ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Γενικά Στοιχεία για τον Χάλυβα

1.1 Ο Χάλυβας

1.2 Χρήσεις, Κατηγορίες και Παραγωγή Χάλυβα

1.2.1 Στατιστικά Στοιχεία

1.2.2 Χρήσεις Χάλυβα

1.2.3 Κατηγορίες Χάλυβα

1.2.4 Ιδιότητες

1.2.5 Έλεγχος Φυσικών και Μηχανικών Ιδιοτήτων

1.2.6 Βελτίωση Ιδιοτήτων

1.2.7 Δομικά Στοιχεία από Χάλυβα

1.3 Εφαρμογές του Χάλυβα

1.3.1 Γεφυροποϊία

1.3.2 Οικοδομικά και Λοιπά Έργα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Στέγαστρα Σταδίων

2.1 Γενικά Στοιχεία

2.2 Στατικές Μορφές Στεγάστρων

2.3 Αναλυτικά Παραδείγματα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Παρουσίαση Γηπέδου, Προτάσεων και Λύσης

3.1 Παρουσίαση Γηπέδου

3.2 Εξετασθείσες Προτάσεις Στέγασης

3.3 Παρουσίαση Πρότασης Στέγης

3.4 Περιγραφή των Τμημάτων του Στεγάστρου

3.4.1 Χωροδικτυώματα

3.4.2 Πυλώνες
3.4.3 Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας Στέγης
3.4.4 Καλώδια
3.4.5 Αγκύρια
3.4.6 Επικάλυψη Στέγης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Φορτία και Συνδυασμοί Δράσεων
4.1 Φορτίο Χιονιού
4.2 Φορτίο Ανέμου
4.2.1 Υπολογισμός Πίεσης λόγω Ανέμου
4.2.2 Υπολογισμός Δύναμης λόγω Ανέμου
4.3 Σεισμός
4.4 Συνδυασμοί Δράσεων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Μελέτη Φορέα
5.1 Κατασκευή Φορέα με το Sofistik
5.2 Κατασκευή Μοντέλου Στεγάστρου
5.2.1 Υπορουτίνα AQUA
5.2.2 Υπορουτίνα GENF
5.2.3 Υπορουτίνα STAR
5.2.4 Υπορουτίνα DYNA
5.2.5 Υπορουτίνα MAXIMA
5.3 Θεωρία Δεύτερης Τάξης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Ανέγερση και Κατασκευή Φορέων από Χάλυβα
6.1 Γενικά
6.2 Κατασκευή και Ανέγερση
6.3 Ανυψωτικά Μηχανήματα – Γερανοί

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Κανόνες Ασφαλείας
7.1 Ασφάλεια στους Χώρους Εργασίας
7.1.1 Γενικές Διατάξεις

7.1.2 Μέσα Πρόσβασης και Εξόδου
7.1.3 Διατήρηση Χώρου
7.1.4 Προληπτικά μέτρα για την αντιμετώπιση πτώσης υλικών, ατόμων και κατάρρευσης κατασκευών
7.1.5 Αποτροπή μη Εξουσιοδοτημένης Εισόδου
7.1.6 Πρόληψη και Καταστολή Πυρκαγιάς
7.2 Σκαλωσιές και Κινητές Σκάλες
7.2.1 Γενικές Διατάξεις
7.2.2 Υλικά
7.2.3 Μελέτη και Κατασκευή
7.2.4 Χρήση Σκαλωσιών
7.3 Ανυψωτικά Μέσα και Μηχανισμοί
7.3.1 Γενικές Διατάξεις
7.3.2 Εγκατάσταση
7.3.3 Έλεγχοι και Δοκιμές
7.3.4 Χειριστήρια, Συσκευές Χειρισμού και Θαλαμίσκοι
7.3.5 Χειρισμός
7.4 Μέθοδοι και υλικά πυροπροστασίας μεταλλικών κατασκευών
7.4.1 Γενικά
7.4.2 Έλεγχος επάρκειας μεταλλικών στοιχείων υπό συνθήκες φωτιάς
7.4.3 Προστατευτικά υλικά μεταλλικών κατασκευών

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

Κεφάλαιο Ι: Επιλογή Διατομών και Διαστασιολόγηση
I.i Γενικά
I.ii Αρχική Επιλογή Διατομών
I.iii Εύρεση μη Αστοχούντων Διατομών
I.iv Βελτιστοποίηση Φορέα

Κεφάλαιο ΙΙ: Τελική Εικόνα Στεγάστρου

ΙΙ.i Γενικά

ΙΙ.ii Διατομές και ενδεικτικό κόστος

Κεφάλαιο ΙΙΙ: Συμπεράσματα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Γενικά στοιχεία για τον χάλυβα

1.1 Ο ΧΑΛΥΒΑΣ

Ο χάλυβας (κοινώς το ατσάλι) είναι το πιο διαδεδομένο κατασκευαστικό υλικό μετά την πέτρα και το ξύλο. Χρησιμοποιείται από την αρχιτεκτονική και τη ναυπηγική μέχρι την κατασκευή χειρουργικών εργαλείων. Είναι κράμα σιδήρου – άνθρακα που περιέχει λιγότερο από 2,06% κ.β. άνθρακα, λιγότερο από 1,0% μαγγάνιο και πολύ μικρά ποσοστά πυριτίου, φωσφόρου, θείου και οξυγόνου. Οι κραματωμένοι χάλυβες, όπως για παράδειγμα οι ανοξείδωτοι χάλυβες και οι εργαλειοχάλυβες, αποτελούν μία ειδική κατηγορία κραμάτων που περιέχουν υψηλότερα ποσοστά άλλων μετάλλων. Επίσης, ο χάλυβας είναι ένα από τα σημαντικότερα βιομηχανικά υλικά και οι χαλυβουργίες (εργοστάσια παραγωγής χάλυβα) ανήκουν στις «βαριές βιομηχανίες». Σε παλαιότερες εποχές, άλλωστε η βιομηχανική παραγωγή μιας χώρας αξιολογούνταν από την παραγωγή της σε χάλυβα. Τέλος, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως μία από τις τρεις Ευρωπαϊκές Κοινότητες που ιδρύθηκαν το 1957 ήταν και η Ευρωπαϊκή Κοινότητα Άνθρακα και Χάλυβα.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις χρήσεως του χάλυβα, μπορούν να μεταβληθούν ορισμένες ιδιότητες κατά την παραγωγή του, δηλαδή διαμέσου της χημικής σύνθεσης, της μεταβολής της κρυσταλλικής κατάστασης, της θερμικής επεξεργασίας κλπ.

Ο χάλυβας λαμβάνεται από τον κοινό χυτοσίδηρο (χαλυβοποίηση του χυτοσιδήρου), με τις ακόλουθες μεθόδους:

- Μέθοδος Bessemer
- Μέθοδος Siemens – Martin
- Μέθοδος ηλεκτρικής καμίνου

Αναλυτικότερα :

- Μέθοδος Bessemer: κατά τη μέθοδο αυτή, ο κοινός χυτοσίδηρος φέρεται εντός μετατροπέα από τον πυθμένα του οποίου εμφυσείται θερμός αέρας (ή αέρας και οξυγόνο) με τη βοήθεια ακροφυσίων. Ο αέρας αυτός κατακαίει (οξειδώνει) τις ακαθαρσίες του λιωμένου χυτοσιδήρου και έτσι λαμβάνεται χυτοσίδηρος σχεδόν χωρίς καθόλου άνθρακα. Στη συνέχεια προστίθεται η επιθυμητή ποσότητα του άνθρακα. Ανάλογα με την περιεκτικότητα του χυτοσιδήρου σε φώσφορο, επενδύεται και ο μετατροπέας με όξινη ή βασική επένδυση. Για χυτοσίδηρο φτωχό σε φώσφορο, η επένδυση είναι όξινη και για χυτοσίδηρο πλούσιο σε φώσφορο, η επένδυση είναι βασική (μέθοδος Thoman). Η όξινη πυρίμαχη επένδυση, αποτελείται από άργιλο και διοξείδιο του πυριτίου ενώ η βασική επένδυση, είναι πλούσια σε βασικά οξείδια του οξειδίου του ασβεστίου και του οξειδίου του μαγνησίου και λαμβάνεται με πύρωση του δολομίτη.

Σχ. 1.1 Μετατροπέας Bessemer στο Sheffield της Αγγλίας.

- Μέθοδος Siemens – Martin: κατά τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται αβαθείς κάμινοι με μεγάλη επιφάνεια αντίδρασης της επένδυσης, η οποία μπορεί να είναι βασική ή όξινη. Η θερμοκρασία στην κάμινο, φθάνει τους 1500 – 1700 C. Η υψηλή θερμοκρασία και η μεγάλη επιφάνεια της επένδυσης της καμίνου, επιτρέπουν την προγραμματισμένη επίδραση των οξειδωτικών αντιδράσεων. Με τη χρήση αυτής της μεθόδου, καθίσταται δυνατή η παραγωγή χάλυβα, με διάφορους τρόπους, ανάλογα με την τροφοδοσία της καμίνου. Όπως πχ η ράβδος κοινού χυτοσιδήρου και μεταλλεύματος (χυτοσίδηρος περίπου 75%), η μέθοδος κοινού χυτοσιδήρου και απορριμμάτων σφυρήλατου σιδήρου και χάλυβα (χυτοσίδηρος περίπου 25%) κλπ. Η μέθοδος Siemens – Martin, είναι κατάλληλη για παραγωγή οποιουδήποτε χάλυβα και επιτρέπει μία ακριβή σύνθεση των κραμάτων.

Σχ. 1.2 Φούρνος Siemens-Martin από το μουσείο Brandenburg Museum of Industry.

- Μέθοδος ηλεκτρικής καμίνου: με τη μέθοδο της ηλεκτρικής καμίνου, λαμβάνεται χάλυβας εξαιρετικής ποιότητας και γι' αυτό χρησιμοποιείται για τη βελτίωση χάλυβα Bessemer ή Siemens – Martin, καθώς επίσης και για την παρασκευή ειδικών χαλύβων. Η θερμότητα παράγεται από ηλεκτρική ενέργεια, είτε μέσω σχηματισμού ηλεκτρικών τόξων μεταξύ ηλεκτροδίων από άνθρακα και του τήγματος, είτε μέσω καύσεως κωκ, μέσα στην υψικάμινο, με τη βοήθεια ηλεκτρικών αντιστάσεων. Στη δεύτερη περίπτωση προστίθεται όσο κωκ απαιτείται για την αντίδραση της αναγωγής του μεταλλεύματος.

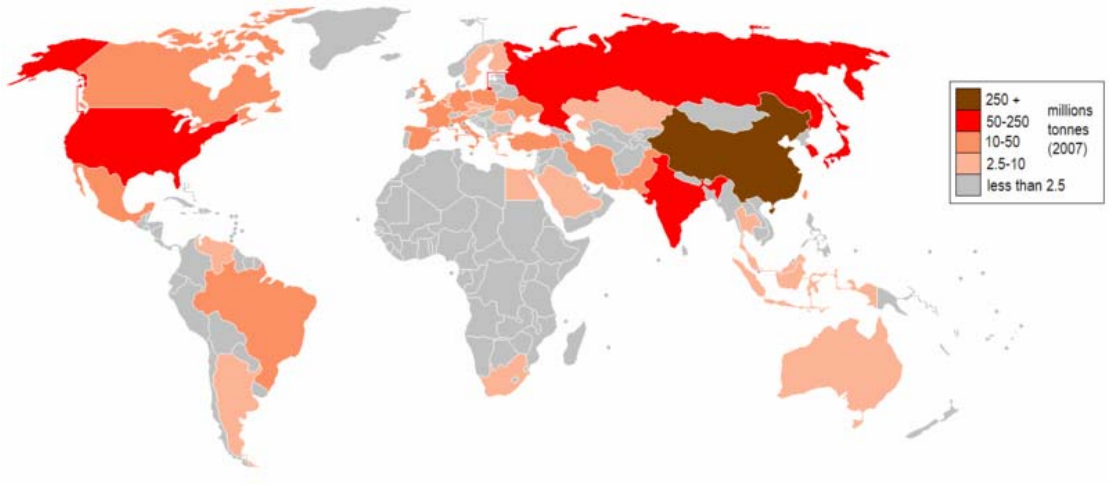
Ο χάλυβας δεν είναι συστατικό του σκυροδέματος, αλλά χρησιμοποιείται μαζί με αυτό και μας δίνει το οπλισμένο σκυρόδεμα, γνωστό και με τον γαλλικό όρο "μπετόν – αρμέ". Ειδικός χάλυβας επίσης χρησιμοποιείται και για το προεντεταμένο σκυρόδεμα. Το υλικό αυτό δεν είναι ένα νέο βελτιωμένο είδος οπλισμένου σκυροδέματος, αλλά ένα εντελώς νέο δομικό υλικό, το οποίο απλά είναι συγγενές με αυτό.

1.2 ΧΡΗΣΕΙΣ, ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΑΛΥΒΑ

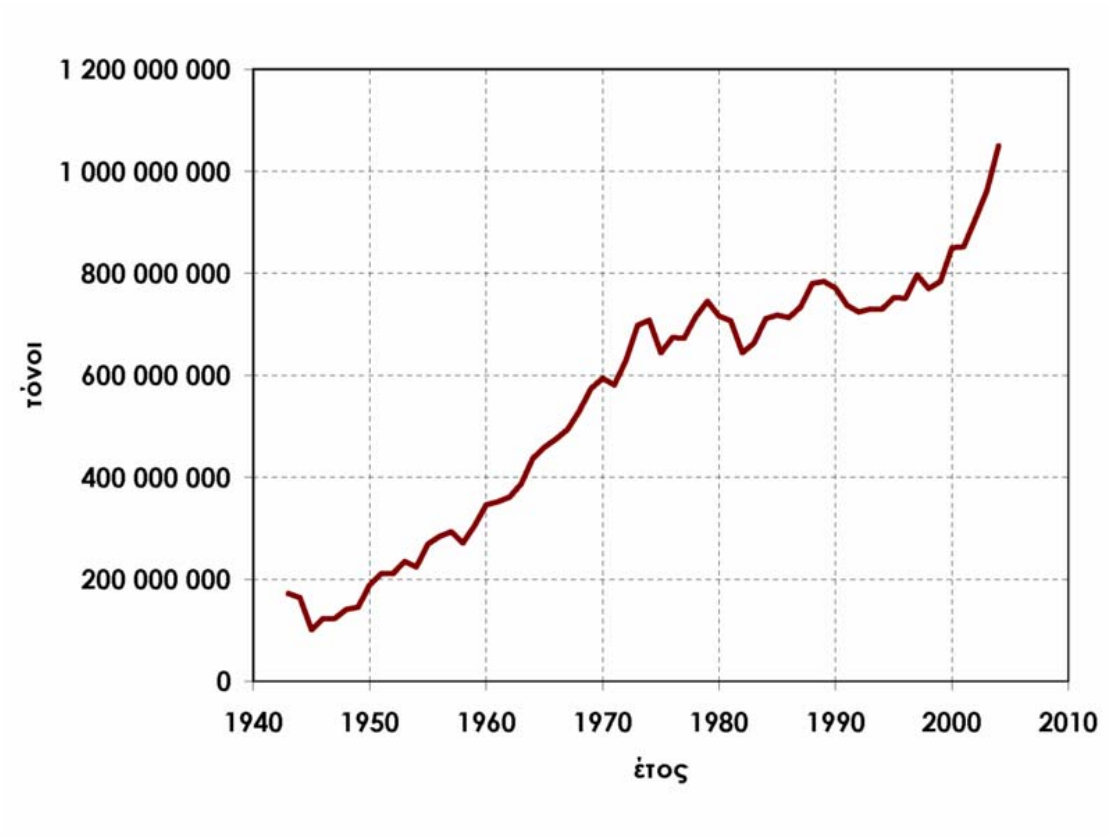
1.2.1 Στατιστικά στοιχεία

Η παραγωγή του χάλυβα είχε αρχίσει πολύ πριν την Αναγέννηση, από διάφορες αναποτελεσματικές μεθόδους, η χρήση του όμως έγινε πιο κοινή τον 17ο αιώνα με την εφαρμογή νεότερων και πιο αποτελεσματικών μεθόδων. Σήμερα, είναι ένα από τα πιο κοινά υλικά στον κόσμο και αποτελεί σημαντικό συστατικό των κτιρίων, των εργαλείων, των αυτοκινήτων και των συσκευών. Ο σύγχρονος χάλυβας συνήθως εντοπίζεται σε διάφορες ποιότητες, που ορίζονται από διάφορους οργανισμούς τυποποίησης. Αξίζει να αναφερθεί πως είναι το πιο ευρέως ανακυκλωμένο υλικό στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα ενεργά ανακυκλώνει περισσότερα από 150 χρόνια σε μεγάλο βαθμό διότι είναι πιο συμφέρουσα διαδικασία και από οικονομική άποψη. Είναι φθηνότερη η ανακύκλωση χάλυβα από την εξόρυξη σιδηρομεταλλεύματος και προώθησης του στην παραγωγική διαδικασία για να αποτελέσει το «νέο» χάλυβα. Η ενέργεια που εξοικονομείται με την ανακύκλωση μειώνει την ετήσια κατανάλωση ενέργειας της βιομηχανίας, περίπου στο 75%, ποσοστό το οποίο είναι αρκετό για να ηλεκτροδοτήσει δεκαοκτώ εκατομμύρια σπίτια για ένα χρόνο. Η ανακύκλωση ενός τόνου χάλυβα αποθηκεύει 1.100 χιλιόγραμμα του σιδηρομεταλλεύματος, 630 χιλιόγραμμα του άνθρακα, και 55 κιλά ασβεστόλιθου. Ας σημειωθεί ότι 76 εκατομμύρια τόνοι χάλυβα ανακυκλώθηκαν το 2005. Πράγματι, ο κατασκευαστικός χάλυβας συνήθως περιέχει περίπου 95% ανακυκλωμένο χάλυβα.

Πληροφοριακά παραθέτουμε έναν χάρτη που απεικονίζει την παραγωγή του χάλυβα παγκοσμίως κατά το έτος 2007:



Σχ. 1.3 Παραγωγή του χάλυβα παγκοσμίως κατά το έτος 2007.

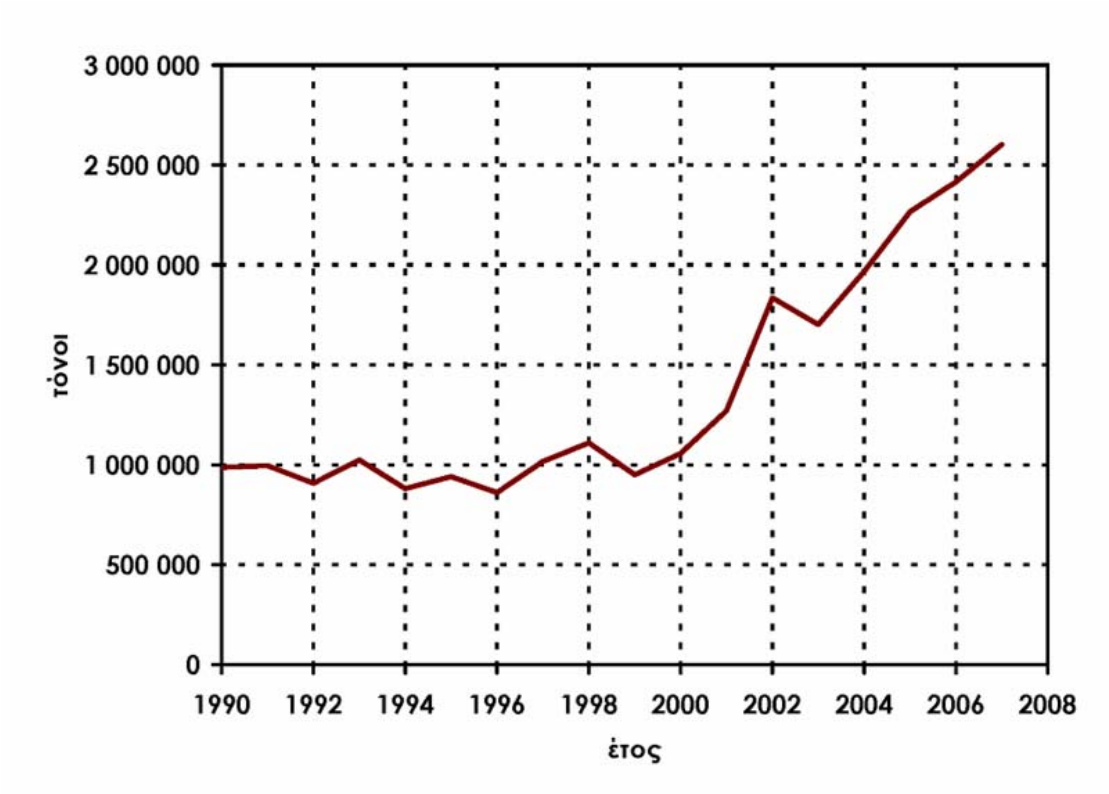


Σχ. 1.4 Στατιστικά στοιχεία για την παγκόσμια παραγωγή χάλυβα 1943 - 2004. Πηγή στοιχείων: US Geological Survey (2007).

Οι δέκα πρώτες χώρες σε παραγωγή ακατέργαστου χάλυβα κατά το 2006 ήταν:

1. Κίνα 423 Mt,
2. Ιαπωνία 116 Mt,
3. ΗΠΑ 99 Mt,
4. Ρωσία 71 Mt,
5. Ν. Κορέα 49 Mt,
6. Γερμανία 47 Mt,
7. Ινδία 44 Mt,
8. Ουκρανία 41 Mt,
9. Ιταλία 32 Mt,
10. Βραζιλία 31 Mt.

Συγκεκριμένα για την Ελλάδα η παραγωγή χάλυβα σημείωσε σημαντική άνοδο από το 2000 και μετά:



Σχ. 1.5 Ετήσια παραγωγή χάλυβα στην Ελλάδα από το 1990 έως και το 2007. (Στοιχεία από: International Iron and Steel Institute, 2008.)

1.2.2 Χρήσεις χάλυβα

Α. Χάλυβας για οπλισμένο σκυρόδεμα:

Ο χάλυβας έχει την ιδιότητα να προσφύεται με το σκυρόδεμα. Αυτό σημαίνει ότι απαιτείται σημαντική δύναμη για να αποσπαστεί μία χαλύβδινη ράβδος από το σκυρόδεμα, που την περιβάλλει. Έχει επίσης την ιδιότητα να μην επηρεάζεται δυσμενώς από την επαφή του σκυροδέματος σε οποιανδήποτε κατάσταση και αν βρίσκεται (νωπό ή στερεό). Όχι μόνο δε σκουριάζει μέσα στο σκυρόδεμα, αλλά αντίθετα κατά την πήξη του τσιμέντου, λόγω εμφάνισης αναγωγικών φαινομένων, απαλλάσσεται από τη σκουριά, η οποία πιθανόν να υπήρχε πάνω στην επιφάνειά του. (Αναγωγή καλείται η αφαίρεση οξυγόνου από μία χημική ένωση, το αντίθετο δηλαδή της οξείδωσης).

Μία τρίτη ιδιότητα είναι ότι έχει περίπου τον ίδιο συντελεστή διαστολής με το σκυρόδεμα, περίπου ένα εκατοντάκις χιλιοστό (10^{-5}) για κάθε βαθμό Κελσίου. Συνεπώς η συνάφεια χάλυβα – σκυροδέματος δεν κινδυνεύει να λυθεί, έστω και σε περίπτωση, κατά την οποία παρουσιάζονται μεγάλες μεταβολές θερμοκρασίας.

Οι τρεις αυτές ιδιότητες είναι εκείνες, οι οποίες κυρίως επιτρέπουν να χρησιμοποιείται ο χάλυβας ως οπλισμός και συνεπώς αν υπάρχει το οπλισμένο σκυρόδεμα.
Για το οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται συνήθως χάλυβας με μορφή ράβδων κυκλικής διατομής. Σε ορισμένα κράτη χρησιμοποιούνται και ράβδοι τετραγωνικής ή εξαγωνικής διατομής, αυτό όμως σπανιότατα συμβαίνει στην Ελλάδα. Στον όρο ράβδος κυκλικής διατομής περιλαμβάνονται και ράβδοι, οι οποίες έχουν μεν ψυχή με σχήμα κυλίνδρου εκ περιστροφής, φέρουν όμως στην επιφάνειά τους κτύπους, νευρώσεις ή άλλες ανωμαλίες. Οι ανωμαλίες αυτές είναι τόσο μικρές ώστε η διαφορά της μέγιστης διαμέτρου από την ελάχιστη να είναι αμελητέα, όταν συγκρίνεται με τη διάμετρο της ράβδου.
Ο χάλυβας οπλισμού, ο οποίος κυκλοφορεί στο εμπόριο κατατάσσεται σε διάφορες ποιότητες. Σύμφωνα με τους ελληνικούς κανονισμούς, οι οποίου στο σημείο αυτό συμφωνούν απολύτως με τους γερμανικούς, υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες (ποιότητες) χάλυβα. Οι κατηγορίες χαρακτηρίζονται με τους λατινικούς αριθμούς I, II, III, IV. Η κατηγορία I για παράδειγμα έχει την

χαμηλότερη αντοχή. Τέλος, οι ράβδοι του οπλισμού φέρονται στο εμπόριο συνήθως σε διαμέτρους, που εκφράζονται με ένα άρτιο αριθμό χιλιοστών του μέτρου, με κατώτατο όριο τα 6mm και ανώτατο τα 32mm.

B. Χάλυβας για προεντεταμένο σκυρόδεμα:

Η ιδέα της προεντάσεως είναι αρκετά παλαιά, αλλά οι προσπάθειες απέτυχαν, επειδή τότε η βιομηχανία δεν μπορούσε να δώσει χάλυβα με πολύ υψηλή αντοχή.
Οι ποιότητες του χάλυβα, που χρησιμοποιούνται για το οπλισμένο σκυρόδεμα, δεν είναι κατάλληλες για το προεντεταμένο, για το οποίο χρησιμοποιούνται συνήθως χάλυβες ειδικής επεξεργασίας, με όριο ελαστικότητας τουλάχιστον 10000 kg/cm^2 και με αντοχή σε εφελκυσμό τουλάχιστον 14000 kg/cm^2.

Ο χάλυβας χρησιμοποιείται και εδώ υπό μορφή ράβδων κυκλικής διατομής. Η συνήθης μορφή είναι τα πολύκλωνα καλώδια, επειδή κατ' αυτό τον τρόπο η προένταση και η αγκύρωση γίνονται συγχρόνως για περισσότερες από μίας ράβδους.

Σήμερα, το επικρατέστερο υλικό για τον οπλισμό αποτελεί ο χάλυβας. Τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει η πειραματική εφαρμογή συνθετικών υλικών υψηλής αντοχής, η οποία όμως, βρίσκεται σε αρχικά στάδια έρευνας και εφαρμογής και χρησιμοποιείται σε ειδικές περιπτώσεις.

1.2.3 Κατηγορίες χάλυβα

Οι χάλυβες διακρίνονται:

- Ανάλογα με τη μέθοδο παραγωγής στις εξής κατηγορίες:
  - → Εξελασμένοι εν θερμώ χωρίς περαιτέρω επεξεργασία
  - → Εξελασμένοι εν θερμώ με άμεση θερμική επεξεργασία
  - → Επεξεργασμένοι εν ψυχρώ με στρέψη ή και όλκηση
  - → Ειδικοί χάλυβες (π.χ. σκληρυμένοι χάλυβες)

- Ανάλογα με τη μορφή της επιφάνειάς τους στις εξής κατηγορίες;

Κυκλικές ράβδοι, σύρματα, συγκολλητά δομικά πλέγματα με λεία επιφάνεια, ράβδοι , σύρματα και συγκολλητά δομικά πλέγματα υψηλής συνάφειας

- Ανάλογα με τη μηχανική αντοχή τους στις εξής κατηγορίες:
  S220, S400, S400s, S500, S500s

- Ανάλογα με τη συγκολλησιμότητα τους στης εξής κατηγορίες:
  → Συγκολλήσιμοι
  →Συγκολλήσιμοι υπό προϋποθέσεις

- Ανάλογα με τη μορφή που κυκλοφορούν στις εξής κατηγορίες:
  → Μεμονωμένες ράβδοι
  → Δομικό πλέγμα ορθογωνικών ή τετραγωνικών βρόγχων

1.2.4 Ιδιότητες

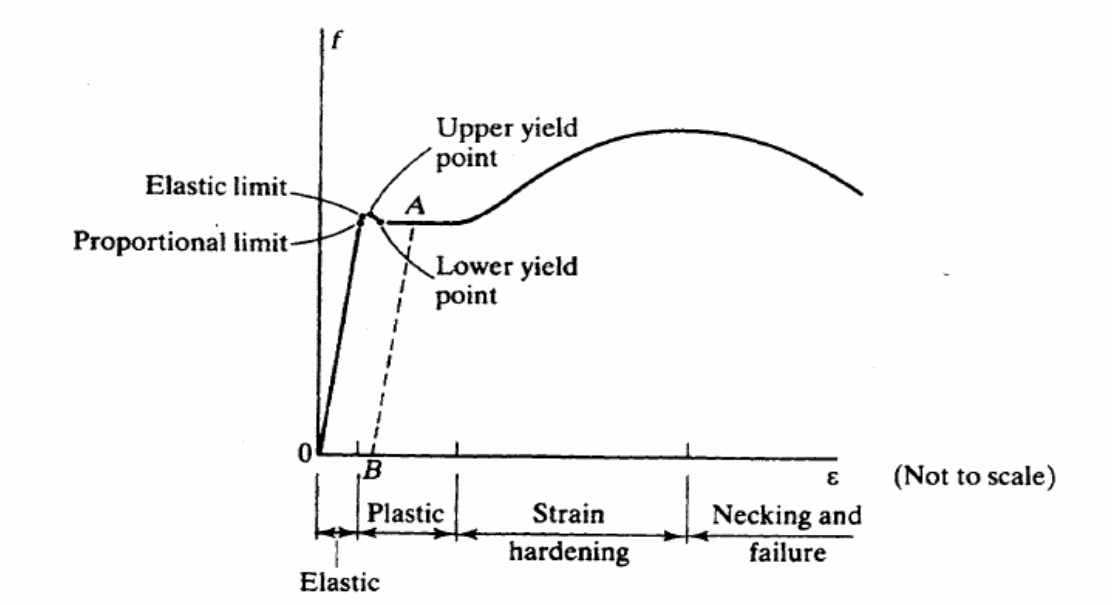
ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Οι βασικές μηχανικές ιδιότητες των χαλύβων οι οποίες ενδιαφέρουν είναι:

- Όριο διαρροής και όριο θραύσης
- Η μορφή του διαγράμματος τάσεων – παραμορφώσεων
- Η ολκιμότητα
- Η αντοχή σε κόπωση

Ο υπολογισμός των απαιτήσεων οπλισμού σε μία μελέτη βασίζεται σε κατηγορία χάλυβα που αντιστοιχεί σε καθορισμένη τιμή χαρακτηριστικής αντοχής f_{yk}. Η αντοχή αυτή συνδέεται με το όριο διαρροής και το όριο θραύσης. Γενικά, η χαρακτηριστική αντοχή προσδιορίζεται με τις δοκιμές ελέγχου ποιότητας και είναι πιστοποιημένη.

Οι τιμές των χαρακτηριστικών μεγεθών, που περιγράφουν τις μηχανικές ιδιότητες του δομικού χάλυβα, προκύπτουν με τη βοήθεια πειραμάτων. Η δοκιμή σε εφελκυσμό κάτω από στατική φόρτιση αποτελεί το βασικότερο πείραμα. Οι δοκιμές σε θλίψη δεν γίνονται για διάφορους λόγους.



Σχ. 1.6 Ελαστικοπλαστικό διάγραμμα

Ο χάλυβας είναι κράμα που αποτελείται βασικά από δύο χημικά στοιχεία:

- Τον μεταλλικό σίδηρο (Fe)
- Τον μη μεταλλικό άνθρακα (C)

Κοντά σ' αυτό το κράμα είναι δυνατό να περιέχει κι άλλα στοιχεία σε πολύ μικρότερη αναλογία, όπως φώσφορο (P), πυρίτιο (Si), θείο (S), χαλκό (Cu), μαγνήσιο (Mg), μαγγάνιο (Mn), νικέλιο (Ni), χρώμιο (Cr) κ.λπ.
Η ακριβής χημική σύσταση του χάλυβα ελέγχεται σε δύο στάδια κατά τη διάρκεια της διαδικασίας παραγωγής: λίγο πριν από την εξέταση, δηλαδή όσο το υλικό είναι ακόμα άμορφη μάζα και μετά την εξέταση και απόψυξη, οπότε το υλικό έχει πάρει την τελική του μορφή κι είναι έτοιμο για χρήση.

Ο χάλυβας έχει πολύ υψηλή αντοχή, με παράλληλη ανάπτυξη μικρών παραμορφώσεων.
Οι κυριότερες μηχανικές ιδιότητες που προσδίδουν το παραπάνω πλεονέκτημα είναι -→ η μεγάλη αντοχή σε θλίψη, κάμψη, εφελκυσμό και το μεγάλο μέτρο ελαστικότητας.

Οι κυριότερες φυσικές ιδιότητες είναι -→ ο πολύ υψηλός συντελεστής θερμικής διαστολής, η μεγάλη θερμική αγωγιμότητα, η ελατότητα και η ολκιμότητα.

1.2.5 Έλεγχος φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων

Οι μηχανικές ιδιότητες (εκτός κάμψεων και αναδιπλώσεων) μετρούνται στις μηχανές εφελκυσμού εφελκυστικής ικανότητας 200Τ και 30Τ χρησιμοποιώντας άκρως ευαίσθητα επιμηκυνσιόμετρα για τον ακριβή προσδιορισμό των ιδιοτήτων των νευροχαλύβων σε φορτία μέχρι θραύσεως. Πριν από τη μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων, οι χάλυβες ελέγχονται για τη μάζα (το βάρος) τους η οποία πρέπει να συμφωνεί με την προδιαγεγραμμένη για αντίστοιχη ονομαστική διατομή.

- Τάση διαρροής, (fy)
- Τάση θραύσεως, (ft)
- Λόγος τάσης θραύσεως προς τάση διαρροής (ft / fy)
- Ανηγμένη παραμόρφωση -επιμήκυνση μετά τη θραύση- ('ε5' κατά ΕΛΟΤ 971 και 'A10' (αυστηρότερη μέτρηση) κατά DIN 488)
- Συνολική επιμήκυνση στο μέγιστο φορτίο Esu (Agt)%

  - **Έλεγχος κάμψης και αναδίπλωσης**

  Οι δοκιμές κάμψης - ανάκαμψης και αναδίπλωσης εκτελούνται σε ειδικά σχεδιασμένη πρέσα με διαμέτρους κάμψης και αναδίπλωσης (πίρους) για όλες τις διατομές χάλυβος. Οι χρησιμοποιούμενοι πίροι γύρω από τους οποίους διπλώνονται οι νευροχάλυβες, είναι πάντα πολύ μικρότερων διαμέτρων των απαιτούμενων από όλα τα πρότυπα, διασφαλίζοντας έτσι ότι κατά την κανονική διαμόρφωσή τους (λυγίσματα κλπ) στα εργοτάξια και τις μάντρες αποκλείεται να παρουσιασθεί οποιαδήποτε μικρορωγμή.

Σχ. 1.

- **Έλεγχος νευρώσεων**

  Οι νευρώσεις στους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος παίζουν πρωταρχικό ρόλο στα θέματα ασφάλειας της οικοδομής. Αποτελούν τον κυριότερο παράγοντα "αγκύρωσης" και πρόσφυσης του χάλυβα μέσα στο στερεοποιημένο σκυρόδεμα, γι' αυτόν τον λόγο το σχήμα, ο όγκος και η επιφάνειά τους ελέγχονται διαρκώς καθ' όλη τη διάρκεια της παραγωγής ότι είναι σύμφωνες με τις αυστηρότερες προδιαγραφές (DIN 488).

Σχ. 1.8

Οι νευρώσεις επίσης φέρουν την ταυτότητα πιστοποίησης και άμεσης αναγνώρισης της προέλευσης των νευροχαλύβων όπως προβλέπεται από το DIN_488 και όπως αυτή ορίσθηκε για τη ΧΘ από το γερμανικό Φορέα Πιστοποίησης "Deutshes Institute fur Bautechnik" ως σήμανση προϊόντος.

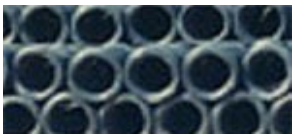
Σχ. 1.9 Σήμανση χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος

- **Έλεγχος συσκευασίας - δεματοποίησης**

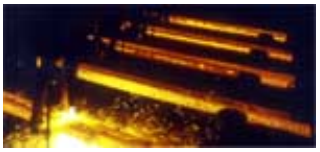
Όλα τα τελικά προϊόντα (ευθύγραμμα, ρόλοι και πλέγματα) συσκευάζονται σε υπεραυτόματες δεματοποιητικές μονάδες.

Με Φ(mm): 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 35, 40, 45, 50

ΝΕΥΡΟΧΑΛΥΒΕΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ S500s ΚΑΙ B500C ΣΕ ΡΟΛΟΥΣ



ΧΟΝΔΡΟΣΥΡΜΑ



ΠΡΙΣΜΑΤΑ ΧΑΛΥΒΑ - ΜΠΙΓΙΕΤΕΣ

ΔΟΜΙΚΑ ΠΛΕΓΜΑΤΑ

ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟΣ ΜΑΝΔΥΑΣ

Σχ. 1.10

1.2.6 Βελτίωση ιδιοτήτων

Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος παράγονται κατά κανόνα σε ηλεκτρικές καμίνους από ανάτηξη παλαιοσιδήρου (scrap). Όπως αναφέρθηκε είναι κράματα σιδήρου-άνθρακα με περιεκτικότητες μέχρι 0,5% σε άνθρακα. Εκτός από τον άνθρακα περιέχονται και μικρές αναλογίες άλλων μετάλλων που είτε έχουν παραμείνει ως υπολείμματα της μεταλλουργικής διαδικασίας παραγωγής (Mn, Si, Al, Cu, S, P, N κ.λπ.) είτε έχουν προστεθεί ως κραματικά στοιχεία για τροποποίηση των μηχανικών ιδιοτήτων τους (Mn, Si, Al, Cr, Ni, Ti, V, Mo κ.λπ.).

	Άνθρακας	Πυρίτιο	Μαγγάνιο	Νικέλιο	Χρώμιο	Βολφράμιο	Βανάδιο	Μολυβδαίνιο	Κοβάλτιο	Τιτάνιο	Φώσφορος	Θείο
Αντοχή σε εφελκυσμό	++	+	++	+	++	+	+	++	+	+	+	+
Αντοχή σε κρούση	+	X	+	+	+	+	+	+	+	---	X	X
Σκληρότητα	++	+	++	+	++	+	+	++	X	---	+	X
Ελατότητα	-	X	+	++	+	+	+	+	X	+	X	-
Σφυρηλάτηση	X	X	+	+	X	X	+	+	X	+	X	-
Ικανότητα συγκόλλησης	-	-	+	X	X	X	+	+	X	X	X	-
Επεξεργασία	-	-	-	X	-	X	X	+	X	X	+	+
Αντοχή σε φωτιά	X	-	-	+	++	+	X	+	X	+	X	X
Μαγνητισμός	X	-	X	-	+	++	X	X	++	X	X	X
Ελαστικότηατα	+	++	+	X	+	X	+	+	X	X	X	X

X : καμιά επιρροή
- : μείωση της ιδιότητας
--- : σημαντική μείωση της ιδιότητας
+ : βελτίωση της ιδιότητας
++ : σημαντική βελτίωση της ιδιότητας

Πίνακας 1.11 Επιρροή μετάλλων και άλλων στοιχείων στις ιδιότητες του χάλυβα

Για τη βελτίωση των μηχανικών και τεχνολογικών ιδιοτήτων τους έχουν χρησιμοποιηθεί από το σύνολο των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση των υλικών, οι ακόλουθες:

(1) Η κραμάτωση (alloying).

Η κραμάτωση στους χάλυβες γίνεται με προσθήκη στοιχείων, τα οποία είτε με την παρουσία τους στο τελικό προϊόν, είτε με τη συμμετοχή τους στη διαδικασία στερεοποίησης, βελτιώνουν τις ιδιότητές τους. Συγκριτική παρουσίαση της μεταβολής της αντοχής ορισμένων μηχανικών ιδιοτήτων για κοινούς χάλυβες σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα σε άνθρακα δίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

Ποσότητα κράματος (Σίδηρος/χάλυβας)	**Π (C) %**	**fy (N/mm²)**	**ft (N/mm²) .**	**ε5 (%)**
ARMCO (εμπορικά καθαρός σίδηρος)	0,012	220	330	38
Κοινός χάλυβας 1010ASTM	0,10	230	370	30
Κοινός χάλυβας 1020ASTM	0,20	350	410	25
Κοινός χάλυβας 1035ASTM	0,35	300	540	18
Κοινός χάλυβας 1045ASTM	0,45	340	600	16
Κοινός χάλυβας 1090ASTM	0,90	480	900	<10

Πίνακας 1.12 Οι τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων που δίνονται στον πίνακα είναι ενδεικτικές και ισχύουν με την προϋπόθεση ότι το προϊόν έχει ψυχθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να περιέχει τις φάσεις ισορροπίας.

(2) Η παραμόρφωση εν ψυχρώ (cold working).

Μεταλλοτεχνικές επεξεργασίες που περιλαμβάνουν παραμόρφωση του χάλυβα σε θερμοκρασίες που δεν ξεπερνούν τους 500°C (όπως π.χ. ολκή για μείωση της διατομής σύρματος ή ράβδου, συστροφή, σφυρηλάτηση ή έλαση) έχουν σαν αποτέλεσμα αύξηση της αντοχής του υλικού. Χάλυβες που έχουν παραχθεί με τέτοιο τρόπο δεν έχουν χρησιμοποιηθεί σε μεγάλη κλίμακα. Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή και θα πρέπει να αποφεύγεται

η συγκόλλησή τους ενώ θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι η κατασκευή δεν θα εκτεθεί σε μεγάλες θερμοκρασίες (>550°C).

(3) Η Μαρτενσιτική βαφή και επαναφορά (quenching και tempering).

Το υλικό που παράγεται με τη διαδικασία αυτή, εφόσον τηρηθούν συγκεκριμένες προϋποθέσεις, είναι εξαιρετικά σκληρό και εύθραυστο (μαρτενσίτης).
Η διαδικασία μαρτενσιτικής βαφής περιλαμβάνει θέρμανση του χάλυβα σε θερμοκρασίες 850-900°C περίπου, απότομη ψύξη με ταχύτητα ψύξεως μεγαλύτερη από μία χαρακτηριστική κρίσιμη ταχύτητα (Vc) για το συγκεκριμένο υλικό, σε τελική θερμοκρασία μικρότερη από μία άλλη χαρακτηριστική τιμή (για το υλικό) (Ms, MF).

1.2.7 Δομικά στοιχεία από χάλυβα

Τα μεταλλικά δομικά στοιχεία χωρίζονται ανάλογα με τη **διατομή** τους σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Απλής βιομηχανοποιημένης διατομής (που είναι η συνήθης περίπτωση).
- Διατομής ειδικά κατασκευασμένης (σε σπάνιες περιπτώσεις που τα χαρακτηριστικά των στάνταρ βιομηχανοποιημένων διατομών δεν επαρκούν – σπάνια εφαρμοζόμενη περίπτωση – συνήθης στις γέφυρες).
- Σύνθετες διατομές (αποτελούνται από περισσότερες από μία απλές βιομηχανικές διατομές οι οποίες είτε συνδέονται απευθείας η μία στην άλλη είτε συνδέονται με μεταλλικά ελάσματα.

Οι χάλυβες από πλευράς **προέλευσης** διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- εγχώριας καταγωγής
- καταγωγής χωρών-μελών της Ε.Ε.
- καταγωγής χωρών ΑΕΛΕ (ΕΖΕΣ) που δεν προσχώρησαν στην Ε.Ε.
- καταγωγής τρίτων χωρών

Η δειγματοληψία των χαλύβων διενεργείται:

- για τους εγχώριας καταγωγής στην αντίστοιχη παραγωγική μονάδα
- για τους καταγωγής Ε.Ε. ή χωρών της ΕΖΕΣ στους χώρους αποθήκευσης και
- για τους καταγωγής τρίτης χώρας σε χώρους υποκείμενους σε τελωνειακό έλεγχο.

Η σήμανση γίνεται με τις γλυφές που δημιουργούνται στην επιφάνεια των ράβδων. Εδώ και 30 σχεδόν χρόνια, σύμφωνα με τη Euronorm 80-69, γίνεται χρήση τριών ομάδων πλαγίων νευρώσεων Α, Β και C, που χωρίζονται μεταξύ τους με μια ενισχυμένη (παχύτερη) νεύρωση και επαναλαμβάνονται ανά διαστήματα σε όλο το μήκος της ράβδου, περίπου ανά μέτρο μήκους. Σήμερα, ύστερα από τη Euronorm 80-85 και κατά το ENV 10080, η ομάδα Α (δύο συνεχόμενες παχιές νευρώσεις) δείχνει μόνο την έναρξη της σήμανσης και την κατεύθυνση ανάγνωσης, η ομάδα Β τη χώρα προέλευσης και η ομάδα C το εργοστάσιο παραγωγής.

1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Στη σημερινή εποχή ως πρώτη ύλη στις σιδηρές κατασκευές χρησιμοποιείται ο χάλυβας, ένα όλκιμο υλικό υψηλής αντοχής. Το γεγονός ότι ο χάλυβας λειτουργεί εξ' ίσου καλά σε θλίψη και σε εφελκυσμό αυξάνει ιδιαίτερα την χρήση του ως δομικό υλικό. Ειδικά σε περιπτώσεις εφελκυόμενων φορέων όπως : αναρτημένες γέφυρες, κτίρια, καλώδια, δικτυώματα κ.ά. Έτσι λοιπόν εντοπίζουμε πληθώρα μεταλλικών κατασκευών σε περιοχές ανά τον κόσμο.

Αναλόγως με το είδος της καταπόνησης και της μορφής των μελών τους, οι μεταλλικές κατασκευές μπορούν να διακριθούν στις εξής κατηγορίες :

1. **Πλαισιωτές κατασκευές**, όπως βιομηχανικά και πολυόροφα κτίρια γραφείων, αποθηκευτικοί χώροι, ιστοί τηλεόρασης, πυλώνες μεταφοράς ενέργειας, γερανογέφυρες, κ.λπ. Οι κατασκευές αυτές είναι επίπεδοι ή χωρικοί φορείς και τα μέλη τους καταπονούνται από αξονικές και διατμητικές δυνάμεις, καθώς και από καμπτικές και στρεπτικές ροπές.

2. **Κελυφωτές κατασκευές**, όπως δεξαμενές αποθήκευσης υγρών, σιλό, καπνοδόχοι κ.λπ. Τέτοιου είδους κατασκευές συντίθενται κυρίως από επιφανειακά μέλη (επίπεδα ή και καμπυλωμένα χαλυβδόφυλλα), με κύρια καταπόνηση των μελών τους, τον εφελκυσμό.
3. **Αναρτημένες κατασκευές**, όπως κρεμαστές γέφυρες και οροφές με μεγάλη επιφάνεια. Στην περίπτωση αυτή τα καλώδια (ευθύγραμμα ή καμπύλα),τα οποία είναι και το βασικό κατασκευαστικό στοιχείο υπόκεινται σε εφελκυστικές δυνάμεις.

Στα *πλεονεκτήματα* των μεταλλικών κατασκευών θα μπορούσαμε να συμπεριλάβουμε τα εξής: την ολκιμότητα του χάλυβα, την τυποποίηση της κατασκευής του, τη δυνατότητα ύπαρξης μεγάλων ανοιγμάτων, τη μείωση των νεκρών φορτίων της κατασκευής, την ευκολία της προκατασκευής καθώς και το μεγάλο πλήθος των διατομών και των μέσων συνδέσεως που διατίθενται στην αγορά.

Κάποια επιπρόσθετα πλεονεκτήματα είναι η συνεχής ανάπτυξη της τεχνολογίας των συνδέσεων, η δυνατότητα επέκτασης υφιστάμενων κατασκευών, η μικρή και οικονομική θεμελίωση και ο εύκολος εντοπισμός και αποκατάσταση των βλαβών.

Τέλος οι μεταλλικές κατασκευές παρέχουν τη δυνατότητα πραγματοποίησης ελαστικού και ανελαστικού ελέγχου και όπως ήδη αναφέρθηκε τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης υλικού.

Τα βασικά *μειονεκτήματα* των μεταλλικών κατασκευών είναι το αυξημένο κόστος συντήρησης, πυροπροστασίας, καθώς και το κόστος του υλικού ειδικά εάν είναι εισαγόμενο προϊόν.

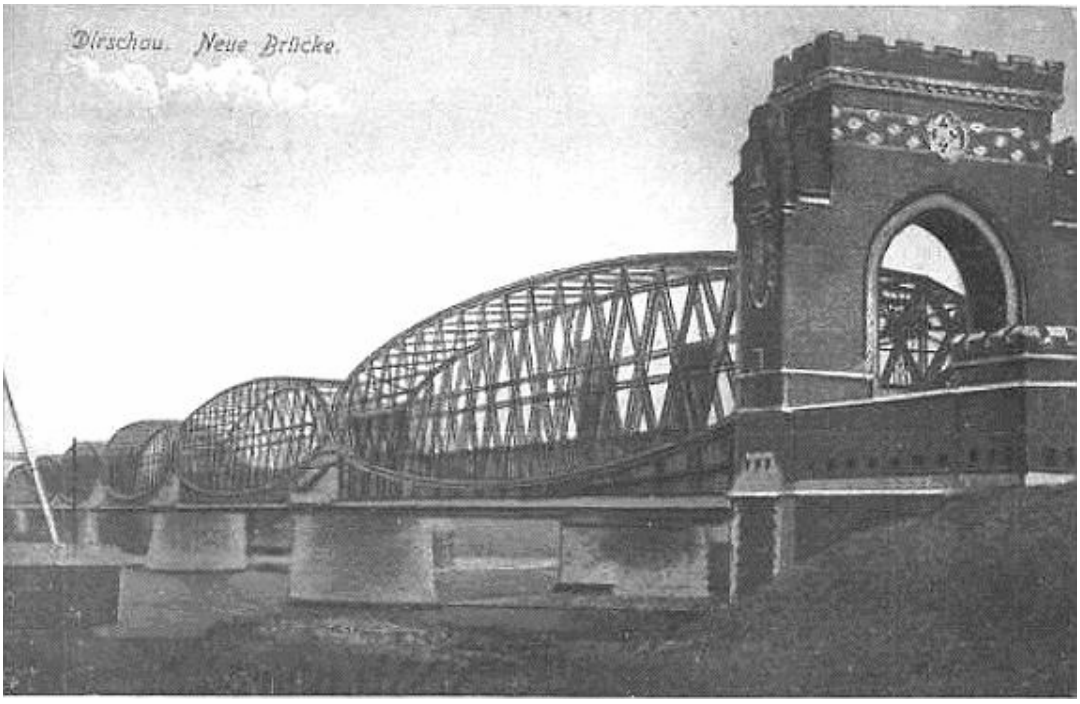
Το μεγάλο πλήθος όμως των παραπάνω πλεονεκτημάτων κάνει τις μεταλλικές κατασκευές όλο και περισσότερο διαδεδομένες και βελτιωμένες έτσι ώστε να αντιμετωπίζουν ακόμα μεγαλύτερα κατασκευαστικά και στατικά προβλήματα.

1.3.1 Γεφυροποιία

Παλαιότερα χρησιμοποιούνταν ο σίδηρος ο οποίος όμως έχει σχετικά μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα C, πράγμα το οποίο δυσκολεύει την κατεργασία του και τον κάνει ψαθυρό, εξού και πλέον όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιείται ευρέως ο χάλυβας στις μεταλλικές κατασκευές.

Ο χυτοσίδηρος λόγω της μικρής εφελκυστικής αντοχής οδηγούσε στην κατασκευή τοξωτών φορέων. Το 1779 κατασκευάστηκε η γέφυρα Coalbrookdale στον ποταμό Severn της Αγγλίας, ανοίγματος 33 μέτρων. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η γέφυρα αυτή υπάρχει ακόμα, παρά το γεγονός ότι ο χυτοσίδηρος έχει μικρή εφελκυστική αντοχή, πράγμα το οποίο αποδεικνύει τη μεγάλη αντοχή των μεταλλικών κατασκευών στο πέρασμα των χρόνων. Μεγάλη ανάπτυξη συνάντησαν οι τοξωτοί και οι πλαισιακοί φορείς ως κυρίαρχοι τρόποι κατασκευής γεφυρών. Υπήρχε όμως η απαίτηση για αύξηση των ανοιγμάτων και έτσι κυρίως με την εισαγωγή των συγκολλήσεων (ενίσχυση ελασμάτων πέλματος και κορμού με νευρώσεις), τη χρήση χαλύβων υψηλής αντοχής και την εφαρμογή συνεχών αντί αμφιέρειστων φορέων, αυτό έγινε δυνατό. Έτσι αναπτύχθηκαν οι παρακάτω φορείς :

- Δικτυωτός φορέας → λόγω μορφής επιτρέπει τη μείωση του βάρους

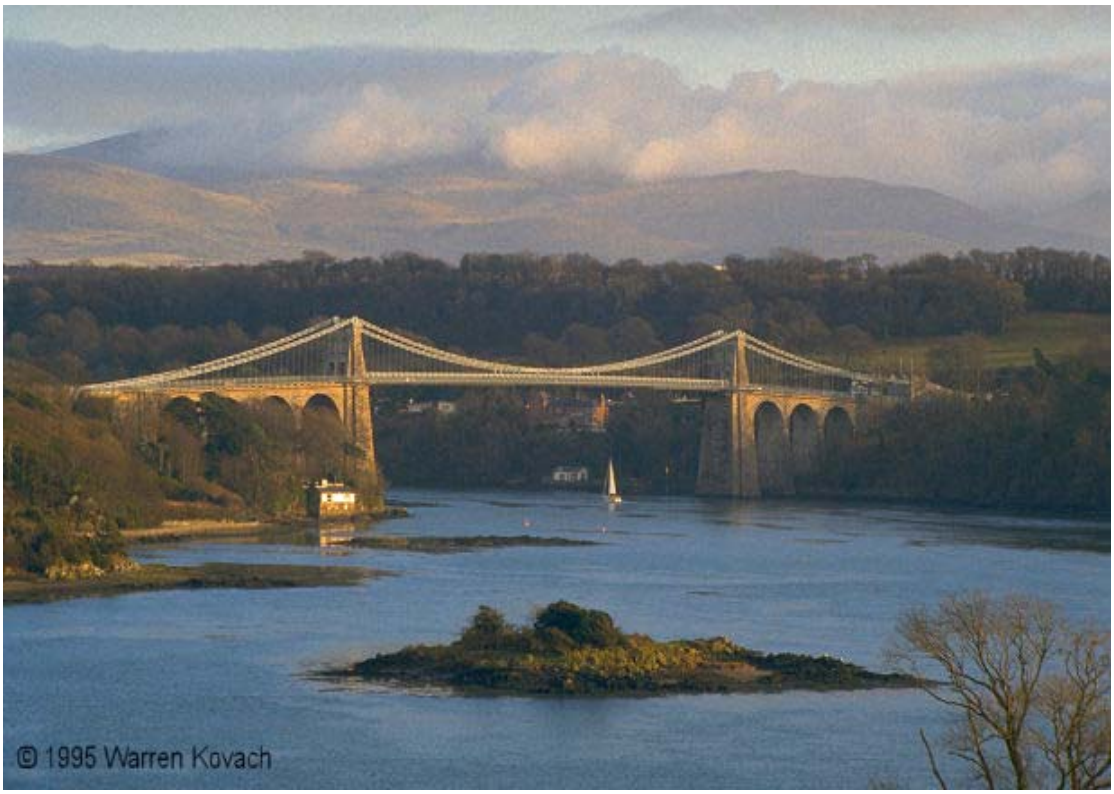


Σχ. 1.13 Γέφυρα Dirschau, 1857, στη Γερμανία.

- Γέφυρες τύπου Gerber → με την εισαγωγή αρθρώσεων σε στατικώς ευμενείς θέσεις συνεχών φορέων, μειώνονται οι διαφορικές καθιζήσεις των βάθρων.

Σχ. 1.14 Εδιμβούργο γέφυρα Firth of Forth.

- Κρεμαστές γέφυρες → γεφύρωση μεγάλων ανοιγμάτων.



Σχ. 1.15 Γέφυρα Menai στην Ουαλία (1826).

Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο αρχίζουν να αναπτύσσονται οι καλωδιωτές και οι σύμμικτες γέφυρες, οι οποίες αποτελούνται από χαλύβδινο φορέα και κατάστρωμα από σκυρόδεμα.

Στην Ελλάδα μετά το τέλους του 19^{ου} αιώνα σημειώνεται μία αξιόλογη δραστηριότητα σε σχέση με τις μεταλλικές κατασκευές. Το 2004 ολοκληρώθηκε η γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου, μία εντυπωσιακή καλωδιωτή γέφυρα μεταξύ των πόλεων Ρίου και Αντιρρίου, η οποία συνδέει την Πελοπόννησο με τη δυτική ηπειρωτική Ελλάδα.

Στηρίζεται σε τέσσερις πυλώνες και το μήκος της ανέρχεται στα 2280 μέτρα, ενώ μαζί με τις προσβάσεις φτάνει γύρω στα 2880 μέτρα. Η γέφυρα αναπτύχθηκε και ολοκληρώθηκε, παρά τις δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες, ενώ το μέγιστο βάθος θεμελίωσης φθάνει τα 65 μέτρα υπό την επιφάνεια της θάλασσας. Πρόκειται για μία καλωδιωτή γέφυρα, οι αντοχές της οποίας είναι εντυπωσιακές.

Σχ. 1.16 Η Γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου

Σχ. 1.17 Γέφυρα Tatara στην Ιαπωνία με μέγιστο άνοιγμα 890 μέτρων.

Εντυπωσιακή είναι η καλωδιωτή γέφυρα Millau στη Γαλλία η οποία έχει μέγιστο ύψος 343 μέτρα και μήκος 2460 μέτρα (η γέφυρα είναι λίγο ψηλότερη από την πύργο του Eiffel).

Σχ. 1.18 Millau Viaduct.

1.3.2 Οικοδομικά και λοιπά έργα

Κατά τον 19^{ο} αιώνα στην Ευρώπη αναπτύχθηκαν οι κατασκευές κτιρίων με μεταλλικό σκελετό και εξωτερικές φέρουσες τοιχοποιίες. Στην Αμερική εκείνη την εποχή το κυρίαρχο δομικό υλικό ήταν το ξύλο.

Ο πρώτος, κατά πάσα πιθανότητα, πύργος που χτίστηκε από σίδηρο ήταν το 1854 στη Σαξονία, ο πύργος King-Friedrich-August (28 μέτρα ύψος, 4 μέτρα διάμετρος και 4 όροφοι).

Σχ. 1.19 King-Friedrich-August-Πύργος

Έτσι λοιπόν περί τα μέσα του 19ου αιώνα ξεκινάει μία νέα εποχή για την κατασκευή κτιρίων, σιδηροδρόμων, σιδηροδρομικών σταθμών κλπ. Η ολοένα και μεγαλύτερη ανάγκη για κατακόρυφη δόμηση εξαιτίας της συγκέντρωσης πληθυσμού στις πόλεις οδήγησε στην κατασκευή υψηλών κτιρίων, των λεγόμενων ουρανοξυστών (Σχήμα 1.19). Οι συνήθεις φορείς ήταν τα επίπεδα δικτυώματα και τόξα ή οι θολωτοί θόλοι. Οι επίπεδοι τοξωτοί φορείς συνέβαλλαν στην κάλυψη μεγάλων ανοιγμάτων, ενώ παράλληλα ευρεία χρήση εμφάνισαν τα τριαρθωτά τόξα, τα οποία λόγω της ισοστατικότητας είναι πολύ πιο απλά στον υπολογισμό του και δεν επηρεάζονται από διαφορικές καθιζήσεις και θερμοκρασιακές μεταβολές.

Το 1851 κατασκευάστηκε στο Λονδίνο το Crystal Palace Hotel από μέταλλο και γυαλί, ιδιαιτέρως πρωτοποριακή για την εποχή εκείνη κατασκευή. Η κατασκευή του πασίγνωστου πύργου του Eiffel (Σχήμα 1.20) το 1889 από τον Gustave Eiffel είναι σταθμός στην ιστορία των μεταλλικών κατασκευών και αποτελεί παγκόσμιο δείγμα πολιτισμού και αρχιτεκτονικής.

Ο πύργος είναι ύψους 324 μέτρων (300 χωρίς την κεραία), ζυγίζει 10.100 τόνους και ήταν το πιο ψηλό κτίριο στον κόσμο έως το 1931 όπου το ξεπέρασε το Empire State στην Νέα Υόρκη. Η περίτεχνη όψη του δίνει μία ξεχωριστή αίσθηση ομορφιάς και επιβλητικότητας στην πόλη του φωτός.

Σχ. 1.20 Crystal Palace Λονδίνο

Σχ. 1.21 Πύργος του Eiffel

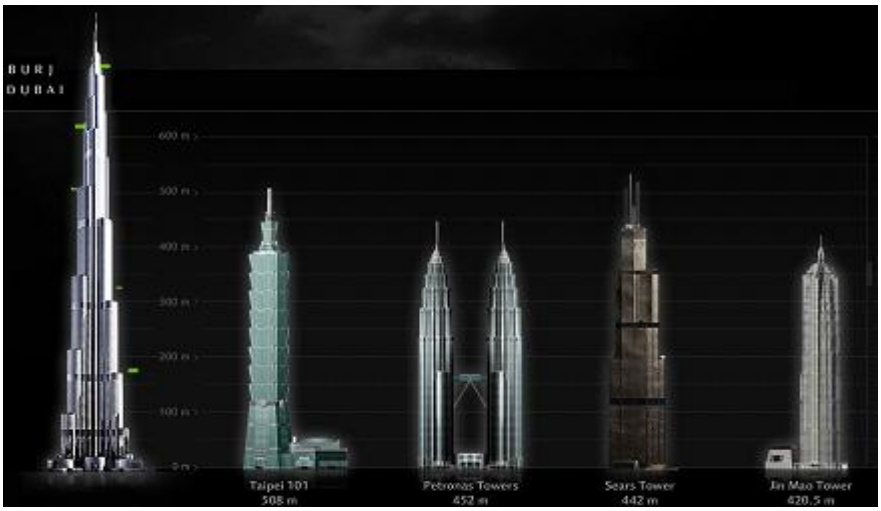
Κατά τη διάρκεια των χρόνων οι μηχανικοί κλήθηκαν να αντιμετωπίσουν τα εξής προβλήματα : φθηνές κατασκευές, μεγάλα ύψη κτιρίων, μεγάλα ανοίγματα, μειωμένο κόστος, μικρή ταχύτητα ανέγερσης. Στα προβλήματα αυτά προστίθεται η απαίτηση αισθητικής και η πρόκληση μίας πρωτοποριακής και εντυπωσιακής κατασκευής. Τα χωροδικτυώματα και τα καλώδια από τα οποία αναρτώνται στέγες με μεγάλα ανοίγματα με ταυτόχρονη μείωση του ιδίου βάρους, βοήθησαν πάρα πολύ στην εξέλιξη των μεταλλικών και σύμμικτων κατασκευών.

Οι δίδυμοι πύργοι Petronas στην Kuala Lumpur (Σχήμα 1.21), ολοκληρώθηκαν το 1996 και είχαν έως το 2004 τον τίτλο των υψηλότερων κτιρίων στον κόσμο, φτάνοντας τα 451.9 μέτρα και έχοντας 88 ορόφους ο καθένας. Η κατασκευή αυτού του κτιρίου είναι ένα παράδειγμα τεχνολογικής μεταφοράς. Εξαιτίας του κόστους εισαγωγής ατσαλιού, το κτίριο κατασκευάστηκε από μπετό και από σύνθετους ορόφους αποτελούμενους από μεταλλικά πατώματα και δοκάρια από ατσάλι. Κάθε πύργος έχει 16 περιμετρικές κολώνες με διάμετρο των 2.4 m, οι οποίες συνδέονται με κάθε πάτωμα με ένα περιμετρικό δοκάρι.

Σχ. 1.22 Δίδυμοι πύργοι Petronas στην Kuala Lumpur.

Το 2004 ολοκληρώθηκε η κατασκευή του ουρανοξύστη Tapei 101 στην Ταιβάν. Έχει ύψος 509 μέτρα με την κεραία και 453 χωρίς αυτήν. Πρόκειται να το ξεπεράσει σε ύψος ο πύργος του Dubai, για την ακρίβεια το έχει ήδη ξεπεράσει, ο οποίος κατασκευάζεται με σκοπό να είναι το υψηλότερο κτίριο στον κόσμο και έχει μέχρι σήμερα 688 μέτρα ύψος.

Στο σχήμα που ακολουθεί μπορούμε να δούμε κατά σειρά τα υψηλότερα μέχρι στιγμής κτίρια στον κόσμο :



Σχ. 1.23 Σύγκριση υψηλότερων κτιρίων.(πηγή : επίσημο site Burj Dubai)

Συναντούμε ολοένα και περισσότερες εφαρμογές των μεταλλικών κατασκευών διότι πλέον η χρήση του χάλυβα δεν περιορίζεται μόνο σε γέφυρες και κτίρια αλλά σε ένα μεγάλο αριθμό έργων όπως ιστοί μεταφοράς ενέργειας και τηλεπικοινωνιών, πύργοι τηλεόρασης και υδατόπυργοι, σιλό και δεξαμενές, καπνοδόχοι, ικριώματα, θυροφράγματα, κατασκευές προσωρινής αποθήκευσης, θαλάσσιες πλατφόρμες, αγωγοί μεταφοράς πετρελαίου και γκαζιού, στέγαστρα κλπ. Αξίζει να αναφέρουμε πως οι επιτονισμένοι ιστοί είναι από τις υψηλότερες κατασκευές στον κόσμο, πολλές όμως από αυτές συνήθως πάνω από τα 600 μέτρα έχουν αστοχήσει λόγω διαφόρων αιτίων αστοχίας όπως προσκρούσεις ελικοπτέρων, εργασιών ενίσχυσης ή αποκατάστασης, ανέμου, πάγου κλπ. Η ανάγκη για κατασκευές πιο φθηνές και περισσότερο πολύπλοκες αυξάνει διαρκώς την ανάγκη χρήσης του χάλυβα στις κατασκευές. Η υψηλή του αντοχή επιτρέπει τη μείωση του μεγέθους της κατασκευής, διότι μεγάλα φορτία μπορούν και μεταφέρονται από μικρά μέλη.

Τέλος, οφείλουμε να σημειώσουμε πως οι μεταλλικές κατασκευές προδιαγράφονται με βάση τους Ευρωκώδικες 3 και 4, οι οποίοι αφορούν τις κατασκευές από χάλυβα και τις σύμμικτες κατασκευές και είναι απαραίτητο και ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο στα χέρια των μηχανικών. Τελευταίως παράλληλα με τη ραγδαία ανάπτυξη των μεταλλικών κατασκευών, υπάρχει και μία «τρελή» τάση γεωμετρίας κτιρίων όπως παρατηρείται και επιβεβαιώνεται με το έργο στο Dubai «Signature Towers», το οποίο βρίσκεται ακόμα σε φάση κατασκευής. Κανένας από τους τρεις υπό κατασκευή πύργους δεν είναι κάθετος, μάλιστα δύο από τους πύργους παίρνουν μια κλίση προς το πλάι καθώς σηκώνονται πριν αρχίσουν να σηκώνονται ευθύγραμμα πάλι έως την κορυφή όπου ενώνονται. Από στατικής άποψης τώρα, οι δυο πύργοι έπρεπε να θεωρηθούν σαν ένας εφόσον ο ένας στηρίζεται στον άλλον για να υψωθούν. Παρόλο που ενώνονται στην κορυφή, τα δύο κτίρια θα έχουν τελείως διαφορετικές χρήσεις, το ένα θα χρησιμοποιηθεί σαν ξενοδοχείο και το άλλο σαν συγκρότημα κατοικιών και για το λόγο αυτό απαιτούν ξεχωριστό σχεδιασμό.

Σχ. 1.24 Signature Towers Dubai.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Στέγαστρα σταδίων

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα του EC1, ένα στέγαστρο έχει ενδεικτική διάρκεια ζωής τα 100 χρόνια, υποδηλώνοντας έτσι τη σοβαρότητα με την οποία αντιμετωπίζουν οι κανονισμοί το συγκεκριμένο είδους έργου.

Για ένα σύγχρονο ποδοσφαιρικό γήπεδο, η μορφή και το είδος του στεγάστρου καθορίζονται από τις εξής παραμέτρους και ανάγκες που πρέπει να καλύπτει:

- Για τους θεατές

1 σκίαση από τον ήλιο
2 προφύλαξη από άνεμο, χιόνι και βροχή
3 καθαρή και χωρίς εμπόδια θέα του αγωνιστικού χώρου
4 ασφάλεια
5 όμορφο αισθητικά
6 δροσιά και καλή κυκλοφορία του αέρα

- Για τους ιδιοκτήτες/διαχειριστές

1 ευκολία στη συντήρηση
2 μεγάλη διάρκεια ζωής
3 δυνατότητα τοποθέτησης μέσων τηλεπικοινωνίας και μετάδοσης
4 οικονομική κατασκευή
5 χαμηλή κατανάλωση ενέργειας

- Για τους παίχτες, προπονητές και λοιπούς συμμετέχοντες

1 καλή επιφάνεια αγωνιστικού χώρου
2 καλή ατμόσφαιρα
3 σωστός και επαρκής φωτισμός
4 σωστή κυκλοφορία του αέρα (εξαερισμός όπου χρειάζεται)

Από τα παραπάνω, υπάρχουν ορισμένα σημεία που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής και μελέτης για την επίτευξη των καλύτερων δυνατών αποτελεσμάτων. Ένας από τους βασικότερους ρόλους ενός στεγάστρου είναι η παροχή ικανοποιητικής προστασίας των θεατών από τον ήλιο. Ειδικά οι προσανατολισμένες προς την ανατολή κερκίδες έχουν μεγάλο πρόβλημα κατά τις απογευματινές ώρες (που είναι και οι συνηθέστερες για την διεξαγωγή αγώνων) όπου οι θεατές έχουν τον ήλιο απέναντί τους.

Ταυτόχρονα όμως, ένα στέγαστρο δεν πρέπει να εμποδίζει τις ακτίνες του ηλίου να φτάνουν στον αγωνιστικό χώρο καθώς κάτι τέτοιο έχει καταστροφικές συνέπειες όσον αφορά την ποιότητα και την σωστή ανάπτυξη του χόρτου. Επομένως κατά τη μελέτη πρέπει να ληφθούν πολύ σοβαρά υπόψη τα παραπάνω ώστε και το αγωνιστικό τερέν να μην επηρεάζεται αλλά και οι φίλαθλοι να είναι προστατευμένοι.

Τα τελευταία χρόνια όλο και πιο συχνά κατασκευάζονται πλήρη στέγαστρα, δηλαδή στέγαστρα που καλύπτουν όλο το στάδιο, συμπεριλαμβανομένου και του αγωνιστικού χώρου. Σε αυτού του είδους τα στέγαστρα υπάρχει όμως το γρασίδι δεν λαμβάνει το ηλιακό φως. Για την αντιμετώπιση αυτού έχουν εφαρμοστεί οι παρακάτω λύσεις:

1 *Μετακινούμενος αγωνιστικός χώρος*. Σ' αυτά τα γήπεδα, ολόκληρος ο αγωνιστικός χώρος "γλιστράει" κάτω από τις κερκίδες και βγαίνει έξω από το στάδιο. Τέτοια γήπεδα για παράδειγμα είναι το Aufschalke Arena στη Γερμανία (Σχήμα 2.1), το Sapporo Dome στην Ιαπωνία που κατασκευάστηκε για το Παγκόσμιο Κύπελλο ποδοσφαίρου του 2002 (Σχήματα 2.2, 2.3).

Επιπλέον πλεονέκτημα τέτοιων γηπέδων είναι ότι μπορούν καθ' αυτόν

τον τρόπο να μετατραπούν σε συναυλιακούς χώρους και να φιλοξενήσουν διάφορες εκδηλώσεις πέραν των καθαρά ποδοσφαιρικών χωρίς να βλάψουν είτε να καταστρέψουν το χορτάρι.

Σχ. 2.1 Aufschalke Arena στη Γερμανία

Σχ. 2.2 Sapporo Dome στην Ιαπωνία

Σχ. 2.3 Sapporo Dome στην Ιαπωνία(φωτογραφία από το εσωτερικό)

2 *Χρήση υδραυλικών και άλλων μηχανικών ανυψωτικών συστημάτων*. Σ' αυτή την περίπτωση ο αγωνιστικός χώρος ανυψώνεται στο επίπεδο της οροφής. Αποτελεί εφεύρεση της εταρείας Geiger Engineers στη Νέα Υόρκη.

3 *Διάφανη οροφή*. Παράδειγμα τέτοιου γηπέδου είναι το Oita (Big Eye) Stadium στην Ιαπωνία στο οποίο η χρήση υπερσύγχρονων μεμβρανών από teflon αφήνει το φως να φτάσει στον αγωνιστικό χώρο χωρίς την προσθήκη τεχνητών πηγών φωτός.

4 *Συρόμενη/μετακινούμενη οροφή*. Υπάρχουν πολλοί τύποι μετακινούμενων στεγάστρων οι οποίες ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες μπορούν να καλύψουν όλο το γήπεδο ή να αφήσουν το ηλιακό φως να φτάσει στον αγωνιστικό χώρο. Τέτοιες περιπτώσεις είναι το Sky Dome (Σχήμα 2.4)στο Τορόντο (το πρώτο του είδους του και κατασκευάστηκε το 1989), το ανακαινισμένο Amsterdam Arena (Σχήματα 2.5 και 2.6) στην Ολλανδία με τη συρόμενη οροφή του, το Cardinals Stadium στην Αριζόνα (Σχήματα 2.7 και 2.8), το Toyota Stadium στην Ιαπωνία και άλλα. Καθένα από αυτά τα στέγαστρα έχει τη δικιά του ξεχωριστή αρχιτεκτονική και μηχανισμό. Αξιοσημείωτο είναι και το μετακινούμενο τμήμα του στεγάστρου στο Commerzbank Arena στη Φρανκφούρτη. Αποτελείται από μια μεμβράνη συνεργαζόμενη με καλώδια η οποία φυλάσσεται σε ένα κύβο βάρους 30 τόνων ο οποίος

κρέμεται πάνω από τον αγωνιστικό χώρο. Ο κύβος αυτός ταυτόχρονα έχει 4 οθόνες, μία σε κάθε πλευρά του, είναι δηλαδή πέραν από αποθηκευτικός χώρος για το στέγαστρο και video cube. Το δε σταθερό τμήμα του στεγάστρου είναι της μορφής δακτυλίου ενώ το στέγαστρο σαν σύνολο είναι το μεγαλύτερο του είδους του στον κόσμο και κόστισε πάνω από 20 εκατομμύρια ευρώ για την κατασκευή του.

Σχ. 2.4 Sky Dome στο Τορόντο

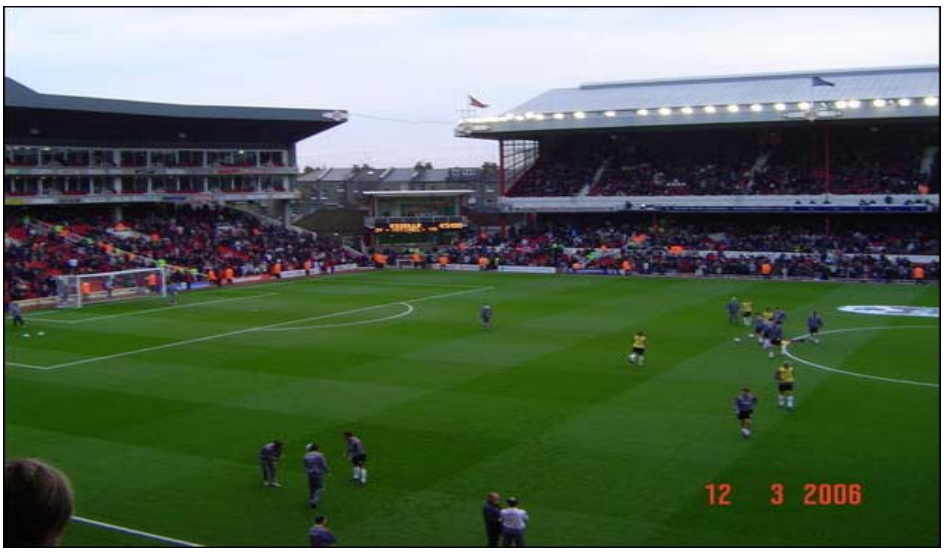
Σχ. 2.5 Amsterdam Arena

Σχ. 2.6 Amsterdam Arena

Σχ. 2.7 Cardinals Stadium

Σχ. 2.8 Cardinals Stadium

Σε ένα άλλο σημείο που πρέπει να σταθούμε είναι η επιρροή που έχει η μορφή των στεγάστρων στην ροή του αέρα και στην ατμόσφαιρα που επικρατεί στο γήπεδο. Στέγαστρα κυκλικής ή ελλειπτικής μορφής συνήθως επηρεάζουν θετικά την ατμόσφαιρα, προστατεύοντας τους αθλητές από άνεμο και λοιπές συνθήκες. Από την άλλη, τα στάδια που έχουν κενά στις τέσσερις γωνίες τους, όπως είναι τα περισσότερα στην Μεγάλη Βρετανία, βοηθούν στην γρηγορότερη εξάτμιση του νερού μετά από βροχή και επιπλέον αυξάνουν την κυκλοφορία του αέρα πάνω από το γρασίδι, γεγονός που έχει ευεργετικές συνέπειες στην ποιότητά του.



Σχ. 2.9 Highbury Arsenal London

Το είδος του στεγάστρου παίζει σημαντικό ρόλο και στις διαφορετικές χρήσεις που μπορεί να έχει ένα στάδιο. Δηλαδή, ένα γήπεδο για να είναι οικονομικά βιώσιμο, πρέπει ιδανικά να έχει έσοδα όχι μόνο τις μέρες που διεκπερώνονται αθλητικοί αγώνες αλλά και τις υπόλοιπες μέρες και κατά τη διάρκεια των μηνών εκτός της ποδοσφαιρικής σεζόν. Πολλά στάδια συνηθίζεται λοιπόν να φιλοξενούν συναυλίες, κονσέρτα, εκθέσεις, πολιτιστικά φεστιβάλ και πολλές άλλες εκδηλώσεις.

Επομένως ένα πλήρες κλειστό στέγαστρο είναι σαφώς προτιμότερο καθώς τέτοιες εκδηλώσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν μέρες και ώρες που οι καιρικές συνθήκες δεν είναι ιδανικές, όπως τις θερινές μεσημεριανές ώρες ή τις βροχερές μέρες το χειμώνα.

Σχ. 2.10 Σκηνικά από συναυλία στο Ο.Α.Κ.Α.

Γήπεδα χωρίς κάλυψη ή με ημικάλυψη συναντώνται ακόμα σε περιοχές του κόσμου που η οικονομία τους είναι λιγότερο ανεπτυγμένη όπως η Κεντρική και Λατινική Αμερική αλλά και η Αφρική. Παρ'όλα αυτά τέτοια γήπεδα χωρίς οροφή μπορούμε να δούμε και σε μέρη με βροχερό κλίμα και έντονες καιρικές συνθήκες όπως στον Καναδά και στη Ρωσία αλλά γενικά η

στεγάση ενός σταδίου τείνει να γίνει απαραίτητο και αναπόσπαστο κομμάτι της μελέτης της κατασκευής. Αυτή η τάση έχει προχωρήσει ακόμα πιο πέρα στην Ιαπωνία και στις Ηνωμένες Πολιτείες όπου τα νέα γήπεδα είναι καλυμένα εξολοκλήρου. Κάτι τέτοιο όμως έχει δραματικές συνέπειες όσον αφορά τον αγωνιστικό χώρο.

2.2. Στατικές Μορφές Στεγάστρων

Παρακάτω παρατίθονται έξι κύριες στατικές μορφές οι οποίες μπορούν να εφαρμοσθούν στη στέγαση ενός σταδίου και να αναλάβουν επιτυχώς τα επιβαλλόμενα φορτία. Προφανώς η λίστα είναι ενδεικτική και στην πραγματικότητα υπάρχουν και άλλες μορφές, μερικές από τις οποίες προκύπτουν από συνδυασμό ή παραλλαγή των εξής έξι:

Α) Σύστημα Δοκού-Υποστυλώματος

Το σύστημα αυτό αποτελείται από μια σειρά υποστυλωμάτων παράλληλα με τον αγωνιστικό χώρο πάνω στα οποία εδράζονται σειρές δοκών ή δικτυωμάτων οι οποίες με τη σειρά τους υποστηρίζουν τη στέγη.

Σχ. 2.11 Το γήπεδο Βίλα Παρκ της Άστον Βίλα, 1907, Μπέρμινχαμ, Αγγλία

Πλεονεκτήματα

Το εν λόγω σύστημα είναι οικονομικό και απλό (αν και αυτά τα προταιρήματα θεωρούνται υπερεκτιμημένα καθώς ένα στέγαστρο δίχως υποστυλώματα αυξάνει το κόστος μόνο 2-4% σε σχέση με το κόστος στεγάστρων με υποστυλώματα)

Μειονεκτήματα

Η σειρά αυτή των υποστυλωμάτων κατά μήκος του αγωνιστικού χώρου εμποδίζει το οπτικό πεδίο των θεατών σε τέτοιο βαθμό ο οποίος δεν είναι πια αποδεκτός. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιούνταν στις αρχές του 20^{ου} αιώνα αλλά στη σύχρονη εποχή θεωρείται ξεπερασμένο και δεν συνίσταται η χρήση του.

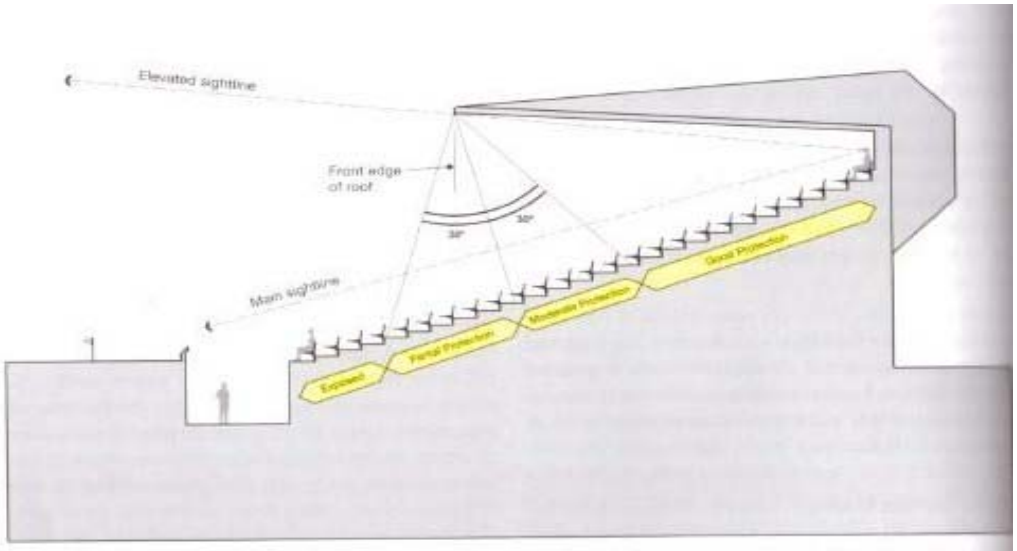


Figure 5.7 A simple model of the degree of protection offered by a stadium canopy. For actual design more detailed studies are needed taking into account factors such as orientation, prevailing wind direction and local patterns of turbulence.

Σχ. 2.12 Μοντέλο βαθμού κάλυψης κερκίδων από στέγαστρο

<u>Β) Σύστημα τέρματος (γκολποστ)</u>

Μοιάζει με το παραπάνω σύστημα με τη διαφορά ότι υπάρχουν μόνο δύο υποστυλώματα στις δύο άκρες κάθε στεγάστρου ενωμένα με μία κύρια δοκό ανοίγματος όσο και η απόσταση μεταξύ των υποστυλωμάτων. Σχηματίζεται έτσι ένα '**Π**' που μοιάζει με γκολποστ, εξού και η ονομασία του εν λόγω συστήματος Απαιτείται συχνή και περιοδική επιθεώρηση και

συντήρηση της κατασκευής καθώς στηρίζεται μονάχα σε μια κύρια δοκό ουσιαστικά.

Πλεονεκτήματα

Ανεμπόδιστη θέα στον αγωνιστικό χώρο καθώς και αρκετά χαμηλό κατασκευαστικό κόστος.

Μειονεκτήματα

Το σύστημα αυτό λειτουργεί καλύτερα εφόσον δεν απαιτούνται γωνιακές θέσεις και κερκίδες στο γήπεδο καθώς ο χώρος αυτός θα καταλαμβάνεται από τα υποστυλώματα. Επίσης από αισθητική άποψη είναι δύσκολο να υπάρξει ομαλή ένωση των επιμέρους τμημάτων του στεγάστρου καθώς δεν είναι εύκολο να υπάρξουν καμπύλα τμήματα. Έτσι το σύστημα αυτό βρίσκει εφαρμογή σε γήπεδα στα οποία καθεμία από τις 4 πλευρές τους θα είναι μεμονωμένα και ανεξάρτητα στεγασμένη από τις υπόλοιπες. Τέτοια γήπεδα υπάρχουν πολλά στη Μ.Βρετανία και ένα από τα πολλά χαρακηριστικά παραδείγματα είναι το Ibrox της Rangers στη Γλασκόβη.

Σχ. 2.13 Γήπεδο Ibrox, Γλασκόβη

Γ) Σύστημα Προβόλου

Ένα τέτοιο στέγαστρο μεταφέρει όλα τα φορτία στη μία του άκρη η οποία είναι πακτωμένη ενώ ταυτόχρονα η άλλη (αυτή η οποία εκτείνεται προς τον αγωνιστικό χώρο) είναι ελεύθερη.

Πλεονεκτήματα

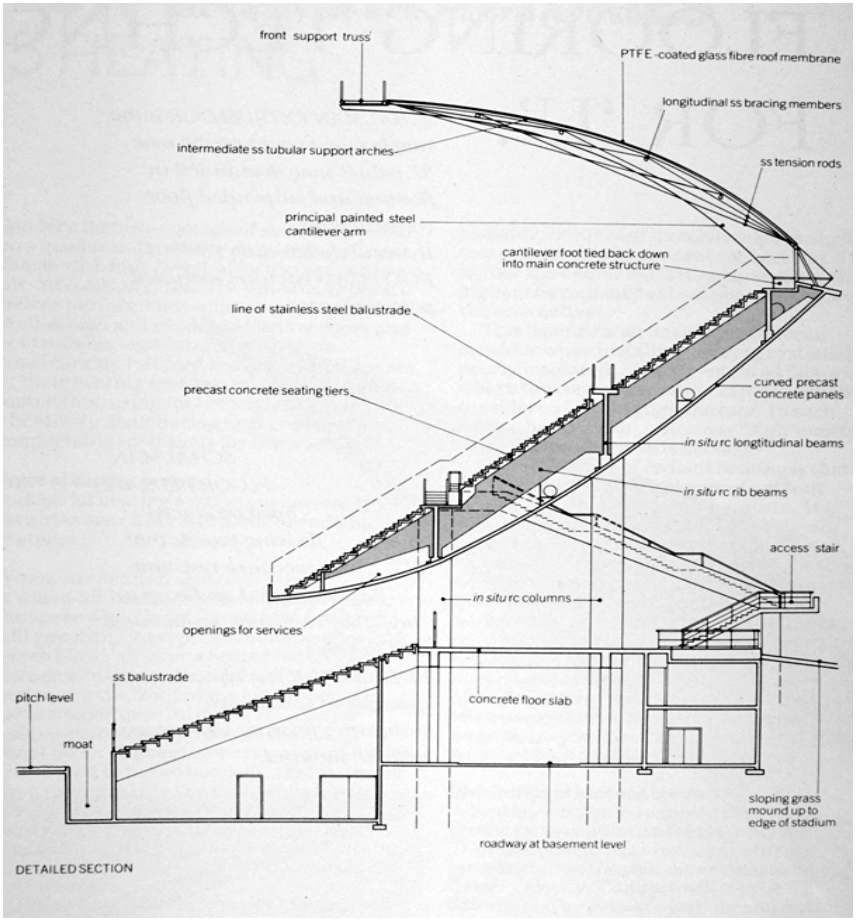
Μια τέτοια κατασκευή δίνει 100% καθαρό οπτικό πεδίο στους θεατές καθώς δεν βρίσκεται κανένα εμπόδιο μπροστά τους αλλά ούτε καν και στα ακριανά τμήματα του γηπέδου. Ταυτόχρονα το πλάτος της στέγης μπορεί να φτάσει και να ξεπεράσει τα 45 μέτρα με τον περιοριστικό παράγοντα να είναι περισσότερο οικονομικός παρά τεχνολογικός. Στα συν αυτού του συστήματος είναι η ιδιαίτερη εκείνη αίσθηση που δίνει στο φίλαθλο, ο οποίος βλέπει μια μεγάλη κατασκευή η οποία δεν έχει κάποιο προφανές για αυτόν μέσο στήριξης (βλέπε εικόνα). Επιπλέον με σύστημα προβόλων δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας ελλειπτικών ή κυκλικών στεγάστρων καθώς διαδοχικοί "πρόβολοι" μπορούν εύκολα να τοποθετηθούν με τέτοιο τρόπο δημιουργώντας το επιθυμητό αποτέλεσμα. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το Parc des Princes στο Παρίσι.

Σχ. 2.14 Parc des Princes

Μειονεκτήματα

Όσο αυξάνει το βάθος των κερκίδων, δηλαδή όσο μεγαλύτερο ουσιαστικά πλάτος χρειάζεται να έχει το στέγαστρο, τόσο αυξάνει και το κόστος της κατασκευής. Επιπλέον η υποπίεση ανέμου μπορεί να αποτελέσει σημαντικό πρόβλημα, ιδίως όταν κάθε πλευρά του σταδίου είναι ανεξάρτητα στεγασμένη. Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται στο σημείο μέγιστης ροπής (στο σημείο στήριξης του προβόλου) είναι πολύ μεγάλες και τα μέλη μπορεί

να υπολογιστεί ότι πρέπει να είναι πιο μεγάλα και ογκώδη απ'ότι ίσως αρχικά είχε προβλεφθεί για να αντιμετωπιστούν αυτές οι δυνάμεις που δημιουργούνται από την υποπίεση. Σε περίπτωση που το γήπεδο είναι ελλειπτικό και το στέγαστρο συνεχόμενο, το παραπάνω πρόβλημα παύει να είναι τόσο έντονο. Επιπροσθέτως, πρέπει να σημειωθεί πώς το υψηλότερο σημείο μιάς στέγης-προβόλου βρίσκεται στο πίσω μέρος, δηλαδή στην πλευρά του δρόμου, δίνοντας έτσι στους περαστικούς την εντύπωση μιας κατασκευής ψηλότερης και ογκωδέστερης από την πραγματικότητα. Το γεγονός αυτό αποτελεί πρόβλημα όταν το γήπεδο θα πρέπει να βρίσκεται σε αρμονία με το περιβάλλον και τα γύρω κτίρια τα οποία ενδεχομένως να μην είναι τέτοιας κλίμακας μεγέθους. Παράδειγμα αυτού του προβλήματος αποτελεί το Stamford Bridge στο Λονδίνο. Άλλα γήπεδα με σύστημα προβόλου είναι το Bari Stadium στην Ιταλία και Seoul Olympic Stadium στην Κορέα (βλέπε παρακάτω).



Σχ. 2.15 Τομή σταδίου Bari, Ιταλία

Σχ. 2.16 Εσωτερικό σταδίου Bari

Δ) Δακτύλιος

Ένα στέγαστρο μορφής δακτυλίου αποτελείται από έναν εσωτερικό δακτύλιο ο οποίος λειτουργεί εφελκυστικά και έναν εξωτερικό δακτύλιο ο οποίος λειτουργεί θλιπτικά. Οι δακτύλιοι αυτοί μένουν συνδεδεμένοι μέσω ακτίνων οι οποίες διατηρούν το οβαλ σχήμα της στέγης και στηρίζουν την επικάλυψή της.

Πλεονεκτήματα

Καλύπτονται μεγάλα πλάτη με σχετική ευκολία, όπως για παράδειγμα το καινούργιο στέγαστρο του Olympic Stadium στη Ρώμη του οποίου οι δύο δακτύλιοι καλύπτουν απόσταση 52 μέτρων. Όπως είναι αναμενόμενο,

τέτοια στέγαστρα δεν απαιτούν εσωτερικούς πυλώνες, συνεπώς και σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχουν εμπόδια μπροστά από τους θεατές. Επίσης τέτοια στέγαστρα δείχνουν ελαφριά και είναι σχεδόν αόρατα όταν κοιτάζει κανείς το γήπεδο απ'έξω, προσδίδοντας χάρη και απλότητα στην κατασκευή. Τέλος, σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να προστεθεί ένα προσωρινό ή ακόμα και μόνιμο τμήμα στέγης για να καλύπτει τον ίδιο τον αγωνιστικό χώρο.

Μειονεκτήματα

Στέγαστρα μορφής δακτυλίου βρίσκουν εφαρμογή μονάχα σε στάδια ελλειπτικής ή κυκλικής μορφής. Παραδείγματα τέτοιων σταδίων αποτελούν το προαναφερθέν Ολυμπιακό γήπεδο στη Ρώμη, το Prater Stadium στη Βιέννη και πολλά ακόμα.

Σχ. 2.17 Στάδιο Olympico, Ρώμη

Σχ. 2.18 Prater Stadium, Βιέννη

Ε) Εφελκυστικά μοντέλα

Σ'αυτά τα στέγαστρα όλα τα κύρια φορτία αναλαμβάνονται αποκλειστικά από μέλη που βρίσκονται σε εφελκυσμό. Τέτοια στέγαστρα είναι πάντα οικονομικότερα σε υλικά κατασκευής, χώρις όμως αυτό να συνεπάγεται απαραίτητα χαμηλό κόστος. Παράλληλα πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε να είναι σταθερά στην κατασκευή τους και να αντιστέκονται σε οποιεσδήποτε μεταβολές που θα μπορούσαν να υποβάλλουν κάποια από τα μέλη του συστήματος σε θλίψη. Πιο συγκεκριμένα υπάρχουν 2 μορφές τέτοιων στεγάστρων που λειτουργούν εφελκυστικά: το τοξωτό στέγαστρο και το καλωδιωτό.

i) Τοξωτό στέγαστρο

Αποτελείται από τόξο (ή τόξα) από τα οποίο κρέμεται η στέγη μέσω αναρτήρων ή καλωδίων. Πρέπει να σημειωθεί πώς και η μορφή και το σχήμα της στέγης θα ακολουθεί αυτή του τόξου, δηλαδή θα είναι ελαφρώς τοξωτή και όχι επίπεδη. Παραδείγματα τέτοιων στεγάστρων συναντάμε στο γήπεδο χόκει στο πανεπιστήμιο του Yale και στο γήπεδο των Ολυμπιακών αγώνων του 1964 στο Τόκιο.

ii) Καλωδιωτό στέγαστρο

Τέτοια στέγαστρα αποτελούνται από ένα τρισδιάστατο πλέγμα καλωδίων με την επικάλυψη της στέγης να είναι συνήθως πλαστικό (ακρυλικό, PVC). Ενδεικτικό στάδιο στο οποίο έχει εφαρμοστεί αυτό το σύστημα στέγασης είναι το Ολυμπιακό Στάδιο στο Μόναχο (βλέπε εικόνα) στο οποίο διαφανή ακρυλικά πάνελ στηρίζονται από ένα πλέγμα καλωδίων. Επειδή το υλικό

επικάλυψης στη συγκεκριμένη περίπτωση ήταν σχεδιασμένο να είναι αρκετά άκαμπτο, έπρεπε να ελαχιστοποιηθούν τα βέλη και οι παραμορφώσεις μέσω ισχυρής προέντασης των καλωδίων, με συνέπεια το κόστος όσον αφορά τους πυλώνες και τα μέλη αγκύρωσης να είναι δυσανάλογα υψηλό.

Σχ. 2.19 Ολυμπιακό Στάδιο Μονάχου

Πλεονεκτήματα

Τέτοια στέγαστρα δίνουν μια γιορτινή και κομψή χροία σε ένα γήπεδο, ειδικά όταν παρατηρούνται από απόσταση. Επιπλέον μπορούν να τοποθετηθούν σε οποιοδήποτε στάδιο χωρίς περιορισμό μορφής ή σχήματος και δεν απαιτείται κάποια συγκεκριμένη αυστηρά διάταξη.

Μειονεκτήματα

Ο σχεδιασμός από την άλλη μιας τέτοιας κατασκευής είναι πολύπλοκος και είναι αναγκαίο ο μηχανικός που θα αναλάβει τη μελέτη να έχει προϋπηρεσία πάνω στο συγκεκριμένο θέμα καθώς και μια σειρά από επιτυχημένα έργα τέτοιας μορφής στο βιογραφικό του. Απαιτείται δε

συστηματικότερη και εντονότερη συντήρηση απ'ότι σε άλλα είδη στέγασης καθώς και ειδική και λεπτομερή μελέτη της απορροής του βρόχινου ύδατος.

Σχ. 2.20 Ολυμπιακό Στάδιο Μονάχου (όψη από της κερκίδες)

ΣΤ) Στέγαστρα Πίεσης

Αυτός ο ευρηματικός τρόπος στέγασης και κάλυψης αθλητικών εγκαταστάσεων εφαρμόζεται με την τοποθέτηση μιας πλαστικής μεμβράνης που καλύπτει ολόκληρο το στάδιο και συγκρατείται στη θέση της μέσω θετικής εσωτερικής πίεσης που επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ειδικών ανεμιστήρων. Οι μεμβράνες αυτές είθισται να είναι φτιαγμένες από πολυεστέρα, και σε περιπτώσεις μεγάλων κατασκευών ενισχύονται από μεταλλικά καλώδια.

Πλεονεκτήματα

Έχουν πολύ χαμηλό κόστος

Μειονεκτήματα

Είναι ευπαθή σε βλάβες και έχουν μικρή διάρκεια ζωής. Εξυπακούεται επίσης ότι χρειάζεται συνεχή παρακολούθηση και προσπάθεια για να βρίσκεται η πίεση στο εσωτερικό του γηπέδου στα επιθυμητά επίπεδα. Τα περισσότερα τέτοια στάδια βρίσκονται στη Βόρεια Αμερική με χαρακτηριστικότερα παραδείγματα το Silverdome στις Η.Π.Α. και το BC Place στο Βανκούβερ του Καναδά ενώ υπάρχει και το Big Egg στο Τόκιο της Ιαπωνίας.

Σχ. 2.21 Εσωτερικό Silverdome

Σχ. 2.22 Γήπεδο Baseball στο Τόκιο (Big Egg)

Αυτό που δεν πρέπει επ' ουδενί να παραβλέπεται είναι η αρχιτεκτονική και η εμφάνιση του σταδίου καθώς και η εναρμόνισή του με τον περιβάλλοντα χώρο (κτίρια, πάρκα, κ.α.) Συνήθως τα γήπεδα εξωτερικά έχουν μεγάλα δομικά στοιχεία τεράστιου ύψους που στηρίζουν το στέγαστρο και την κατασκευή γενικότερα. Αυτά δεν είναι πάντα τα βέλτιστα από αισθητική άποψη. Μια συνήθης λύση είναι η εκσκαφή και η κατασκευή του σταδίου κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Απ' την άλλη όμως, τα γήπεδα που θέλουν να αφήσουν το στίγμα τους επικεντρώνονται στην δημιουργία εντυπωσιακών στεγάστρων με πρωτότυπη αρχιτεκτονική όπως το καινούργιο γήπεδο Wembley στο Λονδίνο ή το Tohoku Denryoku Big Swan Stadium στην Ιαπωνία.

Σε κάθε περίπτωση η μορφή και ο σχεδιασμός της στέγης έχει μεγάλη σχέση με τον πολιτισμό και τις συνήθειες του κάθε λαού καθώς και τη φιλοσοφία του. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε ότι η διαθεσιμότητα οικονομικών πόρων είναι ο κυριότερος παράγοντας που θα καθορίσει το πώς θα κατασκευαστεί στο

στέγαστρο για τον απλούστατο λόγο ότι αν δεν υπάρχουν τα χρήματα, όση καλή διάθεση και έμπνευση και αν υπάρχει, το έργο δεν μπορεί να προχωρήσει. Είναι σημαντικό λοιπόν να καθοριστεί από την αρχή το διαθέσιμο χρηματικό ποσό ώστε να μπορούν οι επικείμενες μελέτες να είναι προσαρμοσμένες πάνω σε αυτό.

2.3 ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

Παρακάτω παρατίθενται φωτογραφίες από διάφορα στάδια από όλο τον κόσμο και γίνεται μια μικρή ανάλυση για το καθένα από αυτά έτσι ώστε να δει κανείς πώς συνδυάζονται όλα τα παραπάνω και στην πράξη.

1. WEMBLEY STADIUM

Σχ. 2.23 Wembley Stadium, παλιό και νέο γήπεδο

Η κατασκευή του νέου Wembley αποτέλεσε ένα έργο εντυπωσιακό που προκάλεσε πολλές συζητήσεις. Στόχος ήταν η δημιουργία ενός σύγχρονου σταδίου που θα φιλοξενούσε όχι μόνο ποδοσφαιρικά γεγονότα αλλά και συναυλίες και λοιπές εκδηλώσεις.

Ήδη το χαρακτηριστικό επικλινές τόξο από το οποίο έχει αναρτηθεί το στέγαστρο (πιο συγκεκριμένα το βόρειο τμήμα και ένα τμήμα του νότιου) αποτελεί σύμβολο του αγγλικού ποδοσφαίρου όπως ακριβώς αποτελούσαν οι δύο επιβλητικοί πύργοι στην είσοδο του παλαιού Wembley. Το παλιό γήπεδο κατεδαφίστηκε το 2002 και εργασίες ξεκίνησαν τον Οκτώβριο του ίδιου έτους.

Το στάδιο έχει διάρκεια ζωής σχεδιασμού 50 έτη και σχεδιάστηκε από τους αρχιτέκτονες Foster and Partners and HOK Sport ενώ το τόξο και το στέγαστρο από τον Sir Norman Foster. Εκτός από το μοναδικό τόξο, το στέγαστρο διαθέτει συρόμενα τμήματα προς το νότο έτσι ώστε να φτάνει όσο το δυνατόν περισσότερο ηλιακό φως αλλά και αέρας στον αγωνιστικό χώρο. Αυτό έγινε επειδή μέσα στις προδιαγραφές του γηπέδου ήταν ο υψηλής ποιότητας αγωνιστικός χώρος ώστε το γήπεδο να χαρακτηριστεί 5 αστέρων από την UEFA.

Το τόξο σχεδιάστηκε ώστε να φαίνεται στον θεατή ως κάτι συμπαγές και στερεό χωρίς όμως ταυτόχρονα να επιβαρύνεται από δράσεις του ανέμου. Ουσιαστικά είναι ένα πλέγμα αποτελούμενο από 41 χαλύβδινα διαφράγματα (δακτύλιοι) ενωμένοι με ελικοειδή, σωληνωτά καλώδια και σχηματίζεται από 13 κομμάτια με κωνοειδή ακραία τμήματα. Το τόξο έχει κωνοειδής απολήξεις και στηρίζεται πάνω σε μεντεσέδες 70 τόνων οι οποίοι με τη σειρά τους βρίσκονται πάνω σε βάσεις από σκυρόδεμα θεμελιωμένες με πασσάλους σε βάθος 35 μέτρων. Λόγω της κλίσης του, το τόξο συγκρατείται στη θέση του με τη βοήθεια καλωδίων προσαρμοσμένα στην κύρια κατασκευή του σταδίου. Τα καλώδια που ξεκινούν από το τόξο διασκορπίζονται διαγωνίως ώστε να κατανεμηθούν τα φορτία και οι εντάσεις κατά τέτοιο τρόπο για να υπάρχει αντίσταση σε λυγισμό και ανατροπή. Οι διαστάσεις του τόξου είναι 133 μέτρα ύψος και 315 μέτρα άνοιγμα από άκρη σε άκρη, έχει δηλαδή το μεγαλύτερο άνοιγμα από οποιαδήποτε άλλο κατασκευαστικό στοιχείο στεγάστρου παγκοσμίως.

Η οροφή καλύπτει επιφάνεια 50000 τετραγωνικών μέτρων και ζυγίζει περίπου 7000 τόνους. Σε περίπτωση ακραίων καιρικών φαινομένων, τα κινούμενα τμήματά της μπορούν να καλύψουν καθεμία από τις θέσεις του γηπέδου μέσα σε 15 λεπτά. Το χαρακτηριστικό τόξο του σταδίου έχει κλίση 68 μοίρες με το οριζόντιο επίπεδο και στηρίζει τους 5000 από τους 7000 τόνους του στεγάστρου. Χάρη αυτού, δεν υπάρχει ανάγκη ύπαρξης υποστυλωμάτων στο εσωτερικό του γηπέδου με αποτέλεσμα η ορατότητα του αγωνιστικού χώρου από οποιοδήποτε σημείο να είναι 100%.

Το τόξο όμως δεν εκπληρώνει μόνο στατικούς σκοπούς. Αποτελεί ένα "φάρο" για το στάδιο, φωτίζοντας τον ουρανό του βορειοδυτικού Λονδίνου κατά τη διάρκεια αγώνων. Το όραμα του αρχιτέκτονα ήταν να δημιουργήσει μια καμπύλη φωτός πάνω από το γήπεδο, κάνοντάς το μοναδικό και ξεχωριστό. Για το πετύχει αυτό, τοποθετήθηκαν 258 μεταλλικά φώτα στο εσωτερικό του τοξωτού πλέγματος. Ακριβώς επειδή η πηγή του φωτός προέρχεται από το εσωτερικό του τόξου, το εξωτερικό περίγραμμα δεν φωτίζεται, χαρίζοντας προοπτική και αντίθεση και ταυτόχρονα δίνοντας την εντύπωση ότι το φως είναι παγιδευμένο μέσα στο τόξο (Σχήμα 2.24).

Σχ. 2.24 Wembley Stadium

2. ESTADIO MUNICIPAL DE AVEIRO

Σχ. 2.25 Municipal de Aveiro, Πορτογαλία

Το στάδιο Municipal de Aveiro στην Πορτογαλία έχει μια ιδιαίτερη αρχιτεκτονική μορφή, συνδυάζοντας έναν απλό φορέα με ζωντανά και φωτεινά χρώματα δίνοντας έτσι μια χαρούμενη νότα κάνοντας τα αθλητικά γεγονότα να μοιάζουν με γιορτή. Αποτελεί έμπνευση του αρχιτέκτονα Tomás Taveira ο οποίος ήθελε έντονους χρωματισμούς για το εξωτερικό του γηπέδου για να δώσει την αίσθηση της κίνησης και να αποτελέσει εκτός από αθλητικό χώρο και έργο τέχνης και μνημείο για την περιοχή.

Σχ. 2.26 Εσωτερικό του σταδίου

Ο δυναμισμός και η πολυχρωμία του σταδίου είναι έντονοι και στο εσωτερικό όπου κάθε δομικό στοιχείο έχει και από διαφορετικό χρώμα, από τα υποστυλώματα και τις δοκούς μέχρι τους τοίχους και τα καθίσματα στις κερκίδες (Σχήματα 2.14 και 2.15). Κάθε κάθισμα έχει διαφορετικό χρώμα από τα διπλανά του και με αυτόν τον τρόπο δίνει την εντύπωση ότι το γήπεδο είναι γεμάτο, ακόμα και όταν αυτό είναι άδειο.

Το γήπεδο έχει 31.000 θέσεις και το δε στέγαστρο καλύπτει επιφάνεια 2537 τ.μ. Από στατικής άποψης το στέγαστρο αποτελείται από κατακόρυφα στοιχεία υπερυψωμένα σε ικανό ύψος και η κρέμαση της οροφής εσωτερικά. Η ύπαρξη ελκυστήρων βοηθούν επιπλέον στην παραλαβή και ανάληψη των αναπτυσσόμενων ροπών δίνοντας την δυνατότητα στον κατασκευαστή να χρησιμοποιήσει μικρότερες διατομές για τα υποστυλώματα. Αποτελεί όμως ένα ξεχωριστό στάδιο όσον αφορά την αισθητική του και γι' αυτό και μόνο το λόγο είναι άξιο αναφοράς.

Σχ. 2.27 Είναι εμφανείς οι ιδιαίτεροι χρωματισμοί του γηπέδου

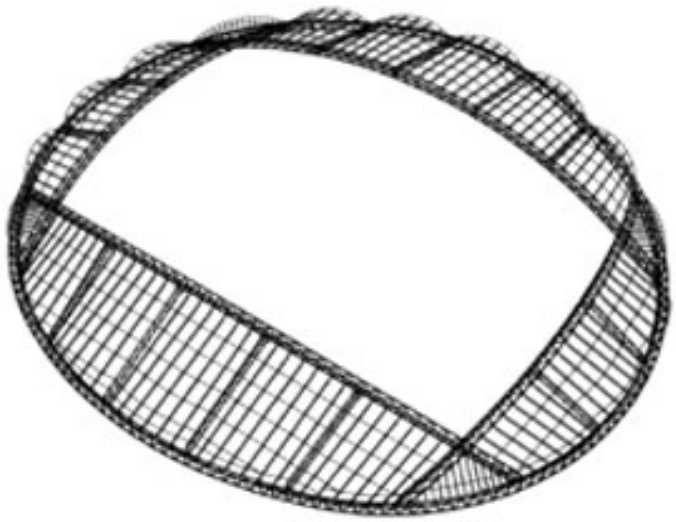
3. NIIGATA STADIUM

Σχ. 2.28 Niigata Stadium

Το γήπεδο Niigata Stadium ή αλλιώς Big Swan όπως είναι το ψευδώνυμό του, είναι χτισμένο κοντά στη λίμνη Toyano η οποία αποτελεί γνωστό καταφύγιο για κύκνους το χειμώνα. Η ονομασία Big Swan δόθηκε στο εν λόγω στάδιο εξαιτίας του εντυπωσιακού στεγάστρου που θυμίζει φτερά κύκνου σε ανάπαυση.

Αποτελεί πραγματικό στολίδι για την πόλη Niigata και έχει ταιριάξει απόλυτα με το φυσικό περιβάλλον της περιοχής. Κατασκευάστηκε από την εταιρεία Nikken Sekkei. Δύο ζεύγη μεγάλων τοξωτών δικτυωμάτων συναντώνται στις τέσσερις γωνίες του σταδίου σχηματίζοντας το στέγαστρο, στηριζόμενα σε ένα δακτύλιο ο οποίος εφάπτεται στην εξωτερική άνω πλευρά των κερκίδων.

Σχ. 2.29 Εξωτερική άποψη του σταδίου



Σχ. 2.30 Γραφική απεικόνιση της οροφής του Niigata Stadium

Κεφάλαιο 3

Παρουσίαση Γηπέδου, Προτάσεων και Λύσης

3.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΓΗΠΕΔΟΥ

Το αντικείμενο μελέτης της εργασίας αυτής είναι να σχεδιαστεί και να μελετηθεί το στέγαστρο του γηπέδου Απόστολος Νικολαΐδης, γνωστό και ως Γήπεδο Λεωφόρου Αλεξάνδρας. Το μοντέλο στέγασης θα προταθεί και θα μελετηθεί εκτενώς παρακάτω, με τη χρήση κυρίως του υπολογιστικού προγράμματος Sofistik και βασική επιδίωξη την βελτιστοποίηση του σχεδιασμού, πετυχαίνοντας ταυτόχρονα την ασφαλή και οικονομική διαστασιολόγηση του φορέα.

Σχ. 3.1 Γήπεδο Απόστολος Νικολαΐδης.

Το γήπεδο επίσημα φέρει το όνομα του πρώην πρόεδρου του συλλόγου Απόστολος Νικολαΐδης. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως έχει επικρατήσει η ονομασία «Γήπεδο της Λεωφόρου» ή «Λεωφόρος». Το γήπεδο αυτό βρίσκεται στην ομώνυμη λεωφόρο σε μικρή απόσταση από τον Άρειο Πάγο και το κτίριο της Γενικής Αστυνομικής Διεύθυνσης Αθηνών και είναι η έδρα του Παναθηναϊκού όπου και έχει δώσει τα περισσότερα παιχνίδια στην ιστορία του. Το ρεκόρ εισιτηρίων σημειώθηκε στις 18 Οκτωβρίου 1967, σε ένα παιχνίδι μεταξύ Παναθηναϊκού και Μπάγερν Μονάχου, όπου παραβρέθηκαν 29.665 θεατές. Σημειωτέων πως η χωρητικότητα του γηπέδου είναι 16.620 θεατές (καθήμενοι).

- *Ανέγερση και ολοκλήρωση γηπέδου*

Ο χώρος όπου βρίσκεται το γήπεδο της Λεωφόρου, η παλιά "Περιβόλα", ήταν αδιαμόρφωτος σαν σκουπιδότοπος. Μετατράπηκε σε ποδοσφαιρικό γήπεδο το 1920 από τους τότε διοικούντες του Παναθηναϊκού. Πέρα από τη σανιδόφραξη που υπήρχε περιμετρικά του γηπέδου, είχε κατασκευαστεί μια μικρή ξύλινη εξέδρα στην πλευρά της λεωφόρου, καθώς και τα αποδυτήρια. Το 1932 γίνεται το πρώτο ιστορικό έργο με την κατασκευή στεγασμένης εξέδρας 3.000 θέσεων στη νότια πλευρά της οδού Τσόχα. Κάτω από την εξέδρα δημιουργήθηκαν εγκαταστάσεις για γραφεία, λέσχη, αποδυτήρια, λουτρά, αποθήκες και μπαρ για τους φιλάθλους.

Ο Β' Παγκόσμιος Πόλεμος και η Κατοχή ανέστειλαν κάθε αθλητική κίνηση. Το γήπεδο επιτάσσεται και προθήκες του συλλόγου του Παναθηναϊκού λεηλατούνται.

Στην ταινία "Οι άσοι των γηπέδων", το 1955, φαίνεται η Λεωφόρος λίγο πριν από την αποπεράτωσή της. Το ανατολικό πέταλο προς τους Αμπελόκηπους που δεν είχε χτιστεί ακόμα θα αποπερατωθεί το 1958 μαζί με το κλειστό γήπεδο αθλοπαιδιών που βρίσκεται κάτω από το πέταλο. Έτσι το 1958 η Λεωφόρος, ολοκληρωμένη πλέον, είναι το πρώτο γήπεδο που διαθέτει χορτοτάπητα στην Ελλάδα, με χωρητικότητα 25.000 θεατών και εγκαταστάσεις ικανές να στεγάσουν όλα τα τμήματα του Παναθηναϊκού.

Το 1922 που χτίστηκε το γήπεδο, ήταν το πρώτο όπου τοποθετήθηκαν κερκίδες, προβολείς, χλοοτάπητας και πίνακας του σκορ. Περιστασιακά έχει αποτελέσει έδρα αρκετών ομάδων, μεταξύ αυτών ήταν ο Ολυμπιακός, η ΑΕΚ, ο

Απόλλων Αθηνών και ο Αθηναϊκός. Επίσης ήταν η έδρα της Εθνικής Ομάδας για πολλά χρόνια.

Σχ. 3.2 Παλαιότερη φωτογραφία του γηπέδου.

Το 1959 στον χώρο του γηπέδου λειτούργησε και το πρώτο κλειστό γυμναστήριο της Ελλάδας. Πρόκειται για τον λεγόμενο Τάφο του Ινδού, χωρητικότητας 1.500 θεατών. Στα εγκαίνια του κλειστού ένας δημοσιογράφος αστειευόμενος το αποκάλεσε έτσι, λόγω της στενότητας του χώρου (εκείνη την εποχή παιζόταν η ομώνυμη ταινία του Φριτς Λανγκ). Ο *Τάφος του Ινδού* βρίσκεται κάτω από το ανατολικό πέταλο της Λεωφόρου (θύρες 6-7).

Το 1984 η έδρα του ΠΑΟ εγκαταστάθηκε στο Ολυμπιακό Στάδιο (ΟΑΚΑ) μέχρι το 2000 με μια μικρή εξαίρεση λίγων μηνών το 1989. Το 2000 η έδρα του ΠΑΟ έφυγε από το ΟΑΚΑ λόγω των έργων ανακατασκευής που γίνονταν για τους Ολυμπιακούς Αγώνες του 2004. Ταυτόχρονα, το γήπεδο της Λεωφόρου ανακαινίστηκε για να εξυπηρετήσει εκ νέου τις υποχρεώσεις της ομάδας. Τοποθετήθηκαν νέοι προβολείς, χλοοτάπητας, σκέπαστρο και καθίσματα, αλλά η χωρητικότητα του σταδίου έπεσε στις 16.700 θέσεις. Ο Παναθηναϊκός

επέστρεψε στην ιστορική του έδρα έως ότου ο σύλλογος μετακομίσει στην καινούργια του έδρα που κατασκευάζεται στον Βοτανικό.

Σχ. 3.3 Το γήπεδο της Λεωφόρου μετά την τελευταία ανακαίνιση (2000).

Το στάδιο διαθέτει μερική στέγαση, η οποία έχει κατασκευαστεί μέσα στην τελευταία δεκαετία και λαμβάνει υπ' όψη της την ιδιαίτερα κεντρική τοποθεσία του γηπέδου. Ο περιοριστικός παράγοντας αυτός θα ληφθεί ιδιαίτερα υπ' όψη στην πρόταση μας εφόσον προσπαθούμε να κατασκευάσουμε εκ νέου ένα στέγαστρο το οποίο θα στεγάζει το μεγαλύτερο μέρος των κερκίδων (συμπεριλαμβανομένων και των πετάλων), αλλά ταυτόχρονα θα σέβεται και θα εναρμονίζεται με τον περιβάλλοντα χώρο.

Είναι σκόπιμο στο σημείο αυτό να αναφερθούν οι διάφορες προτεινόμενες αλλά απορριφθείσες λύσεις, άλλες λόγω μη εναρμονισμού με τον περιβάλλοντα χώρο του γηπέδου (γειτονικές πολυκατοικίες, λεωφόρος Αλεξάνδρας) και άλλες λόγω μη στατικής λειτουργίας.

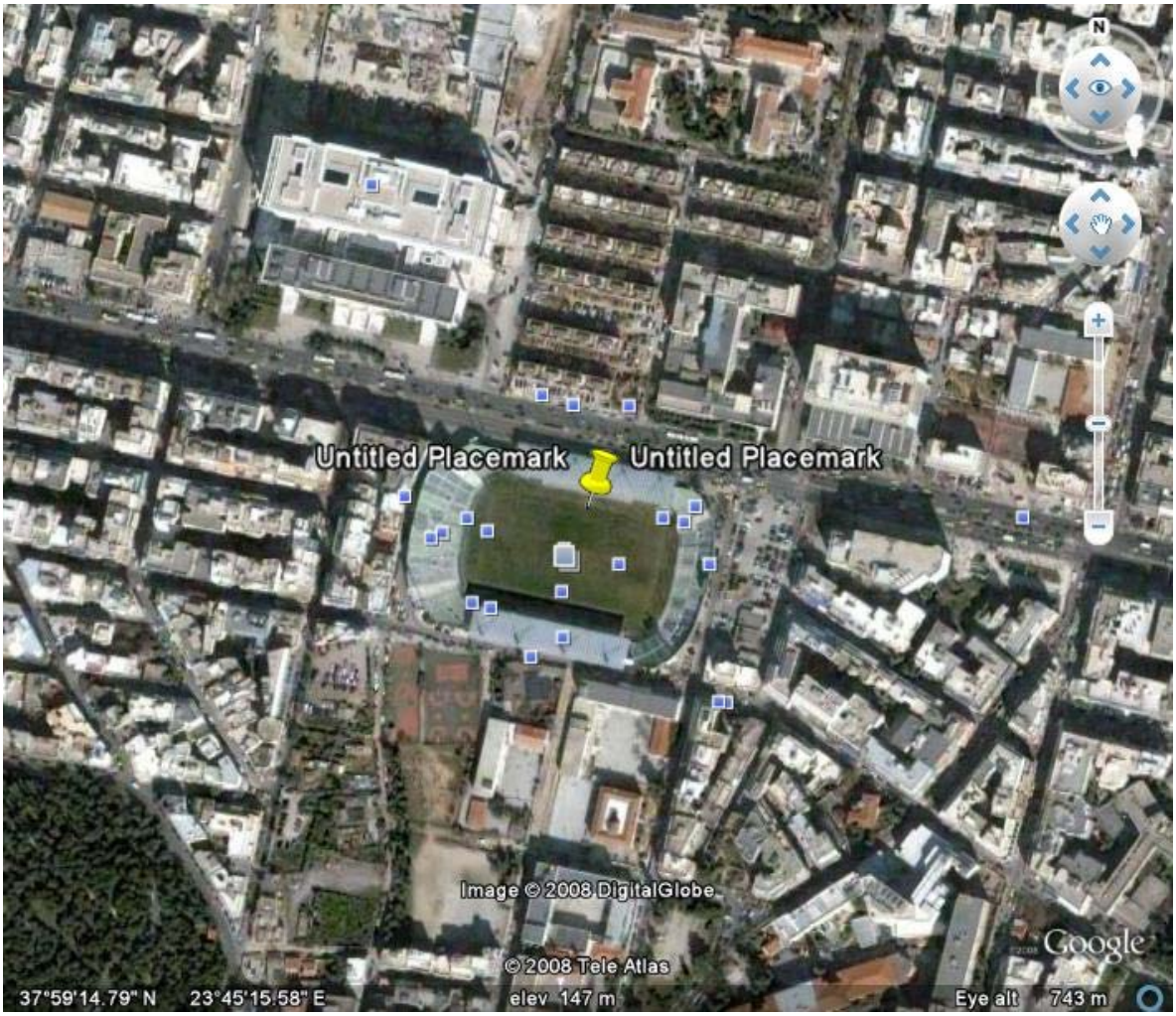
Σχ. 3.4 Υπάρχουσα στέγαση (Λεωφόρος Αλεξάνδρας, 2008).

Σχ. 3.5 Υπάρχουσα στέγαση (2008).

Στις παρακάτω φωτογραφίες έχουμε την ευκαιρία να δούμε πόσο κοντά βρίσκεται και στις γύρω πολυκατοικίες.

Σχ. 3.6 Απόσταση γηπέδου από διπλανές πολυκατοικίες (2008).

Σχ. 3.7 Οδός Τσόχα.



Σχ. 3.8 Γενικό χωροταξικό πλάνο από δορυφορική εικόνα.

Στην κατασκευή ενός στεγάστρου γηπέδου παίζουν σημαντικότατο ρόλο τα κλιματολογικά και τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Συγκεκριμένα στην Αθήνα οι βροχοπτώσεις είναι ελάχιστες (υπολογίζονται σε 40 εκατοστά ή 16 ίντσες ετησίως) και ο ήλιος λάμπει πάνω από 300 ημέρες τον χρόνο.

Τα καλοκαίρια (από Ιούνιο μέχρι Αύγουστο) είναι ξηρά και ζεστά με θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 20° - 34°C. Εποχιακοί άνεμοι, γνωστοί ως μελτέμια, εμφανίζονται κατά τις περισσότερες μέρες του Αυγούστου.

Ο πίνακας που ακολουθεί αναφέρει τις μεσαίες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων ανά μήνα στην Αθήνα σύμφωνα με την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία: www.worldweather.org

- **Ιανουάριος**: 5.2° - 12.5°C, 5.69 εκ βροχόπτωση
- **Φεβρουάριος**: 5.4° - 13.5 °C, 4.67 εκ βροχόπτωση
- **Μάρτιος**: 6.7° - 15.7°C, 4.07εκ βροχόπτωση
- **Απρίλιος**: 9.6° - 20.2°C, 3.08 εκ βροχόπτωση
- **Μάιος**: 13.9° - 26.0°C, 2.68 εκ βροχόπτωση
- **Ιούνιος**: 18.2° - 31.1°C, 1.06 εκ βροχόπτωση
- **Ιούλιος**: 20.8° - 33.5°C, 0.58 εκ βροχόπτωση
- **Αύγουστος**: 20.7° - 33.2°C, 0.6 εκ βροχόπτωση
- **Σεπτέμβριος**: 17.3° - 29.2°C, 1.39 εκ βροχόπτωση
- **Οκτώβριος**: 13.4° - 23.3°C, 26 εκ βροχόπτωση
- **Νοέμβριος**: 9.8° - 18.1°C, 5.83 εκ βροχόπτωση
- **Δεκέμβριος**: 6.8° - 14.1°C, 6.91εκ βροχόπτωση

3.2. ΕΞΕΤΑΣΘΕΙΣΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΣΤΕΓΑΣΗΣ

Αρχικά ασχοληθήκαμε με την πιθανότητα κατασκευής τοξωτού στεγάστρου, λόγω της ιδιαίτερης αισθητικής που αποπνέει και της ολοένα και πιο συχνής εφαρμογής του τα τελευταία χρόνια. Εκτός των προαναφερομένων, η επιλογή τοξωτού στατικού φορέα προσφέρει πληθώρα πλεονεκτημάτων όπως μη ύπαρξη παρεμβαλλομένων στοιχείων που παρεμποδίζουν το οπτικό πεδίο των θεατών και μη συνεργασία κερκίδων με το φορέα με αποτέλεσμα να καθίσταται εύκολη οποιαδήποτε μελλοντική παρέμβαση. Επιπλέον η επιμέρους συναρμολόγηση των τμημάτων του φορέα μπορεί να πραγματοποιηθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα. Παραδείγματα γηπέδων με τοξωτά στέγαστρα είναι το δικό μας ΟΑΚΑ, το Da Luz στη Λισαβόνα, το Amsterdam Arena στην Ολλανδία και άλλα.

Σχ. 3.9 Ολυμπιακό στάδιο

Η πρόταση απορρίφθηκε εξαιτίας του υψηλού κόστους ανέγερσης καθώς και του περιορισμένου διαθέσιμου χώρου γύρω από το στάδιο, γεγονός που θα καθιστούσε προβλήματα στην φάση κατασκευής αλλά και μειωμένο αισθητικό αποτέλεσμα.

Μια δεύτερη λύση που εξετάσαμε ήταν η εφαρμογή στεγάστρου μορφής δακτυλίου, μιας μορφής που συναντάται ιδιαίτερα στη Γερμανία. Τέτοια στέγαστρα λόγω της συμμετρίας τους εντυπωσιάζουν αρχιτεκτονικά με την αρμονία και τη συνέχεια που παρέχουν. Μερικά στάδια που έχουν εφαρμόσει αυτό το στατικό σύστημα είναι το Gottlieb Daimler Stadion στην Στουτγάρδη, το AWD Arena στο Αννόβερο, το Busan Asiad Main Stadium στη Νότιο Κορέα και άλλα.

Σχ. 3.10 Στάδιο Gottlieb Daimler στη Στουτγάρδη (Γερμανία)

Σχ. 3.11 Στάδιο AWD Arena στο Αννόβερο (Γερμανία)

Σχ. 3.12 Busan Asiad Main Stadium (Νότιος Κορέα)

Τέλος, σε μια τελευταία προσπάθεια εύρεσης μιας πρωτοποριακής λύσης για το πρόβλημα στέγασης του Απόστολος Νικολαΐδης δημιουργήσαμε ένα στέγαστρο εμπνευσμένοι από τη μορφή που έχουν οι κρεμαστές γέφυρες. Παρακάτω παρατίθεται η όψη του εν λόγω στατικού συστήματος. Με αυτό τον τρόπο, αντί τα υποστυλώματα να βρίσκονται στις «γωνίες» του γηπέδου όπου οι φορτίσεις θα ήταν ανομοιόμορφες και οι σχετικές ροπές μεγάλες με αυξημένο κίνδυνο ανατροπής, επιλέξαμε μια νέα θέση για τα υποστυλώματα αυτά, δίνοντάς τους ίσες και συμμετρικές ως προς και τους δύο άξονες φορτικές επιφάνειες επιρροής. Κατά αναλογία με τις γέφυρες, το κατάστρωμα είναι το στέγαστρο και οι πυλώνες τα υποστυλώματα.

Το στατικό μοντέλο που περιγράψαμε θα εφαρμόζονταν σε καθεμία από τις 4 πλευρές του γηπέδου, δηλαδή θα είχαμε συνολικά 8 υποστυλώματα.

Δυστυχώς, διαπιστώσαμε, ότι για να επιτευχθεί η επιθυμητή συμμετρία και η ομοιομορφία που ουσιαστικά αποτελεί και το πλεονέκτημα αυτής της λύσης, τα υποστυλώματα θα έπρεπε να βρίσκονται μέσα στις κερκίδες, πράγμα τα οποίο θα μείωνε σημαντικά τη χωρητικότητα του σταδίου και επιπλέον θα προκαλούσε οπές στο σκυρόδεμα με πιθανό κίνδυνο αστοχίας της κατασκευής. Μια τέτοια λύση θα μπορούσε ίσως να εφαρμοστεί σε ένα νέο σχεδιασμό, όπου τα παραπάνω προβλήματα θα είχαν ληφθεί υπόψη από το στάδιο της μελέτης.

Σχ. 3.13 Όψη στατικού συστήματος «γέφυρας»

3.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΤΑΣΗΣ ΣΤΕΓΑΣΗΣ

Κατόπιν διαφόρων προτάσεων, μερικών από των οποίων αναλύσαμε στο κεφάλαιο 3.2, καταλήξαμε στην εξής μορφή φορέα : το στέγαστρο θα αποτελείται από 4 ορθογωνικά χωροδικτυώματα και 4 μεταλλικούς πυλώνες

στις 4 γωνίες του γηπέδου, οι οποίοι θα στηρίζουν τα δικτυώματα. Καλώδια από κάθε γωνία του σταδίου θα αναρτούν τη στέγη και θα αγκυρώνονται στο έδαφος. Ο συνολικός αριθμός καλωδίων ανάρτησης θα είναι 132. Γενικά μεγάλος αριθμός καλωδίων απλοποιεί τη μόρφωση των αγκυρώσεων, διανέμει ομοιόμορφα τις θλιπτικές δυνάμεις στην οροφή του στεγάστρου και βοηθά στη μείωση του τελικού ύψους των κυρίων δοκών καθώς μειώνονται τα επιμέρους ανοίγματα, γεγονός που έχει αποδειχθεί ότι αυξάνει και την αεροδυναμική ευστάθεια ολόκληρης της κατασκευής. Επιπροσθέτως, αφού τα καλώδια είναι πολλά αυτό συνεπάγεται ότι θα είναι μικρότερης διατομής πράγμα που διευκολύνει την ανέγερση και την αντικατάστασή τους σε περίπτωση αστοχίας ή βλάβης. Η μορφή καλωδίωσης θα είναι ακτινικού συστήματος (fan-system) του οποίου κύριο χαρακτηριστικό είναι ότι τα καλώδια συντρέχουν και αγκυρούνται στο ίδιο σημείο του πυλώνα. Κάτι τέτοιο συνεπάγεται μεγιστοποίηση των κλίσεών τους, μείωση των εφελκυστικών δυνάμεων και οικονομία υλικού. Επίσης η θλιπτική δύναμη επί της οροφής θα είναι μικρή λόγω της μεγάλης κλίσης των καλωδίων ενώ αντίθετα η καταπόνηση των πυλώνων θα είναι μεγάλη (θλιπτική, διατμητική και καμπτική).

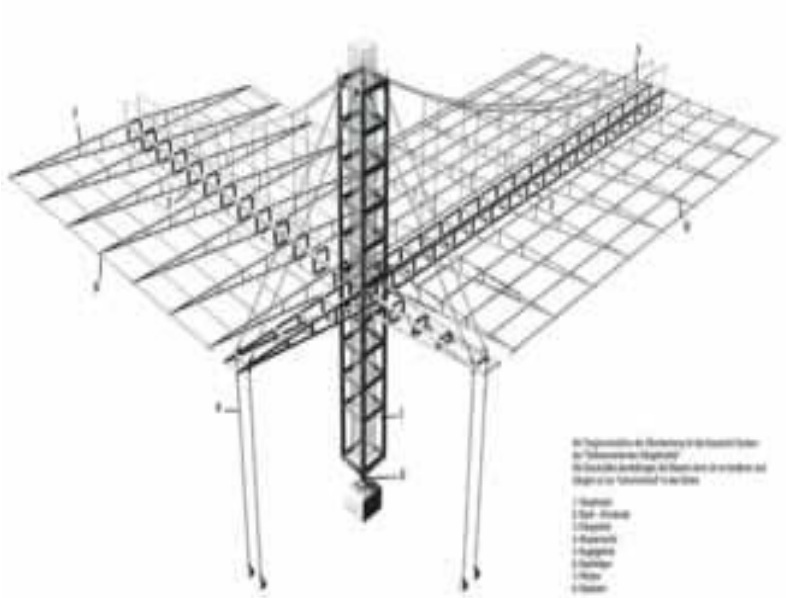
Σχ. 3.14 Μορφές καλωδίωσης

Παρεμφερούς τύπου στέγασης έχει εφαρμοσθεί στο Rheinenergie Football Stadium της Κολωνίας στη Γερμανία. Η μελέτη του και εν συνεχεία η βελτιστοποίηση του εν λόγω φορέα θα γίνει με τη βοήθεια του προγράμματος Sofistik. Παρακάτω αναλύουμε το παράδειγμα του Rheinenergie Football Stadium, τα φέροντα στοιχεία της κατασκευής, κάποιες κατασκευαστικές λεπτομέρειες και δυσκολίες, καθώς και τη κατασκευαστική διαδικασία που θα ακολουθηθεί. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι οι γύρω δρόμοι θα πεζοδρομηθούν, έτσι ώστε να υπάρξει ο απαιτούμενος χώρος για τη θεμελίωση και έδραση των πυλώνων, καθώς και για την ομαλή και ανεμπόδιστη πρόσβαση στο γήπεδο. Στο πεζόδρομο θα φυτευτούν δέντρα και καλλωπιστικά άνθη καθώς επίσης έχει προβλεφθεί και κατασκευή συντριβανιού στην οδό Τσόχα σε σχήμα τριφυλλιού.

Σχ. 3.15 Εσωτερικό του γηπέδου Rheinenergie της Κολωνίας

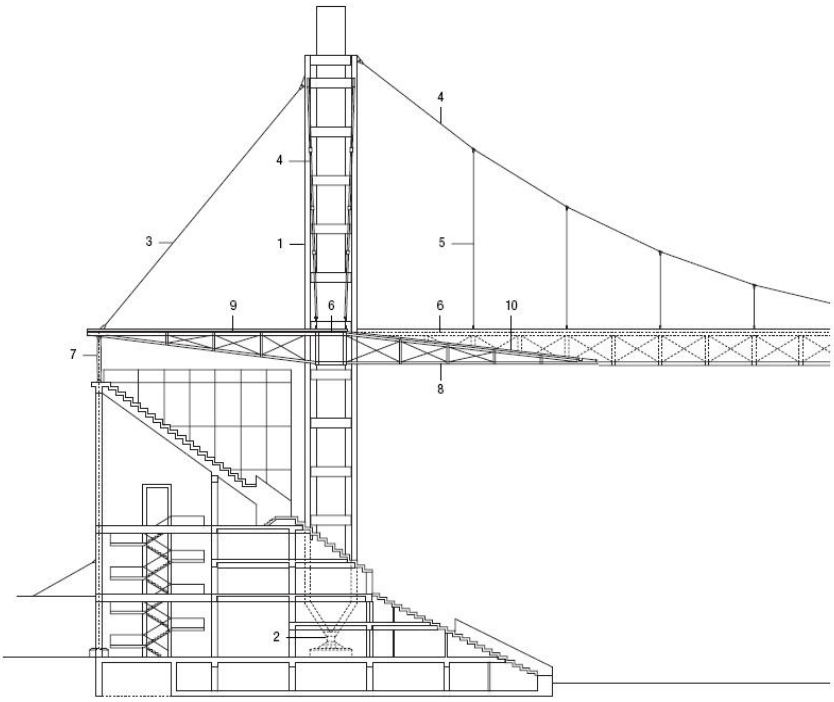
Σχ. 3.16 Άποψη ενός εκ των τεσσάρων γωνιακών υποστυλωμάτων

Σχ. 3.17 Σύνδεση των καλωδίων ανάρτησης με τις διαδοκίδες



Σχ. 3.18 Σχέδιο τμήματος του σταδίου όπου είναι εμφανής η θέση του υποστυλώματος, των καλωδίων, των κυρίων δοκών, των μηκίδων και τον διαδοκίδων

Σχ. 3.19 Φάση κατασκευής μιας εκ των κυρίων δικτυωτών δοκών του Rheinenergie Stadion



Σχήμα 3.20 Τομή σταδίου Rheinenergie

3.4 Περιγραφή των Τμημάτων του Στεγάστρου

Ουσιαστικά το στέγαστρο το οποίο σχεδιάσαμε και μελετήσαμε αποτελείται από χωροδικτυώματα τα οποία είναι αναρτημένα από υποστυλώματα στα άκρα τους μέσω καλωδίων και υποβοηθούνται από μια κεντρική κύρια δοκό.

3.4.1 ΧΩΡΟΔΙΚΤΥΩΜΑΤΑ

Συνηθέστεροι τύποι χωροδικτυωμάτων

I) Τετράγωνο «Α» - ½ Ο + Τ

Δύο επίπεδα δικτυώματα (άνω και κάτω πέλμα) σχηματίζονται με επανάληψη ενός βασικού τετραγώνου, πλευράς α – κάναβος - και συνδέονται με διαγώνιες. Τα μέλη των πελμάτων και οι διαγώνιοι σχηματίζουν ισοδύναμα τρίγωνα και κατ'αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται ημι-οκτάεδρα και τετράεδρα (1/2 Ο+Τ), τα οποία είναι στατικά ευσταθή στερεά, συνεπώς η όλη κατασκευή είναι άκαμπτη. Το στατικό ύψος -h- του χ/δ αυτού του τύπου είναι h=0.707α, δίνοντας το ίδιο μήκος -α- για όλα τα μέλη και γωνίες μεταξύ τους 90° ή 60°. Το χωροδικτύωμα της μορφής αυτής, εφαρμόζεται τις περισσότερες κατασκευές, λόγω της οικονομικότερης λύσης που προσφέρει, η οποία οφείλεται στην ακαμψία του, στις όμοιες γωνίες του και στου ίδιου μήκους ράβδους του.

II) Τετράγωνο «Β» - ½ Ο+Τ

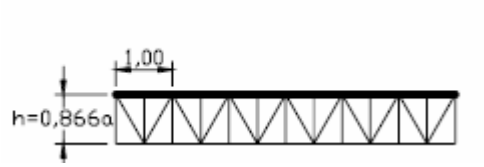
Το χωροδικτύωμα του τύπου αυτού είναι όμοιο με το χωροδικτύωμα του τύπου -Τετράγωνο «Α»-διαφέροντας μόνο στο στατικό ύψος, το οποίο σε αυτή την περίπτωση είναι h=0,50α, όπου α κάναβος χωροδικτυώματος. Τα χωροδικτυώματα του τύπου αυτού χρησιμοποιούνται σε κατασκευές που έχουν μικρό άνοιγμα ή απαιτείται μικρό στατικό ύψος

III) Τρίγωνο - Ο+2Τ

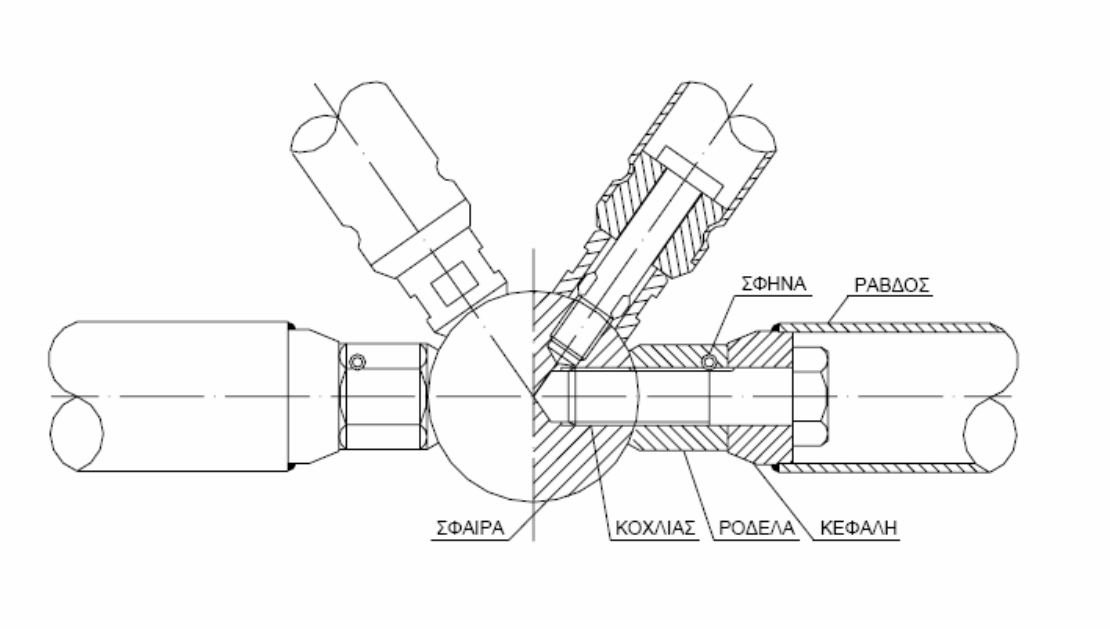
Δύο επίπεδα παράλληλα δικτυώματα (άνω και κάτω πέλμα) σχηματίζονται με επανάληψη ενός βασικού ισόπλευρου τριγώνου, πλευράς α και συνδέονται μεταξύ τους με διαγώνιες, σχηματίζοντας ισοδύναμα τρίγωνα. Αυτά

συνδεόμενα σχηματίζουν ένα οκτάεδρο και δύο τετράεδρα (Ο+2Τ),τα οποία είναι ευσταθή στερεά και κατά συνέπεια η όλη κατασκευή είναι άκαμπτη, παρουσιάζοντας μικρό βέλος κάμψης. Συγκρίνοντας το με τον τύπο - Τετράγωνο «Α»-, διαπιστώνεται ότι παρουσιάζει μεγαλύτερη πυκνότητα μελών και μεγαλύτερο στατικό ύψος κατασκευής. Το χωροδικτύωμα του τύπου αυτού χρησιμοποιείται σε κατασκευές όπου απαιτείται μεγάλο ελεύθερο άνοιγμα, τριγωνική ή εξαγωνική κάτοψη.

Στην περίπτωσή μας το χωροδικτύωμά μας είναι ορθογωνικής κάτοψης με τα άνω και κάτω πέλματα να συνδέονται μεταξύ τους με ισόπλευρα τρίγωνα, όπου το στατικό ύψος h=0,866a, όπου a η απόσταση διαδοχικών μηκίδων.



Τα βασικά εξαρτήματα του χωροδικτυώματος είναι η σφαίρα (κόμβος), η ράβδος, η κεφαλή, η ροδέλα και ο κοχλίας.



Σχ. 3.21: Κόμβος Χωροδικτυώματος

Οι σφαίρες-κόμβοι των χωροδικτυωμάτων είναι τα σημεία εκείνα τα οποία αναλαμβάνουν όλα τα εξωτερικά φορτία που εφαρμόζονται στο χωροδικτύωμα, κατά τις τρεις διευθύνσεις του χώρου. Οι δυνάμεις οι οποίες έχουν διαφορετικά μεγέθη και πολλές φορές αντίθετες κατευθύνσεις, διανέμονται στο χωροδικτύωμα μέσω των ράβδων οι οποίες καταλήγουν στους κόμβους. Η σύνδεση της σφαίρας με την ράβδο γίνεται μέσω σπειρωμάτων τα οποία ανοίγονται στις σφαίρες σε γωνίες που εξαρτώνται από την γεωμετρική κατασκευή και σε διάμετρο που εξαρτάται, κυρίως από την μέγιστη εφελκυστική δύναμη.

Στις φέρουσες κατασκευές όπου τα χωροδικτυώματα έχουν μεγάλο άνοιγμα και αναλαμβάνουν σημαντικά φορτία, η σφαίρα είναι συμπαγής χαλύβδινη. Κατασκευάζεται με σφυρηλάτηση εν θερμώ ή με μηχανική επεξεργασία, από χάλυβα κατά DIN 17100 CK45 (όριο διαρροής 45 kg/mm2). Το μέγεθος της σφαίρας εξαρτάται από τα παρακάτω :

• τα μεγέθη των αναπτυσσόμενων εφελκυστικών δυνάμεων
• το μέγεθος των γειτονικών κοχλιών, έτσι ώστε να αποφευχθεί η αμοιβαία επίδραση τους μέσα στην σφαίρα.
• το μέγεθος των γειτονικών ροδελών

	M12	M16	M20	M24	M30	M30	M36	M42	M56	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜ.ΣΠΕΙΡ.
	5,6	8,8	8,8	8,8	8,8	10,9	10,9	10,9	10,9	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΟΧΛΙΩΝ
D (mm)	18	65	105	150	240	360	530	720	1500	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΔΥΝΑΜΗ (kN)
50 - AL	■									
60	■	■								
80		■	■							
110			■	■	■					
150					■	■	■			
200							■	■		
250								■	■	

Πίνακας 3.22 Σχέση διαμέτρου σφαίρας – ονομαστικής διαμέτρου κοχλιών – φέρουσας ικανότητας σφαίρας

Η ροδέλα είναι το εξάρτημα εκείνο που έχει ως σκοπό την μεταφορά των θλιπτικών δυνάμεων μεταξύ ράβδου και κόμβου. Το υλικό κατασκευής της ροδέλας στις φέρουσες κατασκευές είναι χάλυβας εξαγωνικής διατομής κατά DIN 17100, St37-2. Οι διαστάσεις της ροδέλας εξαρτώνται από το μέγεθος της ράβδου και από την θλιπτική δύναμη που την καταπονεί.

Οι κοχλίες έχουν ως σκοπό την σύνδεση των ράβδων με τους κόμβους καθώς και την μεταφορά των εφελκυστικών δυνάμεων από τις ράβδους στους κόμβους. Το υλικό είναι χάλυβας υψηλής εφελκυστικής αντοχής κατά DIN 267, με μετρικό σπείρωμα.

Η κεφαλή κατασκευάζεται από χάλυβα DIN 17100,St37-2 με μηχανική επεξεργασία ή με σφυρηλάτηση και προσαρμόζεται στα άκρα της ράβδου μηχανικά ή με συγκόλληση με την τεχνολογία MIG κατά DIN 4100 και DIN 4115.

Σύμφωνα με τους φυσικούς νόμους τα μέταλλα υπόκεινται σε οξείδωση, εξ' αιτίας των χημικών αντιδράσεων τους με το οξυγόνο που περιέχεται στον ατμοσφαιρικό αέρα. Για την αποφυγή των αντιδράσεων αυτών, επικαλύπτεται η επιφάνεια τους είτε με άλλα ανθεκτικότερα μέταλλα, είτε με πολυεστερική πούδρα ή με συνδυασμό και των δύο. Λόγω του ότι η περίοδος προστασίας αυξάνεται με το πάχος του στρώματος της επικάλυψης, για την επιφανειακή προστασία των εξαρτημάτων του χωροδικτυώματός μας ακολουθείται συνδυασμός των δύο παραπάνω μεθόδων.

Η επικάλυψη της επιφάνειας με άλλα μέταλλα επιτυγχάνεται με δύο τρόπους :

α. Ηλεκτρολυτικό γαλβάνισμα

β. Γαλβάνισμα εν θερμώ

<u>Ηλεκτρολυτικό γαλβάνισμα</u>

Οι σφαίρες(κόμβοι) και οι βίδες του χωροδικτυώματος γαλβανίζονται ηλεκτρολυτικά σε ασθενή οξικά μπάνια σύμφωνα με το DIN 50961.Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα στρώμα ψευδαργύρου πάνω στην επιφάνεια τους με πάχος 25μm.

Γαλβάνισμα εν θερμώ

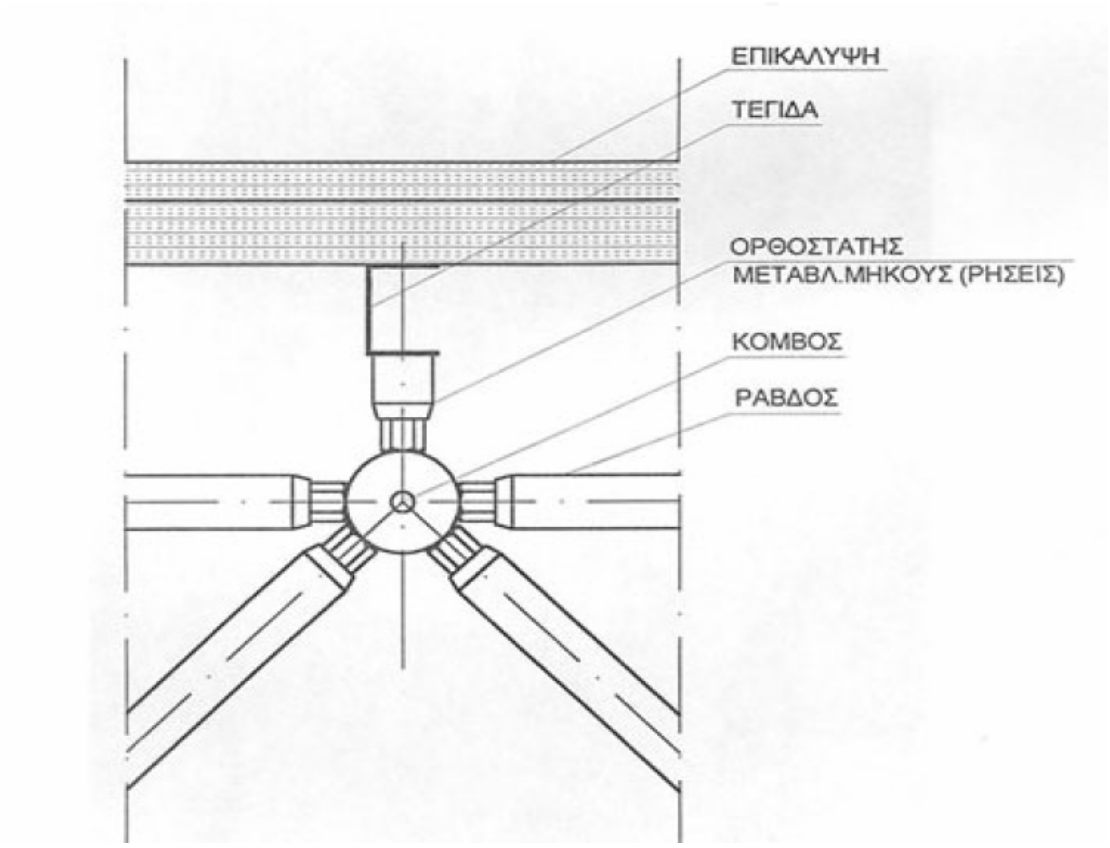
Οι ράβδοι του χωροδικτυώματος γαλβανίζονται εν θερμώ, σύμφωνα με το DIN 50976. Το γαλβάνισμα εν θερμώ επιτυγχάνεται με εμβάπτιση των ράβδων σε μπάνια τηγμένου ψευδαργύρου στους 450°C. Με τον τρόπο αυτό ο ψευδάργυρος εισχωρεί μέσα στον χάλυβα, μετά την ανύψωση των ράβδων από τα μπάνια έχει δημιουργηθεί ένα στρώμα καθαρού ψευδαργύρου με ελάχιστο πάχος 55μm, περίπου.

Ηλεκτροστατική βαφή πούδρας

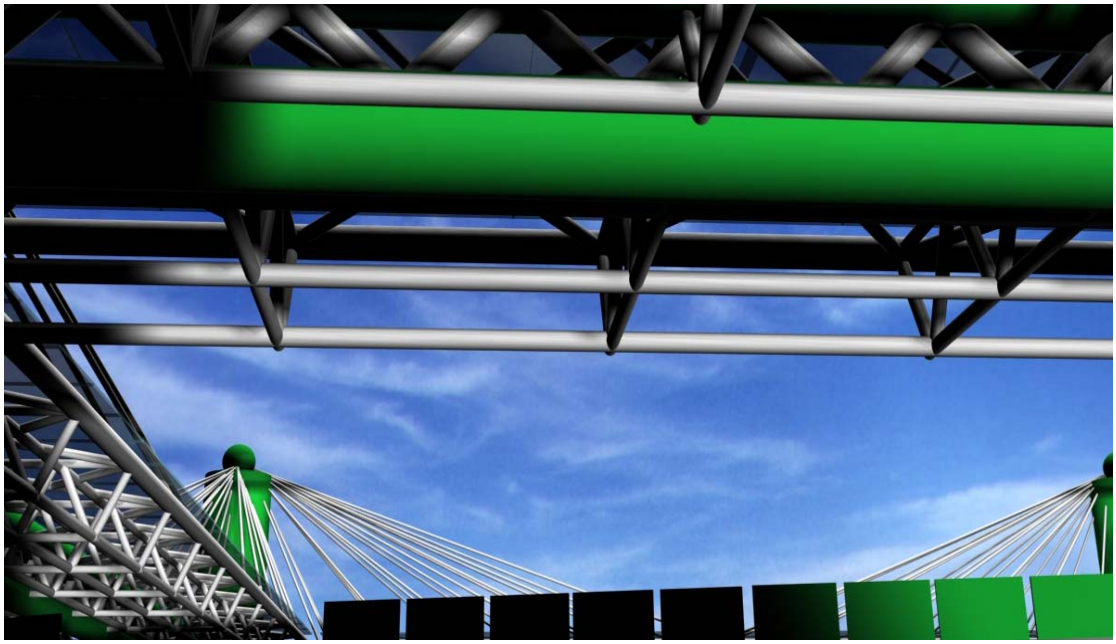
Η προστασία της επιφάνειας των σφαιρών, ράβδων και ροδελών του χωροδικτυώματος συμπληρώνεται με ηλεκτροστατική βαφή πολυεστερικής πούδρας. Η πολυεστερική πούδρα ψεκάζεται πάνω στα εξαρτήματα σε ένα ηλεκτροστατικό πεδίο και σταθεροποιείται σε φούρνο στους 200°C. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα συνολικό στρώμα προστασίας 80μm. Το χρώμα της πούδρας εκλέγεται από σειρά χρωμάτων RAL βάσει χρωματολογίου. Με την ηλεκτροστατική βαφή πούδρας επιτυγχάνεται μεγαλύτερη προστασία της επιφάνειας, έναντι οποιασδήποτε άλλης βαφής, διότι το στρώμα της επικάλυψης έχει μεγαλύτερη σκληρότητα και αντοχή σε κρούση. Επίσης αντέχει σε θερμοκρασίες από -40°C μέχρι +140°C και δεν αλλοιώνεται με την ηλιακή ακτινοβολία.

Επικάλυψη χωροδικτυώματος

Για να τοποθετηθεί η επικάλυψη στο χωροδικτύωμα στερεώνονται ορθοστάτες στους κόμβους του πέλματος όπου θα τοποθετηθεί η επικάλυψη και πάνω σ’αυτούς τεγίδες, η διατομή και οι διαστάσεις των οποίων εκλέγονται κατόπιν υπολογισμού, στην συνέχεια πάνω στις τεγίδες τοποθετείται η επικάλυψη. Με την χρησιμοποίηση ορθοστατών μεταβλητού μήκους δίνεται η επιθυμητή κλίση (στην περίπτωσή μας θα είναι περίπου 2%) στην επικάλυψη με σκοπό την απορροή των όμβριων υδάτων.



Σχ. 3.23 Τρόπος τοποθέτησης επικάλυψης σε χωροδικτύωμα



Σχ. 3.24 Όψη των χωροδικτυωμάτων του υπό μελέτη στεγάστρου

ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ - ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ Χ/Δ

Υπάρχουν τέσσερεις βασικοί τρόποι τοποθέτησης του χωροδικτυώματος:

1. Μέθοδος ταυτόχρονης συναρμολόγησης - τοποθέτησης

2. Μέθοδος ανύψωσης

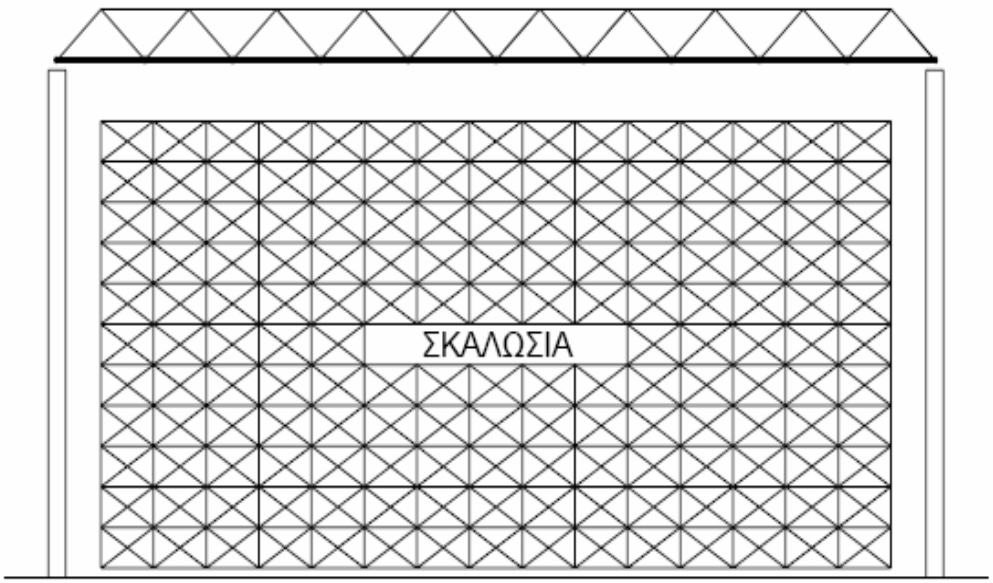
3. Μέθοδος συναρμολόγησης - κύλισης

4. Μέθοδος τοποθέτησης κατά τμήματα

Η επιλογή ενός από τους παραπάνω τρόπους τοποθέτησης, εξαρτάται από τις συνθήκες που επικρατούν στον χώρο και από τις συνθήκες σχεδιασμού.

Μέθοδος ταυτόχρονης συναρμολόγησης - τοποθέτησης

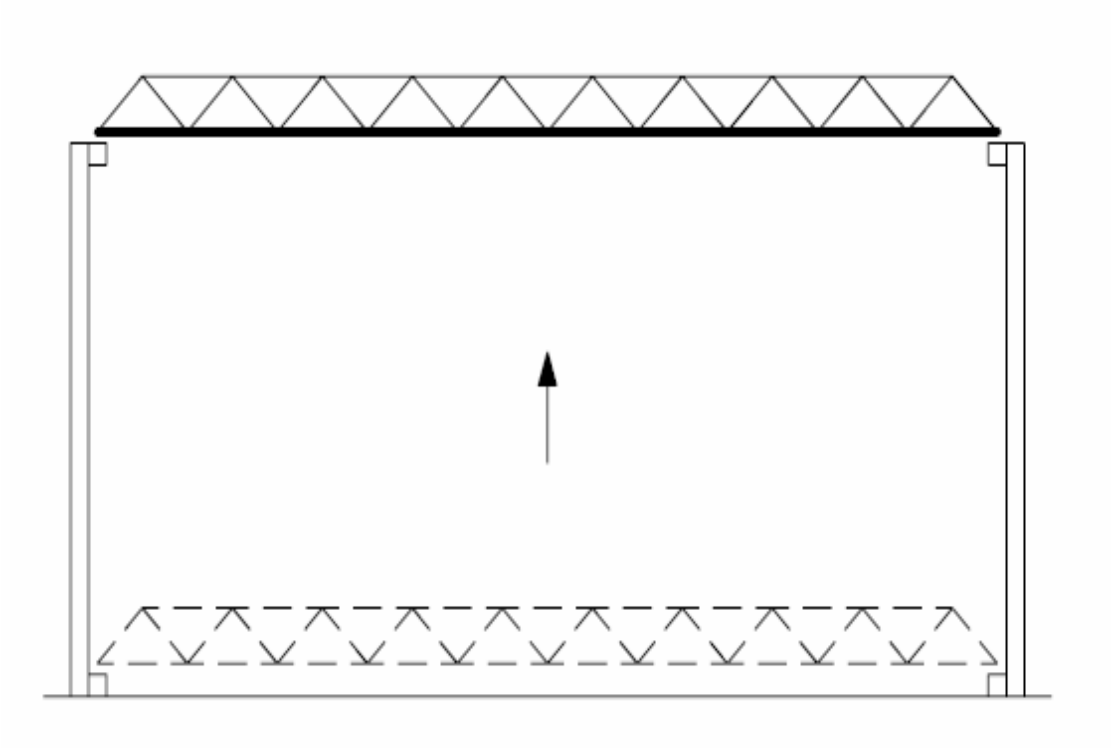
Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο, εγκαθίσταται σκαλωσιά στον χώρο τοποθέτησης και το χωροδικτύωμα συναρμολογείται και ταυτόχρονα τοποθετείται. Σ' αυτή την περίπτωση η σκαλωσιά μπορεί να είναι ένας κινητός πύργος σκαλωσιάς. Η εκλογή της κατάλληλης σκαλωσιάς γίνεται λαμβάνοντας υπ' όψη τις συνθήκες του χώρου.



Σχ. 3.25 Μέθοδος ταυτόχρονης συναρμολόγησης και τοποθέτησης

Μέθοδος ανύψωσης

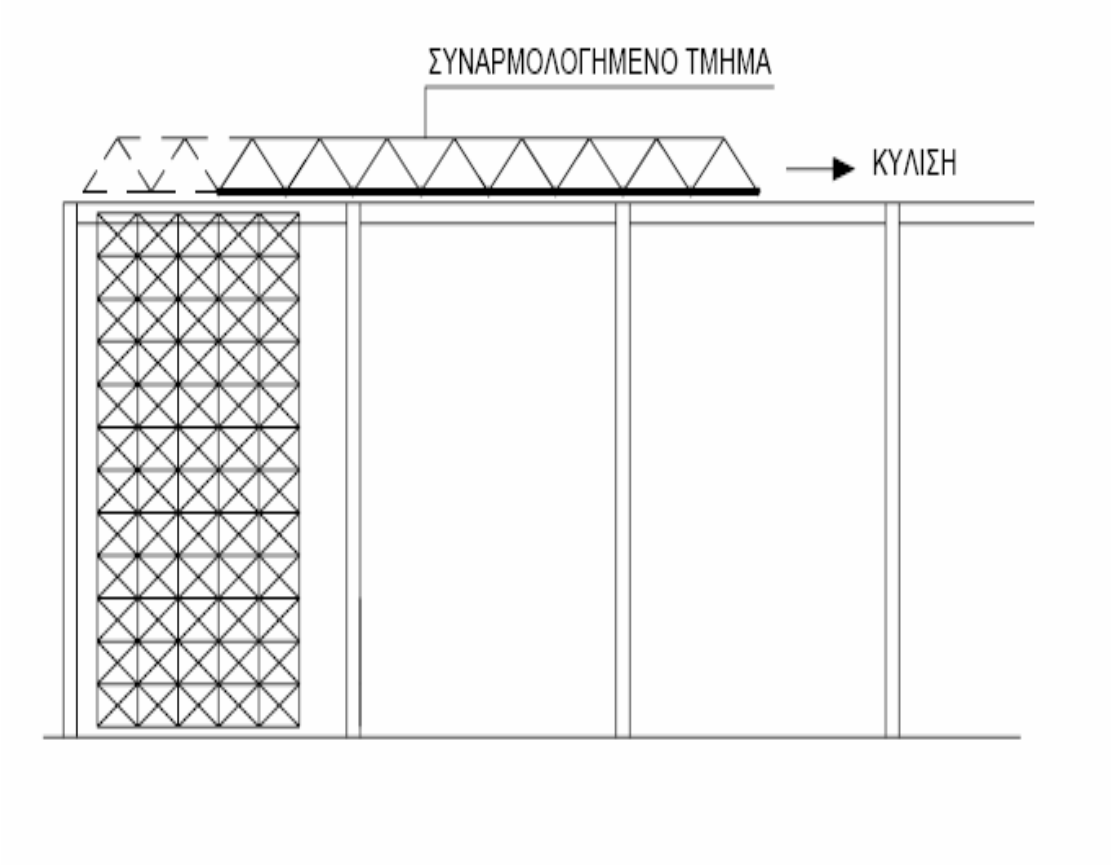
Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο το χωροδικτύωμα συναρμολογείται στο έδαφος κοντά στον χώρο της τελικής του τοποθέτησης και κατόπιν ανυψώνεται με την βοήθεια γερανών.



Σχ. 3.26 Μέθοδος ανύψωσης

Μέθοδος συναρμολόγησης - κύλισης

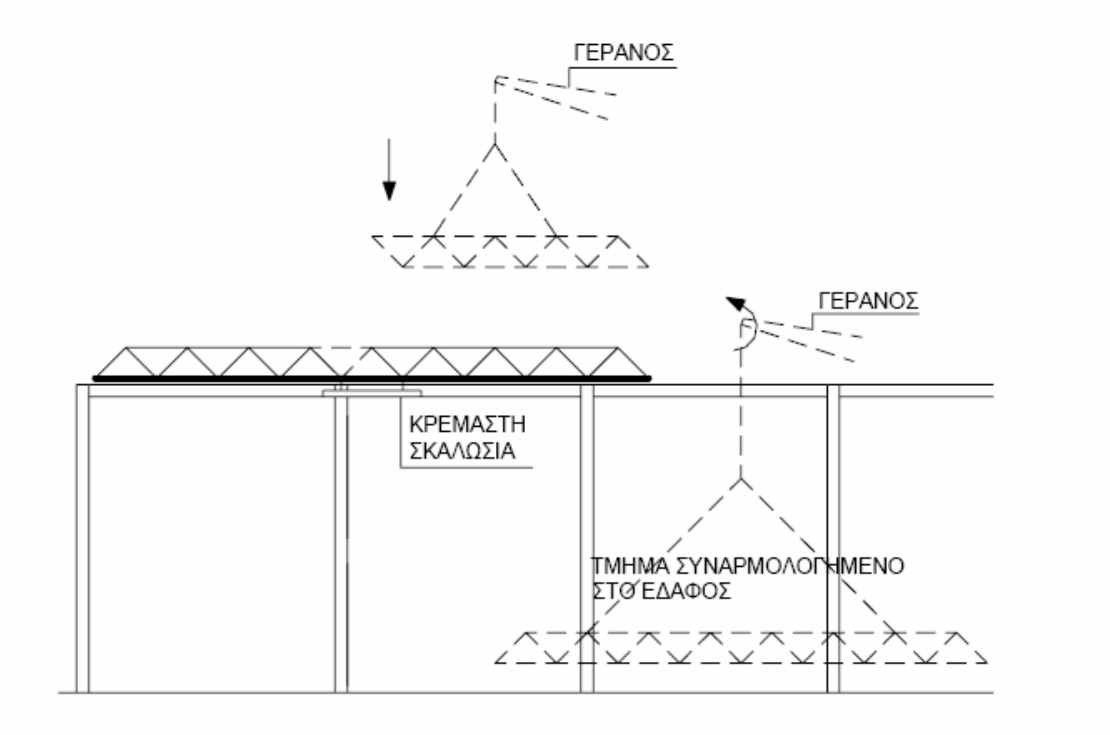
Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο τοποθετείται σκαλωσιά και συναρμολογείται ένα τμήμα του χωροδικτυώματος, το οποίο κατόπιν κυλίεται στην θέση της τελικής του εγκατάστασης. Στην συνέχεια συναρμολογείται το επόμενο με τον ίδιο τρόπο και κυλίεται και αυτό στην επόμενη θέση, κατόπιν τα δύο τμήματα συνδέονται μεταξύ τους.



Σχ. 3.27 Μέθοδος συναρμολόγησης – κύλισης

Μέθοδος τοποθέτησης κατά τμήματα

Κατά την μέθοδο αυτή, συναρμολογείται στο έδαφος ένα τμήμα του χωροδικτυώματος και κατόπιν ανυψώνεται με γερανό στην θέση όπου θα τοποθετηθεί. Στην συνέχεια συναρμολογείται πάλι στο έδαφος άλλο τμήμα, τοποθετείται με γερανό δίπλα στο προηγούμενο και έπειτα, εργαζόμενοι από σκαλωσιές, συνδέονται τα δύο τμήματα μεταξύ τους. Κατ' αυτόν τον τρόπο ολοκληρώνεται η συναρμολόγηση και τοποθέτηση όλων των τμημάτων του χωροδικτυώματος. Η ανυψωτική ικανότητα του γερανού που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από το βάρος των τμημάτων.



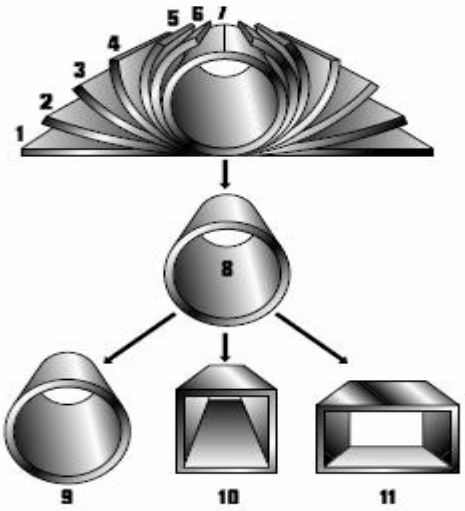
Σχ. 3.28 Μέθοδος εγκατάστασης κατά τμήματα

3.4.2 ΠΥΛΩΝΕΣ

Οι πυλώνες αποτελούν πολύ σημαντικά στοιχεία σε ένα χαλύβδινο φορέα καθώς μεταφέρουν τα φορτία από τη στέγη και τους ορόφους της κατασκευής στα θεμέλια. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να λαμβάνεται για την αντοχή αυτών έναντι λυγισμού. Στη συγκεκριμένη περίπτωσή μας, οι πυλώνες μας μπορούν να λυγίσουν προς οποιαδήποτε διεύθυνση. Γι'αυτό το λόγο επιλέχθηκε να είναι οι πυλώνες μας κοίλης κυκλικής διατομής καθώς μια τέτοια διατομή είναι συμμετρική ως προς όλους τους άξονες. Η αυξανόμενη φόρτιση καθ'ύψος των πυλώνων από την κορυφή προς τη βάση μπορεί να αναληφθεί είτε με αύξηση των διαστάσεων ανάλογη της αύξησης της φόρτισης, είτε με αύξηση της ποιότητας του χάλυβα. Εξωτερικά οι πυλώνες του στεγάστρου μας φαίνονται να έχουν την ίδια διάσταση καθ'ύψος επειδή έχουν σταθερή περίμετρο. Στην πραγματικότητα όμως έχει προβλεφθεί να αυξάνεται το πάχος της διατομής κοντά στη βάση τους και η εξωτερική τους διάσταση δεν αλλάζει για αισθητικούς καθαρά λόγους. Επίσης, για να αγκυρωθούν σωστά τα καλώδια επί των πυλώνων, στην κορυφή τους θα κατασκευαστεί διάφραγμα έτσι ώστε με τη βοήθεια ελασμάτων να γίνεται σύνδεση των καλωδίων χωρίς κίνδυνο αποκόλλησης, εξαιτίας της κοίλης κυκλικής διατομής του πυλώνα.

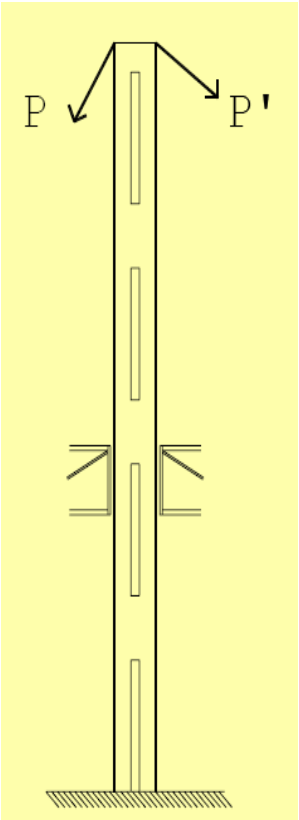
Σχ. 3.29 Κοίλες Κυλινδρικές Διατομές

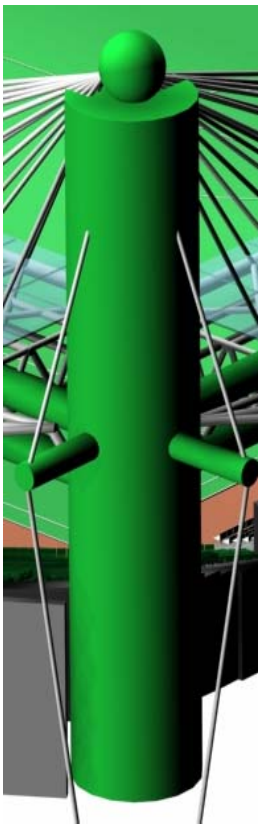
Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί πώς κατά τη μεταφορά των κατακόρυφων φορτίων στη θεμελίωση μέσω των πυλώνων πρέπει να ληφθούν συγκεκριμένα μέτρα ώστε το σκυρόδεμα θεμελίωσης να μπορεί να παραλάβει ασφαλώς τα φορτία αυτά. Έτσι, τοποθετείται στη βάση των πυλώνων μια μεταλλική πλάκα ώστε να κατανεμηθεί το κατακόρυφο φορτίο σε μεγαλύτερη επιφάνεια. Το πάχος αυτής της πλάκας πρέπει να είναι επαρκές ώστε να αποφεύγονται λοιπές παραμορφώσεις αυτής.



Σχ. 3.30 Σχηματική απεικόνιση παραγωγής κοίλων διατομών από απλά φύλλα χάλυβα

Στην περίπτωσή μας, οι τέσσερις πυλώνες καταπονούνται κυρίως θλιπτικά λογώ της μεταφοράς κατακόρυφων δυνάμεων μέσω των καλωδίων. Επίσης απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στη φάση κατασκευής πριν τοποθετηθούν τα καλώδια καθώς τότε οι πυλώνες συμπεριφέρονται ως πρόβολοι.





Σχ. 3.31 Στατική λειτουργία πυλώνων

3.4.3 ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ ΣΤΕΓΗΣ (ΧΙΑΣΤΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ)

Οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας στέγης είναι επίπεδοι δικτυωτοί φορείς, μέσα στο επίπεδο της στέγης, η οποία μπορεί να είναι οριζόντια ή κεκλιμένη. Στην περίπτωση του σταδίου Απόστολος Νικολαίδης, η στέγη που σχεδιάζουμε είναι οριζόντια. Ο ρόλος τους είναι να παραλαμβάνουν τα οριζόντια φορτία ανέμου που δρουν κάθετα στο επίπεδο των κύριων φορέων και να τα μεταβιβάζουν στο έδαφος μέσω των υποστυλωμάτων.

Φορτία καταπόνησης των συνδέσμων δυσκαμψίας στέγης

- Μόνιμα φορτία για τους συνδέσμους δυσκαμψίας στέγης δεν υπολογίζονται καθώς αναλαμβάνουν μόνο αξονικά φορτία και θεωρούνται μηδενικού βάρους.
- Τα κινητά φορτία που καταπονούν τους χιαστί συνδέσμους είναι ο άνεμος που δρα κάθετα στο επίπεδο των πλαισίων (άνεμος 'όψεως'). Τον αναλαμβάνουν ως σημειακά θλιπτικά ή εφελκυστικά φορτία, στις θέσεις επαφής των υποστυλωμάτων με τις τεγίδες.
- Τυχηματικά φορτία: είναι τα φορτία σεισμού που δρουν κάθετα στο επίπεδο των πλαισίων.

Μέλη δικτυωτού φορέα

Κάθε δικτύωμα αποτελείται από πέλματα, ορθοστάτες και διαγώνιους.

Τα μέλη ενός τυπικού φατνώματος, μέσα στο οποίο μορφώνεται ο σύνδεσμος δυσκαμψίας στέγης, αναλαμβάνουν τους παρακάτω ρόλους:

- Πέλματα, είναι τα ζυγώματα των κύριων φορέων – τα οποία έχουν ήδη επιλεγεί.
- Ορθοστάτες, είναι οι διαδοκίδες στέγης (τεγίδες) – οι οποίες έχουν ήδη επιλεγεί.
- Διαγώνιοι (χιαστί), είναι το νέο στοιχείο που πρέπει να επιλεγεί.

Συνήθεις διατομές μελών των συνδέσμων δυσκαμψίας στέγης

- Για τις διαγώνιους οι συνήθεις διατομές είναι ισοσκελή ή ανισοσκελή γωνιακά τύπου (L). Στο στέγαστρο που μελετάμε θα χρησιμοποιήσουμε κοίλες διατομές.

Είδη καταπόνησης των συνδέσμων δυσκαμψίας στέγης

Επειδή οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας είναι δικτυωτοί φορείς, όλα τους τα μέλη θεωρούνται ότι καταπονούνται αξονικά. Έτσι, ακόμα και για τις τεγίδες αλλά και για τα υποστυλώματα, ενώ υπόκεινται και σε κάμψη, γίνεται η παραδοχή πως καταπονούνται μόνο αξονικά, όταν συμμετέχουν στους συνδέσμους δυσκαμψίας στέγης.

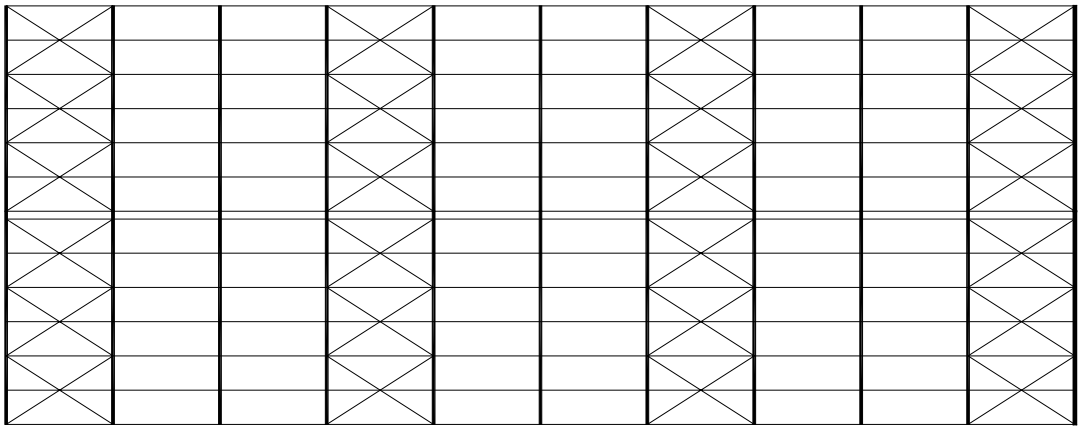
Οι διαγώνιοι των δικτυωμάτων είτε εφελκύονται, είτε θλίβονται και δεν παραλαμβάνουν καμπτικά φορτία γιατί δεν έρχονται σε επαφή με την επικάλυψη. Η επικάλυψη στέγης είναι τοποθετημένη πάνω στις τεγίδες οι οποίες με τη σειρά τους τοποθετούνται πάνω στους κύριους φορείς. Οι διαγώνιοι του δικτυώματος δεν έρχονται σε επαφή με την επικάλυψη, είναι εκτός του επιπέδου της αλλά παράλληλες με αυτή. Αξίζει να σημειωθεί πως στη μελέτη των δικτυωμάτων αγνοούνται οι θλιβόμενες διαγώνιοι γιατί σε αντίθετη περίπτωση ο έλεγχος έναντι λυγισμού θα επέβαλλε χρήση πολύ μεγάλων διατομών (αντιοικονομικό).

Μορφολογία δικτυωμάτων των συνδέσμων δυσκαμψίας στέγης

Γενικώς είναι επιθυμητό να υπάρχει περιττό πλήθος τεγίδων ώστε να προκύπτει άρτιο πλήθος ανοιγμάτων τεγίδων κατά πλάτος του ζυγώματος και συνεπώς άρτιο πλήθος συνδέσμων δυσκαμψίας.

Πλήθος συνδέσμων δυσκαμψίας κατά μήκος της στέγης

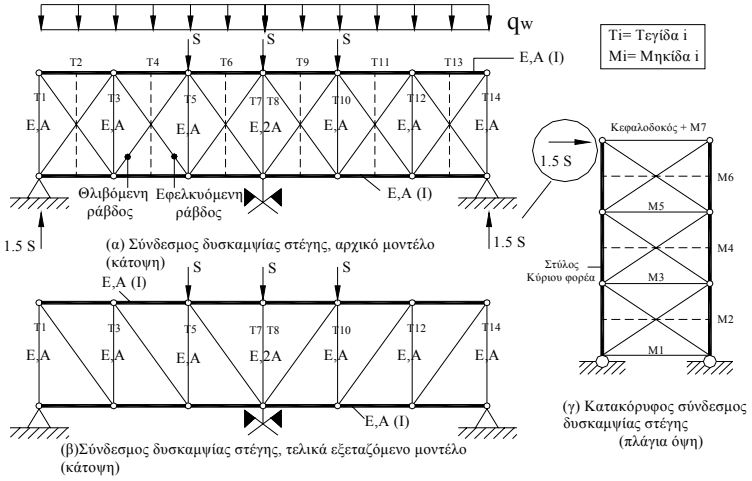
Σύνδεσμοι δυσκαμψίας στέγης τοποθετούνται υποχρεωτικά στα δύο ακραία φατνώματα της κατασκευής, για να παραλάβουν τα θλιπτικά ή εφελκυστικά φορτία των υποστυλωμάτων. Ύπαρξη επιπλέον συνδέσμων δυσκαμψίας σε ενδιάμεσα φατνώματα του υπόστεγου, κρίνεται απαραίτητη για μεγάλου στέγαστρα, όπως στην περίπτωσή μας. Τότε είναι δυνατόν να μορφωθεί ένας επιπλέον σύνδεσμος δυσκαμψίας στο μεσαίο φάτνωμα ή και δύο σύνδεσμοι δυσκαμψίας, κατά προτίμηση σε συμμετρικά από το μέσο φατνώματα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Στη στέγη του γηπέδου τοποθετήσαμε χιαστί σε όλα τα φατνώματα, το οποίο αν και αντιοικονομικό, κρίθηκε απαραίτητο για μέγιστη ευστάθεια και αντοχή.



Σχ. 3.32 Ενδεικτικές αποστάσεις και πλήθος συνδέσμων δυσκαμψίας κατά μήκος ανοίγματος

Στατική λειτουργία δικτυώματος συνδέσμου δυσκαμψίας στέγης

Το στατικό μοντέλο, με το οποίο προσομοιάζεται ο σύνδεσμος δυσκαμψίας στέγης, φαίνεται στο παρακάτω σχήμα

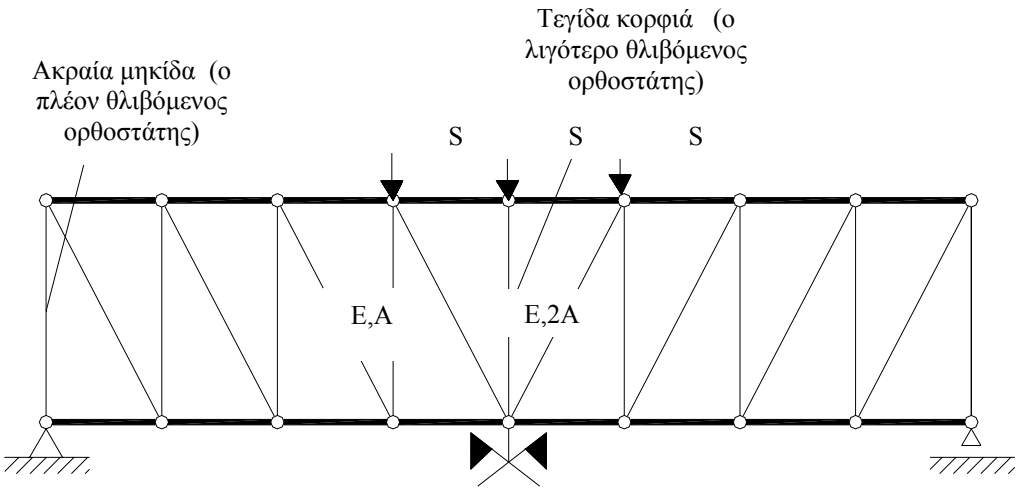


Σχήμα 3.33 Στατικό μοντέλο συνδέσμου δυσκαμψίας στέγης.

Στο σχήμα (α) φαίνεται το αρχικό μοντέλο με όλα τα μέλη που υπάρχουν στην πράξη. Έχουν θεωρηθεί τρεις μετωπικοί στύλοι στις θέσεις T5, T7 και T8 (κορφιάς), T10.

Στο αρχικό στατικό μοντέλο του συνδέσμου δυσκαμψίας οι ορθοστάτες (T2, T4, T6, T9, T11 και T13), που σημειώνονται με διακεκομμένη γραμμή,

αμελούνται γιατί δεν μπορούν να συμμετάσχουν στη λειτουργία δικτυώματος, αφού δεν συντρέχουν σε θέσεις κόμβων . Επίσης αμελούνται και οι θλιβόμενες διαγώνιοι – συμμετρικά διατεταγμένες ως προς τον άξονα συμμετρίας του δικτυώματος- γιατί ο έλεγχός τους σε λυγισμό θα οδηγούσε σε επιλογή υπερβολικά μεγάλων διατομών.



Σχ. 3.34 Αμφιέρειστο δικτύωμα συνδέσμου δυσκαμψίας στέγης που επιλύεται τελικά.

Καταλήγουμε, λοιπόν, στο απλοποιημένο στατικό μοντέλο του παραπάνω σχήματος όμοιο με το δικτύωμα του σχήματος, από το οποίο και θα επιλεγούν διατομές για τις διαγώνιους θεωρώντας πως καταπονούνται από αξονικά εφελκυστικά φορτία και μόνο. Τα αξονικά φορτία των διαγωνίων προκύπτουν κατόπιν επιλύσεως του απλοποιημένου δικτυώματος, βρίσκεται η πλέον εφελκυόμενη διαγώνιος και διαστασιολογούνται και οι υπόλοιπες σύμφωνα με αυτή. Επειδή οι μηκίδες στο στέγαστρό μας δεν εφάπτονται ακριβώς στα υποστυλώματα του σταδίου, το στατικό μοντέλο δεν είναι αυτό που περιγράφηκε παραπάνω, όμως χάριν ευκολίας και απλούστευσης μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ισχύουν όσα και παραπάνω, με την υπόθεση ότι τα σημεία σύνδεσης των ακραίων μηκίδων με τις κύριες δοκούς ισοδυναμούν με σύνδεση μηκίδας-πυλώνα.

Έλεγχος διαγωνίου σε εφελκυσμό

Η διατομή που ελέγχουμε αρχικά είναι η CHS 457*14.2.

Ο έλεγχος θα γίνει σύμφωνα με τη σχέση

$$N_{sd} \leq N_{t,Rd}$$

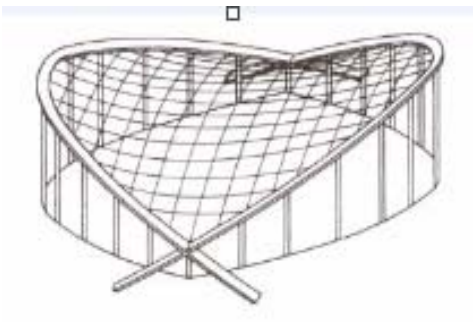
$$N_{t,Rd} = \min\left\{\frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}, \frac{0.9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}\right\}$$

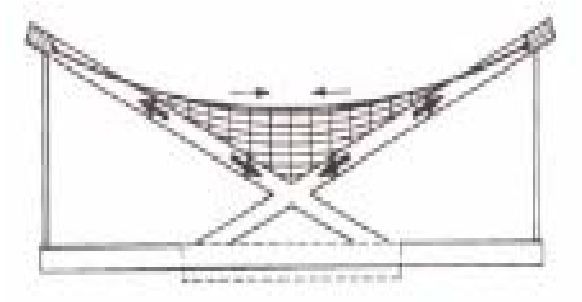
Ο δεύτερος όρος εντός αγκύλης αμελείται γιατί αναφέρεται στην αντοχή καθαρής διατομής σε θέσεις σύνδεσης με οπές κοχλιών και οι συνδέσεις των μελών δεν εξετάζονται στην παρούσα διπλωματική εργασία.

3.4.4 Καλώδια

Στο σημείο αυτό αξίζει να γίνει και μια σύντομη αναφορά και περιγραφή της χρήσης καλωδίων για κατασκευή στεγάστρων. Η πρόοδος και η εξέλιξη τενόντων και χαλύβδινων καλωδίων έχει καταστήσει δυνατή τη μεταφορά ισχυρών αξονικών εφελκυστικών δυνάμεων με χαμηλό κόστος. Απτό παράδειγμα της παραπάνω διαπίστωσης αποτελούν οι όλο και περισσότερο αυξανόμενες κρεμαστές και καλωδιωτές γέφυρες ανά τον κόσμο.

Η χρήση καλωδίων στον τομέα της στέγασης έχει αρχίσει να απασχολεί μηχανικούς και αρχιτέκτονες τα τελευταία χρόνια. Έμπνευση για κάτι τέτοιο αποτέλεσε η North Carolina State Fair Arena στην περιοχή Raleigh των Η.Π.Α. της οποίας η κατασκευή τελείωσε το 1953. Το κτίριο αυτό βασικά αποτελείται από ένα πλέγμα καλωδίων το οποίο με τη σειρά του στηρίζεται σε δύο διασταυρωμένα τόξα από μπετό. Η ακαμψία του στεγάστρου επιτεύχθηκε με τη βοήθεια της καμπυλότητας και της προέντασης των καλωδίων, η δε ισορροπία των εφελκυστικών δυνάμεων των καλωδίων με τις θλιπτικές δυνάμεις των τόξων απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.





Σχ. 3.35 Στέγαστρο North Carolina State Fair Arena

Από τότε έχουν μελετηθεί και χρησιμοποιηθεί καλώδια για την δημιουργία στεγάστρων σε διάφορες περιοχές του κόσμου.

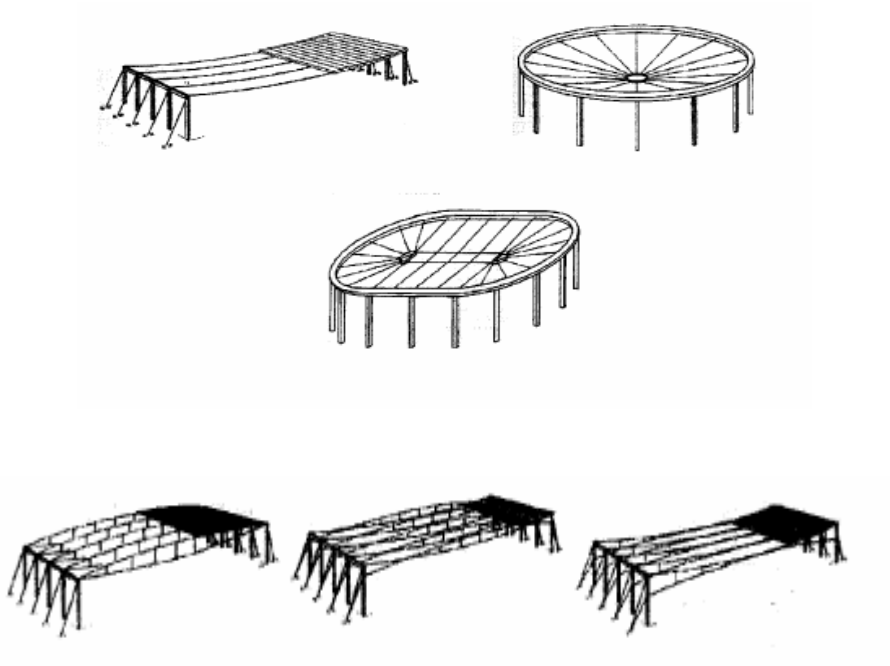
Τα καλωδιωτά στέγαστρα έχουν ευρύ πεδίο εφαρμογής και έχουν τοποθετηθεί σε γήπεδα, γυμναστήρια, κολυμβητήρια, θέατρα, αποθήκες, εργοστάσια κ.α. Η εμπειρία έχει δείξει πώς κατασκευές αυτής της μορφής έχουν μεγάλες αρχιτεκτονικές και στατικές δυνατότητες. Η χρήση καλωδίων έχει να επιδείξει στέγαστρα ιδιαίτερης ομορφίας και αρχιτεκτονικού ενδιαφέροντος με μεγάλη ευστάθεια κυρίως λόγω του γεγονότος ότι τα μέλη της κατασκευής κατά ένα μεγάλο ποσοστό βρίσκονται σε εφελκυσμό.

Τα καλωδιωτά στέγαστρα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής, χωρίς φυσικά να είναι το παρακάτω απόλυτο και δεσμευτικό, ανάλογα αν η οροφή στηρίζεται από:

Α) προεντεταμένα καλώδια ανάρτησης

Β) προεντεταμένες καλωδιωτές δοκούς

Γ) προεντεταμένα καλωδιωτά πλέγματα



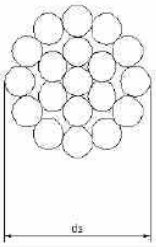
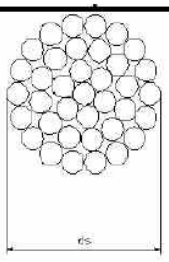
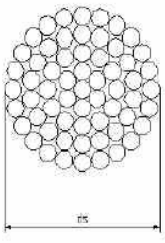
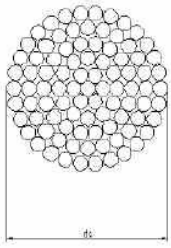
Σχ. 3.36 Καλωδιωτά στέγαστρα διαφόρων μορφών

Η κατασκευή μπορεί να είναι τέτοιας μορφής και γεωμετρίας ώστε τα φορτία των καλωδίων να ισορροπούνται εσωτερικά αλλά συνήθως κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό με αποτέλεσμα την ανάγκη χρήσης μηχανισμών αγκύρωσης αυτών στο έδαφος.

Η χρήση καλωδίων οδηγεί σε οικονομικές λύσεις διότι η αντοχή τους είναι 4 με 6 φορές μεγαλύτερη της αντοχής του κοινού χάλυβα, με το κόστος να είναι μόνο 2 φορές μεγαλύτερο. Επιπλέον η κατασκευή μεγάλου μήκους καλωδίων είναι σχετικά εύκολη. Αυτό που έχει υψηλό κόστος στις κατασκευές με καλώδια είναι το κόστος ένωσης αυτών. Γι'αυτό το λόγο προσπαθούμε να έχουμε όσο το δυνατόν μεγαλύτερα μήκη ανεξάρτητων καλωδίων και όσο το δυνατόν λιγότερους κόμβους ένωσης.
Από την άλλη πλευρά, τα καλώδια έχουν ως αρνητικό στοιχείο την μειωμένη ολκιμότητα σε σχέση με τον κατασκευαστικό χάλυβα καθώς η επιμύκηνση θραύσης είναι 80% μικρότερη σε αυτά. Παράλληλα η αυξημένη ποσότητα άνθρακα σε αυτά τα καθιστά ακατάλληλα για συγκόλληση.

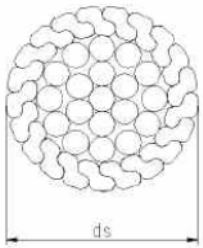
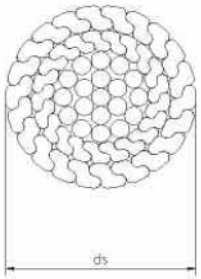
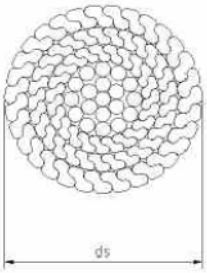
Μορφές καλωδίων:

α) Ελικοειδείς κλώνοι. Αποτελούνται από δύο ή περισσότερες στρώσεις συρμάτων κυκλικής διατομής τοποθετημένων ελικοειδώς γύρω από ένα κεντρικό σύρμα επίσης κυκλικής διατομής.

ΕΛΙΚΟΕΙΔΕΙΣ ΚΛΩΝΟΙ				
				
ΤΥΠΟΣ	1 × 19	1 × 37	1 × 61	1 × 91
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	3 to 14	6 to 36	20 to 40	30 to 52
ΚΛΩΝΟΣ	1	1	1	1
ΣΥΡΜΑΤΑ ΑΝΑ ΚΛΩΝΟ	19	37	61	91
ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΑ ΣΥΡΜΑΤΑ	12	18	24	30
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ C	0,6	0,59	0,58	0,58
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΘΡΑΥΣΗΣ	0,525	0,52	0,51	0,51

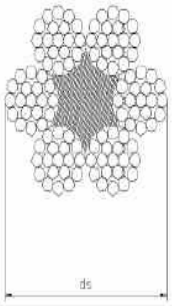
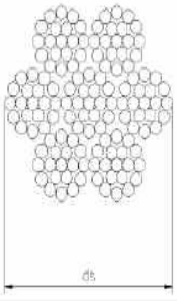
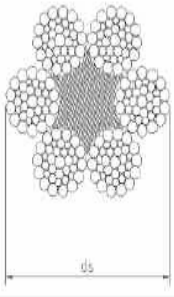
Σχ. 3.37 Διατάξεις ελικοειδών κλώνων

β) Κλώνοι κλειστής περίελξης. Αποτελούνται από δύο ή περισσότερες στρώσεις συρμάτων κυκλικής διατομής τοποθετημένων ελικοειδώς γύρω από ένα κεντρικό σύρμα αλλά η εξωτερική στρώση είναι από μορφοποιημένα σύρματα διατομής σχήματος Z.

ΚΛΩΝΟΙ ΚΛΕΙΣΤΗΣ ΠΕΡΙΕΛΞΗΣ			
			
ΤΥΠΟΣ	ΜΙΑΣ Z ΣΤΡΩΣΗΣ	ΔΥΟ Z ΣΤΡΩΣΕΩΝ	ΤΡΕΙΣ+ Z ΣΤΡΩΣΕΙΣ
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΕ mm	20 – 40	25 – 50	40 - 180
ΑΝΟΧΗ d	+5%	+5%	+5%
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ C	0,636	0,660	0,700
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΘΡΑΥΣΗΣ	0,585	0,607	0,643

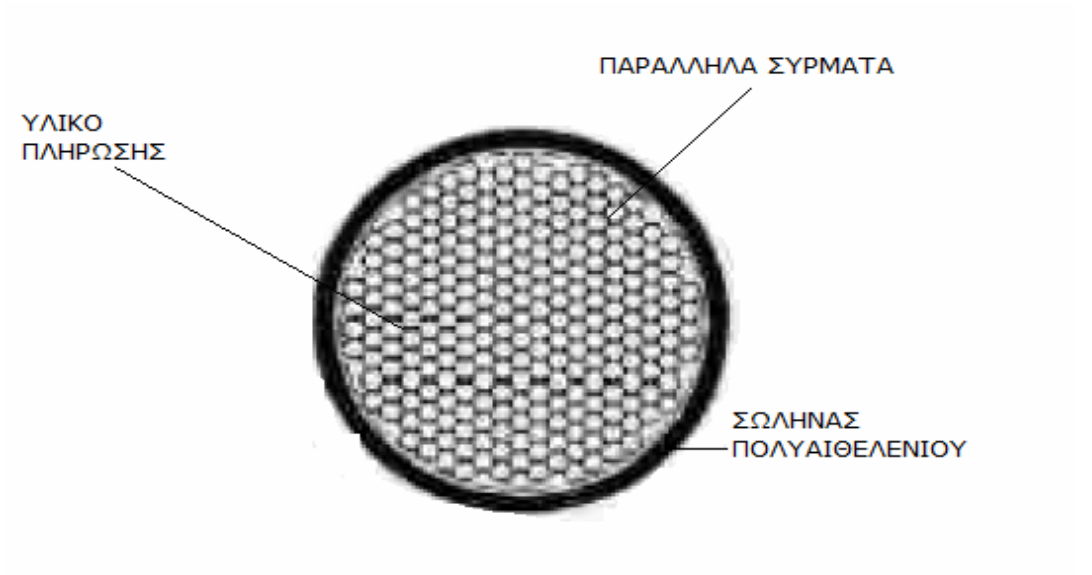
Σχ. 3.38 Διατάξεις κλώνων κλειστής περίελξης

γ) Συρματόσχοινα. Αποτελούνται από έναν αριθμό κλώνων τοποθετημένων ελικοειδώς γύρω από έναν κεντρικό κλώνο ή κεντρικό άξονα.

ΣΥΡΜΑΤΟΣΧΟΙΝΑ				
				
ΤΥΠΟΣ	6 × 19 - CF	6 × 19 - CWS	6 × 36WS - CF	6 × 36 WS- CWR
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΕ mm	6 to 40	6 to 40	6 to 40	6 to 40
ΚΛΩΝΟΙ	6	6	6	6
ΣΥΡΜΑΤΑ ΑΝΑ ΚΛΩΝΟ	18	18	36	36
ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΣΥΡΜΑΤΑ ΑΝΑ ΚΛΩΝΟ	12	12	14	14
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ C	0,357	0,414	0,393	0,455
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΘΡΑΥΣΗΣ	0,307	0,332	0,329	0,355

Σχ. 3.39 Διατάξεις συρματόσχοινων

δ) Δέσμη παράλληλων συρμάτων. Είναι η πιο απλή κατασκευαστικά διαθέσιμη μορφή εφελκυόμενου μέλους. Τα σύρματα της δέσμης είναι συνήθως γαλβανισμένα διαμέτρου 5mm-7mm. Τα μεταξύ τους κενά πληρώνονται με ένα κατά προτίμηση ημίρρευστο υλικό, αδιαπέραστο από την υγρασία.

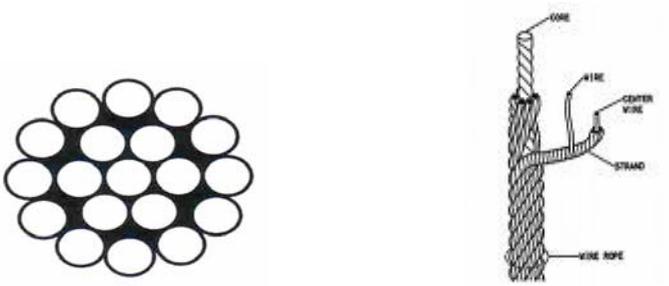


Σχ. 3.40 Δέσμη παράλληλων συρμάτων

ε) Δέσμη παράλληλων κλώνων. Δέσμη παράλληλων κλώνων, γαλβανισμένων, με πλήρωση κατάλληλου λιπαντικού κηρού, και με επικάλυψη πολυθαιθυλενίου, περικλειόμενων από εξωτερικό περίβλημα από χάλυβα ή πολυαιθελένιο.

Σχ. 3.41 Δέσμη παράλληλων κλώνων με περίβλημα από ανοξείδωτο χάλυβα

Γενικά για καλώδια ίδιας διαμέτρου, οι κλώνοι έχουν μεγαλύτερη αντοχή, μέτρο ελαστικότητας και δυσκαμψία από τα συρματόσχοινα. Επίσης οι κλώνοι κλειστής περίελξης υπερτερούν σημαντικά έναντι αυτών ελικοειδής μορφής καθώς έχουν μεγαλύτερη αντοχή σε φθορά, βελτιωμένη προστασία έναντι διάβρωσης, μεγαλύτερη ικανότητα ανάλυψης τάσεων και υψηλότερους συντελεστές πλήρωσης γι'αυτό και προτιμώνται.



Σχ. 3.42 Διατομή καλωδίου η οποία είναι κατασκευασμένη είτε από παράλληλα συρματόσχοινα, είτε από ελικοειδή περέλιξη των συρματοσχοίνων γύρω από ένα κεντρικό (βλέπε μικρότερο σχήμα - κλώνος)

Το μεμονωμένο καλώδιο

Το καλώδιο δεν μπορεί, λόγω των χαρακτηριστικών της διατομής του, να αναπτύξει διάτμηση και κάμψη. Ο τρόπος, με τον οποίο μπορεί να εξισορροπήσει τη ροπή που αναπτύσσεται από τα εξωτερικά φορτία, είναι να παραμορφωθεί τόσο, ώστε το εγκάρσιο βέλος, πολλαπλασιαζόμενο με την οριζόντια συνιστώσα της εφελκυστικής έντασης, να δίνει μία ίση και αντίθετη ροπή.

Όταν φορτίζονται καλωδιωτές κατασκευές οι υφιστάμενες μετακινήσεις είναι μεγάλες, ως εκ τούτου η παραμορφωμένη γεωμετρία του φορέα διαφέρει σημαντικά από την απαραμόρφωτη. Λόγω του ότι ο φορέας ισορροπεί υπό την επίδραση φορτίων στην παραμορφωμένη γεωμετρία, οι εξισώσεις ισορροπίας γράφονται σ'αυτήν, η οποία όμως δεν είναι γνωστή εκ των προτέρων. Η επίλυση του προβλήματος στατικής ανάλυσης αυτών των φορέων απαιτεί επομένως επαναλήψεις.

Σχ. 3.43 Σχέση ισορροπίας P-z για μεμονωμένο καλώδιο

Επειδή το παραπάνω διάγραμμα είναι παραβολικό, δεν ισχύει η αρχή επαλληλίας. Επιπλέον μας δείχνει πώς το καλώδιο γίνεται περισσότερο δύσκαμπτο με την αύξηση του βέλους z (εφαπτομένη). Το φαινόμενο αυτό λέγεται μη – γραμμικότητα και είναι χαρακτηριστικό των εφελκυόμενων κατασκευών.

Θεωρούμε τυχαίο καλώδιο i το οποίο συνδέεται με τον πυλώνα σε ύψος Hi από το επίπεδο του στεγάστρου και με το στέγαστρο σε απόσταση xi από τον πυλώνα. Παρακάτω απεικονίζεται σχηματικά η παραμορφωμένη κατάσταση του εν λόγω συστήματος.

Σχ. 3.44 Παραμόρφωση μεμονωμένου καλωδίου

Ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις:

$$P_{ix} = P_{iz}*\tan\varphi_i = P_i*\sin\varphi_i \qquad P_{iz} = P_i*\cos\varphi_i$$

Θεωρώντας ότι $u_d \approx 0$, από την κλασσική στατική έχουμε:

$$f_i - u_d \approx f_i = (H_o+H_i)^3/6E_pI_{p*}[2-3(H_o/H_o+H_i)^2 + (H_o/H_o+H_i)^3]* P_i\sin\varphi_i$$

όπου οι δείκτες p αναφέρονται στα στοιχεία αντοχής του πυλώνα.

Τέλος ο δείκτης s αναφέρεται στα στοιχεία των καλωδίων. Από το σχήμα έχουμε:

$$s_i = f_i\sin\varphi_i + s_i + \Delta s_i - w_i \cos\varphi i$$

όπου s_i και Δs_i το αρχικό μήκος και η παραμόρφωση του καλωδίου i. Άρα:

$$f_i\sin\varphi_i + \Delta s_i = w_i \cos\varphi i$$

Εξ'άλλου η παραμόρφωση Δs_i δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta s_i = s_iP_i/E_sA_i$$

όπου A_i η διατομή του καλωδίου i. Τελικά, μέσω όλων των παραπάνω σχέσεων καταλήγουμε:

$$(\mathbf{A}*\sin^2\varphi_i/ \cos\varphi i + s_i\mathbf{B}/ \cos\varphi i)*P_{iz} = w_i \cos\varphi i \text{ , όπου}$$

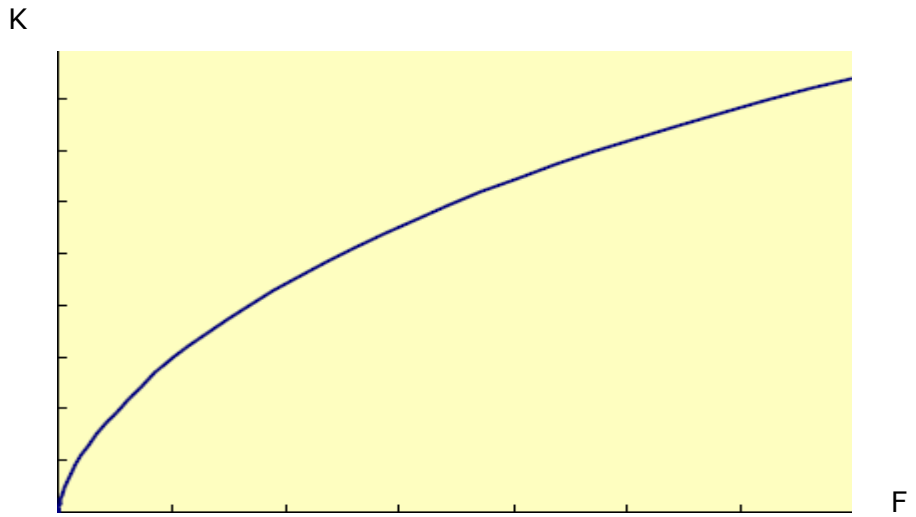
$$\mathbf{A}=(H_o+H_i)^3/6E_pI_{p*}[2-3(H_o/H_o+H_i)^2 + (H_o/H_o+H_i)^3], \quad \mathbf{B}= 1/E_sA_i$$

Σε μια καλωδιωτή κατασκευή όπως το υπό μελέτη στέγαστρο, στόχος είναι να της προσδωθεί αυξημένη δυσκαμψία. Γι'αυτό το λόγο υποβάλλεται σε δυνάμεις προέντασης ώστε ο φορέας να πάρει νέο σχήμα το οποίο εξαρτάται από την αρχική γεωμετρία και το τις επιβαλλόμενες δυνάμεις πρόεντασης. Για τον καθορισμό της γεωμετρίας υπάρχουν 2 δυνατές επιλογές:

1) Να ορίσουμε την αρχική γεωμετρία και να προκύψει από ανάλυση η γεωμετρία μετά την εφαρμογή της προέντασης. Αυτή η λύση είναι κατάλληλη για εύκολη εργοστασιακή παραγωγή, αλλά συνήθως δε δίνει ακριβώς την επιθυμητή γεωμετρία λειτουργίας.

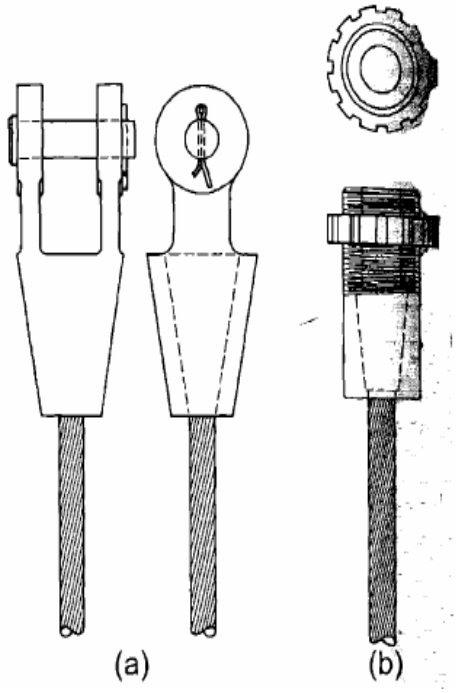
2) Να κάνουμε το αντίστροφο, δηλαδή να ορίσουμε την γεωμετρία του φορέα μετά την προένταση και να εκτελέσουμε αντίστροφη ανάλυση που θα μας δώσει την αρχική γεωμετρία. Μ'αυτόν τον τρόπο όμως είναι πιθανό να προκύψει αρχική γεωμετρία που να είναι πολύ δύσκολο να παρασκευαστεί.

Είναι προφανές πώς όσο αυξάνεται η επιβαλλόμενη δύναμη προέντασης, τόσο αυξάνεται και η δυσκαμψία K(z). Κατά συνέπεια οι επιπλέον μετατοπίσεις λόγω των φορτίων λειτουργίας ελαχιστοποιούνται. Άρα για πολύ μεγάλες δυνάμεις προέντασης (και σχετικά μικρά επιβαλλόμενα φορτία) έχουμε πολύ μικρή παραμόρφωση με αποτέλεσμα η συμπεριφορά του καλωδίου να μπορεί να προσεγγιστεί γραμμικά.

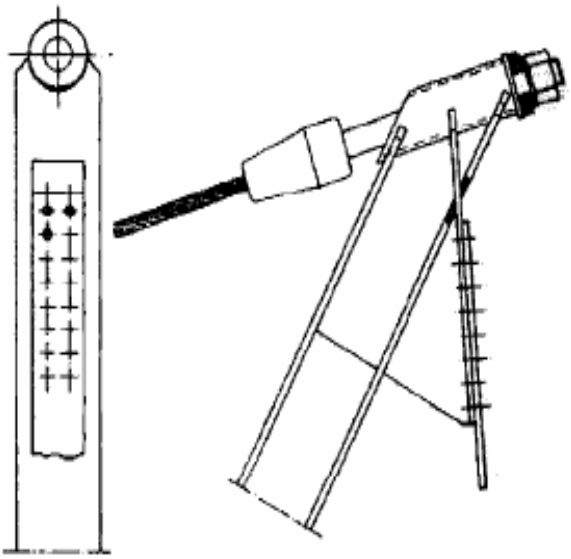


Σχ. 3.45 Σχέση δυσκαμψίας K καλωδίου με δύναμη προέντασης F

Οι συνδέσεις μεταξύ των καλωδίων και των υπόλοιπων χαλύβδινων μελών του φορέα είναι με τέτοιο τρόπο κατασκευασμένες ώστε πρωτίστως να συγκρατούν τις ίνες του καλωδίου μεταξύ τους. Το σχήμα της υποδοχής διαφέρει ανάλογα με τις προυποθέσεις και τα δεδομένα που επικρατούν σε κάθε έργο, ωστόσο οι κύριες διαστάσεις παραμένουν ίδιες για καλώδια συγκεκριμένης διαμέτρου. Γενικά ισχύει ότι το μήκος της υποδοχής καλωδίου είναι 5,5 με 6 φορές μεγαλύτερη της διαμέτρου του, η δε διάμετρος της υποδοχής 2 με 3 φορές μεγαλύτερη της αντίστοιχης του καλωδίου. Επιπλέον συνδέσεις πρέπει να είναι σχεδιασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρείται η τιμή της προέντασης των καλωδίων. Το πιο σημαντικό στοιχείο το οποίο επιβάλλεται να έχουν είναι επαρκή αντίσταση τριβής ώστε να μην μπορούν τα καλώδια να γλιστρήσουν. Οποιαδήποτε μετακίνηση θα οδηγήσει σε απώλεια ποσοστού προέντασης με συνέπεια τα καλώδια να «κρεμάσουν» και η κατασκευή να χάσει σημαντικό μέρος της αντοχής της. Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται τυπικοί υποδοχείς και συνδέσεις καλωδίων με μεταλλικά στοιχεία.



Σχ. 3.46 (α) Αρθρωτός σύνδεσμος (b) Κοχλιωτός σύνδεσμος



Σχ. 3.47 Σύνδεση καλωδίου με μεταλλικό υποστύλωμα

Η ποιότητα και η αντοχή των καλωδίων επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις περιβαλλοντικές και κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής του έργου. Υποθέτοντας επάρκεια οξυγόνου, οι υπόλοιποι παράγοντες που παίζουν σημαντικό ρόλο στην διάρκεια ζωής των καλωδίων είναι i) η υγρασία, ii) η θερμοκρασία, iii) η ηλιακή ακτινοβολία και iv) η επαφή με στερεά σωματίδια. Φυσικά οι παραπάνω παράγοντες μπορεί να επιδρούν είτε ανεξάρτητα, είτε ως οποιοσδήποτε συνδυασμός μεταξύ τους.

i) Υγρασία

Αποτελεί τον πιο σοβαρό κίνδυνο για την αντοχή των καλωδίων και πρέπει να εξεταστεί και στην υγρή (βροχή) και στην αέρια μορφή της, καθώς επίσης και από στατικής και δυναμικής απόψεως. Στην περίπτωση της βροχής, η φθορά των καλωδίων εξαρτάται από το μέγεθος των σταγόνων (από 0,001cm έως 0,5cm) και την ταχύτητα πρόσκρουσης (έως 160km/h) χωρίς φυσικά να παραβλέπονται τυχόν χημικές αντιδράσεις που μπορεί να προκληθούν από την επαφή του νερού με το χάλυβα. Το νερό στην αέρια φάση υφίσταται πάντοτε στην ατμόσφαιρα με την ποσότητά του να εξαρτάται ανάλογα με τις συνθήκες. Έχει βρεθεί πώς αν τα επίπεδα σχετικής υγρασίας στην ατμόσφαιρα υπερβαίνουν την τιμή 70%, τότε ο χάλυβας θα αρχίσει να διαβρώνεται. Επιπλέον υπάρχει αντικειμενική δυσκολία επίσκεψης και συντήρησης όλων των

συρμάτων που αποτελούν ένα καλώδιο, καθώς επίσης και οι κοιλότητες μεταξύ των συρμάτων δημιουργούν πρόσθετο παράγοντα συγκέντρωσης υγρασίας.

ii) Θερμοκρασιακές μεταβολές

Όπως ακριβώς με την υγρασία, οι μεταβολές στην θερμοκρασία μπορούν να προκαλέσουν φθορές στα καλώδια μέσω χημικών ή και φυσικών αντιδράσεων. Παραδείγματος χάρην, αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση στην ταχύτητα ορισμένων χημικών αντιδράσεων ή μπορεί ακόμα και να προκαλέσει την δημιουργία νέων. Αντιθέτως, μια μείωση στις τιμές της θερμοκρασίας επιβραδύνει γενικά τις χημικές αντιδράσεις. Κάτω από φυσιολογικές συνθήκες οι τιμές θερμοκρασίας κυμαίνονται μεταξύ -40^{oc} και 90^{oc} καθώς έχει αποδειχθεί ότι καλώδια που βρίσκονται εκτεθειμένα στον ήλιο μπορούν να φτάσουν σε πολύ υψηλότερες τιμές από τις αντίστοιχες τιμές υπό σκιά. Στην Αγγλία για παράδειγμα έχουν καταγραφεί τιμές θερμοκρασίας καλωδίων πάνω από 50°C όταν υπό σκιά η θερμοκρασία περιβάλλοντος δεν ξεπερνούσε τους 30°C. Θα πρέπει επίσης να εξεταστεί η μεταβολή μήκους των καλωδίων εξαιτίας συστολής και διαστολής. Γενικά θεωρούμε αύξηση μήκους 0,00125% για αύξηση της θερμοκρασίας κατά ένα βαθμό Κελσίου.

iii) Ηλιακή ακτινοβολία

Στην προκειμένη περίπτωση πρέπει να εξετάσουμε δύο διαφορετικού τύπου ακτινοβολίες, τις υπέρυθρες (μήκη κύματος πάνω από 10000Å) και τις υπεριώδεις (μήκη κύματος κάτω από 4000Å). Οι υπέρυθρες σχετίζονται με την αύξηση της θερμοκρασίας των μελών καθώς απορροφούνται από αυτά. Επομένως ισχύουν τα ίδια που εξετάστηκαν παραπάνω.

Όσον αφορά τώρα τις υπεριώδεις ακτινοβολίες, αυτές προκαλούν φυσικές και χημικές μεταβολές ενεργοποιώντας φωτοχημικές αντιδράσεις. Παρ'ολα αυτά είναι πολύ δύσκολο να εξεταστούν συγκεκριμένες τιμές ή να προσδιορισθούν σαφή όρια. Αυτό που ισχύει είναι πώς μόνο η εξωτερική επιφάνεια των καλωδίων είναι ευαίσθητη σε τέτοιες μεταβολές καθώς το εσωτερικό προστατεύεται από αυτές τις ακτινοβολίες. Γι'αυτό το λόγο καθώς τοποθετείται το υλικό επικάλυψης για την προστασία του καλωδίου από διάβρωση, συνήθως ενσωματώνεται στο υλικό αυτό ποσότητα αιθάλης

(άμορφος άνθρακας σε λεπτά διαμερισμένη σκόνη) η οποία αποτελεί προστασία έναντι των ακτινοβολιών αυτών.

iv) Στερεά Σωματίδια

Ο όρος αυτός περικλείει σκόνες, χώμα, άμμους κ.τ.λ. Υπό την παρουσία υγρασίας ενδέχεται αυτά τα σωματίδια να προκαλέσουν ορισμένες χημικές μεταβολές, ενώ όταν υπάρχει επαφή καλωδίων με σημαντικές ποσότητες στερεών σωματιδίων προκαλούνται αντίστοιχα φυσικές μεταβολές. Αυτό συνήθως συμβαίνει με καλώδια τα οποία ακουμπούν ή βρίσκονται σε επαφή με το εδαφός, καθώς και με καλώδια τα οποία βρίσκονται σε ιδιαίτερα σκονισμένο περιβάλλον (π.χ Dubai).

Προστατευτική Επικάλυψη

Συνήθως ως υλικό επικάλυψης έναντι διάβρωσης χρησιμοποιούνται κατάλληλα λιπαντικά, τα οποία όμως δεν επαρκούν πάντα για την μακροπρόθεσμη προστασία των μελών. Γι'αυτό θα πρέπει να τοποθετούνται γαλβανισμένα καλώδια (καλώδια επενδεδυμένα με λεπτό στρώμα αντιοξειδωτικού μετάλλου όπως ψευδάργυρο ή νικέλιο) ως επιπλέον μέτρο αντίστασης. Ο γαλβανισμός αυτός ισοδυναμεί περίπου με το 3,5% του βάρους του σύρματος. Άκομα και αυτός ο τρόπος όμως δεν καθιστά το χάλυβα άτρωτο και έτσι είναι απαραίτητο να επιθεωρούνται τακτικά οι επιφάνειες των καλωδίων και να τοποθετείται λιπαντικό στα σημεία που εντοπίζεται πρόβλημα. Ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα σε διαδοχικές επιθεωρήσεις εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται η κατασκευή. Σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί και επικάλυψη πολυαιθυλενίου αλλά γενικώς προτιμάται ψευδάργυρος καθαρότητας 99% με ποσότητα επικάλυψης 300g/m^2.

Ερπυσμός

Ονομάζεται η τάση που έχει ένα υλικό, στο οποίο εφαρμόζεται μια σταθερή εντατική κατάσταση, να αυξάνεται στη διάρκεια του χρόνου η παραμόρφωσή του. Τα καλώδια δεν θα μπορούσαν να αποτελέσουν εξαίρεση. Εντούτοις ο

βαθμός ερπυσμού των καλωδίων είναι αντικείμενο σημαντικής έρευνας και δεν έχουμε ακόμα τη δυνατότητα να παρουσιάσουμε συγκεκριμένα νούμερα και αποτελέσματα. Αν τα σύρματα που αποτελούν το καλώδιο είναι κατασκευασμένα σύμφωνα με τις υπάρχουσες προδιαγραφές και η προένταση αυτού είναι αποδεκτή, τότε μπορούμε με σχετική ασφάλεια να πούμε ότι η πιθανότητα να αντιμετωπίσουμε σημαντικά προβλήματα ερπυσμού στη διάρκεια ζωής του έργου είναι μικρή και στις περισσότερες περιπτώσεις ασήμαντη.

Κόπωση

Είναι η ιδιότητα ενός στοιχείου να αστοχεί μετά από υποβολή του σε επανειλημμένες φορτίσεις. Όλα τα χαλύβδινα καλώδια έχουν συγκεκριμένη διάρκεια κοπώσεως πέρα από την οποία τα σύρματα που το αποτελούν θα αρχίσουν να αστοχούν. Το όριο κοπώσεως εξαρτάται από την ένταση της κυμαινόμενης τάσης λειτουργίας του καλωδίου και τις συνθήκες επιβολής της τάσης αυτής.

Σχ. 3.48 Έλεγχος καλωδίων σε κόπωση

Στα καλώδια οροφής οι κυμαινόμες τάσεις που ενδέχεται να οδηγήσουν σε αστοχία έναντι κοπώσεως οφείλεται στις μη σταθερές, τόσο σε ένταση όσο και σε διεύθυνση, πιέσεις λόγω ανέμου. Δυστυχώς δεν υπάρχουν πολλά στοιχεία

σχετικά με την κόπωση καλωδίων. Κάποιες πληροφορίες έχουν προέλθει από πειράματα και δοκιμές που έχουν γίνει στη Γερμανία τα τελευταία 25 χρόνια (IABSE. *Fatigue of steel and concrete structures,* Colloquium, Theme 7, Lausanne, 1982, 595-680). Αυτές υποδεικνούν πώς το εύρος της τάσης δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 200-250N/mm^2 για να διασφαλίζεται μια ασφαλής διάρκεια τουλάχιστον 2.000.000 κύκλων. Αυτό το εύρος αναφέρεται αποκλειστικά σε εφελκυστικές τάσεις και θα πρέπει να δοθεί προσοχή ώστε να μην προστεθούν καμπτικές τάσεις, ιδίως όταν σχεδιάζονται πολύ άκαμπτοι κόμβοι σύνδεσης καλωδίων. Έτσι προτιμώνται συνδέσεις οι οποίες επιτρέπουν την στροφή του καλωδίου, σε αντίθεση με τις συνδέσεις στο σχήμα.
Κατά τη διάρκεια ζωής του έργου τα καλώδια της κατασκευής ελέγχονται σε κόπωση είτε μέσω ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ακτίνων Χ και υπέρηχων είτε μέσω οπτικής επιθεώρησης, δηλαδή μέσω ανοίγματος του καλωδίου και μετρήματος των θραυσμένων συρμάτων που το αποτελούν.

Σχ. 3.49 Λεπτομέρεια Καλωδίου

Τύπος καλωδίου	E_Q[kN/mm²]	
	Σύρματα από χάλυβα	Σύρματα από ανοξείδωτο χάλυβα
Ελικοειδείς κλώνοι	150 ± 10	130 ± 10
Κλώνοι κλειστής περιέλιξης	160 ± 10	-
Συρματόσχοινα με CWR	100 ± 10	90 ± 10
Συρματόσχοινα με CF	80 ± 10	-
Δέσμη παράλληλων συρμάτων	205 ± 10	-
Δέσμη παράλληλων κλώνων	195 ± 10	-

Πίνακας 3.50 Μέτρο Ελαστικότητας καλωδίων

Σε περίπτωση που τα φορτία λειτουργίας είναι σημαντικά σε σχέση με τις δυνάμεις προέντασεις πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν φαινόμενα μη γραμμικότητας. Η μη γραμμικότητα λόγω κρέμασης κεκλιμένων καλωδίων υπό το ίδιο τους το βάρος (catenary effect) απαιτεί τον υπολογισμό απομειωμένης τιμής του μέτρου Ελαστικότητας (E_t) των καλωδίων. Αυτή υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$E_t = E/(1+w^2l^2E/12\sigma^3)$$

Όπου

E: μέτρο ελαστικότητας

w: ειδικό βάρος (KN/m^3)

l: μήκος οριζόντιας προβολής του καλωδίου

σ: τάση καλωδίου για την υπό εξέταση φόρτιση

Κατά το σχεδιασμό καλωδιωτών φορέων, πρέπει να πραγματοποιηθούν έλεγχοι σε οριακές καταστάσεις i) αστοχίας και ii) λειτουργικότητας.

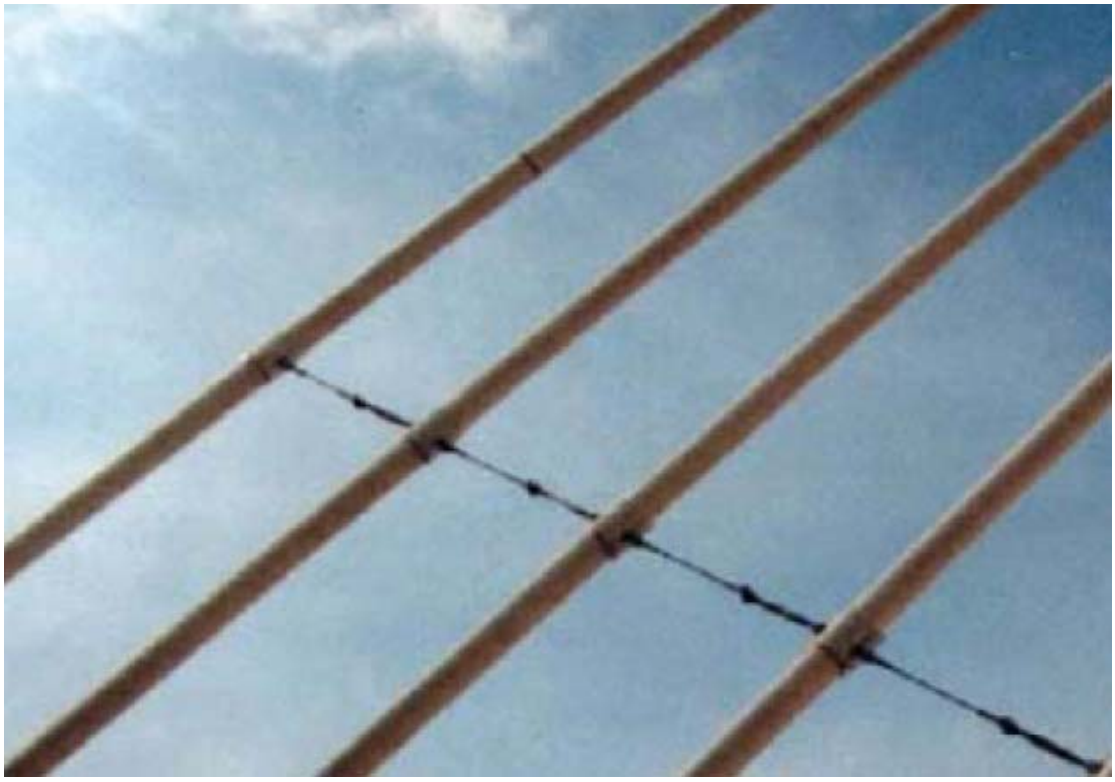
i) Η εφελκυστική αντοχή του καλωδίου βρίσκεται ως εξής:

$$F_{RD} = \min\{F_{uk}/\gamma_R\ ,\ F_k/\gamma_R\} \qquad \text{όπου}$$

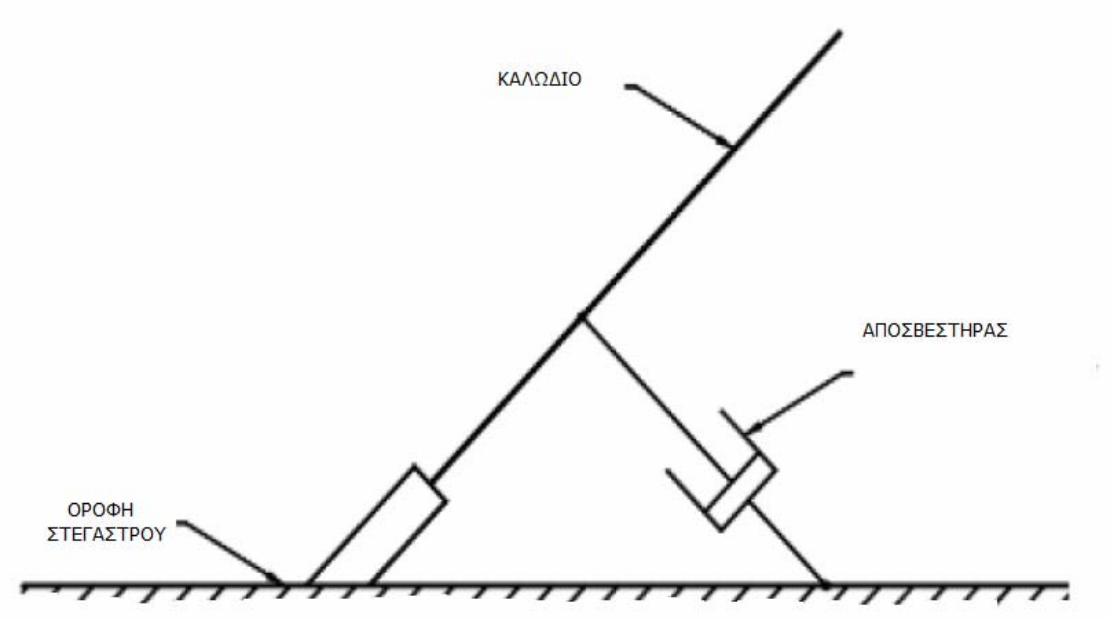
F_{uk}: χαρακτηριστική αντοχή θραύσης καλωδίου

F_k: χαρακτηριστική αντοχή για παραμόρφωση 0,1% ή 0,2% ανάλογα με τη μορφή καλωδίου
γ_R: συντελεστής ο οποίος ισούται με 0,9 όταν έχουν ληφθεί μέτρα αποφυγής καμπτικών τάσεων στις αγκυρώσεις και με 1 όταν δεν έχουν ληφθεί.

ii) Οι καλωδιωτές κατασκευές είναι δυνατόν υπό την επίδραση ανέμου να αρχίσουν να ταλαντώνονται με μεγάλο εύρος και γι'αυτό πρέπει να λαμβάνονται ορισμένα κατασκευαστικά μέτρα όπως τοποθέτηση σταθεροποιητικών καλωδίων, τοποθέτηση μηχανισμών απόσβεσης και τροποποίηση της επιφάνειας των καλωδίων ώστε να αποφευχθεί αεροελαστική αστάθεια. Στην κατασκευή της διπλωματικής εργασίας αυτής, το μέγιστο μήκος χρησιμοποιούμενου καλωδίου είναι περίπου 72m και επομένως δεν θα ληθούν τα παραπάνω μέτρα. Διαφορετικά, αν είχαμε μακρύτερα καλώδια θα έπρεπε να εξασφαλιστεί ποσοστό απόσβεσης >0,5%. Επιπλέον για να υπάρχει αίσθηση ασφάλειας στο θεατή του γηπέδου, θα πρέπει το μέγιστο εύρος ταλάντωσης να μην υπερβαίνει την τιμή L/500 όπου L το μήκος του καλωδίου. Συγκεκριμένα στο φορέα μας δεν θα πρέπει να έχουμε ταλαντώσεις με εύρος μεγαλύτερο από 14,4cm.



Σχ. 3.51 Αντιμετώπιση ταλάντωσης με σταθεροποιητικά καλώδια



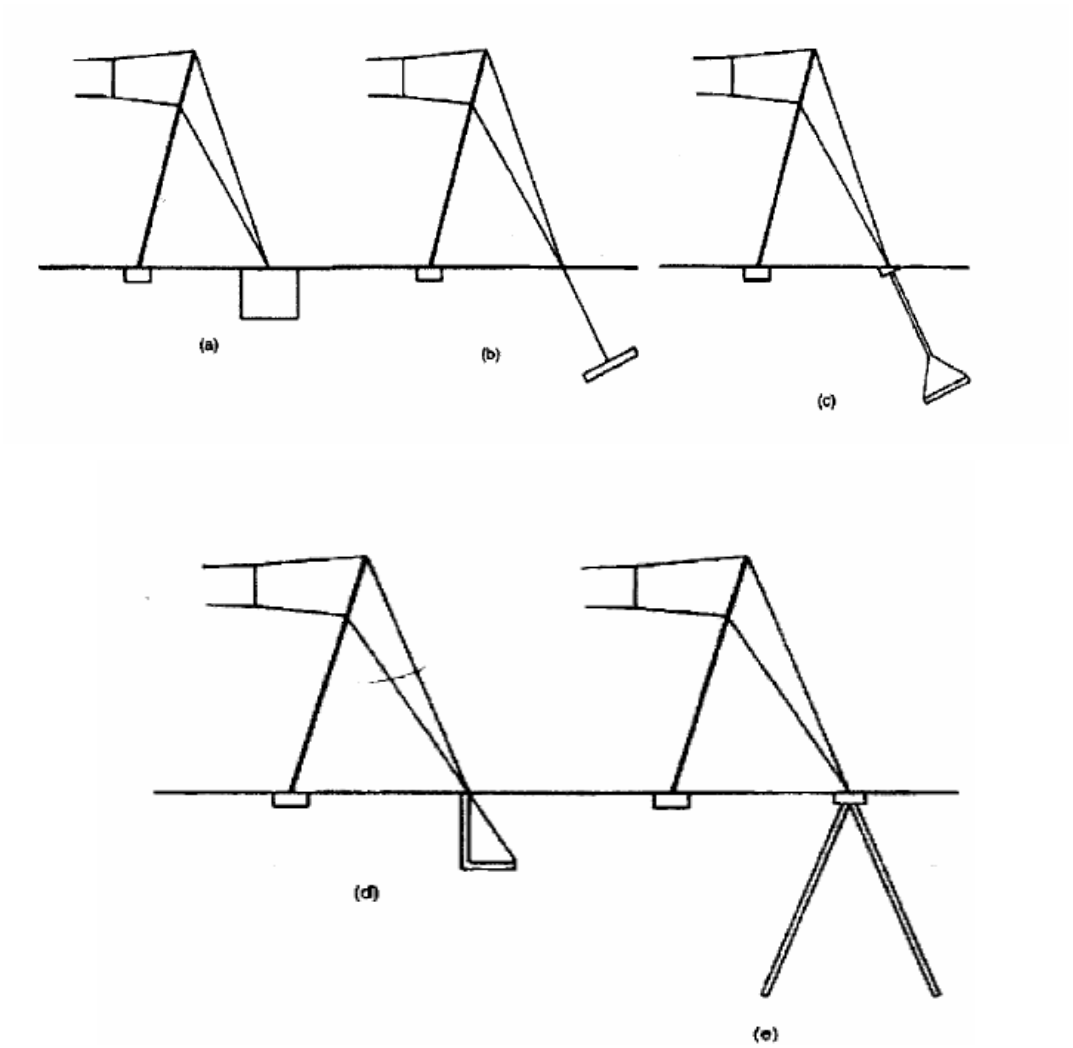
Σχ. 3.52 Αντιμετώπιση ταλάντωσης με αποσβεστήρες

Σχ. 3.53 Άποψη των καλωδίων του υπό μελέτη στεγάστρου

3.4.5 Αγκύρια

Ένα άλλο στοιχείο που χρήζει εξέταση σχετικά με κατασκευές που περιλαμβάνουν καλώδια, αποτελεί η αγκύρωση αυτών στο έδαφος. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι αγκύριων, ανάλογα με τις εκάστοτε εδαφικές συνθήκες. Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται αγκύρια βαρύτητας (a). Αυτά λειτουργούν εξισορροπώντας τα κατακόρυφα φορτία με το βάρος τους ενώ τα οριζόντια φορτία εξουδετερώνονται από τις εδαφικές τάσεις. Μπορεί το

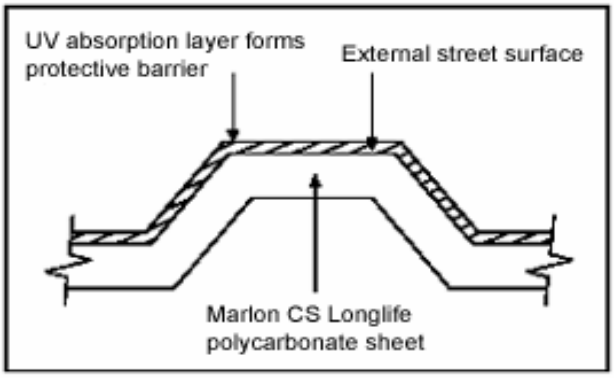
μεγεθός τους να είναι μεγάλο, ωστόσο πλεονεκτούν στο γεγονός ότι μπορούν να εφαρμοστούν σε αμμώδη εδάφη. Αγκύρια πλάκας (b), κωνικά αγκύρια (c) και γωνιακά (d) εκμεταλλεύονται το βάρος του υπερκείμενου εδάφους για την εξουδετέρωση των φορτίων των καλωδίων. Τέτοια αγκύρια βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή σε αργιλικά εδάφη. Η αγκύρωση με τη βοήθεια πασσαλοδοκών στηρίζεται στην ανάπτυξη τριβής μεταξύ εδάφους και πασσάλου για να εξουδετερώσει τις κατακόρυφες δυνάμεις, η δε οριζόντιες εξουδετερώνονται από το βάρος του εδάφους ανάμεσα στους πασσάλους (e). Προφανώς αυτού του είδους η αγκύρωση χρησιμοποιείται σε εδάφη με μεγάλη αντίσταση τριβής, όπως π.χ. κοκκώδη εδάφη. Στην περίπτωσή μας, λόγω περιορισμού χώρου, θα χρησιμοποιηθούν πασσαλοδοκοί ως μορφή αγκύρωσης καθώς με αυτό τον τρόπο θα αποφευχθεί η ανάγκη δημιουργίας μεγάλων πεδίλων.



Σχ. 3.54 Βασικοί τύποι αγκύρωσης καλωδίων στο έδαφος

3.4.6 Επικάλυψη Στέγης

Γενικά μπορούμε να πούμε πώς το υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την επικάλυψη της οροφής ενός στεγάστρου πρέπει να έχουν μικρό βάρος, μεγάλη αντοχή, να είναι υδροστεγανά, να είναι πυράντεχα, αισθητικά όμορφα, οικονομικά και ανθεκτικά έναντι των καιρικών συνθηκών και της υπεριώδους ακτινοβολίας. Επιπλέον θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να αντέχουν κατακόρυφα φορτία λόγω χιονιού ή ανέμου, ενώ στα σημεία όπου θα καλύπτουν κλειστούς χώρους (εφόσον αυτοί υπάρχουν) όπως καντίνες, τουαλέτες κ.τ.λ θα πρέπει να έχουν επιπλέον ηχομόνωση και θερμομόνωση. Στο υπό μελέτη στέγαστρο στην εργασία αυτή τέτοιοι χώροι δεν υπάρχουν. Ωστόσο θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν η ύπαρξη μηχανισμού που θα λιώνει το χιόνι μέσω θερμότητας ώστε να φεύγει από την οροφή με τη μορφή υγρού στοιχείου για να μην καταπονείται από επιπλέον φορτία. Τα υλικά επικάλυψης μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με τη διαπερατότητα του φωτός από αυτά. Συνεπώς έχουμε αδιαφανή υλικά επικάλυψης και διαφανή υλικά επικάλυψης.



Σχ. 3.55 Τομή φύλλου επικάλυψης από πολυανθρακικό υλικό

i) Αδιαφανή Υλικά

Συχνά χρησιμοποιούνται μεταλλικά φύλλα επικάλυψης σε περιπτώσεις στέγασης σταδίων. Αυτά μπορεί να είναι γαλβανισμένα είτε περασμένα με ειδική βαφή. Φύλλα αλουμινίου είναι πιο ελαφριά, όμως έχουν μικρότερη αντοχή σε φορτία και είναι επιρρεπή σε ηλεκτρολυτική διάβρωση όταν έρθουν

σε επαφή με άλλα μέταλλα ή με σκυρόδεμα. Σε τέτοιες περιπτώσεις απαιτείται η χρήση διαχωριστικών μεμβρανών σε όλα τα σημεία επαφής.
Σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί η επικάλυψη να είναι από σκυρόδεμα, κυρίως όταν το σύστημα στέγασης είναι κελυφωτό. Τα προβλήματα εδώ έχουν να κάνουν με το αυξημένο βάρος του υλικού αλλά και της άσχημης αισθητικής που προκαλείται από την ατμοσφαιρική ρύπανση και τα καιρικά φαινόμενα.

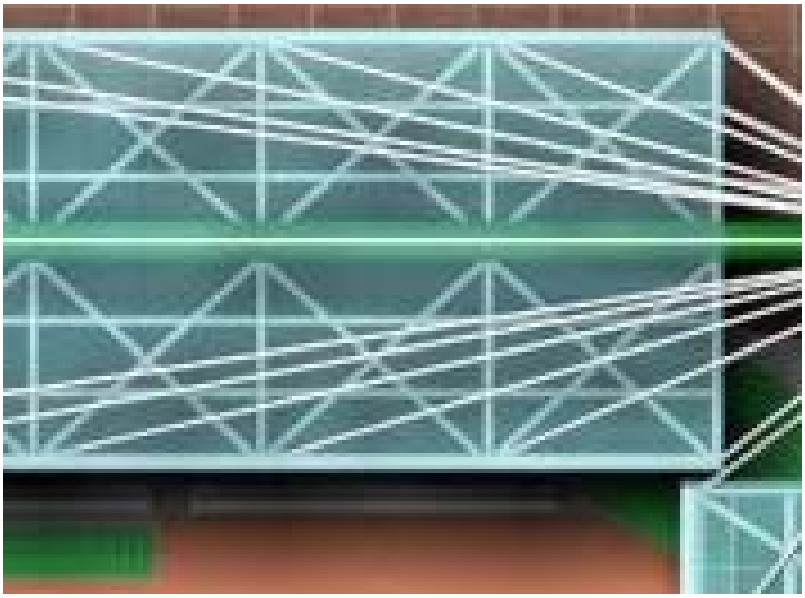
ii) Διαφανή Υλικά

Άκαμπτα πλαστικά περιλαμβάνουν ακρυλικά, PVC και πολυανθρακικά υλικά. Τα παραπάνω είναι αδιάβροχα και ανθεκτικά ενώ μπορούν να αναλάβουν μεγάλες περαμορφώσεις χωρίς να αστοχήσουν. Παραδείγματα εφαρμογής τέτοιων υλικών σε στέγαστρα σταδίων αποτελούν το Ολυμπιακό Στάδιο του Μονάχου (ακρυλικά πάνελ) και το στάδιο στο Split της Κροατίας που χρησιμοποιεί φύλλα Lexan, το οποίο είναι πολυανθρακικό υλικό που προκύπτει με ανάμειξη διφαινόλης με φωσγένιο παρουσία πυριδίνης. Είναι τέτοια η αντοχή του που χρησιμοποιείται ακόμα και σε κράνη και αλεξίσφαιρα. Μη άκαμπτα πλαστικά φύλλα επικάλυψης περιλαμβάνουν πολυεστέρες, από τα οποία έχουμε παράδειγμα εφαρμογής στο γήπεδο Don Valley στο Σέφιλντ της Αγγλίας.

Σχ. 3.56 Γήπεδο στο Split της Κροατίας

Στο γήπεδο Απόστολος Νικολαϊδης θα χρησιμοποιήσουμε μεμβράνη από PVC, λόγω οικονομικότητας αλλά κυρίως λόγω της διαπερατότητας της από το ηλιακό φως (ποσοστό διαπερατότητας 70% me 85%) η οποία όμως μειώνεται σταδιακά με την πάροδο του χρόνου. Επιπλέον χαρακτηριστικό του PVC είναι ότι σε περίπτωση πυρκαγιάς, αυτοκαταστέλλεται.

Σχ 3.57 Επικάλυψη Οροφής από PVC



Σχ. 3.58 Επικάλυψη Οροφής στεγάστρου γηπέδου Απόστολος Νικολαϊδης από PVC

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Φορτία και Συνδυασμοί Δράσεων

4.1. Φορτίο Χιονιού

Ανάλογα με τη μορφή της στέγης, τα θερμικά της χαρακτηριστικά, την τραχύτητα της επιφάνειας, το ποσό της θερμότητας που εκλύεται κάτω από τη στέγη, την απόσταση των γειτονικών κτιρτίων, τον περιβάλλοντα χώρο και τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες, το χιόνι μπορεί να συσσωρευθεί επί της στέγης κατά διαφόρους τρόπους. Ιδιαίτερη σημασία έχει το κατά πόσον είναι εκτεθειμένη η οροφή στον άνεμο, οι μεταβολές της θερμοκρασίας καθώς και η πιθανότητα συγκέντρωσης λόγω κατακρήμνισης ή βροχόπτωσης.

Για την εκτίμηση του φορτίου χιονιού, συνήθως θεωρείται αρχικώς το ομοιόμορφο χιόνι που συγκεντρώνεται υπό συνθήκες νηνεμίας, ενώ η τελική μορφή προκύπτει για συνθήκες όπου επικρατούν άνεμοι.

Για τοποθεσίες όπου επικρατούν κανονικές συνθήκες (δηλαδή χωρίς πιθανότητα να λάβει χώρα εξαιρετική χιονόπτωση ή μετατόπιση λόγω ανέμων), θα εφαρμόζεται ο συνδυασμός που αντιστοιχεί σε καταστάσεις διαρκείας ή παροδικές.

Προσδιορισμός του φορτίου χιονιού (s) σε στέγες

Με βάση λοιπόν τις πιο πάνω παραδοχές, το φορτίο του χιονιού στη στέγη της εκάστοτε κατασκευής υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \left[kN/m^2\right]$$

όπου: μ_i είναι ο συντελεστής μορφής φορτίου χιονιού.

C_e είναι ο συντελεστής έκθεσης στις καιρικές επιδράσεις, ο οποίος συνήθως λαμβάνει την τιμή 1.0, εκτός εάν μπορεί να εκτιμηθεί καλύτερα για περίπτωση ισχυρών ανέμων οπότε μπορεί να ληφθεί μικρότερος της μονάδας.

C_t είναι ο θερμικός συντελεστής, ο οποίος συνήθως λαμβάνει την τιμή 1.0 για κανονικές συνθήκες θερμικής μόνωσης της στέγης,

μπορεί όμως να λάβει και μικρότερες τιμές αρκεί να ληφθεί υπ' όψη η επιρροή των απωλειών θερμότητας μέσω της στέγης.

s_k είναι η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού επί του εδάφους $\left(kN/m^2\right)$, (βλέπε EC1 – μέρος 2-3 / παράρτημα A7).

Προσδιορισμός της χαρακτηριστικής τιμής του φορτίου χιονιού ($s_κ$) επί του εδάφους

Για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης οι τιμές του s_k δίνονται στο παράρτημα A του EC 1 - μέρος 2-3 και ειδικότερα για την Ελλάδα σύμφωνα με το παράρτημα αυτό, το οποίο είναι πληροφοριακό, ισχύουν τα ακόλουθα :

- Υπάρχουν δύο ζώνες χιονιού και μια ειδική ζώνη, όπως φαίνεται και στο χάρτη του σχήματος.
- Για κάθε ζώνη και ανάλογα με το υψόμετρο της περιοχής, ισχύουν οι χαρακτηριστικές τιμές s_k που αναφέρονται στους παρακάτω πίνακες.
- Όσον αφορά την ειδική ζώνη ο μελετητής θα πρέπει να συμβουλεύεται κάποιον ειδικό και τις αρμόδιες υπηρεσίες σχετικά με το ύψος χιονιού.

Σχ. 4.1: Ζώνες χιονοπτώσεως στον Ελλαδικό χώρο, κατά EC1.

ΕΘΝΙΚΗ ΖΩΝΗ I

Περιοχές : Πελοπόννησος, Δυτική Στερεά, Ήπειρος, Νησιά (εκτός από περιοχές με υψόμετρο μεγαλύτερο των 600m στα νησιά Εύβοια και Κρήτη)

Υψόμετρο*	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
s_k **	0.22	0.27	0.33	0.39	0.47	0.57	0.68	0.82	0.98	1.19	

* Υψόμετρο εδάφους σε μέτρα (m) ** Χαρακτηριστική τιμή φορτίου χιονιού σε (kN/m^2)

Πίνακας 4.2 Χαρακτηριστικές τιμές φορτίου χιονιού επί του εδάφους, στην Εθνική Ζώνη I

ΕΘΝΙΚΗ ΖΩΝΗ II

Περιοχές : Θράκη, Ανατολική Στερεά, Μακεδονία, Θεσσαλία, Εύβοια και Κρήτη (για υψόμετρα μεταξύ 600m και 1000m στα νησιά Εύβοια και Κρήτη).

Υψόμετρο*	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
s_k **	0.44	0.52	0.62	0.73	0.86	1.01	1.19	1.41	1.67	1.97	

Πίνακας 4.3 Χαρακτηριστικές τιμές φορτίου χιονιού επί του εδάφους, στην Εθνική Ζώνη II

Προσδιορισμός του συντελεστή μορφής φορτίου χιονιού (μ_i)

Για τον προσδιορισμό του συντελεστή μορφής λαμβάνονται υπόψη τρεις μορφές κατανομής φορτίου:

- Η πρώτη μορφή προκύπτει από ομοιόμορφη κατανομή του χιονιού πάνω στη στέγη, εάν το χιόνι πέφτει σε συνθήκες άπνοιας.
- Η δεύτερη μορφή προκύπτει από μια 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 προς την υπήνεμη πλευρά της στέγης).
- Η τρίτη μορφή προκύπτει από ανακατανομή του χιονιού από τα ψηλότερα προς τα χαμηλότερα τμήματα της οροφής. (λόγω ολίσθησης).

Για τον προσδιορισμό του συντελεστή σχήματος φορτίου χιονιού (μ_i) θα πρέπει να χρησιμοποιούνται οι τιμές που δίνονται στο κεφάλαιο 7 του EC 1 1991-2-3:1995 (σελίδα 14).

Σε περίπτωση που οι κλιματολογικές συνθήκες σε μια περιοχή είναι ιδιάζουσες επιβάλλεται να γίνει χρήση του Παραρτήματος Β του EC 1 1991-2-3:1995.

Ο συντελεστής σχήματος φορτίου εξαρτάται από τη μορφή και τη γεωμετρία της στέγης, δηλαδή από το εάν ή στέγη είναι:

1. Κεκλιμένη (μονοκλινής, δικλινής ή πολυκλινής)
2. Επαναλαμβανόμενη
3. Κυλινδρική
4. Με απότομες αλλαγές υψών μεταξύ διαδοχικών στεγών
5. Με προβόλους ή άλλου τύπου εμπόδια

Ο συντελεστής σχήματος φορτίου υπολογίζεται θεωρώντας ως δεδομένο ότι ο συντελεστής εκθέσεως στις καιρικές συνθήκες (C_e) είναι ίσος με 1.0, αλλά και ότι ο θερμικός συντελεστής (C_t) θεωρείται ίσος με 1.0, για συνήθεις θερμικές μονώσεις στέγης.

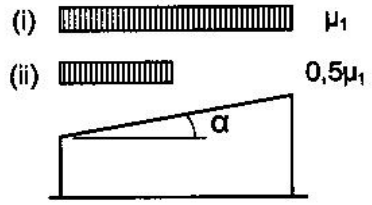
Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι μείωση στο φορτίο χιονιού μπορεί να επιτραπεί εφ' όσον εισαχθούν τιμές, τόσο για το συντελεστή εκθέσεως όσο και για το θερμικό συντελεστή, μικρότερες από 1.0, λαμβάνοντας υπόψη μας την επίδραση ποικιλόμορφων συνθηκών ανέμου και την επίδραση απωλειών θερμότητας από τη στέγη, αντίστοιχα.

Προσδιορισμός του συντελεστή μορφής χιονιού σε μονοκλινείς στέγες.

Στο σχήμα φαίνονται οι προβλεπόμενες διατάξεις για το συντελεστή μορφής σε μονοκλινείς στέγες. Η περίπτωση i αντιστοιχεί σε ομοιόμορφη κατανομή σε όλη την επιφάνεια ενώ η ii αντιστοιχεί σε φόρτιση του δυσμενέστερου μισού τμήματος της στέγης. Οι συντελεστές μορφής δίνονται στο παρακάτω πίνακα για διάφορες τιμές της γωνίας α της στέγης.

Κλίση στέγης	$0^o \le a \le 30^o$	$30^o < a < 60^o$	$60^o \le a$
Συντελεστής μορφής μ_1	0.8	0.8(60-α)/30	0,0

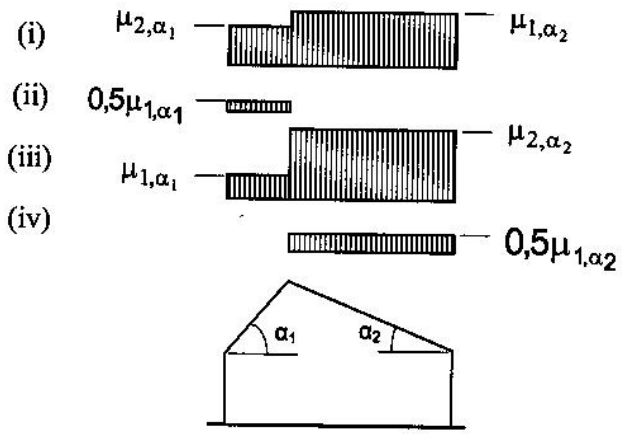
Πίνακας 4.4 Χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή μορφής μ_1 ανάλογα με την κλίση της στέγης.



Σχ. 4.5 Συντελεστής μορφής σε μονοκλινής στέγες.

Προσδιορισμός του συντελεστή μορφής φορτίου χιονιού (μ_i) σε δικλινείς στέγες με ελεύθερη ολίσθηση χιονιού

Οι τιμές του συντελεστή μορφής του φορτίου χιονιού, σε δικλινείς στέγες, δίνονται στον πίνακα για διάφορες τιμές της γωνίας 'α' της στέγης. Θεωρείται ως δεδομένο ότι το χιόνι δεν εμποδίζεται να ολισθήσει από την σκεπή. Αν το χαμηλότερο υψομετρικά σημείο της στέγης καταλήγει σε προπέτασμα, φράχτη ή άλλο εμπόδιο τότε ο συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού δεν θα πρέπει μικρότερο του 0,8. Επιπλέον, θα λαμβάνεται υπ' όψη κατά τους υπολογισμούς η δυσμενέστερη από τις ταξινομήσεις του φορτίου, περιπτώσεις i έως iv όπως φαίνονται στο σχήμα 3.3.

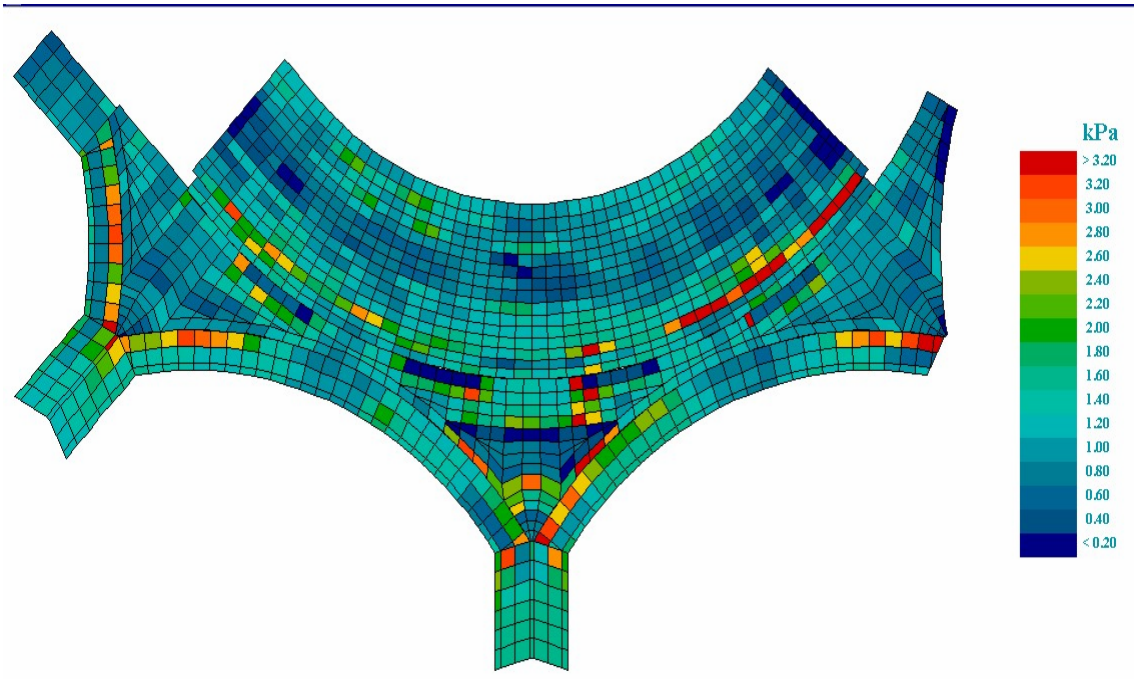


Σχ. 4.6 Συντελεστής μορφής σε δικλινής στέγες

Γενικά η πρόβλεψη του φορτίου χιονιού στις στέγες είναι πολύ πιο δύσκολη και πολύπλοκη σε σχέση με τα φορτία ανέμου καθώς το χιόνι εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και η φόρτιση που προκαλείται είναι επαυξητική, δηλαδή αυξάνεται όσο η χιονόπτωση συνεχίζει. Οι παράγοντες αυτοί περιλαμβάνουν συνεχόμενες χιονοπτώσεις, μετατοπίσεις φορτίων λόγω ανέμου, φαινόμενα

τήξης και πήξης, ατμοσφαιρική θερμοκρασία, σχετική υγρασία, μεταφορά θερμότητες μέσω στέγης, βροχόπτωση πάνω σε ήδη χιονισμένη οροφή και πολλοί άλλοι. Επομένως είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστούν όλοι οι παράγοντες, ή έστω ένα ποσοστό αυτών, με ένα ακριβές μοντέλο. Για να υπολογιστούν θα πρέπει να συνδυαστεί μεγάλος αριθμός υπολογιστικών μοντέλων και κατάλληλοι εξομοιωτές.

Μια τέτοια μέθοδος δημιουργήθηκε από την RWDI τη δεκαετία του 80’ και από τότε έχει εξελιχθεί ποικιλοτρόπως. Ονομάστηκε Μέθοδος Ελάχιστης Επιφάνειας (Finite Area Element Method) γιατί βασιζόνταν στη διαίρεση της οροφής σε πολλά μικρά τμήματα και στον υπολογισμό της ιστορίας όλων των φαινομένων που επηρεάζουν τα φορτία χιονιού για καθένα από αυτά τα τμήματα. Λεπτομέρειες αυτής της μεθόδου περιγράφηκαν από τους Irwin, Gamble και Taylor το 1995. Τα αποτελέσματα εφαρμογής αυτής της διαδικασίας στο Διεθνές Αεροδρόμιο του Pearson (Τορόντο, Καναδάς) φαίνονται παρακάτω, ενώ στο αμέσως επόμενο σχήμα φαίνεται καθαρά η πραγματική κάλυψη της στέγης του Αεροδρομίου από χιόνι.



Σχ. 4.7 Αποτελέσματα προσομοίωσης φορτίων χιονιού για το Pearson International Airport

Σχ. 4.8 Πραγματική κάλυψη χιονιού

Περαιτέρω ανάλυση της FAEM ενώ έχει αρκετό ενδιαφέρον, ξεφεύγει από τα πλαίσια της εργασίας αυτής.

Το γήπεδο της Λεωφόρου Αλεξάνδρας βρίσκεται A=151m πάνω από τη στάθμη της θάλασσας. Η Αθήνα βρίσκεται στη Ζώνη ΙΙΙ επομένως s_{ko}=0,8KN/m^2. Επομένως η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού επί του εδάφους είναι

$$s_k = s_{ko}\,[1+(A/917)^2] = 0{,}8[1+(151/917)^2] = 0{,}8217\text{KN/m}^2.$$

Επίσης η κλίση του στεγάστρου είναι 0° δηλαδή ο συντελεστής μορφής χιονιού είναι μ_1 = 0,8. Συντελεστής έκθεσης C_e = 1,2 λόγω προστασίας του σταδίου περιμετρικά από κτίρια και συντελεστής θερμότητας C_t = 1. Φορτίο χιονιού στο στέγαστρο:

$$S = \mu_1 * C_e * C_t * s_k = 0{,}8*1{,}2*1*0{,}8217 = 0{,}7888\text{KN/m}^2.$$

Ολικό φορτίο χιονιού στις τεγίδες: 0,7888KN/m^2 *25 m^2 = 19,72KN

Ομοιόμορφο φορτίο χιονιού επί τεγίδας: 19,72 / 10m = 1,972KN/m

Πρόσθετο φορτίο πάγου επί των γραμμών και η επιφόρτιση που προκαλεί στους αγωγούς:

Το χιόνι και η πάχνη σε συνδυασμό με τις διαρκείς χαμηλές θερμοκρασίες οδηγούν σε στρώμα χιονιού, πάγου ή χιονοπάγου στα καλώδια. Έτσι, αυξάνει το συνολικό βάρος του καλωδίου ανά μονάδα μήκους. Πέραν τούτου, αν φυσάει τότε δρα και μια αυξημένη δύναμη του αέρα στον αγωγό, λόγω της αυξημένης διατομής του. Το φορτίο λόγω πάγου και ανέμου είναι συνάρτηση των καιρικών συνθηκών. Εδώ γίνονται ορισμένες παραδοχές στους ελληνικούς κανονισμούς ως εξής: Υπάρχουν τρεις φορτίσεις, η ελαφριά, η μέση και η βαρειά. Στην ελαφρά φόρτιση φυσά μεν ισχυρός αέρας, αλλά δεν υπάρχει πάγος. Στη μέση και στη βαρειά φόρτιση υπάρχει πάγος ομοιόμορφα κατανεμημένος γύρω από τα καλώδια (βλέπε παρακάτω σχήμα). Επίσης, γίνεται η παραδοχή ότι έχουμε συμπαγή πάγο, με ειδικό βάρος : $\gamma_{παγ}$ = 917Kg/m^3.

Η συνολική επιφόρτιση που δέχεται το καλώδιο είναι η συνισταμένη τριών δυνάμεων. Στον κατακόρυφο άξονα δρα το ίδιο βάρος και το βάρος του πάγου που έχει επικαθίσει στην επιφάνεια του καλωδίου. Στον οριζόντιο άξονα δρα η δύναμη που οφείλεται στην πίεση από τον αέρα, ανάλογα με την ταχύτητά του. Η πίεση του αέρα δίνεται από τη σχέση:

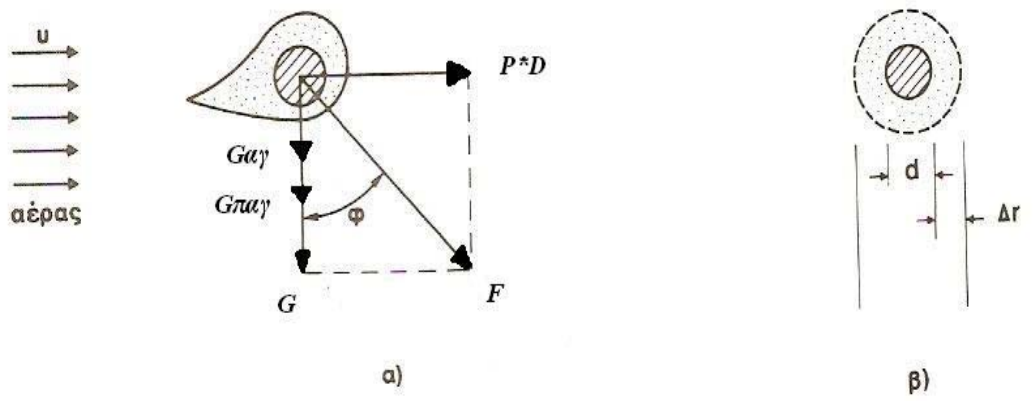
$$\mathbf{P = \rho * u^2 / 2}$$

Όπου ρ: η πυκνότητα του αέρα και δίνεται από τη σχέση ρ = 0,125 Kg * s^2 / m^4

u: η ταχύτητα του ανέμου σε m/s και δίνεται από τις τιμές του πίνακα, ανάλογα με το πόσα Μποφόρ φυσούν οι άνεμοι

Εφόσον η τιμή της πυκνότητας του ανέμου θεωρείται περίπου η ίδια παντού (παραδοχή ότι είναι σταθερή), η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$P = 0{,}125 * u^2 / 2 \Rightarrow P = 0{,}0625 * u^2 \ \ Kg/m^2$$



Σχ. 4.9 α) πραγματική περίπτωση επικάθισης
β) ισοδύναμη, τυποποιημένη επικάθιση πάγου, όπου d η διάμετρος του καλωδίου και Δr η επικάθιση του πάγου επί της ακτίνας του.

Μποφόρ	Ονομασία	Ταχύτητα km/h	Αποτέλεσμα
0	Νηνεμία	0 ÷1	Άπνοια. Ο καπνός υψώνεται κατακόρυφα.
1	Υποπνέων	1,1 ÷5,4	Ο καπνός υψώνεται σχεδόν κατακόρυφα
2	Ασθενής	5,5 ÷11,9	Άνεμος αισθητός στο πρόσωπο.
3	Λεπτός	12 ÷19,4	Τα φύλλα και μερικά κλωνάρια κινούνται συνεχώς. Τεντώνει μικρή σημαία.
4	Μέτριος	19,5 ÷28,5	Σηκώνει σκόνη και φύλλα χαρτιού. Κινούνται μικρά κλωνάρια.
5	Λαμπρός	28,6 ÷38,5	Αρχίζουν να λυγίζουν μικρά δένδρα. Σχηματίζονται κυματάκια στη θάλασσα.
6	Ισχυρός	38,6 ÷49,7	Κινεί μεγάλα κλαδιά. Η ομπρέλα χρησιμοποιείται δύσκολα.
7	Σφοδρός	49,8 ÷61,6	Κινεί ολόκληρο το δένδρο. Το βάδισμα αντίθετα προς τον άνεμο γίνεται δύσκολο.
8	Ορμητικός	61,7 ÷74,5	Σπάζει κλαδιά δένδρων. Το βάδισμα γίνεται δύσκολο.
9	Θύελλα	74,6 ÷87,8	Ελαφρές ζημιές σε σπίτια. Σηκώνει κεραμίδια από τις στέγες.
10	Ισχυρή Θύελλα	87,9 ÷102,2	Ξεριζώνει δένδρα. Προκαλεί μεγάλες ζημιές σε σπίτια.
11	Σφοδρή θύελλα	102,3 ÷117,4	Μεγάλες ζημιές σε μεγάλες εκτάσεις.
12	Τυφώνας	117,5 και άνω	Εξαιρετικά σοβαρές καταστροφές.

Πίνακας 4.10 Ανεμομετρική κλίμακα Μποφόρ

Η αύξηση του κατακόρυφου φορτίου που δρα στο καλώδιο και οφείλεται στην επικάθιση του πάγου επί της επιφάνειάς του δίνεται από τη σχέση:

$$\mathbf{G_{παγ} = \gamma_{παγ} * V_{παγ} => G_{παγ} = \gamma_{παγ} * [(D^2 - D^2_{καλ}) * π/4]}$$

Όπου D: η διάμετρος του χιτωνίου πάγου, δηλαδή η συνολική διάμετρος και του καλωδίου και του πάγου: D = d + 2*Δr => $\mathbf{D = D_{καλ} + 2*\Delta r}$

$D_{καλ}$: η διάμετρος του καλωδίου (το d του σχήματος)

$\gamma_{παγ}$: το ειδικό βάρος του πάγου που ισούται με 917Kg/m^3

Η συνολική κατακόρυφη δύναμη που δέχεται ο αγωγός προκύπτει από την άθροιση των δυο παραπάνω τιμών:

$$\mathbf{G = G_{παγ} + G_{αγ}}$$

Η οριζόντια συνιστώσα της δύναμης του αέρα δίνεται από τη σχέση:

$$\mathbf{F_{αέρα} = P * D}$$

Συνεπώς, η ολική επιφόρτιση δίνεται από το Πυθαγόρειο θεώρημα και το τετράγωνό της ισούται με το άθροισμα των τετραγώνων των δυο παραπάνω δυνάμεων, της κατακόρυφης του ολικού βάρους και της οριζόντιας του αέρα. Η σχέση που ισχύει είναι η εξής:

$$\mathbf{F = [(P * D)^2 + G^2]^{1/2}}$$

Τυπικά σε όλες τις παραπάνω σχέσεις η μετωπική επιφάνεια του καλωδίου δίνεται από τη σχέση: A = D * L. Επειδή όμως εξετάζουμε την επιφόρτιση του καλωδίου στη μονάδα του μήκους, θέτουμε L=1m και παίρνουμε τις απλοποιημένες σχέσεις.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί πώς στην πραγματικότητα η στέγη δεν είναι οριζόντια, αλλά έχει κλίση 2% ώστε να μπορούν να διαφεύγουν τα νερά της

βροχής, ωστόσο για λόγους ευκολίας αυτή η κλίση παραλείπεται στους υπολογισμούς στο εκπόνημα αυτό.

4.2 Φορτίο Ανέμου

Οι δράσεις και τα φορτία του ανέμου τα οποία πλήττουν την κατασκευή επηρεάζουν ολοένα και περισσότερο τον στατικό σχεδιασμό και την ανάλυσή της. Στην περίπτωση αυτή εάν ο στόχος είναι να επιτευχθεί ισορροπία μεταξύ του κόστους και του κινδύνου είναι απαραίτητο να γίνει σαφής και ακριβής υπολογισμός των φορτίων του ανέμου και της απόκρισης της κατασκευής. Οι δράσεις του ανέμου ανήκουν στην κατηγορία των μεταβλητών καθορισμένων δράσεων και προσδιορίζονται λαμβάνοντας υπόψη όπως θα δούμε παρακάτω, τόσο τις εξωτερικές όσο και τις εσωτερικές πιέσεις ανέμου. Είναι απαραίτητο να λαμβάνουμε υπόψη στη μελέτη του φορέα την ταυτόχρονη επιρροή και άλλων δράσεων επί της κατασκευής όπως για παράδειγμα το φορτίου του χιονιού, διότι είναι δυνατόν εξαιτίας του ανέμου να γίνει ανακατανομή του φορτίου αυτού με αποτέλεσμα αλλαγές στο σχήμα και αστοχία της κατασκευής.

Τονίζεται πως σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1, οι εύκαμπτες κατασκευές (όπως γέφυρες, καλώδια κ.ά.) πρέπει να σχεδιαστούν έτσι ώστε να είναι ικανές να αντέξουν την δυναμική επιρροή της τυρβώδους ροής του ανέμου, η οποία μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου.

Η διαδικασία του υπολογισμού των δράσεων του ανέμου για τα κτίρια, καθώς και άλλες κατασκευές μπορεί να καθοριστεί με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

- Απλουστευμένη διαδικασία υπολογισμού για μικρού ύψους κτίρια με διαφραγματική λειτουργία.
- Αναλυτική διαδικασία υπολογισμού για τυπικές κατασκευές και κτίρια.
- Δοκιμές αεροδυναμικής σήραγγας για κατασκευές και κτίρια ιδιαίτερης γεωμετρίας.

Στη μελέτη της πίεσης του ανέμου που δέχεται μία κατασκευή πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφοροι παράγοντες, όπως η κατεύθυνση του ανέμου, οι εσωτερικές πιέσεις, οι συνδυασμοί φορτίσεων, η επίδραση της περιοχής στην οποία βρισκόμαστε. Το σχήμα του φορέα έχει πρωτεύοντα ρόλο στην απόκριση της κατασκευής στις διάφορες φορτίσεις. Η καταστροφική επιρροή του ανέμου μπορεί να δημιουργήσει δομική αστοχία εξαιτίας της πίεσης, αστοχία λόγω δυναμικών φορτίων κόπωσης και αστοχία λόγω ανακατανομής φορτίου του χιονιού.

4.2.1 Υπολογισμός πίεσης λόγω ανέμου

- ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ ΑΝΕΜΟΥ

Είναι η πίεση του ανέμου που δρα κάθετα στις εξωτερικές επιφάνειες της κατασκευής και δίνεται από τον τύπο:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \qquad (4.2.1)$$

όπου,

$q_p(z_e)$: η πίεση ταχύτητας αιχμής

z_e : το ύψος αναφοράς για την εξωτερική πίεση

c_{pe} : ο συντελεστής εξωτερικής πίεσης

Η πίεση ταχύτητας αιχμής υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση

$$q_p(z_e) = (1 + 7 \cdot I_{v(z)}) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2_{m(z)} = c_e(z) \cdot q_b \qquad (4.2.2)$$

Η τιμή που θα βρούμε προσδιορίζει την πίεση ταχύτητας αιχμής σε ύψος z περιλαμβάνοντας μέσες και μικρής διάρκειας διακυμάνσεις ταχύτητας.

ρ : πυκνότητα του αέρα, η οποία εξαρτάται από το υψόμετρο, τη θερμοκρασία, καθώς και τη βαρομετρική πίεση που αναμένονται σε μία περιοχή κατά τη διάρκεια ανεμοθύελλας. Συνήθης τιμή είναι $1{,}25 \cdot 10^{-3}$ kg/m^3

$I_{v(z)}$: ένταση του στροβιλισμού σε ύψος z

$C_e(z)$: συντελεστής έκθεσης ο οποίος δίνεται από τη σχέση

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} \qquad (4.2.3)$$

q_b : βασική πίεση η οποία δίνεται από τη σχέση

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2_b \qquad (4.2.4)$$

και v_b : είναι η βασική ταχύτητα ανέμου η οποία ορίζεται ως συνάρτηση της διεύθυνσης του ανέμου και της εποχής του έτους, σε υψόμετρο 10 m πάνω από έδαφος κατηγορίας II.

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \qquad (4.2.5)$$

όπου,

c_{dir} : είναι ο συντελεστής διεύθυνσης, ο οποίος λαμβάνει υπόψη την πιθανότητα υπέρβασης της μέγιστης ταχύτητας του ανέμου για διαφορετικές διευθύνσεις μέσα σε ένα εύρος γωνιών $\pm 15^o$ (ίσος με 1.0)

c_{season} : είναι ο συντελεστής εποχής (ίσος με 1.0)

$v_{b,0}$: είναι η θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου η οποία σύμφωνα με στοιχεία του Παραρτήματος Α του EC1, οι ζώνες στις οποίες χωρίζεται ο Ελλαδικός χώρος για τον προσδιορισμό της ταχύτητας αναφοράς του ανέμου είναι 36 m/s για νησιά και την παραθαλλάσια ζώνη της ηπειρωτικής χώρας σε βάθος 10 km από την θάλασσα. Ενώ η τιμή για το υπόλοιπο της χώρας είναι 30 m/s .

Εν συνεχεία για να υπολογιστεί το $q_p(z_e)$ σύμφωνα με τη σχέση (4.2.2) χρειάζεται να βρούμε τη μέση ταχύτητα του ανέμου $v_m(z)$, σε ύψος z πάνω από το έδαφος.

Η τιμή της $v_m(z)$, εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους και την τοπογραφική διαμόρφωση, όπως φαίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b \qquad (4.2.6)$$

όπου,

$c_r(z)$: είναι ο συντελεστής τραχύτητας

$c_0(z)$: είναι ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης, η τιμή του οποίου λαμβάνεται ίση με 1.0

- Ο συντελεστής τραχύτητας $c_r(z)$ δίνεται από τη σχέση :

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{για } z_{min} \le z \le z_{max} = 200\text{m} \qquad (4.2.7)$$

- Ο συντελεστής εδάφους k_r υπολογίζεται από τη σχέση

$$k_r = 0{,}19 \cdot \left(\frac{z}{z_{0,\,II}}\right)^{0.07} \qquad (4.2.8)$$

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1 ο συντελεστής τραχύτητας δίνεται από τη σχέση αυτή (4.2.7) όταν το έδαφος στη διεύθυνση του ανέμου έχει ομοιόμορφη τραχύτητα σε αρκετά μεγάλο μήκος με σκοπό να μπορεί να θεωρηθεί σταθερή η κατηγορία του εδάφους.

- Το z_0 είναι το μήκος τραχύτητας σε m και υπολογίζεται από τον παρακάτω πίνακα (Πιν. 4.6) με βάση την κατηγορία του εδάφους στην οποία βρισκόμαστε :

Κατηγορία εδάφους	z_0 **(m)**	z_{min} **(m)**
0 Θάλασσα ή παράκτια περιοχή ανοικτής θάλασσας	0,003	1
I Λίμνες ή επίπεδες και οριζόντιες περιοχές με αμελητέα βλάστηση χωρίς εμπόδια	0,01	1
II Περιοχή με χαμηλή βλάστηση όπως γρασίδι και μεμονωμένα εμπόδια (δέντρα, κτίρια) σε απόσταση μεταξύ τους τουλάχιστον 20 φορές το ύψος των εμποδίων	0,05	2
III Περιοχή με κανονική κάλυψη βλάστησης ή με κτίρια ή με μεμονωμένα εμπόδια με μέγιστη απόσταση το πολύ 20 φορές το ύψος των εμποδίων (όπως χωριά, προάστια, μόνιμα δάση)	0,3	5
IV Περιοχή όπου τουλάχιστον το 15% της επιφάνειας καλύπτεται με κτίρια και το μέσο ύψος τους ξεπερνά τα 15 m	1,0	10

Πίνακας 4.11 Κατηγορίες εδάφους και αντίστοιχες παράμετροι

- Το $z_{0,II}$ έχει σταθερή τιμή ίση με 0,05 m και αντιστοιχεί σε κατηγορία εδάφους II σύμφωνα με τον πίνακα 4.6

- Το z_{min} είναι το ελάχιστο ύψος που ορίζεται στον πίνακα 4.6 στην αντίστοιχη στήλη.

- Το z_{max} λαμβάνεται ίσο με 200 m.

Να σημειωθεί πως σε περίπτωση αμφιβολίας ως προς την κατάταξη του εδάφους σε κάποια κατηγορία, τότε το κατατάσσουμε στην δυσμενέστερη.
Στην περίπτωση μας το έδαφος ανήκει στην κατηγορία IV, συνεπώς το $z_0 = 1$ και το $z_{min} = 10$ m.

Με βάση τα παραπάνω και από τη σχέση 4.2.8 παίρνουμε την τιμή του συντελεστή εδάφους για έδαφος κατηγορίας IV :

$$k_r = 0{,}19 \cdot \left(\frac{1}{0.05}\right)^{0.07} = 0{,}19 \cdot 20^{0.07} = 0{,}234.$$

Ο συντελεστής $c_{r(z)} = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$ γίνεται :

$$c_{r(z)} = 0{,}234 \cdot \ln\left(\frac{20}{1}\right) = 0{,}701.$$

Καταλήγουμε στη σχέση 4.2.6 και υπολογίζουμε τη μέση ταχύτητα του ανέμου
$v_{m(z)} = c_{r(z)} \cdot c_{0(z)} \cdot v_b = 36 \cdot 0{,}701 = 25{,}24$ m/s.

Η ένταση του στροβιλισμού $I_{v(z)}$ σε ύψος z , $z_{min} \leq z \leq z_{max} = 200$m

υπολογίζεται από την σχέση $I_{v(z)} = \dfrac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln(z / z_0)}$ (4.2.9)

όπου,
k_I είναι ο συντελεστής στροβιλισμού (ίσος με 1.0)
και $c_0(z)$ για επίπεδο έδαφος λαμβάνεται ίσο με 1.0

Τελικά η σχέση 4.2.9 γίνεται $Iv(z)=\dfrac{1}{1\cdot \ln(20/1)}=0{,}33$

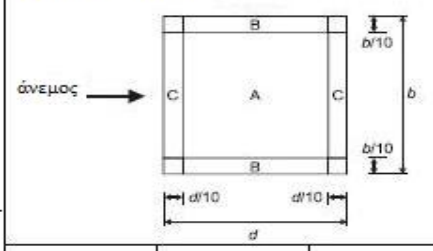
και η **εξωτερική πίεση του ανέμου** (σχέση 4.2.1) ισούται με

$$w_e = q_p(z_e)\cdot c_{pe} = (1+7\cdot 0{,}33)\cdot \frac{1}{2}\cdot 1{,}25\cdot 10^{-3}\ kg/m^3\cdot 25.24\ m/s$$

$$= 1.32\ KN/m^2\cdot c_{pe}.$$

Στον φορέα, λόγω μορφολογίας του, δρα μόνο εξωτερική πίεση και επομένως ο συντελεστής τελικής πίεσης ταυτίζεται με τον συντελεστή εξωτερικής πίεσης. Είναι απαραίτητο να υπολογίσουμε το συντελεστή c_{pnet} μέσω του παρακάτω πίνακα που συσχετίζει τη γωνία στέγης α, το βαθμό κωλύματος φ, τους συνολικούς και τους τοπικούς συντελεστές.

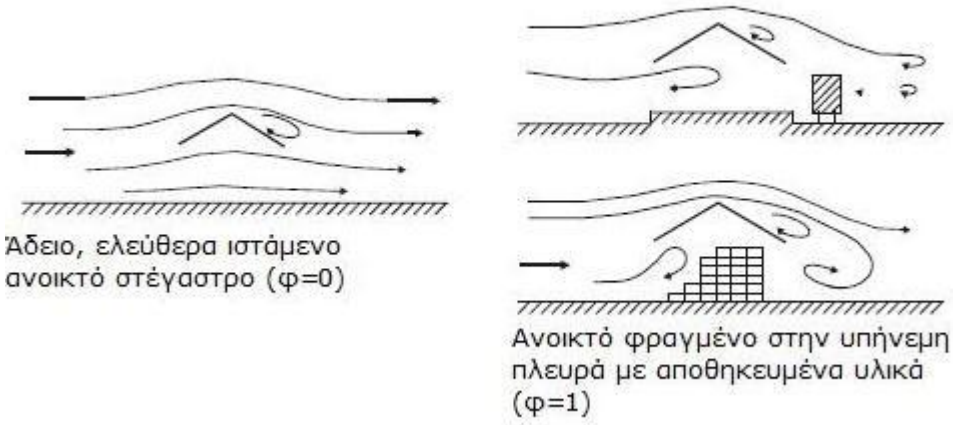
			Τοπικοί συντελεστές		
Γωνία στέγης α	Βαθμός κωλύματος φ	Καθολικοί συντελεστές	Ζώνη A	Ζώνη B	Ζώνη C
0°	Maximum all φ	+ 0,2	+ 0,5	+ 1,8	+ 1,1
	Minimum φ = 0	- 0,5	- 0,6	- 1,3	- 1,4
	Minimum φ = 1	- 1,3	- 1,5	- 1,8	- 2,2
5°	Maximum all φ	+ 0,4	+ 0,8	+ 2,1	+ 1,3
	Minimum φ = 0	- 0,7	- 1,1	- 1,7	- 1,8
	Minimum φ = 1	- 1,4	- 1,6	- 2,2	- 2,5
10°	Maximum all φ	+ 0,5	+ 1,2	+ 2,4	+ 1,6
	Minimum φ = 0	- 0,9	- 1,5	- 2,0	- 2,1
	Minimum φ = 1	- 1,4	- 2,1	- 2,6	- 2,7
15°	Maximum all φ	+ 0,7	+ 1,4	+ 2,7	+ 1,8
	Minimum φ = 0	- 1,1	- 1,8	- 2,4	- 2,5
	Minimum φ = 1	- 1,4	- 1,6	- 2,9	- 3,0
20°	Maximum all φ	+ 0,8	+ 1,7	+ 2,9	+ 2,1
	Minimum φ = 0	- 1,3	- 2,2	- 2,8	- 2,9
	Minimum φ = 1	- 1,4	- 1,6	- 2,9	- 3,0
25°	Maximum all φ	+ 1,0	+ 2,0	+ 3,1	+ 2,3
	Minimum φ = 0	- 1,6	- 2,6	- 3,2	- 3,2
	Minimum φ = 1	- 1,4	- 1,5	- 2,5	- 2,8
30°	Maximum all φ	+ 1,2	+ 2,2	+ 3,2	+ 2,4
	Minimum φ = 0	- 1,8	- 3,0	- 3,8	- 3,6
	Minimum φ = 1	- 1,4	- 1,5	- 2,2	- 2,7
Σημείωση + δράση ανέμου με φορά προς τα κάτω - δράση ανέμου με φορά προς τα πάνω					



Πίνακας 4.12 Τιμές του c_{pnet} και του c_f για μονοκλινή στέγαστρα

Από τον πίνακα μπορούμε με γραμμική παρεμβολή να υπολογίσουμε τον συντελεστή c_{pnet} με βάση το λόγο πληρότητας φ, ο οποίος ορίζεται ως το λόγο της επιφάνειας των εμποδίων κάτω από το στέγαστρο προς την επιφάνεια κάτω από το στέγαστρο.

Η ροή του ανέμου αλλοιώνεται εξαιτίας της ύπαρξης των κερκίδων και όταν έχουμε πλήρη παρεμπόδιση ο συντελεστής φ είναι ίσος με 1 όπως φαίνεται και από τον πίνακα, ενώ για καμία παρεμπόδιση ο συντελεστής είναι ίσος με 0. Όταν δηλαδή ο άνεμος δρα από το εσωτερικό του σταδίου προς το εσωτερικό τότε τα εμπόδια που συναντάει είναι ελάχιστα εάν λάβουμε υπόψη μας τη μορφή των κερκίδων, συνεπώς ο συντελεστής φ = 0.



Σχήμα 4.13 Απεικόνιση της ροής του ανέμου σε ανοικτά στέγαστρα

Όσον αφορά τη μεγάλη διάσταση του στεγάστρου για ορθό και για πλάγιο άνεμο αντίστοιχα υπολογίζουμε τους βαθμούς πληρότητας φ.

ΜΕΓΑΛΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ

1. Ορθός άνεμος (90°) : $\varphi = \frac{1278}{2970} = 0{,}43$

2. Πλάγιος άνεμος (0°) : φ = $\frac{252,12}{400}$ = 0,63
3. Ορθός άνεμος (270°) : φ = 0

ΜΙΚΡΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ

4. Ορθός άνεμος (0°) : φ = $\frac{1094}{1880}$ = 0,58
5. Πλάγιος άνεμος (90°) : φ = $\frac{370,96}{500}$ = 0,74
6. Ορθός άνεμος (180°) : φ = 0

Από τον πίνακα για γωνία στέγης 0° και για τα αντίστοιχα φ που υπολογίσαμε παραπάνω παίρνουμε τους παρακάτω συντελεστές.

Καθολικοί συντελεστές δύναμης c_f :

- max για όλα τα φ : c_f = +0,2
- min για φ=0 : c_f = -0,5
- min για φ=1 : c_f = -1,3
- για την περίπτωση (1) : c_f = -0,844
- για την περίπτωση (2) : c_f = -1,004
- για την περίπτωση (3) : c_f = -0,5
- για την περίπτωση (4) : c_f = -0,964
- για την περίπτωση (5) : c_f = -1,092
- για την περίπτωση (6) : c_f = -0,5

Ο άνεμος πίεσης που υπολογίζεται από τον max συντελεστή για όλα τα φ ίσος με +0,2, είναι προφανές ότι θα δώσει ίδια τιμή ανέμου σε όλες τις διευθύνσεις. Επομένως από τον τύπο w= 1,36· c_{pnet} kN/m^2 εξάγεται η τιμή της κατακόρυφης θετικής πίεσης w^+ = 1,36· 0,2 kN/m^2 = 0,272 kN/m^2 .
Η δύναμη πίεσης ανά μέτρο μήκους τεγίδας υπολογίζεται από το γινόμενο της πίεσης επί την φορτική επιφάνεια της τεγίδας και εν συνεχεία αναγέται σε δύναμη ανά μέτρο μήκους της τεγίδας : F= 0,272 · 25/10 = 0,68 kN/m.

Ο καθολικός συντελεστής δύναμης αντιπροσωπεύει τη συνισταμένη δύναμη, ενώ ο συντελεστής τελικής πίεσης αντιπροσωπεύει τη μέγιστη τοπική πίεση για όλες τις διευθύνσεις. Οι τοπικοί συντελεστές δεν λαμβάνονται υπόψη στην εξεταζόμενη περίπτωση λόγω της μορφολογίας του φορέα, όπως επίσης για απλοποίηση των υπολογισμών δεν θα ληφθεί υπόψη η επιρροή της τριβής.

Οι πιέσεις αναρρόφησης δίνονται από τον τύπο : $w= 1,36\cdot c_f$ kN/m^2

- min για φ=0 : w= 1,36· (-0,5)= -0,68
- min για φ=1 : w= 1,36· (-1,3)= -1,768
- για την περίπτωση (1) : w= 1,36· (-0,844)= -1,148
- για την περίπτωση (2) : w= 1,36· (-1,004)= -1,365
- για την περίπτωση (3) : w= 1,36· (-0,5)= -0,68
- για την περίπτωση (4) : w= 1,36· (-0,964)= -1,311
- για την περίπτωση (5) : w= 1,36· (-1,092)= -1,485
- για την περίπτωση (6) : w= 1,36· (-0,5)= -0,68

Οι δυνάμεις ανά μέτρο μήκους τεγίδας σε kN/m :

- min για φ=0 : F= -0,68 · 25/10= -1.7
- min για φ=1 : F= -1,768 · 25/10= -4.42
- για την περίπτωση (1) : F= -1,148 · 25/10= -2.87
- για την περίπτωση (2) : F= -1,365 · 25/10= -3.41
- για την περίπτωση (3) : F= -0,68 · 25/10= -1.7
- για την περίπτωση (4) : F= -1,311 · 25/10= -3.28
- για την περίπτωση (5) : F= -1,485 · 25/10= -3.71
- για την περίπτωση (6) : F= = -0,68 · 25/10= -1.7

4.2.2 Υπολογισμός δύναμης λόγω ανέμου

Στο μέρος αυτό θα υπολογιστεί η δύναμη του ανέμου στα κατακόρυφα τμήματα της κατασκευής, ανάλογα με τον τύπο και τα γεωμετρικά μεγέθη των εκάστοτε διατομών του φορέα.

Η συνολική δύναμη του ανέμου F_w η οποία επενεργεί επί της κατασκευής ή επί ενός επιμέρους στοιχείου της, είναι δυνατό να υπολογιστεί είτε με υπολογισμό δυνάμεων χρησιμοποιώντας τους συντελεστές δύναμης, είτε με υπολογισμό δυνάμεων από τις πιέσεις επί των επιφανειών.

$$F_w = c_s\, c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \qquad (4.2.10)$$

όπου,

$c_s\, c_d$: είναι ο δυναμικός συντελεστής

c_f : είναι ο συντελεστής δύναμης για την κατασκευή ή το στοιχείο κατασκευής

$q_p(z_e)$: είναι η πίεση ταχύτητας αιχμής σε ύψος αναφοράς z_e

A_{ref} : είναι η επιφάνεια αναφοράς της κατασκευής ή στοιχείου της κατασκευής, μετρούμενη γενικά ως η προβολή της κατασκευής σε επίπεδο κάθετο προς τη διεύθυνση του ανέμου

Ο συντελεστής c_f για δικτυωτές κατασκευές δίνεται από τη σχέση

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \qquad (4.2.11)$$

όπου,

$c_{f,0}$: είναι ο συντελεστής δύναμης της κατασκευής χωρίς επίδραση των άκρων, συναρτήσει του λόγω πληρότητας φ και του αριθμού Reynolds

ψ_λ : είναι ο συντελεστής επίδρασης των άκρων συναρτήσει της λυγηρότητας λ της κατασκευής , όπου λ=l/d, l= μήκος, d= πλάτος

Re : είναι ο αριθμός Reynolds που προκύπτει για τη μέση διάμετρο του μέλους b_i

>Ο λόγος πληρότητας φ μέσω του οποίου θα εκτιμήσουμε τον συντελεστή δύναμης καθορίζεται από την σχέση $\varphi = \dfrac{A}{A_c}$, (4.2.12)

όπου

A : είναι το άθροισμα της προβαλλόμενης επιφάνειας των μελών και των κομβοελασμάτων κάθετα προς την όψη $A = \sum_i b_i . l_i + \sum_k A_{gk}$. ,

A_c : είναι η επιφάνεια που περικλείεται μεταξύ των ακραίων στοιχείων, προβαλλόμενα κάθετα προς την όψη $A_c = d \cdot l$.
(l,d είναι το μήκος και το πλάτος του δικτυώματος,
l_i, b_i είναι το μήκος και το πλάτος του μεμονωμένου μέλους i, προβαλλόμενου κάθετα στην όψη,
A_{gk} είναι η επιφάνεια του κομβοελάσματος k)

>Η επιφάνεια αναφοράς προσδιορίζεται από τη σχέση $A_{ref} = A$.

>Ο αριθμός Reynolds καθορίζεται από την σχέση : $Re = \dfrac{b \cdot v_{m.}(z_e)}{v}$ (4.2.13)

όπου,
b : διάμετρος του κυλίνδρου
v : είναι το κινηματικό ιξώδες του αέρα και είναι ίσο με $v = 15 \cdot 10^{-6}\ m^2/s$
$v_{m.}(z_e)$: η μέση ταχύτητα του ανέμου

Η μέση ταχύτητα του ανέμου έχει ήδη υπολογιστεί παραπάνω και είναι ίση με $v_{m(z)} = c_{r(z)} \cdot c_{0(z)} \cdot v_b = 36 \cdot 0{,}701 = 25{,}24$ m/s. Συνεπώς η σχέση 4.2.13 γίνεται : **Re**= $\dfrac{b \cdot 25.24}{15 \cdot 10^{-6}} = b \cdot 1{,}68 \cdot 10^6$.

Οι συντελεστές πίεσης των διατομών εξαρτώνται από τον αριθμό Reynolds, ο οποίος υπολογίστηκε συναρτήσει της διαμέτρου b του κυλίνδρου. Ανάλογα με τις διαφορετικές ομάδες μελών που διαθέτει ο φορέας μας θα υπολογίσουμε τις διαφορετικές τιμές του Re και σε συνδυασμό με τα απαιτούμενα στοιχεία από τους κανονισμούς το Ευρωκώδικα, θα είναι έτσι δυνατή η εύρεση του συντελεστή δύναμης c_f. Στην κατασκευή μας χρησιμοποιούνται σωληνωτές διατομές, άρα βάση του Ευρωκώδικα θα χρησιμοποιηθούν οι σχέσεις και οι πίνακες για *κυκλικούς κυλίνδρους*, ενώ για την κύρια δικτυωτή δοκό και τις εγκάρσιες διαδοκίδες θα χρησιμοποιηθούν οι τύποι και πίνακες για *δικτυωτές κατασκευές*.

ΜΕΓΑΛΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ

1. Πυλώνες : Κυκλικός κύλινδρος

CHS 4000*120

> $Re = b \cdot 1{,}68 \cdot 10^6$, για b=4,0m

$Re = 6{,}72 \cdot 10^6$

> k=0,02 (για βαφή με ψεκασμό από πίνακα 4.8)

> $\frac{k}{b} = \frac{0.02}{4.0}$ =0,005 άρα για λ=∞ από το διάγραμμα 4.7

ο συντελεστής $c_{f,0}$=0,84

> για λ= 148,5/4=37,13 από το διάγραμμα 4.9 δίνεται η τιμή του ψ_λ= 0,83

Ο συντελεστής δύναμης $c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda$ = 0,84 ·0,83=0,70, οπότε η τελική πίεση είναι w = 1,36 · 0,7= 0,952 kN/m^2. Ενώ η δύναμη ανά μέτρο μήκους του μέλους είναι F= 0,952 · 4=3,808 kN/m.

2. Περιμετρικές δοκοί : Κυκλικός κύλινδρος

CHS 500*15

> $Re = b \cdot 1{,}68 \cdot 10^6$, για b=0,5m

$Re = 8{,}4 \cdot 10^5$

> k=0,02 (για βαφή με ψεκασμό από πίνακα 4.8)

> $\frac{k}{b} = \frac{0.02}{0.5}$ =0,04 άρα για λ=∞ από το διάγραμμα 4.7

ο συντελεστής $c_{f,0}$=1,2

> για λ= 148,5/0,5=297 από το διάγραμμα 4.9

δίνεται η τιμή του ψ_λ= 1

Ο συντελεστής δύναμης $c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda$ = 1,2 ·1=1,2, οπότε η τελική πίεση είναι w = 1,36 · 1,2= 1,632 kN/m^2. Ενώ η δύναμη ανά μέτρο μήκους του μέλους είναι F= 1,632·0,5=0,816 kN/m.

3. Κύρια δικτυωτή δοκός: Δικτυωτή κατασκευή

CHS 400*120

- Το μήκος της κύριας δικτυωτής δοκού είναι ίσο με l=148,5m και το b όπως ορίζεται από το σχήμα 4.10 είναι 2,165m. Το εμβαδόν A_c είναι ίσο με 321,5m^2 , ενώ το εμβαδόν A (όπως πάλι ορίζεται από το σχήμα 4.10) ισούται με A=239,80 m^2.
- Ο λόγος πληρότητας $\varphi = \frac{A}{A_c} = \frac{239.80}{321.50} = 0,75$
- Από διάγραμμα 4.11 και για φ= 0,75 ο συντελεστής $c_{f,0}$ =1,6
- Από το διάγραμμα 4.9 και την τιμή λ=l/b=69 παίρνουμε την τιμή του ψ_λ=0,97.

Ο συντελεστής δύναμης $c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 1,6 \cdot 0,97 = 1,55$, οπότε η τελική πίεση είναι w = 1,36 · 1,55= 2,11. Ενώ η δύναμη ανά μέτρο μήκους του μέλους είναι F= 2,11 · 0,4=0,84 kN/m.

4. Εγκάρσιες διαδοκίδες : Δικτυωτή κατασκευή

SHS 200*20

- Το μήκος της εγκάρσιας διαδοκίδας είναι ίσο με l=20m και το b όπως ορίζεται από το σχήμα 4.10 είναι 2,165m. Το εμβαδόν A_c είναι ίσο με 43,3m^2 , ενώ το εμβαδόν A (όπως πάλι ορίζεται από το σχήμα 4.10) ισούται με A=24,3m^2.
- Ο λόγος πληρότητας $\varphi = \frac{A}{A_c} = \frac{24.3}{43.3} = 0,6$
- Από διάγραμμα 4.11 και για φ= 0,6 ο συντελεστής $c_{f,0}$ =1,6
- Από το διάγραμμα 4.9 και την τιμή λ=l/b=9,23 παίρνουμε την τιμή του ψ_λ=0,87.

Ο συντελεστής δύναμης $c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 1,6 \cdot 0,87 = 1,40$, οπότε η τελική πίεση είναι $w = 1,36 \cdot 1,40 = 1,90$. Ενώ η δύναμη ανά μέτρο μήκους του μέλους είναι $F = 1,9 \cdot 0,2 = 0,38$ kN/m.

ΜΙΚΡΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ

4. Πυλώνες : Κυκλικός κύλινδρος

CHS 4000*120

> $Re = b \cdot 1,68 \cdot 10^6$, για b=4,0m

$Re = 6,72 \cdot 10^6$

> k=0,02 (για βαφή με ψεκασμό από πίνακα 4.8)

> $\frac{k}{b} = \frac{0.02}{4.0} = 0,005$ άρα για λ=∞ από το διάγραμμα 4.7

ο συντελεστής $c_{f,0} = 0,84$

> για λ= 94/4=23,5 από το διάγραμμα 4.9 δίνεται η τιμή του

$\psi_\lambda = 0,83$

Ο συντελεστής δύναμης $c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 0,84 \cdot 0,83 = 0,70$, οπότε η τελική πίεση είναι $w = 1,36 \cdot 0,7 = 0,952$. Ενώ η δύναμη ανά μέτρο μήκους του μέλους είναι $F = 0,952 \cdot 4 = 3,808$ kN/m.

5. Περιμετρικές δοκοί : Κυκλικός κύλινδρος

CHS 500*15

> $Re = b \cdot 1,68 \cdot 10^6$, για b=0,5m

$Re = 8,4 \cdot 10^5$

> k=0,02 (για βαφή με ψεκασμό από πίνακα 4.8)

> $\frac{k}{b} = \frac{0.02}{0.5} = 0,04$ άρα για λ=∞ από το διάγραμμα 4.7

ο συντελεστής $c_{f,0} = 1,2$

> για λ= 94/0,5=188 από το διάγραμμα 4.9

δίνεται η τιμή του $\psi_\lambda = 1$

Ο συντελεστής δύναμης $c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 1,2 \cdot 1 = 1,2$, οπότε η τελική πίεση είναι $w = 1,36 \cdot 1,2 = 1,632$ kN/m^2. Ενώ η δύναμη ανά μέτρο μήκους του μέλους είναι $F = 1,632 \cdot 0,5 = 0,816$ kN/m.

6. Κύρια δικτυωτή δοκός: Δικτυωτή κατασκευή

CHS 400*120

- Το μήκος της κύριας δικτυωτής δοκού είναι ίσο με l=94 m και το b όπως ορίζεται από το σχήμα 4.10 είναι 2,165m. Το εμβαδόν A_c είναι ίσο με 203,51 m^2, ενώ το εμβαδόν A (όπως πάλι ορίζεται από το σχήμα 4.10) ισούται με A=143,20 m^2.
- Ο λόγος πληρότητας $\varphi = \frac{A}{A_c} = \frac{143.20}{203.51} = 0,703$
- Από διάγραμμα 4.11 και για φ= 0,703 ο συντελεστής $c_{f,0} = 1,6$
- Από το διάγραμμα 4.9 και την τιμή λ=l/b=43.42 παίρνουμε την τιμή του $\psi_\lambda = 0,94$.

Ο συντελεστής δύναμης $c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 1,6 \cdot 0,94 = 1,50$, οπότε η τελική πίεση είναι $w = 1,36 \cdot 1,50 = 2,04$. Ενώ η δύναμη ανά μέτρο μήκους του μέλους είναι $F = 2,04 \cdot 0,4 = 0,816$ kN/m.

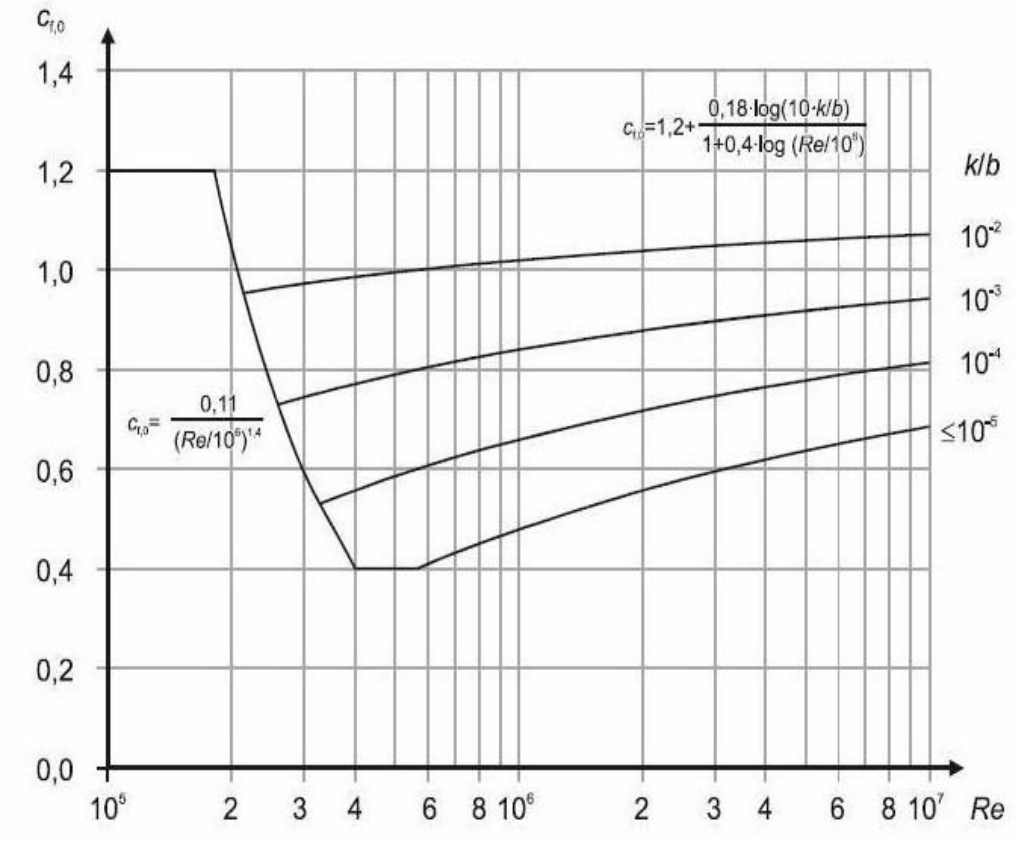
7. Εγκάρσιες διαδοκίδες : Δικτυωτή κατασκευή

SHS 200*20

- Το μήκος της εγκάρσιας διαδοκίδας είναι ίσο με l=25m και το b όπως ορίζεται από το σχήμα 4.10 είναι 2,165m. Το εμβαδόν A_c είναι ίσο με 54,13m^2, ενώ το εμβαδόν A (όπως πάλι ορίζεται από το σχήμα 4.10) ισούται με A=25,3m^2.
- Ο λόγος πληρότητας $\varphi = \frac{A}{A_c} = \frac{25.3}{54.13} = 0,467$

- Από διάγραμμα 4.11 και για φ= 0,467 ο συντελεστής $c_{f,0}$ =1,6
- Από το διάγραμμα 4.9 και την τιμή λ=l/b=11,55 παίρνουμε την τιμή του ψ_λ=0,91

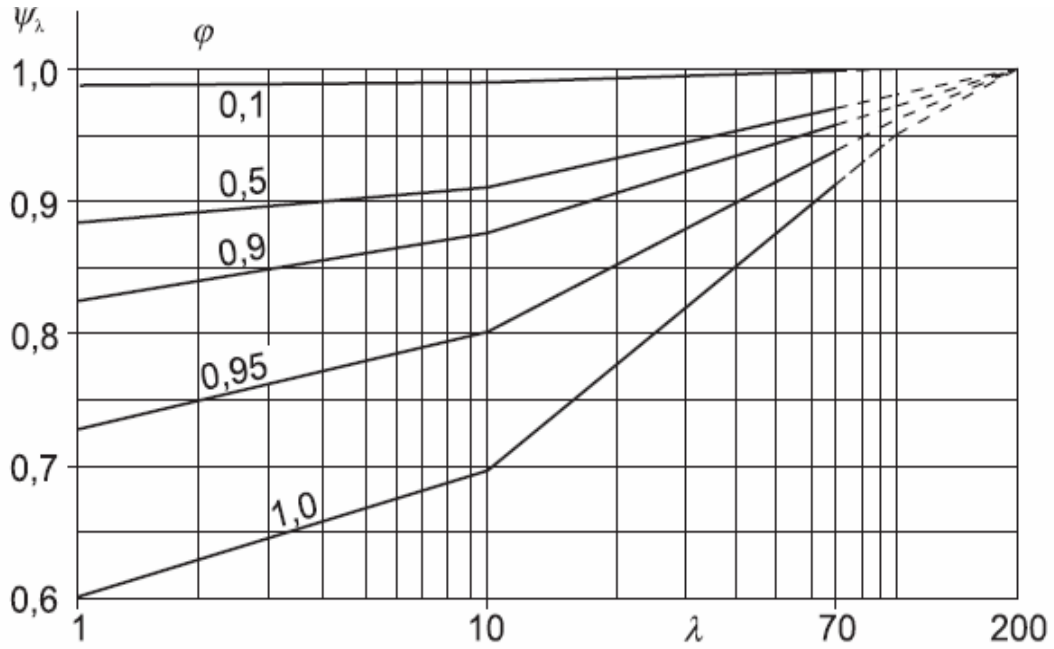
Ο συντελεστής δύναμης $c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda$ = 1,6 ·0,91=1,46, οπότε η τελική πίεση είναι w = 1,36 · 1,46= 1,99. Ενώ η δύναμη ανά μέτρο μήκους του μέλους είναι F= 1,99 · 0,2=0,40 kN/m.



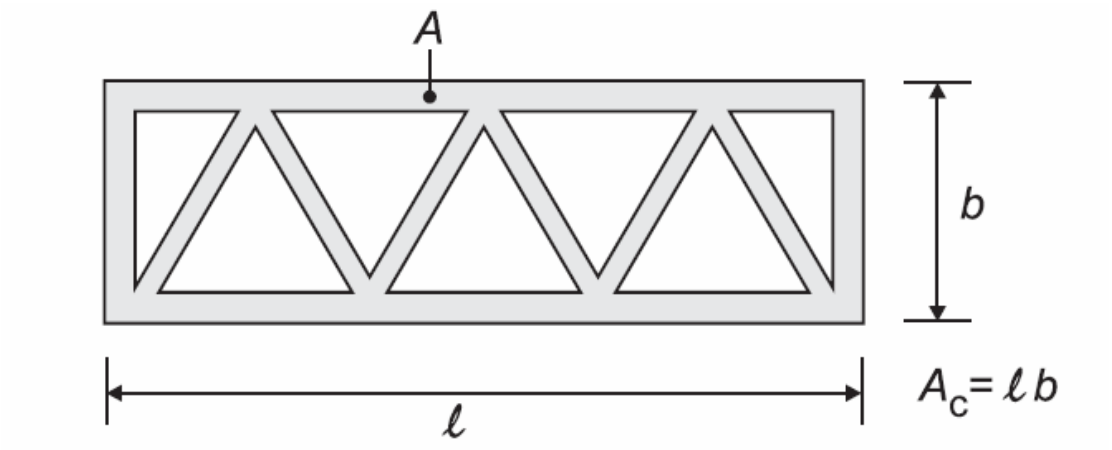
Σχήμα 4.14 Συντελεστής δύναμης $c_{f,0}$ για κυκλικούς κυλίνδρους χωρίς ροή ελευθέρων άκρων και για διάφορες τιμές της ισοδύναμης τραχύτητας k/b.

Τύπος επιφάνειας	Ισοδύναμη τραχύτητα k mm	Τύπος επιφάνειας	Ισοδύναμη τραχύτητα k mm
γυαλί	0,0015	λείο σκυρόδεμα	0,2
στιλβωμένο μέταλλο	0,002	πλανισμένο ξύλο	0,5
λεπτή βαφή	0,006	τραχύ σκυρόδεμα	1,0
βαφή με ψεκασμό	0,02	τραχύ πριονισμένο ξύλο	2,0
στιλπνός χάλυβας	0,05	σκουριά	2,0
χυτοσίδηρος	0,2	οπτοπλινθοδομή	3,0
γαλβανισμένος χάλυβας	0,2		

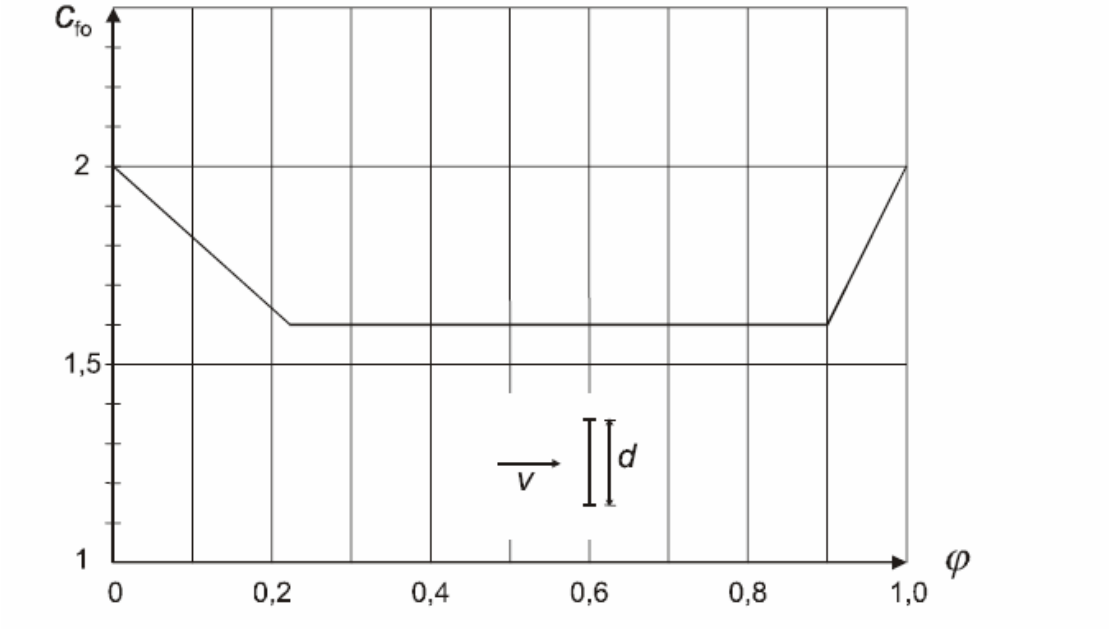
Σχ. 4.15 Ισοδύναμη τραχύτητα k επιφάνειας.



Σχ. 4.16 Συντελεστής επίδρασης άκρων ψλ ως συνάρτηση της λυγηρότητας λ και του συντελεστή πληρότητας φ.



Σχ. 4.17 Ορισμός του λόγου πληρότητας φ.



Σχ. 4.18 Συντελεστής δύναμης $c_{f,0}$ για επίπεδη δικτυωτή κατασκευή με μέλη από γωνιακές ράβδους, συναρτήσει του φ.

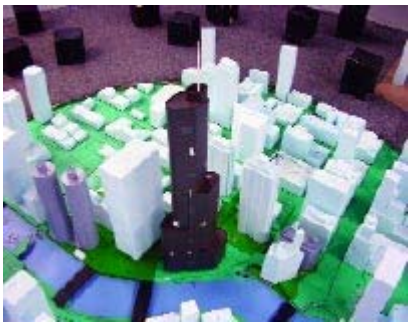
Διεύθυνση ανέμου	0°	90°	180°	270°
Μεγάλη διάσταση				
Πυλώνες	√	√	√	√
Κύρια δοκός		√		√
Περιμετρική		√		√
Διαδοκίδες	√		√	
Μικρή διάσταση				
Πυλώνες	√	√	√	√
Κύρια δοκός	√		√	
Περιμετρική	√		√	
Διαδοκίδες		√		√

Πίνακας 4.19 Μέλη που φορτίζονται στις διαφορετικές διευθύνσεις του ανέμου

4.2.3 Έλεγχος σε αεροδυναμική σήραγγα

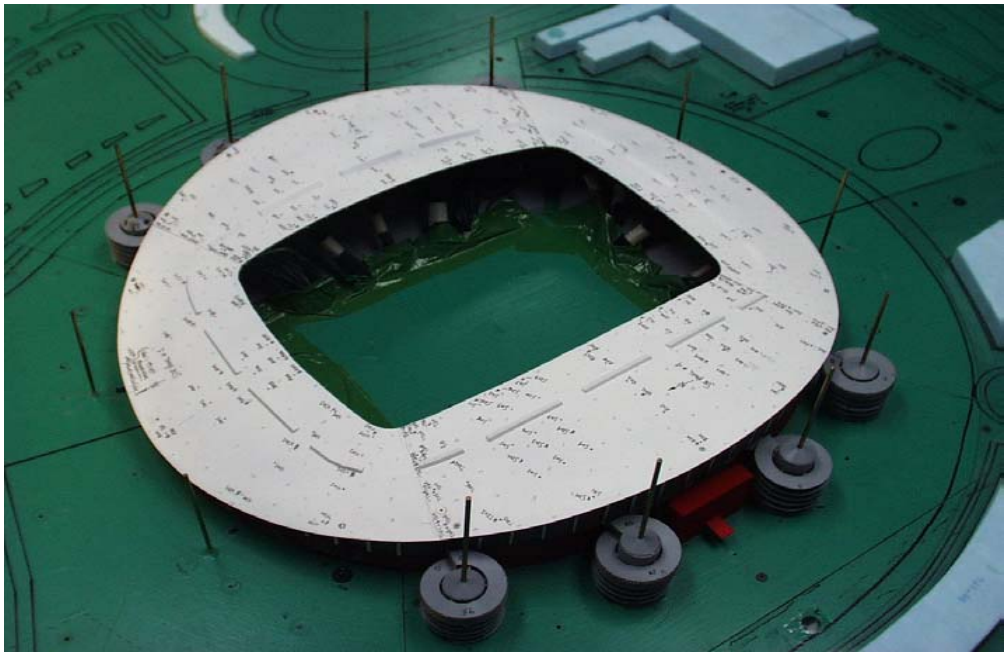
Οι κατασκευές μεγάλης κλίμακας είναι ευαίσθητες απέναντι στη φόρτιση του ανέμου. Τέτοιες κατασκευές είναι για παράδειγμα, μεγάλου μήκους γέφυρες και στέγες μεγάλης έκτασης, οι οποίες υπόκεινται σε έλεγχο αεροδυναμικής σήραγγας με σκοπό να εξαχθούν αποτελέσματα. Οι δοκιμές με αεροδυναμική σήραγγα οδηγούν στον υπολογισμό των τοπικών συντελεστών της πίεσης του αέρα, οπότε και υπολογίζονται τα τοπικά φορτία πίεσης του αέρα, καθώς και οδηγούν και στην εξαγωγή συμπερασμάτων και αποτολεσμάτων λαμβάνοντας υπόψη και την επιρροή του περιβάλλοντα χώρου. Για να πραγματοποιηθεί μία τέτοια δοκιμή, κατασκευάζεται μακέτα η οποία υποβάλλεται σε τεστ αεροδυναμικής σήραγγας και εξάγονται τα αποτελέσματα από τις επί τόπου

μετρήσεις. Όπως και στην πραγματικότητα, έτσι και στη δοκιμή αεροδυναμικής σήραγγας, η κατασκευή υποβάλλεται σε φόρτιση ανέμου και μέσω των αισθητήρων που έχουν τοποθετηθεί εσωτερικά και εξωτερικά της στέγης, προκύπτει το δίκτυο πιέσεων της οροφής. Η μακέτα είναι μία μικρογραφία της πραγματικής κατασκευής και τα υλικά της και η ακαμψία της ανταποκρίνεται στα πραγματικά μελετηθέντα μεγέθη. Παρακάτω παρατίθενται κάποιες φωτογραφίες και παραδείγματα, με σκοπό να κατανοηθεί η χρησιμότητα των δοκιμών αυτών στην κατασκευή έργων μεγάλης κλίμακας και ιδιαίτερης σημασίας.



Σχ. 4.20 Trump International Hotel and Tower στο Σικάγο

Σχ. 4.21 Trump International Hotel and Tower στο Σικάγο

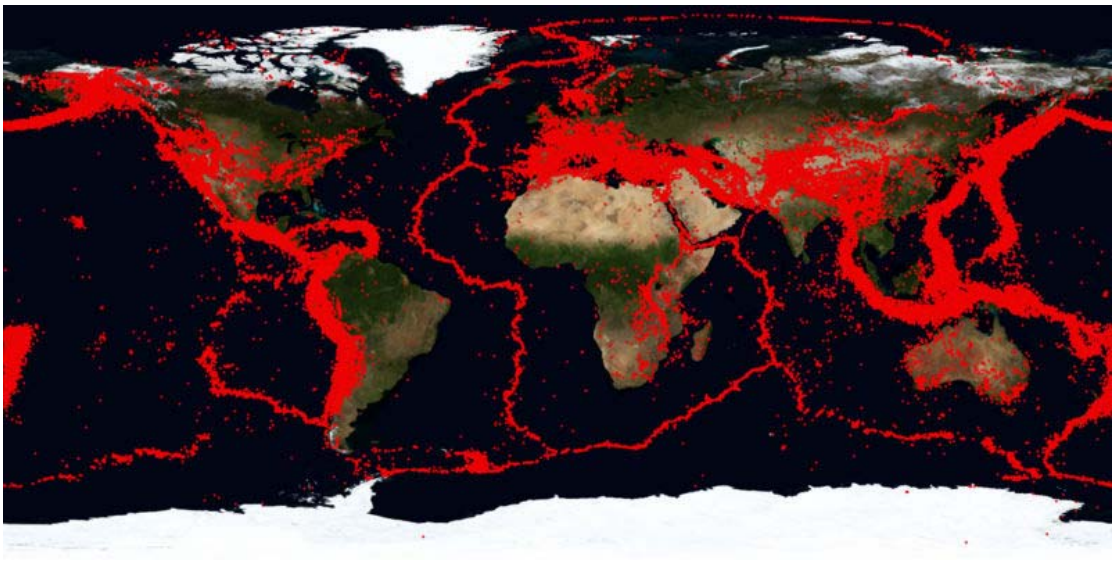


Σχ. 4.22 Μοντέλο για δοκιμή της στέγης του γηπέδου Manchester Soccer Stadium

4.3 Σεισμός

Ο σεισμός είναι ένα φυσικό φαινόμενο, το οποίο προκαλείται από ξαφνική απελευθέρωση μηχανικής ενέργειας από το εσωτερικό της γης με συνέπεια τη δημιουργία σεισμικών κυμάτων. Τα κύματα αυτά μεταφέρουν την ενέργεια του σεισμού και προκαλούν ταλαντώσεις και αναταράξεις του εδάφους, καθώς και επιβάλλουν μετακινήσεις μεταβαλλόμενης φοράς. Οι μετακινήσεις αυτές του εδάφους υποβάλλουν τις κατασκευές σε ανακυκλιζόμενες μετακινήσεις. Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται είναι εσωτερικές αντιδράσεις και τείνουν να διατηρήσουν την αρχική κατάσταση της κατασκευής, την ηρεμία έναντι στην επιβαλλόμενη κίνηση που προκαλείται από την κίνηση του εδάφους. Τα φορτία του σεισμού κατατάσσονται στις έμμεσες δράσεις διότι ο σεισμός δεν επιβάλλει δυνάμεις πάνω στην κατασκευή, αλλά μετακινήσεις εναλλασσόμενης φοράς και από αυτές δημιουργούνται οι προαναφερόμενες εσωτερικές δυνάμεις, οι αδρανειακές.

Η Ελλάδα είναι μία χώρα με έντονη σεισμική δραστηριότητα, όπως φαίνεται και στον παρακάτω χάρτη. Συνεπώς στις μελέτες για το σχεδιασμό των κατασκευών θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο κομμάτι της αντισεισμικής μελέτης και να ακολουθούνται πλήρως οι κανονισμοί.



Σχ. 4.23 Παγκόσμιος Χάρτης Σεισμικής Δραστηριότητας 1973-2006.

Σύμφωνα με τον ΕΑΚ (Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός), ο ορισμός των σεισμικών δράσεων ως ταλαντωτικών κινήσεων του εδάφους και όχι ως σεισμικών δυνάμεων της κατασκευής, είναι σύμφωνος με την πραγματική φύση του φαινομένου. Με βάση τον ορισμό αυτό, οι εισαγόμενες στην κατασκευή δυνάμεις, λόγω αδράνειας μαζών, προκύπτουν ως συνέπεια των σεισμικών δράσεων.

Αδρανειακές δυνάμεις:

Λόγω του σεισμού αναπτύσσονται αδρανειακές δυνάμεις στο εσωτερικό μιας κατασκευής, οι οποίες τείνουν να διατηρήσουν την αρχικώς ηρεμούσα κατάσταση της κατασκευής έναντι της αιφνιδίως επιβαλλόμενης μετατόπισης του εδάφους. Η μετατόπιση του εδάφους είναι εναλλασόμενης φοράς και επιβάλλει μία επιταχυνόμενη κίνηση στην κατασκευή. Οι αδρανειακές δυνάμεις υπακούν στο νόμο του Νεύτωνα και δίνονται από τη σχέση $F = m \cdot a$.

F: συμβολίζεται η δύναμη, η οποία η αδρανειακή δύναμη που αναπτύσσεται στο εσωτερικό της κατασκευής και αναφέρεται στον ΕΑΚ ως "απόκριση" της κατασκευής.

m: συμβολίζεται η μάζα, η οποία είναι η μάζα της κατασκευής ή η μάζα των επιμέρους στοιχείων της (δοκοί, στύλοι, κλπ). Η μάζα της κατασκευής ή στοιχείου αυτής υπακούει στο νόμο:

$$B = m \cdot g \Rightarrow m = \frac{B}{g}$$

B: θεωρούμε ένα συνδυασμό κατακόρυφων φορτίων, ο οποίος συνήθως είναι
B = [μόνιμα φορτία + 0.3 (φορτία χιονιού)] (kN/m)

g: είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας συνήθως ίση με $\cong 10 m/s^2$.

α: συμβολίζεται η επιτάχυνση, η οποία είναι η επιτάχυνση που επιβάλλεται από το έδαφος στην κατασκευή, λόγω της μετακίνησης του εδάφους. Στον ΕΑΚ (Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός) η σεισμική επιτάχυνση του εδάφους δίνεται, ανηγμένη στην επιτάχυνση της βαρύτητας.

Σεισμικές διεγέρσεις:

Οι σεισμικές διεγέρσεις σχεδιασμού ορίζονται στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους. Η σεισμική κίνηση τυχόντος σημείου του εδάφους στον χώρο αθορίζεται με τη βοήθεια των δύο οριζόντιων και κάθετων μεταξύ τους συνιστωσών της (με τυχόντα προσανατολισμό) και της κατακόρυφης συνιστώσας. Οι τρεις αυτές συνιστώσες θεωρούνται μεταξύ τους στατιστικά ανεξάρτητες. Η κατακόρυφη συνιστώσα επιτρέπεται να παραλειφθεί, εάν δεν υπάρχουν φορείς από προεντεταμένο σκυρόδεμα και δοκών με φυτευτά υποστυλώματα. Ο λόγος που μπορεί να παραλειφθεί η επιρροή της συνιστώσας αυτής είναι διότι θεωρείται ότι καλύπτεται από τους συντελεστές ασφαλείας.

Μέθοδοι υπολογισμού:

Προβλέπονται δύο μέθοδοι γραμμικού υπολογισμού της σεισμικής απόκρισης:

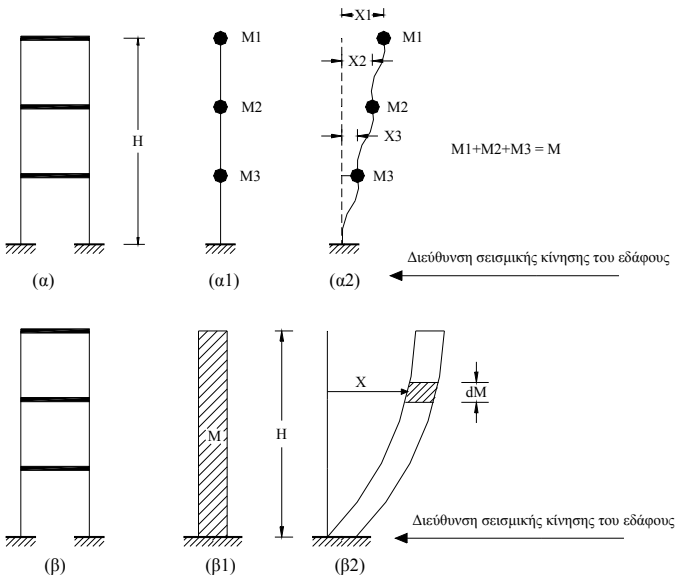
Α) Δυναμική Φασματική Μέθοδος.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται χωρίς περιορισμούς σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις κατασκευών. Υπολογίζονται οι πιθανές ακραίες τιμές τυχόντος μεγέθους απόκρισης με τετραγωνική επαλληλία των ιδιομορφικών τιμών του υπόψη μεγέθους. Για κάθε συνιστώσα της σεισμικής διέγερσης θα λαμβάνεται υπόψη ένας αριθμός ιδιομορφών, έως ότου το άθροισμα των δρωσών ιδιομορφικών μαζών φθάσει το 90% της συνολικής ταλαντούμενης μάζας του συστήματος.

Β) Απλοποιημένη Φασματική Μέθοδος (Ισοδύναμη Στατική Μέθοδος).

Η μέθοδος αυτή προκύπτει σπό τη Δυναμική Φασματική με προσεγγιστική θεώρηση μονο της θεμελιώδους ιδιομορφής ταλάντωσης γαια κάθε διεύθυνση υπολογισμού. Η απλοποίηση αυτή επιτρέπει τον υπολογισμό της σεισμικής απόκρισης με τη βοήθεια «ισοδύναμων» σεισμικών δυνάμεων, οι οποίες εφαρμόζονται σαν στατικά φορτία πάνω στην κατασκευή.

Πρέπει να τονιστεί πως και οι δύο μέθοδοι υιοθετούν την παραδοχή συγκεντρωμένων μαζών στα άκρα των δοκών και των υποστυλωμάτων μιας κατασκευής (διακριτά συστήματα μονοβάθμια ή πολυβάθμια). Στην πραγματικότητα βέβαια η μάζα κάθε κατασκευής είναι ομοιόμορφα διανεμημένη κατά μήκος των στοιχείων της και το φαινόμενο του σεισμού έχει δυναμικό χαρακτήρα. Αυτό γίνετα πιο εύκολα κατανοητό με το παρακάτω σχήμα που φαίνεται η διάκριση μεταξύ συνεχών και διακριτών συστημάτων.



Σχ. 4.24 Διάκριση μεταξύ συνεχών και διακριτών συστημάτων.

Καλύτερο θεωρείται το προσομοίωμα με το οποίο επιτυχάνεται αναπαραγωγή των σημαντικότερων δυνάμεων αδράνειας με τον μικρότερο αριθμό ελευθεριών κίνησης. Η καλύτερη επιστημονική προσέγγιση είναι να θεωρήσουμε συνεχές σύστημα και να γίνει μελέτη μέσω της δυναμικής ανάλυσης, όντας όμως μία διαδικασία χρονοβόρα, γίνεται για μεγάλης κλίμακας έργα. Πρέπει πάντως να προβλέπεται επαρκής υπεραντοχή των τμημάτων του φορέα που προορίζονται να παραμείνουν στην ελαστική περιοχή ώστε να εξασφαλίζεται ο περιορισμός της διαρροής στις περιοχές πλαστικών αρθρώσεων.

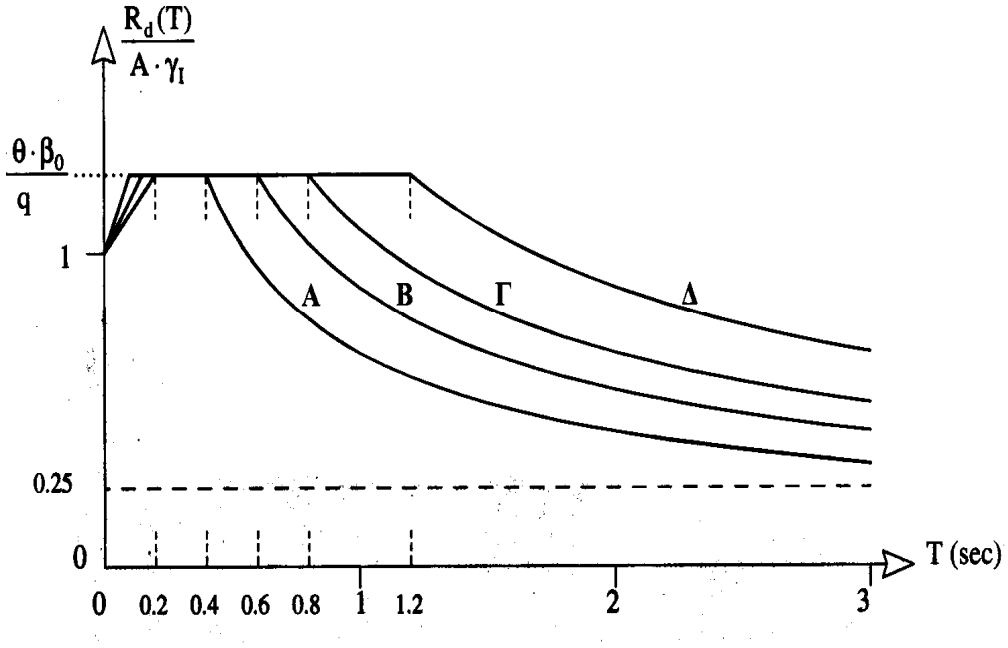
Φάσματα σχεδιασμού:

Οι σεισμικές διεγέρσεις καθορίζονται με τη βοήθεια φασμάτων απόκρισης (σε όρους επιτάχυνσης) ενός μονοβάθμιου ταλαντωτή. Το φάσμα αποκρίσεως είναι η περιβάλλουσα της συμπεριφοράς μονοβάθμιων ταλαντωτών, για ένα δεδομένο σεισμό, ως προς την ιδιοπερίοδο των μονοβάθμιων αυτών ταλαντωτών, για μια δεδομένη απόσβεση. Το φάσμα απόκρισης αναφέρεται σε ένα δεδομένο σεισμό και όχι στον μονοβάθμιο ταλαντωτή. Ο μονοβάθμιος ταλαντωτής είναι η προσομοίωση που εξάγονται τα αποτελέσματα ενός σεισμού.

Τα φάσματα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες α) των ολικών επιταχύνσεων, δηλαδή του απόλυτου αθροίσματος της επιτάχυνσης του εδάφους και της επιτάχυνσης της κατασκευής, β) των σχετικών ταχυτήτων και γ) των σχετικών μετακινήσεων. Περιλαμβάνουν δύο μέρη: το σχήμα του φάσματος και την ένταση των σεισμικών διεγέρσεων, η οποία εκτός από τη ζώνη της σεισμικής επικινδυνότητας, επηρεάζεται και από τις ελαστοπλαστκές και αποσβεστικές ικανότητες της ίδιας της κατασκευής.

- Οριζόντιες συνιστώσες

Το φάσμα σχεδιασμού των οριζόντιων συνιστωσών του σεισμού απεικονίζεται στο σχήμα 4.14 , στο οποίο οι τιμές των οριζόντιων επιταχύνσεων του εδάφους είναι οι τιμές σχεδιασμού (έχουν διαιρεθεί με το q) και όχι ελαστικές. Οι επιταχύνσεις σχεδιασμού συμβολίζονται ως $R_d(T)$.



Σχ. 4.25 Φάσμα επιταχύνσεων σχεδιασμού $R_d(T)/(A\gamma_1)$

[Σχεδίαση για θβ₀ / q = 2.5/2.0]

Στον ΕΑΚ δίνονται αναλυτικοί τύποι υπολογισμού της επιτάχυνσης σχεδιασμού

Περιοχή Περιόδων	Εξίσωση	
$0 \le T < T_1$	$R_d(T) = A \cdot \gamma_1 \left[1 + \frac{T}{T_1} \cdot \left(\frac{\theta}{q} \cdot \beta_o - 1 \right) \right]$	(4.3.1)
$T_1 \le T \le T_2$	$R_d(T) = A \cdot \gamma_1 \cdot \frac{\theta}{q} \cdot \beta_o$	(4.3.2)
$T_2 < T$	$R_d(T) = A \cdot \gamma_1 \cdot \frac{\theta}{q} \cdot \beta_o (T_2 / T)^{2/3}$	(4.3.3)

Όπου,

A είναι η μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση του εδάφους. $A = \alpha \cdot g$, όπου α είναι η εδαφική επιτάχυνση ανηγμένη στην επιτάχυνση της βαρύτητας. Τιμές για το α δίνονται στον πίνακα (4.) και g η επιτάχυνση της βαρύτητας.

γ_1 είναι ο συντελεστής σπουδαιότητας του δομήματος, που δίνεται στον πίνακα 4.

q συντελεστής συμπεριφοράς ή πλαστιμότητας.

θ είναι ο συντελεστής επιρροής θεμελίωσης και εξαρτάται γενικά από το βάθος και τη δυσκαμψία της θεμελίωσης. Σε εδάφη κατηγορίας Α και Β ο συντελεστής θ λαμβάνει την τιμή 1.0, ενώ σε εδάφη κατηγορίας Γ και Δ επιτρέπεται να λαμβάνει τις τιμές που δίνονται παρακάτω, όταν ισχύει τουλάχιστον μια από τις προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν σε αυτόν κι εφόσον η προκύπτουσα φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού δεν είναι

μικρότερη από εκείνη που θα προέκυπτε για έδαφος κατηγορίας Β.

T_1 και T_2 είναι οι χαρακτηριστικές περίοδοι του φάσματος σχεδιασμού, οι οποίες ορίζονται στον πίνακα (4.15) ανάλογα με τη σεισμική επικινδυνότητα του εδάφους θεμελίωσης.

- Κατασκευή με $T < T_1$ θεωρείται πλέον δύσκαμπτη, καθώς $T \sim \frac{1}{K}$
- Κατασκευή με $T > T_2$ θεωρείται πλέον εύκαμπτη.

β_o ο συντελεστής φασματικής επιτάχυνσης που λαμβάνεται ίσος με 2.5

Α, Β, Γ, Δ κατηγορία εδάφους

$\eta = \sqrt{\frac{7}{2+\zeta}} \geq 0.7$ διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης,

όπου ζ η κρίσιμη απόσβεση.

Σε κάθε περίπτωση απαιτείται: $\frac{R_d(T)}{A \cdot \gamma_1} \geq 0.25$

Στην περίπτωση μας η κατηγορία εδάφους είναι Β και μέσω των τιμών που παίρνουμε από τον πίνακα 4.15 υπολογίζουμε την μέγιστη επιτάχυνση σχεδιασμού που ενδέχεται να αναπτύξει η κατασκευή μας όταν πληγεί από τον σεισμό σχεδιασμού.

Κατηγορία εδάφους	Α	Β	Γ	Δ
T_1	0.10	0.15	0.20	0.20
T_2	0.40	0.60	0.80	1.20

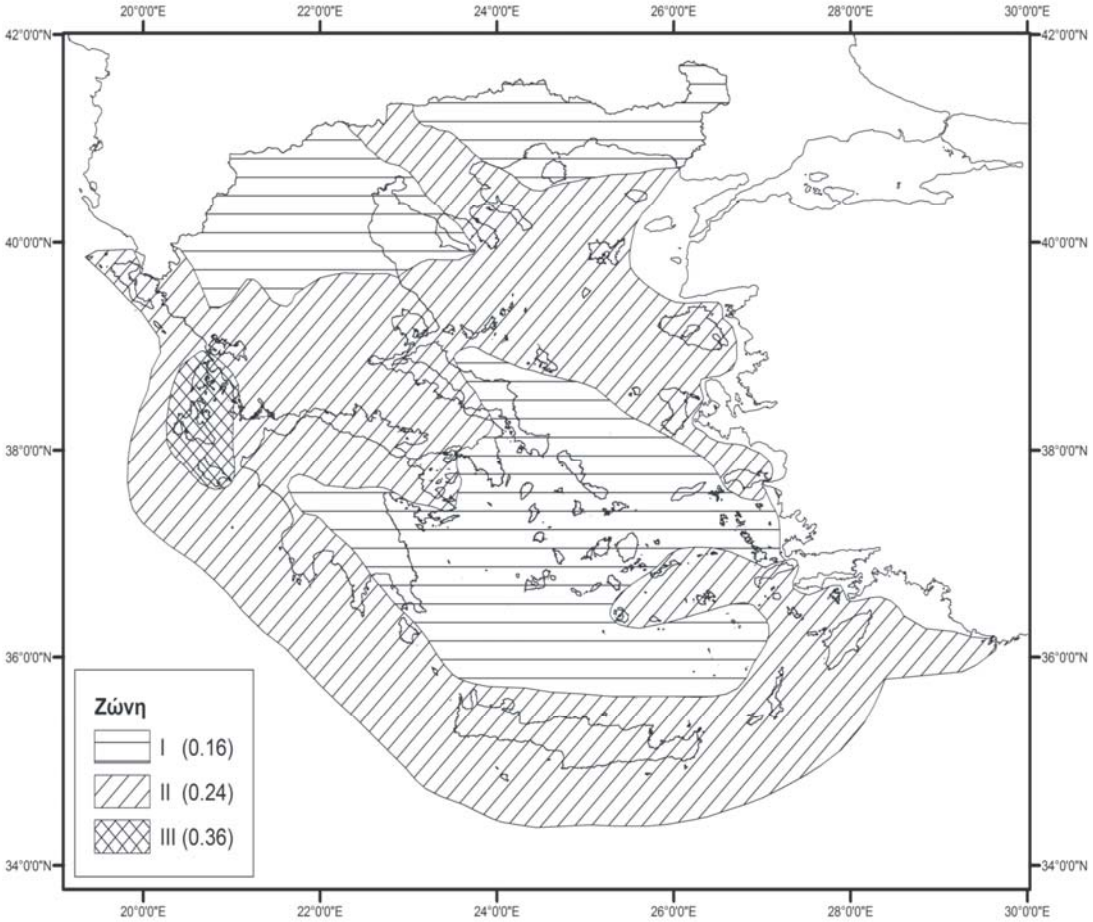
Πίνακας 4.26 Τιμές χαρακτηριστικών περιόδων

Η κατηγορία εδάφους Β αντιστοιχεί σε χαρακτηριστικά εδάφους που αναλύονται στον πίνακα 4.16. Οι καμπύλες Α, Β, Γ και Δ του φάσματος χρησιμοποιούνται ανάλογα με την κατηγορία εδάφους στην οποία θα ανεγερθεί η κατασκευή.

Κατηγορία	Περιγραφή
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 ιλυοαργυλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70m. Στρώσεις πολύ σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους έως 70m.
Β	Εντόνως αποσαθρωμένα βραχώδη ή εδάφη που από μηχανικής άποψης μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη. Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5m ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70m. Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70m.
Γ	Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικής πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5m ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70m.
Δ	Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλαστιμότητας ($\ell_p > 50$) συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10m.
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. (Βλπ. και παρ. 5.1[3]). Απότομες κλιτείς καλυπτόμενες με προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων. Χαλαρά κοκκώδη ή μαλακά ιλυοαργιλικά εδάφη, εφόσον έχει αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνα από άποψη δυναμικής συμπυκνώσεως ή απώλειας αντοχής. Πρόσφατες χαλαρές επιχωματώσεις (μπάζα). Οργανικά εδάφη. Εδάφη κατηγορίας Γ με επικινδύνως μεγάλη κλίση.

Πίνακας 4.27 Κατηγορίες εδάφους.

Οι περιοχές της Ελλάδας είναι χωρισμένες σε ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας I, II, III, όπως φαίνεται στο χάρτη του σχήματος 4.17.



Σχ. 4.28 Χάρτης Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας.

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας	I	II	III
α	0.16	0.24	0.36

Πίνακας 4.29 Τιμές του συντελεστή α αναλόγα με τη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας.

Α/Α Νομού	Νομός	Δήμοι	Ζώνη	aB_{gR}/g
1	ΑΘΗΝΩΝ	Δ. ΑΓΙΑΣ ΒΑΡΒΑΡΑΣ	Ζ1	0,16
		Δ. ΑΓΙΑΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	Ζ1	0,16
		Δ. ΑΓΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	Ζ1	0,16
		Δ. ΑΘΗΝΑΙΩΝ	Ζ1	0,16
		Δ. ΑΙΓΑΛΕΩ	Ζ1	0,16
		Δ. ΑΛΙΜΟΥ	Ζ1	0,16
		Δ. ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ	Ζ1	0,16
		Δ. ΑΡΓΥΡΟΥΠΟΛΕΩΣ	Ζ1	0,16
		Δ. ΒΡΙΛΗΣΣΙΩΝ	Ζ1	0,16
		Δ. ΒΥΡΩΝΟΣ	Ζ1	0,16
		Δ. ΓΑΛΑΤΣΙΟΥ	Ζ1	0,16
		Δ. ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ	Ζ1	0,16
		Δ. ΝΕΑΣ ΣΜΥΡΝΗΣ	Ζ1	0,16
		Δ. ΝΕΑΣ ΧΑΛΚΗΔΟΝΟΣ	Ζ1	0,16
		Δ. ΝΕΟΥ ΨΥΧΙΚΟΥ	Ζ1	0,16
		Δ. ΠΑΛΑΙΟΥ ΦΑΛΗΡΟΥ	Ζ1	0,16
		Δ. ΠΑΠΑΓΟΥ	Ζ1	0,16
		Δ. ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΥ	Ζ1	0,16
		Δ. ΠΕΥΚΗΣ	Ζ1	0,16
		Δ. ΤΑΥΡΟΥ	Ζ1	0,16
		Δ. ΥΜΗΤΤΟΥ	Ζ1	0,16
		Δ. ΦΙΛΟΘΕΗΣ	Ζ1	0,16
		Δ. ΧΑΪΔΑΡΙΟΥ	Ζ1	0,16
		Δ. ΧΑΛΑΝΔΡΙΟΥ	Ζ1	0,16
		Δ. ΧΟΛΑΡΓΟΥ	Ζ1	0,16
		Δ. ΨΥΧΙΚΟΥ	Ζ1	0,16
		Κ. ΕΚΑΛΗΣ	Ζ1	0,16
		Κ. ΝΕΑΣ ΠΕΝΤΕΛΗΣ	Ζ1	0,16
		Κ. ΠΕΝΤΕΛΗΣ	Ζ1	0,16
		Δ. ΑΓΙΩΝ ΑΝΑΡΓΥΡΩΝ	Ζ2	0,24
		Δ. ΙΛΙΟΥ	Ζ2	0,24
		Δ. ΚΑΜΑΤΕΡΟΥ	Ζ2	0,24
		Δ. ΛΥΚΟΒΡΥΣΕΩΣ	Ζ2	0,24
		Δ. ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ	Ζ2	0,24
		Δ. ΝΕΑΣ ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑΣ	Ζ2	0,24
		Δ. ΠΕΤΡΟΥΠΟΛΕΩΣ	Ζ2	0,24

Πίνακας 4.30 Τιμές του συντελεστή α αναλόγα με τη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας για διάφορους δήμους της Αθήνας.

Στον αντισεισμικό σχεδιασμό παίζουν σημαντικό ρόλο στην ασφαλή θεμελίωση και συμπεριφορά της κατασκευής έναντι σεισμού, τα χαρακτηριστικά του εδάφους θεμελίωσης. Η περιοχή που βρίσκεται το γήπεδο Απόστολος Νικολαϊδης ανήκει στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Ι, όπου α=0,16 και Α=0,16 · g= 15,7 m/sec^2 (εφόσον g=9,81 m/sec^2). Επιπλέον, το έδαφος είναι κατηγορίας Β και επομένως οι χαρακτηριστικές ιδιοπερίοδοι είναι ίσες με T_1= 0,15 sec και T_2= 0,60 sec.

Απομένει ο υπολογισμός των υπολοίπων παραμέτρων:

Κατηγορία σπουδαιότητας		γ_1
Σ_1	• Κτίρια μικρής σπουδαιότητας ως προς την ασφάλεια του κοινού, π.χ. αγροτικά οικήματα (υπόστεγα, στάβλοι, κ.λ.π.).	0.85
Σ_2	• Συνήθη κτίρια κατοικιών και γραφείων, βιομηχανικά κτίρια, ξενοδοχεία, κ.λ.π.	1.00
Σ_3	• Εκπαιδευτικά κτίρια, κτίρια δημόσιων συναθροίσεων, αίθουσες αεροδρομίων και γενικώς κτίρια στα οποία ευρίσκονται πολλοί άνθρωποι κατά τη διάρκεια του 24ώρου. • Κτίρια τα οποία στεγάζουν εγκαταστάσεις πολύ μεγάλης οικονομικής αξίας (π.χ. κτίρια που στεγάζουν υπολογιστικά κέντρα, ειδικές βιομηχανίες, κ.λ.π.).	1.15
Σ_4	• Κτίρια των οποίων η λειτουργία, τόσο κατά την διάρκεια του σεισμού, όσο και μετά τους σεισμούς, είναι ζωτικής σημασίας, όπως κτίρια τηλεπικοινωνίας, παραγωγής ενέργειας, νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, κτίρια δημόσιων επιτελικών υπηρεσιών. • Κτίρια που στεγάζουν έργα μοναδικής καλλιτεχνικής αξίας (π.χ. μουσεία, κ.λ.π.).	1.30

Πίνακας 4.31 Συντελεστές σπουδαιότητας κτιρίων.

Θεωρούμε ότι η κατασκευή ανήκει σε κατηγορία συντελεστή σπουδαιότητας Σ_3 και ως επακόλουθο ο συντελεστής $\gamma_1 = 1.15$.

Προϋποθέσεις		θ
1α 1β 1γ	Το κτίριο διαθέτει ένα υπόγειο. Η θεμελίωση του κτιρίου είναι γενική κοιτόστρωση. Η θεμελίωση του κτιρίου είναι με πασσάλους που φέρουν δοκούς συνδέσεως στην κεφαλή.	0.90
2α 2β 2γ	Το κτίριο διαθέτει τουλάχιστον δύο υπόγεια. Το κτίριο διαθέτει ένα τουλάχιστον υπόγειο και η θεμελίωση είναι γενική κοιτόστρωση. Η θεμελίωση του κτιρίου είναι με πασσάλους που συνδέονται με ενιαίο κεφαλόδεσμο (όχι αναγκαστικά ενιαίου πάχους).	0.80
Παρατήρηση:	Υπόγειος θεωρείται ένας όροφος όταν έχει περιμετρικά τοιχεία έτσι ώστε οι συνδεόμενες πλάκες να είναι πρακτικά αμετάθετες.	

Πίνακας 4.32 Συντελεστής θεμελίωσης θ

Όπως προαναφέρθηκε όταν η κατασκευή (στην προκειμένη περίπτωση το στέγαστρο) θεμελιώνεται σε κατηγορία Α ή Β ο συντελεστής θ παίρνει την τιμή θ=1.0.

Ωπλισμένο σκυρόδεμα		
	Δομικό σύστημα	q
Α	Πλαίσια ή μικτά συστήματα.	3.5
Β	Φορείς αποτελούμενοι μόνο από τοιχώματα που λειτουργούν σαν πρόβολοι.	3.0
Γ	Φορείς οι οποίοι συνίστανται ουσιαστικώς από ένα πρόβολο και άνω του 50% της συνολικής μάζας του δομήματος είναι συγκεντρωμένο στο ανώτερο 1/3 του ύψους του δομήματος.	2.0
Οι παραπάνω τιμές του q αφορούν κυρίως μονολιθικές κατασκευές.		
Τοιχοποιίες		
	Δομικό σύστημα	q
Α	Τοιχοποιία με οριζόντια διαζώματα.	1.5
Β	Τοιχοποιία με οριζόντια και κατακόρυφα διαζώματα.	2.0
Γ	Τοιχοποιία ωπλισμένη (κατακορύφως και οριζοντίως).	2.5

Χάλυβας		
	Δομικό σύστημα	q
Α	Πλαίσια.	4.0
Β	Δικτυωτοί σύνδεσμοι χωρίς εκκεντρότητα.	4.0
Β.1	Δικτυωτοί σύνδεσμοι.	3.0
Β.2	Σύνδεσμοι τύπου V ή Λ.	1.5
Β.3	Σύνδεσμοι τύπου Κ (όπου επιτρέπονται).	1.0
Γ	Δικτυωτοί σύνδεσμοι με εκκεντρότητα.	4.0

Πίνακας 4.33 Μέγιστες Τιμές Συντελεστών Σεισμικής Συμπεριφοράς q.

Επιλέγουμε από τον πίνακα συντελεστή συμπεριφοράς q=1.50 για κατασκευή από χάλυβα, με δικτυωτούς συνδέσμους τύπου V χωρίς εκκεντρότητα.

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

Πίνακας 4.34 Τιμές ποσοστού απόσβεσης ζ.

Από τον πίνακα 4.28 για μεταλλική κατασκευή με κοχλιώσεις παίρνουμε τιμή για το ζ ίση με ζ=4%.

4.4 Οριακές καταστάσεις

Κατά τη διάρκεια ζωής μιας κατασκευής δρουν σε αυτή το ίδιο βάρος της (μόνιμο φορτίο), κινητά φορτία, σεισμός, άνεμος, χιόνι κ.ά. (μεταβλητές δράσεις). Η κατασκευή θα πρέπει να σχεδιαστεί και να διαστασιολογηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλιστεί η φέρουσα ικανότητα και λειτουργικότητά της. Η κατασκευή θα πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε να μην βρεθεί σε καταστάσεις τέτοιες ώστε να μην ανταποκρίνεται πια στα κριτήρια λειτουργικότητας ή φέρουσας ικανότητας. Οι ακραίες αυτές καταστάσεις κατά τις οποίες μια κατασκευή θεωρείται πια ακατάλληλη ονομάζονται οριακές καταστάσεις.

Στην περίπτωση αυτή, οι αντιστάσεις δεν ικανοποιούν πλέον την απαίτηση του κανονισμού να είναι μεγαλύτερες από τις δράσεις και εμφανίζονται οι πρώτες παραμορφώσεις και πλέον είναι πιθανή η αστοχία του φορέα.

Υπάρχουν δυο κατηγορίες οριακών καταστάσεων:

Α) *οι οριακές καταστάσεις αστοχίας*, οι οποίες αντιστοιχούν στη μέγιστη φέρουσα ικανότητα.

Β) *οι οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας*, οι οποίες συνδέονται με τα κριτήρια που διέπουν την κανονική χρήση και ανθεκτικότητα.

Οι οριακές καταστάσεις αστοχίας αντιστοιχούν σε κατάρρευση και σε άλλου είδους αστοχίες, ενώ οι οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας είναι εκείνες πέραν των οποίων δεν ικανοποιούνται τα κριτήρια λειτουργικότητας της κατασκευής και εμφανίζονται στην κατασκευή μεγάλες παραμορφώσεις που προκαλούν βλάβες ή ακόμη και μεγάλες ταλαντώσεις που δημιουργούν άσχημο συναίσθημα για τους χρήστες.

- **Συνδυασμοί στην οριακή κατάσταση αστοχίας**

Οι συνδυασμοί σχεδιασμού που ορίζονται για τον έλεγχο στην οριακή κατάσταση αστοχίας είναι οι ακόλουθοι:

α. Για καταστάσεις διαρκείας ή παροδικές.

$$S_d = \sum_{j\geq 1} \gamma_{Gj*}G_{kj} + \gamma_p{*}P_k + \gamma_{Q1*}Q_{k1} + \sum_{j\geq 1} \gamma_{Qi*}\Psi_{oi*}\, Q_{ki} \quad (4.4.1)$$

β. Για τυχηματικές καταστάσεις

$$S_d = \sum_{j\geq 1} \gamma_{GAj*}G_{kj} + \gamma_{PA*}P_k + A_d + \psi_{1i*}\, Q_{k1} + \sum_{j\geq 1} \psi_{2i*}Q_{ki} \quad (4.4.2)$$

γ. Για καταστάσεις σεισμού

$$S_d = \sum_{j\geq 1} G_{kj} + P_k + \gamma_{1*}A_{Ed} + \sum_{j\geq 1} \psi_{2i*}Q_{ki} \quad (4.4.3)$$

Η μορφή των συνδυασμών είναι συμβολική και το σύμβολο του αθροίσματος δεν σημαίνει άθροιση, αλλά επαλληλία δράσεων.

+	«επαλληλία»
G_{kj}	η χαρακτηριστική τιμή των μονίμων δράσεων
P_k	η χαρακτηριστική τιμή της προέντασης
Q_{ki}	η χαρακτηριστική τιμή της μεταβλητής δράσης i
A_d	η τιμή σχεδιασμού της τυχηματικής δράσης
A_{Ed}	η τιμή σχεδιασμού της σεισμικής δράσης
γ_{Gi}, γ_{GAj}	οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για τη μόνιμη δράση j
γ_p, γ_{PA}	οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για τη προένταση
γ_{Qi}	ο συντελεστής σπουδαιότητας
ψ_{oi}, ψ_{1i}, ψ_{2i}	συντελεστές συνδυασμού των μεταβλητών δράσεων

Με βάση τα παραπανώ μπορούμε να δημιουργήσουμε πολλούς διαφορετικούς συνδυασμούς δράσεων. Πρέπει όμως να γίνει αντιληπτό πως υπάρχουν δράσεις που δεν είναι δυνατό να εμφανιστούν ταυτόχρονα και έτσι λοιπόν δεν γίνεται να υπολογιστούν. Οι συμντελεστές χρησιμοποιούνται προκειμένου να ληφθούν υπόψη κάποιες αποκλίσεις και αβεβαιότητες της πραγματικότητας από την μαθηματική προσομοίωση.

1. Μόνιμες και μεταβλητές δράσεις

- Για μόνιμες δράσεις :

γ_{Gsup} = 1,35 (δυσμενής φόρτιση)

γ_{Ginf} = 1,00 (ευμενής φόρτιση)

- Για μεταβλητές δράσεις :

γ_Q = 1,50

2. Τυχηματικές δράσεις

- γ_A = 1,0

Οι συντελεστές ψ_i των μεταβλητών δράσεων χρησιμοποιούνται προκειμένου να ληφθεί υπόψη η μειωμένη πιθανότητα για τη συνύπαρξη των πλέον δυσμενών τιμών των διαφόρων ανεξάρτητων δράσεων.

Δράσεις	**ψ0**	**ψ1**	**ψ2**
Ωφέλιμα φορτία κτιρίων			
- Κατηγορία A: κατοικίες	0,7	0,5	0,3
- Κατηγορία B: κτίρια γραφείων	0,7	0,5	0,3
- Κατηγορία C: χώροι συγκέντρωσης κοινού	0,7	0,7	0,6
- Κατηγορία D: εμπορικά κέντρα	0,7	0,7	0,6
- Κατηγορία E: χώροι αποθήκευσης	1,0	0,9	0,8
Φορτία ανέμου σε κτίρια	0,6		
- Κατηγορία F:όχημα βάρους<30 KN	0,7	0,7	0,3
- Κατηγορία G: όχημα βάρους >30 KN και <160	0,7	0,5	0,0
- Κατηγορία H: μη βατά δάπεδα	0,0	0,0	0,0
3. Φορτία χιονιού σε κτίρια	0,6	0,2	0,0
4. Φορτία ανέμου σε κτίρια	0,6	0,5	0,0
5. Θερμοκρασία (όχι πυρκαγιάς) σε κτίρια	0,6	0,5	0,0

Πίνακας 4.35 Τιμές συντελεστή συνδυασμού ψ των μεταβλητών δράσεων κατά EC1.

- **Συνδυασμοί στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας**

Οι συνδυασμοί σχεδιασμού που ορίζονται για τον έλεγχο στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας είναι οι ακόλουθοι:

α. Χαρακτηριστικός συνδυασμός

$$S_d = \sum_{j\geq 1} G_{kj} + P_k + Q_{k1} + \sum_{j\geq 1} \psi_{0i} * Q_{ki} \quad (4.4.4)$$

β. Συχνός συνδυασμός

$$S_d = \sum_{j\geq 1} G_{kj} + P_k + \psi_{11} * Q_{k1} + \sum_{j\geq 1} \psi_{2i} * Q_{ki} \quad (4.4.5)$$

γ. Ημιμόνιμος συνδυασμός

$$S_d = \sum_{j\geq 1} G_{kj} + P_k + \sum_{j\geq 1} \psi_{2i} * Q_{ki} \quad (4.4.6)$$

- **Σεισμικός συνδυασμός δράσεων**

Ο σεισμός σχεδιασμού αποτελεί τυχηματική δράση, τα εντατικά μεγέθη της οποίας συνδυάζονται με εκείνα των λοιπών δράσεων σύμφωνα με τη σχέση:

$$S_d = G_k + P_\infty \pm E + \sum \psi_2 \cdot Q_{k,i} \quad (4.4.7)$$

G_k Είναι οι μόνιμες δράσεις με την χαρακτηριστική τους τιμή.

P_∞ Είναι η προένταση μετά τις χρόνιες απώλειες

E Είναι η δράση του σεισμού σχεδιασμού.

$Q_{k,i}$ Είναι η χαρακτηριστική τιμή της μεταβλητής δράσεως i

ψ_2 Είναι η τιμή του συντελεστή συνδυασμού για μακροχρόνιες μεταβλητές δράσεις. Οι τιμές του συντελεστή αυτού έχουν ήδη δοθεί, για λόγους εποπτικούς όμως δίνονται και από αυτή τη θέση μέσω του πίνακα 4.24.

1. Φορτία χρήσης	ψ_2
1.1 Κατοικίες, γραφεία, καταστήματα, ξενοδοχεία, νοσοκομεία	0.3
1.2 Χώροι συχνής συνάθροισής προσώπων (σχολεία, θέατρα, στάδια κ.λ.π.)	0.5
1.3 Χώροι στάθμευσης	0.6
1.4 Χώροι μακροχρόνιας αποθήκευσης (βιβλιοθήκες, αρχεία, αποθήκες, δεξαμενές, σιλό, υδατόπυργοι κ.λ.π.)	0.8
2. Άνεμος	0.0
3. Χιόνι (μη βατές στέγες)	0.3
Χιόνι (βατές στέγες)	0.0

Πίνακας 4.36 Συντελεστής συνδυασμού δράσεων ψ_2 κατά τον Ε.Α.Κ.

4.5 Συνδυασμοί Δράσεων

Οι συνδυασμοί των δράσεων με τους οποίους φορτίζεται η κατασκευή είναι οι παρακάτω:

- Κύριος συνδυασμός το Q

'1,35 G + 1,5Q'
'1,35 G + 1,5 Q + 0,9 W+ + 0,9 W0'
'1,35 G + 1,5 Q + 0,9 W+ + 0,9 W90'
'1,35 G + 1,5 Q + 0,9 W+ + 0,9 W180'
'1,35 G + 1,5 Q + 0,9 W+ + 0,9 W270'
'1,35 G + 1,5 Q + 0,9 W0- + 0,9 W0'
'1,35 G + 1,5 Q + 0,9 W90- + 0,9 W90'
'1,35 G + 1,5 Q + 0,9 W180- + 0,9 W180'
'1,35 G + 1,5 Q + 0,9 W270- + 0,9 W270'

'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·S'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·T+'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·T-'

'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W+ +1,5*0,6·W0 + 1,5*0,5·S'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W+ +1,5*0,6·W90 + 1,5*0,5·S'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W+ +1,5*0,6·W180 + 1,5*0,5·S'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W+ +1,5*0,6·W270 + 1,5*0,5·S'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W0- +1,5*0,6·W0 + 1,5*0,5·S'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W90- +1,5*0,6·W90 + 1,5*0,5·S'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W180- +1,5*0,6·W180 + 1,5*0,5·S'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W270- +1,5*0,6·W270 + 1,5*0,5·S'

'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W+ +1,5*0,6·W0 + 1,5*0,5·T+'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W+ +1,5*0,6·W90 + 1,5*0,5·T+'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W+ +1,5*0,6·W180 + 1,5*0,5·T+'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W+ +1,5*0,6·W270 + 1,5*0,5·T+'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W0- +1,5*0,6·W0 + 1,5*0,5·T+'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W90- +1,5*0,6·W90 + 1,5*0,5·T+'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W180- +1,5*0,6·W180 + 1,5*0,5·T+'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W270- +1,5*0,6·W270 + 1,5*0,5·T+'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W+ +1,5*0,6·W0 + 1,5*0,5·T-'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W+ +1,5*0,6·W90 + 1,5*0,5·T-'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W+ +1,5*0,6·W180 + 1,5*0,5·T-'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W+ +1,5*0,6·W270 + 1,5*0,5·T-'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W0- +1,5*0,6·W0 + 1,5*0,5·T-'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W90- +1,5*0,6·W90 + 1,5*0,5·T-'

'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W180- +1,5*0,6·W180 + 1,5*0,5·T-'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W270- +1,5*0,6·W270 + 1,5*0,5·T-'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W+ +1,5*0,6·W0 + 1,5*0,5·S+1,5*0,5·T-'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W+ +1,5*0,6·W90 + 1,5*0,5·S+1,5*0,5·T-'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W+ +1,5*0,6·W180 + 1,5*0,5·S+1,5*0,5·T-'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W+ +1,5*0,6·W270 + 1,5*0,5·S+1,5*0,5·T-'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W0- +1,5*0,6·W0 + 1,5*0,5·S+1,5*0,5·T-'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W90- +1,5*0,6·W90 + 1,5*0,5·S+1,5*0,5·T-'

'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W180- +1,5*0,6·W180 + 1,5*0,5·S+1,5*0,5·T-'
'1,35·G + 1,5·Q + 1,5*0,6·W270- +1,5*0,6·W270 + 1,5*0,5·S+1,5*0,5·T-'

- Κύριος συνδυασμός το S

'1,35 G + 1,5S'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W+ + 0,9 W0'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W+ + 0,9 W90'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W+ + 0,9 W180'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W+ + 0,9 W270'

'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W0- + 0,9 W0'

'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W90- + 0,9 W90'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W180- + 0,9 W180'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W270- + 0,9 W270'

'1,35·G + 1,5·S + 1,5*0,7·Q'
'1,35·G + 1,5·S + 1,5*0,6·Ô-'

'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W+ + 0,9 W0+1,5*0,7·Q'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W+ + 0,9 W90+1,5*0,7·Q'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W+ + 0,9 W180+1,5*0,7·Q'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W+ + 0,9 W270+1,5*0,7·Q'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W0- + 0,9 W0+1,5*0,7·Q'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W90- + 0,9 W90+1,5*0,7·Q'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W180- + 0,9 W180+1,5*0,7·Q'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W270- + 0,9 W270+1,5*0,7·Q'

'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W+ + 0,9 W0+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W+ + 0,9 W90+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W+ + 0,9 W180+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W+ + 0,9 W270+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W0- + 0,9 W0+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W90- + 0,9 W90+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W180- + 0,9 W180+1,5*0,6·T-'

'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W270- + 0,9 W270+1,5*0,6·T-'

'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W+ + 0,9 W0+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W+ + 0,9 W90+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W+ + 0,9 W180+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W+ + 0,9 W270+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W0- + 0,9 W0+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W90- + 0,9 W90+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W180- + 0,9 W180+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5 S + 0,9 W270- + 0,9 W270+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T-'

- Κύριος συνδυασμός το W

'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W0'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W90'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W180'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W270'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W0'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W90'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W180'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W270'

'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W0+1,5*0,7·Q'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W90+1,5*0,7·Q'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W180+1,5*0,7·Q'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W270+1,5*0,7·Q'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W0+1,5*0,7·Q'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W90+1,5*0,7·Q'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W180+1,5*0,7·Q'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W270+1,5*0,7·Q'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W0+1,5*0,6·S'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W90+1,5*0,6·S'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W180+1,5*0,6·S'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W270+1,5*0,6·S'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W0+1,5*0,6·S'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W90+1,5*0,6·S'

'1,35 G + 1,5W- +1,5 W180+1,5*0,6·S'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W270+1,5*0,6·S'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W0+1,5*0,6·T+'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W90+1,5*0,6·T+'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W180+1,5*0,6·T+'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W270+1,5*0,6·T+'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W0+1,5*0,6·T+'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W90+1,5*0,6·T+'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W180+1,5*0,6·T+'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W270+1,5*0,6·T+'

'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W0+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W90+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W180+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W270+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W0+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W90+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W180+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W270+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W0+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·S'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W90+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·S'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W180+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·S'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W270+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·S'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W0+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·S'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W90+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·S'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W180+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·S'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W270+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·S'

'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W0+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T+'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W90+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T+'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W180+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T+'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W270+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T+'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W0+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T+'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W90+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T+'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W180+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T+'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W270+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T+'

'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W0+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W90+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W180+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W270+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W0+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W90+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W180+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W270+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T-'

'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W0+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·S+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W90+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·S+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W180+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·S+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5W+ +1,5 W270+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·S+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W0+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·S+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W90+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·S+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W180+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·S+1,5*0,6·T-'
'1,35 G + 1,5W- +1,5 W270+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·S+1,5*0,6·T-'

- Κύριος συνδυασμός το T

'1,35 G + 1,5T+'
'1,35 G + 1,5T-'

'1,35 G + 1,5T+ +1,5*0,7Q'
'1,35 G + 1,5T- +1,5*0,7Q'

'1,35 G + 1,5 T+ + 0,9 W+ + 0,9 W0'
'1,35 G + 1,5 T+ + 0,9 W+ + 0,9 W90'
'1,35 G + 1,5 T+ + 0,9 W+ + 0,9 W180'
'1,35 G + 1,5 T+ + 0,9 W+ + 0,9 W270'
'1,35 G + 1,5 T+ + 0,9 W0- + 0,9 W0'
'1,35 G + 1,5 T+ + 0,9 W90- + 0,9 W90'

'1,35 G + 1,5 T+ + 0,9 W180- + 0,9 W180'
'1,35 G + 1,5 T+ + 0,9 W270- + 0,9 W270'

'1,35 G + 1,5 T- + 0,9 W+ + 0,9 W0'
'1,35 G + 1,5 T- + 0,9 W+ + 0,9 W90'
'1,35 G + 1,5 T- + 0,9 W+ + 0,9 W180'
'1,35 G + 1,5 T- + 0,9 W+ + 0,9 W270'
'1,35 G + 1,5 T- + 0,9 W0- + 0,9 W0'
'1,35 G + 1,5 T- + 0,9 W90- + 0,9 W90'
'1,35 G + 1,5 T- + 0,9 W180- + 0,9 W180'
'1,35 G + 1,5 T- + 0,9 W270- + 0,9 W270'
'1,35 G + 1,5 T+ + 0,9 W+ + 0,9 W0+1,5*0,7Q'
'1,35 G + 1,5 T+ + 0,9 W+ + 0,9 W90+1,5*0,7Q'
'1,35 G + 1,5 T+ + 0,9 W+ + 0,9 W180+1,5*0,7Q'
'1,35 G + 1,5 T+ + 0,9 W+ + 0,9 W270+1,5*0,7Q'
'1,35 G + 1,5 T+ + 0,9 W0- + 0,9 W0+1,5*0,7Q'
'1,35 G + 1,5 T+ + 0,9 W90- + 0,9 W90+1,5*0,7Q'
'1,35 G + 1,5 T+ + 0,9 W180- + 0,9 W180+1,5*0,7Q'
'1,35 G + 1,5 T+ + 0,9 W270- + 0,9 W270+1,5*0,7Q'

'1,35 G + 1,5 T- + 0,9 W+ + 0,9 W0+1,5*0,7Q'
'1,35 G + 1,5 T- + 0,9 W+ + 0,9 W90+1,5*0,7Q'
'1,35 G + 1,5 T- + 0,9 W+ + 0,9 W180+1,5*0,7Q'
'1,35 G + 1,5 T- + 0,9 W+ + 0,9 W270+1,5*0,7Q'
'1,35 G + 1,5 T- + 0,9 W0- + 0,9 W0+1,5*0,7Q'
'1,35 G + 1,5 T- + 0,9 W90- + 0,9 W90+1,5*0,7Q'
'1,35 G + 1,5 T- + 0,9 W180- + 0,9 W180+1,5*0,7Q'
'1,35 G + 1,5 T- + 0,9 W270- + 0,9 W270+1,5*0,7Q'

'1,35 G + 1,5 T- + 0,9 W+ + 0,9 W0+1,5*0,7Q+1,5*0,6S'
'1,35 G + 1,5 T- + 0,9 W+ + 0,9 W90+1,5*0,7Q+1,5*0,6S'
'1,35 G + 1,5 T- + 0,9 W+ + 0,9 W180+1,5*0,7Q+1,5*0,6S'
'1,35 G + 1,5 T- + 0,9 W+ + 0,9 W270+1,5*0,7Q+1,5*0,6S'
'1,35 G + 1,5 T- + 0,9 W0- + 0,9 W0+1,5*0,7Q+1,5*0,6S'
'1,35 G + 1,5 T- + 0,9 W90- + 0,9 W90+1,5*0,7Q+1,5*0,6S'
'1,35 G + 1,5 T- + 0,9 W180- + 0,9 W180+1,5*0,7Q+1,5*0,6S'
'1,35 G + 1,5 T- + 0,9 W270- + 0,9 W270+1,5*0,7Q+1,5*0,6S'

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Μελέτη φορέα

5.1 Κατασκευή φορέα με το Sofistik

Οι κύριοι φορείς, είναι οι τελικοί αποδέκτες των φορτίων της κατασκευής, τα οποία και μεταβιβάζουν μέσω της θεμελίωσής τους στο έδαφος. Για το σχεδιασμό και τη μελέτη του στεγάστρου χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Sofistik.

Για την ανάλυση μεταλλικών και σύμμικτων κατασκευών, οι φορείς διαχωρίζονται στα παρακάτω συστήματα:

• Γραμμικοί φορείς με χρήση ραβδωτών στοιχείων.

• Επιφανειακοί φορείς (κελύφη) με χρήση επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων.

• Μικτά συστήματα ραβδωτών και επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων.

• Σύμμικτοι φορείς.

Τα ακόλουθα στοιχεία παρέχονται από το πρόγραμμα, για την μόρφωση των συστημάτων αυτών. Η επίδραση του εδάφους μπορεί να προσομοιωθεί με ελαστικές εδράσεις με μη γραμμικές ιδιότητες ή με περιγραφή εδαφικών προφίλ σε συνεργασία με τα στοιχεία πασσάλων.

1. **Μοντελοποίηση**

Στο πρόγραμμα υπάρχουν τα εξής είδη στοιχείων:

Στοιχείο σχοινιού (καλώδιο) με εσωτερική κρέμαση. Σε μη γραμμική ανάλυση είναι στοιχείο που δέχεται μόνο εφελκυσμό.

truss bar

Στοιχείο ράβδου δικτυώματος με δυνατότητα αξονικής καταπόνησης.

beam element

Ραβδωτό στοιχείο μεταβλητής και έκκεντρης διατομής με δυνατότητα προέντασης. Μπορεί να παραλάβει στρέβλωση. Μπορεί να εδράζεται ελαστικά και να αποτελείται από υλικό με μη γραμμικές ιδιότητες.

pile element

Στοιχείο πασσάλου με μεταβλητή έδραση κατά τη περίμετρο και καθ' ύψος. Δίνει τη δυνατότητα περιγραφής διαφόρων εδαφικών προφίλ. Μπορεί να ληφθεί υπόψη μαζί με την ανωδομή.

quad element

Επιφανειακό πεπερασμένο στοιχείο τρίκομβο ή τετράκομβο. Πρόκειται για στοιχείο δίσκου, πλάκας ή κελύφους. Μπορεί να έχει μεταβλητό πάχος, να εδράζεται ελαστικά, να αποτελείται από υλικό με μη γραμμικές ιδιότητες και διαφορετικές στρώσεις, να φέρει προένταση και να έχει ορθότροπη συμπεριφορά.

bric element

Χωρικό πεπερασμένο στοιχείο. Μπορεί να είναι από τετράκομβο έως οκτάκομβο. Μπορεί να αποτελείται από υλικό με μη γραμμικές ιδιότητες ή να έχει ορθότροπη συμπεριφορά.

springs

Ελαστικές εδράσεις σε τυχαίες διευθύνσεις με μη γραμμικές ιδιότητες. Καθορισμός συνθηκών εξαρτήσεων κόμβων για την δημιουργία διαφόρων στηρίξεων, συνθηκών συμμετρίας, αντιμετρίας και κινηματικών εξαρτήσεων.

2. Επιβολή φορτίων στο φορέα

Η εισαγωγή των φορτίων στον φορέα γίνεται είτε γραφικά, είτε αναλυτικά, μέσω εντολών, όπου στην περίπτωσή μας η εισαγωγή έγινε με τη μορφή κώδικα.

Τα φορτία μπορεί να είναι σε τυχαίες διευθύνσεις και τυχαίες θέσεις:

• Συγκεντρωμένες δυνάμεις ή ροπές στους κόμβους ή σε οποιοδήποτε σημείο, επιφανειακών ή ραβδωτών στοιχείων, κεντρικά ή έκκεντρα.
• Υποχωρήσεις και στροφές στηρίξεων.
• Γραμμικά /επιφανειακά ομοιόμορφα, ή μεταβλητά κατανεμημένα φορτία (δυνάμεις και ροπές).
• Φορτία ανέμου, υδροστατικές πιέσεις, ωθήσεις γαιών.
• Επιβαλλόμενες παραμορφώσεις, κυρτώσεις και θερμοκρασιακές μεταβολές.
• Σεισμικά φορτία, στατικά ή δυναμικά.
• Αθέλητη εκκεντρότητα.
• Ειδική εφαρμογή για υπολογισμό φορτίων ανέμου σε κατασκευές εκτεθειμένες στον άνεμο.

Η κατανομή τυχαίων επιφανειακών φορτίων γίνεται αυτόματα σε ραβδωτά μέλη του φορέα. Αυτή η δυνατότητα εξυπηρετεί πολύ την περιγραφή φορτίων σε μεταλλικές κατασκευές, διότι έτσι απαλλάσσεται ο μελετητής από τον υπολογισμό των φορτίων που αναλογούν σε κάθε μέλος του φορέα.

Συγκεκριμένα για την φόρτιση του ανέμου λαμβάνονται υπόψη το ανάγλυφο του εδάφους, τα στατικά φορτία ανέμου που δρουν στα στοιχεία του φορέα και οι παράμετροι του ανέμου, που καθορίζονται από τους κανονισμούς: EC1, DIN 1055-4, 1056, 4131-A, 4133-A, 4228, VGB – BTR.

3. Ανάλυση και επίλυση συστημάτων

Η επίλυση των συστημάτων γίνεται με τη χρήση βάσεων δεδομένων και αλγορίθμων. Με τον τρόπο αυτό δεν υπεισέρχονται περιορισμοί στο μέγεθος των φορέων ή στις φορτίσεις που επιβάλλονται σε ένα σύστημα. Η μία μέθοδος επίλυσης συστημάτων είναι η κλασσική άμεση, η οποία γίνεται με παραγοντοποίηση του μητρώου δυσκαμψίας (direct solver) και η άλλη είναι η επαναληπτική μέθοδος (iterative solver) με την οποία μπορούν να λυθούν πολύ μεγάλα συστήματα σε σχετικά λίγο χρόνο.

Πολλές φορές είναι απαραίτητη η χρήση μη γραμμικής ανάλυσης, ώστε να μπορέσει ο μελετητής να προσεγγίσει σύνθετα φυσικά φαινόμενα. Η μη γραμμική ανάλυση αφορά:

Μη γραμμικότητες υλικού:

- Επιφανειακά ή γραμμικά διανεμημένη ελαστική έδραση, καθώς και μεμονωμένα ελατήρια που παίρνουν μόνο θλίψη, ή δέχονται ξεχωριστά τριβή και διαρροή, θραύση, χάσμα (gap) και προένταση. Είναι δυνατόν να καθοριστεί οποιαδήποτε γραμμή εργασίας (τάσεων-παρ/σεων) που θα καθορίζει την συμπεριφορά της ελαστικής έδρασης.
- Στοιχεία καλωδίων που μπορούν να πάρουν μόνο εφελκυσμό.
- Μη γραμμικές ιδιότητες υλικού σε όλα τα πεπερασμένα στοιχεία για υλικά σκυροδέματος και χάλυβα.
- Μη γραμμικές ιδιότητες υλικού σε χωρικά πεπερασμένα στοιχεία για οποιοδήποτε υλικό και με χρήση διαφόρων ελαστοπλαστικών κριτηρίων.

Γεωμετρικές μη γραμμικότητες:

- Θεωρία 2ης τάξης στα στοιχεία πασσάλων.
- Γεωμετρικά μη γραμμικά φαινόμενα για ράβδους δικτυώματος, ελατήρια και καλώδια.
- Θεωρία 2ης και 3ης τάξης για τα ραβδωτά στοιχεία με λυγισμό και ανατροπή.
- Γεωμετρικά μη γραμμικά προβλήματα κελυφών (λυγισμός, κύρτωση).

Στοιχείο	Μη γραμμική ανάλυση ως προς το υλικό	Γεωμετρική μη γραμμική ανάλυση
SPRI	ναι	ναι
TRUS	-	ναι
CABL	μόνο εφελκυστικές δυνάμεις	ναι+εσωτ. κρέμαση καλωδίου
BEAM	ναι	ναι
PILE	μόνο ελαστική έδραση	ναι
QUAD	ναι	ναι
BRIC	ναι	-
BOUN	-	-
FLEX	-	-
Halfspace	ναι	-

Πίνακας 5.1 Συνδυασμός μη γραμμικών φαινομένων.

4. Δυναμική ανάλυση

Γραμμική δυναμική ανάλυση

• Οι μάζες του φορέα μπορούν να κατανεμηθούν αυτόματα ή να οριστούν από τον χρήστη, συγκεντρωμένες σε τυχαίες θέσεις ή κατανεμημένες.

• Η εύρεση των ιδιοδιανυσμάτων και των ιδιοτιμών μπορεί να γίνει με την επαναληπτική μέθοδο 'Simultaneous Vector Iteration' ή με την μέθοδο Lanczos.

• Μη μεταβαλλόμενες ταλαντώσεις (steady state) και διέγερση μέσω φασμάτων. Υπάρχουν έτοιμα τα φάσματα σύμφωνα με τους γερμανικούς κανονισμούς (DIN 4149), ευρωκώδικα (EC8), ελληνικούς (ΕΑΚ), ελβετικούς (SIA), αυστριακούς (OENORM) κ.ά. Ακόμη, οι μέγιστες μετακινήσεις και τάσεις επαλληλίζονται με την μέθοδο CQC (Complete Quadratic Combination), ή το άθροισμα των απόλυτων τιμών, ή τη τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων (SRSS).

• Άμεση χρονική ολοκλήρωση των εξισώσεων κίνησης (direct integration) με την μέθοδο της κατά βήμα ολοκλήρωσης (time step integration) των Newmark-Wilson, κάτω από οποιαδήποτε απόσβεση.
• Χρονική ολοκλήρωση των εξισώσεων κίνησης με επαλληλία των ιδιομορφών για χρονικά μεταβαλλόμενη φόρτιση ή διέγερση από εδαφική επιτάχυνση.

Μη γραμμική δυναμική ανάλυση

Η μη γραμμική δυναμική ανάλυση επιτυγχάνεται με την χρήση της γενικής μεθόδου Newmark-Wilson με ολοκλήρωση των εξισώσεων κίνησης. Περιλαμβάνονται μη γραμμικές αποσβέσεις, εδράσεις, νόμοι υλικών και γεωμετρίας.

Μερικά παραδείγματα:
• Ταλάντωση γεφυρών με χρήση μεμονωμένων ελατήριων με πλαστική συμπεριφορά.
• Ισχυρή απόσβεση μέσω πλαστικών ζωνών (χάλυβας ή χάλυβας-σκυρόδεμα).
• Ταλαντώσεις κατασκευών με φαινόμενα όπως 'ανασήκωση εδράσεων'.
• Διερεύνηση εκρήξεων ή σεισμών με μη γραμμική συμπεριφορά υλικού.
• Δυναμική ανάλυση σε γεωμετρικά μη γραμμικά μοντέλα, όπως καλωδιωτές κατασκευές.

5. Έλεγχος διατομών και μελών

Για την διαστασιολόγηση μελών μεταλλικών κατασκευών, χρησιμοποιούνται οι διατάξεις του ευρωκώδικα 3 (EC3) και καλύπτονται οι παρακάτω έλεγχοι:
• Κατάταξη των διατομών.
• Διαστασιολόγηση μελών από τυποποιημένες διατομές σιδηροδοκών του εμπορίου.
• Έλεγχος αντοχής των διατομών σε αξονική δύναμη, τέμνουσα, ροπή καθώς και σε αλληλεπίδραση των παραπάνω εντατικών καταστάσεων.
• Έλεγχος των θλιβόμενων μελών σε απλό, καμπτικό και στρεπτοκαμπτικό λυγισμό.
• Δυνατότητα διαστασιολόγησης σύνθετων θλιβόμενων μελών.
• Δυνατότητα ελέγχου γωνιακών ελασμάτων κοχλιωμένων στο ένα πέλμα και μελών με απομειωμένη διατομή λόγω κοχλιώσεων ή άλλων οπών.

Το πρόγραμμα επιλέγει τη βέλτιστη διατομή για κάθε μέλος του φορέα με κριτήριο την ελαχιστοποίηση του συνολικού βάρους. Έτσι λοιπόν είναι δυνατή η βελτιστοποίηση φορέων που αποτελούνται από μέλη τύπου δικτυώματος. Τέλος, για την πιο εύκολη και σωστή αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, εμφανιζεται ο συντελεστής εκμετάλλευσης του κάθε μέλους, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει καλύτερη εκτίμηση των επιλεγμένων διατομών, εμφανίζονται τα αποτελέσματα ανά συντελεστή εκμετάλλευσης και τα αποτελέσματα ανά περιοχή συντελεστών εκμετάλλευσης. Έτσι, ξεχωρίζουν εύκολα ποιες από τις διατομές πρέπει να αλλάξουν λόγω αστοχίας ή λόγω υπερδιαστασιολόγησης.

5.2 Κατασκευή μοντέλου στεγάστρου

Το μοντέλο του στεγάστρου δημιουργήθηκε με τη μορφή κώδικα με σκοπό να είναι εύκολη η οποιαδήποτε παρέμβαση κατά την πορεία της εργασίας. Το σχεδιαστικό περιβάλλον Sofiplus (γραφική εισαγωγή δεδομένων σε AutoCAD) ενδεχομένως να έχει λιγότερο φόρτο εργασίας από τον παραμετροποιημένο κώδικα, αλλά η οποιαδήποτε αλλαγή στη μορφή του φορέα δεν θα ήταν τόσο απλή εφόσον θα έπρεπε να σχεδιαστούν από την αρχή ξανά τα υπόλοιπα μέλη που τυχόν επηρεάζονται.

Η προσομοίωση του φορέα έγινε με ραβδωτά πεπερασμένα στοιχεία. Τα στοιχεία σε κάθε κόμβο έχουν 6 βαθμούς ελευθερίας, δηλαδή 3 στροφές και 3 μετατοπίσεις. Για να ορίσουμε τα μέλη αυτά, η διαδικασία ήταν η ακόλουθη: ορίζονται αρχικά οι συνταταγμένες των κόμβων σε ένα καθολικό σύστημα συνταταγμένων και στη συνέχεια οι αντίστοιχοι κόμβοι ενώνονται με τις ράβδους και έτσι δημιουργείται ένας γραμμικός φορέας. Ακολουθεί περιγραφή των υποπρογραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν, το καθένα για διαφορετική εργασία.

1. AQUA: Ορισμός διατομών και υλικών του φορέα.
2. WinAQUA: Γραφική απεικόνιση των διατομών.
3. GENF: Δημιουργία του στατικού συστήματος του φορέα και ορισμός των συνοριακών συνθηκών.
4. STAR2: Φορτία και στατική επίλυση με θεωρία $1^{ης}$, $2^{ης}$ και $3^{ης}$ τάξης.

5. DYNA: Δυναμική ανάλυση.
6. MAXIMA: Συνδυασμοί φορτίσεων (υπολογισμός περιβάλλουσας εντατικών μεγεθών).
7. WinGRAF: Γραφική απεικόνιση του φορέα και των διαγραμμάτων των εντατικών μεγεθών.
8. STEEL MEMBERS: Έλεγχος της αντοχής των διατομών του φορέα κατά τον Ευρωκώδικα 3.

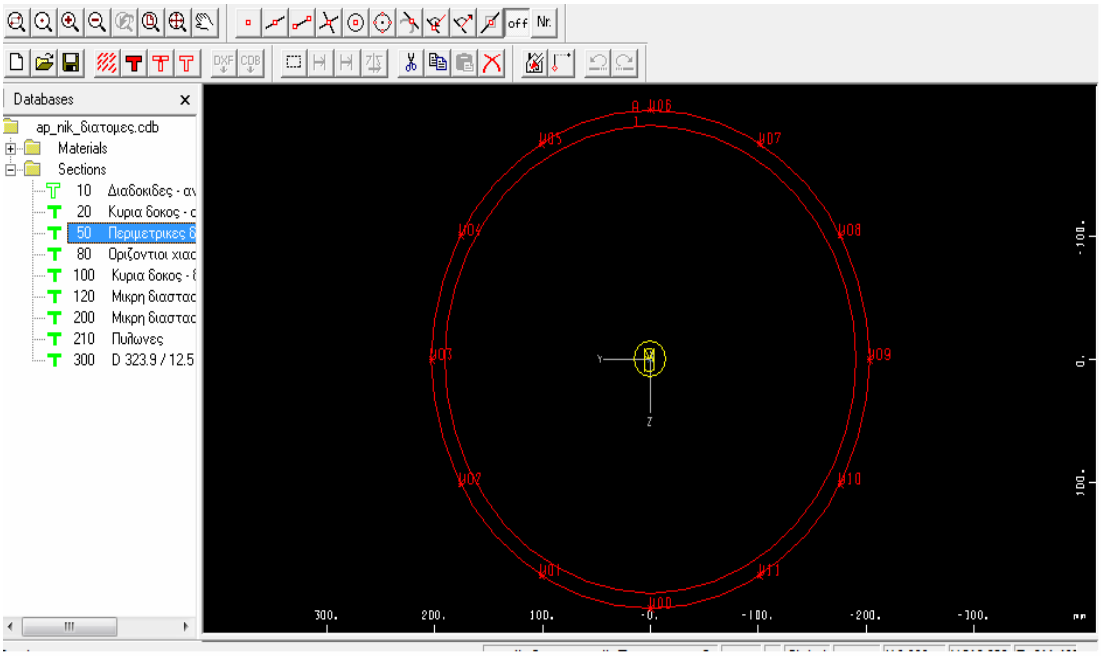
5.2.1 Υπορουτίνα AQUA

Στην υπορουτίνα αυτή εισάγονται διατομές οποιονδήποτε διαστάσεων, υλικών και υπολογίζονται τα ελαστικά και τα πλαστικά μεγέθη, καθώς επίσης και οι τάσεις των διατομών. Στον κώδικα έχουμε εισάγει τις διαστάσεις των διατομών και μέσω της παραμετροποίησης μας παρέχεται η δυνατότητα να τις αλλάζουμε κατά τη διάρκεια της επίλυσης του φορέα, όποτε και όπου είναι απαραίτητο.

```
+PROG AQUA urs:1
head
$BLOCK SET0
echo full full
NORM EC
page firs 1  line 56  form 0  pag 'page'
CTRL SDIV 3
$ΥΛΙΚΟ
stee  1  FE 510
stee  2  ps 0
$ΔΙΑΤΟΜΕΣ
sect  no 10  mno  1        TITL "Διαδοκιδες - ανω και κατω πελμα και τεγιδες"
prof  1  SH  #1  #3 17.5    dtyp s
tube     20  #2     #12    TITL "Κυρια δοκος - ανω και κατω πελμα"
tube     50  #8     #16  1 TITL "Περιμετρικες δοκοι"
tube     80  #8     #18  1 TITL "Οριζοντιοι χιαστι συνδεσμοι"
tube    100 #10     #20  1 TITL "Κυρια δοκος - διαγωνια μελη"
tube    210 4000    200  1 TITL "Πυλωνες"
tube    120 #6     #15     TITL "Μικρη διασταση κυρια δοκος"
tube    200 #7     #17   1 TITL "Μικρη διασταση διαγωνια μελη κυριας δοκου"
tube    300 323.9   12.5
end
```

Σχ. 5.2 Τμήμα κώδικα (υπορουτίνα Aqua)

Οι διατομές που φαίνονται στο παραπάνω σχήμα χρησιμοποιούνται για την επίλυση του φορέα και εάν δεν υπάρχουν στη βιβλιοθήκη των διατομών του Sofistik εισάγονται από τον κώδικα και το υποπρόγραμμα WinAQUA.



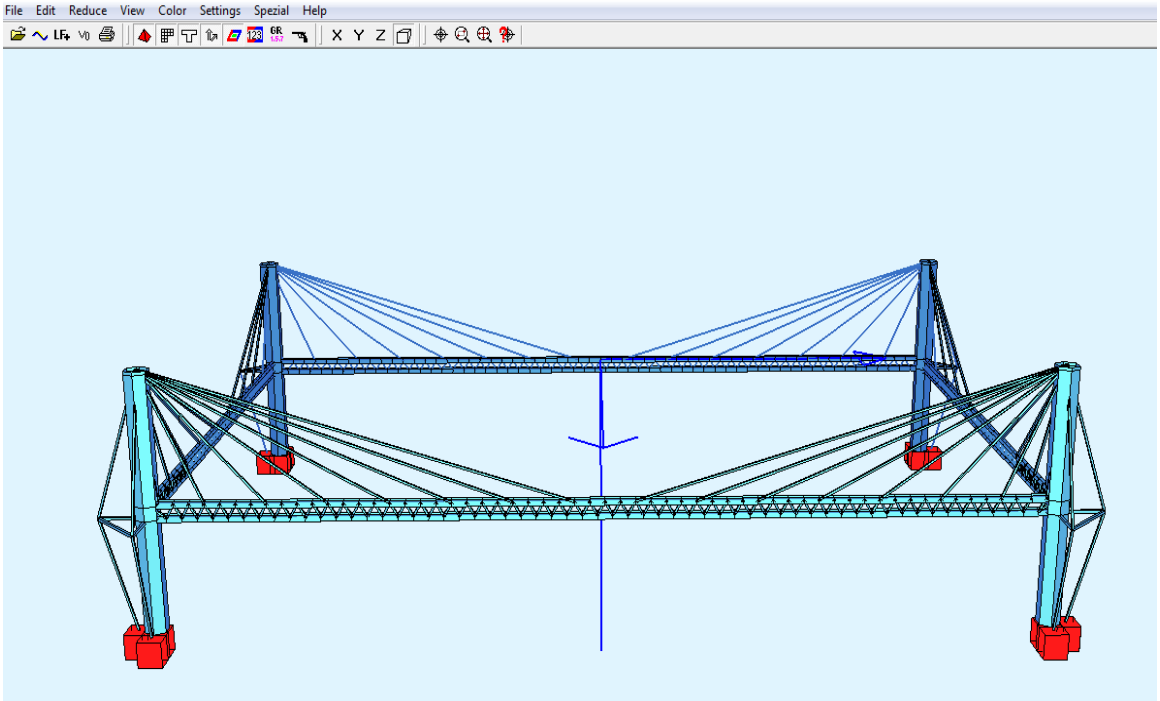
Σχ. 5.3 WinAQUA γραφική εισαγωγή διατομής.

5.2.2 Υπορουτίνα GENF

Με την υπορουτίνα αυτή δημιουργείται ουσιαστικά ο φορέας είτε με εισαγωγή δεδομένων είτε γραφικά. Το μοντέλο του φορέα, όταν παράγεται με εισαγωγή δεδομένων με τη μορφή κώδικα, ορίζοται καταρχήν από τους κόμβους και έπειτα συμπεριλαμβάνοντας όλες τις συνθήκες στήριξης ορίζονται τα μέλη που ενώνουν τους κόμβους. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει ειδικά στοιχεία για ραβδωτούς φορείς, τα οποία και αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 6.1 (στο μέρος 1.Μοντελοποίηση).

Αρχικά ορίστηκαν οι κόμβοι και τα μέλη των τεσσάρων πυλώνων. Στη συνέχεια ορίζονται τα καλώδια που αγκυρώνονται στο έδαφος και τα καλώδια που ενώνονται με τον πυλώνα και τη δικτυωτή δοκό, καθώς και οι κύριες δικτυωτές δοκοί. Έχουμε δύο δικτυωτές δοκούς κατά μήκος της μεγάλης διάστασης που απέχουν μεταξύ τους 94m κατά τον άξονα y. Κατόπιν δημιουργούνται και οι δικτυωτές δοκοί της μικρής δάστασης. Ο φορέας μέχρι στιγμής έχει την παρακάτω μορφή και παρατίθεται και ένα μικρό κομμάτι του

κώδικα για την παραγωγή των κόμβων και των άνω μελών της αρχικής δικτυωτής δοκού κατά τη μεγάλη διάσταση.

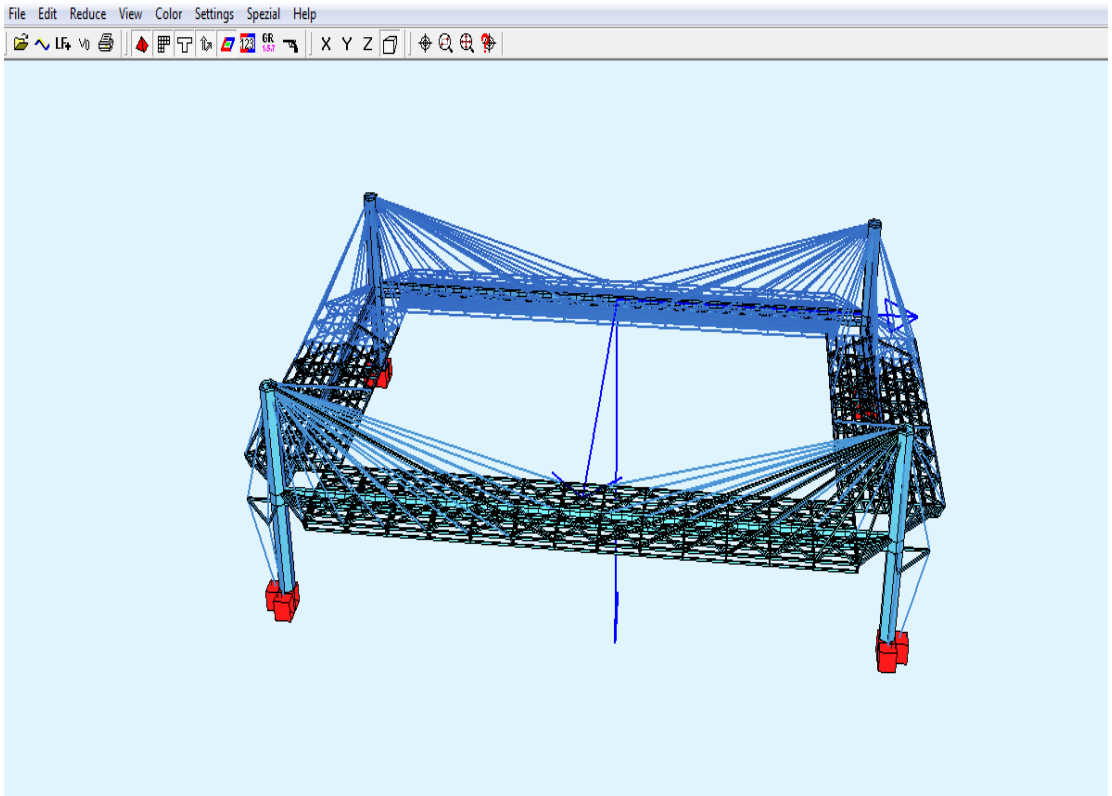


Σχ. 5.4 Βασική γεωμετρία φορέα.

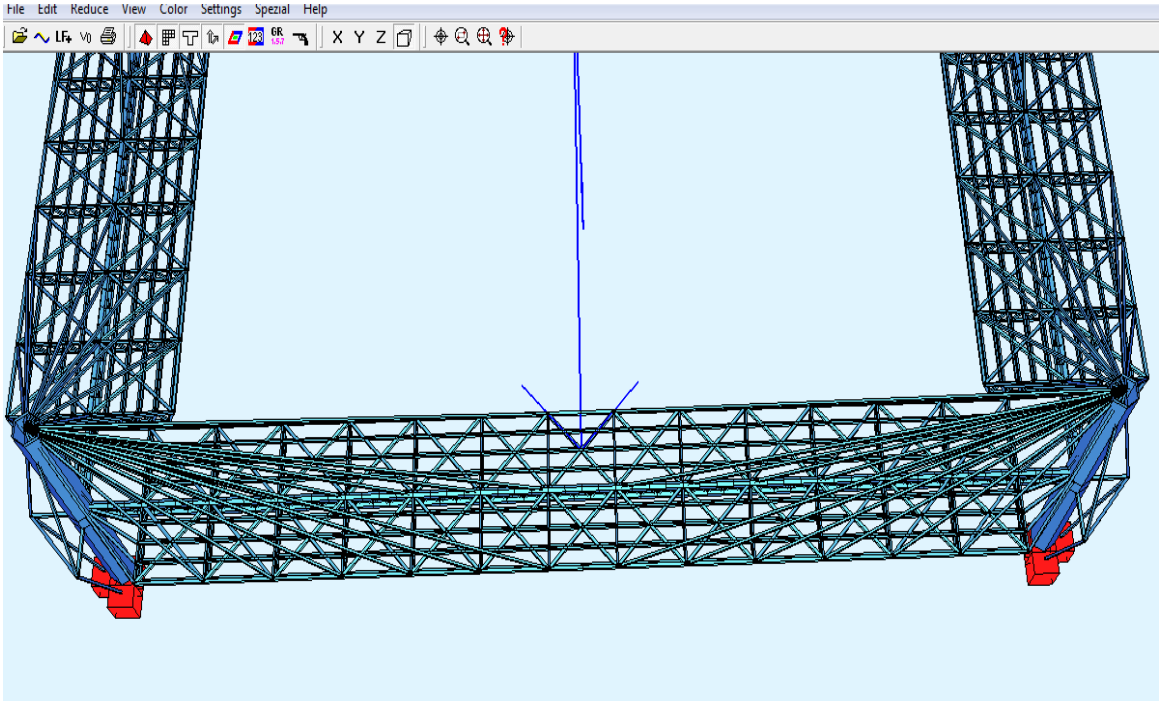
```
$2A)ΚΥΡΙΑ ΔΙΚΤΥΩΤΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΔΟΚΟΣ μεγαλη διασταση
$οριζω τους πανω κομβους
let#i 0
loop  DIV((150/2)/#B)
 NODE   no          x          y     z
       501+#i     #B*#i+#B      0     0
       499-#i    -#B*#i-#B      0     0
let#i #i+1
endloop
node   no     x    y    z
       500     0    0    0

$οποτε βρισκω την πανω παρεια της δοκου
let#i 0
loop  DIV((144/2)/#B-1)
 BEAM      no           na          ne       ncs   AHIN  EHIN
         1101+#i      501+#i      502+#i     20     -     -
         1098-#i      499-#i      498-#i     20     -     -
let#i #i+1
endloop

$επιπλεον μελη πανω παρειας(κεντρο)
BEAM       no          na         ne        ncs   AHIN  EHIN
          1100        500        501        20     -     -
          1099        500        499        20     -     -
          1050        528         52        20     -     -
          1051        472         53        20     -     -
$οριζω τους κατω κομβους
let#i 0
loop  DIV((150/2)/#B)
 NODE     no           x            y          z
         801+#i      #B/2+#B*#i      0      tan(60.)*#B/2
         799-#i     -#B/2-#B*#i      0      tan(60.)*#B/2
let#i #i+1
```

Σχ. 5.5 Τμήμα κώδικα GENF.

Στη συνέχεια εισάγουμε τα δεδομένα για την κατασκευή της εσχάρας. Θα κατασκευαστούν εγκάρσιες διαδοκίδες που δεσμεύονται έναντι πλευρικής εκτροπής μέσω των δικτυωτών κυρίων δοκών. Τοποθετούμε κόμβους ανά 2.5m και έτσι δημιουργούνται οι δοκοί. Στις αποστάσεις των 2.5m και κατά μήκος της κύριας διάστασης, σε κάθε εσχάρα, κατασκευάζονται άνω και κάτω τεγίδες που τρέχουν κατά μήκος της κυρίας δοκού, καθώς και περιμετρικές δοκοί εσωτερικά και εξωτερικά. Η κατασκευή αυτή αναρτάται από καλώδια που «πιάνουν στην κύρια δοκό και στα άκρα των εγκάρσιων διαδοκίδων εκατέρωθεν». Τέλος, για την την αύξηση της ακαμψίας του φορέα κατασκευάζονται οριζόντιοι χιαστί σύνδεσμοι που στο μέσον τους ενώνονται με το άνω πέλμα της κύριας δοκού.



Σχ. 5.6 Τελική γεωμετρία φορέα.



Σχ. 5.7 Χιαστί σύνδεσμοι.

5.2.3 Υπορουτίνα STAR

Μέσω της υπορουτίνας αυτής εισάγονται τα φορτία στον φορέα. Επιλέγεται η θεωρία ανάλυσης 1^{ης} ή 2^{ης} τάξης (βλέπε υποκεφάλαιο 6.3) και εφαρμόζουμε όλα τα στατικά φορτία που καταπονούν την κατασκευή μας. Στην περίπτωσή μας ο φορέας καταπονείται από το ίδιο βάρος του, το οποίο περιλαμβάνει και βάρος επικάλυψης κατά μήκος κάθε τεγίδας και στις δύο διαστάσεις, καθώς και βάρος ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού κατά μηκός των εσωτερικών περιμετρικών δοκών. Τα κινητά φορτία που επιδρούν στην κατασκευή είναι το βάρος του διαδρόμου συντήρησης κατά μήκος του άνω πέλματος της κύριας δοκού. Ακόμη, στο φορέα επιδρούν τα παρακάτω φορτία: χιόνι, θερμοκρασία, κατακόρυφος άνεμος πίεσης, κατακόρυφος άνεμος αναρρόφησης, οριζόντιος άνεμος, καθώς και συνδυασμοί των παραπάνω δράσεων.

5.2.4 Υπορουτίνα DYNA

Στο κεφάλαιο 6.1 αναφέραμε τη λειτουργία της υπορουτίνας αυτής. Εισάγονται τα δεδομένα για τον υπολογισμό του φορτίου του σεισμού και στη συνέχεια

γίνεται δυναμική ανάλυση του φορέα, υπολογίζονται οι ιδιομορφές και οι συνιστώσες του σεισμού κατά xx, yy και zz.

5.2.5 Υπορουτίνα MAXIMA

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις φορτίσεις και τους συνδυασμούς φορτίσεων αντίστοιχα, αποθηκεύονται και μέσω της υπορουτίνας αυτής προσδιορίζονταινοι ακραίες τιμές των εσωτερικών δυνάμεων, παραμορφώσεων, μετατοπίσεων και αντιδράσεων στήριξης. Ο δυσμενέστερος από όλους τους συνδυασμούς εντοπίζεται και εξάγονται γι αυτόν τα αντίστοιχα εντατικά μεγέθη. Η maxima επιλέγει την πιο δυσμενή δράση από όλες και εφαρμόζει τους διαφορετικούς συντελεστές συνδυασμού στις υπόλοιπες δράσεις.

5.3 Θεωρία Δεύτερης Τάξης

Γενικά Στοιχεία

Η απαίτηση στέγασης μεγάλων χώρων, η κατασκευή υψηλών κτιρίων και η ζεύξη μεγάλων ανοιγμάτων χωρίς ενδιάμεσα υποστηρίγματα (π.χ. γέφυρες) εξαιτίας των σύγχρονων αντιλήψεων είναι ολοένα αυξανόμενη. Από τις πολυάριθμες λύσεις που προτάθηκαν κατά καιρούς ξεχωρίζουν κυρίως οι χωρικές ραβδωτές κατασκευές, οι οποίες συνδυάζουν για δεδομένη στάθμη επιτελεστικότητας (επιθυμητή συμπεριφορά) με βέλτιστο τρόπο την τεχνική ασφάλεια (μέγιστη φέρουσα ικανότητα) με την οικονομία (ελάχιστο βάρος και κόστος και υψηλή ταχύτητα ολοκλήρωσης) της κατασκευής. Οι ραβδωτοί φορείς μπορεί να είναι ομογενείς, δηλαδή να αποτελούνται από ένα υλικό (σκυρόδεμα, χάλυβα, αλουμίνιο), ή σύνθετοι, να αποτελούνται δηλαδή από περισσότερα διαφορετικά υλικά, με συνηθέστερα το χάλυβα και το σκυρόδεμα, οπότε στην περίπτωση αυτή οι κατασκευές συνηθίζεται να αποκαλούνται σύμμικτες. Οι προαναφερόμενοι φορείς, που λόγω της μεγάλης σπουδαιότητάς τους σχεδιάζονται να λειτουργούν κυρίως στην ελαστική περιοχή (δείκτης συμπεριφοράς $q = 1.0 \div 1.5$, [ΕΑΚ 2000]), καταπονούνται σε έντονες εγκάρσιες και αξονικές δυνάμεις. Στους φορείς αυτούς λόγω του ότι τα ραβδωτά στοιχεία έχουν εν γένει μεγάλο μήκος και κατά συνέπεια αυξημένη αντοχή, καθοριστικό ρόλο στο δομοστατικό σχεδιασμό τους παίζουν κυρίως οι παραμορφώσεις και λιγότερο η ανελαστική συμπεριφορά των υλικών. Είναι προφανές ότι στην ανάλυση τέτοιων φορέων δεν μπορούν να αγνοηθούν

φαινόμενα 2ης τάξης, αφού σε διαφορετική περίπτωση θα αλλοιώνονταν σημαντικά τα αποτελέσματα, ενώ η επιρροή της στρέβλωσης λόγω τέμνουσας δύναμης (διατμητικές παραμορφώσεις) ενδέχεται να είναι σημαντική και επομένως δεν μπορεί να αγνοείται στη μελέτη χωρίς λεπτομερή διερεύνηση. Συνεπώς, κατά την επίλυση του στεγάστρου μέσω του Sofistik, χρησιμοποιήθηκε η θεωρία της $2^{ης}$ τάξης. Παρακάτω ακολουθεί μια σύντομη ανάφορα στη θεωρία αυτή.

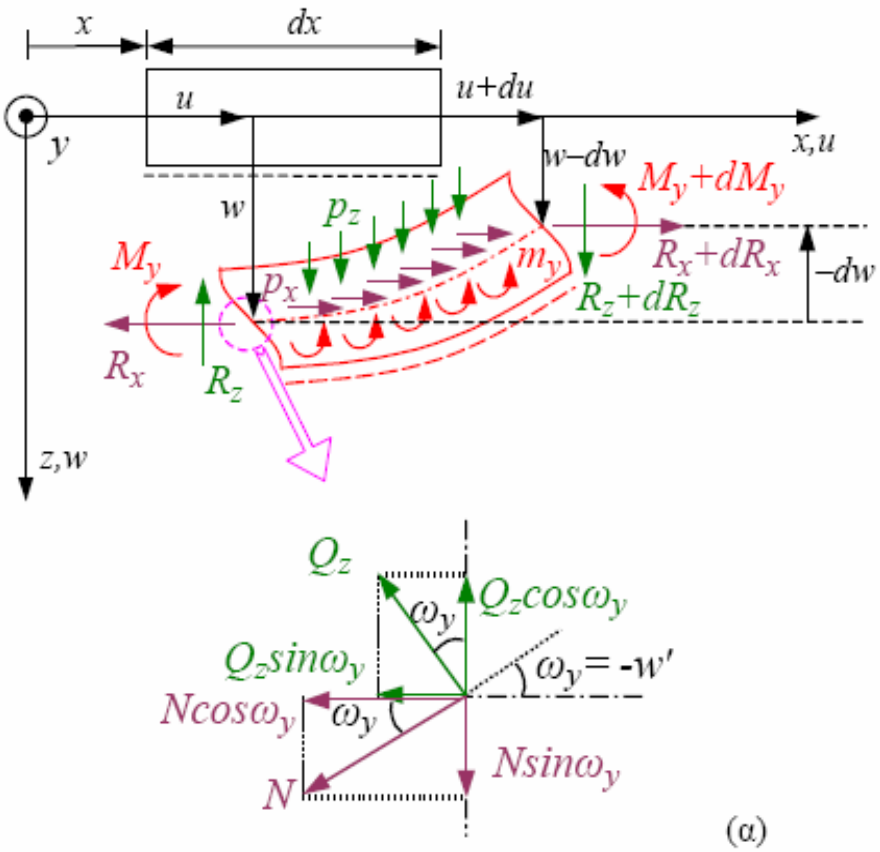
Η επιρροή της στρέβλωσης, δηλαδή η επιρροή των διατμητικών παραμορφώσεων στα βέλη κάμψης, λαμβάνεται υπόψη με τη βοήθεια των συντελεστών διατμητικής παραμόρφωσης. Τα φαινόμενα δεύτερης τάξης, που αποτελούν ένα είδος γεωμετρικής μη γραμμικότητας, λαμβάνονται υπόψη διατυπώνοντας τις εξισώσεις ισορροπίας στην παραμορφωμένη κατάσταση της ράβδου με αποτέλεσμα να συμπεριλαμβάνονται στις εξισώσεις ισορροπίας οι πρόσθετες (δευτερεύουσες) ροπές που δημιουργούνται λόγω της αξονικής έντασης που αναπτύσσεται στη ράβδο. Σημειώνεται ότι, τα φαινόμενα δεύτερης τάξης όταν αναφέρονται σε μεμονωμένη ράβδο καλούνται και φαινόμενα P – δ , ενώ όταν αναφέρονται σε ολόκληρη την κατασκευή καλούνται φαινόμενα P – Δ. Στη μη γραμμική θεωρία 2ης τάξης, καμπτόμενων χωρικών ράβδων διπλής συμμετρίας (κέντρο στρέψης και κέντρο βάρους ταυτίζονται με αποτέλεσμα η κάμψη να είναι ανεξάρτητη της στρέψης) υποβαλλόμενων σε τυχούσα εγκάρσια και διαμήκη φόρτιση στο εσωτερικό και στα άκρα, λαμβάνεται υπόψη η απλοποιημένη έκφραση της καμπυλότητας (η πλήρης έκφραση λαμβάνεται στη θεωρία 3ης τάξης). Επίσης, στην έκφραση των ορθών παραμορφώσεων ως προς τη διαμήκη διεύθυνση της ράβδου, εκτός των ανηγμένων αξονικών μετατοπίσεων διατηρούνται τα τετράγωνα των κλίσεων των βυθίσεων, ενώ οι στροφές και οι παραμορφώσεις (τροπές) θεωρούνται μικρές (θεωρία μετρίως μεγάλων παραμορφώσεων). Έτσι, στην περίπτωση αυτή οι διαμήκεις μετατοπίσεις είναι μη γραμμικά συζευγμένες με τις βυθίσεις και η ισορροπία της ράβδου περιγράφεται από σύστημα τριών μη γραμμικά συζευγμένων διαφορικών εξισώσεων με μεταβλητούς συντελεστές, οι αντίστοιχες συνοριακές συνθήκες μπορούν να είναι μη γραμμικές, ενώ η επίλυση πραγματοποιείται με επαναληπτική διαδικασία. Στην περίπτωση που αγνοηθούν τα τετράγωνα των κλίσεων των βυθίσεων οι κυρίαρχες εξισώσεις ισορροπίας καμπτικής και αξονικής έντασης δεν είναι πλέον συζευγμένες με αποτέλεσμα η επίλυση να μην απαιτεί επαναλήψεις, ωστόσο η σχέση βέλους κάμψης και αξονικής έντασης συνεχίζει να είναι μη γραμμική. Τέλος, εάν

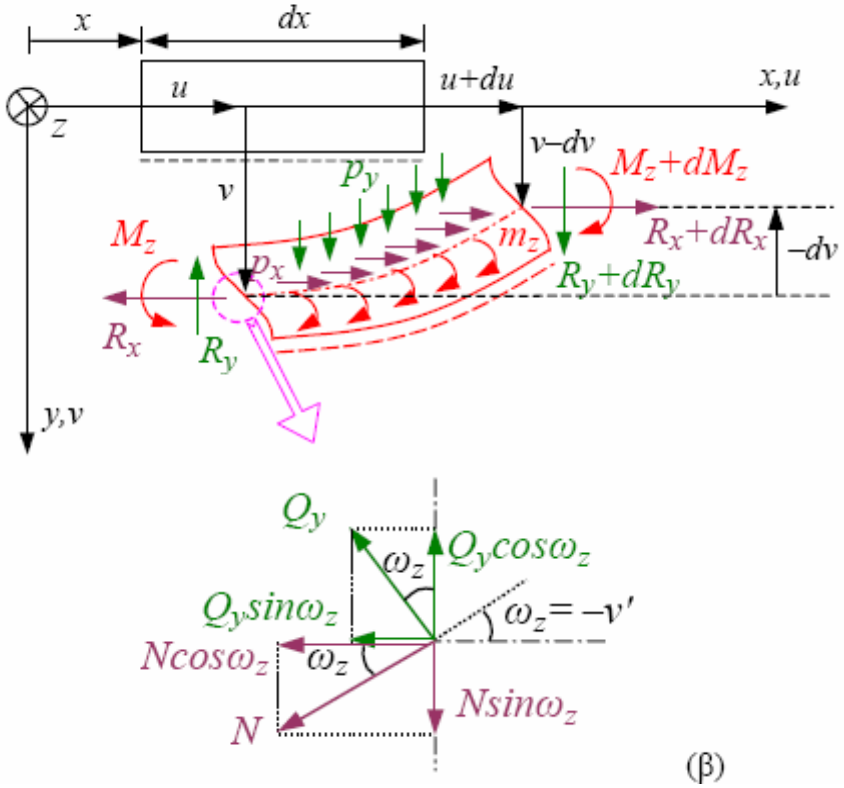
επιπλέον η αξονική δύναμη θεωρηθεί σταθερή κατά μήκος της ράβδου (δεδομένη), τότε το βέλος κάμψης της ράβδου είναι ανάλογο της εγκάρσιας φόρτισης και η ανάλυση της ράβδου είναι πλέον γραμμική, δηλαδή ισχύει η αρχή της επαλληλίας. Η θεωρία αυτή είναι γνωστή ως γραμμικοποιημένη θεωρία 2^{ης} τάξης (Ramm und Hofmann,1995). Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι στην υπό μελέτη κατασκευή μας, ο φορέας αποτελείται από χωρικά πλαίσια. Εφόσον χρησιμοποιηθεί η γραμμικοποιημένη θεωρία 2ης τάξης, επειδή η αξονική δύναμη θεωρείται σταθερή σε κάθε μέλος όχι όμως και σ΄ ολόκληρο το φορέα, ο φορέας θα μπορούσε να λυθεί επαναληπτικά με τη βοήθεια της Μεθόδου Άμεσης - Δυσκαμψίας (υποπερίπτωση Μεθόδου Πεπερασμένων Στοιχείων), όπου συνήθως σε κάθε βήμα ενημερώνεται το γεωμετρικό μητρώο δυσκαμψίας του φορέα με τις αξονικές δυνάμεις των μελών που προέκυψαν από το προηγούμενο βήμα μέχρι να επιτευχθεί σύγκλιση των αξονικών δυνάμεων όλων των μελών μεταξύ δύο διαδοχικών βημάτων (Secant Quasi-Newton Method). Τέλος, σημειώνεται ότι οι διάφοροι κανονισμοί (Eurocode 3, LRFD, ΕΑΚ 2000) βάσει των οποίων σχεδιάζονται οι σύγχρονες κατασκευές, μεταξύ των οποίων και το στέγαστρο της εργασίας αυτής, λαμβάνουν υπόψη τα φαινόμενα 2ης τάξης σε ραβδωτούς φορείς κυρίως με προσεγγιστικές μεθόδους με τη βοήθεια κατάλληλων διορθωτικών συντελεστών και αποτελέσματα που βασίζονται σε αναλύσεις 1ης τάξης, ενώ αγνοούν τελείως φαινόμενα διατμητικών παραμορφώσεων. Οι μεθοδολογίες αυτές σε ορισμένες περιπτώσεις ενδέχεται να οδηγήσουν σε σημαντικές ανακρίβειες.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί πώς η θεωρία 2^{ης} τάξης έχει επίπτωση ουσιαστικά μόνο στις ροπές και τις παραμορφώσεις του φορέα ενώ από την άλλη οι αξονικές και τέμνουσες δυνάμεις, λόγω της αμελητέας μεταβολής τους, πρακτικά θεωρούμε ότι δεν αλλάζουν τιμή σε σύγκριση με τον υπολογισμό τους με τη θεωρία της 1^{ης} τάξης.

Για θλιβόμενα στοιχεία η θεωρία 2^{ης} τάξης δίνει δυσμενέστερα αποτελέσματα και κανείς θα περίμενε να εφαρμόζεται σε κάθε περίπτωση ύπαρξης θλιβόμενων μελών αντί της απλούστερης θεωρίας της 1^{ης} τάξης. Όμως στα πλαίσια των κανονισμών χαλύβδινων κατασκευών ορίζεται ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί η θεωρία της 1^{ης} τάξης όταν τα αποτελέσματα αυτής διαφέρουν λιγότερο από 10% σε σχέση με τη θεωρία 2^{ης} τάξης. Ως κρίσιμο σημείο εξέτασης της διαφοράς ορίζεται το *καθοριστικό σημείο* με βάση τον κανονισμό, το οποίο είναι αυτό στο οποίο ασκείται η μέγιστη ροπή κάμψης.

Τέλος, σε στοιχεία που εφελκύονται, το πρόσημο της αξονικής δύναμης είναι αρνητικό, επομένως ο μεγενθυτικός συντελεστής α = 1/1-(N/N_{cr}) προκύπτει μικρότερος της μονάδας. (ο συντελεστής αυτός πολλαπλασιαζόμενος με τις παραμορφώσεις και τις ροπές σύμφωνα με τη θεωρία 1^{ης} τάξης δίνει τις αντίστοιχες παραμορφώσεις και ροπές 2^{ης} τάξης). Αυτό σημαίνει ότι οι ροπές και οι παραμορφώσεις 2^{ης} τάξης είναι μικρότερες όταν έχουμε εφελκυσμό. Με βάση την σημαντική αυτή παρατήρηση οδηγούμαστε στο χρήσιμο συμπέρασμα ότι η χρήση της θεωρίας της 2^{ης} τάξης σε εφελκυστικά μοντέλα, όπως το καλωδιωτό μας στέγαστρο, οδηγεί σε οικονομικότερες λύσεις.





Σχ. 5.8 Εντατικά μεγέθη και φορτίσεις στοιχειώδους τμήματος στην παραμορφωμένη κατάσταση στο επίπεδο xz (α) και στο επίπεδο xy (β) διατμητικής ράβδου κατά Timoshenko.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Ανέγερση και Κατασκευή Φορέων από Χάλυβα

6.1 Γενικά

Η ανέγερση και η κατασκευή ενός χαλύβδινου φορέα δεν είναι τυχαία ούτε μικρής σημασίας, αντίθετα προυποθέτει αναλυτική μελέτη της οποίας τα αποτελέσματα επηρεάζουν τόσο την ταχύτητα όσο και την οικονομικότητα της κατασκευής. Επιπλέον υπάρχουν λοιπές διαδικασίες και διατάξεις οι οποίες πρέπει να τηρούνται σ'όλες τις φάσεις, όχι μόνο κατά τη προμελέτη και μελέτη, αλλά και στην εφαρμογή αυτής. Μάλιστα τα σχέδια των σιδηρών κατασκευών συντάσσονται με τρόμερη ακρίβεια, τόσο στο σχεδιασμό των συνδέσεων και ελασμάτων όσο και στα απαιτούμενα μήκη και μεγέθη των γραμμικών στοιχείων.
Οι αναρτημένες καλωδιωτές κατασκευές προσφέρουν μεγαλύτερη ακαμψία, μεγαλύτερη ευκολία κατασκευής, ανέγερσης και συντήρησης, καθώς και καλή συμπεριφορά σε φαινόμενα αεροδυναμικής αστάθειας. Ο μεγάλος αριθμός καλωδίων απλοποιεί τη μόρφωση των αγκυρώσεων και διανέμει πιο ομοιόμορφα τις αξονικές θλιπτικές τάσεις κατά μήκος της κυρίας δοκού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να έχουμε μικρότερο ύψος κυρίας δοκού και συνέπως μικρότερο ίδιο βάρος και χαμηλότερο κόστος. Επιπρόσθετα, τα καλώδια επειδή έχουν μικρή διατομή, καθιστούν ευκολότερη την ανέγερση, καθώς και η αντικατάστασή τους λόγω βλάβης (κόπωση ή σκωρίαση) είναι σχετικά απλή.

Τα καλώδια είναι δυνατό να κείνται σε παραπάνω από ένα επίπεδα είτε κατακόρυφα είτε κεκλιμένα. Στην περίπτωσή μας υπάρχει μία σειρά καλωδίων που συνδέονται με το άνω πέλμα της κυρίας δοκού και άλλες δύο σειρές που συνδέονται με τα άκρα των εγκάρσιων διαδοκίδων εκατέρωθεν. Επειδή τα καλώδια συγκλίνουν και διέρχονται όλα από ένα μέρος του πυλώνα, αυξάνεται η κλίση τους και μειώνονται οι εφελκυστικές δυνάμεις. Η θλιπτική δύναμη κατά μήκος της κύριας δοκού είναι μικρή, όμως η καταπόνηση του πυλώνα είναι μεγάλη. Είναι σκόπιμο να αναφερθεί πως υπάρχει κατασκευαστική δυσκολία στο να περάσουν όλα τα καλώδια από ένα σημείο του πυλώνα και γι

αυτό το λόγο μερικές φορές χρησιμοποιείται το τροποποιημένο ακτινωτό σύστημα.

Οι συνδέσεις των καλωδίων με τα υπόλοιπα στοιχεία της κατασκευής πρέπει να σχεδιάζονται και να μελετώνται με ιδιαίτερη προσοχή, διότι το σύστημα καλωδίων αποτελεί βασικό στοιχείο του ολόκληρου φορέα. Η σύνδεση των καλωδίων δεν μπορεί να γίνει με συγκολλήσεις και κοχλιώσεις, διότι η δύναμη που μεταφέρεται μέσω των καλωδίων είναι πολύ μεγάλη και ταυτόχρονα η διατομή τους είναι αρκετά μικρή. Τα μέσα σύνδεσης είναι ημικυλινδρικά πέλματα, κυλινδρικά τεμάχια με κοιλώματα κωνικής μορφής κ.ά. Επίσης, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να αποφεύγεται κάμψη του συρματόσχοινου στις θέσεις σύνδεσης, γι αυτό και γίνεται μία πλευρική στήριξη σε μικρή απόσταση από το σημείο σύνδεσης. Για να γίνει η αγκύρωση ενός καλωδίου, τα συρματόσχοινα στη θέση σύνδεσης απομακρύνονται μεταξύ τους και στη συνέχεια στερεώνονται. Πρέπει να γίνεται έλεγχος επάρκειας όλων των στοιχείων που μεσολαβούν προκειμένου να μεταβιβασθούν τα φορτία .Τέλος η αγκύρωση των καλωδίων στο έδαφος γίνεται μέσω ογκόλιθων από σκυρόδεμα. Ένας αρκετά κοινός τύπος βάθρου αγκύρωσης είναι αυτός που μεταφέρει τα φορτία στο έδαφος μέσω βαρύτητας, οι δυνάμεις από τα συρματόσχοινα μεταφέρονται μέσω προέντασης στο σκυρόδεμα.

6.2. Κατασκευή και ανέγερση

Τα σιδηρά μέλη κατά κανόνα συναρμολογούνται στο εργοτάξιο, επομένως η διαδικασία μεταφοράς και προσωρινής τοποθέτησης και αποθήκευσης αυτών στον εργοταξιακό χώρο είναι βαρύνουσας σημασίας. Τα μεταλλικά στοιχεία φορτώνονται σε κατάλληλα οχήματα κατά συγκροτήματα (π.χ υποστυλώματα, δοκοί) της συνολικής κατασκευής τα οποία αναφέρονται σε μια ενιαία φάση της ανέγερσης. Προηγουμένως αυτά έχουν σημανθεί στο εργοστάσιο ώστε να μπορούν οι εργάτες και οι κατασκευαστές να εντοπίζουν γρήγορα και εύκολα τα στοιχεία εκείνα τα οποία χρειάζονται για κάθε φάση. Η αρίθμηση είναι συγκεκριμένη και ακολουθεί κάποιους κανόνες. Στοιχεία του ίδιου συγκροτήματος μπορεί να έχουν κοινό πρώτο αριθμό και διακεκριμένο δεύτερο κατά στοιχείο. Όμοια μέλη τα οποία μπορούν να τοποθετηθούν σε παραπάνω από μία θέσεις πρέπει να έχουν κοινό χαρακτηριστικό αριθμό. Προσοχή χρειάζεται στη σήμανση των στοιχείων εκείνων που προβλέπεται να έχουν

διαφορετικού τύπου σύνδεσης σε καθένα από τα δύο άκρα τους ώστε να είναι εμφανής ο προσανατολισμός τους. Είναι προφανές πώς διαφορετικής ποιότητας χάλυβες σημαίνονται διαφορετικά. Πρέπει δε να σημειωθεί ότι υπάρχουν παραπάνω από ένας τρόπος αρίθμησης των στοιχείων που χρησιμοποιούνται από λοιπούς κατασκευαστές. Στην περίπτωσή μας, καθώς το στάδιο προυπάρχει και το έργο αφορά μόνο το στέγαστρο, χώρος μεγάλος δεν υπάρχει, ωστόσο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως αποθηκευτικός χώρος των μελών και λοιπών στοιχείων του φορέα το διπλανό οικόπεδο που λειτουργεί σήμερα ως πάρκινγκ.

Οι συνδέσεις που πραγματοποιούνται στο χώρο του εργοταξίου κάτα κύριο λόγο είναι κοχλιωτές και όχι συγκολλητές. Αυτό συμβαίνει επειδή η ποιότητα και τα αποτελέσματα μιας συγκόλλησης εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες αλλά και επειδή οι θέσεις σύνδεσης δεν είναι πάντα εύκολα προσβάσιμες από τον ηλεκτροσυγκολλητή. Σε περίπτωση που χρειαστεί να γίνει συγκολλητή σύνδεση στο εργοτάξιο απαιτείται να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα. Εδώ πρέπει να τονιστεί πώς το σφίξιμο των κοχλιών γίνεται μετά την ευθυγράμμιση.

Γενικά, στη μελέτη ανέγερσης, πέρα από τις διαδοχικές φάσεις συναρμολόγησης πρέπει να περιγράφονται τα εξής:

- *Οι περιβαλλοντικές και λοιπές συνθήκες που επικρατούν στο χώρο κατασκευής του έργου καθώς και ο τρόπος πρόσβασης σ'αυτόν*.
- *Οι δυνατότητες πρόσβασης και τοποθέτησης των γερανών, σε σχέση με τις εδαφικές και γεωλογικές συνθήκες και αντοχές*.
- *Ο αριθμός, το είδος και η ανυψωτική ικανότητα των γερανών που θα χρησιμοποιηθούν*.
- *Οι ακτίνες δράσης των γερανών κατά τη διάρκεια ανέγερσης και συναρμολόγησης (π.χ. στο Απόστολος Νικολαίδης υπάρχει περιορισμός κίνησης λόγω γειτονικών κτιρίων).*
- *Η θέση πιθανών υπόγειων δικτύων ύδατος, ηλεκτρισμού και άλλων εμποδίων στο εργοτάξιο*.

- *Το βάρος των μεταλλικών στοιχείων που πρόκειται να ανυψωθούν και ο προσδιορισμός του κέντρου βάρους σε περίπτωση που κάποια από αυτά είναι μη συμμετρικά.*
- *Ο έλεγχος επάρκειας των μεταλλικών στοιχείων σε καταπονήσεις που πιθανώς να υποβληθούν κατά τη διαδικασία ανέγερσης, ιδίως όταν δεν έχουν σχεδιαστεί να αναλάβουν συγκεκριμένου είδους φόρτισης (π.χ. εφελκυστικά μέλη μπορεί να θλιβούν καθώς αναρτούνται και να αστοχήσουν λόγω λυγηρότητας).*
- *Τυχόν προσωρινά μέλη που ενδεχομένως να απαιτούνται για την προσωρινή στήριξη των ήδη ανεγερμένων τμημάτων σε ενδιάμεσες φάσεις της κατασκευής.*
- *Ιδιοσκευές, ζυγοί, συρματόσχοινα και άλλα στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν.*
- *Τα μέτρα ασφαλείας τα οποία προβλέπεται να ληφθούν ως προς τους εργαζομένους και το έργο.*
- *Τυχόν διάδρομοι εργασίας που θα εξυπηρετούν τη μετακίνηση των εργατών κατά τη φάση της ανέγερσης.*

Η υπό συναρμολόγηση κατασκευή θα πρέπει να κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται κάθε στιγμή η ευστάθεια (έναντι ανατροπής, ολίσθησης ή πτώσης) των ήδη ανεγερθέντων τμημάτων. Πρακτικά σε κάθε κοχλιωτή σύνδεση τοποθετείται κατά τη συναρμολόγηση τουλάχιστον το ένα τρίτο των απαιτούμενων κοχλίων ώστε να μπορεί να θεωρηθεί ότι το συναρμολογηθέν μέλος συμβάλλει στην ευστάθεια του ανεγερθέντος τμήματος.

Σε κατασκευές που περιλαμβάνουν δικτυώματα, τοποθετούνται σε αρχική φάση τα υποστυλώματα, στη συνέχεια τα δικτυώματα σηκώνονται με γερανό (ή γερανούς) και παραμένουν αναρτημένα ώσπου να συνδεθούν με τα υποστυλώματα αλλά και να εξασφαλισθεί η πλευρική στήριξη στο άνω πέλματους με την τοποθέτηση τεγίδων. Η

τοποθέτηση των τεγίδων δεν γίνεται απρόσκοπτα χωρίς μελέτη, αλλά απαιτεί την προσοχή του μελετητή-κατασκευαστή ώστε να μην υπάρξουν προβλήματα ευστάθειας του δικτυώματος λόγω διαφοροποίησης του κέντρου βάρους του δικτυώματος όσο αυτό είναι ακόμα αναρτημένο από το μηχάνημα ανύψωσης. Επιπλέον κατά την ανύψωση δεν είναι επιθυμητή η ανάπτυξη θλιπτικών δυνάμεων στα μέλη γιατί είναι ευάλωτα σε λυγισμό από μικρά αξονικά φορτία. Γι'αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται βοηθητικές δοκοί που αναλαμβάνουν θλίψη και έχουν συγκεκριμένες διαστάσεις ανάλογες με τις διαστάσεις και το είδος του υπό ανέγερση στοιχείου.

Σε περιπτώσεις όπου τα μεταλλικά στοιχεία έχουν μεγάλο μήκος, όπως έχουμε στο υπό μελέτη γήπεδο του Παναθηναικού, είναι προτιμώτερο να αναρτώνται αρχικά τα δύο ακραία τμήματά του των οποίων η προσωρινή ευστάθεια πρέπει να είναι εξασφαλισμένη και στη συνέχεια τοποθετείται το ενδιάμεσο τμήμα με κοχλιωτές συνδέσεις σ'αυτά.

Επιπροσθέτως είναι πολύ σημαντικό να μην υπόκεινται τα μέλη που αποτελούν το φορέα σε ένταση πέραν της προβλεπόμενης κατά τη φάση ανέγερσης καθώς και τη φάση συναρμολόγησης. Κάτι τέτοιο ενδεχομένως μπορεί να αποτελέσει αιτία αστοχίας ή κατάρρευσης στη συνέχεια αφού τα στοιχεία θα είναι επιπλέον επιβαρυμένα.

Κατά την προσωρινή αποθήκευση των μεταλλικών στοιχείων στο χώρο του εργοταξίου θα πρέπει να έχουν παρθεί συγκεκριμένα μέτρα για την προστασία αυτών. Για την αποφυγή επαφής του χάλυβα με στάσιμα νερά που ίσως συσσωρευθούν λόγω βροχής, τα διάφορα στοιχεία εδράζονται σε ξύλινους τάκους ή δοκούς ενώ στοιβάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπερφορτώνονται και προκληθούν σε αυτά πρόσθετες παραμορφώσεις. Επίσης θα πρέπει να λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα για την προστασία των μεταλλικών επιφανειών από φθορές, και κατά τη διάρκεια αποθήκευσης αλλά και κατά τη διάρκεια μετακίνησης. Τέλος οι κοχλίες θα πρέπει να βρίσκονται σε μέρος που δεν έχει υγρασία και να είναι καταλλήλως συσκευασμένοι και εύκολα αναγνωρίσιμοι.

Αποδεκτά όρια αποκλίσεων από τις ιδεατές θέσεις των στοιχείων καθορίζονται στους Κανονισμούς. Η EN 1090 περιέχει σειρά πινάκων στους οποίους προσδιορίζονται τα όρια αυτά για διάφορες ατέλειες όπως

ή απόκλιση του κέντρου του στύλου από τη θεωρητική θέση του, η απόκλιση στην απόσταση μεταξύ διαδοχικών υποστυλωμάτων κ.α. Παρόμοιες αποκλίσεις προβλέπονται για τη θέση του υποστυλώματος ως προς την ευθυγραμμία στην οποία ανήκει, την μη επιθυμητή κλίση τους, τη θέση δοκού οριζοντιογραφικά και υψομετρικά, τις αποστάσεις μεταξύ των δοκών, την ακρίβεια τοποθέτησης των κοχλιών αγκύρωσης.

6.3. Ανυψωτικά Μηχανήματα – Γερανοί

Η ανύψωση των μελών του φορέα στις θέσεις συναρμολόγησής τους γίνεται με τη βοήθεια γερανών. Ο πιο συνηθισμένος τύπος γερανού είναι ο πυργοειδής περιστρεφόμενος ο οποίος τοποθετείται σε συγκεκριμένη θέση του εργοταξίου και έχει τη δυνατότητα να αυξομειώνει το ύψος του ώστε να προσαρμόζεται κάθε στιγμή στις εκάστοτε ανάγκες του έργου. Το αντίβαρό του βρίσκεται στο πίσω μέρος του βραχίονα.

Άλλοι γερανοί είναι αναδιπλούμενοι έτσι ώστε να μπορούν να μεταφέρονται από φορτηγό. Το ύψος αυτής της κατηγορίας γερανών είναι σταθερό και το αντίβαρο βρίσκεται στη βάση τους, συνδεόμενο με κατακόρυφο επίτονο.

Στο συγκεκριμένο έργο, δηλαδή την κατασκευή στεγάστρου για το γήπεδο του Παναθηναικού στη Λεωφόρο, θα χρησιμοποιηθούν αυτοκινούμενοι γερανοί οι οποίοι μπορούν να τοποθετήσουν μεγάλα τεμάχια. Ειδικότερα θα χρησιμοποιηθούν τηλεσκοπικοί αυτοκινούμενοι γερανοί των οποίων η ανυψωτική ικανότητα μπορεί να φτάσει τους 500t. Για την ανύψωση τεμαχίων μεγάλου μήκους, όπως ζευκτών, χρησιμοποιούνται κατάλληλες τραβέρσες με διάφορες ανυψωτικές ικανότητες. Παρακάτω παρατίθονται στοιχεία για διάφορους τέτοιους γερανούς.

Dimensions / Διαστάσεις

Rated lift capacity in metric ton 80

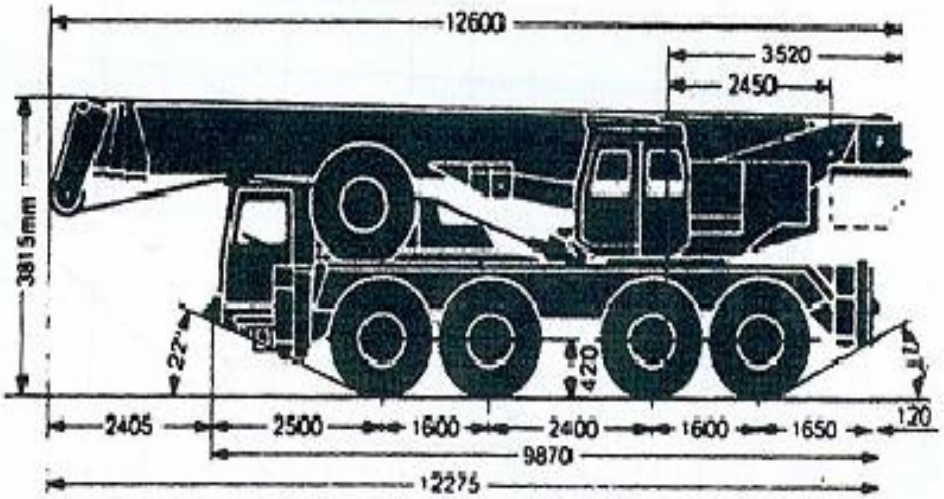
Make LIEBHERR

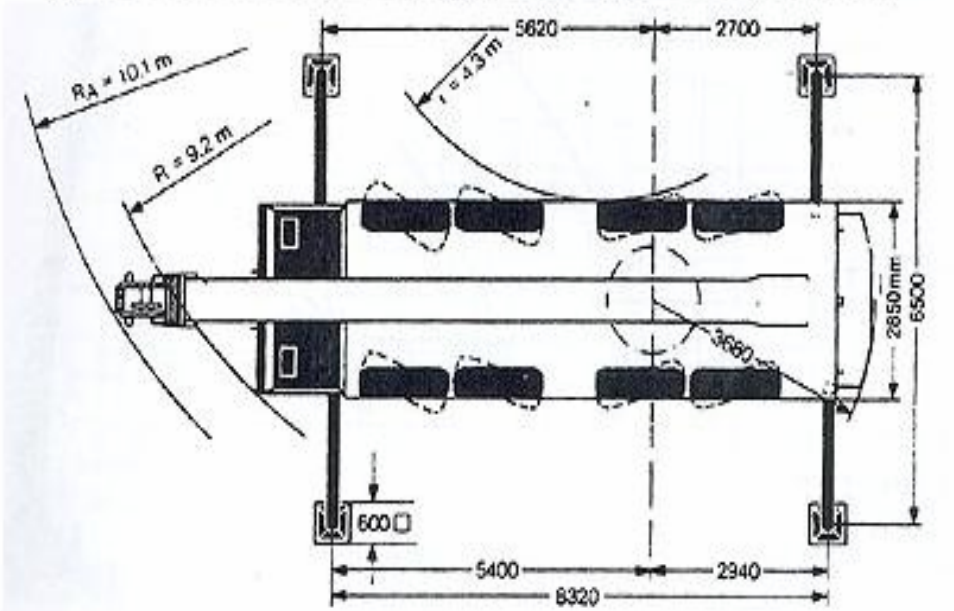
Type LTM 1070

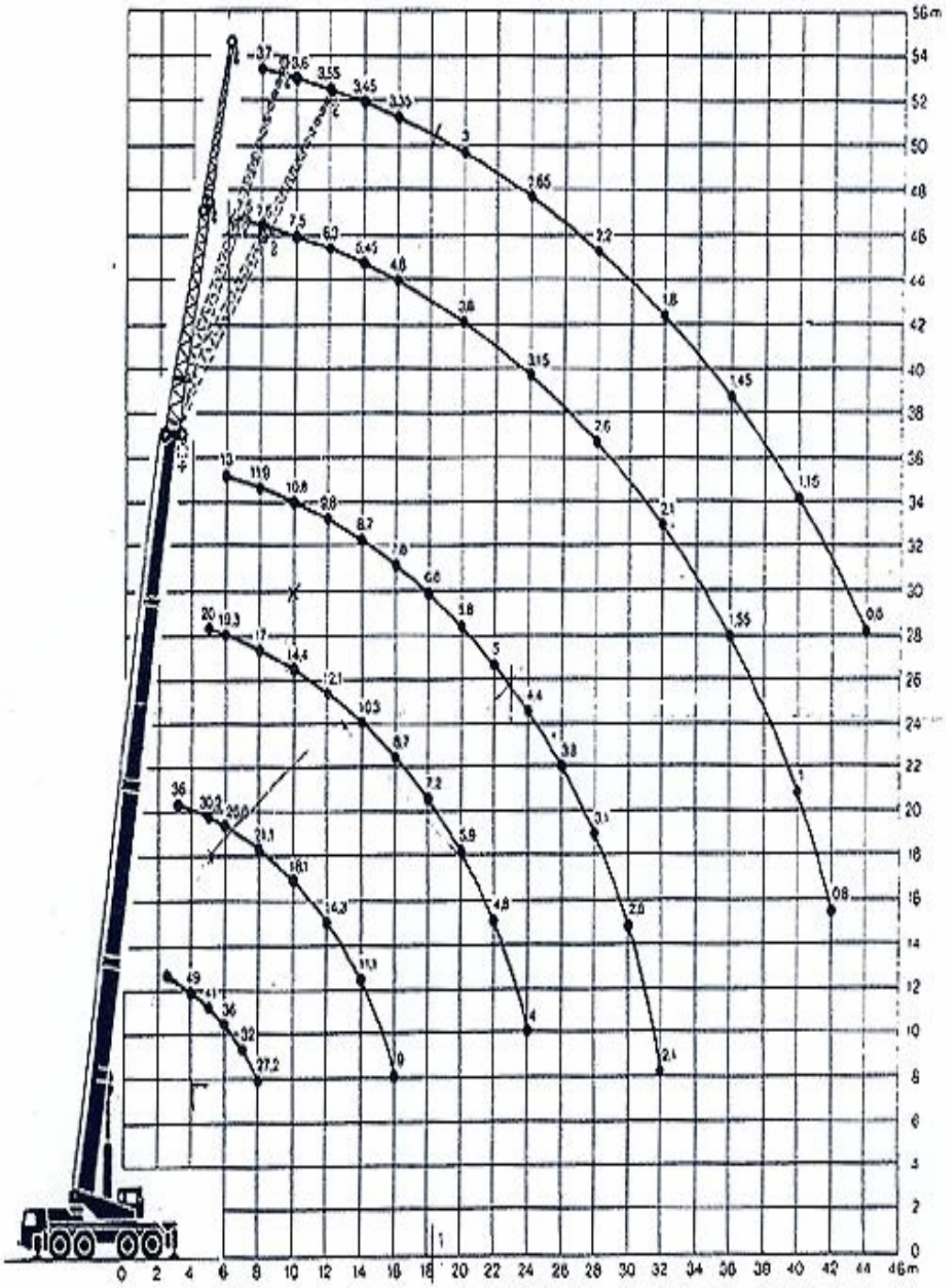
Motor MERCEDES BENZ

Antrieb 8x8x8

Velocity 75 Km/h



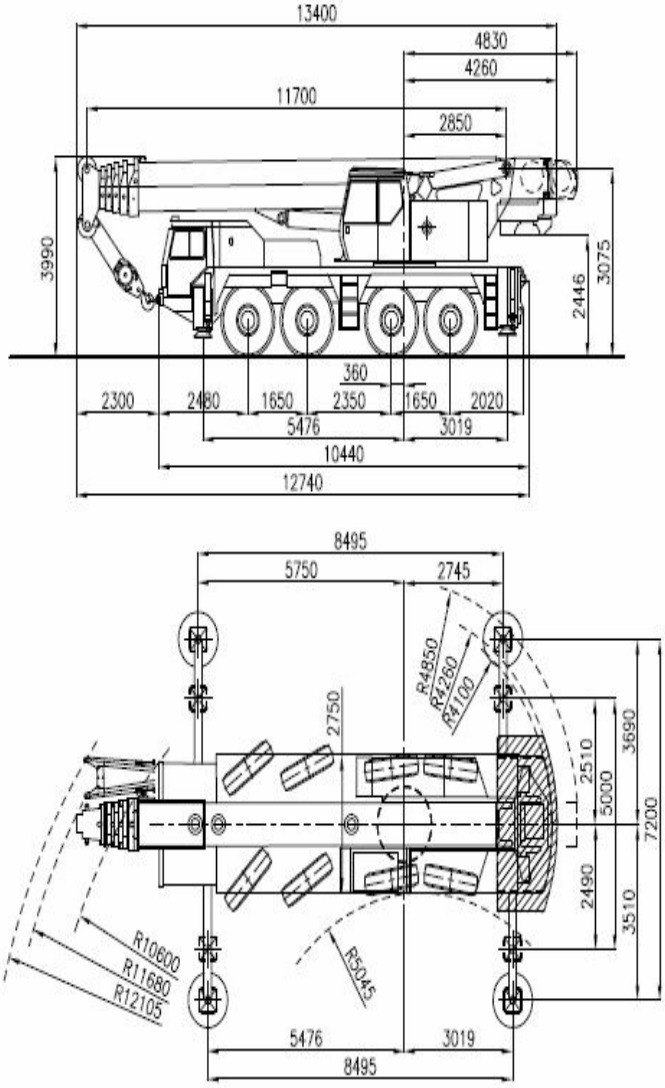




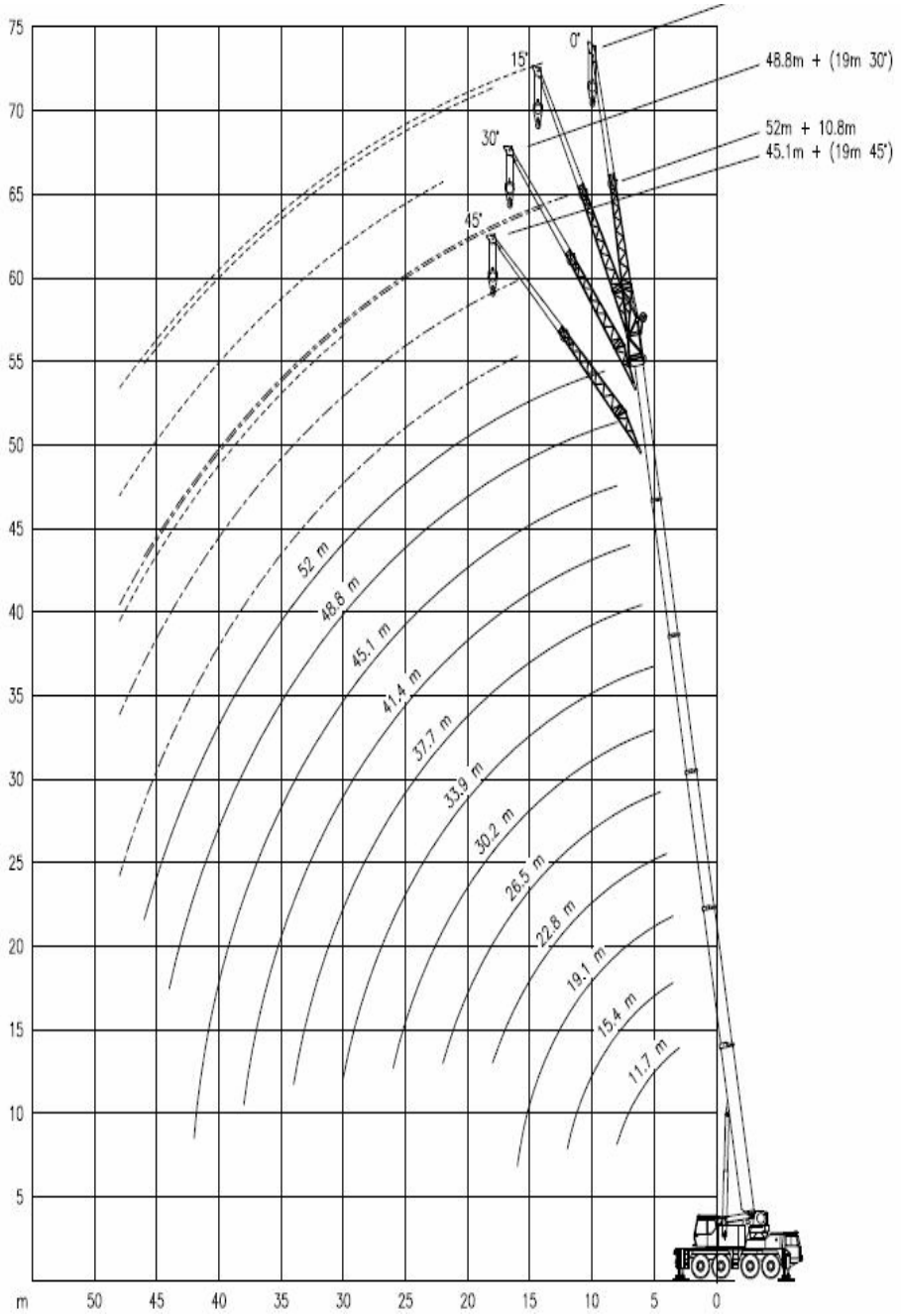
Σχ. 6.1 Διαστάσεις και Διάγραμμα ύψους γερανού LIEBHERR LTM 1070 ανυψωτικής ικανότητας 80 t.

LIEBHERR LTM 1090/2 90 TON

1/150



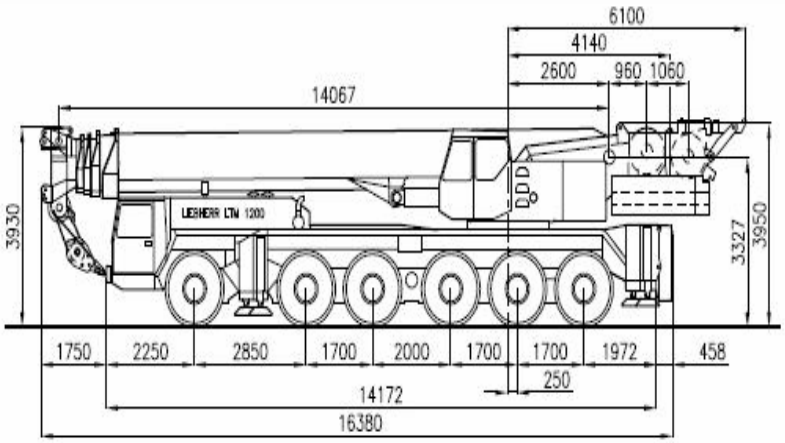
Axle load / Charge par essieu / Achslast / Aslast	:	4 x 12 t	(▤ 12 t)
Total weight / Poids total / Gesamtgewicht / Totaal gewicht	:	48 t	(▤ 12 t)
Tyres / Pneus / Bereifung / Banden	:	14.00 R 25	

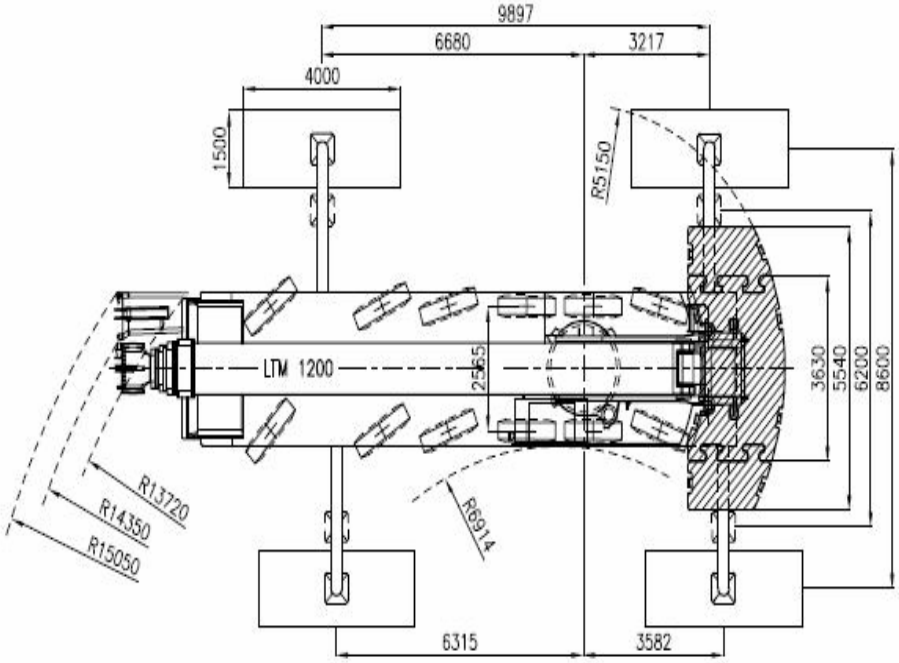


Σχ. 6.2 Διαστάσεις και Διάγραμμα ύψους γερανού LIEBHERR LTM 1090/2 ανυψωτικής ικανότητας 90 t.

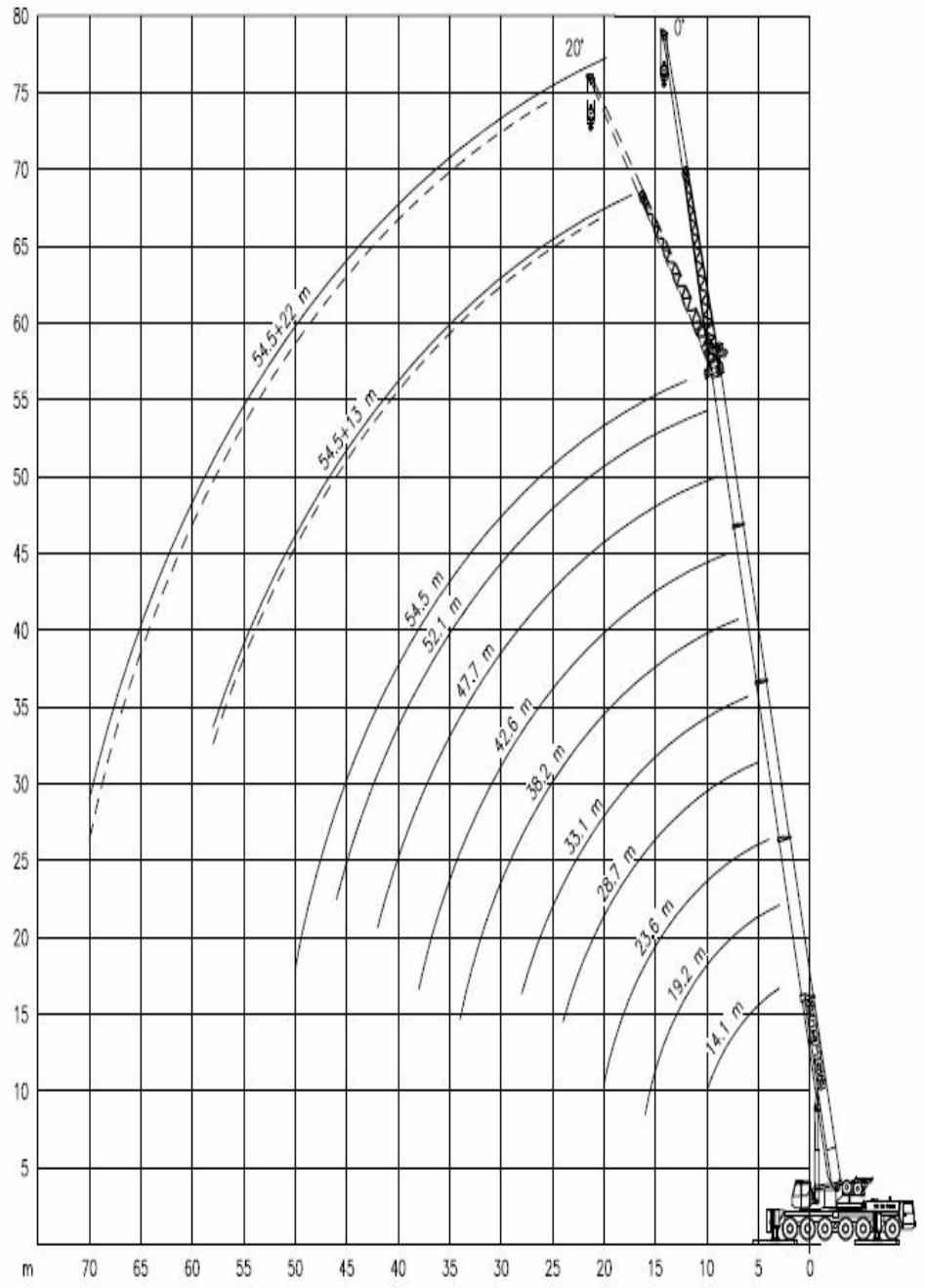
LIEBHERR LTM 1200 200/220 TON

1/150

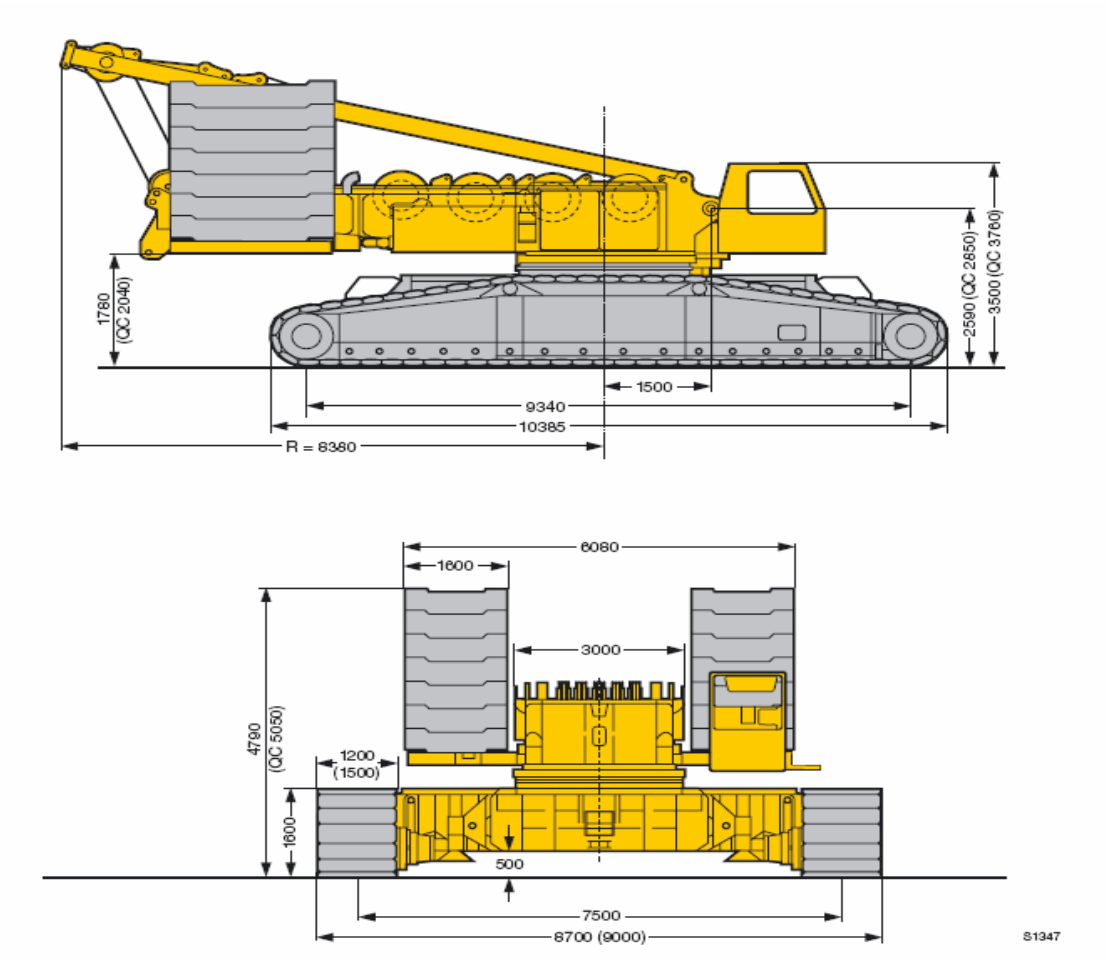


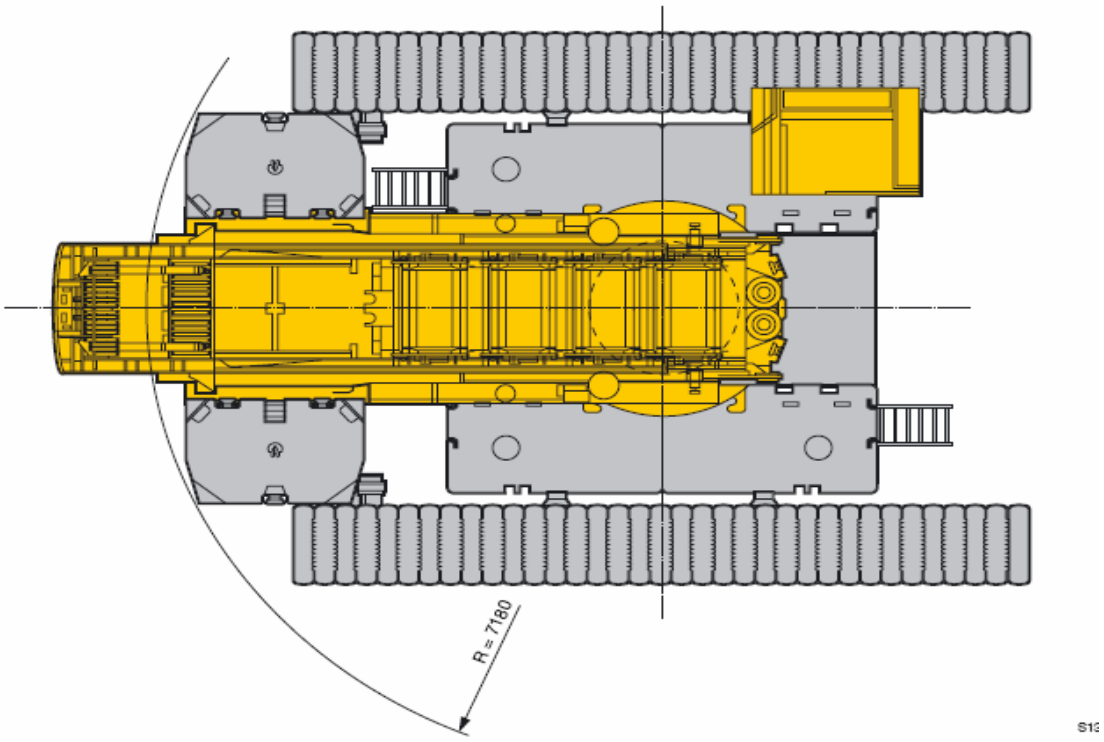


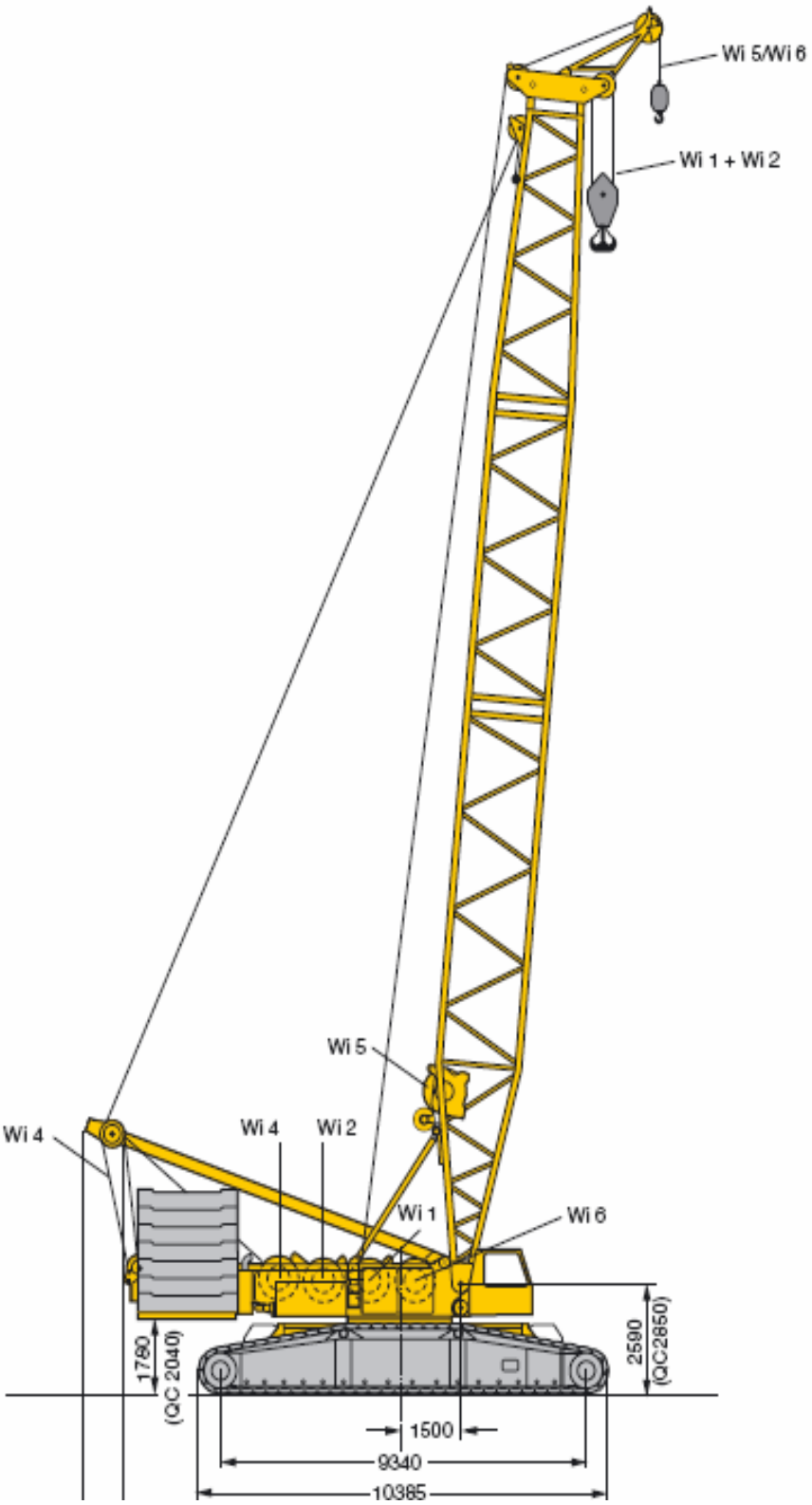
Axle load / Charge par essieu / Achslast / Aslast	: 6 x 12 t	(▤0 t)
Total weight / Poids total / Gesamtgewicht / Totaal gewicht	: 72 t	(▤0 t)
Tyres / Pneus / Bereifung / Banden	:14.00 R 25	
Counterweight-trailer / Remorque de contrepoids / Gegengewicht Anhänger / Ballastwagen	: 39 t	

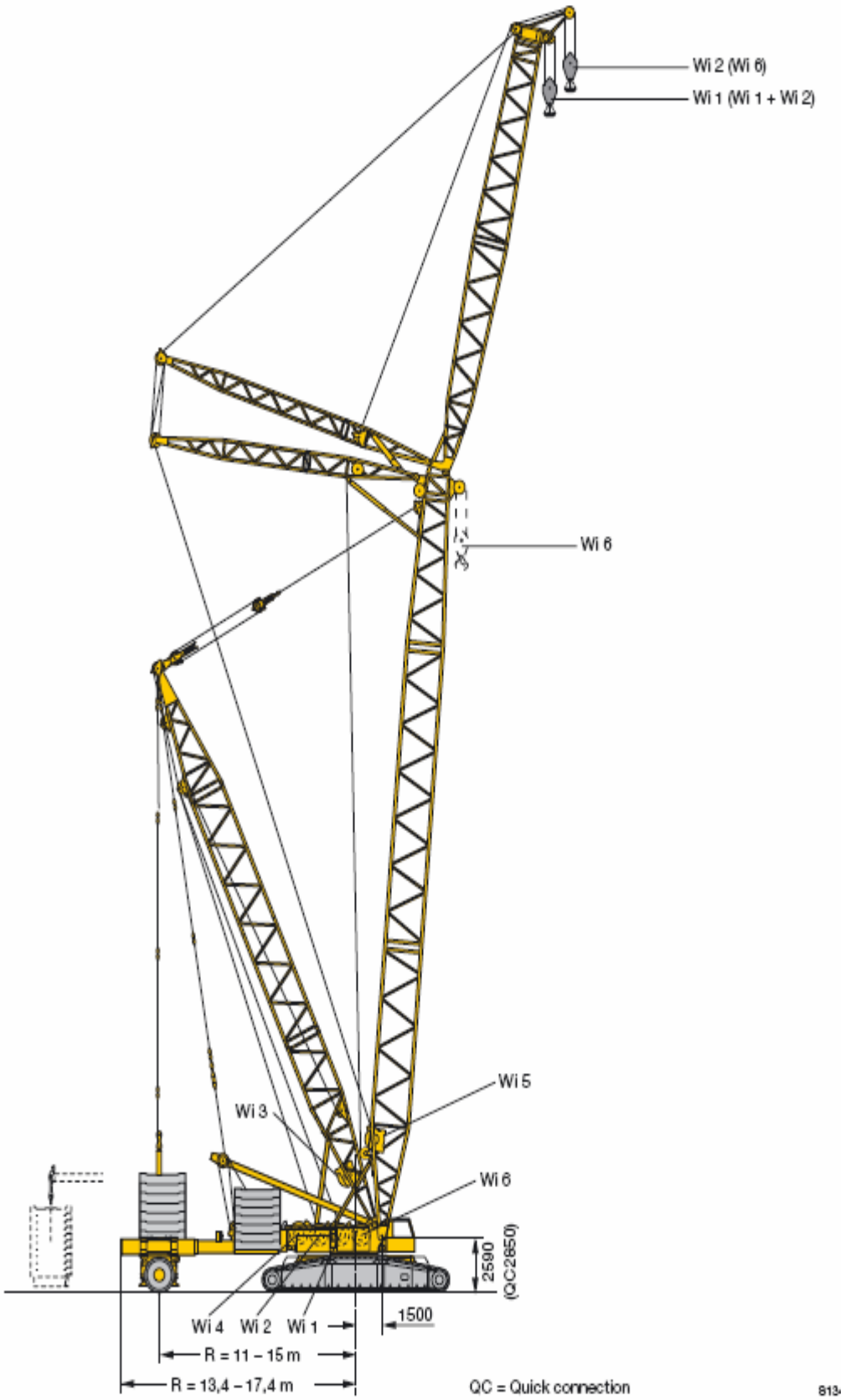


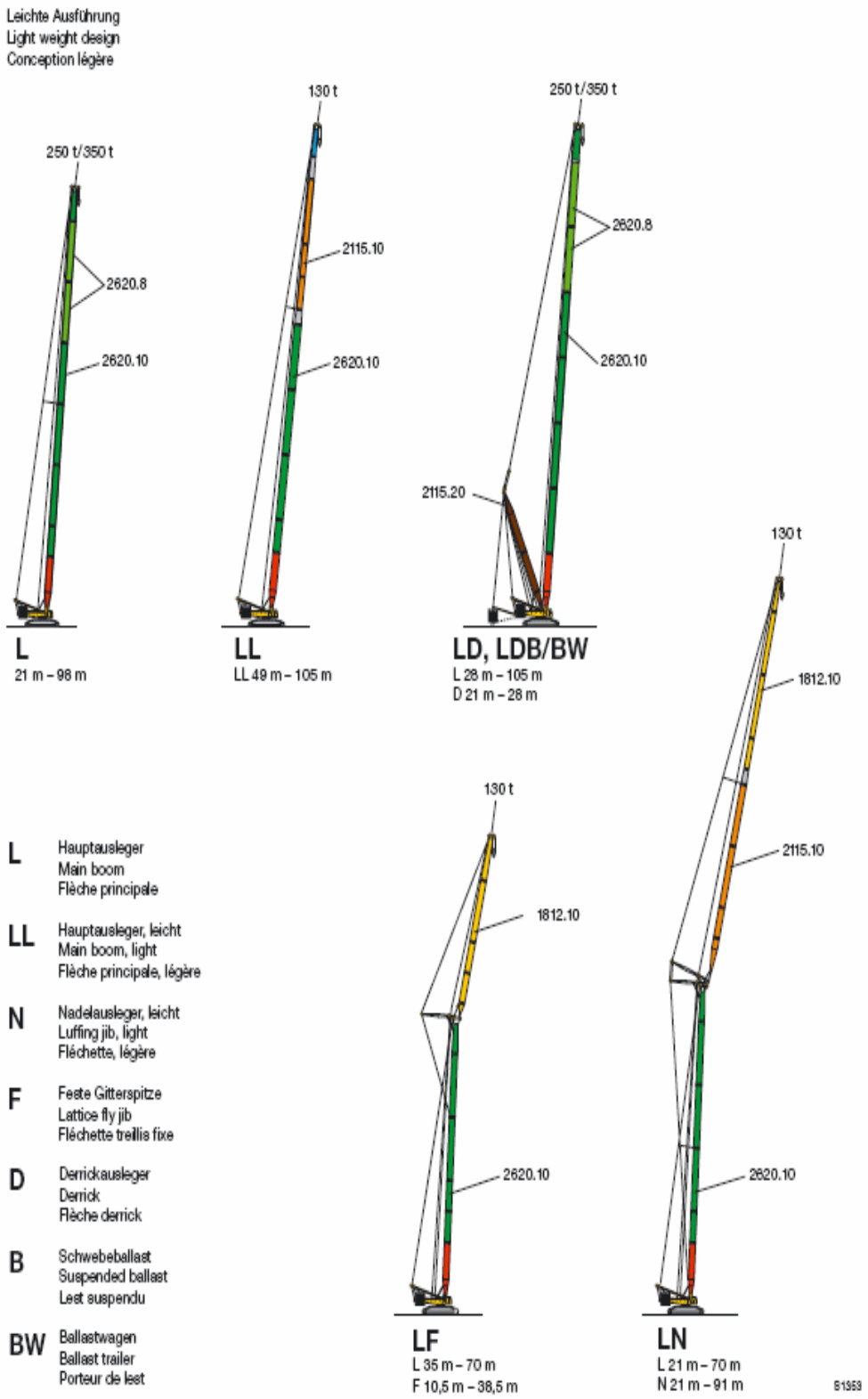
Σχ. 6.3 Διαστάσεις και Διάγραμμα ύψους γερανού LIEBHERR LTM 1200 ανυψωτικής ικανότητας 200/220 t.


1780
(QC 2040)
2590 (QC 2850)
3500 (QC 3760)
1500
9340
10385
R = 8380
6080
1600
3000
4790
(QC 5050)
1200
(1500)
1600
500
7500
8700 (9000)
S1347


R = 7180

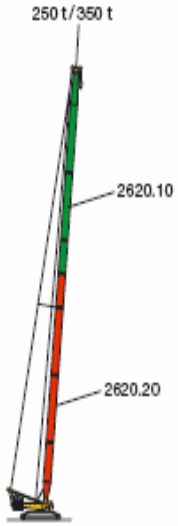

Wi 5/Wi 6
Wi 1 + Wi 2
Wi 5
Wi 4
Wi 4
Wi 2
Wi 1
Wi 6
1780
(QC 2040)
2590
(QC2850)
1500
9340
10385


Wi 2 (Wi 6)
Wi 1 (Wi 1 + Wi 2)
Wi 6
Wi 5
Wi 3
Wi 6
2590
(QC2650)
1500
Wi 4
Wi 2
Wi 1
R = 11 – 15 m
R = 13,4 – 17,4 m
QC = Quick connection

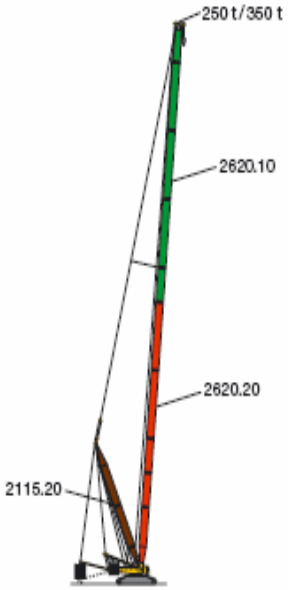

Leichte Ausführung
Light weight design
Conception légère
250 t/350 t
2620.8
2620.10
L
21 m – 98 m
130 t
2115.10
2620.10
LL
LL 49 m – 105 m
250 t/350 t
2620.8
2620.10
2115.20
LD, LDB/BW
L 28 m – 105 m
D 21 m – 28 m
130 t
1812.10
2115.10
2620.10
LN
L 21 m – 70 m
N 21 m – 91 m
130 t
1812.10
2620.10
LF
L 35 m – 70 m
F 10,5 m – 38,5 m
L Hauptausleger
Main boom
Flèche principale
LL Hauptausleger, leicht
Main boom, light
Flèche principale, légère
N Nadelausleger, leicht
Luffing jib, light
Fléchette, légère
F Feste Gitterspitze
Lattice fly jib
Fléchette treillis fixe
D Derrickausleger
Derrick
Flèche derrick
B Schwebeballast
Suspended ballast
Lest suspendu
BW Ballastwagen
Ballast trailer
Porteur de lest
B1353

Schwere Ausführung
Heavy weight design
Conception lourde

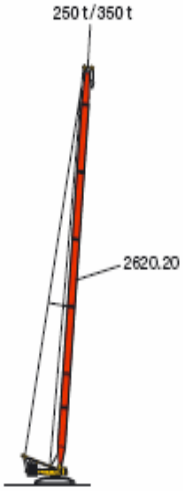
S	Hauptausleger, schwer Main boom, heavy Flèche principale, lourde
L	Hauptausleger, leicht Main boom, light Flèche principale, légère
N	Nadelausleger, leicht Luffing jib, light Fléchette, légère
w/W	Nadelausleger, schwer Luffing jib, heavy Fléchette, lourde
D	Derrickausleger Derrick Flèche derrick
B	Schwebeballast Suspended ballast Lest suspendu
BW	Ballastwagen Ballast trailor Porteur de lest



SL
SL 21 m – 91 m

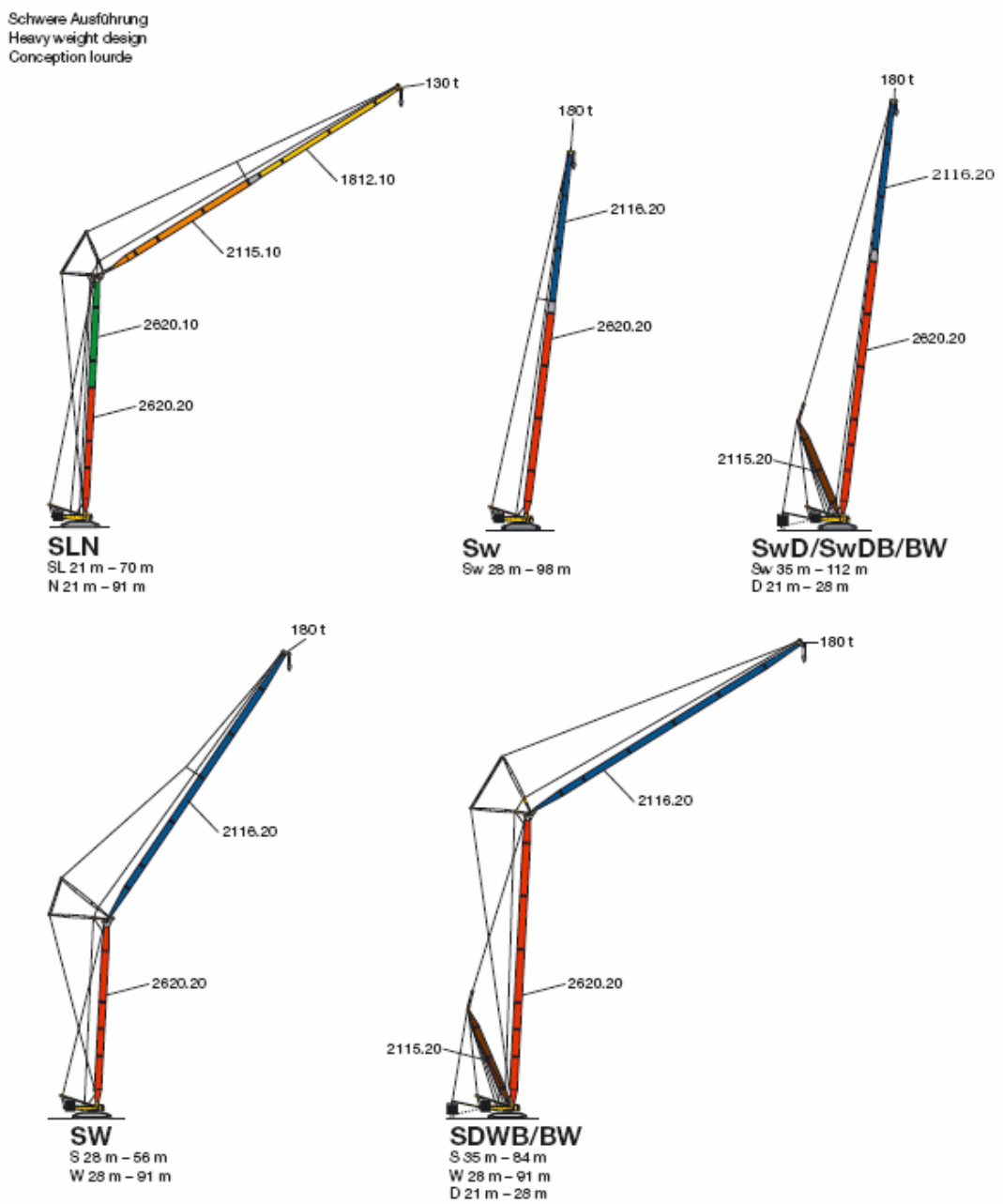


SLD/SLDB/BW
SL 28 m – 112 m
D 21 m – 28 m

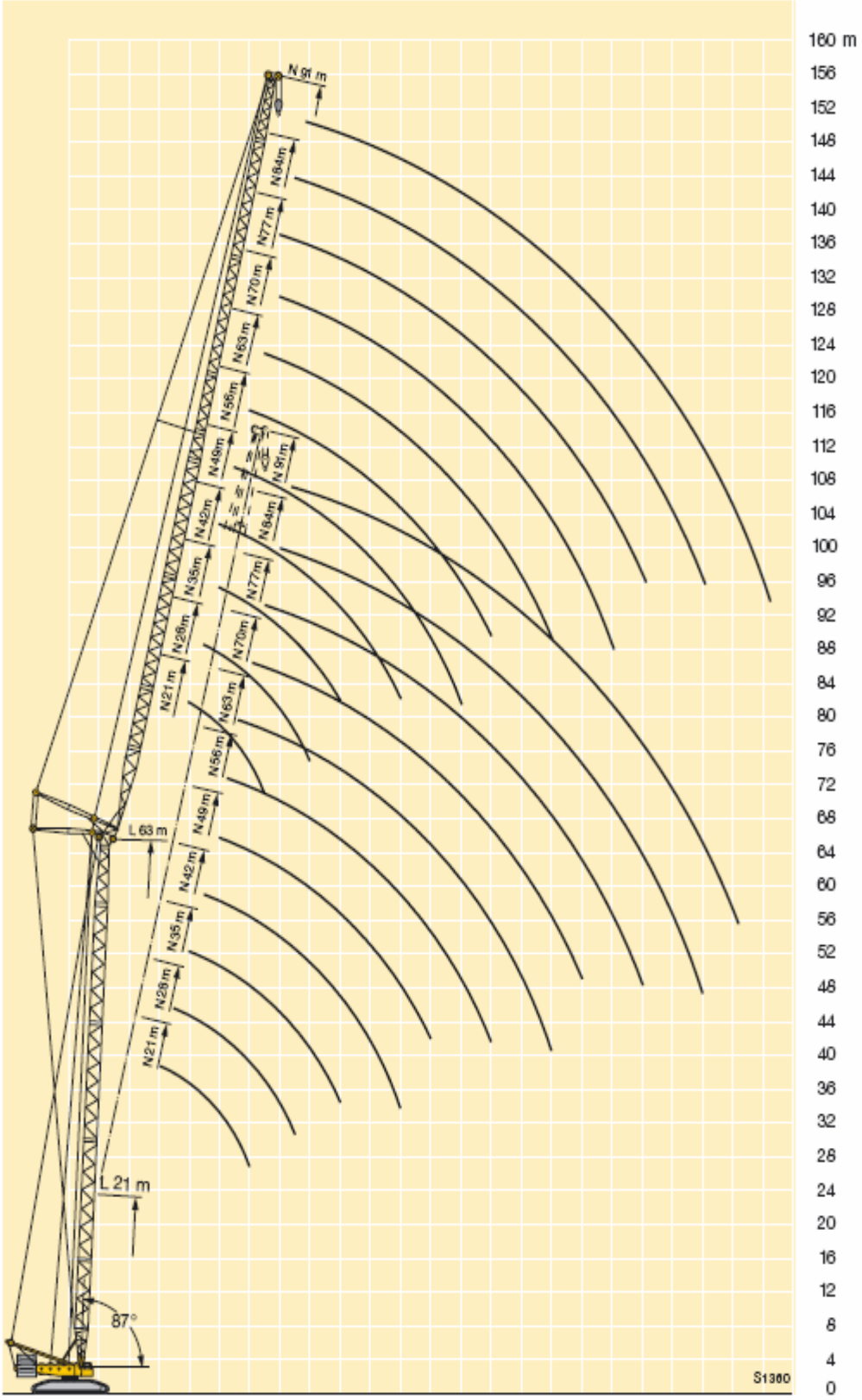


S
S 21 m – 84 m

SD/SDB/BW
S 28 m – 119 m
D 21 m – 28 m



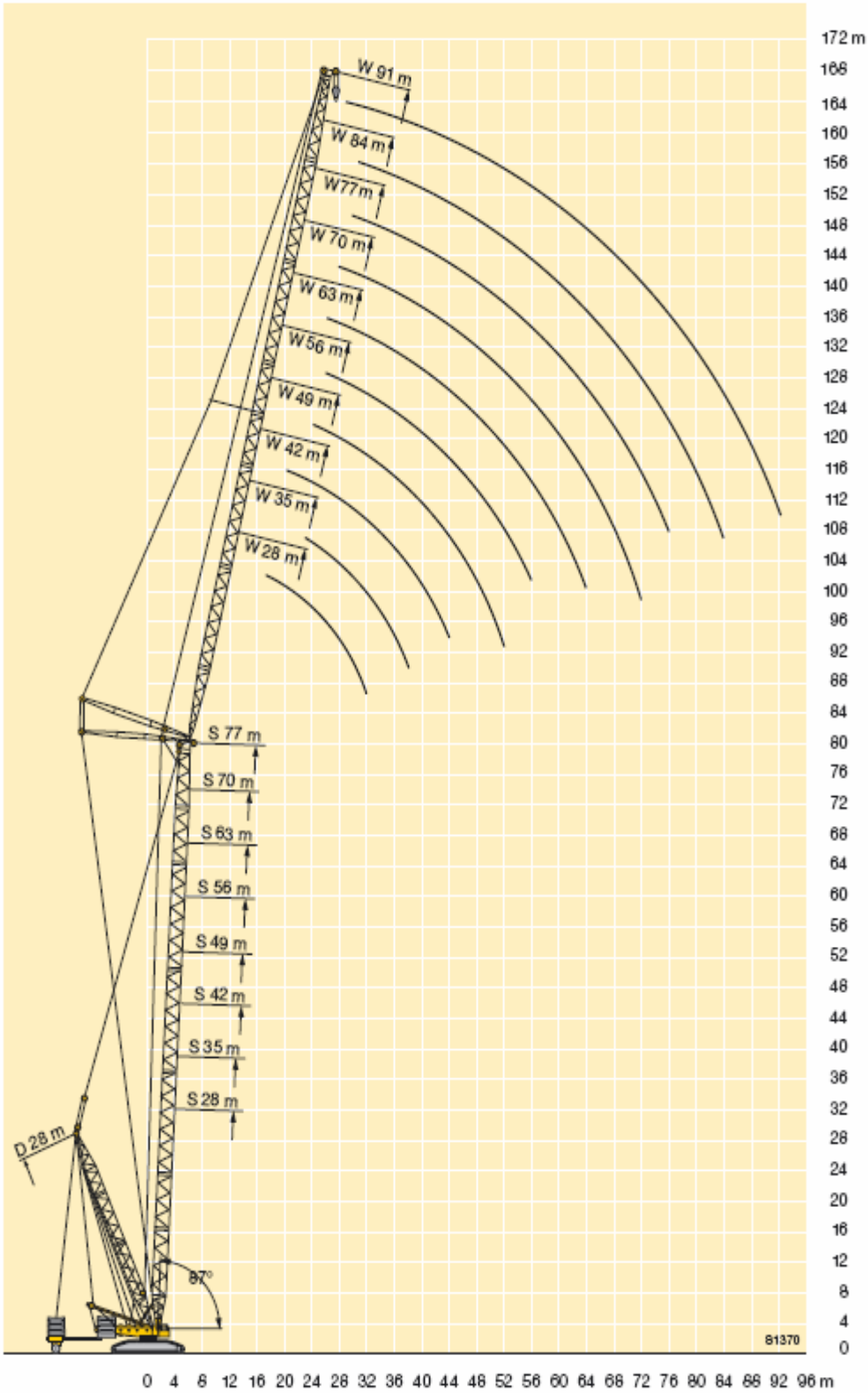
Σχ. 6.4 Διαστάσεις ανυψωτικής μηχανής LR1400 ανυψωτικής ικανότητας 400t.


160 m
156
152
148
144
140
136
132
128
124
120
116
112
108
104
100
96
92
88
84
80
76
72
68
64
60
56
52
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4
0
N 91 m
N 84 m
N 77 m
N 70 m
N 63 m
N 56 m
N 49 m
N 42 m
N 35 m
N 28 m
N 21 m
L 63 m
L 21 m
87°
S1360

Traglasten am SL-Ausleger
Lifting capacities on SL boom
Forces de levage à la flèche principale SL

21 m - 91 m SL | 360° | 155 t | 43 t

m	21 m	28 m	35 m	42 m	49 m	56 m	63 m	70 m	77 m	84 m	91 m	m
4,5	350											4,5
5	350											5
5,5	339											5,5
6	313	305										6
6,5	290	284										6,5
7	271	265	271	265								7
8	239	234	239	234	229							8
9	213	218	213	209	205	194						9
10	193	197	193	189	185	174	165	156				10
11	183	179	175	172	168	158	150	142	132			11
12	168	164	161	158	153	144	137	130	124	114		12
14	143	140	137	134	129	123	117	111	107	102	93	14
16	119	118	117	115	112	106	102	97	93	89	85	16
18	101	100	99	99	98	93	89	85	82	78	75	18
20	87	86	86	85	85	82	79	76	73	69	67	20
22		76	75	74	74	73	71	68	65	62	60	22
24		67	67	66	65	65	64	61	59	56	54	24
26		61	60	59	59	58	57	55	53	51	48,5	26
28			54	53	53	52	51	50	48,5	46	44	28
30			49	48,5	48	46,5	46	45,5	44,5	42	40	30
32			45	44	43,5	42,5	42	41	40,5	38,5	36,5	32
34				40,5	40	39	38,5	37,5	37	35	33,5	34
36				37,5	37	35,5	35	34,5	34	32	30,5	36
38				35	34	33	32	31,5	31	29,4	27,8	38
40					31,5	30,5	29,7	28,9	28,3	26,9	25,3	40
44					27,5	26,2	25,5	24,6	24	22,5	20,9	44
48						22,8	22	21,1	20,5	18,8	17,3	48
52							19,2	18,1	17,4	15,7	14,2	52
56							16,8	15,6	14,8	13	11,5	56
60								13,4	12,5	10,7	9	60
64									10,7	8,7	6,8	64
68									9	6,8	5,5	68
72										5,7	4,3	72
76										4,7	3,3	76
80											2,4	80


W 91 m
W 84 m
W77m
W 70 m
W 63 m
W 56 m
W 49 m
W 42 m
W 35 m
W 28 m
S 77 m
S 70 m
S 63 m
S 56 m
S 49 m
S 42 m
S 35 m
S 28 m
D 28 m
87°
B1370
172 m
168
164
160
156
152
148
144
140
136
132
128
124
120
116
112
108
104
100
96
92
88
84
80
76
72
68
64
60
56
52
48
44
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4
0
0 4 8 12 16 20 24 28 32 36 40 44 48 52 56 60 64 68 72 76 80 84 88 92 96 m

Lifting capacities on SDWB/BW boom/jib combination
Forces de levage en configuration SDWB/BW

m	35 m										42 m										m
	28 m	35 m	42 m	49 m	56 m	63 m	70 m	77 m	84 m	91 m	28 m	35 m	42 m	49 m	56 m	63 m	70 m	77 m	84 m	91 m	
34	101																				34
36	97										94										36
38	93	91									90										38
40	90	87									87	84									40
44	85	81	78								81	78	75								44
48		75	72	69								73	70	68							48
52			67	64	60							69	65	63	57						52
56			61	60	57	44,5							61	59	56	43,5					56
60				53	53	43	42						59	56	54	42,5	39,5				60
64				48,5	47,5	41	42	33,5						53	51	41,5	39,5	30,5			64
68					43	39	41	33,5	27,2						48	39,5	39,5	30,5	24,9		68
72					39,5	36,5	37	33,5	27,2	19,6					44,5	37,5	39,5	30,5	24,9	18	72
76						35	33,5	32,5	27,2	19,6						36	38	30,5	24,9	18	76
80							30,5	29,6	27,2	19,6						35,5	35	30,5	24,9	18	80
84							28,4	26,8	26,5	19,6							32	30,5	24,9	18	84
88								24,9	24,1	19,6							29,7	28,1	24,9	18	88
92								23,1	22	19,6								26,1	24,9	18	92
96									20,4	18,7									23,3	18	96
100									18,8	17,3									21,6	18	100
104										16										18	104
108																				17,1	108

TAB 124143 / 124140

m	49 m										56 m										m
	28 m	35 m	42 m	49 m	56 m	63 m	70 m	77 m	84 m	91 m	28 m	35 m	42 m	49 m	56 m	63 m	70 m	77 m	84 m	91 m	
40	83																				40
44	77	75									73										44
48	72	69	67								68	66									48
52		65	62	61							64	62	60								52
56		62	59	57	54							58	56	54							56
60			56	54	52	41,5							53	51	49						60
64				51	49	41	37						51	48,5	46,5	39					64
68				49	46,5	40	37	28,7						46	44	39	35				68
72					44,5	38	37	28,7	23,3					44,5	42	38,5	35	27,1			72
76					43	36,5	37	28,7	23,3	16,7					40,5	36,5	35	27,1	21,7		76
80						35,5	35,5	28,7	23,3	16,7					39,5	35	33,5	27,1	21,7	15,5	80
84						35	34	28,7	23,3	16,7						35	32,5	27,1	21,7	15,5	84
88							33	28,7	23,3	16,7							31	27,1	21,7	15,5	88
92								28,7	23,3	16,7							30,5	27,1	21,7	15,5	92
96								26,7	23,3	16,7								26,9	21,7	15,5	96
100									23,3	16,7								26,1	21,7	15,5	100
104									21,6	16,7									21,7	15,5	104
108										16,7									20,6	15,5	108
112										16,7										15,5	112

m	63 m									70 m										m
	35 m	42 m	49 m	56 m	63 m	70 m	77 m	84 m	91 m	28 m	35 m	42 m	49 m	56 m	63 m	70 m	77 m	84 m	91 m	
48										62										40
52	59									58	56									44
56	55	54								54	52	50								48
60	53	50	48,5								49,5	47,5	45,5							52
64		48	46	43,5							47,5	45	43	39						56
68		46	43,5	41,5	36,5	32						43	41	38	32					60
72			42	39,5	36,5	32	24,4						39	37	32	27				64
76				38	35,5	32	24,4	19,6					37,5	35,5	32	27	21,7			68
80				37	34	31,5	24,4	19,6	14					34	31	27	21,7	17,3		72
84					33	30	24,4	19,6	14					33	29,7	27	21,7	17,3	12,8	76
88					32	29	24,4	19,6	14						28,9	26,1	21,7	17,3	12,8	80
92						28,2	24,4	19,6	14						28,5	25,2	21,7	17,3	12,8	84
96						27,7	24,4	19,6	14							24,7	21,5	17,3	12,8	88
100							24	19,6	14								21	17,3	12,8	92
104								19,6	14								20,8	17,3	12,8	96
108								19,6	14									17,3	12,8	100
112									14									17,2	12,8	104
116									14										12,8	108
120																			12,8	112

TAB 124143 / 124140

m	77 m										84 m								m
	28 m	35 m	42 m	49 m	56 m	63 m	70 m	77 m	84 m	91 m*	35 m	42 m	49 m	56 m	63 m	70 m	77 m	84 m*	
52	54																		52
56	51	49																	56
60	48,5	46,5	43,5								38								60
64		44	42	37							36,5	31,5							64
68			40	36,5	31						35	30,5	27,2						68
72			38,5	35	30,5	25,9						29,1	26,3	22,5					72
76				33,5	29,8	25,7	21,3					28,8	25	21,8	18,3				76
80				33	28,6	25,4	21,2	17					23,9	20,8	17,7	14,4			80
84					27,7	24,6	21,1	17	13,1				23,9	19,7	17	13,9	11,8		84
88					27,7	23,6	20,6	17	13,1	10,6				19,3	16,2	13,4	11,5	9,4	88
92						23,4	19,8	16,6	13,1	10,6					15,4	12,9	11,3	9,1	92
96							19,2	16,2	13,1	10,6					15,4	12,3	10,8	8,9	96
100							19,2	15,6	12,9	10,6						12,1	10,3	8,6	100
104								15,4	12,6	10,6						12,1	9,9	8,3	104
108								15,4	12,3	10,3							9,9	7,9	108
112									12,3	10,1							9,9	7,7	112
116									12,3	10								7,7	116
120										10									120

* nur mit Ballastwagen / only with ballast trailer / seulement avec porteur de lest

TAB 124143 / 124140

Σχ. 6.5 Διαγράμματα ύψους και αντίστοιχοι πίνακες ανυψωτικής ικανότητας για γερανό τύπου LR1400/2.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Κανόνες Ασφαλείας

7.1 Ασφάλεια στους χώρους εργασίας

7.1.1 Γενικές διατάξεις

Πρέπει να λαμβάνονται οι κατάλληλες προφυλάξεις ώστε:
i) να εξασφαλίζεται ότι όλοι οι χώροι εργασίας είναι ασφαλείς και χωρίς κίνδυνο τραυματισμοί για τους εργαζόμενους
ii) να προστατεύονται τα άτομα που είναι στο εργοτάξιο ή πλησίον αυτού από όλους τους κινδύνους που προέρχονται από αυτή τη θέση.
Όλα τα ανοίγματα και οι χώροι που μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο τους εργαζόμενους πρέπει να σηματοδοτούνται.

Σχ. 7.1 Εργοταξιακό Ατύχημα

7.1.2 Μέσα πρόσβασης και εξόδου

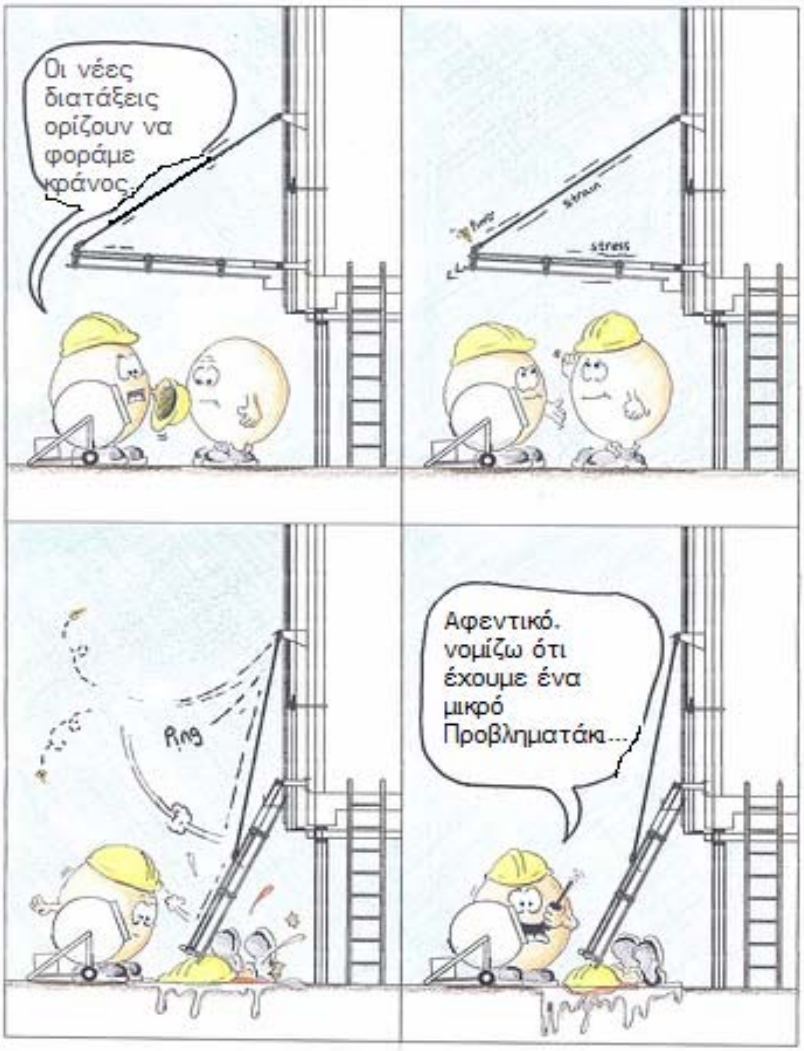
Πρέπει να υπάρχουν επαρκή και ασφαλή μέσα εισόδου και εξόδου σε όλους τους χώρους εργασίας, διατηρημένα σε καλή κατάσταση και με σηματοδότηση όπου χρειάζεται.

7.1.3 Διατήρηση Χώρου

Ένα κατάλληλο πρόγραμμα διατήρησης χώρου πρέπει να καθοριστεί και να εφαρμόζεται συνέχεια σε κάθε εργοτάξιο και να περιλαμβάνει διατάξεις για:
Α) την κατάλληλη αποθήκευση υλικών και εξοπλισμού
Β) την απομάκρυνση άχρηστων υλικών και απορριμάτων σε τακτά χρονικά διαστήματα.
Ελεύθερα υλικά που δεν είναι απαραίτητα για χρήση δεν πρέπει να τοποθετούνται ή να αφήνονται να συσσωρεύονται στο εργοτάξιο, ώστε να εμποδίζουν την είσοδο και έξοδο των μέσων πρόσβασης στους χώρους.
Χώροι και διάδρομοι ολισθηροί από πάγο, χιόνι, λάδι ή άλλες αιτίες πρέπει να καθαρίζονται ή να επιστρώνονται με άμμο, πριονίδι, τέφρα ή κάτι παρόμοιο.

7.1.4 Προληπτικά μέτρα για την αντιμετώπιση πτώσης υλικών, ατόμων και κατάρρευσης κατασκευών

Πρέπει να λαμβάνονται επαρκείς προφυλάξεις, όπως η ύπαρξη περίφραξης, προειδοποιητικής πινακίδας ή φραγμάτων, για να προστατεύονται τα άτομα που είναι δυνατόν να τραυματισθούν από πτώση υλικών, εργαλείων ή εξοπλισμού που μετακινείται.
Όπου είναι αναγκαίο για την αντιμετώπιση του κινδύνου, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται συρματόσχοινα, κοχλιωτή αντιστήριξη ή υποστηρίγματα, για να αποφευχθεί κατάρρευση τμημάτων της κατασκευής που βρίσκονται υπό ανέγερση, συναρμολόγηση, συντήρηση ή επισκευή.
Όλα τα ανοίγματα από τα οποία εργαζόμενοι μπορεί να πέσουν πρέπει να διατηρούνται αποτελσματικώς καλυμμένα ή περιφραγμένα και να σηματοδοτούνται κατάλληλα.
Έφοσον είναι εφικτό, σύμφωνα με τους εθνικούς νόμους και κανονισμούς, πρέπει να τοποθετούνται προστατευτικά κιγκλιδώματα ή φράγματα άκρων στο ανοιχτό άκρο ώστε να προστατεύονται οι εργαζόμενοι από πτώση από υπερυψωμένες θέσεις εργασίας. Όταν δεν είναι δυνατή η τοποθέτηση προστατευτικών κιγκλιδωμάτων, τότε πρέπει να τοποθετούνται και να συντηρούνται επαρκή δίχτυα ή ελάσματα ασφαλείας ή πρέπει να παρέχεται και να χρησιμοποιείται επαρκής εξοπλισμός ασφαλείας.



Σχ. 7.2 Χιουμοριστικό Καρτούν

Σχ. 7.3 Προειδοποιητικές Πινακίδες Εργοταξίου

7.1.5 Αποτροπή μη εξουσιοδοτημένης εισόδου

Εργοτάξια σε κατοικημένες περιοχές, κατά μήκος δρόμων πεζών και οχημάτων πρέπει να περιφράσσονται για να αποτρέπεται η είσοδος μη εξουσιοδοτημένων ατόμων.

Δεν πρέπει να επιτρέπεται η είσοδος στο εργοτάξιο σε επισκέπτες, εκτός αν συνοδεύονται ή έχουν εξουσιοδοτηθεί από αρμόδιο πρόσωπο και είναι εφοδιασμένοι με κατάλληλα μέσα προστασίας.

Σχ. 7.4 Περίφραξη Εργοταξίου με Σήμανση

7.1.6 Πρόληψη και καταστολή πυρκαγιάς

Πρέπει να λαμβάνονται όλα τα κατάλληλα μέτρα ώστε:

i) να αποφεύγεται ο κίνδυνος πυρκαγιάς

ii) να ελέγχεται γρήγορα και αποτελεσματικά κάθε ξέσπασμα πυρκαγιάς

iii) να πραγματοποιείται γρήγορη και ασφαλής εκκένωση του χώρου.

Πρέπει να υπάρχουν κατάλληλοι χώροι αποθήκευσης για εύφλεκτα υγρά, στερεά και αέρια.

Πρέπει να υπάρχουν ασφαλισμένοι αποθηκευτικοί χώροι για εύφλεκτα υγρά, στερεά και αέρια, όπως φιάλες υγροποιημένων αερίων καυσίμων, μπογιές και άλλα τέτοια υλικά για την αποφυγή καταπάτησης.

Το κάπνισμα πρέπει να απαγορεύεται και πινακίδες με την ένδειξη **'Μην Καπνίζετε'** να είναι άμεσα ευδιάκριτες και ευανάγνωστες σε κάθε χώρο που περιέχει καύσιμα ή εύφλεκτα υλικά.

Καύσιμα υλικά, όπως υλικά συσκευασίας, πριονίδι, λαδωμένα στουπιά, άχρηστα ξύλα ή πλαστικά, δεν πρέπει να συσσωρεύονται στο χώρο εργασίας, αλλά να φυλάσσονται σε κλειστά μεταλλικά κουτιά σε ασφαλές μέρος.

Πρέπει να γίνονται τακτικοί έλεγχοι σε μέρη με κίνδυνο πυρκαγιάς. Αυτοί περιλαμβάνουν την περιοχή γύρω από συσκευές θέρμανσης, ηλεκτρικές εγκαταστάσεις και αγωγούς, αποθήκες εύφλεκτων και καύσιμων υλικών, εργασίες συγκόλλησης και κοπής μετάλλων.

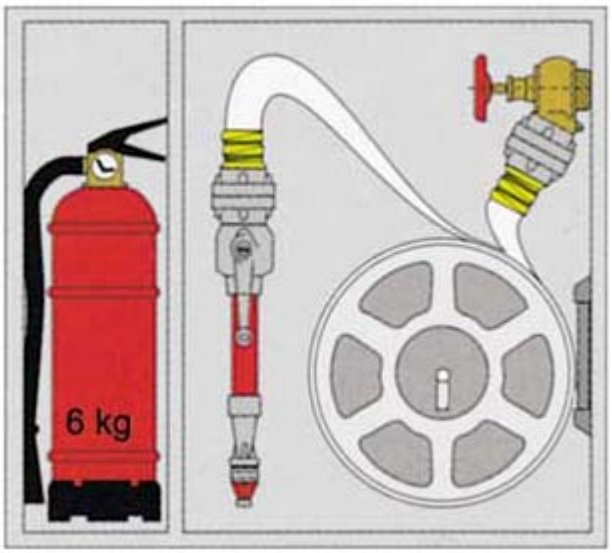
Συγκόλληση, κοπή με φλόγα και άλλες θερμές εργασίες, πρέπει να γίνονται μόνο υπό την επίβλεψη αρμόδιου μετά τη λήψη των κατάλληλων προφυλάξεων που απαιτούνται για τη μείωση των κινδύνων πυρκαγιάς.

Οι χώροι εργασίας θα πρέπει να εφοδιάζονται, στο βαθμό που αυτό είναι εφικτό, με:

i) κατάλληλα και επαρκή μέσα πυρόσβεσης τα οποία είναι εύκολα ορατά και προσπελάσιμα

ii) επαρκή παροχή νερού με αρκετή πίεση.

Ο εξοπλισμός πυρόσβεσης πρέπει να συντηρείται κατάλληλα και να επιθεωρείται σε τακτά χρονικά διαστήματα από αρμόδιο πρόσωπο. Η πρόσβαση σε εξοπλισμό πυρόσβεσης όπως κρούνοι, φορητοί πυροσβεστήρες και συνδέσεις για μάνικα πρέπει να μην παρεμποδίζεται.



Όλοι οι επιβλέποντες και επαρκής αριθμός εργαζομένων πρέπει να εκπαιδεύονται στη χρήση εξοπλισμού πυρόσβεσης έτσι ώστε να υπάρχει διαθέσιμο επαρκώς εκπαιδευμένο προσωπικό σε όλες τις περιόδους εργασίας.

Όπου χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή για τον κίνδυνο πυρκαγιάς, οι εργαζόμενοι θα πρέπει να εκπαιδεύονται κατάλληλα για τις ενέργειες που πρέπει να γίνονται σε μια τέτοια περίπτωση, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης των μέσων διαφυγής.

Όπου είναι αναγκαίο, κατάλληλα ορατά σήματα θα πρέπει να δείχνουν καθαρά τη διεύθυνση διαφυγής σε περίπτωση πυρκαγιάς.

Πρέπει να δίνονται επαρκή και κατάλληλα προειδοποιητικά σήματα σε περίπτωση πυρκαγιάς, όπου είναι αναγκαίο για την αποφυγή του κινδύνου. Τέτοια σήματα πρέπει να ακούγονται σε όλους τους χώρους εργασίας. Πρέπει να υπάρχει ένα αποτελεσματικό σχέδιο εκκένωσης όλων των χώρων εργασίας γρήγορα και χωρίς πανικό. Όλες οι εργασίες πρέπει να σταματούν αμέσως μόλις ακουσθεί το σήμα κινδύνου.

Πινακίδες πρέπει να τοποθετούνται σε εμφανή σημεία δείχνοντας:

i) τον πλησιέστερο συναγερμό πυρκαγιάς

ii) το νούμερο τηλεφώνου και τη διεύθυνση της πλησιέστερης πυροσβεστικής υπηρεσίας.

Σχ. 7.5 Σήμανση Πυροσβεστήρων

7.2 Σκαλωσίες και Κινητές Σκάλες

7.2.1 Γενικές διατάξεις

Όπου η εργασία δεν μπορεί να γίνει με ασφάλεια στο έδαφος, από το έδαφος, από μέρος του κτιρίου ή άλλη σταθερή κατασκευή, θα πρέπει να κατασκευάζεται και να συντηρείται μια ασφαλής και κατάλληλη σκαλωσιά ή να προβλέπεται κάποιος άλλος εξίσου ασφαλής τρόπος εργασίας.

Οι σκαλωσιές πρέπει να εφοδιάζονται με ασφαλή μέσα πρόσβασης, όπως σκαλοπάτια, κινητές σκάλες ή ράμπες. Οι κινητές σκάλες πρέπει να στερεώνονται ώστε να αποφεύγεται ή ακούσια μετατόπισή τους.

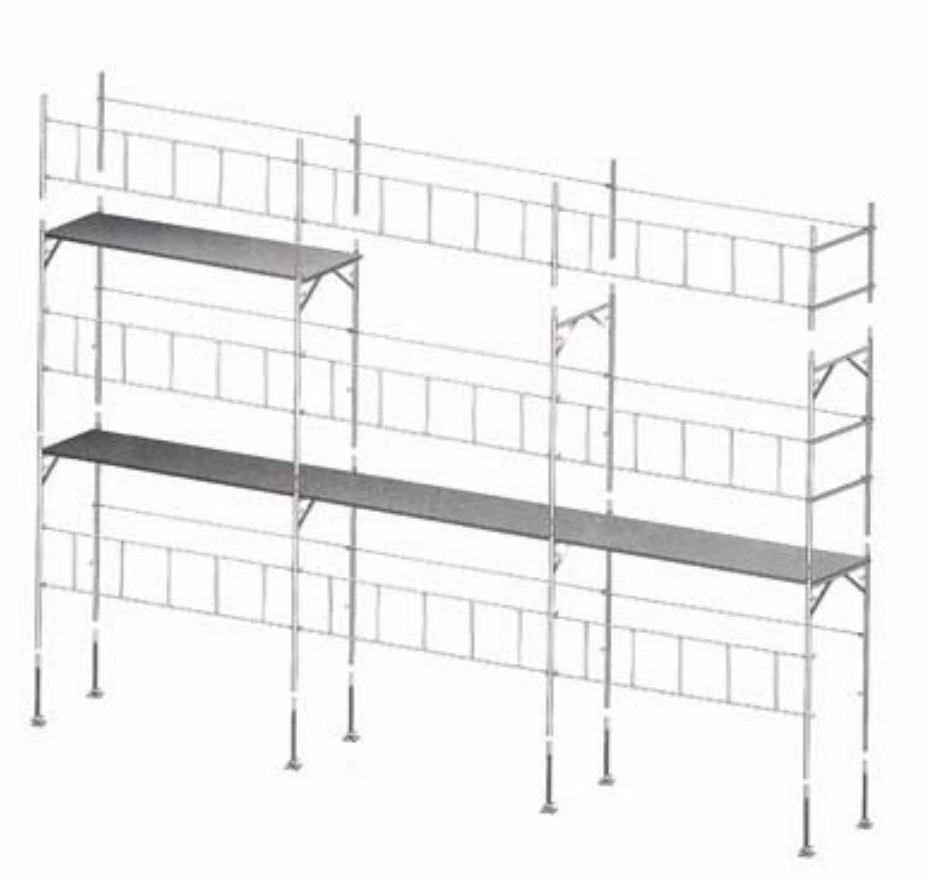
Όλες οι σκαλωσιές και κινητές σκάλες πρέπει να κατασκευάζονται, να εγείρονται και αν χρησιμοποιούνται σύμφωνα με εθνικούς νόμους και κανονισμούς.

Κάθε σκαλωσιά πρέπει να σχεδιάζεται, να κατασκευάζεται, να ανεγείρεται και να συντηρείται κατάλληλα έτσι ώστε να αποφεύγεται η κατάρρευση ή η ακούσια μετατόπιση όταν χρησιμοποιείται.

Κάθε σκαλωσιά ή τμήμα της πρέπει:

i) να σχεδιάζεται έτσι, ώστε να προλαμβάνονται οι κίνδυνοι για τους εργαζόμενους κατά τη διάρκεια της ανέγερσης και της αποσυναρμολόγησης.

ii) να σχεδιάζεται έτσι, ώστε τα κιγκλιδώματα και άλλες συσκευές προστασίας, πλατφόρμες, στύλοι, αντηρίδες, διαδοκίδες, κινητές σκάλες, σκαλοπάτια ή ράμπες να μπορούν εύκολα να τοποθετηθούν μαζί.
iii) να είναι κατασκευασμένη από κατάλληλο και σταθερό υλικό επαρκούς μεγέθους και αντοχής για το σκοπό που δημιουργείται και να διατηρείται σε καλή κατάσταση.



Σχ. 7.6 Τμήμα Σκαλωσιάς

7.2.2 Υλικά

Στην κατασκευή σκαλωσιάς πρέπει να παρέχονται και να χρησιμοποιούνται επαρκή, κατάλληλα και σταθερά υλικά.
Η ξυλεία που χρησιμοποιείται στην κατασκευή των σκαλωσιών πρέπει να είναι με ευθεία νερά, γερή και απαλλαγμένη από μεγάλους ρόζους, ξηρή αποσάρθρωση, τρύπες σκουληκιών και άλλα μειονεκτήματα που θα επηρεάσουν την αντοχή.

Στις σκαλωσιές δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται σχοινιά ελλατωματικά από επαφή με οξέα ή άλλες διαβρωτικές ουσίες ή από άλλη αιτία.
Κινητές σκάλες και σανίδες που χρησιμοποιούνται στις σκαλωσιές δεν πρέπει να βάφονται ώστε να είναι εμφανείς τυχόν φθορές.
Υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή σκαλωσιών πρέπει να συμφωνούν με τους εθνικούς νόμους και κανονισμούς ή να εγκριθούν από την αρμόδια αρχή.
Όλοι οι αγωγοί, συζευκτήρες και εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται στις μεταλλικές σωληνοσκαλωσιές πρέπει να είναι είδους και προδιαγραφών εγκεκριμένων από την αρμόδια αρχή. Όλα τα εξαρτήματα πρέπει να είναι απαλλαγμένα από βλάβη και παραμόρφωση και να διατηρούνται λαδωμένα.
Οι συζευκτήρες δεν πρέπει να προκαλούν παραμόρφωση στους σωλήνες και πρέπει να είναι από χυτό σφυρήλατο χάλυβα ή ισοδύναμο υλικό.
Οι αγωγοί πρέπει να είναι απαλλαγμένοι από ρωγμές, σχισμές και εκτεταμένη διάβρωση και να είναι ευθείς στο μάτι και τα άκρα τους να τέμνουν κάθετα τον άξονα του σωλήνα.
Κράμα και χάλυβας σωληνώσεων δεν πρέπει να αναμιγνύονται στην ίδια σκαλωσιά.

7.2.3 Μελέτη και κατασκευή

Οι σκαλωσιές πρέπει να σχεδιάζονται για μέγιστο φορτίο και με συντελεστή ασφαλείας τουλάχιστον 4 ή όπως καθορίζεται από την αρμόδια αρχή.
Οι σκαλωσιές πρέπει να υποστηρίζονται επαρκώς.
Οι σκαλωσιές που δεν είναι σχεδιασμένες για να είναι ανεξάρτητες, πρέπει να συνδέονται στέρεα με την κατασκευή σε κατάλληλες κατακόρυφες και οριζόντιες αποστάσεις.
Μια σκαλωσιά ποτέ δεν πρέπει να εκτείνεται πάνω από την τελευταία αγκύρωση σε μήκος, που μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο για τη σταθερότητα και την αντοχή της.
Επαρκείς στύλοι και διαδοκίδες πρέπει να παραμένουν στη θέση τους και συνδεδεμένοι με ασφάλεια στις οριζόντιες δοκούς, ορθοστάτες ή στύλους, ανάλογα με την περίπτωση, ώστε να εξασφαλίζεται η σταθερότητα της σκαλωσιάς μέχρι και την τελική αποσυναρμολόγησή της.

Όλες οι σκαλωσιές και τα μέσα υποστήριξης για τις πλατφόρμες εργασίας πρέπει να είναι γερής κατασκευής, σταθερής έδρασης και με κατάλληλη αντιστήριξη ώστε να διατηρούν την σταθερότητά τους.

Όταν πρέπει να αποφύγουμε τον κίνδυνο από πίπτοντα αντικείμενα, οι πλατφόρμες εργασίας, οι διάδρομοι και τα σκαλοπάτια της σκαλωσιάς πρέπει να εφοδιάζονται με υπερκείμενα πλαίσια κατάλληλης αντοχής και διαστάσεων.

Τα καρφιά πρέπει να τοποθετούνται σε όλο το μήκος και όχι σε ένα τμήμα, να κάμπτονται προς τα πάνω και να μην υπόκεινται σε απευθείας έλξη.

Υλικά σκαλωσιάς δεν πρέπει να ρίπτονται από σκαλωσιές ή ύψη. Άλλα υλικά μπορούν να αφήνονται να πέφτουν από σκαλωσιές ή ύψη μόνον όταν η περιοχή ρίψης έχει καθοριστεί, προστατευθεί και σηματοδοτηθεί κατάλληλα και επιβλέπεται τουλάχιστον από ένα άτομο στο επίπεδο προσγείωσης.

Μεταλλικές σκαλωσιές δεν πρέπει να ανεγείρονται σε απόσταση μικρότερη των 5 μέτρων από υπερκείμενες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρισμού, εκτός αν συμφωνούν με τις αποστάσεις ασφαλείας που έχει καθορίσει η αρμόδια αρχή ή αν έχουν τεθεί εκτός λειτουργίας οι γραμμές και οι εγκαταστάσεις.

Όσο είναι εφικτό, κάθε τμήμα πλατφόρμας εργασίας, διαδρόμου ή σκαλοπατιού απ'όπου μπορεί να πέσει άτομο από ύψος μεγαλύτερο των 2 μέτρων πρέπει να εφοδιάζονται με κιγκλιδώματα και φράγματα άκρων, σύμφωνα με τις αντίστοιχες εθνικές προδιαγραφές.

Οι πλατφόρμες εργασίας σε σκαλωσιές πρέπει να έχουν επαρκείς διαστάσεις για τον σκοπό που χρησιμοποιείται η σκαλωσιά, ειδικά όσον αφορά το πλάτος.

Σχ. 7.7 Σήμανση Προειδοποίησης Ημιτελούς Σκαλωσιάς

7.2.4 Χρήση σκαλωσιών

Ο εργοδότης πρέπει να ασκεί κατάλληλη επίβλεψη για να εξασφαλίζει ότι οι σκαλωσιές χρησιμοποιούνται σωστά και μόνο για το σκοπό που σχεδιάζονται ή ανεγείρονται.
Όταν είναι αναγκαίο για την αποφυγή κινδύνων, τα φορτία που ανυψώνονται πάνω ή προς την σκαλωσιά πρέπει να ελέγχονται π.χ. με ένα συρματόσχοινο ώστε να μην μπορούν να χτυπήσουν στην σκαλωσιά.
Το φορτίο στη σκαλωσιά πρέπει να κατανέμεται ομοιόμορφα όσο αυτό είναι δυνατό ώστε να αποφεύγεται η διαταραχή της σταθερότητάς της.
Κατά τη διάρκεια χρήσης της σκαλωσιάς πρέπει συνεχώς να εξασφαλίζεται ότι δεν υπερφορτώνεται και ότι γίνεται κατάλληλη χρήση.
Οι σκαλωσιές δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται για αποθήκευση υλικών, εκτός εκείνων που προορίζονται για άμεση χρήση,
Οι εργαζόμενοι δεν πρέπει να απασχολούνται σε σκαλωσιά, εφόσον οι καιρικές συνθήκες απειλούν την ασφάλειά τους.

7.3 Ανυψωτικά Μέσα και Μηχανισμοί

7.3.1 Γενικές Διατάξεις

Οι εργοδότες πρέπει να διαθέτουν ένα καλά σχεδιασμένο πρόγραμμα ασφαλείας που να εξασφαλίζει ότι όλα τα ανυψωτικά μέσα και μηχανισμοί επιλέγονται, εγκαθίστανται, εξετάζονται, δοκιμάζονται, συντηρούνται, λειτουργούν και αποσυναρμολογούνται:
i) με σκοπό την αποφυγή πιθανού ατυχήματος
ii) σύμφωνα με τις απαιτήσεις των εθνικών νόμων, κανονισμών και προδιαγραφών.
Κάθε ανυψωτικό μέσο μαζί με τα δομικά στοιχεία του, προσαρτήσεις αγκυρώσεις και υποστηρίγματα θα πρέπει να σχεδιάζεται και να κατασκευάζεται σωστά, να είναι από σταθερό υλικό και να έχει επαρκή αντοχή για τον σκοπό που χρησιμοποιείται.
Κάθε ανυψωτικό μέσο και μηχανισμός όταν αγοράζεται θα πρέπει να συνοδεύεται από οδηγίες χρήσεις και πιστοποιητικό ελέγχου από αρμόδιο πρόσωπο ή εγγύηση συμφωνίας με τους εθνικούς νόμους και κανονισμούς που αφορούν:

i) το μέγιστο φορτίο ασφαλούς εργασίας

ii) τα ασφαλή φορτία για διάφορες ακτίνες, εάν η ανυψωτική συσκευή έχει μεταβλητή ακτίνα

iii) τις συνθήκες χρήσεις στις οποίες τα διάφορα φορτία ασφαλούς εργασίας μπορούν να μετακινούνται.

Κάθε ανυψωτικό μέσο και μηχανισμός που έχει ένα μοναδικό φορτίο ασφαλούς εργασίας πρέπει να το αναγράφει καθαρά σε εμφανές σημείο σύμφωνα με τους εθνικούς νόμους και κανονισμούς.

Κάθε ανυψωτικό μέσο και μηχανισμός που έχει μεταβλητό φορτίο ασφαλούς εργασίας πρέπει να εφοδιάζεται με δείκτη φορτίου ή άλλα μέσα, που να δείχνουν καθαρά στο χειριστή κάθε μέγιστο ασφαλές φορτίο εργασίας και τις συνθήκες που αυτό εφαρμόζεται.

Όλα τα ανυψωτικά μέσα πρέπει να υποστηρίζονται επαρκώς και ασφαλώς. Τα χαρακτηριστικά αντοχής βάρους του εδάφους, πάνω στο οποίο λειτουργεί η ανυψωτική συσκευή, πρέπει να εξετάζονται πριν τη χρήση.

Σχ. 7.8 Πυργοειδής Ανυψωτικός Γερανός

7.3.2 Εγκατάσταση

Σταθερά ανυψωτικά μέσα πρέπει να εγκαθίστανται:
i) από αρμόδια πρόσωπα
ii) έτσι ώστε να μην μπορούν να μετακινηθούν από φορτίο, δόνηση ή άλλες επιδράσεις
iii) έτσι ώστε ο χειριστής να μην εκτίθεται σε κίνδυνο από φορτία, συρματόσχοινα ή τύμπανα
iv) έτσι ώστε ο χειριστής να μπορεί να έχει ορατότητα της ζώνης των εργασιών ή να επικοινωνεί μέσω τηλεφώνου, σημάτων ή άλλων κατάλληλων μέσων με όλα τα σημεία φόρτωσης και εκφόρτωσης.
Ανάλογα με τους εθνικούς νόμους και κανονισμούς θα πρέπει να υπάρχει απόσταση τουλάχιστον 60cm ή περισσότερο μεταξύ των κινούμενων τμημάτων ή των φορτίων των ανυψωτικών μέσων και:
i) σταθερών αντικειμένων στον περιβάλλοντα χώρο όπως στύλοι και τοιχών
ii) ηλεκτρικών αγωγών
Η αντοχή και η σταθερότητα των ανυψωτικών μέσων πρέπει να προβλέπει και την επίδραση των δυνάμεων του ανέμου, στις οποίες μπορεί να εκτεθούν.
Καμία μεταβολή στην κατασκευή ή επισκευή δεν μπορεί να γίνει σε τμήμα του ανυψωτικού μέσου, η οποία μπορεί να επηρεάσει την ασφάλειά του, χωρίς την άδεια και επίβλεψη αρμοδίου προσώπου.

7.3.3 Έλεγχοι και δοκιμές

Τα ανυψωτικά μέσα και τα τμήματα του ανυψωτικού μηχανισμού, όπως ορίζεται από εθνικούς νόμους και κανονισμούς, πρέπει να εξετάζονται και να δοκιμάζονται από αρμόδιο πρόσωπο:
i) πριν χρησιμοποιηθούν για πρώτη φορά
ii) μετά την ανέγερση σε εργοτάξιο
iii) σε διαστήματα καθορισμένα από εθνικούς νόμους και κανονισμούς
iv) μετά από κάθε σημαντική μετατροπή και επισκευή.
Ο τρόπος με τον οποίο πρέπει να διεξάγονται οι έλεγχοι και οι δοκιμές από το αρμόδιο πρόσωπο και τα φορτία δοκιμής που πρέπει να εφαρμόζονται για τα διάφορα είδη ανυψωτικών μέσων και μηχανισμών πρέπει να είναι σύμφωνα με τους εθνικούς νόμους και κανονισμούς.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών σε ανυψωτικά μέσα και μηχανισμούς πρέπει να καταγράφονται σε καθορισμένη μορφή και σύμφωνα με τους εθνικούς νόμους και κανονισμούς, να είναι διαθέσιμα στην αρμόδια αρχή, στους εργοδότες και τους εργαζόμενους ή τους αντιπροσώπους τους.

7.3.4 Χειριστήρια, συσκευές χειρισμού και θαλαμίσκοι

Τα χειριστήρια των ανυψωτικών μέσων πρέπει:
i) να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται έτσι ώστε να πληρούν της εργονομικές αρχές
ii) να είναι κατάλληλα τοποθετημένα με αρκετό χώρο για τον χειρισμό και χωρίς να περιορίζεται η ορατότητα του χειριστού
iii) να υπάρχει όπου είναι αναγκαίο μια κατάλληλη συσκευή ασφαλείας για να αποφεύγεται τυχαία και ακούσια μετακίνηση ή μετατόπιση.
iv) να είναι σε μέρος που δεν κινδυνεύει από τη δίοδο του φορτίου
v) να σημειώνεται ευκρινώς ο σκοπός και η μέθοδος χειρισμού.
Τα ανυψωτικά μέσα πρέπει να έχουν συσκευές που να εμποδίζουν την υπερφόρτωση και τη μετακίνηση του φορτίου αν τεθούν εκτός λειτουργίας λόγω της διακοπής της παροχής του ηλεκτρικού ρεύματος.
Στο χειριστή κάθε ανυψωτικού μέσου στην ύπαιθρο, πρέπει να παρέχεται:
i) ασφαλής θαλαμίσκος με ολοκληρωτική προστασία από τις άσχημες καιρικές και κλιματικές συνθήκες και κατασκευασμένος σύμφωνα με τις εργονομικές αρχές
ii) καθαρή και απεριόριστη ορατότητα του χώρου εργασιών
iii) ασφαλής πρόσβαση και έξοδο από το θαλαμίσκο, συμπεριλαμβανομένης της περίπτωσης ασθένειας από τον χειριστή.

7.3.5 Χειρισμός

Κανένα ανυψωτικό μέσο δεν πρέπει να χρησιμοποιείται από εργαζόμενο που:
i) είναι κάτω των 18 ετών
ii) δεν θεωρείται κατάλληλος από ιατρική άποψη
iii) δεν έχει εκπαιδευτεί επαρκώς σύμφωνα με τους εθνικούς νόμους και κανονισμούς ή δεν έχει τα κατάλληλα προσόντα
Όπου απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή τα ανυψωτικά μέσα δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται δίχως πρόβλεψη κατάλληλης σηματοδότησης.

Κανένα άτομο δεν πρέπει να μεταφέρεται με τα ανυψωτικά μέσα, εκτός αν έχουν κατασκευαστεί, εγκατασταθεί και χρησιμοποιούνται για αυτό το σκοπό σύμφωνα με τους εθνικούς νόμους και κανονισμούς, εκτός από την περίπτωση έκτακτης ανάγκης κατά την οποία:

i) μπορεί να συμβεί σοβαρός ή θανάσιμος τραυματισμός

ii) το ανυψωτικό μέσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια

Κάθε τμήμα του φορτίου, για να ανυψωθεί ή να κατέβει σωστά θα πρέπει να αναρτάται ή να υποστηρίζεται κατάλληλα για την αποφυγή κινδύνων.

Για την αποφυγή του κινδύνου, μακριά αντικείμενα όπως δοκάρια, πρέπει να καθοδηγούνται με συρματόσχοινο κατά την ανύψωση και την κάθοδο.

Οι χώροι του εδάφους πρέπει να σχεδιάζονται και να ρυθμίζονται έτσι ώστε οι εργαζόμενοι να μην υποχρεούνται να σκύβουν σε κενό χώρο για φόρτωμα ή ξεφόρτωμα.

Η ανύψωση φορτίων σε μέρη κανονικής κυκλοφορίας οχημάτων πρέπει να γίνεται σε περιφραγμένο χώρο ή, όταν αυτό δεν είναι εφικτό, να λαμβάνονται μέτρα προσωρινής διακοπής ή εκτροπής της κυκλοφορίας για όσο χρονικό διάστημα χρειασθεί.

Σχ. 7.9 Ανυψωτικά μέσα και γερανοί στο εργοτάξιο του γηπέδου Millenium στο Cardiff

7.4 Μέθοδοι και υλικά πυροπροστασίας μεταλλικών κατασκευών

7.4.1 Γενικά

Το πρόβλημα της συμπεριφοράς χαλύβδινων στοιχείων σε υψηλές θερμοκρασίες είναι θέμα με πολύ μεγάλη συχνότητα εμφανίσεως, κατά την τελευταία δεκαπενταετία. Αντίστοιχα υπάρχει σήμερα μια κινητικότητα στην διαμόρφωση προδιαγραφών που θα καθορίζουν τη διαδικασία ελέγχου της επάρκειας των μεταλλικών στοιχείων σε συνθήκες φωτιάς.

Η αντοχή του χάλυβα απομειούται όσο η θερμοκρασία αυξάνεται, μηδενίζεται δε περί τους 1200°C. Εάν επομένως η αύξηση της θερμοκρασίας, στην διάρκεια του χρόνου, δεν ανασταλεί είναι δεδομένο ότι ένα χαλύβδινο στοιχείο, είτε απροστάτευτο, είτε προστατευμένο (μονωμένο), θα καταρρεύσει υπό τα φορτία στα οποία υπόκειται την ώρα της φωτιάς, εντός κάποιου μικρότερου ή μεγαλύτερου χρονικού διαστήματος. Οι προδιαγραφές στις οποίες αναφερθήκαμε ανωτέρω αποβλέπουν ακριβώς στον προσδιορισμό του χρονικού αυτού διαστήματος, που ονομάζεται συνήθως δείκτης πυραντίστασης.

Οι ελάχιστοι απαιτούμενοι χρόνοι αντοχής του χάλυβα σε συνθήκες φωτιάς (ελάχιστος απαιτούμενος κατά περίπτωση δείκτης πυραντίστασης) καθορίζονται σε ιδιαίτερους κανονισμούς. Προδιαγραφή για τον προσδιορισμό του δείκτη πυραντίστασης δεν υπάρχει στην χώρα μας. Επομένως όταν χρειάζεται να γίνει παρόμοια μελέτη πρέπει να αναφερθούμε σε ξένες προδιαγραφές εκ των οποίων οι σημαντικότερες είναι αυτές που περιέχονται στο DIN 4102/ GERMAN, BS 476 U. K., ASTME 119/USA. Σύμφωνα με το πρότυπο DIN 4102 η κρίσιμη θερμοκρασία, πάνω από την οποία ο χάλυβας παύει να διατηρεί ευστάθεια και ακεραιότητα στη φωτιά είναι 500oC, ενώ σύμφωνα με το BS 476 η αντίστοιχη θερμοκρασία φθάνει τους 550oC, θερμοκρασίες οι οποίες επιτυγχάνονται σε χρόνο λιγότερο των 5 λεπτών, με βάση την καμπύλη φωτιάς κατά ISO. Επίσης ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στους Ευρωκώδικες που ο καθένας περιέχει ένα τελευταίο Κεφάλαιο αναφερόμενο στις συνθήκες φωτιάς και στους οποίους έχει ενσωματωθεί η τελευταία γνώση πάνω στο θέμα. Αυτό ισχύει για τους Ευρωκώδικες 1 (φορτία), 2 (κατασκευές από σκυρόδεμα), 3 (κατασκευές από χάλυβα) και 4 (σύμμεικτες κατασκευές). Ωστόσο, ενώ τα κύρια σώματα των κανονισμών

αυτών έχουν ολοκληρωθεί και βρίσκονται υπό δοκιμαστική εφαρμογή, στα κεφάλαια των συνθηκών φωτιάς δεν έχουμε ακόμη τελικά κείμενα.

Σχ. 7.10 Πυρκαγιά σε μεταλλική κατασκευή

7.4.2 Έλεγχος επάρκειας μεταλλικών στοιχείων υπό συνθήκες φωτιάς

Η αντοχή οποιουδήποτε μεταλλικού μέλους εξαντλείται, υπό τα φορτία τα οποία το καταπονούν σε συνθήκες φωτιάς, μετά την πάροδο κάποιου χρονικού διαστήματος από την έναρξη της φωτιάς λόγω της προοδευτικής μειώσεως της αντοχής του. Αντικείμενο του ελέγχου είναι ο προσδιορισμός του χρονικού αυτού διαστήματος και η αξιολόγησή του (η σύγκρισή του δηλαδή προς υπάρχουσες απαιτήσεις). Ο έλεγχος προφανώς, εκτός από σύγκριση χρόνων μπορεί να πραγματοποιηθεί με σύγκριση θερμοκρασιών ή σύγκριση αντοχών.

Κατά τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί ή βρίσκονται σε επεξεργασία προγράμματα υπολογιστή τα οποία είτε χρησιμοποιούν τις υπάρχουσες μεθόδους, είτε επιδιώκουν ακριβέστερες προσεγγίσεις λαμβάνοντας υπόψη της ακριβείς συναρτήσεις μεταβολής των μηχανικών και θερμικών χαρακτηριστικών του χάλυβα, τη μεταβολή της θερμοκρασίας μέσα σε κάθε διατομή και κατά μήκος του φορέα, τις παραμετρικές συναρτήσεις (φωτιές) θερμοκρασίας - χρόνου, τις επαφές και μερικές ή ολικές ενσωματώσεις χαλύβδινων μελών σε άλλα κατασκευαστικά στοιχεία, προσδιορίζουν δε τελικά τις κρίσιμες θερμοκρασίες και τους χαρακτηριστικούς χρόνους με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Τέλος σε πολλά βοηθήματα υπάρχουν πινακοποιημένα αποτελέσματα για συνήθεις περιπτώσεις όπου παρουσιάζεται η διάταξη (μεταλλικού στοιχείου και μονωτικού υλικού) και ο αντίστοιχος δείκτης πυραντίστασης. Συνήθως δίνονται διατάξεις παρέχουσες επάρκεια για χαρακτηριστικούς χρόνους (30 min, 60 min κλπ).

7.4.3 Προστατευτικά υλικά μεταλλικών κατασκευών

Τα υλικά πυροπροστασίας μεταλλικών κατασκευών διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

☐ Στις ειδικές πυράντοχες πλάκες επενδύσεως των μεταλλικών στοιχείων, &

☐ Στις ειδικές πυράντοχες βαφές.

Και στις δύο περιπτώσεις τα υλικά αυτά πρέπει να είναι πιστοποιημένα σύμφωνα με διεθνώς αναγνωρισμένα πρότυπα (DIN 4102, BS 476, ASTME 119) και να χαρακτηρίζονται άκαυστα.

Αναφερόμενοι στην κατηγορία υλικών (α), πρόκειται για ειδικές πλάκες, οι οποίες κατατάσσονται στις κατηγορίες ακαυστότητας : A1 σύμφωνα με το DIN 4102 & 1 σύμφωνα με το BS 476/part 7.

Με βάση το συντελεστή διατομής του μεταλλικού στοιχείου Hp/A και το χρόνο πυραντίστασης που επιθυμούμε να επιτύχουμε κατά περίπτωση, υπάρχουν ειδικοί πίνακες από τους οποίους επιλέγουμε το ελάχιστο πάχος της πλάκας, με την οποία πρέπει να επενδύσουμε το συγκεκριμένο μεταλλικό στοιχείο. Οι χρόνοι πυραντίστασης που μπορούμε να επιτύχουμε με αυτή τη μέθοδο προστασίας είναι ½ ώρα έως και 4 ώρες. Το μικρό πάχος σε συνδυασμό με το χαμηλό βάρος της επένδυσης με αυτές τις ειδικές πλάκες μαζί με τη δυνατότητα προκατασκευής, εξασφαλίζουν μέγιστη αποδοτικότητα σε σχέση με το κόστος. Οι πλάκες αυτού του είδους συνήθως παράγονται σε πάχη από 6 mm έως και 60 mm, ενώ πρέπει να διατηρούν τις ιδιότητες τους σε υψηλές θερμοκρασίες και να μην εκλύουν σε συνθήκες φωτιάς καπνό ή τοξικά αέρια.

Σχετικά με την κατηγορία υλικών (β), πρόκειται για ειδικές πυράντοχες βαφές, οι οποίες εφαρμόζονται στην μεταλλική διατομή συνήθως σε τέσσερις στρώσεις.

Το συνολικό πάχος του υλικού που εφαρμόζεται φθάνει μέχρι τα 1.500 μ και ο παρεχόμενος δείκτης πυραντίστασης είναι της τάξεως των 30 min και σε μερικές ειδικές περιπτώσεις, που έχουν να κάνουν με το συντελεστή Hp/A, της τάξεως των 60 min.

Η βαφή εφαρμόζεται, συνήθως με ψεκασμό με ειδικό ψεκαστικό εξοπλισμό και διατηρεί εμφανή τη βασική γεωμετρία της μεταλλικής διατομής, όταν αυτό απαιτείται.

Ιδιαίτερα πρέπει να τονιστεί το γεγονός ότι τόσο στην περίπτωση της επένδυσης με πλάκες όσο και στην περίπτωση της εφαρμογής ειδικής βαφής, ο δείκτης πυραντίστασης της μεταλλικής κατασκευής πρέπει να πιστοποιείται από επίσημο εργαστήριο ελέγχων κατά προτίμηση Ευρωπαϊκό και να συνοδεύεται από το αντίστοιχο πιστοποιητικό.

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

Επιλογή Διατομών και Διαστασιολόγηση

Ιi Γενικά

Οι διατομές των μελών του φορέα του στεγάστρου επιλέχθηκαν λαμβάνοντας υπόψιν τις εξής παραμέτρους:

1. Ελάχιστες δυνατές μετακινήσεις κατά καθολικούς άξονες X,Y,Z
2. Επάρκεια αντοχής
3. Ελάχιστο δυνατό βάρος φορέα

Μ'αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται όχι μόνο η σταθερότητα και η αντοχή της κατασκευής αλλά ταυτόχρονα ελαχιστοποιείται το κόστος, κυρίως με την εξέταση του συνολικού βάρους της κατασκευής.

Για την έλεγχο των διατομών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Steel Members που συνεργάζεται με την Sofistik το οποίο πραγματοποιεί αυτομάτως όλους τους απαραίτητους ελέγχους ενώ δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να εντοπίσει τον δυσμενέστερο συνδυασμό δράσεων, είτε για όλο το φορέα είτε για συγκεκριμένη ομάδα μελών αυτού, απλοποιώντας σε μεγάλο βαθμό τη μελέτη.

Ιii Αρχική Επιλογή Διατομών

Εύκολα γίνεται αντιληπτό πώς κατά τη μόρφωση του φορέα απαιτείται μια αρχική, προσεγγιστική επιλογή διατομών χωρίς προφανώς να έχει γίνει κάποιος έλεγχος. Με βάση αυτές τις διατομές και τους συνδυασμούς φορτίσεων, το Steel Members θα πραγματοποιήσει όλους τους ελέγχους που χρειάζεται και θα εξάγει τα σχετικά αποτελέσματα. Στόχος είναι να μην αστοχεί καμία διατομή υπό καμία επιβολή φορτίσεων ή έστω να αστοχεί κάποια συγκεκριμένη ομάδα μελών όπως π.χ. οι πυλώνες. Έτσι θα είναι εύκολο με δοκιμές να αλλαχθούν οι διατομές μόνο για εκείνη την ομάδα μελών και να βρεθούν κάποιες με τις οποίες η κατασκευή δεν θα αστοχεί.

Για το υπό μελέτη στέγαστρο στο γήπεδο του Παναθηναϊκού στους Αμπελοκήπους, η αρχική επιλογή των διατομών έγινε βασιζόμενη σε μελέτες παρόμοιων έργων σε γήπεδα και στάδια ανά τον κόσμο, όπως και στη στατική λογική του φορέα. Επομένως για παράδειγμα οι πυλώνες θα έχουν πολύ μεγαλύτερη διατομή από τη διατομή των περιμετρικών δοκών καθώς τα φορτία που έχουν να αναλάβουν είναι πολλαπλάσια. Επίσης είναι λογικό η κύρια δοκός στη μεγάλη διάσταση λόγω του μεγαλύτερου μήκους της θα πλήττεται σε μεγαλύτερο βαθμό από την κύρια δοκό στη μικρή διάσταση. Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με τις επιλεχθείσες διατομές σε αρχικό στάδιο.

Μέλη	Διατομές στη μεγάλη διάσταση (σε mm)	Διατομές στη μικρή διάσταση (σε mm)
Πυλώνες	CHS 4000x150	CHS 4000x200
Άνω και κάτω πέλμα κυρίων δοκών	CHS 1016x35	CHS 711x20
Διαγώνια μέλη κυρίων δοκών	CHS 323.9x12.5	CHS 323.9x12.5
Διαδοκίδες	RHS 360x220x12.5	RHS 360x220x12.5
Περιμετρικές δοκοί	CHS 168.3x12.5	CHS 168.3x12.5
Χιαστοί σύνδεσμοι	CHS 168.3x8.8	CHS 168.3x8.8
Τεγίδες	RHS 360x220x12.5	RHS 360x220x12.5

Πίνακας Ii Αρχικές Διατομές

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι η βιβλιοθήκη του Steel Memebers περιλαμβάνει τυποποιημένες διατομές καθώς και τα χαρακτηριστικά τους. Στην αρχική φάση της μελέτης έγινε προσπάθεια να επιλεχθούν διατομές τις οποίες το πρόγραμμα θα τις αναγνωρίζει και θα μπορεί να τις υπολογίσει. Διαφορετικά εμφανίζεται μήνυμα 'μη εύρεσης διατομών.' Στη συνέχεια όμως και καθώς θα επιχειρείται η βελτιστοποίηση του φορέα, η ανάγκη για επιλογή διατομών εκτός βιβλιοθήκης θα είναι αυξημένη και για αυτό το λόγο θα χρειαστεί οι διατομές αυτές να ενταχθούν πρώτα σε αυτήν και μετά να τρέξει το πρόγραμμα. Οι διατομές που θα χρησιμοποιήθηκαν ήταν κοίλες ορθογώνιες και κυκλικές. Παρακάτω παρατίθονται πίνακες των διατομών προς δοκιμή:

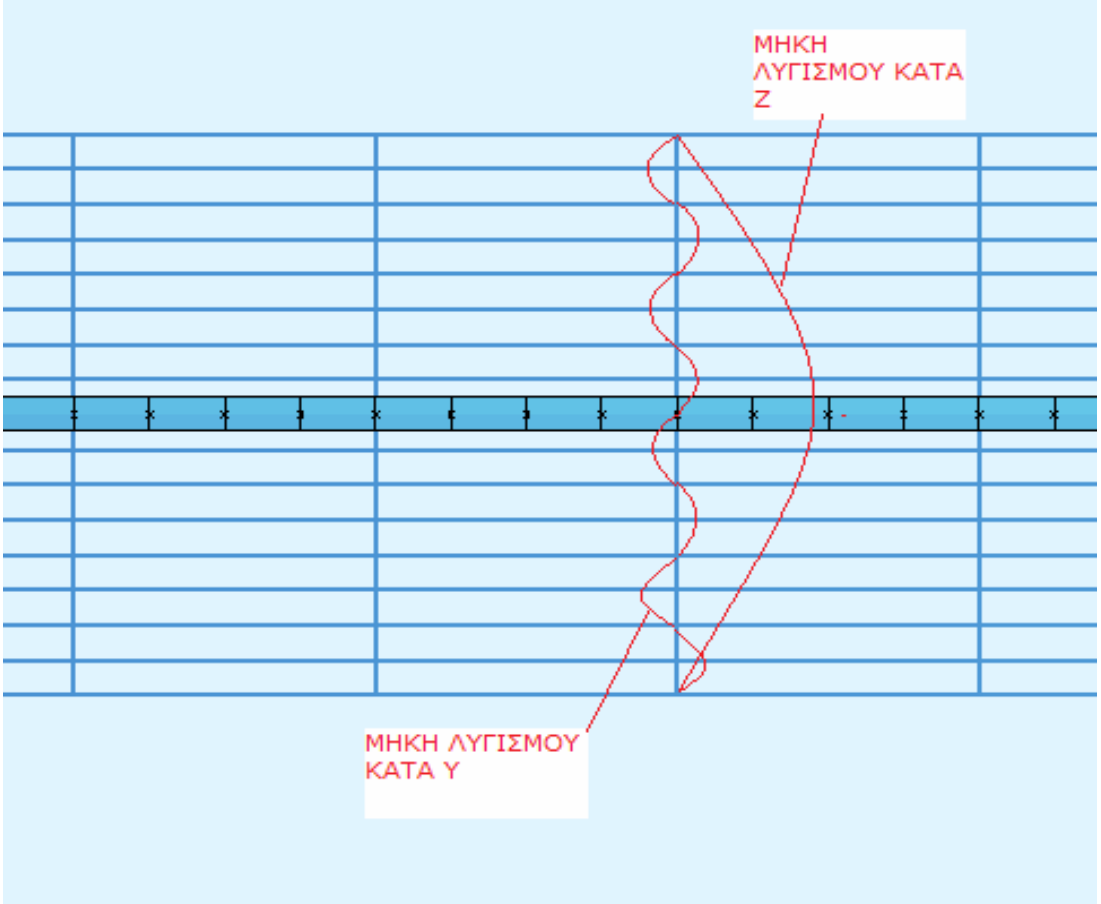
Iiii Εύρεση μη Αστοχούντων Διατομών

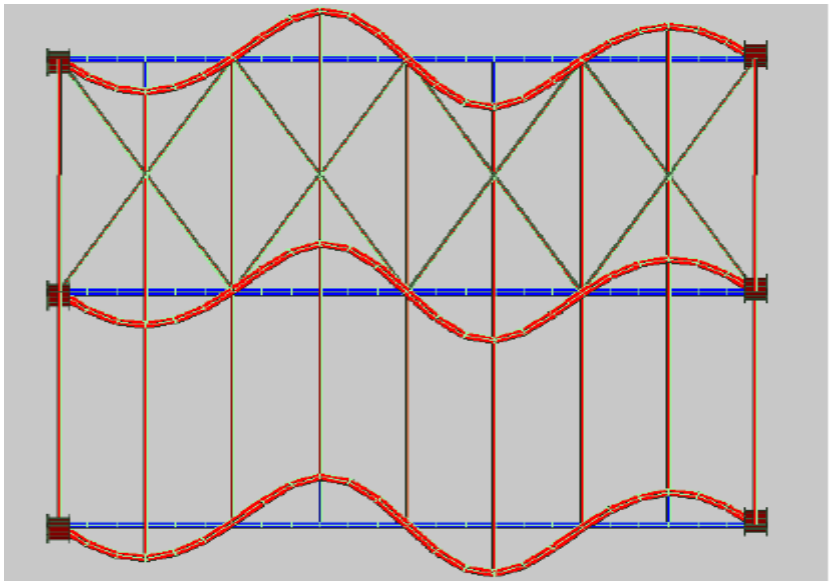
Στην επόμενη φάση θα επιχειρήσουμε να βρούμε μέσω δοκιμών τις διατομές εκείνες με τις οποίες ο φορέας δεν θα αστοχεί. Βασική αρχή στην προσπάθεια εύρεσης των διατομών αυτών είναι η διατήρηση της γεωμετρίας της κατασκευής καθώς κάτι τέτοιο θα συνεπαγόνταν αλλαγές στο πρόγραμμα Sofistik καθώς και νέες αναλύσεις και δοκιμές. Κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό, κυρίως από χρονικής απόψεως, στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Επιπλέον, για την ελαχιστοποίηση του χρόνου και του φόρτου εργασίας αλλά και για ορθά αποτελέσματα, θα χρησιμοποιούμε την υπορουτίνα ΜΑΧΙΜΑ για να βρίσκουμε τις περιβάλλουσες όλων των εντατικών μεγεθών αντί να τρέχουμε καθένα συνδυασμό φόρτισης ξεχωριστά. Ουσιαστικά με αυτόν τον τρόπο ελέγχουμε τις διατομές μας όχι για συνδυασμούς φορτίσεων αλλά για τις αντοχές τους στα μέγιστα επιβαλλόμενα εντατικά μεγέθη που προκύπτουν από το σύνολο αυτών. Έτσι θα εξάγονται χρήσιμα στατικά συμπεράσματα που αφορούν στην αιτιολόγηση των επιλογών και στην κατανόηση της στατικής συμπεριφοράς του φορέα.

Κάτι που πρέπει να προσέξουμε στη χρήση του προγράμματος Steel Members αφορά τον ορισμό των μηκών λυγισμού ενιαίων μελών όταν αυτά τα μέλη δεν λειτουργούν με το σύνολο του μήκους τους αλλά με μικρότερα μήκη λόγω ύπαρξης άλλων εγκάρσιων μελών που τα στηρίζουν ενδιαμέσως. Αυτές οι διορθώσεις θα γίνουν σε περιβάλλον Steel Members για τις κύριες δοκούς, τις διαδοκίδες και τις περιμετρικές δοκούς. Επιπλέον το πρόγραμμα Sofistik υπολογίζει μήκη λυγισμού από κόμβο σε κόμβο κάτι που όμως είναι λάθος καθώς ένα κομμάτι συνεχής δοκού χωρίς ενδίαμεση στήριξη πιθανώς να έχει οριστεί από περισσότερους από δύο κόμβους. Έτσι και αυτό το πρόβλημα πρέπει να διορθωθεί. Αξίζει να σημειωθεί πώς τα καλώδια δεν μειώνουν τα μήκη λυγισμού αφού δεν εξασφαλίζουν πλευρική στήριξη στις περιμετρικές δοκούς. Στην σχάρα όμως έχουμε λειτουργία πλευρικής στήριξης όπως φαίνεται παρακάτω. Πάντως οι διατομές που έχουμε χρησιμοποιήσει στην κατασκευή μας γενικά είναι μη ευπαθής σε πλευρικό και στρεπτοκαμπτικό λυγισμό καθώς είναι όλες τους κοίλες και διαθέτουν μεγάλη στρεπτική

δυσκαμψία. Περισσότερο ευπαθείς σε πλευρικό λυγισμό είναι διατομές με μεγάλο λόγο Iy/Iz αλλά στην περίπτωσή μας ο λόγος Iy/Iz = 1.





Σχ. Iii Μήκη λυγισμού y στο επίπεδο του χαρτιού (ύπαρξη πλευρικής εξασφάλισης) και z κάθετα σ'αυτό για τη σχάρα κυρίων και δευτερευουσών δοκών του στεγάστρου

Τρέχοντας το Steel Members για τις αρχικώς επιλεγμένες διατομές διαπιστώνουμε ότι ένας αριθμός μελών αστοχεί. Πιο συγκεκριμένα στο στέγαστρό μας αστοχούν ορισμένα μέλη της κύριας δοκού στη μεγάλη διάσταση, ορισμένα μέλη διαδοκίδων και κάποια διαγώνια μέλη της κυρίας δοκού της μικρής διάστασης. Είναι προφανές ότι η επόμενη κίνηση είναι να αλλαχθούν οι διατομές που αφορούν τα μέλη αυτά έως ότου η κατασκευή σταθεροποιηθεί.

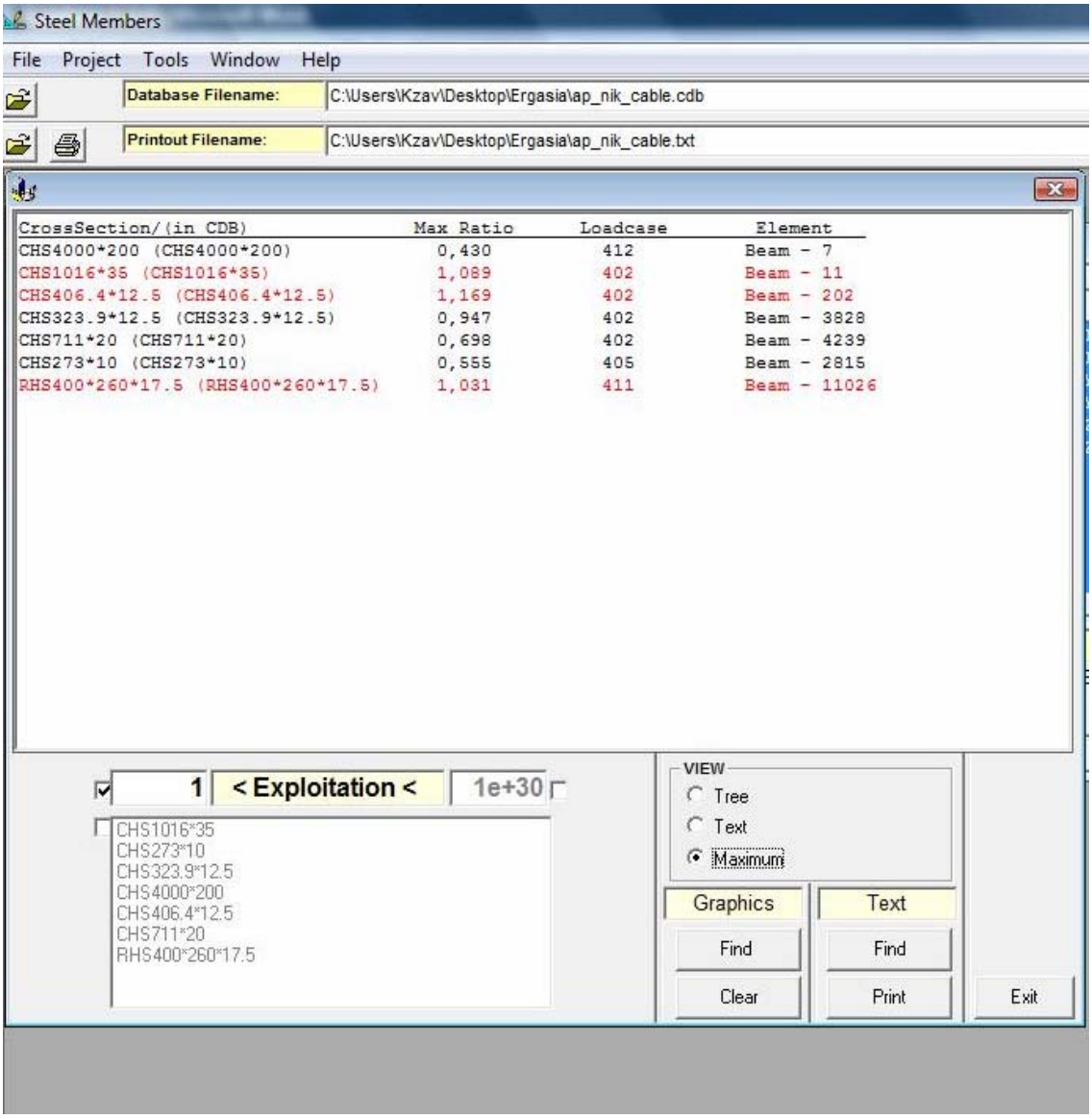
Μέλη	Διατομές στη μεγάλη διάσταση (σε mm)	Διατομές στη μικρή διάσταση (σε mm)
Πυλώνες	CHS 4000x150	CHS 4000x200
Άνω και κάτω πέλμα κυρίων δοκών	CHS 1200x40	CHS 711x20
Διαγώνια μέλη κυρίων δοκών	CHS 323.9x12.5	CHS 406.4x12.5
Διαδοκίδες	RHS 400x260x17.5	RHS 400x260x17.5
Περιμετρικές δοκοί	CHS 406.4x12.5	CHS 406.4x12.5
Χιαστοί σύνδεσμοι	CHS 406.4x12.5	CHS 406.4x12.5
Τεγίδες	RHS 360x220x12.5	RHS 360x220x12.5

Πίνακας Iii Διατομές που δεν αστοχούν προ βελτιστοποίησης

Iiiv Βελτιστοποίηση Φορέα

Η βελτιστοποίηση θα γίνει κυρίως σε επίπεδο επιλογής διατομών μέσω δοκιμών και χάραξη διαγραμμάτων συντελεστή εκμετάλλευσης υλικού που φυσικά δεν ξεφεύγων από τα ασφαλή όρια που ορίζουν οι ΟΚΑ και ΟΚΛ. Είναι επιθυμητό ο

συντελεστής εκμετάλλευσης υλικού για κάθε ομάδα μελών της κατασκευής να πλησιάζει τη μονάδα, να είναι δηλαδή μεταξύ 0,8 – 0,95. Μ'αυτό τον τρόπο εξασφαλίζουμε ότι δεν έχουμε υπερδιαστασιολογήσει το φορέα μας και χαρησιμοποιήσει διατομές μεγαλύτερες απ'ότι χρειάζεται. Συνεπώς κερδίζουμε σε οικονομία.



Σχ. Ιiii Προβολή συντελεστών εκμετάλλευσης στη φάση δοκιμής των διατομών για το περισσότερο επιβαρημένο μέλος καθεμίας ομάδας μελών όπως και αναφορά αυτού καθώς και του συνδυασμού φόρτισης εκείνου κατά τον οποίο υφίσταται η μέγιστη ένταση

Ξεκινώντας λοιπόν με δοκιμές, προσπαθούμε να βρούμε τις καταλληλότερες διατομές στο στέγαστρό μας από άποψη οικονομίας, εφόσον εξασφαλίσαμε την σταθερότητα της κατασκευής. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών αυτών διαπιστώθηκε (κάτι που πάντως ήταν αναμενόμενο αλλά ίσως όχι σε τέτοιο βαθμό) ότι μια αλλαγή στη διατομή μιας ομάδας μελών επηρεάζει σημαντικά τις εντατικές καταπονήσεις στις οποίες υπόκεινται οι υπόλοιπες ομάδες μελών του φορέα και ας μην έχει μεταβληθεί η διατομή τους ούτε στο ελάχιστο. Επομένως δεν ήταν δυνατό να φτάσουμε τον συντελεστή εκμετάλλευσης υλικού στα επιθυμητά επίπεδα για όλα τα μέλη της κατασκευής στο χρονικό πλαίσιο εκπόνησης αυτής της διπλωματικής. Αυτό γιατί ο φόρτος και όγκος εργασίας και ανάλυσης για τα χρησιμοποιούμενα στατικά προγράμματα ήταν τέτοιος που οι διαθέσιμοι ηλεκτρονικοί υπολογιστές δυσκολευόντουσαν να ανταποκριθούν ενώ υπήρχαν περιπτώσεις που έπαυαν να λειτουργούν κατά τη διάρκεια της ανάλυσης του φορέα.

Παρατηρώντας το σχήμα Iiii παραπάνω παρατηρούμε πώς από όλες τις ομάδες μελών του στεγάστρου οι πυλώνες είναι αυτοί που φαίνεται να έχουν υπερδιασταλογηθεί περισσότερο και μάλιστα βλέπουμε ότι έχουν πολύ χαμηλό συντελεστή εκμετάλλευσης υλικού (μικρότερο του 0,5). Ωστόσο όταν μειώσαμε τη διάμετρο των πυλώνων από 4 μέτρα σε 3 μέτρα διατηρώντας όλες τις υπόλοιπες διατομές ως είχαν διαπιστώθηκε πώς δεν αυξήθηκε μόνο ο συντελεστής εκμετάλλευσης για τους πυλώνες αλλά και για όλα τα μέλη με αποτέλεσμα να αστοχούν περισσότερα από πριν και άλλα να έχουν φτάσει κοντά στο όριο αστοχίας τους.

Κατά συνέπεια θα έπρεπε να αλλάξουμε αναλόγως και όλες τις υπόλοιπες διατομές για να επιτευχθεί σταθερότητα και ασφάλεια στην κατασκευή. Προέκυψε λοιπόν το ερώτημα: τι συμφέρει από απόψεως κόστους; α) να μειωθούν οι διατομές των υποστυλωμάτων ώστε να επιτύχουμε την μέγιστη δυνατή εκμετάλλευσή τους και να αυξήσουμε όλες τις υπόλοιπες ή β) να παραμείνουν οι διαστάσεις των υποστυλωμάτων ως έχουν και έτσι οι υπόλοιπες διατομές να προκύψουν σχετικά μικρές;
Για να απαντηθεί το ερώτημα αυτό βρήκαμε αρχικά με τη βοήθεια του Sofistik πληροφορίες που αφορούσαν τα συνολικά μήκη και βάρη των διαφορετικών διατομών που χρησιμοποιούνται στο υπό μελέτη στέγαστρο. Παρακάτω

παρατίθονται πίνακες με τα μήκη και βάρη των μη αστοχούντων διατομών του στεγάστρου στις δύο αναφερθείσες περιπτώσεις.

ΔΙΑΤΟΜΕΣ

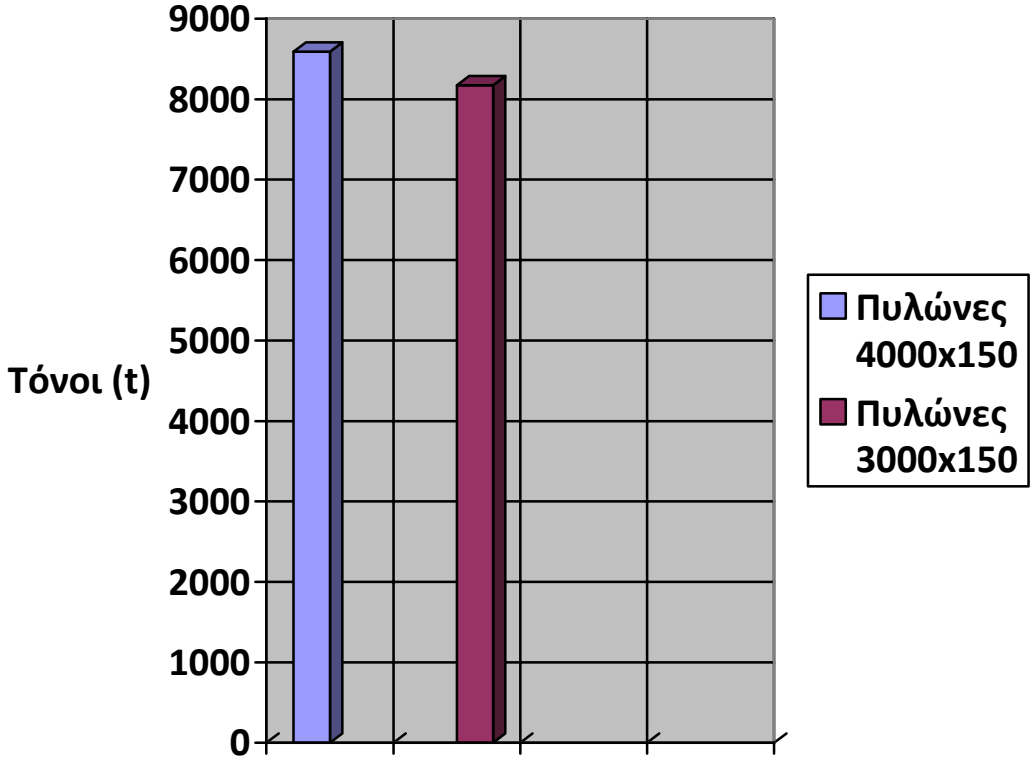
No.	Ολικό Μήκος	Ολικό Βάρος	Μέλη
	[m]	[t]	
10	10090.000	1670.175	Διαδοκίδες άνω και κάτω πέλμα
20	606.000	693.442	Κύρια δοκός άνω και κάτω πέλμα
50	1271.937	154.448	Περιμετρικές δοκοί
80	2367.219	287.445	Οριζόντιοι χιαστί σύνδεσμοι
100	633.058	98.166	Κύρια δοκός διαγώνια μέλη
120	473.255	148.831	Μικρή διάσταση κύρια δοκός
200	340.000	52.722	Μικρή διάσταση διαγώνια μέλη
210	162.000	3036.325	Πυλώνες
300	6138.220	2448.439	Καλώδια

Πίνακας Ιiν Μήκη και Βάρη καθεμίας ομάδας μελών για πυλώνες διαστάσεων 4000x150

No.	Ολικό Μήκος	Ολικό Βάρος	Μέλη
	[m]	[t]	
10	10090.000	1670.175	Διαδοκίδες άνω και κάτω πέλμα
20	606.000	693.442	Κύρια δοκός άνω και κάτω πέλμα
50	1271.937	197.234	Περιμετρικές δοκοί
80	2367.219	367.074	Οριζόντιοι χιαστί σύνδεσμοι
100	633.058	215.760	Κύρια δοκός διαγώνια μέλη
120	473.255	289.153	Μικρή διάσταση κύρια δοκός
200	340.000	52.722	Μικρή διάσταση διαγώνια μέλη
210	162.000	2237.293	Πυλώνες
300	6138.220	2448.439	Καλώδια

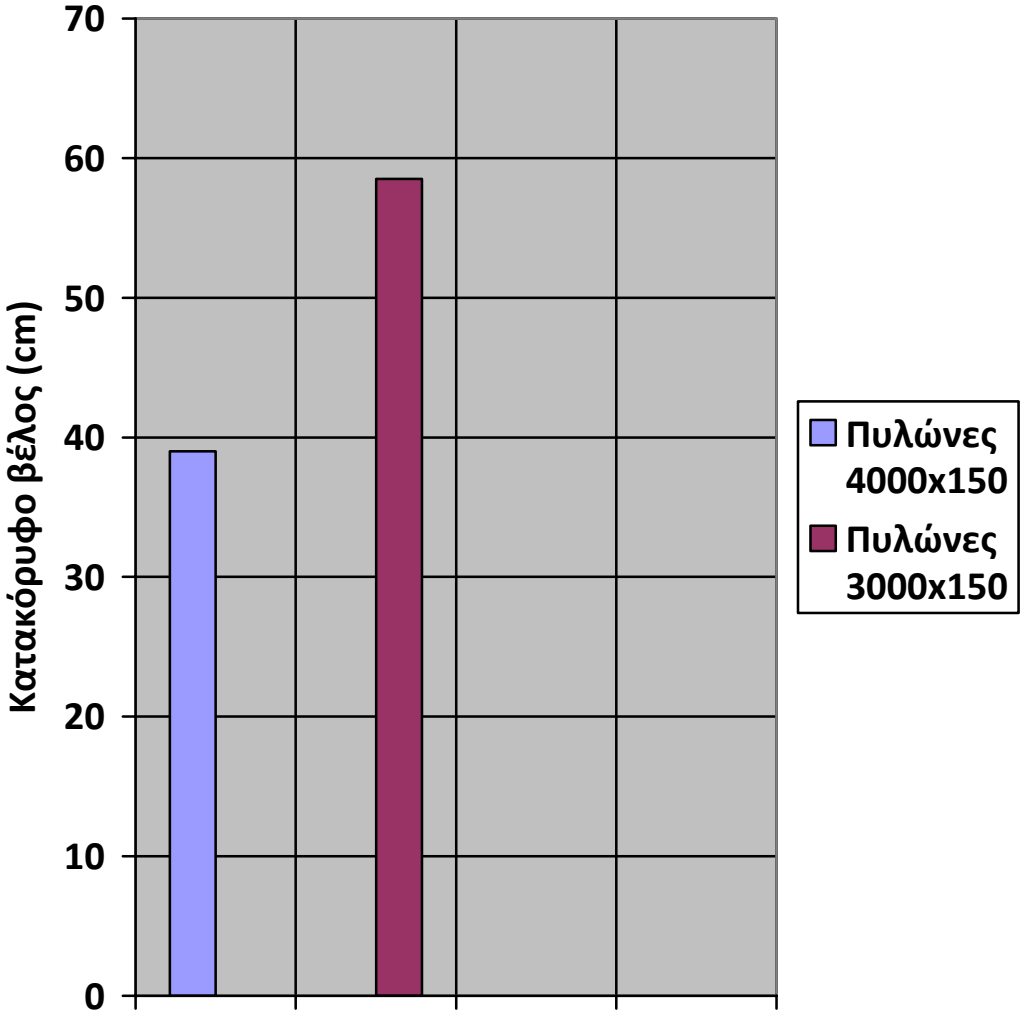
Πίνακας Ιv Μήκη και Βάρη καθεμίας ομάδας μελών για πυλώνες διαστάσεων 3000x150

Το ολικό βάρος του φορέα προκύπτει για τις παραπάνω περιπτώσεις από το άθροισμα των βαρών των επιμέρους μελών. Έτσι για πυλώνες 4000x150 το συνολικό βάρος κατασκευής είναι 8589.933 τόνοι ενώ για πυλώνες 3000x150 είναι 8171.292 τόνοι. Παρακάτω παρατίθεται σχετικό διάγραμμα.



Γράφημα Ivi Ολικό βάρος χαλύβδινων διατομών στεγάστρου (σε τόνους) για διαφορετικές διαστάσεις υποστυλωμάτων

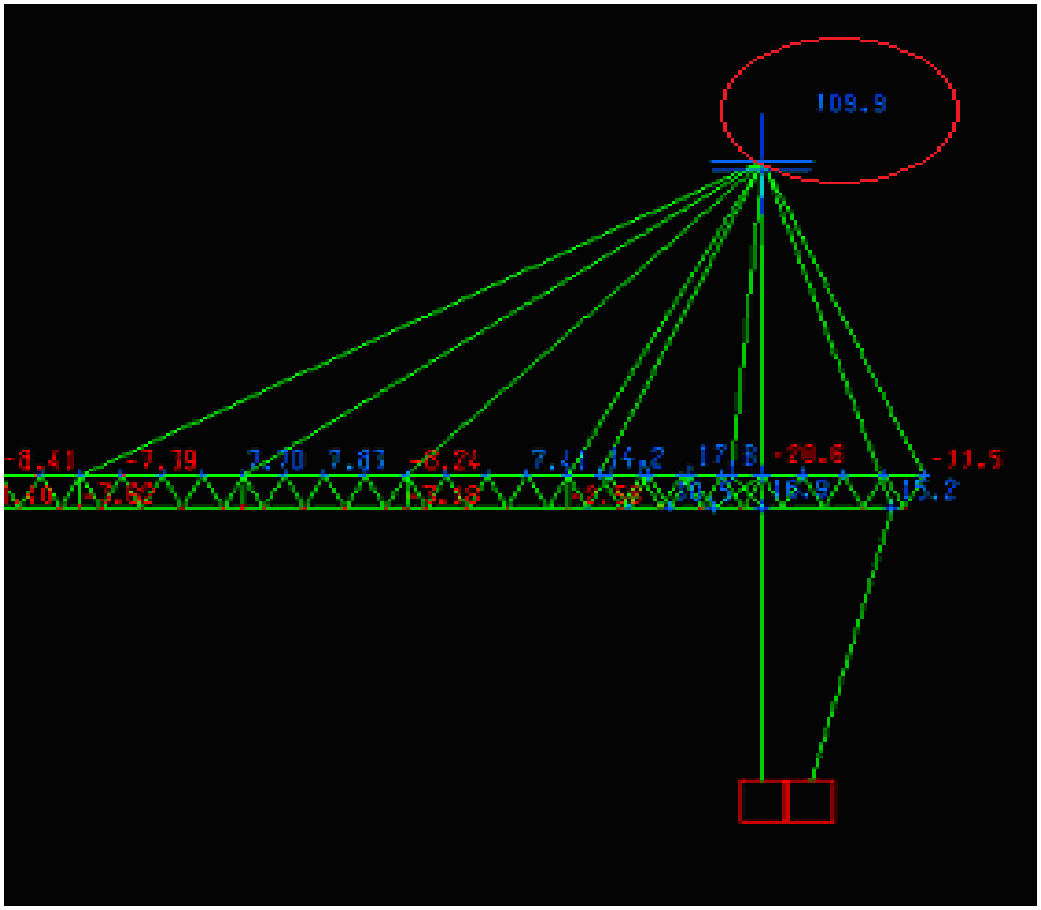
Στο επόμενο διάγραμμα γίνεται μια σύγκριση μέγιστου βέλους στον άξονα z μεταξύ των δύο περιπτώσεων υπό την επιρροή του βάρους της κατασκευής μόνο.



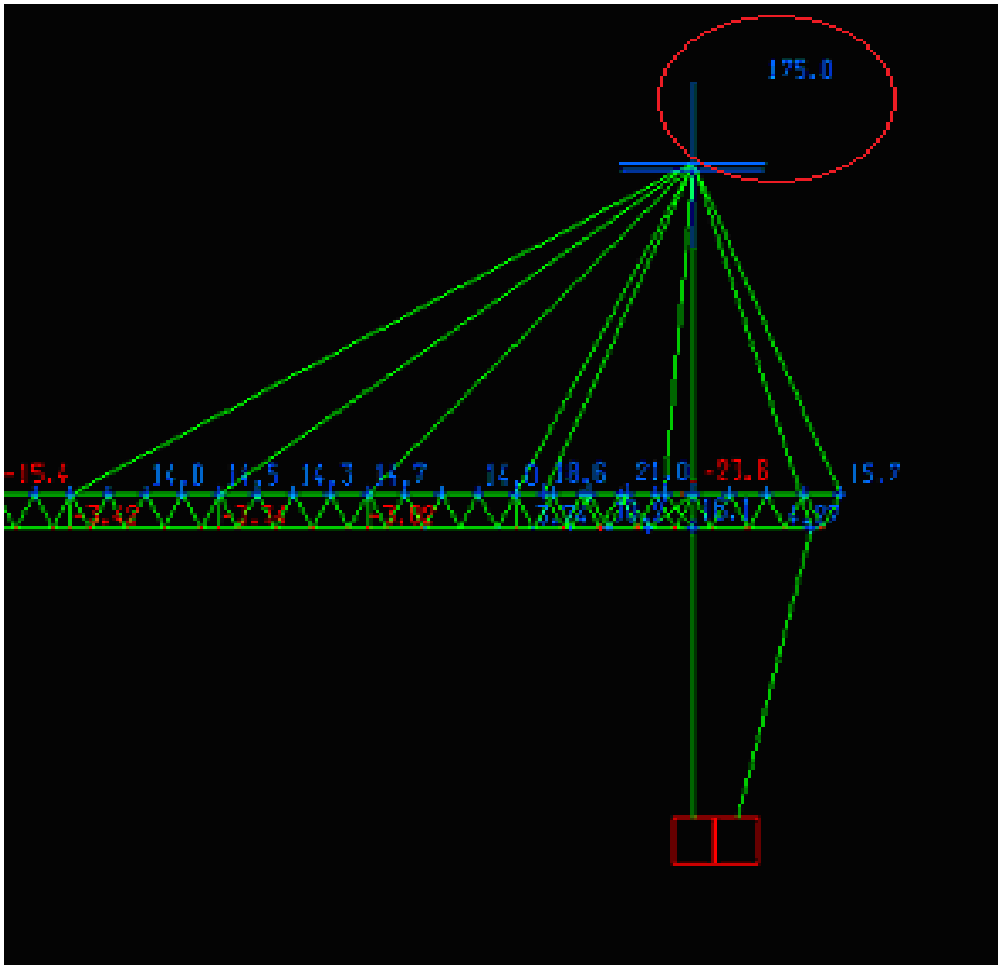
Γράφημα Ivii Μέγιστο κατακόρυφο βέλος στεγάστρου για διαφορετικές διατομές υποστυλωμάτων υπό το ίδιο βάρος του φορέα

Κάνοντας την απλοποιητική παραδοχή πως όλα τα μέλη του φορέα έχουν το ίδιο κόστος ανέγερσης, σύνδεσης και κατασκευής (κάτι τέτοιο στην πραγματικότητα δεν ισχύει) φαίνεται από το διάγραμμα Ivi πως είναι πιο συμφέρουσα η κατασκευή πυλώνων διαμέτρου 3 μέτρων. Αναλυτικότερα το συνολικό βάρος μειώθηκε κατά 418.7 τόνους. Φυσικά η μελέτη μιας κατασκευής δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί σωστά λαμβάνοντας υπόψη μία μόνο παράμετρο. Έτσι σε αντιδιαστολή με το παραπάνω συμπέρασμα διαπιστώνεται από το διάγραμμα Ivii ότι το μέγιστο κατακόρυφο βέλος υπό την επιρροή μόνο του ιδίου βάρους του στεγάστρου είναι κατά πολύ αυξημένο

όταν τα υποστυλώματά μας έχουν μικρότερη διάμετρο (58.5cm από 39cm). Αυτή η αύξηση του βέλους οφείλεται κυρίως στην αναγκαστική αύξηση του συνολικού βάρους της σχάρας, κάτι που προέκυψε φυσιολογικά από την αύξηση των διατομών των μελών της. Παρατηρήσαμε ότι η μείωση της διαμέτρου των πυλώνων επέφερε σημαντικά προβλήματα στην ευστάθεια του φορέα, επομένως ήταν απαραίτητο να αυξήσουμε τις διατομές εκείνες που πλήττονταν περισσότερο. Μια άλλη αιτία για την αύξηση του κατακόρυφου βέλους είναι η αύξηση της οριζόντιας μετατόπισης της κορυφής των πυλώνων λόγω μειωμένης δυσκαμψίας. Επειδή τα καλώδια συνδέονται στην κορυφή, η οριζόντια μετατόπιση της κορυφής 'μετατρέπεται' μέσω αυτών σε κατακόρυφη μετακίνηση (βλέπε παρακάτω σχήματα).



Σχ. Ιviii Μέγιστη οριζόντια μετατόπιση κορυφής πυλώνα διαστάσεων 4000x150 υπό την επιρροή του ίδιου βάρους σε mm



Σχ. Ιix Μέγιστη οριζόντια μετατόπιση κορυφής πυλώνα διαστάσεων 3000x150 υπό την επιρροή του ίδιου βάρους σε mm

Παρατηρούμε λοιπόν ότι ενώ και στους δύο φορείς δεν έχουμε αστοχία μελών, στην περίπτωση χρήσης μικρότερων πυλώνων έχουμε πολύ μεγαλύτερες παραμορφώσεις. Για να γίνει ορθή σύγκριση πρέπει να βρεθούν οι τρεις δυσμενέστεροι συνδυασμοί φορτίσεων για το στέγαστρο και να βρεθούν οι μέγιστες παραμορφώσεις κατά τους καθολικούς άξονες για αυτούς τους τρεις συνδυασμούς. Στη συνέχεια απαιτείται να γίνει έλεγχος λειτουργικότητας κατά τον οποίο θα πρέπει οι κατακόρυφες μετακινήσεις να είναι μικρότερες από την τιμή $L_i/250$ όπου L_i το μήκος του εκάστοτε μέλους. Προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες:

Δυσμενέστεροι συνδυασμοί φορτίσεων	Xmax (mm)	Ymax (mm)	Zmax (mm)
1,35 G + 1,5 S + 0,9 W+ + 0,9 W90+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T-	184.4	78.7	572.5
1,35 G + 1,5 S + 0,9 W+ + 0,9 W180+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T-	186	80.1	562.7
1,35 G + 1,5 S + 0,9 W+ + 0,9 W270+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T-	184.2	81.7	565.6

Πίνακας Ix Μέγιστες μετακινήσεις φορέα κατά τους καθολικούς άξονες για πυλώνες διατομής 4000x150

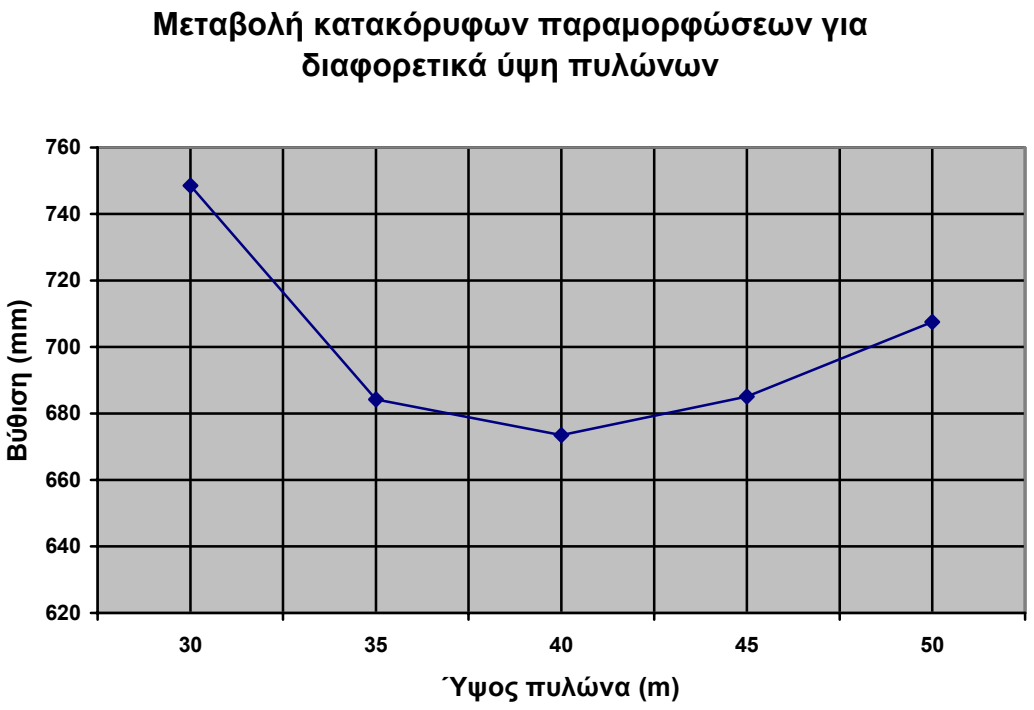
Δυσμενέστεροι συνδυασμοί φορτίσεων	Xmax (mm)	Ymax (mm)	Zmax (mm)
1,35 G + 1,5 S + 0,9 W+ + 0,9 W90+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T-	281.6	111.4	947.1
1,35 G + 1,5 S + 0,9 W+ + 0,9 W180+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T-	284.9	108.3	945
1,35 G + 1,5 S + 0,9 W+ + 0,9 W270+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T-	281.6	106.2	952.8

Πίνακας Ixi Μέγιστες μετακινήσεις φορέα κατά τους καθολικούς άξονες για πυλώνες διατομής 3000x150

Είναι προφανές ότι με χρήση πυλώνων μικρότερης διαμέτρου τα βέλη και η μετακινήσεις της κατασκευής αυξάνονται κατά πολύ ενώ οι κατακόρυφες βυθίσεις ξεπερνάνε την ανώτατη επιτρεπτή ($maxL_i/250$ = 148.5/250 = 0,594m ή 594mm). Τελικά λοιπόν θα επιλέξουμε πυλώνες 4000x150 παρ'όλο που χρησιμοποιούμε συνολικά περισσότερο υλικό για την κατασκευή του στεγάστρου.

Σχετικά με τους πυλώνες, θα πρέπει να γίνει βελτιστοποίηση και για το ύψος τους. Δηλαδή θα προσπαθήσουμε να βρούμε το ύψος των πυλώνων εκείνο

κατάτο οποίο θα έχουμε μικρότερο κόστος. Διατηρώντας όλες τις υπόλοιπες διατομές σταθερές σε διαστάσεις και ποιότητα χάλυβα, προέκυψε το εξής διάγραμμα παραμορφώσεων - ύψος υποστυλωμάτων.

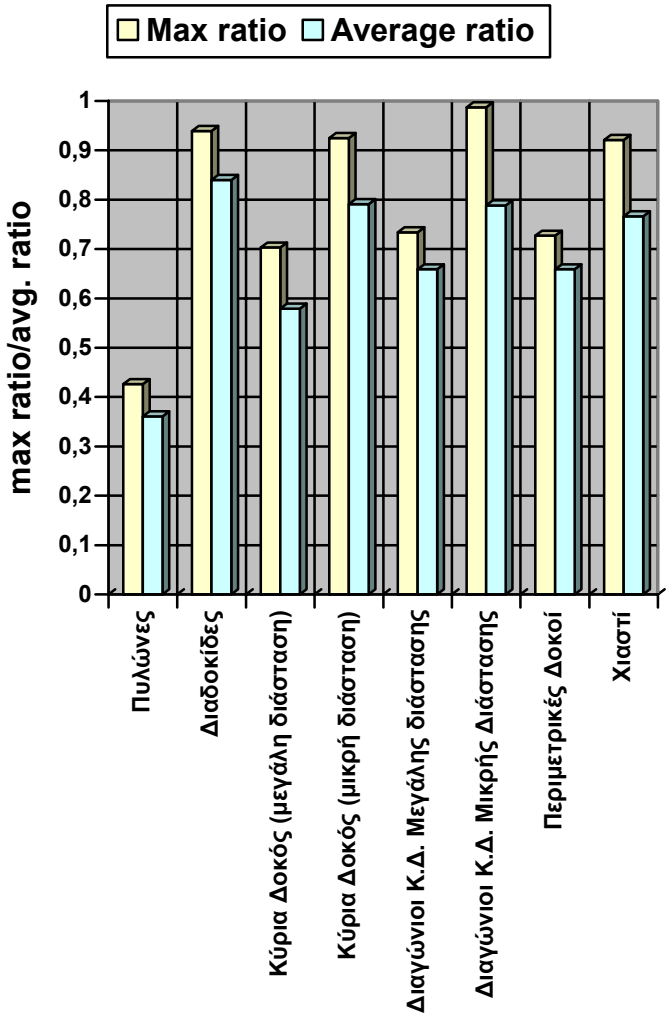


Γράφημα Ixii Διάγραμμα Βυθίσεως – Ύψους πυλώνα

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε ότι το βέλτιστο ύψος πυλώνα για το φορέα μας είναι αυτό που είχαμε αρχικά επιλέξει καθώς με αυτό έχουμε τις μικρότερες κατακόρυφες μετακινήσεις.

Μετά από δεκάδες δοκιμές με συνδυασμούς διαφόρων διατομών καταλήξαμε στις τελικές διατομές που πληρούν το σύνθετο κριτήριο μη αστοχίας και το κριτήριο της αποφυγής μεγάλων παραμορφώσεων εκτός ορίων λειτουργικότητας. Γι'αυτές τις διατομές παρουσιάζουμε παρακάτω τους μέγιστους συντελεστές εκμετάλλευσης και οι μέσοι όροι αυτών που φανερώνουν πόσο οικονομικά καταφέραμε να αναλάβουμε τα φορτία των maxima και των δυσμενέστερων συνδυασμών φορτίσεων. Οι τελικοί συντελεστές βρέθηκαν ύστερα από παραπάνω από 40 δοκιμές κυρίως λόγω της στενής αλληλεξάρτησης των μελών. Επιπλέον παρουσιάζονται στη συνέχεια τα

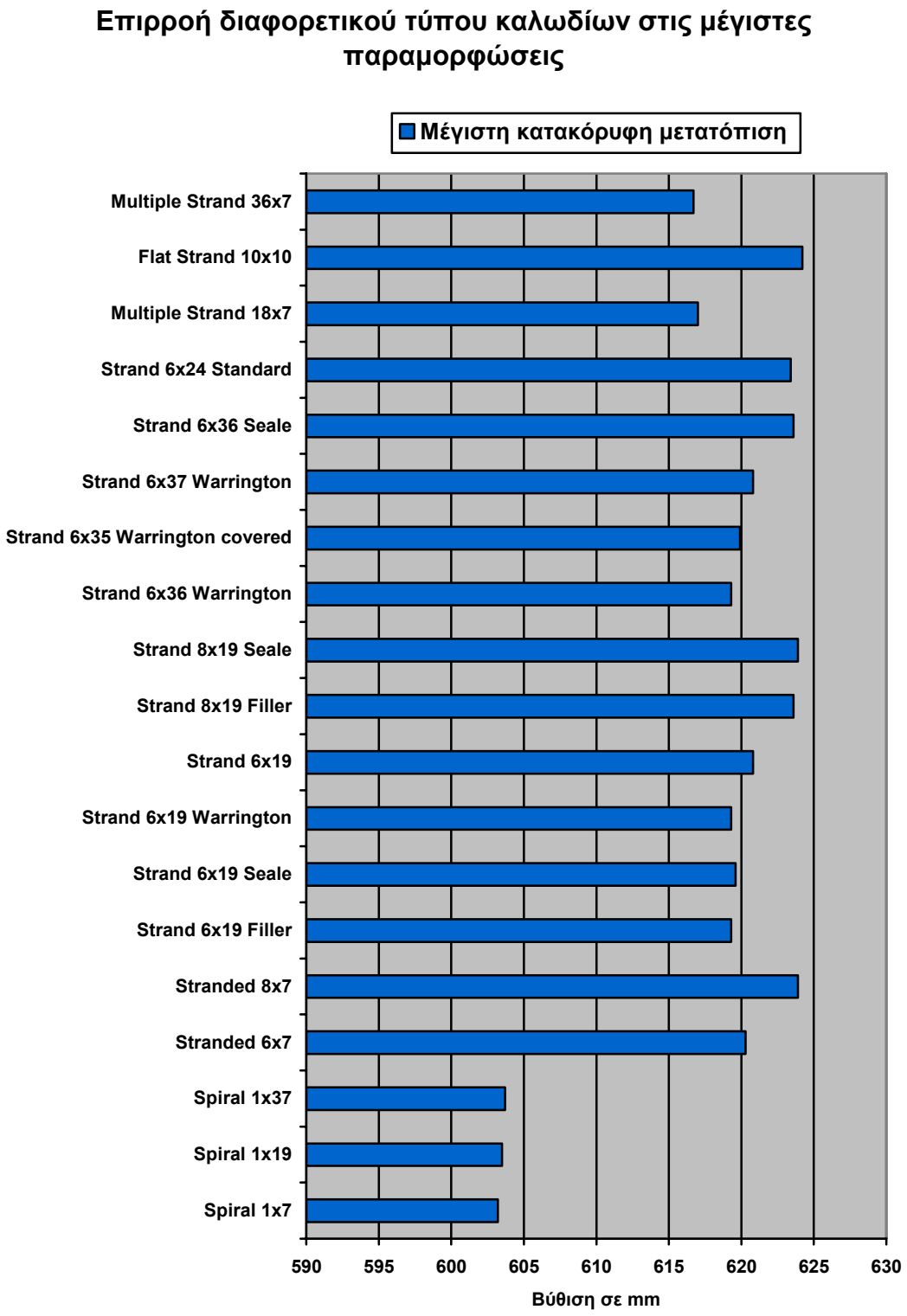
διαγράμματα εντατικών μεγεθών που έχουν προκύψει από περιβάλλουσες, δηλαδή τα maxima και όχι από κάποιον συγκεκριμένο συνδυασμό.



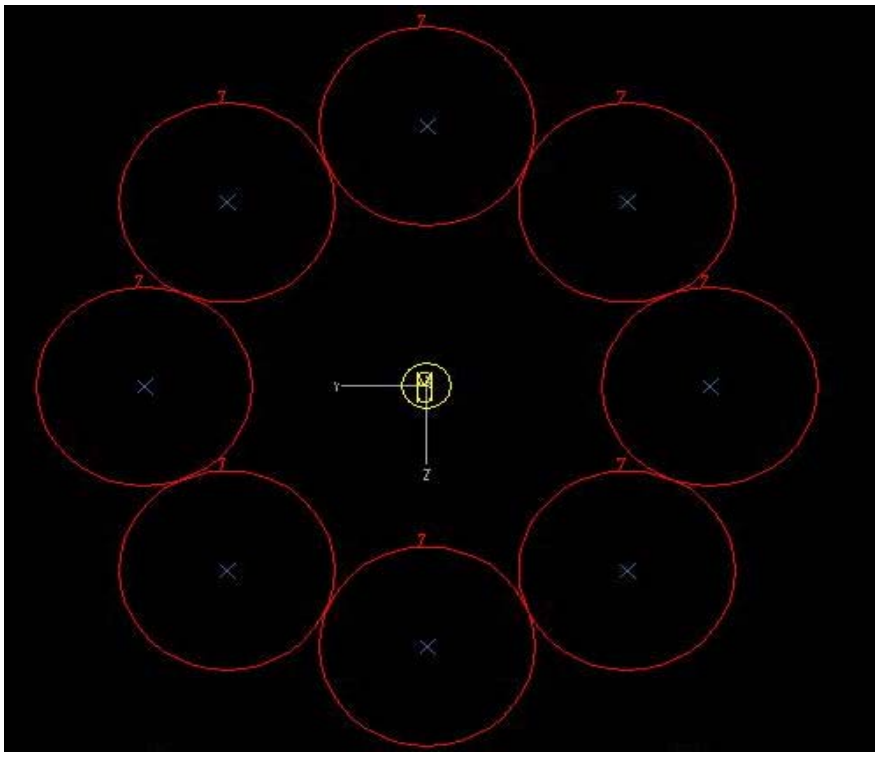
Γράφημα Ixiii Μέγιστοι συντελεστές εκμετάλλευσης κάθε ομάδας μελών και σύγκριση με τον ΜΟ αυτής

Όσον αφορά τη διάταξη των καλωδίων, έγιναν δοκιμές κατά τις οποίες συγκρίθηκαν οι μέγιστες κατακόρυφες παραμορφώσεις υπό τους δυσμενέστερους συνδυασμούς φόρτισης για διαφορετικού τύπου καλώδια ίδιας διαμέτρου. Μεσώ των συγκρίσεων αυτών επιλέχθηκε η βέλτιστη μορφή καλωδίωσης για το στέγαστρο. Πιο αναλυτικά οι δοκιμές γίνανε για καλώδια διαμέτρου 300mm υπό τον συνδυασμό φόρτισης 1,35 G + 1,5 S + 0,9 W+

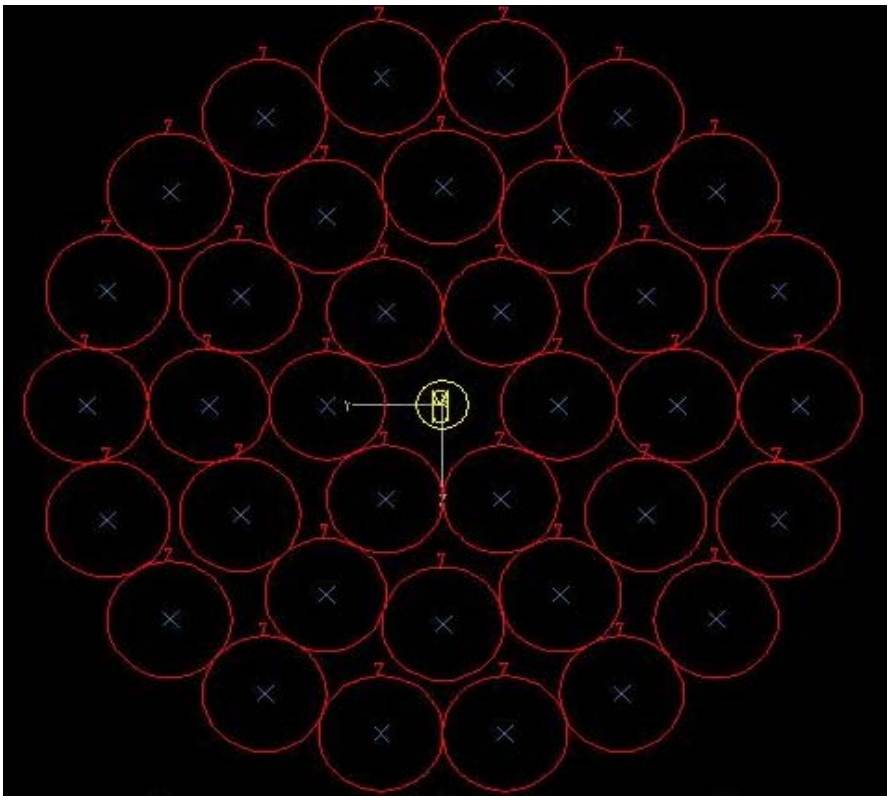
0,9W90+1,5*0,7·Q+1,5*0,6·T-. Παρακάτω παρατίθονται τα αποτελέσματα των δοκιμών:



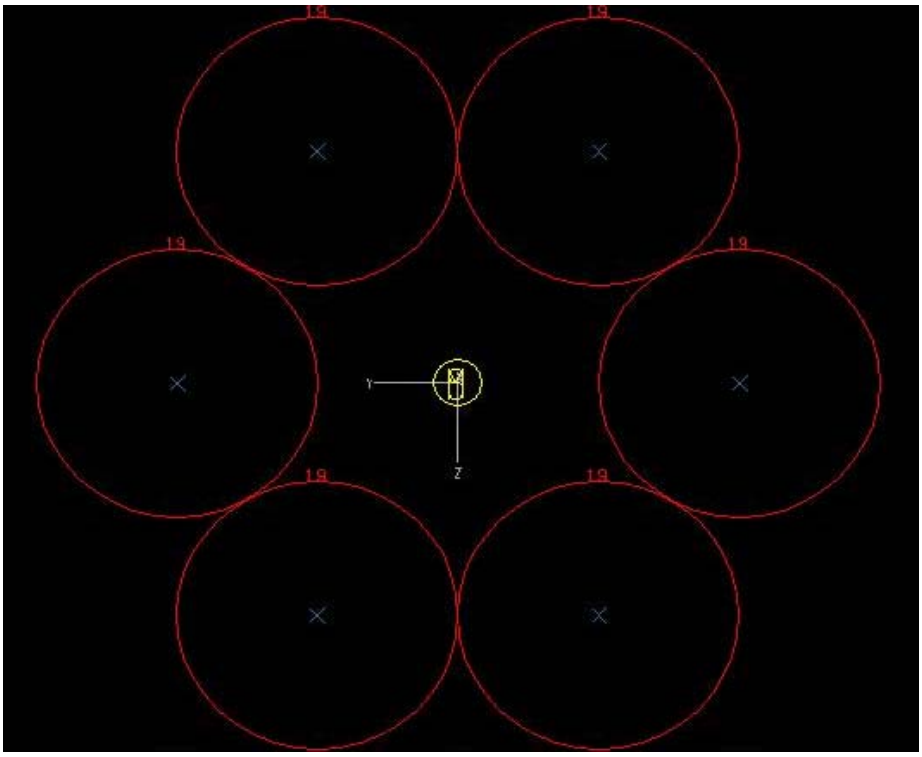
Γράφημα Ixiv Βυθίσεις για καλώδια διαφορετικής μορφής



Σχ. Ixv Καλώδιο τύπου Stranded 8x7



Σχ. Ixvi Καλώδιο τύπου Multiple Strand 36x7

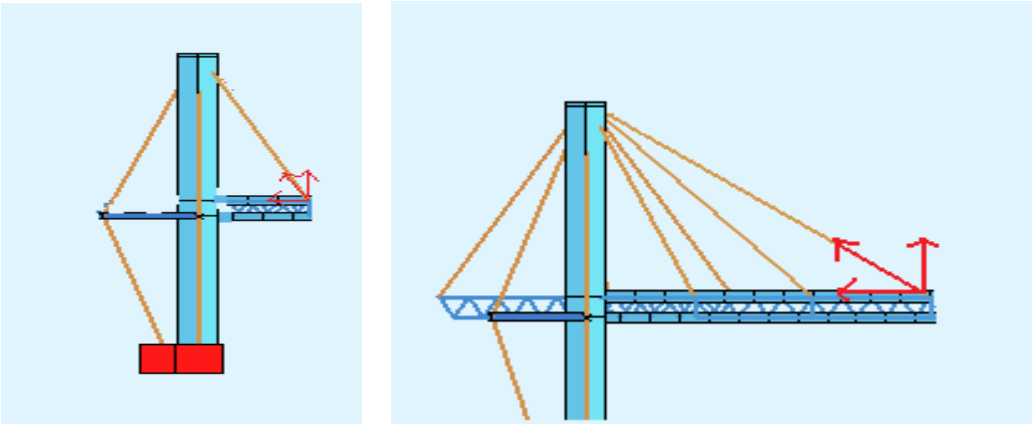


Σχ. Ixvii Καλώδιο τύπου Strand 6x19

Με βάση το γράφημα Ixiv επιλέξαμε καλώδια τύπου Spiral 1x7 τα οποία παρουσίαζαν τα ευμενέστερα αποτελέσματα.

Όσον αφορά την προένταση των καλωδίων, αυτή δεν πρέπει να ξεπερνά το 30% της εφελκυστικής αντοχής τους. Για να βρούμε την 'βέλτιστη' τιμή προέντασης ακολουθούμε την εξής διαδικασία: Στην φάση κατασκευής (μέθοδος προβόλου) πρέπει το υπό ανάρτηση τμήμα της οροφής να παρουσιάζει ένα αντιβέλος υπό την επίδραση ΜΟΝΟ των κινητών φορτίων. Μέσω του Sofistik εισάγουμε διάφορες τιμές προέντασης για τα καλώδια που αναρτώνται από το κομμάτι και αυτό και φορτίζουμε με τα κινητά φορτία. Παρατηρώντας κάθε φορά τις κατακόρυφες μετακινήσεις συνεχίζουμε με άλλες τιμές έτσι ώστε να επιτύχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Στη συνέχεια επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία για κάθε επιπλέον τμήμα του στεγάστρου που προστίθεται. Μ'αυτό τον τρόπο καταφέρνουμε να μειώσουμε σημαντικά το κατακόρυφο βέλος του φορέα όταν πια θα επιδρά το ίδιο βάρος και τα υπόλοιπα φορτία, εξασφαλίζοντας ομαλότητα στη φάση λειτουργίας. Είναι προφανές πως καθώς απομακρυνόμαστε από τον πυλώνα, η απαιτούμενη

δύναμη προέντασης αυξάνεται διότι μειώνεται η κλίση των καλωδίων. Αυτό συνεπάγεται απαίτηση μεγαλύτερης δύναμης για ανάρτηση τμημάτων οροφής ίδιου βάρους. Για την κατασκευή μας βρέθηκε ένας μέσος όρος προέντασης περίπου 4000KN ανά καλώδιο.



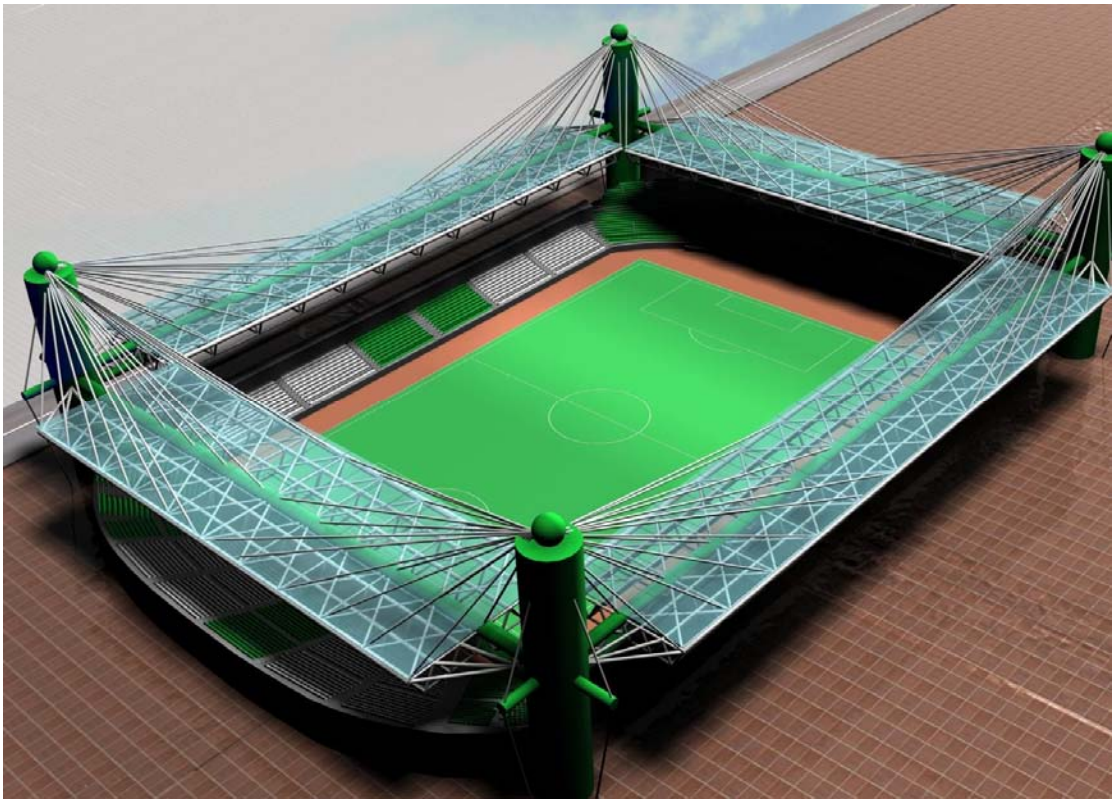
Σχ. Ixviii Διαδοχικές φάσεις ανέγερσης χωροδικτυώματος οροφής και ανάρτηση αυτής για κάθε τμήμα ξεχωριστά

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ

Τελική Εικόνα Στεγάστρου

ΙΙ.i Γενικά

Οι διατομές που τελικά προέκυψαν έπειτα από τις αναλύσεις στα επίπεδα που περιγράφηκαν παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας ΙΙ.iv). Είναι όλες τους κοίλες λόγω των πλεονεκτημάτων που έχουν αυτού του είδους οι διατομές και κατηγορίες 3 ή μικρότερες.
Η τελική μορφή του στεγάστρου σχεδιάστηκε με το πρόγραμμα 3D Studio Max. Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται το στέγαστρο από διαφορετικές οπτικές γωνίες εναρμονισμένο στο πραγματικό περιβάλλον του γηπέδου και της περιοχής. Επιπλέον στο οπισθόφυλλο της διπλωματικής υπάρχει CD με ξενάγηση 3D στο γήπεδο καθώς και πολλά αρχεία pdf που περιλαμβάνουν ευρωκώδικες, άρθρα και τεχνικά χαρακτηριστικά για διάφορα στάδια, στέγαστρα και καλωδιωτές κατασκευές για περαιτέρω ενημέρωση του αναγνώστη.



Σχ. ΙΙ.i Τελική εικόνα στεγάστρου

Σχ. ΙΙ.ii Τελική εικόνα στεγάστρου εφαρμοσμένη στο πραγματικό περιβάλλον του γηπέδου Απόστολος Νικολαΐδης

ΙΙ.ii Διατομές και ενδεικτικό κόστος

Οι τελικές χρησιμοποιηούμενες διατομές μετά την ως ένα βαθμό βελτιστοποίηση της διαστασιολόγησης παρουσιάζονται στον πίνακα μαζί με τα βάρη και τις μέγιστες παραμορφώσεις καθεμίας ομάδας μελών για τους δυσμενέστερους συνδυασμούς φόρτισης.

Το συνολικό βάρος του στεγάστρου τελικά βρέθηκε 6800 τόνοι (σε σύγκριση με τους αρχικούς 8200 τόνους προ βελτιστοποίησης) και το συνολικό εμβαδόν κάλυψης 8700m^2 . Από τις τιμές αυτές προκύπτει μια τιμή χρησιμοποιούμενου υλικού ανά τετραγωνικό μέτρο κάλυψης 0,781t/m^2, τιμή η οποία κρίνεται αποδεκτή.

No.	Ολικό Μήκος	Ολικό Βάρος	Μέλη
	[m]	[t]	
10	10090.000	1670.175	Διαδοκίδες άνω και κάτω πέλμα
20	630.799	721.819	Κύρια δοκός άνω και κάτω πέλμα
50	1271.937	154.448	Περιμετρικές δοκοί
80	2367.219	397.314	Οριζόντιοι χιαστί σύνδεσμοι
100	582.925	198.674	Κύρια δοκός διαγώνια μέλη
120	487.589	81.837	Μικρή διάσταση κύρια δοκός
200	340.000	35.961	Μικρή διάσταση διαγώνια μέλη
210	162.000	2307.207	Πυλώνες
300	6138.220	1232.427	Καλώδια

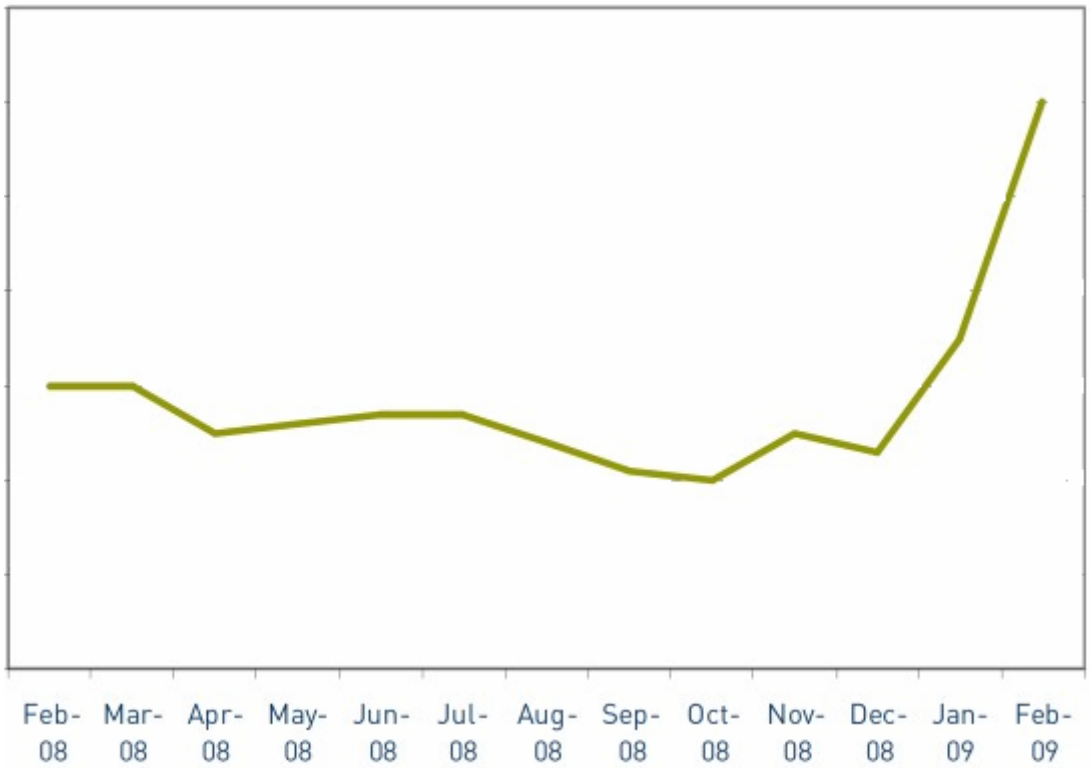
Πίνακας II.iii Μήκη και Βάρη τελικών Διατομών

Μέλη	Διατομές στη μεγάλη διάσταση (σε mm)	Διατομές στη μικρή διάσταση (σε mm)
Πυλώνες	CHS 4000x150	CHS 4000x150
Άνω και κάτω πέλμα κυρίων δοκών	CHS 1200x40	CHS 406.4x17.5
Διαγώνια μέλη κυρίων δοκών	CHS 711x20	CHS 355.6x17.5
Διαδοκίδες	RHS 400x260x17.5	RHS 400x260x17.5
Περιμετρικές δοκοί	CHS 406.4x12.5	CHS 406.4x12.5
Χιαστοί σύνδεσμοι	CHS 406.4x17.5	CHS 406.4x17.5
Τεγίδες	RHS 400x260x17.5	RHS 400x260x17.5
Καλώδια	Spiral 1x7 (200mm)	Spiral 1x7 (200mm)

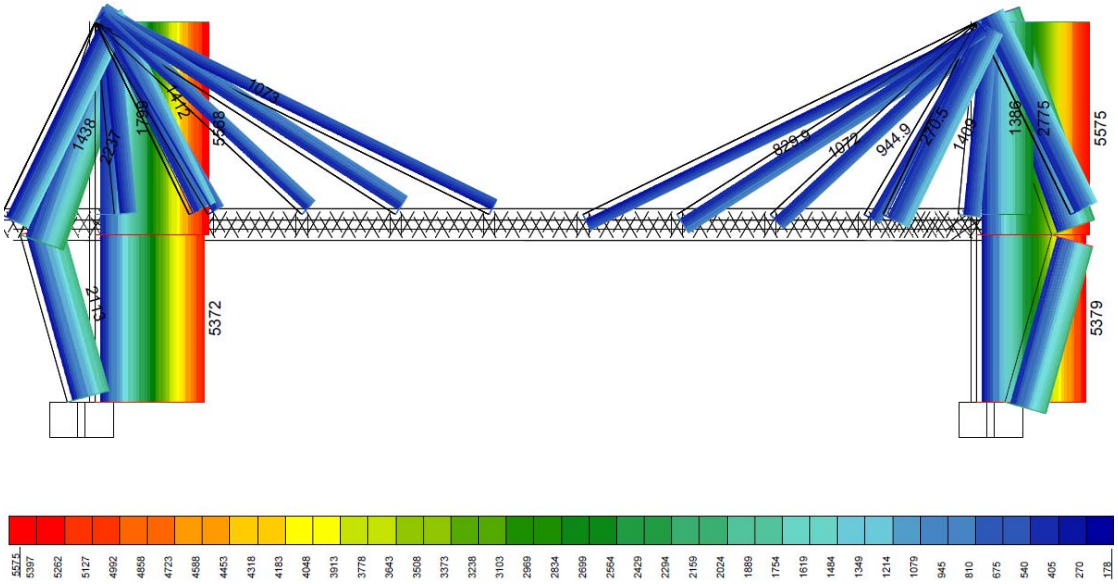
Πίνακας II.iv Τελικές Διατομές

Οι τελικές μέγιστες κατακόρυφες παραμορφώσεις είναι 574mm στη μεγάλη διάσταση όπου L/250 = 594mm και στη μικρή διάσταση είναι 263mm όπου L/250 = 376mm. Επομένως ο φορέας είναι επαρκής ως προς και τον έλεγχο λειτουργικότητας. Οι δε μέγιστες οριζόντιες παραμορφώσεις είναι 206mm και απαντώνται στην κορυφή των πυλώνων.

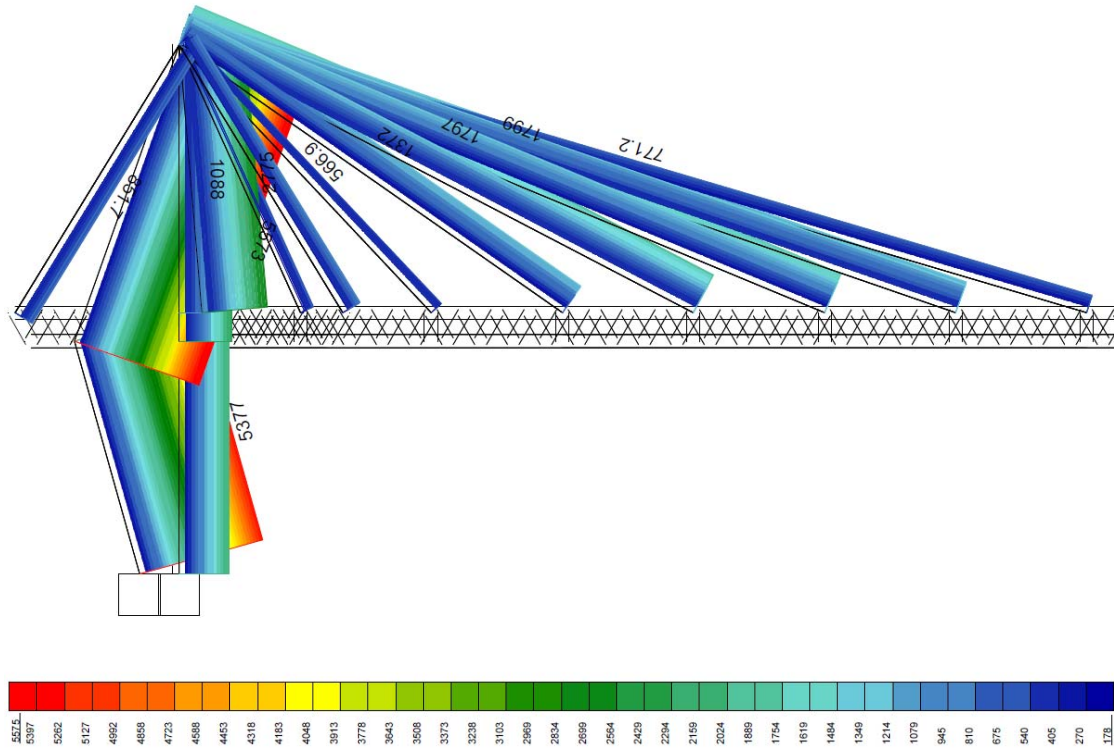
Παρακάτω παρατίθεται γράφημα που παρουσιάζει το ρυθμό μεταβολής του κόστους χάλυβα για την περίοδο Φεβρουάριος 2008 – Φεβρουάριος 2009. Στην χρονική στιγμή μελέτης της κατασκευής η τιμή του χάλυβα βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα, και μια προσεγγιστική κοστολόγηση για την περίπτωσή μας είναι 2,5 ευρώ/kg. Φυσικά μια τέτοια προσέγγιση δεν είναι δυνατόν να βγάλει ορθά αποτελέσματα καθώς η τιμή αυτή δεν περιέχει τις διαφορές που έχουν τα μέλη του φορέα όσον αφορά το κόστος κατασκευής και ανέγερσης. Πιο συγκεκριμένα, άλλο κόστος έχει η ανέγερση των υποστυλωμάτων από την ανέγερση των περιμετρικών δοκών και άλλο κόστος έχει η κατασκευή των καλωδίων σε σχέση με την κατασκευή των συνδέσμων δυσκαμψίας. Ωστόσο με τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε βρέθηκε ένα κόστος για το στέγαστρο της τάξεως των 17.000.000 ευρώ.



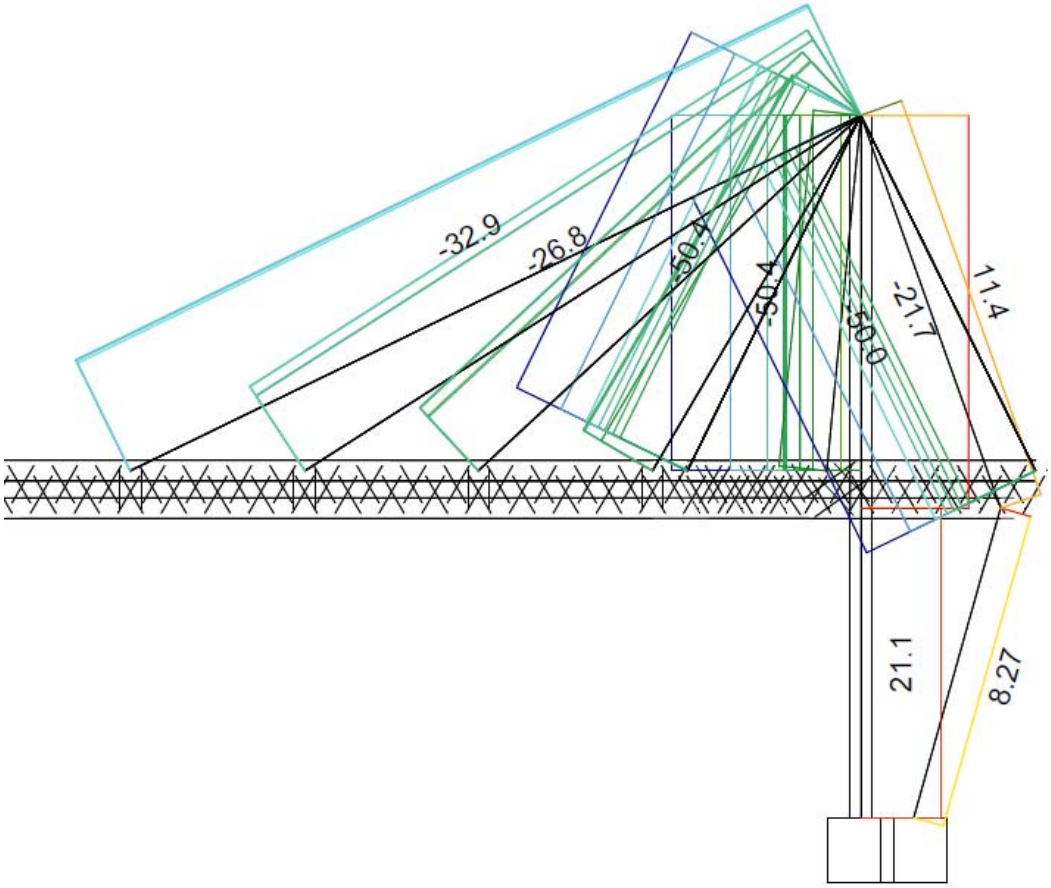
Γράφημα ΙΙ.ν Μεταβολή τιμής χάλυβα για το έτος 2008-2009



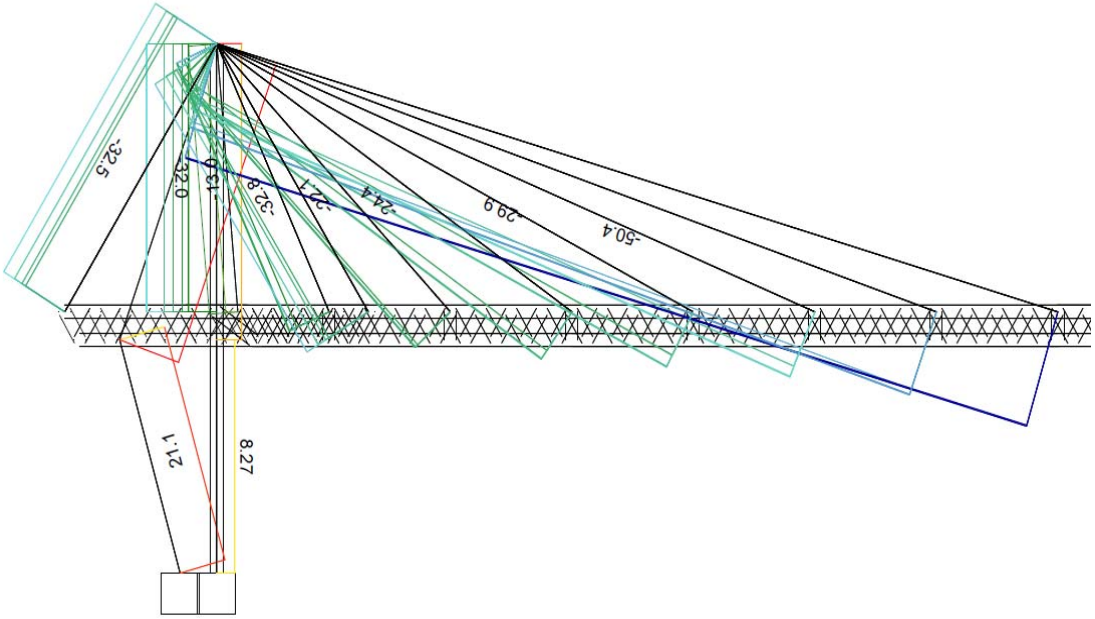
Γράφημα II.vi Μέγιστες εφελκυστικές δυνάμεις στα καλώδια της μικρής διάστασης



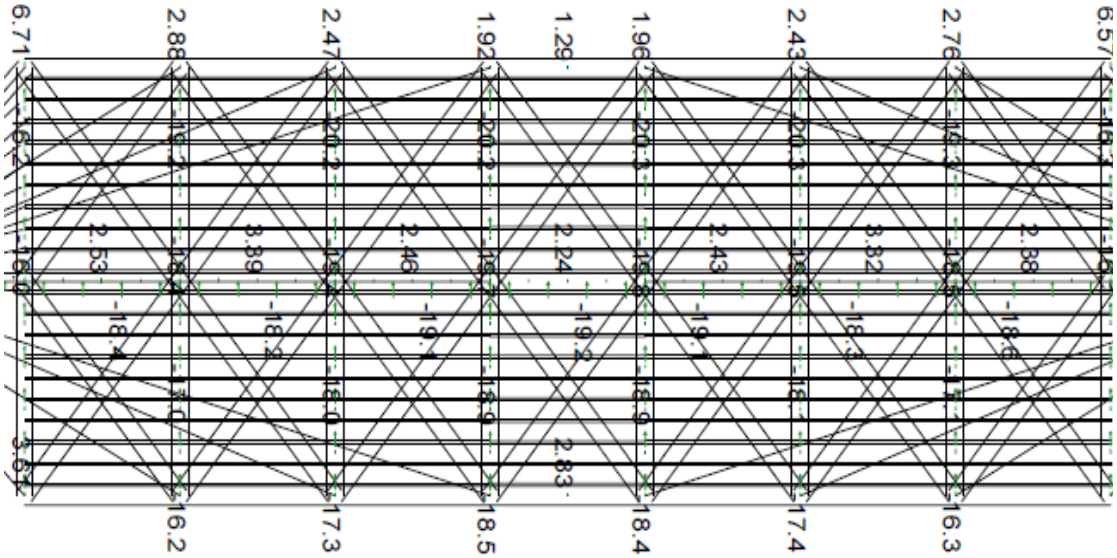
Γράφημα II.vii Μέγιστες εφελκυστικές δυνάμεις στα καλώδια της μεγάλης διάστασης



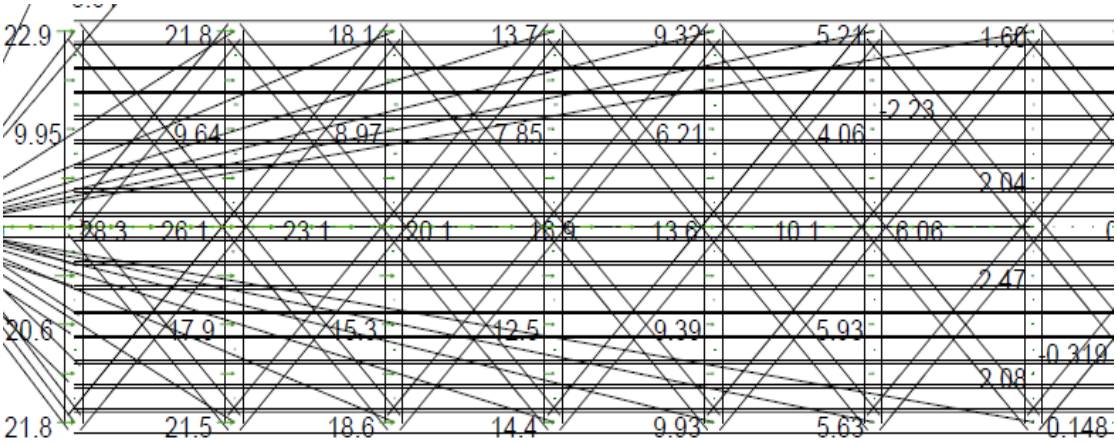
Γράφημα II.viii Μέγιστες μετατοπίσεις στα καλώδια της μικρής διάστασης



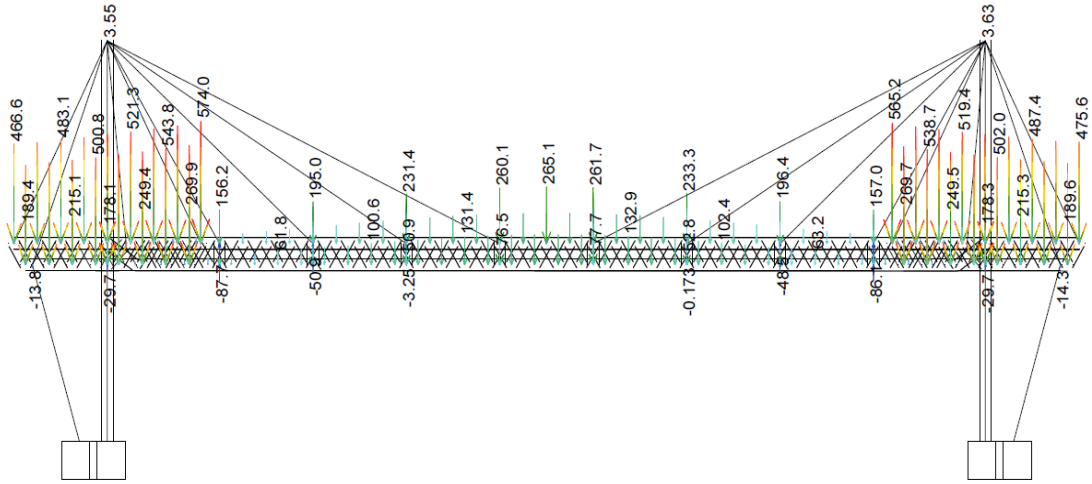
Γράφημα II.ix Μέγιστες μετατοπίσεις στα καλώδια της μεγάλης διάστασης



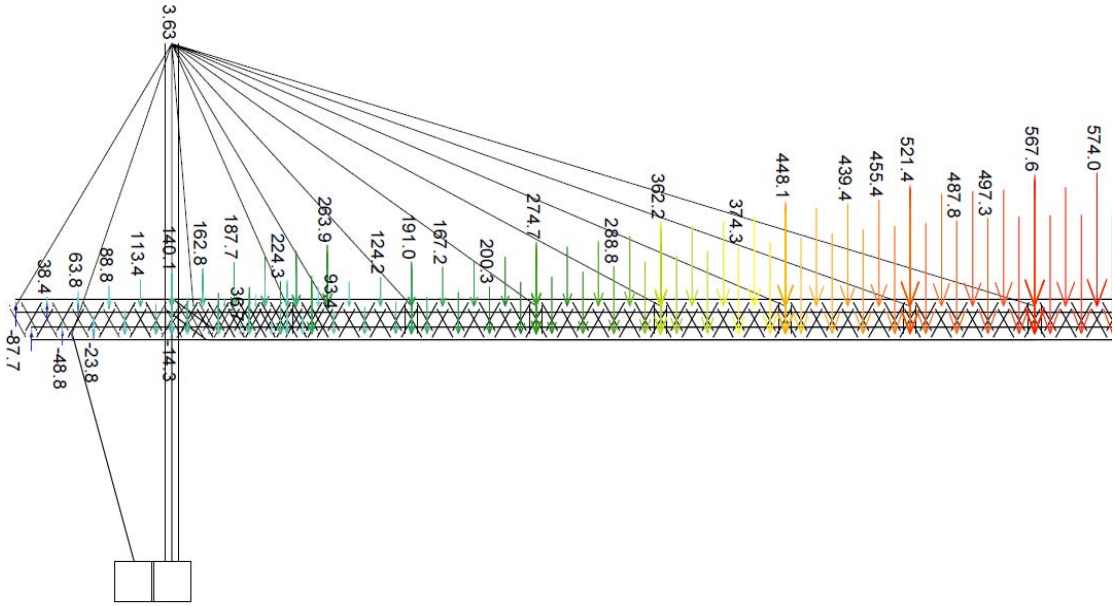
Γράφημα ΙΙ.x Μέγιστες οριζόντιες μετατοπίσεις στη σχάρα της μικρής διάστασης



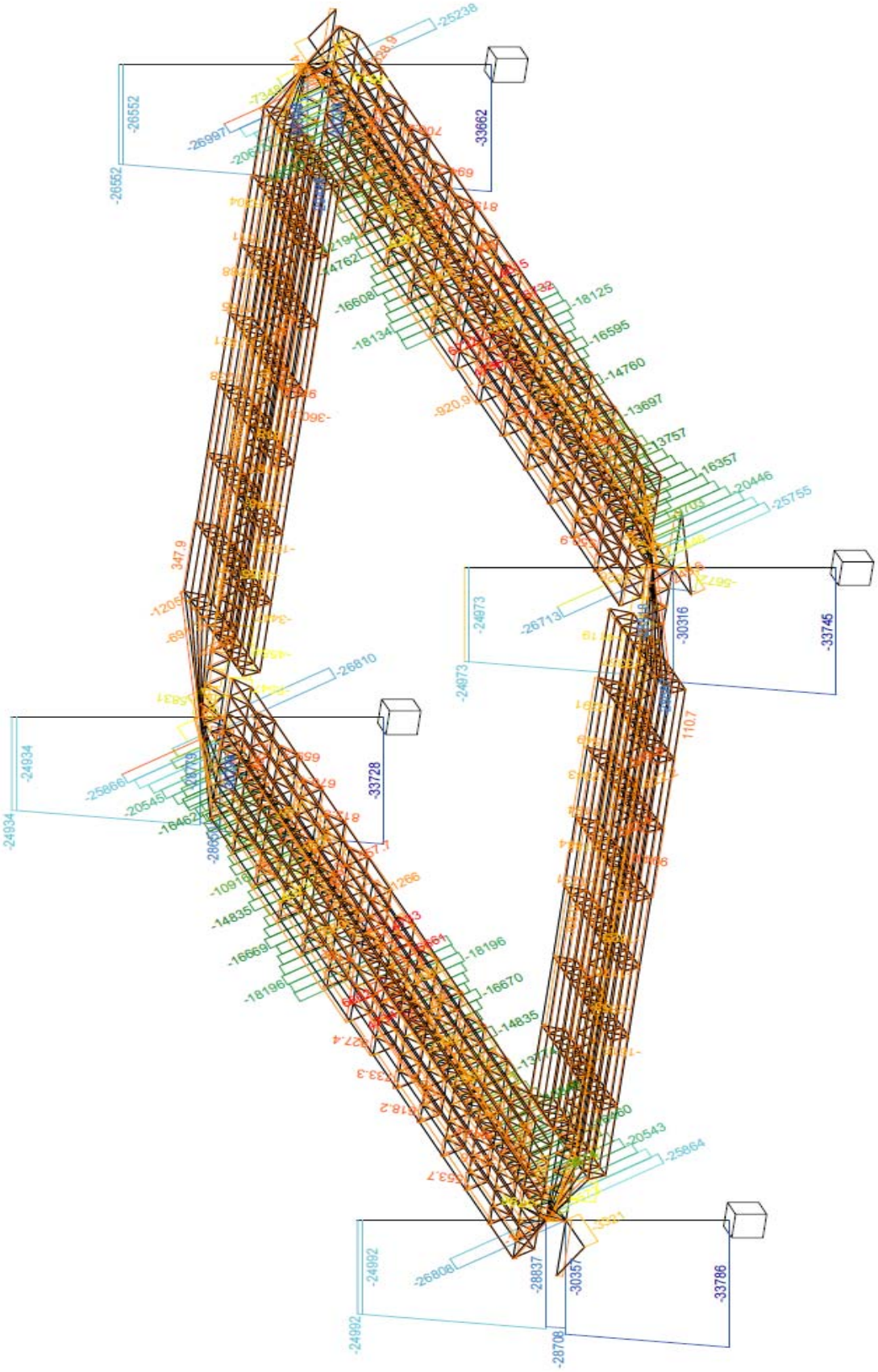
Γράφημα ΙΙ.xi Μέγιστες οριζόντιες μετατοπίσεις στη σχάρα της μεγάλης διάστασης



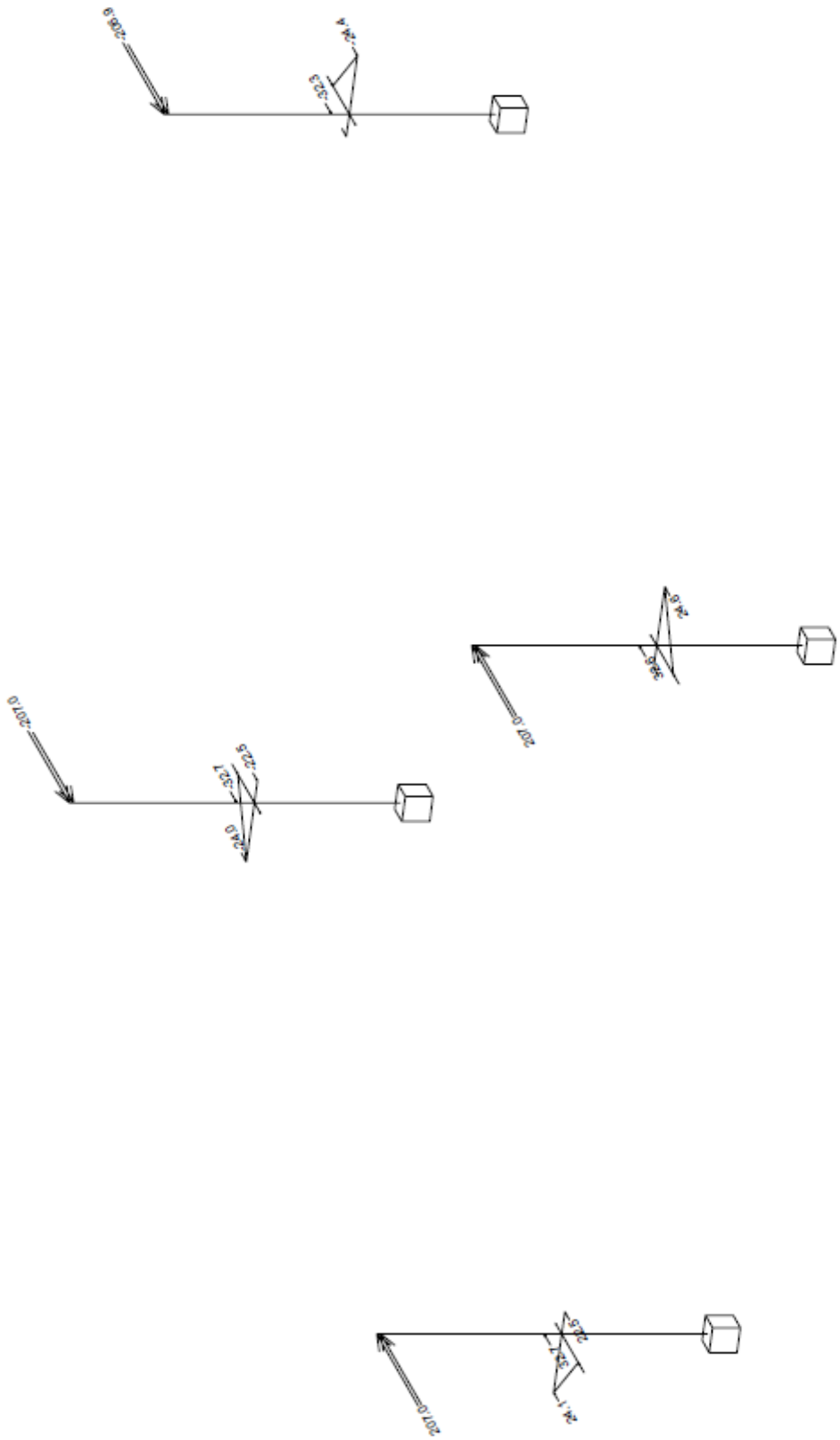
Γράφημα II.xii Μέγιστες κατακόρυφες μετατοπίσεις στη μικρή διάσταση



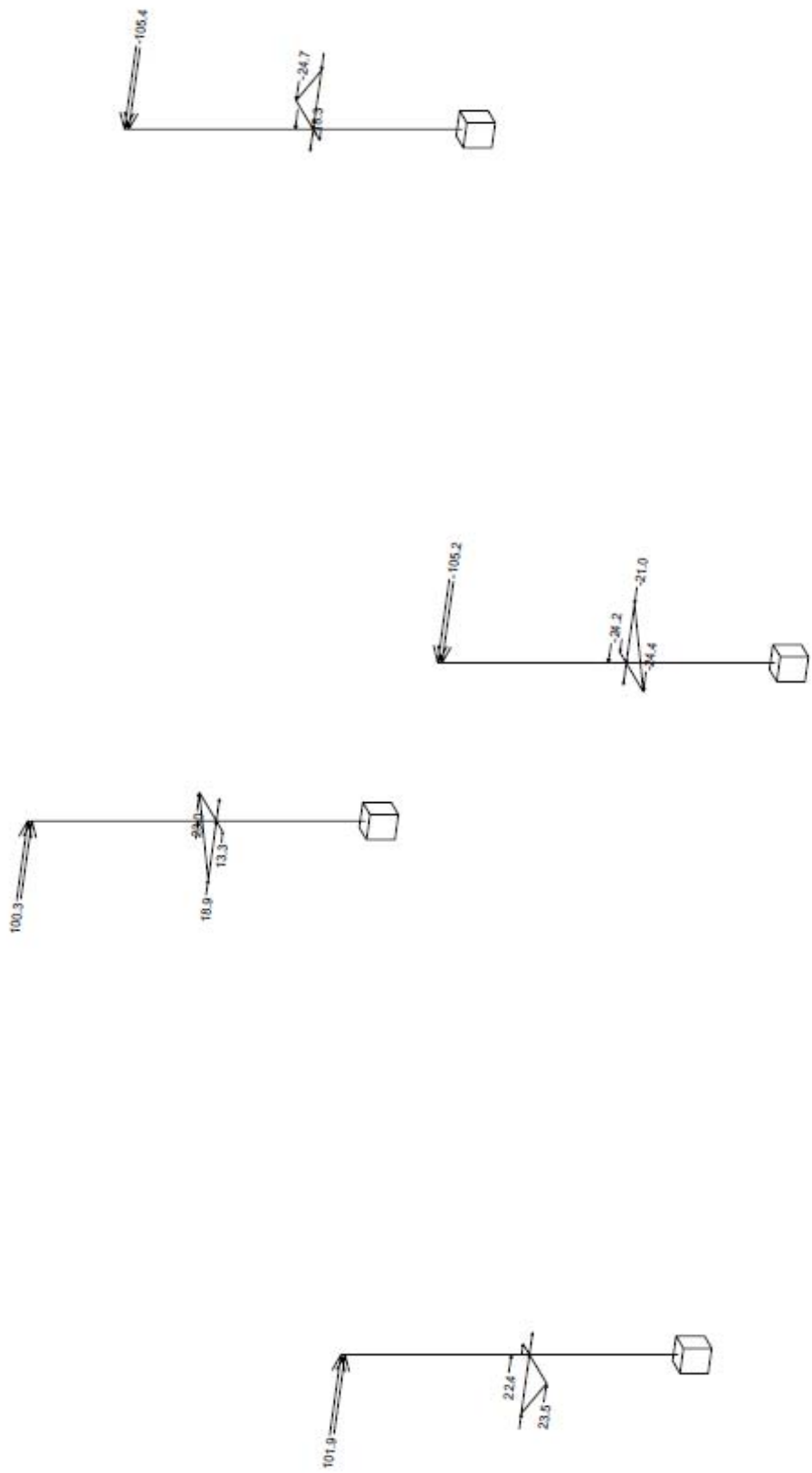
Γράφημα II.xii Μέγιστες κατακόρυφες μετατοπίσεις στη μεγάλη διάσταση



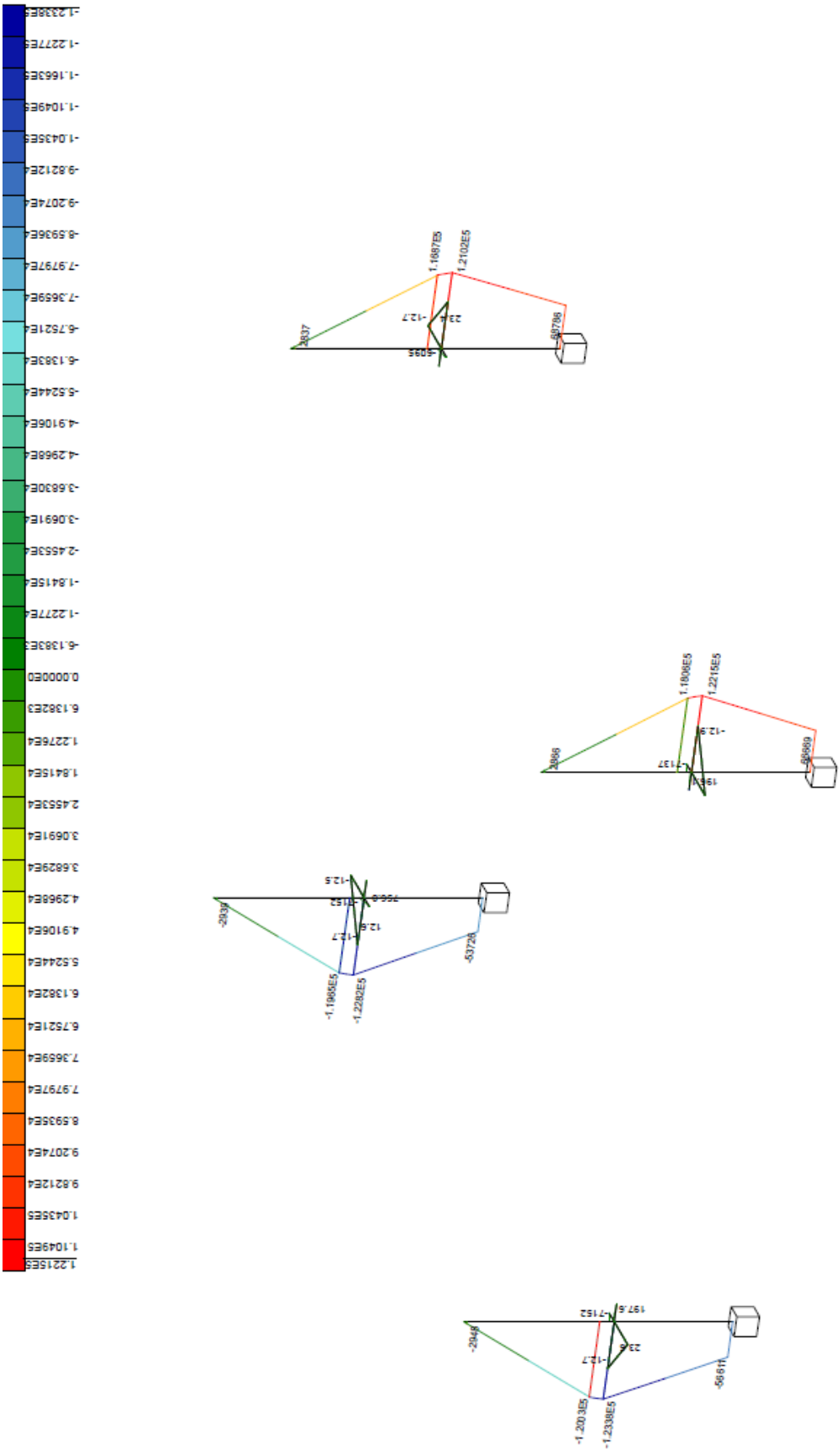
Γράφημα ΙΙ.xiii Μέγιστες αξονικές δυνάμεις υπό δυσμενέστερο συνδυασμό φόρτισης



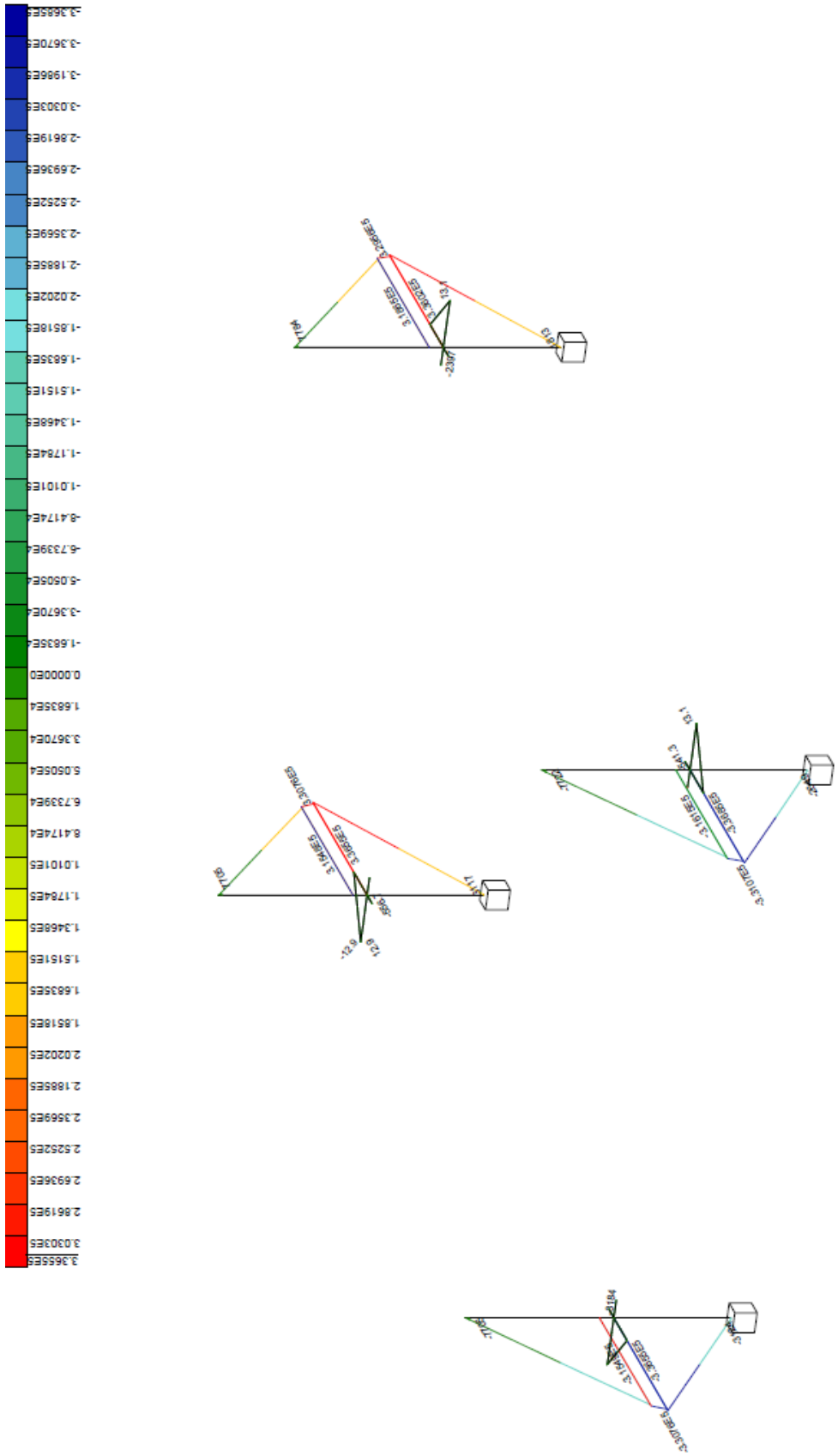
Γράφημα II.xiv Μέγιστες μετατοπίσεις πυλώνων dx



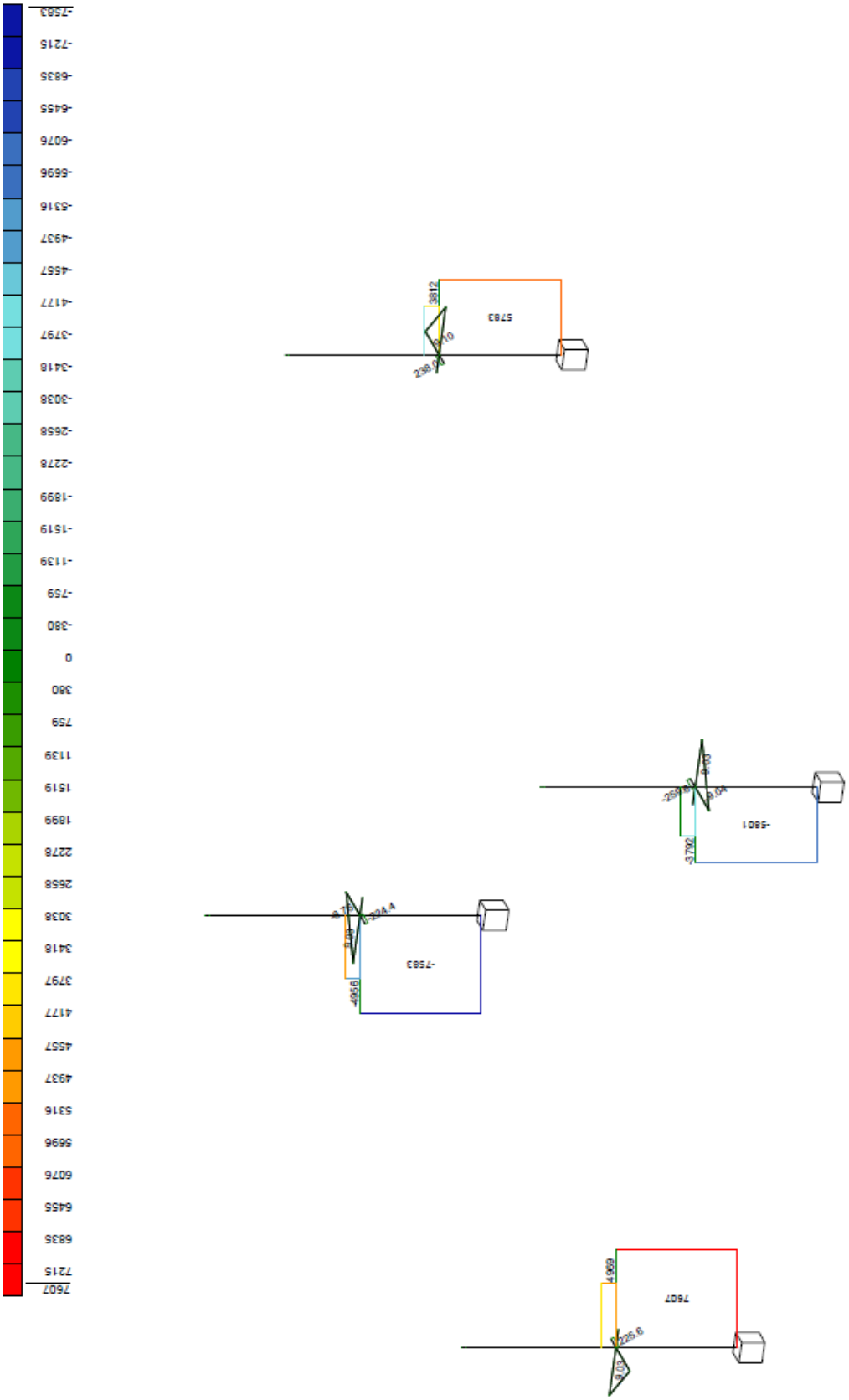
Γράφημα ΙΙ.xv Μέγιστες μετατοπίσεις πυλώνων dy



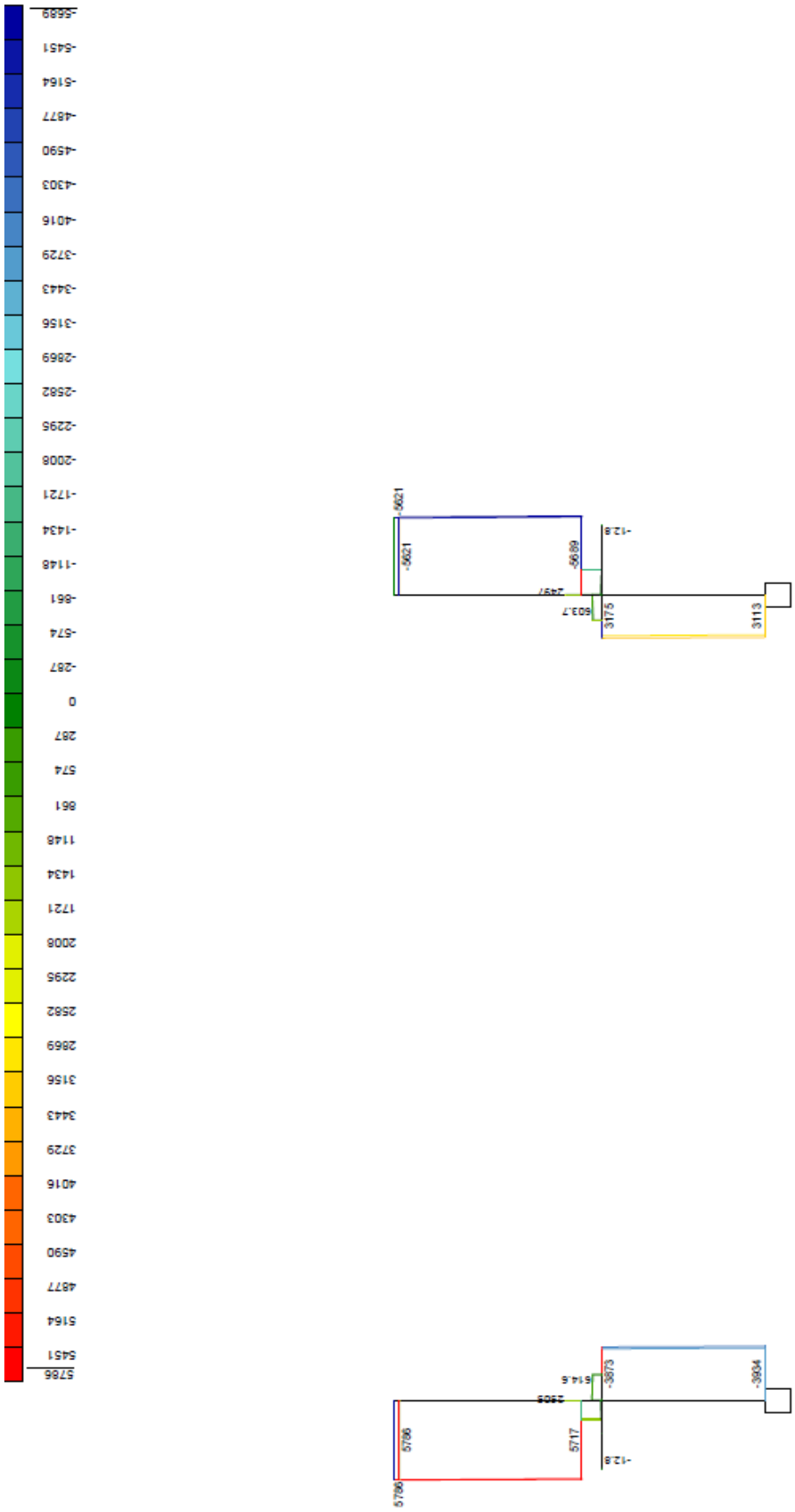
Γράφημα II.xvi Ροπή My πυλώνων



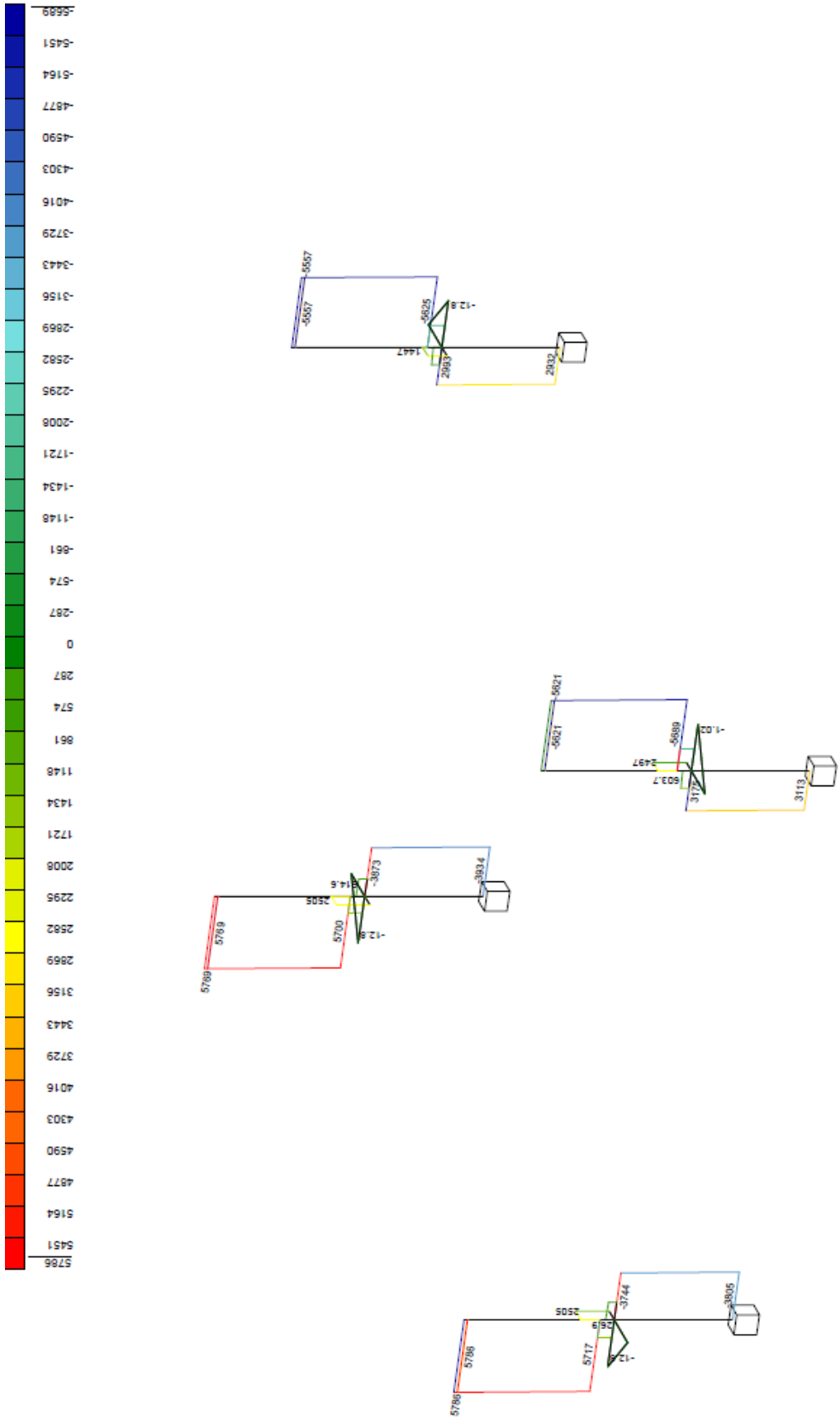
Γράφημα II.xvii Ροπή Mz πυλώνων



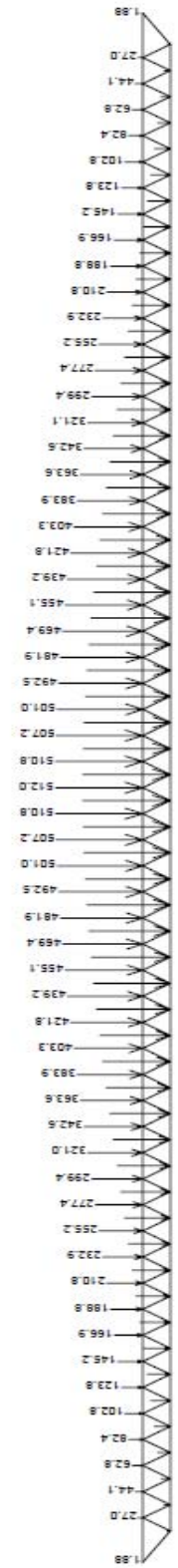
Γράφημα II.xviii Ροπή Mt πυλώνων



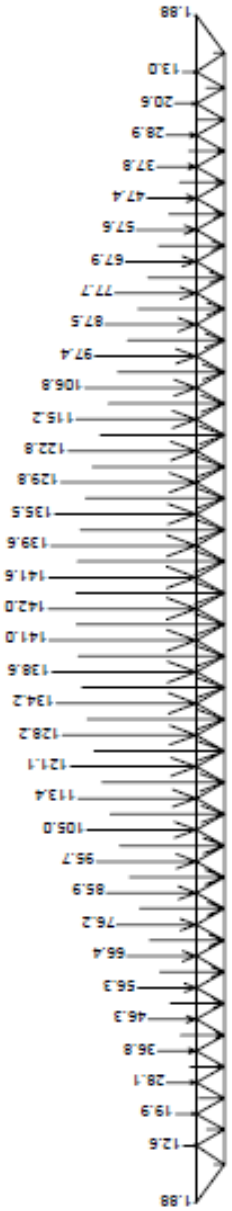
Γράφημα II.xix Τέμνουσες Vy πυλώνων



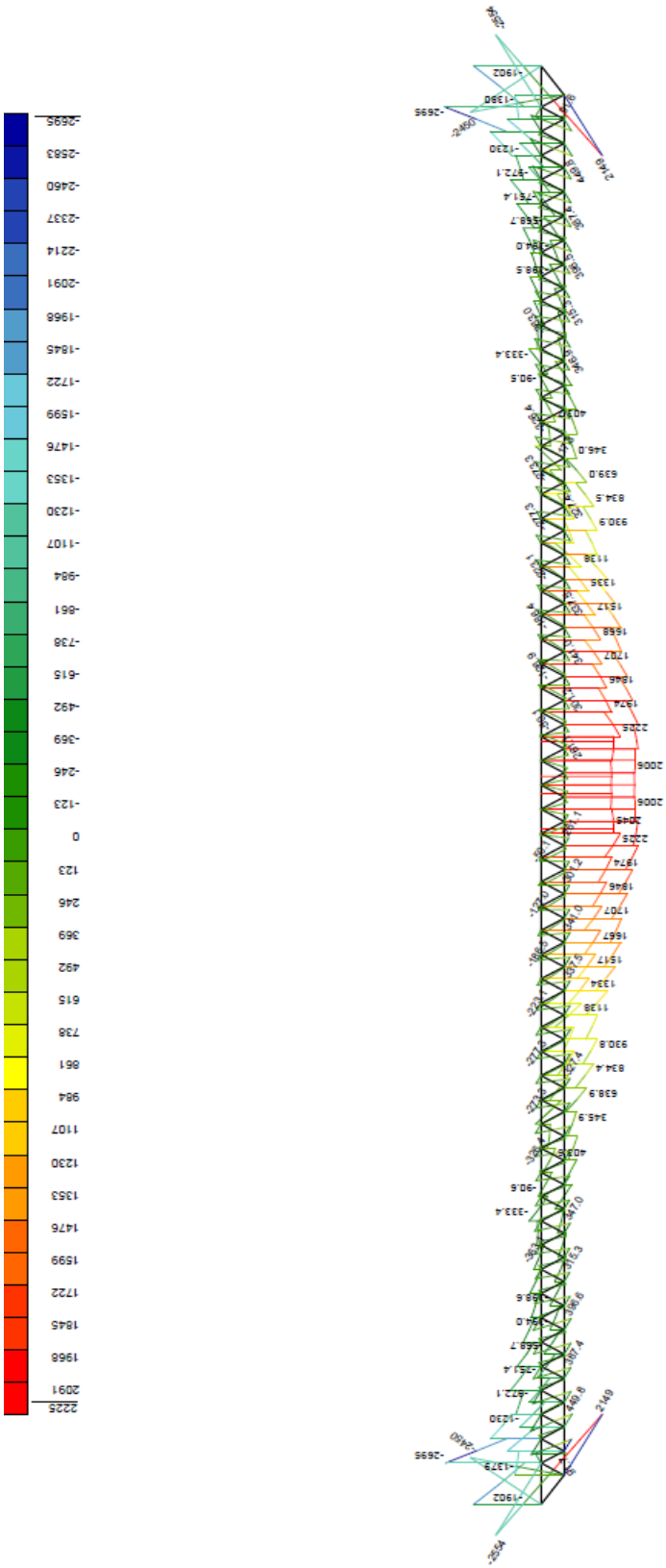
Γράφημα ΙΙ.xx Τέμνουσες Vz πυλώνων



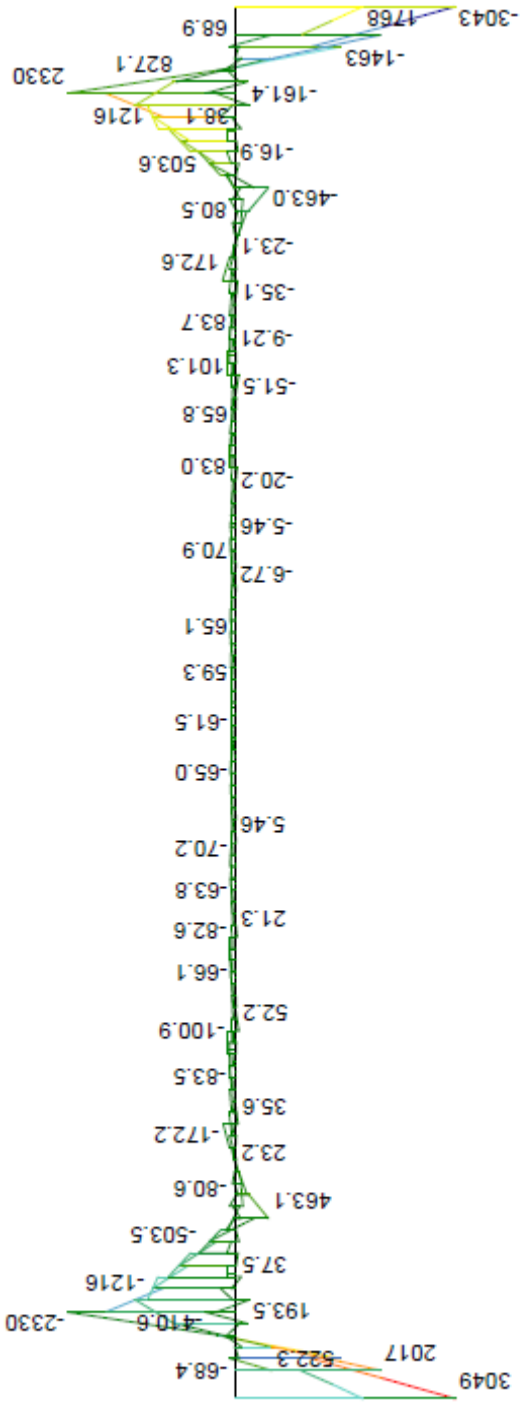
Γράφημα II.xxi Μέγιστες κατακόρυφες μετατοπίσεις κυρίας δοκού μεγάλης διάστασης



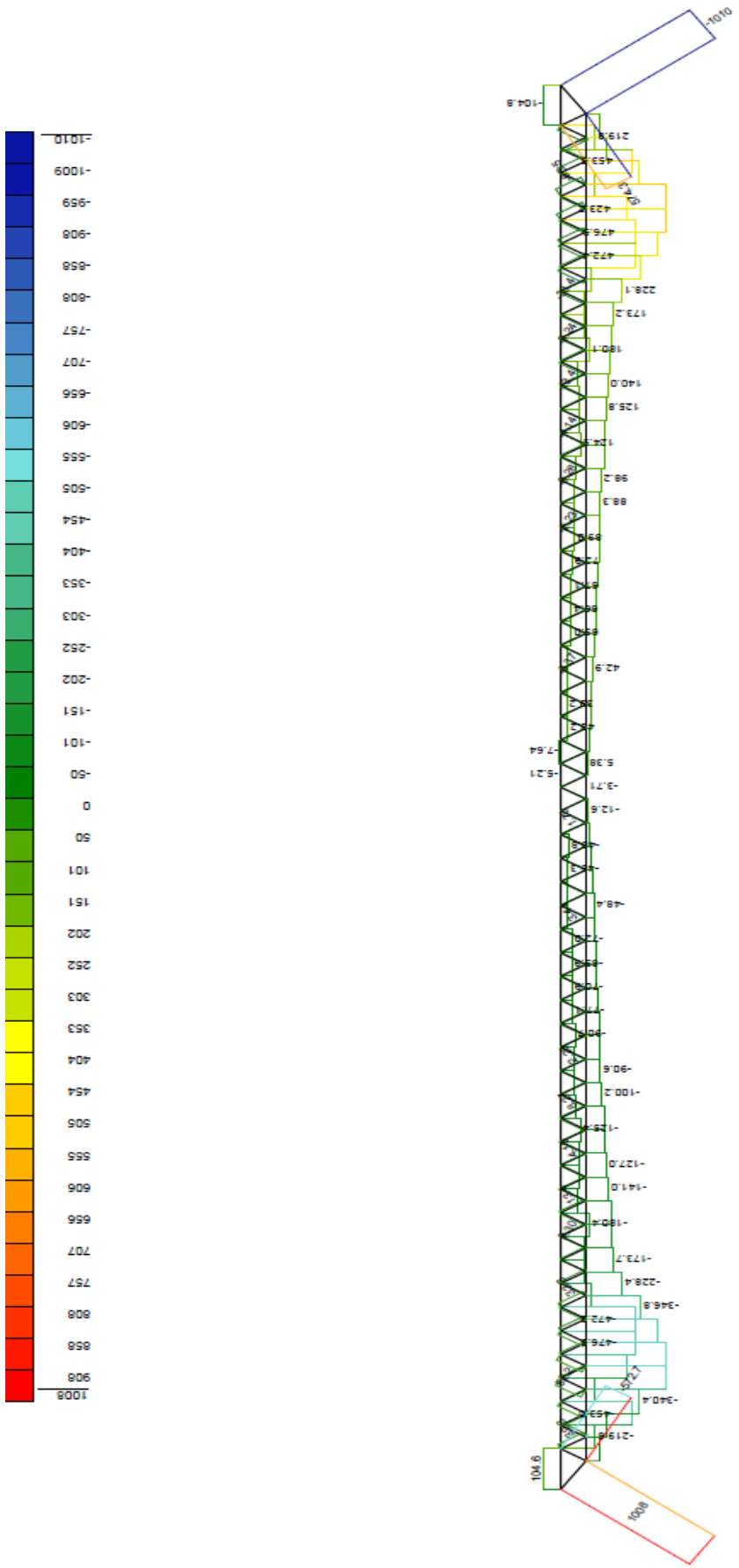
Γράφημα II.xxii Μέγιστες κατακόρυφες μετατοπίσεις κυρίας δοκού μικρής διάστασης



Γράφημα II.xxiii Ροπές My κυρίας δοκού μεγάλης διάστασης



Γράφημα II.xxiv Ροπές Mz κυρίας δοκού μεγάλης διάστασης



Γράφημα II.xxv Ροπές Mt κυρίας δοκού μεγάλης διάστασης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ

Συμπεράσματα

Κατά τη διάρκεια της προσπάθειας ανεύρεσης μιας στατικά αποδεκτής λύσης για τη στέγαση του γηπέδου του Παναθηναϊκού στη Λεωφόρο Αλεξάνδρας διαπιστώθηκε ο βαθμός δυσκολίας που υπάρχει στη μελέτη τέτοιων έργων, ακόμα και στο αρχικό της στάδιο. Πολλές φορές οι πιθανές λύσεις που φαίνονταν ως στατικά ορθές στην αρχή, στη συνέχεια αποδεικνυόνταν ανέφικτες στην εφαρμογή τους. Έπειτα ακόμα και όταν τελικώς βρέθηκε μια αποδεκτή λύση, παρουσιάστηκαν προβλήματα κατά την ανάλυση του φορέα, προβλήματα τα οποία δεν είχαν ληφθεί υπόψη εκ των προτέρων.

Επιπλέον η διπλωματική αυτή αποτέλεσε το έναυσμα για την εκμάθηση χρήσιμων στατικών προγραμμάτων, όπως το Sofistik, τα οποία αποτελούν σημαντικά εφόδια στη δουλειά του πολιτικού μηχανικού.

Χωρίς αμφιβολία η ενασχόληση μέσω της πτυχιακής εργασίας με ένα τόσο σύνθετο και πολύπλοκο κατασκευαστικό θέμα καθιστά τον γραφόντα σοφότερο και πλούσιο σε εμπειρίες. Εύχομαι το εκπόνημα αυτό να αποτελέσει σημαντικό βοήθημα για οποιονδήποτε συνάδελφο αποφασίσει να καταπιαστεί με το θέμα των στεγάστρων στο μέλλον ώστε να δημιουργηθούν πληρέστερες και αρτιότερες ακόμα εργασίες με βέλτιστα αποτελέσματα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΑΚ59, 1959. Αντισεισμικός Κανονισμός Οικοδομικών Έργων, Προεδρικό Διάταγμα 26/2/59, Υπουργείο Δημοσίων Σχέσεων, Αθήνα, Ελλάδα.

Βάγιας Ι., 2003. ΣΙΔΗΡΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ Ανάλυση και Διαστασιολόγηση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ., 2005. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ με Βάση τα Τελικά Κείμενα των Ευρωκωδίκων, Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

Βαρδουλάκης Ι., 1999. Τεχνική Μηχανική: Τόμος ΙΙ, Εκδόσεις Συμμετρία.

Γαντές Χ.Ι., Σχεδιασμός Καλωδιωτών Κατασκευών και Μεμβρανών, Διάλεξη, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ΕΑΚ, 2000. Greek Earthquake Resistant Design Code, Ministry of Enviroment, Planning and Public Works, Athens, Greece.

Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας, Νοέμβριος 2001. ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ, Αθήνα.

Ερμόπουλος Ι., 2005. Ευρωκώδικας 1, Βασικές Αρχές Σχεδιασμού και Δράσεις επί των Κατασκευών. Ερμηνευτικά Σχόλια και Παραδείγματα Εφαρμογής, Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

Ερμόπουλος Ι., 2000. ΣΙΔΗΡΕΣ ΚΑΙ ΣΥΜΜΙΚΤΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ, Ανάλυση και Διαστασιολόγηση σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 1 έως 8, Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Τεύχος Δεύτερο, 31 Δεκεμβρίου 2008, Αριθμός Φύλλου 2692

Κατσικαδέλης Ι.Θ., 2004. Δυναμική των κατασκευών: Τόμος ΙΙ, σελ: 282 – 302, Εκδόσεις Συμμετρία.

Μιχάλτσος Γ., 2005. Προβλήματα Δυναμικής των Σιδηρών Γεφυρών, Εκδόσεις Συμεών.

Μώκος Β., 2007. Συμβολή στη Γενικευμένη Θεωρία Σύνθετων Ραβδωτών Φορέων με τη Μέθοδο Συνοριακών Στοιχείων, Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα.

Παπαδρακάκης Μ., Μη Γραμμικά Πεπερασμένα Στοιχεία, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα.

Παπαδρακάκης Μ., 2001. Ανάλυση φορέων με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Περιοδικό Μέταλλον, Τεύχος 4, Εκδόσεις New Genesis

Ackermann P, Hentschel A, Hochberg A, Reichel A, 2007. Building with Steel: Details Principles Examples, Edition DETAIL, Institut für internationale Architektur – Dokumentation GmbH & Co. KG, Munich.

Buchholdt H.A., 1999. An introduction to cable roof structures, Second Edition, published by Thomas Telford Ltd, London.

Cable Structure Division, Pfeifer Seil- und Hebetechnik, version 08/2005, www.pfeifer.de

Conley G. Irwin P. and Soligo J., 1999. Wind – Induced Internal Pressures on Sports Arenas, ASCE Structures Congress April 19-21, New Orleans, LA, USA.

Eckmann D., Hautzinger S.J., Kloiber L.A., Meyer T.R., March 2008. Design Considerations in Cable-Stayed Roof Structures, North American Steel Construction Conference.

Eurocode 3 – Design of Steel Structures, Part 1–1: General rules and rules for building. European Committee for Standardization (CEN), ENV 1993-1-1/April 1992.

Eurocode 3 – Design of Steel Structures, Part 1–2: General rules – Structural fire design. European Committee for Standardization (CEN), ENV 1993-1-2/September 1995.

Eurocode 3 – Design of Steel Structures, Part 1–3: General rules – Supplementary rules for cold formed thin gauge members and sheeting. European Committee for Standardization (CEN), ENV 1993-1-3/April 1996.

Eurocode 3 – Design of Steel Structures, Part 1–5: General rules – Supplementary rules for planar plated structures without transverse loading. European Committee for Standardization (CEN), ENV 1993-1-5/November 1997

Eurocode 3 – Design of Steel Structures, Part 1–6: General rules – Supplementary rules for strength and stability of shell structures. European Committee for Standardization (CEN), ENV 1993-1-6/September 1998.

Eurocode 3 – Design of Steel Structures, Part 1–8: General rules – Design of joints. European Committee for Standardization (CEN), ENV 1993-1-8/December 2003.

Eurocode 3 – Design of Steel Structures, Part 1–9: Fatigue. European Committee for Standardization (CEN), ENV 1993-1-9/April 2003.

Eurocode 3 – Design of Steel Structures, Part 1–9: Material toughness and through – thickness properties. European Committee for Standardization (CEN), ENV 1993-1-10/April 2003.

European Recommendations for the fire safety of Steel Structures – European Convention for Constructional Steelwork (ECCS), Elsevier, 1983.

Galambos T.V., 1988. Guide to stability design criteria for metal structures. John Wiley & Sons, New York.

Geraint John, Sheard Rod, Vickery Ben, 2007. STADIA: A Design and Development Guide, Fourth Edition, published by Elsevier Limited, Oxford, England.

Isyumov N., 1971. An Approach to the Prediction of Snow Loads, PhD Thesis, University of Western Ontario.

Nascè V., International Forum on Sports Installations Programming, Designing, Construction and Management, Turin October 20-22, 2005. Designing and Constructing Great Spans for Sports Installations.

Sheard Rod, 2007. THE STADIUM Architecture for the New Global Culture, Periplus Editions, Sydney, Australia.

Stadium Construction for the 2002 World Cup Soccer Games, Kajima News and Notes, vol.7, Autumn 1998.

Stadium Design, published and distributed worldwide by daab gmbh, 2006, Köln, Germany.

Steel Tube Institute of North America, Hollow Structural Sections, Principal Producers and Capabilities, 2005 Revised Edition.

Steel Tube Institute of North America, Recommended Methods to Check Dimensional Tolerances on Hollow Structural Sections.

Thornton C.H., Cuoco D.A., 2007. Innovative Approach to the Erection of Tension Roof Structures.

Timoshenko S.P., Gere J.M., 1961. Theory of Elastic Stability McGraw & Hill Book Company, 2nd Edition, New York

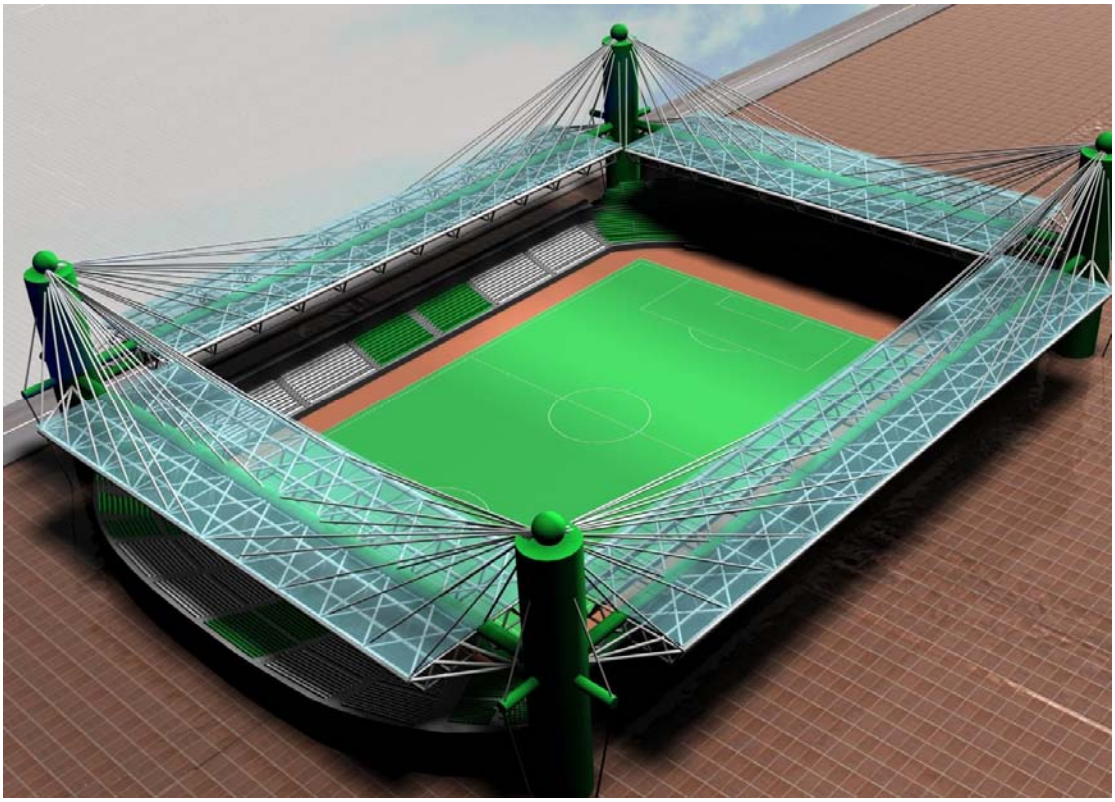
Vickery B.J. and Majowiecki M., 1992. Wind Induced Response of a Cable – Supported Stadium Roof. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ

Τελική Εικόνα Στεγάστρου

ΙΙ.i Γενικά

Οι διατομές που τελικά προέκυψαν έπειτα από τις αναλύσεις στα επίπεδα που περιγράφηκαν παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας ΙΙ.iii). Είναι όλες τους κοίλες λόγω των πλεονεκτημάτων που έχουν αυτού του είδους οι διατομές και κατηγορίες 3 ή μικρότερες.
Η τελική μορφή του στεγάστρου σχεδιάστηκε με το πρόγραμμα 3D Studio Max. Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται το στέγαστρο από διαφορετικές οπτικές γωνίες εναρμονισμένο στο πραγματικό περιβάλλον του γηπέδου και της περιοχής. Επιπλέον στο οπισθόφυλλο της διπλωματικής υπάρχει CD με ξενάγηση 3D στο γήπεδο καθώς και πολλά αρχεία pdf που περιλαμβάνουν ευρωκώδικες, άρθρα και τεχνικά χαρακτηριστικά για διάφορα στάδια, στέγαστρα και καλωδιωτές κατασκευές για περαιτέρω ενημέρωση του αναγνώστη.



Σχ. ΙΙ.i Τελική εικόνα στεγάστρου

ΙΙ.ii Διατομές και ενδεικτικό κόστος

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΑΚ59, 1959. Αντισεισμικός Κανονισμός Οικοδομικών Έργων, Προεδρικό Διάταγμα 26/2/59, Υπουργείο Δημοσίων Σχέσεων, Αθήνα, Ελλάδα.

Βάγιας Ι., 2003. ΣΙΔΗΡΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ Ανάλυση και Διαστασιολόγηση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ., 2005. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ με Βάση τα Τελικά Κείμενα των Ευρωκωδίκων, Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

Βαρδουλάκης Ι., 1999. Τεχνική Μηχανική: Τόμος ΙΙ, Εκδόσεις Συμμετρία.

Γαντές Χ.Ι., Σχεδιασμός Καλωδιωτών Κατασκευών και Μεμβρανών, Διάλεξη, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ΕΑΚ, 2000. Greek Earthquake Resistant Design Code, Ministry of Enviroment, Planning and Public Works, Athens, Greece.

Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας, Νοέμβριος 2001. ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ, Αθήνα.

Ερμόπουλος Ι., 2005. Ευρωκώδικας 1, Βασικές Αρχές Σχεδιασμού και Δράσεις επί των Κατασκευών. Ερμηνευτικά Σχόλια και Παραδείγματα Εφαρμογής, Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

Ερμόπουλος Ι., 2000. ΣΙΔΗΡΕΣ ΚΑΙ ΣΥΜΜΙΚΤΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ, Ανάλυση και Διαστασιολόγηση σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 1 έως 8, Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Τεύχος Δεύτερο, 31 Δεκεμβρίου 2008, Αριθμός Φύλλου 2692

Κατσικαδέλης Ι.Θ., 2004. Δυναμική των κατασκευών: Τόμος ΙΙ, σελ: 282 – 302, Εκδόσεις Συμμετρία.

Μιχάλτσος Γ., 2005. Προβλήματα Δυναμικής των Σιδηρών Γεφυρών, Εκδόσεις Συμεών.

Μώκος Β., 2007. Συμβολή στη Γενικευμένη Θεωρία Σύνθετων Ραβδωτών Φορέων με τη Μέθοδο Συνοριακών Στοιχείων, Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα.

Παπαδρακάκης Μ., Μη Γραμμικά Πεπερασμένα Στοιχεία, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα.

Παπαδρακάκης Μ., 2001. Ανάλυση φορέων με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Περιοδικό Μέταλλον, Τεύχος 4, Εκδόσεις New Genesis

Ackermann P, Hentschel A, Hochberg A, Reichel A, 2007. Building with Steel: Details Principles Examples, Edition DETAIL, Institut für internationale Architektur – Dokumentation GmbH & Co. KG, Munich.

Buchholdt H.A., 1999. An introduction to cable roof structures, Second Edition, published by Thomas Telford Ltd, London.

Cable Structure Division, Pfeifer Seil- und Hebetechnik, version 08/2005, www.pfeifer.de

Conley G. Irwin P. and Soligo J., 1999. Wind – Induced Internal Pressures on Sports Arenas, ASCE Structures Congress April 19-21, New Orleans, LA, USA.

Eckmann D., Hautzinger S.J., Kloiber L.A., Meyer T.R., March 2008. Design Considerations in Cable-Stayed Roof Structures, North American Steel Construction Conference.

Eurocode 3 – Design of Steel Structures, Part 1–1: General rules and rules for building. European Committee for Standardization (CEN), ENV 1993-1-1/April 1992.

Eurocode 3 – Design of Steel Structures, Part 1–2: General rules – Structural fire design. European Committee for Standardization (CEN), ENV 1993-1-2/September 1995.

Eurocode 3 – Design of Steel Structures, Part 1–3: General rules – Supplementary rules for cold formed thin gauge members and

sheeting. European Committee for Standardization (CEN), ENV 1993-1-3/April 1996.

Eurocode 3 – Design of Steel Structures, Part 1–5: General rules – Supplementary rules for planar plated structures without transverse loading. European Committee for Standardization (CEN), ENV 1993-1-5/November 1997

Eurocode 3 – Design of Steel Structures, Part 1–6: General rules – Supplementary rules for strength and stability of shell structures. European Committee for Standardization (CEN), ENV 1993-1-6/September 1998.

Eurocode 3 – Design of Steel Structures, Part 1–8: General rules – Design of joints. European Committee for Standardization (CEN), ENV 1993-1-8/December 2003.

Eurocode 3 – Design of Steel Structures, Part 1–9: Fatigue. European Committee for Standardization (CEN), ENV 1993-1-9/April 2003.

Eurocode 3 – Design of Steel Structures, Part 1–9: Material toughness and through – thickness properties. European Committee for Standardization (CEN), ENV 1993-1-10/April 2003.

European Recommendations for the fire safety of Steel Structures – European Convention for Constructional Steelwork (ECCS), Elsevier, 1983.

Galambos T.V., 1988. Guide to stability design criteria for metal structures. John Wiley & Sons, New York.

Geraint John, Sheard Rod, Vickery Ben, 2007. STADIA: A Design and Development Guide, Fourth Edition, published by Elsevier Limited, Oxford, England.

Isyumov N., 1971. An Approach to the Prediction of Snow Loads, PhD Thesis, University of Western Ontario.

Nascè V., International Forum on Sports Installations Programming, Designing, Construction and Management, Turin October 20-22, 2005. Designing and Constructing Great Spans for Sports Installations.

Sheard Rod, 2007. THE STADIUM Architecture for the New Global Culture, Periplus Editions, Sydney, Australia.

Stadium Construction for the 2002 World Cup Soccer Games, Kajima News and Notes, vol.7, Autumn 1998.

Stadium Design, published and distributed worldwide by daab gmbh, 2006, Köln, Germany.

Steel Tube Institute of North America, Hollow Structural Sections, Principal Producers and Capabilities, 2005 Revised Edition.

Steel Tube Institute of North America, Recommended Methods to Check Dimensional Tolerances on Hollow Structural Sections.

Thornton C.H., Cuoco D.A., 2007. Innovative Approach to the Erection of Tension Roof Structures.

Timoshenko S.P., Gere J.M., 1961. Theory of Elastic Stability McGraw & Hill Book Company, 2nd Edition, New York

Vickery B.J. and Majowiecki M., 1992. Wind Induced Response of a Cable – Supported Stadium Roof. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics.