



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

## ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΟΔΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΓΗΠΕΔΟΥ ΜΕ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΥΡΣΙΝΗ ΑΓΓΕΛΙΔΗ

Επιβλέπων Καθηγητής: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ

Αθήνα, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2012

ΕΜΚ ΜΕ 2012/04

## **ΠΡΟΛΟΓΟΣ**

Τώρα που το ταξίδι έφτασε στο τέλος του, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα άτομα που συνέβαλαν στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Πρώτα από όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Ιωαννίδη Γεώργιο, που με βοήθησε με τις πολύτιμες παρατηρήσεις και υποδείξεις του όποτε τον χρειάστηκα.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω μέσα από την καρδιά μου τον υποψήφιο διδάκτορα Βασίλη Κάρλο, ο οποίος συνέβαλε με καθοριστικό τρόπο στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας και με βοήθησε σημαντικά στην εκμάθηση του προγράμματος Sofistik.

Τέλος, όπως σε κάθε σημαντική προσπάθεια, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου που είναι πάντα δίπλα μου και με στηρίζουν.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2012

## Περιεχόμενα

### 1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

1.1 Γενικά στοιχεία.....	1
1.2 Κατασκευαστικά στοιχεία.....	3
1.3 Πρόγραμμα ανάλυσης του κτιρίου.....	8

### 2. ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

2.1 Γενικά.....	11
2.2 Οριακές καταστάσεις – Δράσεις.....	11
2.3 Μόνιμα Φορτία.....	12
2.3.1 Ίδιο Βάρος στοιχείων του φορέα	
2.3.2 Επικάλυψη σκελετού στέγης	
2.3.3 Βάρος πλάκας σκυροδέματος	
2.4 Κινητά Φορτία.....	14
2.4.1 Κινητό φορτίο ανθρώπων	
2.4.2 Μεταβολή της θερμοκρασίας	
2.4.3 Φορτία Χιονιού	
2.4.4 Δράσεις Ανέμου	

### 3. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΔΡΑΣΕΩΝ

3.1 Οριακές καταστάσεις.....	41
3.2 Καταστάσεις σχεδιασμού.....	41
3.3 Συνδυασμοί Δράσεων .....	42

### 4. ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ

4.1 Εισαγωγή.....	53
4.2 Μέθοδοι υπολογισμού σεισμικής απόκρισης.....	53
4.3 Προσδιορισμός Δεδομένων Φασματικής Ανάλυσης.....	54
4.4 Σεισμικά Φορτία - Ιδιομορφές Φορέα.....	64
4.5 Αντισεισμικός Έλεγχος Κτιρίου.....	71

### 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕΛΩΝ

5.1 Κατάταξη Διατομών.....	73
5.2 Αντοχή Διατομών.....	77
5.2.1 Έλεγχος διατομής σε μονοαξονικό εφελκυσμό	
5.2.2 Έλεγχος διατομής σε θλίψη	
5.2.3 Έλεγχος διατομής σε τέμνουσα	
5.2.4 Έλεγχος διατομής σε κάμψη	

5.2.5 Έλεγχος διατομής σε κάμψη και τέμνουσα	
5.2.6 Έλεγχος διατομής σε κάμψη και αξονική δύναμη	
5.3 Έλεγχος μελών.....	80
5.3.1 Καμπτικός λυγισμός λόγω αξονικής θλιπτικής δύναμης	
5.3.2 Στρεπτοκαμπτικός (πλευρικός) λυγισμός	
5.3.3 Στρεπτοκαμπτικός λυγισμός υπό θλίψη και κάμψη	
5.4 Ανάλυση και έλεγχος μελών.....	86
<b>6. ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ</b>	
6.1 Κοίλες διατομές – Γενικά στοιχεία.....	99
6.2 Εφαρμογές των κοίλων διατομών.....	99
6.3 Πλεονεκτήματα κοίλων διατομών.....	100
6.4 Πλεονεκτήματα ανοιχτών διατομών.....	102
6.5 Διαστασιολόγηση ανοιχτών διατομών.....	102
<b>7. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	
7.1 Σύνοψη εργασίας.....	105
7.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων – συμπεράσματα.....	105

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

#### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διαδικασία σχεδιασμού και διαστασιολόγησης ενός μεγάλου έργου με φέροντα οργανισμό από χάλυβα, με χρήση ενός εμπορικά διατιθέμενου προγράμματος. Το κτίριο που επιλέχθηκε προς μελέτη είναι το στάδιο Καραϊσκάκη, ένα γήπεδο που κατασκευάστηκε την περίοδο 2003-2004 και φιλοξένησε αγώνες ποδοσφαίρου κατά την περίοδο των Ολυμπιακών αγώνων του 2004.

Η ανάλυση και η διαστασιολόγηση της κατασκευής πραγματοποιήθηκε με βάση τους Ευρωκώδικες και τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό.

Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι κανονισμοί:

-Ευρωκώδικας 1: φορτία ανέμου (Μέρος 2-4), φορτία χιονιού (Μέρος 2-3) φορτία θερμοκρασιακής μεταβολής (Μέρος 2-5).

-Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000

-Ευρωκώδικας 3: Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών (Μέρος 1-1)

Η επίλυση του κτιρίου έγινε με το πρόγραμμα ανάλυσης και διαστασιολόγησης Sofistik.



Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το γήπεδο Καραϊσκάκη. Αναλύεται η αρχιτεκτονική και η κατασκευή του έργου και παρατίθενται στοιχεία σχετικά με την ανέγερσή του. Στο τέλος του κεφαλαίου περιγράφεται το πρόγραμμα ανάλυσης και διαστασιολόγησης Sofistik.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στον προσδιορισμό των φορτίων που καταπονούν την κατασκευή, ενώ παρατίθενται και αντίστοιχα αποσπάσματα των κανονισμών βάσει των οποίων προέκυψαν τα επιβαλλόμενα φορτία.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται οι συνδυασμοί των δράσεων στην οριακή κατάσταση αστοχίας και λειτουργικότητας όπως απαιτείται από τον Ευρωκώδικα 1.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι σεισμικές δράσεις όπως περιγράφονται από τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό, καθώς και οι απαιτούμενες ιδιομορφές για την ανάλυση του κτιρίου.

Στο πέμπτο κεφάλαιο διατυπώνονται οι απαιτούμενοι έλεγχοι σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης όπως προέκυψαν από τους υπολογισμούς με τη βοήθεια του προγράμματος ελέγχου μελών του Sofistik, και επιβεβαιώνεται η επάρκεια των διατομών έναντι των εντατικών καταστάσεων στις οποίες υποβάλλονται.

Στο *έκτο κεφάλαιο* γίνεται μια εναλλακτική διαστασιολόγηση του στεγάστρου και των κερκιδοφόρων. Οι υπάρχουσες διατομές τύπου διπλού ταυ, αντικαθίστανται με κοίλες κυκλικές διατομές. Αρχικά περιγράφονται οι κοίλες διατομές και τα κριτήρια αντικατάστασής τους με τις αρχικές διατομές και στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ελέγχου των κοίλων διατομών.

Τέλος, στο *έβδομο κεφάλαιο* γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης της αρχικής κατασκευής και της εναλλακτικής διαστασιολόγησης με τις κοίλες κυκλικές διατομές ως προς τους μέγιστους βαθμούς απόδοσης των διατομών και του συνολικού βάρους της κατασκευής.

## Κεφάλαιο 1: ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

### 1.1 Γενικά στοιχεία

Το Γήπεδο (Στάδιο σύμφωνα με τη σύμβαση κατασκευής) «**Γεώργιος Καραϊσκάκης**» είναι ένα νέο, σύγχρονο γήπεδο ποδοσφαίρου. Η ονομασία του δόθηκε προς τιμήν του αρχιστράτηγου Γεωργίου Καραϊσκάκη (1782-1827), που σκοτώθηκε στο Νέο Φάληρο, πολύ κοντά στην τοποθεσία του σημερινού γηπέδου, κατά την Επανάσταση του 1821.

Είναι η έδρα του Ολυμπιακού, του Εθνικού Πειραιώς (η ομάδα διατηρεί το δικαίωμα χρήσης αλλά χρησιμοποιεί το γήπεδο στο Ελληνικό), του Ατρόμητου Πειραιώς εφόσον αγωνίζεται σε επαγγελματικές κατηγορίες και της Εθνικής ομάδας ποδοσφαίρου. Βρίσκεται στον Πειραιά (στο Νέο Φάληρο) και απέχει 2 χλμ από το κέντρο της πόλης και 10 χλμ από την Αθήνα.



Σχήμα 1.1: Πανοραμική άποψη του γηπέδου και της ευρύτερης περιοχής

Έχει χωρητικότητα 33.334 θεατών. Διαθέτει 40 σουίτες επισήμων (χωρητικότητας 472 θέσεων), 200 θέσεις δημοσιογράφων, αίθουσα Τύπου 130 θέσεων, 4 αποδυτήρια, προθερμαντήριο, αίθουσες για τηλεοπτικά στούντιο, αίθουσα ελέγχου ντόπινγκ, μουσείο του Ολυμπιακού, εστιατόρια, καφέ, γυμναστήριο, 34 θύρες με 82 περιστροφικές εισόδους, ενσωματωμένο ανιχνευτή μετάλλων, εκδοτήρια εισιτηρίων, κυκλικές ράμπες και ασανσέρ, υπερυψωμένο επίπεδο προσπέλασης στις κερκίδες, στέγαστρο, αποτελούμενο από 75 λευκά πάνελ, με ενσωματωμένο φωτισμό προδιαγραφών ΟΥΕΦΑ, πρόσβαση για άτομα με ειδικές ανάγκες, σύνδεση με ράμπα μήκους 60 μέτρων με τον σταθμό Νέου Φαλήρου των Η.Σ.Α.Π., καταστήματα έκτασης 6.500 m<sup>2</sup>, 2 VIP εστιατόρια 1.000 m<sup>2</sup> κάτω από τις σουίτες, σαλόνι - μπαρ VIP, Champions Club, 11 αναψυκτήρια, χώρο στάθμευσης για 2.500 αυτοκίνητα, 24 μονάδες υγιεινής (και για άτομα με ειδικές ανάγκες), ενώ ο χρόνος εκκένωσης των κερκίδων υπολογίζεται στα 7 λεπτά.



Σχήμα 1.2: Πανοραμική εξωτερική άποψη του γηπέδου

Το γήπεδο ανήκει στην Ελληνική Ολυμπιακή Επιτροπή (που διατηρεί την κυριότητα), η χρήση του όμως παραχωρήθηκε το 2003 μέσω της Γενικής Γραμματείας Αθλητισμού στον ερασιτέχνη Ολυμπιακό Σ.Φ.Π. για 49 χρόνια.

Το νέο γήπεδο Καραϊσκάκη, κατασκευάστηκε την περίοδο 2003-2004 σε χρόνο ρεκόρ (14 μήνες) και το έργο παραδόθηκε τον Ιούνιο του 2004. Το γήπεδο απέκτησε και πάλι την παλαιά φορά βορράς-νότος, που είχε και το Ποδηλατοδρόμιο. Χρησιμοποιήθηκε στη διάρκεια των Ολυμπιακών Αγώνων της Αθήνας (διεξήχθησαν αγώνες του τουρνουά ποδοσφαίρου). Στο στάδιο επίσης έχουν πραγματοποιηθεί κατά καιρούς σημαντικά μουσικά δρώμενα, όπως συναυλίες μεγάλων και παγκοσμίως γνωστών μουσικών συγκροτημάτων.



Σχήμα 1.3: Πλάγια όψη



Στις κερκίδες οδηγούν 34 θύρες εισόδου (αρίθμηση από 1 ως 35, χωρίς θύρα 13). Στο επίπεδο κίνησης θεατών (concourse) υπάρχουν αναψυκτήρια και χώροι υγιεινής. Το νέο γήπεδο διαθέτει δύο ηλεκτρονικούς πίνακες, πλήρη μεγαφωνική εγκατάσταση και κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης.

Με συνολική έκταση 75.730 τ.μ. το νέο «Γήπεδο Γεώργιος Καραϊσκάκης» παρέχει κάθε άνεση και πολυτέλεια ακόμη και στους πλέον απαιτητικούς. Στη δυτική εξέδρα υπάρχουν 50 θέσεις για άτομα μειωμένης κινητικότητας και ο χώρος για τον γραπτό και ηλεκτρονικό Τύπο. Το κτίριο πίσω από αυτή την εξέδρα φιλοξενεί: στο 2ο όροφο το εστιατόριο και το bar με θέα στον αγωνιστικό χώρο, ενώ στον 3ο και 4ο όροφο τις 40 "σουίτες". Από αυτές, τριάντα είναι δυναμικότητας 10 ατόμων, τέσσερις 15 ατόμων, τρεις 18 ατόμων, δύο 20 ατόμων και μια προεδρική. Οι διαστάσεις τους ποικίλουν από 29 έως 65 τ.μ., διαθέτουν καθιστικό και WC, ενώ όλες έχουν πρόσβαση στις 474 θέσεις του διακεκριμένου διαζώματος.

Κάτω από τις τρεις άλλες πλευρές του γηπέδου αναπτύσσεται η εμπορική στοά (6.500 τ.μ.), η οποία φιλοξενεί το Μουσείο του Ολυμπιακού και το "Red Store", αλλά και 17 ακόμη εμπορικούς χώρους, όπως εστιατόρια, καταστήματα, γυμναστήριο κλπ.

Υπάρχει χώρος στάθμευσης για 1.123 αυτοκίνητα, αλλά όπως έχουμε σημειώσει και πιο πάνω, το γήπεδο εξυπηρετείται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Μάλιστα, έχει κατασκευαστεί ειδική ράμπα που το συνδέει απευθείας με τον ανακαινισμένο σταθμό του ΗΣΑΠ.

Πλην αυτών, το γήπεδο διαθέτει δύο ηλεκτρονικούς πίνακες, πλήρη μεγαφωνική εγκατάσταση και κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης, 34 θύρες (αρίθμηση από 1 ως 35, χωρίς θύρα 13) με 82 περιστροφικές εισόδους, ενσωματωμένο ανιχνευτή μετάλλων, εκδοτήρια εισιτηρίων, κυκλικές ράμπες και ασανσέρ, υπερυψωμένο επίπεδο προσπέλασης στις κερκίδες και στέγαστρο, αποτελούμενο από 75 λευκά πάνελ, με ενσωματωμένο φωτισμό προδιαγραφών UEFA. Επίσης, 40 πολυτελείς σουίτες συνολικής χωρητικότητας 474 θέσεων, 200 θέσεις για τον Τύπο και αίθουσα Τύπου 130 θέσεων, 4 υπερσύγχρονα αποδυτήρια, προθερμαντήριο, αίθουσες για τηλεοπτικά στούντιο, αίθουσα doping control εξοπλισμένη με την τελευταία τεχνολογία και διάφορους βοηθητικούς χώρους για χρήση εξωαγωνιστικών δραστηριοτήτων όπως π.χ. συναυλίες. Στη Δυτική πλευρά του γηπέδου, βρίσκονται το VIP LOUNGE, το εστιατόριο, το Champions Club, οι 40 σουίτες, 50 θέσεις για άτομα μειωμένης κινητικότητας, οι χώροι τηλεοπτικής κάλυψης και σχολιαστών και το control room του γηπέδου.

Οι διαστάσεις του καθαρού αγωνιστικού χώρου είναι 105x68μ. ενώ ο συνολικός φτάνει τα 120x80μ. Κάτω από αυτόν έχει τοποθετηθεί ειδική Καβαλιώτικη άμμος για απορρόφηση νερού και ταχεία αποστράγγιση, ενώ ο χλοοτάπητας είναι κατασκευασμένος από Γάλλο ειδικό σε συνεργασία με ελληνική εταιρία στον Αλιάρτο.

## 1.2 Κατασκευαστικά στοιχεία

Κατά την εκπόνηση της μελέτης για την επιλογή του φέροντος οργανισμού της κάλυψης των κερκίδων ελήφθησαν υπόψη οι ακόλουθες παράμετροι:

- η δεδομένη αρχιτεκτονική και χωροταξική μελέτη
- η αναγκαιότητα της συνολικής κάλυψης των κερκίδων
- η τοπολογική και γεωμετρική διάταξη των κερκίδων και η υψομετρική διαφορά που οφείλεται στις σουίτες των VIPs στη δυτική πλευρά
- η ανάγκη να εκτελεστεί το έργο σε πολύ στενά χρονικά περιθώρια. Επιβάλλεται λοιπόν κατασκευαστική απλότητα συνοδευόμενη με μη πολύπλοκες διαδικασίες ανέγερσης

- η ελαχιστοποίηση του κόστους χωρίς να είναι σε βάρος της κατασκευαστικής ποιότητας και της αισθητικής
- η δυνατότητα τμηματικής τοποθέτησης της κατασκευής σε διαφορετικές χρονικές περιόδους
- η δυνατότητα παραγωγής όλων των μεταλλικών φορέων στην Ελλάδα

Σημειώνεται ότι λόγω των παραμέτρων που αναφέρονται παραπάνω, δεν ελήφθησαν υπόψην κατά την εξέταση σύνθετα και πολύπλοκα συστήματα όπως χωρικά καλωδιοσυστήματα, κλειστά, ανοιχτά ή ανηρημένα, συστήματα που αποτελούνται από τόξα ή δοκούς μεγάλων ανοιγμάτων τοποθετημένων παράλληλα προς το μεγάλο άξονα του αγωγιστικού χώρου.

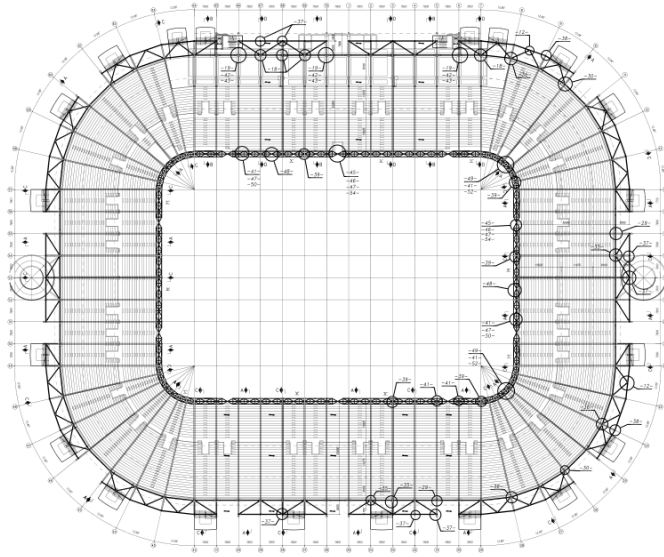
Ένας από τους πιο συμβατικούς φέροντες οργανισμούς που χρησιμοποιούνται στα στάδια είναι εκείνος που εντάσσει τους φορείς των κερκίδων και της επικάλυψης σε ένα ενιαίο επίπεδο πλαισιωτό οργανισμό με τον φορέα της επικάλυψης εν προβόλω. Οι παραπάνω επίπεδοι πλαισιωτοί φορείς συνήθως επαναλαμβάνονται σε αποστάσεις που εξαρτώνται από τις γεωμετρικές και οικονομικές παραμέτρους των κερκίδων και των δευτερευόντων στοιχείων της επικάλυψης.

Για το στάδιο Καραϊσκάκη, λαμβάνοντας υπόψην την αρχική αρχιτεκτονική σύλληψη, τη σεισμικότητα της περιοχής, τη δυνατότητα να κατασκευαστεί το στέγαστρο σε διαφορετικές φάσεις και τις επίκαιρες κανονιστικές θεωρήσεις για φορείς σημαντικής σπουδαιότητας, εκπονήθηκε ο σχεδιασμός των φορέων με τρόπο μη συμβατικό χρησιμοποιώντας τα παρακάτω κατασκευαστικά στοιχεία για το μεταλλικό φέρον σύστημα της ανωδομής.

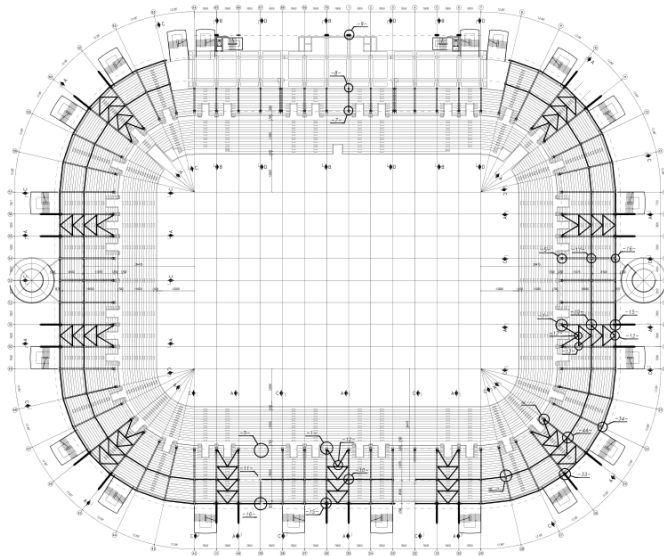
- ένα σύστημα μακροφορέων εν προβόλω που απέχουν μεταξύ τους περίπου 39m
- ένας συνδετήριος εσωτερικός δακτύλιος των μακροφορέων (εσωτερική περιμετρική χωροδικτυωτή δοκός)
- ένα σύνολο δευτερευόντων κατακορύφων στοιχείων
- ένα σύνολο δευτερευόντων δοκών που φέρουν την επικάλυψη
- ένα σύνολο μεταλλικών κερκιδοφόρων
- ένα επαναλαμβανόμενο σύστημα επικάλυψης με προεντεταμένη μεμβράνη.

Η ποιότητα χάλυβα για όλα τα παραπάνω είναι S355.

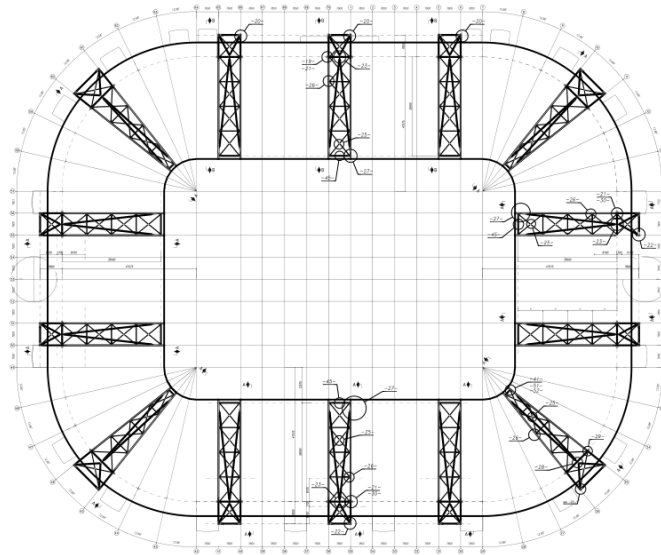
Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται γενικές όψεις και κατόψεις του γηπέδου, καθώς επίσης και χαρακτηριστικές τομές, οι οποίες ελήφθησαν από τα κατασκευαστικά σχέδια.



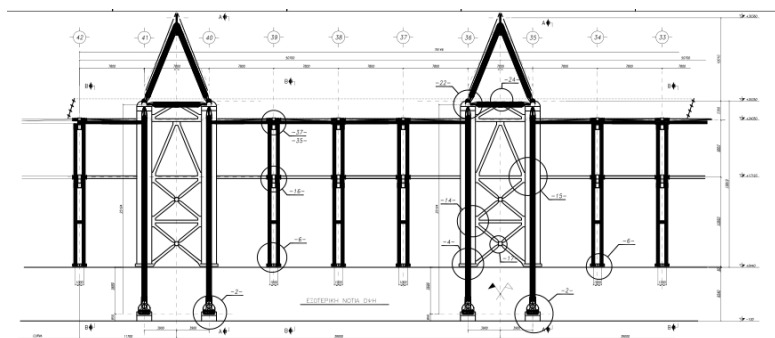
Σχήμα 1.4: Κάτοψη δοκών



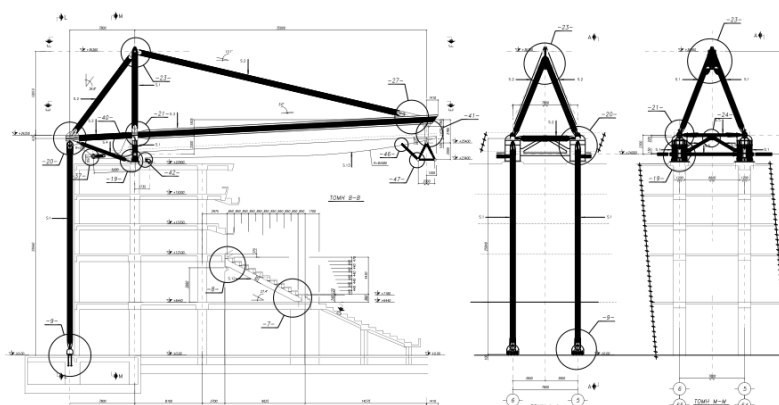
Σχήμα 1.5 : Κάτοψη κερκιδοφόρων



Σχήμα 1.6: Κάτοψη μακροφορέων



Σχήμα 1.7: Τμήμα όψης

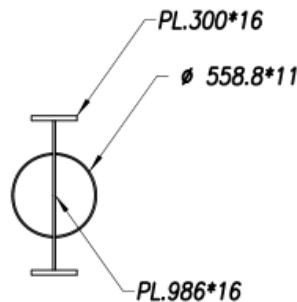


Σχήμα 1.8: Χαρακτηριστικές τομές μακροφορέων.

**α) Μακροφορείς εν προβόλω**

Οι μακροφορείς εν προβόλω, 14 τον αριθμό, είναι διατεταγμένοι κατά την ακτινική διεύθυνση και απέχουν μεταξύ τους 39μ περίπου. Οι πρόβολοι έχουν ελεύθερο άνοιγμα 35μ και ύψος 10μ περίπου. Αποτελούνται από μικροδικτυώματα ψευδοπυραμιδικής μορφής, αυτοσταθεροποιούμενα, με άνω και κάτω πέλμα σωληνωτής κυκλικής διατομής. Ο πρόβολος εξισορροπείται από ένα εξωτερικό καβαλέτο αγκύρωσης με μοχλοβραχίονα μήκους 7,8μ, που αποτελείται από την ίδια τυπολογία διατομών του προβόλου.

Οι χρησιμοποιούμενες σωληνωτές διατομές είναι  $\varnothing 609,6 \times 12,5 \text{mm}$  και  $\varnothing 609,6 \times 14,2 \text{mm}$  ανάλογα με την εντατική κατάσταση των κυρίων στοιχείων του μακροφορέα και  $\varnothing 323,9 \times 8 \text{mm}$  για τα οριζόντια και κατακόρυφα στοιχεία σταθεροποίησης (αντιανέμια). Τα οριζόντια κάτω πέλματα των μακροφορέων είναι σύνθετης διατομής συνδυασμού διατομής I συνολικού ύψους 1050mm και σωληνωτής διατομής  $\varnothing 558,8 \times 11 \text{mm}$ , ώστε να μορφοωθεί η σύνθετη διατομή του σχήματος.



Σχήμα 1.9: Σύνθετη διατομή

**β) Εσωτερική περιμετρική χωροδικτυωτή δοκός**

Η χωροδικτυωτή δοκός τριγωνικής μορφής αποτελεί τον συνδετήριο εσωτερικό δακτύλιο των μακροφορέων. Η δοκός αυτή διαστάσεων 2μ ύψους και 2,1μ πλάτους, με την κορυφή του τριγώνου προς τα άνω αποτελείται από σωλήνες κυκλικής διατομής και τα τμήματά της αναρτώνται από τα άκρα των προβόλων.

Οι χρησιμοποιούμενες σωληνωτές διατομές είναι  $\varnothing 323,9 \times 10 \text{mm}$  για το άνω πέλμα,  $\varnothing 193,7 \times 8,8 \text{mm}$  για τα κάτω πέλματα και  $\varnothing 152,4 \times 4,5 \text{mm}$  για τις διαγώνιες. Η παραπάνω δοκός χρησιμοποιείται για την έδραση του ενός άκρου των δευτερευουσών δοκών που φέρουν την επικάλυψη καθώς και για τη στήριξη των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων φωτισμού του γηπέδου.

**γ) Δευτερεύοντα κατακόρυφα στοιχεία**

Τα δευτερεύοντα κατακόρυφα στοιχεία που απέχουν μεταξύ τους 7,80μ περίπου, αποτελούνται από δίδυμες σωληνωτές κυκλικές διατομές  $\varnothing 368 \times 8 \text{mm}$  και φέρουν το ένα άκρο των κερκιδοφόρων δοκών καθώς και το άλλο άκρο των δευτερευουσών δοκών που φέρουν την επικάλυψη.

Τα παραπάνω στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους με τα κατακόρυφα στοιχεία των μακροφορέων μέσω συνδετηρίων δοκών κυκλικής σωληνωτής διατομής  $\varnothing 323,9 \times 8 \text{mm}$  στις θέσεις έδρασης των κερκιδοφόρων και των δοκών επικάλυψης.

### δ) Δευτερεύουσες δοκοί επικάλυψης

Οι δευτερεύουσες δοκοί είναι κιβωτοειδούς διατομής μεταβλητού ύψους, ακτινικής διεύθυνσης και φέρουν το σύστημα της επικάλυψης. Εδράζονται στο ένα άκρο τους στην τριγωνική περιμετρική χωροδικτυωτή δοκό και στο άλλο στο αντίστοιχο δευτερεύον κατακόρυφο στοιχείο.

### ε) Κερκιδοφόροι δοκοί

Οι κερκιδοφόροι δοκοί αποτελούνται από κεκλιμένα χαλύβδινα στοιχεία κιβωτοειδούς διατομής μεταβλητού ύψους, τα οποία εδράζονται: στο ένα άκρο τους στη στάθμη +6,44μ στους φορείς από ωπλισμένο σκυρόδεμα και, στο άλλο άκρο τους στα δίδυμα σωληνωτά δευτερεύοντα κατακόρυφα στοιχεία και ενδιάμεσα σε επίσης χαλύβδινα υποστυλώματα σωληνωτής κυκλικής διατομής  $\varnothing 609,6 \times 12,5 \text{mm}$ . Σημειώνεται ότι οι κερκιδοφόροι δοκοί πρέπει να είναι τουλάχιστον κατηγορίας 3. Αυτό επιτυγχάνεται ενισχύοντας τους κορμούς με τα αναγκαία ελάσματα ακαμψίας.

### στ) Σύστημα επικάλυψης

Το σύστημα επικάλυψης ψευδοκλινδρικής μορφής καλύπτει την περιοχή μεταξύ δύο γειτονικών δοκών επικάλυψης. Αποτελείται από μεμβράνη χρώματος λευκού τύπου Ferrari Precontraint 1302 Fluotop T2.

Η παραπάνω μεμβράνη αποτελείται από στοιχεία  $5 \times 7,8 \text{m}$  συγκολλημένα μεταξύ τους ώστε να εξασφαλιστεί η συνέχεια σε όλο το μήκος και να μορφωθούν ακτινικά τμήματα μήκους 40μ περίπου και πλάτους 7,8 μ. Εδράζονται σε επίπεδα πλαίσια από σωληνωτή κυκλική διατομή τοποθετημένα ανά 5μ που γεφυρώνουν την απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών δοκών επικάλυψης.

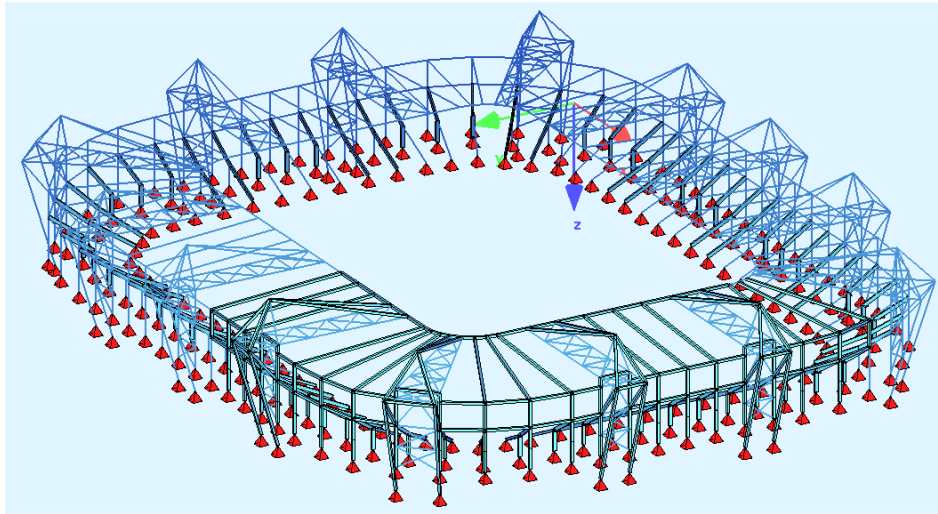
Η επιλογή των μεμονωμένων τμημάτων  $39 \times 7,8 \text{m}$  έγινε ώστε, εάν δημιουργηθούν ζημιές σε μια ορισμένη περιοχή της επικάλυψης, μπορεί να αντικατασταθεί το τμήμα αυτό χωρίς να επηρεάζεται το υπόλοιπο της επικάλυψης. Τα τμήματα προκατασκευάζονται στο εργοστάσιο όπου τα βασικά τμήματα ενώνονται μεταξύ τους μέσω συγκολλήσεως ώστε να επιτευχθούν οι τυπικές επιφάνειες αρνητικής ολικής καμπυλότητας (συνθήκη προεντεταμένης μεμβράνης), η οποία εγγυάται τη στατική και δυναμική ευστάθειά της.

## 1.3 Πρόγραμμα ανάλυσης του κτιρίου

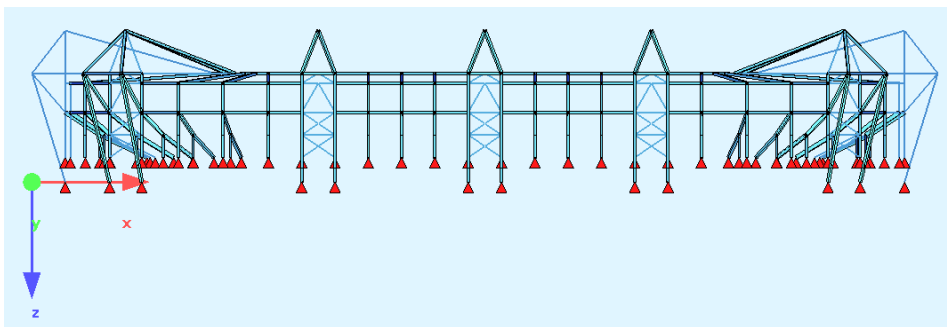
Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση και τη διαστασιολόγηση του κτιρίου είναι το Sofistik. Το Sofistik αποτελεί ένα λογισμικό πρόγραμμα που δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην ανάλυση κτιριακών κατασκευών. Είναι ένα ευέλικτο πρόγραμμα επίλυσης που παρέχει σε κάθε χρήστη τη δυνατότητα εύρεσης μιας γρήγορης και αποτελεσματικής λύσης για δεδομένη κατασκευή.

Το Sofistik αποτελείται από υποπρογράμματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν σε συσχέτιση μεταξύ τους. Αρχικά έγινε η εισαγωγή των δεδομένων που αφορούν στα υλικά και τα είδη των διατομών της κατασκευής (υπορουτίνα AQUA). Ορίστηκε η γεωμετρία του φορέα, εισάγοντας τις συντεταγμένες των κόμβων του φορέα (υπορουτίνα GENF) και στη συνέχεια εισήχθησαν οι φορτίσεις και οι συνδυασμοί των φορτίσεων που καταπονούν το φορέα (υπορουτίνα ASE, DYNA). Με την υπορουτίνα MAXIMA προσδιορίστηκαν τα δυσμενέστερα εντατικά και παραμορφωσιακά μεγέθη, καθώς και η περιβάλλουσα για το συνδυασμό στατικών και σεισμικών φορτίσεων. Ο έλεγχος της επάρκειας των μελών της κατασκευής έγινε με το πρόγραμμα Steel Members.

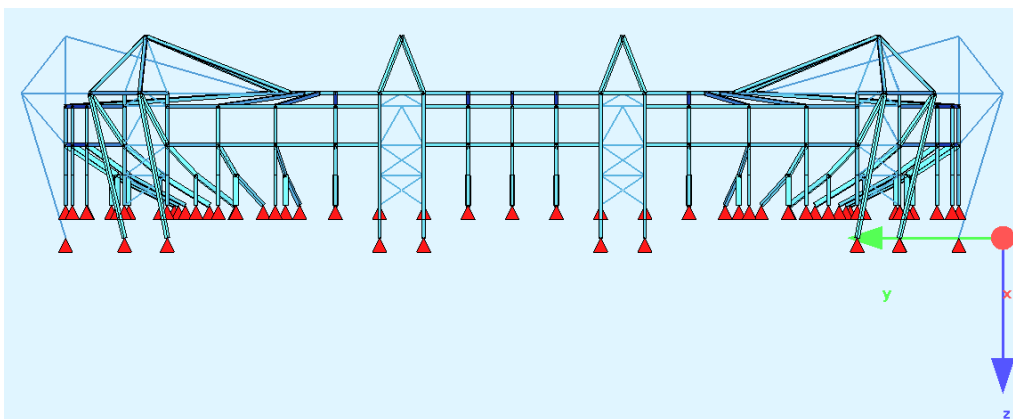
Στις επόμενες εικόνες φαίνεται το μοντέλο του φορέα στο περιβάλλον του Sofistik.



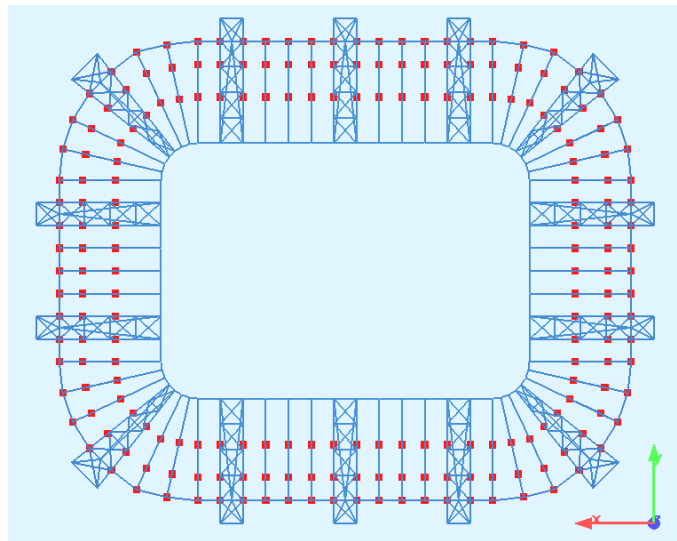
Σχήμα 1.10: Προοπτική



Σχήμα 1.11: Δυτική- Ανατολική όψη



Σχήμα 1.12: Βόρεια- Νότια όψη



Σχήμα 1.13: Κάτοψη σταδίου



## 2. ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

### 2.1 Γενικά

Ανάλογα με το είδος, τη μορφή και τη θέση της κατασκευής, προσδιορίζονται οι διάφορες χαρακτηριστικές τιμές των δράσεων οι οποίες επενεργούν επ' αυτής.

Στον Ελλαδικό χώρο ως προς τις δράσεις επί των κατασκευών εφαρμόζεται ευρέως ο Ευρωκώδικας 1, ο οποίος παρέχει για κάθε χώρα μέσω των Παραρτημάτων είτε μέσω των Εθνικών Προσαρτημάτων πληροφορίες ως προς τις αναπτυσσόμενες δράσεις (πχ. χιόνι, άνεμος κλπ).

Προκειμένου να ελεγχθεί η κατασκευή έναντι αστοχίας ή λειτουργικότητας γίνεται χρήση των λεγόμενων «καταστάσεων σχεδιασμού», που περιγράφουν με επαρκή αξιοπιστία όλους τους συνδυασμούς φορτικών καταστάσεων, στις οποίες θα εκτεθεί η κατασκευή τόσο κατά τη φάση της ανέγερσης όσο και κατά την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής της.

Οι καταστάσεις σχεδιασμού, ταξινομούνται ως εξής :

- Καταστάσεις διαρκείας, που αντιστοιχούν σε κανονικές συνθήκες χρήσης.
- Παροδικές καταστάσεις, που αντιστοιχούν σε παροδικές συνθήκες, πχ κατά τη φάση ανέγερσης ή κατασκευών
- Τυχηματικές καταστάσεις, που αντιστοιχούν σε εξαιρετικές συνθήκες, πχ σε πυρκαγιά, έκρηξη, πρόσκρουση ή τοπική αστοχία
- Καταστάσεις σεισμού, που αντιστοιχούν σε συνθήκες επιβολής σεισμικής καταπόνησης στην κατασκευή.

### 2.2 Οριακές καταστάσεις – Δράσεις

Οριακές καταστάσεις είναι εκείνες, πέραν των οποίων η κατασκευή δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις ασφαλείας και λειτουργικότητας του σχεδιασμού και διακρίνονται σε:

- Οριακές καταστάσεις αστοχίας, που αντιστοιχούν σε κατάρρευση ή άλλου είδους αστοχίες μέσω απώλειας ισορροπίας της κατασκευής ή αστοχίας λόγω υπερβολικών παραμορφώσεων ή αστοχίας λόγω κόπωσης, που θέτουν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές.
- Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας, πέραν των οποίων δεν ικανοποιούνται τα κριτήρια λειτουργικότητας της κατασκευής και σχετίζονται με μεγάλες παραμορφώσεις ή μετακινήσεις που προκαλούν βλάβες στα στοιχεία πλήρωσης ή ταλαντώσεις ενοχλητικές για τους ενοίκους.

Οι δράσεις οι οποίες επιβάλλονται στην κατασκευή με τη μορφή συνδυασμών για τις προαναφερθείσες καταστάσεις σχεδιασμού, διακρίνονται σε:

- Άμεσες, π.χ. συγκεντρωμένα ή ομοιόμορφα κατανεμημένα γραμμικά και επιφανειακά φορτία
- Έμμεσες π.χ. επιβαλλόμενη παραμόρφωση λόγω θερμοκρασιακής μεταβολής ή υποχώρησης στηρίξεων, ή επιβαλλόμενη επιτάχυνση λόγω σεισμού.
- Οι δράσεις αυτές ως προς το χρόνο ταξινομούνται σε:
  - Μόνιμες, π.χ. ίδια βάρη της κατασκευής

- Μεταβλητές, π.χ. επιβαλλόμενα φορτία σε πατώματα κτιρίων, δοκούς ή στέγες, φορτία χιονιού ή ανέμου

Ως προς τη θέση τους οι δράσεις ταξινομούνται σε:

- Καθορισμένες, πχ ίδιο βάρος
- Ελεύθερες πχ κινητά επιβαλλόμενα φορτία γερανογεφυρών
- Ως προς τη φύση τους ταξινομούνται σε
- Στατικές
- Δυναμικές

### 2.3 Μόνιμα Φορτία

Τα μόνιμα ή νεκρά φορτία είναι φορτία που λαμβάνονται πάντοτε υπόψη στις κατασκευές και επιβάλλουν στατική φόρτιση δηλαδή πρόκειται για φορτία σταθερής θέσης και διεύθυνσης. Σε αυτά περιλαμβάνονται το σύνολο του ίδιου βάρους της κατασκευής και τα μόνιμα προσαρτημένα στοιχεία (όπως υλικό στέγασης, επικαλύψεις και επενδύσεις, ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός, υδραυλικές εγκαταστάσεις κλπ). Τα μόνιμα φορτία διακρίνονται σε κύρια και σε δευτερεύοντα.

Ως κύρια ορίζονται εκείνα που κατά μέγεθος είναι μεγαλύτερα και αποτελούν το κύριο ποσοστό των μονίμων .Ως δευτερεύοντα χαρακτηρίζονται τα μικρότερης τάξης μεγέθους μόνιμα φορτία.

Στα μόνιμα φορτία της κατασκευής περιλαμβάνονται: το ίδιο βάρος του φορέα, η επικάλυψη του μεταλλικού σκελετού της στέγης, τα φορτία των μηχανολογικών εγκαταστάσεων της στέγης, η επικάλυψη των διαδρόμων επίσκεψης και το μηχανολογικό φορτίο των διαδρόμων επίσκεψης.

#### *2.3.1 Ίδιο Βάρος στοιχείων του φορέα*

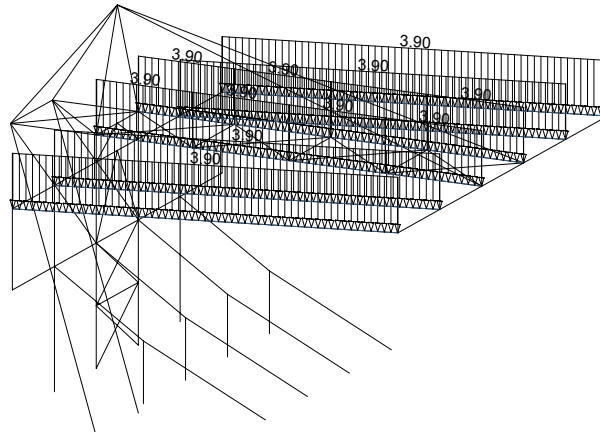
Στην ανάλυση εκτιμήθηκε ίδιο βάρος δομικού χάλυβα  $78,5 \text{ kN/m}^3$

#### *2.3.2 Επικάλυψη σκελετού στέγης*

Το φορτίο επικάλυψης στέγης λήφθηκε ίσο με  $0,50 \text{ kN/m}^2$  και υπολογίστηκε ως γραμμικό φορτίο στις τεγίδες των πλαισίων.

- Ενδιάμεσες τεγίδες: ζώνη επιρροής  $7,8 \text{ m} \times 0,50 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{3,9 \text{ kN/m}}$

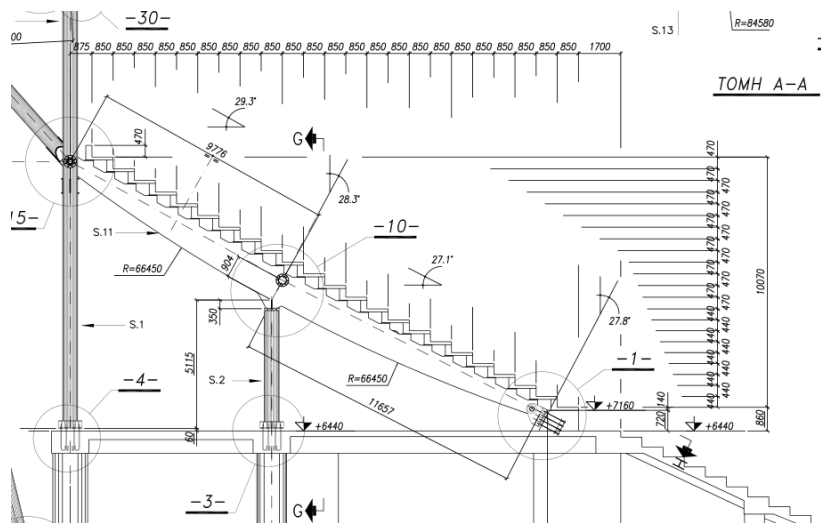
- Γωνιακές τεγίδες: εμβαδόν επιρροής (μετρημένο από το πρόγραμμα AutoCad):  $256,06 \text{ m}^2 \times 0,50 \text{ kN/m}^2 = 128,03 \text{ kN} \rightarrow /35 \text{ m} = \mathbf{3,658 \text{ kN/m}}$



Σχήμα 2.1: Φορτίο επικάλυψης στέγης

### 2.3.3 Βάρος πλάκας σκυροδέματος

Κατά μήκος όλου του κερκιδοφόρου υπάρχει κεκλιμένη πλάκα σκυροδέματος, μορφής διαδοχικών σκαλοπατιών, πάνω στα οποία εδράζονται τα καθίσματα, όπως φαίνεται και στο σχέδιο της μελέτης.



Σχήμα 2.2: Τομή κερκιδοφόρου

Κατά συνέπεια υπολογίστηκαν ως εξής τα παρακάτω φορτία:

Έχω 22 σκαλοπάτια, το καθένα από τα οποία έχει οριζόντια επιφάνεια  $0,85 \times 0,14$  και κάθετη επιφάνεια  $0,44 \times 0,14$ , με βάση το παραπάνω σχέδιο της μελέτης.

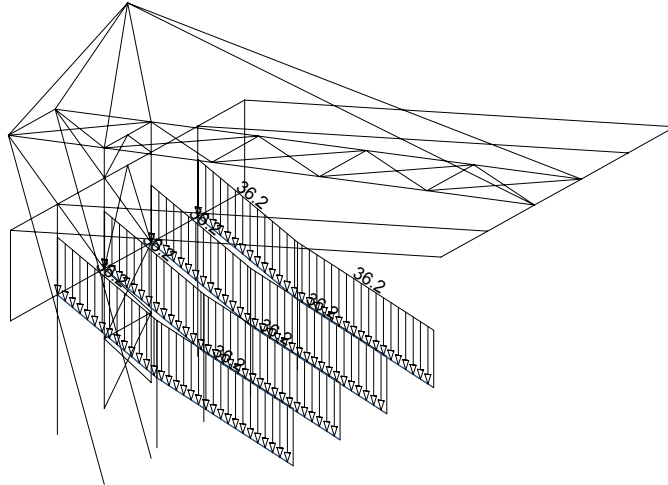
Επομένως:  $22 \times (0,85 \times 0,14 + 0,44 \times 0,14) \text{m}^2 \times (7,8) \text{m} \times 25 \text{kN/m}^3 = 774,774 \text{kN} \rightarrow : (9,776 + 11,657) \text{m} = 36,15 \text{kN/m}$

Όπου:

$(7,8) \text{m}$  : ζώνη επιρροής από υποστήλωμα σε υποστήλωμα και

(9,776+11,657)m : συνολικό κεκλιμένο μήκος κερκίδων

25kN/m<sup>3</sup> : ειδικό βάρος σκυροδέματος



Σχήμα 2.3 : Φορτίο πλάκας σκυροδέματος

## 2.4 Κινητά Φορτία

Τα κινητά ή μεταβλητά φορτία είναι φορτία βαρύτητας ή πλευρικά φορτία που δρουν όταν η κατασκευή βρίσκεται σε λειτουργία. Τα μεταβλητά αυτά φορτία θα πρέπει να τοποθετούνται κατά δυσμενή τρόπο στο φορέα, ώστε να καλύπτεται η δυσμενέστερη επιρροή τους.

Στα κινητά φορτία της κατασκευής περιλαμβάνονται : το κινητό φορτίο των ανθρώπων που θα είναι θεατές, η μεταβολή της θερμοκρασίας, το φορτίο χιονιού, ο άνεμος, και οι σεισμικές δυνάμεις.

### 2.4.1 Κινητό φορτίο ανθρώπων

Το κινητό φορτίο των ανθρώπων θεωρήθηκε ίσο με 0,8 kN και υπολογίστηκε ως γραμμικό στην κατά μήκος κεκλιμένη διεύθυνση των κερκίδων, όμοια με το φορτίο της πλάκας του σκυροδέματος.

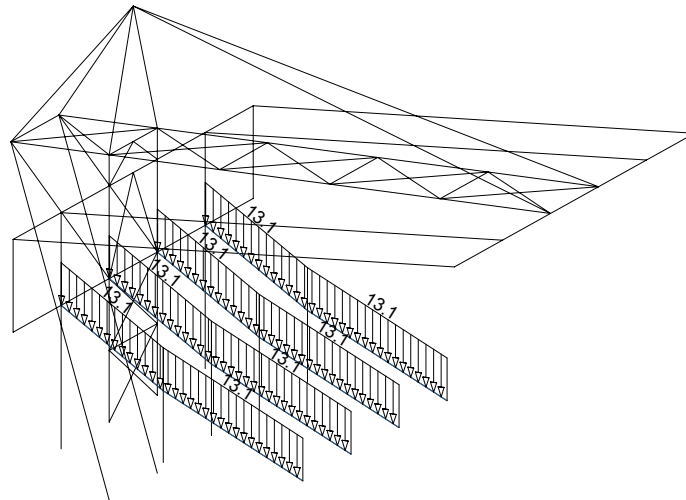
Συγκεκριμένα, υπολογίστηκε:

$$Q_{\text{ανθρ}} = 0,8 \text{ kN} * 16 * 22 = 281,6 \text{ kN} \rightarrow / (9,776 + 11,657) \text{ m} = \mathbf{13,14 \text{ kN/m}}$$

Όπου:

16: ο αριθμός των ανθρώπων που υπολογίστηκε ότι χωρούν σε 7,8m άνοιγμα, αν υποθέσουμε ότι ο κάθε άνθρωπος καταλαμβάνει άνοιγμα 0,5m ( 7,8m/ 0,5m= 15,6 άνθρωποι, δηλαδή 16 άνθρωποι κατά προσέγγιση)

22: ο αριθμός σκαλοπατιών που υπάρχουν στην κεκλιμένη κατά μήκος διεύθυνση των κερκίδων



Σχήμα 2.4: Φορτίο ανθρώπων

#### 2.4.2 Μεταβολή της θερμοκρασίας

Μία κατασκευή υποβάλλεται στη διάρκεια της ζωής της σε θερμοκρασιακές μεταβολές. Οι μεταβολές αυτές είναι μεγαλύτερες για κατασκευές στην ύπαιθρο (πχ γέφυρες) από άλλες των οποίων τα φέροντα στοιχεία προστατεύονται έναντι θερμοκρασιακών επιρροών από μη φέροντα στοιχεία (πχ κτίρια).

Επειδή οι θερμοκρασιακές μεταβολές έχουν μικρή διάρκεια, τα εντατικά μεγέθη λόγω των επιρροών τους δεν υπόκεινται σε ερπυσμό και συνεπώς τα αδρανειακά στοιχεία της διατομής υπολογίζονται για βραχυχρόνια φόρτιση.

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1, Μέρος 1.5, οι δράσεις λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών είναι έμμεσες και κατατάσσονται στις μεταβλητές, ελεύθερες δράσεις και πρέπει να προσδιορίζονται για κάθε κατάσταση σχεδιασμού που προβλέπεται από τον Ευρωκώδικα 1. Για ομοιόμορφη μεταβολή θερμοκρασίας, που οφείλεται στην ολική μεταβολή θερμοκρασίας περιβάλλοντος (πχ χειμώνας – καλοκαίρι) υπολογίζονται οι χαρακτηριστικές τιμές μέγιστης διακύμανσης της αρνητικής και της θετικής ενεργού θερμοκρασίας.

Στη συγκεκριμένη κατασκευή θεωρήθηκε μεταβολή θερμοκρασίας  $\Delta T = -20^{\circ}\text{C}/+30^{\circ}\text{C}$

#### 2.4.3 Φορτία Χιονιού

Τα φορτία του χιονιού υπολογίζονται σύμφωνα με το Μέρος 1.3 του Ευρωκώδικα 1, που παρέχει οδηγίες για τα φορτία λόγω χιονόπτωσης, η οποία έλαβε χώρα υπό συνθήκες νηνεμίας ή με ταυτόχρονη ύπαρξη ανέμων. Τα φορτία αυτά αναφέρονται σε κτίρια ή σε έργα πολιτικού μηχανικού γενικά, για υψόμετρα κάτω των 1500m. Έχουν προκύψει με την παραδοχή φυσικής απόθεσης και δε λαμβάνουν υπόψη πιθανή τεχνητή αφαίρεση ή αναδιανομή χιονιού επί της στέγης από ανθρώπινη επέμβαση.

Το φορτίο του χιονιού θεωρείται ότι επιδρά κατακόρυφα και αναφέρεται στην οριζόντια προβολή της επιφάνειας της στέγης, ενώ κατατάσσεται στις ελεύθερες μεταβλητές δράσεις. Σε ειδικές περιπτώσεις,

όταν οι καταγραφές της χιονόπτωσης δίνουν ακραίες τιμές, μπορεί να εντάσσεται στις τυχηματικές δράσεις.

Ανάλογα με τη μορφή της στέγης, τα θερμικά χαρακτηριστικά, την τραχύτητα της επιφάνειας, το ποσό της θερμότητας που εκλύεται κάτω από τη στέγη, την απόσταση των γειτονικών κτιρίων, τον περιβάλλοντα χώρο και τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες, το χιόνι συσσωρεύεται επί της στέγης κατά διάφορους τρόπους.

### **Προσδιορισμός φορτίου χιονιού (s) σε στέγες:**

Το φορτίο χιονιού σε μία στέγη προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k \quad (\text{kN/m}^2) \quad (2.1)$$

Όπου:

- $\mu_i$  : ο συντελεστής μορφής χιονιού
- $C_e = 1$  : ο συντελεστής έκθεσης, για κανονικές συνθήκες.
- $C_t = 1$  : ο θερμικός συντελεστής, για κανονικές συνθήκες θερμικής μόνωσης της στέγης.
- $s_k$  : είναι η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού επί του εδάφους

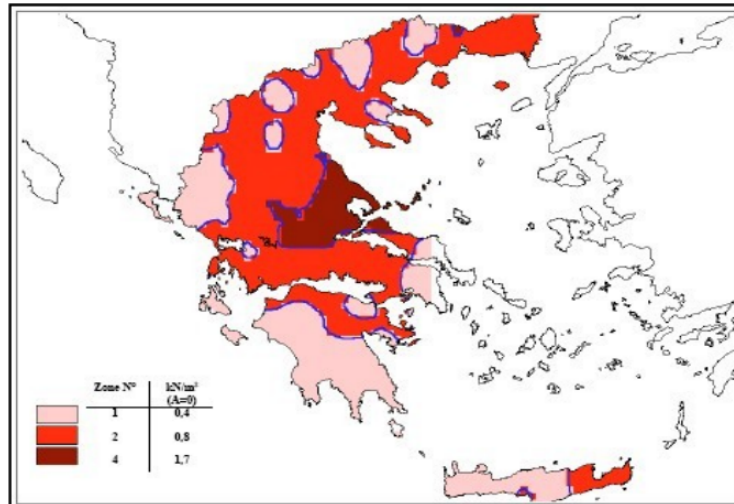
### **Προσδιορισμός χαρακτηριστικής τιμής του φορτίου χιονιού ( $s_k$ ) επί του εδάφους:**

Για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι τιμές του  $s_k$  δίνονται στο παράρτημα C του EN 1991- Μέρος 1.3. 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 στη στάθμη της θάλασσας.

**Ζώνη I** ( $s_{k,0} = 0,4 \text{ kN/m}^2$ ): Νομοί Αρκαδίας, Ηλείας, Λακωνίας, Μεσσηνίας και όλα τα νησιά πλην των Σποράδων και της Εύβοιας

**Ζώνη II** ( $s_{k,0} = 0,8 \text{ kN/m}^2$ ): Υπόλοιπη χώρα

**Ζώνη III** ( $s_{k,0} = 1,7 \text{ kN/m}^2$ ): Νομοί Μαγνησίας, Φθιώτιδας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Λάρισας, Σποράδες και Εύβοια



Σχήμα 2.5: Χάρτης απεικόνισης ζωνών χιονιού

Το στάδιο Καραϊσκάκη βρίσκεται στο νομό Αττικής επομένως ανήκει στη Ζώνη Ι με  $s_{k,0} = 0,4 \text{ kN/m}^2$ .

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

$$s_k = s_{k,0} [1 + (A/917)^2]$$

Όπου:

- $s_{k,0}$ : είναι η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού στη στάθμη της θάλασσας (δηλ για  $A=0$ ), σε  $\text{KN/m}^2$
- $A$ : είναι το υψόμετρο της συγκεκριμένης τοποθεσίας από τη στάθμη της θάλασσας σε  $m$ .

Επομένως για την περιοχή του Νέου Φαλήρου, που βρίσκεται στην Νότια Στερεά και

για υψόμετρο περίπου ..... $m$  προκύπτει  $s_k = 0,4 * (1 + (\dots\dots/917)^2) = 0,41 \text{ kN/m}^2$

Προσδιορισμός του συντελεστή μορφής φορτίου χιονιού ( $\mu_i$ )

Ο συντελεστής μορφής φορτίου εξαρτάται από τη μορφή και τη γεωμετρία της στέγης. Το στέγαστρο του σταδίου είναι ελλειψοειδές. Για τον προσδιορισμό του συντελεστή μορφής λαμβάνονται υπόψη δύο μορφές κατανομής φορτίου:

- Η πρώτη μορφή προκύπτει από μία ομοιόμορφη κατανομή του χιονιού πάνω σε ολόκληρη τη στέγη, εάν το χιόνι πέφτει με μικρή πνοή ανέμου.
- Η δεύτερη μορφή προκύπτει από μία αρχική ασύμμετρη κατανομή, ή από τοπική συγκέντρωση σε εμπόδια, ή από ανακατανομή του χιονιού που επηρεάζει την κατανομή του φορτίου στο σύνολο της στέγης (π.χ. χιόνι που μεταφέρεται από την προσήνεμη πλευρά προς την υπήνεμη πλευρά της στέγης).

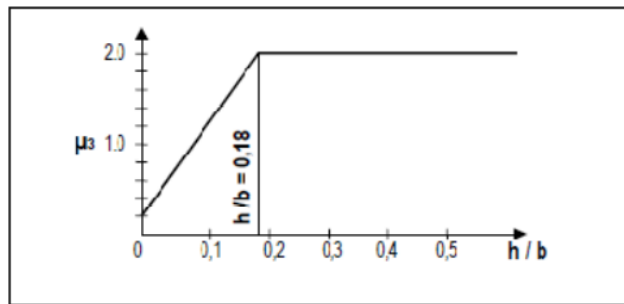
Το φορτίο του χιονιού εφαρμόζεται στην επικάλυψη και μεταφέρεται στη συνέχεια στις άνω ράβδους των πλαισίων. Αυτό σημαίνει ότι στα προεξέχοντα τμήματα των πλαισίων δεν θα ασκείται φορτίο χιονιού.

Οι συντελεστές μορφής υπολογίζονται ως εξής:

$$\text{Για } \beta \leq 60^\circ \quad \mu_3 = 0,2 + 10 h/b, \text{ αλλά } \mu_3 \leq 2,0$$

$$\text{Για } \beta > 60^\circ \quad \mu_3 = 0$$

Στο ακόλουθο σχήμα δίνεται ο συντελεστής  $\mu_3$  συναρτήσει του λόγου  $h/b$  (ύψος προς άνοιγμα κυλινδρικής στέγης)



Σχήμα 2.6: Συντελεστές μορφής κυλινδρικών στεγών συναρτήσει του λόγου  $h/b$

Στο συγκεκριμένο στέγαστρο προκύπτουν:

$$\mu_i = 0,80$$

οπότε από τη σχέση (2.1):

$$s = 0.80 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.40 = \mathbf{0.32 \text{ kN/m}^2}$$

Το φορτίο χιονιού υπολογίστηκε ως γραμμικό φορτίο στις τεγίδες των πλαισίων.

- Ενδιάμεσες τεγίδες:

$$\text{ζώνη επιρροής } 7.8 \text{ m} \times 0,32 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{2,44 \text{ kN/m}}$$

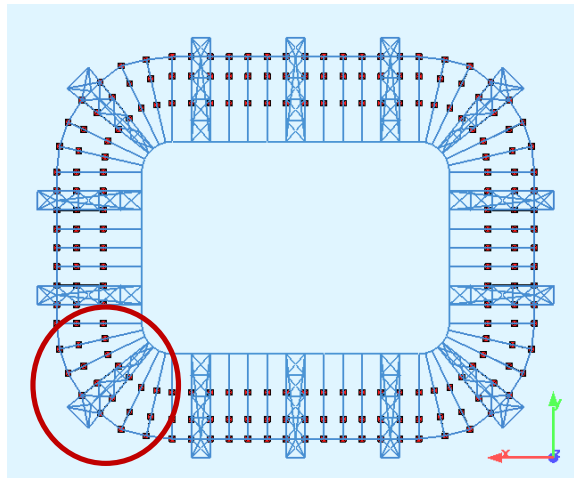
- Ακραίες- Γωνιακές τεγίδες: (όπως σημειώνονται ενδεικτικά στο παρακάτω σχήμα)

$$\text{ζώνη επιρροής } (236.7147 \text{ m}^2 / 35 \text{ m}) \times 0,32 \text{ kN/m}^2 = 6.763 \text{ m} \times 0.32 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{2.164 \text{ kN/m}}$$

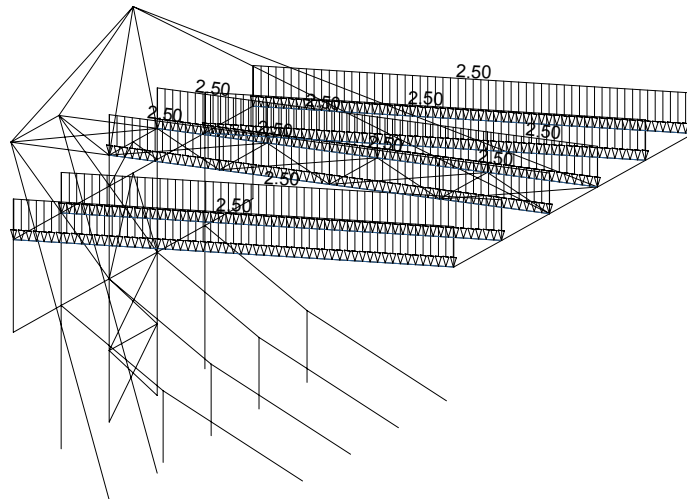
όπου:  $236.7147 \text{ m}^2$ : το εμβαδόν επιρροής των γωνιακών τεγίδων από τεγίδα σε τεγίδα (μετρημένο στο AutoCad)

και  $35 \text{ m}$ : το μήκος της τεγίδας.





Σχήμα 2.7: Κάτοψη φορέα, γωνιακά μέλη στέγης



Σχήμα 2.8: Φορτίο χιονιού

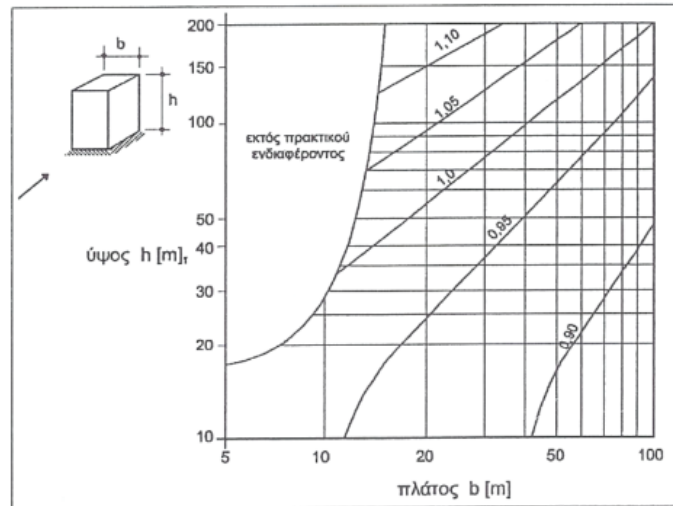
#### 2.4.4 Δράσεις Ανέμου

Ο υπολογισμός των δράσεων του ανέμου επί της κατασκευής έγινε με βάση το μέρος 1-4 του Ευρωκώδικα 1, το οποίο παρέχει κανόνες και μεθόδους υπολογισμού των φορτίων ανέμου επί των κτιριακών κατασκευών και των επιμέρους στοιχείων και προσαρτημάτων τους για ύψη μέχρι 200m που είναι και η εν λόγω κατασκευή. (μέγιστο ύψος 36m)

Η απόκριση μιας κατασκευής και των επιμέρους στοιχείων της στη δράση του ανέμου μπορεί να προσομοιαστεί ως επαλληλία μιας βασικής και μιας συντονιστικής συνιστώσας. Η βασική συνιστώσα είναι στατική ενώ η συντονιστική αποτελεί δυναμική απόκριση. Για το μεγαλύτερο μέρος των κατασκευών η συντονιστική συνιστώσα είναι μικρή και μπορεί να αγνοηθεί. Αντίθετα, στις εύκαμπτες κατασκευές, λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό και παραμορφώσεις από δυναμικές φορτίσεις λόγω εγκάρσιων ταλαντώσεων.

Ο Ευρωκώδικας 1 δίνει δύο μεθόδους υπολογισμού των φορτίων του ανέμου, την απλή και τη λεπτομερή.

Η απλή μέθοδος εφαρμόζεται σε κατασκευές οι οποίες δεν είναι ευαίσθητες σε δυναμική διέγερση. Μπορεί να βρει εφαρμογή σε κτίρια με ύψος μικρότερο από 200m, καθώς και σε οδικές και σιδηροδρομικές γέφυρες με άνοιγμα μικρότερο από 200m, με την προϋπόθεση ότι ο δυναμικός συντελεστής  $c_d$  είναι μικρότερος από 1.2. Η λεπτομερής μέθοδος εφαρμόζεται σε κατασκευές, οι οποίες είναι ευαίσθητες σε δυναμική διέγερση και ο δυναμικός συντελεστής είναι μεγαλύτερος από 1.2.



Σχήμα 2.9: Τιμές του  $c_d$  για κτίρια από χάλυβα

Η μεθοδολογία που αναπτύσσεται στο μέρος 1-4 του Ευρωκώδικα 1 αφορά σε επιφάνειες οι οποίες είναι επαρκώς δύσκαμπτες ώστε να αμελούνται οι δυναμικές ταλαντώσεις που προκαλούνται από τον άνεμο.

Η πλέον σημαντική παράμετρος για τον προσδιορισμό των δράσεων του ανέμου είναι η ταχύτητα του ανέμου. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την το μέγεθος της ταχύτητας και της ασκούμενης πίεσης του ανέμου είναι οι εξής:

- **Γεωγραφική θέση:** Οι ταχύτητες του ανέμου είναι στατιστικώς μεγαλύτερες σε ορισμένες περιοχές από κάποιες άλλες.
- **Φυσική θέση:** Ριπές ανέμου με υψηλές τιμές παρατηρούνται σε εκτεθειμένες περιοχές, παρά σε πιο προστατευμένες όπως είναι τα κέντρα πόλεων. Αυτό αποδίδεται στην τραχύτητα των επιφανειών, που συνεπάγεται μείωση της ταχύτητας του ανέμου στο επίπεδο του εδάφους. Αυτή η μείωση λαμβάνεται υπόψη μέσω του συντελεστή μείωσης της τραχύτητας, ο οποίος αναφέρεται στη μεταβλητότητα της μέσης ταχύτητας ανέμου στη θέση της κατασκευής λόγω του ύψους πάνω από το έδαφος και λόγω της τραχύτητας του εδάφους της προσήνεμης περιοχής στη θεωρούμενη διεύθυνση του ανέμου.
- **Τοπογραφία:** Τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής λαμβάνονται υπόψη μέσω ενός συντελεστή τοπογραφικής διαμόρφωσης (ή ανάγλυφου), που εκτιμά την αύξηση της μέσης ταχύτητας ανέμου πάνω από μεμονωμένους λόφους και εξάρσεις ή γκρεμούς ανάλογα με την προσήνεμη κλίση  $\Phi=H/L_u$  κατά τη διεύθυνση του ανέμου.

- **Διαστάσεις κτιρίου:** Το ύψος του μελετώμενου κτιρίου επηρεάζει σημαντικά την ταχύτητα του ανέμου.
- **Μέση ταχύτητα ανέμου:** Προσδιορίζεται από τη βασική του ταχύτητα προσαυξημένη ώστε να λάβει υπόψη το ύψος του μελετώμενου κτιρίου, την τραχύτητα του εδάφους και τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά.
- **Σχήμα κατασκευής:** Τα φορτία είναι το αποτέλεσμα μιας σύνθετης κατανομής πιέσεων στις όψεις της κατασκευής, λόγω της κίνησης του αέρα γύρω από αυτή. Γενικά αναπτύσσονται θετικές και αρνητικές πιέσεις στις διάφορες όψεις της κατασκευής. Ωστόσο η κατανομή είναι περίπλοκη εξαιτίας της ύπαρξης και γειτονικών κατασκευών καθώς και φυσικών εμποδίων. Γενικά θεωρούμε ότι αναπτύσσονται πιέσεις στις προσήνεμες πλευρές και υποπίεσεις στις υπήνεμες πλευρές.
- **Κλίση στέγης:** Παράμετρος η οποία επηρεάζει το είδος των πιέσεων που αναπτύσσονται επί της κατασκευής.
- **Διεύθυνση ανέμου:** Η διεύθυνση του ανέμου επηρεάζει την κατανομή των πιέσεων.

Μέσω κατάλληλων πινάκων και διαγραμμάτων, λαμβάνονται υπόψη όλες οι παραπάνω παράμετροι.

#### 2.4.4.1 Πίεση ανέμου στις επιφάνειες της κατασκευής

Οι δράσεις του ανέμου μεταβάλλονται με το χρόνο και δρουν άμεσα στις εξωτερικές επιφάνειες της κατασκευής (πίεση) και έμμεσα στις εσωτερικές επιφάνειες αυτής (υποπίεση), μέσω του πορώδους των εξωτερικών επιφανειών.

##### Εξωτερική πίεση $w_e$

Η εξωτερική πίεση του ανέμου που δρα στις εξωτερικές επιφάνειες μιας κατασκευής, δίνεται από τη σχέση:

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe} \quad (2.2)$$

όπου:

- $q_p(z_e)$  είναι η πίεση ταχύτητας αιχμής
- $z_e$  είναι το ύψος αναφοράς για την εξωτερική πίεση
- $c_{pe}$  είναι ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης

##### Πίεση ταχύτητας αιχμής $q_p(z_e)$

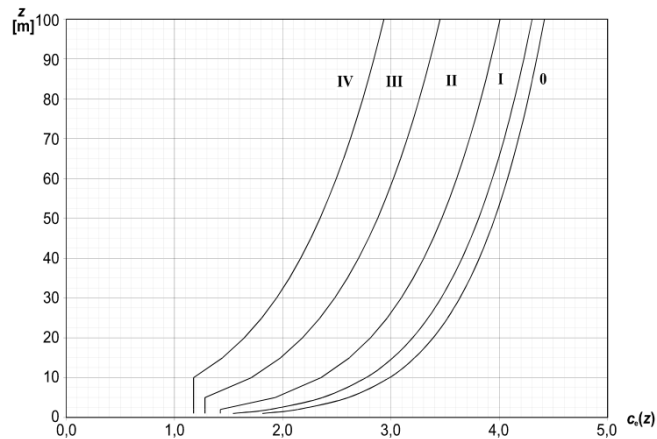
Η πίεση ταχύτητας αιχμής σε ύψος  $z$ , η οποία περιλαμβάνει μέσες και μικρής διάρκειας διακυμάνσεις ταχύτητας, προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_s(z) \cdot q_b \quad (2.3)$$

όπου:

- $\rho$  είναι η πυκνότητα του αέρα, ίση με  $1,25\text{kg/m}^3$
- $I_v$  είναι η ένταση του στροβιλισμού σε ύψος  $z$
- $c_e(z_e)$  είναι ο συντελεστής έκθεσης και δίνεται από τη σχέση:

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} \quad (2.4)$$



Σχήμα 2.10: Διάγραμμα συντελεστή έκθεσης  $c_e(z)$  συναρτήσει του ύψους  $z$  πάνω από την επιφάνεια του εδάφους

- $q_b$  είναι η βασική πίεση ανέμου που δίνεται από τη σχέση:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (2.5)$$

όπου:

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

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

όπου:

- $c_{dir}$  ο συντελεστής διεύθυνσης (ίσος με 1,0)
- $c_{season}$  ο συντελεστής εποχής (ίσος με 1,0)
- $v_{b,0}$  η θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου

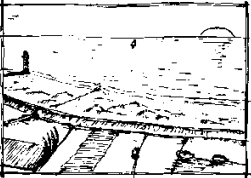
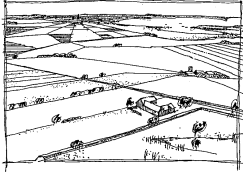

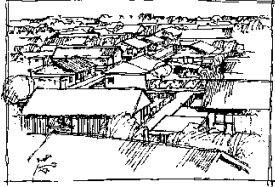
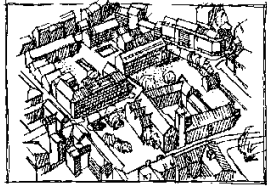
Η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος  $z$  πάνω από το έδαφος, εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους και την τοπογραφική διαμόρφωση, προσδιορίζεται δε από τη σχέση:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

όπου:

- $c_r(z)$  είναι ο συντελεστής τραχύτητας
- $c_o(z)$  είναι ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης (προτεινόμενη τιμή 1,0)

### Απεικονίσεις της ανώτερης τραχύτητας κάθε κατηγορίας εδάφους

<p><b>Κατηγορία εδάφους 0</b> Θάλασσα, παράκτια περιοχή εκτεθειμένη σε ανοικτή θάλασσα</p>	
<p><b>Κατηγορία εδάφους I</b> Λίμνες ή περιοχή με αμελητέα βλάστηση και χωρίς εμπόδια</p>	
<p><b>Κατηγορία εδάφους II</b> Περιοχή με χαμηλή βλάστηση όπως γρασίδι και μεμονωμένα εμπόδια (δέντρα, κτίρια) με απόσταση τουλάχιστον 20 φορές το ύψος των εμποδίων</p>	
<p><b>Κατηγορία εδάφους III</b> Περιοχή με κανονική κάλυψη από βλάστηση ή από κτίρια ή από μεμονωμένα εμπόδια με μέγιστη απόσταση το πολύ 20 φορές το ύψος των εμποδίων (όπως χωριά, προάστια, μόνιμα δάση)</p>	
<p><b>Κατηγορία εδάφους IV</b> Περιοχή στην οποία τουλάχιστον το 15 % της επιφάνειας καλύπτεται με κτίρια των οποίων το μέσο ύψος ξεπερνά τα 15 m</p>	

Πίνακας 2.1: Κατηγορίες εδάφους

### Αεροδυναμικοί συντελεστές πίεσης

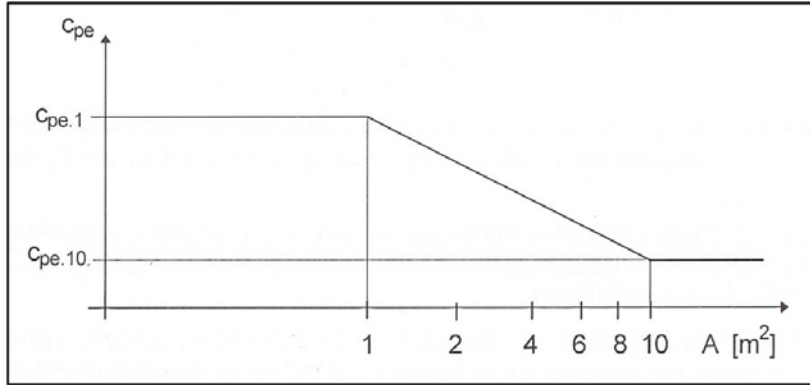
Οι αεροδυναμικοί συντελεστές είναι οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης  $c_{pe}$  και οι συντελεστές εσωτερικής πίεσης  $c_{pi}$ .

Στη συνέχεια θα δοθεί ο τρόπος υπολογισμού του συντελεστή εξωτερικής πίεσης για την περίπτωση κατακόρυφων επιφανειών και για την περίπτωση στέγης.

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

Οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης  $c_{pe}$  για κτίρια και τμήματα κτιρίων εξαρτώνται από το μέγεθος της φορτιζόμενης επιφάνειας  $A$ , η οποία είναι η επιφάνεια της κατασκευής που δημιουργεί τη δράση του

ανέμου στο υπολογιζόμενο τμήμα. Οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης δίνονται για φορτιζόμενες επιφάνειες  $A$  του  $1 \text{ m}^2$  και  $10 \text{ m}^2$  στους Πίνακες, ανάλογα με τη διαμόρφωση του κτιρίου, ως  $c_{pe,1}$  για τους τοπικούς συντελεστές, και  $c_{pe,10}$  για τους καθολικούς συντελεστές, αντίστοιχα.



Σχήμα 2.11: Μεταβολή του συντελεστή εξωτερικής πίεσης σε κτίρια, συναρτήσει της φορτιζόμενης επιφάνειας.

Το σχήμα βασίζεται στα ακόλουθα:

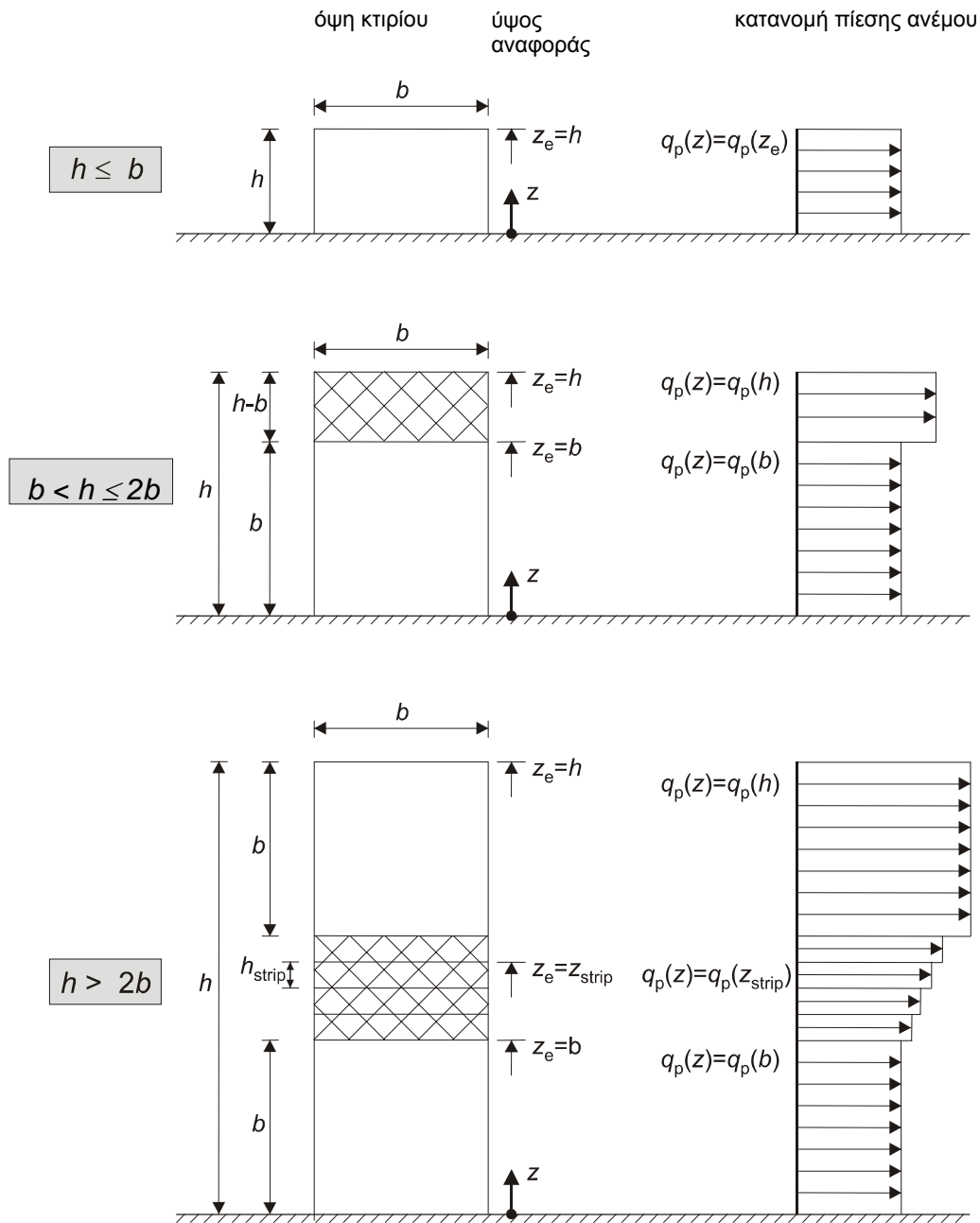
για  $A \leq 1 \text{ m}^2$  είναι  $c_{pe} = c_{pe,1}$

για  $1 \text{ m}^2 < A < 10 \text{ m}^2$  είναι  $c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \log_{10} A$

για  $A \geq 10 \text{ m}^2$  είναι  $c_{pe} = c_{pe,10}$

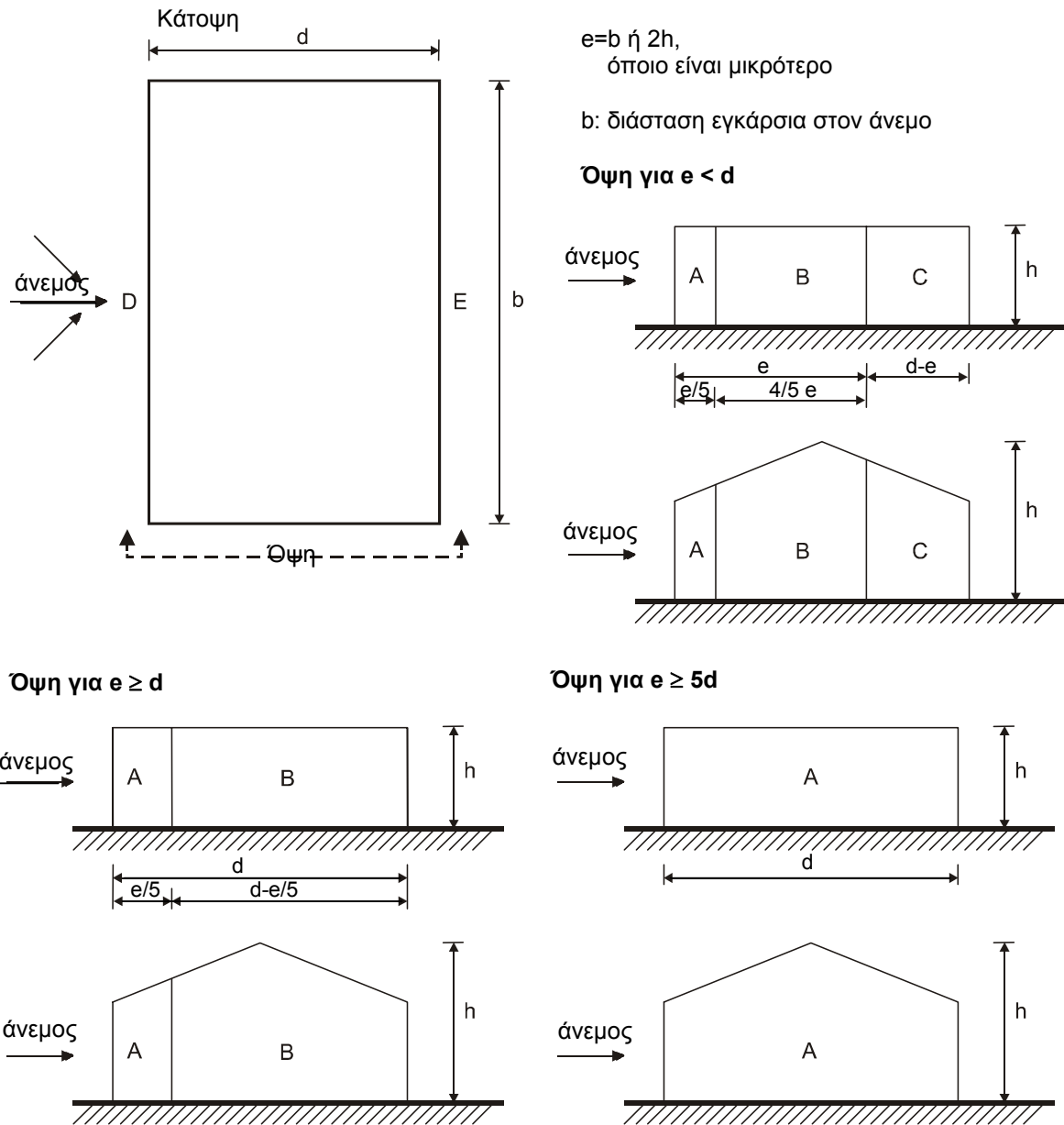
Ως φορτιζόμενη θεωρείται η επιφάνεια, η οποία μεταφέρει στο εξεταζόμενο στοιχείο της κατασκευής τη δράση του ανέμου και προκαλεί την αντίστοιχη καταπόνησή του.

Οι τιμές των συντελεστών  $c_{pe}$  και  $c_{pi}$ , δίνονται από σχετικούς πίνακες για διάφορες κατευθύνσεις του ανέμου.



Σχήμα 2.12 — Ύψος αναφοράς,  $z_e$ , που εξαρτάται από τα  $h$  και  $b$ , και αντιστοιχούσα κατανομή πιέσεων

**A) Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για κατακόρυφους τοίχους κτιρίων με ορθογωνική κάτοψη**



Σχήμα 2.13: Υπόμνημα για κατακόρυφους τοίχους

Οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για τις ζώνες A, B, C, D, και E του σχήματος 2.10, δίνονται στον παρακάτω πίνακα ως συνάρτηση του λόγου  $h/d$  όπου:

-  $h$  είναι το ύψος του κτιρίου και

-  $d$  είναι το μήκος της πλευράς του κτιρίου, η διεύθυνση της οποίας είναι παράλληλη με τη διεύθυνση πνοής του ανέμου.

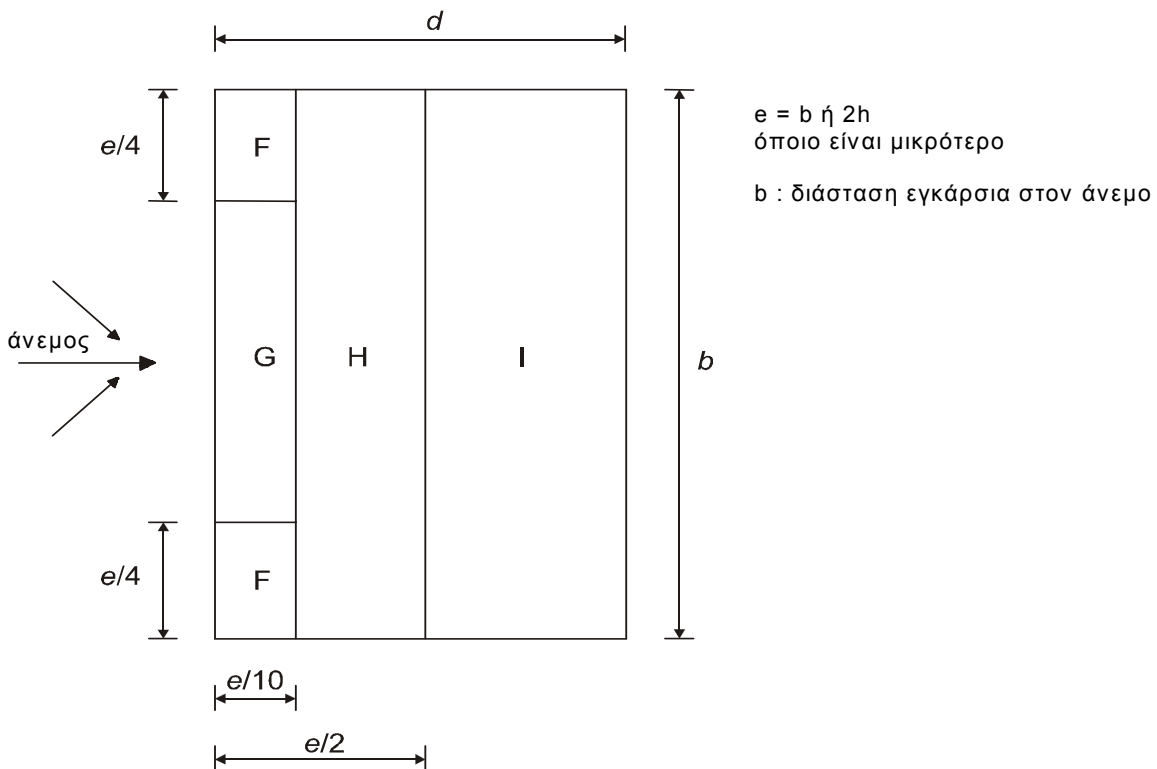
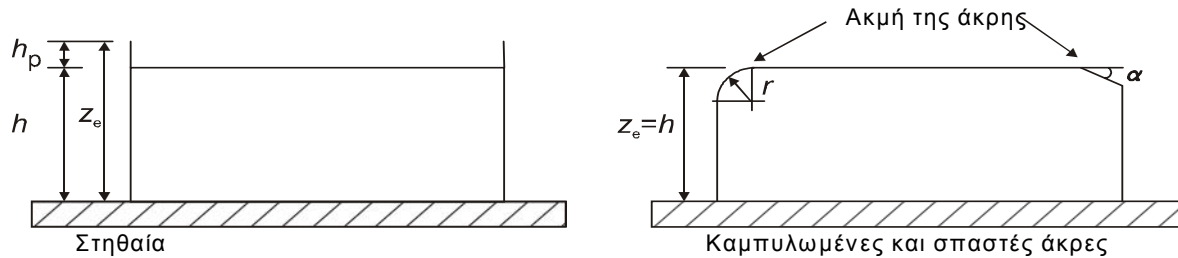


Ενδιάμεσες τιμές μπορούν να προκύψουν με γραμμική παρεμβολή.

Ζώνη	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
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		+0,7	+1,0	-0,3	

Πίνακας 2.2: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για κατακόρυφους τοίχους

**B) Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για οριζόντιες στέγες**



Σχήμα 2.14: Υπόμνημα για οριζόντιες στέγες

Πίνακας 2.3: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για οριζόντιες στέγες

Τύπος στέγης		Ζώνη							
		F		G		H		I	
		$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
Αιχμηρά άκρα		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	□0,2	-0,2
Με στηθαία	$h_p/h=0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	□0,2	-0,2
	$h_p/h=0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	□0,2	-0,2
	$h_p/h=0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	□0,2	-0,2
Καμπυλωμένα άκρα	$r/h = 0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		□0,2	-0,2
	$r/h = 0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		□0,2	-0,2
	$r/h = 0,20$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		□0,2	-0,2
Σπαστά άκρα	□ = 30°	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3		□0,2	-0,2
	□ = 45°	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		□0,2	-0,2
	□ = 60°	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		□0,2	-0,2

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1** Για στέγες με στηθαία ή καμπυλωμένα άκρα, μπορεί να χρησιμοποιείται γραμμική παρεμβολή για ενδιάμεσες τιμές του  $h_p/h$  και  $r/h$ .

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ 2** Για στέγες με σπαστά άκρα, γραμμική παρεμβολή μεταξύ  $\alpha = 30^\circ$ ,  $45^\circ$  και  $\alpha = 60^\circ$  μπορεί να χρησιμοποιείται. Για  $\alpha > 60^\circ$  γραμμική παρεμβολή μεταξύ των τιμών για  $\alpha = 60^\circ$  και των τιμών για επίπεδες στέγες με αιχμηρά άκρα μπορεί να χρησιμοποιείται.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ 3** Στη Ζώνη I, όπου δίνονται θετικές και αρνητικές τιμές, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι δύο τιμές.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ 4** Για το ίδιο το σπαστό άκρο, οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης δίνονται στον Πίνακα 7.4 "Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για δικλινείς στέγες: διεύθυνση ανέμου  $0^\circ$ ", Ζώνη F και G, ανάλογα με την γωνία κλίσης του σπαστού άκρου.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ 5** Για το ίδιο το καμπυλωμένο άκρο, οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης δίνονται με γραμμική παρεμβολή κατά μήκος της καμπύλης, μεταξύ των τιμών στον τοίχο και στη στέγη.

#### 2.4.4.2 Υπολογισμός των φορτίων ανέμου στο έργο της παρούσας εργασίας

Γενικά στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν στους παρακάτω υπολογισμούς:

Για το εν λόγω στάδιο και για την περιοχή που βρίσκεται (Νέο Φάληρο) ισχύουν τα εξής:

- Βασική τιμή ταχύτητας αναφοράς του ανέμου:  $v_{ref,0}=33\text{m/sec}$

- Κατηγορία εδάφους: **III**

- Για ελαφρά κλίση ( $\Phi > 0,05$ ) από τις σχέσεις (2.11) προκύπτει  **$ct=1$**

-  **$\rho=1,25\text{ kg/m}^3$**

- Συντελεστής αιχμής  **$g=3.5$**

- Για κατηγορία εδάφους III, από τον πίνακα 2-1 και τη σχέση (2.10) προκύπτουν: συντελεστής εδάφους  $kT=0.22$ , μήκος τραχύτητας  $z_0=0.3\text{m}$  και ελάχιστο ύψος  $z_{min}=5\text{m}$ .

- Από το σχήμα 2.4, για ύψος κατασκευής  **$h=24,05\text{m}$**  και πλάτος  **$b_{min}=35\text{m}$**  προκύπτει ο δυναμικός συντελεστής  **$c_d \approx 0.93$** , με γραμμική παρεμβολή από το σχήμα 2.4. Επειδή  $c_d < 1,2$ , τα φορτία ανέμου θα υπολογιστούν με την απλή μέθοδο.

Ο υπολογισμός των τελικών πιέσεων που ασκούνται στην οροφή και στους τοίχους του έργου θα γίνει θεωρώντας διεύθυνση πνοής ανέμου  $\theta=0^\circ$  και  $\theta=90^\circ$ , και στη συνέχεια κατά αντιστοιχία θα υπολογιστούν και για τις άλλες δύο συμμετρικές διευθύνσεις,  $\theta=180^\circ$  και  $\theta=270^\circ$ .

##### 2.4.4.2.1 Υπολογισμός εξωτερικής πίεσης ( $w_e$ ) οροφής

#### Προσδιορισμός ταχύτητας αναφοράς $v_b$ και πίεσης αναφοράς $q_b$

Σύμφωνα με τη σχέση (2.6) η ταχύτητα αναφοράς θα είναι:

$$v_b = 1 \cdot 1 \cdot 33\text{m/sec} = 33\text{m/sec}$$

και σύμφωνα με τη σχέση (2.5), η πίεση αναφοράς είναι:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \text{kg/m}^3 \cdot (33 \text{m/sec})^2 = 680,625 \text{N/m}^2$$

**Προσδιορισμός του συντελεστή έκθεσης  $c_e(z_e)$**

Με βάση το σχήμα 2.5, για καμπύλη εδάφους ΙΙΙ και για ύψος  $h=24.05\text{m} \rightarrow c_e(z_e) = 2,4$

**Προσδιορισμός της πίεσης ταχύτητας αιχμής**

$$q_p(z) = c_e(z_e) \cdot q_b = 2,4 \cdot 680,625 = 1,634 \text{kN/m}^2$$

**Προσδιορισμός του συντελεστή εξωτερικής πίεσης  $c_{pe}$  και της εξωτερικής πίεσης  $w_e$ .**

Ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης και κατ' επέκταση η πίεση του ανέμου υπολογίζεται από τη σχέση

$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$ , όπου είναι γνωστό το  $q_p(z_e)$  και μένει να υπολογιστεί ο συντελεστής  $c_{pe}$ , ο οποίος θα υπολογιστεί ξεχωριστά για τις τέσσερις κατευθύνσεις πνοής του ανέμου ( $\theta=0^\circ$ ,  $\theta=90^\circ$ ,  $\theta=180^\circ$  και  $\theta=270^\circ$ ) και για κάθε μέλος με βάση τα παραπάνω σχήματα (2.8) και (2.9).

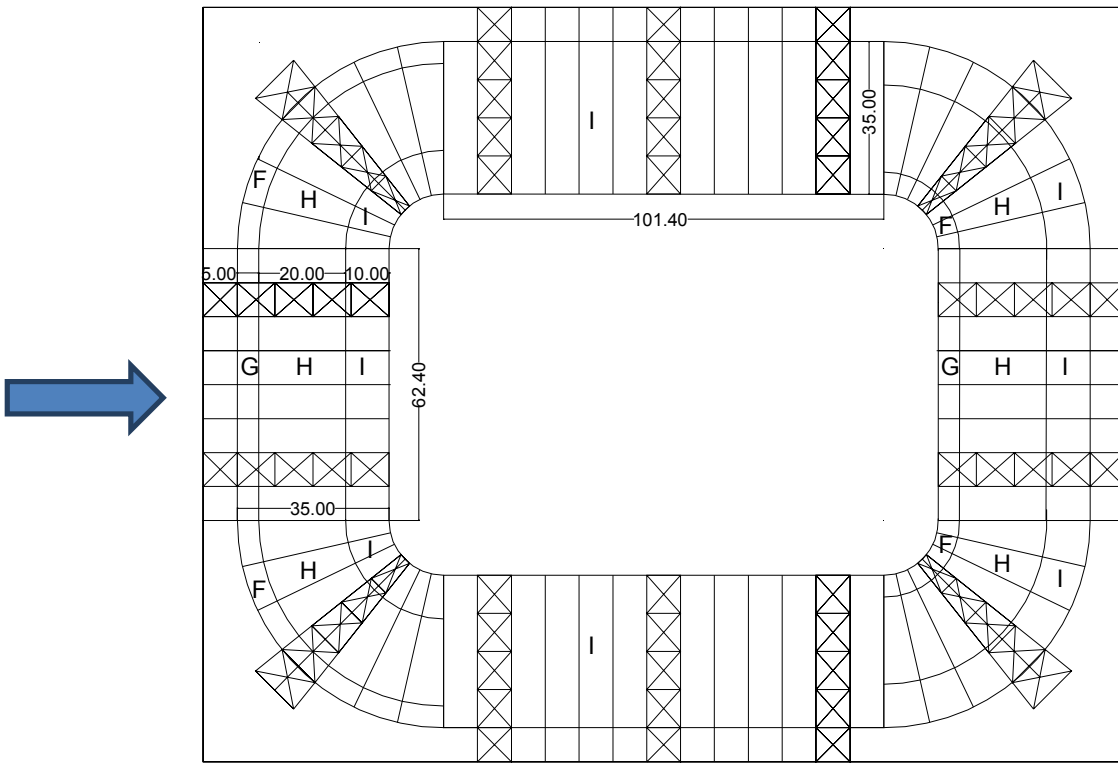
1<sup>η</sup> Περίπτωση: Άνεμος κατά 0<sup>ο</sup>

ΣΤΕΓΗ

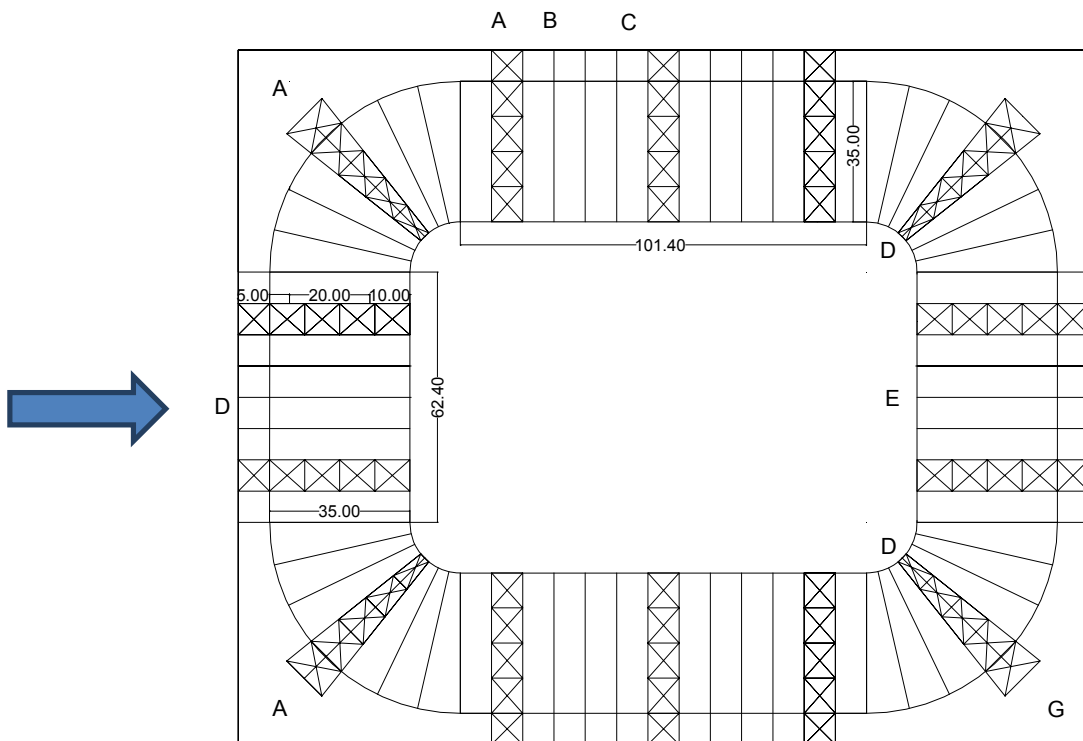
<b>ΑΡΙΣΤΕΡΑ</b>						
	<b>Μήκος (m)</b>	<b>ζώνη</b>	<b>επιφάνεια επιρροής (m<sup>2</sup>)</b>	<b>cpe,10</b>	<b>ολικό φορτίο</b>	<b>KN/m</b>
γωνιακά	5	F	48.88	-1.8	-143.765856	-28.7532
	20	H	125.42	-0.7	-143.455396	-7.17277
	10	I	39.3	-0.2	-12.84324	-1.28432
παράλληλα πλευρικά	5	G	39	-1.2	-76.4712	-15.2942
	20	H	156	-0.7	-178.4328	-8.92164
	10	I	78	-0.2	-25.4904	-2.54904
παράλληλα γωνιακά	5	F	45	-1.8	-132.354	-26.4708
	20	H	152	-0.7	-173.8576	-8.69288
	10	I	59	-0.2	-19.2812	-1.92812

<b>ΔΕΞΙΑ</b>						
	<b>Μήκος (m)</b>	<b>ζώνη</b>	<b>επιφάνεια επιρροής (m<sup>2</sup>)</b>	<b>cpe,10</b>	<b>ολικό φορτίο</b>	<b>KN/m</b>
παράλληλα πλευρικά	5	G	39	-1.2	-76.4712	-15.2942
	20	H	156	-0.7	-178.4328	-8.92164
	10	I	78	-0.2	-25.4904	-2.54904
γωνιακά	5	F	49	-1.8	-144.1188	-28.8238
	20	H	144	-0.7	-164.7072	-8.23536
	10	I	39	-0.2	-12.7452	-1.27452
παράλληλα γωνιακά	5	F	27.6	-1.8	-81.17712	-16.2354
	20	H	140	-0.7	-160.132	-8.0066
	10	I	87	-0.2	-28.4316	-2.84316

<b>ΠΑΝΩ-ΚΑΤΩ</b>						
	<b>Μήκος (m)</b>	<b>ζώνη</b>	<b>επιφάνεια επιρροής (m<sup>2</sup>)</b>	<b>cpe,10</b>	<b>ολικό φορτίο</b>	<b>KN/m</b>
παράλληλα	35	I	273	-0.2	-89.2164	-2.54904



Σχήμα 2.15: Απεικόνιση ζωνών επιρροής οριζόντιων μελών στέγης



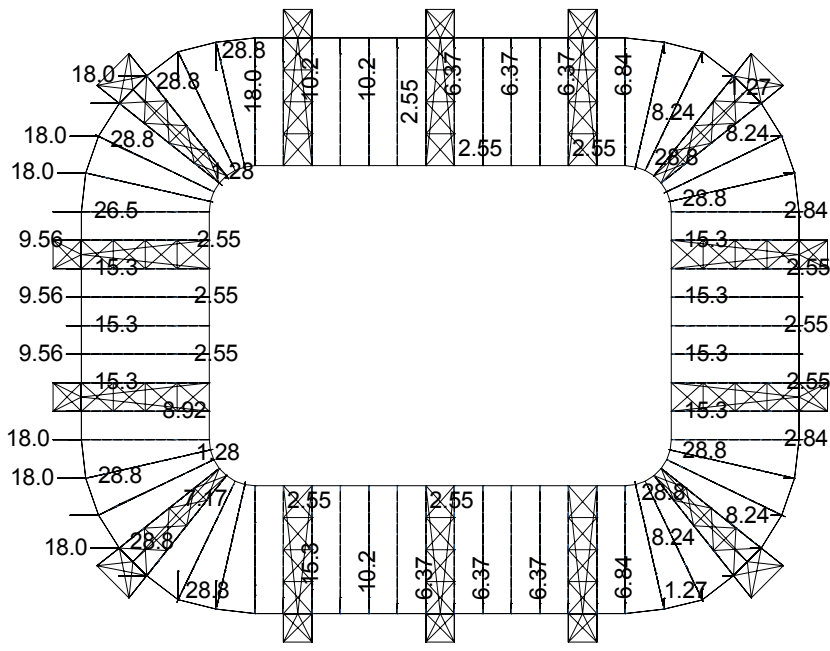
Σχήμα 2.16: Απεικόνιση ζωνών επιρροής κατακόρυφων μελών

## ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΜΕΛΗ

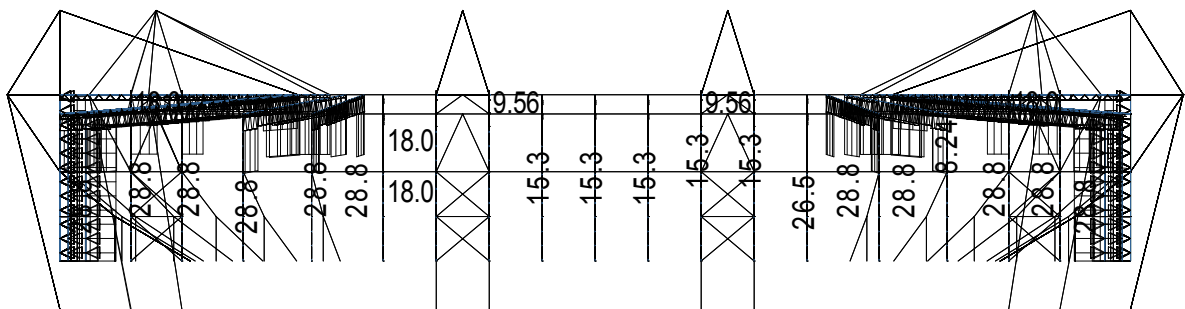
<b>ΑΡΙΣΤΕΡΑ</b>				
	<b>ζώνη</b>	<b>μήκος επιρροης (m)</b>	<b>cpe,10</b>	<b>ολικό φορτίο (kN/m)</b>
παράλληλα πλευρικά	D	7.8	0.8	10.19616
γωνιακά	A	10.464	-1.2	-20.5178112
παράλληλα γωνιακά	A	9.186	-1.2	-18.0119088

<b>Πάνω-κάτω</b>				
	<b>ζώνη</b>	<b>μήκος επιρροης (m)</b>	<b>cpe,10</b>	<b>ολικό φορτίο (kN/m)</b>
παράλληλα πλευρικά	A	7.8	-1.2	-15.29424
	B	7.8	-0.8	-10.19616
	C	7.8	-0.5	-6.3726

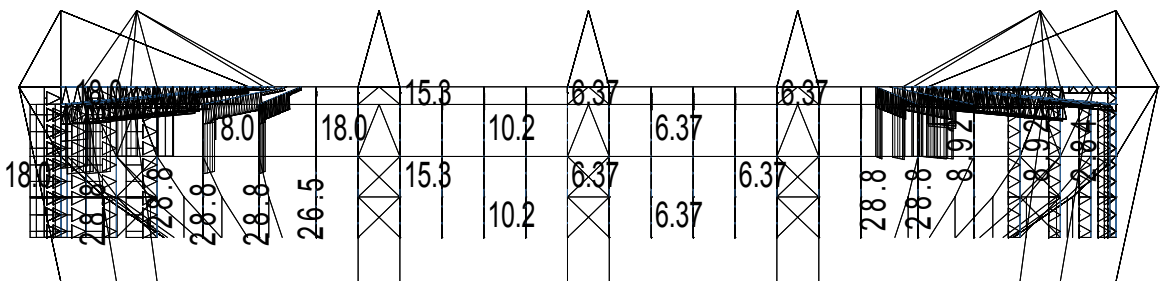
<b>ΔΕΞΙΑ ΠΛΑΙΝΑ</b>				
	<b>ζώνη</b>	<b>μήκος επιρροης (m)</b>	<b>cpe,10</b>	<b>ολικό φορτίο (kN/m)</b>
παράλληλα πλευρικά	E	7.8	-0.4	-5.09808
γωνιακά	E	10.464	-0.4	-6.8392704
παράλληλα γωνιακά	E	9.186	-0.4	-6.0039696



Σχήμα 2.17 : Φορτία ανέμου  $0^\circ$  στα μέλη στέγης



Σχήμα 2.18: Πλάγια όψη σταδίου



Σχήμα 2.19: Εμπρόσθια όψη σταδίου



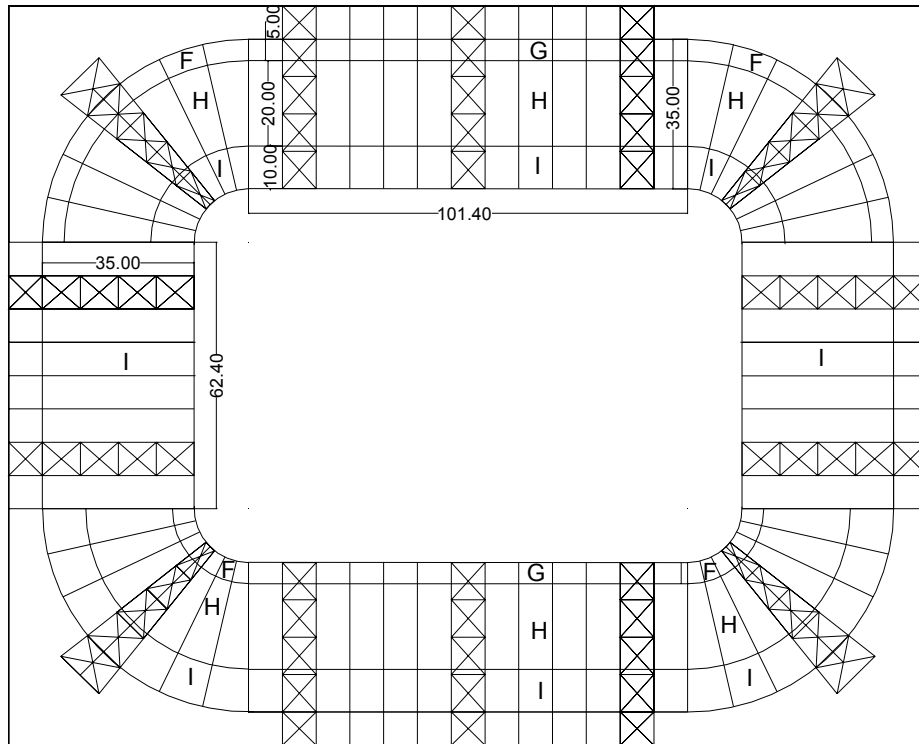
2<sup>η</sup> Περίπτωση: Άνεμος κατά 90°

<b>ΑΡΙΣΤΕΡΑ</b>						
	μηκος	ζώνη	επιφανεια επιρροης (m <sup>2</sup> )	cpe,10	ολικό φορτίο	KN/m
γωνιακά	5	F	48.88	-1.8	-143.765856	-28.7532
	20	H	125.42	-0.7	-143.455396	-7.17277
	10	I	39.3	-0.2	-12.84324	-1.28432
παράλληλα	35	I	273	-0.2	-89.2164	-2.54904

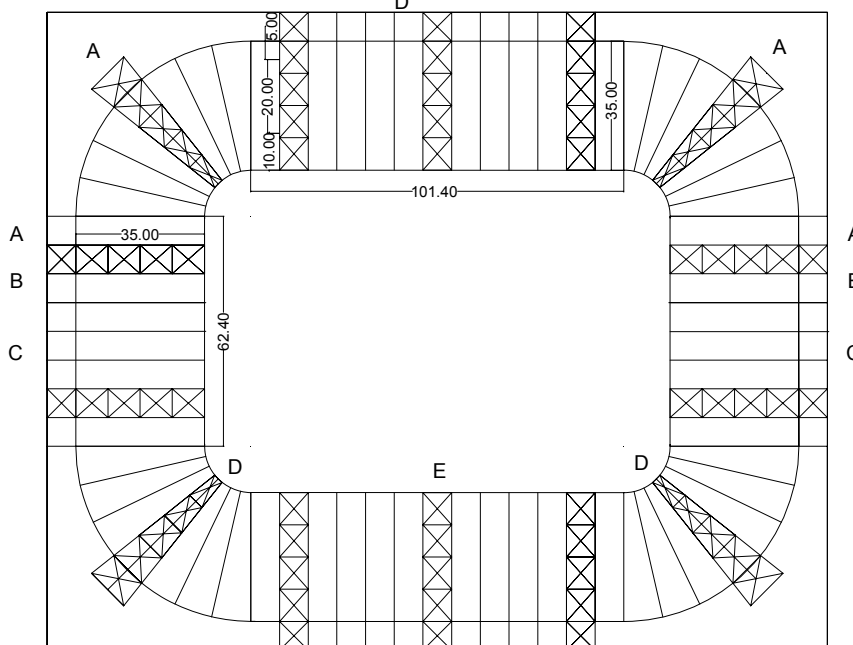
<b>ΔΕΞΙΑ</b>						
	μηκος	ζώνη	επιφανεια επιρροης (m <sup>2</sup> )	cpe,10	ολικό φορτίο	KN/m
γωνιακά	5	F	48.88	-1.8	-143.765856	-28.7532
	20	H	125.42	-0.7	-143.455396	-7.17277
	10	I	39.3	-0.2	-12.84324	-1.28432
παράλληλα	35	I	273	-0.2	-89.2164	-2.54904

<b>ΠΑΝΩ</b>						
	μηκος	ζώνη	επιφανεια επιρροης (m <sup>2</sup> )	cpe,10	ολικό φορτίο	KN/m
παράλληλα	5	G	39	-1.2	-76.4712	-15.2942
	20	H	156	-0.7	-178.4328	-8.92164
	10	I	78	-0.2	-25.4904	-2.54904

<b>ΚΑΤΩ</b>						
	μηκος	ζώνη	επιφανεια επιρροης (m <sup>2</sup> )	cpe,10	ολικό φορτίο	KN/m
παράλληλα	5	G	39	-1.2	-76.4712	-15.2942
	20	H	156	-0.7	-178.4328	-8.92164
	10	I	78	-0.2	-25.4904	-2.54904



Σχήμα 2.20: Απεικόνιση ζωνών επιρροής οριζόντιων μελών στέγης



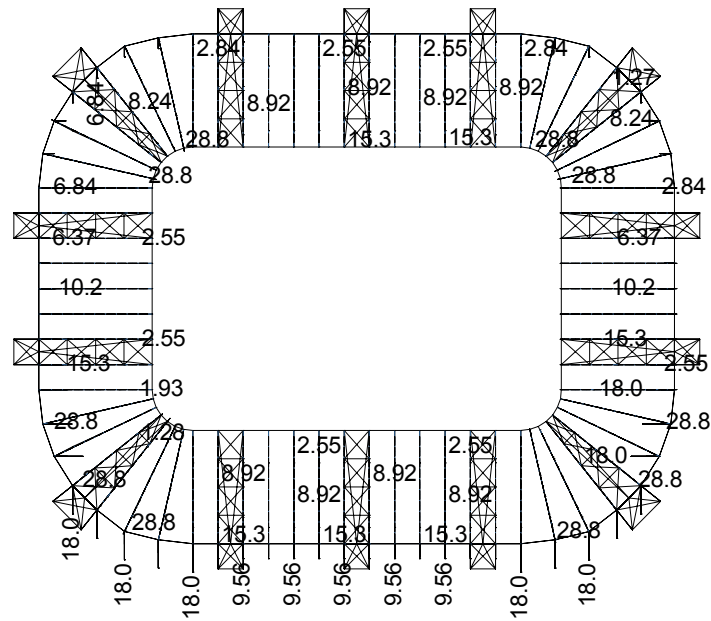
Σχήμα 2.21: Απεικόνιση ζωνών επιρροής κατακόρυφων μελών

## ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΜΕΛΗ

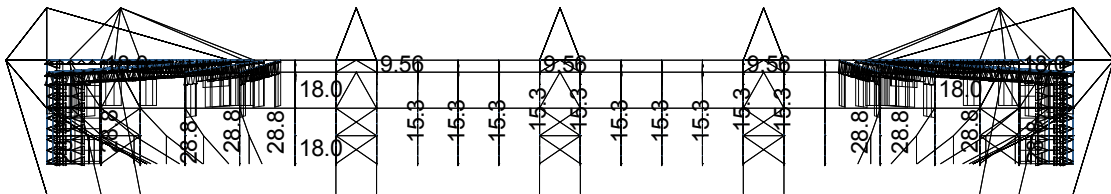
<b>ΠΑΝΩ</b>				
	<b>ζώνη</b>	<b>μήκος επιρροης (m)</b>	<b>cpe,10</b>	<b>ολικό φορτίο (kN/m)</b>
παράλληλα πλευρικά	D	7.8	0.8	10.19616
γωνιακά	A	10.464	-1.2	-20.5178112
παράλληλα γωνιακά	A	9.186	-1.2	-18.0119088

<b>ΑΡΙΣΤΕΡΑ-ΔΕΞΙΑ</b>				
	<b>ζώνη</b>	<b>μήκος επιρροης (m)</b>	<b>cpe,10</b>	<b>ολικό φορτίο (kN/m)</b>
παράλληλα πλευρικά	A	7.8	-1.2	-15.29424
	B	7.8	-0.8	-10.19616
	C	7.8	-0.5	-6.3726

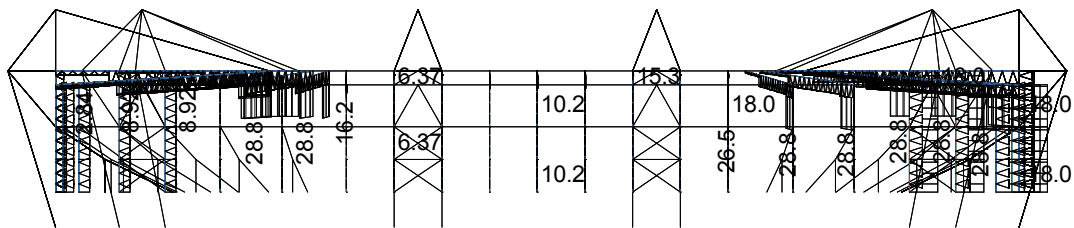
<b>ΚΑΤΩ</b>				
	<b>ζώνη</b>	<b>μήκος επιρροης (m)</b>	<b>cpe,10</b>	<b>ολικό φορτίο (kN/m)</b>
παράλληλα πλευρικά	E	7.8	-0.7	-8.92164
γωνιακά	D	10.464	0.8	13.6785408
παράλληλα γωνιακά	D	9.186	0.8	12.0079392



Σχήμα 2.22: Φορτίο ανέμου 90<sup>0</sup> στα μέλη στέγης

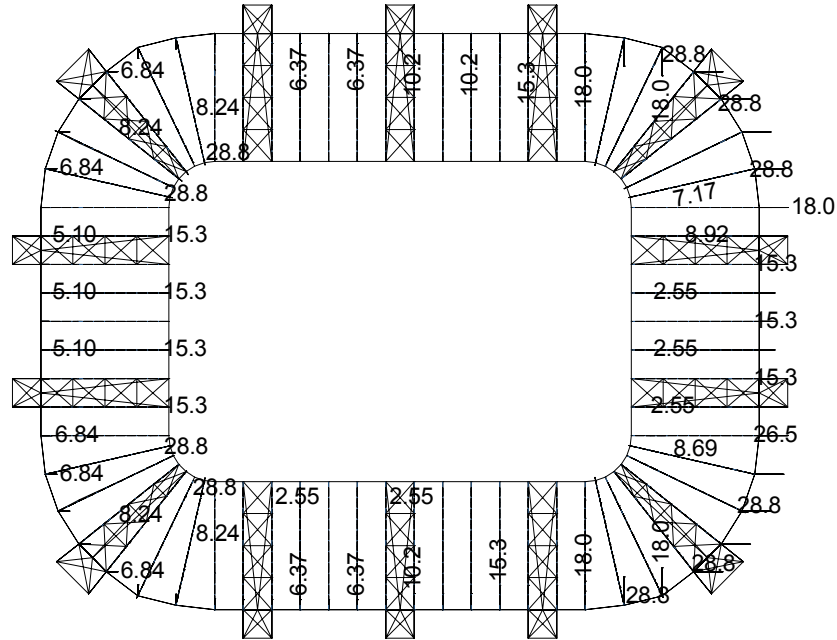


Σχήμα 2.23: Πλάγια όψη σταδίου

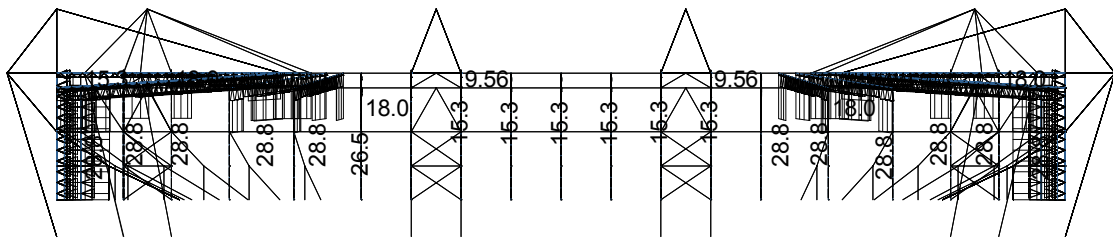


Σχήμα 2.24: Εμπρόσθια όψη σταδίου

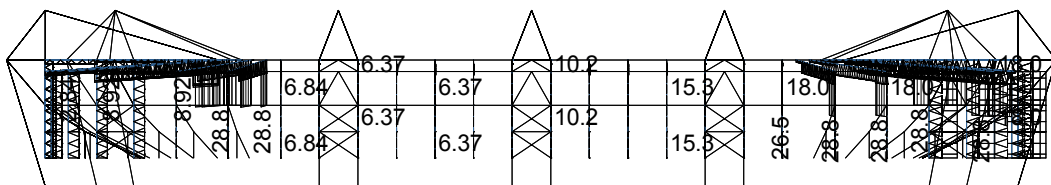
3<sup>η</sup> Περίπτωση: Άνεμος κατά 180°



Σχήμα 2.25: Φορτίο ανέμου 180° στα μέλη στέγης

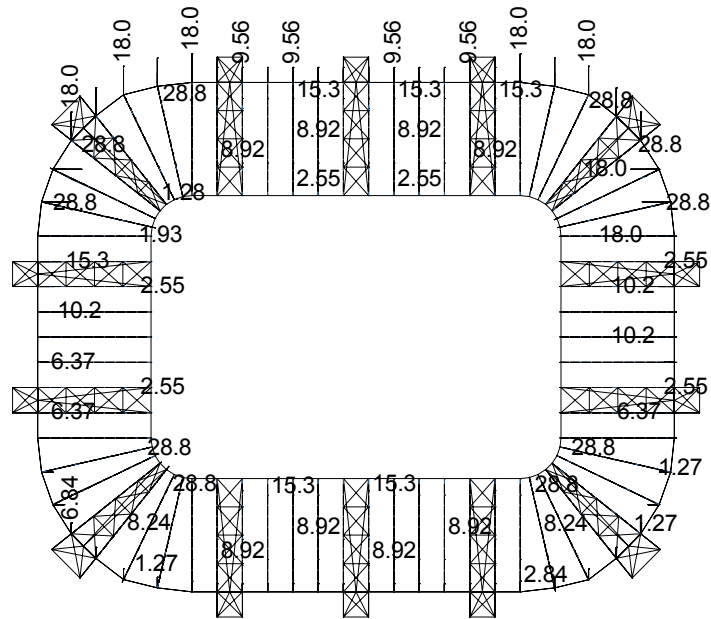


Σχήμα 2.26: Πλάγια όψη σταδίου

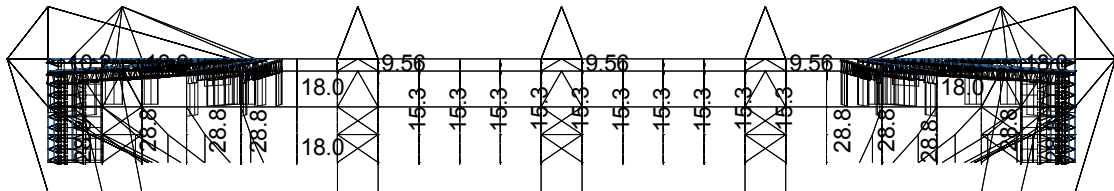


Σχήμα 2.27: Εμπρόσθια όψη σταδίου

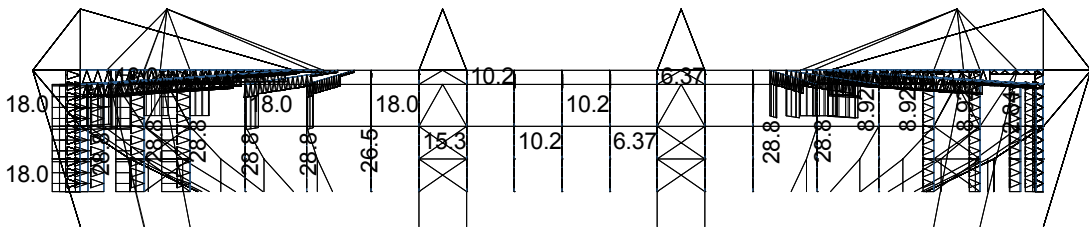
**4<sup>η</sup> Περίπτωση: Άνεμος κατά 270°**



Σχήμα 2.28: Φορτίο ανέμου 270° στα μέλη στέγης



Σχήμα 2.29: Πλάγια όψη σταδίου



Σχήμα 2.30: Εμπρόσθια όψη σταδίου

Κατά αντιστοιχία με τα προηγούμενα και σύμφωνα με τα παραπάνω σχήματα που απεικονίζουν τις φορτίσεις από το πρόγραμμα Sofistik

### 3. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΔΡΑΣΕΩΝ

Στο μέρος 1 του Ευρωκώδικα 1 περιγράφονται οι αρχές και οι απαιτήσεις για την ασφάλεια, τη λειτουργικότητα και την ανθεκτικότητα της κατασκευής με βάση τις οριακές καταστάσεις και τους επιμέρους συντελεστές ασφαλείας.

#### 3.1 Οριακές καταστάσεις

Οριακές καταστάσεις είναι οι καταστάσεις πέραν των οποίων ο φορέας ή τμήμα αυτού δεν ικανοποιεί πλέον τα κριτήρια σχεδιασμού του. Διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Οριακές καταστάσεις αστοχίας: αντιστοιχούν σε κατάρρευση ή άλλου είδους αστοχίες – απώλεια ισορροπίας, μετατροπή σε μηχανισμό, απώλεια ευστάθειας ολόκληρης της κατασκευής ή μέρους της, που θέτουν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές.
- Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας: αντιστοιχούν στην κατάσταση εκείνη πέραν της οποίας δεν ικανοποιούνται τα κριτήρια λειτουργικότητας της κατασκευής λόγω φαινομένων σχετιζόμενα με μεγάλες παραμορφώσεις ή μετακινήσεις που προκαλούν βλάβες στα στοιχεία πλήρωσης, ή ταλαντώσεις κλπ.

Ο σχεδιασμός θα πρέπει να βασίζεται στη χρήση κατάλληλων για τη συγκεκριμένη οριακή κατάσταση προσομοιωμάτων του φορέα και της φόρτισης και πρέπει να ελέγχεται ότι δεν υπάρχει υπέρβαση σε καμία οριακή κατάσταση.

Οι κατασκευές που σχεδιάζονται και εκτελούνται με βάση τον Ευρωκώδικα 1 πρέπει να ικανοποιούν τις εξής θεμελιώδεις απαιτήσεις:

- Να παραμένουν κατάλληλες για τη χρήση για την οποία προορίζονται
- Να παραλαμβάνουν όλες τις δράσεις και τις διάφορες επιδράσεις που πιθανόν να συμβούν κατά τη διάρκεια της ανέγερσης και της χρήσης τους
- Να μην κινδυνεύουν να υποστούν δυσανάλογα μεγάλες βλάβες από συμβάντα όπως εκρήξεις, σεισμούς ή συνέπειες ανθρώπινου λάθους. Η επιλογή κατάλληλων μέτρων και κατάλληλου δομικού συστήματος συμβάλλει αρκετά στην αποφυγή αυτού του κινδύνου.

#### 3.2 Καταστάσεις σχεδιασμού

Οι καταστάσεις σχεδιασμού ενός φορέα για τις οποίες γίνεται έλεγχος επάρκειας σε σχέση με τις προαναφερθείσες οριακές καταστάσεις αστοχίας ή λειτουργικότητας είναι οι ακόλουθες:

- Καταστάσεις σχεδιασμού με διάρκεια, οι οποίες αναφέρονται στις συνθήκες κανονικής χρήσης
- Παροδικές καταστάσεις σχεδιασμού, οι οποίες αναφέρονται σε προσωρινές συνθήκες που επιβάλλονται στο φορέα, π.χ. κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης ή της επισκευής του.
- Τυχηματικές καταστάσεις σχεδιασμού, οι οποίες αναφέρονται σε εξαιρετικές συνθήκες που επιβάλλονται στο φορέα, π.χ. πυρκαγιά, έκρηξη, πρόσκρουση.

- Καταστάσεις σχεδιασμού έναντι σεισμού, που αναφέρονται σε συνθήκες οι οποίες επιβάλλονται στο φορέα, όταν αυτός εκτίθεται σε σεισμικά γεγονότα.

Οι δράσεις που καταπονούν την προς μελέτη κατασκευή με τη μορφή συνδυασμών και για τις παραπάνω καταστάσεις σχεδιασμού είναι:

Μόνιμα φορτία: α) ίδιο βάρος κατασκευής G

β) βάρος επικαλύψεων

γ) ίδιο βάρος πλάκας σκυροδέματος

Κινητά φορτία: α) φορτία χιονιού S

β) φορτία ανέμου W (W<sub>0</sub>, W<sub>90</sub>, W<sub>180</sub>, W<sub>270</sub>)

γ) θερμοκρασιακά φορτία

δ) κινητό φορτίο ανθρώπων (θεατών)

Φορτία σεισμού E

### 3.3 Συνδυασμοί Δράσεων

Προκειμένου να ελεγχθεί η επάρκεια της κατασκευής στις οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας, χρησιμοποιούνται οι συνδυασμοί δράσεων όπως ορίζει το Μέρος 1 του Ευρωκώδικα 1. Οι δράσεις που δεν μπορούν να συμβούν ταυτόχρονα, λόγω φυσικών αιτιών, δεν πρέπει να θεωρούνται στον ίδιο συνδυασμό.

#### ***Συνδυασμοί στην οριακή κατάσταση αστοχίας***

- Για καταστάσεις διαρκείας ή παροδικές

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- Για τυχηματικές καταστάσεις

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \psi_{1,1} (\text{ή } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- Για καταστάσεις σεισμού

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

#### ***Συνδυασμοί στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας***

- Χαρακτηριστικός (σπάνιος) συνδυασμός:



$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} "+" P "+" Q_{k,1} "+" \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- Συχνός συνδυασμός:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} "+" P "+" \psi_{1,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- Οιονεί μόνιμος συνδυασμός:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} "+" P "+" \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Πρέπει να γίνει σαφές, ότι η μορφή των συνδυασμών είναι συμβολική και το σύμβολο του αθροίσματος δεν σημαίνει αλγεβρική ή γεωμετρική άθροιση, αλλά απλώς επαλληλία δράσεων (δηλαδή ταυτόχρονη συνύπαρξη των διαφόρων δράσεων).

Τα σύμβολα στους συνδυασμούς αυτούς είναι τα εξής:

“+” σημαίνει “επαλληλία με”

$G_{kj}$  είναι η χαρακτηριστική τιμή των μονίμων δράσεων

$P_k$  είναι η χαρακτηριστική τιμή της προέντασης

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

$Q_{k,i}$  είναι η χαρακτηριστική τιμή των λοιπών ταυτόχρονων μεταβλητών δράσεων  $i$

$A_d$  είναι η τιμή σχεδιασμού της τυχηματικής δράσης

$A_{Ed}$  είναι η τιμή σχεδιασμού της σεισμικής δράσης

$\gamma_{Gj}$  είναι ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για τη μόνιμη δράση  $j$

$\gamma_p$  είναι ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για την προένταση

$\gamma_{Qi}$  είναι ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για τη μεταβλητή δράση  $i$

$\psi_{0,i}, \psi_{1,i}, \psi_{2,i}$  είναι συντελεστές συνδυασμού των μεταβλητών δράσεων (βλ. Πίνακα)

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).

Οι τιμές των συντελεστών αυτών για την περίπτωση ελέγχου αστοχίας ενός κτιρίου ή μέλους του είναι:

i. Καταστάσεις διαρκείας και παροδικές

- Για μόνιμες δράσεις:

$$\gamma_{G,sup} = 1,35 \text{ (δυσμενής επιρροή)}$$

$$\gamma_{G,inf} = 1,00 \text{ (ευμενής επιρροή)}$$

- Για μεταβλητές δράσεις:

$$\gamma_Q = 1,50 \text{ (ή 0 για την περίπτωση ευμενούς επιρροής)}$$

ii. Καταστάσεις τυχηματικές, γενικώς  $\gamma_A = 1,0$

Ως δυσμενής επιρροή των μόνιμων δράσεων χαρακτηρίζεται η περίπτωση κατά την οποία τα αποτελέσματα των μόνιμων δράσεων προσαυξάνουν τα αντίστοιχα αποτελέσματα των μεταβλητών δράσεων.

Οι συντελεστές συνδυασμού  $\psi_i$  των μεταβλητών δράσεων, χρησιμοποιούνται προκειμένου να ληφθεί υπόψη η μειωμένη πιθανότητα για ταυτόχρονη συνύπαρξη των πλέον δυσμενών τιμών των διάφορων ανεξάρτητων δράσεων.

Στον πίνακα 3.1 δίνονται οι τιμές των συντελεστών  $\psi_i$  του EN 1990, ενώ στον πίνακα 3.2 δίνονται οι συντελεστές  $\psi_2$  σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000.

Δράσεις	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Επιβαλλόμενα φορτία σε κτίρια			
Κατηγορία A: κατοικίες	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία B: γραφεία	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία C: αίθουσες συναθροίσεων	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία D: καταστήματα	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία E: αποθηκευτικοί χώροι	1,0	0,9	0,8
Φορτία κυκλοφορίας οχημάτων σε κτίρια			
Κατηγορία F: βάρος οχημάτων $\leq 30\text{kN}$	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία G: $30\text{kN} < \text{βάρος οχημάτων} \leq 160\text{kN}$	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία H: στέγες	0	0	0
Φορτία χιονιού σε κτίρια	0,6	0,2	0
Φορτία ανέμου σε κτίρια	0,6	0,2	0
Θερμοκρασία σε κτίρια (εκτός πυρκαγιάς)	0,6	0,5	0

Πίνακας 3.1: Συντελεστές συνδυασμού δράσεων  $\psi_i$  κατά το EN 1990

1.	Φορτία χρήσης	
1.1	Κατοικίες, γραφεία, καταστήματα ξενοδοχεία, νοσοκομεία	0,3
1.2	Χώροι συχνής συνάθροισης προσώπων (σχολεία, θέατρα, στάδια κλπ)	0,5
1.3	Χώροι στάθμευσης	0,6
1.4	Χώροι μακροχρόνιας αποθήκευσης (βιβλιοθήκες, αρχεία, αποθήκες, δεξαμενές, σιλό, κλπ)	0,8
1.5	Μη βατές στέγες	0,0
2.	Άνεμος	0,0
3.	Χιόνι (μόνο σε μη βατές στέγες)	0,3
	Χιόνι (βατές στέγες)	0,0

Πίνακας 3.2: Συντελεστές συνδυασμού δράσεων  $\psi_2$  κατά τον ΕΑΚ 2000**Συνδυασμοί δράσεων στην παρούσα εργασία****A) Οριακή κατάσταση αστοχίας**

1. Επικρατέστερο το χιόνι

$$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_0) + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \Delta T \quad (\text{Load Case 501})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_{90}) + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \Delta T \quad (\text{Load Case 502})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_{180}) + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \Delta T \quad (\text{Load Case 503})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_{270}) + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \Delta T \quad (\text{Load Case 504})$$

2. Επικρατέστερο το κινητό φορτίο των ανθρώπων

$$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_0) + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \Delta T \quad (\text{LC 511})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_{90}) + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \Delta T \quad (\text{LC 512})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_{180}) + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \Delta T \quad (\text{LC 513})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_{270}) + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \Delta T \quad (\text{LC 514})$$

3. Επικρατέστερος ο άνεμος

$$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot W_0 + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \Delta T \quad (\text{LC 521})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot W_{90} + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \Delta T \quad (\text{LC 522})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 W_{180} + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \Delta T \quad (\text{LC 523})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 W_{270} + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \Delta T \quad (\text{LC 524})$$

4. Επικρατέστερο το θετικό θερμοκρασιακό φορτίο

$$1.35 \cdot G + 1.5 \Delta T^+ + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_0) \quad (\text{LC 531})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 \Delta T^+ + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_{90}) \quad (\text{LC 532})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 \Delta T^+ + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_{180}) \quad (\text{LC 533})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 \Delta T^+ + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_{270}) \quad (\text{LC 534})$$

5. Επικρατέστερο το αρνητικό θερμοκρασιακό φορτίο

$$1.35 \cdot G + 1.5 \Delta T^- + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_0) \quad (\text{LC 541})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 \Delta T^- + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_{90}) \quad (\text{LC 542})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 \Delta T^- + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_{180}) \quad (\text{LC 543})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 \Delta T^- + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_{270}) \quad (\text{LC 544})$$

### **B) Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας**

1. Επικρατέστερο το χιόνι

$$1.00 \cdot G + 1.0 \cdot S + 1.0 \cdot 0.6 \cdot (W_0) + 1.0 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \Delta T \quad (\text{Load Case 601})$$

$$1.00 \cdot G + 1.0 \cdot S + 1.0 \cdot 0.6 \cdot (W_{90}) + 1.0 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \Delta T \quad (\text{Load Case 602})$$

$$1.00 \cdot G + 1.0 \cdot S + 1.0 \cdot 0.6 \cdot (W_{180}) + 1.0 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \Delta T \quad (\text{Load Case 603})$$

$$1.00 \cdot G + 1.0 \cdot S + 1.0 \cdot 0.6 \cdot (W_{270}) + 1.0 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \Delta T \quad (\text{Load Case 604})$$

2. Επικρατέστερο το κινητό φορτίο των ανθρώπων

$$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_0) + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \Delta T \quad (\text{LC 611})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_{90}) + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \Delta T \quad (\text{LC 612})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_{180}) + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \Delta T \quad (\text{LC 613})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_{270}) + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \Delta T \quad (\text{LC 614})$$

### 3. Επικρατέστερος ο άνεμος

$$1.35 \cdot G + 1.5 W_0 + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \Delta T \quad (\text{LC 621})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 W_{90} + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \Delta T \quad (\text{LC 622})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 W_{180} + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \Delta T \quad (\text{LC 623})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 W_{270} + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot \Delta T \quad (\text{LC 624})$$

### 4. Επικρατέστερο το θετικό θερμοκρασιακό φορτίο

$$1.35 \cdot G + 1.5 \Delta T^+ + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_0) \quad (\text{LC 631})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 \Delta T^+ + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_{90}) \quad (\text{LC 632})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 \Delta T^+ + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_{180}) \quad (\text{LC 633})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 \Delta T^+ + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_{270}) \quad (\text{LC 634})$$

### 5. Επικρατέστερο το αρνητικό θερμοκρασιακό φορτίο

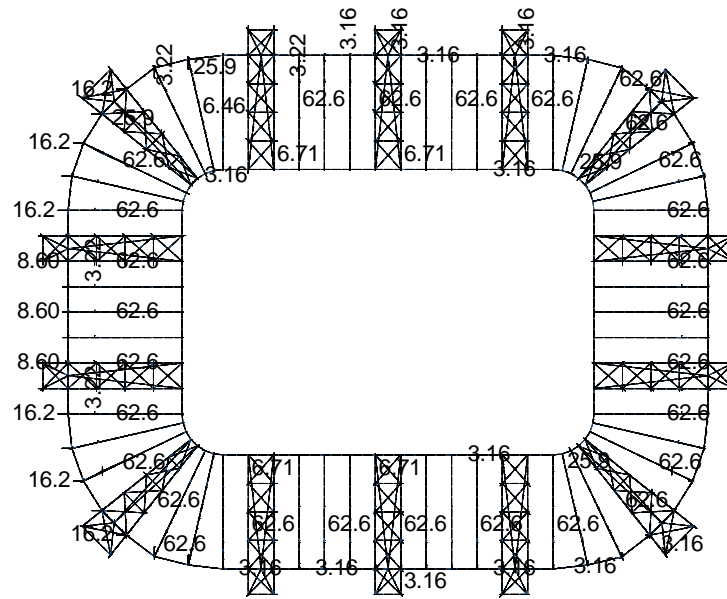
$$1.35 \cdot G + 1.5 \Delta T^- + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_0) \quad (\text{LC 641})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 \Delta T^- + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_{90}) \quad (\text{LC 642})$$

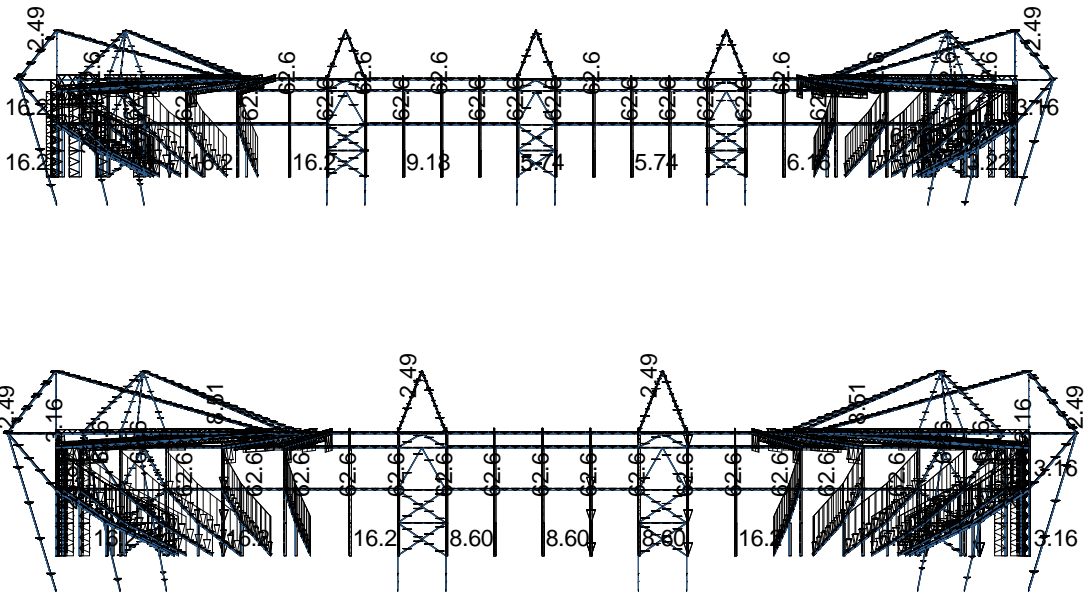
$$1.35 \cdot G + 1.5 \Delta T^- + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_{180}) \quad (\text{LC 643})$$

$$1.35 \cdot G + 1.5 \Delta T^- + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_{\text{ανθρ}} + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot 0.6 \cdot (W_{270}) \quad (\text{LC 644})$$

Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται ενδεικτικά τα εντατικά μεγέθη  $M$ ,  $N$  και  $V$  για το συνδυασμό φορτίσεων 501 (Οριακή κατάσταση αστοχίας με επικρατέστερο το φορτίο του χιονιού).



Εικόνα 3.1: Φορτία φορέα για το συνδυασμό φορτίσεων 501 (κάτοψη)

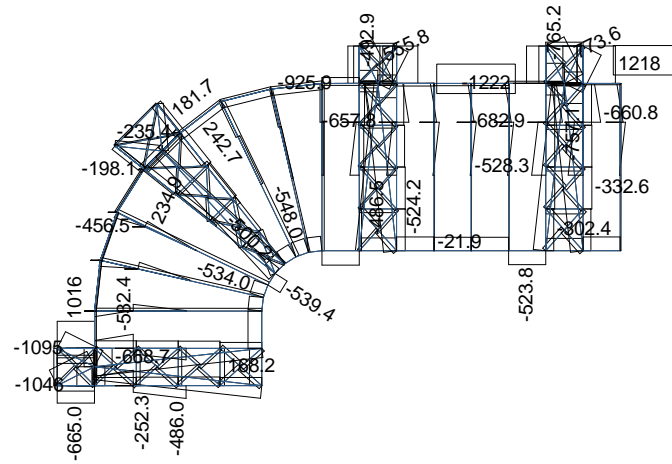


Εικόνα 3.2: Φορτία φορέα για το συνδυασμό φορτίσεων 501 (όψη)

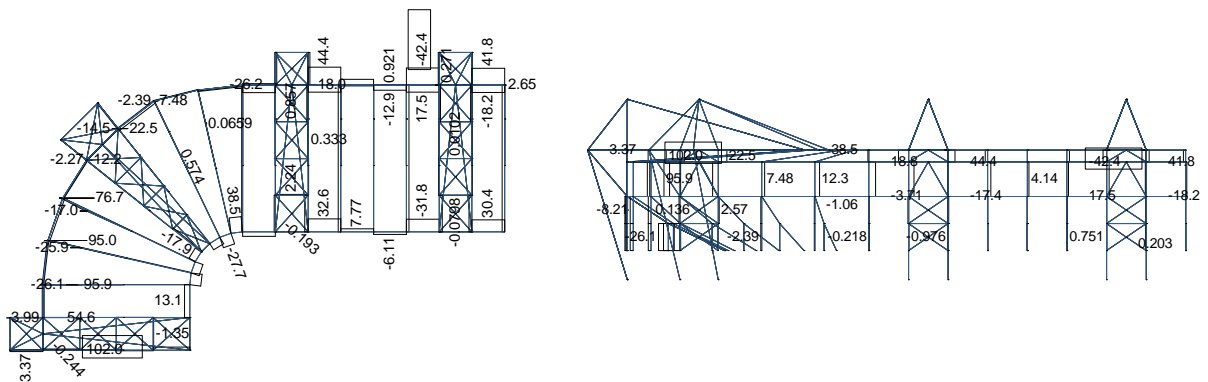








Εικόνα 3.7: Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων για το συνδυασμό μέγιστα σεισμού 611



Εικόνα 3.8: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων για το συνδυασμό μέγιστα σεισμού 611 (κάτοψη και όψη)

## 4. ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ

### 4.1 Εισαγωγή

Ως σεισμός, ορίζεται η εδαφική δόνηση που γεννιέται κατά την παροδική διατάραξη της μηχανικής ισορροπίας των γήινων πετρωμάτων σ' ορισμένο μέρος της στερεάς Γης, από φυσικά αίτια που βρίσκονται στο εσωτερικό της. Σύμφωνα με τη δεσπόζουσα σήμερα επιστημονική αντίληψη, την παροδική διατάραξη αποτελεί η σχετική ολίσθηση των δύο πλευρών του σεισμογόνου ρήγματος και τις εδαφικές δονήσεις αποτελούν τα σεισμικά κύματα που παράγονται στο ρήγμα, διαδίδονται στο εσωτερικό της Γης και φθάνουν στην επιφάνεια της όπου γίνονται αισθητά, προκαλούν βλάβες και καταγράφονται από τους σειсмоγράφους.

### Αδρανειακές δυνάμεις

Κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, το έδαφος και επομένως και η βάση μιας κατασκευής που είναι θεμελιωμένη επ' αυτού, κινείται με εναλλασσόμενο πρόσημο, περί μιας αρχικής θέσης ηρεμίας. Τα κτίρια αποκρίνονται στις ανακυκλιζόμενες αυτές μετακινήσεις που επιβάλλονται από το έδαφος, αντιστρατεύοντας την ακαμψία τους και τις αντοχές τους σε κάμψη, διάτμηση, θλίψη κλπ. Επομένως 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. Αναφερόμενοι στις αναπτυσσόμενες αδρανειακές δυνάμεις, εννοούμε ουσιαστικά τις δυνάμεις εκείνες οι οποίες τείνουν να διατηρήσουν την αρχική κατάσταση της κατασκευής έναντι της εναλλασσόμενης κίνησης του εδάφους στο οποίο εδράζεται αυτή.

### Σεισμικές κινήσεις εδάφους

Οι σεισμικές κινήσεις του εδάφους συνίστανται σε δύο οριζόντιες (σεισμός κατά  $x$ , σεισμός κατά  $y$ ), κάθετες μεταξύ τους συνιστώσες οι οποίες μπορεί να έχουν οποιοδήποτε προσανατολισμό ως προς τη κατασκευή καθώς και μία κατακόρυφη (σεισμός κατά  $z$ ). Οι τρεις αυτές συνιστώσες θεωρείται ότι είναι στατικώς ανεξάρτητες μεταξύ τους.

### 4.2 Μέθοδοι υπολογισμού σεισμικής απόκρισης

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό προβλέπεται η εφαρμογή δύο μεθόδων γραμμικού υπολογισμού της σεισμικής απόκρισης:

#### Δυναμική φασματική μέθοδος

Η δυναμική φασματική μέθοδος περιλαμβάνει πλήρη ιδιομορφική ανάλυση του συστήματος και υπολογισμό της μέγιστης σεισμικής απόκρισης για κάθε ιδιομορφή ταλάντωσης. Εφαρμόζεται χωρίς περιορισμούς σε όλες τις περιπτώσεις κατασκευών που καλύπτει ο ΕΑΚ2000. Με τη μέθοδο αυτή υπολογίζονται οι πιθανές ακραίες τιμές τυχόντος μεγέθους απόκρισης με τετραγωνική επαλληλία των ιδιομορφικών τιμών του υπόψη μεγέθους. Κατά την εφαρμογή της αρκεί η θεώρηση ενός μόνον προσανατολισμού των δύο οριζόντιων (και κάθετων μεταξύ τους) συνιστωσών του σεισμού. Για  $q=1$  χρησιμοποιείται το ελαστικό φάσμα  $\Phi_e(T)$  (με εισαγωγή της κατάλληλης τιμής του συντελεστή θεμελίωσης  $\theta$ ), ενώ για  $q>1$  χρησιμοποιείται το φάσμα σχεδιασμού  $\Phi_d(T)$ .

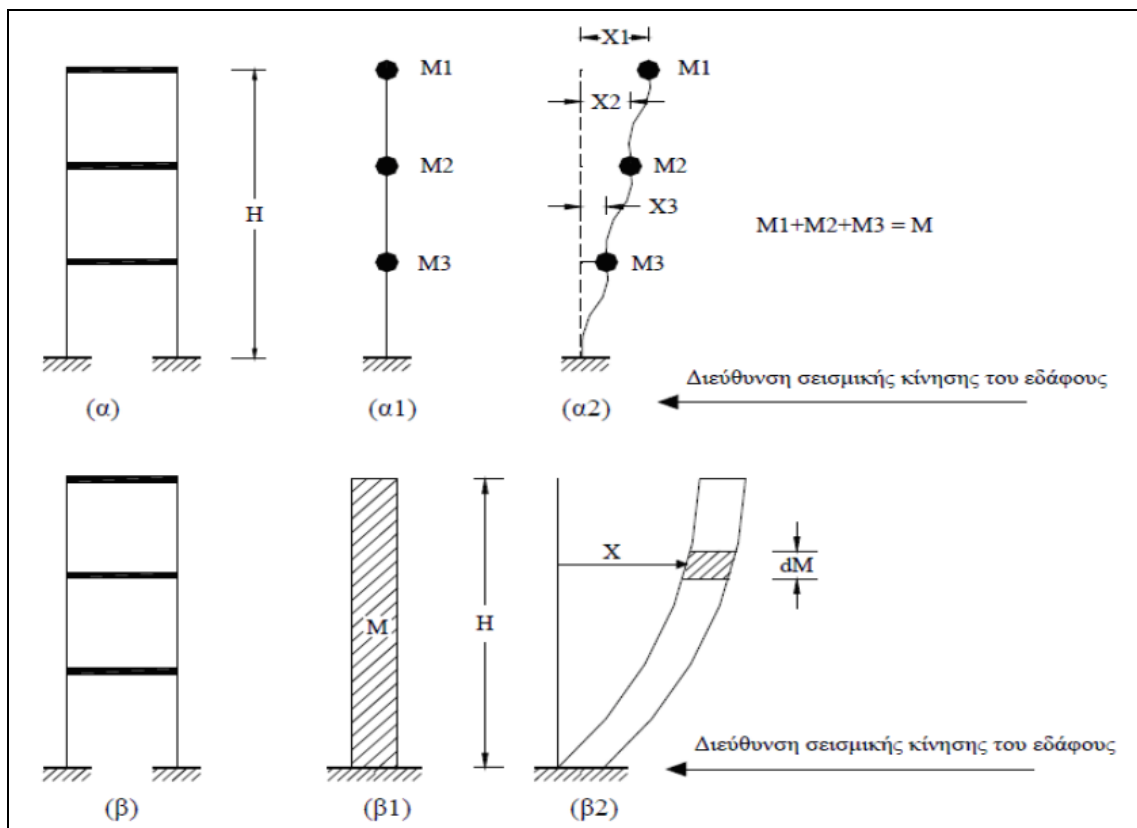
**Απλοποιημένη φασματική μέθοδος (Ισοδύναμη στατική μέθοδος)**

Στηρίζεται σε προσεγγιστική μόνον θεώρηση της θεμελιώδους ιδιομορφής ταλάντωσης για κάθε διεύθυνση υπολογισμού (μονο-ιδιομορφική μέθοδος), χωρίς να απαιτεί ιδιομορφική ανάλυση. Η απλοποίηση αυτή επιτρέπει τον άμεσο υπολογισμό της σεισμικής απόκρισης με τη βοήθεια «ισοδύναμων» σεισμικών δυνάμεων, οι οποίες εφαρμόζονται σαν στατικά φορτία επάνω στην κατασκευή.

Στην παρούσα εργασία εφαρμόστηκε η Δυναμική Φασματική Μέθοδος.

**4.3 Προσδιορισμός Δεδομένων Φασματικής Ανάλυσης**

Οι δύο προαναφερθείσες μέθοδοι υιοθετούν την παραδοχή συγκεντρωμένων μαζών στα άκρα των δοκών και των υποστυλωμάτων μιας κατασκευής (διακριτά συστήματα). Στην πραγματικότητα όμως, η μάζα κάθε κατασκευής είναι ομοιόμορφα κατανομημένη κατά μήκος των στοιχείων της (συνεχή συστήματα) και το φαινόμενο του σεισμού έχει δυναμικό χαρακτήρα. Επομένως η θεώρηση συνεχούς συστήματος και η μελέτη μέσω δυναμικής ανάλυσης λαμβάνοντας υπόψη και τις ελαστοπλαστικές ιδιότητες του υλικού όπου αυτές εμφανίζονται, αποτελεί την πλέον ορθή και ακριβή προσέγγιση αλλά και ταυτόχρονα μια επίπονη διαδικασία που στην πράξη εφαρμόζεται μόνο σε πρωτεύοντα έργα πολιτικού μηχανικού.



Σχήμα 4.1: Διακριτά και συνεχή συστήματα

**Σεισμικός συνδυασμός δράσεων κατά ΕΑΚ**

Ο σεισμός σχεδιασμού αποτελεί τυχηματική δράση, τα εντατικά μεγέθη της οποίας συνδυάζονται με εκείνα των λοιπών δράσεων ως εξής:

$$S_d = G_k + P_\infty \pm E + \sum \psi_2 \cdot Q_{k,i}$$

Στην σχέση αυτή χρησιμοποιείται ο ακόλουθος συμβολισμός εντατικών μεγεθών:

- $G_k$ : μόνιμες δράσεις με την χαρακτηριστική τους τιμή
- $P_\infty$ : προένταση μετά τις χρόνιες απώλειες
- $E$ : δράση από τον σεισμό σχεδιασμού
- $Q_{k,i}$ : αποτελεί την χαρακτηριστική τιμή της μεταβλητής δράσεως  $i$
- $\psi_2$ : είναι η τιμή του συντελεστή συνδυασμού για μακροχρόνιες ("οιονεί μόνιμες") μεταβλητές δράσεις.

Δράσεις καταναγκασμού, όπως οι προκαλούμενες από μεταβολή και διαφορά θερμοκρασίας, συστολή ξήρανσης του σκυροδέματος και υποχωρήσεις στηρίξεων, δεν χρειάζεται να συμπεριλαμβάνονται συνδυασμό με σεισμό. Επίσης, ο σεισμός δεν συνδυάζεται με άλλες τυχηματικές δράσεις (π.χ. κρούσεις οχημάτων κλπ).

Ο συντελεστής  $\psi_2$  επιλέγεται από τον παρακάτω πίνακα:

A/A		Φορτία Χρήσης	$\psi_2$
<b>1</b>	1.1	Κατοικίες, γραφεία, καταστήματα, ξενοδοχεία, νοσοκομεία	0.3
	1.2	Χώροι συχνής συνάθροισης προσώπων (σχολεία, θέατρα, στάδια κλπ.)	0.5
	1.3	Χώροι στάθμευσης	0.6
	1.4	Χώροι μακροχρόνιας αποθήκευσης (βιβλιοθήκες, αρχεία, αποθήκες, δεξαμενές, σιλό, υδατόπυργοι κλπ.)	0.8
	1.5	Μη βατές στέγες	0.0
<b>2</b>		Άνεμος	0.0
<b>3</b>		Χιόνι (μόνο σε μη βατές στέγες)	0.3

Πίνακας 4.1: Συντελεστές συνδυασμού δράσεων  $\psi_2$

Στην παρούσα εργασία, οι σεισμικοί συνδυασμοί που επιλέχθηκαν για την επίλυση είναι:

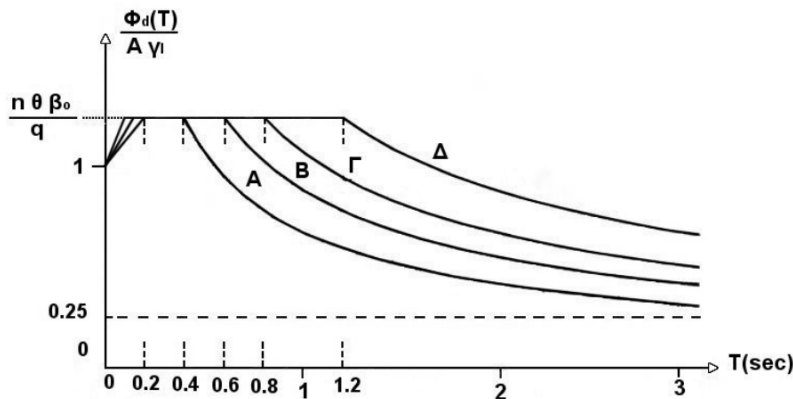
$$\text{Σεισμός κατά } \chi: S_d = G + 0.3 Q \pm E_x \pm 0.30 E_y \pm 0.30 E_z$$

$$\text{Σεισμός κατά } \gamma: S_d = G + 0.3 Q \pm E_y \pm 0.30 E_x \pm 0.30 E_z$$

**Φάσμα Σχεδιασμού**

Οριζόντιες Συνιστώσες

Τα φάσματα σχεδιασμού των οριζόντιων συνιστωσών του σεισμού καθορίζονται από τις παρακάτω εξισώσεις:



4.2: Φάσμα σχεδιασμού:  $\frac{\Phi_d(T)d}{A \cdot \gamma_1}$  [Σχεδίαση για  $\frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} = 2.5/2.0$ ]

**Περιοχή Περιόδων**

**Εξίσωση**

$0 \leq T < T_1$        $\Phi_d(T) = A \cdot \gamma_1 \left[ 1 + \frac{T}{T_1} \cdot \left( \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} - 1 \right) \right]$

$T_1 \leq T \leq T_2$        $\Phi_d(T) = A \cdot \gamma_1 \cdot \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q}$

$T_2 < T$        $\Phi_d(T) = A \cdot \gamma_1 \cdot \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} (T_2 / T)^{2/3}$

όπου:

- A = α · g μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση του εδάφους
- γ<sub>1</sub> συντελεστής σπουδαιότητας του κτιρίου
- q συντελεστής συμπεριφοράς της κατασκευής
- η διορθωτικός συντελεστής για ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης ≠ 5%,
- θ συντελεστής επιρροής της θεμελίωσης και εξαρτάται γενικά από το βάθος και τη δυσκαμψία της θεμελίωσης.
- T<sub>1</sub> και T<sub>2</sub> χαρακτηριστικές περίοδοι του φάσματος .Κατασκευή με T < T<sub>1</sub> η κατασκευή θεωρείται δύσκαμπτη ενώ για T > T<sub>2</sub> θεωρείται εύκαμπτη.

-  $\beta_0 = 2.5$  συντελεστής φασματικής ενίσχυσης

-  $\eta$  διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης που εκφράζει την αυξομείωση της επιρροής του ιξώδους στην ελαστική περιοχή της συμπεριφοράς, όταν το ποσοστό της κρίσιμης απόσβεσης είναι διάφορο του 5% και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2 + \zeta}} \geq 0,7$$

#### Κατακόρυφες Συνιστώσες

Το φάσμα της κατακόρυφης συνιστώσας καθορίζεται από τις εξισώσεις με τις εξής μεταβολές:

- αντί της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης  $A$  χρησιμοποιείται η αντίστοιχη κατακόρυφη συνιστώσα  $A_v = 0.70 \cdot A$ .
- αντί του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  χρησιμοποιείται ο συντελεστής  $q_v = 0.50q \geq 1$
- η τιμή του συντελεστή θεμελίωσης  $\theta$  λαμβάνεται πάντοτε ίση με 1.0.

#### Κατάταξη εδάφους

Από άποψη σεισμικής επικινδυνότητας τα εδάφη κατατάσσονται σε πέντε κατηγορίες Α, Β, Γ, Δ, και Χ που περιγράφονται στον ακόλουθο πίνακα.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Α	Βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος, με την προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση
	Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλυοαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70μ.
Β	Στρώσεις πολύ σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μικρότερου των 70μ.
	Εντόνως αποσθρωμένα βραχώδη ή εδάφη που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη.
	Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ.
Γ	Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70μ.
	Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικά πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ.
Δ	Ιλυοαργιλικά εδάφη μικρής αντοχής σε πάχος μεγαλύτερο των 5μ.
	Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλασιμότητας συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10μ.
Χ	Χαλαρά λεπτόκοκκα αμμοϊλιώδη εδάφη υπό τον υδάτινο ορίζοντα, που ενδέχεται να ρευστοποιηθούν (εκτός αν ειδική μελέτη αποκλείσει τέτοιο κίνδυνο, ή γίνει βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων)
	Εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα.
	Απότομες κλιτείες καλυπτόμενες με προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων.
	Χαλαρά κοκκώδη ή μαλακά ιλυοαργιλικά εδάφη, εφόσον έχει αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνα από άποψη δυναμικής συμπεκνώσεως ή απώλειας αντοχής.
	Εδάφη κατηγορίας Γ με επικινδύνως μεγάλη κλίση.

Πίνακας 4.2: Κατηγορίες Εδάφους

Ανάλογα με την κατηγορία του εδάφους προκύπτουν οι χαρακτηριστικές περίοδοι του φάσματος σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα:

Κατηγορία εδάφους	Α	Β	Γ	Δ
T <sub>1</sub>	0.10	0.15	0.20	0.20
T <sub>2</sub>	0.40	0.60	0.80	1.20

Πίνακας 4.3: Τιμές Χαρακτηριστικών Περιόδων T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> (sec)

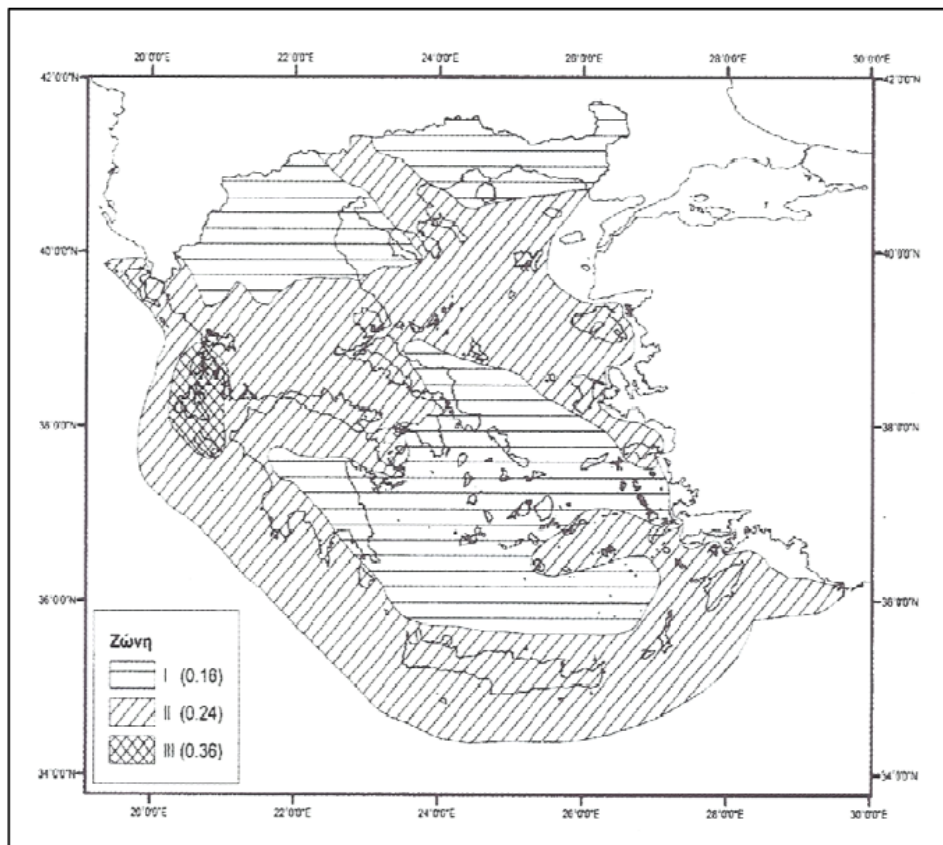
Η κατηγορία εδάφους της περιοχής που βρίσκεται το κτίριο είναι Β, και επομένως οι χαρακτηριστικές περίοδοι είναι: T<sub>1</sub> = 0.15sec και T<sub>2</sub> = 0.60sec.

**ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ – ΕΛΑΦΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ**

Η σεισμική δράση σε κάθε ζώνη χαρακτηρίζεται από την επιτάχυνση τουεδάφους  $a_{gR}$ , η οποία αντιστοιχεί σε έδαφος κατηγορίας Α. Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, για τις ζώνες Ζ1, Ζ2 και Ζ3 υιοθετούνται οι ζώνες Ι, ΙΙ και ΙΙΙ του ΕΑΚ2003 και οι τιμές  $a_{gR}/g$  παίρνουν τις αντίστοιχες τιμές  $\alpha = A/g$  του ΕΑΚ2003, όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα.

Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας	I	II	III
$\alpha$	0.16	0.24	0.36

Πίνακας 4.4: Σεισμική επιτάχυνση εδάφους  $A=\alpha \cdot g$  (g: επιτάχυνση βαρύτητας)



Σχήμα 4.2: Απεικόνιση ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας στην Ελλάδα, με βάση τον ΕΑΚ 2000

Η τιμή αναφοράς  $agR$  της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης για έδαφος κατηγορίας Α, αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς  $TNCR = 475$  έτη, όπου  $TNCR$  είναι η περίοδος επανάλιψης της σεισμικής δράσης που ικανοποιεί το κριτήριο της μη-κατάρρευσης (η περίοδος επανάλιψης  $TNCR$  καθορίζεται από την πιθανότητα μη υπέρβασης  $PNCR$  σε 50 χρόνια). Για διαφορετικές περιόδους επανάλιψης ορίζεται συντελεστής σπουδαιότητας  $\gamma I$  και η επιτάχυνση σχεδιασμού για έδαφος Α προκύπτει από τη σχέση:

$$ag = \gamma I \square agR$$



**Κατηγορία Σπουδαιότητας**

Τα κτίρια κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες σπουδαιότητας, ανάλογα με τον κίνδυνο που συνεπάγεται για τον άνθρωπο και τις κοινωνικοοικονομικές συνέπειες που μπορεί να έχει ενδεχόμενη καταστροφή τους ή διακοπή της λειτουργίας τους. Σε κάθε κατηγορία σπουδαιότητας αντιστοιχεί μία τιμή του συντελεστή σπουδαιότητας  $\gamma_1$  σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα:

Κατηγορία Σπουδαιότητας		$\gamma_1$
Σ1	Κτίρια μικρής σπουδαιότητας ως προς την ασφάλεια του κοινού (π.χ. αγροτικά οικήματα, υπόστεγα, στάβλοι κλπ).	0.85
Σ2	Συνήθη κτίρια κατοικιών και γραφείων, βιομηχανικά κτίρια, ξενοδοχεία κλπ.	1.00
Σ3	Εκπαιδευτικά κτίρια, κτίρια δημόσιων συναθροίσεων, αίθουσες αεροδρομίων και γενικώς κτίρια στα οποία ευρίσκονται πολλοί άνθρωποι κατά μεγάλο μέρος του 24ώρου.	1.15
	Κτίρια τα οποία στεγάζουν εγκαταστάσεις πολύ μεγάλης οικονομικής σημασίας (π.χ. κτίρια που στεγάζουν υπολογιστικά κέντρα, ειδικές βιομηχανίες) κλπ.	
Σ4	Κτίρια των οποίων η λειτουργία, τόσο κατά τη διάρκεια του σεισμού, όσο και μετά τους σεισμούς, είναι ζωτικής σημασίας, όπως κτίρια τηλεπικοινωνίας, παραγωγής ενέργειας, νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, κτίρια δημόσιων επιτελικών υπηρεσιών.	1.30
	Κτίρια που στεγάζουν έργα μοναδικής καλλιτεχνικής αξίας (π.χ. μουσεία κλπ).	

Πίνακας 4.5: Συντελεστές Σπουδαιότητας

Το γήπεδο Καραϊσκάκη ανήκει στην κατηγορία Σ3, επομένως ο συντελεστής σπουδαιότητας είναι  $\gamma_1=1.15$ .

**Συντελεστής Συμπεριφοράς  $q$**

Ο συντελεστής συμπεριφοράς εισάγει την μείωση των σεισμικών επιταχύνσεων της πραγματικής κατασκευής λόγω μετελαστικής συμπεριφοράς, σε σχέση με τις επιταχύνσεις που προκύπτουν υπολογιστικά σε απεριόριστα ελαστικό σύστημα.

Μέγιστες τιμές του  $q$  δίνονται στον πίνακα 4-6 ανάλογα με το είδος του υλικού κατασκευής και τον τύπο του δομικού συστήματος. Οι τιμές αυτές ισχύουν υπό την βασική προϋπόθεση ότι για το σεισμό σχεδιασμού έχουμε έναρξη διαρροής του συστήματος (πρώτη πλαστική άρθρωση) και με την περαιτέρω αύξηση της φόρτισης είναι δυνατός ο σχηματισμός αξιόπιστου μηχανισμού διαρροής με την δημιουργία ικανού αριθμού πλαστικών αρθρώσεων (πλάστιμη συμπεριφορά).

ΥΛΙΚΟ	ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	q
1. ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	α. Πλαίσια ή μικτά συστήματα	3.50
	β. Συστήματα τοιχωμάτων που λειτουργούν σαν πρόβολοι	3.00
	γ. Συστήματα στα οποία τουλάχιστον το 50% της συνολικής μάζας βρίσκεται στο ανώτερο 1/3 του ύψους.	2.00
2.ΧΑΛΥΒΑΣ	α. Πλαίσια	4.00
	β. Δικτυωτοί σύνδεσμοι με εκκεντρότητα	4.00
	γ. Δικτυωτοί σύνδεσμοι χωρίς εκκεντρότητα:	
	• διαγώνιοι σύνδεσμοι	3.00
	• σύνδεσμοι τύπου V ή L	1.50
• σύνδεσμοι τύπου K (όπου επιτρέπεται)	1.00	
3. ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ	α. Με οριζόντια διαζώματα	1.50
	β. Με οριζόντια και κατακόρυφα διαζώματα	2.00
	γ. Οπλισμένη (κατακόρυφα και οριζόντια)	2.50
4. ΞΥΛΟ	α. Πρόβολοι	1.00
	β. Δοκοί - Τόξα - Κολλητά πετάσματα	1.50
	γ. Πλαίσια με κοχλιώσεις	2.00
	δ. Πετάσματα με ηλώσεις	3.00

Πίνακας 4.6: Μέγιστες Τιμές Συντελεστή Συμπεριφοράς q

Το στέγαστρο του γηπέδου είναι από χάλυβα και έχει δικτυωτούς συνδέσμους. Για τη διεύθυνση εγκάρσια στο πλαίσιο ο συντελεστής συμπεριφοράς είναι  $q=3$  αφού υπάρχουν διαγώνιοι σύνδεσμοι χωρίς εκκεντρότητα. Για τη διεύθυνση στο επίπεδο του πλαισίου, στην απορρόφηση ενέργειας του δικτύωματος συμμετέχουν και οι εφελκόμενες και οι θλιβόμενες διαγώνιοι, και για να μην αναπτύξουν πλαστικές παραμορφώσεις λαμβάνεται  $q=1$ .

Τελικά ο συντελεστής συμπεριφοράς λαμβάνεται  $q=1.00$  και για τις δυο διευθύνσεις του στεγάστρου.

#### Συντελεστής Θεμελίωσης $\theta$

Ο συντελεστής θεμελίωσης  $\theta$  εξαρτάται γενικά από το βάθος και την δυσκαμψία της θεμελίωσης. Εκφράζει την ευνοϊκή επιρροή της δύσκαμπτης θεμελίωσης όχι μόνο στην μείωση της έντασης της σεισμικής δόνησης από την επιφάνεια του εδάφους προς το θεμέλιο, αλλά και στη μείωση των κινδύνων διαφορικών καθιζήσεων λόγω δυναμικής διατμητικής συνίζησης χαλαρών εδαφών, αύξηση της αξιοπιστίας, κλπ. Σε εδάφη κατηγορίας Α ή Β ο συντελεστής  $\theta$  λαμβάνει την τιμή 1.0, επομένως για την μελέτη του κτιρίου θεωρήθηκε  $\theta=1.0$ .

#### Ποσοστό Απόσβεσης $\zeta$

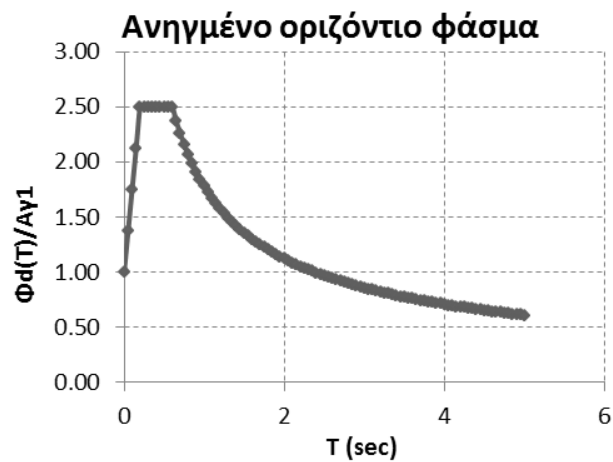
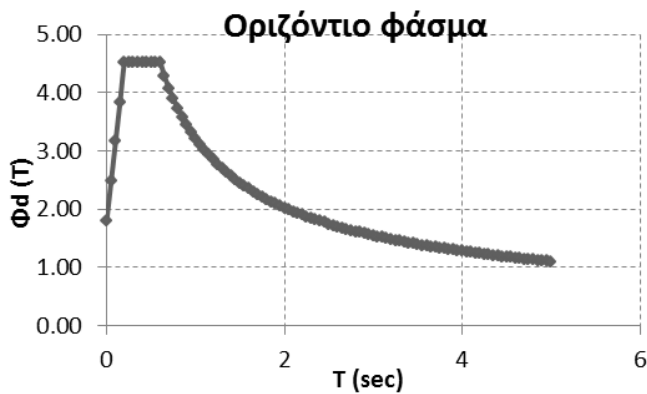
Οι τιμές του ποσοστού απόσβεσης δίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Είδος Κατασκευής		ζ%
Μεταλλική:	με συγκολλήσεις	2
	με κοχλιώσεις	4
Σκυρόδεμα:	άοπλο	3
	οπλισμένο	5
	προεντεταμένο	4
Τοιχοποιία:	οπλισμένη	6
	διαζωματική	5
Ξύλινη:	κολλητή	4
	κοχλιωτή	4
	ηλωτή	5

Πίνακας 4.7: Τιμές ποσοστού απόσβεσης ζ.

Για μεταλλική κατασκευή με συγκολλήσεις προκύπτει η απόσβεση της κατασκευής ζ=4%.  
Για συντελεστή απόσβεσης ζ=4% προκύπτει ο διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης:

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2+4}} = 1,08$$



Περίοδος			$T > T_c$	$\Phi_d(T)$	$\Phi_d(T)/A_{\gamma_1}$	$T > T_c$	$\Phi_d(T)$	$\Phi_d(T)/A_{\gamma_1}$
$T(\text{sec})$	$\Phi_d(T)$	$\Phi_d(T)/A_{\gamma_1}$						
<b><math>0 &lt; T &lt; T_B = 0,2 \text{ sec}</math></b>			1.45	2.506	1.388	3.25	1.463	0.811
0	1.805	1.000	1.5	2.450	1.357	3.3	1.448	0.802
0.05	2.482	1.375	1.55	2.397	1.328	3.35	1.434	0.794
0.1	3.159	1.750	1.6	2.347	1.300	3.4	1.420	0.787
0.15	3.836	2.125	1.65	2.299	1.274	3.45	1.406	0.779
0.2	4.513	2.500	1.7	2.254	1.249	3.5	1.393	0.771
<b><math>T_B &lt; T &lt; T_c = 0,6 \text{ sec}</math></b>			1.75	2.211	1.225	3.55	1.379	0.764
0.25	4.513	2.500	1.8	2.169	1.202	3.6	1.367	0.757
0.3	4.513	2.500	1.85	2.130	1.180	3.65	1.354	0.750
0.35	4.513	2.500	1.9	2.093	1.159	3.7	1.342	0.743
0.4	4.513	2.500	1.95	2.057	1.139	3.75	1.330	0.737
0.45	4.513	2.500	2	2.022	1.120	3.8	1.318	0.730
0.5	4.513	2.500	2.05	1.989	1.102	3.85	1.307	0.724
0.55	4.513	2.500	2.1	1.958	1.084	3.9	1.296	0.718
0.6	4.513	2.500	2.15	1.927	1.068	3.95	1.285	0.712
<b><math>T &gt; T_c = 0,6 \text{ sec}</math></b>			2.2	1.898	1.051	4	1.274	0.706
0.65	4.278	2.370	2.25	1.870	1.036	4.05	1.263	0.700
0.7	4.072	2.256	2.3	1.842	1.021	4.1	1.253	0.694
0.75	3.889	2.154	2.35	1.816	1.006	4.15	1.243	0.689
0.8	3.725	2.064	2.4	1.791	0.992	4.2	1.233	0.683
0.85	3.578	1.982	2.45	1.766	0.979	4.25	1.223	0.678
0.9	3.444	1.908	2.5	1.743	0.965	4.3	1.214	0.673
0.95	3.322	1.840	2.55	1.720	0.953	4.35	1.205	0.667
1	3.210	1.778	2.6	1.698	0.941	4.4	1.196	0.662
1.05	3.107	1.722	2.65	1.676	0.929	4.45	1.187	0.657
1.1	3.013	1.669	2.7	1.656	0.917	4.5	1.178	0.652
1.15	2.925	1.620	2.75	1.635	0.906	4.55	1.169	0.648
1.2	2.843	1.575	2.8	1.616	0.895	4.6	1.161	0.643
1.25	2.766	1.533	2.85	1.597	0.885	4.65	1.152	0.638
1.3	2.695	1.493	2.9	1.579	0.875	4.7	1.144	0.634
1.35	2.628	1.456	2.95	1.561	0.865	4.75	1.136	0.629
1.4	2.565	1.421	3	1.543	0.855	4.8	1.128	0.625
			3.05	1.526	0.846	4.85	1.120	0.621
			3.1	1.510	0.837	4.9	1.113	0.616
			3.15	1.494	0.828	4.95	1.105	0.612
			3.2	1.478	0.819	5	1.098	0.608

#### 4.4 Σεισμικά Φορτία - Ιδιομορφές Φορέα

Στη δυναμική ανάλυση προσδιορίστηκαν οι ιδιομορφές του κτιρίου με αύξουσα σειρά τιμής ιδιοσυχνότητας. Οι ιδιομορφές είναι ανεξάρτητες της φόρτισης και εξαρτώνται μόνο από το μητρώο μάζας [m] και το μητρώο ακαμψίας της κατασκευής [K].

Με βάση τον ΕΑΚ για κάθε συνιστώσα της σεισμικής διέγερσης λαμβάνεται υποχρεωτικά υπόψη ένας αριθμός ιδιομορφών, έως ότου το άθροισμα των δρυσών ιδιομορφικών μαζών  $\Sigma M_i$  φθάσει στο 90% της συνολικής ταλαντούμενης μάζας  $M$  του συστήματος σε αυτή τη διεύθυνση. Αν σε ειδικές περιπτώσεις κατασκευών (π.χ. με πολύ μεγάλη ανομοιομορφία δυσκαμψιών) το παραπάνω όριο δεν επιτυγχάνεται μέχρι την ιδιομορφή με ιδιοπερίοδο  $T=0,03 \text{ sec}$ , τότε η συνεισφορά των υπολοίπων ιδιομορφών λαμβάνεται υπόψη προσεγγιστικά, πολλαπλασιάζοντας τις τελικές τιμές των μεγεθών έντασης και μετακίνησης με τον αυξητικό παράγοντα  $M/\Sigma M_i$ . Οι ιδιομορφές με ιδιοπερίοδο  $T \geq 0,20 \text{ sec}$  λαμβάνονται πάντοτε υπόψη.

Επειδή η χρήση των φασμάτων δίνει μέγιστες τιμές, οι οποίες προφανώς δεν συμβαίνουν ταυτόχρονα και αφετέρου δεν έχουν κατ' ανάγκη το ίδιο πρόσημο, οι συμμετοχές των ιδιομορφών σε κάποιο μέγεθος  $X$  συνδυάζονται με έναν εκ των παρακάτω τρόπων:

- SRSS: Square Root of the Sum of Squares

$$X = \sqrt{X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_k^2}$$

Όπου:

$k$ : Αριθμός των ιδιομορφών που λαμβάνονται υπόψη ( $k < n$ )

$X_i$ : Συμμετοχή της  $i$  ιδιομορφής στο μέγεθος  $X$

- CQC: Complete Quadratic Combination

Στη φασματική ανάλυση που έτρεξε το SOFISTIK η σεισμική απόκριση υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο SRSS.

Στην ανάλυση του κτιρίου ελήφθησαν υπόψη οι πρώτες 100 ιδιομορφές με ιδιοπερίοδο  $T \geq 0,8 \text{ sec}$ , με συνολικό ποσοστό δρυσας μάζας  $\Sigma M_x = 21,1\%$ ,  $\Sigma M_y = 16,8\%$  και  $\Sigma M_z = 10,7\%$ .

Ενδεικτικά, δοκιμάστηκαν και οι 500 πρώτες ιδιομορφές για να φτάσουμε το 75% της ενεργής μάζας κατά  $x$  και κατά  $y$ , αλλά δεν προέκυψαν σημαντικές διαφορές στα αποτελέσματα, επομένως κρίθηκε σκόπιμο να παρουσιαστούν παρακάτω οι 100 πρώτες ιδιομορφές.

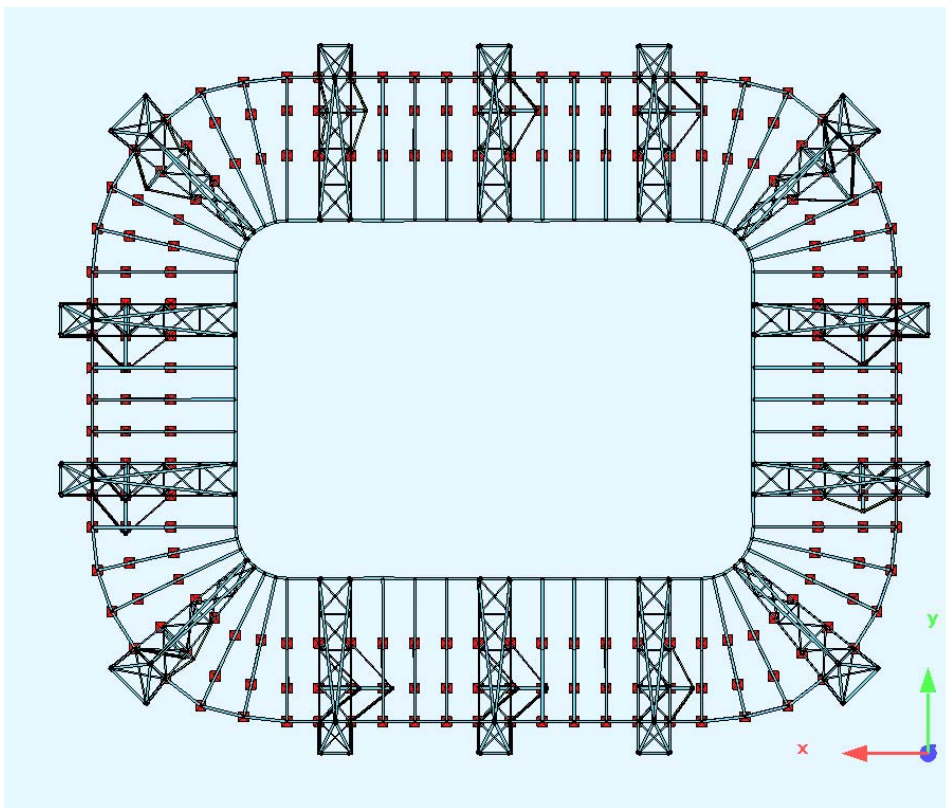
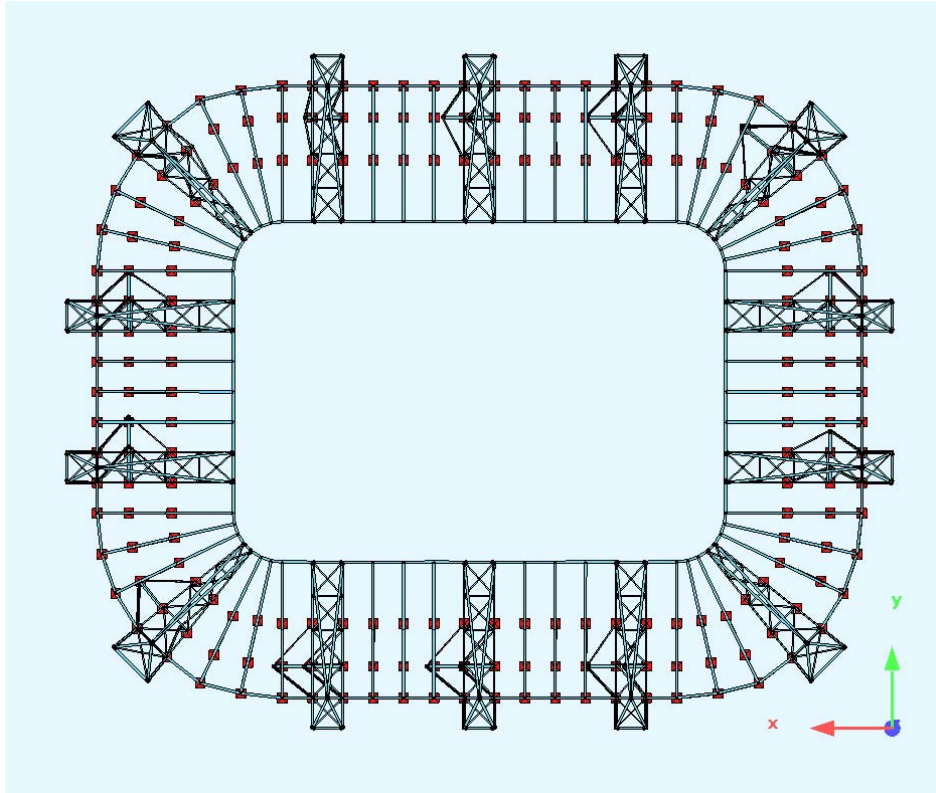
Επιπλέον, απεικονίζονται στη συνέχεια, οι χαρακτηριστικές ιδιομορφές που έδωσαν τα μεγαλύτερα ποσοστά συμμετοχής των μαζών, κατά  $x$  και κατά  $y$ , με τρισδιάστατη απεικόνιση στο χώρο, από το πρόγραμμα Sofistik.

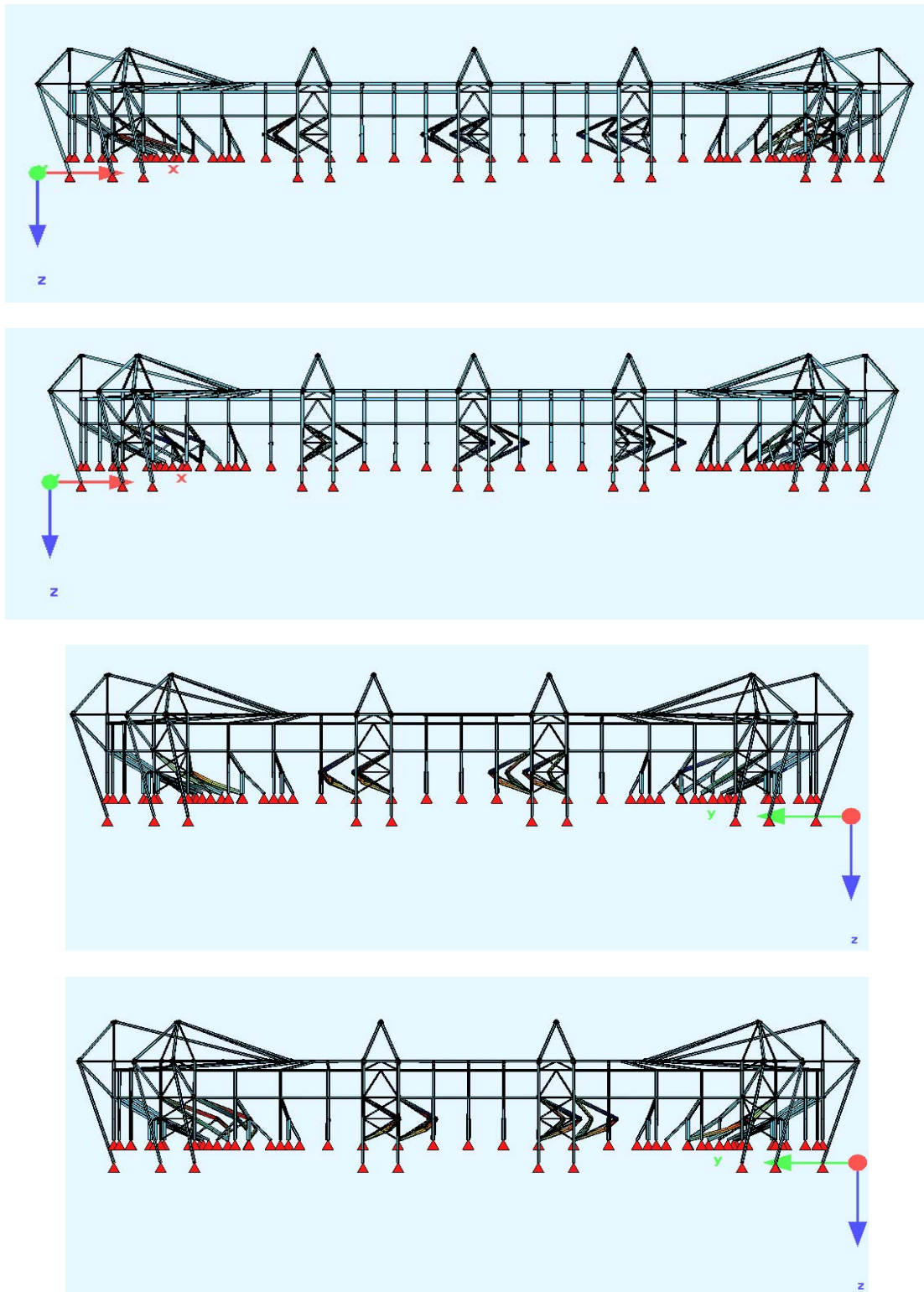
No.	omega [1/sec]	frequency [Hertz]	period [sec]	Mx %	My %	Mz %
1	3.428	0.546	1.833	0	0	0.4
2	3.429	0.546	1.833	0	0	1.5
3	3.437	0.547	1.828	0	0	0
4	3.437	0.547	1.828	0	0	2
5	3.444	0.548	1.824	0	0	0
6	3.445	0.548	1.824	0	0	0
7	3.452	0.549	1.82	0	0	0
8	3.452	0.549	1.82	0	0	0
9	3.452	0.549	1.82	0	0	0.1
10	3.453	0.55	1.82	0	0	0.3
11	3.521	0.56	1.784	0	0	0
12	3.525	0.561	1.782	0	0	0.2
13	3.535	0.563	1.777	0	0	1
14	3.934	0.626	1.597	1.1	0.1	0
15	3.936	0.626	1.596	4.4	3.2	0
16	3.936	0.626	1.596	3.4	2.8	0
17	3.938	0.627	1.596	0	0	0
18	3.939	0.627	1.595	0	0.3	0
19	3.94	0.627	1.595	0	0.1	0
20	3.94	0.627	1.595	0	0.1	0
21	3.941	0.627	1.594	0	0	0
22	3.941	0.627	1.594	0	0	0
23	3.941	0.627	1.594	0	0.1	0
24	3.942	0.627	1.594	0	0	0
25	3.942	0.627	1.594	0	0	0
26	3.942	0.627	1.594	0	0	0
27	3.942	0.627	1.594	0	0	0
28	3.942	0.627	1.594	0.1	0	0
29	3.942	0.627	1.594	0	0	0
30	3.942	0.627	1.594	0	0	0
31	3.942	0.627	1.594	0	0	0
32	3.942	0.627	1.594	0	0	0
33	3.942	0.627	1.594	0	0	0
34	3.942	0.627	1.594	0	0	0

No.	omega [1/sec]	frequency [Hertz]	period [sec]	Mx %	My %	Mz %
35	3.942	0.627	1.594	0	0	0
36	3.942	0.627	1.594	0	0	0
37	3.942	0.627	1.594	0	0	0
38	3.942	0.627	1.594	0	0	0
39	3.963	0.631	1.585	0.2	0.2	0
40	4.212	0.67	1.492	0	0.1	0.5
41	4.214	0.671	1.491	0	0	1.1
42	4.344	0.691	1.447	0.1	0	0
43	4.346	0.692	1.446	0	0	0.9
44	4.486	0.714	1.401	0	0	0
45	4.489	0.715	1.4	0	0	0
46	4.729	0.753	1.329	0	0	0
47	4.729	0.753	1.329	0	0	0
48	4.729	0.753	1.329	0	0	0
49	4.729	0.753	1.329	0.3	0	0
50	4.731	0.753	1.328	0	0	0
51	4.731	0.753	1.328	0.2	0	0
52	4.732	0.753	1.328	0.1	0	0
53	4.753	0.757	1.322	0	0	0
54	4.753	0.757	1.322	0	0	0
55	4.753	0.757	1.322	0	0	0
56	4.753	0.757	1.322	0	0	0
57	4.761	0.758	1.32	0.7	0	0
58	4.763	0.758	1.319	1.5	0	0
59	4.766	0.759	1.318	2.1	0	0
60	4.769	0.759	1.318	2.2	0	0
61	4.769	0.759	1.318	1.5	0	0
62	4.771	0.759	1.317	0	0	0
63	4.771	0.759	1.317	0	0	0
64	4.792	0.763	1.311	0.9	0.1	0
65	4.829	0.769	1.301	0.6	0.1	0
66	4.829	0.769	1.301	0.7	0.1	0
67	5.043	0.803	1.246	0	0	0

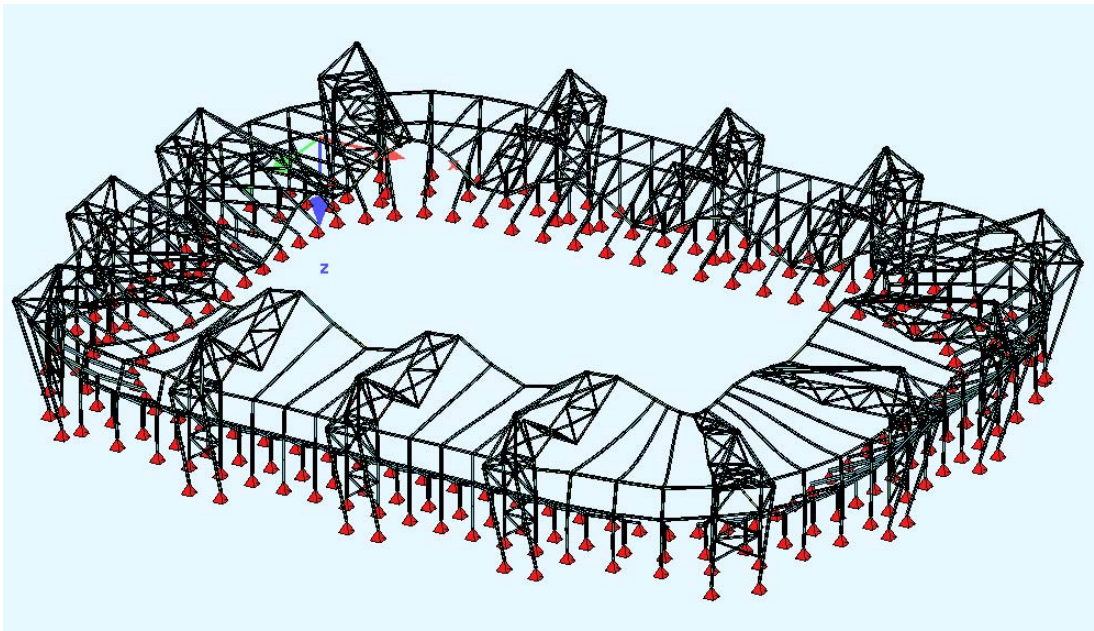
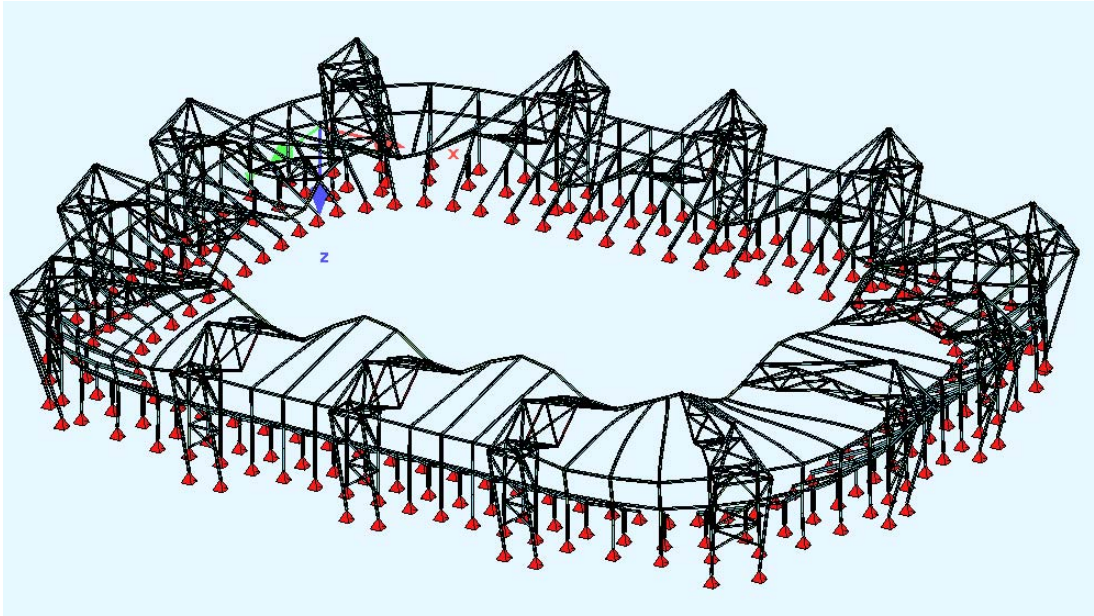
No.	omega [1/sec]	frequency [Hertz]	period [sec]	Mx %	My %	Mz %
68	5.043	0.803	1.246	0	0.1	0
69	5.044	0.803	1.246	0	0	0
70	5.045	0.803	1.246	0	0.1	0
71	5.062	0.806	1.241	0	0	0
72	5.062	0.806	1.241	0	0.1	0
73	5.089	0.81	1.235	0	0.7	0
74	5.089	0.81	1.235	0	3.9	0
75	5.091	0.81	1.234	0	0	0
76	5.091	0.81	1.234	0	0	0
77	5.091	0.81	1.234	0	0	0
78	5.091	0.81	1.234	0	0	0
79	5.111	0.813	1.229	0	0	0
80	5.111	0.813	1.229	0	2.5	0
81	5.73	0.912	1.097	0.1	0.7	0
82	5.732	0.912	1.096	0.2	0.2	0
83	5.889	0.937	1.067	0	0	0
84	5.948	0.947	1.056	0	0.1	0
85	5.973	0.951	1.052	0.1	0	0
86	6.063	0.965	1.036	0.1	0	0.9
87	6.223	0.99	1.01	0.1	0	0.8
88	6.232	0.992	1.008	0	0.8	0
89	6.253	0.995	1.005	0	0.1	0.6
90	7.138	1.136	0.88	0	0	0.2
91	7.394	1.177	0.85	0	0	0
92	7.395	1.177	0.85	0	0	0
93	7.395	1.177	0.85	0	0	0
94	7.409	1.179	0.848	0	0	0
95	7.416	1.18	0.847	0	0	0
96	7.425	1.182	0.846	0	0	0
97	7.43	1.182	0.846	0	0	0
98	7.446	1.185	0.844	0	0	0
99	7.455	1.186	0.843	0	0	0
100	7.494	1.193	0.838	0	0	0
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>				<b>21.1</b>	<b>16.8</b>	<b>10.7</b>







Σχήματα 4.3: Ιδιομορφή 15, μέγιστο % συμμετοχής μάζας κατά x και κατά y



Σχήματα 4.4 : Ιδιομορφή 134, μέγιστο % συμμετοχής μάζας κατά x

#### 4.5 Αντισεισμικός Έλεγχος Κτιρίου Κανονισμοί ΕΑΚ- Κριτήρια

Κατά την απόκριση ενός δομήματος στον σεισμό σχεδιασμού είναι εν γένει αποδεκτός ο σχηματισμός ενός ελαστοπλαστικού μηχανισμού με αξιόπιστα ασφαλή μετελαστική συμπεριφορά. Μία τέτοια συμπεριφορά θεωρείται ότι εξασφαλίζεται με τα ακόλουθα κριτήρια:

- Εξασφάλιση μιας ελάχιστης στάθμης αντοχής σε όλα τα φέροντα στοιχεία (συμπεριλαμβανομένης και της θεμελίωσης), που αντιστοιχεί στις σεισμικές δράσεις σχεδιασμού του κεφαλαίου 2 αυξημένες, όπου είναι αναγκαίο, με τις επιρροές 2ας Τάξεως.
- Εξασφάλιση συνολικής πλαστιμότητας, δηλαδή επαρκούς ικανότητας για απελευθέρωση ενέργειας, με μετελαστική παραμόρφωση.
- Ελαχιστοποίηση των παραγόντων που προκαλούν αβεβαιότητες στην εκτίμηση της σεισμικής απόκρισης.

Εξασφάλιση ικανότητας απελευθέρωσης ενέργειας (πλαστιμότητας) στο σύνολο του δομήματος – Γενικοί κανόνες ικανοτικού σχεδιασμού

1. Για να εξασφαλιστεί η δυνατότητα απελευθέρωσης ενέργειας από το δόμημα κατά την απόκριση στην σεισμική δράση σχεδιασμού, χωρίς ολική ή μερική κατάρρευση, πρέπει η μετελαστική απόκριση να έχει πλάστιμη μορφή και να κατανέμεται στο μεγαλύτερο δυνατό αριθμό φερόντων στοιχείων, σε περιοχές με περιορισμένο μήκος (πλαστικές αρθρώσεις). Αυτό προϋποθέτει ότι έχει εξασφαλιστεί η αποφυγή όλων των πιθανών ψαθυρών μορφών αστοχίας που είναι δυνατό να προηγηθούν.

2. Σε μέλη με καμπτική λειτουργία η μετελαστική απόκριση πρέπει να περιορίζεται στο σχηματισμό καμπτικών πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα των στοιχείων. Σε κατακόρυφους δικτυωτούς συνδέσμους από χάλυβα, μετελαστική απόκριση μπορεί να προβλέπεται σε εφελκόμενες διαγώνιους ή σε περιορισμένου μήκους διατμητικές ή καμπτικές αρθρώσεις (δικτυωτοί σύνδεσμοι με εκκεντρότητα).

3. Πιθανές ή προβλεπόμενες θέσεις πλαστικών αρθρώσεων είναι εκείνες στις οποίες υπάρχει πρόβλεψη ή μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης των αρθρώσεων. Ενδεχόμενες θέσεις πλαστικών αρθρώσεων είναι εκείνες στις οποίες υπάρχει μικρότερη πιθανότητα δημιουργίας αρθρώσεων, πρέπει όμως να διαθέτουν αυξημένη πλαστιμότητα επειδή βρίσκονται σε περιοχές ιδιαίτερα κρίσιμες για

την ευστάθεια του δομήματος. Τέτοιες θέσεις θεωρούνται όλα τα άκρα των υποστυλωμάτων ακόμα και όταν οι πιθανές θέσεις πλαστικών αρθρώσεων βρίσκονται σε δοκούς.

4. Η εξασφάλιση ενός τέτοιου αξιόπιστου ελαστοπλαστικού μηχανισμού απόκρισης του δομήματος στις αιχμές της σεισμικής δράσης επιτυγχάνεται με τον ικανοτικό σχεδιασμό δηλαδή με κατάλληλη ιεράρχηση των αντοχών των στοιχείων του φορέα.

5. Σε δομήματα από οπλισμένο ή προεντεταμένο σκυρόδεμα, χάλυβα ή τοιχοποιία οι έλεγχοι για την εξασφάλιση αξιόπιστου ελαστοπλαστικού μηχανισμού δεν απαιτούνται όταν χρησιμοποιείται συντελεστής συμπεριφοράς  $q$  που δεν υπερβαίνει τις τιμές 1,5 ή  $q/2$ , πάντως όχι μικρότερο του 1,0.

Κατά τον προσδιορισμό του φάσματος σχεδιασμού στην παράγραφο 4.3, θεωρήθηκε συντελεστής συμπεριφοράς  $q=1.0$ , επομένως δεν απαιτείται να γίνει ικανοτικός σχεδιασμός στο στέγαστρο της μελέτης.

Ωστόσο, όσον αφορά στις διαγώνιους, η ανηγμένη λυγηρότητα ?? των διαγωνίων πρέπει να περιορίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{Af_y/N_{cr}} \leq 1.50$$

όπου:

$A$  είναι το εμβαδόν της διατομής

$f_y$  είναι το όριο διαρροής και

$$N_{cr} = \pi^2 EI / \ell^2$$

είναι το ιδεατό κρίσιμο φορτίο Euler της διαγωνίου

Η παραπάνω σχέση είναι ισοδύναμη με λυγηρότητα  $\lambda \leq 114$  για χάλυβα S355, πρέπει δε να εφαρμόζεται και στην περίπτωση διαγώνιων συνδέσμων τύπου X στους οποίους η σεισμική τέμνουσα θεωρείται ότι αναλαμβάνεται εξ ολοκλήρου από τις εκάστοτε εφελκυόμενες διαγωνίους.

## 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕΛΩΝ

### 5.1 Κατάταξη Διατομών

Με βάση τη μέθοδο ανάλυσης και υπολογισμού της αντοχής των διατομών για την οριακή κατάσταση αστοχίας, αλλά και με την έκταση στην οποία η αντοχή και η στρωφική ικανότητα των διατομών περιορίζεται από τον τοπικό λυγισμό, οι διατομές κατατάσσονται στις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες:

- Διατομές κατηγορίας 1: Είναι εκείνες που μπορούν να σχηματίσουν πλαστική άρθρωση με την απαιτούμενη από την πλαστική ανάλυση στρωφική ικανότητα χωρίς μείωση της αντοχής τους.
- Διατομές κατηγορίας 2: Είναι εκείνες που μπορούν να αναπτύξουν την πλαστική ροπή αντοχής τους, αλλά έχουν περιορισμένη στρωφική ικανότητα 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 το όριο διαρροής, αλλά ο τοπικός λυγισμός εμποδίζει την ανάπτυξη της πλαστικής ροπής αντοχής.
- Διατομές κατηγορίας 4: Είναι εκείνες στις οποίες τοπικός λυγισμός θα συμβεί πριν την ανάπτυξη της τάσης διαρροής σε ένα ή περισσότερα μέρη της διατομής.

Στον πίνακα 5.1 συνοψίζονται οι παραπάνω κατηγορίες σε σχέση με τη συμπεριφορά, τη φέρουσα ικανότητα και την ικανότητα στρωφής.

Οι ροπές αντοχής για τις τέσσερις κατηγορίες διατομών είναι:

Κατηγορίες 1 και 2: η πλαστική ροπή  $(M_{pl} = W_{pl} \cdot f_y)$

Κατηγορία 3: η ελαστική ροπή  $(M_{el} = W_{el} \cdot f_y)$

Κατηγορία 4: η ροπή τοπικού λυγισμού  $(M_0 < M_{el})$

Η κατάταξη μιας συγκεκριμένης διατομής εξαρτάται από το λόγο πλάτους προς πάχος  $c/t$  καθενός από τα λόγω αξονικής δύναμης ή/και καμπτικής ροπής θλιβόμενα στοιχεία της. Επομένως η κατηγορία στην οποία ανήκει μία διατομή εξαρτάται τόσο από τη γεωμετρία της, όσο και από τον τύπο της φόρτισης που επιβάλλεται σ' αυτή.

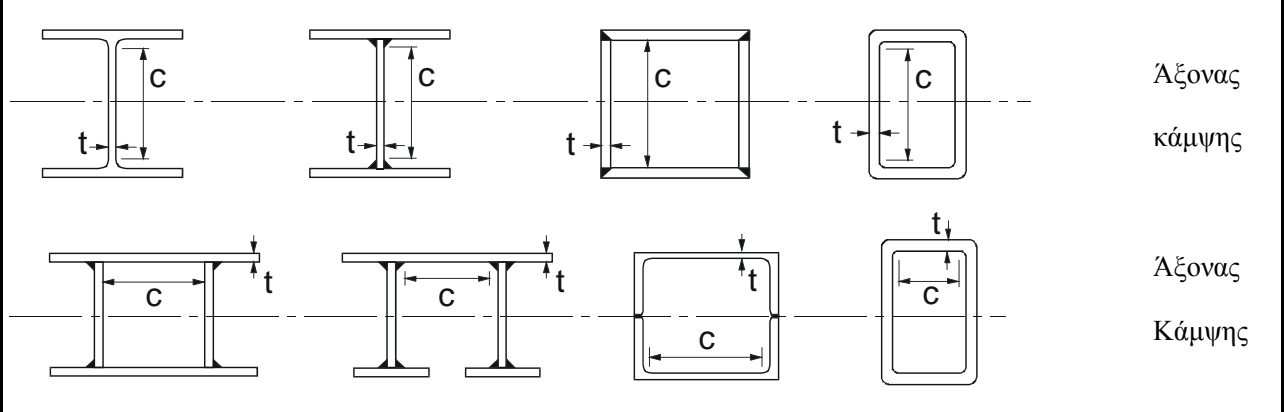
Τα επιμέρους θλιβόμενα πλακοειδή στοιχεία μιας διατομής (π.χ. ο κορμός ή το πέλμα) μπορούν, γενικά, να ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες, η δε διατομή κατατάσσεται σύμφωνα με την υψηλότερη κατηγορία (λιγότερο ευμενή) των θλιβόμενων στοιχείων της.

Τα όρια για τα θλιβόμενα στοιχεία κατηγορίας 1,2 και 3 λαμβάνονται από τον πίνακα 5.2.

Μοντέλο Συμπεριφοράς	Ροπή Αντοχής	Στροφική Ικανότητα	Κατηγορία
			1
			2
			3
			4
<p> <math>M_{el}</math> ελαστική ροπή αντοχής της διατομής  <math>M_{pl}</math> πλαστική ροπή αντοχής της διατομής  <math>M</math> δρώσα ροπή  <math>\Phi</math> στροφή (καμπυλότητα) της διατομής  <math>\Phi_{pl}</math> στροφή (καμπυλότητα) της διατομής απαιτούμενη για να προκαλέσει πλήρη πλαστική κατανομή τάσεων στη διατομή                 </p>			

Πίνακας 5.1: Κατάταξη διατομών σε σχέση με τη ροπή αντοχής και τη στροφική ικανότητα

**Εσωτερικά θλιβόμενα τμήματα**

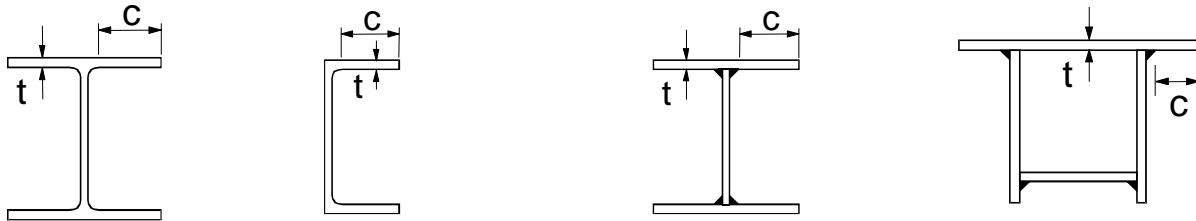


Κατηγορία	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη	Τμήμα που υπόκειται σε θλίψη	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη και θλίψη
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)			
1	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	όταν $\alpha > 0,5$ : $c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ όταν $\alpha \leq 0,5$ : $c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$
2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$	όταν $\alpha > 0,5$ : $c/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ όταν $\alpha \leq 0,5$ : $c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)			
3	$c/t \leq 124\varepsilon$	$c/t \leq 42\varepsilon$	όταν $\psi > -1$ : $c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ όταν $\psi \leq -1^*$ : $c/t \leq 62\varepsilon(1 - \psi)\sqrt{(-\psi)}$



$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$\varepsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

**Προεξέχοντα πέλματα**



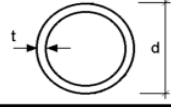
Ελατές διατομές

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	$c/t \leq 9\varepsilon$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
2	$c/t \leq 10\varepsilon$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)						
3	$c/t \leq 14\varepsilon$	$c/t \leq 21\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$ Για $k_\sigma$ βλέπε EN 1993-1-5				
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460

	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
--	---	------	------	------	------	------

**Πίνακας 5.2: Χαρακτηριστικές τιμές λόγου πλάτους προς πάχος μέλους της διατομής**

<b>Σωληνωτές διατομές</b>				
<b>Κατηγορία</b>	Διατομή σε κάμψη και/ή θλίψη			
1	$d/t \leq 50\varepsilon^2$			
2	$d/t \leq 70\varepsilon^2$			
3	$d/t \leq 90\varepsilon^2$			
$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$	$f_y \rightarrow \text{N/mm}^2$	235	275	355
	ε	1.00	0.92	0.81
	ε <sup>2</sup>	1.00	0.85	0.66

## 5.2 Αντοχή Διατομών

### 5.2.1 Έλεγχος διατομής σε μονοαξονικό εφελκυσμό

Για τα εφελκυσόμενα μέλη, η τιμή σχεδιασμού της εφελκυστικής δύναμης NEd σε κάθε διατομή θα ικανοποιεί τη σχέση:  $N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$ ,

Όπου  $N_{t,Rd}$  είναι η εφελκυστική αντίσταση σχεδιασμού της διατομής, λαμβανομένη ως η μικρότερη από:

α) την πλαστική αντίσταση σχεδιασμού της πλήρους διατομής  $N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ , όπου:

A: το εμβαδόν της πλήρους διατομής

$f_y$ : το όριο διαρροής του χάλυβα

$\gamma_{M0}$ : ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας του χάλυβα.

β) την οριακή αντοχή σχεδιασμού της καθαρής διατομής στη θέση των οπών των συνδέσμων

$N_{u,Rd} = \frac{0.9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$ , όπου:

$A_{net}$ : το εμβαδόν της καθαρής διατομής

$f_u$ : η εφελκυστική αντοχή του χάλυβα

$\gamma_{M2}$ : ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας του χάλυβα σε θραύση

δηλαδή:

$$N_{t,Rd} = \min \left\{ \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}, \frac{0.9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \right\}$$

### 5.2.2 Έλεγχος διατομής σε θλίψη

Για μέλη υπό αξονική θλίψη, η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής δύναμης  $N_{Ed}$  σε κάθε διατομή θα πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση:  $N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$  όπου  $N_{c,Rd}$  η αντοχή σχεδιασμού της διατομής σε ομοιόμορφα

επιβεβλημένη θλίψη και είναι ίση με:  $N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$ , για διατομές κατηγορίας 1, 2 ή 3 και

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M0}}, \text{ για διατομές κατηγορίας 4.}$$

### 5.2.3 Έλεγχος διατομής σε τέμνουσα

Η τιμή σχεδιασμού της τέμνουσας δύναμης  $N_{Ed}$  σε κάθε διατομή πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση:  $N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$ , όπου είναι η αντοχή σχεδιασμού σε τέμνουσα.

Για πλαστικό σχεδιασμό η είναι ίση με την πλαστική διατμητική αντοχή (χωρίς παρουσία στρεπτικής καταπόνησης), όπως δίνεται από τη σχέση:

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

Όπου  $A_v$ : είναι η επιφάνεια διάτμησης.

### 5.2.4 Έλεγχος διατομής σε κάμψη

Όταν η τέμνουσα δύναμη στη διατομή μπορεί να θεωρηθεί μικρή τόσο ώστε η επίδρασή της επί της καμπτικής αντοχής να μπορεί να αμεληθεί, η τιμή σχεδιασμού της ροπής κάμψης  $M_{Ed}$  σε κάθε διατομή πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση:  $M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$  όπου  $M_{c,Rd}$  η αντοχή σχεδιασμού σε κάμψη, η οποία ισούται με:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}, \text{ για διατομές κατηγορίας 1 ή 2}$$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}}, \text{ για διατομές κατηγορίας 3}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} f_y}{\gamma_{M0}}, \text{ για διατομές κατηγορίας 4.}$$

### 5.2.5 Έλεγχος διατομής σε κάμψη και τέμνουσα

Γενικά, όταν στην ίδια διατομή με την καμπτική ροπή συνυπάρχει σημαντική τέμνουσα δύναμη, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η επιρροή της επί της ροπής αντοχής, δεδομένου ότι μέρος της διατομής αναλύεται στην παραλαβή τέμνουσας. Όταν η τέμνουσα είναι σχετικά μικρή, η παραπάνω επιρροή μπορεί να αμελείται. Εάν η τέμνουσα δύναμη είναι μικρότερη από τη μισή πλαστική διατμητική αντοχή, η επίδρασή της στη ροπή αντοχής μπορεί να αμελείται. Όταν η δρώσα τέμνουσα δύναμη  $V_{ED}$  είναι μεγαλύτερη από το 50% της πλαστικής διατμητικής αντοχής, πρέπει να λαμβάνεται ως αντοχή σχεδιασμού της διατομής η απομειωμένη ροπή αντοχής, η οποία υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη για

την επιφάνεια διάτμησης  $A_v$  τη μειωμένη τιμή της τάσης διαρροής:  $(1 - \rho) f_y$ , όπου:  $\rho = \left( \frac{2 V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$ .

Για διατομές I κατηγορίας 1 ή 2 καμπτόμενες περί τον ισχυρό άξονα, η μειωμένη πλαστική ροπή αντοχής που λαμβάνει υπόψη τη διάτμηση, μπορεί να υπολογίζεται από τη σχέση:

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left[ W_{pl,y} - \frac{\rho A_w^2}{4 t_w} \right] f_y}{\gamma_{M0}}, \text{ αλλά πρέπει } M_{y,V,Rd} \leq M_{y,c,Rd}$$

### 5.2.6 Έλεγχος διατομής σε κάμψη και αξονική δύναμη

Για διατομές κατηγορίας 1 και 2, η επίδραση της αξονικής δύναμης λαμβάνεται υπόψη με μείωση της πλαστικής ροπής αντοχής. Το κριτήριο σχεδιασμού είναι:

$M_{Ed} \leq M_{N,Rd}$ , όπου  $M_{N,Rd}$ : είναι η πλαστική ροπή αντοχής, μειωμένη λόγω της αξονικής δύναμης  $N_{Ed}$ .

Για διατομές διπλής συμμετρίας I και H ή άλλες διατομές με πέλματα, δεν απαιτείται να γίνεται μείωση της πλαστικής ροπής αντοχής περί τον άξονα y-y λόγω της επίδρασης της αξονικής δύναμης, όταν ικανοποιούνται συγχρόνως τα δύο παρακάτω κριτήρια:

$$N_{Ed} \leq 0,25 N_{pl,Rd} \text{ και}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}}$$

Για διατομές διπλής συμμετρίας I και H, δεν απαιτείται να γίνεται μείωση της πλαστικής ροπής αντοχής περί τον άξονα z-z λόγω της επίδρασης της αξονικής δύναμης, όταν :

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

Για διατομές διπλής συμμετρίας I και H και για συγκολλητές διατομές I ή H με ίσα πέλματα, στις οποίες δεν λαμβάνονται υπόψη οι οπές κοχλιών, μπορεί να χρησιμοποιούνται οι σχέσεις:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1-n)/(1-0,5a) \quad \text{αλλά} \quad M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd} \quad (\text{Error! No text of specified style in document.1})$$

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

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

$$\text{όπου} \quad n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$$

$$a = (A-2bt_f)/A \quad \text{αλλά} \quad a \leq 0,5$$

Για κοίλες διατομές σταθερού πάχους, στις οποίες δεν λαμβάνονται υπόψη οι οπές κοχλιών, μπορεί να χρησιμοποιούνται οι σχέσεις:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1-n)/(1-0,5a_w) \quad \text{αλλά} \quad M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} (1-n)/(1-0,5a_f) \quad \text{αλλά} \quad M_{N,z,Rd} \leq M_{pl,z,Rd},$$

$$\text{όπου } a_w = (A-2bf)/A \quad \text{και} \quad a_f = (A-2ht_w)/a, \quad \text{αλλά} \quad a_w, a_f \leq 0,5$$

Για διαξονική κάμψη οι διατομές παρουσιάζουν πλαστικό ουδέτερο άξονα κεκλιμένο ως προς το ορθογωνικό σύστημα αξόνων της διατομής κατά γωνία, η οποία εξαρτάται από το λόγο των ροπών και που δρουν ως προς τους δύο κύριους άξονες και από τη γεωμετρία της διατομής. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιείται για τον έλεγχο επάρκειας της διατομής το παρακάτω κριτήριο αλληλεπίδρασης:

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

στο οποίο οι εκθέτες  $\alpha$  και  $\beta$  είναι σταθερές, που μπορεί να λαμβάνονται συντηρητικά ίσες με τη μονάδα, η ακριβέστερα για διατομές I και H:

$$\alpha=2, \beta=5n, \beta \geq 1 \quad \text{και για κοίλες κυκλικές διατομές: } \alpha=2 \quad \text{και} \quad \beta=2.$$

### 5.3 Έλεγχος μελών

Στο κεφάλαιο 5.2 παρουσιάστηκε η αντοχή των διατομών σε διάφορα είδη καταπονήσεων και στους συνδυασμούς τους. Σε πολλές περιπτώσεις η αντοχή της διατομής καθορίζει και την αντοχή ολόκληρου του μέλους (π.χ. εφελκυσμός, κάμψη πλευρικά προστατευμένων δοκών). Σε πολλές άλλες περιπτώσεις όμως διαπιστώνεται ότι υπάρχει στάθμη της εξωτερικής φόρτισης, για την οποία το μέλος χάνει την ευστάθειά του, αποκτά δηλαδή τη δυνατότητα να ισορροπήσει, πέραν της αρχικής και σε μία γειτονική θέση ισορροπίας (λυγισμός). Η στάθμη αυτή φόρτισης εκφράζει πρακτικά, την εξάντληση της αντοχής του μέλους παρατηρείται δε, γενικά, χαμηλότερα ή πολύ χαμηλότερα από τη στάθμη της φόρτισης, η οποία εξαντλεί την αντοχή της διατομής του.

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζονται περιπτώσεις φορτίσεως για τις οποίες η αντοχή των μελών δεν προκύπτει από την αντοχή των διατομών τους, αλλά απαιτείται η θεώρηση ολόκληρου του μέλους ως στοιχείου αναφοράς.

### 5.3.1 Καμπτικός λυγισμός λόγω αξονικής θλιπτικής δύναμης

Αποτελεί τη συνηθέστερη μορφή αστάθειας θλιβόμενων μελών μεταλλικών κατασκευών. Η απώλεια της ευστάθειας του αρχικώς ευθύγραμμου μέλους εκδηλώνεται με μετάπτωσή του σε μία καμπλωμένη μορφή, με κάμψη περί τον ισχυρό ή τον ασθενή άξονα της διατομής του μέλους, χωρίς την ταυτόχρονη εμφάνιση σχετικής στροφής των διατομών. Όπως και στις άλλες μορφές αστοχίας λόγω λυγισμού, το φαινόμενο συμβαίνει πριν το μέλος αναπτύξει την πλαστική αντοχή της διατομής του.

Η επάρκεια του θλιβόμενου μέλους με σταθερή διατομή έναντι καμπτικού λυγισμού ελέγχεται με βάση την ακόλουθη σχέση:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

Η αντοχή ενός θλιβόμενου μέλους δίνεται από την σχέση:

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

$\chi$ :είναι ο μειωτικός συντελεστής λόγω καμπτικού λυγισμού:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \text{ αλλά } \chi \leq 1,0$$

$$\text{όπου } \Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

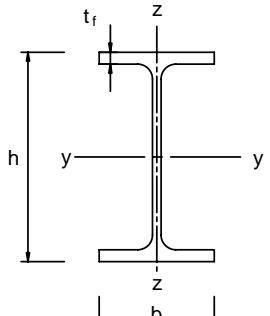
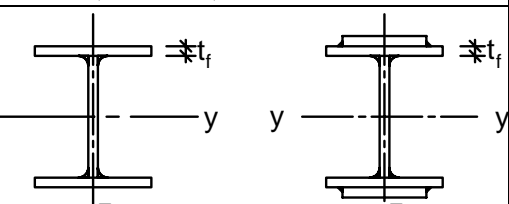
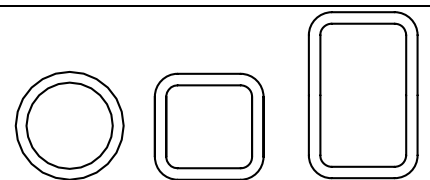
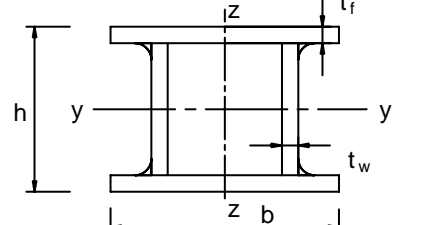
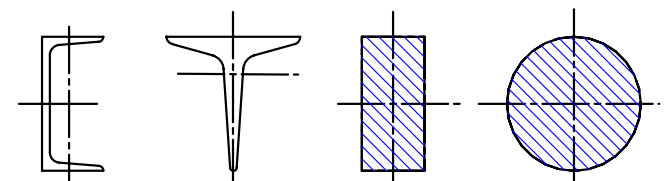
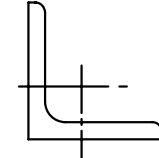
$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \text{ ( ανηγμένη λυγηρότητα για διατομές κατηγορίας 1, 2 και 3)}$$

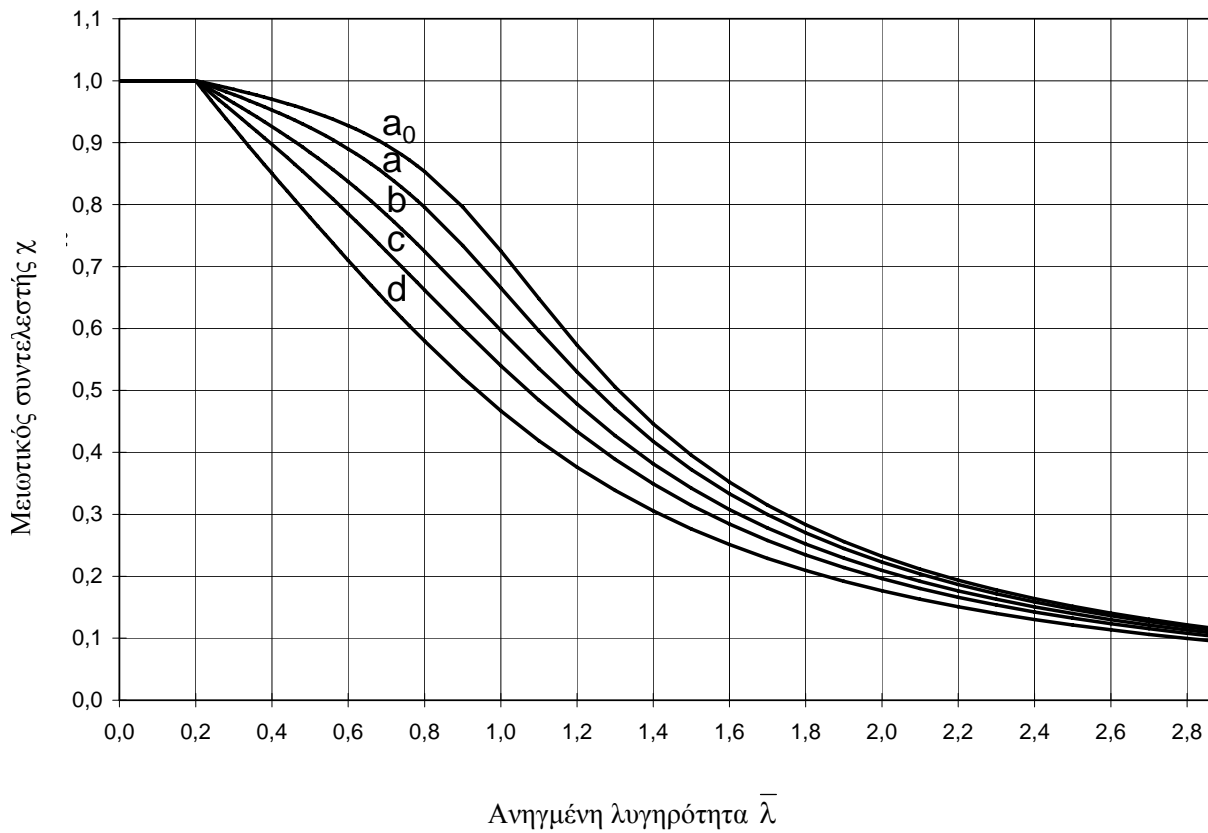
$\alpha$  :είναι συντελεστής ατελειών, που αντιστοιχεί σε κάθε καμπύλη λυγισμού και λαμβάνεται από τον πίνακα 5.3.

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

**Πίνακας 5.3: Συντελεστές ατελειών για καμπύλες λυγισμού**

Πίνακας 5.4: Επιλογή καμπύλης λυγισμού για δεδομένη διατομή

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



**Σχήμα 5.1: Καμπύλες λυγισμού**

*5.3.2 Στρεπτοκαμπτικός (πλευρικός) λυγισμός*

Σύμφωνα με τον κανονισμό, μία δοκός σταθερής διατομής μη προστατευμένη πλευρικά που υπόκειται σε κάμψη περί τον ισχυρό άξονα, πρέπει να ελέγχεται έναντι πλευρικού λυγισμού με βάση τη σχέση:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$$

όπου  $M_{Ed}$  η ροπή κάμψης σχεδιασμού (περί τον ισχυρό άξονα)

και  $M_{b,Rd}$  η ροπή αντοχής έναντι πλευρικού λυγισμού, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

ο μειωτικός συντελεστής  $\chi_{LT}$  για καμπτόμενα μέλη σταθερής διατομής είναι:



$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \text{ αλλά } \chi_{LT} \leq 1,0$$

Όπου:

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right], \text{ όπου } \alpha_{LT} \text{ συντελεστής ατελειών}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}, \text{ η ανηγμένη λυγηρότητα πλευρικού λυγισμού}$$

και  $M_{cr}$  είναι η ελαστική κρίσιμη ροπή σε πλευρικό λυγισμό.

Όταν η ανηγμένη λυγηρότητα μίας δοκού είναι μικρότερη από  $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4$ , οι επιδράσεις του πλευρικού λυγισμού μπορούν να αμεληθούν και να γίνονται μόνον έλεγχοι διατομής.

Στην περίπτωση μιας δοκού σταθερής διατομής, συμμετρικής ως προς τον ασθενή άξονα αδρανείας της και καμπτόμενης περί τον ισχυρό άξονα αδρανείας της, η κρίσιμη ελαστική ροπή πλευρικού λυγισμού υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$M_{cr} = \frac{C_1 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(kL)^2} \left\{ \sqrt{\left( \frac{k}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2} - (C_2 z_g - C_3 z_j)^2 \right\}$$

Όπου:

$C_1, C_2, C_3$ : συντελεστές εξαρτώμενοι από τις συνθήκες φόρτισης και τις συνθήκες στήριξης. Οι τιμές τους προκύπτουν για διάφορες περιπτώσεις φόρτισης, ανάλογα με τη μορφή των διαγραμμάτων καμπτικών ρομών στο μήκος  $L$  μεταξύ των πλευρικών στηρίξεων και για τις αντίστοιχες τιμές του συντελεστή  $k$ .

$k, k_w$ : συντελεστές ενεργού μήκους πλευρικού λυγισμού. Για απλές στηρίξεις λαμβάνουν την τιμή 1,0. Ο συντελεστής  $k$  αφορά στη στροφή του άκρου στο οριζόντιο επίπεδο και είναι ανάλογος του λόγου  $l/L$  ενός θλιβόμενου στοιχείου. Ο συντελεστής  $k_w$  αφορά στη στρέβλωση του άκρου και θα λαμβάνεται ίσο προς 1,0 εκτός και αν έχουν ληφθεί ειδικά μέτρα πάκτωσης έναντι στρέβλωσης.

Για διατομές διπλής συμμετρίας ισχύει  $z_j=0$  και για περίπτωση φόρτισης μόνο με ακραίες ροπές και εγκάρσια φορτία που εφαρμόζονται στο κέντρο διάτμησης ισχύει  $C_2=0$  και  $z_g=0$ .

Η κρίσιμη ελαστική ροπή πλευρικού λυγισμού μίας δοκού σταθερής διατομής με ίσα πέλατα και συνήθεις στρεπτικές συνθήκες στήριξης στα άκρα της, στην οποία τα φορτία ασκούνται στο κέντρο διάτμησης της και υπόκειται σε ομοιόμορφη (καθαρή) κάμψη ( $C_1=1.00$ ), δίνεται από τη σχέση:

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}}$$

όπου:

E: μέτρο ελαστικότητας

I<sub>t</sub>: είναι η σταθερά στρέψης

I<sub>w</sub>: είναι η σταθερά στρέβλωσης

I<sub>z</sub> :είναι η ροπή αδράνειας κατά τον ασθενή άξονα της διατομής

L: είναι το μήκος της δοκού μεταξύ των σημείων πλευρικής εξασφάλισης

ν: είναι ο λόγος Poisson για το υλικό

$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$  : είναι μέτρο στρέψης

### 5.3.3 Στρεπτοκαμπτικός λυγισμός υπό θλίψη και κάμψη

Μέλη για τα οποία ο στρεπτοκαμπτικός λυγισμός είναι πιθανή μορφή αστοχίας,

πρέπει να ικανοποιούν τη σχέση:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

όπου  $N_{Ed}$ ,  $M_{y,Ed}$  και  $M_{z,Ed}$  είναι οι τιμές σχεδιασμού της θλιπτικής δύναμης και των μεγίστων ροπών ως προς τους y-y και z-z άξονες κατά μήκος του μέλους, αντίστοιχα

$\Delta M_{y,Ed}$ ,  $\Delta M_{z,Ed}$  είναι οι ροπές λόγω της μετατόπισης του κεντροβαρικού άξονα σύμφωνα με την **Error! Reference source not found.** για διατομές κατηγορίας 4, βλέπε Πίνακα 6.7,

$\chi_y$  and  $\chi_z$  είναι οι μειωτικοί συντελεστές λόγω καμπτικού λυγισμού από την **Error! Reference source not found.**

$\chi_{LT}$  είναι ο μειωτικός συντελεστής λόγω στρεπτοκαμπτικού (πλευρικού) λυγισμού από την **Error! Reference source not found.**

$k_{yy}$ ,  $k_{yz}$ ,  $k_{zy}$ ,  $k_{zz}$  είναι οι συντελεστές αλληλεπίδρασης

5.4 Ανάλυση και έλεγχος μελών

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ο έλεγχος επάρκειας των μελών της κατασκευής. Λόγω του μεγάλου αριθμού των μελών από τα οποία αποτελείται το στέγαστρο, ο έλεγχος θα παρουσιαστεί ενδεικτικά σε ένα περιορισμένο αριθμό, με βάση τους μέγιστους συντελεστές εκμετάλλευσης των διατομών όπως προέκυψαν από την ανάλυση, ενώ παρατίθεται και αναλυτικά στο παράρτημα φύλλο ελέγχων όλων των μελών του σταδίου. Οι έλεγχοι πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος Steel members. Συγκεκριμένα λόγω συμμετρίας φορέα και γεωμετρίας, πραγματοποιήθηκε αναλυτικός έλεγχος για το μισό ακριβώς φορέα.

Σε κάθε πίνακα φαίνονται οι ιδιότητες της διατομής που έχει επιλεγεί, τα εντατικά μεγέθη για τον κρίσιμο συνδυασμό φόρτισης (συνδυασμός σχεδιασμού) και οι αντίστοιχες αντοχές, απομειωμένες όπου πρέπει λόγω στρεπτοκαμπτικού λυγισμού, μαζί με τους συντελεστές στρεπτοκαμπτικού λυγισμού ( $K, L, k, k_{LT}$ )

Όταν η αξονική δύναμη  $N_{sd}$  είναι εφελκυστική, τότε ο έλεγχος μέλους γίνεται μόνο ως προς τον πλευρικό λυγισμό λόγω εφελκυστικής αξονικής. ( $M_{eff, sd} \leq M_{b, Rd}$ , όπου  $M_{b, Rd}$  η αντοχή σε πλευρικό λυγισμό, όπως καθορίζεται από την παράγραφο 5.5.2 του EC3 και  $M_{eff, sd} = M_{y, sd} - W_{el, y} \psi N_{sd} / a$  όπου  $\psi = 0,8$  και  $y$  ο ισχυρός άξονας).

Για τους παρακάτω ελέγχους ισχύουν τα εξής

Ποιότητα χάλυβα μέλους	
Ποιότητα χάλυβα	<b>S355</b>
Όριο διαρροής πέλματος $f_y$	<b>0,355</b> (kN/mm <sup>2</sup> )
Όριο αστοχίας πέλματος $f_u$	<b>0,510</b> (kN/mm <sup>2</sup> )
Όριο διαρροής κορμού $f_y$	<b>0,355</b> (kN/mm <sup>2</sup> )
Όριο αστοχίας κορμού $f_u$	<b>0,510</b> (kN/mm <sup>2</sup> )

Επιμέρους Συντελεστές Ασφαλείας	
$\gamma_{M0}$ (αντοχή διατομών τάξης 1,2,3)	<b>1,1</b>
$\gamma_{M1}$ (αντοχή διατομών τάξης 4)	<b>1,1</b>
$\gamma_{M1}$ (αντοχή λυγισμού μέλους)	<b>1,1</b>
$\gamma_{M2}$ (αντοχή καθαρής διατομής στη θέση των οπών)	<b>1,25</b>

Αφού ελέγχθηκαν όλα τα μέλη του φορέα, όπως παρουσιάζονται αναλυτικά στο παράρτημα, παρακάτω επιλέγουμε να παρουσιάσουμε ενδεικτικά κάποια μέλη, που ανήκουν κάθε φορά σε διαφορετικό στοιχείο του φέροντος οργανισμού ή που οι συντελεστές εκμετάλλευσης ήταν οι μεγαλύτεροι, δηλαδή αποτέλεσαν

τους πιο κρίσιμους ελέγχους. Συγκεκριμένα, επιλέγεται ένα μέλος του υποστυλώματος του μακροφορέα, ο διαγώνιος ελκυστήρας και το ακραίο κάθετο μέλος από τον πρόβολο-δικτύωμα.

























## 6. ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο, επιλέγεται να γίνει μια εναλλακτική διαστασιολόγηση του στεγάστρου. Οι υπάρχουσες διατομές διπλού ταυ θα αντικατασταθούν με κυκλικές κοίλες διατομές με σκοπό την παρατήρηση και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων τους.

### 6.1 Κοίλες διατομές – Γενικά στοιχεία

Κοίλες διατομές είναι οι μεταλλικές σωληνωτές ράβδοι, των οποίων η διατομή η κάθετη στον κατά μήκος άξονα της ράβδου έχει κλειστή γεωμετρική μορφή (κυκλική, τετραγωνική, ορθογωνική, εξαγωνική).

Η χρήση των κοίλων διατομών στις σιδηρές κατασκευές είχε αρχίσει από τον 19ο αιώνα, αλλά το υψηλό κόστος παραγωγής τους και η μεγάλη δυσκολία που εμφανιζόταν στην κατασκευαστική διαμόρφωση των σημείων σύνδεσής τους, καθιστούσε τη χρήση τους σχεδόν απαγορευτική, παρά τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν έναντι των άλλων μορφών μεταλλικών ράβδων.

Αργότερα, όταν αναπτύχθηκε η τεχνολογία των ηλεκτροσυγκολλήσεων και η τεχνολογία κοπής των κοίλων διατομών μέσω ειδικών αυτόματων μηχανών υπό οποιαδήποτε γωνία και μορφή, παρακάμφθηκε το πρόβλημα της μόρφωσης των σημείων σύνδεσης (κόμβων), και η χρήση τους άρχισε να γίνεται πιο συχνή και σε ευρύτερο πεδίο εφαρμογών.

### 6.2 Εφαρμογές των κοίλων διατομών

Οι κοίλες διατομές καλύπτουν σχεδόν όλες τις δυνατότητες των άλλων πρότυπων διατομών (I, L, κλπ). Ταξινομώντας τις εφαρμογές αυτές, έχουμε τις παρακάτω κατηγορίες έργων:

- Πολυώροφα κτίρια (βιομηχανικά, γραφεία, κατοικίες).
- Στέγες – υπόστεγα (εργοστάσια, αποθήκες, γυμναστήρια, χώροι εκθέσεων κλπ)
- Οδικές γέφυρες – Πεζογέφυρες
- Ειδικές κατασκευές (Ιστοί T.V. , Πυλώνες μεταφοράς ενέργειας , γερανογέφυρες, αγωγοί καυσίμων, σιλό κλπ).
- Ικριώματα – κουφώματα – κιγκλιδώματα
- Εξοπλισμός δρόμων (υποστηρίγματα σηματοδότησης, πυλώνες φωτισμού, στέγαστρα αναμονής λεωφορείων).
- Τροχαίο υλικό (πλαίσια λεωφορείων, φορτηγών κλπ)
- Εξοπλισμός εργοταξίων (ανυψωτικά μηχανήματα, περονοφόρα, υποστηρίγματα σιλό κλπ)
- Άλλες χρήσεις (ράφια αποθήκευσης, containers, γεωργικές μηχανές κλπ)



### 6.3 Πλεονεκτήματα κοίλων διατομών

#### **Μεγάλη αντοχή στην ανεμοπίεση.**

Λόγω του κλειστού σχήματος παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή έναντι των άλλων πρότυπων διατομών, γι' αυτό και προτιμώνται για κατασκευές γερανών, πυλώνων κλπ.

#### **Συνεχής εξέλιξη στη μόρφωση κόμβων**

Η δυσχέρεια κατασκευής κόμβων για τη σύνδεση υπό διαφορετική κάθε φορά διεύθυνση στο χώρο, συνήθως μεγάλου αριθμού ράβδων, δεν αποτελεί πλέον πρόβλημα, λόγω των τεχνολογικών εξελίξεων και βελτιώσεων. Οι κοίλες διατομές μπορούν σχεδόν πάντοτε να συνδεθούν μεταξύ τους ώστε η φόρτιση να παραμένει κεντρική (ομοιόμορφη κατανομή τάσεων), ενώ αντίθετα σε ανάλογες περιπτώσεις συνδέσεων με πρότυπα ελάσματα (γωνιακά, ταυ) μικρή αξονική εκκεντρότητα να είναι εν γένει αναπόφευκτη.

Η σύνδεση των ράβδων πλήρωσης γίνεται με συγκόλληση ή κοχλίωση, αλλά αυτή που συνήθως προτιμάται είναι η συγκόλληση, γιατί μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε απευθείας συνδέσεις, όσο και σε έμμεσες συνδέσεις κοίλων διατομών χωρίς περιορισμό. Με την κοχλίωση υπάρχει δυσκολία στη σύνδεση, γιατί θα πρέπει να γίνει και από την εσωτερική πλευρά του σωλήνα. Τέλος, παρέχεται η δυνατότητα σύνδεσης – συνεργασίας κοίλων διατομών με άλλα πρότυπα ελάσματα στην ίδια κατασκευή.

#### **Οικονομία στην επένδυση**

Δόμηση και ανέγερση

Η στρεπτική ακαμψία σε συνδυασμό με τις μικρές διατομές καθιστούν την ανέγερση μιας κατασκευής πιο εύκολη. Επιπλέον, η εφαρμογή τα τελευταία χρόνια σε ευρύτερη κλίμακα της προκατασκευασμένης έδωσε ώθηση στη διάδοση τρισδιάστατων κατασκευών εκ προκατασκευασμένων, τυποποιημένων κοίλων στοιχείων, που μπορούν εύκολα να συναρμολογηθούν επιτόπου στο έργο ακόμη και από μη ειδικευμένους τεχνίτες.

#### **Περιορισμός των κινδύνων διάβρωσης και των εξόδων συντήρησης.**

Ο σοβαρότερος κίνδυνος διάβρωσης μιας μεταλλικής κατασκευής είναι η σκωρίαση (οξείδωση από το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα) η οποία επιτείνεται λόγω υγρασίας. Οι κοίλες διατομές από χάλυβα χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα ότι έχουν περίπου 30% - 40% μικρότερη εκτεθειμένη επιφάνεια συγκριτικά με τις συνήθεις πρότυπες ίσης αντοχής διατομές. Αυτό επιτρέπει μείωση του κόστους βαφής ή εναλλακτικώς τη χρήση δαπανηρότερης αλλά μεγαλύτερης διάρκειας αντισκωριακής προστασίας. Επίσης δεν υπάρχουν εστίες οξείδωσης, όπως εσοχές και εσωτερικές γωνίες (βλ. σχήμα).

Ωστόσο μειονέκτημα των κοίλων διατομών είναι ότι η διάβρωσή τους αρχίζει από μέσα προς τα έξω, πράγμα που καθιστά δυσχερή τη διαπίστωσή της. Αυτό επιτάσσει οι κοίλες διατομές να κλείνονται αεροστεγώς, ενώ συγχρόνως να γίνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα επιμελής έλεγχος ιδίως στις ραφές συγκολλησεως και στις ενώσεις. Επειδή είναι πιο ανθεκτικές στις περιβαλλοντικές συνθήκες (νερό, αέρας) από τις συμβατικές διατομές, προτιμούνται στις γέφυρες και σε θαλάσσια φράγματα.

### **Χρησιμοποίηση εσωτερικού κενού**

#### *Πλήρωση κοίλων διατομών με σκυρόδεμα*

Συνεπάγεται αύξηση της αντοχής των υποστυλωμάτων, μεγαλύτερη αντοχή στη φωτιά, αύξηση της ακαμψίας και μείωση της διατομής. Σε σύγκριση με τις κενές κοίλες κολώνες, η πλήρωση κοίλων διατομών με ενισχυμένο σκυρόδεμα μπορεί να επιτύχει αντίσταση στη φωτιά μέχρι και 120 λεπτά, ακόμη και χωρίς εξωτερική πυροπροστασία των κοίλων.

#### *Πλήρωση κοίλων διατομών με νερό*

Έχει σκοπό την προστασία της κατασκευής έναντι φωτιάς. Μπορεί να εφαρμοσθεί σε όλα τα μέλη που είναι κατασκευασμένα από κοίλες διατομές, αλλά κυρίως εφαρμόζεται στα υποστυλώματα. Αυτό το σύστημα προστασίας είναι εξεζητημένο και χρειάζεται εκτενή σχεδιασμό και κατάλληλες υδραυλικές εγκαταστάσεις. Στο κτίριο γραφείων Νόρκον, που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, οι δοκοί που κρέμονται και τα κοίλα υποστυλώματα με τα οποία συνδέονται έχουν υδάτινο σύστημα προστασίας έναντι πυρός στο εσωτερικό τους.

Από το κενό αυτό μπορούν να περάσουν υδρορροές, ηλεκτρικά καλώδια, καθώς και συστήματα θέρμανσης και εξαερισμού.

### **Προστασία έναντι φωτιάς**

Ιδιαίτερα οι κοίλες διατομές που χρησιμοποιούνται σε οικοδομικά έργα πρέπει να έχουν επαρκή πυροπροστασία. Οι σχετικοί κανονισμοί των περισσότερων χωρών επιβάλλουν την εξασφάλιση του αναγκαίου χρόνου για την απομάκρυνση όλων των ατόμων που βρίσκονται εντός ψηλού κτιρίου, στο οποίο έχει εκδηλωθεί πυρκαγιά, πριν εκείνο καταρρεύσει. Σε ένα μεγάλο ψηλό κτίριο είναι αναγκαίο και πρέπει να εξασφαλίζονται συνθήκες μη μετάδοσης της φωτιάς σε άλλα μέρη αυτού.

Έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι πυροπροστασίας του σκελετού κτιρίων που έχουν ως στόχο την επιβράδυνση ή μείωση της δυσμενούς επιρροής του πυρός επί του δομικού χάλυβα. Ορισμένοι εξ αυτών είναι ιδιαιτέρως πρόσφοροι στην περίπτωση των κοίλων διατομών με άκαμπτα φύλλα προστασίας έναντι πυρός (πχ γυψοσανίδες), επίχριση με υλικά πυροπροστασίας, αφού προηγουμένως οι κοίλες διατομές περιβληθούν εξωτερικώς με μεταλλικό πλέγμα, ή ακόμη επικάλυψη μέσω ψεκασμού με υλικά πυροπροστασίας απευθείας στην εξωτερική επιφάνεια των κοίλων. Ιδιαίτερα μνημονεύονται ειδικές μέθοδοι όπως ειδικές βαφές ή πλήρωση των κοίλων διατομών με νερό ή σκυρόδεμα στα οποία έγινε αναφορά παραπάνω.

### **Αψογη αισθητική**

Οι κατασκευές από κοίλες διατομές είναι αισθητικά ελκυστικές, εξαιτίας του σχήματος και των διαστάσεών τους, ενώ παρέχουν τη δυνατότητα στους αρχιτέκτονες μεγαλύτερης ελευθερίας λύσεων και εκφραστικότητας μορφών. Προσφέρουν την απλούστερη κατασκευαστικά, έντεχνη και κομψή, αλλά και πλέον οικονομική λύση, γι' αυτό και κατέχουν σήμερα μια εξέχουσα θέση στα διάφορα κατασκευαστικά συστήματα μεγάλων ανοιγμάτων.

#### 6.4 Πλεονεκτήματα ανοιχτών διατομών

##### **Το κόστος του υλικού**

Το κόστος υλικού ανά μονάδα είναι χαμηλότερο σε σύγκριση με τις κοίλες διατομές. Όμως σε πολλές περιπτώσεις εξισορροπείται με τη μικρή ποσότητα υλικού και τα άλλα πλεονεκτήματα των κοίλων. Κατά γενικό κανόνα, λόγω της ευρείας χρήσης, της μεγάλης βιομηχανοποίησης και της λιγότερης επεξεργασίας που απαιτούν, οι ανοιχτές διατομές τύπου διπλού Τα, είναι πιο οικονομικές από τις κοίλες. Κάτι τέτοιο πρέπει να σημειωθεί και στη συνέχεια που γίνεται συγκριτικός έλεγχος κόστους μεταξύ κοίλων και ανοιχτών διατομών που χρησιμοποιήθηκαν για το στάδιο.

##### **Ευκολία μόρφωσης συνδέσεων**

Είναι αδιαμφισβήτητο ότι η μόρφωση συνδέσεων μεταξύ μελών από ανοιχτές διατομές είναι σαφώς πιο εύκολη και κατανοητή από ότι στην περίπτωση σύνδεσης μελών από κοίλες διατομές. Αυτό συμβαίνει επειδή είναι πολύ πιο εύκολο και φυσιολογικό να συνδέει κανείς επίπεδες επιφάνειες μεταξύ τους, όπως είναι αυτές των κορμών και των πελμάτων των ανοιχτών διατομών, παρά καμπύλες, όπως στην περίπτωση των κλειστών διατομών.

Μάλιστα, εδώ πρέπει να επισημάνουμε ότι πολλές φορές οι συνδέσεις μελών κοίλων διατομών πραγματοποιούνται στο εργοστάσιο και όχι στο χώρο του εργοταξίου, είτε με συγκόλληση είτε με κοχλίες.

##### **Απόκριση κατασκευής σε διάφορα είδη καταπονήσεως**

Είναι γνωστό ότι χάρη στη γεωμετρία μιας διατομής, μπορούμε να πετύχουμε διαφορετική συμπεριφορά απέναντι σε διάφορα είδη καταπονήσεως. Έτσι λοιπόν, σε περιπτώσεις που απαιτείται μεγάλη αντοχή σε στρέψη, όλες οι κοίλες διατομές συμπεριφέρονται πολύ καλύτερα λόγω διπλής συμμετρίας. Αντιθέτως, όσον αφορά την αντοχή απέναντι σε κάμψη, τα διπλά Τα ανταποκρίνονται πολύ καλύτερα, με μικρότερα ποσοστά εκμετάλλευσης, καθώς η μάζα είναι συγκεντρωμένη στα άκρα, δηλαδή στο άνω και κάτω πέλμα.

#### 6.5 Διαστασιολόγηση ανοιχτών διατομών

Αρχικά, οφείλουμε να επισημάνουμε πως στην προσπάθειά μας να αντικαταστήσουμε τις υπάρχουσες κοίλες διατομές κυκλικής μορφής, διαπιστώσαμε τα παρακάτω:

- Ήταν αδύνατο να αντικαταστήσουμε τα μέλη των υποστυλωμάτων καθώς φέρουν πολύ μεγάλα φορτία και αστοχούσαν σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό, κατόπιν ελέγχων.
- Τα κεκλιμένα μέλη των μακροφορέων λόγω του μεγάλου μήκους τους, ήταν επίσης αδύνατο να αντικατασταθούν με διατομές ανοιχτού τύπου. Ομοίως αστοχούσαν σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό, ενάντια στο οποίο μόνο οι κοίλες διατομές μοιάζουν να είναι πολύ καλή λύση.
- Αντικαταστάθηκαν επιτυχώς όλα τα μέλη μόνο του δικτύωματος-προβόλου των μακροφορέων, με τρόπο που εξηγείται αναλυτικά στη συνέχεια.

Συγκεκριμένα, παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά ποια μέλη αντικαταστάθηκαν από ποιες διατομές ανοιχτού τύπου, καθώς επίσης και πίνακες αναλυτικού υπολογισμού συνολικού βάρους και κόστους των κοίλων και των ανοιχτών διατομών.

ΔΙΑΤΟΜΕΣ	
ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΙ ΡΑΒΔΟΙ ΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ	
ΚΟΙΛΗ ΚΥΚΛΙΚΗ	ΑΝΟΙΧΤΗ
CHS 559*12,5	HEA 800
ΡΑΒΔΟΙ ΔΙΑΓΩΝΙΩΝ	
ΚΟΙΛΗ ΚΥΚΛΙΚΗ	ΑΝΟΙΧΤΗ
CHS 323,9*8	HEA 240
ΚΑΘΕΤΑ ΜΕΛΗ ΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ	
ΚΟΙΛΗ ΚΥΚΛΙΚΗ	ΑΝΟΙΧΤΗ
CHS 610*12,5	HEA 280

ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ						
ΔΙΑΤΟΜΗ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ (m)	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (m <sup>2</sup> )	ΒΑΡΟΣ (KN/m)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (KN)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΒΑΡΟΣ (t)
CHS 559*12,5	85.6	0.021461	1.6846885	144.209	14,420.934	14.421
CHS 323,9*8	115.84	0.007939	0.6232115	72.193	7,219.282	7.219
CHS 610*12,5	39	0.023464	1.841924	71.835	7,183.504	7.184
ΣΥΝΟΛΟ						28.824

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ						
ΔΙΑΤΟΜΗ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ (m)	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (m <sup>2</sup> )	ΒΑΡΟΣ (KN/m)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (KN)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΒΑΡΟΣ (t)
HEA 800	85.6	0.02858	2.24353	192.046	19,204.617	19.205
HEA 240	115.84	0.007654	0.600839	69.601	6,960.119	6.960
HEA 280	39	0.009726	0.763491	29.776	2,977.615	2.978
ΣΥΝΟΛΟ						29.142

ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ			
ΔΙΑΤΟΜΗ	ΒΑΡΟΣ (t)	ΚΟΣΤΟΣ (ΕΥΡΩ)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (ΕΥΡΩ)
CHS 559*12,5	14.421	14,421	201,893
CHS 323,9*8	7.219	7,219	101,070
CHS 610*12,5	7.184	7,184	100,569
ΣΥΝΟΛΟ	28.824	28,824	403,532
ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ			
ΔΙΑΤΟΜΗ	ΒΑΡΟΣ (t)	ΚΟΣΤΟΣ (ΕΥΡΩ)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (ΕΥΡΩ)
HEA 800	19.205	19,205	268,865
HEA 240	6.960	6,960	97,442
HEA 280	2.978	2,978	41,687
ΣΥΝΟΛΟ	29.142	29,142	407,993

LC	Class	My	Mz	Qy	Qz	N (NMV)	FL.B.	LTB	Buck.	BAT
<b>53 (HEA280)</b>										
521	3	0,17	0,04	0,00	0,01	0,08	0,29			0,17
522	3	0,11	0,02	0,00	0,01	0,05	0,17	0,29	0,34	0,15
<b>53 (CHS323,9*8)</b>										
521	2	0,20	0,00	0,00	0,00	0,09	0,20			0,17
522	2	0,13	0,00	0,00	0,00	0,05	0,13	0,21	---	0,07
<b>78 (HEA240)</b>										
521	3	0,32	0,05	0,00	0,03	0,10	0,47	0,64	0,66	0,26
522	3	0,17	0,01	0,00	0,02	0,05	0,23			0,15
<b>78 (CHS323,9*8)</b>										
521	2	0,25	0,00	0,00	0,01	0,09	0,25	0,35	---	0,11
522	2	0,13	0,00	0,00	0,01	0,04	0,13			0,11
<b>96 (HEA800)</b>										
521	2	0,15	0,23	0,00	0,03	0,08	0,25	0,79	0,90	0,30
522	1	0,10	0,08	0,00	0,04	0,02	0,09			0,16
<b>96 (CHS559*12)</b>										
521	2	0,36	0,00	0,00	0,03	0,11	0,36	0,50	---	0,12



## 7. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 7.1 Σύνοψη εργασίας

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε η ανάλυση και διαστασιολόγηση του γηπέδου Καραϊσκάκη με τις υπάρχουσες κοίλες διατομές. Προσδιορίστηκαν τα φορτία που καταπονούν το φορέα, και οι συνδυασμοί των δράσεων με τους οποίους έγινε η διαστασιολόγηση της κατασκευής στις οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας. Ακολούθησε η ανάλυση και ο έλεγχος των κρίσιμότερων διατομών του φορέα. Στη συνέχεια, οι υπάρχουσες διατομές αντικαταστάθηκαν με ανοιχτές διατομές διπλού T, με κριτήριο την όσο το δυνατόν οικονομικότερη και βέλτιστη επιλογή, ώστε να επαρκούν και πάλι έναντι όλων των ελέγχων. Σκοπός αυτής της διαδικασίας ήταν η επιβεβαίωση της επάρκειας των αρχικών διατομών και η παρατήρηση της επίδρασης των αλλαγών στις διατομές των μελών του φορέα. Η σύγκριση βασίστηκε στον έλεγχο κόστους-βάρους καθώς επίσης και στη σύγκριση των ποσοστών εκμετάλλευσης σε κάθε περίπτωση.

### 7.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων – συμπεράσματα

Από την ανάλυση της υπάρχουσας κατασκευής, προέκυψε ότι όλες οι διατομές επαρκούν. Κάποια μέλη ικανοποίησαν οριακά τους ελέγχους, όπως ορισμένες ράβδοι του άνω και του κάτω πέλματος του δικτυώματος (max ratio 0.96). Για τα περισσότερα μέλη χρειάστηκε να γίνει έλεγχος σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό, και για την πλειοψηφία αυτών, ήταν και ο κρίσιμότερος έλεγχος.

Από την ανάλυση του σταδίου, μετά την αντικατάσταση των αρχικών κοίλων διατομών από ανοιχτές, προέκυψαν τα εξής:

#### Αντοχή

Είχαμε μεγαλύτερο συντελεστή εκμετάλλευσης στην περίπτωση των HEA, που σημαίνει θεωρητικά βελτιστοποίηση στην επιλογή διατομών. Όμως, αυτό εξηγείται και από το γεγονός ότι σε ένα τόσο μεγάλο έργο όπως είναι ένα στάδιο, είναι αναμενόμενο η επιλογή των διατομών να γίνεται με μεγάλα περιθώρια ασφαλείας, έναντι όλων των πιθανών μορφών αστοχίας.

Το κρίσιμο σημείο ελέγχου ήταν σε κάθε περίπτωση ο στρεπτοκαμπτικός λυγισμός, καθώς εκεί είναι που οι κοίλες διατομές έχουν σαφές πλεονέκτημα έναντι των ανοιχτών. Ήταν αυτό που καθόρισε σε όλες τις φορτίσεις τη διατομή που έπρεπε να επιλεγεί ανά περίπτωση. Έτσι, σε πολλές περιπτώσεις οι κοίλες διατομές ήταν πολύ πιο μικρές από τις αντίστοιχες ανοιχτές.

#### Οικονομία

Ως προς την οικονομία, αν και φαινομενικά δε διαπιστώνονται μεγάλες διαφορές ως προς το συνολικό βάρος και άρα και κόστος χρησιμοποιούμενου χάλυβα, πρέπει να επισημάνουμε πως στην περίπτωση των ανοιχτών διατομών θα περιμέναμε μεγαλύτερη οικονομία, χάρη στο γεγονός ότι όπως έχει προαναφερθεί, λόγω ευρείας χρήσης και βιομηχανοποίησης, οι ανοιχτές διατομές διατίθενται σε λίγο χαμηλότερες τιμές από ό,τι οι κοίλες.

## Βιβλιογραφικές πηγές

- Βάγιας Ι, Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Ι., «Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα, με βάση τα τελικά κείμενα των Ευρωκωδίκων», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2005
- Βάγιας Ι, Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Ι., «Σιδηρές Κατασκευές, Ανάλυση και διαστασιολόγηση» Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2003
- Βάγιας Ι, Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Ι., «Σιδηρές Κατασκευές, Παραδείγματα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3, Τόμος Ι» Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2005
- Βάγιας Ι, Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Ι., «Σιδηρές Κατασκευές, Παραδείγματα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3, Τόμος ΙΙ» Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2005
- Chorpa A. «Δυναμική των κατασκευών-Θεωρία και εφαρμογές στη σεισμική μηχανική». 3η Έκδοση. Εκδόσεις Μ Γκιούρδας 2007.
- Ερμόπουλος Ι. Στοιχεία σχεδιασμού μεταλλικών κατασκευών. 2000.
- Ερμόπουλος Ι. «Ευρωκώδικας 1-Βασικές αρχές σχεδιασμού και δράσεις επί των κατασκευών, Ερμηνευτικά σχόλια και παραδείγματα εφαρμογής». 2η Έκδοση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα: . 2005.
- Εταιρεία Ερευνών Μεταλλικών Έργων (EEME): «Τόμοι πρακτικών Εθνικών Συνεδρίων Σιδηρών Κατασκευών».
- Καρύδη Π. Γ.. «Σημειώσεις αντισεισμικής τεχνολογίας». Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, 1996.
- Κατσιαδέλης Ι.Θ. «Δυναμική των Κατασκευών. Τόμος ΙΙ». Αθήνα: Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, 2003.
- Ο.Α.Σ.Π-ΣΠΜΕ «Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός ΕΑΚ 2000», Αθήνα 2001
- Παπασταματίου Δ, Ι. Ψυχάρης. «Βοηθητικές σημειώσεις αντισεισμικής τεχνολογίας», Αθήνα: Εκδόσεις Εθνικού Πολυτεχνείου 2001.
- Ευρωκώδικας 1: «Βάση μελέτης και δράσεων στις κατασκευές», Μέρος 1-1: Βάσεις Σχεδιασμού, CEN, ENV 1991-1:2002
- Ευρωκώδικας 1: «Βάση μελέτης και δράσεων στις κατασκευές», Μέρος 1-3: Φορτία χιονιού, CEN, ENV 1991-1-3:2002
- Ευρωκώδικας 1: «Βάση μελέτης και δράσεων στις κατασκευές», Μέρος 1-4: Δράση του ανέμου, CEN, ENV 1991-1-4:2002
- Ευρωκώδικας 1: «Βάση μελέτης και δράσεων στις κατασκευές», Μέρος 1-5: Δράση λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών, CEN, ENV 1991-1-5:2002
- Ευρωκώδικας 3: «Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών», Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες, και κανόνες για κτίρια, CEN, ENV 1993-1-1
- Παρουσίαση τεχνικών λεπτομερειών γηπέδου στο επιστημονικό περιοδικό «Μεταλλικές κατασκευές», Μάιος 2004



Διευθύνσεις διαδικτύου με πληροφοριακό υλικό:

- [http://el.wikipedia.org/wiki/Στάδιο\\_Γεώργιος\\_Καραϊσκάκης](http://el.wikipedia.org/wiki/Στάδιο_Γεώργιος_Καραϊσκάκης)
- <http://www.katimagiko.gr/facility/128/gepedo-georgios-karaiskakes>
- [www.stadia.gr](http://www.stadia.gr)
- [www.sofistik.gr](http://www.sofistik.gr)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ (ΕΛΕΓΧΟΙ ΜΕΛΩΝ ΣΤΑΔΙΟΥ)

### 1. Steel Members Dimensioning according to EC3

#### 1.1. BEAM ELEMENTS

Beam	LC	Class	My	Mz	Qy	Qz	N (NMV)	FL.B.	LTB	Buck.	BAT
2	max	2	0.11			0.03	0.26	0.11	0.32	0.26	0.03
3	max	2	0.19			0.04	0.26	0.19	0.39	0.26	0.05
4	max	2	0.45			0.05	0.20	0.45	0.52	0.19	0.40
5	max	2	0.52			0.04	0.21	0.52	0.58	0.18	0.45
12	max	2	0.07			0.02	0.27	0.07	0.31	0.27	0.02
13	max	2	0.17			0.03	0.27	0.17	0.35	0.27	0.04
14	max	2	0.46			0.06	0.21	0.46	0.63	0.20	0.40
15	max	2	0.54			0.07	0.21	0.54	0.61	0.19	0.48
21	max	2	0.02			0.00	0.08	0.02	0.09	0.08	0.02
22	max	2	0.02			0.00	0.07	0.02	0.08	0.07	0.01
23	max	2	0.00			0.00	0.06	0.00	0.09	0.09	
24	max	2	0.00			0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	
25	max	3	0.00			0.00	0.26	0.26	0.25	0.25	
26	max	2	0.01			0.00	0.07	0.01	0.09	0.08	0.00
27	max	2	0.02			0.00	0.08	0.02	0.10	0.09	0.01
28	max	2	0.00			0.00	0.06	0.00	0.03	0.03	
29	max	2	0.00			0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	
30	max	3	0.00			0.00	0.27	0.27	0.27	0.27	
31	max	2	0.03			0.00	0.07	0.03	0.10	0.08	0.01
32	max	2	0.04			0.00	0.08	0.04	0.11	0.09	0.03
33	max	2	0.03			0.00	0.07	0.03	0.10	0.08	0.01
34	max	2	0.04			0.00	0.06	0.04	0.08	0.07	0.03
41	max	2	0.00			0.00	0.08	0.00	0.10	0.10	
42	max	2	0.00			0.00	0.05	0.00	0.07	0.07	
43	max	2	0.03			0.00	0.11	0.03	0.07	0.07	0.02
44	max	3	0.04			0.01	0.15	0.17	0.17	0.16	0.02
45	max	2	0.03			0.00	0.05	0.03	0.06	0.05	0.02
46	max	3	0.04			0.01	0.16	0.18	0.18	0.16	0.02
51	max	3	0.00			0.00	0.05	0.05	0.04	0.04	
52	max	2	0.11			0.00	0.15	0.11	0.29	0.21	0.07
53	max	2	0.37			0.00	0.15	0.37	0.68	0.20	0.30
54	max	2	0.24			0.01	0.18	0.24	0.41	0.25	0.24
55	max	3	0.00			0.00	0.18	0.18	0.06	0.06	
61	max	2	0.05			0.00	0.12	0.05	0.16	0.13	
62	max	2	0.05			0.00	0.11	0.05	0.14	0.12	0.03
63	max	2	0.06			0.00	0.11	0.06	0.15	0.12	0.02
64	max	2	0.08			0.01	0.16	0.08	0.23	0.16	0.03
65	max	2	0.06			0.00	0.10	0.06	0.14	0.10	0.05
66	max	2	0.16			0.01	0.11	0.16	0.23	0.10	0.16
67	max	2	0.11			0.01	0.11	0.11	0.18	0.10	0.11
68	max	2	0.09			0.01	0.15	0.09	0.14	0.12	0.03
71	max	2	0.17			0.01	0.11	0.17	0.19	0.10	0.14
72	max	2	0.14			0.01	0.11	0.14	0.18	0.10	0.14
73	max	2	0.10			0.01	0.11	0.10	0.17	0.10	0.10
74	max	2	0.14			0.01	0.15	0.14	0.16	0.12	0.13
75	max	2	0.19			0.01	0.12	0.19	0.29	0.13	0.16
76	max	2	0.07			0.01	0.11	0.07	0.19	0.12	0.02
77	max	2	0.04			0.00	0.11	0.04	0.15	0.12	0.01
78	max	2	0.43			0.02	0.16	0.43	0.53	0.16	0.09
81	max	2	0.05			0.00	0.10	0.05	0.14	0.10	0.05
82	max	2	0.16			0.01	0.12	0.16	0.27	0.13	0.14
83	max	2	0.06			0.01	0.11	0.06	0.18	0.13	0.02
84	max	2	0.24			0.01	0.11	0.24	0.31	0.10	0.20
91	max	2	0.38			0.04	0.12	0.38	0.43	0.09	0.35
92	max	2	0.37			0.03	0.12	0.37	0.42	0.09	0.35
93	max	2	0.61			0.07	0.11	0.61	0.60	0.07	0.58
94	max	2	0.38			0.04	0.14	0.38	0.49	0.15	0.34
95	max	2	0.37			0.03	0.14	0.37	0.49	0.15	0.33
96	max	2	0.64			0.07	0.14	0.64	0.74	0.16	0.59
101	max	2	0.32			0.02	0.27	0.32	0.71	0.35	0.29

102	max	2	0.79			0.08	0.12	0.79	0.75		0.10	0.80
103	max	2	0.35			0.02	0.27	0.35	0.66		0.32	0.32
104	max	2	0.80			0.08	0.14	0.80	0.83		0.14	0.80
121	max	2	0.00			0.00	0.26	0.00	0.84		0.84	
122	max	2	0.00			0.00	0.26	0.00	0.84		0.84	
123	max	3	0.00			0.00	0.23	0.23	0.18		0.18	
124	max	3	0.00			0.00	0.23	0.23	0.20		0.20	
125	max	3	0.00			0.00	0.27	0.27	0.35		0.35	
126	max	3	0.00			0.00	0.27	0.27	0.34		0.34	
127	max	3	0.00			0.01	0.13	0.13	0.72		0.72	
128	max	3	0.00			0.01	0.19	0.19	0.88		0.88	
131	max	2	0.34			0.08	0.10	0.34	0.42		0.08	0.27
132	max	2	0.34			0.08	0.09	0.34	0.42		0.09	0.28
133	max	2	0.34			0.09	0.09	0.34	0.37		0.07	0.34
134	max	2	0.34			0.09	0.09	0.34	0.38		0.08	0.27
135	max	3	0.00			0.00	0.13	0.13	0.14		0.14	
136	max	3	0.00			0.00	0.13	0.13	0.14		0.14	
201	max	2	0.11			0.02	0.07	0.11	0.19		0.08	0.08
202	max	2	0.21			0.03	0.07	0.21	0.19		0.08	0.20
203	max	2	0.67			0.05	0.03	0.67	0.70		0.03	0.67
204	max	2	0.58			0.05	0.01	0.58	0.63		0.03	0.59
205	max	1	0.44	0.00	0.00	0.13	0.07	0.26	0.57		0.13	0.55
206	max	1	0.44	0.00	0.00	0.03	0.12	0.25	0.58		0.14	0.01
207	max	3	0.00			0.13	0.07	0.07	0.05		0.05	
211	max	2	0.15			0.03	0.07	0.15	0.22		0.07	0.12
212	max	2	0.30			0.03	0.07	0.30	0.24		0.07	0.29
213	max	2	0.67			0.05	0.03	0.67	0.70		0.03	0.66
214	max	2	0.55			0.05	0.00	0.55	0.57		0.01	0.56
215	max	1	0.44	0.00	0.00	0.13	0.06	0.26	0.57		0.12	0.55
216	max	1	0.44	0.00	0.00	0.03	0.12	0.25	0.58		0.14	0.01
217	max	3	0.00			0.13	0.07	0.07	0.05		0.05	
221	max	2	0.11			0.02	0.07	0.11	0.18		0.08	0.08
222	max	2	0.22			0.03	0.07	0.22	0.20		0.07	0.20
223	max	2	0.67			0.05	0.03	0.67	0.71		0.03	0.67
224	max	2	0.58			0.05	0.01	0.58	0.65		0.03	0.59
225	max	1	0.44	0.00	0.00	0.13	0.07	0.26	0.57		0.13	0.50
226	max	1	0.44	0.00	0.00	0.03	0.12	0.25	0.58		0.14	0.01
227	max	3	0.00			0.13	0.06	0.06	0.05		0.05	
231	max	2	0.10			0.01	0.01	0.10	0.10		0.01	0.09
232	max	2	0.27			0.03	0.02	0.27	0.28		0.02	0.25
233	max	2	0.76			0.06	0.15	0.76	0.78		0.05	0.69
241	max	2	0.03			0.01	0.01	0.03	0.03		0.01	0.02
242	max	2	0.19			0.01	0.02	0.19	0.19		0.02	0.18
243	max	2	0.89			0.02	0.15	0.89	0.88		0.05	0.83
251	max	2	0.02			0.00	0.01	0.02	0.03		0.01	0.01
252	max	2	0.18			0.01	0.01	0.18	0.18		0.02	0.17
253	max	2	0.88			0.02	0.15	0.88	0.87		0.05	0.82
261	max	2	0.11			0.01	0.01	0.11	0.11		0.01	0.10
262	max	2	0.26			0.03	0.01	0.26	0.27		0.02	0.25
263	max	2	0.75			0.06	0.15	0.75	0.73		0.05	0.68

Beam	LC	Class	My	Mz	Qy	Qz	N	(NMV)	FL.B.	LTB	Buck.	BAT
1002	max	2	0.05			0.01	0.34	0.05	0.38		0.35	
1003	max	2	0.17			0.03	0.33	0.17	0.37		0.34	0.01
1004	max	2	0.46			0.06	0.23	0.46	0.68		0.25	0.39
1005	max	2	0.54			0.07	0.23	0.54	0.66		0.23	0.46
1012	max	2	0.08			0.02	0.33	0.08	0.37		0.34	
1013	max	2	0.18			0.03	0.32	0.18	0.38		0.33	0.03
1014	max	2	0.46			0.06	0.23	0.46	0.68		0.25	0.39
1015	max	2	0.54			0.07	0.23	0.54	0.66		0.23	0.46
1021	max	2	0.01			0.00	0.09	0.01	0.14		0.12	0.00
1022	max	2	0.02			0.00	0.08	0.02	0.12		0.11	0.01
1023	max	2	0.00			0.00	0.03	0.00	0.04		0.04	
1024	max	2	0.00			0.00	0.01	0.00	0.02		0.02	
1025	max	3	0.00			0.00	0.30	0.30	0.34		0.34	
1026	max	2	0.02			0.00	0.07	0.02	0.11		0.10	
1027	max	2	0.02			0.00	0.06	0.02	0.10		0.09	0.01
1028	max	2	0.00			0.00	0.02	0.00	0.02		0.02	
1029	max	2	0.00			0.00	0.01	0.00	0.02		0.02	

1030	max	3	0.00			0.00	0.29	0.29	0.34		0.34	
1031	max	2	0.02			0.00	0.07	0.02	0.11		0.10	
1032	max	2	0.02			0.00	0.06	0.02	0.09		0.08	0.01
1033	max	2	0.02			0.00	0.09	0.02	0.14		0.12	0.00
1034	max	2	0.02			0.00	0.07	0.02	0.12		0.10	0.02
1041	max	2	0.00			0.00	0.09	0.00	0.11		0.11	
1042	max	2	0.00			0.00	0.04	0.00	0.06		0.06	
1043	max	2	0.04			0.00	0.05	0.04	0.07		0.06	0.03
1044	max	3	0.02			0.00	0.17	0.19	0.19		0.17	0.00
1045	max	2	0.04			0.00	0.05	0.04	0.07		0.06	0.04
1046	max	3	0.02			0.00	0.17	0.19	0.19		0.17	0.00
1051	max	3	0.00			0.00	0.06	0.06	0.06		0.06	
1052	max	2	0.10			0.00	0.16	0.10	0.31		0.23	0.07
1053	max	2	0.37			0.00	0.16	0.37	0.70		0.22	0.25
1054	max	2	0.09			0.00	0.20	0.09	0.40		0.28	0.07
1055	max	3	0.00			0.00	0.18	0.18	0.06		0.06	
1061	max	2	0.06			0.00	0.12	0.06	0.21		0.17	0.00
1062	max	2	0.07			0.01	0.12	0.07	0.25		0.17	
1063	max	2	0.07			0.01	0.12	0.07	0.22		0.17	0.02
1064	max	2	0.10			0.01	0.17	0.10	0.25		0.21	0.03
1065	max	2	0.06			0.00	0.12	0.06	0.21		0.17	0.00
1066	max	2	0.07			0.01	0.12	0.07	0.25		0.17	
1067	max	2	0.07			0.01	0.12	0.07	0.22		0.17	0.01
1068	max	2	0.10			0.01	0.17	0.10	0.25		0.21	0.03
1071	max	2	0.17			0.01	0.12	0.17	0.27		0.17	0.15
1072	max	2	0.07			0.01	0.12	0.07	0.20		0.17	0.04
1073	max	2	0.05			0.00	0.12	0.05	0.22		0.17	0.01
1074	max	2	0.06			0.01	0.17	0.06	0.27		0.21	
1075	max	2	0.17			0.01	0.12	0.17	0.27		0.17	0.15
1076	max	2	0.07			0.01	0.12	0.07	0.20		0.17	0.04
1077	max	2	0.05			0.00	0.12	0.05	0.22		0.17	0.02
1078	max	2	0.06			0.01	0.17	0.06	0.27		0.21	
1081	max	2	0.05			0.00	0.12	0.05	0.21		0.17	0.02
1082	max	2	0.19			0.01	0.12	0.19	0.36		0.17	0.15
1083	max	2	0.05			0.00	0.12	0.05	0.21		0.17	0.02
1084	max	2	0.19			0.01	0.12	0.19	0.36		0.17	0.15
1091	max	2	0.38			0.04	0.14	0.38	0.51		0.16	0.34
1092	max	2	0.37			0.03	0.14	0.37	0.50		0.16	0.34
1093	max	2	0.64			0.07	0.13	0.64	0.69		0.15	0.59
1094	max	2	0.38			0.04	0.14	0.38	0.51		0.16	0.34
1095	max	2	0.37			0.03	0.14	0.37	0.50		0.16	0.34
1096	max	2	0.64			0.07	0.13	0.64	0.69		0.14	0.59
1101	max	2	0.34			0.01	0.30	0.34	0.76		0.43	0.30
1102	max	2	0.80			0.08	0.14	0.80	0.87		0.16	0.80
1103	max	2	0.34			0.01	0.29	0.34	0.75		0.41	0.30
1104	max	2	0.80			0.08	0.14	0.80	0.86		0.16	0.80
1121	max	2	0.00			0.00	0.33	0.00	0.33		0.33	
1122	max	2	0.00			0.00	0.34	0.00	0.31		0.31	
1123	max	3	0.00			0.00	0.26	0.26	0.29		0.29	
1124	max	3	0.00			0.00	0.26	0.26	0.29		0.29	
1125	max	3	0.00			0.00	0.30	0.30	0.38		0.38	
1126	max	3	0.00			0.00	0.30	0.30	0.38		0.38	
1127	max	3	0.00			0.01	0.18	0.18	0.87		0.87	
1128	max	3	0.00			0.01	0.18	0.18	0.87		0.87	
1131	max	2	0.35			0.08	0.11	0.35	0.46		0.12	0.28
1132	max	2	0.35			0.08	0.11	0.35	0.46		0.11	0.28
1133	max	2	0.35			0.09	0.10	0.35	0.42		0.11	0.27
1134	max	2	0.35			0.09	0.10	0.35	0.42		0.10	0.27
1135	max	3	0.00			0.00	0.14	0.14	0.14		0.14	
1136	max	3	0.00			0.00	0.14	0.14	0.14		0.14	
1201	max	2	0.12			0.02	0.08	0.12	0.20		0.08	0.08
1202	max	2	0.22			0.03	0.07	0.22	0.20		0.08	0.20
1203	max	2	0.67			0.05	0.03	0.67	0.71		0.03	0.67
1204	max	2	0.58			0.05	0.01	0.58	0.64		0.03	0.59
1205	max	1	0.44	0.00	0.00	0.13	0.07	0.26	0.57		0.13	0.55
1206	max	1	0.44	0.00	0.00	0.03	0.12	0.25	0.58		0.14	0.01
1207	max	3	0.00			0.13	0.07	0.07	0.05		0.05	
1211	max	2	0.15			0.02	0.07	0.15	0.22		0.07	0.12
1212	max	2	0.30			0.03	0.07	0.30	0.25		0.07	0.29
1213	max	2	0.68			0.05	0.03	0.68	0.71		0.03	0.66
1214	max	2	0.55			0.05	0.00	0.55	0.58		0.01	0.56

1215	max	1	0.44	0.00	0.00	0.13	0.06	0.26	0.57		0.13	0.55
1216	max	1	0.44	0.00	0.00	0.03	0.12	0.25	0.58		0.14	0.01
1217	max	3	0.00			0.13	0.07	0.07	0.05		0.05	
1221	max	2	0.14			0.03	0.08	0.14	0.22		0.08	0.08
1222	max	2	0.21			0.04	0.08	0.21	0.22		0.08	0.20
1223	max	2	0.67			0.06	0.03	0.67	0.71		0.03	0.67
1224	max	2	0.58			0.05	0.01	0.58	0.64		0.03	0.59
1225	max	1	0.44	0.00	0.00	0.13	0.08	0.26	0.57		0.13	0.54
1226	max	1	0.44	0.00	0.00	0.03	0.12	0.25	0.58		0.14	0.01
1227	max	3	0.00			0.13	0.08	0.08	0.05		0.05	
1231	max	2	0.11			0.01	0.01	0.11	0.11		0.01	0.10
1232	max	2	0.26			0.03	0.01	0.26	0.27		0.02	0.25
1233	max	2	0.75			0.06	0.15	0.75	0.73		0.05	0.68
1241	max	2	0.03			0.01	0.01	0.03	0.04		0.01	0.02
1242	max	2	0.18			0.01	0.01	0.18	0.18		0.02	0.17
1243	max	2	0.88			0.02	0.15	0.88	0.87		0.05	0.82
1251	max	2	0.03			0.00	0.01	0.03	0.03		0.01	0.02
1252	max	2	0.19			0.01	0.01	0.19	0.19		0.02	0.18
1253	max	2	0.89			0.02	0.14	0.89	0.88		0.05	0.83
1261	max	2	0.10			0.01	0.01	0.10	0.10		0.01	0.09
1262	max	2	0.27			0.03	0.02	0.27	0.28		0.02	0.25
1263	max	2	0.76			0.06	0.15	0.76	0.76		0.05	0.69

Beam	LC	Class	My	Mz	Qy	Qz	N (NMV)	FL.B.	LTB	Buck.	BAT	
2002	max	2	0.10			0.03	0.29	0.10	0.36		0.30	0.04
2003	max	2	0.18			0.05	0.29	0.18	0.41		0.29	0.07
2004	max	2	0.46			0.06	0.21	0.46	0.65		0.21	0.40
2005	max	2	0.54			0.07	0.21	0.54	0.62		0.20	0.48
2012	max	2	0.11			0.03	0.26	0.11	0.32		0.27	0.03
2013	max	2	0.19			0.04	0.26	0.19	0.40		0.27	0.05
2014	max	2	0.45			0.05	0.20	0.45	0.57		0.20	0.40
2015	max	2	0.52			0.04	0.21	0.52	0.59		0.19	0.45
2021	max	2	0.02			0.00	0.08	0.02	0.11		0.09	
2022	max	2	0.02			0.00	0.08	0.02	0.11		0.09	0.01
2023	max	2	0.00			0.00	0.04	0.00	0.06		0.06	
2024	max	2	0.00			0.00	0.02	0.00	0.02		0.02	
2025	max	3	0.00			0.00	0.27	0.27	0.29		0.29	
2026	max	2	0.02			0.00	0.07	0.02	0.09		0.08	0.02
2027	max	2	0.02			0.00	0.06	0.02	0.07		0.06	0.00
2028	max	2	0.00			0.00	0.04	0.00	0.01		0.01	
2029	max	2	0.00			0.00	0.01	0.00	0.01		0.01	
2030	max	3	0.00			0.00	0.26	0.26	0.27		0.27	
2031	max	2	0.03			0.00	0.07	0.03	0.10		0.08	0.02
2032	max	2	0.04			0.00	0.05	0.04	0.07		0.06	0.03
2033	max	2	0.03			0.00	0.08	0.03	0.10		0.09	0.02
2034	max	2	0.04			0.00	0.08	0.04	0.11		0.09	0.03
2041	max	2	0.00			0.00	0.08	0.00	0.10		0.10	
2042	max	2	0.00			0.00	0.06	0.00	0.07		0.07	
2043	max	2	0.03			0.00	0.05	0.03	0.06		0.05	0.03
2044	max	3	0.03			0.00	0.16	0.18	0.18		0.16	0.00
2045	max	2	0.03			0.00	0.06	0.03	0.07		0.06	0.02
2046	max	3	0.03			0.00	0.15	0.17	0.17		0.16	0.00
2051	max	3	0.00			0.00	0.05	0.05	0.04		0.04	
2052	max	2	0.11			0.00	0.15	0.11	0.29		0.21	0.07
2053	max	2	0.37			0.00	0.15	0.37	0.68		0.20	0.30
2054	max	2	0.21			0.01	0.18	0.21	0.41		0.25	0.20
2055	max	3	0.00			0.00	0.18	0.18	0.06		0.06	
2061	max	2	0.06			0.00	0.10	0.06	0.15		0.11	0.00
2062	max	2	0.14			0.01	0.11	0.14	0.22		0.11	0.02
2063	max	2	0.09			0.01	0.11	0.09	0.18		0.11	0.01
2064	max	2	0.11			0.01	0.15	0.11	0.18		0.13	0.02
2065	max	2	0.06			0.00	0.12	0.06	0.16		0.13	
2066	max	2	0.05			0.00	0.11	0.05	0.15		0.12	0.03
2067	max	2	0.07			0.01	0.11	0.07	0.14		0.12	0.02
2068	max	2	0.09			0.01	0.16	0.09	0.22		0.16	0.03
2071	max	2	0.19			0.01	0.12	0.19	0.27		0.13	0.16
2072	max	2	0.07			0.01	0.11	0.07	0.17		0.13	0.04
2073	max	2	0.05			0.00	0.11	0.05	0.16		0.12	0.02
2074	max	2	0.35			0.02	0.16	0.35	0.46		0.16	0.09

2075	max	2	0.16			0.01	0.11	0.16	0.19		0.11	0.14
2076	max	2	0.12			0.01	0.11	0.12	0.17		0.11	0.04
2077	max	2	0.08			0.01	0.11	0.08	0.17		0.11	0.01
2078	max	2	0.10			0.01	0.15	0.10	0.14		0.13	0.10
2081	max	2	0.06			0.00	0.11	0.06	0.18		0.13	0.01
2082	max	2	0.23			0.01	0.11	0.23	0.32		0.11	0.16
2083	max	2	0.05			0.00	0.10	0.05	0.15		0.11	0.01
2084	max	2	0.16			0.01	0.12	0.16	0.29		0.13	0.14
2091	max	2	0.38			0.04	0.14	0.38	0.50		0.15	0.34
2092	max	2	0.37			0.03	0.14	0.37	0.50		0.16	0.33
2093	max	2	0.64			0.07	0.14	0.64	0.73		0.16	0.59
2094	max	2	0.38			0.04	0.12	0.38	0.44		0.10	0.35
2095	max	2	0.37			0.03	0.12	0.37	0.44		0.10	0.35
2096	max	2	0.61			0.07	0.11	0.61	0.60		0.09	0.58
2101	max	2	0.35			0.02	0.27	0.35	0.69		0.35	0.32
2102	max	2	0.80			0.08	0.14	0.80	0.84		0.14	0.80
2103	max	2	0.32			0.01	0.27	0.32	0.70		0.35	0.29
2104	max	2	0.79			0.08	0.12	0.79	0.77		0.11	0.80
2121	max	2	0.00			0.00	0.25	0.00	0.35		0.35	
2122	max	2	0.00			0.00	0.26	0.00	0.34		0.34	
2123	max	3	0.00			0.00	0.23	0.23	0.21		0.21	
2124	max	3	0.00			0.00	0.23	0.23	0.20		0.20	
2125	max	3	0.00			0.00	0.27	0.27	0.34		0.34	
2126	max	3	0.00			0.00	0.27	0.27	0.35		0.35	
2127	max	3	0.00			0.01	0.19	0.19	0.88		0.88	
2128	max	3	0.00			0.01	0.13	0.13	0.71		0.71	
2131	max	2	0.35			0.08	0.09	0.35	0.43		0.09	0.28
2132	max	2	0.34			0.08	0.10	0.34	0.44		0.10	0.28
2133	max	2	0.35			0.09	0.09	0.35	0.39		0.08	0.28
2134	max	2	0.34			0.09	0.09	0.34	0.39		0.09	0.28
2135	max	3	0.00			0.00	0.13	0.13	0.14		0.14	
2136	max	3	0.00			0.00	0.14	0.14	0.14		0.14	
2201	max	2	0.11			0.03	0.06	0.11	0.14		0.06	0.09
2202	max	2	0.22			0.04	0.06	0.22	0.19		0.06	0.20
2203	max	2	0.81			0.09	0.03	0.81	0.38		0.02	0.82
2204	max	2	0.61			0.06	0.02	0.61	0.32		0.05	0.62
2205	max	1	0.44	0.00	0.00	0.13	0.09	0.26	0.64		0.18	0.53
2206	max	1	0.44	0.00	0.00	0.03	0.12	0.25	0.58		0.14	
2207	max	3	0.00			0.13	0.07	0.07	0.08		0.08	
2211	max	2	0.13			0.03	0.06	0.13	0.14		0.06	0.10
2212	max	2	0.23			0.04	0.06	0.23	0.20		0.06	0.20
2213	max	2	0.90			0.09	0.03	0.90	0.45		0.02	0.90
2214	max	2	0.63			0.06	0.02	0.63	0.32		0.04	0.64
2215	max	1	0.42	0.00	0.00	0.13	0.09	0.24	0.61		0.17	0.51
2216	max	1	0.41	0.13	0.01	0.03	0.12	0.26	0.68		0.14	
2217	max	3	0.00			0.13	0.07	0.07	0.08		0.08	
2221	max	2	0.13			0.03	0.06	0.13	0.15		0.06	0.11
2222	max	2	0.23			0.04	0.06	0.23	0.20		0.06	0.19
2223	max	2	0.94			0.09	0.03	0.94	0.51		0.02	0.95
2224	max	2	0.68			0.06	0.03	0.68	0.39		0.06	0.68
2225	max	1	0.38	0.00	0.00	0.13	0.09	0.20	0.56		0.17	0.45
2226	max	1	0.34	0.22	0.02	0.02	0.12	0.24	0.70		0.14	
2227	max	3	0.00			0.13	0.07	0.07	0.08		0.08	
2231	max	2	0.04			0.01	0.02	0.04	0.05		0.03	0.04
2232	max	2	0.09			0.01	0.02	0.09	0.11		0.02	0.06
2233	max	2	0.58			0.05	0.15	0.58	0.35		0.06	0.53
2241	max	2	0.03			0.01	0.03	0.03	0.05		0.03	0.02
2242	max	2	0.07			0.01	0.02	0.07	0.09		0.03	0.04
2243	max	2	0.56			0.03	0.15	0.56	0.33		0.05	0.52
2251	max	2	0.04			0.01	0.02	0.04	0.06		0.02	0.04
2252	max	2	0.14			0.01	0.03	0.14	0.15		0.03	0.10
2253	max	2	0.52			0.04	0.15	0.52	0.33		0.05	0.47
2261	max	2	0.09			0.01	0.01	0.09	0.09		0.01	0.10
2262	max	2	0.10			0.01	0.03	0.10	0.12		0.03	0.10
2263	max	2	0.40			0.09	0.15	0.40	0.27		0.06	0.34

Beam	LC	Class	My	Mz	Qy	Qz	N (NMV)	FL.B.	LTB	Buck.	BAT
3002	max	2	0.03			0.02	0.37	0.03	0.26	0.23	0.00
3003	max	2	0.20			0.03	0.37	0.20	0.31	0.22	0.08
3004	max	2	0.41			0.05	0.32	0.41	0.31	0.19	0.33

3005	max	2	0.51	0.04	0.32	0.51	0.38	0.17	0.44
3012	max	2	0.03	0.02	0.36	0.03	0.27	0.24	0.01
3013	max	2	0.18	0.03	0.36	0.18	0.31	0.23	0.09
3014	max	2	0.39	0.05	0.31	0.39	0.30	0.18	0.32
3015	max	2	0.52	0.05	0.31	0.52	0.38	0.17	0.45
3021	max	2	0.01	0.00	0.10	0.01	0.13	0.12	0.00
3022	max	2	0.02	0.00	0.06	0.02	0.09	0.07	0.01
3023	max	2	0.00	0.00	0.08	0.00	0.12	0.12	
3024	max	2	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02	
3025	max	3	0.00	0.00	0.44	0.44	0.30	0.30	
3026	max	2	0.01	0.00	0.10	0.01	0.13	0.12	
3027	max	2	0.02	0.00	0.06	0.02	0.08	0.07	0.00
3028	max	2	0.00	0.00	0.07	0.00	0.09	0.09	
3029	max	2	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.02	
3030	max	3	0.00	0.00	0.43	0.43	0.30	0.30	
3031	max	2	0.03	0.00	0.10	0.03	0.12	0.11	0.01
3032	max	2	0.03	0.00	0.06	0.03	0.08	0.06	0.02
3033	max	2	0.03	0.00	0.10	0.03	0.13	0.12	0.02
3034	max	2	0.03	0.00	0.06	0.03	0.08	0.07	0.02
3041	max	2	0.00	0.00	0.06	0.00	0.12	0.12	
3042	max	2	0.00	0.00	0.04	0.00	0.08	0.08	
3043	max	2	0.03	0.00	0.11	0.03	0.15	0.12	0.02
3044	max	3	0.06	0.00	0.28	0.34	0.35	0.29	
3045	max	2	0.03	0.00	0.10	0.03	0.14	0.11	0.01
3046	max	3	0.06	0.00	0.28	0.34	0.35	0.29	
3051	max	3	0.00	0.01	0.12	0.12	0.09	0.09	
3052	max	2	0.17	0.00	0.25	0.17	0.56	0.38	0.12
3053	max	2	0.38	0.00	0.28	0.38	0.88	0.35	0.13
3054	max	2	0.16	0.00	0.28	0.16	0.48	0.31	0.02
3055	max	3	0.00	0.00	0.18	0.18	0.06	0.06	
3061	max	2	0.08	0.01	0.15	0.08	0.16	0.11	0.05
3062	max	2	0.11	0.01	0.22	0.11	0.21	0.14	0.07
3063	max	2	0.08	0.01	0.28	0.08	0.24	0.17	0.04
3064	max	2	0.09	0.01	0.36	0.09	0.24	0.21	0.05
3065	max	2	0.08	0.01	0.16	0.08	0.17	0.11	0.05
3066	max	2	0.10	0.01	0.21	0.10	0.21	0.14	0.06
3067	max	2	0.07	0.01	0.28	0.07	0.24	0.17	0.04
3068	max	2	0.09	0.01	0.35	0.09	0.25	0.22	0.04
3071	max	2	0.15	0.01	0.15	0.15	0.18	0.09	0.11
3072	max	2	0.11	0.01	0.21	0.11	0.16	0.13	0.04
3073	max	2	0.08	0.01	0.28	0.08	0.18	0.16	0.03
3074	max	2	0.11	0.01	0.35	0.11	0.22	0.19	0.06
3075	max	2	0.15	0.01	0.15	0.15	0.17	0.09	0.10
3076	max	2	0.11	0.01	0.22	0.11	0.15	0.13	0.04
3077	max	2	0.08	0.01	0.28	0.08	0.18	0.16	0.03
3078	max	2	0.10	0.01	0.36	0.10	0.24	0.19	0.07
3081	max	2	0.08	0.01	0.15	0.08	0.17	0.10	0.07
3082	max	2	0.17	0.01	0.15	0.17	0.17	0.10	0.14
3083	max	2	0.08	0.01	0.15	0.08	0.17	0.09	0.08
3084	max	2	0.17	0.01	0.15	0.17	0.17	0.10	0.14
3091	max	2	0.33	0.03	0.24	0.33	0.28	0.14	0.24
3092	max	2	0.35	0.03	0.21	0.35	0.26	0.12	0.27
3093	max	2	0.71	0.10	0.17	0.71	0.40	0.10	0.64
3094	max	2	0.33	0.03	0.24	0.33	0.28	0.14	0.24
3095	max	2	0.35	0.03	0.21	0.35	0.26	0.12	0.28
3096	max	2	0.71	0.10	0.17	0.71	0.41	0.10	0.64
3101	max	2	0.28	0.01	0.64	0.28	0.55	0.46	0.15
3102	max	2	0.78	0.10	0.27	0.78	0.55	0.15	0.76
3103	max	2	0.27	0.01	0.63	0.27	0.57	0.47	0.17
3104	max	2	0.78	0.10	0.26	0.78	0.56	0.15	0.76
3121	max	2	0.00	0.00	0.25	0.00	0.81	0.81	
3122	max	2	0.00	0.00	0.25	0.00	0.80	0.80	
3123	max	3	0.00	0.00	0.20	0.20	0.14	0.14	
3124	max	3	0.00	0.00	0.20	0.20	0.12	0.12	
3125	max	3	0.00	0.00	0.44	0.44	0.59	0.59	
3126	max	3	0.00	0.00	0.44	0.44	0.59	0.59	
3127	max	3	0.00	0.01	0.15	0.15	0.82	0.82	
3128	max	3	0.00	0.01	0.15	0.15	0.84	0.84	
3131	max	2	0.34	0.07	0.10	0.34	0.44	0.10	0.33
3132	max	2	0.34	0.07	0.10	0.34	0.43	0.08	0.34
3133	max	2	0.34	0.09	0.10	0.34	0.39	0.09	0.32

3134	max	2	0.34			0.09	0.10	0.34	0.39		0.08	0.33
3135	max	3	0.00			0.00	0.14	0.14	0.14		0.14	
3136	max	3	0.00			0.00	0.13	0.13	0.14		0.14	
3201	max	2	0.13			0.03	0.07	0.13	0.14		0.07	0.11
3202	max	2	0.25			0.04	0.07	0.25	0.22		0.06	0.21
3203	max	2	0.95			0.09	0.03	0.95	0.43		0.02	0.95
3204	max	2	0.67			0.06	0.03	0.67	0.38		0.05	0.67
3205	max	1	0.19	0.00	0.00	0.11	0.09	0.06	0.35		0.16	0.22
3206	max	1	0.08	0.23	0.02	0.01	0.11	0.10	0.45		0.13	
3207	max	3	0.00			0.13	0.07	0.07	0.08		0.08	
3211	max	2	0.12			0.03	0.06	0.12	0.14		0.06	0.10
3212	max	2	0.24			0.04	0.06	0.24	0.22		0.06	0.21
3213	max	2	0.89			0.09	0.03	0.89	0.45		0.02	0.90
3214	max	2	0.63			0.06	0.02	0.63	0.34		0.04	0.64
3215	max	1	0.24	0.01	0.00	0.12	0.10	0.09	0.45		0.19	0.28
3216	max	1	0.06	0.32	0.03	0.00	0.12	0.15	0.50		0.14	0.00
3217	max	3	0.00			0.13	0.08	0.08	0.09		0.09	
3221	max	2	0.10			0.03	0.07	0.10	0.13		0.07	0.08
3222	max	2	0.22			0.04	0.07	0.22	0.21		0.07	0.21
3223	max	2	0.84			0.09	0.04	0.84	0.42		0.02	0.83
3224	max	2	0.64			0.07	0.02	0.64	0.36		0.05	0.65
3225	max	1	0.24	0.00	0.00	0.12	0.10	0.09	0.43		0.19	0.27
3226	max	1	0.00	0.32	0.03	0.00	0.12	0.14	0.45		0.14	
3227	max	3	0.00			0.13	0.07	0.07	0.09		0.09	
3231	max	2	0.07			0.01	0.01	0.07	0.08		0.01	0.08
3232	max	2	0.14			0.01	0.02	0.14	0.15		0.03	0.14
3233	max	2	0.39			0.09	0.15	0.39	0.22		0.06	0.35
3241	max	2	0.04			0.01	0.02	0.04	0.04		0.02	0.03
3242	max	2	0.12			0.01	0.02	0.12	0.13		0.03	0.09
3243	max	2	0.52			0.04	0.15	0.52	0.27		0.06	0.48
3251	max	2	0.03			0.01	0.02	0.03	0.05		0.02	0.02
3252	max	2	0.07			0.01	0.02	0.07	0.09		0.03	0.03
3253	max	2	0.58			0.03	0.15	0.58	0.29		0.05	0.54
3261	max	2	0.05			0.01	0.02	0.05	0.05		0.02	0.04
3262	max	2	0.10			0.01	0.02	0.10	0.12		0.02	0.05
3263	max	2	0.59			0.05	0.15	0.59	0.30		0.06	0.55

Beam	LC	Class	My	Mz	Qy	Qz	N	(NMV)	FL.B.	LTB	Buck.	BAT
4002	max	2	0.11			0.03	0.27	0.11	0.33		0.27	0.03
4003	max	2	0.19			0.04	0.27	0.19	0.41		0.28	0.05
4004	max	2	0.46			0.06	0.21	0.46	0.59		0.21	0.40
4005	max	2	0.52			0.04	0.21	0.52	0.60		0.20	0.45
4012	max	2	0.07			0.02	0.30	0.07	0.35		0.31	0.02
4013	max	2	0.17			0.03	0.29	0.17	0.38		0.30	0.04
4014	max	2	0.46			0.06	0.21	0.46	0.65		0.22	0.40
4015	max	2	0.55			0.07	0.21	0.55	0.63		0.20	0.47
4021	max	2	0.02			0.00	0.08	0.02	0.10		0.09	0.02
4022	max	2	0.02			0.00	0.07	0.02	0.08		0.08	0.01
4023	max	2	0.00			0.00	0.03	0.00	0.03		0.03	
4024	max	2	0.00			0.00	0.01	0.00	0.01		0.01	
4025	max	3	0.00			0.00	0.27	0.27	0.28		0.28	
4026	max	2	0.01			0.00	0.09	0.01	0.11		0.10	0.01
4027	max	2	0.02			0.00	0.09	0.02	0.11		0.10	0.01
4028	max	2	0.00			0.00	0.04	0.00	0.05		0.05	
4029	max	2	0.00			0.00	0.02	0.00	0.02		0.02	
4030	max	3	0.00			0.00	0.27	0.27	0.30		0.30	
4031	max	2	0.03			0.00	0.08	0.03	0.11		0.09	0.01
4032	max	2	0.04			0.00	0.09	0.04	0.12		0.10	0.03
4033	max	2	0.03			0.00	0.08	0.03	0.11		0.09	0.01
4034	max	2	0.04			0.00	0.07	0.04	0.09		0.07	0.02
4041	max	2	0.00			0.00	0.08	0.00	0.10		0.10	
4042	max	2	0.00			0.00	0.06	0.00	0.08		0.08	
4043	max	2	0.03			0.00	0.07	0.03	0.10		0.07	0.03
4044	max	3	0.04			0.01	0.16	0.18	0.18		0.16	0.00
4045	max	2	0.03			0.00	0.05	0.03	0.06		0.05	0.03
4046	max	3	0.04			0.01	0.16	0.18	0.18		0.16	0.00
4051	max	3	0.00			0.00	0.05	0.05	0.05		0.05	
4052	max	2	0.11			0.00	0.15	0.11	0.29		0.21	0.07
4053	max	2	0.37			0.00	0.15	0.37	0.68		0.21	0.30



4054	max	2	0.21			0.01	0.18	0.21	0.42	0.26	0.20
4055	max	3	0.00			0.00	0.17	0.17	0.07	0.07	
4061	max	2	0.05			0.00	0.12	0.05	0.17	0.13	
4062	max	2	0.05			0.00	0.12	0.05	0.16	0.13	0.03
4063	max	2	0.06			0.01	0.11	0.06	0.14	0.12	0.02
4064	max	2	0.08			0.01	0.16	0.08	0.22	0.16	0.03
4065	max	2	0.06			0.00	0.11	0.06	0.15	0.11	
4066	max	2	0.14			0.01	0.12	0.14	0.22	0.12	0.00
4067	max	2	0.09			0.01	0.11	0.09	0.18	0.11	0.01
4068	max	2	0.10			0.01	0.15	0.10	0.16	0.14	0.02
4071	max	2	0.17			0.01	0.11	0.17	0.19	0.11	0.14
4072	max	2	0.12			0.01	0.12	0.12	0.18	0.12	0.04
4073	max	2	0.08			0.01	0.11	0.08	0.18	0.11	0.01
4074	max	2	0.10			0.01	0.15	0.10	0.14	0.14	0.10
4075	max	2	0.18			0.01	0.12	0.18	0.27	0.13	0.15
4076	max	2	0.07			0.01	0.12	0.07	0.17	0.13	0.04
4077	max	2	0.05			0.00	0.11	0.05	0.17	0.12	0.02
4078	max	2	0.35			0.02	0.16	0.35	0.46	0.16	0.09
4081	max	2	0.05			0.00	0.11	0.05	0.16	0.11	0.01
4082	max	2	0.17			0.01	0.12	0.17	0.29	0.13	0.14
4083	max	2	0.06			0.00	0.12	0.06	0.18	0.13	0.01
4084	max	2	0.23			0.01	0.11	0.23	0.32	0.11	0.15
4091	max	2	0.37			0.03	0.12	0.37	0.45	0.11	0.35
4092	max	2	0.36			0.03	0.12	0.36	0.45	0.11	0.35
4093	max	2	0.62			0.07	0.11	0.62	0.61	0.10	0.59
4094	max	2	0.38			0.03	0.14	0.38	0.50	0.15	0.34
4095	max	2	0.36			0.03	0.15	0.36	0.50	0.16	0.34
4096	max	2	0.65			0.07	0.14	0.65	0.72	0.16	0.60
4101	max	2	0.32			0.02	0.28	0.32	0.72	0.36	0.28
4102	max	2	0.80			0.08	0.12	0.80	0.79	0.12	0.80
4103	max	2	0.35			0.02	0.27	0.35	0.68	0.36	0.30
4104	max	2	0.81			0.08	0.14	0.81	0.85	0.15	0.80
4121	max	2	0.00			0.00	0.27	0.00	0.36	0.36	
4122	max	2	0.00			0.00	0.26	0.00	0.36	0.36	
4123	max	3	0.00			0.00	0.22	0.22	0.21	0.21	
4124	max	3	0.00			0.00	0.23	0.23	0.22	0.22	
4125	max	3	0.00			0.00	0.28	0.28	0.36	0.36	
4126	max	3	0.00			0.00	0.27	0.27	0.35	0.35	
4127	max	3	0.00			0.01	0.13	0.13	0.34	0.34	
4128	max	3	0.00			0.01	0.19	0.19	0.26	0.26	
4131	max	2	0.34			0.08	0.10	0.34	0.43	0.09	0.28
4132	max	2	0.35			0.08	0.10	0.35	0.43	0.09	0.28
4133	max	2	0.34			0.09	0.09	0.34	0.38	0.08	0.27
4134	max	2	0.35			0.09	0.09	0.35	0.39	0.08	0.27
4135	max	3	0.00			0.00	0.13	0.13	0.14	0.14	
4136	max	3	0.00			0.00	0.13	0.13	0.14	0.14	
4201	max	2	0.11			0.02	0.08	0.11	0.19	0.08	0.08
4202	max	2	0.21			0.03	0.08	0.21	0.20	0.08	0.20
4203	max	2	0.67			0.05	0.03	0.67	0.71	0.03	0.67
4204	max	2	0.58			0.05	0.01	0.58	0.64	0.03	0.59
4205	max	1	0.24	0.00	0.00	0.12	0.07	0.09	0.36	0.12	0.29
4206	max	1	0.00	0.32	0.03	0.00	0.12	0.14	0.45	0.13	
4207	max	3	0.00			0.13	0.06	0.06	0.06	0.06	
4211	max	2	0.15			0.02	0.07	0.15	0.22	0.07	0.12
4212	max	2	0.29			0.03	0.07	0.29	0.23	0.07	0.29
4213	max	2	0.67			0.05	0.03	0.67	0.70	0.03	0.66
4214	max	2	0.55			0.05	0.00	0.55	0.58	0.01	0.56
4215	max	1	0.23	0.00	0.00	0.12	0.06	0.09	0.36	0.12	0.29
4216	max	1	0.00	0.32	0.03	0.00	0.12	0.14	0.45	0.13	
4217	max	3	0.00			0.13	0.06	0.06	0.06	0.06	
4221	max	2	0.11			0.02	0.08	0.11	0.19	0.08	0.08
4222	max	2	0.21			0.03	0.08	0.21	0.19	0.08	0.20
4223	max	2	0.67			0.05	0.03	0.67	0.71	0.03	0.67
4224	max	2	0.58			0.05	0.01	0.58	0.64	0.03	0.59
4225	max	1	0.24	0.00	0.00	0.12	0.07	0.09	0.36	0.12	0.29
4226	max	1	0.00	0.32	0.03	0.00	0.12	0.14	0.45	0.13	
4227	max	3	0.00			0.13	0.06	0.06	0.06	0.06	
4231	max	2	0.10			0.01	0.01	0.10	0.11	0.01	0.09
4232	max	2	0.26			0.03	0.02	0.26	0.27	0.02	0.12
4233	max	2	0.76			0.06	0.15	0.76	0.77	0.06	0.69
4241	max	2	0.03			0.01	0.01	0.03	0.04	0.01	0.01

4242	max	2	0.19			0.01	0.02	0.19	0.19		0.02	0.09
4243	max	2	0.89			0.02	0.14	0.89	0.89		0.06	0.83
4251	max	2	0.03			0.01	0.01	0.03	0.04		0.01	0.01
4252	max	2	0.19			0.01	0.02	0.19	0.19		0.02	0.09
4253	max	2	0.89			0.02	0.14	0.89	0.89		0.06	0.83
4261	max	2	0.10			0.01	0.01	0.10	0.11		0.01	0.09
4262	max	2	0.26			0.03	0.02	0.26	0.27		0.02	0.12
4263	max	2	0.76			0.06	0.15	0.76	0.77		0.06	0.69

Beam	LC	Class	My	Mz	Qy	Qz	N	(NMV)	FL.B.	LTB	Buck.	BAT
5002	max	2	0.10			0.03	0.30	0.10	0.37		0.31	0.05
5003	max	2	0.17			0.05	0.30	0.17	0.42		0.30	0.08
5004	max	2	0.46			0.06	0.21	0.46	0.66		0.22	0.40
5005	max	2	0.55			0.07	0.21	0.55	0.63		0.20	0.47
5012	max	2	0.11			0.03	0.26	0.11	0.33		0.27	0.03
5013	max	2	0.19			0.04	0.27	0.19	0.41		0.28	0.05
5014	max	2	0.46			0.06	0.21	0.46	0.59		0.21	0.40
5015	max	2	0.52			0.04	0.21	0.52	0.60		0.20	0.45
5021	max	2	0.02			0.00	0.09	0.02	0.12		0.10	0.01
5022	max	2	0.02			0.00	0.09	0.02	0.12		0.10	0.01
5023	max	2	0.00			0.00	0.03	0.00	0.05		0.05	
5024	max	2	0.00			0.00	0.02	0.00	0.02		0.02	
5025	max	3	0.00			0.00	0.27	0.27	0.30		0.30	
5026	max	2	0.02			0.00	0.08	0.02	0.10		0.09	0.02
5027	max	2	0.02			0.00	0.07	0.02	0.08		0.08	0.01
5028	max	2	0.00			0.00	0.03	0.00	0.04		0.04	
5029	max	2	0.00			0.00	0.01	0.00	0.01		0.01	
5030	max	3	0.00			0.00	0.27	0.27	0.28		0.28	
5031	max	2	0.03			0.00	0.08	0.03	0.11		0.09	0.02
5032	max	2	0.04			0.00	0.07	0.04	0.09		0.07	0.02
5033	max	2	0.03			0.00	0.09	0.03	0.11		0.09	0.01
5034	max	2	0.04			0.00	0.09	0.04	0.13		0.10	0.03
5041	max	2	0.00			0.00	0.08	0.00	0.10		0.10	
5042	max	2	0.00			0.00	0.06	0.00	0.08		0.08	
5043	max	2	0.03			0.00	0.05	0.03	0.06		0.05	0.01
5044	max	3	0.04			0.01	0.16	0.18	0.18		0.16	0.00
5045	max	2	0.03			0.00	0.06	0.03	0.09		0.07	0.02
5046	max	3	0.04			0.01	0.16	0.18	0.18		0.16	0.00
5051	max	3	0.00			0.00	0.05	0.05	0.05		0.05	
5052	max	2	0.11			0.00	0.15	0.11	0.29		0.21	0.07
5053	max	2	0.37			0.00	0.15	0.37	0.68		0.21	0.30
5054	max	2	0.21			0.01	0.18	0.21	0.42		0.26	0.20
5055	max	3	0.00			0.00	0.17	0.17	0.07		0.07	
5061	max	2	0.06			0.00	0.11	0.06	0.15		0.11	
5062	max	2	0.14			0.01	0.12	0.14	0.22		0.12	0.00
5063	max	2	0.09			0.01	0.11	0.09	0.18		0.11	0.01
5064	max	2	0.10			0.01	0.15	0.10	0.16		0.14	0.03
5065	max	2	0.05			0.00	0.12	0.05	0.17		0.13	
5066	max	2	0.05			0.00	0.12	0.05	0.16		0.13	0.03
5067	max	2	0.06			0.01	0.11	0.06	0.14		0.12	0.02
5068	max	2	0.08			0.01	0.16	0.08	0.22		0.16	0.02
5071	max	2	0.18			0.01	0.12	0.18	0.27		0.13	0.15
5072	max	2	0.07			0.01	0.12	0.07	0.17		0.13	0.04
5073	max	2	0.05			0.00	0.11	0.05	0.17		0.12	0.02
5074	max	2	0.35			0.02	0.16	0.35	0.46		0.16	0.09
5075	max	2	0.17			0.01	0.11	0.17	0.19		0.11	0.14
5076	max	2	0.12			0.01	0.12	0.12	0.18		0.12	0.04
5077	max	2	0.09			0.01	0.11	0.09	0.18		0.11	0.01
5078	max	2	0.10			0.01	0.15	0.10	0.14		0.14	0.10
5081	max	2	0.06			0.00	0.12	0.06	0.19		0.13	0.01
5082	max	2	0.23			0.01	0.11	0.23	0.32		0.11	0.15
5083	max	2	0.05			0.00	0.11	0.05	0.16		0.11	0.01
5084	max	2	0.17			0.01	0.12	0.17	0.29		0.13	0.14
5091	max	2	0.38			0.03	0.14	0.38	0.50		0.15	0.34
5092	max	2	0.36			0.03	0.15	0.36	0.50		0.16	0.34
5093	max	2	0.65			0.07	0.14	0.65	0.72		0.16	0.60
5094	max	2	0.37			0.03	0.12	0.37	0.45		0.11	0.35
5095	max	2	0.36			0.03	0.12	0.36	0.45		0.11	0.35
5096	max	2	0.62			0.07	0.11	0.62	0.61		0.10	0.59

5101	max	2	0.35				0.02	0.27	0.35	0.70		0.36	0.30
5102	max	2	0.81				0.08	0.14	0.81	0.85		0.15	0.80
5103	max	2	0.32				0.02	0.28	0.32	0.72		0.36	0.28
5104	max	2	0.80				0.08	0.12	0.80	0.79		0.12	0.80
5121	max	2	0.00				0.00	0.26	0.00	0.36		0.36	
5122	max	2	0.00				0.00	0.27	0.00	0.36		0.36	
5123	max	3	0.00				0.00	0.23	0.23	0.22		0.22	
5124	max	3	0.00				0.00	0.22	0.22	0.21		0.21	
5125	max	3	0.00				0.00	0.27	0.27	0.35		0.35	
5126	max	3	0.00				0.00	0.28	0.28	0.36		0.36	
5127	max	3	0.00				0.01	0.19	0.19	0.26		0.26	
5128	max	3	0.00				0.01	0.13	0.13	0.34		0.34	
5131	max	2	0.35				0.08	0.10	0.35	0.43		0.09	0.28
5132	max	2	0.34				0.08	0.10	0.34	0.43		0.09	0.28
5133	max	2	0.35				0.09	0.09	0.35	0.39		0.08	0.27
5134	max	2	0.34				0.09	0.09	0.34	0.39		0.08	0.27
5135	max	3	0.00				0.00	0.13	0.13	0.14		0.14	
5136	max	3	0.00				0.00	0.13	0.13	0.14		0.14	
5201	max	2	0.10				0.03	0.07	0.10	0.13		0.07	0.08
5202	max	2	0.22				0.04	0.07	0.22	0.21		0.07	0.21
5203	max	2	0.84				0.09	0.04	0.84	0.43		0.02	0.83
5204	max	2	0.64				0.07	0.02	0.64	0.36		0.05	0.65
5205	max	1	0.24	0.00	0.00		0.12	0.10	0.09	0.43		0.19	0.27
5206	max	1	0.00	0.32	0.03		0.00	0.12	0.14	0.45		0.14	
5207	max	3	0.00				0.13	0.07	0.07	0.09		0.09	
5211	max	2	0.12				0.03	0.06	0.12	0.14		0.06	0.10
5212	max	2	0.24				0.04	0.06	0.24	0.22		0.06	0.21
5213	max	2	0.89				0.09	0.03	0.89	0.45		0.02	0.90
5214	max	2	0.63				0.06	0.02	0.63	0.34		0.04	0.64
5215	max	1	0.24	0.01	0.00		0.12	0.10	0.09	0.45		0.19	0.28
5216	max	1	0.06	0.32	0.03		0.00	0.12	0.15	0.50		0.14	0.00
5217	max	3	0.00				0.13	0.08	0.08	0.09		0.09	
5221	max	2	0.13				0.03	0.07	0.13	0.14		0.07	0.11
5222	max	2	0.25				0.04	0.07	0.25	0.22		0.06	0.21
5223	max	2	0.95				0.09	0.03	0.95	0.43		0.02	0.95
5224	max	2	0.67				0.06	0.03	0.67	0.38		0.05	0.67
5225	max	1	0.19	0.00	0.00		0.11	0.09	0.06	0.35		0.16	0.22
5226	max	1	0.08	0.23	0.02		0.01	0.11	0.10	0.45		0.13	
5227	max	3	0.00				0.13	0.07	0.07	0.08		0.08	
5231	max	2	0.05				0.01	0.02	0.05	0.05		0.02	0.04
5232	max	2	0.10				0.01	0.02	0.10	0.12		0.02	0.04
5233	max	2	0.59				0.05	0.15	0.59	0.30		0.06	0.55
5241	max	2	0.03				0.01	0.02	0.03	0.05		0.03	0.03
5242	max	2	0.07				0.01	0.02	0.07	0.09		0.03	0.03
5243	max	2	0.58				0.03	0.15	0.58	0.29		0.05	0.54
5251	max	2	0.04				0.01	0.02	0.04	0.04		0.02	0.03
5252	max	2	0.12				0.01	0.02	0.12	0.14		0.03	0.09
5253	max	2	0.52				0.04	0.15	0.52	0.27		0.06	0.48
5261	max	2	0.07				0.01	0.01	0.07	0.08		0.01	0.08
5262	max	2	0.14				0.01	0.02	0.14	0.15		0.03	0.14
5263	max	2	0.39				0.09	0.15	0.39	0.22		0.06	0.35

Beam	LC	Class	My	Mz	Qy	Qz	N	(NMV)	FL.B.	LTB	Buck.	BAT
6002	max	2	0.03			0.02	0.36	0.03	0.28		0.25	
6003	max	2	0.18			0.03	0.36	0.18	0.32		0.24	0.09
6004	max	2	0.39			0.05	0.31	0.39	0.30		0.19	0.32
6005	max	2	0.52			0.05	0.31	0.52	0.38		0.17	0.45
6012	max	2	0.03			0.02	0.37	0.03	0.25		0.22	
6013	max	2	0.19			0.03	0.37	0.19	0.30		0.22	0.08
6014	max	2	0.41			0.05	0.32	0.41	0.31		0.19	0.33
6015	max	2	0.51			0.04	0.31	0.51	0.38		0.17	0.44
6021	max	2	0.02			0.00	0.10	0.02	0.13		0.12	0.00
6022	max	2	0.02			0.00	0.06	0.02	0.08		0.07	0.01
6023	max	2	0.00			0.00	0.07	0.00	0.10		0.10	
6024	max	2	0.00			0.00	0.02	0.00	0.02		0.02	
6025	max	3	0.00			0.00	0.44	0.44	0.30		0.30	
6026	max	2	0.02			0.00	0.10	0.02	0.13		0.12	0.00
6027	max	2	0.02			0.00	0.06	0.02	0.08		0.07	0.01
6028	max	2	0.00			0.00	0.07	0.00	0.11		0.11	
6029	max	2	0.00			0.00	0.01	0.00	0.02		0.02	

6030	max	3	0.00			0.00	0.44	0.44	0.30		0.30	
6031	max	2	0.02			0.00	0.09	0.02	0.12		0.11	0.01
6032	max	2	0.03			0.00	0.06	0.03	0.08		0.07	0.01
6033	max	2	0.02			0.00	0.10	0.02	0.13		0.12	0.00
6034	max	2	0.03			0.00	0.06	0.03	0.08		0.07	0.01
6041	max	2	0.00			0.00	0.06	0.00	0.12		0.12	
6042	max	2	0.00			0.00	0.04	0.00	0.09		0.09	
6043	max	2	0.02			0.00	0.10	0.02	0.12		0.11	0.01
6044	max	3	0.03			0.00	0.28	0.29	0.30		0.29	
6045	max	2	0.02			0.00	0.11	0.02	0.13		0.12	0.00
6046	max	3	0.03			0.00	0.29	0.30	0.30		0.30	
6051	max	3	0.00			0.01	0.13	0.13	0.09		0.09	
6052	max	2	0.17			0.00	0.25	0.17	0.55		0.38	0.12
6053	max	2	0.38			0.00	0.28	0.38	0.88		0.35	0.13
6054	max	2	0.16			0.00	0.28	0.16	0.48		0.31	0.04
6055	max	3	0.00			0.00	0.18	0.18	0.06		0.06	
6061	max	2	0.08			0.01	0.15	0.08	0.17		0.11	0.05
6062	max	2	0.10			0.01	0.21	0.10	0.22		0.14	0.07
6063	max	2	0.07			0.01	0.28	0.07	0.24		0.17	0.04
6064	max	2	0.09			0.01	0.35	0.09	0.25		0.22	0.05
6065	max	2	0.08			0.01	0.15	0.08	0.16		0.10	0.05
6066	max	2	0.10			0.01	0.22	0.10	0.21		0.14	0.07
6067	max	2	0.07			0.01	0.28	0.07	0.24		0.17	0.04
6068	max	2	0.09			0.01	0.36	0.09	0.24		0.21	0.05
6071	max	2	0.15			0.01	0.15	0.15	0.17		0.09	0.10
6072	max	2	0.11			0.01	0.22	0.11	0.15		0.13	0.04
6073	max	2	0.08			0.01	0.28	0.08	0.18		0.16	0.03
6074	max	2	0.10			0.01	0.36	0.10	0.24		0.19	0.07
6075	max	2	0.15			0.01	0.15	0.15	0.19		0.09	0.11
6076	max	2	0.11			0.01	0.21	0.11	0.16		0.13	0.04
6077	max	2	0.08			0.01	0.28	0.08	0.18		0.16	0.03
6078	max	2	0.10			0.01	0.35	0.10	0.22		0.20	0.07
6081	max	2	0.08			0.01	0.15	0.08	0.17		0.09	0.08
6082	max	2	0.17			0.01	0.15	0.17	0.18		0.10	0.14
6083	max	2	0.08			0.01	0.15	0.08	0.17		0.10	0.07
6084	max	2	0.17			0.01	0.15	0.17	0.17		0.10	0.15
6091	max	2	0.33			0.03	0.24	0.33	0.28		0.14	0.24
6092	max	2	0.35			0.03	0.21	0.35	0.26		0.12	0.28
6093	max	2	0.71			0.10	0.17	0.71	0.41		0.10	0.64
6094	max	2	0.33			0.03	0.24	0.33	0.27		0.14	0.24
6095	max	2	0.35			0.03	0.21	0.35	0.26		0.12	0.27
6096	max	2	0.71			0.10	0.17	0.71	0.40		0.10	0.64
6101	max	2	0.27			0.01	0.64	0.27	0.58		0.49	0.17
6102	max	2	0.79			0.10	0.26	0.79	0.56		0.16	0.76
6103	max	2	0.28			0.01	0.64	0.28	0.54		0.46	0.16
6104	max	2	0.78			0.10	0.26	0.78	0.55		0.15	0.76
6121	max	2	0.00			0.00	0.25	0.00	0.81		0.81	
6122	max	2	0.00			0.00	0.25	0.00	0.81		0.81	
6123	max	3	0.00			0.00	0.20	0.20	0.12		0.12	
6124	max	3	0.00			0.00	0.20	0.20	0.14		0.14	
6125	max	3	0.00			0.00	0.45	0.45	0.59		0.59	
6126	max	3	0.00			0.00	0.45	0.45	0.59		0.59	
6127	max	3	0.00			0.01	0.15	0.15	0.84		0.84	
6128	max	3	0.00			0.01	0.15	0.15	0.82		0.82	
6131	max	2	0.34			0.08	0.10	0.34	0.43		0.08	0.34
6132	max	2	0.34			0.07	0.10	0.34	0.44		0.10	0.33
6133	max	2	0.34			0.09	0.10	0.34	0.39		0.07	0.32
6134	max	2	0.34			0.09	0.10	0.34	0.39		0.09	0.32
6135	max	3	0.00			0.00	0.13	0.13	0.14		0.14	
6136	max	3	0.00			0.00	0.14	0.14	0.14		0.14	
6201	max	2	0.13			0.03	0.06	0.13	0.15		0.06	0.11
6202	max	2	0.23			0.04	0.06	0.23	0.20		0.06	0.19
6203	max	2	0.94			0.09	0.03	0.94	0.51		0.02	0.95
6204	max	2	0.68			0.06	0.03	0.68	0.39		0.06	0.68
6205	max	1	0.39	0.01	0.00	0.13	0.09	0.21	0.58		0.17	0.46
6206	max	1	0.35	0.23	0.02	0.02	0.12	0.25	0.71		0.14	0.00
6207	max	3	0.00			0.13	0.07	0.07	0.08		0.08	
6211	max	2	0.13			0.03	0.06	0.13	0.14		0.06	0.10
6212	max	2	0.23			0.04	0.06	0.23	0.20		0.06	0.20
6213	max	2	0.90			0.09	0.03	0.90	0.45		0.02	0.90
6214	max	2	0.63			0.06	0.02	0.63	0.33		0.04	0.64

6215	max	1	0.42	0.00	0.00	0.13	0.09	0.24	0.61	0.17	0.51
6216	max	1	0.41	0.13	0.01	0.03	0.12	0.25	0.68	0.14	
6217	max	3	0.00			0.13	0.07	0.07	0.08	0.08	
6221	max	2	0.11			0.03	0.06	0.11	0.13	0.07	0.09
6222	max	2	0.22			0.04	0.06	0.22	0.20	0.06	0.20
6223	max	2	0.81			0.09	0.03	0.81	0.38	0.02	0.81
6224	max	2	0.61			0.06	0.02	0.61	0.32	0.05	0.61
6225	max	1	0.44	0.00	0.00	0.13	0.09	0.26	0.64	0.18	0.53
6226	max	1	0.44	0.00	0.00	0.03	0.12	0.25	0.58	0.14	
6227	max	3	0.00			0.13	0.07	0.07	0.08	0.08	
6231	max	2	0.10			0.01	0.01	0.10	0.09	0.01	0.10
6232	max	2	0.11			0.01	0.03	0.11	0.12	0.03	0.10
6233	max	2	0.40			0.09	0.15	0.40	0.27	0.06	0.34
6241	max	2	0.04			0.01	0.02	0.04	0.06	0.02	0.04
6242	max	2	0.14			0.01	0.03	0.14	0.16	0.03	0.10
6243	max	2	0.52			0.04	0.15	0.52	0.33	0.06	0.48
6251	max	2	0.03			0.01	0.03	0.03	0.05	0.03	0.02
6252	max	2	0.07			0.01	0.02	0.07	0.09	0.03	0.04
6253	max	2	0.56			0.03	0.15	0.56	0.33	0.05	0.53
6261	max	2	0.05			0.01	0.03	0.05	0.05	0.03	0.04
6262	max	2	0.09			0.01	0.02	0.09	0.11	0.02	0.04
6263	max	2	0.58			0.05	0.15	0.58	0.35	0.06	0.54

## LEGEND

Beam	:	The Identification Number of the Beam
Element	:	
LC	:	The Identification Number of the Loadcase
Class	:	The class of the beam's cross section according to Table 5.3.1
My	:	The ratio for the strength in Moment in strong axis
Mz	:	The ratio for the strength in Moment in weak axis
Qy	:	The ratio for the strength in Shear in strong axis
Qz	:	The ratio for the strength in Shear in strong axis
N	:	The ratio for the strength in Axial (NMV)
of bending (incl. shear) and axial force (5.4.8)	:	The ratio for the strength in combination of bending (incl. shear) and axial force (5.4.8)
FL.B.	:	The ratio for Flexural Buckling (5.5.4)
LTB	:	The ratio for Lateral Torsional Buckling (5.5.4)
Buck.	:	The ratio for the strength in Buckling (5.5.1)
BAT	:	The ratio for the strength in combination of Bending and Axial Tension (5.5.3)