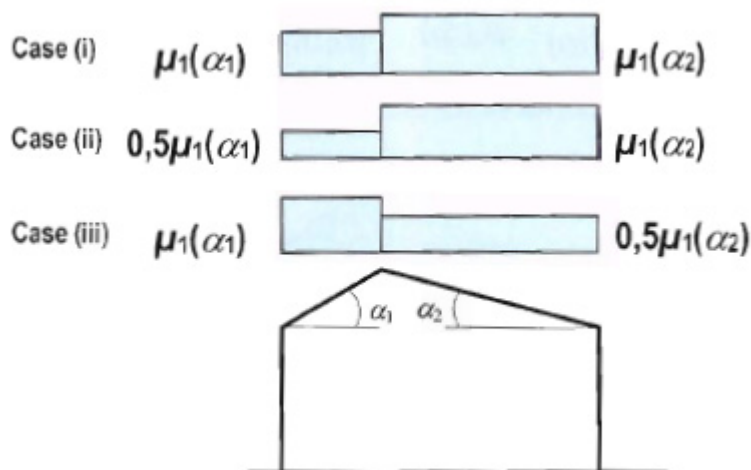
Αφορά τις περιπτώσεις ομοιόμορφου και συσσωρευμένου χιονιού ανάλογα με το σχήμα και τις κλίσεις των τμημάτων της στέγης.

Angle of pitch of roof $\alpha$	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1$	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
$\mu_{12}$	$0,8 + 0,8\alpha/30$	1,6	--

(εν προκειμένω  $\alpha = \tan^{-1}(3/16) = 10,62$ ,  $\Rightarrow \mu = 0,8$ )

Οι τιμές του ανωτέρω πίνακα ισχύουν για περιπτώσεις στεγών στις οποίες το χιόνι δύναται να φύγει ανεμπόδιστα. Όταν υπάρχουν κιγκλιδώματα ή λοιπά εμπόδια, ο συντελεστής δεν πρέπει να μειώνεται πέραν του 0,8.

Κατανομές που πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν:



(στο υπό μελέτη κτήριο:  $\alpha_1 = \alpha_2$ , οπότε οι περιπτώσεις ii και iii ταυτίζονται)

#### Συντελεστής έκθεσης $C_e$

Οι συνιστώμενες τιμές του συντελεστή έκθεσης  $C_e$  για διαφορετικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά δίνονται στον παρακάτω πίνακα

Τοπογραφία	$C_e$
Εκτεθειμένο στον άνεμο	0,8
Κανονικό	1,0
Προφυλαγμένο	1,2

*Εκτεθειμένο:* Επίπεδες εκτάσεις χωρίς εμπόδια, εκτεθειμένες από όλες τις πλευρές χωρίς καθόλου, ή με λίγη προστασία από το φυσικό ανάγλυφο, τις υψηλότερες κατασκευές ή τα δέντρα.

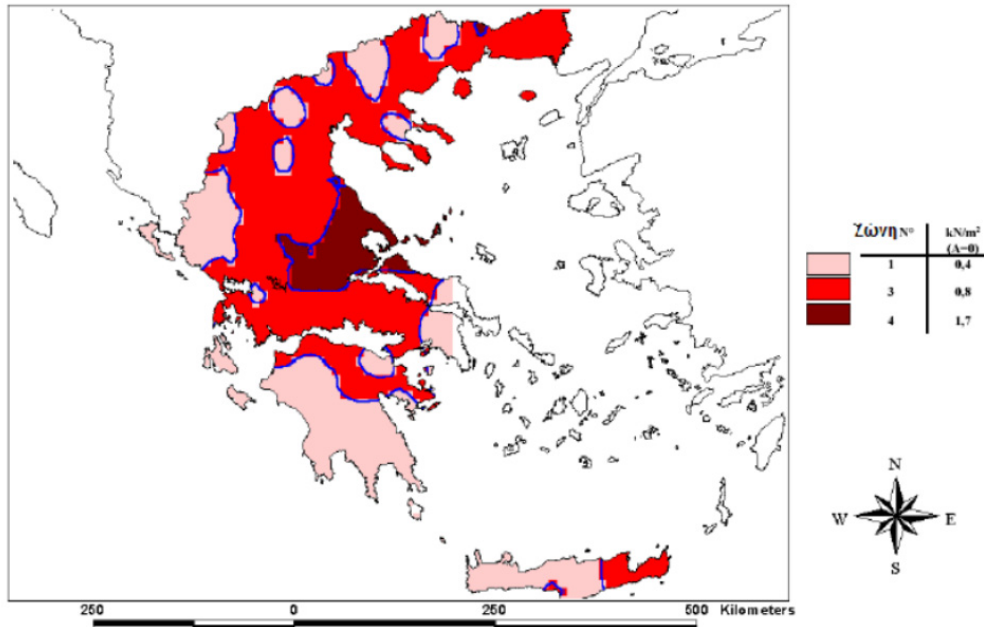
*Κανονικό:* Περιοχές όπου δεν υπάρχει σημαντική μετακίνηση του χιονιού από τον άνεμο στις κατασκευές, λόγω του φυσικού ανάγλυφου, των υψηλότερων κατασκευών, ή των δέντρων.

*Προφυλαγμένο:* Περιοχές όπου η θεωρούμενη κατασκευή είναι σημαντικά χαμηλότερη από το φυσικό ανάγλυφο, ή περιβάλλεται από υψηλά δένδρα ή/και από υψηλές κατασκευές.

#### Χαρακτηριστική τιμή φορτίου χιονιού επί του εδάφους $s_k$

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού επί του εδάφους εξαρτάται από την ζώνη κατάταξης της τοποθεσίας και του αντιστοίχου υψομέτρου. Για την Ελλάδα, σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα ορίζονται οι παρακάτω τρεις ζώνες χιονιού με τις αντίστοιχες χαρακτηριστικές τιμές  $s_{k,0}$ , των φορτίων για έδαφος που βρίσκεται στην στάθμη της θάλασσας.

1. **ΖΩΝΗ Α** ( $s_{k,0} = 0.4 \text{ kN/m}^2$ ) : Νομοί Αρκαδίας, Ηλείας, Λακωνίας, Μεσσηνίας και όλα τα νησιά πλην των Σποράδων και της Εύβοιας.
2. **ΖΩΝΗ Β** ( $s_{k,0} = 0.8 \text{ kN/m}^2$ ) : Νομοί Μαγνησίας, Φθιώτιδας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Λάρισσας, Σποράδες και Εύβοια.
3. **ΖΩΝΗ Γ** ( $s_{k,0} = 1.7 \text{ kN/m}^2$ ) : Υπόλοιπη Ελλάδα



Η χαρακτηριστική τιμή  $s_k$  του φορτίου χιονιού επί του εδάφους σε  $\text{kN/m}^2$  συναρτήσει της ζώνης και του αντίστοιχου υψόμετρου ( $A$ ), για μία συγκεκριμένη τοποθεσία δίνεται από τη σχέση:

$$s_k = s_{k,0} \times \left( 1 + \left( \frac{A}{917} \right)^2 \right)$$

Όπου:

$s_{k,0}$ : είναι η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού στη στάθμη της θάλασσας σε  $\text{kN/m}^2$

$A$ : είναι το υψόμετρο της συγκεκριμένης τοποθεσίας από την στάθμη της θάλασσας σε  $m$ , στρογγυλεμένο στην πρώτη μεγαλύτερη εκατοντάδα

### 3.2.2.2 Υπολογισμός Φορτίου Χιονιού (snow)

Η περιοχή κατασκευής του κτιρίου κατατάσσεται στην Ζώνη Β:

$$s_{k,0} = 0,80 \text{ kN/m}^2$$

Το υψόμετρο της περιοχής -βάσει του επίσημης ιστοσελίδας του Δήμου <https://www.cityoflorina.gr>- είναι 650 m, οπότε στρογγυλοποιείται σε  $A=700m$ .

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού υπολογίζεται σε:

$$s_k = s_{k,0} (1 + (A/917)^2) = 1,266 \text{ kN/m}^2$$

η κλίση της στέγης είναι:  $\alpha = \tan^{-1}(3/16) = 10,6^\circ < 30$



$$\Rightarrow \mu=0,8$$

$$C_e = C_t = 1,0$$

Φορτίο χιονιού επί της στέγης:

$$s = \mu_i \times C_e \times C_t \times s_k = 0,80 \times 1 \times 1 \times 1,266 = 1,013 \text{ kN/m}^2$$

### 3.2.3 Φορτίο Ανέμου



Ο άνεμος γενικά κατατάσσεται στην κατηγορία των μεταβαλλόμενων δράσεων. Αποτελεί ένα χωρικό διάνυσμα το οποίο μεταβάλλεται τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Ωστόσο σε αναλύσεις συνήθων κτηριακών έργων θεωρείται ως ένα στατικό οριζόντιο επιφανειακό φορτίο το οποίο ασκείται στην εξωτερική επιφάνεια των κατασκευών, τα οποία με τη σειρά τους μεταφέρουν τα φορτία στον υπόλοιπο φέροντα οργανισμό. Η δυναμική επιρροή του ανέμου πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κυρίως σε κατασκευές εύκαμπτες, όπου κινδυνεύουν άμεσα από ταλαντώσεις και φαινόμενα συντονισμού.

Ο υπολογισμός της δράσης του ανέμου σε κατασκευές γίνεται σύμφωνα με τον EC1 με τον υπολογισμό της μέγιστης ταχύτητας του ανέμου που μπορεί να εμφανιστεί στην εκάστοτε περιοχή μελέτης καθ' όλη την ονομαστική διάρκεια ζωής της καθώς και στους αντίστοιχους συντελεστές που περιγράφουν τα την κατανομή. Από την ταχύτητα σχεδιασμού υπολογίζεται στην συνέχεια η ασκούμενη πίεση ή δύναμη που αναλαμβάνουν τα μέλη της κατασκευής

Για κατασκευές ύψους μέχρι 200m, ο υπολογισμός των χαρακτηριστικών δράσεων του ανέμου γίνεται σύμφωνα με τις διατάξεις του EN1991-1-4. Οι δράσεις λόγω ανέμου στις κατασκευές από χάλυβα, παίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο και αποτελούν σε πολλές περιπτώσεις βασική φόρτιση, ανεξάρτητα από τον τύπο τους (μονώροφα, πολώροφα), δεδομένου ότι, για δεδομένες διαστάσεις, έχουν συγκριτικά μικρότερη μάζα από τις συμβατικές κατασκευές, οπότε οι σεισμικοί συνδυασμοί είναι λιγότερο δυσμενείς. Στις κλειστές κατασκευές οι δράσεις αυτές παρουσιάζονται στις εξωτερικές και στις εσωτερικές επιφάνειες με την μορφή άμεσων (πίεσεων) ή έμμεσων (υποπίεσεων) ωθήσεων.

Οι δυνάμεις λόγω ανέμου είναι χρονικά μεταβαλλόμενες και μπορεί να προκαλέσουν ταλαντώσεις. Οι πλέον σημαντικές παράμετροι για τον προσδιορισμό των δράσεων ανέμου είναι:

- i. η ταχύτητα του ανέμου
- ii. η τοπογραφία και διάφορα πλευρικά εμπόδια

Η βάση σχεδιασμού είναι η μέγιστη ταχύτητα που προβλέπεται για την διάρκεια ζωής της κατασκευής. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος της ταχύτητας και της ασκούμενης πίεσης είναι:

- η γεωγραφική θέση της κατασκευής
- η φυσική θέση της κατασκευής
- η τοπογραφία
- οι διαστάσεις των κτηρίων
- η μέση ταχύτητα του ανέμου
- το σχήμα της κατασκευής
- κλίση της στέγης
- η διεύθυνση του ανέμου





Παραδείγματα καταστροφών από ισχυρούς ανέμους

### 3.2.3.1 Κανονιστικές διατάξεις (EN 1991-1-3)

#### 3.2.3.1.1 Εξωτερική πίεση $w_e$

Η πίεση του ανέμου που δρα κάθετα στις εξωτερικές επιφάνειες μια κατασκευής προκύπτει από την σχέση:

$$w_e = q_p (z_e) * c_{pe}$$

Όπου:

$q_p$  είναι η πίεση ταχύτητας αιχμής

$c_{pe}$  είναι ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης

$z_e$  είναι το ύψος αναφοράς για την εξωτερική πίεση

#### 3.2.3.1.2 Εσωτερική πίεση $w_i$

Η πίεση του ανέμου η οποία δρα κάθετα στις εσωτερικές επιφάνειες μιας κατασκευής προκύπτει από την σχέση:

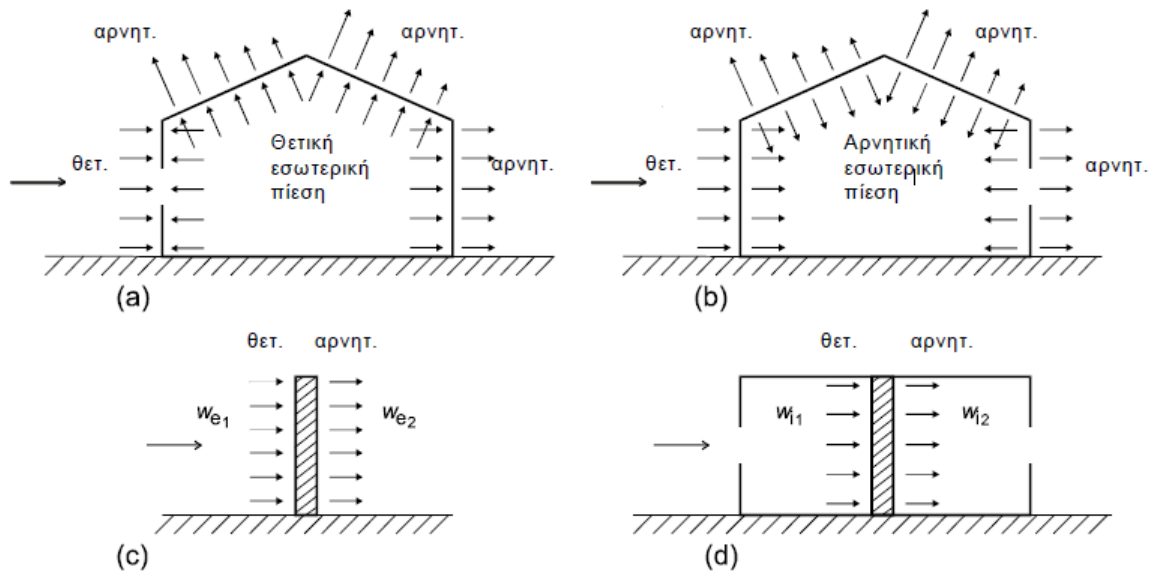
$$w_i = q_p (z_i) * c_{pi}$$

Όπου:

$q_p$  είναι η πίεση ταχύτητας αιχμής

$c_{pi}$  είναι ο συντελεστής εσωτερικής πίεσης  
 $z_i$  είναι το ύψος αναφοράς για την εσωτερική πίεση

Η τελική πίεση σε τοίχο, στέγη ή στοιχείο είναι η διαφορά μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής πίεσης στις 2 επιφάνειες, λαμβάνοντας υπ' όψιν το πρόσημό τους. Πίεση κατευθυνόμενη προς την επιφάνεια λογίζεται ως θετική και αναρρόφηση, πίεση από την επιφάνεια, λογίζεται ως αρνητική.



### 3.2.3.1.3 Πίεση ταχύτητας αιχμής $q_p(z)$

Η πίεση ταχύτητας αιχμής σε ύψος  $z$ , η οποία περιλαμβάνει μέσες και μικρής διάρκειας διακυμάνσεις ταχύτητας, προσδιορίζεται από την σχέση:

$$q_p(z) = \left[ 1 + 7 \times I_v(z) \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_m^2(z) \right] = c_e(z) \times q_b$$

Όπου:

$I_v(z)$  είναι η ένταση στροβιλισμού σε ύψος  $z$

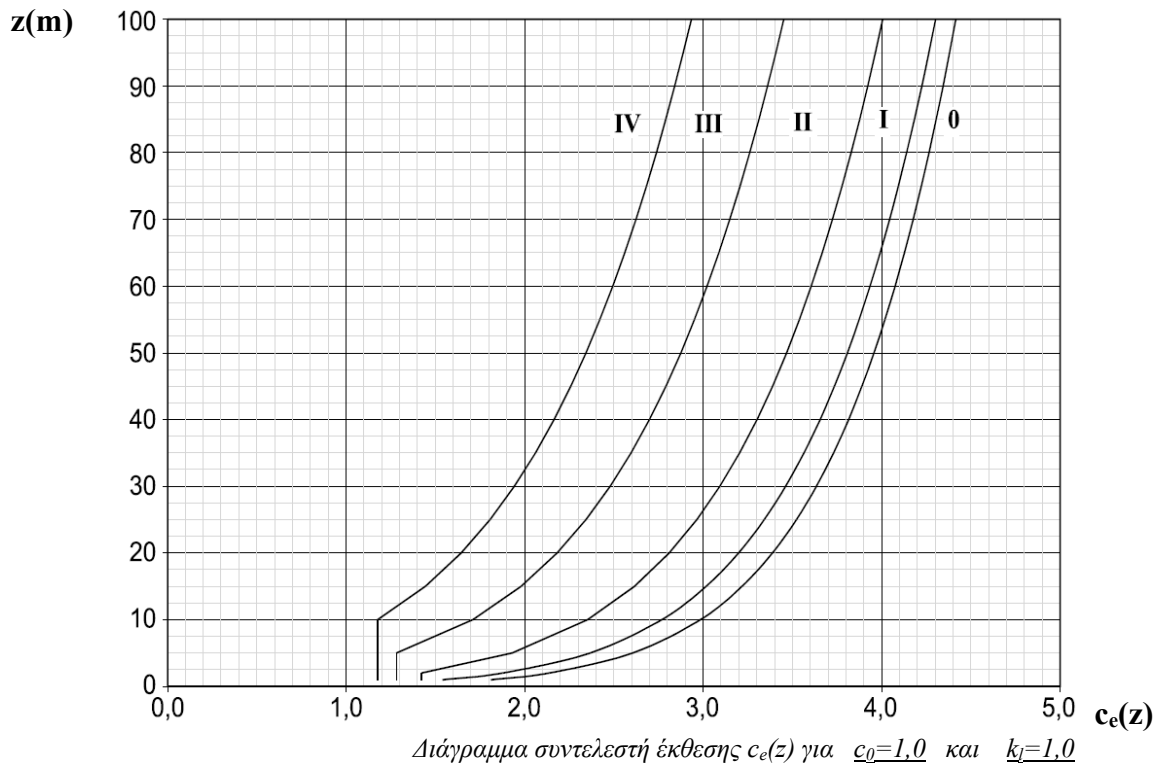
$v_m(z)$  είναι η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος  $z$  πάνω από το έδαφος

$\rho$  είναι η πυκνότητα του αέρα, η οποία δεν είναι εν γένει σταθερή αλλά εξαρτάται από το υψόμετρο, τη θερμοκρασία και τη βαρομετρική πίεση που αναμένονται σε μία περιοχή κατά τη διάρκεια ανεμοθύελλας (αναμενόμενη/μέση τιμή της πυκνότητας  $\rho=1,25 \text{ Kg/m}^3$ )

$c_e(z)$  είναι ο συντελεστής έκθεσης, ο οποίος δίνεται από την σχέση:

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b}$$

Για επίπεδο έδαφος όπου  $c_0(z) = 1$ , ο συντελεστής έκθεσης  $c_e(z)$  δίνεται σε διάγραμμα στο ως συνάρτηση του ύψους  $z$  πάνω από το έδαφος και της κατηγορίας εδάφους



$q_b$  είναι η βασική πίεση που δίνεται από την σχέση:

$$q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times v_b^2$$

Όπου:

$v_b$  είναι η βασική ταχύτητα ανέμου, που ορίζεται ως συνάρτηση της διεύθυνσης του ανέμου και της εποχής του έτους, στα 10m πάνω από το έδαφος κατηγορίας II, σύμφωνα με την σχέση:

$$v_b = C_{dir} \times C_{season} \times v_{b,0}$$

Όπου:

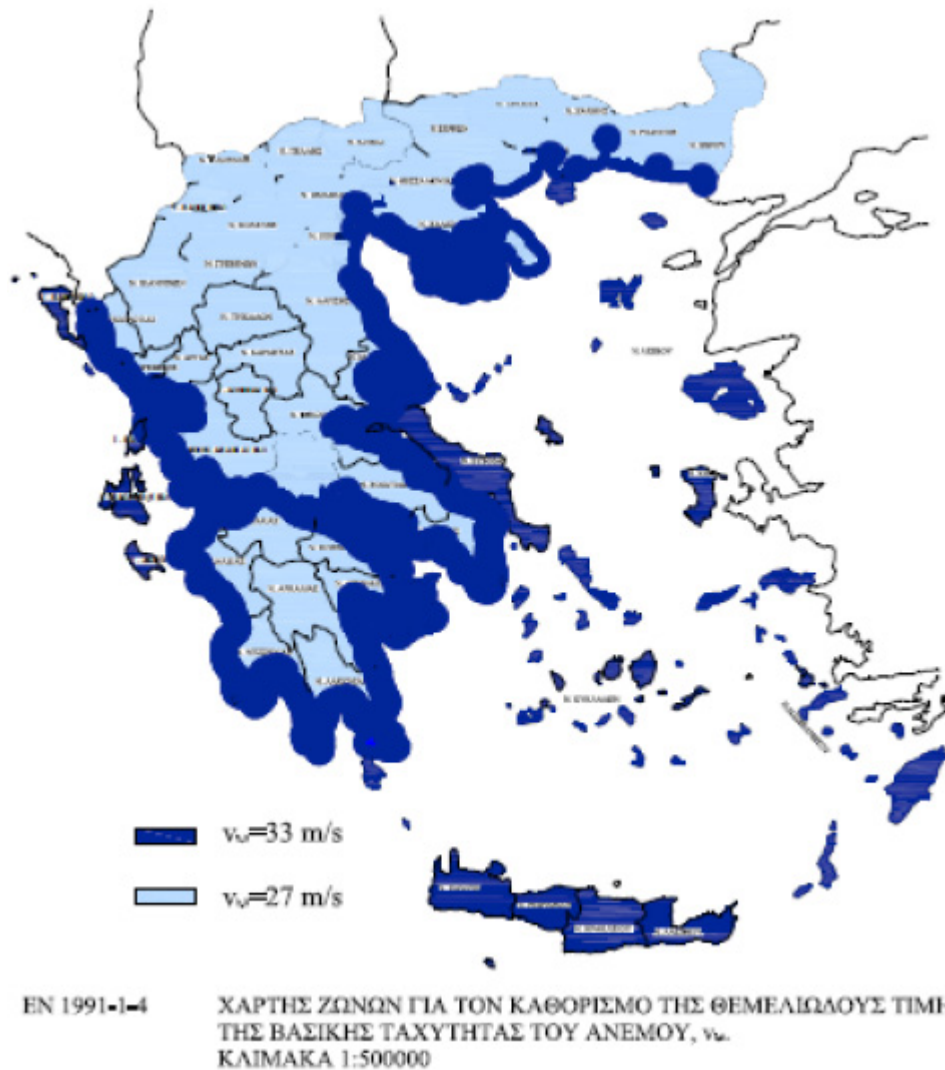
$C_{dir}$  είναι ο συντελεστής διεύθυνσης. Λαμβάνεται ίσος με 1,00

$C_{season}$  είναι ο συντελεστής εποχής. Λαμβάνεται ίσος με 1,00

$v_{b,0}$  είναι η θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου, η οποία είναι χαρακτηριστική μέση ταχύτητα ανέμου 10 λεπτών, ανεξάρτητα από την διεύθυνσή του και την εποχή του έτους, στα 10m πάνω από το έδαφος, σε ανοικτή περιοχή με χαμηλή βλάστηση, όπως γρασίδι και με μεμονωμένα εμπόδια ανά αποστάσεις μεταξύ τους τουλάχιστον 20 φορές του ύψους των εμποδίων (έδαφος κατηγορίας II)

Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, η θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου  $v_{b,0}$ , για την χώρα μας ορίζεται στα:

- 33m/sec για τα νησιά και παράλια μέχρι 10km από την ακτή
- 27m/sec για την υπόλοιπη χώρα.



Η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος  $z$  πάνω από το έδαφος δίνεται από την σχέση:

$$v_m(z) = c_r(z) \times c_0(z) \times v_b$$

Όπου:

$c_0(z)$  είναι ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης. (Για επίπεδο έδαφος θεωρείται ίσος με 1,0)

$c_r(z)$  είναι ο συντελεστής τραχύτητας. Υπολογίζεται βάσης της σχέσης:

$$c_r(z) = K_r \times \ln(z/z_0) \quad \text{όταν} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \quad \text{όταν} \quad z \leq z_{\min}$$

Όπου:

$z_0$  είναι το μήκος τραχύτητας που δίνεται στον Πίνακα 3.7

$K_r$  είναι ο συντελεστής εδάφους. Εξαρτάται από το μήκος τραχύτητας  $z_0$  και δίνεται από την σχέση:

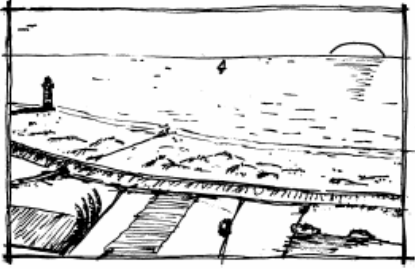
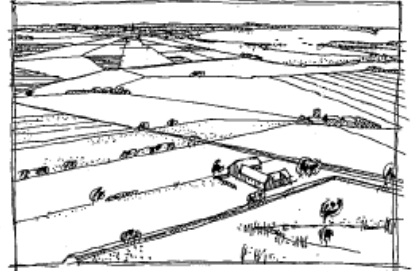
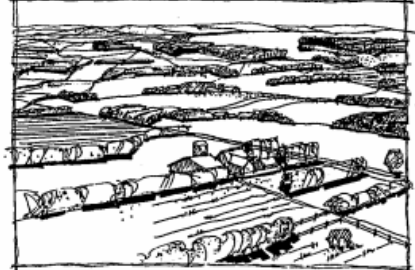

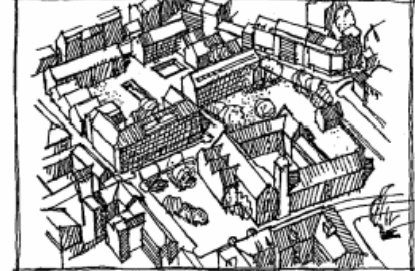
$$K_r = 0.19 \times \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0.07}$$

Όπου:

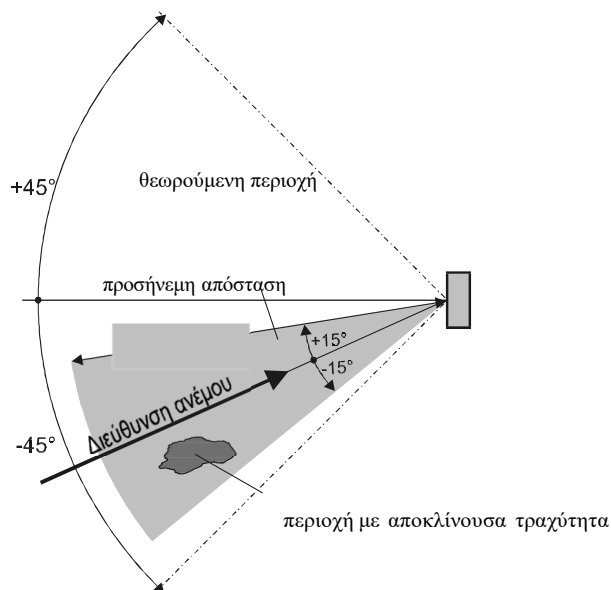
$z_{0,II}$  είναι ίσο με 0,05m (κατηγορία εδάφους II, παρακάτω πίνακας)  
 $z_{min}$  είναι το ελάχιστο ύψος που ορίζεται από τον παρακάτω πίνακα  
 $z_{max}$  λαμβάνεται ίσος προς 200m

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	$z_0$ (m)	$z_{min}$ (m)
<b>0</b> Θάλασσα ή παράκτια περιοχή ανοικτής θαλάσσης	0,003	1
<b>I</b> Λίμνες ή επίπεδες και οριζόντιες περιοχές με αμελητέα βλάστηση και χωρίς εμπόδια	0,01	1
<b>II</b> Περιοχή με χαμηλή βλάστηση όπως γρασίδι και μεμονωμένα εμπόδια (δένδρα, κτήρια) σε απόσταση μεταξύ τους τουλάχιστον 20 φορές το ύψος των εμποδίων	0,05	2
<b>III</b> Περιοχή με κανονική κάλυψη βλάστηση ή με κτίρια ή με μεμονωμένα εμπόδια με μέγιστη απόσταση το πολύ 20 φορές το ύψος των εμποδίων	0,3	5
<b>IV</b> Περιοχή όπου τουλάχιστον το 15% της επιφάνειας καλύπτεται με κτίρια των οποίων το μέσο ύψος ξεπερνά τα 15m	1,0	10

Πίνακας μήκους τραχύτητας, ανάλογα με την κατηγορία εδάφους

<p><b>0</b> Θάλασσα ή παράκτια περιοχή ανοικτής θαλάσσης</p>	
<p><b>I</b> Λίμνες ή επίπεδες και οριζόντιες περιοχές με αμελητέα βλάστηση και χωρίς εμπόδια</p>	
<p><b>II</b> Περιοχή με χαμηλή βλάστηση όπως γρασίδι και μεμονωμένα εμπόδια (δένδρα, κτήρια) σε απόσταση μεταξύ τους τουλάχιστον 20 φορές το ύψος των εμποδίων</p>	
<p><b>III</b> Περιοχή με κανονική κάλυψη βλάστηση ή με κτίρια ή με μεμονωμένα εμπόδια με μέγιστη απόσταση το πολύ 20 φορές το ύψος των εμποδίων</p>	
<p><b>IV</b> Περιοχή όπου τουλάχιστον το 15% της επιφάνειας καλύπτεται με κτίρια των οποίων το μέσο ύψος ξεπερνά τα 15m</p>	





Η τραχύτητα του εδάφους που θα χρησιμοποιείται για μια δεδομένη διεύθυνση του ανέμου εξαρτάται από τις ανωμαλίες του εδάφους και την απόσταση με συνθήκες ομοιόμορφης τραχύτητας εδάφους σε ένα κυκλικό τομέα περί τη διεύθυνση του ανέμου. Μικρές περιοχές (λιγότερο από 10% της θεωρούμενης επιφάνειας) με αποκλίνουσα τραχύτητα, μπορούν να αμελούνται.

### 3.2.3.1.4 Δυναμικός συντελεστής $c_{sd}$

Η ένταση του στροβιλισμού  $I_v(z)$  σε ύψος  $z$  υπολογίζεται από τις σχέσεις:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_1}{c_e(z) \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad \text{για} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \quad \text{για} \quad z \leq z_{\min}$$

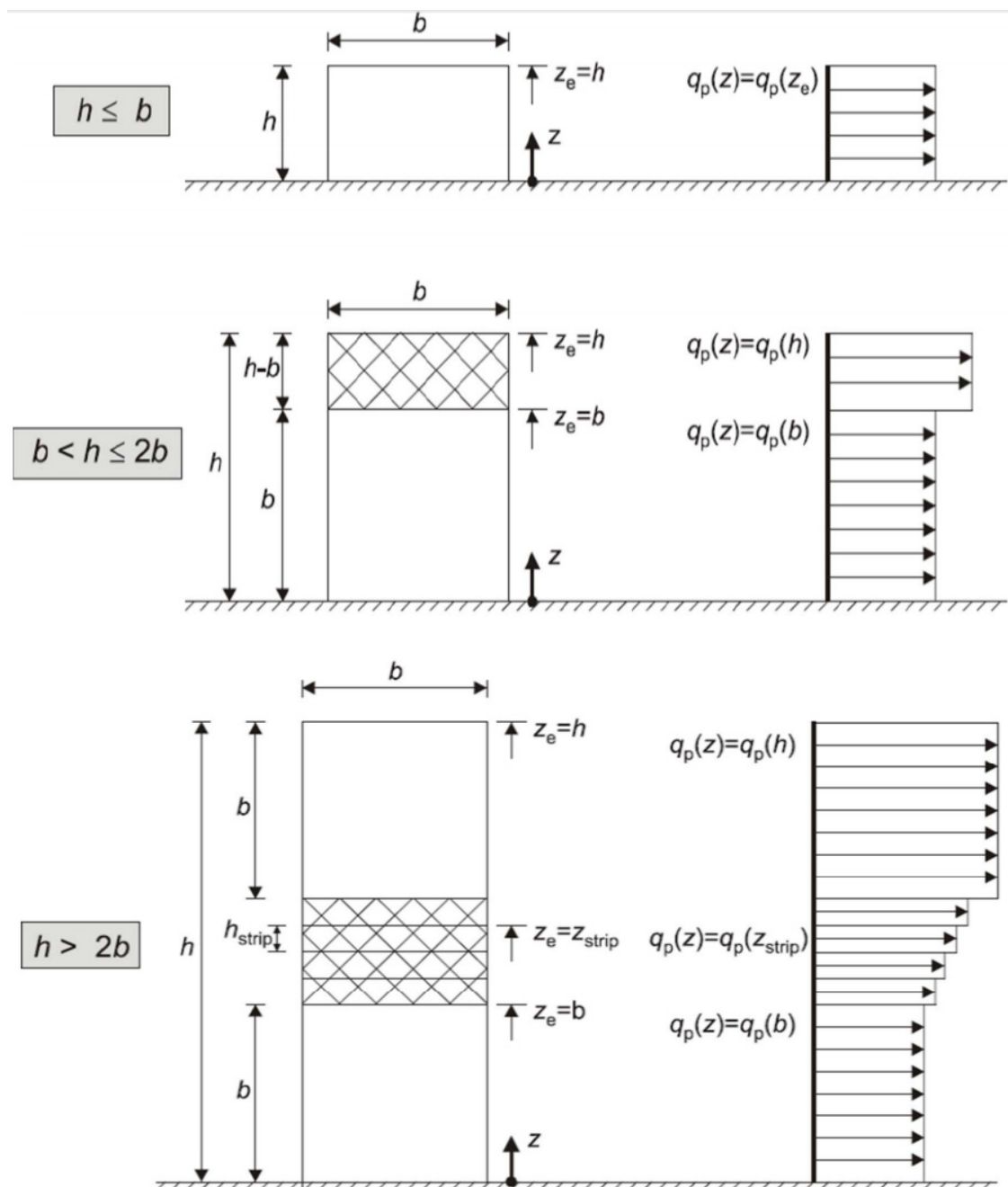
Όπου:

- $k_1$  είναι ο συντελεστής στροβιλισμού. Λαμβάνεται ίσος προς 1,00
- $c_e$  είναι ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης του εδάφους
- $z_0$  είναι το μήκος τραχύτητας

### 3.2.3.1.5 Πιέσεις σε κατακόρυφους τοίχους ορθογωνικής κάτοψης

Ο προσδιορισμός του ύψους αναφοράς  $z_e$  για τους προσήνεμους τοίχους κτιρίων ορθογωνικής κάτοψης εξαρτάται από τη σχέση μεταξύ του ύψους  $h$  και του πλάτους  $b$  του κτιρίου. Σύμφωνα με το κάτωθι σχήμα διακρίνονται οι παρακάτω περιπτώσεις:

- $h \leq b$  λαμβάνεται ως ένα τμήμα με  $z_e=h$
- $b \leq h \leq 2b$  το κτήριο θεωρείται ότι απαρτίζεται από 2 τμήματα με  $z_e=b$  για το υποκείμενο και  $z_e=h$  για το υπερκείμενο
- $h \geq 2b$  το κτήριο θεωρείται ότι απαρτίζεται από πολλά τμήματα, εκ των οποίων το χαμηλότερο έχει ύψος  $z_e=b$ , το υψηλότερο έχει ύψος  $z_e=h$ , ενώ το μεταξύ αυτών διάστημα υποδιαιρείται σε τμήματα με μέγιστο ύψος κάθε τμήματος ίσο με  $b$



Στους υπήνεμους και παράπλευρους τοίχους κτιρίων το ύψος αναφοράς  $z_e$  λαμβάνεται ίσο με το ύψος  $h$  του κτιρίου. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης συναρτήσει του λόγου  $h/d$  και των ζωνών υποδιαίρεσης των κατακόρυφων τοίχων του κτιρίου.

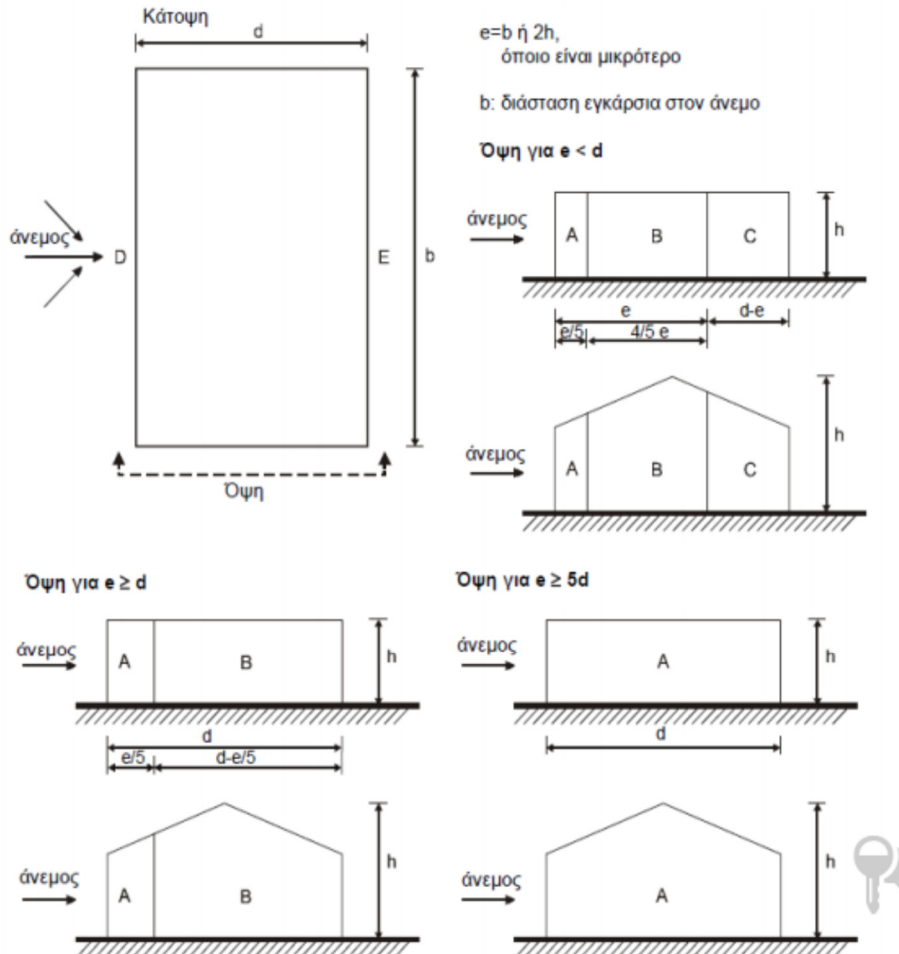
### 3.2.3.1.6 Συντελεστής εξωτερικής πίεσης $c_{pe}$

Ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης  $c_{pe}$  για κτήρια και τμήματα κτηρίων εξαρτάται από τις διαστάσεις της φορτιζόμενης επιφάνειας  $A$ . Ως φορτιζόμενη επιφάνεια, θεωρείται η επιφάνεια  $A$ , η οποία μεταφέρει στο εξεταζόμενο στοιχείο της κατασκευής τη δράση της ανεμοπίεσης και προκαλεί την αντίστοιχη καταπόνησή του.

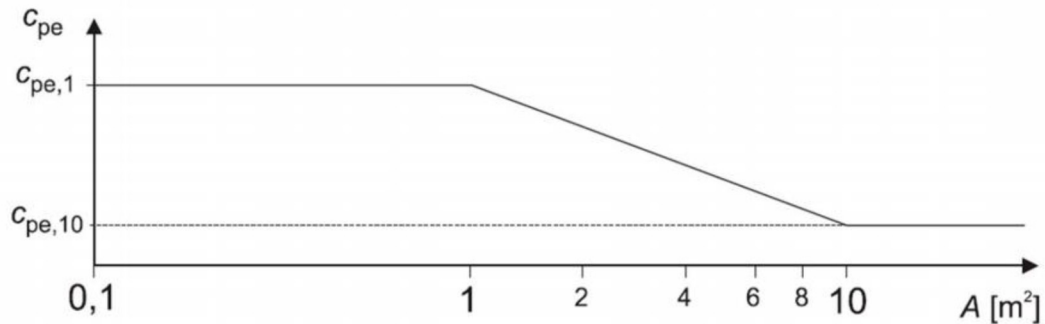
Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι τιμές των συντελεστών εξωτερικής πίεσης  $c_{pe}$  για φορτιζόμενες επιφάνειες εμβαδού  $1m^2$  και  $10m^2$ .

ΖΩΝΗ	A		B		C		D		E	
$h/d$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0.25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,3	

Οι A, B, C, D περιοχές ορίζονται ως ακολούθως:



Εκτός από τον πίνακα, δίνεται και γραφική απεικόνιση της μεταβολής της πίεσης  $c_{pe}$  συναρτήσει της φορτιζόμενης επιφάνειας  $A$ .

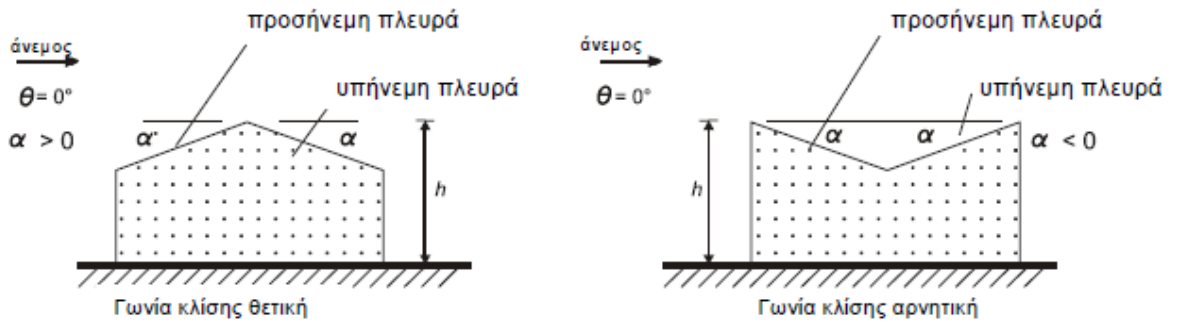


Όπως προκύπτει από το σχήμα αυτό:

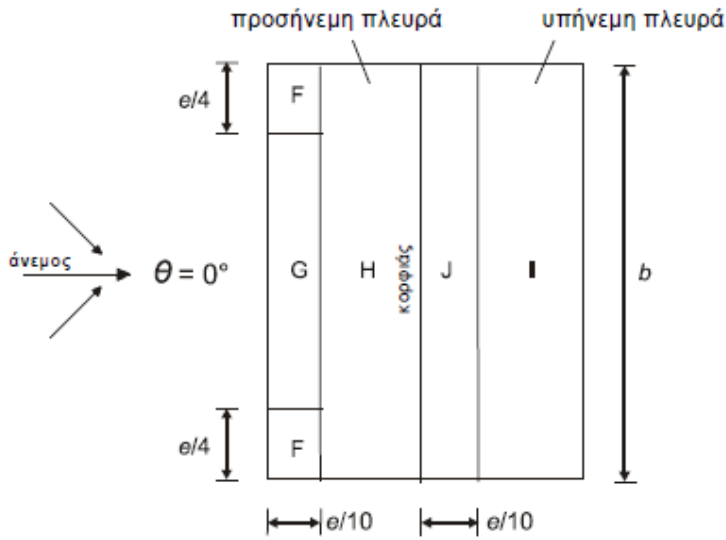
- για  $A \leq 1\text{m}^2$   $c_{pe} = c_{pe,1}$
- για  $1\text{m}^2 \leq A \leq 10\text{m}^2$   $c_{pe} = c_{pe,1} + (c_{pe,10} - c_{pe,1}) \times \log A$
- για  $A \geq 10\text{m}^2$   $c_{pe} = c_{pe,10}$

### 3.2.3.1.7 Δικλινείς στέγες

Η στέγη, συμπεριλαμβανομένων και των προεξεχόντων τμημάτων, θα διαιρείται σε ζώνες, όπως παρακάτω



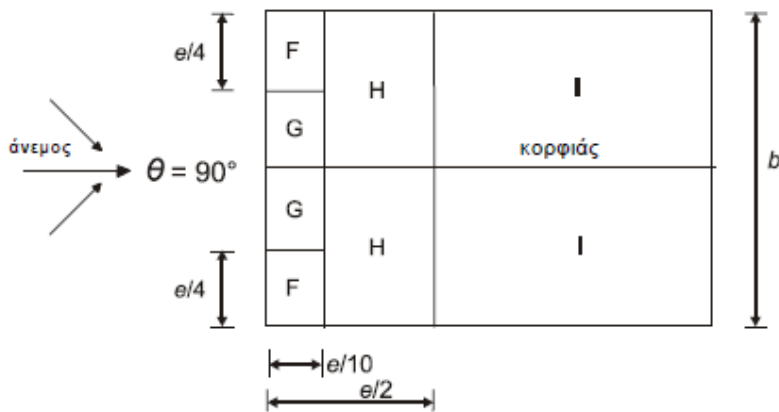
(α) γενικά



(β) διεύθυνση ανέμου  $\theta = 0^\circ$

$e = b$  ή  $2h$   
 όποιο είναι μικρότερο

$b$  : διάσταση εγκάρσια  
 στον άνεμο



(γ) διεύθυνση ανέμου  $\theta = 90^\circ$

Το ύψος αναφοράς  $z_e$  θα λαμβάνεται ίσο με  $h$

Οι τιμές των F, G, H, I, J δίνονται στον αντίστοιχο πίνακα, ανάλογα με την διεύθυνση του ανέμου:

i) Κάθετα στον κορφιά

Γωνία Κλίσης $\alpha$	Ζώνη για διεύθυνση ανέμου $\Theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1 Για  $\theta = 0^\circ$  η πίεση μεταβάλλεται γρήγορα από θετικές σε αρνητικές τιμές στην προσήνεμη πλευρά γύρω από γωνία κλίσης  $\alpha = -5^\circ$  έως  $+45^\circ$ , έτσι δίνονται τόσο οι θετικές όσο και οι αρνητικές τιμές. Για τις στέγες αυτές, τέσσερις περιπτώσεις θα πρέπει να θεωρούνται όπου οι μεγαλύτερες ή οι μικρότερες τιμές όλων των επιφανειών F, G και H συνδυάζονται με τις μεγαλύτερες ή τις μικρότερες τιμές των επιφανειών I και J. Δεν επιτρέπεται ανάμιξη θετικών και αρνητικών τιμών στην ίδια πλευρά.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 2 Γραμμική παρεμβολή για ενδιάμεσες γωνίες κλίσης του ίδιου πρόσημου μπορεί να χρησιμοποιείται μεταξύ τιμών του ίδιου πρόσημου. (Όχι παρεμβολή μεταξύ  $\alpha = +5^\circ$  και  $\alpha = -5^\circ$ , αλλά χρήση των δεδομένων για επίπεδες στέγες στην 7.2.3). Οι τιμές ίσες με 0,0 δίνονται για σκοπούς παρεμβολής

ii) Παράλληλα στον κορφιά

Γωνία Κλίσης $\alpha$	Ζώνη για διεύθυνση ανέμου $\Theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

### 3.2.3.1.8 Εσωτερική πίεση

Οι εσωτερικές και οι εξωτερικές πιέσεις θα θεωρούνται ότι δρουν ταυτόχρονα. Ο δυσμενέστερος συνδυασμός εξωτερικών και εσωτερικών πιέσεων θα λαμβάνεται υπ' όψιν για κάθε συνδυασμό δυνατών ανοιγμάτων και άλλων δρόμων διαρροής.

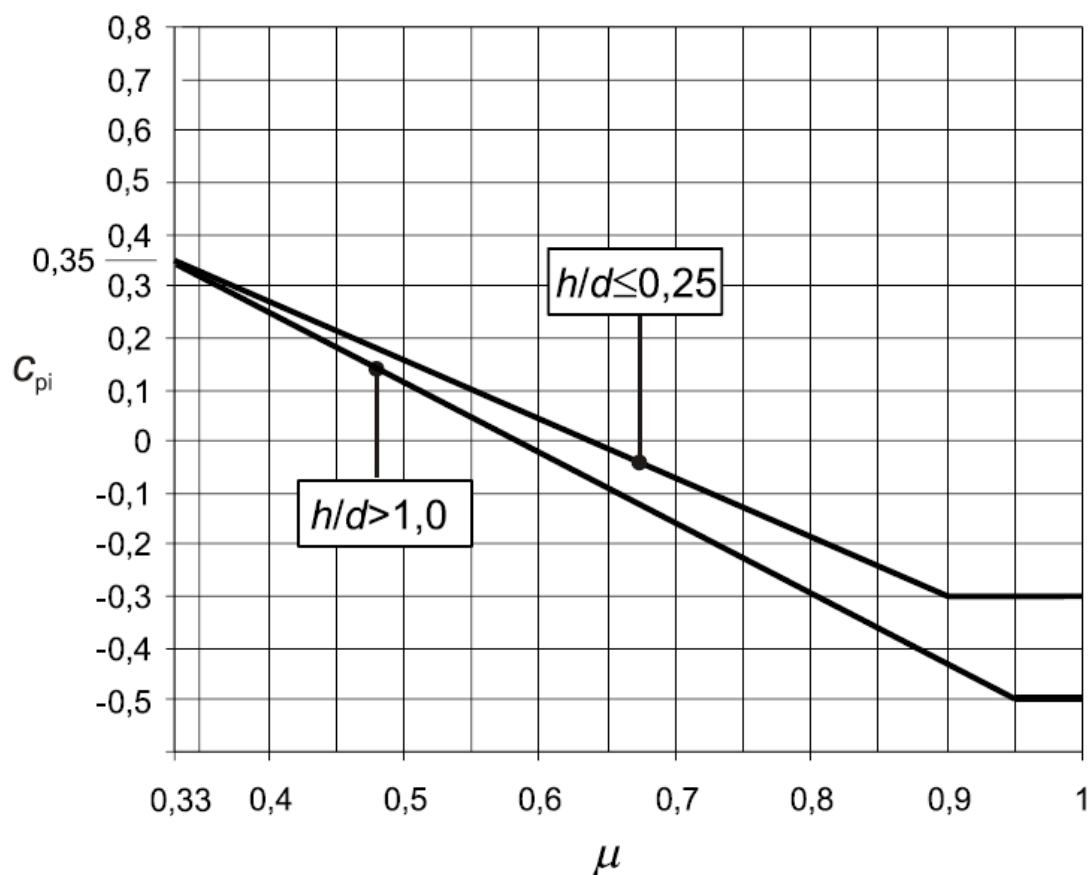
Ο συντελεστής εσωτερικής πίεσης  $c_{pi}$  εξαρτάται από την κατανομή και το μέγεθος των ανοιγμάτων στην συνολική επιφάνεια του κτιρίου.

Όταν η επιφάνεια των ανοιγμάτων μιας πλευράς ενός κτιρίου είναι τουλάχιστον διπλάσια της επιφάνειας των ανοιγμάτων και σημείων διαρροής των υπολοίπων πλευρών του κτιρίου, η πλευρά αυτή θεωρείται δεσπόζουσα και καθορίζει την τιμή της εσωτερικής πίεσης  $c_{pi}$ .

Η τιμή της εσωτερικής πίεσης  $c_{pi}$  σε αυτή την περίπτωση κυμαίνεται μεταξύ των τιμών  $0,75c_{pe}$  και  $0,90 c_{pe}$ . Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν σε επιφάνεια ανοιγμάτων δεσπόζουσας πλευράς διπλάσιας και τριπλάσιας αντίστοιχα της επιφάνειας των ανοιγμάτων στις υπόλοιπες πλευρές του κτιρίου. Όπου  $c_{pe}$  είναι η τιμή του συντελεστή εξωτερικής πίεσης της δεσπόζουσας πλευράς.

Για κτίρια χωρίς δεσπόζουσα πλευρά ο συντελεστής εσωτερικής πίεσης  $c_{pi}$  είναι συνάρτηση του λόγου του ύψους προς το βάθος του κτιρίου  $h/d$  και του λόγου ανοιγμάτων  $\mu$  για κάθε διεύθυνση του ανέμου  $\theta$ , που προσδιορίζεται από την σχέση:

$$\mu = \frac{\sum \text{επιφάνειες ανοιγμάτων όπου το } c_{pe} \text{ είναι αρνητικό ή μηδέν}}{\sum \text{επιφάνειες όλων των ανοιγμάτων}}$$

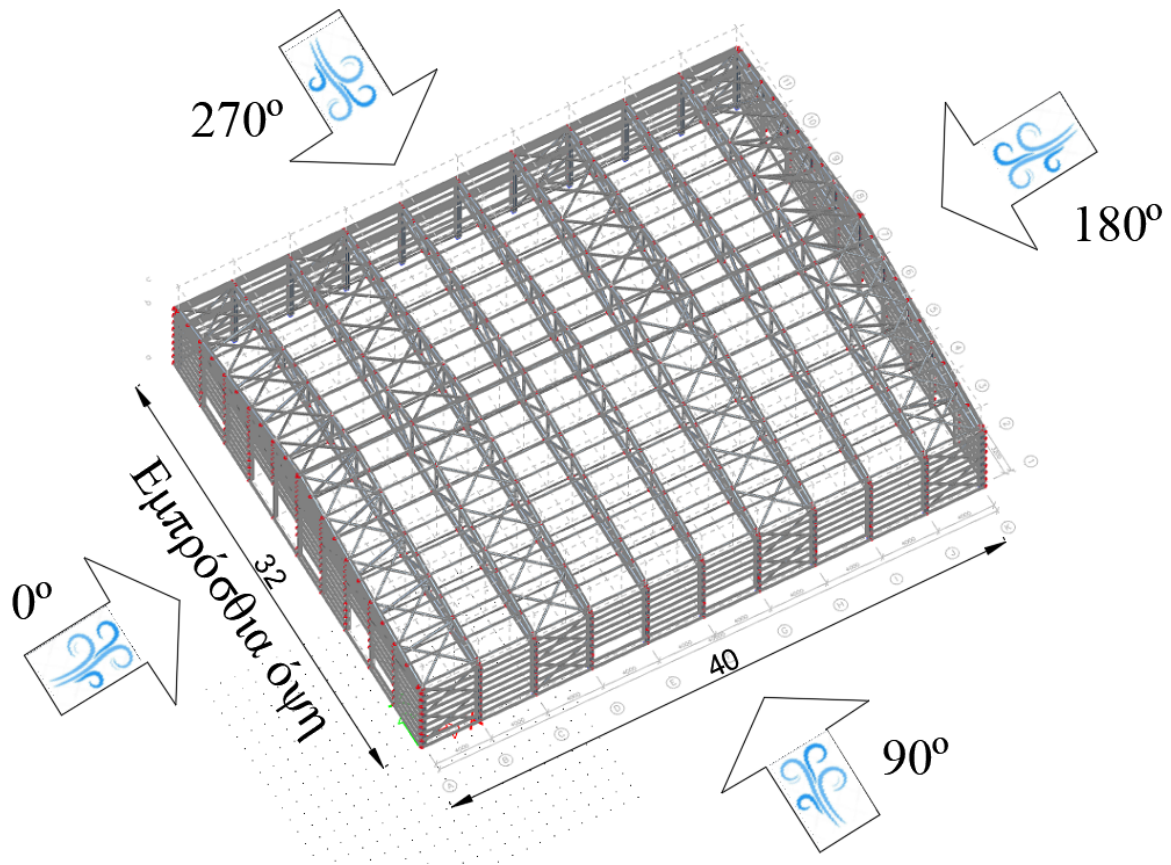


### 3.2.3.2 Υπολογισμός Φορτίου Ανέμου (wind)

Το κτίριο θα κατασκευαστεί στην Βόρεια Ελλάδα και συγκεκριμένα η περιοχή κατασκευής του κτιρίου (Φλώρινα) κατατάσσεται στην κατηγορία εδάφους II (περιοχή με χαμηλή βλάστηση και μεμονωμένα εμπόδια σε απόσταση μεταξύ τους τουλάχιστον 20 φορές το ύψος των εμποδίων).

Οι διαστάσεις του φορέα είναι 40x32 σε κάτοψη και οι κατευθύνσεις του ανέμου θεωρούνται ως ακολούθως:





### 3.2.3.2.1 Διεύθυνση 0°

Υψος του κτιρίου είναι:  $h = 10 \text{ m}$   
 Πλάτος του κτιρίου είναι:  $b = 32 \text{ m}$   
 Μήκος του κτιρίου είναι:  $d = 40 \text{ m}$   
 Ισχύει  $h < b \Rightarrow z_e = h = 10 \text{ m}$

#### Πίεση ταχύτητας αιχμής $q_p(z)$

Η θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου, σύμφωνα με τον αντίστοιχο χάρτη της χώρας, είναι:

$$v_{b,0} = 27 \text{ m/sec}$$

Η βασική ταχύτητα ανέμου υπολογίζεται από την σχέση:

$$v_b = c_{dir} \times c_{season} \times v_{b,0} = 1,00 \times 1,00 \times 27 = 27 \text{ m/sec}$$

Η τοποθεσία κατασκευής του κτηρίου κατατάσσεται σε κατηγορία εδάφους II, άρα  $z_0=0,05$  και  $z_{\min}=2,00\text{m}$  και ο συντελεστής εδάφους είναι:

$$K_r = 0,19 \times \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19$$

Ισχύει  $z_{\min} = 2,00\text{m} \leq z_e = 10\text{m} \leq z_{\max} = 200\text{m}$

Ο συντελεστής τραχύτητας είναι ίσος με:

$$c_r(z) = K_r \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 1,007$$

Το έδαφος είναι οριζόντιο άρα  $c_0(z) = 1,00$

Η μέση ταχύτητα του άνεμου υπολογίζεται ίση με:

$$v_m(z) = c_r(z) \times c_0(z) \times v_b = 1,007 \times 1,00 \times 27 = 27,19\text{m/sec}$$

Η ένταση στροβιλισμού είναι:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_1}{c_e(z) \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = 0,189$$

Άρα η πίεση ταχύτητας αιχμής ισούται με:

$$q_p(z) = \left[1 + 7 \times I_v(z) \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_m^2(z)\right] = (1 + 7 \times 0,189) \times 1/2 \times 0,00125 \times 27,19^2 = 1,073\text{kN/m}^2$$

Εξωτερικές πιέσεις  $w_e$

$$e = \min\{b; 2 \times h\} = \min\{32; 2 \times 10\} = 20\text{m} < d = 40\text{m}$$

$$h/d = 0,25 \leq 0,25$$

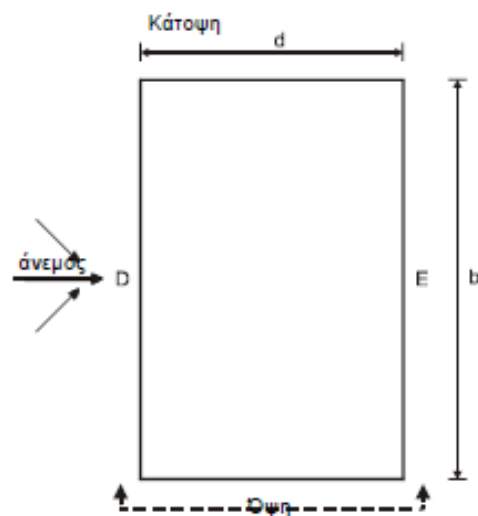
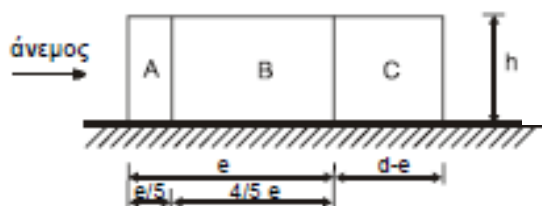
$$\text{Εμβαδό πρόσοψης: } A = 10 \times 32 = 320\text{ m}^2 > 10\text{m}^2 \Rightarrow c_{pe} = c_{pe,10}$$

Οι τιμές των συντελεστών εξωτερικής πίεσης καθώς και οι τιμές των εξωτερικών πιέσεων των κατακόρυφων τοίχων στις ζώνες A, B, C, D και E και οι αντίστοιχες τιμές του στεγάστρου στις ζώνες F, G, H και I για φορτιζόμενη επιφάνεια μεγαλύτερη των  $10\text{m}^2$ , λαμβάνονται από τον πίνακα:

Τοίχοι:

	$c_{pe}$	$q_p(z)$	$w_e$
A	-1,2	1,073	-1,2876
B	-0,8	1,073	-0,8584
C	-0,5	1,073	-0,5365
D	0,7	1,073	0,7511
E	-0,3	1,073	-0,3219

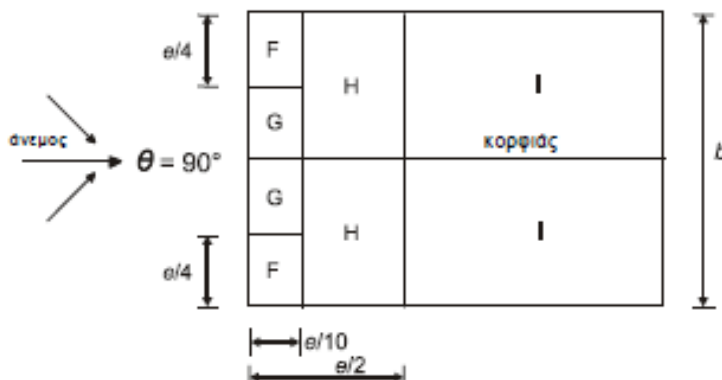
Όψη για  $e < d$



Στέγη:

$\alpha$	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1,6	-2,2	-1,3	-2	-0,7	-1,2	-0,6	
<b>10,620</b>	<b>-1,431</b>	<b>-2,088</b>	<b>-1,300</b>	<b>-2,000</b>	<b>-0,644</b>	<b>-1,200</b>	<b>-0,544</b>	
15	-1,3	-2	-1,3	-2	-0,6	-1,2	-0,5	

	$C_{pe}$	$q_p(z)$	$w_e$
F	-1,431	1,073	-1,535
G	-1,300	1,073	-1,395
H	-0,644	1,073	-0,691
I	-0,544	1,073	-0,584



### Εσωτερικές πιέσεις $w_i$

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής θεωρήθηκε πως όταν στην περιοχή πνέουν δυνατοί άνεμοι, δηλαδή όταν έχουμε μεγάλα φορτία άνεμου, οι πόρτες της κατασκευής παραμένουν κλειστές και σαν αποτέλεσμα δεν υπάρχουν εσωτερικές πιέσεις στην οριακή κατάσταση αστοχίας γι' αυτό και δεν υπολογίζονται.

### 3.2.3.2.2 Διεύθυνση 90°

Υψος του κτιρίου είναι:  $h = 10 \text{ m}$   
 Πλάτος του κτιρίου είναι:  $b = 40 \text{ m}$   
 Μήκος του κτιρίου είναι:  $d = 32 \text{ m}$   
 Ισχύει  $h < b \Rightarrow z_e = h = 10 \text{ m}$

### Πίεση ταχύτητας αιχμής $q_p(z)$

Η θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου, σύμφωνα με τον αντίστοιχο χάρτη της χώρας, είναι:

$$v_{b,0} = 27 \text{ m/sec}$$

Η βασική ταχύτητα ανέμου υπολογίζεται από την σχέση:

$$v_b = c_{dir} \times c_{season} \times v_{b,0} = 1,00 \times 1,00 \times 27 = 27 \text{ m/sec}$$

Η τοποθεσία κατασκευής του κτηρίου κατατάσσεται σε κατηγορία εδάφους II, άρα  $z_0=0,05$  και  $z_{min}=2,00\text{m}$  και ο συντελεστής εδάφους είναι:

$$K_r = 0,19 \times \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19$$

Ισχύει  $z_{\min} = 2,00\text{m} \leq z_e = 10\text{m} \leq z_{\max} = 200\text{m}$

Ο συντελεστής τραχύτητας είναι ίσος με:

$$c_r(z) = K_r \times \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) = 1,007$$

Το έδαφος είναι οριζόντιο άρα  $c_0(z) = 1,00$

Η μέση ταχύτητα του άνεμου υπολογίζεται ίση με:

$$v_m(z) = c_r(z) \times c_0(z) \times v_b = 1,007 \times 1,00 \times 27 = 27,19\text{m/sec}$$

Η ένταση στροβιλισμού είναι:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_1}{c_e(z) \times \ln \left( \frac{z}{z_0} \right)} = 0,189$$

Άρα η πίεση ταχύτητας αιχμής ισούται με:

$$q_p(z) = \left[ 1 + 7 \times I_v(z) \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_m^2(z) \right] = (1 + 7 \times 0,189) \times 1/2 \times 0,00125 \times 27,19^2 = 1,073\text{kN/m}^2$$

Εξωτερικές πιέσεις  $w_e$

$$e = \min \{b; 2 \times h\} = \min \{40; 2 \times 10\} = 20\text{m} < d = 40\text{m}$$

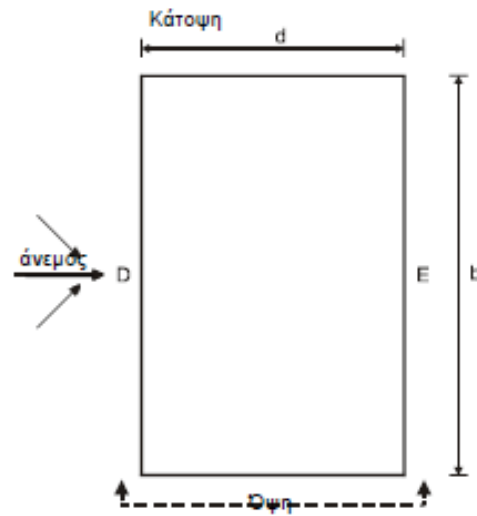
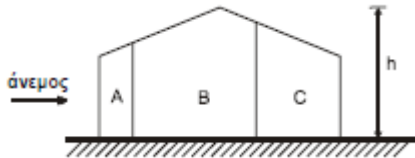
$$h/d = 0,25 \leq 0,25$$

$$\text{Εμβαδό πρόσοψης: } A = 7 \times 40 = 280 \text{ m}^2 > 10\text{m}^2 \Rightarrow c_{pe} = c_{pe,10}$$

Οι τιμές των συντελεστών εξωτερικής πίεσης καθώς και οι τιμές των εξωτερικών πιέσεων των κατακόρυφων τοίχων στις ζώνες A, B, C, D και E και οι αντίστοιχες τιμές του στεγάστρου στις ζώνες F, G, H και I για φορτιζόμενη επιφάνεια μεγαλύτερη των  $10\text{m}^2$ , λαμβάνονται από τον πίνακα:

Τοίχοι:

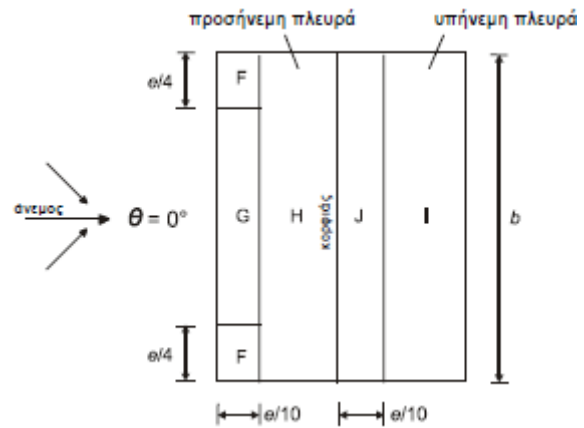
	$C_{pe}$	$q_p(z)$	$W_e$
A	-1,2	1,073	-1,288
B	-0,8	1,073	-0,858
C	-0,5	1,073	-0,537
D	0,7	1,073	0,751
E	-0,3	1,073	-0,322



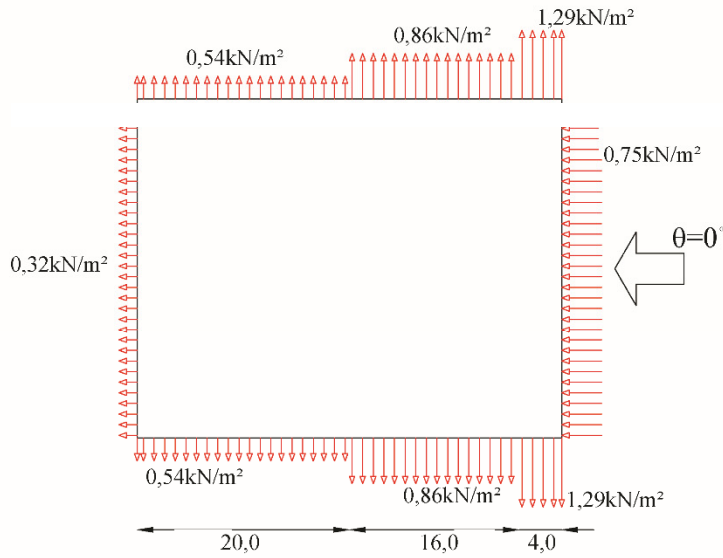
Στέγη:

$\theta=0$										
$\alpha$	F		G		H		I		J	
	$C_{pe10max}$	$C_{pe10min}$	$C_{pe10max}$	$C_{pe10min}$	$C_{pe10max}$	$C_{pe10min}$	$C_{pe10max}$	$C_{pe10min}$	$C_{pe10max}$	$C_{pe10min}$
5	0	-1,7	0	-1,2	0	-0,6	-0,6	-0,6	0,2	-0,6
<b>10,620</b>	<b>0,112</b>	<b>-1,250</b>	<b>0,112</b>	<b>-0,975</b>	<b>0,112</b>	<b>-0,431</b>	<b>-0,263</b>	<b>-0,488</b>	<b>0,088</b>	<b>-0,825</b>
15	0,2	-0,9	0,2	-0,8	0,2	-0,3	0	-0,4	0	-1

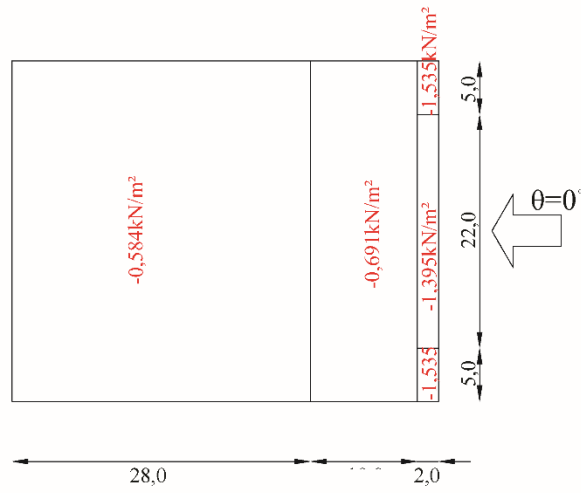
	$C_{pe}$	$q_p(z)$	$W_e$
$F_{max}$	0,112	1,073	0,121
$F_{min}$	-1,250	1,073	-1,342
$G_{max}$	0,112	1,073	0,121
$G_{min}$	-0,975	1,073	-1,046
$H_{max}$	0,112	1,073	0,121
$H_{min}$	-0,431	1,073	-0,463
$I_{max}$	-0,263	1,073	-0,282
$I_{min}$	-0,488	1,073	-0,523
$J_{max}$	0,088	1,073	0,094
$J_{min}$	-0,825	1,073	-0,885



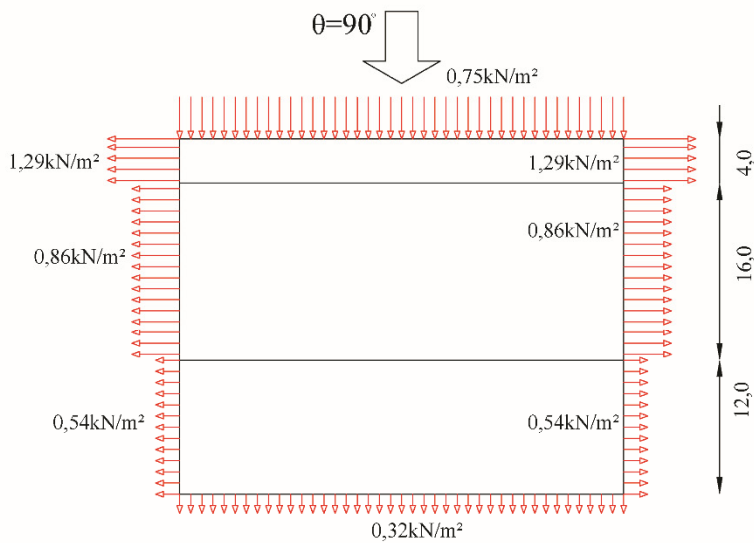
Αντίστοιχα με την διεύθυνση των  $0^\circ$  υπολογίζεται και αυτή των  $180^\circ$  με ίδια αποτελέσματα μιας και η επιφάνειες του κελύφους παρουσιάζουν συμμετρία. Όμοια και η  $90^\circ$  με την φόρτιση λόγω ανεμοπίεσης στις  $270^\circ$ .



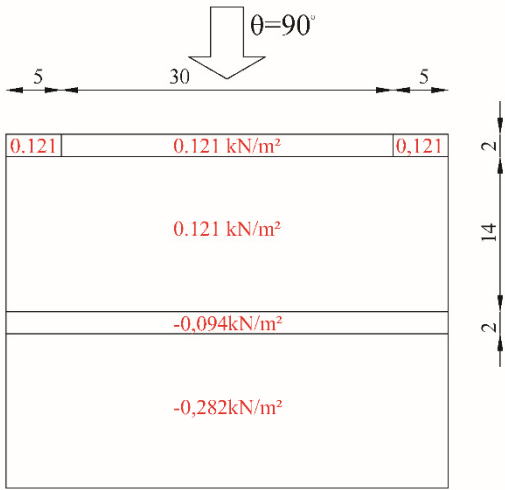
Πιέσεις ανέμου στους κατακόρυφους τοίχους για άνεμο  $\pm 0^\circ$ .



Πιέσεις ανέμου στην οροφή για άνεμο  $\pm 0^\circ$

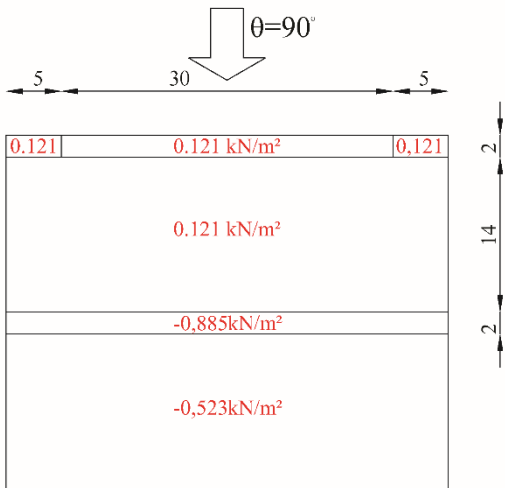


Πιέσεις ανέμου στους κατακόρυφους τοίχους για άνεμο  $+90$

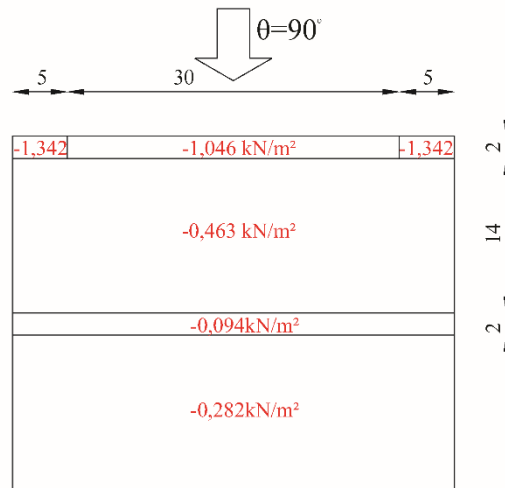


Η φόρτιση της στέγης εν προκειμένω αποτελείται από 4 συνδυασμούς μεγίστων -ελαχίστων συντελεστών πίεσης των επιμέρους τμημάτων

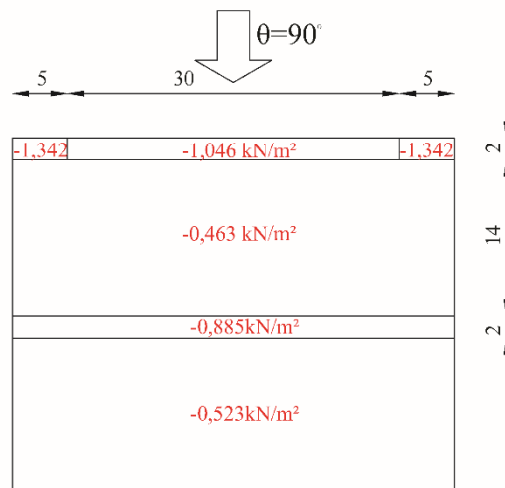
F,G,H: max – IJ:max



F,G,H: max – I,J:min



F,G,H: min – I,J:max



F,G,H: min – I,J:min

### 3.2.4 Σεισμικές Δράσεις



< Ο γίγαντας Εγκέλαδος

Ο Εγκέλαδος στην Ελληνική Μυθολογία φέρεται ως αρχηγός των Γιγάντων, γιος του Τάρταρου και της Γης που έπαιξε όμως πρωτεύοντα ρόλο στη Γιγαντομαχία στην οποία και φονεύθηκε. Οι Αρχαίοι Έλληνες πίστευαν πως, όταν γινόταν σεισμός, ο Εγκέλαδος είχε θυμώσει και επειδή ήταν πολύ μεγάλος τράνταζε όλη τη γη.

Σύμφωνα με τις σύγχρονες αντιλήψεις, η εκδήλωση ενός σεισμού είναι αποτέλεσμα της κίνησης των πλακών του φλοιού της γης. Για

τον μηχανικό, ανάλογα με την μέθοδο ανάλυσης, λογίζεται ως επιβολή παραμορφώσεων (μετακινήσεων) ή ως επιβολή δυνάμεων (επιταχύνσεων).

Κατά την διάρκεια ενός σεισμού αναπτύσσονται στο έδαφος επιταχύνσεις (οριζόντιες και κατακόρυφες) που έχουν ως συνέπεια τη δημιουργία αδρανειακών δυνάμεων επί των κατασκευών. Αναλυτικότερα, τα κτίρια αποκρίνονται στις ανακυκλιζόμενες αυτές μετακινήσεις που επιβάλλονται από το έδαφος επιστρατεύοντας την ακαμψία τους και τις αντοχές τους. Επομένως είναι πολύ σημαντικό να ξεκαθαριστεί ότι ο σεισμός δεν επιβάλλει δυνάμεις πάνω στην κατασκευή αλλά μετακινήσεις εναλλασσόμενου προσήμου. Οι δυνάμεις που τελικά αναπτύσσονται είναι εσωτερικές αντιδράσεις στις αδρανειακές δυνάμεις που αναπτύσσονται λόγω των εξωτερικά επιβαλλόμενων παραμορφώσεων. Από τις δυνάμεις αυτές, οι οριζόντιες θεωρούνται οι πλέον σοβαρές, χωρία αυτό να σημαίνει ότι και οι κατακόρυφες δεν μπορεί να αποβούν καταστροφικές υπό ορισμένες συνθήκες. Ο σεισμός εντάσσεται στις τυχηματικές δράσεις και επομένως εξετάζεται μια μόνο στάθμη της σεισμικής φόρτισης με την αντίστοιχη ονομαστική τιμή της και δεν συνδυάζεται με άλλες τυχηματικές δράσεις.

Η ανάλυση της κατασκευής στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιείται με βάση τις διατάξεις του Ευρωκώδικα 8 (EN 1998). Ο EN 1998 έχει τρεις βασικούς στόχους:

- Να αποφεύγεται η κατάρρευση της κατασκευής κατά τον σεισμό σχεδιασμού
- Οι βλάβες σε στοιχεία του φέροντα οργανισμού από μεσαίους σεισμούς να είναι περιορισμένες και επιδιορθώσιμες ενώ οι βλάβες για σεισμούς μικρότερης έντασης και με μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης πρέπει να ελαχιστοποιούνται
- Να διασφαλίζεται μια ελάχιστη στάθμη λειτουργιών του δομήματος ανάλογα με τη χρήση και τη σημασία του, όταν το δόμημα υποστεί σεισμό με τα χαρακτηριστικά του σεισμού σχεδιασμού.

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα EN 1998-1, τα σεισμικά αποτελέσματα και τα αποτελέσματα των άλλων δράσεων που περιλαμβάνονται στη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού μπορούν να υπολογιστούν με βάση την γραμμική-ελαστική συμπεριφορά του φορέα. Μπορεί λοιπόν να χρησιμοποιηθεί ένας από τους ακόλουθους δύο τύπους γραμμικής-ελαστικής ανάλυσης :

- Μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης
- Δυναμική ιδιομορφική ανάλυση

Στην παρούσα εργασία, η μελέτη της κατασκευής έναντι σεισμού πραγματοποιήθηκε μέσω της δυναμικής ιδιομορφικής ανάλυσης, η οποία περιλαμβάνει πλήρη ιδιομορφική

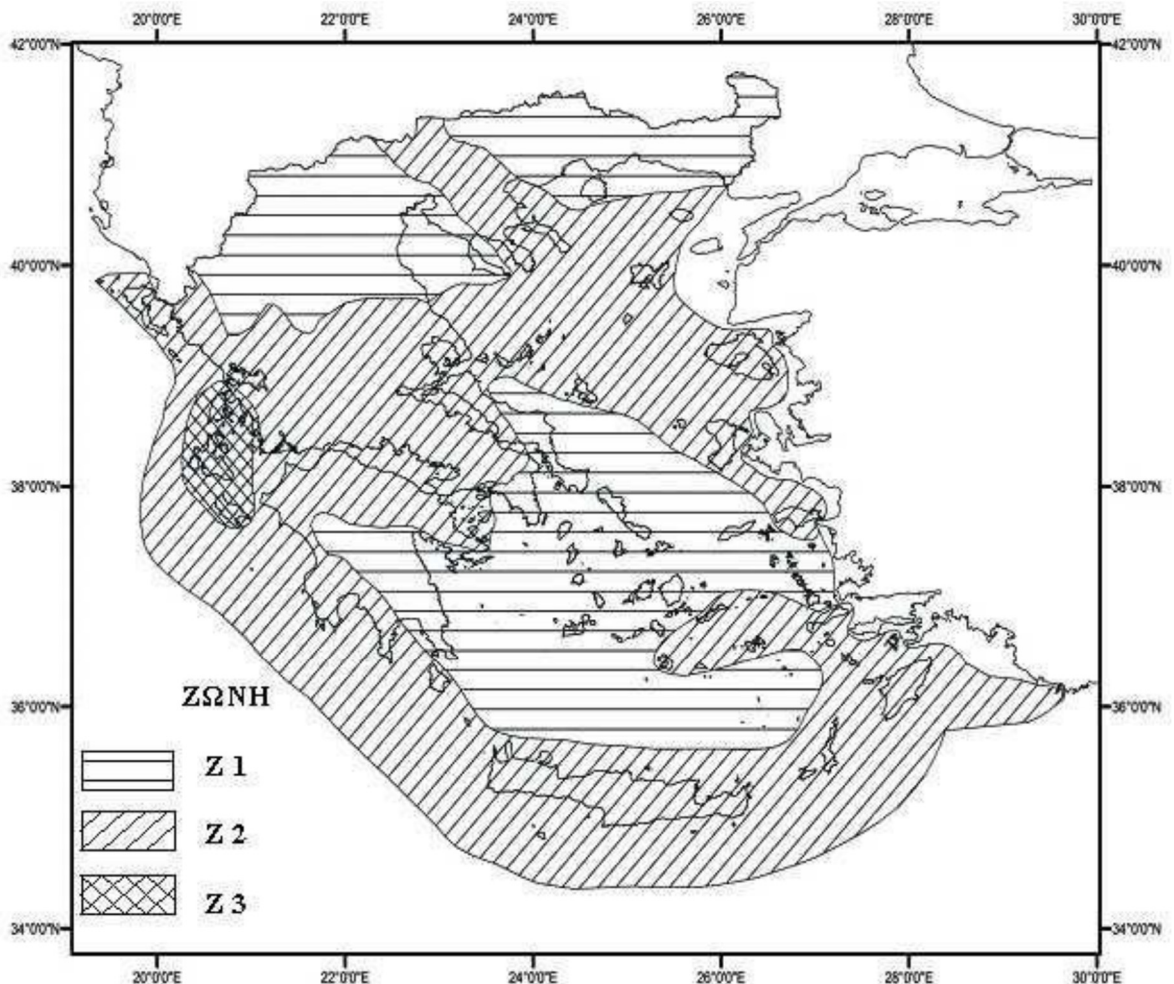


ανάλυση του συστήματος και υπολογισμό της μέγιστης σεισμικής απόκρισης για κάθε ιδιομορφή ταλάντωσης . Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε κατά την επίλυση με το πρόγραμμα SCIA Engineer.

### 3.2.4.1 Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας

Η ένταση των εδαφικών σεισμικών διεγέρσεων, καθορίζεται συμβατικά με μια μόνο παράμετρο, τη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση  $a_{gr}$  και καθορίζεται ανάλογα με τη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας στην οποία βρίσκεται το έργο. Η χώρα μας χωρίζεται σε τρεις Ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας (Z1, Z2, Z3) τα όρια των οποίων καθορίζονται στον χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας. Σε κάθε ζώνη αντιστοιχεί μια τιμή σεισμικής επιτάχυνσης, η οποία έχει πιθανότητα υπέρβασης  $P_{NCR}=10\%$  στα 50 έτη (ή περίοδο επαναφοράς  $T_{NCR}=457$ έτη).

Για την παρούσα κατασκευή, η οποία βρίσκεται στην Φλώρινα, γίνεται η θεώρηση πως βρίσκεται στη Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Z1.



Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας	Z1	Z2	Z3
Σεισμική επιτάχυνση ( $\alpha_{gR}/g$ )	0,16	0,24	0,36

### 3.2.4.2 Προσδιορισμός της Κατηγορίας Εδάφους

Από άποψη σεισμικής επικινδυνότητας, τα εδάφη κατατάσσονται σε πέντε κατηγορίες A, B, C, D και E. Το παρόν κτίριο εδράζεται σε έδαφος κατηγορίας B σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1 του Ευρωκώδικα EN 1998-1. Ο συγκεκριμένος πίνακας καθορίζει την κατηγορία του εδάφους από την στρωματογραφία και τις παραμέτρους που δίνονται σε αυτόν.

Κατηγορία Εδάφους	Περιγραφή στρωματογραφίας	Παράμετροι		
		$V_{s,30}$ (m/s)	NSPT	cu (kPa)
A	Βράχος ή άλλος βραχώδης γεωλογικός σχηματισμός, που περιλαμβάνει το πολύ 5m ασθενέστερου επιφανειακού υλικού.	>800	-	-
B	Αποθέσεις πολύ πυκνής άμμου, χαλικών ή πολύ σκληρής αργίλου, πάχους τουλάχιστον αρκετών δεκάδων μέτρων, που χαρακτηρίζονται από βαθμιαία βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος.	360-800	>50	>250
C	Βαθιές αποθέσεις πυκνής ή μετρίως πυκνής άμμου, χαλικών ή σκληρής αργίλου πάχους από δεκάδες έως πολλές εκατοντάδες μέτρων.	180-360	15-50	70-250
D	Αποθέσεις χαλαρών έως μετρίως χαλαρών μη συνεκτικών υλικών (με ή χωρίς κάποια μαλακά στρώματα συνεκτικών υλικών), ή κυρίως μαλακά έως μετρίως σκληρά συνεκτικά υλικά.	<180	<15	<70
E	Εδαφική τομή που αποτελείται από ένα επιφανειακό στρώμα ιλύος με τιμές $V_s$ κατηγορίας C ή D και πάχος που ποικίλλει μεταξύ περίπου 5m και 20m, με υπόστρωμα από πιο σκληρό υλικό με $V_s > 800$ m/s.			
S <sub>1</sub>	Αποθέσεις που αποτελούνται, ή που περιέχουν ένα στρώμα πάχους τουλάχιστον 10 m μαλακών αργίλων/ιλύων με υψηλό δείκτη πλαστικότητας ( $PI > 40$ ) και υψηλή περιεκτικότητα σε νερό.	<100 (ενδεικτικό)	-	10-20
S <sub>2</sub>	Στρώματα ρευστοποιήσιμων εδαφών, ευαίσθητων αργίλων, ή οποιαδήποτε άλλη εδαφική τομή που δεν περιλαμβάνεται στους τύπους A – E ή S1 στους τύπους A – E ή S1			

Πίνακας 3.1 : Κατάταξη εδαφών σύμφωνα με EC-8

Οι παράμετροι του ελαστικού φάσματος απόκρισης, στις οποίες αντιστοιχούν οι παραπάνω κατηγορίες είναι αντίστοιχα:

Κατηγορία Εδάφους	S	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$
A	1.00	0.15	0.40	2.50
B	1.20	0.15	0.50	2.50
C	1.15	0.20	0.60	2.50
D	1.35	0.20	0.80	2.50
E	1.40	0.15	0.50	2.50

#### Παράμετροι φασμάτων ελαστικής απόκρισης

Συνεπώς, τα χαρακτηριστικά του ελαστικού φάσματος στην θέση της κατασκευής είναι:  $S=1.20$  ,  $T_B=0.15\text{sec}$  ,  $T_C=0.50\text{sec}$  και  $T_D=2.50\text{sec}$

#### 3.2.4.3 Συντελεστής σπουδαιότητας

Τα κτήρια κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες σπουδαιότητας ανάλογα με τις κοινωνικοοικονομικές συνέπειες που μπορεί να έχει ενδεχόμενη καταστροφή ή διακοπή της λειτουργίας τους. Σε κάθε κατηγορία σπουδαιότητας αντιστοιχεί μια τιμή του συντελεστή σπουδαιότητας  $\gamma_i$ . Στην περίπτωση μας, η κατασκευή ανήκει στην κατηγορία σπουδαιότητας II (Συνήθη κτίρια). Ο συντελεστής σπουδαιότητας είναι  $\gamma_i=1,0$ .

Κατηγορία σπουδαιότητας	$\gamma_i$	Περιγραφή
I	0.80	Κτίρια δευτερεύουσας σημασίας για τη δημόσια ασφάλεια, π.χ. γεωργικά κτίρια, κλπ.
II	1.00	Συνήθη κτίρια, που δεν ανήκουν στις άλλες κατηγορίες.
III	1.20	Κτίρια των οποίων η σεισμική ασφάλεια είναι σημαντική, λαμβάνοντας υπόψη τις συνέπειες κατάρρευσης, π.χ. σχολεία, αίθουσες συνάθροισης, πολιτιστικά ιδρύματα κλπ.
IV	1.40	Κτίρια των οποίων η ακεραιότητα κατά τη διάρκεια σεισμών είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία των πολιτών, π.χ. νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, σταθμοί παραγωγής ενέργειας, κλπ.

#### 3.2.4.4 Συντελεστής συμπεριφοράς q

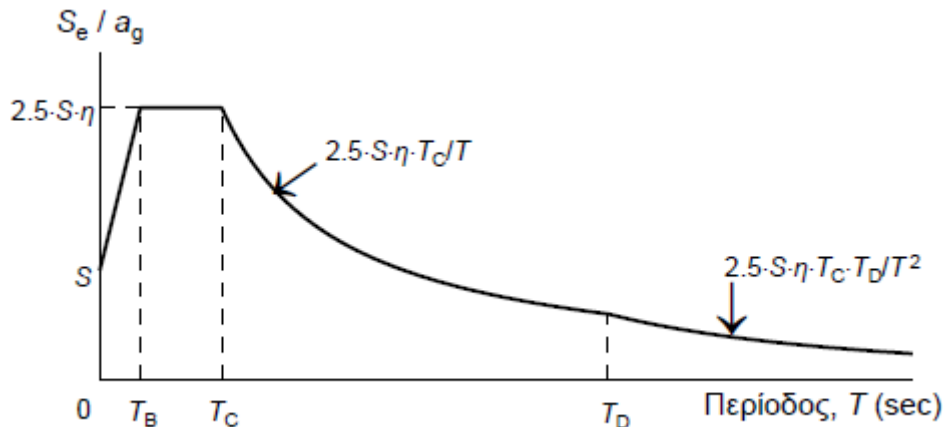
Ο συντελεστής συμπεριφοράς  $q$  εισάγει τη μείωση των σεισμικών επιταχύνσεων της πραγματικής κατασκευής λόγω μετελαστικής συμπεριφοράς, σε σχέση με τις επιταχύνσεις που προκύπτουν υπολογιστικά σε απεριόριστα ελαστικό σύστημα. Στις ελαφρές μεταλλικές κατασκευές δεν λαμβάνεται συντελεστής συμπεριφοράς μεγαλύτερος της μονάδας, μιας και τα μέλη δεν έχουν ικανότητα στροφής (αδυναμία δημιουργίας πλαστικών αρθρώσεων, μηδενική πλαστιμότητα).

#### 3.2.4.5 Ελαστικό φάσμα σχεδιασμού

Κατασκευάστηκαν τα φάσματα σχεδιασμού για τις οριζόντιες και κατακόρυφες συνιστώσες του σεισμού. Για την κατασκευή των φασμάτων έγιναν λοιπόν οι ακόλουθες παραδοχές :

- Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας: Z2 (επιτάχυνση  $a_{gr}=0.16g$ )
- Κατηγορία εδάφους: B
- Κατηγορία σπουδαιότητας II με  $\gamma_i=1.00$
- Συντελεστής συμπεριφοράς  $q=1$
- Απόσβεση:  $\zeta=5\%$

Για τις οριζόντιες συνιστώσες της σεισμικής δράσης το φάσμα σχεδιασμού  $S_d(T)$ , με βάση τον Ευρωκώδικα EN 1998-1, ορίζεται ως εξής:



$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2.5 - 1) \right] \quad \text{για } 0 \leq T \leq T_B$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \quad \text{για } T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \frac{T_C}{T} \quad \text{για } T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \quad \text{για } T_D \leq T \leq 4 \text{ sec}$$

όπου:

$S_e(T)$  είναι η ελαστική φασματική επιτάχυνση

$T$  είναι η περίοδος ταλάντωσης ενός γραμμικού συστήματος μίας ελεύθερης κίνησης

$a_{gr}$  είναι η εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού σε έδαφος κατηγορίας B ( $a_g = \gamma I^* a_{gr}$ )

$T_B$  είναι η περίοδος κάτω ορίου του κλάδου σταθερής φασματικής επιτάχυνσης

$T_C$  είναι η περίοδος άνω ορίου του κλάδου σταθερής φασματικής επιτάχυνσης

$T_D$  είναι η τιμή της περιόδου που ορίζει την αρχή της περιοχής σταθερής μετακίνησης του φάσματος

$S$  είναι ο συντελεστής εδάφους

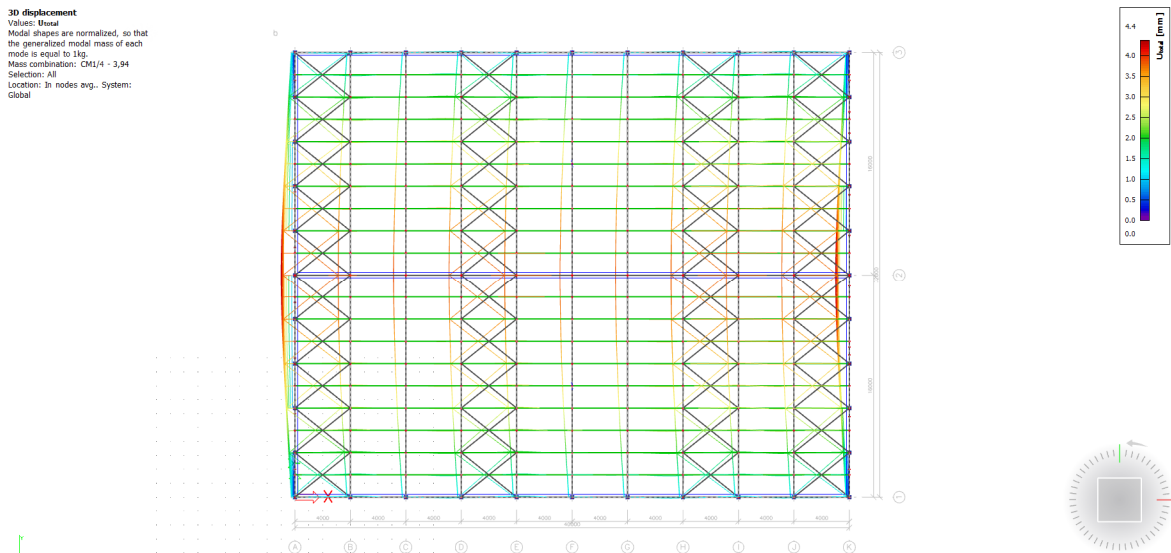
Η απόκριση κάθε ιδιομορφής -από το σύνολο που θα ληφθεί υπ' όψιν στην ανάλυση- δίνεται από το παραπάνω φάσμα (η τέμνουσα βάσης που αντιστοιχεί στην επιτάχυνση του φάσματος, κατανέμεται στην κατασκευή και το μοντέλο «κλύνεται» με το λογισμικό ανάλυσης επιστρέφοντάς μας παραμορφώσεις και εσωτερικές εντάσεις για τους ελέγχους αντοχής, ευστάθειας, βελών).

### 3.2.4.6 Ιδιομορφές (eigenmodes) κυρίου φορέα (σχηματικά)

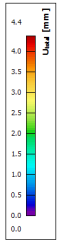
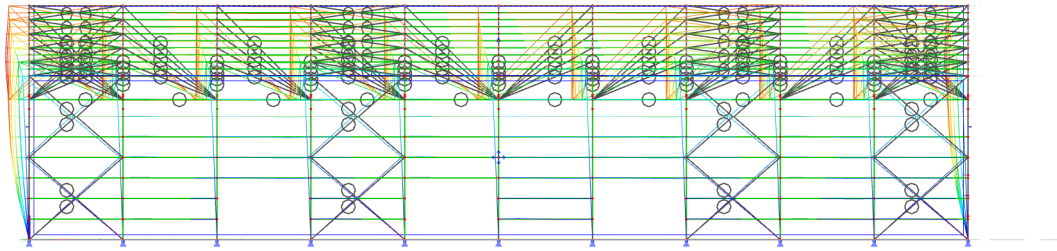
Mode	mega [rad/s]	Period [s]	Freq. [Hz]	$W_{xi}/W_{\text{tot}}$	$W_{yi}/W_{\text{tot}}$	$W_{zi}/W_{\text{tot}}$	$N_{xi\_R}/W_{\text{tot\_F}}$	$N_{yi\_R}/W_{\text{tot\_F}}$	$N_{zi\_R}/W_{\text{tot\_F}}$
1	11.3237	0,55	1,80	0,0000	0,8667	0,0000	0,0017	0,0000	0,0155
2	14.8767	0,42	2,37	0,0000	0,0068	0,0000	0,0000	0,0000	0,4559
3	20.5255	0,31	3,27	0,0000	0,0730	0,0000	0,0000	0,0000	0,0450
4	24.754	0,25	3,94	0,7722	0,0000	0,0000	0,0000	0,0048	0,0000
5	24.8738	0,25	3,96	0,0001	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0542
6	32.4002	0,19	5,16	0,0000	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0007
7	34.0042	0,18	5,41	0,0001	0,0000	0,3875	0,0000	0,0001	0,0000
8	41.7341	0,15	6,64	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,1457	0,0001
9	42.3006	0,15	6,73	0,0000	0,0005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0011
10	47.5236	0,13	7,56	0,0010	0,0000	0,0030	0,0000	0,0189	0,0090
11	47.9975	0,13	7,64	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0041	0,1782
12	49.49	0,13	7,88	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0026
13	51.7573	0,12	8,24	0,0005	0,0000	0,0003	0,0005	0,0163	0,0004
14	54.1739	0,12	8,62	0,0007	0,0000	0,0001	0,0005	0,0041	0,0766
15	61.0637	0,10	9,72	0,0072	0,0000	0,0002	0,0003	0,0001	0,0002
16	62.0274	0,10	9,87	0,0013	0,0000	0,0007	0,0016	0,0011	0,0176
17	64.2757	0,10	10,23	0,0087	0,0000	0,0015	0,0000	0,0003	0,0002
18	65.9987	0,10	10,50	0,0009	0,0000	0,0168	0,0002	0,0000	0,0003
19	69.8324	0,09	11,11	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000
20	73.4009	0,09	11,68	0,0014	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001	0,0004
21	76.6337	0,08	12,20	0,0831	0,0000	0,0000	0,0019	0,0012	0,0002
22	78.1407	0,08	12,44	0,0009	0,0003	0,0000	0,1938	0,0000	0,0000
23	79.6984	0,08	12,68	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0068
24	80.8423	0,08	12,87	0,0045	0,0000	0,0000	0,0002	0,0002	0,0002
25	84.4315	0,07	13,44	0,0032	0,0000	0,0043	0,0007	0,0001	0,0000
26	85.6209	0,07	13,63	0,0218	0,0000	0,0003	0,0001	0,0089	0,0000
				0,9078	0,9485	0,4151	0,2020	0,2063	0,8652

Ελήφθησαν οι 26 πρώτες ιδιομορφές στην ανάλυση (τόσες ήταν απαραίτητες ώστε να συμπληρώνεται το απαραίτητο ποσοστό, 90%, του συνόλου των δρώσεων ιδιομορφικών μαζών και στις 2 διευθύνσεις ανάλυσης). Οι δεσποζουσες σε κάθε διεύθυνση είναι:

Διεύθυνση x:

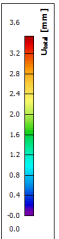
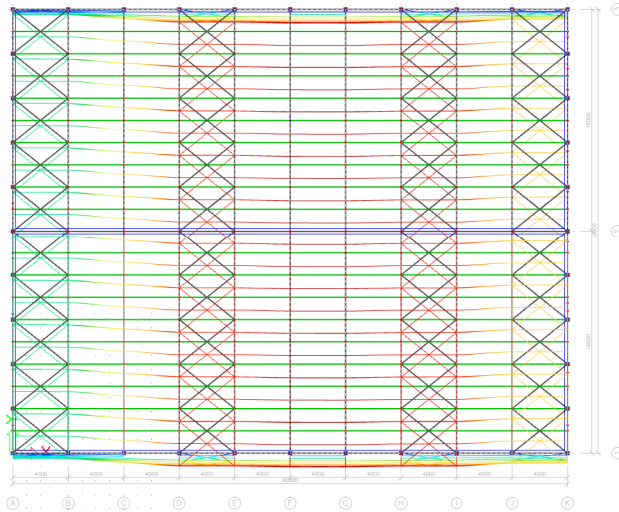


**3D displacement**  
 Values: Usual  
 Model shapes are normalized, so that the generalized modal mass of each mode is equal to 1kg.  
 Mass combination: CM1/4 - 3,94  
 Selection: All  
 Location: In nodes avg., System: Global

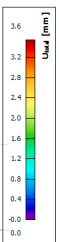
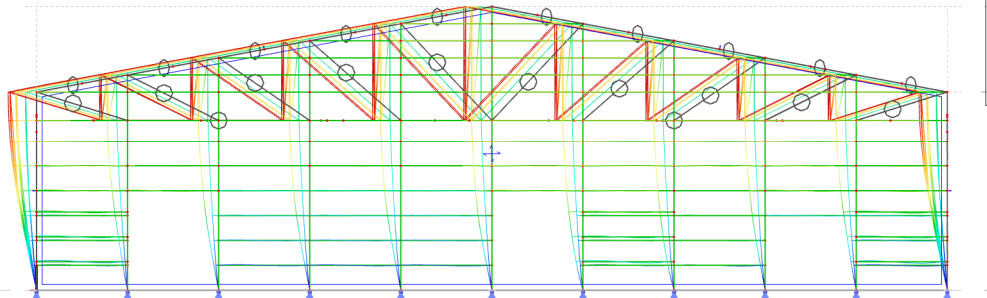


*Διεύθυνση y:*

**3D displacement**  
 Values: Usual  
 Model shapes are normalized, so that the generalized modal mass of each mode is equal to 1kg.  
 Mass combination: CM1/1 - 1,80  
 Selection: All  
 Location: In nodes avg., System: Global



**3D displacement**  
 Values: Usual  
 Model shapes are normalized, so that the generalized modal mass of each mode is equal to 1kg.  
 Mass combination: CM1/1 - 1,80  
 Selection: All  
 Location: In nodes avg., System: Global

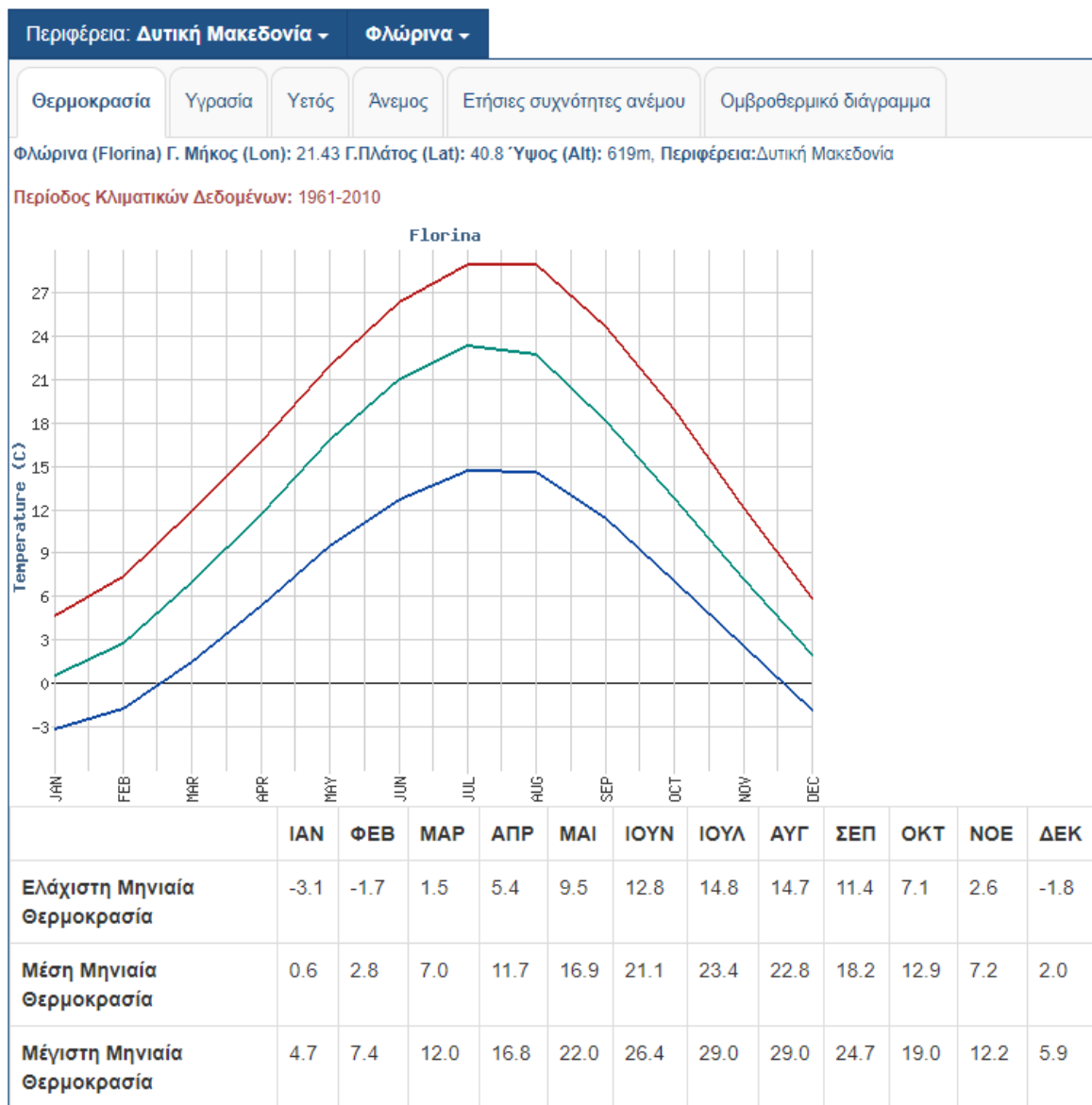


### 3.2.5 Θερμοκρασιακά Φορτία

Τα θερμοκρασιακά φορτία θεωρούνται έμμεσες μεταβλητές δράσεις. Υπολογίζονται σύμφωνα με τον EN 1991-1-5, που παρέχει οδηγίες για τα φορτία λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών

Οι δράσεις που οφείλονται σε θερμοκρασιακές μεταβολές υπολογίζονται θεωρώντας ομοιόμορφη μεταβολή θερμοκρασίας στα στοιχεία του φορέα, που οφείλεται στην μεταβολή θερμοκρασίας περιβάλλοντος (καλοκαίρι-χειμώνας), και προσδιορίζοντας τις χαρακτηριστικές τιμές μέγιστης διακύμανσης. Προκειμένου να λάβουμε υπ' όψιν τα φορτία που επιβάλλονται στην κατασκευή από συστολο-διαστολές θα λάβαμε δεδομένα από την ΕΜΥ για την μεταβολή θερμοκρασίας στην περιοχή του έργου. Η καταπόνηση θεωρείται ως ομοιόμορφη αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας ολόκληρου του φέροντος οργανισμού σε σχέση με τη θερμοκρασία συναρμολόγησής του. Θερμοκρασία συναρμολόγησής του υιοθετείται στους 20°C.

Στατιστικά στοιχεία θερμοκρασιακών μεταβολών περιβάλλοντος στην περιοχή της Φλώρινας (πηγή ΕΜΥ)



Ενδεικτικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος για υπέργεια κτήρια

Εποχή	Συντελεστής σπουδαιότητας	Θερμοκρασία $T_{out}$ σε °C
Καλοκαίρι	0,5 στιλπνή επιφάνεια	$T_{max} + T_3$
	0,7 ελαφρά χρωματισμένη	$T_{max} + T_4$
	0,9 σκούρα επιφάνεια	$T_{max} + T_5$
Χειμώνας		$T_{min}$
ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Οι τιμές της μέγιστης θερμοκρασίας περιβάλλοντος υπό σκιά $T_{max}$ , της ελάχιστης θερμοκρασίας περιβάλλοντος υπό σκιά $T_{min}$ , και των επιδράσεων ηλιακής ακτινοβολίας $T_3$ , $T_4$ , και $T_5$ , μπορούν να καθορίζονται στο Εθνικό Προσάρτημα. Εάν δεν υπάρχουν δεδομένα για περιοχές μεταξύ γεωγραφικού μήκους 45°N και 55°N, συνιστώνται οι τιμές $T_3=0^{\circ}\text{C}$ , $T_4=2^{\circ}\text{C}$ , και $T_5=4^{\circ}\text{C}$ για βορειοανατολικά προσανατολισμένα στοιχεία, και $T_3=18^{\circ}\text{C}$ , $T_4=30^{\circ}\text{C}$ , και $T_5=42^{\circ}\text{C}$ για νοτιοδυτικά προσανατολισμένα στοιχεία.		

		$\Delta T + T_i$
Ελάχιστη μηνιαία	-3,1	-23,10
Μέγιστη μηνιαία	29	11,00
Μέση ετήσια	12,22	

### 3.3 Συνδυασμοί δράσεων

Ανάλογα με το είδος, τη μορφή και τη θέση της κατασκευής, προσδιορίζονται οι διάφορες *χαρακτηριστικές τιμές* των δράσεων, οι οποίες επενεργούν σ' αυτήν. Οι δράσεις αυτές, πολλαπλασιασμένες με κατάλληλους συντελεστές (επιμέρους συντελεστές ασφαλείας  $\gamma_i$ ), συνδυάζονται μεταξύ τους καταλλήλως (συντελεστές συνδυασμού  $\psi$ ) για κάθε οριακή κατάσταση και στη συνέχεια εφαρμόζονται επί του φορέα. Είναι προφανές ότι οι δράσεις που υπεισέρχονται στους συνδυασμούς ενεργούν ταυτόχρονα.

Οριακές καταστάσεις είναι οι καταστάσεις πέρα των οποίων ο φορέας ή τμήμα αυτού δεν ικανοποιεί πλέον τα κριτήρια σχεδιασμού του.

Διακρίνονται οι παρακάτω δύο κατηγορίες:

- Οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ)
- Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (ΟΚΛ)

Οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας χρησιμοποιούνται, προκειμένου να ληφθούν υπόψη πιθανές δυσμενείς αποκλίσεις ή πιθανή μη ακριβής προσομοίωση των δράσεων, καθώς και αβεβαιότητες στον προσδιορισμό των αποτελεσμάτων των δράσεων (εντατικά μεγέθη, μετακινήσεις κλπ.).

#### 3.3.1 Οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ)

Σύνολο συνδυασμών που αναφέρονται σε φαινόμενα της κατασκευής κατά τα οποία ο φορέας ή ένα μέρος του χάνει τη στατική του λειτουργία. Η αστοχία δεν αναφέρεται αποκλειστικά σε φαινόμενα κατάρρευσης της κατασκευής, αλλά και σε αστοχία μεμονωμένων μελών της.



Σύμφωνα με τα πρότυπα του ευρωκώδικα οι οριακές καταστάσεις που πρέπει να εξετάζονται κατά τον τεχνικό σχεδιασμό έργων είναι οι εξής:

*EQU*: Απώλεια στατικής ισορροπίας του φορέα ή οποιουδήποτε μέρους, θεωρώντας τον ως άκαμπτο στερεό σώμα

*STR*: Εσωτερική αστοχία ή υπερβάλλουσα παραμόρφωση του φορέα ή των δομικών μερών, όπως των υποστυλωμάτων, των δοκών, των θεμελιώσεων κ.τ.λ.

*GEO*: Αστοχία ή υπερβάλλουσα παραμόρφωση του εδάφους.

*FAT*: Αστοχία λόγω κόπωσης του φορέα ή των δομικών μερών του.

Οι συνδυασμοί σχεδιασμού σε οριακή κατάσταση αστοχίας που ελέγχονται στην εκάστοτε περίπτωση είναι οι εξής:

1. Για καταστάσεις διάρκειας ή παροδικές, οι οποίες αναφέρονται σε συνθήκες κανονικής χρήσης ή κατά την διάρκεια εκτέλεσης ή επισκευής του έργου:

$$\sum \gamma_{G,j} * G_{k,j} \text{ “+” } \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} \text{ “+” } \sum \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i \neq 1}$$

2. Για τυχηματικές καταστάσεις, που αναφέρονται σε εξαιρετικές καταστάσεις (εκρήξεις, προσκρούσεις οχημάτων κ.α.):

$$\sum G_{k,j} \text{ “+” } A_d \text{ “+” } (\psi_{1,1} \text{ ή } \psi_{2,1}) * Q_{k,1} \text{ “+” } \sum \psi_{2,i} * Q_{k,i \neq 1}$$

3. Για καταστάσεις σεισμού:

$$\sum G_{k,j} \text{ “+” } A_{Ed} \text{ “+” } \sum \psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

Ο συμβολισμός στις παραπάνω καταστάσεις έχει ως εξής:

“+”’: “επαλληλία με” και όχι “απλή άθροιση”

$G_{k,j}$ : χαρακτηριστική τιμή των μόνιμων δράσεων

$Q_{k,1}$ : χαρακτηριστική τιμή της επικρατέστερης μεταβλητής δράσης  $k$

$Q_{k,i \neq 1}$ : χαρακτηριστικές τιμές των υπόλοιπων μεταβλητών δράσεων  $k,i$  εκτός αυτής για  $i=1$

$A_d$ : τιμή σχεδιασμού της τυχηματικής δράσης σχεδιασμού

$A_E$ : τιμή σχεδιασμού της σεισμικής δράσης σχεδιασμού

$\gamma_{G,j}$ : επιμέρους συντελεστής ασφαλείας των μόνιμων δράσεων  $i$

$\gamma_{Q,j}$ : επιμέρους συντελεστής ασφαλείας των μεταβλητών δράσεων  $j$

$\psi_{0,i}, \psi_{1,i}, \psi_{2,i}$ : συντελεστές συνδυασμού  $\psi_i$  των μεταβλητών δράσεων

Action	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Imposed loads in buildings, category (see EN 1991-1-1)			
Category A : domestic, residential areas	0,7	0,5	0,3
Category B : office areas	0,7	0,5	0,3
Category C : congregation areas	0,7	0,7	0,6
Category D : shopping areas	0,7	0,7	0,6
Category E : storage areas	1,0	0,9	0,8
Category F : traffic area, vehicle weight $\leq 30\text{kN}$	0,7	0,7	0,6
Category G : traffic area, $30\text{kN} < \text{vehicle weight} \leq 160\text{kN}$	0,7	0,5	0,3
Category H : roofs	0	0	0
Snow loads on buildings (see EN 1991-1-3)*			
Finland, Iceland, Norway, Sweden	0,70	0,50	0,20
Remainder of CEN Member States, for sites located at altitude $H > 1000\text{ m a.s.l.}$	0,70	0,50	0,20
Remainder of CEN Member States, for sites located at altitude $H \leq 1000\text{ m a.s.l.}$	0,50	0,20	0
Wind loads on buildings (see EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Temperature (non-fire) in buildings (see EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
NOTE The $\psi$ values may be set by the National annex.			
* For countries not mentioned below, see relevant local conditions.			

Συντελεστές συνδυασμού  $\psi_i$  των μεταβλητών δράσεων

Persistent and transient design situations	Permanent actions		Leading variable action (*)	Accompanying variable actions	
	Unfavourable	Favourable		Main (if any)	Others
(Eq. 6.10)	$\gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
(*) Variable actions are those considered in Table A1.1					
NOTE 1 The $\gamma$ values may be set by the National annex. The recommended set of values for $\gamma$ are :					
$\gamma_{G,j,sup} = 1,10$					
$\gamma_{G,j,inf} = 0,90$					
$\gamma_{Q,1} = 1,50$ where unfavourable (0 where favourable)					
$\gamma_{Q,i} = 1,50$ where unfavourable (0 where favourable)					
NOTE 2 In cases where the verification of static equilibrium also involves the resistance of structural members, as an alternative to two separate verifications based on Tables A1.2(A) and A1.2(B), a combined verification, based on Table A1.2(A), may be adopted, if allowed by the National annex, with the following set of recommended values. The recommended values may be altered by the National annex.					
$\gamma_{G,j,sup} = 1,35$					
$\gamma_{G,j,inf} = 1,15$					
$\gamma_{Q,1} = 1,50$ where unfavourable (0 where favourable)					
$\gamma_{Q,i} = 1,50$ where unfavourable (0 where favourable)					
provided that applying $\gamma_{G,j,inf} = 1,00$ both to the favourable part and to the unfavourable part of permanent actions does not give a more unfavourable effect.					

Τιμές σχεδιασμού δράσεων EQU

Persistent and transient design situations	Permanent actions		Leading variable action	Accompanying variable actions (*)	
	Unfavourable	Favourable		Main (if any)	Others
(Eq. 6.10)	$\gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

Τιμές σχεδιασμού δράσεων **STR/GEO**

Design situation	Permanent actions		Leading accidental or seismic action	Accompanying variable actions (**)	
	Unfavourable	Favourable		Main (if any)	Others
Accidental (*) (Eq. 6.11a/b)	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$A_d$	$\psi_{1,1}$ or $\psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$
Seismic (Eq. 6.12a/b)	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$A_{Ed} = \gamma A_{Ek}$		$\psi_{2,i} Q_{k,i}$

(\*) In the case of accidental design situations, the main variable action may be taken with its frequent or, as in seismic combinations of actions, its quasi-permanent values. The choice will be in the National annex, depending on the accidental action under consideration. See also EN 1991-1-2.

(\*\*) Variable actions are those considered in Table A1.1.

Τιμές σχεδιασμού δράσεων **ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ** και -λοιπών- **ΤΥΧΗΜΑΤΙΚΩΝ** συνδυασμών

Ο έλεγχος των καταστάσεων αστοχίας που αναφέρονται στη στατική ισορροπία του φορέα (**EQU**), γίνεται με την παρακάτω συνθήκη

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stb}$$

Όπου:

$E_{d,dst}$  Η τιμή σχεδιασμού των αποσταθεροποιητικών δράσεων (**DeStabilizing**)

$E_{d,stb}$  Η τιμή σχεδιασμού του αποτελέσματος των δράσεων που συμβάλλουν στην ευστάθεια (**Stabilizing**)

Ο έλεγχος των καταστάσεων αστοχίας ή υπερβολικής παραμόρφωσης ενός μέλους, μίας διατομής ή μίας σύνδεσης (**STR** και/ή **GEO**) θα γίνεται με βάση την παρακάτω συνθήκη:

$$E_d \leq R_d$$

Όπου:

$E_d$  Η τιμή σχεδιασμού του αποτελέσματος των δράσεων (εντατικά μεγέθη)

$R_d$  Η τιμή σχεδιασμού της αντίστοιχης αντοχής (διαστασιολόγηση)

Για την παρούσα μελέτη, οι αρχικές εξισώσεις ΟΚΑ διαμορφώνονται ως εξής:

1) Καταστάσεις **διαρκείας**

a) Κύρια μεταβλητή το κινητό φορτίο  $Q$

$$1,35*G + 1,35*G' + 1,5*Q$$

$$1,35*G + 1,35*G' + 1,5*Q \pm 1,5*0,6*W_x \pm 1,5*0,6*W_y$$

b) Κύρια μεταβλητή ο άνεμος  $W_x$ , κατά την διεύθυνση  $x$

$$1,35*G \pm 1,5 *W_x + 1,5*0,7*Q \pm 1,5*0,6*W_y$$

c) Κύρια μεταβλητή ο άνεμος  $W_y$ , κατά την διεύθυνση  $y$

$$1,35*G \pm 1,5*W_y + 1,5*0,7*Q \pm 1,5*0,6*W_x$$

2) Καταστάσεις **σεισμού**

a) Κύρια μεταβλητή ο σεισμός  $E_x$ , κατά την διεύθυνση  $x$

$$G \pm E_x + 0,3*Q \pm 0,3*E_y$$

b) Κύρια μεταβλητή ο σεισμός  $E_y$ , κατά την διεύθυνση  $y$

$$G \pm E_y + 0,3*Q \pm 0,3*E_x$$

### 3.3.2 Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (ΟΚΛ)

Οι οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας αφορούν δεν αφορούν την απώλεια κάποιου χαρακτηριστικού της κατασκευής (αντοχής, ισορροπίας κτλ), αλλά το σύνολο των λειτουργικών απαιτήσεων που καλείται να αντέξει -με προδιαγεγραμμένο τρόπο- ο φορέας ή μεμονωμένα μέλη του υπό καθημερινές συνθήκες χρήσης. Τα κριτήρια στα οποία βασίζεται ο έλεγχος των οριακών καταστάσεων λειτουργικότητας είναι

- Ο περιορισμός των **παραμορφώσεων** των μελών που επηρεάζουν την εμφάνιση και την λειτουργία της κατασκευής (υπερβολικά βέλη δοκών, δυσλειτουργία κουφωμάτων κ.α.).
- Ο περιορισμός των **δονήσεων** οι οποίες προκαλούν ενόχληση στους χρήστες και περιορίζουν την αποδοτικότητα του έργου
- Ο περιορισμός των **βλαβών** που μπορούν να επηρεάσουν την εμφάνιση, την ανθεκτικότητα και την λειτουργία του έργου

Γενικά οι οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας κατατάσσονται σε αναστρέψιμες και μη καταστάσεις, ανάλογα με το αν μετά το πέρας του εκάστοτε συνδυασμού φόρτισης παραμένει ή όχι αντίστοιχα κάποια συνέπεια στον φορέα της κατασκευής

Οι **συνδυασμοί σχεδιασμού σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας** που ελέγχονται στην εκάστοτε περίπτωση είναι οι εξής:

a) Χαρακτηριστικός συνδυασμός

$$\Sigma G_{k,j} \text{ “+” } Q_{k,l} \text{ “+” } \Sigma \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

b) Συχνός σχεδιασμός

$$\Sigma G_{k,j} \text{ “+” } \psi_{1,l} * Q_{k,l} \text{ “+” } \Sigma \psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

c) Οιονεί μόνιμος σχεδιασμός

$$\Sigma G_{k,j} \text{ “+” } \Sigma \psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

Σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας οι επιμέρους συντελεστές για τις δράσεις λαμβάνονται ίσοι με 1 εκτός και αν ορίζεται κάτι διαφορετικό στους EC1 έως EC9.

Έλεγχος της Οριακής Κατάστασης Λειτουργικότητας γίνεται με τη συνθήκη:

$$E_d \leq C_d$$

όπου

$E_d$ : είναι η οριακή τιμή σχεδιασμού του αντίστοιχου κριτηρίου λειτουργικότητας

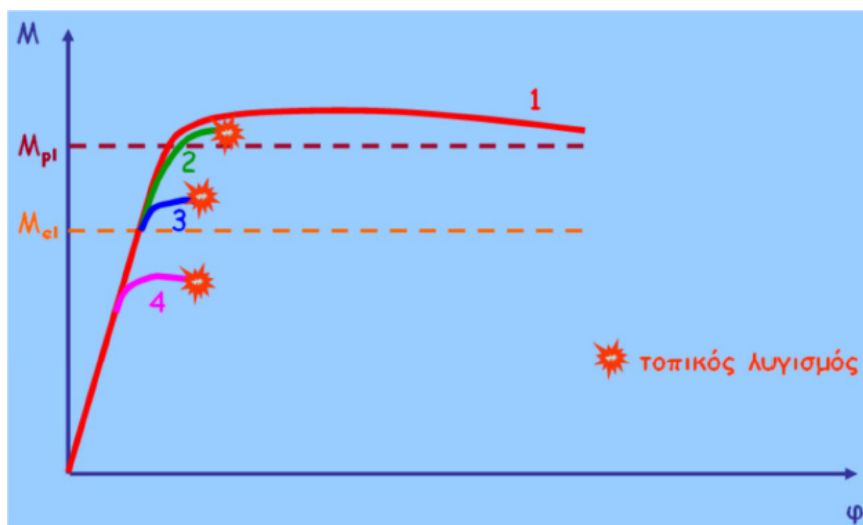
$C_d$ : είναι η τιμή των αποτελεσμάτων των δράσεων που προκύπτουν από τον εκάστοτε συνδυασμό λειτουργικότητα.μπεράσματα

## 4 Έλεγχοι στην οριακή κατάσταση αστοχίας

### 4.1 Κατάταξη διατομών κατά τον Ευρωκώδικα 3

Η κατάταξη των διατομών αναφέρεται στην παράγραφο 5.5 του Ευρωκώδικα 3 (EN 1993) σύμφωνα με την οποία οι διατομές ψυχρής ελάσεως κατατάσσονται -συνήθως- σε κατηγορία 4. Η κατάταξη των διατομών δείχνει την ικανότητα της διατομής να αποφύγει τον τοπικό λυγισμό. Για να γίνουν μόνωση και έλεγχοι του φορέα κατάλληλοι της φύσης των μελών του, η κατάταξη των διατομών γίνεται στις εξής 4 κατηγορίες, βάσει της γεωμετρίας τους:

- *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.
- *Διατομές κατηγορίας 2:* είναι εκείνες που μπορούν να αναπτύξουν την πλαστική ροπή αντοχής τους, αλλά έχουν περιορισμένη δυνατότητα στροφής λόγω τοπικού λυγισμού.
- *Διατομές κατηγορίας 3:* είναι εκείνες στις οποίες η τάση στην ακραία θλιβόμενη ίνα του χαλύβδινου μέλους -υποθέτοντας ελαστική κατανομή των τάσεων- μπορεί να φθάσει την αντοχή διαρροής, αλλά τοπικός λυγισμός είναι πιθανόν να εμποδίσει την ανάπτυξη της πλαστικής ροπής αντοχής.
- *Διατομές κατηγορίας 4:* είναι εκείνες στις οποίες τοπικός λυγισμός θα συμβεί πριν την ανάπτυξη της τάσης διαρροής σε κάποιο μέρος της διατομής.



Συμπεριφορά μελών σε κάμψη ανάλογα με την κατηγορία διατομής τους

Κριτήριο κατάταξης των μεταλλικών μελών είναι ο λόγος πλάτους/πάχους ( $c/t$ ) του εκάστοτε θλιβόμενου στοιχείου της διατομής (πέλματος και κορμού). Στα θλιβόμενα στοιχεία συγκαταλέγονται όλα όσα θλιβονται σε κάποιο ποσοστό (θλιβόμενα, καμπτόμενα και σύνθετα καταπονούμενα). Στον Ευρωκώδικα 3 παρέχονται οι παρακάτω πίνακες που καθορίζουν τα όρια κατάταξης των διατομών.

Εσωτερικά θλιβόμενα τμήματα						
				Άξονας κάμψης		
				Άξονας Κάμψης		
Κατηγορία	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη	Τμήμα που υπόκειται σε θλίψη	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη και θλίψη			
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)						
1	$c/t \leq 72 \cdot \epsilon$	$c/t \leq 33 \cdot \epsilon$	όταν $a > 0,5$ : $c/t \leq \frac{396 \cdot \epsilon}{13 \cdot a - 1}$ όταν $a \leq 0,5$ : $c/t \leq \frac{36 \cdot \epsilon}{a}$			
2	$c/t \leq 83 \cdot \epsilon$	$c/t \leq 38 \cdot \epsilon$	όταν $a > 0,5$ : $c/t \leq \frac{456 \cdot \epsilon}{13 \cdot a - 1}$ όταν $a \leq 0,5$ : $c/t \leq \frac{41,5 \cdot \epsilon}{a}$			
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)						
3	$c/t \leq 124 \cdot \epsilon$	$c/t \leq 42 \cdot \epsilon$	$\psi > -1$ : $c/t \leq \frac{42 \cdot \epsilon}{0,67 + 0,33 \cdot \psi}$ $\psi \leq -1^*)$ : $c/t \leq 62 \cdot \epsilon \cdot (1 - \psi) \cdot \sqrt{(-\psi)}$			
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$\epsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Κατάταξη εσωτερικών ελασμάτων (EN 1993-1-1 §5.5, Πιν. 5,2α)

**Προεξέχοντα πέλατα**

Ελατές διατομές

Συγκολλητές διατομές

Κατηγορία	Τμήμα που υπόκειται σε θλίψη	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη και θλίψη				
		Άκρο σε θλίψη	Άκρο σε εφελκυσμό			
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)						
1	$c/t \leq 9 \cdot \epsilon$	$c/t \leq \frac{9 \cdot \epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9 \cdot \epsilon}{\alpha \cdot \sqrt{\alpha}}$			
2	$c/t \leq 10 \cdot \epsilon$	$c/t \leq \frac{10 \cdot \epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10 \cdot \epsilon}{\alpha \cdot \sqrt{\alpha}}$			
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)						
3	$c/t \leq 14 \cdot \epsilon$	$c/t \leq 21 \cdot \epsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}$ Για $k_\sigma$ βλέπε EN 1993-1-5				
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$\epsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

*Κατάταξη προεξέχοντων ελασμάτων (EN 1993-1-1 §5.5, Πιν. 5.2β)*

**Γωνιακά**

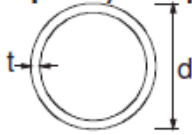
Δεν ισχύει για γωνιακά σε συνεχή επαφή με άλλα στοιχεία

Αναφορά επίσης στα "Προεξέχοντα πέλατα" (βλέπε Πιν. 5.2β)

Κατηγορία	Διατομή σε θλίψη
Κατανομή τάσεων στη διατομή (θλίψη θετική)	
3	$h/t \leq 15 \cdot \epsilon : \frac{b+h}{2 \cdot t} \leq 11,5 \cdot \epsilon$

*Κατάταξη γωνιακών διατομών (EN 1993-1-1 §5.5, Πιν. 5.2γ)*



Σωληνωτές διατομές						
						
Κατηγορία	Διατομή σε κάμψη και/ή θλίψη					
1	$d/t \leq 50 \cdot \epsilon^2$					
2	$d/t \leq 70 \cdot \epsilon^2$					
3	$d/t \leq 90 \cdot \epsilon^2$					
	<b>ΣΗΜΕΙΩΣΗ</b> Για $d/t > 90 \cdot \epsilon^2$ βλέπε EN 1993-1-6.					
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$\epsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	$\epsilon^2$	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

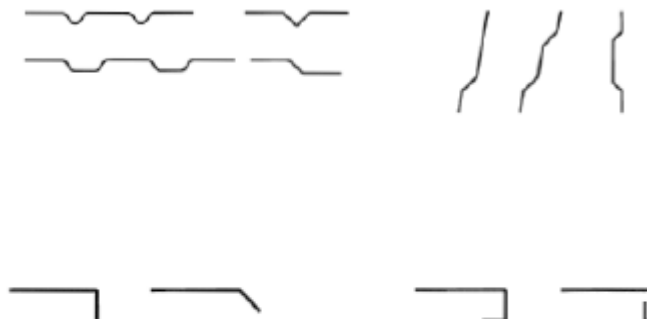
Κατάταξη σωληνωτών διατομών (EN 1993-1-1 §5.5, Πιν. 5,2γ συνέχεια)

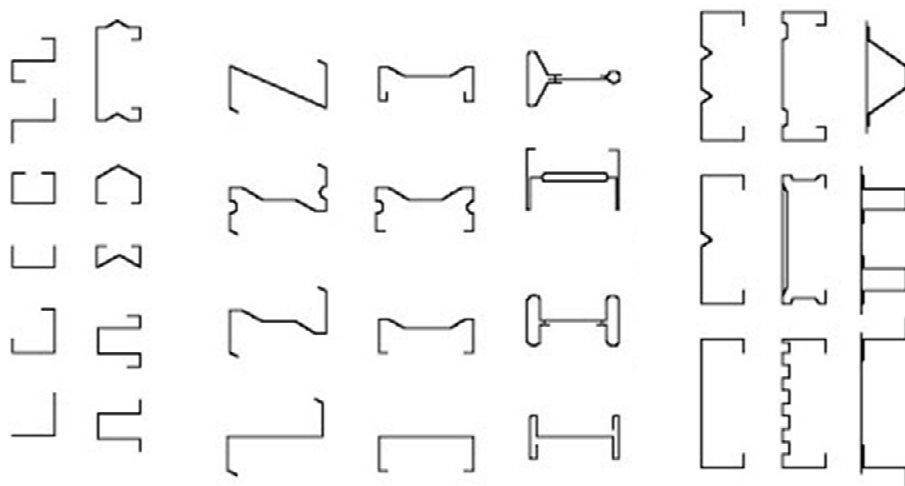
## 4.2 Διατομές κατηγορίας 4 εν ψυχρώ κατεργασίας

Τα μέλη που σχηματίζονται από διατομές που ανήκουν στην κατηγορία 4, χαρακτηρίζονται από το εξαιρετικά μικρό πάχος τους, με αποτέλεσμα να καθίστανται εξαιρετικά εύκαμπτα. Συνεπώς, οι εν λόγω διατομές είναι εξαιρετικά ευαίσθητες σε φαινόμενα κύρτωσης των επί μέρους στοιχείων τους (τοπικός λυγισμός). Έτσι τα μέλη που κατατάσσονται στην κατασκευαστική κατηγορία 4, όταν ελέγχονται σε φαινόμενα τοπικής αστάθειας, ελέγχονται άμεσα και σε επίπεδο διατομής. Οι έλεγχοι βασίζονται στη θεώρηση ενεργών εμβαδών των διατομών και σε ελαστική ανάλυση των μελών αποτελούμενων τα  $A_{eff}$ .

### 4.2.1 Ενισχύσεις διατομών

Οι διατομές μέσω της ψυχρής κατεργασίας που υφίστανται, υπάρχει η δυνατότητα να εμφανίζουν τοπικά τσακίσματα στους κορμούς, στα πέλματα ή στα άκρα τους, τα οποία ονομάζονται ενισχύσεις. Οι ενισχύσεις έχουν σκοπό την αύξηση της τοπικής ακαμψίας του στοιχείου της διατομής και συνεπακόλουθα την αύξηση του ενεργού πλάτους του. Σύμφωνα με τον EN1993-1-3 επιτρέπονται μέχρι δύο ενισχύσεις στους κορμούς και στα πέλματα ενώ στο άκρο επιτρέπονται μέχρι τρεις, αλλά γενικά θεωρεί ότι οι δύο συμμετέχουν στην ανάλυση.





Είδη διαμορφούμενων ενισχύσεων


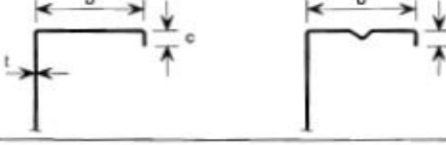


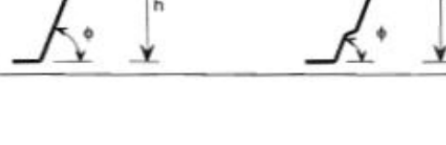
#### 4.2.2 Μοντελοποίηση ενισχύσεων

Για τον υπολογισμό των ενεργών εμβαδών των διατομών, απαιτείται η δημιουργία του στατικού προσομοιώματος του εκάστοτε στοιχείου της διατομής. Γενικά, οι ενισχύσεις αντικαθίστανται από μετακινησιακό ελατήριο σταθεράς  $k$ , ενώ τα σημεία τομής των υπολοίπων στοιχείων ως στηρίξεις που διαθέτουν μερική στροφική δέσμευση.

Type of element	Model	Type of element	Model

#### 4.2.3 Γεωμετρικοί περιορισμοί μόνρφωσης ενισχύσεων

Για να εξασφαλισθεί επαρκής ακαμψία των διατομών και να διασφαλισθεί η ακεραιότητα των ενισχύσεων έναντι πρόωρου τοπικού λυγισμού αλλά και η σωστή συνεργασία τους με την υπόλοιπη διατομή, τίθενται οι παρακάτω περιορισμοί για τους μέγιστους λόγους πάχους-πλάτους σύμφωνα με τον EN1993-1-3.

Element of cross-section		Maximum value
		$b/t \leq 50$
		$b/t \leq 60$ $c/t \leq 50$
		$b/t \leq 90$ $c/t \leq 60$ $d/t \leq 50$
		$b/t \leq 500$
		$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ $h/t \leq 500 \sin \phi$

### 4.3 Τοπικός λυγισμός - Ενεργά πλάτη στοιχείων

Για να ληφθούν υπ' όψη τα φαινόμενα κύρτωσης και στρέβλωσης -και κατά συνέπεια μη γραμμικές παραμορφώσεις στις διατομές-, εφαρμόζεται η μέθοδος των ενεργών διατομών. Υιοθετείται μία ισοδύναμη παραμορφωσιακή κατάσταση κατά την οποία θεωρείται ότι στις στηρίξεις των διατομών εμφανίζεται η τάση διαρροής, με ταυτόχρονη απομείωση του εμβαδού. Ο υπολογισμός του ενεργού εμβαδού των διατομών κατηγορία 4 βασίζεται στον υπολογισμό των ενεργών πλατών των στοιχείων που απαρτίζουν την διατομή. Τα ενεργά πλάτη των διατομών δεν είναι σταθερά μεγέθη και εξαρτώνται από τον εκάστοτε τύπο και τις συνθήκες φόρτισης.

#### I. Στοιχεία χωρίς ενισχύσεις

Η ενεργός επιφάνεια  $A_p$ , της θλιβόμενης ζώνης, ενός ελάσματος με πλήρη επιφάνεια διατομής  $A_c$ , πρέπει να λαμβάνεται από:

$$A_{c,eff} = \rho \times A_c$$

όπου  $\rho$  είναι ο μειωτικός συντελεστής για την κύρτωση.

Ο μειωτικός συντελεστής  $\rho$  μπορεί να λαμβάνεται ως εξής:

- i. εσωτερικά θλιβόμενα στοιχεία:

$$\rho = 1,0$$

$$\text{για } \bar{\lambda}_p \leq 0,673$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0$$

$$\text{για } \bar{\lambda}_p > 0,673, \text{ όπου } (3 + \psi) \geq 0$$

ii. εξωτερικά θλιβόμενα στοιχεία:

$$\rho = 1,0$$

$$\text{για } \bar{\lambda}_p \leq 0,748$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0$$

$$\text{για } \bar{\lambda}_p > 0,748$$

Όπου:  $\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}}$  είναι η ανηγμένη λυγηρότητα του μέλους

$\psi$  είναι ο λόγος τάσεων που προσδιορίζεται σύμφωνα με τον πίνακα

$\bar{b}$  είναι το κατάλληλο πλάτος

$b_w$  για κορμούς

$k_\sigma$  είναι ο συντελεστής κύρτωσης που αντιστοιχεί στο λόγο τάσεων  $\psi$  και στις συνοριακές συνθήκες.

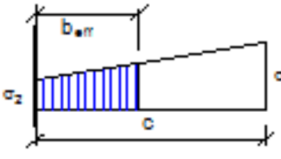
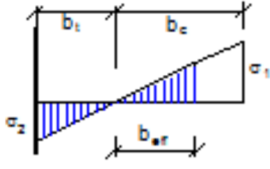
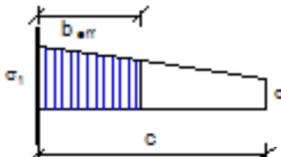
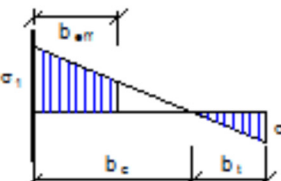
$t$  είναι το πάχος του στοιχείου

$\sigma_{cr}$  είναι η ελαστική κρίσιμη τάση κύρτωσης,

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y [N/mm^2]}}$$

Κατανομή τάσεων (θλίψη θετική)	Ενεργό $\rho$ πλάτος $b_{eff}$
	$\psi = 1:$ $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5 b_{eff} \quad b_{e2} = 0,5 b_{eff}$
	$1 > \psi > 0:$ $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5 - \psi} b_{eff} \quad b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$
	$\psi < 0:$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$ $b_{e1} = 0,4 b_{eff} \quad b_{e2} = 0,6 b_{eff}$
$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1 $1 > \psi > 0$ 0 $0 > \psi > -1$ -1 $-1 > \psi > -3$
Συντελεστής κύρτωσης $k_\sigma$	4,0 $8,2 / (1,05 + \psi)$ 7,81 $7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$ 23,9 $5,98 (1 - \psi)^2$

Πίνακας ενεργών πλατών για εσωτερικά στοιχεία

Κατανομή τάσεων (θλίψη θετική)		Ενεργό ρ πλάτος $b_{eff}$			
		$1 > \psi > 0 :$ $b_{eff} = \rho \bar{c}$			
		$1 > \psi > 0 :$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	0	-1	$-1 \geq \psi \geq -3$	
Συντελεστής κύρτωσης $k_c$	0,43	0,57	0,85	$0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2$	
		$1 > \psi > 0 :$ $b_{eff} = \rho b_c$			
		$\psi < 0 :$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$1 > \psi > 0$	-1
Συντελεστής κύρτωσης $k_c$	0,43	$0,578 / (\psi + 0,34)$	1,70	$1,7 - 5\psi + 17,1\psi^2$	23,8

Πίνακας ενεργών πλατών για εξωτερικά στοιχεία

#### 4.4 Αξονικός εφελκυσμός

Η αντοχή διατομής σε αξονικό εφελκυσμό δίνεται από τη σχέση:

$$N_{t,Rd} = f_{ya} \times A_g / \gamma_{M0} \leq F_{n,Rd}$$

όπου

$A_g$  Εμβαδόν πλήρους διατομής

$F_{n,Rd}$  Αντοχή διατομής με σπές

$f_{ya}$  Μέση τιμή ορίου διαρροής

#### 4.5 Αξονική θλίψη-τοπικός λυγισμός

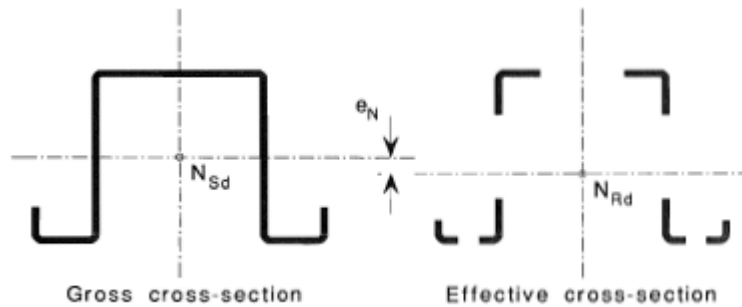
Η αντοχή διατομής σε αξονική θλίψη δίνεται από τις παρακάτω σχέσεις :

$$N_{c,Rd} = f_{yb} \times A_{eff} / \gamma_{M1} \quad \text{αν } A_{eff} < A_g$$

$$N_{c,Rd} = f_{ya} \times A_g / \gamma_{M0} \quad \text{αν } A_{eff} = A_g$$

Όπου:  
 $A_{eff}$  Εμβαδόν ενεργού διατομής  
 $f_{yb}$  Βασικό όριο διαρροής υλικού

Για μέλη που υπόκεινται σε αξονική θλίψη, οι δρώσες δυνάμεις εξασκούνται στο κέντρο βάρους της *καθαρής* διατομής, ενώ η αντοχή υπολογίζεται στο κέντρο βάρους της *ενεργού* διατομής. Σε περίπτωση που τα κέντρα βάρους των δύο διατομών δεν συμπίπτουν προκαλείται σχετική μετατόπιση  $e_N$ , με αποτέλεσμα να εμφανίζονται πρόσθετες ροπές  $\Delta M = e_N \times N_{c,Rd}$ , όπου -σε περίπτωση *δυσμενούς* επιρροής- θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη στους υπολογισμούς, αλλιώς μπορεί να αγνοηθούν υπέρ της ασφαλείας.



Ενεργός διατομή υπό θλίψη

#### 4.6 Μονοαξονική κάμψη

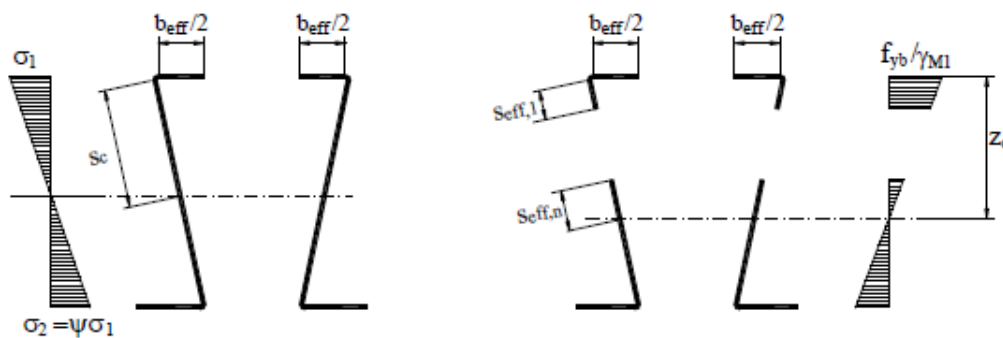
Η ελαστική αντοχή διατομής σε *τοπικό* καμπτικό λυγισμό δίνεται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$M_{c,Rd} = f_{yb} \times W_{eff} / \gamma_{M1} \quad \text{αν } W_{eff} < W_{el}$$

$$M_{c,Rd} = f_{ya} \times W_{el} / \gamma_{M0} \quad \text{αν } W_{eff} = W_{el}$$

Όπου:  
 $W_{eff}$  Η ελαστική ροπή αντίστασης της ενεργού διατομής  
 $W_{el}$  Η ελαστική ροπή αντίστασης της πλήρους διατομής

Για τον υπολογισμό των τάσεων  $\sigma_1$  και  $\sigma_2$  λαμβάνεται υπόψιν το κέντρο βάρους της ενεργού διατομής που έχει προκύψει από την ενδεχόμενη αξονική θλίψη που μπορεί να συνυπάρχει.



#### 4.6.1 Ελαστοπλαστική αντοχή

Σε περιπτώσεις που η πρώτη διαρροή εμφανίζεται στην εφελκυσμένη ζώνη της διατομής, ο κανονισμός επιτρέπει την αξιοποίηση πλαστικών αποθεμάτων, σε περίπτωση που ικανοποιούνται οι παρακάτω πρόσθετες προϋποθέσεις:

- i. Η διατομή καταπονείται σε μοναξονική κάμψη ως προς κύριο άξονα
- ii. Το μέλος δεν υπόκειται σε στρέψη, στρεπτικό ή στρεπτοκαμπτικό λυγισμό
- iii. Τα θλιβόμενα μέρη της διατομής δεν υπόκειται σε κύτρωση με στρέβλωση της διατομής
- iv. Η γωνία μεταξύ όλων των κορμών και της κατακορύφου δεν είναι μεγαλύτερη από 30°
- v. Το λοξό ύψος  $s_c$  του θλιβόμενου τμήματος του κορμού ικανοποιούν τη συνθήκη:

$$s_c \leq 1,11 \times (E/f_{yb})^{0,5} \times t \quad (\sim 33,18\epsilon)$$

- vi. Η θλιπτική ανηγμένη παραμόρφωση περιορίζεται σε  $\epsilon_{com,Ed} \leq C_y \times \epsilon_y / \gamma_{M1}$ , με  $\epsilon_y = f_{yb} / E$

Το  $C_y$  υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$\begin{aligned} - \text{αν } \frac{b_p}{t} &\leq 1,11 \sqrt{\frac{E}{f_{yb}}} [\cong 33,18\epsilon] & C_y &= 3 \\ - \text{αν } \frac{b_p}{t} &\geq 1,29 \sqrt{\frac{E}{f_{yb}}} [\cong 38,56\epsilon] & C_y &= 1 \\ - \text{αν } 1,11 \sqrt{\frac{E}{f_{yb}}} &< \frac{b_p}{t} < 1,29 \sqrt{\frac{E}{f_{yb}}} & [\text{δηλ. αν } 33,18\epsilon < \frac{b_p}{t} < 38,56\epsilon] \\ C_y &= 3 - \frac{\frac{b_p}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} - 1,11}{0,09} \left[ \cong 3 - \frac{\frac{b_p}{t} - 33,18\epsilon}{2,69\epsilon} \right] \end{aligned}$$

Ο συντελεστής  $C_y$  λαμβάνεται ίσος με 1 για μονοπρόχοντα και για μέλη με ακραίες ή ενδιάμεσες ενισχύσεις

Η ελαστοπλαστική ροπή αντοχής δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$M_{c,Rd} = f_{yb} \times \{W_{el} + (W_{pl} - W_{el}) \times 4 \times (1 - \lambda_{e,max} / \lambda_{e0})\} / \gamma_{M0} \leq W_{pl} \times f_{yb} / \gamma_{M0}$$

Όπου:

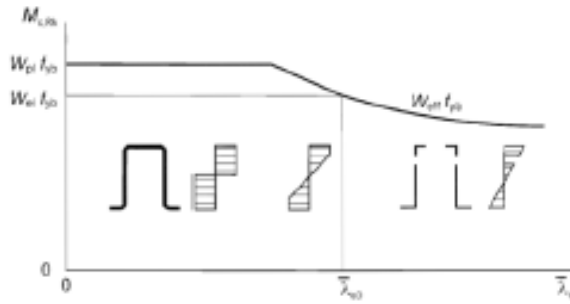
$W_{pl}$  Η πλαστική ροπή αντοχής

$\lambda_{e,max}$  Είναι η λυγηρότητα του στοιχείου που αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη τιμή του λόγου  $\lambda_e / \lambda_{e0}$

$\lambda_e / \lambda_{e0}$  Είναι η λυγηρότητα του κάθε στοιχείου και η λυγηρότητα αναφοράς του αντίστοιχα

- διπλά στηριζόμενα στοιχεία για  $\lambda_e = \lambda_p$   $\lambda_{e0} = 0,5 + \{0,25 - 0,055 \times (3 + \psi)\} \times 0,5$
- μονά στηριζόμενα στοιχεία για  $\lambda_e = \lambda_p$  ,  $\lambda_{e0} = 0,673$

Το  $\lambda_p$  υπολογίζεται από τους πίνακες ενεργών πλατών



#### 4.7 Διαξονική κάμψη

Ο έλεγχος διατομής σε διαξονική κάμψη γίνεται με την παρακάτω σχέση:

$$\frac{M_{y,Sd}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,Sd}}{M_{cz,Rd}} \leq 1$$

Όπου:

$M_{c,y,Rd}, M_{c,z,Rd}$  οι ροπές αντοχής σχεδιασμού της ενεργού διατομής  
 $M_{c,y,Ed}, M_{c,z,Ed}$  οι ροπές από εξωτερικά φορτία της πλήρους διατομής κατά τον άξονα y-y και z-z αντίστοιχα χωρίς να λαμβάνουν χώρα πλαστικοποιήσεις των διατομών.

#### 4.8 Θλίψη και διαξονική Κάμψη

Ο έλεγχος διατομής σε αξονική θλίψη και διαξονική κάμψη δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\frac{N_{Sd}}{f_y \cdot A_{eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Sd} + \Delta M_{y,Sd}}{f_y \cdot W_{eff,y,com} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Sd} + \Delta M_{z,Sd}}{f_y \cdot W_{eff,z,com} / \gamma_{M0}} \leq 1$$

Όπου:

$N_{Sd}$  Είναι η δράσα αξονική δύναμη σχεδιασμού  
 $M_{y,Sd}$  &  $M_{z,Sd}$  Είναι οι δράσεις ροπές από τα εξωτερικά φορτία ως προς το κέντρο βάρους της διατομής.  
 $\Delta M_{y,Sd}$  &  $\Delta M_{z,Sd}$  Είναι οι παρασιτικές ροπές λόγω μετατόπισης του κέντρου βάρους της διατομής λόγω τοπικού λυγισμού  
 $W_{eff,y,com}$  &  $W_{eff,z,com}$  Είναι η ροπή αντίστασης της ενεργού διατομής για μέγιστη θλιπτική τάση, αν υπόκεινται μόνο σε κάμψη περί τον y - y ή τον z-z άξονα αντίστοιχα.

Αν  $W_{eff,y,com} \geq W_{eff,y,ten}$  ή  $W_{eff,z,com} \geq W_{eff,z,ten}$ , η παραπάνω ανίσωση τροποποιείται ως:

$$\frac{M_{y,Sd} + \Delta M_{y,Sd}}{f_y \cdot W_{eff,y,ten} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Sd} + \Delta M_{z,Sd}}{f_y \cdot W_{eff,z,ten} / \gamma_{M0}} - \frac{\psi_{vec} \cdot N_{Sd}}{f_y \cdot A_g / \gamma_{M0}} \leq 1$$

Όπου:

$W_{eff,y,ten}$  Η ροπή αντίστασης της ενεργού διατομής για μοναξονική κάμψη ως προς τον ισχυρό άξονα, αν η μέγιστη τάση είναι εφελκυστική  
 $W_{eff,z,ten}$  Η ροπή αντίστασης της ενεργού διατομής για μοναξονική κάμψη ως προς τον ασθενή άξονα, αν η μέγιστη τάση είναι εφελκυστική  
 $\psi_{vec}$  Συντελεστής διανυσματικής επιρροής σύμφωνα με τον EN1993-1-1



## 4.9 Εφελκυσμός και διαξονική Κάμψη

Η έλεγχος διατομής σε αξονικό εφελκυσμό και διαξονική κάμψη δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\frac{N_{Sd}}{f_y \cdot A_g / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Sd}}{f_y \cdot W_{eff,y,ten} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Sd}}{f_y \cdot W_{eff,z,ten} / \gamma_{M0}} \leq 1$$

Αν  $W_{eff,y,com} < W_{eff,y,ten}$  ή  $W_{eff,z,com} < W_{eff,z,ten}$  ο έλεγχος τροποποιείται -αντίστοιχα με την προηγούμενη ενότητα- στην παρακάτω σχέση:

$$\frac{M_{y,Sd}}{f_y \cdot W_{eff,y,com} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Sd}}{f_y \cdot W_{eff,z,com} / \gamma_{M0}} - \frac{\psi_{vec} \cdot N_{Sd}}{f_y \cdot A_g / \gamma_{M0}} \leq 1$$

## 4.10 Διάτμηση

Σε φαινόμενα καθαρής διάτμησης δεν είναι ευδιάκριτο εκ των προτέρων αν η διατομή θα αστοχήσει τοπικά λόγω πρόωρου διατμητικού λυγισμού (κύρτωση) ή θα φτάσει την πλαστική διατμητική της αντοχή. Έτσι ο έλεγχος διάτμησης γίνεται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$V_{Rd} = \min \{ V_{b,Rd} ; V_{pl,Rd} \}$$

Η αντοχή σε διατμητική κύρτωση  $V_{b,Rd}$  υπολογίζεται από τη σχέση:

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin\varphi} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M1}}$$

Όπου:

- $f_{bv}$  Η οριακή τάση έναντι διατμητικής κύρτωσης
- $h_w$  Το ύψος κορμού μεταξύ μέσων γραμμών πέλματων
- $\varphi$  Η κλίση κορμού ως προς τα πέλματα

Η πλαστική αντοχή σε διάτμηση  $V_{pl,Rd}$  μίας διατομής δίνεται από τη σχέση:

$$V_{pl,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin\varphi} \cdot t \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}}$$

Όπου:

- $h_w$  Το ύψος του κορμού της διατομής
- $t$  Το πάχος του στοιχείου
- $\varphi$  Είναι η γωνία που σχηματίζει ο κορμός και το πέλμα
- $f_y$  Η τάση διαρροής του υλικού
- $f_{bv}$  Η αντοχή σε διατμητική κύρτωση που δίνεται στο παρακάτω απόσπασμα του EN 1993-1-3.

ανηγμένη λυγηρότητα	Κορμός χωρίς ακραίες ενισχύσεις	Κορμός με ακραίες ενισχύσεις <sup>1)</sup>
$\bar{\lambda}_w < 1,40$	$0,48 \cdot f_{yb} / \bar{\lambda}_w$	$0,48 \cdot f_{yb} / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,40$	$0,67 \cdot f_{yb} / \bar{\lambda}_w^2$	$0,48 \cdot f_{yb} / \bar{\lambda}_w$

<sup>1)</sup> Ακραίες ενισχύσεις, όπως γωνιακά, πέλματα κλπ., χρησιμοποιούνται για παρεμπόδιση των εγκάρσιων παραμορφώσεων του κορμού και διαστασιολογούνται για τη παραλαβή της αντίδρασης στήριξης

Ο υπολογισμός της ανηγμένης λυγηρότητας  $\bar{\lambda}_w$  του κορμού της διατομής γίνεται με την παρακάτω σχέση:

$$\bar{\lambda}_w = \sqrt{\frac{f_{yb} / \sqrt{3}}{\tau_{cr}}} \equiv \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot f_{yb}}{\sqrt{3} \cdot \pi^2 \cdot E \cdot k_\tau}}$$

Ανάλογα με τις εξασφάλισεις στον κορμό της διατομής, η ανωτέρω σχέση διαμορφώνεται:

- για κορμούς χωρίς διαμήκεις ενισχύσεις:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} \equiv \frac{s_w / t}{86,4 \cdot \varepsilon}$$

- για κορμούς με διαμήκεις ενισχύσεις:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_d}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} \equiv \frac{s_d / t}{86,4 \cdot \varepsilon} \sqrt{\frac{5,34}{k_\tau}} \quad \text{αλλά} \quad \bar{\lambda}_w \geq 0,346 \frac{s_p}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} \equiv \frac{s_p / t}{86,4 \cdot \varepsilon}$$

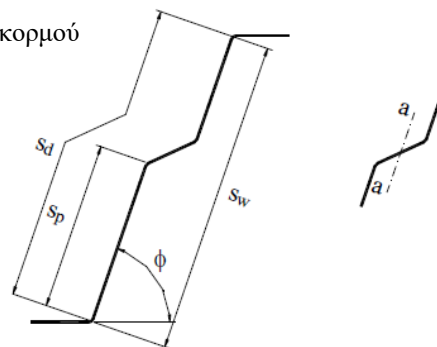
Όπου:

$k_\tau$  Ο συντελεστής κύρτωσης του κορμού της διατομής ίσος με:

$$k_\tau = 5,34 + \frac{2,10 \left( \frac{\Sigma I_s}{s_d} \right)^{1/3}}{t}$$

Όπου:

- $I_s$  Η ροπή αδρανείας διαμήκους ενίσχυσης, κατά την έννοια της παρ. 3.9.3.4.3, ως προς άξονα a - a
- $s_d$  Συνολικό μήκος αναπτύγματος του κορμού;
- $s_p$  Λοξό μήκος του μεγαλύτερου επίπεδου στοιχείου του κορμού
- $s_w$  Λοξό μήκος του κορμού μεταξύ μέσων των γωνιών



Η πλαστική αντοχή σε διάτμηση εξετάζεται μόνο όταν:

$$\lambda_w < 0,83 \times f_{yb} \times \gamma_{M0} / (f_y \times \gamma_{M1})$$

#### 4.11 Κάμψη και διάτμηση

Ο έλεγχος της διατομής σε κάμψη με συνύπαρξη τέμνουσας δύναμης γίνεται με την παρακάτω σχέση:

$$\left[ \frac{M_{Sd}}{M_{c,Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{V_{Sd}}{V_{w,Rd}} \right]^2 \leq 1$$

Όπου:

$M_{c,Rd}$  Η καμπτική αντοχή της διατομής

$V_{w,Rd}$  Η αντοχή του κορμού έναντι τέμνουσας

#### 4.12 Στρέψη

Γενικά, στρέψη σε ένα μέλος μπορεί να προκληθεί είτε *έμμεσα* (λόγω εκκεντρότητας φορτίων ή ροπών) είτε *άμεσα* (μέσω επιβαλλόμενων στρεπτικών ροπών ή στροφών). Ο άξονας περιστροφής των μελών ταυτίζεται με το Κέντρο Διάτμησης των διατομών. Σε περίπτωση που κανένα από τα παραπάνω φαινόμενα δεν λαμβάνει χώρα, τα μέλη δεν υπόκεινται σε στρεπτική καταπόνηση, κάτι το οποίο αποτελεί βασική επιδίωξη κατά τον σχεδιασμό διατομών.

Οι μηχανισμοί που μπορούν να προκαλέσουν στρεπτικές δράσεις στα μέλη και επαλληλίζονται στην εκάστοτε περίπτωση είναι οι εξής:

- Ομοιόμορφη στρέψη ή στρέψη κατά *Saint Venant*, κατά την οποία αναπτύσσεται διατμητική ροή κατά μήκος των διατομών ανάλογα με τα εντατικά μεγέθη στα οποία υπόκειται και την μορφή της διατομής. Σε περιπτώσεις διπλά συμμετρικής διατομής η στρέψη κατά *Saint Venant* μπορεί να αγνοηθεί καθώς το κέντρο διάτμησης ταυτίζεται με το κέντρο βάρους της διατομής. Στους υπολογισμούς υπεισέρχεται η σταθερά στρέψης  $I_t$  η οποία υπολογίζεται ως εξής:

- i. για ανοιχτές λεπτότοιχες διατομές:

$$I_t = (\sum b_i \times t_i^3) / 3$$

Όπου:

$i$  Ο αριθμός των ελασμάτων

$b_i \times t_i^3$  Το μήκος και το πάχος του ελάσματος  $i$

- ii. για κλειστές διατομές:

$$I_t = (4 \times A_m^2) / \int_{\text{επικ}} ds / t$$

Όπου:

$A_m$  το εμβαδόν της επιφάνειας των ελασμάτων που ορίζεται από την μέση γραμμή των στοιχείων τους  $ds$ ,  $t$  Το στοιχειώδες μήκος και πάχος του ελάσματος

- Ανομοιόμορφη στρέψη / στρέψη λόγω στρέβλωσης, κατά την οποία αναπτύσσεται ένα ζεύγος ίσων και αντίθετων ροπών  $M_f$  καθώς και τέμνουσα δύναμη  $V_f$ . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη τόσο ορθών όσο και διατμητικών τάσεων στα στοιχεία της διατομής. Σε περιπτώσεις κλειστών διατομών θεωρούμε απλοποιητικά ότι εμφανίζονται μόνο διατμητικές τάσεις. Στους υπολογισμούς υπεισέρχεται η σταθερά στρέβλωσης  $I_w$  η οποία υπολογίζεται ως εξής:

$$I_w = \int w^2 ds$$

Όπου:

$w = \int r_i ds$  Η συνάρτηση στρέβλωσης

$r_i$  Η απόστασή του στοιχείου από το κέντρο διάτμησης της διατομής

$ds$  Το στοιχειώδες μήκος κατά μήκος του πλακοειδούς στοιχείου

Έλεγχος διατομών:

$$1) \sigma_{tot,ed} \leq f_y / \gamma_{M0}$$

$$2) \tau_{tot,ed} \leq f_y / (\sqrt{3} \times \gamma_{M0})$$

$$3) \sqrt{\sigma_{tot,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{tot,Ed}^2} \leq 1,1 \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Όπου

$\sigma_{tot,Ed}$  Η συνισταμένη ορθή τάση λόγω εξωτερικών δράσεων

$\tau_{tot,Ed}$  Η συνισταμένη διατμητική τάση λόγω εξωτερικών δράσεων και υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις :

$$\sigma_{tot,Ed} = \sigma_{N,Ed} + \sigma_{M_y,Ed} + \sigma_{M_z,Ed} + \sigma_{w,Ed}$$

$$\tau_{tot,Ed} = \tau_{V_y,Ed} + \tau_{V_z,Ed} + \tau_{t,Ed} + \tau_{w,Ed}$$

Όπου:

$\sigma_{M_y,Ed}$  &  $\sigma_{M_z,Ed}$  ορθή τάση λόγω καμπτικής ροπής  $M_{y,Ed}$  &  $M_{z,Ed}$  αντίστοιχα

$\sigma_{N,Ed}$  ορθή τάση λόγω αξονικής δύναμης  $N_{Ed}$

$\sigma_{w,Ed}$  ορθή τάση λόγω διρρόπου

$\tau_{V_y,Ed}$  &  $\tau_{V_z,Ed}$  διατμητική τάση λόγω τέμνουσας δύναμης  $V_{y,Ed}$  &  $V_{z,Ed}$  αντίστοιχα

$\tau_{t,Ed}$  διατμητική τάση λόγω στρέψης Saint Venant

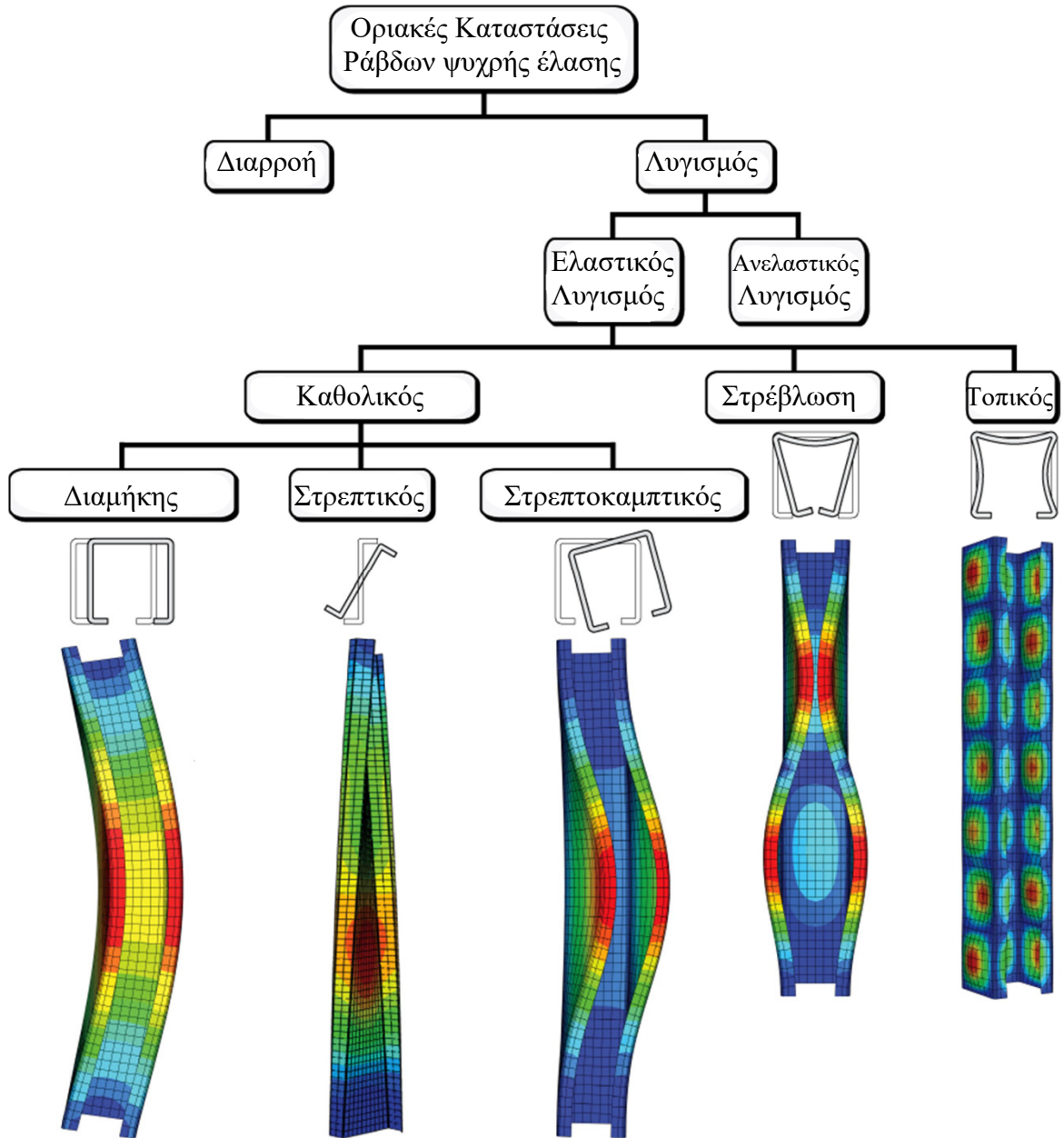
$\tau_{w,Ed}$  διατμητική τάση από στρέψη λόγω στρέβλωσης

### 4.13 Ευστάθεια μελών

Μια ράβδος η οποία υπόκειται σε εξωτερικές φορτίσεις και αρχικές μετατοπίσεις, εν γένει, έχει την τάση να παραμορφώνεται τόσο τοπικά (τοπικός λυγισμός) όσο και καθολικά (καθολικός λυγισμός). Μέχρι μία οριακή στάθμη φόρτισης τα μέλη συμπεριφέρονται ελαστικά και επανέρχονται στην αρχική απαραμόρφωτη κατάσταση μετά το πέρας της φόρτισης (γραμμικά ελαστική συμπεριφορά). Για στάθμες φόρτισης μεγαλύτερες της οριακής τα μέλη θα ισορροπήσουν σε διαφορετική θέση από αυτήν που αντιστοιχεί στην οριακή κατάσταση είτε τοπικά είτε καθολικά, με αποτέλεσμα -μετά το πέρας της φόρτισης- είτε να έχουν αποκτήσει παραμένουσες (πλαστικές) παραμορφώσεις ή ακόμα και να έχουν αστοχήσει. Γενικά οι στάθμες φόρτισης καθορίζονται από την κατηγορία της διατομής.

Τα μέλη από λεπτότοιχες διατομές ψυχρής έλασης (κατηγορία 4) ελέγχονται άμεσα σε τοπικό λυγισμό μέσω του ελέγχου των διατομών που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Σε περιπτώσεις που εξασφαλίζεται στα μέλη συνεχή πλευρική εξασφάλιση,

στρεπτική και καμπτική, οι έλεγχοι των διατομών καλύπτουν και τους καθολικούς ελέγχους του μέλους. Σε αντίθετη περίπτωση που τα μέλη μπορούν να κάμπτονται και ή να στρέφονται ελεύθερα απαιτείται τοπική και καθολική αντιμετώπιση του λυγισμού με τους δυνατούς συνδυασμούς.



(Πηγή: ASCE Library)

## 5 Διαστασιολόγηση

Η διαστασιολόγηση των δομικών στοιχείων της κατασκευής έγινε με βάση τις κανονιστικές διατάξεις του Ευρωκώδικα 3 και το μέρος 1-3, το οποίο αναφέρεται στις λεπτότοιχες διατομές, και πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος SCIA Engineer 20. Οι διατομές επιλέχθηκαν με επαναληπτικές διαδικασίες ανάλυσης και διαστασιολόγησης ώστε να επαρκούν έναντι των δεδομένων ελέγχων και για να γίνεται η μέγιστη δυνατή εκμετάλλευσή τους με σκοπό την οικονομία υλικού. Για να αποφευχθούν περαιτέρω βρόχοι επαναλήψεων στην περίπτωση που η διατομή δεν θα επαρκούσε μετά την διαμόρφωση συνδέσεων, δεν επελέγησαν διατομές των οποίων οι αντοχές θα πλησίαζαν σε μεγάλο βαθμό τις απαιτήσεις του κανονισμού, αλλά κρατήθηκε μια άνεση μεταξύ απαίτησης και διαθεσιμότητας αντοχής.

Τα φορτία που δρουν επί της κατασκευής (μόνιμα, κινητά, χιόνι, άνεμος) υπολογίστηκαν νωρίτερα και περάστηκαν στο φορέα με την βοήθεια των Load Panels (επιφάνειες επιβολής των φορτίων), το ίδιο βάρος υπολογίστηκε αυτόματα ενώ ο σεισμός και τα φορτία λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών υπολογίστηκαν από το λογισμικό ανάλυσης, αφού πρώτα εισάγαμε τις απαραίτητες παραμέτρους από υπολογισμούς και τα αντίστοιχα Ε.Π. των Ευρωκωδίκων.

Στην παράγραφο αυτή θα ελεγχθούν και τα βέλη του κρίσιμου μέλους κάθε ομάδας στοιχείων στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας και θα συγκριθούν με τις αντίστοιχες τιμές βελών κάμψης που ορίζει το Εθνικό Προσάρτημα.

	$\delta_{max}$	$\delta_2$
Μη βατές στέγες	L/200	L/250
Πατώματα και βατές στέγες	L/250	L/300

Για τα όρια των οριζόντιων μετατοπίσεων, και συγκεκριμένα , για μονώροφα βιομηχανικά κτήρια και άλλου είδους κτίρια, χωρίς γερανογέφυρες πρέπει να ισχύει:

$$u \leq H / 150$$

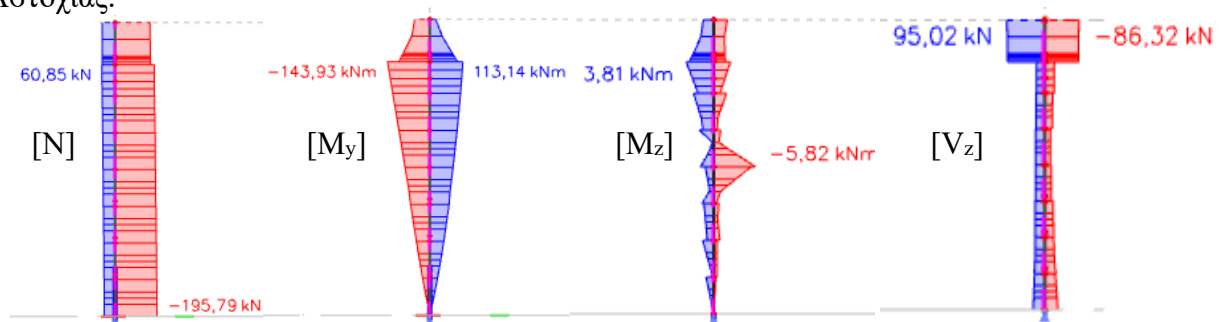
Όπου:

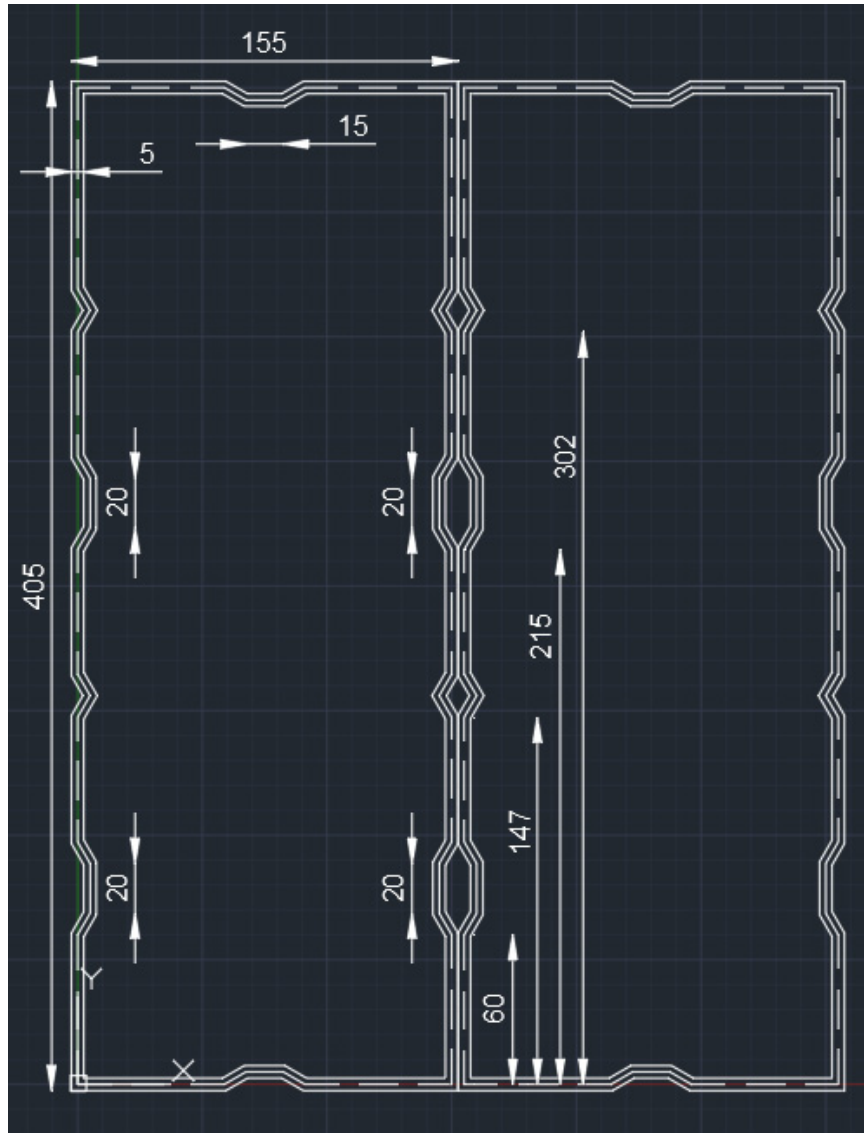
$u$  Η οριζόντια μετακίνηση και  $H$  το ύψος του κτιρίου σε cm

Οι υπολογισμοί γίνονται από το λογισμικό ανάλυσης, στην βάση οδηγιών της ενότητας 3.3 και παρουσιάζονται τα αποτελέσματά τους.

### 5.1 Υποστυλώματα

Τα υποστυλώματα προορίζονται να λειτουργήσουν σε θλίψη και κάμψη εντός επιπέδου, του πλαισίου, οπότε ελέγχονται στο συνδυασμό αυτών των εντάσεων σε Οριακή Κατάσταση Αστοχίας.





## EC-EN 1993 Steel check ULS

Linear calculation  
 Class: All ULS  
 Coordinate system: Principal  
 Extreme 1D: Global  
 Selection: All  
 Filter: Layer = Ypostylvmata

### EN 1993-1-1 Code Check

National annex: Greek ELOT-EN NA

<b>Member B16</b>	<b>0,000 / 7,000 m</b>	<b>General cross-section</b>	<b>S390GD+Z</b>	<b>All ULS</b>	<b>0,18 -</b>
-------------------	------------------------	------------------------------	-----------------	----------------	---------------

<b>Combination key</b>	
All ULS / 1.15*LC1 + 1.50*snow + 0.90*3DWind14 + 1.15*PSW + 0.90*Thermal	

<b>Partial safety factors</b>	
$\gamma_{M0}$ for resistance of cross-sections	1,00
$\gamma_{M1}$ for resistance to instability	1,00
$\gamma_{M2}$ for resistance of net sections	1,25

<b>Material</b>			
Yield strength	$f_y$	390,0	MPa
Ultimate strength	$f_u$	460,0	MPa
Fabrication		General	

....:SECTION CHECK:....

The critical check is on position 0,000 m

Internal forces		Calculated	Additional moments	Total	Unit
Normal force	$N_{Ed}$	-203,50		-203,50	kN
Shear force	$V_{y,Ed}$	0,29		0,29	kN
Shear force	$V_{z,Ed}$	-9,83		-9,83	kN
Torsion	$T_{Ed}$	0,00		0,00	kNm
Bending moment	$M_{y,Ed}$	0,00	-0,12	-0,12	kNm
Bending moment	$M_{z,Ed}$	0,00	0,00	0,00	kNm

### Classification for cross-section design

Classification according to EN 1993-1-1 article 5.5.2.

Classification of internal and Outstand parts according to EN 1993-1-1 Table 5.2 Sheet 1 & 2

Id	Type	c [mm]	t [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_{\sigma}$ [-]	$\alpha$ [-]	c/t [-]	Class 1 Limit [-]	Class 2 Limit [-]	Class 3 Limit [-]	Class
1	UO	60	10	1,805e+04	1,805e+04	1,00	0,43	1,00	6,00	6,99	7,76	10,87	1
2	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
3	I	20	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	4,00	21,74	26,39	29,50	1
4	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
5	I	50	10	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	5,00	21,74	26,39	29,50	1
6	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
7	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
8	I	50	10	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	5,00	21,74	26,39	29,50	1
9	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
10	I	20	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	4,00	21,74	26,39	29,50	1
11	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
12	I	50	10	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	5,00	21,74	26,39	29,50	1
13	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
14	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
15	I	81	10	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	8,07	21,74	26,39	29,50	1
16	I	59	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	11,77	21,74	26,39	29,50	1
17	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
18	I	15	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	3,00	21,74	26,39	29,50	1
19	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
20	I	59	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	11,77	21,74	26,39	29,50	1
21	I	81	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	16,14	21,74	26,39	29,50	1
22	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
23	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
24	I	50	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	10,00	21,74	26,39	29,50	1
25	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
26	I	20	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	4,00	21,74	26,39	29,50	1
27	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
28	I	50	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	10,00	21,74	26,39	29,50	1
29	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
30	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
31	I	50	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	10,00	21,74	26,39	29,50	1
32	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
33	I	20	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	4,00	21,74	26,39	29,50	1
34	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
35	I	60	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	12,00	21,74	26,39	29,50	1



Id	Type	c [mm]	t [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\Psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\alpha$ [-]	c/t [-]	Class 1 Limit [-]	Class 2 Limit [-]	Class 3 Limit [-]	Class
36	I	59	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	11,77	21,74	26,39	29,50	1
37	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
38	I	15	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	3,00	21,74	26,39	29,50	1
39	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
40	UO	59	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00	0,43	1,00	11,77	6,99	7,76	10,87	4
41	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
42	I	20	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	4,00	21,74	26,39	29,50	1
43	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
44	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
45	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
46	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
47	I	20	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	4,00	21,74	26,39	29,50	1
48	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
49	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
50	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
51	I	59	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	11,77	21,74	26,39	29,50	1
52	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
53	I	15	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	3,00	21,74	26,39	29,50	1
54	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
55	I	59	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	11,77	21,74	26,39	29,50	1
56	I	81	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	16,14	21,74	26,39	29,50	1
57	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
58	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
59	I	50	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	10,00	21,74	26,39	29,50	1
60	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
61	I	20	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	4,00	21,74	26,39	29,50	1
62	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
63	I	50	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	10,00	21,74	26,39	29,50	1
64	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
65	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
66	I	50	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	10,00	21,74	26,39	29,50	1
67	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
68	I	20	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	4,00	21,74	26,39	29,50	1
69	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
70	I	60	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	12,00	21,74	26,39	29,50	1
71	I	59	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	11,77	21,74	26,39	29,50	1
72	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
73	I	15	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	3,00	21,74	26,39	29,50	1
74	I	10	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00		1,00	2,00	21,74	26,39	29,50	1
75	UO	59	5	1,805e+04	1,805e+04	1,00	0,43	1,00	11,77	6,99	7,76	10,87	4

**Note:** The Classification limits have been set according to Semi-Comp+.  
The cross-section is classified as Class 4

**Note:** The Elastic verification has been set by the user.

#### Effective section N-

#### Effective width calculation

According to EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\Psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	UO	60	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,42	1,00	60		
2	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
3	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,09	1,00	20	10	10
4	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
5	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	50	25	25
6	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
7	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
8	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	50	25	25
9	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
10	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,09	1,00	20	10	10
11	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
12	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	50	25	25
13	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
14	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
15	I	81	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,18	1,00	81	40	40
16	I	59	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,27	1,00	59	29	29
17	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
18	I	15	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,07	1,00	15	8	8
19	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
20	I	59	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,27	1,00	59	29	29
21	I	81	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,37	1,00	81	40	40
22	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
23	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
24	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,23	1,00	50	25	25
25	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
26	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,09	1,00	20	10	10

ID	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
27	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
28	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,23	1,00	50	25	25
29	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
30	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
31	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,23	1,00	50	25	25
32	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
33	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,09	1,00	20	10	10
34	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
35	I	60	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,27	1,00	60	30	30
36	I	59	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,27	1,00	59	29	29
37	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
38	I	15	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,07	1,00	15	8	8
39	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
40	UO	59	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,81	0,94	56		
41	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
42	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,09	1,00	20	10	10
43	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
44	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
45	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
46	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
47	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,09	1,00	20	10	10
48	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
49	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
50	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
51	I	59	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,27	1,00	59	29	29
52	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
53	I	15	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,07	1,00	15	8	8
54	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
55	I	59	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,27	1,00	59	29	29
56	I	81	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,37	1,00	81	40	40
57	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
58	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
59	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,23	1,00	50	25	25
60	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
61	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,09	1,00	20	10	10
62	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
63	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,23	1,00	50	25	25
64	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
65	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
66	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,23	1,00	50	25	25
67	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
68	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,09	1,00	20	10	10
69	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
70	I	60	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,27	1,00	60	30	30
71	I	59	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,27	1,00	59	29	29
72	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
73	I	15	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,07	1,00	15	8	8
74	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,05	1,00	10	5	5
75	UO	59	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,81	0,94	56		

**Effective section My-**

**Effective width calculation**

According to EN 1993-1-5 article 4.4

ID	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	UO	60	3,900e+05	2,733e+05	0,70	0,46	0,40	1,00	60		
2	I	10	2,733e+05	2,564e+05	0,94	4,12	0,04	1,00	10	5	5
3	I	20	2,564e+05	2,175e+05	0,85	4,32	0,09	1,00	20	10	10
4	I	10	2,175e+05	2,007e+05	0,92	4,16	0,04	1,00	10	5	5
5	I	50	2,007e+05	1,034e+05	0,52	5,24	0,10	1,00	50	22	28
6	I	10	1,034e+05	8,657e+04	0,84	4,35	0,04	1,00	10	5	5
7	I	10	8,657e+04	6,972e+04	0,81	4,42	0,04	1,00	10	5	5
8	I	50	6,972e+04	-2,754e+04	-0,40	11,82	0,07	1,00	36	14	22
9	I	10	-2,754e+04	-4,439e+04							
10	I	20	-4,439e+04	-8,330e+04							
11	I	10	-8,330e+04	-1,001e+05							
12	I	50	-1,001e+05	-1,974e+05							
13	I	10	-1,974e+05	-2,143e+05							
14	I	10	-2,143e+05	-2,311e+05							
15	I	81	-2,311e+05	-3,881e+05							
16	I	59	-3,881e+05	-3,881e+05							
17	I	10	-3,784e+05	-3,881e+05							
18	I	15	-3,784e+05	-3,784e+05							
19	I	10	-3,784e+05	-3,881e+05							
20	I	59	-3,881e+05	-3,881e+05							
21	I	81	-2,311e+05	-3,881e+05							

Id	Type	b <sub>p</sub> [mm]	σ <sub>1</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	σ <sub>2</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	ψ [-]	k <sub>σ</sub> [-]	λ <sub>p</sub> [-]	ρ [-]	b <sub>e</sub> [mm]	b <sub>e1</sub> [mm]	b <sub>e2</sub> [mm]
22	I	10	-2,143e+05	-2,311e+05							
23	I	10	-1,974e+05	-2,143e+05							
24	I	50	-1,001e+05	-1,974e+05							
25	I	10	-8,330e+04	-1,001e+05							
26	I	20	-4,439e+04	-8,330e+04							
27	I	10	-2,754e+04	-4,439e+04							
28	I	50	6,972e+04	-2,754e+04	-0,40	11,82	0,13	1,00	36	14	22
29	I	10	8,657e+04	6,972e+04	0,81	4,42	0,04	1,00	10	5	5
30	I	10	1,034e+05	8,657e+04	0,84	4,35	0,04	1,00	10	5	5
31	I	50	2,007e+05	1,034e+05	0,52	5,24	0,20	1,00	50	22	28
32	I	10	2,175e+05	2,007e+05	0,92	4,16	0,04	1,00	10	5	5
33	I	20	2,564e+05	2,175e+05	0,85	4,32	0,09	1,00	20	10	10
34	I	10	2,733e+05	2,564e+05	0,94	4,12	0,04	1,00	10	5	5
35	I	60	3,900e+05	2,733e+05	0,70	4,68	0,25	1,00	60	28	32
36	I	59	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,27	1,00	59	29	29
37	I	10	3,900e+05	3,803e+05	0,98	4,05	0,05	1,00	10	5	5
38	I	15	3,803e+05	3,803e+05	1,00	4,00	0,07	1,00	15	8	8
39	I	10	3,900e+05	3,803e+05	0,98	4,05	0,05	1,00	10	5	5
40	UO	59	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,81	0,94	56		
41	I	10	2,733e+05	2,564e+05	0,94	4,12	0,04	1,00	10	5	5
42	I	20	2,564e+05	2,175e+05	0,85	4,32	0,09	1,00	20	10	10
43	I	10	2,175e+05	2,007e+05	0,92	4,16	0,04	1,00	10	5	5
44	I	10	1,034e+05	8,657e+04	0,84	4,35	0,04	1,00	10	5	5
45	I	10	8,657e+04	6,972e+04	0,81	4,42	0,04	1,00	10	5	5
46	I	10	-2,754e+04	-4,439e+04							
47	I	20	-4,439e+04	-8,330e+04							
48	I	10	-8,330e+04	-1,001e+05							
49	I	10	-1,974e+05	-2,143e+05							
50	I	10	-2,143e+05	-2,311e+05							
51	I	59	-3,881e+05	-3,881e+05							
52	I	10	-3,784e+05	-3,881e+05							
53	I	15	-3,784e+05	-3,784e+05							
54	I	10	-3,784e+05	-3,881e+05							
55	I	59	-3,881e+05	-3,881e+05							
56	I	81	-2,311e+05	-3,881e+05							
57	I	10	-2,143e+05	-2,311e+05							
58	I	10	-1,974e+05	-2,143e+05							
59	I	50	-1,001e+05	-1,974e+05							
60	I	10	-8,330e+04	-1,001e+05							
61	I	20	-4,439e+04	-8,330e+04							
62	I	10	-2,754e+04	-4,439e+04							
63	I	50	6,972e+04	-2,754e+04	-0,40	11,82	0,13	1,00	36	14	22
64	I	10	8,657e+04	6,972e+04	0,81	4,42	0,04	1,00	10	5	5
65	I	10	1,034e+05	8,657e+04	0,84	4,35	0,04	1,00	10	5	5
66	I	50	2,007e+05	1,034e+05	0,52	5,24	0,20	1,00	50	22	28
67	I	10	2,175e+05	2,007e+05	0,92	4,16	0,04	1,00	10	5	5
68	I	20	2,564e+05	2,175e+05	0,85	4,32	0,09	1,00	20	10	10
69	I	10	2,733e+05	2,564e+05	0,94	4,12	0,04	1,00	10	5	5
70	I	60	3,900e+05	2,733e+05	0,70	4,68	0,25	1,00	60	28	32
71	I	59	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,27	1,00	59	29	29
72	I	10	3,900e+05	3,803e+05	0,98	4,05	0,05	1,00	10	5	5
73	I	15	3,803e+05	3,803e+05	1,00	4,00	0,07	1,00	15	8	8
74	I	10	3,900e+05	3,803e+05	0,98	4,05	0,05	1,00	10	5	5
75	UO	59	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,81	0,94	56		

Effective properties					
Effective area	A <sub>eff</sub>	1,1240e-02	m <sup>2</sup>		
Effective second moment of area	I <sub>eff,y</sub>	2,2821e-04	m <sup>4</sup>	I <sub>eff,z</sub>	1,1837e-04 m <sup>4</sup>
Effective section modulus	W <sub>eff,y</sub>	1,1243e-03	m <sup>3</sup>	W <sub>eff,z</sub>	7,6365e-04 m <sup>3</sup>
Shift of the centroid	e <sub>N,y</sub>	1	mm	e <sub>N,z</sub>	0 mm

#### Compression check

According to EN 1993-1-1 article 6.2.4 and formula (6.9)

Cross-section effective area	A <sub>eff</sub>	1,1240e-02	m <sup>2</sup>
Compression resistance	N <sub>c,Rd</sub>	4383,61	kN
Unity check		0,05	-

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,1240 \cdot 10^{-2} [m^2] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 4383,61 [kN] \quad (EC3-1-1: 6.11)$$

$$\text{Unity check} = \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{-203,50 [kN]}{4383,61 [kN]} = 0,05 \leq 1,00 \quad (EC3-1-1: 6.9)$$

#### Bending moment check for M<sub>y</sub>

According to EN 1993-1-1 article 6.2.5 and formula (6.12),(6.15)

Effective section modulus	$W_{\text{eff},y,\text{min}}$	1,1243e-03	m <sup>3</sup>
Bending moment	$M_{\text{c},y,\text{Rd}}$	438,48	kNm
Unity check		0,00	-

$$M_{\text{c},y,\text{Rd}} = \frac{W_{\text{eff},y,\text{min}} \times \gamma_{\text{M0}}}{\gamma_{\text{M0}}} = \frac{1,1243 \cdot 10^{-3} [\text{m}^3] \times 390,0 [\text{MPa}]}{1,00} = 438,48 [\text{kNm}]$$

(EC3-1-1: 6.15)

$$\text{Unity check} = \frac{|M_{y,\text{total},\text{Ed}}|}{M_{\text{c},y,\text{Rd}}} = \frac{|-0,12 [\text{kNm}]|}{438,48 [\text{kNm}]} = 0,00 \leq 1,00$$

(EC3-1-1: 6.12)

**Shear check for  $V_y$** 

According to EN 1993-1-1 article 6.2.6 and formula (6.19)

Shear stress due to the transverse shear force $V_y$	$\tau_{V_y,\text{Ed}}$	0,2	MPa
Elastic shear resistance	$\tau_{\text{Rd}}$	225,2	MPa
Unity check		0,00	-

$$\tau_{V_y,\text{Ed}} = |V_{y,\text{Ed}}| \times \tau_{V_y,\text{Ed},\text{unit}} = |288,30| \times 7,259 \cdot 10^{-1} [\text{kN/m}^2] = 0,2 [\text{MPa}]$$

$$\tau_{\text{Rd}} = \frac{f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{\text{M0}}} = \frac{390,0 [\text{MPa}]}{\sqrt{3} \times 1,00} = 225,2 [\text{MPa}]$$

$$\text{Unity check} = \frac{\tau_{V_y,\text{Ed}}}{\tau_{\text{Rd}}} = \frac{0,2 [\text{MPa}]}{225,2 [\text{MPa}]} = 0,00 \leq 1,00$$

(EC3-1-1: 6.19)

**Shear check for  $V_z$** 

According to EN 1993-1-1 article 6.2.6 and formula (6.19)

Shear stress due to the transverse shear force $V_z$	$\tau_{V_z,\text{Ed}}$	2,2	MPa
Elastic shear resistance	$\tau_{\text{Rd}}$	225,2	MPa
Unity check		0,01	-

$$\tau_{V_z,\text{Ed}} = |V_{z,\text{Ed}}| \times \tau_{V_z,\text{Ed},\text{unit}} = |-9826,29| \times 2,215 \cdot 10^{-1} [\text{kN/m}^2] = 2,2 [\text{MPa}]$$

$$\tau_{\text{Rd}} = \frac{f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{\text{M0}}} = \frac{390,0 [\text{MPa}]}{\sqrt{3} \times 1,00} = 225,2 [\text{MPa}]$$

$$\text{Unity check} = \frac{\tau_{V_z,\text{Ed}}}{\tau_{\text{Rd}}} = \frac{2,2 [\text{MPa}]}{225,2 [\text{MPa}]} = 0,01 \leq 1,00$$

(EC3-1-1: 6.19)

**Combined bending, axial force and shear force check**

According to EN 1993-1-1 article 6.2.1(5) and formula (6.1)

Effective properties			
Cross-section effective area	$A_{\text{eff}}$	1,1240e-02	m <sup>2</sup>
Shift of the centroid in y direction	$e_{\text{H},y}$	1	mm
Shift of the centroid in z direction	$e_{\text{N},z}$	0	mm
Effective section modulus	$W_{\text{eff},y}$	1,1243e-03	m <sup>3</sup>
Effective section modulus	$W_{\text{eff},z}$	7,6365e-04	m <sup>3</sup>

Elastic verification			
Fibre		57	
Normal stress due to the normal force N	$\sigma_{N,\text{Ed}}$	18,1	MPa
Normal stress due to the bending moment $M_y$	$\sigma_{M_y,\text{Ed}}$	0,0	MPa
Normal stress due to the bending moment $M_z$	$\sigma_{M_z,\text{Ed}}$	0,0	MPa
Total longitudinal stress	$\sigma_{\text{tot},\text{Ed}}$	18,1	MPa
Shear stress due to the transverse shear force $V_y$	$\tau_{V_y,\text{Ed}}$	0,1	MPa
Shear stress due to the transverse shear force $V_z$	$\tau_{V_z,\text{Ed}}$	2,1	MPa
Shear stress due to uniform (St. Venant) torsion	$\tau_{t,\text{Ed}}$	0,0	MPa
Total shear stress	$\tau_{\text{tot},\text{Ed}}$	2,2	MPa
Summation of von Mises stress	$\sigma_{\text{von Mises},\text{Ed}}$	18,5	MPa
Unity check		0,05	-

$$\sigma_{N,\text{Ed}} = \frac{-N_{\text{Ed}}}{A_{\text{eff}}} = \frac{-203,50 [\text{kN}]}{1,1240 \cdot 10^{-2} [\text{m}^2]} = 18,1 [\text{MPa}]$$

$$\sigma_{M_y,\text{Ed}} = \frac{M_{y,\text{Ed}} \times z}{I_{\text{eff},y}} = \frac{-0,12 [\text{kNm}] \times -36 [\text{mm}]}{2,2821 \cdot 10^{-4} [\text{m}^4]} = 0,0 [\text{MPa}]$$

$$\sigma_{M_z,\text{Ed}} = \frac{M_{z,\text{Ed}} \times y}{I_{\text{eff},z}} = \frac{0,00 [\text{kNm}] \times 155 [\text{mm}]}{1,1837 \cdot 10^{-4} [\text{m}^4]} = 0,0 [\text{MPa}]$$

$$\sigma_{\text{tot},\text{Ed}} = \sigma_{N,\text{Ed}} + \sigma_{M_y,\text{Ed}} + \sigma_{M_z,\text{Ed}} + \sigma_w = 18,1 [\text{MPa}] + 0,0 [\text{MPa}] + 0,0 [\text{MPa}] + 0,0 [\text{MPa}] = 18,1 [\text{MPa}]$$

$$\tau_{V_y,\text{Ed}} = |V_{y,\text{Ed}}| \times \tau_{V_y,\text{Ed},\text{unit}} = |288,30| \times 3,174 \cdot 10^{-1} [\text{kN/m}^2] = 0,1 [\text{MPa}]$$

$$\tau_{V_z,\text{Ed}} = |V_{z,\text{Ed}}| \times \tau_{V_z,\text{Ed},\text{unit}} = |-9826,29| \times 2,188 \cdot 10^{-1} [\text{kN/m}^2] = 2,1 [\text{MPa}]$$

$$\tau_{t,\text{Ed}} = |M_{\text{xp},\text{Ed}}| \times \tau_{t,\text{Ed},\text{unit}} = |0,00| \times 2,999 \cdot 10^1 [\text{kN/m}^2] = 0,0 [\text{MPa}]$$

$$\tau_{\text{tot,Ed}} = \tau_{Vz,Ed} + \tau_{Vy,Ed} + \tau_{t,Ed} + \tau_{w,Ed} = 2,1[\text{MPa}] + 0,1[\text{MPa}] + 0,0[\text{MPa}] + 0,0[\text{MPa}] = 2,2[\text{MPa}]$$

$$\sigma_{\text{von Mises,Ed}} = \sqrt{\sigma_{\text{tot,Ed}}^2 + 3 \times \tau_{\text{tot,Ed}}^2} = \sqrt{18,1[\text{MPa}]^2 + 3 \times 2,2[\text{MPa}]^2} = 18,5[\text{MPa}]$$

$$\text{Unity check} = \frac{\sigma_{\text{von Mises,Ed}}}{f_y} = \frac{18,5[\text{MPa}]}{390,0[\text{MPa}]} = 0,05 \leq 1,00$$

#### Decision tables for combined section check

Force presence	
Normal force $N_{Ed}$	Present
Shear force $V_{y,Ed}$	Not significant
Shear force $V_{z,Ed}$	Not significant
Torsion $T_{Ed}$	Not present
Bending moment $M_{y,Ed}$	Present
Bending moment $M_{z,Ed}$	Not present
Warping data	Not present or negligible

Check inputs	
Classification is supported	Yes
Section classification	Class 4
Effective section properties can be calculated	Yes
Elastic verification is set by the user	Yes

Selected check	
According to EN 1993-1-1 article 6.2.1(5) and formula (6.1)	

The member satisfies the section check.

#### ....STABILITY CHECK:....

##### Classification for member buckling design

Decisive position for stability classification: 6,000 m

Classification according to EN 1993-1-1 article 5.5.2

Classification of Internal and Outstand parts according to EN 1993-1-1 Table 5.2 Sheet 1 & 2

Id	Type	c [mm]	t [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\Psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\alpha$ [-]	c/t [-]	Class 1	Class 2	Class 3	Class
										Limit [-]	Limit [-]	Limit [-]	
1	UO	60	10	3,488e+04	2,892e+04	0,83	0,44	1,00	6,00	6,99	7,76	10,86	1
2	I	10	5	2,893e+04	2,811e+04	0,97		1,00	2,00	21,74	26,39	29,79	1
3	I	20	5	2,811e+04	2,612e+04	0,93		1,00	4,00	21,74	26,39	30,24	1
4	I	10	5	2,612e+04	2,523e+04	0,97		1,00	2,00	21,74	26,39	29,85	1
5	I	50	10	2,521e+04	2,025e+04	0,80		1,00	5,00	21,74	26,39	31,66	1
6	I	10	5	2,026e+04	1,943e+04	0,96		1,00	2,00	21,74	26,39	29,92	1
7	I	10	5	1,943e+04	1,854e+04	0,95		1,00	2,00	21,74	26,39	29,97	1
8	I	50	10	1,853e+04	1,356e+04	0,73		1,00	5,00	21,74	26,39	32,52	1
9	I	10	5	1,358e+04	1,275e+04	0,94		1,00	2,00	21,74	26,39	30,14	1
10	I	20	5	1,275e+04	1,076e+04	0,84		1,00	4,00	21,74	26,39	31,18	1
11	I	10	5	1,076e+04	9,872e+03	0,92		1,00	2,00	21,74	26,39	30,37	1
12	I	50	10	9,856e+03	4,891e+03	0,50		1,00	5,00	21,74	26,39	35,75	1
13	I	10	5	4,907e+03	4,078e+03	0,83		1,00	2,00	21,74	26,39	31,33	1
14	I	10	5	4,078e+03	3,187e+03	0,78		1,00	2,00	21,74	26,39	31,92	1
15	I	81	10	3,171e+03	-4,845e+03	-1,53		0,40	8,07	70,64	81,43	150,37	1
16	I	59	5	-4,829e+03	-4,461e+03								
17	I	10	5	-4,461e+03	-3,910e+03								
18	I	15	5	-3,910e+03	-3,816e+03								
19	I	10	5	-3,816e+03	-4,259e+03								
20	I	59	5	-4,259e+03	-3,891e+03								
21	I	81	5	-3,891e+03	4,125e+03	-0,94		0,51	16,14	53,43	61,82	90,56	1
22	I	10	5	4,125e+03	4,954e+03	0,83		1,00	2,00	21,74	26,39	31,32	1
23	I	10	5	4,954e+03	5,845e+03	0,85		1,00	2,00	21,74	26,39	31,15	1
24	I	50	5	5,845e+03	1,081e+04	0,54		1,00	10,00	21,74	26,39	35,09	1
25	I	10	5	1,081e+04	1,164e+04	0,93		1,00	2,00	21,74	26,39	30,24	1
26	I	20	5	1,164e+04	1,362e+04	0,85		1,00	4,00	21,74	26,39	31,07	1
27	I	10	5	1,362e+04	1,452e+04	0,94		1,00	2,00	21,74	26,39	30,14	1
28	I	50	5	1,452e+04	1,948e+04	0,75		1,00	10,00	21,74	26,39	32,36	1
29	I	10	5	1,948e+04	2,031e+04	0,96		1,00	2,00	21,74	26,39	29,92	1
30	I	10	5	2,031e+04	2,120e+04	0,96		1,00	2,00	21,74	26,39	29,93	1
31	I	50	5	2,120e+04	2,617e+04	0,81		1,00	10,00	21,74	26,39	31,58	1
32	I	10	5	2,617e+04	2,700e+04	0,97		1,00	2,00	21,74	26,39	29,82	1
33	I	20	5	2,700e+04	2,898e+04	0,93		1,00	4,00	21,74	26,39	30,22	1
34	I	10	5	2,898e+04	2,987e+04	0,97		1,00	2,00	21,74	26,39	29,81	1
35	I	60	5	2,987e+04	3,583e+04	0,83		1,00	12,00	21,74	26,39	31,30	1
36	I	59	5	3,583e+04	3,546e+04	0,99		1,00	11,77	21,74	26,39	29,60	1
37	I	10	5	3,546e+04	3,491e+04	0,98		1,00	2,00	21,74	26,39	29,66	1
38	I	15	5	3,491e+04	3,482e+04	1,00		1,00	3,00	21,74	26,39	29,53	1
39	I	10	5	3,482e+04	3,526e+04	0,99		1,00	2,00	21,74	26,39	29,63	1
40	UO	59	5	3,526e+04	3,489e+04	0,99	0,43	1,00	11,77	6,99	7,76	10,75	4
41	I	10	5	2,890e+04	2,801e+04	0,97		1,00	2,00	21,74	26,39	29,82	1
42	I	20	5	2,801e+04	2,603e+04	0,93		1,00	4,00	21,74	26,39	30,24	1

Id	Type	Cross-section		$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\Psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\alpha$ [-]	c/t [-]	Class 1 Limit [-]	Class 2 Limit [-]	Class 3 Limit [-]	Class
		c [mm]	t [mm]										
43	I	10	5	2,603e+04	2,520e+04	0,97		1,00	2,00	21,74	26,39	29,83	1
44	I	10	5	2,023e+04	1,934e+04	0,96		1,00	2,00	21,74	26,39	29,96	1
45	I	10	5	1,934e+04	1,851e+04	0,96		1,00	2,00	21,74	26,39	29,94	1
46	I	10	5	1,355e+04	1,266e+04	0,93		1,00	2,00	21,74	26,39	30,19	1
47	I	20	5	1,266e+04	1,067e+04	0,84		1,00	4,00	21,74	26,39	31,20	1
48	I	10	5	1,067e+04	9,841e+03	0,92		1,00	2,00	21,74	26,39	30,31	1
49	I	10	5	4,875e+03	3,984e+03	0,82		1,00	2,00	21,74	26,39	31,50	1
50	I	10	5	3,984e+03	3,155e+03	0,79		1,00	2,00	21,74	26,39	31,79	1
51	I	59	5	-4,860e+03	-5,228e+03								
52	I	10	5	-5,228e+03	-4,786e+03								
53	I	15	5	-4,786e+03	-4,880e+03								
54	I	10	5	-4,880e+03	-5,430e+03								
55	I	59	5	-5,430e+03	-5,799e+03								
56	I	81	5	-5,799e+03	2,217e+03	-2,62		0,28	16,14	101,03	116,47	281,40	1
57	I	10	5	2,217e+03	3,108e+03	0,71		1,00	2,00	21,74	26,39	32,76	1
58	I	10	5	3,108e+03	3,937e+03	0,79		1,00	2,00	21,74	26,39	31,82	1
59	I	50	5	3,937e+03	8,902e+03	0,44		1,00	10,00	21,74	26,39	36,58	1
60	I	10	5	8,902e+03	9,793e+03	0,91		1,00	2,00	21,74	26,39	30,46	1
61	I	20	5	9,793e+03	1,178e+04	0,83		1,00	4,00	21,74	26,39	31,33	1
62	I	10	5	1,178e+04	1,261e+04	0,93		1,00	2,00	21,74	26,39	30,19	1
63	I	50	5	1,261e+04	1,757e+04	0,72		1,00	10,00	21,74	26,39	32,70	1
64	I	10	5	1,757e+04	1,846e+04	0,95		1,00	2,00	21,74	26,39	30,00	1
65	I	10	5	1,846e+04	1,929e+04	0,96		1,00	2,00	21,74	26,39	29,94	1
66	I	50	5	1,929e+04	2,426e+04	0,80		1,00	10,00	21,74	26,39	31,75	1
67	I	10	5	2,426e+04	2,515e+04	0,96		1,00	2,00	21,74	26,39	29,86	1
68	I	20	5	2,515e+04	2,714e+04	0,93		1,00	4,00	21,74	26,39	30,27	1
69	I	10	5	2,714e+04	2,796e+04	0,97		1,00	2,00	21,74	26,39	29,80	1
70	I	60	5	2,796e+04	3,392e+04	0,82		1,00	12,00	21,74	26,39	31,41	1
71	I	59	5	3,392e+04	3,429e+04	0,99		1,00	11,77	21,74	26,39	29,61	1
72	I	10	5	3,429e+04	3,385e+04	0,99		1,00	2,00	21,74	26,39	29,63	1
73	I	15	5	3,385e+04	3,394e+04	1,00		1,00	3,00	21,74	26,39	29,53	1
74	I	10	5	3,394e+04	3,449e+04	0,98		1,00	2,00	21,74	26,39	29,66	1
75	UO	59	5	3,449e+04	3,486e+04	0,99	0,43	1,00	11,77	6,99	7,76	10,70	4

**Note:** The Classification limits have been set according to Semi-Comp+.

The cross-section is classified as Class 4

**Note:** The Elastic verification has been set by the user.

#### Flexural Buckling check

According to EN 1993-1-1 article 6.3.1.1 and formula (6.46)

Buckling parameters		yy	zz	
Sway type		sway	non-sway	
System length	L	6,000	3,500	m
Buckling factor	k	2,32	0,96	
Buckling length	$l_{cr}$	13,920	3,343	m
Critical Euler load	$N_{cr}$	2454,75	21950,48	kN
Slenderness	$\lambda$	97,54	32,62	
Relative slenderness	$\lambda_{rel}$	1,34	0,45	
Limit slenderness	$\lambda_{rel,0}$	0,20	0,20	
Buckling curve		d	d	
Imperfection	$\alpha$	0,76	0,76	
Reduction factor	$\chi$	0,33	0,82	
Buckling resistance	$N_{b,Rd}$	1429,21	3580,78	kN

Flexural Buckling verification			
Cross-section effective area	$A_{eff}$	1,1240e-02	m <sup>2</sup>
Buckling resistance	$N_{b,Rd}$	1429,21	kN
Unity check		0,14	-

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000,0 \text{ [MPa]} \times 2,2950 \cdot 10^{-4} \text{ [m}^4\text{]}}{13,920 \text{ [m]}^2} = 2454,75 \text{ [kN]}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000,0 \text{ [MPa]} \times 1,1839 \cdot 10^{-4} \text{ [m}^4\text{]}}{3,343 \text{ [m]}^2} = 21950,48 \text{ [kN]}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{13,920 \text{ [m]}}{103 \text{ [mm]}} = 97,54$$

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{3,343 \text{ [m]}}{103 \text{ [mm]}} = 32,62$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y \times \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}}}{\pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}} = \frac{97,54 \times \sqrt{\frac{1,1240 \cdot 10^{-2} \text{ [m}^2\text{]}}{1,1268 \cdot 10^{-2} \text{ [m}^2\text{]}}}}{\pi \times \sqrt{\frac{210000,0 \text{ [MPa]}}{390,0 \text{ [MPa]}}}} = 1,34$$

(EC3-1-1: 6.51)

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z \times \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}}}{\pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}} = \frac{32,62 \times \sqrt{\frac{1,1240 \cdot 10^{-2} [m^2]}{1,1268 \cdot 10^{-2} [m^2]}}}{\pi \times \sqrt{\frac{210000,0 [MPa]}{390,0 [MPa]}}} = 0,45 \quad (\text{EC3-1-1: 6.51})$$

$$\varphi_y = 0,5 \times [1 + \alpha_y \times (\lambda_{rel,y} - \lambda_{rel,y,0}) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \times [1 + 0,76 \times (1,34 - 0,20) + 1,34^2] = 1,82$$

$$\varphi_z = 0,5 \times [1 + \alpha_z \times (\lambda_{rel,z} - \lambda_{rel,z,0}) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \times [1 + 0,76 \times (0,45 - 0,20) + 0,45^2] = 0,69$$

$$\chi_y = \min \left( \frac{1}{\varphi_y + \sqrt{\varphi_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}, \frac{1}{\lambda_{rel,y}^2}, 1 \right) = \min \left( \frac{1}{1,82 + \sqrt{1,82^2 - 1,34^2}}, \frac{1}{1,34^2}, 1 \right) = \min(0,33, 0,56, 1) = 0,33 \quad (\text{EC3-1-1: 6.49})$$

$$\chi_z = \min \left( \frac{1}{\varphi_z + \sqrt{\varphi_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}, \frac{1}{\lambda_{rel,z}^2}, 1 \right) = \min \left( \frac{1}{0,69 + \sqrt{0,69^2 - 0,45^2}}, \frac{1}{0,45^2}, 1 \right) = \min(0,82, 5,01, 1) = 0,82 \quad (\text{EC3-1-1: 6.49})$$

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y \times A_{eff} \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,33 \times 1,1240 \cdot 10^{-2} [m^2] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 1429,21 [kN] \quad (\text{EC3-1-1: 6.48})$$

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z \times A_{eff} \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,82 \times 1,1240 \cdot 10^{-2} [m^2] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 3580,78 [kN] \quad (\text{EC3-1-1: 6.48})$$

$$N_{b,Rd} = \min(N_{b,y,Rd}, N_{b,z,Rd}) = \min(1429,21 [kN], 3580,78 [kN]) = 1429,21 [kN]$$

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{b,Rd}} = \frac{|-203,50 [kN]|}{1429,21 [kN]} = 0,14 \leq 1,00 \quad (\text{EC3-1-1: 6.46})$$

### Torsional(-Flexural) Buckling check

According to EN 1993-1-1 article 6.3.1.1 and formula (6.46)

Torsional buckling length	$l_{cr}$	3,500	m
Elastic critical load	$N_{cr,T}$	8392,04	kN
Elastic critical load	$N_{cr,TF}$	2454,75	kN
Relative slenderness	$\lambda_{rel,T}$	1,34	
Limit slenderness	$\lambda_{rel,0}$	0,20	
Buckling curve		d	
Imperfection	$\alpha$	0,76	
Reduction factor	$\chi$	0,33	
Cross-section effective area	$A_{eff}$	1,1240e-02	m <sup>2</sup>
Buckling resistance	$N_{b,Rd}$	1429,21	kN
Unity check		0,14	

$$N_{cr,T} = \frac{1}{\lambda_{cr}^2} \times \left( G \times I_T + \frac{\pi^2 \times E \times I_w}{l_{cr}^2} \right) = \frac{1}{473 [mm]^2} \times \left( 80769,2 [MPa] \times 1,6670 \cdot 10^{-7} [m^4] + \frac{\pi^2 \times 210000,0 [MPa] \times 1,1004 \cdot 10^{-5} [m^6]}{3,500 [m]^2} \right)$$

$$= 8392,04 [kN]$$

$$N_{cr,TF} = 2454,75 [kN]$$

$$\lambda_{rel,T} = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr}}} \times \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}} = \sqrt{\frac{1,1268 \cdot 10^{-2} [m^2] \times 390,0 [MPa]}{2454,75 [kN]}} \times \sqrt{\frac{1,1240 \cdot 10^{-2} [m^2]}{1,1268 \cdot 10^{-2} [m^2]}} = 1,34$$

$$\chi = \min \left( \frac{1}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \lambda_{rel,T}^2}}, \frac{1}{\lambda_{rel,T}^2}, 1 \right) = \min \left( \frac{1}{1,82 + \sqrt{1,82^2 - 1,34^2}}, \frac{1}{1,34^2}, 1 \right) = \min(0,33, 0,56, 1) = 0,33$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \times A_{eff} \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,33 \times 1,1240 \cdot 10^{-2} [m^2] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 1429,21 [kN] \quad (\text{EC3-1-1: 6.47})$$

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{b,Rd}} = \frac{|-203,50 [kN]|}{1429,21 [kN]} = 0,14 \leq 1,00 \quad (\text{EC3-1-1: 6.46})$$

### Lateral Torsional Buckling check

According to EN 1993-1-1 article 6.3.2.1 & 6.3.2.2 and formula (6.54)

LTB parameters			
Method for LTB curve		General case	
Effective section modulus	$W_{eff,y}$	1,1243e-03	m <sup>3</sup>
Elastic critical moment	$M_{cr}$	3496,45	kNm
Relative slenderness	$\lambda_{rel,LT}$	0,35	
Limit slenderness	$\lambda_{rel,LT,0}$	0,20	

**Note:** The slenderness or bending moment is such that Lateral Torsional Buckling effects may be ignored according to EN 1993-1-1 article 6.3.2.2(4).

Mcr parameters			
LTB length	$l_T$	3,500	m
Influence of load position		no influence	
Correction factor	$k$	1,00	
Correction factor	$k_w$	1,00	
LTB moment factor	$C_1$	1,14	
LTB moment factor	$C_2$	0,22	
LTB moment factor	$C_3$	0,53	

Mcr parameters			
Shear centre distance	$d_z$	439	mm
Distance of load application	$z_g$	0	mm
Mono-symmetry constant	$\beta_y$	-877	mm
Mono-symmetry constant	$z_j$	-439	mm

$$M_{cr} = C_1 \times \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{l_{cr}^2} \times \left[ \sqrt{\left( \frac{k_y}{k_w} \right)^2 \times \frac{I_w}{I_z} + \frac{I_{Tw} \times G \times I_z}{\pi^2 \times E \times I_z}} + (C_2 \times z_g - C_3 \times z_j)^2 - (C_2 \times z_g - C_3 \times z_j) \right] = 1,14$$

$$\times \frac{\pi^2 \times 210000,0[\text{MPa}] \times 1,1839 \cdot 10^{-4}[\text{m}^4]}{3,500[\text{m}]^2}$$

$$\times \left[ \sqrt{\left( \frac{1,00}{1,00} \right)^2 \times \frac{1,1004 \cdot 10^{-9}[\text{m}^6]}{1,1839 \cdot 10^{-4}[\text{m}^4]} + \frac{3,500[\text{m}]^2 \times 80769,2[\text{MPa}] \times 1,6670 \cdot 10^{-7}[\text{m}^4]}{\pi^2 \times 210000,0[\text{MPa}] \times 1,1839 \cdot 10^{-4}[\text{m}^4}}} + (0,22 \times 0[\text{mm}] - 0,53 \times -439[\text{mm}])^2 - (0,22 \times 0[\text{mm}] - 0,53 \times -439[\text{mm}]) \right]$$

$$= 3496,45[\text{kNm}]$$

$$\lambda_{rel,LT} = \sqrt{\frac{W_{eff,y} \times f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,1243 \cdot 10^{-3}[\text{m}^3] \times 390,0[\text{MPa}]}{3496,45[\text{kNm}]} = 0,35$$

**Note:** C parameters are determined according to ECSS 119 2006 / Galea 2002.

LTB additional parameters			
Minimal z coordinate	$z_{min}$	-202	mm
Maximal z coordinate	$z_{max}$	203	mm
End moment ratio	$\psi$	0,00	
Equivalent point load	F	-6,86	kN
Equivalent line load	q	-3,92	kN/m
Difference with M		66,45	kNm
Difference with F		18,42	kNm
Difference with q		2,60	kNm
Resulting load type		line load q	

#### Bending and axial compression check

According to EN 1993-1-1 article 6.3.3 and formula (6.61),(6.62)

Bending and axial compression check parameters			
Interaction method		alternative method 1	
Cross-section effective area	$A_{eff}$	1,1240e-02	m <sup>2</sup>
Effective section modulus	$W_{eff,y}$	1,1243e-03	m <sup>3</sup>
Effective section modulus	$W_{eff,z}$	7,6365e-04	m <sup>3</sup>
Design compression force	$N_{Ed}$	203,50	kN
Design bending moment (maximum)	$M_{y,Ed}$	13,54	kNm
Design bending moment (maximum)	$M_{z,Ed}$	-1,72	kNm
Additional moment	$\Delta M_{y,Ed}$	0,00	kNm
Additional moment	$\Delta M_{z,Ed}$	0,00	kNm
Characteristic compression resistance	$N_{Rk}$	4383,61	kN
Characteristic moment resistance	$M_{y,Rk}$	438,48	kNm
Characteristic moment resistance	$M_{z,Rk}$	297,83	kNm
Reduction factor	$\chi_y$	0,33	
Reduction factor	$\chi_z$	0,33	
Reduction factor	$\chi_{LT}$	1,00	
Interaction factor	$k_{yy}$	1,02	
Interaction factor	$k_{yz}$	0,94	
Interaction factor	$k_{zy}$	1,08	
Interaction factor	$k_{zz}$	1,00	

Maximum moment  $M_{y,Ed}$  is derived from beam B16 position 6,000 m.

Maximum moment  $M_{z,Ed}$  is derived from beam B16 position 3,500 m.

Interaction method 1 parameters			
Critical Euler load	$N_{cr,y}$	2454,75	kN
Critical Euler load	$N_{cr,z}$	21950,48	kN
Elastic critical load	$N_{cr,T}$	8392,04	kN
Effective section modulus	$W_{eff,y}$	1,1243e-03	m <sup>3</sup>
Second moment of area	$I_y$	2,2950e-04	m <sup>4</sup>
Second moment of area	$I_z$	1,1839e-04	m <sup>4</sup>
Torsional constant	$I_t$	1,6670e-07	m <sup>4</sup>
Method for equivalent moment factor $C_{my,0}$		Table A.2 Line 2 (General)	
Design bending moment (maximum)	$M_{y,Ed}$	13,54	kNm
Maximum relative deflection	$\delta_z$	0,9	mm
Equivalent moment factor	$C_{my,0}$	0,99	
Method for equivalent moment factor $C_{mz,0}$		Table A.2 Line 2 (General)	
Design bending moment (maximum)	$M_{z,Ed}$	-1,72	kNm
Maximum relative deflection	$\delta_y$	0,0	mm
Equivalent moment factor	$C_{mz,0}$	0,99	



Interaction method 1 parameters		
Factor	$\mu_y$	0,94
Factor	$\mu_z$	1,00
Factor	$\varepsilon_y$	0,67
Factor	$a_{LT}$	1,00
Critical moment for uniform bending	$M_{cr,0}$	3057,79 kNm
Relative slenderness	$\lambda_{rel,0}$	0,38
Limit relative slenderness	$\lambda_{rel,0,lim}$	0,21
Equivalent moment factor	$C_{my}$	0,99
Equivalent moment factor	$C_{mz}$	0,99
Equivalent moment factor	$C_{mLT}$	1,00

$$\text{Unity check (6.61)} = 0,14 + 0,03 + 0,01 = 0,18 -$$

$$\text{Unity check (6.62)} = 0,14 + 0,03 + 0,01 = 0,18 -$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000,0[\text{MPa}] \times 2,2950 \cdot 10^{-4}[\text{m}^4]}{13,920[\text{m}]^2} = 2454,75[\text{kN}]$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000,0[\text{MPa}] \times 1,1839 \cdot 10^{-4}[\text{m}^4]}{3,343[\text{m}]^2} = 21950,48[\text{kN}]$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \times \left( G \times I_t + \frac{\pi^2 \times E \times I_w}{l_{cr}^2} \right) = \frac{1}{473[\text{mm}]^2} \times \left( 80769,2[\text{MPa}] \times 1,6670 \cdot 10^{-7}[\text{m}^4] + \frac{\pi^2 \times 210000,0[\text{MPa}] \times 1,1004 \cdot 10^{-5}[\text{m}^6]}{3,500[\text{m}]^2} \right) = 8392,04[\text{kN}]$$

$$C_{my,0} = 1 + \left( \frac{\pi^2 \times E \times I_y \times |\delta_z|}{L^2 \times |M_{y,Ed}|} - 1 \right) \times \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,y}} = 1 + \left( \frac{\pi^2 \times 210000,0[\text{MPa}] \times 2,2950 \cdot 10^{-4}[\text{m}^4] \times |0,9[\text{mm}]|}{6,000[\text{m}]^2 \times |13,54[\text{kNm}]|} - 1 \right) \times \frac{|203,50[\text{kN}]|}{2454,75[\text{kN}]} = 0,99$$

$$C_{mz,0} = 1 + \left( \frac{\pi^2 \times E \times I_z \times |\delta_y|}{L^2 \times |M_{z,Ed}|} - 1 \right) \times \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,z}} = 1 + \left( \frac{\pi^2 \times 210000,0[\text{MPa}] \times 1,1839 \cdot 10^{-4}[\text{m}^4] \times |0,0[\text{mm}]|}{3,500[\text{m}]^2 \times |-1,72[\text{kNm}]|} - 1 \right) \times \frac{|203,50[\text{kN}]|}{21950,48[\text{kN}]} = 0,99$$

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,y}}}{1 - \frac{\chi_y \times |N_{Ed}|}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{|203,50[\text{kN}]|}{2454,75[\text{kN}]}}{1 - \frac{0,33 \times |203,50[\text{kN}]|}{2454,75[\text{kN}]}} = 0,94$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,z}}}{1 - \frac{\chi_z \times |N_{Ed}|}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{|203,50[\text{kN}]|}{21950,48[\text{kN}]}}{1 - \frac{0,82 \times |203,50[\text{kN}]|}{21950,48[\text{kN}]}} = 1,00$$

$$\varepsilon_y = \frac{|M_{y,Ed}|}{|N_{Ed}|} \times \frac{A_{eff}}{W_{eff,y}} = \frac{13,54[\text{kNm}]}{203,50[\text{kN}]} \times \frac{1,1240 \cdot 10^{-2}[\text{m}^2]}{1,1243 \cdot 10^{-3}[\text{m}^3]} = 0,67$$

$$a_{LT} = \max \left( 1 - \frac{l_y}{l_y}, 0 \right) = \max \left( 1 - \frac{1,6670 \cdot 10^{-7}[\text{m}^4]}{2,2950 \cdot 10^{-4}[\text{m}^4]}, 0 \right) = \max(1,00,0) = 1,00$$

$$M_{cr,0} = \frac{C_1 \times \pi^2 \times E \times I_z}{(k \times l_T)^2} \times \sqrt{\left( \frac{k}{k_w} \right)^2 \times I_w + \frac{(k \times l_T)^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z} + (C_2 \times z_g - C_3 \times z_s)^2 - (C_2 \times z_g - C_3 \times z_s)} \\ = \frac{1,00 \times \pi^2 \times 210000,0[\text{MPa}] \times 1,1839 \cdot 10^{-4}[\text{m}^4]}{(1,00 \times 3,500[\text{m}])^2} \\ \times \sqrt{\left( \frac{1,00}{1,00} \right)^2 \times 1,1004 \cdot 10^{-5}[\text{m}^6] + \frac{(1,00 \times 3,500[\text{m}])^2 \times 80769,2[\text{MPa}] \times 1,6670 \cdot 10^{-7}[\text{m}^4]}{\pi^2 \times 210000,0[\text{MPa}] \times 1,1839 \cdot 10^{-4}[\text{m}^4]} + (0,22 \times 0[\text{mm}] - 0,53 \times -439[\text{mm}])^2 - (0,22 \times 0[\text{mm}] - 0,53 \times -439[\text{mm}])} \\ = 3057,79[\text{kNm}]$$

$$\lambda_{rel,0} = \sqrt{\frac{W_{eff,y} \times f_y}{M_{cr,0}}} = \sqrt{\frac{1,1243 \cdot 10^{-3}[\text{m}^3] \times 390,0[\text{MPa}]}{3057,79[\text{kNm}]} = 0,38$$

$$\lambda_{rel,0,lim} = 0,2 \times \sqrt{C_1} \times \sqrt{\left( 1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,z}} \right) \times \left( 1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,T}} \right)} = 0,2 \times \sqrt{1,14} \times \sqrt{\left( 1 - \frac{|203,50[\text{kN}]|}{21950,48[\text{kN}]} \right) \times \left( 1 - \frac{|203,50[\text{kN}]|}{8392,04[\text{kN}]} \right)} = 0,21$$

$$C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \times \frac{\sqrt{\varepsilon_y} \times a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} \times a_{LT}} = 0,99 + (1 - 0,99) \times \frac{\sqrt{0,67} \times 1,00}{1 + \sqrt{0,67} \times 1,00} = 0,99$$

$$C_{mz} = C_{mz,0} = 0,99$$

$$C_{mLT} = \max \left[ C_{my}^2 \times \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left( 1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,z}} \right) \times \left( 1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,T}} \right)}}, 1 \right] = \max \left[ 0,99^2 \times \frac{1,00}{\sqrt{\left( 1 - \frac{|203,50[\text{kN}]|}{21950,48[\text{kN}]} \right) \times \left( 1 - \frac{|203,50[\text{kN}]|}{8392,04[\text{kN}]} \right)}}, 1 \right] = \max[1,00,1] \\ = 1,00$$

$$N_{Rk} = A_{eff} \times f_y = 1,1240 \cdot 10^{-2}[\text{m}^2] \times 390,0[\text{MPa}] = 4383,61[\text{kN}]$$

$$M_{y,Rk} = W_{eff,y} \times f_y = 1,1243 \cdot 10^{-3}[\text{m}^3] \times 390,0[\text{MPa}] = 438,48[\text{kNm}]$$

$$M_{z,Rk} = W_{eff,z} \times f_y = 7,6365 \cdot 10^{-4}[\text{m}^3] \times 390,0[\text{MPa}] = 297,83[\text{kNm}]$$

$$k_{yy} = C_{my} \times C_{mLT} \times \frac{\mu_y}{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,y}}} = 0,99 \times 1,00 \times \frac{0,94}{1 - \frac{203,50[\text{kN}]}{2454,75[\text{kN}]}} = 1,02$$

$$k_{yz} = C_{mz} \times \frac{\mu_y}{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,z}}} = 0,99 \times \frac{0,94}{1 - \frac{203,50[\text{kN}]}{21950,48[\text{kN}]}} = 0,94$$

$$k_{zy} = C_{my} \times C_{mLT} \times \frac{\mu_z}{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,y}}} = 0,99 \times 1,00 \times \frac{1,00}{1 - \frac{203,50[\text{kN}]}{2454,75[\text{kN}]}} = 1,08$$

$$k_{zz} = C_{mz} \times \frac{\mu_z}{1 - \frac{|N_{Ed}|}{N_{cr,z}}} = 0,99 \times \frac{1,00}{1 - \frac{203,50[\text{kN}]}{21950,48[\text{kN}]}} = 1,00$$

$$\begin{aligned} \text{Unity check (6.61)} &= \frac{|N_{Ed}|}{\chi_y \times \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \times \frac{|M_{y,Ed}| + |\Delta M_{y,Ed}|}{\chi_{LT} \times \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \times \frac{|M_{z,Ed}| + |\Delta M_{z,Ed}|}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ &= \frac{203,50[\text{kN}]}{0,33 \times \frac{4383,61[\text{kN}]}{1,00}} + 1,02 \times \frac{13,54[\text{kNm}] + |0,00[\text{kNm}]|}{1,00 \times \frac{438,48[\text{kNm}]}{1,00}} + 0,94 \times \frac{|-1,72[\text{kNm}]| + |0,00[\text{kNm}]|}{\frac{297,83[\text{kNm}]}{1,00}} = \mathbf{0,18 \leq 1,00} \end{aligned} \quad (\text{EC3-1-1: 6.61})$$

$$\begin{aligned} \text{Unity check (6.62)} &= \frac{|N_{Ed}|}{\chi_z \times \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \times \frac{|M_{y,Ed}| + |\Delta M_{y,Ed}|}{\chi_{LT} \times \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \times \frac{|M_{z,Ed}| + |\Delta M_{z,Ed}|}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ &= \frac{203,50[\text{kN}]}{0,33 \times \frac{4383,61[\text{kN}]}{1,00}} + 1,08 \times \frac{13,54[\text{kNm}] + |0,00[\text{kNm}]|}{1,00 \times \frac{438,48[\text{kNm}]}{1,00}} + 1,00 \times \frac{|-1,72[\text{kNm}]| + |0,00[\text{kNm}]|}{\frac{297,83[\text{kNm}]}{1,00}} = \mathbf{0,18 \leq 1,00} \end{aligned} \quad (\text{EC3-1-1: 6.62})$$

$$\text{Unity check} = \max(\text{Unity check (6.61)}, \text{Unity check (6.62)}) = \max(0,18, 0,18) = \mathbf{0,18 \leq 1,00}$$

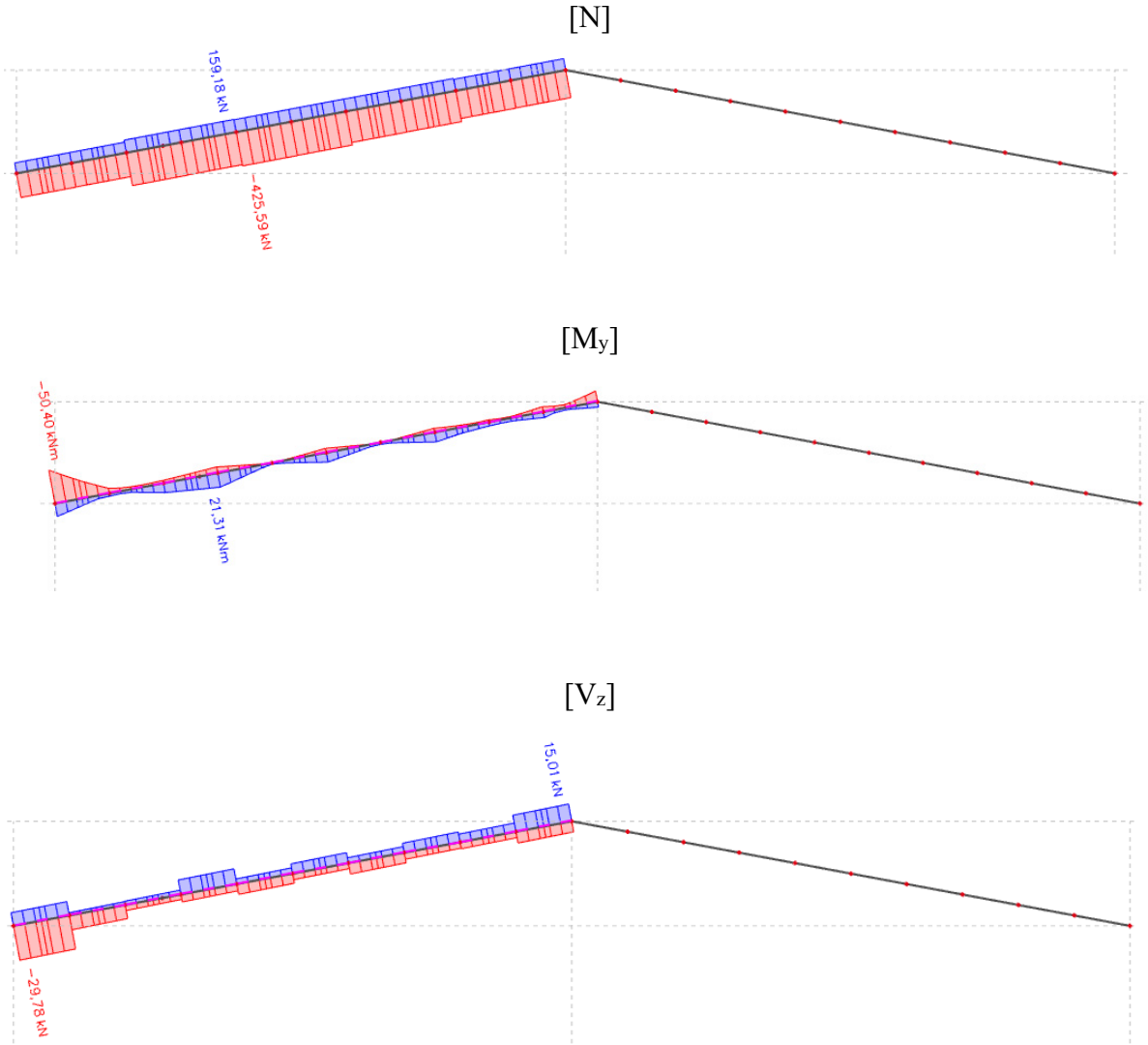
The member satisfies the stability check.

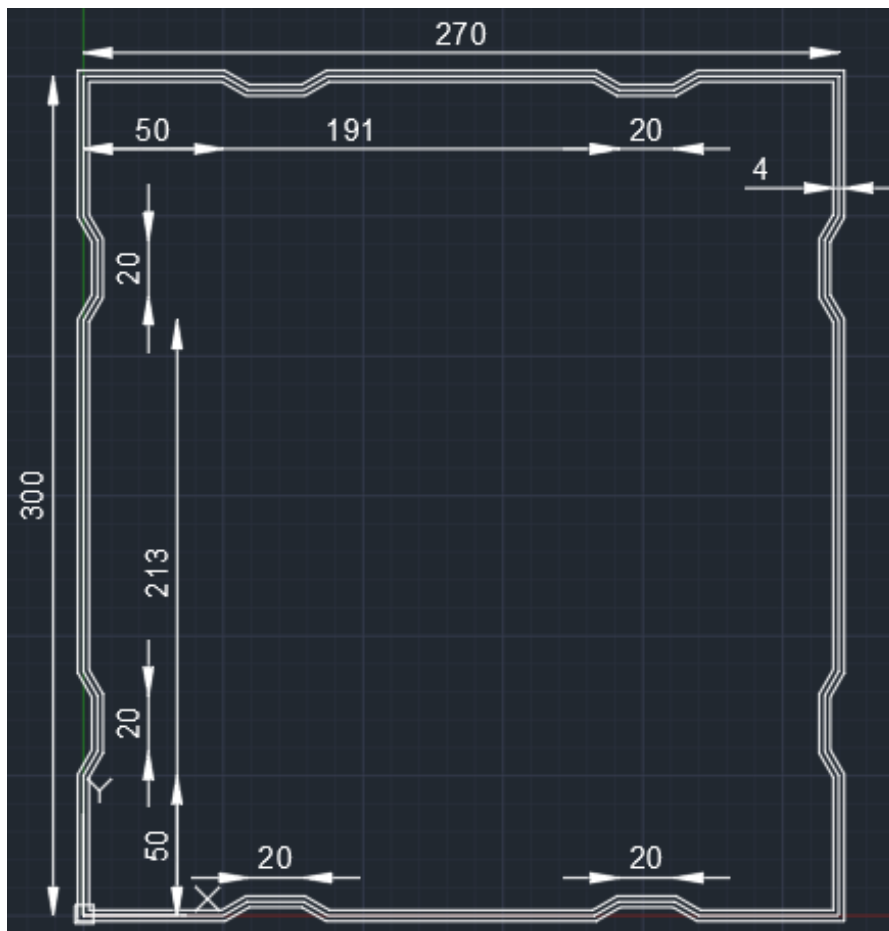
Student version

Student version

## 5.2 Άνω Πέλμα

Τα μέλη του άνω πέλματος καταπονούνται από αξονικές δυνάμεις (παραλαβή ροπής ζυγώματος, ως ζεύγος δυνάμεων πελμάτων) αλλά και από ροπή και τέμνουσα λόγω εγκαρσίων δυνάμεων από τον κορμό του δικτυώματος και από τις τεγίδες





## EC-EN 1993 Steel check ULS

Linear calculation  
 Class: All ULS  
 Coordinate system: Principal  
 Extreme 1D: Global  
 Selection: All  
 Filter: Layer = Anv Pelma

### EN 1993-1-3 Cold Formed Code Check

National annex: Greek ELOT-EN NA

<b>Member B77</b>	<b>9,767 / 16,279 m</b>	<b>General cross-section</b>	<b>S390GD+Z</b>	<b>All ULS</b>	<b>0,50 -</b>
-------------------	-------------------------	------------------------------	-----------------	----------------	---------------

<b>Combination key</b>	
All ULS / 1.15*LC1 + 1.50*snow + 0.90*3DWind14 + 1.15*PSW + 0.90*Thermal	

<b>Partial safety factors</b>	
$\gamma_{M0}$ for resistance of cross-sections	1,00
$\gamma_{M1}$ for resistance to instability	1,00
$\gamma_{M2}$ for resistance of net sections	1,25

<b>Material</b>		
Yield strength $f_y$	390,0	MPa
Ultimate strength $f_u$	460,0	MPa
Fabrication	cold formed	

...:SECTION CHECK:...

The critical check is on position 9,767 m

Internal forces		Calculated	Unit
Normal force	$N_{Ed}$	-425,00	kN
Shear force	$V_{y,Ed}$	-0,15	kN
Shear force	$V_{z,Ed}$	-8,94	kN
Torsion	$T_{Ed}$	-0,03	kNm
Bending moment	$M_{y,Ed}$	0,30	kNm
Bending moment	$M_{z,Ed}$	-0,58	kNm

### Effective section N-

#### Effective width calculation

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\eta$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,28	1,00	50	25	25
2	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
3	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	20	10	10
4	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
5	I	100	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,57	1,00	100	50	50
6	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
7	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	20	10	10
8	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
9	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,28	1,00	50	25	25
10	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,28	1,00	50	25	25
11	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
12	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	20	10	10
13	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
14	I	150	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,85	0,87	131	65	65
15	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
16	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	20	10	10
17	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
18	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,28	1,00	50	25	25
19	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,28	1,00	50	25	25
20	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
21	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	20	10	10
22	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
23	I	100	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,57	1,00	100	50	50
24	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
25	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	20	10	10
26	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
27	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,28	1,00	50	25	25
28	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,28	1,00	50	25	25
29	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
30	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	20	10	10
31	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
32	I	150	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,85	0,87	131	65	65
33	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
34	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	20	10	10
35	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
36	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,28	1,00	50	25	25

**Effective section My+**

**Effective width calculation**

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_{\sigma}$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,23	1,00	50	25	25
2	I	10	3,900e+05	3,780e+05	0,97	4,06	0,06	1,00	10	5	5
3	I	20	3,780e+05	3,780e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	20	10	10
4	I	10	3,900e+05	3,780e+05	0,97	4,06	0,06	1,00	10	5	5
5	I	100	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,57	1,00	100	50	50
6	I	10	3,900e+05	3,780e+05	0,97	4,06	0,06	1,00	10	5	5
7	I	20	3,780e+05	3,780e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	20	10	10
8	I	10	3,900e+05	3,780e+05	0,97	4,06	0,06	1,00	10	5	5
9	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,28	1,00	50	25	25
10	I	50	3,900e+05	2,699e+05	0,69	4,71	0,26	1,00	50	23	27
11	I	10	2,699e+05	2,491e+05	0,92	4,16	0,06	1,00	10	5	5
12	I	20	2,491e+05	2,010e+05	0,81	4,42	0,11	1,00	20	10	10
13	I	10	2,010e+05	1,802e+05	0,90	4,21	0,06	1,00	10	5	5
14	I	150	1,802e+05	-1,802e+05	-1,00	23,90	0,35	1,00	75	30	45
15	I	10	-1,802e+05	-2,010e+05							
16	I	20	-2,010e+05	-2,491e+05							
17	I	10	-2,491e+05	-2,699e+05							
18	I	50	-2,699e+05	-3,900e+05							
19	I	50	-3,900e+05	-3,900e+05							
20	I	10	-3,780e+05	-3,900e+05							
21	I	20	-3,780e+05	-3,780e+05							
22	I	10	-3,780e+05	-3,900e+05							
23	I	100	-3,900e+05	-3,900e+05							
24	I	10	-3,780e+05	-3,900e+05							
25	I	20	-3,780e+05	-3,780e+05							
26	I	10	-3,780e+05	-3,900e+05							
27	I	50	-3,900e+05	-3,900e+05							
28	I	50	-2,699e+05	-3,900e+05							
29	I	10	-2,491e+05	-2,699e+05							
30	I	20	-2,010e+05	-2,491e+05							
31	I	10	-1,802e+05	-2,010e+05							
32	I	150	1,802e+05	-1,802e+05	-1,00	23,90	0,35	1,00	75	30	45
33	I	10	2,010e+05	1,802e+05	0,90	4,21	0,06	1,00	10	5	5
34	I	20	2,491e+05	2,010e+05	0,81	4,42	0,11	1,00	20	10	10
35	I	10	2,699e+05	2,491e+05	0,92	4,16	0,06	1,00	10	5	5
36	I	50	3,900e+05	2,699e+05	0,69	4,71	0,26	1,00	50	23	27

**Effective section Mz-**

**Effective width calculation**

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_{\sigma}$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	I	50	-2,379e+05	-3,777e+05							
2	I	10	-2,137e+05	-2,379e+05							
3	I	20	-1,578e+05	-2,137e+05							
4	I	10	-1,336e+05	-1,578e+05							
5	I	100	1,459e+05	-1,336e+05	-0,92	21,77	0,24	1,00	52	21	31
6	I	10	1,701e+05	1,459e+05	0,86	4,30	0,05	1,00	10	5	5
7	I	20	2,260e+05	1,701e+05	0,75	4,55	0,11	1,00	20	9	11
8	I	10	2,502e+05	2,260e+05	0,90	4,20	0,06	1,00	10	5	5
9	I	50	3,900e+05	2,502e+05	0,64	4,85	0,26	1,00	50	23	27
10	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,28	1,00	50	25	25
11	I	10	3,900e+05	3,760e+05	0,96	4,07	0,06	1,00	10	5	5
12	I	20	3,760e+05	3,760e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	20	10	10
13	I	10	3,900e+05	3,760e+05	0,96	4,07	0,06	1,00	10	5	5
14	I	150	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,85	0,87	131	65	65
15	I	10	3,900e+05	3,760e+05	0,96	4,07	0,06	1,00	10	5	5
16	I	20	3,760e+05	3,760e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	20	10	10
17	I	10	3,900e+05	3,760e+05	0,96	4,07	0,06	1,00	10	5	5
18	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,28	1,00	50	25	25
19	I	50	3,900e+05	2,502e+05	0,64	4,85	0,26	1,00	50	23	27
20	I	10	2,502e+05	2,260e+05	0,90	4,20	0,06	1,00	10	5	5
21	I	20	2,260e+05	1,701e+05	0,75	4,55	0,11	1,00	20	9	11
22	I	10	1,701e+05	1,459e+05	0,86	4,30	0,05	1,00	10	5	5
23	I	100	1,459e+05	-1,336e+05	-0,92	21,77	0,24	1,00	52	21	31
24	I	10	-1,336e+05	-1,578e+05							
25	I	20	-1,578e+05	-2,137e+05							
26	I	10	-2,137e+05	-2,379e+05							
27	I	50	-2,379e+05	-3,777e+05							
28	I	50	-3,777e+05	-3,777e+05							
29	I	10	-3,637e+05	-3,777e+05							
30	I	20	-3,637e+05	-3,637e+05							
31	I	10	-3,637e+05	-3,777e+05							

Id	Type	b <sub>p</sub> [mm]	σ <sub>1</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	σ <sub>2</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	ψ [-]	k <sub>σ</sub> [-]	λ <sub>p</sub> [-]	ρ [-]	b <sub>e</sub> [mm]	b <sub>e1</sub> [mm]	b <sub>e2</sub> [mm]
32	I	150	-3,777e+05	-3,777e+05							
33	I	10	-3,637e+05	-3,777e+05							
34	I	20	-3,637e+05	-3,637e+05							
35	I	10	-3,637e+05	-3,777e+05							
36	I	50	-3,777e+05	-3,777e+05							

Effective properties						
Effective area	A <sub>eff</sub>	4,7260e-03	m <sup>2</sup>			
Effective second moment of area	I <sub>eff,y</sub>	8,1449e-05	m <sup>4</sup>	I <sub>eff,z</sub>	6,1683e-05	m <sup>4</sup>
Effective section modulus	W <sub>eff,y</sub>	4,9567e-04	m <sup>3</sup>	W <sub>eff,z</sub>	4,3585e-04	m <sup>3</sup>
Shift of the centroid	e <sub>N,y</sub>	0	mm	e <sub>N,z</sub>	0	mm

#### Compression check

According to EN 1993-1-3 article 6.1.3 and formula (6.2)

Effective section area	A <sub>eff</sub>	4,7260e-03	m <sup>2</sup>
Compression resistance	N <sub>c,Rd</sub>	1843,12	kN
Unity check		0,23	-

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,7260 \cdot 10^{-3} [m^2] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 1843,12 [kN] \quad (EC3-1-3: 6.2)$$

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{c,Rd}} = \frac{|-425,00 [kN]|}{1843,12 [kN]} = 0,23 \leq 1,00$$

#### Bending moment check for M<sub>y</sub>

According to EN 1993-1-3 article 6.1.4 and formula (6.6)

Elastic section modulus	W <sub>el,y</sub>	4,9566e-04	m <sup>3</sup>
Bending moment resistance	M <sub>c,y,Rd</sub>	193,31	kNm
Unity check		0,00	-

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{el,y} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,9566 \cdot 10^{-4} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 193,31 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.6)$$

$$\text{Unity check} = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{c,y,Rd}} = \frac{|0,30 [kNm]|}{193,31 [kNm]} = 0,00 \leq 1,00$$

#### Bending moment check for M<sub>z</sub>

According to EN 1993-1-3 article 6.1.4 and formula (6.4)

Effective section modulus	W <sub>eff,z</sub>	4,3585e-04	m <sup>3</sup>
Bending moment resistance	M <sub>c,z,Rd</sub>	169,98	kNm
Unity check		0,00	-

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{eff,z} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,3585 \cdot 10^{-4} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 169,98 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.4)$$

$$\text{Unity check} = \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{c,z,Rd}} = \frac{|-0,58 [kNm]|}{169,98 [kNm]} = 0,00 \leq 1,00$$

#### Biaxial bending moment check

According to EN 1993-1-3 article 6.1.4 and formula (6.7)

Bending moment resistance	M <sub>c,y,Rd</sub>	193,31	kNm
Bending moment resistance	M <sub>c,z,Rd</sub>	169,98	kNm

$$\text{Unity check (6.7)} = 0,00 + 0,00 = 0,00 -$$

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{el,y} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,9566 \cdot 10^{-4} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 193,31 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.6)$$

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{eff,z} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,3585 \cdot 10^{-4} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 169,98 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.4)$$

$$\text{Unity check (6.7)} = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{c,y,Rd}} + \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{c,z,Rd}} = \frac{|0,30 [kNm]|}{193,31 [kNm]} + \frac{|-0,58 [kNm]|}{169,98 [kNm]} = 0,00 \leq 1,00 \quad (EC3-1-3: 6.7)$$

#### Shear Force V<sub>z</sub>

According to article EN 1993-1-3: 6.1.5 and formula (6.8).

No stiffening at the support.

Element ID	l <sub>c</sub> [mm]	α [deg]	s <sub>w</sub> [mm]	λ <sub>w</sub> [-]	f <sub>bv</sub> [MPa]	V <sub>b,Rd,zl</sub> [kN]
1	50	179,99	50	0,19	226,2	0,00
2	10	209,99	10	0,04	226,2	2,26
3	20	179,99	20	0,07	226,2	0,00
4	10	149,99	10	0,04	226,2	2,26
5	100	179,99	100	0,37	226,2	0,00
6	10	209,99	10	0,04	226,2	2,26
7	20	179,99	20	0,07	226,2	0,00
8	10	149,99	10	0,04	226,2	2,26
9	50	179,99	50	0,19	226,2	0,00

Element ID	$l_c$ [mm]	$\alpha$ [deg]	$s_w$ [mm]	$\lambda_w$ [-]	$f_{bv}$ [MPa]	$V_{b,Rd,z,i}$ [kN]
10	50	269,99	50	0,19	226,2	45,24
11	10	299,99	10	0,04	226,2	6,79
12	20	269,99	20	0,07	226,2	18,10
13	10	239,99	10	0,04	226,2	6,78
14	150	269,99	150	0,56	226,2	135,72
15	10	299,99	10	0,04	226,2	6,79
16	20	269,99	20	0,07	226,2	18,10
17	10	239,99	10	0,04	226,2	6,78
18	50	269,99	50	0,19	226,2	45,24
19	50	-0,01	50	0,19	226,2	0,00
20	10	29,99	10	0,04	226,2	2,26
21	20	-0,01	20	0,07	226,2	0,00
22	10	329,99	10	0,04	226,2	2,26
23	100	-0,01	100	0,37	226,2	0,00
24	10	29,99	10	0,04	226,2	2,26
25	20	-0,01	20	0,07	226,2	0,00
26	10	329,99	10	0,04	226,2	2,26
27	50	-0,01	50	0,19	226,2	0,00
28	50	89,99	50	0,19	226,2	45,24
29	10	119,99	10	0,04	226,2	6,79
30	20	89,99	20	0,07	226,2	18,10
31	10	59,99	10	0,04	226,2	6,78
32	150	89,99	150	0,56	226,2	135,72
33	10	119,99	10	0,04	226,2	6,79
34	20	89,99	20	0,07	226,2	18,10
35	10	59,99	10	0,04	226,2	6,78
36	50	89,99	50	0,19	226,2	45,24

Shear verification		
$V_{b,Rd,z}$	597,17	kN
Unity check	0,01	-

#### Torsional Moment Check

According to article EN 1993-1-3: 6.1.6 and formula (6.11a), (6.11b), (6.11c).

Elastic verification		
Critical Fibre	12	
$\sigma_N$	89,9	MPa
$\sigma_{My}$	0,6	MPa
$\sigma_{Mz}$	1,3	MPa
$\tau_{Vy}$	0,1	MPa
$\tau_{Vz}$	2,5	MPa
$\tau_t$	0,0	MPa
Direct Stress Check	0,24	-
Shear Stress Check	0,01	-
Composed Stress Check	0,21	-

#### Local Transverse Forces Check

According to article EN 1993-1-3: 6.1.7.2 and formula (6.15d)

Local Transverse Forces parameters		
Flange condition	Unstiffened	
Loading condition	Interior one-flange (IOF)	
Web rotation	Not prevented	
Inside bend radius $r$	0	mm
Bearing length $s_s$	10	mm
$k$	1,71	
$k_1$	0,77	
$k_4$	0,84	

Element	$l_c$ [mm]	$\phi$ [deg]	$h_w$ [mm]	$t$ [mm]	$k_2$	$k_3$	$k_5$	$R_{w,Rd,i}$ [kN]
10	50	90,00	50	4	1,00	1,00	1,00	77,39
11	10	60,00	9	4	1,00	0,83	1,00	65,42
12	20	90,00	20	4	1,00	1,00	1,00	78,20
13	10	60,00	9	4	1,00	0,83	1,00	65,42
14	150	90,00	150	4	1,00	1,00	1,00	74,69
15	10	60,00	9	4	1,00	0,83	1,00	65,42
16	20	90,00	20	4	1,00	1,00	1,00	78,20
17	10	60,00	9	4	1,00	0,83	1,00	65,42
18	50	90,00	50	4	1,00	1,00	1,00	77,39
28	50	90,00	50	4	1,00	1,00	1,00	77,39
29	10	60,00	9	4	1,00	0,83	1,00	65,42
30	20	90,00	20	4	1,00	1,00	1,00	78,20
31	10	60,00	9	4	1,00	0,83	1,00	65,42
32	150	90,00	150	4	1,00	1,00	1,00	74,69
33	10	60,00	9	4	1,00	0,83	1,00	65,42
34	20	90,00	20	4	1,00	1,00	1,00	78,20
35	10	60,00	9	4	1,00	0,83	1,00	65,42
36	50	90,00	50	4	1,00	1,00	1,00	77,39



**Local Transverse Forces verification**

Load/Reaction $F_{Ed}$	-21,40	kN
$R_{w,Rd}$	1295,14	kN
Unity check	0,02	-

**Combined Compression and Bending Check**

According to article EN 1993-1-3: 6.1.9 and formula (6.25), (6.26).

$N_{c,Rd}$	1843,12	kN
$M_{cy,Rd,ten}$	193,31	kNm
$M_{cz,Rd,ten}$	175,42	kNm
$M_{cy,Rd,com}$	193,31	kNm
$M_{cz,Rd,com}$	169,96	kNm

Unity check (6.25)  $0,23 + 0,00 + 0,00 = 0,24$  -

Unity check (6.26)  $0,00 + 0,00 - 0,23 = 0,00$  -

**Combined Bending Moment and Local Load/Reaction Check**

According to article EN 1993-1-3: 6.1.11 and formula (6.28c).

$F_{Ed}$	-21,40	kN
$M_{c,Rd}$	193,31	kNm
$R_{w,Rd}$	1295,14	kN
Unity check	0,01	-

The member satisfies the section check.

**...:STABILITY CHECK:...:****Classification for member buckling design**

**Note:** The Elastic verification has been set by the user.

**Flexural Buckling Strength**

According to article EN 1993-1-3: 6.2.2

According to article EN 1993-1-1: 6.3.1 and formula (6.46)

Buckling parameters	yy	zz	
Sway type	sway	non-sway	
System Length L	3,256	3,256	m
Buckling factor k	2,80	0,93	
Buckling length $L_{cr}$	9,114	3,041	m
Critical Euler load $N_{cr}$	2032,50	14155,13	kN
Slenderness	70,54	26,73	
Relative slenderness $\lambda_{rel}$	0,95	0,36	
Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$	0,20	0,20	
Buckling curve	c	c	
Imperfection $\alpha$	0,49	0,49	
Reduction factor $\chi$	0,57	0,92	
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	1047,06	1691,70	kN

**Flexural Buckling verification**

$A_{eff}$	4,7260e-03	m <sup>2</sup>
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	1047,06	kN
Unity check	0,41	-

**Torsional (-Flexural) Buckling check**

According to article EN 1993-1-3: 6.2.3

According to article EN 1993-1-1: 6.3.1 and formula (6.46)

Torsional Buckling length	3,256	m
$N_{cr,T}$	276982,53	kN
$N_{cr,TF}$	2032,50	kN
Relative slenderness $\lambda_{rel,T}$	0,95	
Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$	0,20	
Buckling curve	c	
Imperfection $\alpha$	0,49	
$A_{eff}$	4,7260e-03	m <sup>2</sup>
Reduction factor $\chi$	0,57	
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	1047,06	kN
Unity check	0,41	-

**Lateral Torsional Buckling Check**

According to article EN 1993-1-3: 6.2.4

According to article EN 1993-1-1: 6.3.2 and formula (6.55)

**LTB Parameters**

Method for LTB Curve	art. 6.3.2.2	
$W_{eff,y}$	4,9567e-04	m <sup>3</sup>
Elastic critical moment $M_{cr}$	13572,86	kNm
Relative slenderness $\lambda_{rel,LT}$	0,12	
Limit slenderness $\lambda_{rel,LT,0}$	0,20	

M <sub>cr</sub> Parameters		
LTB length	3,256	m
k	1,00	
k <sub>w</sub>	1,00	
C <sub>1</sub>	1,35	
C <sub>2</sub>	0,53	
C <sub>3</sub>	0,41	

The slenderness or bending moment is such that Lateral Torsional Buckling effects may be ignored according to EN 1993-1-1 article 6.3.2.2(4)

#### Bending and Axial Compression Check

According to article EN 1993-1-3: 6.2.5(1)

According to article EN 1993-1-1: 6.3.3 and formula (6.61), (6.62).

Interaction Method 1

Interaction method 1 parameters		
k <sub>yy</sub>	1,11	
k <sub>yz</sub>	0,91	
k <sub>zy</sub>	1,24	
k <sub>zz</sub>	1,01	
ΔM <sub>y,Ed</sub>	0,00	kNm
ΔM <sub>z,Ed</sub>	0,00	kNm
A	4,7260e-03	m <sup>2</sup>
W <sub>y</sub>	4,9567e-04	m <sup>3</sup>
W <sub>z</sub>	4,3585e-04	m <sup>3</sup>
N <sub>Rk</sub>	1843,12	kN
M <sub>y,Rk</sub>	193,31	kNm
M <sub>z,Rk</sub>	169,98	kNm
M <sub>y,Ed</sub>	14,25	kNm
M <sub>z,Ed</sub>	1,31	kNm
Interaction Method 1		
M <sub>cr,0</sub>	10068,89	kNm
reduced slenderness 0	0,14	
ψ <sub>y</sub>	0,51	
ψ <sub>z</sub>	-0,45	
C <sub>my,0</sub>	0,98	
C <sub>mz,0</sub>	0,98	
C <sub>my</sub>	0,98	
C <sub>mz</sub>	0,98	
C <sub>mLT</sub>	1,00	
μ <sub>y</sub>	0,90	
μ <sub>z</sub>	1,00	
α <sub>LT</sub>	0,00	

Unity check  $0,41 + 0,08 + 0,01 = 0,50$  -

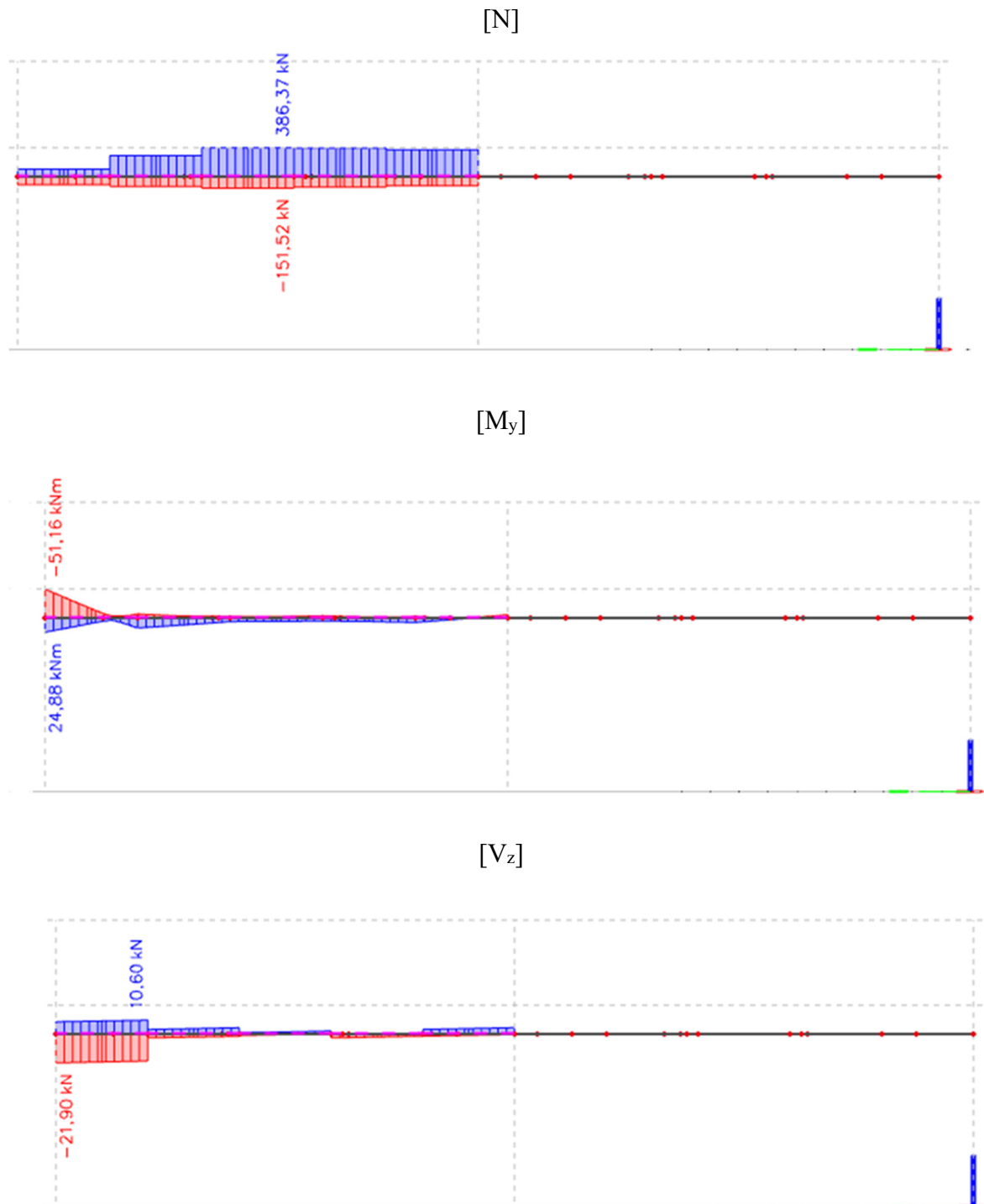
Unity check  $0,41 + 0,09 + 0,01 = 0,50$  -

The member satisfies the stability check.

Student version

### 5.3 Κάτω Πέλαμα

Το κάτω πέλαμα υλοποιείται με την ίδια διατομή με το άνω πέλαμα, στραμμένη κατά  $90^\circ$  για καλύτερη ευστάθεια στα φορτία χιονιού και αναρρόφησης από εξωτερικές ανεμοπιέσεις, όπου το κάτω πέλαμα ενδέχεται να έχει και θλιπτικές αξονικές εντάσεις, οπότε κινδυνεύει από ανάπτυξη στρεπτοκαμπτικού λυγισμού.



## EC-EN 1993 Steel check ULS

Linear calculation  
 Class: All ULS  
 Coordinate system: Principal  
 Extreme 1D: Global  
 Selection: All  
 Filter: Layer = Katv Pelma

### EN 1993-1-3 Cold Formed Code Check

National annex: Greek ELOT-EN NA

Member B97	6,400 / 16,000 m	General cross-section	S390GD+Z	All ULS	0,31 -
------------	------------------	-----------------------	----------	---------	--------

#### Combination key

All ULS / LC1 + 1.50\*3DWind7 + PSW

#### Partial safety factors

$\gamma_{M0}$ for resistance of cross-sections	1,00
$\gamma_{M1}$ for resistance to instability	1,00
$\gamma_{M2}$ for resistance of net sections	1,25

#### Material

Yield strength $f_y$	390,0	MPa
Ultimate strength $f_u$	460,0	MPa
Fabrication	cold formed	

....SECTION CHECK:....

The critical check is on position 6,400 m

Internal forces		Calculated	Unit
Normal force	$N_{Ed}$	-151,00	kN
Shear force	$V_{y,Ed}$	0,35	kN
Shear force	$V_{z,Ed}$	-0,01	kN
Torsion	$T_{Ed}$	0,00	kNm
Bending moment	$M_{y,Ed}$	0,00	kNm
Bending moment	$M_{z,Ed}$	-2,11	kNm

#### Effective section N-

##### Effective width calculation

According to EN 1993 1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993 1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,28	1,00	50	25	25
2	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
3	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	20	10	10
4	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
5	I	100	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,57	1,00	100	50	50
6	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
7	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	20	10	10
8	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
9	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,28	1,00	50	25	25
10	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,28	1,00	50	25	25
11	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
12	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	20	10	10
13	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
14	I	150	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,85	0,87	131	65	65
15	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
16	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	20	10	10
17	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
18	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,28	1,00	50	25	25
19	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,28	1,00	50	25	25
20	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
21	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	20	10	10
22	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
23	I	100	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,57	1,00	100	50	50
24	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
25	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	20	10	10
26	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
27	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,28	1,00	50	25	25
28	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,28	1,00	50	25	25
29	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
30	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	20	10	10
31	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
32	I	150	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,85	0,87	131	65	65
33	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
34	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	20	10	10
35	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,06	1,00	10	5	5
36	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,28	1,00	50	25	25

**Effective section My-  
Effective width calculation**

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	b <sub>p</sub> [mm]	σ <sub>1</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	σ <sub>2</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	ψ [-]	k <sub>σ</sub> [-]	λ <sub>p</sub> [-]	ρ [-]	b <sub>e</sub> [mm]	b <sub>e1</sub> [mm]	b <sub>e2</sub> [mm]
1	I	50	-3,900e+05	-3,900e+05							
2	I	10	-3,780e+05	-3,900e+05							
3	I	20	-3,780e+05	-3,780e+05							
4	I	10	-3,780e+05	-3,900e+05							
5	I	100	-3,900e+05	-3,900e+05							
6	I	10	-3,780e+05	-3,900e+05							
7	I	20	-3,780e+05	-3,780e+05							
8	I	10	-3,780e+05	-3,900e+05							
9	I	50	-3,900e+05	-3,900e+05							
10	I	50	-2,699e+05	-3,900e+05							
11	I	10	-2,491e+05	-2,699e+05							
12	I	20	-2,010e+05	-2,491e+05							
13	I	10	-1,802e+05	-2,010e+05							
14	I	150	1,802e+05	-1,802e+05	-1,00	23,90	0,35	1,00	75	30	45
15	I	10	2,010e+05	1,802e+05	0,90	4,21	0,06	1,00	10	5	5
16	I	20	2,491e+05	2,010e+05	0,81	4,42	0,11	1,00	20	10	10
17	I	10	2,699e+05	2,491e+05	0,92	4,16	0,06	1,00	10	5	5
18	I	50	3,900e+05	2,699e+05	0,69	4,71	0,26	1,00	50	23	27
19	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,28	1,00	50	25	25
20	I	10	3,900e+05	3,780e+05	0,97	4,06	0,06	1,00	10	5	5
21	I	20	3,780e+05	3,780e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	20	10	10
22	I	10	3,900e+05	3,780e+05	0,97	4,06	0,06	1,00	10	5	5
23	I	100	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,57	1,00	100	50	50
24	I	10	3,900e+05	3,780e+05	0,97	4,06	0,06	1,00	10	5	5
25	I	20	3,780e+05	3,780e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	20	10	10
26	I	10	3,900e+05	3,780e+05	0,97	4,06	0,06	1,00	10	5	5
27	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,28	1,00	50	25	25
28	I	50	3,900e+05	2,699e+05	0,69	4,71	0,26	1,00	50	23	27
29	I	10	2,699e+05	2,491e+05	0,92	4,16	0,06	1,00	10	5	5
30	I	20	2,491e+05	2,010e+05	0,81	4,42	0,11	1,00	20	10	10
31	I	10	2,010e+05	1,802e+05	0,90	4,21	0,06	1,00	10	5	5
32	I	150	1,802e+05	-1,802e+05	-1,00	23,90	0,35	1,00	75	30	45
33	I	10	-1,802e+05	-2,010e+05							
34	I	20	-2,010e+05	-2,491e+05							
35	I	10	-2,491e+05	-2,699e+05							
36	I	50	-2,699e+05	-3,900e+05							

**Effective section Mz-  
Effective width calculation**

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	b <sub>p</sub> [mm]	σ <sub>1</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	σ <sub>2</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	ψ [-]	k <sub>σ</sub> [-]	λ <sub>p</sub> [-]	ρ [-]	b <sub>e</sub> [mm]	b <sub>e1</sub> [mm]	b <sub>e2</sub> [mm]
1	I	50	-2,379e+05	-3,777e+05							
2	I	10	-2,137e+05	-2,379e+05							
3	I	20	-1,578e+05	-2,137e+05							
4	I	10	-1,336e+05	-1,578e+05							
5	I	100	1,459e+05	-1,336e+05	-0,92	21,77	0,24	1,00	52	21	31
6	I	10	1,701e+05	1,459e+05	0,86	4,30	0,05	1,00	10	5	5
7	I	20	2,260e+05	1,701e+05	0,75	4,55	0,11	1,00	20	9	11
8	I	10	2,502e+05	2,260e+05	0,90	4,20	0,06	1,00	10	5	5
9	I	50	3,900e+05	2,502e+05	0,64	4,85	0,26	1,00	50	23	27
10	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,28	1,00	50	25	25
11	I	10	3,900e+05	3,760e+05	0,96	4,07	0,06	1,00	10	5	5
12	I	20	3,760e+05	3,760e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	20	10	10
13	I	10	3,900e+05	3,760e+05	0,96	4,07	0,06	1,00	10	5	5
14	I	150	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,85	0,87	131	65	65
15	I	10	3,900e+05	3,760e+05	0,96	4,07	0,06	1,00	10	5	5
16	I	20	3,760e+05	3,760e+05	1,00	4,00	0,11	1,00	20	10	10
17	I	10	3,900e+05	3,760e+05	0,96	4,07	0,06	1,00	10	5	5
18	I	50	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,28	1,00	50	25	25
19	I	50	3,900e+05	2,502e+05	0,64	4,85	0,26	1,00	50	23	27
20	I	10	2,502e+05	2,260e+05	0,90	4,20	0,06	1,00	10	5	5
21	I	20	2,260e+05	1,701e+05	0,75	4,55	0,11	1,00	20	9	11
22	I	10	1,701e+05	1,459e+05	0,86	4,30	0,05	1,00	10	5	5
23	I	100	1,459e+05	-1,336e+05	-0,92	21,77	0,24	1,00	52	21	31
24	I	10	-1,336e+05	-1,578e+05							
25	I	20	-1,578e+05	-2,137e+05							
26	I	10	-2,137e+05	-2,379e+05							
27	I	50	-2,379e+05	-3,777e+05							
28	I	50	-3,777e+05	-3,777e+05							
29	I	10	-3,637e+05	-3,777e+05							
30	I	20	-3,637e+05	-3,637e+05							
31	I	10	-3,637e+05	-3,777e+05							

Id	Type	b <sub>p</sub> [mm]	σ <sub>1</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	σ <sub>2</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	ψ [-]	k <sub>σ</sub> [-]	λ <sub>p</sub> [-]	ρ [-]	b <sub>e</sub> [mm]	b <sub>e1</sub> [mm]	b <sub>e2</sub> [mm]
32	I	150	-3,777e+05	-3,777e+05							
33	I	10	-3,637e+05	-3,777e+05							
34	I	20	-3,637e+05	-3,637e+05							
35	I	10	-3,637e+05	-3,777e+05							
36	I	50	-3,777e+05	-3,777e+05							

Effective properties						
Effective area	A <sub>eff</sub>	4,7260e-03	m <sup>2</sup>			
Effective second moment of area	I <sub>eff,y</sub>	8,1449e-05	m <sup>4</sup>	I <sub>eff,z</sub>	6,1683e-05	m <sup>4</sup>
Effective section modulus	W <sub>eff,y</sub>	4,9567e-04	m <sup>3</sup>	W <sub>eff,z</sub>	4,3585e-04	m <sup>3</sup>
Shift of the centroid	e <sub>N,y</sub>	0	mm	e <sub>N,z</sub>	0	mm

### Compression check

According to EN 1993-1-3 article 6.1.3 and formula (6.2)

Effective section area	A <sub>eff</sub>	4,7260e-03	m <sup>2</sup>
Compression resistance	N <sub>c,Rd</sub>	1843,12	kN
Unity check		0,08	-

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,7260 \cdot 10^{-3} [m^2] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 1843,12 [kN] \quad (EC3-1-3: 6.2)$$

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{c,Rd}} = \frac{|-151,00 [kN]|}{1843,12 [kN]} = 0,08 \leq 1,00$$

### Bending moment check for M<sub>y</sub>

According to EN 1993-1-3 article 6.1.4 and formula (6.6)

Elastic section modulus	W <sub>el,y</sub>	4,9566e-04	m <sup>3</sup>
Bending moment resistance	M <sub>c,y,Rd</sub>	193,31	kNm
Unity check		0,00	-

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{el,y} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,9566 \cdot 10^{-4} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 193,31 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.6)$$

$$\text{Unity check} = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{c,y,Rd}} = \frac{|0,00 [kNm]|}{193,31 [kNm]} = 0,00 \leq 1,00$$

### Bending moment check for M<sub>z</sub>

According to EN 1993-1-3 article 6.1.4 and formula (6.4)

Effective section modulus	W <sub>eff,z</sub>	4,3585e-04	m <sup>3</sup>
Bending moment resistance	M <sub>c,z,Rd</sub>	169,98	kNm
Unity check		0,01	-

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{eff,z} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,3585 \cdot 10^{-4} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 169,98 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.4)$$

$$\text{Unity check} = \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{c,z,Rd}} = \frac{|-2,11 [kNm]|}{169,98 [kNm]} = 0,01 \leq 1,00$$

### Biaxial bending moment check

According to EN 1993-1-3 article 6.1.4 and formula (6.7)

Bending moment resistance	M <sub>c,y,Rd</sub>	193,31	kNm
Bending moment resistance	M <sub>c,z,Rd</sub>	169,98	kNm

$$\text{Unity check (6.7)} = 0,00 + 0,01 = 0,01$$

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{el,y} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,9566 \cdot 10^{-4} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 193,31 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.6)$$

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{eff,z} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,3585 \cdot 10^{-4} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 169,98 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.4)$$

$$\text{Unity check (6.7)} = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{c,y,Rd}} + \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{c,z,Rd}} = \frac{|0,00 [kNm]|}{193,31 [kNm]} + \frac{|-2,11 [kNm]|}{169,98 [kNm]} = 0,01 \leq 1,00 \quad (EC3-1-3: 6.7)$$

### Torsional Moment Check

According to article EN 1993-1-3: 6.1.6 and formula (6.11a), (6.11b), (6.11c).

Elastic verification		
Critical Fibre	22	
σ <sub>N</sub>	32,0	MPa
σ <sub>M<sub>y</sub></sub>	0,0	MPa
σ <sub>M<sub>z</sub></sub>	4,8	MPa
τ <sub>V<sub>y</sub></sub>	0,1	MPa
τ <sub>V<sub>z</sub></sub>	0,0	MPa
τ <sub>t</sub>	0,0	MPa
Direct Stress Check	0,09	-
Shear Stress Check	0,00	-
Composed Stress Check	0,09	-

### Combined Compression and Bending Check

According to article EN 1993-1-3: 6.1.9 and formula (6.25), (6.26).

$N_{c,Rd}$	1843,12	kN
$M_{cy,Rd,ten}$	193,31	kNm
$M_{cz,Rd,ten}$	175,42	kNm
$M_{cy,Rd,com}$	193,31	kNm
$M_{cz,Rd,com}$	169,96	kNm

Unity check (6.25)  $0,08 + 0,00 + 0,01 = 0,09$  -

Unity check (6.26)  $0,00 + 0,01 - 0,08 = 0,00$  -

The member satisfies the section check.

### ....:STABILITY CHECK:....

#### Classification for member buckling design

**Note:** The Elastic verification has been set by the user.

#### Flexural Buckling Strength

According to article EN 1993-1-3: 6.2.2

According to article EN 1993-1-1: 6.3.1 and formula (6.46)

Buckling parameters	yy	zz	
Sway type	sway	non-sway	
System Length L	3,200	3,200	m
Buckling factor k	4,87	0,68	
Buckling length $L_{cr}$	15,587	2,180	m
Critical Euler load $N_{cr}$	694,88	27558,88	kN
Slenderness	120,65	19,16	
Relative slenderness $\lambda_{rel}$	1,63	0,26	
Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$	0,20	0,20	
Buckling curve	c	c	
Imperfection $\alpha$	0,49	0,49	
Reduction factor $\chi$	0,28	0,97	
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	509,19	1788,20	kN

#### Flexural Buckling verification

$A_{eff}$	4,7260e-03	m <sup>2</sup>
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	509,19	kN
Unity check	0,30	-

#### Torsional (-Flexurai) Buckling check

According to article EN 1993-1-3: 6.2.3

According to article EN 1993-1-1: 6.3.1 and formula (6.46)

Torsional Buckling length	3,200	m
$N_{cr,T}$	276983,72	kN
$N_{cr,TF}$	694,88	kN
Relative slenderness $\lambda_{rel,T}$	1,63	
Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$	0,20	
Buckling curve	c	
Imperfection $\alpha$	0,49	
$A_{eff}$	4,7260e-03	m <sup>2</sup>
Reduction factor $\chi$	0,28	
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	509,19	kN
Unity check	0,30	-

#### Lateral Torsional Buckling Check

According to article EN 1993-1-3: 6.2.4

According to article EN 1993-1-1: 6.3.2 and formula (6.55)

#### LTB Parameters

Method for LTB Curve	art. 6.3.2.2	
$W_{eff,y}$	4,9567e-04	m <sup>3</sup>
Elastic critical moment $M_{cr}$	17127,89	kNm
Relative slenderness $\lambda_{rel,LT}$	0,11	
Limit slenderness $\lambda_{rel,LT,0}$	0,20	

#### $M_{cr}$ Parameters

LTB length	3,200	m
k	1,00	
$K_w$	1,00	
$C_1$	1,67	
$C_2$	0,00	
$C_3$	1,00	

The slenderness or bending moment is such that Lateral Torsional Buckling effects may be ignored according to EN 1993-1-1 article 6.3.2.2(4)

#### Bending and Axial Compression Check

According to article EN 1993-1-3: 6.2.5(1)

According to article EN 1993-1-1: 6.3.3 and formula (6.61), (6.62).

Interaction Method 1

Interaction method 1 parameters		
$K_{yy}$	0,84	
$K_{yz}$	0,84	
$K_{zy}$	1,01	
$K_{zz}$	1,00	
$\Delta M_{y,Ed}$	0,00	kNm
$\Delta M_{z,Ed}$	0,00	kNm
A	4,7260e-03	m <sup>2</sup>
$W_y$	4,9567e-04	m <sup>3</sup>
$W_z$	4,3585e-04	m <sup>3</sup>
$N_{Rk}$	1843,12	kN
$M_{y,Rk}$	193,31	kNm
$M_{z,Rk}$	169,98	kNm
$M_{y,Ed}$	-0,02	kNm
$M_{z,Ed}$	-2,93	kNm
Interaction Method 1		
$M_{cr,0}$	10244,30	kNm
reduced slenderness 0	0,14	
$\psi_y$	0,10	
$\psi_z$	0,72	
$C_{my,0}$	0,79	
$C_{mz,0}$	1,00	
$C_{my}$	0,79	
$C_{mz}$	1,00	
$C_{mLT}$	1,00	
$\mu_y$	0,83	
$\mu_z$	1,00	
$a_{LT}$	0,00	

Unity check  $0,30 + 0,00 + 0,01 = 0,31$  -

Unity check  $0,30 + 0,00 + 0,02 = 0,31$  -

The member satisfies the stability check.

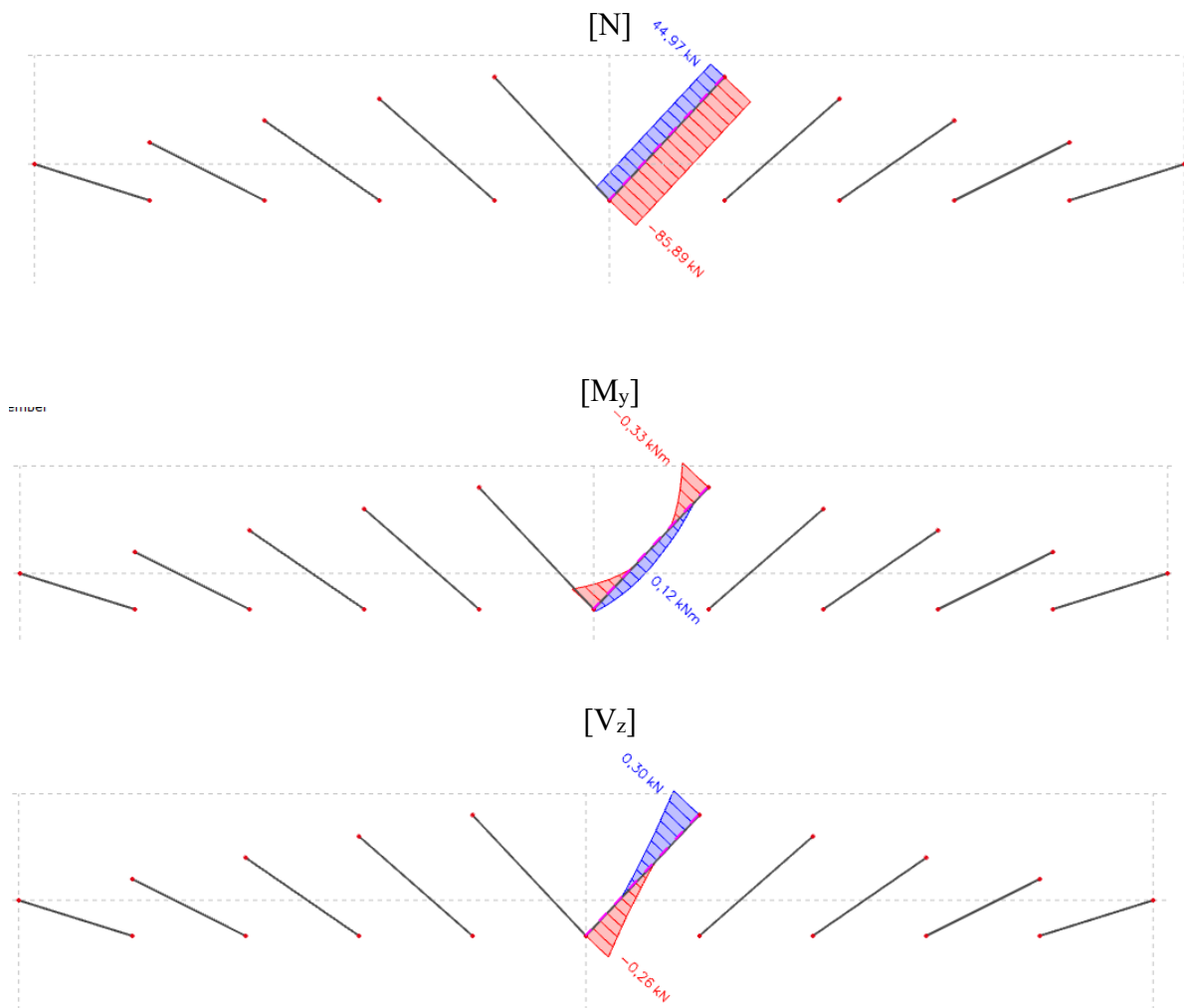
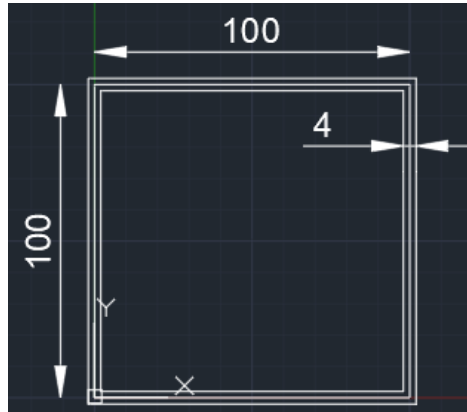
Student version

Student version



## 5.4 Ελκυστήρες Δικτυώματος Ζυγώματος

Οι ελκυστήρες του δικτυώματος είναι -κατά βάση- αξονικά καταπονούμενα μέλη, οπότε θεωρήθηκε δέον να υλοποιηθούν με τετραγωνικές διατομές



## EC-EN 1993 Steel check ULS

Linear calculation  
 Class: All ULS  
 Coordinate system: Principal  
 Extreme 1D: Global  
 Selection: All  
 Filter: Layer = Elkysthres

### EN 1993-1-3 Cold Formed Code Check

National annex: Greek ELOT-EN NA

Member B221	4,669 / 4,669 m	2CFUc (CFUue50x100x50x4; 0)	S390GD+Z	All ULS	0,53 -
-------------	-----------------	-----------------------------------	----------	---------	--------

#### Combination key

All ULS / 1.15\*LC1 + 1.50\*snow + 0.90\*3DWind6 + 1.15\*PSW + 0.90\*Thermal

#### Partial safety factors

$\gamma_{M0}$ for resistance of cross-sections	1,00
$\gamma_{M1}$ for resistance to instability	1,00
$\gamma_{M2}$ for resistance of net sections	1,25

#### Material

Yield strength $f_y$	390,0	MPa
Ultimate strength $f_u$	460,0	MPa
Fabrication	cold formed	

....SECTION CHECK:....

The critical check is on position 4,669 m

Axis definition :

- principal y- axis in this code check is referring to the principal z axis in SCIA Engineer
- principal z- axis in this code check is referring to the principal y axis in SCIA Engineer

Internal forces		Calculated	Unit
Normal force	$N_{Ed}$	-85,89	kN
Shear force	$V_{y,Ed}$	-0,14	kN
Shear force	$V_{z,Ed}$	0,00	kN
Torsion	$T_{Ed}$	0,00	kNm
Bending moment	$M_{y,Ed}$	-0,01	kNm
Bending moment	$M_{z,Ed}$	0,00	kNm

#### Effective section N-

##### Effective width calculation

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	UO	46	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,80	0,96	44		
3	I	92	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,52	1,00	92	46	46
5	UO	46	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,80	0,96	44		
6	UO	46	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,80	0,96	44		
8	I	92	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,52	1,00	92	46	46
10	UO	46	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,80	0,96	44		

#### Effective section My-

##### Effective width calculation

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	UO	46	3,757e+05	0,000e+00	0,00	0,57	0,69	1,00	46		
3	I	92	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,52	1,00	92	46	46
5	UO	46	3,757e+05	0,000e+00	0,00	0,57	0,69	1,00	46		
6	UO	46	0,000e+00	-3,757e+05	0,00	0,57	0,69	1,00	46		
8	I	92	-3,900e+05	-3,900e+05							
10	UO	46	0,000e+00	-3,757e+05	0,00	0,57	0,69	1,00	46		

#### Effective section Mz-

##### Effective width calculation

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	UO	46	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,80	0,96	44		
3	I	92	3,668e+05	-3,759e+05	-1,02	24,52	0,21	1,00	46	18	27
5	UO	46	-3,900e+05	-3,900e+05							
6	UO	46	-3,900e+05	-3,900e+05							
8	I	92	3,668e+05	-3,759e+05	-1,02	24,52	0,21	1,00	46	18	27
10	UO	46	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,80	0,96	44		

Effective properties						
Effective area	$A_{eff}$	1,5303e-03	$m^2$			
Effective second moment of area	$I_{eff,y}$	2,2631e-06	$m^4$	$I_{eff,z}$	2,3037e-06	$m^4$
Effective section modulus	$W_{eff,y}$	4,5262e-05	$m^3$	$W_{eff,z}$	4,5559e-05	$m^3$
Shift of the centroid	$e_{t,y}$	0	mm	$e_{N,z}$	0	mm

### Compression check

According to EN 1993-1-3 article 6.1.3 and formula (6.2)

Effective section area	$A_{eff}$	1,5303e-03	$m^2$
Compression resistance	$N_{c,Rd}$	596,82	kN
Unity check		0,14	-

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5303 \cdot 10^{-3} [m^2] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 596,82 [kN] \quad (EC3-1-3: 6.2)$$

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{c,Rd}} = \frac{|-85,89 [kN]|}{596,82 [kN]} = 0,14 \leq 1,00$$

### Bending moment check for $M_y$

According to EN 1993-1-3 article 6.1.4 and formula (6.6)

Elastic section modulus	$W_{el,y}$	4,5235e-05	$m^3$
Bending moment resistance	$M_{c,y,Rd}$	17,64	kNm
Unity check		0,00	-

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{el,y} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,5235 \cdot 10^{-5} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 17,64 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.6)$$

$$\text{Unity check} = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{c,y,Rd}} = \frac{|-0,01 [kNm]|}{17,64 [kNm]} = 0,00 \leq 1,00$$

### Bending moment check for $M_z$

According to EN 1993-1-3 article 6.1.4 and formula (6.4)

Effective section modulus	$W_{eff,z}$	4,5559e-05	$m^3$
Bending moment resistance	$M_{c,z,Rd}$	17,77	kNm
Unity check		0,00	-

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{eff,z} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,5559 \cdot 10^{-5} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 17,77 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.4)$$

$$\text{Unity check} = \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{c,z,Rd}} = \frac{|0,00 [kNm]|}{17,77 [kNm]} = 0,00 \leq 1,00$$

### Biaxial bending moment check

According to EN 1993-1-3 article 6.1.4 and formula (6.7)

Bending moment resistance	$M_{c,y,Rd}$	17,64	kNm
Bending moment resistance	$M_{c,z,Rd}$	17,77	kNm

Unity check (6.7) = 0,00 + 0,00 = 0,00 -

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{el,y} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,5235 \cdot 10^{-5} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 17,64 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.6)$$

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{eff,z} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,5559 \cdot 10^{-5} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 17,77 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.4)$$

$$\text{Unity check (6.7)} = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{c,y,Rd}} + \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{c,z,Rd}} = \frac{|-0,01 [kNm]|}{17,64 [kNm]} + \frac{|0,00 [kNm]|}{17,77 [kNm]} = 0,00 \leq 1,00 \quad (EC3-1-3: 6.7)$$

### Torsional Moment Check

According to article EN 1993-1-3: 6.1.6 and formula (6.11a), (6.11b), (6.11c).

Elastic verification		
Critical Fibre	7	
$\sigma_N$	56,1	MPa
$\sigma_{My}$	0,1	MPa
$\sigma_{Mz}$	0,0	MPa
$\tau_{Vy}$	0,2	MPa
$\tau_{Vz}$	0,0	MPa
$\tau_t$	0,0	MPa
Direct Stress Check	0,14	-
Shear Stress Check	0,00	-
Composed Stress Check	0,13	-

### Combined Compression and Bending Check

According to article EN 1993-1-3: 6.1.9 and formula (6.25), (6.26).

$N_{c,Rd}$	596,82	kN
$M_{c,y,Rd,ten}$	17,64	kNm
$M_{c,z,Rd,ten}$	17,77	kNm
$M_{c,y,Rd,com}$	17,64	kNm
$M_{c,z,Rd,com}$	18,18	kNm

Unity check (6.25)  $0,14 + 0,00 + 0,00 = 0,14$  -

Unity check (6.26)  $0,00 + 0,00 - 0,14 = 0,00$  -

The member satisfies the section check.

.....**STABILITY CHECK:....**

### Classification for member buckling design

**Note:** The Elastic verification has been set by the user.

### Flexural Buckling Strength

According to article EN 1993-1-3: 6.2.2

According to article EN 1993-1-1: 6.3.1 and formula (6.46)

Buckling parameters	yy	zz	
Sway type	non-sway	sway	
System Length L	4,669	4,669	m
Buckling factor k	0,55	1,02	
Buckling length $L_{cr}$	2,573	4,741	m
Critical Euler load $N_{cr}$	708,36	208,56	kN
Slenderness	66,12	121,85	
Relative slenderness $\lambda_{rel}$	0,92	1,69	
Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$	0,20	0,20	
Buckling curve	b	b	
Imperfection $\alpha$	0,34	0,34	
Reduction factor $\chi$	0,65	0,28	
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	387,73	167,35	kN

### Flexural Buckling verification

$A_{eff}$	1,5303e-03	m <sup>2</sup>
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	167,35	kN
Unity check	0,51	-

### Torsional (-Flexural) Buckling check

According to article EN 1993-1-3: 6.2.3

According to article EN 1993-1-1: 6.3.1 and formula (6.46)

Torsional Buckling length	4,669	m
$N_{cr,T}$	94625,41	kN
$N_{cr,TF}$	208,56	kN
Relative slenderness $\lambda_{rel,T}$	1,69	
Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$	0,20	
Buckling curve	b	
Imperfection $\alpha$	0,34	
$A_{eff}$	1,5303e-03	m <sup>2</sup>
Reduction factor $\chi$	0,28	
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	167,35	kN
Unity check	0,51	-

### Lateral Torsional Buckling Check

According to article EN 1993-1-3: 6.2.4

According to article EN 1993-1-1: 6.3.2 and formula (6.55)

LTB Parameters		
Method for LTB Curve	art. 6.3.2.2	
$W_{eff,y}$	4,5262e-05	m <sup>3</sup>
Elastic critical moment $M_{cr}$	458,91	kNm
Relative slenderness $\lambda_{rel,LT}$	0,20	
Limit slenderness $\lambda_{rel,LT,0}$	0,20	

$M_{cr}$ Parameters		
LTB length	4,669	m
k	1,00	
$k_w$	1,00	
$C_1$	1,85	
$C_2$	0,00	
$C_3$	1,00	

The slenderness or bending moment is such that Lateral Torsional Buckling effects may be ignored according to EN 1993-1-1 article 6.3.2.2(4)

### Bending and Axial Compression Check

According to article EN 1993-1-3: 6.2.5(1)

According to article EN 1993-1-1: 6.3.3 and formula (6.61), (6.62).

Interaction Method 1

Interaction method 1 parameters		
$k_{yy}$	0,82	
$k_{yz}$	1,10	
$k_{zy}$	0,57	
$k_{zz}$	0,77	
$\Delta M_{y,Ed}$	0,00	kNm
$\Delta M_{z,Ed}$	0,00	kNm
A	1,5303e-03	m <sup>2</sup>
$W_y$	4,5262e-05	m <sup>3</sup>

Interaction method 1 parameters		
$W_z$	4,5559e-05	m <sup>3</sup>
$N_{Rk}$	596,82	kN
$M_{y,Rk}$	17,65	kNm
$M_{z,Rk}$	17,77	kNm
$M_{y,Ed}$	-0,01	kNm
$M_{z,Ed}$	-0,31	kNm
Interaction Method 1		
$M_{cr,0}$	248,21	kNm
reduced slenderness 0	0,27	
$\psi_y$	-0,07	
$\psi_z$	0,01	
$C_{my,0}$	0,76	
$C_{mz,0}$	0,68	
$C_{my}$	0,76	
$C_{mz}$	0,68	
$C_{mLT}$	1,00	
$\mu_y$	0,95	
$\mu_z$	0,66	
$a_{LT}$	0,00	

Unity check  $0,22 + 0,00 + 0,02 = 0,24$  -

Unity check  $0,51 + 0,00 + 0,01 = 0,53$  -

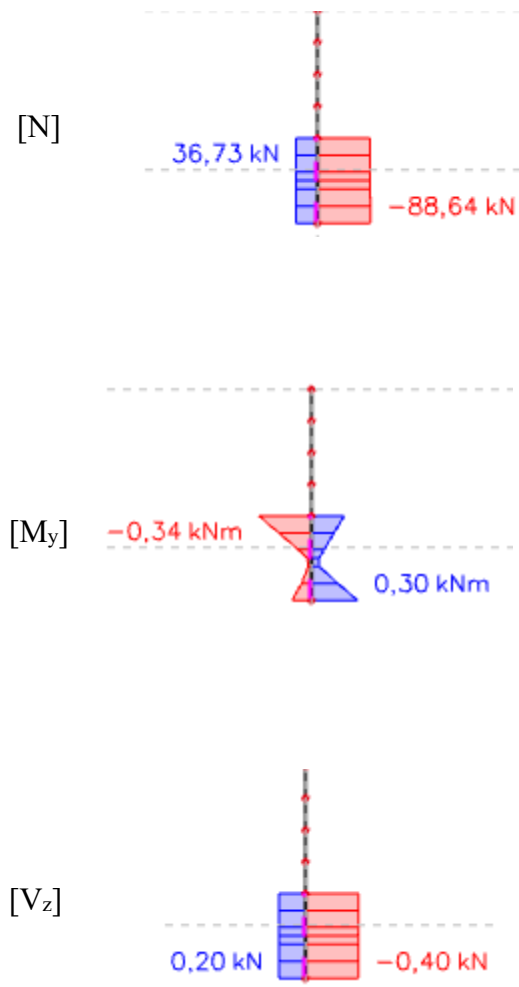
The member satisfies the stability check.

Student version

Student version

## 5.5 Ορθοστάτες Δικτυώματος Ζυγώματος

Οι ορθοστάτες του δικτυώματος, του ζυγώματος επελέγη να αποτελούνται από στοιχεία ίδιας διατομής με τους ελκυστήρες (ενότητα 5.4).



## EC-EN 1993 Steel check ULS

Linear calculation  
 Class: All ULS  
 Coordinate system: Principal  
 Extreme 1D: Global  
 Selection: All  
 Filter: Layer = Oruostates

### EN 1993-1-3 Cold Formed Code Check

National annex: Greek ELOT-EN NA

Member B83	0,000 / 1,600 m	2CFUc (CFUue50x100x50x4; 0)	S390GD+Z	All ULS	0,36 -
------------	-----------------	-----------------------------------	----------	---------	--------

<b>Combination key</b>	
All ULS / 1.15*LC1 + 1.50*snow + 1.15*PSW	

<b>Partial safety factors</b>	
$\gamma_{M0}$ for resistance of cross-sections	1,00
$\gamma_{M1}$ for resistance to instability	1,00
$\gamma_{M2}$ for resistance of net sections	1,25

<b>Material</b>		
Yield strength $f_y$	390,0	MPa
Ultimate strength $f_u$	460,0	MPa
Fabrication	cold formed	

....:SECTION CHECK:....

The critical check is on position 0,000 m

Axis definition :

- principal y- axis in this code check is referring to the principal z axis in SCIA Engineer
- principal z- axis in this code check is referring to the principal y axis in SCIA Engineer

Internal forces		Calculated	Unit
Normal force	$N_{Ed}$	-88,64	kN
Shear force	$V_{y,Ed}$	0,17	kN
Shear force	$V_{z,Ed}$	4,54	kN
Torsion	$T_{Ed}$	0,03	kNm
Bending moment	$M_{y,Ed}$	-3,69	kNm
Bending moment	$M_{z,Ed}$	-0,09	kNm

#### Effective section N-

##### Effective width calculation

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	UO	46	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,80	0,96	44		
3	I	92	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,52	1,00	92	46	46
5	UO	46	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,80	0,96	44		
6	UO	46	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,80	0,96	44		
8	I	92	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,52	1,00	92	46	46
10	UO	46	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,80	0,96	44		

#### Effective section My-

##### Effective width calculation

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	UO	46	3,757e+05	0,000e+00	0,00	0,57	0,69	1,00	46		
3	I	92	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,52	1,00	92	46	46
5	UO	46	3,757e+05	0,000e+00	0,00	0,57	0,69	1,00	46		
6	UO	46	0,000e+00	-3,757e+05	0,00	0,57	0,69	1,00	46		
8	I	92	-3,900e+05	-3,900e+05							
10	UO	46	0,000e+00	-3,757e+05	0,00	0,57	0,69	1,00	46		

#### Effective section Mz-

##### Effective width calculation

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	UO	46	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,80	0,96	44		
3	I	92	3,668e+05	-3,759e+05	-1,02	24,52	0,21	1,00	46	18	27
5	UO	46	-3,900e+05	-3,900e+05							
6	UO	46	-3,900e+05	-3,900e+05							
8	I	92	3,668e+05	-3,759e+05	-1,02	24,52	0,21	1,00	46	18	27
10	UO	46	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,80	0,96	44		

Effective properties						
Effective area	A <sub>eff</sub>	1,5303e-03	m <sup>2</sup>			
Effective second moment of area	I <sub>eff,y</sub>	2,2631e-06	m <sup>4</sup>	I <sub>eff,z</sub>	2,3037e-06	m <sup>4</sup>
Effective section modulus	W <sub>eff,y</sub>	4,5262e-05	m <sup>3</sup>	W <sub>eff,z</sub>	4,5559e-05	m <sup>3</sup>
Shift of the centroid	e <sub>N,y</sub>	0	mm	e <sub>N,z</sub>	0	mm

### Compression check

According to EN 1993-1-3 article 6.1.3 and formula (6.2)

Effective section area	A <sub>eff</sub>	1,5303e-03	m <sup>2</sup>
Compression resistance	N <sub>c,Rd</sub>	596,82	kN
Unity check		0,15	-

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5303 \cdot 10^{-3} [m^2] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 596,82 [kN] \quad (EC3-1-3: 6.2)$$

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{c,Rd}} = \frac{|-88,64 [kN]|}{596,82 [kN]} = 0,15 \leq 1,00$$

### Bending moment check for M<sub>y</sub>

According to EN 1993-1-3 article 6.1.4 and formula (6.6)

Elastic section modulus	W <sub>el,y</sub>	4,5235e-05	m <sup>3</sup>
Bending moment resistance	M <sub>c,y,Rd</sub>	17,64	kNm
Unity check		0,21	-

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{el,y} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,5235 \cdot 10^{-5} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 17,64 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.6)$$

$$\text{Unity check} = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{c,y,Rd}} = \frac{|-3,69 [kNm]|}{17,64 [kNm]} = 0,21 \leq 1,00$$

### Bending moment check for M<sub>z</sub>

According to EN 1993-1-3 article 6.1.4 and formula (6.4)

Effective section modulus	W <sub>eff,z</sub>	4,5559e-05	m <sup>3</sup>
Bending moment resistance	M <sub>c,z,Rd</sub>	17,77	kNm
Unity check		0,01	-

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{eff,z} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,5559 \cdot 10^{-5} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 17,77 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.4)$$

$$\text{Unity check} = \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{c,z,Rd}} = \frac{|-0,09 [kNm]|}{17,77 [kNm]} = 0,01 \leq 1,00$$

### Biaxial bending moment check

According to EN 1993-1-3 article 6.1.4 and formula (6.7)

Bending moment resistance	M <sub>c,y,Rd</sub>	17,64	kNm
Bending moment resistance	M <sub>c,z,Rd</sub>	17,77	kNm

$$\text{Unity check (6.7)} = 0,21 + 0,01 = 0,21$$

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{el,y} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,5235 \cdot 10^{-5} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 17,64 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.6)$$

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{eff,z} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{4,5559 \cdot 10^{-5} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 17,77 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.4)$$

$$\text{Unity check (6.7)} = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{c,y,Rd}} + \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{c,z,Rd}} = \frac{|-3,69 [kNm]|}{17,64 [kNm]} + \frac{|-0,09 [kNm]|}{17,77 [kNm]} = 0,21 \leq 1,00 \quad (EC3-1-3: 6.7)$$

### Shear Force V<sub>z</sub>

According to article EN 1993-1-3: 6.1.5 and formula (6.8).

No stiffening at the support.

Element ID	l <sub>c</sub> [mm]	α [deg]	s <sub>w</sub> [mm]	λ <sub>w</sub> [-]	f <sub>bv</sub> [MPa]	V <sub>b,Rd,z,i</sub> [kN]
1	48	90,00	46	0,17	226,2	43,43
3	96	0,00	92	0,34	226,2	0,00
5	48	90,00	46	0,17	226,2	43,43
6	48	270,00	46	0,17	226,2	43,43
8	96	180,00	92	0,34	226,2	0,00
10	48	270,00	46	0,17	226,2	43,43

Shear verification		
V <sub>b,Rd,z</sub>	173,72	kN
Unity check	0,03	-

### Torsional Moment Check

According to article EN 1993-1-3: 6.1.6 and formula (6.11a), (6.11b), (6.11c).



Elastic verification		
Critical Fibre	7	
$\sigma_N$	57,9	MPa
$\sigma_{My}$	81,4	MPa
$\sigma_{Mz}$	1,7	MPa
$\tau_{Vy}$	0,2	MPa
$\tau_{Vz}$	3,9	MPa
$\tau_t$	0,4	MPa
Direct Stress Check	0,36	-
Shear Stress Check	0,02	-
Composed Stress Check	0,33	-

Note: The Local Transverse Forces Check is not supported for this type of cross-section.

#### Combined Compression and Bending Check

According to article EN 1993-1-3: 6.1.9 and formula (6.25), (6.26).

$N_{c,Rd}$	596,82	kN
$M_{cy,Rd,ten}$	17,64	kNm
$M_{cz,Rd,ten}$	17,77	kNm
$M_{cy,Rd,com}$	17,64	kNm
$M_{cz,Rd,com}$	18,18	kNm

Unity check (6.25)  $0,15 + 0,21 + 0,01 = 0,36$  -

Unity check (6.26)  $0,21 + 0,01 - 0,15 = 0,07$  -

The member satisfies the section check.

...:STABILITY CHECK:...:

#### Classification for member buckling design

Note: The Elastic verification has been set by the user.

#### Flexural Buckling Strength

According to article EN 1993-1-3: 6.2.2

According to article EN 1993-1-1: 6.3.1 and formula (6.46)

Buckling parameters	yy	zz	
Sway type	non-sway	sway	
System Length L	1,600	1,600	m
Buckling factor k	0,58	1,61	
Buckling length $L_{cr}$	0,928	2,569	m
Critical Euler load $N_{cr}$	5442,08	710,04	kN
Slenderness	23,85	65,04	
Relative slenderness $\lambda_{rel}$	0,33	0,92	
Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$	0,20	0,20	
Buckling curve	b	b	
Imperfection $\alpha$	0,34	0,34	
Reduction factor $\chi$	0,95	0,65	
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	568,51	388,15	kN

Flexural Buckling verification		
$A_{eff}$	1,5303e-03	m <sup>2</sup>
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	388,15	kN
Unity check	0,23	-

#### Torsional (-Flexural) Buckling check

According to article EN 1993-1-3: 6.2.3

According to article EN 1993-1-1: 6.3.1 and formula (6.46)

Torsional Buckling length	1,600	m
$N_{cr,T}$	94625,41	kN
$N_{cr,TF}$	710,04	kN
Relative slenderness $\lambda_{rel,T}$	0,92	
Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$	0,20	
Buckling curve	b	
Imperfection $\alpha$	0,34	
$A_{eff}$	1,5303e-03	m <sup>2</sup>
Reduction factor $\chi$	0,65	
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	388,15	kN
Unity check	0,23	-

#### Lateral Torsional Buckling Check

According to article EN 1993-1-3: 6.2.4

According to article EN 1993-1-1: 6.3.2 and formula (6.55)

LTB Parameters		
Method for LTB Curve	art. 6.3.2.2	
$W_{eff,y}$	4,5262e-05	m <sup>3</sup>
Elastic critical moment $M_{cr}$	1883,21	kNm
Relative slenderness $\lambda_{rel,LT}$	0,10	
Limit slenderness $\lambda_{rel,LT,0}$	0,20	

M <sub>cr</sub> Parameters		
LTB length	1,600	m
k	1,00	
k <sub>w</sub>	1,00	
C <sub>1</sub>	2,60	
C <sub>2</sub>	0,00	
C <sub>3</sub>	0,00	

The slenderness or bending moment is such that Lateral Torsional Buckling effects may be ignored according to EN 1993-1-1 article 6.3.2.2(4)

#### Bending and Axial Compression Check

According to article EN 1993-1-3: 6.2.5(1)

According to article EN 1993-1-1: 6.3.3 and formula (6.61), (6.62).

Interaction Method 1

Interaction method 1 parameters		
k <sub>yy</sub>	0,59	
k <sub>yz</sub>	0,73	
k <sub>zy</sub>	0,56	
k <sub>zz</sub>	0,70	
ΔM <sub>y,Ed</sub>	0,00	kNm
ΔM <sub>z,Ed</sub>	0,00	kNm
A	1,5303e-03	m <sup>2</sup>
W <sub>y</sub>	4,5262e-05	m <sup>3</sup>
W <sub>z</sub>	4,5559e-05	m <sup>3</sup>
N <sub>Rk</sub>	596,82	kN
M <sub>y,Rk</sub>	17,65	kNm
M <sub>z,Rk</sub>	17,77	kNm
M <sub>y,Ed</sub>	-3,69	kNm
M <sub>z,Ed</sub>	0,18	kNm
Interaction Method 1		
M <sub>cr,0</sub>	724,31	kNm
reduced slenderness 0	0,16	
ψ <sub>y</sub>	-0,97	
ψ <sub>z</sub>	-0,53	
C <sub>my,0</sub>	0,58	
C <sub>mz,0</sub>	0,64	
C <sub>my</sub>	0,58	
C <sub>mz</sub>	0,64	
C <sub>mL,T</sub>	1,00	
μ <sub>y</sub>	1,00	
μ <sub>z</sub>	0,95	
α <sub>L,T</sub>	-0,00	

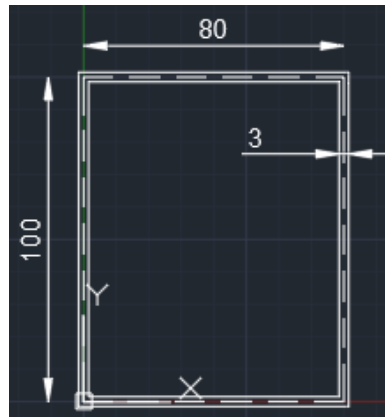
Unity check  $0,16 + 0,12 + 0,01 = 0,29$  -

Unity check  $0,23 + 0,12 + 0,01 = 0,35$  -

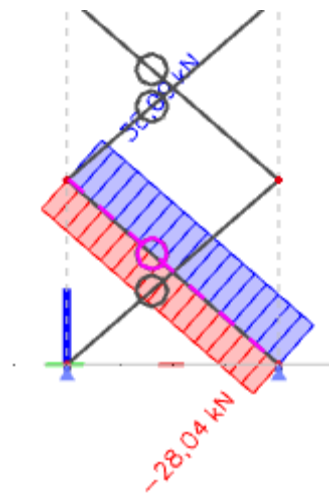
The member satisfies the stability check.

Student version

## 5.6 Κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας



[N]



## EC-EN 1993 Steel check ULS

Linear calculation  
 Class: All ULS  
 Coordinate system: Principal  
 Extreme 1D: Global  
 Selection: All  
 Filter: Layer = Xiasti

### EN 1993-1-3 Cold Formed Code Check

National annex: Greek ELOT-EN NA

<b>Member B342</b>	<b>5,315 / 5,315 m</b>	<b>2CFUc (CFUue40x100x40x3; 0)</b>	<b>S390GD+Z</b>	<b>All ULS</b>	<b>0,42 -</b>
--------------------	------------------------	--	-----------------	----------------	---------------

#### Combination key

All ULS / LC1 + 1.50\*3DWind2 + PSW

#### Partial safety factors

$\gamma_{M0}$ for resistance of cross-sections	1,00
$\gamma_{M1}$ for resistance to instability	1,00
$\gamma_{M2}$ for resistance of net sections	1,25

#### Material

Yield strength $f_y$	390,0	MPa
Ultimate strength $f_u$	460,0	MPa
Fabrication	cold formed	

### ...:SECTION CHECK:...

The critical check is on position 5,315 m

Internal forces		Calculated	Unit
Normal force	$N_{Ed}$	-28,04	kN
Shear force	$V_{y,Ed}$	0,00	kN
Shear force	$V_{z,Ed}$	0,00	kN
Torsion	$T_{Ed}$	0,00	kNm
Bending moment	$M_{y,Ed}$	0,00	kNm
Bending moment	$M_{z,Ed}$	0,00	kNm

### Effective section N-

#### Effective width calculation

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	UO	37	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,85	0,92	34		
3	I	94	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,71	0,97	91	46	46
5	UO	37	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,85	0,92	34		
6	UO	37	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,85	0,92	34		
8	I	94	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,71	0,97	91	46	46
10	UO	37	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,85	0,92	34		

#### Effective properties

Effective area	$A_{eff}$	1,0096e-03	m <sup>2</sup>			
Effective second moment of area	$I_{eff,y}$	1,4859e-06	m <sup>4</sup>	$I_{eff,z}$	1,0365e-06	m <sup>4</sup>
Effective section modulus	$W_{eff,y}$	2,9585e-05	m <sup>3</sup>	$W_{eff,z}$	2,5724e-05	m <sup>3</sup>
Shift of the centroid	$e_{N,y}$	0	mm	$e_{N,z}$	0	mm

### Compression check

According to EN 1993-1-3 article 6.1.3 and formula (6.2)

Effective section area	$A_{eff}$	1,0096e-03	m <sup>2</sup>
Compression resistance	$N_{c,Rd}$	393,76	kN
Unity check		0,07	-

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,0096 \cdot 10^{-3} [m^2] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 393,76 [kN]$$

(EC3-1-3: 6.2)

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{c,Rd}} = \frac{|-28,04 [kN]|}{393,76 [kN]} = 0,07 \leq 1,00$$

The member satisfies the section check.

### ...:STABILITY CHECK:...

#### Classification for member buckling design

Note: The Elastic verification has been set by the user.

#### Flexural Buckling Strength

According to article EN 1993-1-3: 6.2.2

According to article EN 1993-1-1: 6.3.1 and formula (6.46)

Buckling parameters	yy	zz	
Sway type	sway	non-sway	
System Length L	5,315	5,315	m
Buckling factor k	1,00	1,00	
Buckling length $L_{cr}$	5,315	5,315	m
Critical Euler load $N_{cr}$	108,14	76,84	kN
Slenderness	139,49	165,47	
Relative slenderness $\lambda_{rel}$	1,91	2,26	
Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$	0,20	0,20	
Buckling curve	b	b	
Imperfection $\alpha$	0,34	0,34	
Reduction factor $\chi$	0,23	0,17	
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	89,63	65,99	kN

Flexural Buckling verification		
$A_{eff}$	1,0096e-03	m <sup>2</sup>
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	65,99	kN
Unity check	0,42	-

#### Torsional (-Flexural) Buckling check

According to article EN 1993-1-3: 6.2.3

According to article EN 1993-1-1: 6.3.1 and formula (6.46)

Torsional Buckling length	5,315	m
$N_{cr,T}$	62659,83	kN
$N_{cr,TF}$	76,84	kN
Relative slenderness $\lambda_{rel,T}$	2,26	
Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$	0,20	
Buckling curve	b	
Imperfection $\alpha$	0,34	
$A_{eff}$	1,0096e-03	m <sup>2</sup>
Reduction factor $\chi$	0,17	
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	65,99	kN
Unity check	0,42	-

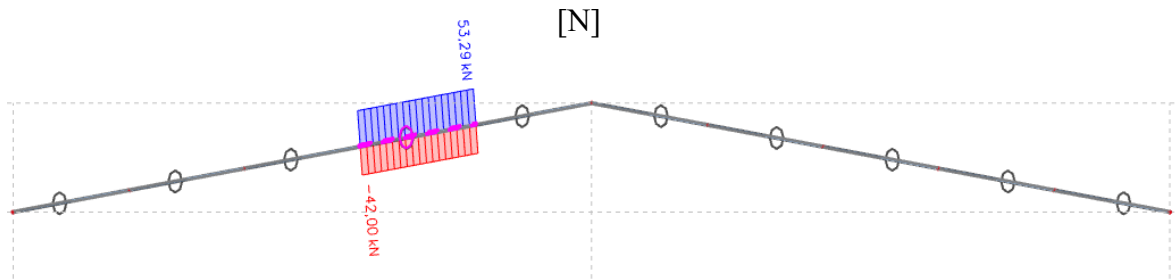
The member satisfies the stability check.

Student version

Student version

## 5.7 Οριζόντιοι Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας

Για τους χιαστί συνδέσμους δυσκαμψίας της οροφής, χρησιμοποιήθηκε η ίδια διατομή με τους κατακόρυφους συνδέσμους (ενότητα 5.6)



## EC-EN 1993 Steel check ULS

Linear calculation  
 Class: All ULS  
 Coordinate system: Principal  
 Extreme 1D: Global  
 Selection: All  
 Filter: Layer = Xiasti orofhs

### EN 1993-1-3 Cold Formed Code Check

National annex: Greek ELOT-EN NA

Member B439	0,000 / 5,158 m	2CFUc (CFUue40x100x40x3; 0)	S390GD+Z	All ULS	0,60 -
-------------	-----------------	-----------------------------------	----------	---------	--------

Combination key	
All ULS / 1.15*LC1 + 1.50*snow + 0.90*3DWind6 + 1.15*PSW	

Partial safety factors	
$\gamma_{M0}$ for resistance of cross-sections	1,00
$\gamma_{M1}$ for resistance to instability	1,00
$\gamma_{M2}$ for resistance of net sections	1,25

Material		
Yield strength $f_y$	390,0	MPa
Ultimate strength $f_u$	460,0	MPa
Fabrication	cold formed	

#### ....:SECTION CHECK:....

The critical check is on position 0,000 m

Internal forces		Calculated	Unit
Normal force	$N_{Ed}$	-42,00	kN
Shear force	$V_{y,Ed}$	0,00	kN
Shear force	$V_{z,Ed}$	0,00	kN
Torsion	$T_{Ed}$	0,00	kNm
Bending moment	$M_{y,Ed}$	0,00	kNm
Bending moment	$M_{z,Ed}$	0,00	kNm

#### Effective section N

##### Effective width calculation

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	UO	37	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,85	0,92	34		
3	I	94	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,71	0,97	91	46	46
5	UO	37	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,85	0,92	34		
6	UO	37	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,85	0,92	34		
8	I	94	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,71	0,97	91	46	46
10	UO	37	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,85	0,92	34		

Effective properties						
Effective area	$A_{eff}$	1,0096e-03	m <sup>2</sup>			
Effective second moment of area	$I_{eff,y}$	1,4859e-06	m <sup>4</sup>	$I_{eff,z}$	1,0365e-06	m <sup>4</sup>
Effective section modulus	$W_{eff,y}$	2,9585e-05	m <sup>3</sup>	$W_{eff,z}$	2,5724e-05	m <sup>3</sup>
Shift of the centroid	$e_{N,y}$	0	mm	$e_{N,z}$	0	mm

#### Compression check

According to EN 1993-1-3 article 6.1.3 and formula (6.2)

Effective section area	$A_{eff}$	1,0096e-03	m <sup>2</sup>
Compression resistance	$N_{c,Rd}$	393,76	kN
Unity check		0,11	-

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,0096 \cdot 10^{-3} [m^2] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 393,76 [kN] \quad (EC3-1-3: 6.2)$$

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{c,Rd}} = \frac{|-42,00 [kN]|}{393,76 [kN]} = 0,11 \leq 1,00$$

The member satisfies the section check.

#### ....:STABILITY CHECK:....

#### Classification for member buckling design

Note: The Elastic verification has been set by the user.

#### Flexural Buckling Strength

According to article EN 1993-1-3: 6.2.2

According to article EN 1993-1-1: 6.3.1 and formula (6.46)

Buckling parameters	yy	zz	
Sway type	sway	non-sway	
System Length L	5,158	5,158	m
Buckling factor k	1,00	1,00	
Buckling length $L_{cr}$	5,158	5,157	m
Critical Euler load $N_{cr}$	114,85	81,61	kN
Slenderness	135,35	160,57	
Relative slenderness $\lambda_{rel}$	1,85	2,20	
Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$	0,20	0,20	
Buckling curve	b	b	
Imperfection $\alpha$	0,34	0,34	
Reduction factor $\chi$	0,24	0,18	
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	94,49	69,70	kN

Flexural Buckling verification		
$A_{eff}$	1,0096e-03	m <sup>2</sup>
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	69,70	kN
Unity check	0,60	-

#### Torsional (-Flexural) Buckling check

According to article EN 1993-1-3: 6.2.3

According to article EN 1993-1-1: 6.3.1 and formula (6.46)

Torsional Buckling length	5,158	m
$N_{cr,T}$	62659,86	kN
$N_{cr,TF}$	81,61	kN
Relative slenderness $\lambda_{rel,T}$	2,20	
Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$	0,20	
Buckling curve	b	
Imperfection $\alpha$	0,34	
$A_{eff}$	1,0096e-03	m <sup>2</sup>
Reduction factor $\chi$	0,18	
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	69,70	kN
Unity check	0,60	-

The member satisfies the stability check.

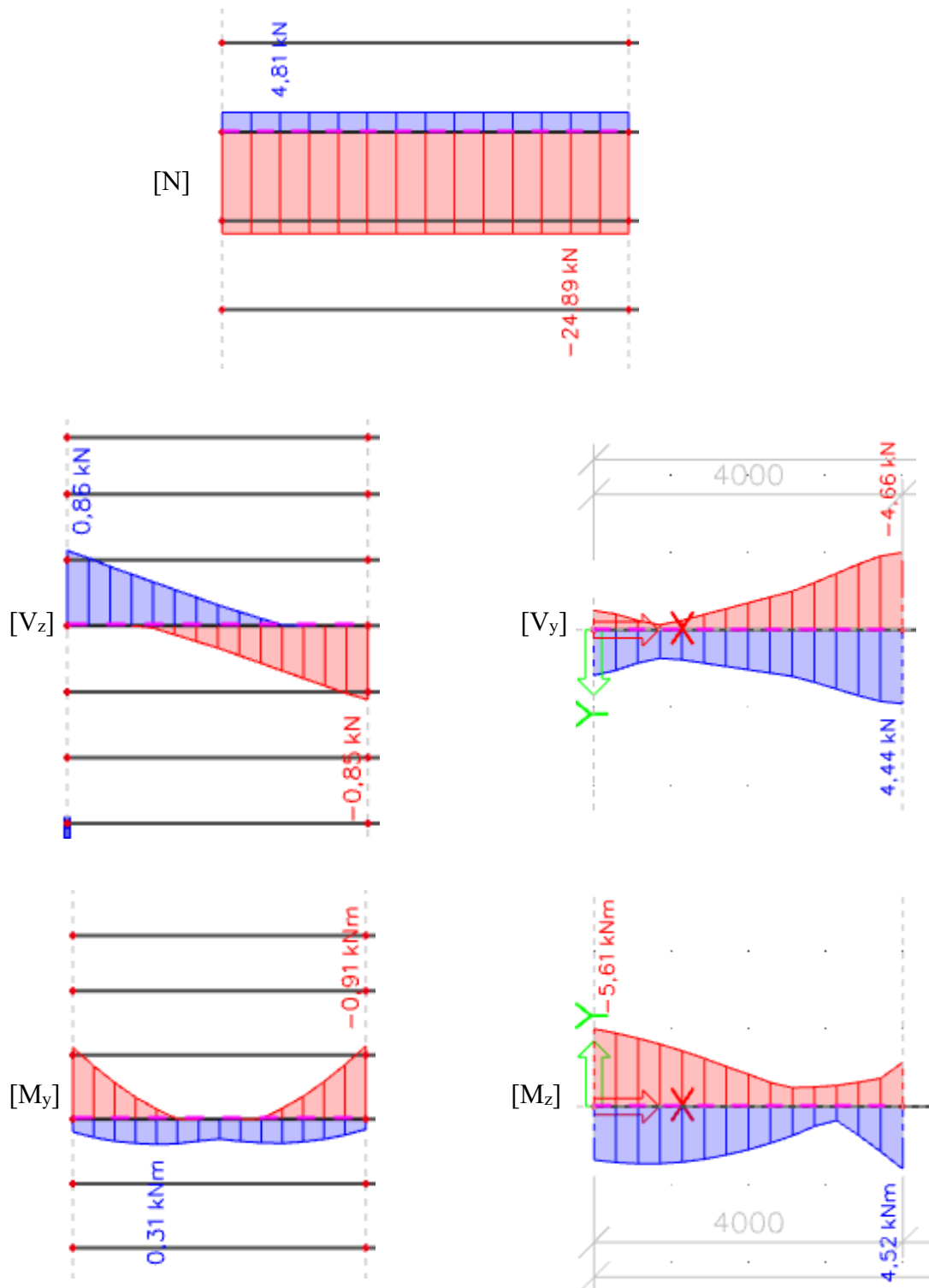
Student version

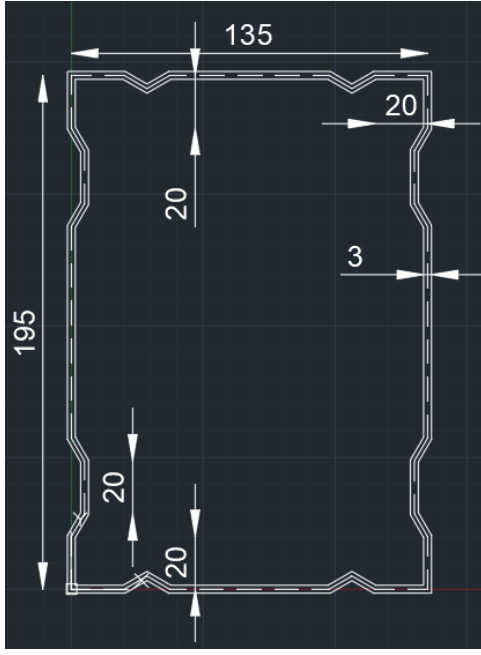
Student version



## 5.8 Μηκίδες

Οι μηκίδες καταπονούνται σε κάμψη, διάτμηση και -δευτερευόντως- σε αξονικές δυνάμεις (ως αποστάτες μεταξύ των πλαισίων). Προς τούτο επελέγη η ορθογωνική διατομή:





## EC-EN 1993 Steel check ULS

Linear calculation  
 Class: All ULS  
 Coordinate system: Principal  
 Extreme 1D: Global  
 Selection: All  
 Filter: Layer = Mhkides

### EN 1993-1-3 Cold Formed Code Check

National annex: Greek ELOT-EN NA

Member B645	3,429 / 4,000 m	General cross-section	S390GD+Z	All ULS	2,11 -
-------------	-----------------	-----------------------	----------	---------	--------

<b>Combination key</b>	
All ULS / LC1 + 0.90*3DWind2 + PSW + 1.50*Thermal	

<b>Partial safety factors</b>	
$\gamma_{M0}$ for resistance of cross-sections	1,00
$\gamma_{M1}$ for resistance to instability	1,00
$\gamma_{M2}$ for resistance of net sections	1,25

<b>Material</b>		
Yield strength $f_y$	390,0	MPa
Ultimate strength $f_u$	460,0	MPa
Fabrication	cold formed	

....SECTION CHECK:....

The critical check is on position 3,429 m

Internal forces	Calculated	Unit
Normal force $N_{Ed}$	-24,89	kN
Shear force $V_{y,Ed}$	-0,52	kN
Shear force $V_{z,Ed}$	2,16	kN
Torsion $T_{Ed}$	0,06	kNm
Bending moment $M_{y,Ed}$	0,55	kNm
Bending moment $M_{z,Ed}$	-0,29	kNm

### Effective section N-

#### Effective width calculation

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
2	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
3	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
4	I	60	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,46	1,00	60	30	30
5	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
6	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
7	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
8	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
9	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
10	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
11	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
12	I	80	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,61	1,00	80	40	40
13	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
14	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
15	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
16	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
17	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
18	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
19	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
20	I	60	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,46	1,00	60	30	30
21	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
22	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
23	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
24	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
25	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
26	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
27	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
28	I	80	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,61	1,00	80	40	40
29	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
30	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
31	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
32	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10

### Effective section My+

#### Effective width calculation

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
2	I	10	3,900e+05	3,700e+05	0,95	4,10	0,07	1,00	10	5	5
3	I	10	3,900e+05	3,700e+05	0,95	4,10	0,07	1,00	10	5	5
4	I	60	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,46	1,00	60	30	30
5	I	10	3,900e+05	3,700e+05	0,95	4,10	0,07	1,00	10	5	5
6	I	10	3,900e+05	3,700e+05	0,95	4,10	0,07	1,00	10	5	5
7	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
8	I	20	3,900e+05	3,100e+05	0,79	4,44	0,14	1,00	20	10	10
9	I	10	3,100e+05	2,754e+05	0,89	4,23	0,07	1,00	10	5	5
10	I	20	2,754e+05	1,954e+05	0,71	4,66	0,14	1,00	20	9	11
11	I	10	1,954e+05	1,607e+05	0,82	4,38	0,07	1,00	10	5	5
12	I	80	1,607e+05	-1,607e+05	-1,00	23,90	0,25	1,00	40	16	24
13	I	10	-1,607e+05	-1,954e+05							
14	I	20	-1,954e+05	-2,754e+05							
15	I	10	-2,754e+05	-3,100e+05							
16	I	20	-3,100e+05	-3,900e+05							
17	I	20	-3,900e+05	-3,900e+05							
18	I	10	-3,700e+05	-3,900e+05							
19	I	10	-3,700e+05	-3,900e+05							
20	I	60	-3,900e+05	-3,900e+05							
21	I	10	-3,700e+05	-3,900e+05							
22	I	10	-3,700e+05	-3,900e+05							
23	I	20	-3,900e+05	-3,900e+05							
24	I	20	-3,100e+05	-3,900e+05							
25	I	10	-2,754e+05	-3,100e+05							
26	I	20	-1,954e+05	-2,754e+05							
27	I	10	-1,607e+05	-1,954e+05							
28	I	80	1,607e+05	-1,607e+05	-1,00	23,90	0,25	1,00	40	16	24
29	I	10	1,954e+05	1,607e+05	0,82	4,38	0,07	1,00	10	5	5
30	I	20	2,754e+05	1,954e+05	0,71	4,66	0,14	1,00	20	9	11
31	I	10	3,100e+05	2,754e+05	0,89	4,23	0,07	1,00	10	5	5
32	I	20	3,900e+05	3,100e+05	0,79	4,44	0,14	1,00	20	10	10

**Effective section Mz-  
Effective width calculation**

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	I	20	-2,744e+05	-3,900e+05							
2	I	10	-2,244e+05	-2,744e+05							
3	I	10	-1,744e+05	-2,244e+05							
4	I	60	1,744e+05	-1,744e+05	-1,00	23,90	0,19	1,00	30	12	18
5	I	10	2,244e+05	1,744e+05	0,78	4,49	0,07	1,00	10	5	5
6	I	10	2,744e+05	2,244e+05	0,82	4,39	0,07	1,00	10	5	5
7	I	20	3,900e+05	2,744e+05	0,70	4,68	0,14	1,00	20	9	11
8	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
9	I	10	3,900e+05	3,611e+05	0,93	4,15	0,07	1,00	10	5	5
10	I	20	3,611e+05	3,611e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
11	I	10	3,900e+05	3,611e+05	0,93	4,15	0,07	1,00	10	5	5
12	I	80	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,61	1,00	80	40	40
13	I	10	3,900e+05	3,611e+05	0,93	4,15	0,07	1,00	10	5	5
14	I	20	3,611e+05	3,611e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
15	I	10	3,900e+05	3,611e+05	0,93	4,15	0,07	1,00	10	5	5
16	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
17	I	20	3,900e+05	2,744e+05	0,70	4,68	0,14	1,00	20	9	11
18	I	10	2,744e+05	2,244e+05	0,82	4,39	0,07	1,00	10	5	5
19	I	10	2,244e+05	1,744e+05	0,78	4,49	0,07	1,00	10	5	5
20	I	60	1,744e+05	-1,744e+05	-1,00	23,90	0,19	1,00	30	12	18
21	I	10	-1,744e+05	-2,244e+05							
22	I	10	-2,244e+05	-2,744e+05							
23	I	20	-2,744e+05	-3,900e+05							
24	I	20	-3,900e+05	-3,900e+05							
25	I	10	-3,611e+05	-3,900e+05							
26	I	20	-3,611e+05	-3,611e+05							
27	I	10	-3,611e+05	-3,900e+05							
28	I	80	-3,900e+05	-3,900e+05							
29	I	10	-3,611e+05	-3,900e+05							
30	I	20	-3,611e+05	-3,611e+05							
31	I	10	-3,611e+05	-3,900e+05							
32	I	20	-3,900e+05	-3,900e+05							

Effective properties						
Effective area	$A_{eff}$	2,0443e-03	m <sup>2</sup>			
Effective second moment of area	$I_{eff,y}$	1,1717e-05	m <sup>4</sup>	$I_{eff,z}$	6,5227e-06	m <sup>4</sup>
Effective section modulus	$W_{eff,y}$	1,1835e-04	m <sup>3</sup>	$W_{eff,z}$	9,4532e-05	m <sup>3</sup>
Shift of the centroid	$e_{N,y}$	0	mm	$e_{N,z}$	0	mm

### Compression check

According to EN 1993-1-3 article 6.1.3 and formula (6.3)

Gross section area	$A_g$	2,0443e-03	m <sup>2</sup>
Relative slenderness	$\lambda_e$	0,61	
Slenderness	$\lambda_{e0}$	0,67	
Compression resistance	$N_{c,Rd}$	797,28	kN
Unity check		0,03	-

$$N_{c,Rd} = \min \left\{ \frac{A_g \times \left[ f_{y,b} + (f_{y,b} - f_{y,b}) \times 4 \times \left( 1 - \frac{\lambda_e}{\lambda_{e0}} \right) \right]}{\gamma_{M0}}, \frac{A_g \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} \right\}$$

$$= \min \left\{ \frac{2,0443 \cdot 10^{-3} [m^2] \times \left[ 390,0 [MPa] + (390,0 [MPa] - 390,0 [MPa]) \times 4 \times \left( 1 - \frac{0,61}{0,67} \right) \right]}{1,00}, \frac{2,0443 \cdot 10^{-3} [m^2] \times 390,0 [MPa]}{1,00} \right\} \quad (EC3-1-3: 6.3)$$

$$= \min \{ 797,28 [kN], 797,28 [kN] \} = 797,28 [kN]$$

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{c,Rd}} = \frac{|-24,89 [kN]|}{797,28 [kN]} = 0,03 \leq 1,00$$

### Bending moment check for $M_y$

According to EN 1993-1-3 article 6.1.4 and formula (6.6)

Elastic section modulus	$W_{el,y}$	1,1836e-04	m <sup>3</sup>
Bending moment resistance	$M_{c,y,Rd}$	46,16	kNm
Unity check		0,01	-

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{el,y} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,1836 \cdot 10^{-4} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 46,16 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.6)$$

$$\text{Unity check} = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{c,y,Rd}} = \frac{|0,55 [kNm]|}{46,16 [kNm]} = 0,01 \leq 1,00$$

### Bending moment check for $M_z$

According to EN 1993-1-3 article 6.1.4 and formula (6.6)

Elastic section modulus	$W_{el,z}$	9,4536e-05	m <sup>3</sup>
Bending moment resistance	$M_{c,z,Rd}$	36,87	kNm
Unity check		0,01	-

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{el,z} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{9,4536 \cdot 10^{-5} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 36,87 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.6)$$

$$\text{Unity check} = \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{c,z,Rd}} = \frac{|-0,29 [kNm]|}{36,87 [kNm]} = 0,01 \leq 1,00$$

### Biaxial bending moment check

According to EN 1993-1-3 article 6.1.4 and formula (6.7)

Bending moment resistance	$M_{c,y,Rd}$	46,16	kNm
Bending moment resistance	$M_{c,z,Rd}$	36,87	kNm

$$\text{Unity check (6.7)} = 0,01 + 0,01 = 0,02 -$$

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{el,y} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,1836 \cdot 10^{-4} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 46,16 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.6)$$

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{el,z} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{9,4536 \cdot 10^{-5} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 36,87 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.6)$$

$$\text{Unity check (6.7)} = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{c,y,Rd}} + \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{c,z,Rd}} = \frac{|0,55 [kNm]|}{46,16 [kNm]} + \frac{|-0,29 [kNm]|}{36,87 [kNm]} = 0,02 \leq 1,00 \quad (EC3-1-3: 6.7)$$

### Shear Force $V_z$

According to article EN 1993-1-3: 6.1.5 and formula (6.8).

No stiffening at the support.

Element ID	$l_c$ [mm]	$\alpha$ [deg]	$s_w$ [mm]	$\lambda_{wz}$ [-]	$f_{bv}$ [MPa]	$V_{b,Rd,z,i}$ [kN]
1	20	179,99	20	0,10	226,2	0,00
2	10	209,99	10	0,05	226,2	1,70
3	10	149,99	10	0,05	226,2	1,70
4	60	179,99	60	0,30	226,2	0,00
5	10	209,99	10	0,05	226,2	1,70
6	10	149,99	10	0,05	226,2	1,70

Element ID	$l_c$ [mm]	$\alpha$ [deg]	$s_w$ [mm]	$\lambda_w$ [-]	$f_{bv}$ [MPa]	$V_{b,Rd,z,1}$ [kN]
7	20	179,99	20	0,10	226,2	0,00
8	20	269,99	20	0,10	226,2	13,57
9	10	299,99	10	0,05	226,2	5,09
10	20	269,99	20	0,10	226,2	13,57
11	10	239,99	10	0,05	226,2	5,09
12	80	269,99	80	0,40	226,2	54,53
13	10	299,99	10	0,05	226,2	5,09
14	20	269,99	20	0,10	226,2	13,57
15	10	239,99	10	0,05	226,2	5,09
16	20	269,99	20	0,10	226,2	13,57
17	20	-0,01	20	0,10	226,2	0,00
18	10	29,99	10	0,05	226,2	1,70
19	10	329,99	10	0,05	226,2	1,70
20	60	-0,01	60	0,30	226,2	0,00
21	10	29,99	10	0,05	226,2	1,70
22	10	329,99	10	0,05	226,2	1,70
23	20	-0,01	20	0,10	226,2	0,00
24	20	89,99	20	0,10	226,2	13,57
25	10	119,99	10	0,05	226,2	5,09
26	20	89,99	20	0,10	226,2	13,57
27	10	59,99	10	0,05	226,2	5,09
28	80	89,99	80	0,40	226,2	54,53
29	10	119,99	10	0,05	226,2	5,09
30	20	89,99	20	0,10	226,2	13,57
31	10	59,99	10	0,05	226,2	5,09
32	20	89,99	20	0,10	226,2	13,57

Shear verification		
$V_{b,Rd,z}$	271,93	kN
Unity check	0,01	-

#### Torsional Moment Check

According to article EN 1993-1-3: 6.1.6 and formula (6.11a), (6.11b), (6.11c).

Elastic verification		
Critical Fibre	10	
$\sigma_N$	12,2	MPa
$\sigma_{My}$	4,7	MPa
$\sigma_{Mz}$	3,1	MPa
$\tau_{Vy}$	0,5	MPa
$\tau_{Vz}$	1,2	MPa
$\tau_t$	0,4	MPa
Direct Stress Check	0,05	-
Shear Stress Check	0,01	-
Composed Stress Check	0,05	-

#### Combined Compression and Bending Check

According to article EN 1993-1-3: 6.1.9 and formula (6.25), (6.26).

$N_{c,Rd}$	797,28	kN
$M_{cy,Rd,ten}$	46,16	kNm
$M_{cz,Rd,ten}$	36,87	kNm
$M_{cy,Rd,com}$	46,16	kNm
$M_{cz,Rd,com}$	36,87	kNm

Unity check (6.25)  $0,03 + 0,01 + 0,01 = 0,05$  -

Unity check (6.26)  $0,01 + 0,01 - 0,03 = 0,00$  -

The member satisfies the section check.

#### ....:STABILITY CHECK:....

#### Classification for member buckling design

**Note:** The Elastic verification has been set by the user.

#### Flexural Buckling Strength

According to article EN 1993-1-3: 6.2.2

According to article EN 1993-1-1: 6.3.1 and formula (6.46)

Buckling parameters	yy	zz	
Sway type	sway	non-sway	
System Length L	40,000	4,000	m
Buckling factor k	1,08	0,64	
Buckling length $L_{cr}$	43,281	2,579	m
Critical Euler load $N_{cr}$	12,97	2032,80	kN
Slenderness	571,65	45,65	
Relative slenderness $\lambda_{rel}$	7,84	0,63	
Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$	0,20	0,20	
Buckling curve	c	c	
Imperfection $\alpha$	0,49	0,49	
Reduction factor $\chi$	0,02	0,77	
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	12,21	613,67	kN

Flexural Buckling verification		
$A_{eff}$	2,0443e-03	m <sup>2</sup>
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	12,21	kN
Unity check	<b>2,04</b>	-

#### Torsional (-Flexural) Buckling check

According to article EN 1993-1-3: 6.2.3

According to article EN 1993-1-1: 6.3.1 and formula (6.46)

Torsional Buckling length	4,000	m
$N_{cr,T}$	104350,82	kN
$N_{cr,TF}$	12,97	kN
Relative slenderness $\lambda_{rel,T}$	7,84	
Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$	0,20	
Buckling curve	c	
Imperfection $\alpha$	0,49	
$A_{eff}$	2,0443e-03	m <sup>2</sup>
Reduction factor $\chi$	0,02	
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	12,21	kN
Unity check	<b>2,04</b>	-

#### Lateral Torsional Buckling Check

According to article EN 1993-1-3: 6.2.4

According to article EN 1993-1-1: 6.3.2 and formula (6.55)

LTB Parameters		
Method for LTB Curve	art. 6.3.2.2	
$W_{eff,y}$	1,1835e-04	m <sup>3</sup>
Elastic critical moment $M_{cr}$	1211,62	kNm
Relative slenderness $\lambda_{rel,LT}$	0,20	
Limit slenderness $\lambda_{rel,LT,0}$	0,20	

$M_{cr}$ Parameters		
LTB length	4,000	m
k	1,00	
$k_w$	1,00	
$C_1$	1,37	
$C_2$	0,28	
$C_3$	1,00	

The slenderness or bending moment is such that Lateral Torsional Buckling effects may be ignored according to EN 1993-1-1 article 6.3.2.2(4)

#### Bending and Axial Compression Check

According to article EN 1993-1-3: 6.2.5(1)

According to article EN 1993-1-1: 6.3.3 and formula (6.61), (6.62).

Interaction Method 1

Interaction method 1 parameters		
$k_{yy}$	1,00	
$k_{yz}$	1,00	
$k_{zy}$	1,00	
$k_{zz}$	1,00	
$\Delta M_{y,Ed}$	0,00	kNm
$\Delta M_{z,Ed}$	0,00	kNm
A	2,0443e-03	m <sup>2</sup>
$W_y$	1,1835e-04	m <sup>3</sup>
$W_z$	9,4532e-05	m <sup>3</sup>
$N_{Rk}$	797,28	kN
$M_{y,Rk}$	46,16	kNm
$M_{z,Rk}$	36,87	kNm
$M_{y,Ed}$	-2,57	kNm
$M_{z,Ed}$	-0,63	kNm
Interaction Method 1		
$M_{cr,0}$	887,12	kNm
reduced slenderness $\bar{\lambda}$	0,23	
$\psi_y$	0,00	
$\psi_z$	0,11	
$C_{my,0}$	-0,90	
$C_{mz,0}$	0,99	
$C_{my}$	-0,86	
$C_{mz}$	0,99	
$C_{mLT}$	1,00	
$\mu_y$	1,00	
$\mu_z$	1,00	
$a_{LT}$	0,02	

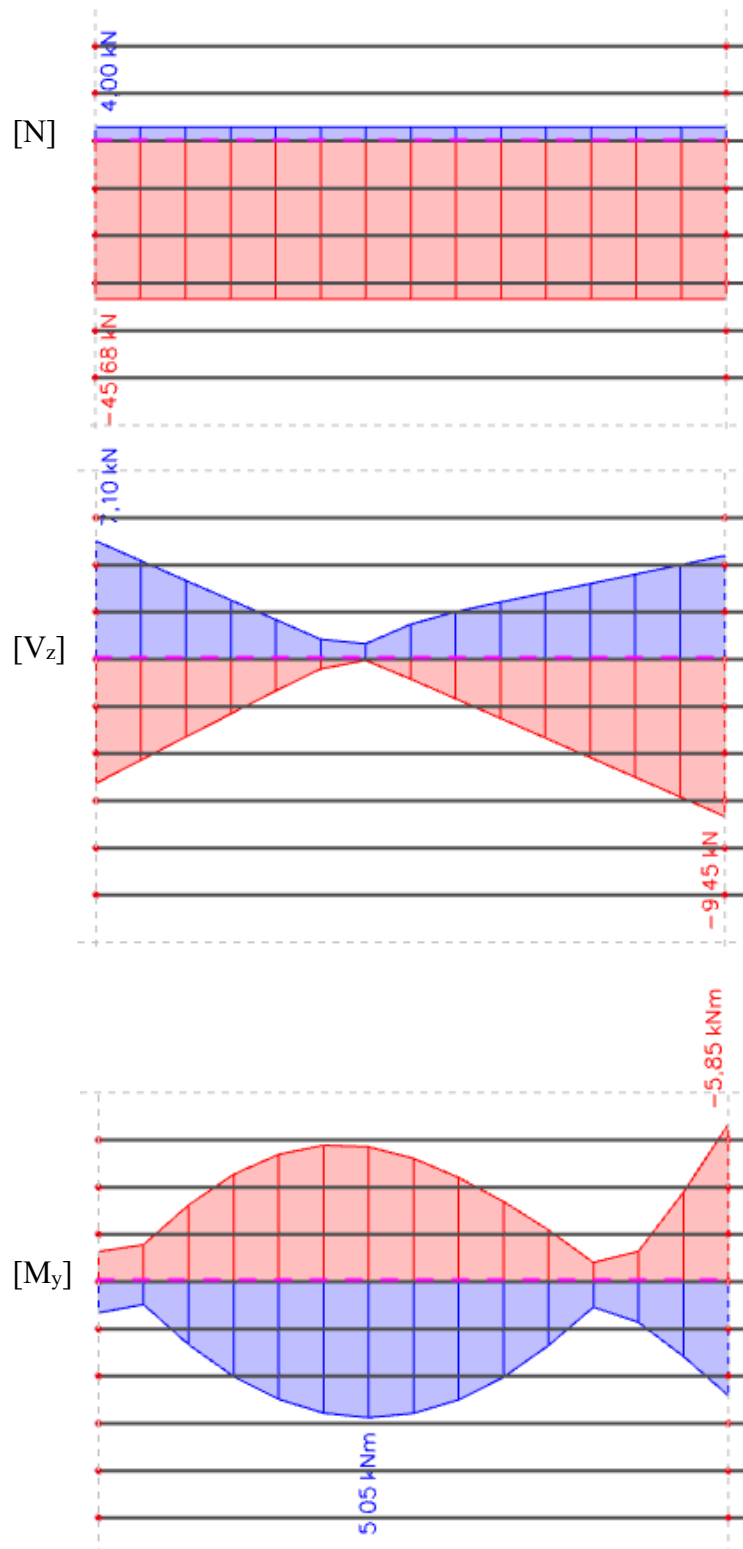
Unity check  $2,04 + 0,06 + 0,02 = \mathbf{2,11}$  -

Unity check  $2,04 + 0,06 + 0,02 = \mathbf{2,11}$  -

The member does NOT satisfy the stability check!

## 5.9 Τεγίδες

Οι τεγίδες καταπονούνται σε κάμψη, διάτμηση και -δευτερευόντως- σε αξονικές δυνάμεις (ως αποστάτες μεταξύ των πλαισίων). Προς τούτο επελέγη η ίδια ορθογωνική διατομή με τις μηκίδες





## EC-EN 1993 Steel check ULS

Linear calculation  
 Class: All ULS  
 Coordinate system: Principal  
 Extreme 1D: Global  
 Selection: All  
 Filter: Layer = Tegides

### EN 1993-1-3 Cold Formed Code Check

National annex: Greek ELOT-EN NA

Member B631	0,286 / 4,000 m	General cross-section	S390GD+Z	All ULS	0,22 -
-------------	-----------------	-----------------------	----------	---------	--------

#### Combination key

All ULS / 1.15\*LC1 + 0.75\*snow + 0.90\*3DWind5 + 1.15\*PSW + 1.50\*Thermal

#### Partial safety factors

$\gamma_{M0}$ for resistance of cross-sections	1,00
$\gamma_{M1}$ for resistance to instability	1,00
$\gamma_{M2}$ for resistance of net sections	1,25

#### Material

Yield strength $f_y$	390,0	MPa
Ultimate strength $f_u$	460,0	MPa
Fabrication	cold formed	

...:SECTION CHECK:...

The critical check is on position 0,286 m

Internal forces		Calculated	Unit
Normal force	$N_{Ed}$	-45,68	kN
Shear force	$V_{y,Ed}$	-0,61	kN
Shear force	$V_{z,Ed}$	2,54	kN
Torsion	$T_{Ed}$	-0,03	kNm
Bending moment	$M_{y,Ed}$	0,70	kNm
Bending moment	$M_{z,Ed}$	0,26	kNm

#### Effective section N-

##### Effective width calculation

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\eta$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
2	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
3	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
4	I	60	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,46	1,00	60	30	30
5	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
6	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
7	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
8	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
9	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
10	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
11	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
12	I	80	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,61	1,00	80	40	40
13	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
14	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
15	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
16	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
17	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
18	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
19	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
20	I	60	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,46	1,00	60	30	30
21	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
22	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
23	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
24	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
25	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
26	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
27	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
28	I	80	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,61	1,00	80	40	40
29	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
30	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
31	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
32	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10

#### Effective section My+

##### Effective width calculation

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
2	I	10	3,900e+05	3,700e+05	0,95	4,10	0,07	1,00	10	5	5
3	I	10	3,900e+05	3,700e+05	0,95	4,10	0,07	1,00	10	5	5
4	I	60	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,46	1,00	60	30	30
5	I	10	3,900e+05	3,700e+05	0,95	4,10	0,07	1,00	10	5	5
6	I	10	3,900e+05	3,700e+05	0,95	4,10	0,07	1,00	10	5	5
7	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
8	I	20	3,900e+05	3,100e+05	0,79	4,44	0,14	1,00	20	10	10
9	I	10	3,100e+05	2,754e+05	0,89	4,23	0,07	1,00	10	5	5
10	I	20	2,754e+05	1,954e+05	0,71	4,66	0,14	1,00	20	9	11
11	I	10	1,954e+05	1,607e+05	0,82	4,38	0,07	1,00	10	5	5
12	I	80	1,607e+05	-1,607e+05	-1,00	23,90	0,25	1,00	40	16	24
13	I	10	-1,607e+05	-1,954e+05							
14	I	20	-1,954e+05	-2,754e+05							
15	I	10	-2,754e+05	-3,100e+05							
16	I	20	-3,100e+05	-3,900e+05							
17	I	20	-3,900e+05	-3,900e+05							
18	I	10	-3,700e+05	-3,900e+05							
19	I	10	-3,700e+05	-3,900e+05							
20	I	60	-3,900e+05	-3,900e+05							
21	I	10	-3,700e+05	-3,900e+05							
22	I	10	-3,700e+05	-3,900e+05							
23	I	20	-3,900e+05	-3,900e+05							
24	I	20	-3,100e+05	-3,900e+05							
25	I	10	-2,754e+05	-3,100e+05							
26	I	20	-1,954e+05	-2,754e+05							
27	I	10	-1,607e+05	-1,954e+05							
28	I	80	1,607e+05	-1,607e+05	-1,00	23,90	0,25	1,00	40	16	24
29	I	10	1,954e+05	1,607e+05	0,82	4,38	0,07	1,00	10	5	5
30	I	20	2,754e+05	1,954e+05	0,71	4,66	0,14	1,00	20	9	11
31	I	10	3,100e+05	2,754e+05	0,89	4,23	0,07	1,00	10	5	5
32	I	20	3,900e+05	3,100e+05	0,79	4,44	0,14	1,00	20	10	10

**Effective section Mz+**

**Effective width calculation**

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	I	20	3,900e+05	2,744e+05	0,70	4,68	0,14	1,00	20	9	11
2	I	10	2,744e+05	2,244e+05	0,82	4,39	0,07	1,00	10	5	5
3	I	10	2,244e+05	1,744e+05	0,78	4,49	0,07	1,00	10	5	5
4	I	60	1,744e+05	-1,744e+05	-1,00	23,90	0,19	1,00	30	12	18
5	I	10	-1,744e+05	-2,244e+05							
6	I	10	-2,244e+05	-2,744e+05							
7	I	20	-2,744e+05	-3,900e+05							
8	I	20	-3,900e+05	-3,900e+05							
9	I	10	-3,611e+05	-3,900e+05							
10	I	20	-3,611e+05	-3,611e+05							
11	I	10	-3,611e+05	-3,900e+05							
12	I	80	-3,900e+05	-3,900e+05							
13	I	10	-3,611e+05	-3,900e+05							
14	I	20	-3,611e+05	-3,611e+05							
15	I	10	-3,611e+05	-3,900e+05							
16	I	20	-3,900e+05	-3,900e+05							
17	I	20	-2,744e+05	-3,900e+05							
18	I	10	-2,244e+05	-2,744e+05							
19	I	10	-1,744e+05	-2,244e+05							
20	I	60	1,744e+05	-1,744e+05	-1,00	23,90	0,19	1,00	30	12	18
21	I	10	2,244e+05	1,744e+05	0,78	4,49	0,07	1,00	10	5	5
22	I	10	2,744e+05	2,244e+05	0,82	4,39	0,07	1,00	10	5	5
23	I	20	3,900e+05	2,744e+05	0,70	4,68	0,14	1,00	20	9	11
24	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
25	I	10	3,900e+05	3,611e+05	0,93	4,15	0,07	1,00	10	5	5
26	I	20	3,611e+05	3,611e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
27	I	10	3,900e+05	3,611e+05	0,93	4,15	0,07	1,00	10	5	5
28	I	80	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,61	1,00	80	40	40
29	I	10	3,900e+05	3,611e+05	0,93	4,15	0,07	1,00	10	5	5
30	I	20	3,611e+05	3,611e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
31	I	10	3,900e+05	3,611e+05	0,93	4,15	0,07	1,00	10	5	5
32	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10

Student version

Effective properties						
Effective area	$A_{eff}$	2,0443e-03	m <sup>2</sup>			
Effective second moment of area	$I_{eff,y}$	1,1717e-05	m <sup>4</sup>	$I_{eff,z}$	6,5227e-06	m <sup>4</sup>
Effective section modulus	$W_{eff,y}$	1,1835e-04	m <sup>3</sup>	$W_{eff,z}$	9,4532e-05	m <sup>3</sup>
Shift of the centroid	$e_{N,y}$	0	mm	$e_{N,z}$	0	mm

### Compression check

According to EN 1993-1-3 article 6.1.3 and formula (6.3)

Gross section area	$A_g$	2,0443e-03	m <sup>2</sup>
Relative slenderness	$\lambda_e$	0,61	
Slenderness	$\lambda_{e0}$	0,67	
Compression resistance	$N_{c,Rd}$	797,28	kN
Unity check		0,06	-

$$N_{c,Rd} = \min \left\{ \frac{A_g \times \left[ f_{y,b} + (f_{y,b} - f_{y,b}) \times 4 \times \left( 1 - \frac{\lambda_e}{\lambda_{e0}} \right) \right]}{\gamma_{M0}}, \frac{A_g \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} \right\}$$

$$= \min \left\{ \frac{2,0443 \cdot 10^{-3} [m^2] \times \left[ 390,0 [MPa] + (390,0 [MPa] - 390,0 [MPa]) \times 4 \times \left( 1 - \frac{0,61}{0,67} \right) \right]}{1,00}, \frac{2,0443 \cdot 10^{-3} [m^2] \times 390,0 [MPa]}{1,00} \right\} \quad (EC3-1-3: 6.3)$$

$$= \min \{ 797,28 [kN], 797,28 [kN] \} = 797,28 [kN]$$

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{c,Rd}} = \frac{|-45,68 [kN]|}{797,28 [kN]} = 0,06 \leq 1,00$$

### Bending moment check for $M_y$

According to EN 1993-1-3 article 6.1.4 and formula (6.6)

Elastic section modulus	$W_{el,y}$	1,1836e-04	m <sup>3</sup>
Bending moment resistance	$M_{c,y,Rd}$	46,16	kNm
Unity check		0,02	-

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{el,y} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,1836 \cdot 10^{-4} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 46,16 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.6)$$

$$\text{Unity check} = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{c,y,Rd}} = \frac{|0,70 [kNm]|}{46,16 [kNm]} = 0,02 \leq 1,00$$

### Bending moment check for $M_z$

According to EN 1993-1-3 article 6.1.4 and formula (6.6)

Elastic section modulus	$W_{el,z}$	9,4536e-05	m <sup>3</sup>
Bending moment resistance	$M_{c,z,Rd}$	36,87	kNm
Unity check		0,01	-

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{el,z} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{9,4536 \cdot 10^{-5} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 36,87 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.6)$$

$$\text{Unity check} = \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{c,z,Rd}} = \frac{|0,26 [kNm]|}{36,87 [kNm]} = 0,01 \leq 1,00$$

### Biaxial bending moment check

According to EN 1993-1-3 article 6.1.4 and formula (6.7)

Bending moment resistance	$M_{c,y,Rd}$	46,16	kNm
Bending moment resistance	$M_{c,z,Rd}$	36,87	kNm

$$\text{Unity check (6.7)} = 0,02 + 0,01 = 0,02$$

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{el,y} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,1836 \cdot 10^{-4} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 46,16 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.6)$$

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{el,z} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{9,4536 \cdot 10^{-5} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 36,87 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.6)$$

$$\text{Unity check (6.7)} = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{c,y,Rd}} + \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{c,z,Rd}} = \frac{|0,70 [kNm]|}{46,16 [kNm]} + \frac{|0,26 [kNm]|}{36,87 [kNm]} = 0,02 \leq 1,00 \quad (EC3-1-3: 6.7)$$

### Shear Force $V_z$

According to article EN 1993-1-3: 6.1.5 and formula (6.8).

No stiffening at the support.

Element ID	$l_c$ [mm]	$\alpha$ [deg]	$s_w$ [mm]	$\lambda_w$ [-]	$f_{bv}$ [MPa]	$V_{b,Rd,z,l}$ [kN]
1	20	179,99	20	0,10	226,2	0,00
2	10	209,99	10	0,05	226,2	1,70
3	10	149,99	10	0,05	226,2	1,70
4	60	179,99	60	0,30	226,2	0,00
5	10	209,99	10	0,05	226,2	1,70
6	10	149,99	10	0,05	226,2	1,70

Element ID	$l_c$ [mm]	$\alpha$ [deg]	$s_w$ [mm]	$\lambda_w$ [-]	$f_{bv}$ [MPa]	$V_{b,Rd,z_i}$ [kN]
7	20	179,99	20	0,10	226,2	0,00
8	20	269,99	20	0,10	226,2	13,57
9	10	299,99	10	0,05	226,2	5,09
10	20	269,99	20	0,10	226,2	13,57
11	10	239,99	10	0,05	226,2	5,09
12	80	269,99	80	0,40	226,2	54,53
13	10	299,99	10	0,05	226,2	5,09
14	20	269,99	20	0,10	226,2	13,57
15	10	239,99	10	0,05	226,2	5,09
16	20	269,99	20	0,10	226,2	13,57
17	20	-0,01	20	0,10	226,2	0,00
18	10	29,99	10	0,05	226,2	1,70
19	10	329,99	10	0,05	226,2	1,70
20	60	-0,01	60	0,30	226,2	0,00
21	10	29,99	10	0,05	226,2	1,70
22	10	329,99	10	0,05	226,2	1,70
23	20	-0,01	20	0,10	226,2	0,00
24	20	89,99	20	0,10	226,2	13,57
25	10	119,99	10	0,05	226,2	5,09
26	20	89,99	20	0,10	226,2	13,57
27	10	59,99	10	0,05	226,2	5,09
28	80	89,99	80	0,40	226,2	54,53
29	10	119,99	10	0,05	226,2	5,09
30	20	89,99	20	0,10	226,2	13,57
31	10	59,99	10	0,05	226,2	5,09
32	20	89,99	20	0,10	226,2	13,57

Shear verification		
$V_{b,Rd,z}$	271,93	kN
Unity check	0,01	-

#### Torsional Moment Check

According to article EN 1993-1-3: 6.1.6 and formula (6.11a), (6.11b), (6.11c).

Elastic verification		
Critical Fibre	2	
$\sigma_N$	22,3	MPa
$\sigma_{My}$	5,9	MPa
$\sigma_{Mz}$	2,7	MPa
$\tau_{Vy}$	0,5	MPa
$\tau_{Vz}$	1,5	MPa
$\tau_t$	0,2	MPa
Direct Stress Check	0,08	-
Shear Stress Check	0,01	-
Composed Stress Check	0,07	-

#### Combined Compression and Bending Check

According to article EN 1993-1-3: 6.1.9 and formula (6.25), (6.26).

$N_{c,Rd}$	797,28	kN
$M_{cy,Rd,ten}$	46,16	kNm
$M_{cz,Rd,ten}$	36,87	kNm
$M_{cy,Rd,com}$	46,16	kNm
$M_{cz,Rd,com}$	36,87	kNm

Unity check (6.25)  $0,06 + 0,02 + 0,01 = 0,08$  -

Unity check (6.26)  $0,02 + 0,01 - 0,06 = 0,00$  -

The member satisfies the section check.

#### ....:STABILITY CHECK:....

#### Classification for member buckling design

**Note:** The Elastic verification has been set by the user.

#### Flexural Buckling Strength

According to article EN 1993-1-3: 6.2.2

According to article EN 1993-1-1: 6.3.1 and formula (6.46)

Buckling parameters	yy	zz	
Sway type	sway	non-sway	
System Length L	4,000	4,000	m
Buckling factor k	1,78	0,71	
Buckling length $L_{cr}$	7,126	2,846	m
Critical Euler load $N_{cr}$	478,27	1669,86	kN
Slenderness	94,12	50,37	
Relative slenderness $\lambda_{rel}$	1,29	0,69	
Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$	0,20	0,20	
Buckling curve	c	c	
Imperfection $\alpha$	0,49	0,49	
Reduction factor $\chi$	0,39	0,73	
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	313,00	582,23	kN

Flexural Buckling verification		
$A_{eff}$	2,0443e-03	m <sup>2</sup>
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	313,00	kN
Unity check	0,15	-

#### Torsional (-Flexural) Buckling check

According to article EN 1993-1-3: 6.2.3

According to article EN 1993-1-1: 6.3.1 and formula (6.46)

Torsional Buckling length	4,000	m
$N_{cr,T}$	104350,82	kN
$N_{cr,TF}$	478,27	kN
Relative slenderness $\lambda_{rel,T}$	1,29	
Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$	0,20	
Buckling curve	c	
Imperfection $\alpha$	0,49	
$A_{eff}$	2,0443e-03	m <sup>2</sup>
Reduction factor $\chi$	0,39	
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	313,00	kN
Unity check	0,15	-

#### Lateral Torsional Buckling Check

According to article EN 1993-1-3: 6.2.4

According to article EN 1993-1-1: 6.3.2 and formula (6.55)

LTB Parameters		
Method for LTB Curve	art. 6.3.2.2	
$W_{eff,y}$	1,1835e-04	m <sup>3</sup>
Elastic critical moment $M_{cr}$	1055,23	kNm
Relative slenderness $\lambda_{rel,LT}$	0,21	
Limit slenderness $\lambda_{rel,LT,0}$	0,20	

$M_{cr}$ Parameters		
LTB length	4,000	m
k	1,00	
$k_w$	1,00	
$C_1$	1,19	
$C_2$	0,68	
$C_3$	0,53	

The slenderness or bending moment is such that Lateral Torsional Buckling effects may be ignored according to EN 1993-1-1 article 6.3.2.2(4)

#### Bending and Axial Compression Check

According to article EN 1993-1-3: 6.2.5(1)

According to article EN 1993-1-1: 6.3.3 and formula (6.61), (6.62).

Interaction Method 1

Interaction method 1 parameters		
$k_{yy}$	1,03	
$k_{yz}$	0,95	
$k_{zy}$	1,09	
$k_{zz}$	1,00	
$\Delta M_{y,Ed}$	0,00	kNm
$\Delta M_{z,Ed}$	0,00	kNm
A	2,0443e-03	m <sup>2</sup>
$W_y$	1,1835e-04	m <sup>3</sup>
$W_z$	9,4532e-05	m <sup>3</sup>
$N_{Rk}$	797,28	kN
$M_{y,Rk}$	46,16	kNm
$M_{z,Rk}$	36,87	kNm
$M_{y,Ed}$	2,51	kNm
$M_{z,Ed}$	0,49	kNm
Interaction Method 1		
$M_{cr,0}$	887,12	kNm
reduced slenderness $\eta$	0,23	
$\psi_y$	0,05	
$\psi_z$	0,93	
$C_{my,0}$	0,99	
$C_{mz,0}$	0,98	
$C_{my}$	0,99	
$C_{mz}$	0,98	
$C_{mLT}$	1,00	
$\mu_y$	0,94	
$\mu_z$	0,99	
$\alpha_{LT}$	0,02	

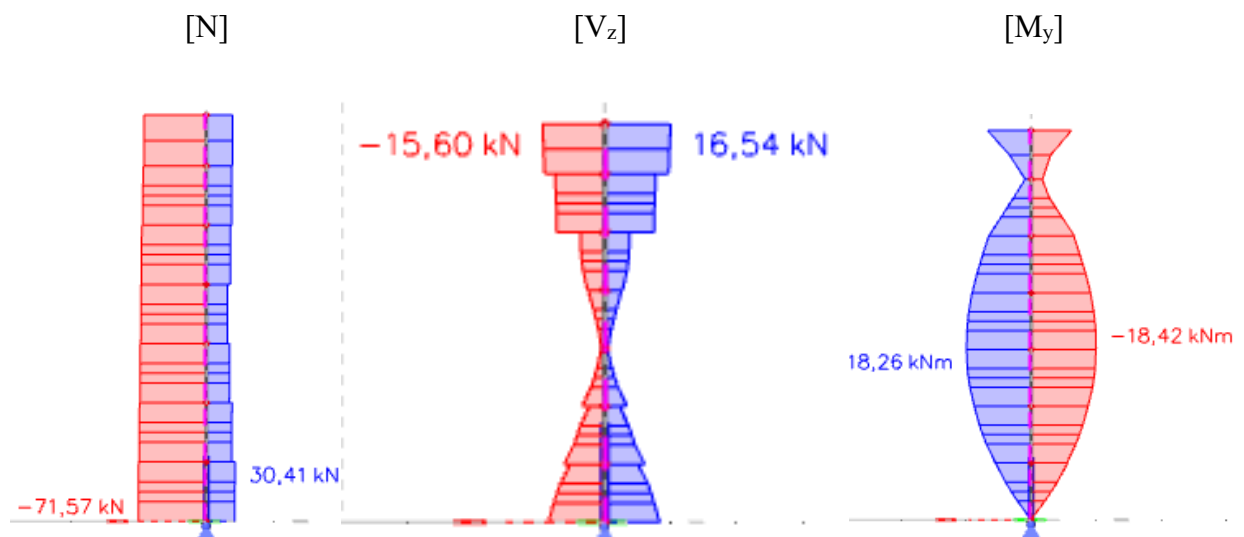
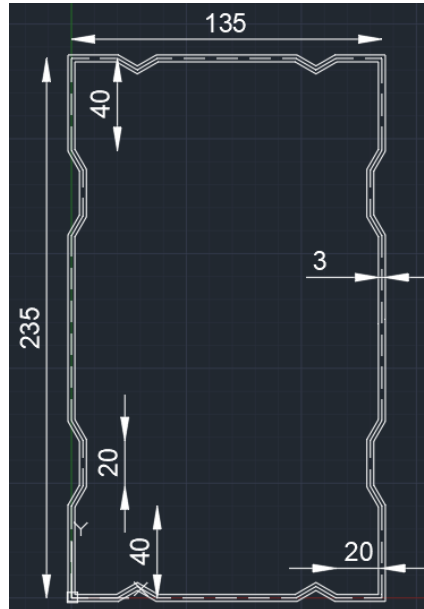
Unity check  $0,15 + 0,06 + 0,01 = 0,21$  -

Unity check  $0,15 + 0,06 + 0,01 = 0,22$  -

The member satisfies the stability check.

## 5.10 Μετωπικά Υποστυλώματα

Τα μετωπικά υποστυλώματα καταπονούνται σε αξονική, κάμψη και διάτμηση στο x-z επίπεδο, κυρίως, οπότε επελέγη η διατομή:



## EC-EN 1993 Steel check ULS

Linear calculation  
 Class: All ULS  
 Coordinate system: Principal  
 Extreme 1D: Global  
 Selection: All  
 Filter: Layer = Metopika

### EN 1993-1-3 Cold Formed Code Check

National annex: Greek ELOT-EN NA

Member B328	0,000 / 6,000 m	General cross-section	S390GD+Z	All ULS	0,40 -
-------------	-----------------	-----------------------	----------	---------	--------

#### Combination key

All ULS / 1.15\*LC1 + 1.50\*snow + 1.15\*PSW + 0.90\*Thermal

#### Partial safety factors

$\gamma_{M0}$ for resistance of cross-sections	1,00
$\gamma_{M1}$ for resistance to instability	1,00
$\gamma_{M2}$ for resistance of net sections	1,25

#### Material

Yield strength $f_y$	390,0	MPa
Ultimate strength $f_u$	460,0	MPa
Fabrication	cold formed	

....SECTION CHECK:....

The critical check is on position 0,000 m

Internal forces		Calculated	Unit
Normal force	$N_{Ed}$	-71,57	kN
Shear force	$V_{y,Ed}$	-0,11	kN
Shear force	$V_{z,Ed}$	-0,78	kN
Torsion	$T_{Ed}$	0,00	kNm
Bending moment	$M_{y,Ed}$	0,00	kNm
Bending moment	$M_{z,Ed}$	0,00	kNm

#### Effective section N-

#### Effective width calculation

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\eta$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
2	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
3	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
4	I	60	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,45	1,00	60	30	30
5	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
6	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
7	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
8	I	40	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,30	1,00	40	20	20
9	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
10	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
11	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
12	I	80	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,60	1,00	80	40	40
13	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
14	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
15	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
16	I	40	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,30	1,00	40	20	20
17	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
18	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
19	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
20	I	60	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,45	1,00	60	30	30
21	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
22	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
23	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
24	I	40	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,30	1,00	40	20	20
25	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
26	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
27	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
28	I	80	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,60	1,00	80	40	40
29	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
30	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
31	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
32	I	40	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,30	1,00	40	20	20

Effective properties						
Effective area	$A_{eff}$	2,2800e-03	m <sup>2</sup>			
Effective second moment of area	$I_{eff,y}$	1,8000e-05	m <sup>4</sup>	$I_{eff,z}$	7,5621e-06	m <sup>4</sup>
Effective section modulus	$W_{eff,y}$	1,5149e-04	m <sup>3</sup>	$W_{eff,z}$	1,0988e-04	m <sup>3</sup>
Shift of the centroid	$e_{N,y}$	0	mm	$e_{N,z}$	0	mm

### Compression check

According to EN 1993-1-3 article 6.1.3 and formula (6.3)

Gross section area	$A_g$	2,2800e-03	m <sup>2</sup>
Relative slenderness	$\lambda_e$	0,60	
Slenderness	$\lambda_{e0}$	0,67	
Compression resistance	$N_{c,Rd}$	889,20	kN
Unity check		0,08	-

$$N_{c,Rd} = \min \left\{ \frac{A_g \times \left[ f_{y,b} + (f_{y,b} - f_{y,b}) \times 4 \times \left( 1 - \frac{\lambda_e}{\lambda_{e0}} \right) \right]}{\gamma_{M0}}, \frac{A_g \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} \right\}$$

$$= \min \left\{ \frac{2,2800 \cdot 10^{-3} [\text{m}^2] \times \left[ 390,0 [\text{MPa}] + (390,0 [\text{MPa}] - 390,0 [\text{MPa}] \times 4 \times \left( 1 - \frac{0,60}{0,67} \right) \right]}{1,00}, \frac{2,2800 \cdot 10^{-3} [\text{m}^2] \times 390,0 [\text{MPa}]}{1,00} \right\} \quad (\text{EC3-1-3: 6.3})$$

$$= \min \{ 889,20 [\text{kN}], 889,20 [\text{kN}] \} = 889,20 [\text{kN}]$$

$$\text{Unity check} = \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{-71,57 [\text{kN}]}{889,20 [\text{kN}]} = 0,08 \leq 1,00$$

The member satisfies the section check.

....:STABILITY CHECK:....

### Classification for member buckling design

Note: The Elastic verification has been set by the user.

### Flexural Buckling Strength

According to article EN 1993-1-3: 6.2.2

According to article EN 1993-1-1: 6.3.1 and formula (6.46)

Buckling parameters	yy	zz	
Sway type	sway	non-sway	
System Length L	6,000	6,000	m
Buckling factor k	2,12	0,73	
Buckling length $L_{cr}$	12,726	4,395	m
Critical Euler load $N_{cr}$	230,40	811,47	kN
Slenderness	143,21	76,31	
Relative slenderness $\lambda_{rel}$	1,96	1,05	
Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$	0,20	0,20	
Buckling curve	c	c	
Imperfection $\alpha$	0,49	0,49	
Reduction factor $\chi$	0,20	0,51	
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	179,88	456,40	kN

Flexural Buckling verification		
$A_{eff}$	2,2800e-03	m <sup>2</sup>
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	179,88	kN
Unity check	0,40	-

### Torsional (-Flexural) Buckling check

According to article EN 1993-1-3: 6.2.3

According to article EN 1993-1-1: 6.3.1 and formula (6.46)

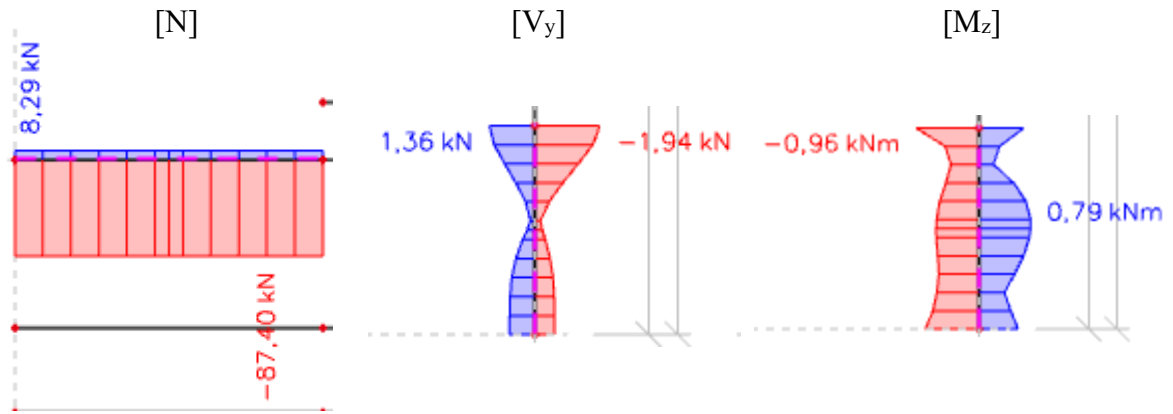
Torsional Buckling length	6,000	m
$N_{cr,T}$	108279,69	kN
$N_{cr,TF}$	230,40	kN
Relative slenderness $\lambda_{rel,T}$	1,96	
Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$	0,20	
Buckling curve	c	
Imperfection $\alpha$	0,49	
$A_{eff}$	2,2800e-03	m <sup>2</sup>
Reduction factor $\chi$	0,20	
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	179,88	kN
Unity check	0,40	-

The member satisfies the stability check.



## 5.11 Οριζόντια

Λόγω αντιστοίχων φορτίσεων, επιλέγεται η διατομή που χρησιμοποιήθηκε και στις μηκίδες



## EC-EN 1993 Steel check ULS

Linear calculation  
 Class: All ULS  
 Coordinate system: Principal  
 Extreme 1D: Global  
 Selection: All  
 Filter: Layer = Orizontia

### EN 1993-1-3 Cold Formed Code Check

National annex: Greek ELOT-EN NA

Member B1069	2,618 / 3,200 m	General cross-section	S390GD+Z	All ULS	8,79 -
--------------	-----------------	-----------------------	----------	---------	--------

Combination key	
All ULS / LC1 + 0.90*3DWind9 + PSW + 1.50*Thermal	

Partial safety factors	
$\gamma_{M0}$ for resistance of cross-sections	1,00
$\gamma_{M1}$ for resistance to instability	1,00
$\gamma_{M2}$ for resistance of net sections	1,25

Material		
Yield strength $f_y$	390,0	MPa
Ultimate strength $f_u$	460,0	MPa
Fabrication	cold formed	

....:SECTION CHECK:....

The critical check is on position 2,618 m

Internal forces		Calculated	Unit
Normal force	$N_{Ed}$	-87,40	kN
Shear force	$V_{y,Ed}$	-0,42	kN
Shear force	$V_{z,Ed}$	-0,09	kN
Torsion	$T_{Ed}$	0,01	kNm
Bending moment	$M_{y,Ed}$	-0,04	kNm
Bending moment	$M_{z,Ed}$	-0,09	kNm

### Effective section N-

#### Effective width calculation

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
2	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
3	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
4	I	60	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,46	1,00	60	30	30
5	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
6	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
7	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
8	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
9	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
10	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
11	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
12	I	80	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,61	1,00	80	40	40
13	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
14	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
15	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
16	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
17	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
18	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
19	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
20	I	60	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,46	1,00	60	30	30
21	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
22	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
23	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
24	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
25	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
26	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
27	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
28	I	80	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,61	1,00	80	40	40
29	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
30	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
31	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
32	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10

### Effective section My-

#### Effective width calculation

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	I	20	-3,900e+05	-3,900e+05							
2	I	10	-3,700e+05	-3,900e+05							
3	I	10	-3,700e+05	-3,900e+05							
4	I	60	-3,900e+05	-3,900e+05							
5	I	10	-3,700e+05	-3,900e+05							
6	I	10	-3,700e+05	-3,900e+05							
7	I	20	-3,900e+05	-3,900e+05							
8	I	20	-3,100e+05	-3,900e+05							
9	I	10	-2,754e+05	-3,100e+05							
10	I	20	-1,954e+05	-2,754e+05							
11	I	10	-1,607e+05	-1,954e+05							
12	I	80	1,607e+05	-1,607e+05	-1,00	23,90	0,25	1,00	40	16	24
13	I	10	1,954e+05	1,607e+05	0,82	4,38	0,07	1,00	10	5	5
14	I	20	2,754e+05	1,954e+05	0,71	4,66	0,14	1,00	20	9	11
15	I	10	3,100e+05	2,754e+05	0,89	4,23	0,07	1,00	10	5	5
16	I	20	3,900e+05	3,100e+05	0,79	4,44	0,14	1,00	20	10	10
17	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
18	I	10	3,900e+05	3,700e+05	0,95	4,10	0,07	1,00	10	5	5
19	I	10	3,900e+05	3,700e+05	0,95	4,10	0,07	1,00	10	5	5
20	I	60	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,46	1,00	60	30	30
21	I	10	3,900e+05	3,700e+05	0,95	4,10	0,07	1,00	10	5	5
22	I	10	3,900e+05	3,700e+05	0,95	4,10	0,07	1,00	10	5	5
23	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
24	I	20	3,900e+05	3,100e+05	0,79	4,44	0,14	1,00	20	10	10
25	I	10	3,100e+05	2,754e+05	0,89	4,23	0,07	1,00	10	5	5
26	I	20	2,754e+05	1,954e+05	0,71	4,66	0,14	1,00	20	9	11
27	I	10	1,954e+05	1,607e+05	0,82	4,38	0,07	1,00	10	5	5
28	I	80	1,607e+05	-1,607e+05	-1,00	23,90	0,25	1,00	40	16	24
29	I	10	-1,607e+05	-1,954e+05							
30	I	20	-1,954e+05	-2,754e+05							
31	I	10	-2,754e+05	-3,100e+05							
32	I	20	-3,100e+05	-3,900e+05							

**Effective section Mz-**

**Effective width calculation**

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	I	20	-2,744e+05	-3,900e+05							
2	I	10	-2,244e+05	-2,744e+05							
3	I	10	-1,744e+05	-2,244e+05							
4	I	60	1,744e+05	-1,744e+05	-1,00	23,90	0,19	1,00	30	12	18
5	I	10	2,244e+05	1,744e+05	0,78	4,49	0,07	1,00	10	5	5
6	I	10	2,744e+05	2,244e+05	0,82	4,39	0,07	1,00	10	5	5
7	I	20	3,900e+05	2,744e+05	0,70	4,68	0,14	1,00	20	9	11
8	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
9	I	10	3,900e+05	3,611e+05	0,93	4,15	0,07	1,00	10	5	5
10	I	20	3,611e+05	3,611e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
11	I	10	3,900e+05	3,611e+05	0,93	4,15	0,07	1,00	10	5	5
12	I	80	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,61	1,00	80	40	40
13	I	10	3,900e+05	3,611e+05	0,93	4,15	0,07	1,00	10	5	5
14	I	20	3,611e+05	3,611e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
15	I	10	3,900e+05	3,611e+05	0,93	4,15	0,07	1,00	10	5	5
16	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
17	I	20	3,900e+05	2,744e+05	0,70	4,68	0,14	1,00	20	9	11
18	I	10	2,744e+05	2,244e+05	0,82	4,39	0,07	1,00	10	5	5
19	I	10	2,244e+05	1,744e+05	0,78	4,49	0,07	1,00	10	5	5
20	I	60	1,744e+05	-1,744e+05	-1,00	23,90	0,19	1,00	30	12	18
21	I	10	-1,744e+05	-2,244e+05							
22	I	10	-2,244e+05	-2,744e+05							
23	I	20	-2,744e+05	-3,900e+05							
24	I	20	-3,900e+05	-3,900e+05							
25	I	10	-3,611e+05	-3,900e+05							
26	I	20	-3,611e+05	-3,611e+05							
27	I	10	-3,611e+05	-3,900e+05							
28	I	80	-3,900e+05	-3,900e+05							
29	I	10	-3,611e+05	-3,900e+05							
30	I	20	-3,611e+05	-3,611e+05							
31	I	10	-3,611e+05	-3,900e+05							
32	I	20	-3,900e+05	-3,900e+05							

Effective properties					
Effective area	$A_{eff}$	2,0443e-03	m <sup>2</sup>		
Effective second moment of area	$I_{eff,y}$	1,1717e-05	m <sup>4</sup>	$I_{eff,z}$	6,5227e-06 m <sup>4</sup>
Effective section modulus	$W_{eff,y}$	1,1835e-04	m <sup>3</sup>	$W_{eff,z}$	9,4532e-05 m <sup>3</sup>
Shift of the centroid	$e_{N,y}$	0	mm	$e_{N,z}$	0 mm

### Compression check

According to EN 1993-1-3 article 6.1.3 and formula (6.3)

Gross section area	$A_g$	2,0443e-03	m <sup>2</sup>
Relative slenderness	$\lambda_e$	0,61	
Slenderness	$\lambda_{e0}$	0,67	
Compression resistance	$N_{c,Rd}$	797,28	kN
Unity check		0,11	-

$$N_{c,Rd} = \min \left\{ \frac{A_g \times \left[ f_{y,b} + (f_{y,b} - f_{y,b}) \times 4 \times \left( 1 - \frac{\lambda_e}{\lambda_{e0}} \right) \right]}{\gamma_{M0}}, \frac{A_g \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} \right\}$$

$$= \min \left\{ \frac{2,0443 \cdot 10^{-3} [m^2] \times \left[ 390,0 [MPa] + (390,0 [MPa] - 390,0 [MPa]) \times 4 \times \left( 1 - \frac{0,61}{0,67} \right) \right]}{1,00}, \frac{2,0443 \cdot 10^{-3} [m^2] \times 390,0 [MPa]}{1,00} \right\} \quad (EC3-1-3: 6.3)$$

$$= \min \{ 797,28 [kN], 797,28 [kN] \} = 797,28 [kN]$$

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{c,Rd}} = \frac{|-87,40 [kN]|}{797,28 [kN]} = 0,11 \leq 1,00$$

### Bending moment check for $M_y$

According to EN 1993-1-3 article 6.1.4 and formula (6.6)

Elastic section modulus	$W_{el,y}$	1,1836e-04	m <sup>3</sup>
Bending moment resistance	$M_{c,y,Rd}$	46,16	kNm
Unity check		0,00	-

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{el,y} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,1836 \cdot 10^{-4} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 46,16 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.6)$$

$$\text{Unity check} = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{c,y,Rd}} = \frac{|-0,04 [kNm]|}{46,16 [kNm]} = 0,00 \leq 1,00$$

### Bending moment check for $M_z$

According to EN 1993-1-3 article 6.1.4 and formula (6.6)

Elastic section modulus	$W_{el,z}$	9,4536e-05	m <sup>3</sup>
Bending moment resistance	$M_{c,z,Rd}$	36,87	kNm
Unity check		0,00	-

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{el,z} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{9,4536 \cdot 10^{-5} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 36,87 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.6)$$

$$\text{Unity check} = \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{c,z,Rd}} = \frac{|-0,09 [kNm]|}{36,87 [kNm]} = 0,00 \leq 1,00$$

### Biaxial bending moment check

According to EN 1993-1-3 article 6.1.4 and formula (6.7)

Bending moment resistance	$M_{c,y,Rd}$	46,16	kNm
Bending moment resistance	$M_{c,z,Rd}$	36,87	kNm

$$\text{Unity check (6.7)} = 0,00 + 0,00 = 0,00 -$$

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{el,y} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,1836 \cdot 10^{-4} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 46,16 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.6)$$

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{el,z} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{9,4536 \cdot 10^{-5} [m^3] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 36,87 [kNm] \quad (EC3-1-3: 6.6)$$

$$\text{Unity check (6.7)} = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{c,y,Rd}} + \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{c,z,Rd}} = \frac{|-0,04 [kNm]|}{46,16 [kNm]} + \frac{|-0,09 [kNm]|}{36,87 [kNm]} = 0,00 \leq 1,00 \quad (EC3-1-3: 6.7)$$

### Torsional Moment Check

According to article EN 1993-1-3: 6.1.6 and formula (6.11a), (6.11b), (6.11c).

Elastic verification		
Critical Fibre	20	
$\sigma_N$	42,8	MPa
$\sigma_{My}$	0,3	MPa
$\sigma_{Mz}$	0,9	MPa
$\tau_{Vy}$	0,4	MPa
$\tau_{Vz}$	0,1	MPa
$\tau_t$	0,1	MPa

Elastic verification		
Direct Stress Check	0,11	-
Shear Stress Check	0,00	-
Composed Stress Check	0,10	-

#### Combined Compression and Bending Check

According to article EN 1993-1-3: 6.1.9 and formula (6.25), (6.26).

$N_{c,Rd}$	797,28	kN
$M_{cy,Rd,ten}$	46,16	kNm
$M_{cz,Rd,ten}$	36,87	kNm
$M_{cy,Rd,com}$	46,16	kNm
$M_{cz,Rd,com}$	36,87	kNm

Unity check (6.25)  $0,11 + 0,00 + 0,00 = 0,11$  -

Unity check (6.26)  $0,00 + 0,00 - 0,11 = 0,00$  -

The member satisfies the section check.

#### ....STABILITY CHECK:....

#### Classification for member buckling design

Note: The Elastic verification has been set by the user.

#### Flexural Buckling Strength

According to article EN 1993-1-3: 6.2.2

According to article EN 1993-1-1: 6.3.1 and formula (6.46)

Buckling parameters	yy	zz	
Sway type	sway	non-sway	
System Length L	32,000	3,200	m
Buckling factor k	1,50	0,62	
Buckling length $L_{cr}$	48,052	1,972	m
Critical Euler load $N_{cr}$	10,52	3477,63	kN
Slenderness	634,66	34,91	
Relative slenderness $\lambda_{rel}$	8,71	0,48	
Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$	0,20	0,20	
Buckling curve	c	c	
Imperfection $\alpha$	0,49	0,49	
Reduction factor $\chi$	0,01	0,85	
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	9,96	681,49	kN

Flexural Buckling verification		
$A_{eff}$	2,0443e-03	m <sup>2</sup>
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	9,96	kN
Unity check	<b>8,77</b>	-

#### Torsional (-Flexural) Buckling check

According to article EN 1993-1-3: 6.2.3

According to article EN 1993-1-1: 6.3.1 and formula (6.46)

Torsional Buckling length	3,200	m
$N_{cr,T}$	104358,38	kN
$N_{cr,TF}$	10,52	kN
Relative slenderness $\lambda_{rel,T}$	8,71	
Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$	0,20	
Buckling curve	c	
Imperfection $\alpha$	0,49	
$A_{eff}$	2,0443e-03	m <sup>2</sup>
Reduction factor $\chi$	0,01	
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	9,96	kN
Unity check	<b>8,77</b>	-

#### Lateral Torsional Buckling Check

According to article EN 1993-1-3: 6.2.4

According to article EN 1993-1-1: 6.3.2 and formula (6.55)

LTB Parameters		
Method for LTB Curve	art. 6.3.2.2	
$W_{eff,y}$	1,1835e-04	m <sup>3</sup>
Elastic critical moment $M_{cr}$	3296,50	kNm
Relative slenderness $\lambda_{rel,LT}$	0,12	
Limit slenderness $\lambda_{rel,LT,0}$	0,20	

$M_{cr}$ Parameters		
LTB length	3,200	m
k	1,00	
$k_w$	1,00	
$C_1$	2,97	
$C_2$	0,42	
$C_3$	1,00	

The slenderness or bending moment is such that Lateral Torsional Buckling effects may be ignored according to EN 1993-1-1 article 6.3.2.2(4)

### Bending and Axial Compression Check

According to article EN 1993-1-3: 6.2.5(1)

According to article EN 1993-1-1: 6.3.3 and formula (6.61), (6.62).

Interaction Method 1

Interaction method 1 parameters		
$K_{yy}$	1,00	
$K_{yz}$	1,02	
$K_{zy}$	1,00	
$K_{zz}$	1,01	
$\Delta M_{y,Ed}$	0,00	kNm
$\Delta M_{z,Ed}$	0,00	kNm
A	2,0443e-03	m <sup>2</sup>
$W_y$	1,1835e-04	m <sup>3</sup>
$W_z$	9,4532e-05	m <sup>3</sup>
$N_{Rk}$	797,28	kN
$M_{y,Rk}$	46,16	kNm
$M_{z,Rk}$	36,87	kNm
$M_{y,Ed}$	-0,57	kNm
$M_{z,Ed}$	-0,37	kNm
Interaction Method 1		
$M_{cr,0}$	1108,93	kNm
reduced slenderness 0	0,20	
$\psi_y$	1,00	
$\psi_z$	-0,74	
$C_{my,0}$	-5,97	
$C_{mz,0}$	0,99	
$C_{my}$	-5,94	
$C_{mz}$	0,99	
$C_{mLT}$	1,00	
$\mu_y$	1,00	
$\mu_z$	1,00	
$a_{LT}$	0,02	

Unity check  $8,77 + 0,01 + 0,01 = 8,79$  -

Unity check  $8,77 + 0,01 + 0,01 = 8,79$  -

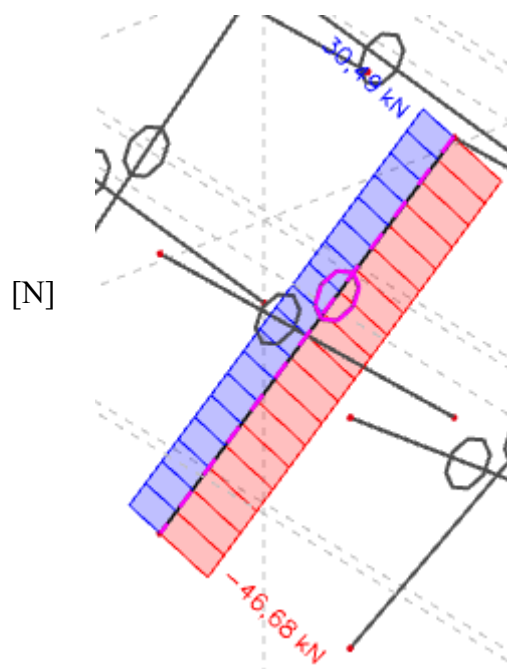
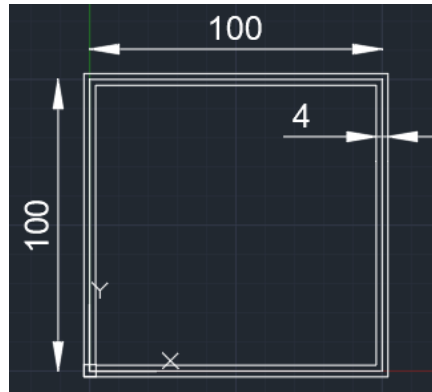
The member does NOT satisfy the stability check!

Student version

Student version

## 5.12 Διαγώνια (διαπλαισιακά στοιχεία εξασφάλισης Κάτω Πελμάτων)

Τα προκείμενα μέλη συνεισφέρουν στην σταθεροποίηση των κάτω πελμάτων, των δικτυωμάτων, των ζυγωμάτων και εντείνονται αξονικά, οπότε η επιλεγείσα διατομή είναι ορθογωνική:



## EC-EN 1993 Steel check ULS

Linear calculation  
 Class: All ULS  
 Coordinate system: Principal  
 Extreme 1D: Global  
 Selection: All  
 Filter: Layer = Diagonia

### EN 1993-1-3 Cold Formed Code Check

National annex: Greek ELOT-EN NA

Member B453	5,250 / 5,250 m	2CFUc (CFUue50x100x50x4; 0)	S390GD+Z	All ULS	0,33 -
-------------	-----------------	-----------------------------------	----------	---------	--------

<b>Combination key</b>	
All ULS / 1.15*LC1 + 0.75*snow + 0.90*3DWind2 + 1.15*PSW + 1.50*Thermal	

<b>Partial safety factors</b>	
$\gamma_{M0}$ for resistance of cross-sections	1,00
$\gamma_{M1}$ for resistance to instability	1,00
$\gamma_{M2}$ for resistance of net sections	1,25

<b>Material</b>		
Yield strength $f_y$	390,0	MPa
Ultimate strength $f_u$	460,0	MPa
Fabrication	cold formed	

....:SECTION CHECK:....

The critical check is on position 5,250 m

Axis definition :

- principal y- axis in this code check is referring to the principal z axis in SCIA Engineer
- principal z- axis in this code check is referring to the principal y axis in SCIA Engineer

Internal forces		Calculated	Unit
Normal force	$N_{Ed}$	-46,68	kN
Shear force	$V_{y,Ed}$	0,00	kN
Shear force	$V_{z,Ed}$	0,00	kN
Torsion	$T_{Ed}$	0,00	kNm
Bending moment	$M_{y,Ed}$	0,00	kNm
Bending moment	$M_{z,Ed}$	0,00	kNm

### Effective section N-

#### Effective width calculation

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	UO	46	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,80	0,96	44		
3	I	92	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,52	1,00	92	46	46
5	UO	46	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,80	0,96	44		
6	UO	46	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,80	0,96	44		
8	I	92	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,52	1,00	92	46	46
10	UO	46	3,900e+05	3,900e+05	1,00	0,43	0,80	0,96	44		

Effective properties						
Effective area	$A_{eff}$	1,5303e-03	m <sup>2</sup>			
Effective second moment of area	$I_{eff,y}$	2,2631e-06	m <sup>4</sup>	$I_{eff,z}$	2,3037e-06	m <sup>4</sup>
Effective section modulus	$W_{eff,y}$	4,5262e-05	m <sup>3</sup>	$W_{eff,z}$	4,5559e-05	m <sup>3</sup>
Shift of the centroid	$e_{N,y}$	0	mm	$e_{N,z}$	0	mm

### Compression check

According to EN 1993-1-3 article 6.1.3 and formula (6.2)

Effective section area	$A_{eff}$	1,5303e-03	m <sup>2</sup>
Compression resistance	$N_{c,Rd}$	596,82	kN
Unity check		0,08	-

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5303 \cdot 10^{-3} [m^2] \times 390,0 [MPa]}{1,00} = 596,82 [kN]$$

(EC3-1-3: 6.2)

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{c,Rd}} = \frac{|-46,68 [kN]|}{596,82 [kN]} = 0,08 \leq 1,00$$

The member satisfies the section check.

....:STABILITY CHECK:....



### Classification for member buckling design

Note: The Elastic verification has been set by the user.

### Flexural Buckling Strength

According to article EN 1993-1-3: 6.2.2

According to article EN 1993-1-1: 6.3.1 and formula (6.46)

Buckling parameters	yy	zz	
Sway type	non-sway	sway	
System Length L	5,250	5,250	m
Buckling factor k	1,00	1,00	
Buckling length $L_{cr}$	5,250	5,250	m
Critical Euler load $N_{cr}$	170,10	170,09	kN
Slenderness	134,92	134,93	
Relative slenderness $\lambda_{rel}$	1,87	1,87	
Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$	0,20	0,20	
Buckling curve	b	b	
Imperfection $\alpha$	0,34	0,34	
Reduction factor $\chi$	0,24	0,24	
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	140,35	140,34	kN

Flexural Buckling verification		
$A_{eff}$	1,5303e-03	m <sup>2</sup>
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	140,34	kN
Unity check	0,33	-

### Torsional (-Flexural) Buckling check

According to article EN 1993-1-3: 6.2.3

According to article EN 1993-1-1: 6.3.1 and formula (6.46)

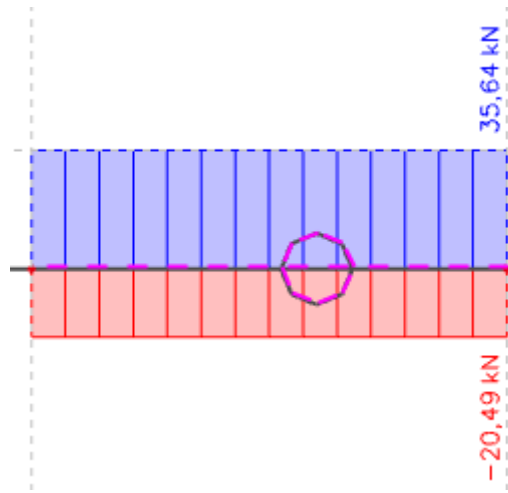
Torsional Buckling length	5,250	m
$N_{cr,T}$	94625,41	kN
$N_{cr,TF}$	170,09	kN
Relative slenderness $\lambda_{rel,T}$	1,87	
Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$	0,20	
Buckling curve	b	
Imperfection $\alpha$	0,34	
$A_{eff}$	1,5303e-03	m <sup>2</sup>
Reduction factor $\chi$	0,24	
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	140,34	kN
Unity check	0,33	-

The member satisfies the stability check.

Student version

### 5.13 Ντίζες Οροφής

Είναι στοιχεία πλευρικής εξασφάλισης και ανακατανομής δράσεων κατά την διαμήκη διεύθυνση του φορέα. Η διατομή που επελέγη είναι στρογγυλή συμπαγής  $\Phi 15$  χάλυβα B500.



## EC-EN 1993 Steel check ULS

Linear calculation  
 Class: All ULS  
 Coordinate system: Principal  
 Extreme 1D: Global  
 Selection: All  
 Filter: Layer = Ntizes

### EN 1993-1-1 Code Check

National annex: Greek ELOT-EN NA

**Member B929** 0,000 / 4,000 m **RND15** **S 500 MC** **All ULS** **65,40 -**

**Combination key**  
 All ULS / LC1 + 1.50\*3DWind9 + PSW

Partial safety factors	
$\gamma_{M0}$ for resistance of cross-sections	1,00
$\gamma_{M1}$ for resistance to instability	1,00
$\gamma_{M2}$ for resistance of net sections	1,25

Material			
Yield strength	$f_y$	500,0	MPa
Ultimate strength	$f_u$	550,0	MPa
Fabrication		Rolled	

**Warning:** Strength reduction in function of the thickness is not supported for this type of cross-section.

....:SECTION CHECK:....

The critical check is on position 0,000 m

Internal forces		Calculated	Unit
Normal force	$N_{Ed}$	-20,49	kN
Shear force	$V_{y,Ed}$	0,00	kN
Shear force	$V_{z,Ed}$	0,00	kN
Torsion	$T_{Ed}$	0,00	kNm
Bending moment	$M_{y,Ed}$	0,00	kNm
Bending moment	$M_{z,Ed}$	0,00	kNm

### Classification for cross-section design

**Warning:** Classification is not supported for this type of cross-section.  
 The section is checked as elastic, class 3.

**Note:** The Elastic verification has been set by the user.

### Compression check

According to EN 1993-1-1 article 6.2.4 and formula (6.9)

Cross-section area	A	1,7700e-04	m <sup>2</sup>
Compression resistance	$N_{c,Rd}$	88,50	kN
Unity check		0,23	-

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,7700 \cdot 10^{-4} [\text{m}^2] \times 500,0 [\text{MPa}]}{1,00} = 88,50 [\text{kN}] \quad (\text{EC3-1-1: 6.10})$$

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{c,Rd}} = \frac{|-20,49 [\text{kN}]|}{88,50 [\text{kN}]} = 0,23 \leq 1,00 \quad (\text{EC3-1-1: 6.9})$$

### Decision tables for combined section check

Force presence	
Normal force $N_{Ed}$	Present
Shear force $V_{y,Ed}$	Not present
Shear force $V_{z,Ed}$	Not present
Torsion $T_{Ed}$	Not present
Bending moment $M_{y,Ed}$	Not present
Bending moment $M_{z,Ed}$	Not present
Warping data	Not present or negligible

Check inputs	
Classification is supported	No
Section classification	Class 3
Elastic verification is set by the user	Yes

**Selected check**  
 No combined section check needs to be verified.

The member satisfies the section check.

....:STABILITY CHECK:....

### Classification for member buckling design

**Warning:** Classification is not supported for this type of cross-section.  
 The section is checked as elastic, class 3.

**Note:** The Elastic verification has been set by the user.

### Flexural Buckling check

According to EN 1993-1-1 article 6.3.1.1 and formula (6.46)

Buckling parameters		yy	zz	
Sway type		sway	non-sway	
System length	L	4,000	4,000	m
Buckling factor	k	1,00	1,00	
Buckling length	$l_{cr}$	4,000	4,000	m
Critical Euler load	$N_{cr}$	0,32	0,32	kN
Slenderness	$\lambda$	1066,47	1066,44	
Relative slenderness	$\lambda_{rel}$	16,56	16,56	
Limit slenderness	$\lambda_{rel,0}$	0,20	0,20	
Buckling curve		c	c	
Imperfection	$\alpha$	0,49	0,49	
Reduction factor	$\chi$	0,00	0,00	
Buckling resistance	$N_{b,Rd}$	0,31	0,31	kN

**Warning:** Slenderness 1066,47 is larger than the limit value of 1000,00.

Flexural Buckling verification			
Cross-section area	A	1,7700e-04	m <sup>2</sup>
Buckling resistance	$N_{b,Rd}$	0,31	kN
Unity check		<b>65,40</b>	-

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000,0[\text{MPa}] \times 2,4900 \cdot 10^{-9}[\text{m}^4]}{4,000[\text{m}]^2} = 0,32[\text{kN}]$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 210000,0[\text{MPa}] \times 2,4900 \cdot 10^{-9}[\text{m}^4]}{4,000[\text{m}]^2} = 0,32[\text{kN}]$$

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{4,000[\text{m}]}{4[\text{mm}]} = 1066,47$$

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{4,000[\text{m}]}{4[\text{mm}]} = 1066,44$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}} = \frac{1066,47}{\pi \times \sqrt{\frac{210000,0[\text{MPa}]}{500,0[\text{MPa}]}}} = 16,56 \quad (\text{EC3-1-1: 6.50})$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}} = \frac{1066,44}{\pi \times \sqrt{\frac{210000,0[\text{MPa}]}{500,0[\text{MPa}]}}} = 16,56 \quad (\text{EC3-1-1: 6.50})$$

$$\varphi_y = 0,5 \times [1 + \alpha_y \times (\lambda_{rel,y} - \lambda_{rel,y,0}) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (16,56 - 0,20) + 16,56^2] = 141,70$$

$$\varphi_z = 0,5 \times [1 + \alpha_z \times (\lambda_{rel,z} - \lambda_{rel,z,0}) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (16,56 - 0,20) + 16,56^2] = 141,69$$

$$\chi_y = \min \left( \frac{1}{\varphi_y + \sqrt{\varphi_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}, \frac{1}{\lambda_{rel,y}^2}, 1 \right) = \min \left( \frac{1}{141,70 + \sqrt{141,70^2 - 16,56^2}}, \frac{1}{16,56^2}, 1 \right) = \min(0,00, 0,00, 1) = 0,00 \quad (\text{EC3-1-1: 6.49})$$

$$\chi_z = \min \left( \frac{1}{\varphi_z + \sqrt{\varphi_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}, \frac{1}{\lambda_{rel,z}^2}, 1 \right) = \min \left( \frac{1}{141,69 + \sqrt{141,69^2 - 16,56^2}}, \frac{1}{16,56^2}, 1 \right) = \min(0,00, 0,00, 1) = 0,00 \quad (\text{EC3-1-1: 6.49})$$

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,00 \times 1,7700 \cdot 10^{-4}[\text{m}^2] \times 500,0[\text{MPa}]}{1,00} = 0,31[\text{kN}] \quad (\text{EC3-1-1: 6.47})$$

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,00 \times 1,7700 \cdot 10^{-4}[\text{m}^2] \times 500,0[\text{MPa}]}{1,00} = 0,31[\text{kN}] \quad (\text{EC3-1-1: 6.47})$$

$$N_{b,Rd} = \min(N_{b,y,Rd}, N_{b,z,Rd}) = \min(0,31[\text{kN}], 0,31[\text{kN}]) = 0,31[\text{kN}]$$

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{b,Rd}} = \frac{|-20,49[\text{kN}]|}{0,31[\text{kN}]} = \mathbf{65,40} > \mathbf{1,00} \quad (\text{EC3-1-1: 6.46})$$

### Torsional(-Flexural) Buckling check

According to EN 1993-1-1 article 6.3.1.1 and formula (6.46)

Torsional buckling length	$l_{cr}$	4,000	m
Elastic critical load	$N_{cr,T}$	14293,66	kN
Relative slenderness	$\lambda_{rel,T}$	0,08	
Limit slenderness	$\lambda_{rel,0}$	0,20	

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \times \left( G \times I_t + \frac{\pi^2 \times E \times I_w}{l_{cr}^2} \right) = \frac{1}{5[\text{mm}]^2} \times \left( 80769,2[\text{MPa}] \times 4,9791 \cdot 10^{-9}[\text{m}^4] + \frac{\pi^2 \times 210000,0[\text{MPa}] \times 7,4309 \cdot 10^{-24}[\text{m}^6]}{4,000[\text{m}]^2} \right)$$

$$= 14293,66[\text{kN}]$$

$$\lambda_{rel,T} = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,7700 \cdot 10^{-4}[\text{m}^2] \times 500,0[\text{MPa}]}{14293,66[\text{kN}]}} = 0,08$$

**Note:** The slenderness or compression force is such that Torsional(-Flexural) Buckling effects may be ignored according to EN 1993-1-1 article 6.3.1.2(4).

The member does NOT satisfy the stability check!

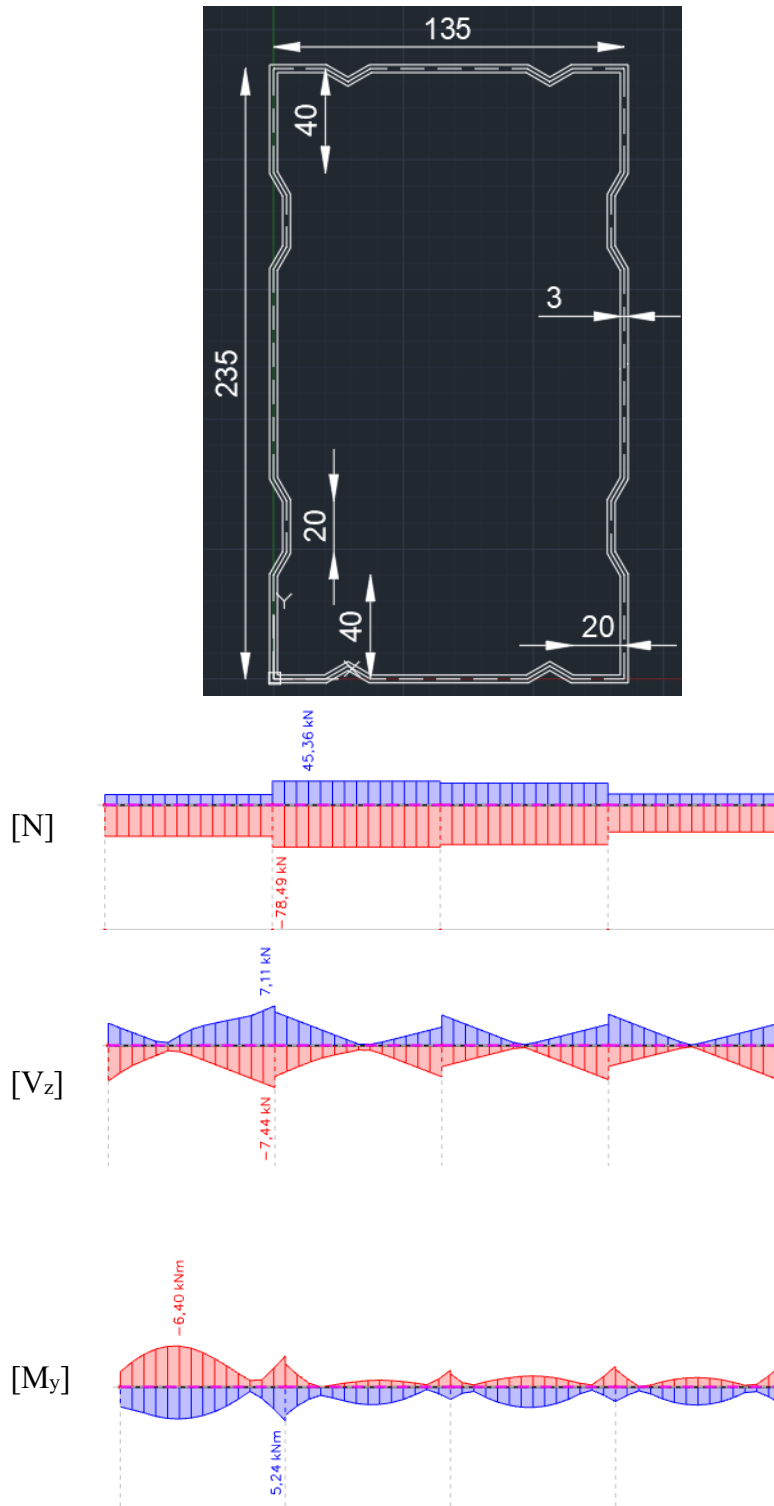
Student version

Student version

Student version

## 5.14 Κεφαλοδοκοί & Κορφιάς

Οι κεφαλοδοκοί και ο κορφιάς της οροφής καταπονούνται σε κάμψη και θλίψη κατά την -μεταξύ τους- παγίωση των συνδεόμενων κόμβων του φορέα. Προς τούτο -δεδομένων των μεγεθών- εκλέγεται η παρακάτω ορθογωνική διατομή για τα συγκεκριμένα μέλη:



## EC-EN 1993 Steel check ULS

Linear calculation  
 Class: All ULS  
 Coordinate system: Principal  
 Extreme 1D: Global  
 Selection: All

### EN 1993-1-3 Cold Formed Code Check

National annex: Greek EL0T-EN NA

Member B1248	4,000 / 16,000 m	General cross-section	S390GD+Z	All ULS	0,23 -
--------------	------------------	-----------------------	----------	---------	--------

#### Combination key

All ULS / 1.15\*LC1 + 1.50\*snow + 1.15\*PSW

#### Partial safety factors

$\gamma_{M0}$ for resistance of cross-sections	1,00
$\gamma_{M1}$ for resistance to instability	1,00
$\gamma_{M2}$ for resistance of net sections	1,25

#### Material

Yield strength $f_y$	390,0	MPa
Ultimate strength $f_u$	460,0	MPa
Fabrication	cold formed	

....SECTION CHECK:....

The critical check is on position 4,000 m

Internal forces		Calculated	Unit
Normal force	$N_{Ed}$	-78,49	kN
Shear force	$V_{y,Ed}$	0,00	kN
Shear force	$V_{z,Ed}$	5,99	kN
Torsion	$T_{Ed}$	0,00	kNm
Bending moment	$M_{y,Ed}$	-3,58	kNm
Bending moment	$M_{z,Ed}$	0,00	kNm

#### Effective section N-

##### Effective width calculation

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
2	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
3	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
4	I	60	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,45	1,00	60	30	30
5	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
6	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
7	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
8	I	40	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,30	1,00	40	20	20
9	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
10	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
11	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
12	I	80	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,60	1,00	80	40	40
13	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
14	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
15	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
16	I	40	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,30	1,00	40	20	20
17	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
18	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
19	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
20	I	60	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,45	1,00	60	30	30
21	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
22	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
23	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
24	I	40	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,30	1,00	40	20	20
25	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
26	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
27	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
28	I	80	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,60	1,00	80	40	40
29	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
30	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
31	I	10	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,08	1,00	10	5	5
32	I	40	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,30	1,00	40	20	20

#### Effective section My-

##### Effective width calculation

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	I	20	-3,900e+05	-3,900e+05							
2	I	10	-3,734e+05	-3,900e+05							
3	I	10	-3,734e+05	-3,900e+05							
4	I	60	-3,900e+05	-3,900e+05							
5	I	10	-3,734e+05	-3,900e+05							
6	I	10	-3,734e+05	-3,900e+05							
7	I	20	-3,900e+05	-3,900e+05							
8	I	40	-2,570e+05	-3,900e+05							
9	I	10	-2,282e+05	-2,570e+05							
10	I	20	-1,618e+05	-2,282e+05							
11	I	10	-1,330e+05	-1,618e+05							
12	I	80	1,330e+05	-1,330e+05	-1,00	23,90	0,25	1,00	40	16	24
13	I	10	1,618e+05	1,330e+05	0,82	4,38	0,07	1,00	10	5	5
14	I	20	2,282e+05	1,618e+05	0,71	4,66	0,14	1,00	20	9	11
15	I	10	2,570e+05	2,282e+05	0,89	4,23	0,07	1,00	10	5	5
16	I	40	3,900e+05	2,570e+05	0,66	4,80	0,28	1,00	40	18	22
17	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
18	I	10	3,900e+05	3,734e+05	0,96	4,08	0,07	1,00	10	5	5
19	I	10	3,900e+05	3,734e+05	0,96	4,08	0,07	1,00	10	5	5
20	I	60	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,45	1,00	60	30	30
21	I	10	3,900e+05	3,734e+05	0,96	4,08	0,07	1,00	10	5	5
22	I	10	3,900e+05	3,734e+05	0,96	4,08	0,07	1,00	10	5	5
23	I	20	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
24	I	40	3,900e+05	2,570e+05	0,66	4,80	0,28	1,00	40	18	22
25	I	10	2,570e+05	2,282e+05	0,89	4,23	0,07	1,00	10	5	5
26	I	20	2,282e+05	1,618e+05	0,71	4,66	0,14	1,00	20	9	11
27	I	10	1,618e+05	1,330e+05	0,82	4,38	0,07	1,00	10	5	5
28	I	80	1,330e+05	-1,330e+05	-1,00	23,90	0,25	1,00	40	16	24
29	I	10	-1,330e+05	-1,618e+05							
30	I	20	-1,618e+05	-2,282e+05							
31	I	10	-2,282e+05	-2,570e+05							
32	I	40	-2,570e+05	-3,900e+05							

**Effective section Mz-**

**Effective width calculation**

According to EN 1993-1-3 article 5.5.2, 5.5.3 & EN 1993-1-5 article 4.4

Id	Type	$b_p$ [mm]	$\sigma_1$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\psi$ [-]	$k_\sigma$ [-]	$\lambda_p$ [-]	$\rho$ [-]	$b_e$ [mm]	$b_{e1}$ [mm]	$b_{e2}$ [mm]
1	I	20	-2,741e+05	-3,900e+05							
2	I	10	-2,240e+05	-2,741e+05							
3	I	10	-1,738e+05	-2,240e+05							
4	I	60	1,738e+05	-1,738e+05	-1,00	23,90	0,19	1,00	30	12	18
5	I	10	2,240e+05	1,738e+05	0,78	4,49	0,07	1,00	10	5	5
6	I	10	2,741e+05	2,240e+05	0,82	4,39	0,07	1,00	10	5	5
7	I	20	3,900e+05	2,741e+05	0,70	4,68	0,14	1,00	20	9	11
8	I	40	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,30	1,00	40	20	20
9	I	10	3,900e+05	3,610e+05	0,93	4,15	0,07	1,00	10	5	5
10	I	20	3,610e+05	3,610e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
11	I	10	3,900e+05	3,610e+05	0,93	4,15	0,07	1,00	10	5	5
12	I	80	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,60	1,00	80	40	40
13	I	10	3,900e+05	3,610e+05	0,93	4,15	0,07	1,00	10	5	5
14	I	20	3,610e+05	3,610e+05	1,00	4,00	0,15	1,00	20	10	10
15	I	10	3,900e+05	3,610e+05	0,93	4,15	0,07	1,00	10	5	5
16	I	40	3,900e+05	3,900e+05	1,00	4,00	0,30	1,00	40	20	20
17	I	20	3,900e+05	2,741e+05	0,70	4,68	0,14	1,00	20	9	11
18	I	10	2,741e+05	2,240e+05	0,82	4,39	0,07	1,00	10	5	5
19	I	10	2,240e+05	1,738e+05	0,78	4,49	0,07	1,00	10	5	5
20	I	60	1,738e+05	-1,738e+05	-1,00	23,90	0,19	1,00	30	12	18
21	I	10	-1,738e+05	-2,240e+05							
22	I	10	-2,240e+05	-2,741e+05							
23	I	20	-2,741e+05	-3,900e+05							
24	I	40	-3,900e+05	-3,900e+05							
25	I	10	-3,610e+05	-3,900e+05							
26	I	20	-3,610e+05	-3,610e+05							
27	I	10	-3,610e+05	-3,900e+05							
28	I	80	-3,900e+05	-3,900e+05							
29	I	10	-3,610e+05	-3,900e+05							
30	I	20	-3,610e+05	-3,610e+05							
31	I	10	-3,610e+05	-3,900e+05							
32	I	40	-3,900e+05	-3,900e+05							



Effective properties						
Effective area	$A_{eff}$	2,2800e-03	m <sup>2</sup>			
Effective second moment of area	$I_{eff,y}$	1,8000e-05	m <sup>4</sup>	$I_{eff,z}$	7,5621e-06	m <sup>4</sup>
Effective section modulus	$W_{eff,y}$	1,5149e-04	m <sup>3</sup>	$W_{eff,z}$	1,0988e-04	m <sup>3</sup>
Shift of the centroid	$e_{k,y}$	0	mm	$e_{N,z}$	0	mm

version

### Compression check

According to EN 1993-1-3 article 6.1.3 and formula (6.3)

Gross section area	$A_g$	2,2800e-03	m <sup>2</sup>
Relative slenderness	$\lambda_e$	0,60	
Slenderness	$\lambda_{e0}$	0,67	
Compression resistance	$N_{c,Rd}$	889,20	kN
Unity check		0,09	-

$$N_{c,Rd} = \min \left\{ \frac{A_g \times \left[ f_{y,b} + (f_{y,b} - f_{y,b}) \times 4 \times \left( 1 - \frac{\lambda_e}{\lambda_{e0}} \right) \right]}{\gamma_{M0}}, \frac{A_g \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} \right\}$$

$$= \min \left\{ \frac{2,2800 \cdot 10^{-3} [\text{m}^2] \times \left[ 390,0 [\text{MPa}] + (390,0 [\text{MPa}] - 390,0 [\text{MPa}]) \times 4 \times \left( 1 - \frac{0,60}{0,67} \right) \right]}{1,00}, \frac{2,2800 \cdot 10^{-3} [\text{m}^2] \times 390,0 [\text{MPa}]}{1,00} \right\} \quad (\text{EC3-1-3: 6.3})$$

$$= \min \{ 889,20 [\text{kN}], 889,20 [\text{kN}] \} = 889,20 [\text{kN}]$$

$$\text{Unity check} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{c,Rd}} = \frac{|-78,49 [\text{kN}]|}{889,20 [\text{kN}]} = 0,09 \leq 1,00$$

### Bending moment check for $M_y$

According to EN 1993-1-3 article 6.1.4 and formula (6.6)

Elastic section modulus	$W_{el,y}$	1,5150e-04	m <sup>3</sup>
Bending moment resistance	$M_{c,y,Rd}$	59,09	kNm
Unity check		0,06	-

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{el,y} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5150 \cdot 10^{-4} [\text{m}^3] \times 390,0 [\text{MPa}]}{1,00} = 59,09 [\text{kNm}] \quad (\text{EC3-1-3: 6.6})$$

$$\text{Unity check} = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{c,y,Rd}} = \frac{|-3,58 [\text{kNm}]|}{59,09 [\text{kNm}]} = 0,06 \leq 1,00$$

### Bending moment check for $M_z$

According to EN 1993-1-3 article 6.1.4 and formula (6.6)

Elastic section modulus	$W_{el,z}$	1,0989e-04	m <sup>3</sup>
Bending moment resistance	$M_{c,z,Rd}$	42,86	kNm
Unity check		0,00	-

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{el,z} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,0989 \cdot 10^{-4} [\text{m}^3] \times 390,0 [\text{MPa}]}{1,00} = 42,86 [\text{kNm}] \quad (\text{EC3-1-3: 6.6})$$

$$\text{Unity check} = \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{c,z,Rd}} = \frac{|0,00 [\text{kNm}]|}{42,86 [\text{kNm}]} = 0,00 \leq 1,00$$

### Biaxial bending moment check

According to EN 1993-1-3 article 6.1.4 and formula (6.7)

Bending moment resistance	$M_{c,y,Rd}$	59,09	kNm
Bending moment resistance	$M_{c,z,Rd}$	42,86	kNm

$$\text{Unity check (6.7)} = 0,06 + 0,00 = 0,06 -$$

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{el,y} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5150 \cdot 10^{-4} [\text{m}^3] \times 390,0 [\text{MPa}]}{1,00} = 59,09 [\text{kNm}] \quad (\text{EC3-1-3: 6.6})$$

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{el,z} \times f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,0989 \cdot 10^{-4} [\text{m}^3] \times 390,0 [\text{MPa}]}{1,00} = 42,86 [\text{kNm}] \quad (\text{EC3-1-3: 6.6})$$

$$\text{Unity check (6.7)} = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{c,y,Rd}} + \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{c,z,Rd}} = \frac{|-3,58 [\text{kNm}]|}{59,09 [\text{kNm}]} + \frac{|0,00 [\text{kNm}]|}{42,86 [\text{kNm}]} = 0,06 \leq 1,00 \quad (\text{EC3-1-3: 6.7})$$

### Shear Force $V_z$

According to article EN 1993-1-3: 6.1.5 and formula (6.8).

No stiffening at the support.

Element ID	$l_c$ [mm]	$\alpha$ [deg]	$s_w$ [mm]	$\lambda_w$ [-]	$f_{bv}$ [MPa]	$V_{b,Rd,z,i}$ [kN]
1	20	180,00	20	0,10	226,2	0,00
2	10	210,00	10	0,05	226,2	1,70
3	10	150,00	10	0,05	226,2	1,70
4	60	180,00	60	0,30	226,2	0,00
5	10	210,00	10	0,05	226,2	1,70
6	10	150,00	10	0,05	226,2	1,70

version

Element ID	$l_c$ [mm]	$\alpha$ [deg]	$s_w$ [mm]	$\lambda_w$ [-]	$f_{bv}$ [MPa]	$V_{b,Rd,z1}$ [kN]
7	20	180,00	20	0,10	226,2	0,00
8	40	270,00	40	0,20	226,2	27,14
9	10	300,00	10	0,05	226,2	5,09
10	20	270,00	20	0,10	226,2	13,57
11	10	240,00	10	0,05	226,2	5,09
12	80	270,00	80	0,40	226,2	54,29
13	10	300,00	10	0,05	226,2	5,09
14	20	270,00	20	0,10	226,2	13,57
15	10	240,00	10	0,05	226,2	5,09
16	40	270,00	40	0,20	226,2	27,14
17	20	0,00	20	0,10	226,2	0,00
18	10	30,00	10	0,05	226,2	1,70
19	10	330,00	10	0,05	226,2	1,70
20	60	0,00	60	0,30	226,2	0,00
21	10	30,00	10	0,05	226,2	1,70
22	10	330,00	10	0,05	226,2	1,70
23	20	0,00	20	0,10	226,2	0,00
24	40	90,00	40	0,20	226,2	27,14
25	10	120,00	10	0,05	226,2	5,09
26	20	90,00	20	0,10	226,2	13,57
27	10	60,00	10	0,05	226,2	5,09
28	80	90,00	80	0,40	226,2	54,29
29	10	120,00	10	0,05	226,2	5,09
30	20	90,00	20	0,10	226,2	13,57
31	10	60,00	10	0,05	226,2	5,09
32	40	90,00	40	0,20	226,2	27,14

Shear verification		
$V_{b,Rd,z}$	325,73	kN
Unity check	0,02	-

#### Torsional Moment Check

According to article EN 1993-1-3: 6.1.6 and formula (6.11a), (6.11b), (6.11c).

Elastic verification		
Critical Fibre	20	
$\sigma_N$	34,4	MPa
$\sigma_{My}$	23,7	MPa
$\sigma_{Mz}$	0,0	MPa
$\tau_{Vy}$	0,0	MPa
$\tau_{Vz}$	2,7	MPa
$\tau_t$	0,0	MPa
Direct Stress Check	0,15	
Shear Stress Check	0,01	-
Composed Stress Check	0,14	-

#### Local Transverse Forces Check

According to article EN 1993-1-3: 6.1.7.2 and formula (6.15d)

Local Transverse Forces parameters	
Flange condition	Unstiffened
Loading condition	Interior one-flange (IOF)
Web rotation	Not prevented
Inside bend radius $r$	0 mm
Bearing length $s_s$	10 mm
$k$	1,71
$k_1$	0,77
$k_4$	0,84

Element	$l_c$ [mm]	$\phi$ [deg]	$h_w$ [mm]	$t$ [mm]	$k_2$	$k_3$	$k_5$	$R_{w,Rd,j}$ [kN]
8	40	90,00	40	3	1,00	1,00	1,00	43,73
9	10	60,00	9	3	1,00	0,83	1,00	36,98
10	20	90,00	20	3	1,00	1,00	1,00	44,14
11	10	60,00	9	3	1,00	0,83	1,00	36,98
12	80	90,00	80	3	1,00	1,00	1,00	42,91
13	10	60,00	9	3	1,00	0,83	1,00	36,98
14	20	90,00	20	3	1,00	1,00	1,00	44,14
15	10	60,00	9	3	1,00	0,83	1,00	36,98
16	40	90,00	40	3	1,00	1,00	1,00	43,73
24	40	90,00	40	3	1,00	1,00	1,00	43,73
25	10	60,00	9	3	1,00	0,83	1,00	36,98
26	20	90,00	20	3	1,00	1,00	1,00	44,14
27	10	60,00	9	3	1,00	0,83	1,00	36,98
28	80	90,00	80	3	1,00	1,00	1,00	42,91
29	10	60,00	9	3	1,00	0,83	1,00	36,98
30	20	90,00	20	3	1,00	1,00	1,00	44,14
31	10	60,00	9	3	1,00	0,83	1,00	36,98
32	40	90,00	40	3	1,00	1,00	1,00	43,73

**Local Transverse Forces verification**

Load/Reaction $F_{Ed}$	-13,38	kN
$R_{w,Rd}$	733,11	kN
Unity check	0,02	-

**Combined Compression and Bending Check**

According to article EN 1993-1-3: 6.1.9 and formula (6.25), (6.26).

$N_{c,Rd}$	889,20	kN
$M_{cy,Rd,ten}$	59,09	kNm
$M_{cz,Rd,ten}$	42,86	kNm
$M_{cy,Rd,com}$	59,09	kNm
$M_{cz,Rd,com}$	42,86	kNm

Unity check (6.25)  $0,09 + 0,06 + 0,00 = 0,15$  -

Unity check (6.26)  $0,06 + 0,00 - 0,09 = 0,00$  -

**Combined Bending Moment and Local Load/Reaction Check**

According to article EN 1993-1-3: 6.1.11 and formula (6.28c).

$F_{Ed}$	-13,38	kN
$M_{c,Rd}$	59,09	kNm
$R_{w,Rd}$	733,11	kN
Unity check	0,06	-

The member satisfies the section check.

**...:STABILITY CHECK:...:****Classification for member buckling design**

**Note:** The Elastic verification has been set by the user.

**Flexural Buckling Strength**

According to article EN 1993-1-3: 6.2.2

According to article EN 1993-1-1: 6.3.1 and formula (6.46)

Buckling parameters	yy	zz	
Sway type	sway	non-sway	
System Length L	4,000	4,000	m
Buckling factor k	1,66	0,51	
Buckling length $L_{cr}$	6,651	2,038	m
Critical Euler load $N_{cr}$	843,56	3773,06	kN
Slenderness	74,85	35,39	
Relative slenderness $\lambda_{rel}$	1,03	0,49	
Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$	0,20	0,20	
Buckling curve	c	c	
Imperfection $\alpha$	0,49	0,49	
Reduction factor $\chi$	0,52	0,85	
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	466,48	756,79	kN

**Flexural Buckling verification**

$A_{eff}$	2,2800e-03	m <sup>2</sup>
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	466,48	kN
Unity check	0,17	-

**Torsional (-Flexural) Buckling check**

According to article EN 1993-1-3: 6.2.3

According to article EN 1993-1-1: 6.3.1 and formula (6.46)

Torsional Buckling length	4,000	m
$N_{cr,T}$	108301,67	kN
$N_{cr,TF}$	843,56	kN
Relative slenderness $\lambda_{rel,T}$	1,03	
Limit slenderness $\lambda_{rel,0}$	0,20	
Buckling curve	c	
Imperfection $\alpha$	0,49	
$A_{eff}$	2,2800e-03	m <sup>2</sup>
Reduction factor $\chi$	0,52	
Buckling resistance $N_{b,Rd}$	466,48	kN
Unity check	0,17	-

**Lateral Torsional Buckling Check**

According to article EN 1993-1-3: 6.2.4

According to article EN 1993-1-1: 6.3.2 and formula (6.55)

**LTB Parameters**

Method for LTB Curve	art. 6.3.2.2	
$W_{eff,y}$	1,5149e-04	m <sup>3</sup>
Elastic critical moment $M_{cr}$	1793,39	kNm
Relative slenderness $\lambda_{rel,LT}$	0,18	
Limit slenderness $\lambda_{rel,LT,0}$	0,20	

M <sub>cr</sub> Parameters		
LTB length	4,000	m
k	1,00	
k <sub>w</sub>	1,00	
C <sub>1</sub>	1,64	
C <sub>2</sub>	1,05	
C <sub>3</sub>	0,41	

The slenderness or bending moment is such that Lateral Torsional Buckling effects may be ignored according to EN 1993-1-1 article 6.3.2.2(4)

#### Bending and Axial Compression Check

According to article EN 1993-1-3: 6.2.5(1)

According to article EN 1993-1-1: 6.3.3 and formula (6.61), (6.62).

Interaction Method 1

Interaction method 1 parameters		
k <sub>yy</sub>	1,02	
k <sub>yz</sub>	0,96	
k <sub>zy</sub>	1,07	
k <sub>zz</sub>	1,00	
ΔM <sub>y,Ed</sub>	0,00	kNm
ΔM <sub>z,Ed</sub>	0,00	kNm
A	2,2800e-03	m <sup>2</sup>
W <sub>y</sub>	1,5149e-04	m <sup>3</sup>
W <sub>z</sub>	1,0988e-04	m <sup>3</sup>
N <sub>Rk</sub>	889,20	kN
M <sub>y,Rk</sub>	59,08	kNm
M <sub>z,Rk</sub>	42,85	kNm
M <sub>y,Ed</sub>	-3,58	kNm
M <sub>z,Ed</sub>	0,00	kNm
Interaction Method 1		
M <sub>cr,0</sub>	1090,80	kNm
reduced slenderness 0	0,23	
ψ <sub>y</sub>	0,68	
ψ <sub>z</sub>	-0,89	
C <sub>my,0</sub>	0,97	
C <sub>mz,0</sub>	0,98	
C <sub>my</sub>	0,97	
C <sub>mz</sub>	0,98	
C <sub>mLT</sub>	1,00	
μ <sub>y</sub>	0,95	
μ <sub>z</sub>	1,00	
α <sub>LT</sub>	-0,17	

Unity check  $0,17 + 0,06 + 0,00 = 0,23$  -

Unity check  $0,17 + 0,06 + 0,00 = 0,23$  -

The member satisfies the stability check.

Student version

## 6 Έλεγχος ΟΚΑ

### EC-EN 1993 Steel Check SLS

Linear calculation  
 Class: All SLS  
 Coordinate system: Principal  
 Extreme 1D: Global  
 Selection: All  
**Deformation  $u_y$**

Name	dx [m]	Case	$u_{y,max}$ [mm]	$u_{y,var}$ [mm]	Lim. $u_{y,max}$ [mm]	Lim. $u_{y,var}$ [mm]	Check $u_{y,max}$ [-]	Check $u_{y,var}$ [-]	Check $u_y$ [-]	Errors, warnings, notes
B351	5,315	SLS-Char (auto)/1	<b>-19,8</b>	-18,5	53,2	29,5	0,37	0,63	0,63	N5
B339	5,315	SLS-Char (auto)/2	<b>19,8</b>	18,5	53,2	29,5	0,37	0,63	0,63	N5
B351	5,315	SLS-Char (auto)/3	19,2	20,5	53,2	29,5	0,36	0,69	<b>0,69</b>	N5

Name	Combination key
SLS-Char (auto)/1	LC1 + 0.50*snow + 3DWind14 + PSW
SLS-Char (auto)/2	LC1 + 0.50*snow + 3DWind6 + PSW
SLS-Char (auto)/3	LC1 + 3DWind5 + PSW + 0.60*Thermal

E/W/N	Description
N5	The deflection limits have been multiplied by two due to the cantilever span (deflection y).

### EC-EN 1993 Steel Check SLS

Linear calculation  
 Class: All SLS  
 Coordinate system: Principal  
 Extreme 1D: Global  
 Selection: All  
**Deformation  $u_z$**

Name	dx [m]	Case	$u_{z,max}$ [mm]	$u_{z,var}$ [mm]	Lim. $u_{z,max}$ [mm]	Lim. $u_{z,var}$ [mm]	Check $u_{z,max}$ [-]	Check $u_{z,var}$ [-]	Camber dx $u_z$ [mm]	Camber [mm]	Check $u_z$ [-]	Errors, warnings, notes
B560	2,000+	SLS-Char (auto)/1	<b>-28,8</b>	-20,8	200,0	111,1	0,14	0,19	-	-	0,19	
B978	0,000	SLS-Char (auto)/2	<b>13,8</b>	12,6	64,0	35,6	0,22	0,35	-	-	0,35	N6
B326	2,917	SLS-Char (auto)/2	12,4	12,0	30,0	16,7	0,41	0,72	-	-	<b>0,72</b>	

Name	Combination key
SLS-Char (auto)/1	LC1 + snow + 0.60*3DWind6 + PSW + 0.60*Thermal
SLS-Char (auto)/2	LC1 + 0.50*snow + 3DWind13 + PSW + 0.60*Thermal

E/W/N	Description
N6	The deflection limits have been multiplied by two due to the cantilever span (deflection z).

Student version

## 7 Συμπεράσματα

Κατόπιν της μελέτης, εξάγεται το συμπέρασμα πως -παρά τις σημαντικές παθογένειες του τύπου της κατασκευής, ο οποίος είναι φύσει φορέας ελαστικός- η κατασκευή κτηριακού έργου μεγάλων ανοιγμάτων, χωρίς ενδιάμεσα υποστυλώματα, καθίσταται εφικτή με μείωση του ιδίου βάρους της κατασκευής και εκλογή διατομών που θα λειτουργούν με τέτοιο τρόπο, ώστε η λειτουργία της κατασκευής να καλύπτει τον στόχο της.

Η μείωση του ιδίου βάρους συνεπάγεται εκλογή τύπου ζυγώματος μειωμένου βάρους και -ταυτόχρονα- εφάμιλλης δυνατότητας ανάληψης καμπτικών ροπών. Τέτοιος τύπος ζυγώματος είναι και το επίπεδο δικτύωμα που επελέγη.

Η χρήση μελών ψυχρής έλασης δίνει ευχέρεια στον σχεδιασμό και χρήση διατομών μελών, τέτοια ώστε να ικανοποιούν τους ελέγχους με την ελάχιστη χρήση υλικού. Όπως και η χρήση δικτύωματος, έτσι και ο σχεδιασμός πρωτότυπων διατομών κατά παραγγελία, συμβάλλει στην μείωση του βάρους της κατασκευής.

Συμπερασματικά, πρόκειται περί τύπου κατασκευής με μειωμένο βάρος (οπότε και οικονομικότερης όσον αφορά τις πρώτες ύλες), με καλή συμπεριφορά στις προβλεπόμενες καταπονήσεις, που θα της επιβληθούν, με μόνο μειονέκτημα την μη-προειδιποίηση -μέσω της πλαστιμότητας- ότι η κατασκευή χρειάζεται επισκευές.

Η κατασκευή και χρήση της, λοιπόν, απαιτεί -ανά εύλογες περιόδους κατά την διάρκεια ζωής της- επιθεώρηση και τυχόν επισκευή ή και αντικατάσταση φθαρμένων στοιχείων.

## 8 Βιβλιογραφία

1. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (1999). «Σιδηρές κατασκευές, παραδείγματα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3, Τόμος ΙΙ». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
2. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (2005α). «Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα, 2η έκδοση», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
3. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ., (2005β). «Σιδηρές κατασκευές, παραδείγματα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3, Τόμος Ι». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
4. Aslani H., Miranda E. (2005). “Probabilistic earthquake loss estimation and loss disaggregation in buildings.” Report No. 157, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University, Stanford, CA.
5. Bazzurro P., and Luco N. (2007). “Does amplitude scaling of ground motion records result in biased nonlinear structural drift responses?” *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 36(13), 1813–1835.
6. Celarec D., Vamvatsikos D., Dolsek M. (2011). “Simplified estimation of seismic risk for buildings with consideration of the structural ageing process.” In: Dolsek M. (ed), *Protection of Built Environment Against Earthquakes*. Springer: Dordrecht.
7. Cornell C.A., Jalayer F., Hamburger R.O., Foutch D.A. (2002). “The probabilistic basis for the 2000 SAC/FEMA steel moment frame guidelines.” *ASCE Journal of Structural Engineering*, 128(4), 526–533.
8. CUNY (2012). “Avoiding and detecting plagiarism.” The City University of New York, New York, NY, [http://www.gc.cuny.edu/CUNY\\_GC/media/CUNY-Graduate-Center/PDF/Policies/General/AvoidingPlagiarism.pdf](http://www.gc.cuny.edu/CUNY_GC/media/CUNY-Graduate-Center/PDF/Policies/General/AvoidingPlagiarism.pdf).
9. De Luca F., Vamvatsikos D., Iervolino I. (2011). “Near-optimal bilinear fit of capacity curves for equivalent SDOF analysis.” *Proceedings of the COMPDYN2011 Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*, Corfu, Greece.
10. Dolsek M. (2009). “Incremental dynamic analysis with consideration of modelling uncertainties.” *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 38(6), 805–825.
11. Dolsek M., Fajfar, P. (2008). “The effect of masonry infills on the seismic response of a four storey reinforced concrete frame – A probabilistic assessment.” *Engineering Structures*, 30(11), 3186–3192.
12. Haselton C.B. (2006). “Assessing seismic collapse safety of modern reinforced concrete moment frame buildings.” PhD Thesis, Stanford University, Stanford, CA.
13. Jalayer F. (2003). “Direct Probabilistic Seismic Analysis: Implementing Non-linear Dynamic Assessments.” PhD Thesis, Stanford University, Stanford, CA.
14. Jalayer F., Cornell, C.A. (2009). “Alternative non-linear demand estimation methods for probability-based seismic assessments.” *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 38(8), 951–1052.
15. Liel A.B., Haselton C.B., Deierlein G.G., Baker J.W. (2009). “Incorporating modeling uncertainties in the assessment of seismic collapse risk of buildings.” *Structural Safety*, 31(2), 197–211.
16. Luco N., Cornell C.A. (2007). “Structure-specific scalar intensity measures for near-source and ordinary earthquake ground motions.” *Earthquake Spectra*, 23(2), 357–392
17. McKenna F., Fenves G.L., Scott M.H. (2000). “Open system for earthquake engineering simulation”, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, CA, <http://opensees.berkeley.edu> [01/10/2016].

18. NIST (2010). "Applicability of Nonlinear Multiple-Degree-of-Freedom Modeling for Design." Report No NIST GCR 10-917-9, prepared for the National Institute of Standards by the NEHRP Consultants Joint Venture, CA.
19. PEER (2005). "PEER NGA Database." Pacific Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, CA, <http://peer.berkeley.edu/nga/> [22/10/2016].
20. SAC Joint Venture (2000a). "Recommended seismic design criteria for new steel moment-frame buildings." Report No. FEMA-350, prepared for the Federal Emergency Management Agency, Washington DC.
21. SAC Joint Venture (2000b). "Recommended seismic evaluation and upgrade criteria for existing welded steel moment-frame buildings." Report No. FEMA-351, prepared for the Federal Emergency Management Agency, Washington DC.
22. Vamvatsikos D., Cornell C.A. (2002). "Incremental Dynamic Analysis." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31(3), 491–514.
23. Vamvatsikos D., Cornell C.A. (2004). "Applied Incremental Dynamic Analysis." *Earthquake Spectra*, 20(2), 523–553.
24. Vamvatsikos D., Fragiadakis M. (2010). "Incremental Dynamic Analysis for seismic performance uncertainty estimation." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 39(2), 141–163.