



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Σχολή Μηχανικών
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας: Δομοστατικός

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Σύγκριση στεγάστρων μεταλλικών φορέων σε αθλητικές εγκαταστάσεις»

Εκπονών Φοιτητής:
Βαμβακάς Λουκάς ΑΜ:45169

Επιβλέπων Καθηγητής:
Δρ. Κουρνιατής Νικόλαος

Αθήνα, Απρίλιος 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

**Faculty of Engineering
Department of Civil Engineering
Division: Domostatic**

DISSERTATION

"Roof comparison of steel structures in sports facilities"

STUDENT NAME:

Vamvakas Loukas CN 45169

NAME OF SUPERVISOR:

Dr. Kourniatis Nikolaos

Athens, April 2024

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

ΚΟΥΡΝΙΑΤΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ (βαθμίδα)	ΡΕΠΑΠΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ (βαθμίδα)	ΧΑΡΑΛΑΜΠΑΚΗΣ ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗΣ (βαθμίδα)
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Βαμβακάς Λουκάς

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Βαμβακάς Λουκάς του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου 45169 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.»

Ο Δηλών

Βαμβακάς Λουκάς

Υπογραφή φοιτητή



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας, ανακάλυψα αρκετές νέες γνώσεις και ιδέες στο θέμα των μεταλλικών κατασκευών και στο κομμάτι του σχεδιασμού, συμπληρωματικά με τις γνώσεις που αποκόμισα από τη σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω, τον καθηγητή μου και επιβλέπων αυτής της εργασίας κ.Νίκο Κουρνιατή για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, την καθοδήγηση που μου παρείχε στα ενδιάμεσα στάδια συγγραφής της και το γεγονός ότι με ενέπνευσε να ασχοληθώ με το αντικείμενο του παραμετρικού σχεδιασμού, το οποίο δε γνώριζα νωρίτερα.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τις δυο Βιβλιοθήκες του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής για το βιβλιογραφικό υλικό, τη χρήση της αίθουσας υπολογιστών και για τη διευκόλυνση που μου παρείχαν με τη διαδικασία δια-δανεισμού.

Ακόμη, ευχαριστώ πολύ όλα τα μέλη της οικογένειας μου για τη βοήθεια και τη στήριξη που είχα, ώστε να καταφέρω να την ολοκληρώσω. Επομένως, αφιερώνω την εργασία αυτή σε όλους όσους, γενικά, μου έδωσαν κίνητρο με οποιοδήποτε τρόπο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ABSTRACT	2
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΑΛΥΒΑ	4
ΦΕΡΟΝΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο (ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΤΕΓΑΣΤΡΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΤΥΠΟ ΦΟΡΕΑ)	8
ΑΠΛΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΖΟΜΕΝΑ ΖΕΥΚΤΑ	8
ΚΑΛΩΔΙΑΚΟΙ ΦΟΡΕΙΣ	12
<i>Αναρτημένη οροφή από χάλυβα</i>	12
<i>Δακτύλιος τάνυσης-συμπίεσης</i>	17
ΠΛΑΙΣΙΩΤΟΙ ΦΟΡΕΙΣ	23
<i>Διαγώνιο πλέγμα (diagrid)</i>	23
<i>Χωρικά πλαίσια</i>	26
ΤΟΞΩΤΟΙ ΦΟΡΕΙΣ	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο (ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΤΕΓΑΣΤΡΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ)	34
ΑΝΑΔΙΠΛΟΥΜΕΝΕΣ ΟΡΟΦΕΣ	34
ΣΤΕΓΕΣ ΠΟΥ ΥΠΟΣΤΗΡΙΖΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΑΕΡΑ	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο (ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΤΕΓΑΣΤΡΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ)	44
ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΟΜΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (BIM)	44
<i>Μοντελοποίηση στεγάστρου με χρήση λογισμικού BIM</i>	44
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	50
<i>Παραδείγματα εφαρμογών του παραμετρικού μοντέλου</i>	51
ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΣΕ ΟΛΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	62
ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ	64
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	66
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	68
ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	69

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η επιλογή ενός τύπου στεγάστρου για ένα υπάρχον ή για κάποιο νέο σύγχρονο στάδιο είναι μια πολύπλοκη διαδικασία κατά την οποία ο μηχανικός έρχεται αντιμέτωπος με ένα τεράστιο αριθμό σχεδιαστικών και λειτουργικών απαιτήσεων. Ο λόγος είναι ότι εκτός από την κάλυψη που παρέχει στους θεατές και πιθανόν και στον αγωνιστικό χώρο, διαμορφώνει και τη συνολική εμφάνιση του ίδιου του σταδίου. Στην παρούσα εργασία όλα τα στατικά μοντέλα που έχουν επιλεγεί αποτελούνται από μεταλλικούς φορείς στο μεγαλύτερο μέρος της κατασκευής τους αν όχι σε όλο. Έτσι, έχοντας το χάλυβα ως ίδιο υλικό για βάση, τα στέγαστρα δεν ελέγχονται ως προς αυτό, αλλά συγκρίνονται μεταξύ τους αρχιτεκτονικά και στατικά. Έπειτα αναλύονται ορισμένα χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα του παραμετρικού μοντέλου και του μοντέλου δομικών πληροφοριών για το σχεδιασμό μιας οροφής γηπέδου. Ολοκληρώνοντας βγαίνει το συμπέρασμα για το ποια είδη στεγάστρων είναι τα πιο συνηθισμένα ως προς την επιλογή τους και ποια από αυτά θα αποτελέσουν τις βάσεις σχεδιασμού για τις μελλοντικές κατασκευές.

Λέξεις – κλειδιά

στάδιο, χάλυβας, είδη στεγάστρων, επικάλυψη, παραμετρικό μοντέλο, κατασκευές

ABSTRACT

The choice of a type of roof for an existing or for a new modern stadium is a complex process in which the engineer is faced with a huge number of design and operational requirements. The reason is that except from the coverage, which provide to spectators and possibly on the field, it shapes the overall appearance of the stadium itself. In this dissertation all the static models that have been selected consist of metal carriers, if not all, in most of their construction. Thus, having steel as a common material, the canopies where described are not checked on it, but are compared at each other architecturally and statically. Then, some features and advantages of the parametric model and the structural information model are analyzed for the design of the stadium roof. Finally, a conclusion is drawn about which roof types are the most widespread in terms of their choice and which of them will be the basis for planning for future constructions.

Keywords

stadium, steel, roof types, cover, parametric model, constructions

Εισαγωγή

Μια από τις βασικότερες απαιτήσεις σχεδιασμού οποιασδήποτε κατασκευής είναι ότι πρέπει να είναι αποτελεσματική και ασφαλής, έχοντας την ικανότητα να αντιστέκεται σε μεταβολές του αέρα, των καιρικών συνθηκών γενικότερα και τις σεισμικές δράσεις. Δηλαδή εν συντομία πρέπει να ικανοποιεί τους στόχους, τις ανάγκες για τις οποίες δημιουργήθηκε, αλλά και τις δομικές ή άλλες απαιτήσεις. Σημαντική δομική απαίτηση θεωρείται η ακαμψία της δομής, η οποία πρέπει να είναι επαρκής ώστε να διασφαλιστεί ότι η λειτουργικότητα της κατασκευής δεν επηρεάζεται από υπερβολικές εκτροπές ή δονήσεις, ενώ οι υπόλοιπες απαιτήσεις σχεδιασμού περιλαμβάνουν αυτές της οικονομίας και της αρμονίας.

Κατασκευές όπως τα στάδια ενσωματώνονται με δυσκολία σε έναν αστικό ιστό για αυτόν το λόγο πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν όλοι οι πιθανοί παράγοντες και οι κλιματολογικές πληροφορίες όσο το δυνατόν νωρίτερα στη διαδικασία σχεδιασμού. Μέσω της αλληλεπίδρασης του περιβάλλοντος με τα αρχιτεκτονικά και δομικά στοιχεία ενός σταδίου επηρεάζεται ο σχεδιασμός και η επιτυχής προσαρμογή αυτής της εγκατάστασης. Από μηχανικής άποψης, όπως έχει αναφέρει και ο Bartley Miller, ανώτερος διευθυντής της Walter P Moore, η γεωμετρική πολυπλοκότητα των κατασκευών αυτών δοκιμάζει τα όρια των υλικών και απαιτεί εξελιγμένες τεχνικές σχεδιασμού.

Όπως είναι κοινά αποδεκτό, σκοπός ενός δομικού μηχανικού, είναι το να παραχθεί μια κατασκευή που δεν θα αποτύχει στη διάρκεια ζωής της ή που θα έχει ένα χαμηλό κίνδυνο αστοχίας. Επιπλέον, το να εφεύρει ένα δομικό σύστημα το οποίο θα αντιστέκεται και θα μεταφέρει τις δυνάμεις και τα φορτία που ενεργούν σε αυτό με επαρκή ασφάλεια. Ταυτόχρονα με αυτούς τους σκοπούς, λαμβάνεται υπόψιν και η διατήρηση του οικονομικού κόστους σε όσο το δυνατόν χαμηλότερα επίπεδα.

Συγκεκριμένα για τα στέγαστρα των σταδίων, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη λειτουργικότητα και αποδοτικότητα τους, στα αρχιτεκτονικά και στατικά μοντέλα, στις μεθόδους κατασκευής και εγκατάστασής τους, καθώς και στα μεγέθη των μελών της δομής.

Στη συνέχεια αυτής της διπλωματικής ορισμένα μεταλλικά στέγαστρα αθλητικών εγκαταστάσεων θα κατηγοριοποιηθούν με βάση τον τύπο φορέα, την επικάλυψη και τη μέθοδο σχεδιασμού, θα αναλυθούν και θα συγκριθούν μεταξύ τους. Επομένως, μέσω αυτών των διαδικασιών θα αναδειχθούν οι ομοιότητες και οι διαφορές τους, καθώς ακόμη και τα πλεονεκτήματα του κάθε φορέα.

Πλεονεκτήματα Χάλυβα

Γιατί όμως επιλέγουμε να ασχοληθούμε συγκεκριμένα, με στέγαστρα από μεταλλικό φορέα;

Στα χαρακτηριστικά οφέλη των μεταλλικών στεγάστρων και γενικότερα των χαλύβδινων κατασκευών έναντι άλλων υλικών όπως το σκυρόδεμα, συμπεριλαμβάνεται το πλήθος των επιλογών στην αρχιτεκτονική δημιουργία. Αυτό επιτυγχάνεται επειδή υπάρχει μια ποικιλία διαθέσιμων διατομών τόσο λόγω της γεωμετρικής όσο και της βιομηχανικής ευκολίας στην κατεργασία του.

Ο χάλυβας ως υλικό θεωρείται οικολογικός και βιώσιμος διότι αφενός ανακυκλώνεται και επαναχρησιμοποιείται και αφετέρου η διαδικασία συγκόλλησης ή συντήρησής του είναι σχετικά απλή, χωρίς να επιβαρύνεται το περιβάλλον. Ο δομικός χάλυβας επιπροσθέτως έχει ολκιμότητα, δηλαδή την ιδιότητα να αντέχει εκτεταμένες παραμορφώσεις χωρίς αστοχία κάτω από υψηλές τάσεις εφελκυσμού. Η όλκιμη φύση του δομικού χάλυβα επιτρέπει στις παραμορφώσεις να υποχωρούν τοπικά σε αυτά τα σημεία, ανακατανέμοντας έτσι τις τάσεις και αποτρέποντας τις πρόωρες αστοχίες.

Αναλύοντας το για το γιατί ο χάλυβας είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για μεγάλα ανοίγματα με λιγότερη απόσταση μεταξύ των στηλών ή αλλιώς στηριγμάτων, ο Charis J. Gantes, Ph.D., καθηγητής δομικής μηχανικής στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, έχει εξηγήσει ότι για μεγάλα ανοίγματα, είναι αποτελεσματικό να χρησιμοποιούνται υλικά που έχουν υψηλή επιτρεπόμενη τάση για την ικανοποίηση περιορισμών αντοχής, χαμηλού βάρους και υψηλό μέτρο ελαστικότητας για την ικανοποίηση περιορισμών λειτουργικότητας. Τα παραπάνω κάνουν το χάλυβα την καλύτερη και ίσως τη μοναδική επιλογή σύμφωνα με την άποψη όχι μόνο του Gantes, αλλά και του Cristobal Correa διευθυντή της εταιρείας Buro Happold.

Από την άλλη πλευρά ο Craig Tracy, αντιπρόεδρος, WSP, Montclair, New Jersey έχει δηλώσει δύο ακόμη θετικά στοιχεία για το συγκεκριμένο υλικό. Το ένα είναι πως όταν πρόκειται για ανακαινίσεις, οι κατασκευές από χάλυβα προσθέτουν γενικά τη μεγαλύτερη ευελιξία. Αυτό συμβαίνει είτε επειδή οι συνδέσεις με την υπάρχουσα κατασκευή μπορούν να γίνουν μέσω συγκόλλησης και βιδώματος, που είναι και οι δύο αξιόπιστες μέθοδοι ακόμη και για επιθεώρηση είτε επειδή σε περίπτωση κατεδάφισης μπορούν να χρησιμοποιηθούν μικρά εργαλεία όπως πυρσοί κοπής ή πριόνια διαμαντιών. Το δεύτερο πλεονέκτημα είναι το γεγονός πως συγκρίνοντας τα καλύτερα υλικά που είναι διαθέσιμα για κατασκευή σήμερα, διαπιστώνεται ότι ο δομικός χάλυβας έχει 50 τοις εκατό μεγαλύτερη ειδική αντοχή και 30 τοις εκατό υψηλότερο ειδικό μέτρο από το σκυρόδεμα.

Φέροντα μεταλλικά στοιχεία

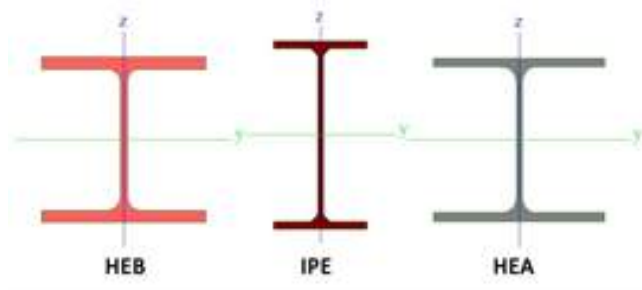
Τα είδη κατασκευών ανάλογα με τα δομικά τους στοιχεία από τα οποία αποτελούνται και τον τρόπο λειτουργίας τους κατηγοριοποιούνται σε δικτυώματα, τις πλαίσια, τοξωτές και καλωδιακές κατασκευές, οι οποίες παρουσιάζουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και δομική συμπεριφορά. Συνήθως, χρησιμοποιούνται σύνθετα συστήματα κατασκευών, τα οποία συνδυάζουν δύο ή περισσότερα στοιχεία από τα παραπάνω.

Δικτυώματα

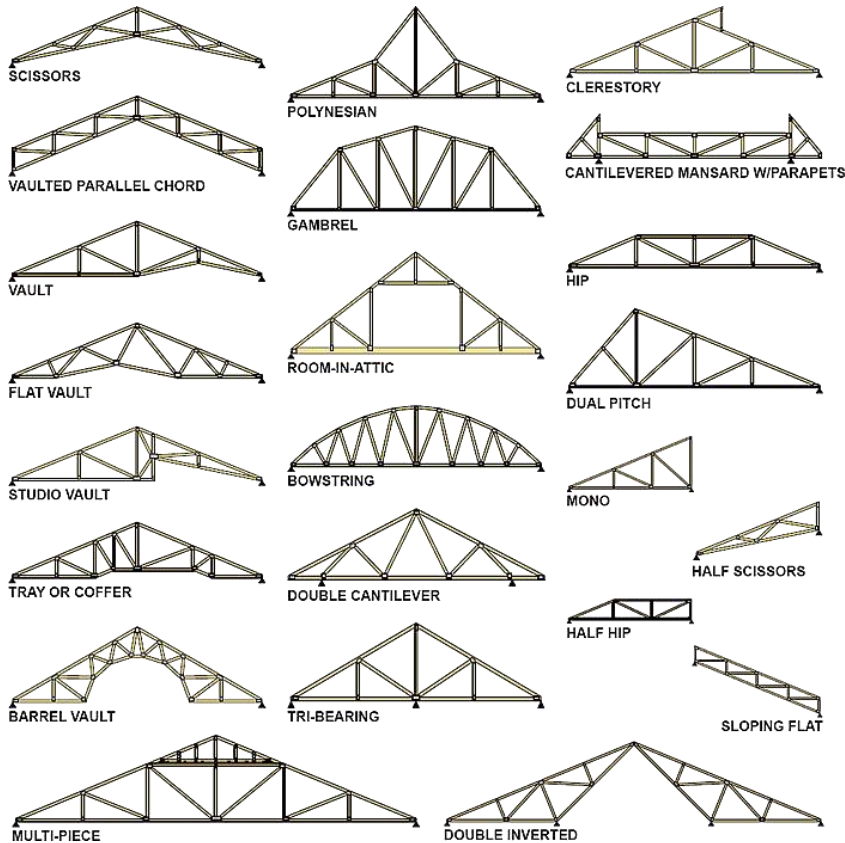
Οι δικτυωτοί φορείς αποτελούνται από ευθύγραμμες ράβδους, συναρθρωμένες μεταξύ τους μέσω κόμβων. Στις δύο διαστάσεις μορφώνονται ως επίπεδα δικτυώματα, ενώ τρισδιάστατα είναι ένας συνδυασμός αυτών των επίπεδων δικτυωμάτων, γνωστός ως χωροδικτυώματα. Ένα χωροδικτύωμα μεταφέρει τα φορτία προς όλες τις κατευθύνσεις και γεφυρώνει μεγάλες επιφάνειες.

Οι δικτυωτοί φορείς τοποθετούνται σε αποστάσεις 3μιση έως 6μιση μέτρων και παράλληλα μεταξύ τους. Τα επιμέρους στοιχεία ενός μεταλλικού ζευκτού αναλύονται σε κύριες δοκούς, σε τεγίδες, σε αντιανέμια και στα φύλλα επικάλυψης. Οι τεγίδες σε συνδυασμό με τα αντιανέμια αποτελούν τους συνδέσμους των μεταλλικών στεγών με τα οποία επιτυγχάνεται η ακαμψία και η ευστάθεια των ζευκτών.

Στις μεταλλικές στέγες το υλικό των τεγίδων είναι κατά πλειοψηφία ο χάλυβας. Ο ρόλος των τεγίδων είναι η μεταβίβαση του ίδιου βάρους από τα φύλλα επικάλυψης και των εξωτερικών δράσεων που δρουν πάνω σε αυτά τα φύλλα, προς στους κύριους φορείς. Ανάλογα τα μεγέθη των δράσεων, τις αντοχές των φύλλων επικάλυψης και τους συνδέσμους δυσκαμψίας, η επιλογή των αποστάσεων μεταξύ των τεγίδων κυμαίνονται από 1μιση έως 4 μέτρα. Περίπου από τους ίδιους παράγοντες, εξαρτάται και η διατομή τους, με συχνότερες επιλογές αυτές των υψίκορμων IPE και δευτερευόντως των πλατύπελμων HEA.



Διατομές (www.kxcivileng.gr)



Ζευκτά (wands.gr)

Τα αντιανέμια συνήθως καλύπτουν τα 2 άκρα της στέγης και ένα μέρος της επιστεγασμένης επιφάνειας. Κατασκευάζονται από ελάσματα ή ράβδους κυκλικής ή ορθογωνικής διατομής συνήθως της σειράς ΗΕΒ. Ως σύνδεσμοι δυσκαμψίας συμβάλλουν καθοριστικά στην ευστάθεια του φορέα κατά τη διάρκεια συναρμολόγησης του στεγάστρου, μειώνοντας έτσι τις οριζόντιες μετακινήσεις τμημάτων της κατασκευής.

Ξεκαθαρίζοντας, ότι τα φύλλα επικάλυψης, αν και στοιχείο του εξωτερικού περιβλήματος μιας στέγης, δεν αποτελούν μέρος του φέροντα οργανισμού. Έχουν τη δυνατότητα εύκολης τοποθέτησης και ο ρόλος τους είναι να παραλαμβάνουν κυρίως τα κατακόρυφα εξωτερικά φορτία, τα οποία θα μεταφερθούν μέσω των τεγίδων, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στον υπόλοιπο φορέα.

Παρακάτω περιγράφονται δύο τύποι ζευκτών που δεν συμπεριλαμβάνονταν στην προηγούμενη εικόνα και θα τους συναντήσουμε στη συνέχεια ως όρους, σε παράδειγμα τύπου στεγάστρου ενός γηπέδου.

Τύπος ζευκτού Vierendeel

Στα τέλη του 19ου αιώνα και συγκεκριμένα το 1896 ο μηχανικός Jules Arthur Vierendeel, κατέγραψε το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για έναν νέο τύπο δοκού γνωστό και ως ζευκτό Vierendeel το οποίο προέκυψε από το όνομά του. Χαρακτηρίζεται από την έλλειψη διαγώνιων μελών του πλαισίου, κάτι που φαίνεται να έρχεται σε αντίθεση με τις συνθήκες σταθερότητας και ισορροπίας, μαζί με την αξιοσημείωτη παραμόρφωση και τον δύσκολο υπολογισμό του, έκανε τους τεχνικούς της εποχής του να είναι δύσπιστοι για την εφαρμογή του, ωστόσο αυξήθηκε σε δημοτικότητα κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα.



(www.perchpro.com)

Το στήριγμα Vierendeel είναι μια δομή όπου τα μέλη δεν είναι τριγωνικά αλλά σχηματίζουν ορθογώνια ανοίγματα και είναι ένα πλαίσιο με σταθερές αρθρώσεις που μπορούν να μεταφέρουν και να αντιστέκονται σε ροπές. Ως εκ τούτου, δεν ταιριάζει στον αυστηρό ορισμό του ζευκτού (δεδομένου ότι περιέχει μέλη χωρίς δύο δυνάμεις). Τα κανονικά δοκάρια περιλαμβάνουν μέλη τα οποία συνήθως θεωρείται ότι έχουν καρφωμένες αρθρώσεις, με την έννοια ότι δεν υπάρχουν στιγμές στα αρθρωτά άκρα. Η χρήση του για γέφυρες είναι σπάνια λόγω του υψηλότερου κόστους σε σύγκριση με ένα τριγωνικό δοκό.

Τύπος ζευκτού Warren

Το συγκεκριμένο είδος ζευκτού πήρε το όνομά του από τον Βρετανό μηχανικό James Warren το οποίο του κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1848. Είναι ένα ζευκτό αποτελούμενο από διαμήκη μέλη που ενώνονται μόνο με γωνιακά εγκάρσια, σχηματίζοντας εναλλάξ ανεστραμμένους χώρους. Πρακτικά είναι ένα σχέδιο εξοικονόμησης βάρους βασισμένο σε ισόπλευρα τρίγωνα.



(www.perchpro.com)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο (Κατηγορίες στεγάστρων με βάση τον τύπο φορέα)

Απλά υποστηριζόμενα ζευκτά

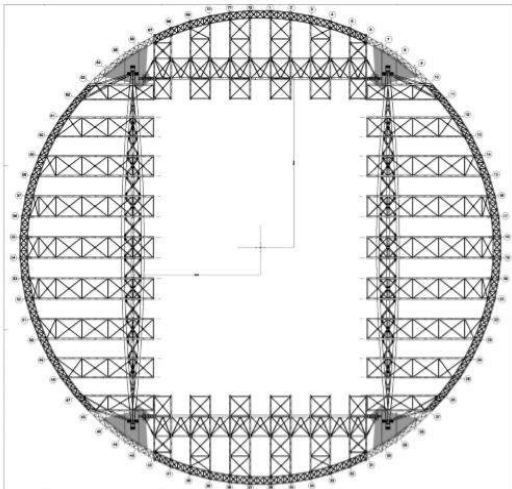
Στο συγκεκριμένο τύπο φορέα τα ζευκτά της οροφής στηρίζονται σε δύο άκρα, συνήθως με τη κύρια δοκό να έχει έκταση σε όλο το μήκος της κερκίδας. Κατά την ανάλυση του, πρώτα προσδιορίζονται οι αντιδράσεις υποστήριξης και μετά το ελεύθερο άκρο όπου υπάρχουν το πολύ δύο άγνωστες δυνάμεις.

Νέο γήπεδο Παναθηναϊκού στο Βοτανικό



(*archello.com*)

Το νέο γήπεδο πρόκειται να έχει μέγιστη χωρητικότητα 40.000 θεατών.

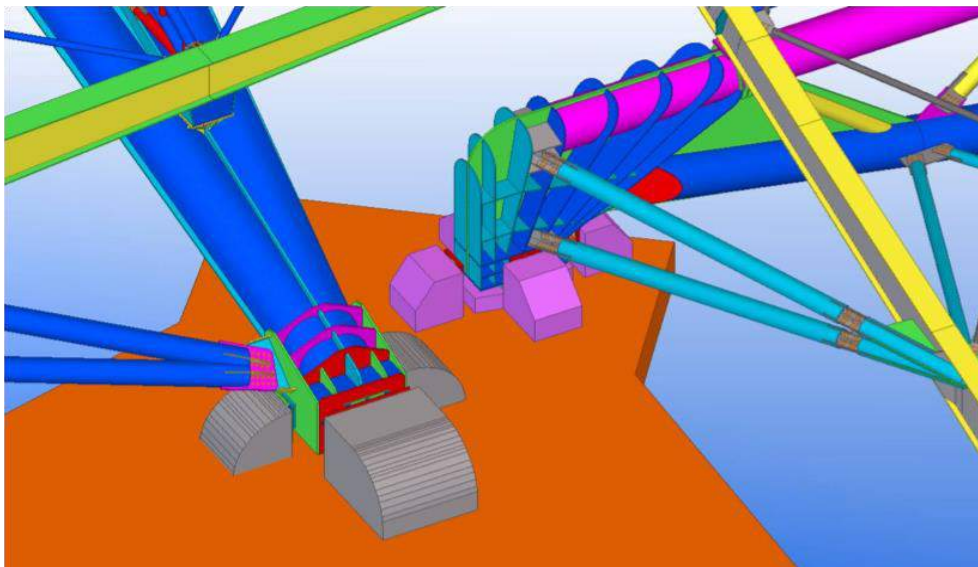


Κυκλική κάτοψη (*dae.gr*)



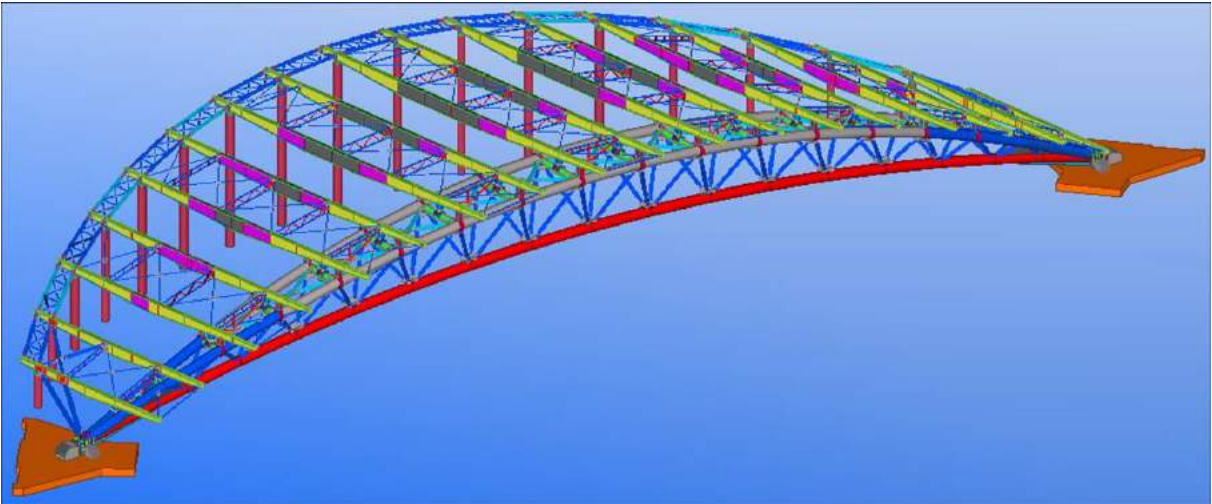
Εσωτερική όψη του στεγαστρου (focalpm.com)

Το μεταλλικό στέγαστρο αποτελείται από τέσσερα στατικώς ανεξάρτητα τμήματα. Το κάθε τμήμα στηρίζεται σε μια αμφιέριστη κυρία χωροδικτυωτή δοκό και στα περιμετρικά υποστυλώματα των ανωτέρων διαζωμάτων του γηπέδου. Τα τέσσερα κυρία δικτυώματα στηρίζονται με άρθρωση πάνω στους αντίστοιχους τέσσερις γωνιακούς πυλώνες. Ταυτόχρονα τα προεξέχοντα πέλματα των δοκών βοηθούν στη διευκόλυνση της συνδεσμολογίας.



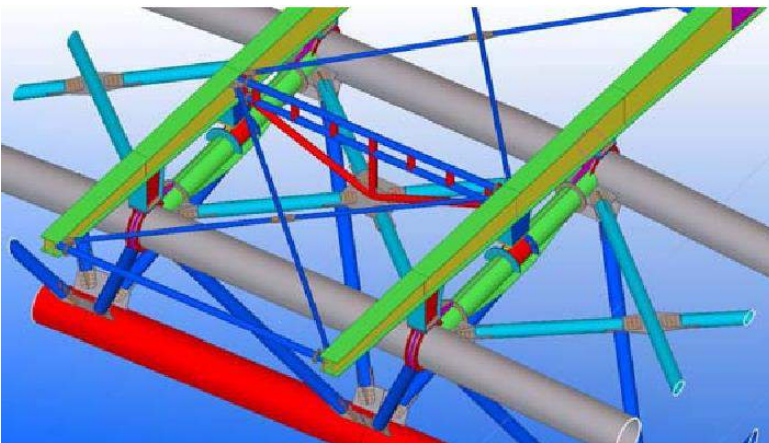
Άρθρωση στον πυλώνα (dae.gr)

Επειδή η στέγη έχει κυλινδρικό σχήμα, τα δύο μεγαλύτερα εξ αυτών είναι τοξωτής μορφής, ενώ τα δύο μικρότερα έχουν οριζόντια άνω πέλματα. Η θεμελίωση των πυλώνων γίνεται επί πασσάλων.

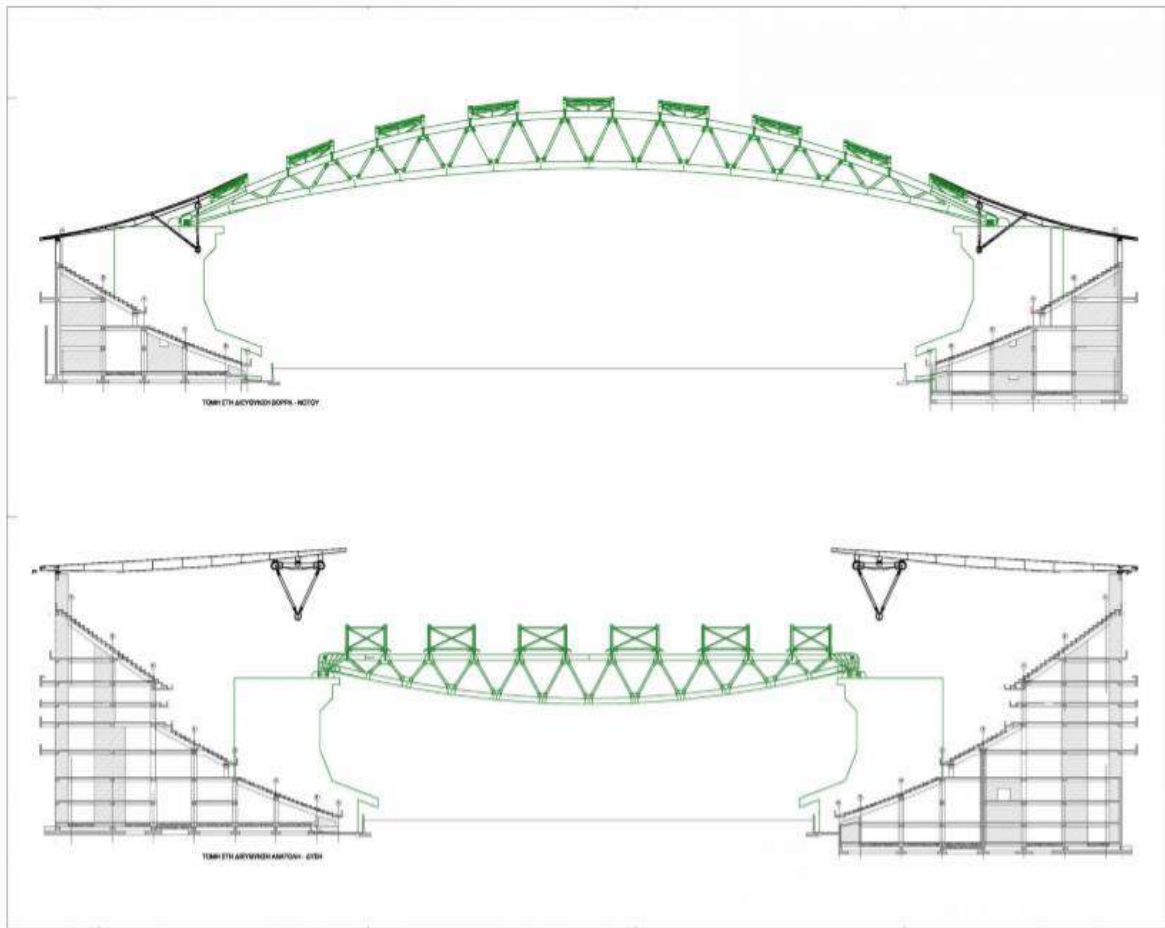


Υποστηριζόμενο μεταλλικό ζευκτό στα δύο άκρα ([semanticscholar.org](https://www.semanticscholar.org))

Οι δευτερεύουσες δοκοί στηρίζονται μέσω κύλισης στα άνω πέλματα των κύριων δικτυωτών φορέων και στα περιμετρικά υποστυλώματα των κερκίδων. Επιπλέον, είναι αμφιπροέχουσες και προσανατολισμένες κάθετα στο κύριο δικτύωμα. Οι δοκοί αυτοί συνδέονται ανά ζεύγη με βοηθητικά εγκάρσια δικτύωματα σε κατάλληλες θέσεις και χιαστί συνδέσμους ώστε να προστατεύονται έναντι πλευρικού λυγισμού. Επί των δευτερευουσών δοκών στηρίζονται και οι τεγίδες οι οποίες με τη σειρά τους στηρίζουν την επικάλυψη.



Υποστήριξη δύο δευτερευουσών δοκών ([semanticscholar.org](https://www.semanticscholar.org))



Δικτυώματα (dae.gr)

Τα άκρα του περιφερειακού δικτυώματος συνδέονται με ένα ζεύγος δύσκαμπτων μελών με την κορυφή κάθε πυλώνα πετυχαίνοντας έτσι τη μεταφορά των δυνάμεων λόγω οριζόντιων δράσεων από το στέγαστρο στους πυλώνες.

Το καμπύλο σχήμα της στέγης δρα ευεργετικά σε περίπτωση κίνησης των δύο πυλώνων σε περίπτωση σεισμού, ο οποίος θα προκαλούσε σημαντικές εντάσεις στο μεταλλικό στέγαστρο. Το μειονέκτημα όμως αυτής της λύσης είναι η μειωμένη δυσκαμψία του στεγαστρου έναντι οριζόντιας φόρτισης. Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε η κατασκευή ενός οριζόντιου περιφερειακού δακτυλίου δικτυωτής μορφής στο πίσω άκρο των δευτερευουσών δοκών.

Καλωδιακοί φορείς

Τα χαλύβδινα καλώδια παρουσιάζουν ευνοϊκές φέρουσες ιδιότητες, μία από τις οποίες είναι η υψηλή αντοχή, η οποία επιτρέπει την παραλαβή μεγάλων αξονικών δυνάμεων με μικρές διατομές. Άλλα χαρακτηριστικά των καλωδιωτών φορέων είναι ότι έχουν μεγάλα μήκη, είναι πιο εύκαμπτα και δεν κινδυνεύουν από λυγισμό. Επίσης αναπτύσσεται μόνο εφελκυσμός, καθώς είναι αδύνατη η αντίσταση στις καμπτικές και θλιπτικές ροπές. Εξίσου σημαντική θεωρείται η ύπαρξη δυνατότητας δημιουργίας διαφόρων μορφών φορέων ως λύσεις ως προς την κάλυψη μεγάλων ανοιγμάτων.

Αναρτημένη οροφή από χάλυβα

Η οροφή από χάλυβα με κρεμαστό καλώδιο στηρίζεται από δύο τεράστιους χαλύβδινους πυλώνες έξω από το στάδιο.

Στάδιο Allianz του Τορίνο



(juventus.com)

Το γήπεδο είναι ορθογωνικής κάτοψης με μέγιστη χωρητικότητα 41.507 θεατών.

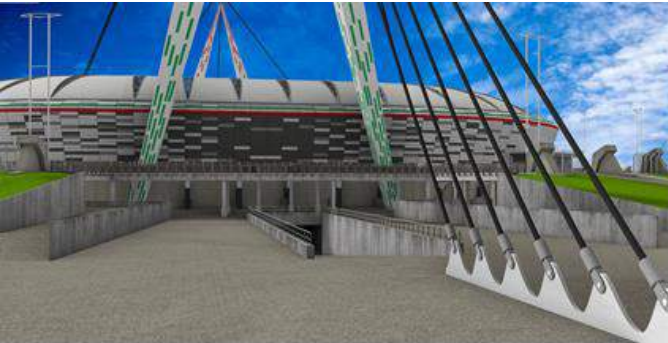
Το δομικό σύστημα στέγης αποτελείται από ένα σύστημα χαλύβδινων καλωδίων σταθεροποιημένο με προένταση σε στύλο δύο ποδιών σε κάθε πλευρά και από τα δευτερεύοντα δικτυωτά δικτυώματα.

Δύο ζευγάρια κεντρικών ζευκτών σχηματίζουν το ορθογώνιο εσωτερικό άκρο της οροφής πάνω από τα όρια του γηπέδου. Οι στύλοι και τα διαγώνια μέλη των κύριων ζευκτών σχηματίζονται από στοιχεία CHS με διάμετρο 300 χιλιοστών. Η κύρια δοκός μεσαίου ανοίγματος έχει ύψος περίπου 7,3 μέτρα και πλάτος 5,3 μέτρα.



Κάτοψη (w0.peakrx.com)

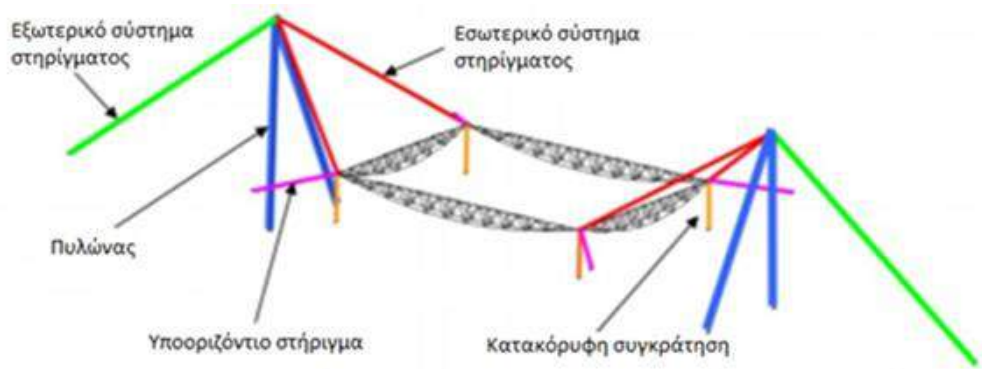
Ένα σύστημα τεσσάρων καλωδίων στήριξης των 105 χιλιοστών και μήκους περίπου 93 μέτρων αναρτά τη κύρια δομή στις κεφαλές των δύο κύριων πυλώνων. Η αγκύρωση κάθε κεφαλής στο έδαφος επιτυγχάνεται με ένα σύστημα 6 καλωδίων ίδιου πάχους και μήκους περίπου 128 μέτρων και κάθε καλώδιο έχει τουλάχιστον έναν ρυθμιζόμενο ακροδέκτη.



Αγκύρωση καλωδίων στο έδαφος (artstation.com)

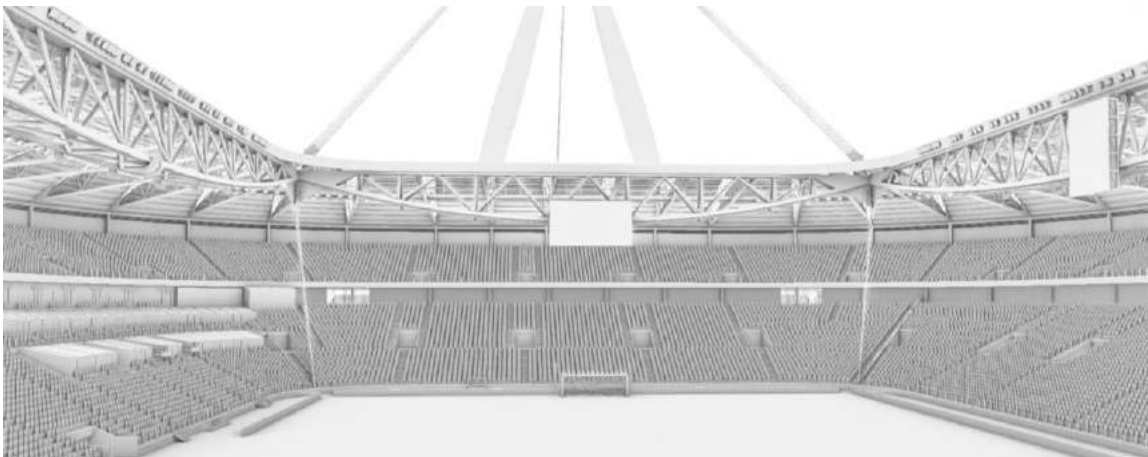
Τα κύρια ανοίγματα των ζευκτών είναι 125 μέτρων και 88 μέτρων αντίστοιχα με μία ίσια κορυφαία χορδή και δύο κυρτές κάτω χορδές, έτσι ώστε το ύψος να αλλάζει κατά μήκος του ανοίγματος. Οι άνω και κάτω χορδές έχουν διατομή κατασκευασμένη από συγκολλημένες πλάκες με πάχος μεταβλητό από 25 έως 40 χιλιοστών.

Ένα εσωτερικό σύστημα εγκάρσιων και διαμηκών νευρώσεων ενισχύει τις καμπύλες πλάκες και ένα πεδίο προέντασης τοποθετείται στα συστήματα στήριξης για να εξασφαλιστεί η απαραίτητη ακαμψία και η αμφίπλευρη λειτουργικότητα. Τα εγκάρσια στοιχεία CHS συνδέουν τις αρθρώσεις των δύο κάτω χορδών.



(majowiecki.com)

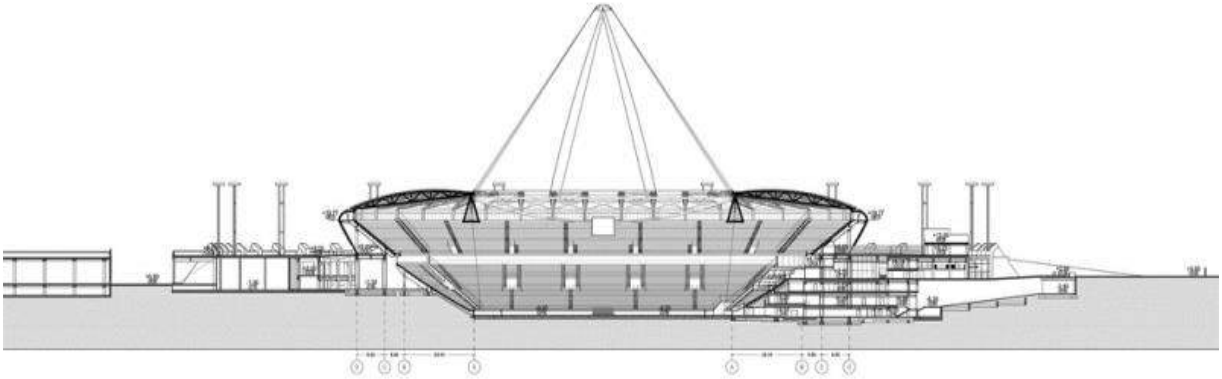
Η κύρια στήλη έχει σχήμα «αντεστραμμένο V», με ύψος 56 μέτρα και σχηματίζεται από δύο πόδια μήκους 84 μέτρων και με βάση 45 μέτρα. Κάθε σκέλος της κύριας στήλης έχει κωνικό σχήμα, ενώ το σχήμα διατομής είναι τριγωνικό που σχηματίζεται από τρεις καμπύλες πλάκες πάχους 30/35 χιλιοστών. Η πλευρά του τριγώνου στο μεσαίο άνοιγμα έχει μήκος περίπου 3,75 μέτρα.



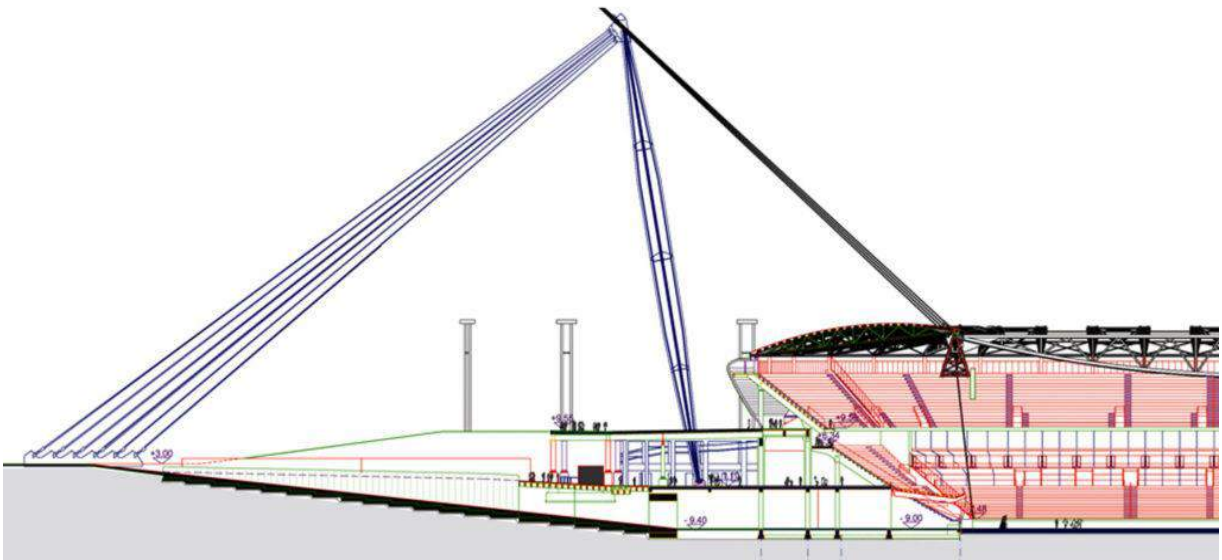
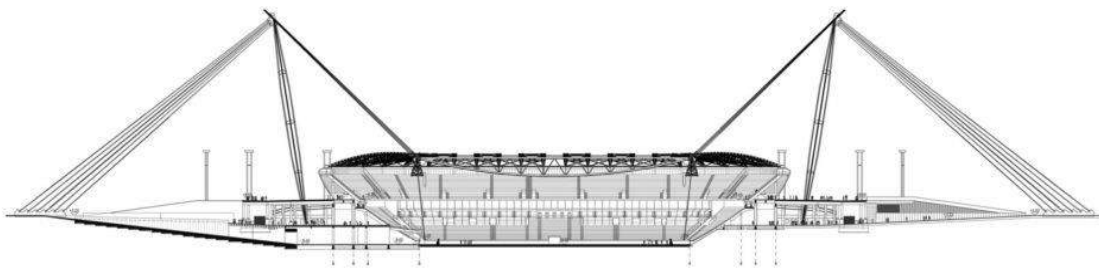
Εσωτερική όψη κύριων δοκαριών και δικτυωμάτων (artstation.com, 3D μοντέλο από Marian T.)

Κατά μήκος της εσωτερικής ακμής της οροφής που σχηματίζεται από τα κύρια ζευκτά και της εξωτερικής άκρης που σχηματίζεται από το πάνω μέρος των πλαισίων της μεγάλης βάσης τοποθετούνται τα δευτερεύοντα ζευκτά με βήμα περίπου 11 μέτρων. Κάθε ζευγάρι δευτερευόντων δικτυωμάτων συνδέεται στο μέσο του ανοίγματος με ένα δικτυωτό εγκάρσιο για να διασφαλιστεί η πλευρική σταθερότητα και μια γρήγορη διαδικασία τοποθέτησης. Κάθε δευτερεύον ζευκτό έχει άνοιγμα περίπου 40 μέτρα και το εσωτερικό ύψος στο μεσαίο άνοιγμα είναι περίπου 2,60 μέτρα.

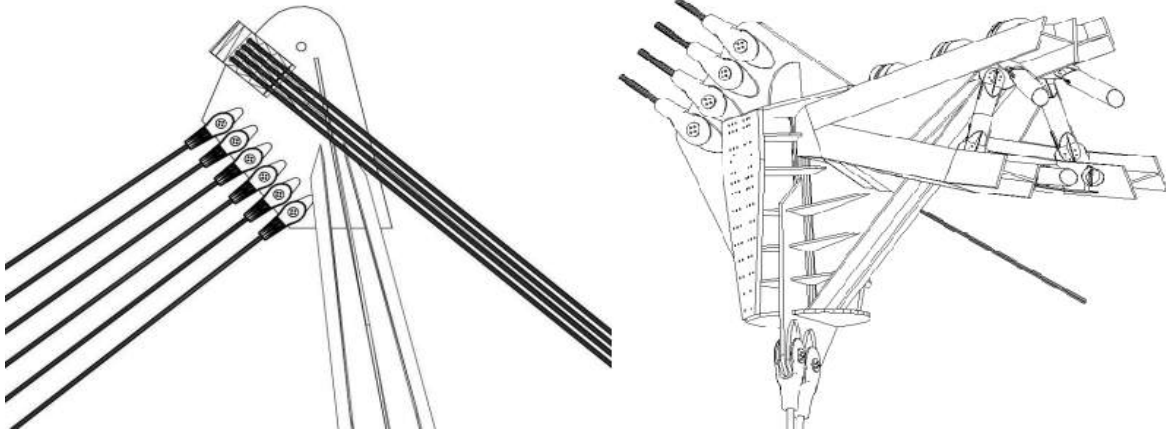
Τομές σταδίου Allianz Τορίνου



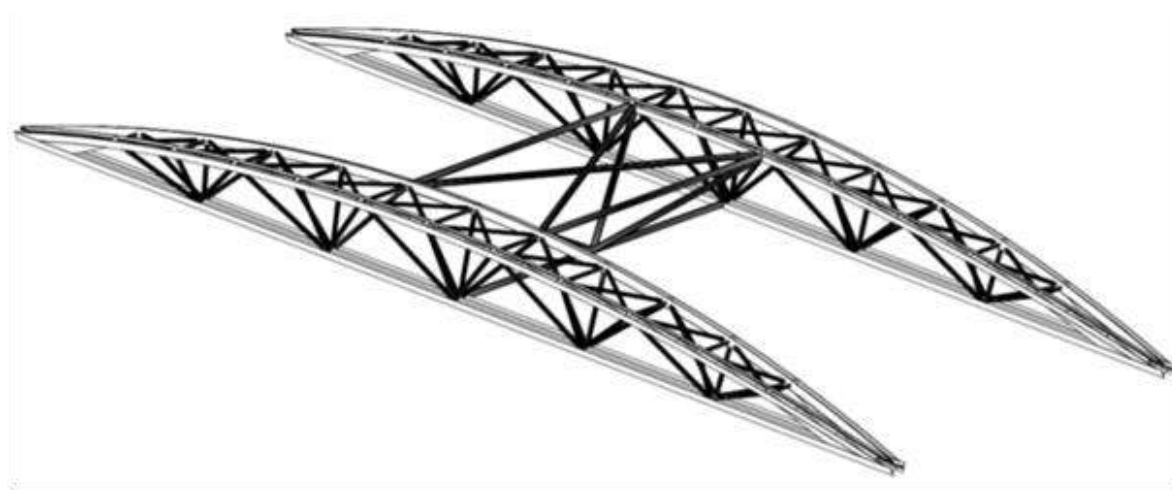
(sites.google.com)



(archistadia.it)



Συνδέσεις χορδών (majowiecki.com)



Δευτερεύοντα δοκάρια οροφής (majowiecki.com)

Μεταξύ των δοκών τοποθετείται το χαλύβδινο φύλλο με εναλλασσόμενο πλήρες μοτίβο 1:1. Προκειμένου να υποστηριχθούν τα φορτία σχεδιασμού με άνοιγμα 11 μέτρων, συντίθενται φύλλα ύψους 160 χιλιοστών για τη δημιουργία κυψελοειδούς κουτιού διπλού ύψους.

Κατασκευαστικός χάλυβας EN 10025:

Fe 510 (S355) και Fe 430 (S275)

S460 με χαρακτηριστική τάση απόδοσης $f_{yk} 460 \text{ N / mm}^2$

Για τα καλώδια:

Ονομαστική ισχύς αστοχίας = 1570 MPa

Young Module $E = 163000 \text{ MPa}$

Δακτύλιος τάνυσης-συμπίεσης

Ο δακτύλιος τάνυσης συμπίεσης θεωρείται αρμονικός για στέγαστρα μεταλλικών φορέων καθώς ο χάλυβας ως δομικό υλικό έχει τη δυνατότητα να δέχεται δυνάμεις συμπίεσης και εφελκυσμού. Η επιλογή αυτού του τύπου στέγασης ως σχήμα απαιτεί ελάχιστη ποσότητα υλικού, ενώ λειτουργικά βοηθά στην αναβάθμιση ενός υπάρχοντος χώρου, δημιουργώντας ένα αποσυναρμολογούμενο σύστημα που μπορεί να αφαιρεθεί, να αντικατασταθεί ή να τροποποιηθεί.

Ολυμπιακό Στάδιο Λονδίνου

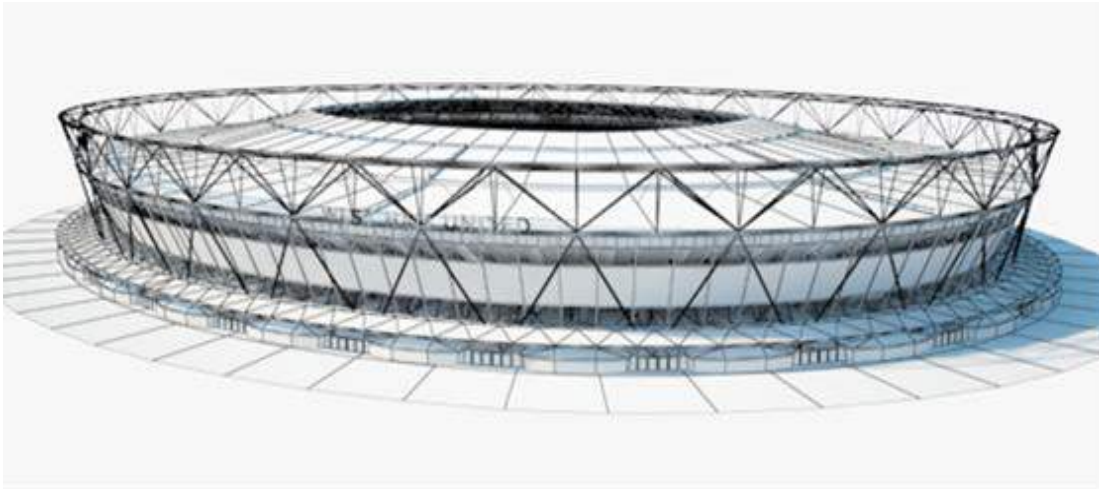


(www.dailymail.co.uk)

Το Στάδιο του Λονδίνου βρίσκεται στην περιοχή Στράτφορντ στην κοιλάδα Lower Lea, 10 χιλιόμετρα ανατολικά του κεντρικού Λονδίνου και έχει χωρητικότητα από 60 έως 80 χιλιάδες θέσεις. Μετά τους Αγώνες, ανακαινίστηκε για χρήση πολλαπλών χρήσεων και τώρα λειτουργεί κυρίως ως έδρα της Γουέστ Χαμ. Αν και ο σχεδιασμός του γηπέδου προωθήθηκε αρχικά ως παράδειγμα αειφόρου ανάπτυξης το γεγονός ότι βρίσκεται σε πρώην βιομηχανική τοποθεσία το αναιρεί. Η δομή ζυγίζει περίπου 4.700 τόνους.

Το κάλυμμα της οροφής στηρίζεται σε πλέγμα καλωδίων με εσωτερικό δακτύλιο τάνυσης καλωδίου και εξωτερική χαλύβδινη δοκό συμπίεσης. Αποτελείται από 112 τμήματα χαλύβδινες δοκούς που καλύπτουν τη συνολική επιφάνεια και από πολυεστερικό ύφασμα επικαλυμμένο με PVC. Ακόμη περιλαμβάνει 2.308 τεγίδες, 422 αντηρίδες και 9.900 πάνελ οροφής. Ο εσωτερικός δακτύλιος αποτελείται από δέκα καλώδια με διάμετρο 60 χιλιοστών συνδεδεμένα με χαλύβδινα στηρίγματα, ενώ η δακτυλιοειδής δοκός υποστηρίζεται από καλώδια ανάρτησης διαμέτρου 80 χιλιοστών.

Ολόκληρο το σύστημα τεντώνεται από καλώδια σύνδεσης 70 χιλιοστών τα οποία συνδέονται στη δοκό συμπίεσης πάνω και κάτω αντίστοιχα. Ο εξωτερικός δακτύλιος έχοντας μήκος 900 και βάθος 12 μέτρα, στηρίζεται σε 32 θέσεις από κεκλιμένες σωληνοειδείς κολώνες μέχρι το επίπεδο του εδάφους.



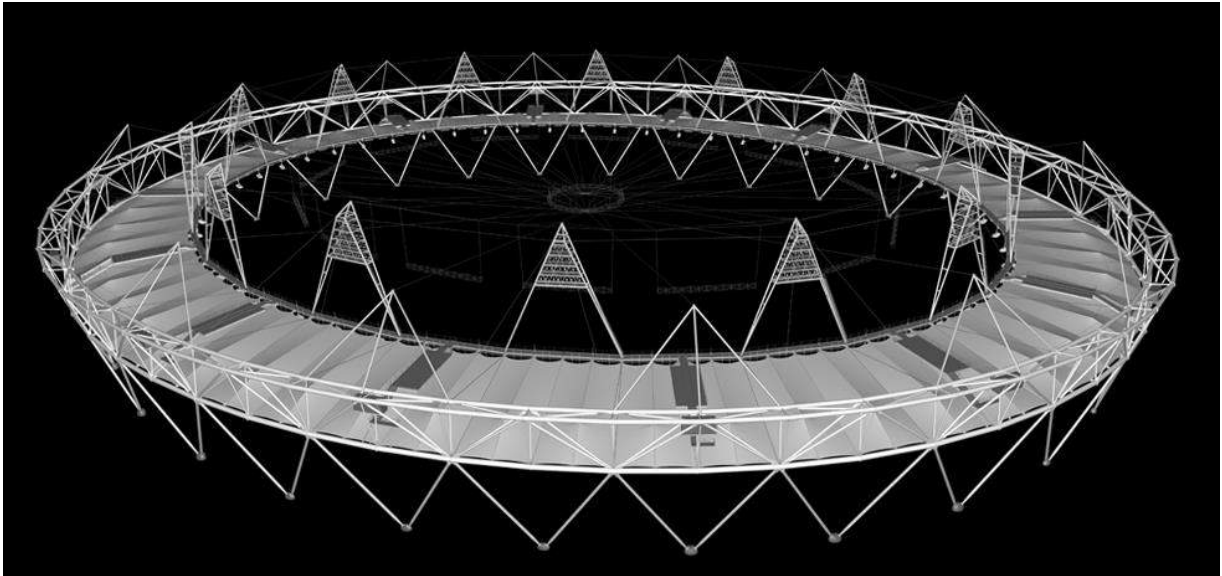
Εξωτερική όψη του σταδίου (cdn.hum3d.com)



Εσωτερική όψη οροφής (www.steelconstruction.info)

Η δακτυλιοειδής δοκός παραδόθηκε ως μεμονωμένα εξαρτήματα και συναρμολογήθηκε σε ζώνες και σε τμήματα μήκους 30 μέτρων, όπου το καθένα ζυγίζει 100 τόνους. Για να αντέξουν την αυξημένη φόρτιση από τη καινούργια κατασκευή οροφής έπρεπε να ενισχυθούν οι συνδέσεις ζευκτών συμπίεσης και οι κολώνες με κεκλιμένο σχήμα V. Η οροφή μετράται περίπου στα 48.000 τετραγωνικά μέτρα, με μέγιστο μήκος προβόλου 84 μέτρα, είναι διπλάσια από την επιφάνεια και τρεις φορές το άνοιγμα του αρχικού.

Η δομή της αναλύθηκε σε διάφορα στάδια προκειμένου να επαληθευτεί η επάρκεια όλων των δομικών μελών που σχεδιάστηκαν για μόνιμη κατάσταση και ότι η δομική σταθερότητα διατηρήθηκε σε όλες τις φάσεις της κατασκευής, οι οποίες ήταν τρεις. Στην πρώτη ενισχύθηκε και αντικαταστάθηκε η στήλη V, στη δεύτερη εγκαταστάθηκε το δίκτυο καλωδίων και στη τρίτη και τελευταία φάση κατασκευάστηκε το μπροστινό και πίσω μέρος της οροφής.



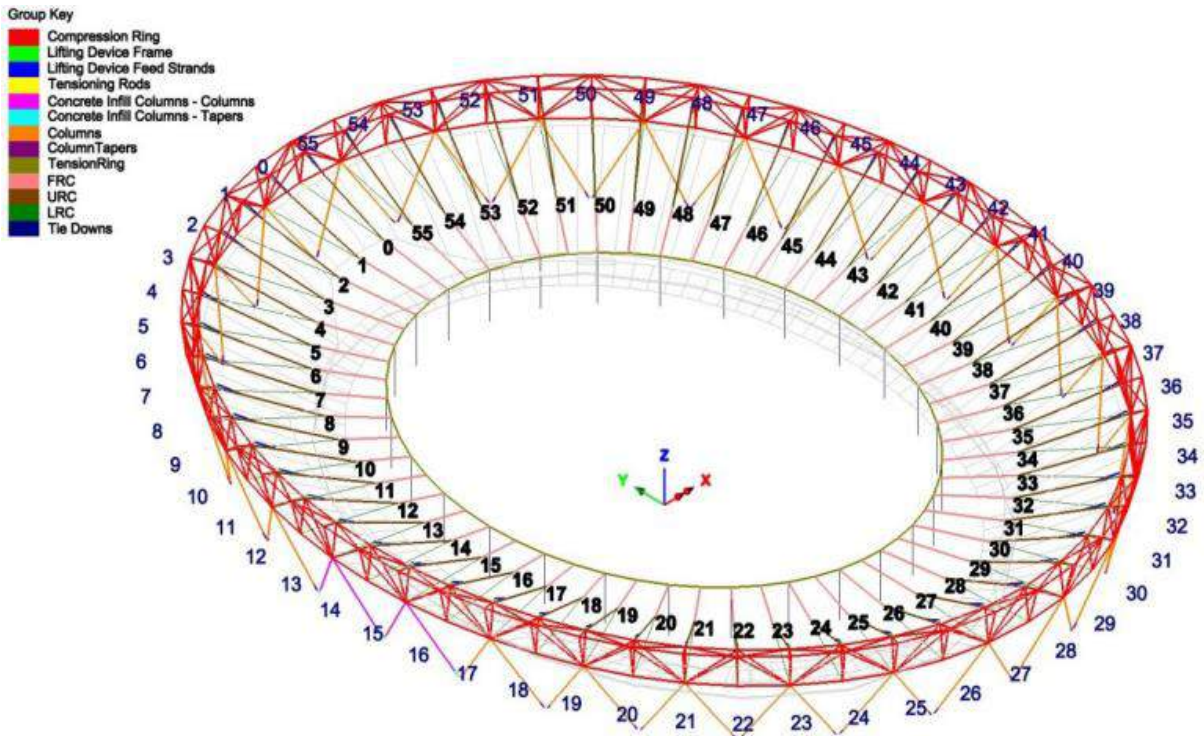
Σχεδιασμός στεγάστρου κατά τη μεταμόρφωσή του (populouslondon2012.com)

Στη φάση 1 όπου αντικαταστάθηκαν οι αρχικές κεκλιμένες στήλες V έγινε προσομοίωση με τη χρήση μιας γεωμετρικά μη γραμμικής στατικής ανάλυσης για να ληφθούν τα αποτελέσματα των αλλαγών στη θέση και τη γωνία μεταξύ των στοιχείων στήλης και δοκών. Για να υπολογιστούν οι αντιστάσεις όλων των μελών της δοκού συμπίεσης με βάσει τις κατάλληλες ιδιότητες διατομής χρησιμοποιήθηκε το BS5950-1:2000, το οποίο είναι κανονισμός που παρέχει κώδικες σχεδιασμού δομικών χαλυβουργικών κατασκευών.

Το ένα μοντέλο που αναπτύχθηκε έχει τα διαγώνια μέλη του δακτυλίου συμπίεσης καρφωμένα γύρω από τους δύο άξονες περιστροφής έτσι ώστε οι ακραίες ροπές να είναι μηδενικές, και το άλλο διαγώνια και ακτινικά μέλη καρφισωμένα γύρω από τον έναν άξονα και στερεωμένα γύρω από τον δεύτερο. Τέλος, στη πρώτη φάση πραγματοποιήθηκαν έλεγχοι για διάτμηση, ροπές, αξονική τάση-συμπίεση και άλλοτε συνδυασμένες επιδράσεις.

Στη φάση 2 αναλύθηκαν οι αρχικές θέσεις διάταξης στο έδαφος για τις πλάκες και τους συνδετήρες δακτυλίου τάνυσης. Στους ενδιάμεσους κόμβους και στους κόμβους δακτυλίου τάνυσης χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία αρμών με μη γραμμικές ιδιότητες λείας επαφής προκειμένου να μοντελοποιήσουν την επαφή σε κάθετη κατεύθυνση προς το έδαφος και στις ανώτερες ή κάτω βαθμίδες καθισμάτων ανάλογα με την περίπτωση.

Στο τέλος της φάσης τάνυσης σφίγγονται πλήρως οι βίδες στις βάσεις των υποστυλωμάτων διαμορφώνοντάς τες ως πλήρως στερεωμένες σε μετατόπιση και περιστροφή από το τέλος της φάσης τάνυσης και κατά τις φάσεις πρόσδεσης και ανέγερσης χαλύβδινων στεγών. Τα αποτελέσματα της δεύτερης φάσης επαλήθευσαν τη γεωμετρία και τις τάσεις πρόσδεσης στο τέλος της σύνδεσης και των φάσεων ανύψωσης και απέδειξαν ότι ο συντελεστής ασφαλείας έναντι της ανύψωσης του βραχίονα ήταν επαρκής, ενώ υπολογίστηκαν και οι συντελεστές χρήσης για όλα τα μέλη δοκών, κολώνων και καλωδίων.



Μοντελοποίηση της δεύτερης φάσης, μεταξύ των οποίων τα κυριότερα συμβολίζονται ως εξής: με κόκκινο χρώμα ο δακτύλιος συμπίεσης, με κίτρινο οι ράβδοι τάνυσης, με ανοιχτό πράσινο τα πλαίσια εξοπλισμού ανύψωσης και με χακί ο δακτύλιος τάσης (Iusas.com)

Ο δακτύλιος τάνυσης ανυψώθηκε στη θέση του χρησιμοποιώντας γρύλους κλώνων που ήταν εγκατεστημένοι στην εσωτερική άνω χορδή του δοκού συμπίεσης. Ακολούθησε η τοποθέτηση και η πίεση των κάτω ακτινικών καλωδίων με τη χρήση υδραυλικών βυσμάτων. Εγκαταστάθηκαν προσωρινά δεσίματα για να τραβήξουν τον δακτύλιο τάνυσης σε μια προκαθορισμένη γεωμετρία. Η ανάλυση ανύψωσης και καταπόνησης πραγματοποιήθηκε με αντίστροφη σειρά, ξεκινώντας από το τέλος της φάσης καταπόνησης, κατόπιν επιθεώρησης της γεωμετρίας όλου του στεγάστρου και των συνδέσεων των μελών της πίσω οροφής.

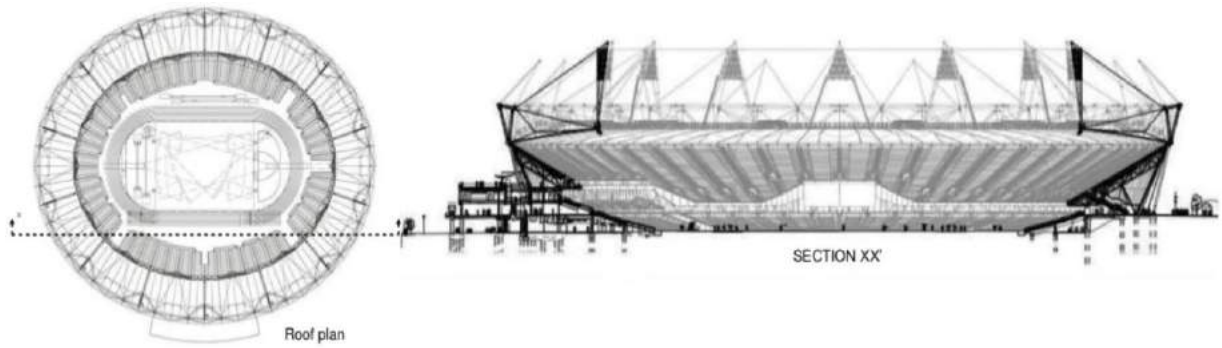
Στη φάση 3, η ανέγερση της οροφής ξεκίνησε με την τοποθέτηση της πίσω οροφής και μόλις επενδύθηκε η κύρια χαλβουργία περίπου στα τρία τέταρτα της, ξεκίνησε η ανέγερση της μπροστινής οροφής, με τους σχετικούς πύργους φωτισμού και την επένδυση να ακολουθούν παρόμοια σειρά.

Για τη διαμόρφωση της στοχευόμενης οροφής, τοποθετήθηκαν προσωρινοί στύλοι σύνδεσης στην κορυφή των πίσω διαγώνιων δοκών συνδέοντας έτσι προσωρινά την πίσω και τη μπροστινή οροφή. Στα καλώδια παρατηρήθηκαν μη γραμμικά φαινόμενα ενώ οι στύλοι σύνδεσης, οι οποίοι θεωρήθηκαν αρκετά άκαμπτοι διασφαλίζουν ότι θα διατηρηθούν οι σωστές σχετικές θέσεις της πίσω και της μπροστινής οροφής.

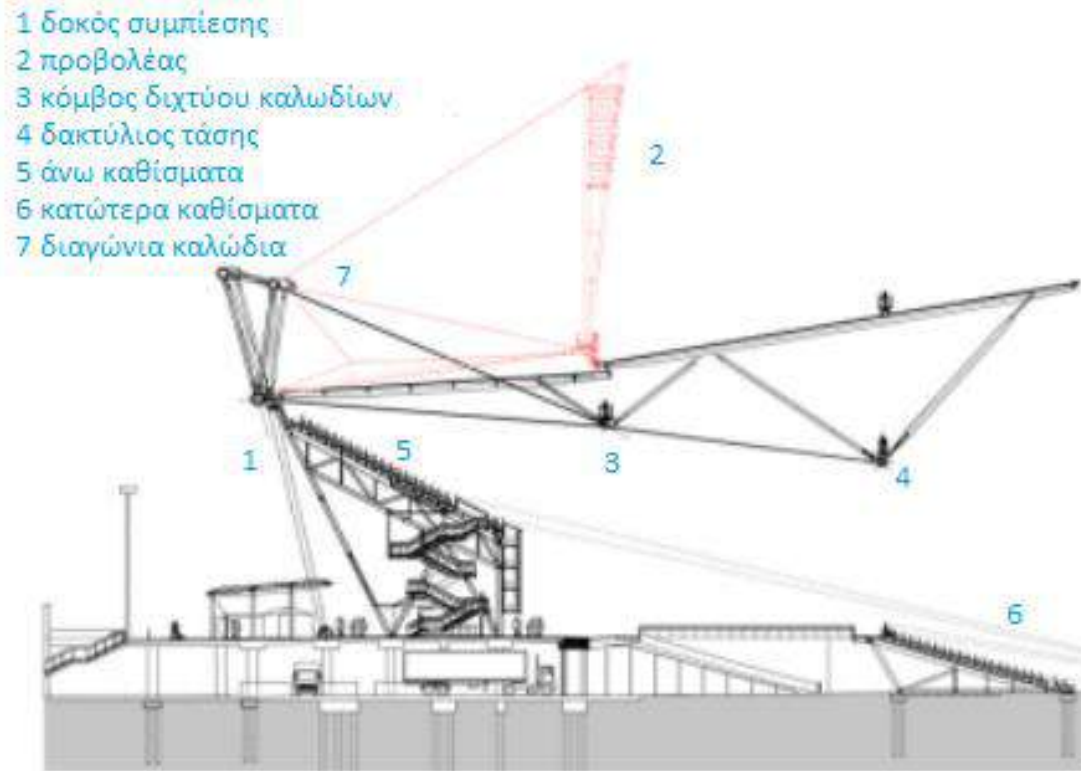
Για την τρίτη φάση, τα αποτελέσματα που λήφθηκαν με τη χρήση του λογισμικού LUSAS Civil & Structural για αυτή τη νέα οροφή περιελάμβαναν εκτός από ορισμένα κοινά με αυτά της δεύτερης φάσης, τις δυνάμεις σύνδεσης για τις πίσω διαγώνιους δοκούς της οροφής με τη δοκό συμπίεσης, οι οποίες επηρεάζονται από την προσωρινή σύνδεση μέσω των στύλων κατά την ανέγερση της μπροστινής οροφής. Σε αυτή τη φάση, οι επαληθεύσεις που έγιναν αφορούσαν τη γεωμετρία στο τέλος κάθε πλασματικού σταδίου ανέγερσης και στο ότι η λαβή που συγκρατεί το δακτυλίο τάνυσης, δεν θα σηκωθεί κατά τη διαδικασία ανέγερσης.

Για την ανάλυση των δοκαριών συμπίεσης και τις κολώνες του σταδίου χρησιμοποιήθηκαν μη γραμμικές μεθόδοι μεγάλης μετατόπισης, με μη γραμμικά στοιχεία δοκού στα οποία περιλαμβάνονταν διατμητικές παραμορφώσεις. Αντίστοιχα για τα καλώδια έγινε χρήση πολλαπλών στοιχείων ώστε να κατανεμηθεί το φορτίο αυτο-βάρους κατά μήκος και να συμπεριληφθούν τα γεωμετρικά μη γραμμικά φαινόμενα χαλάρωσης των καλωδίων. Τα ελεύθερα άκρα των στοιχείων καλωδίου επέτρεπαν την ελεύθερη περιστροφή στις συνδέσεις των καλωδίων και η χαμηλή ακαμψία μαζί με τη χρήση μη γραμμικών αρμών στο άκρο τους επέτρεψαν στα καλώδια να συμπεριφέρονται ως μέλη μόνο με τάση.

Σύγκριση στεγάστρων μεταλλικών φορέων σε αθλητικές εγκαταστάσεις, 2024



Κάτοψη και τομή (www.slideshare.net)



Δομικά στοιχεία τομής τμήματος (smallstadiumbiglandscape2014.files.wordpress.com)

Πλαισιωτοί Φορείς

Η δομή πλαισίου είναι ένα διατεταγμένο σύνολο δοκών με αντοχή σε τεράστιες καταπονήσεις και ροπές που δημιουργούνται από το βάρος και τα πλευρικά φορτία.

Διαγώνιο πλέγμα (diagrid)

Ένα κυλινδρικό κέλυφος «diagrid» γνωστό και ως διάφραγμα είναι ένα πλαίσιο διαγώνια τεμνόμενων δοκών σε μορφή πλέγματος. Τα πιο συνηθισμένα μεταλλικά τμήματα που χρησιμοποιούνται σε αυτό τον τύπο είναι HSS δηλαδή ποιότητες χάλυβα υψηλής ταχύτητας. Αυτός ο φορέας παρατηρείται σε αρκετές χώρες με τροπικό κλίμα και χρησιμεύει για μεγάλα ανοίγματα χωρίς να υπάρχει ανάγκη για κολώνες.

Ολυμπιακό πάρκο υδάτινου κέντρου στο Σίδνεϊ (SOPAC)



(commons.wikimedia.org)

Το Υδάτινο κέντρο Ολυμπιακού Πάρκου του Σίδνεϊ έχει χωρητικότητα 10000 θεατών και κατασκευάστηκε στο Homebush Bay του Σίδνεϊ, για τους Ολυμπιακούς Αγώνες του 2000.

Λόγω των περιορισμών που υπήρχαν και ειδικότερα στο ύψος των εξωτερικών προσόψεων έγινε η επιλογή σε καμπυλωμένο προφίλ οροφής με καθαρό άνοιγμα 67 μέτρων. Έτσι αναπτύχθηκε ένας τύπος κυλινδρικού κελύφους δικτυωτής δομής. Το κέλυφος των διαγώνιων χαρακτηρίζεται από μια σειρά επιμέρους τόξων με μέλη που έχουν απόσταση 6,3 μέτρων μεταξύ τους.



Εσωτερική όψη (www.coxarchitecture.com.au)

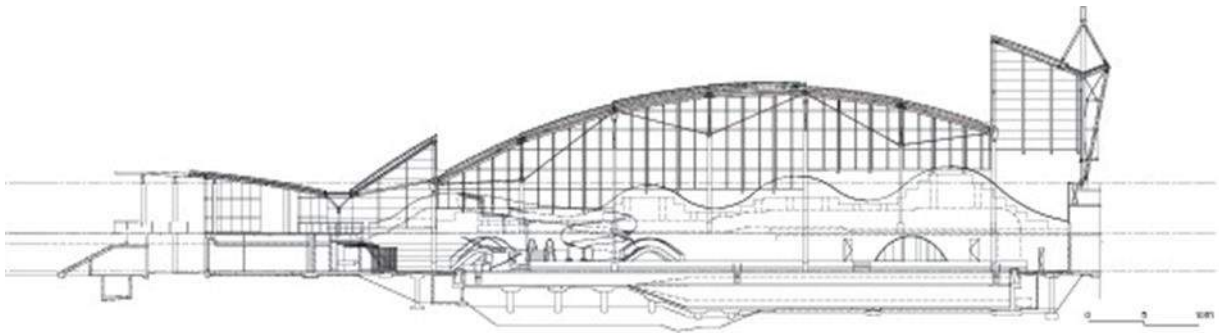
Το στέγαστρο αυτό έχει την ικανότητα να αντιστέκεται σε ομοιόμορφα κατακόρυφα φορτία μέσω της δράσης του τόξου του, παρέχοντας ενισχυτικές νευρώσεις για την αποφυγή οποιασδήποτε αστάθειας «snap-through» όπως λυγισμός. Αυτές οι ενισχυτικές νευρώσεις, είναι κατασκευασμένες με διπλή στρώση βάρους 1 μέτρου και τοποθετούνται σε κέντρα 25 μέτρων ως τεμνόμενοι δεσμοί, παρέχοντας την απαιτούμενη ακαμψία, αντοχή για αντίσταση τόσο σε μη συμμετρικές συνθήκες φόρτισης όσο και σε τυχόν πλευρικές ωθήσεις της δομής του κελύφους.

Οι δεσμοί αυτοί είναι ράβδοι διαμέτρου 50 χιλιοστών, πιεσμένοι σε περίπου 600 kN για τον έλεγχο των κινήσεων και πλήρως αρμολογημένοι μέσα σε ειδικό χιτώνιο για προστασία από τη διάβρωση. Οι ράβδοι, που έχουν μήκος έως και 19 μέτρα, μεταδίδουν επίσης την ανοδική και κάτω φόρτιση από την οροφή στην αψίδα. Έτσι, βρίσκονται σε αξονική συμπίεση υπό ανύψωση ανέμου και ως εκ τούτου είναι επιρρεπείς σε λυγισμό.

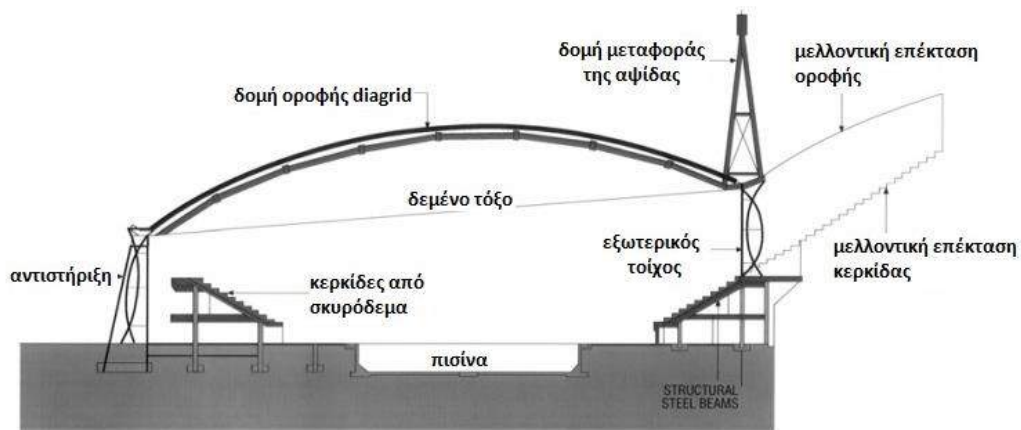
Μελετήθηκαν διάφοροι τρόποι λυγισμού, συμπεριλαμβανομένου αυτού των μεμονωμένων μελών, του λυγισμού απότομα σε μια τοπική περιοχή του κελύφους και του συνολικού της οροφής. Το τόξο είναι ένα κατασκευασμένο χαλύβδινο κουτί βάρους 1000 χιλιοστών, πλάτους 500 χιλιοστά, το οποίο σταθεροποιείται έναντι λυγισμού και σκληρύνεται για μη ομοιόμορφα φορτία από ένα δίκτυο σωλήνων μικρής διαμέτρου.

Ένα ελαφρύ σύστημα καλωδίων έχει τοποθετηθεί σε περίπου μεσαίο ύψος για να μειώσει το μήκος λυγισμού των σωλήνων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα το μέγεθος των μελών να μειωθεί από 356 CHS (55 kg/m) σε 219 CHS (34kg/m) και συνολική μείωση βάρους κατά 50 τόνους περίπου σε σύγκριση με τα πρώιμα συστήματα δεμένης καμάρας.

Ακολούθησε μια πλήρης μη γραμμική ανάλυση μεγάλης μετατόπισης της οροφής υπό προσοδευτική εφαρμογή φορτίου χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ANSYS. Οι αναλύσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν τόσο για συμμετρικές όσο και για μη συμμετρικές περιπτώσεις φορτίου. Χρησιμοποιήθηκε επίσης μια μη γραμμική ανάλυση για τη διερεύνηση των επιρροών των τοπικών παραλλαγών από τη θεωρητική γεωμετρία της κατασκευής. Εξίσου σημαντικές για τον προσδιορισμό των απαιτούμενων μεγεθών μελών ήταν οι περιπτώσεις μη ομοιόμορφων ανέμων.



Τομή 1 (coxarchitecture.com.au)



Τομή 2 (www.lsa.org)

Χωρικά πλαίσια

Τα χωρικά πλαίσια σχηματίζουν ένα πλέγμα δομικών μελών που φέρνουν σταθερότητα στη δομή και τη καθιστούν ασφαλή. Μπορούν να κατασκευαστούν από οποιοδήποτε υλικό, αλλά συνήθως είναι κατασκευασμένα από χάλυβα. Αυτά μπορούν να εκτείνονται σε μεγάλες αποστάσεις και τείνουν να είναι τις περισσότερες φορές ακριβά, ωστόσο στην περίπτωση του Das Dunas η κατασκευή ολοκληρώθηκε με χαμηλό προϋπολογισμό.

Arena das Dunas



(besthqwallpapers.com)

Η αρένα βρίσκεται στο Natal της Βραζιλίας και έχει χωρητικότητα 31.375 θεατές, ενώ μπορεί να φιλοξενήσει έως και 42000 άτομα.

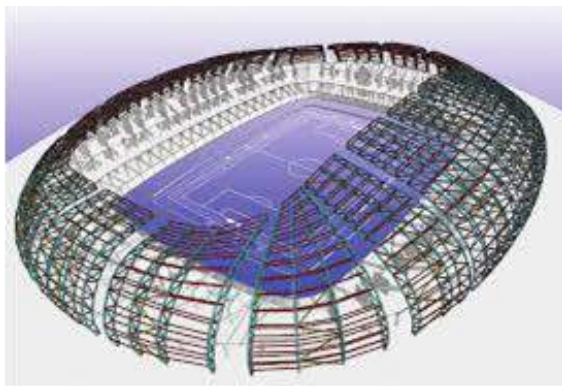
Η οροφή του γηπέδου καλύπτει μεγάλο μέρος της πρόσοψης και αποτελείται από 20 δομικά στοιχεία σε σχήμα πετάλου, σχεδιασμένα από τη μια πλευρά του σταδίου να είναι πιο ψηλά, δίνοντας τη ψευδαίσθηση ότι κινούνται οι αμμόλοφοι γύρω από την περιοχή. Οι πεταλόμορφες αυτές κατασκευές της στέγης είναι κατασκευασμένες από χαλύβδινα ζευκτά, καλυμμένα εξωτερικά με πλακάκια αλουμινίου, με θερμομόνωση και ηχομόνωση. Εσωτερικά επικαλύπτονται με προεντεταμένη ημιδιαφανής μεμβράνη PVC.

Η κυματοειδής μορφή της κατασκευής ανταποκρίνεται στις κλιματολογικές συνθήκες της τοποθεσίας, προστατεύοντας τους θεατές από το άμεσο ηλιακό φως σε ισορροπία με το ημιδιαφανές πολυανθρακικό το οποίο διατηρεί το φυσικό φωτισμό.

Σύγκριση στεγαστρων μεταλλικών φορέων σε αθλητικές εγκαταστάσεις, 2024



Κάτοψη (dezeen.com)

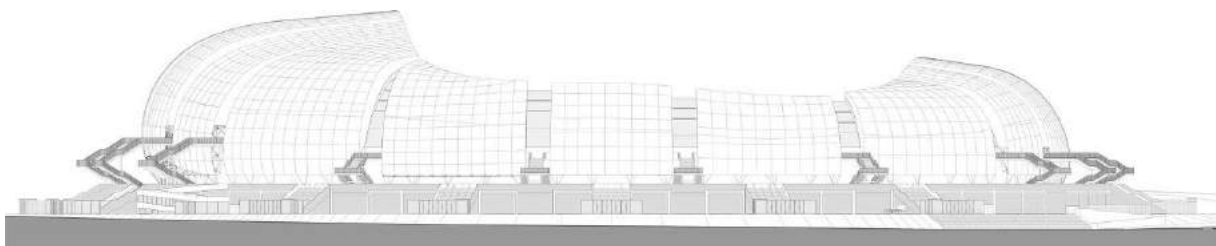


Ανάλυση του πλαισιωτού φορέα σε λογισμικό (damassets.autodesk.net)

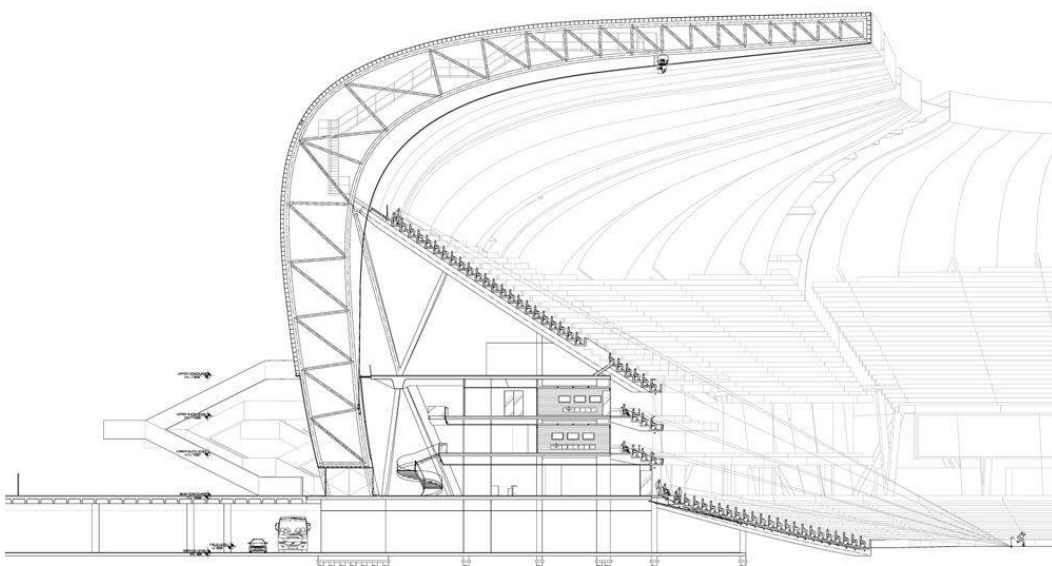


Εξωτερική όψη πλαισίων κατά τη φάση κατασκευής (files.structurae.net)

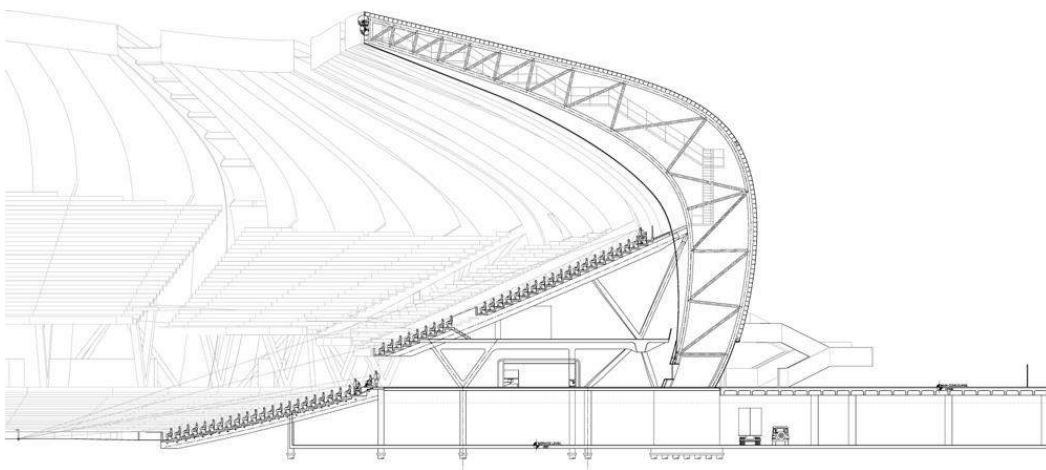
Σύγκριση στεγάστρων μεταλλικών φορέων σε αθλητικές εγκαταστάσεις, 2024



(m.galeriadaarquitectura.com.br)



Τομή Δυτικού τμήματος (dezeen.com)



Τομή Ανατολικού τμήματος (dezeen.com)

Τοξωτοί φορείς

Τα τόξα ή αλλιώς αψίδες, καμάρες είναι μια καμπυλωμένη δοκός που μεταφέρει τα φορτία σε δύο σημεία στήριξης κυρίως μέσω αξονικών θλιπτικών δυνάμεων. Για την παραλαβή οριζόντιων ή υπό γωνία φορτίων που ασκούνται στις στηρίξεις ενός τόξου μεγάλου ανοίγματος απαιτούνται για λόγους ασφαλείας συνήθως βάθρα θεμελίωσης.

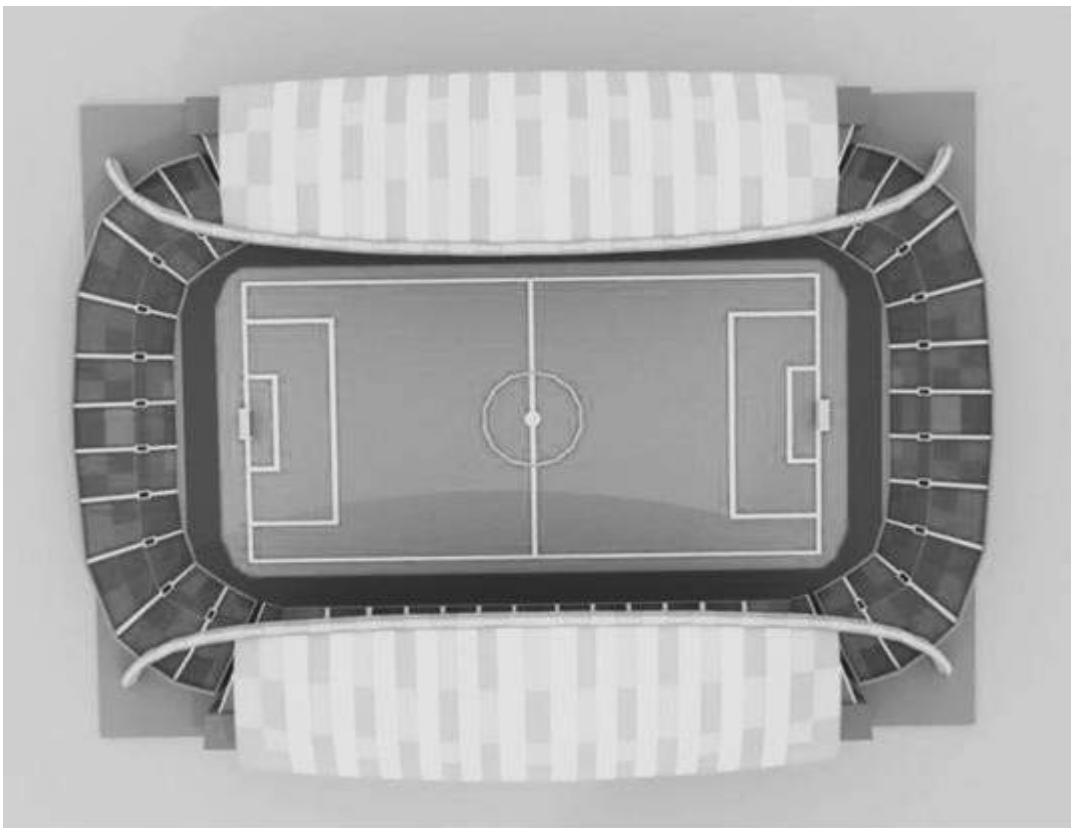
Hong Kong Stadium



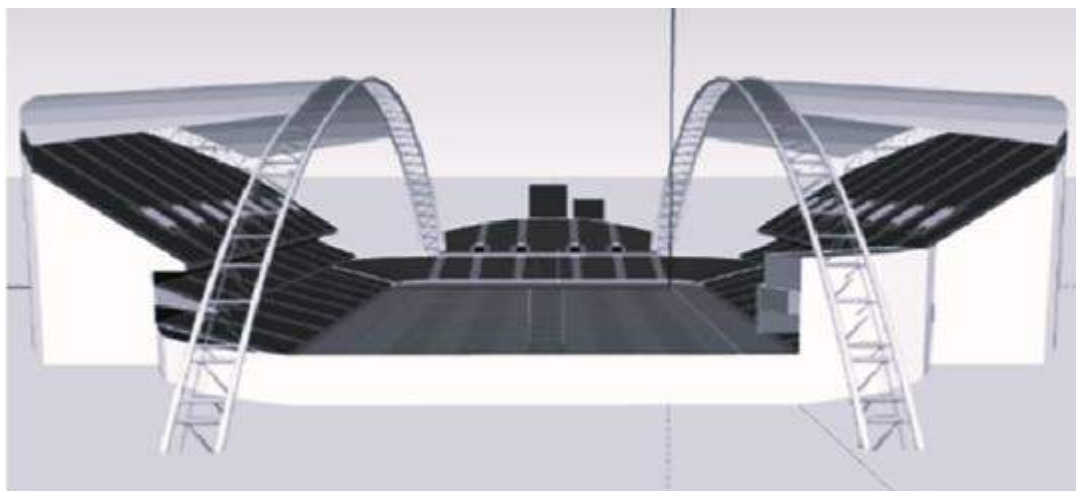
(sporting spaces volume 1)

Έχει μέγιστη χωρητικότητα 40.000 θέσεων, συμπεριλαμβανομένων 18.260 στο κύριο επίπεδο, 3.173 σε επίπεδο στελεχών, 18.510 θέσεων στο ανώτερο επίπεδο και 57 θέσεων για χρήστες αναπηρικών αμαξιδίων. Το στάδιο αυτό είναι σχεδιασμένο για ποδόσφαιρο και ράγκμπι, αλλά χωρίς πίστα στίβου λόγω του περιορισμένου μεγέθους της γης και δεν διαθέτει υπόγειο χώρο στάθμευσης.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι με στέγη καλύπτεται το 75% του γηπέδου και ότι η μορφή της οροφής του σταδίου του Hong Kong εξαρτήθηκε σε μεγάλο βαθμό από την τοπογραφία της απότομης κοιλάδας So Kon Po, η οποία είχε καθοριστικό ρόλο για το σχήμα και τον όγκο του σταδίου.



Κάτοψη (*businessyuen.com*)



μπροστινή όψη (*3D warehouse model*)

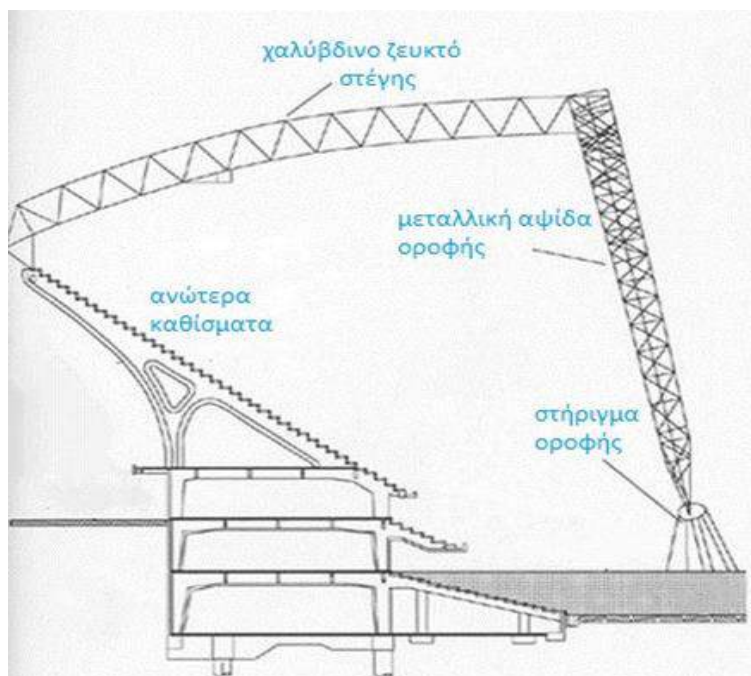
Οι αψίδες εξελίχθηκαν σε κύριο στοιχείο σχεδιασμού, κατόπιν διεύρυνσης του ανοίγματος του τόξου στο συνολικό μήκος του σταδίου. Στη συνέχεια, η αψίδα έπρεπε να ανυψωθεί απότομα για να παρέχει χώρο στην κορυφή του σχήματος και να γίνει κυκλοειδής σε ένα επίπεδο 12° προς την κατακόρυφο. Τα ζευκτά εκτείνονται από την αψίδα μέχρι τη τιμεντένια άκρη της κορυφής των κερκίδων. Οι ρίζες του τόξου ήταν λεπτομερείς ως καρφίτσες, κάτι που είναι περισσότερο αρχιτεκτονικό χαρακτηριστικό παρά δομική αναγκαιότητα.



Εσωτερική όψη (fso.createhk.gov.hk)

Τα κύρια τόξα είναι δικτυώματα δύο πείρων με τετράγωνη διατομή (3,5 μέτρων x 3,5 μέτρων), τα οποία έχουν κλίση 12° προς την κατακόρυφο. Τα μέλη της χορδής είναι χαλύβδινοι σωλήνες ($\varnothing 406 \times 12,5$ χιλιοστών, $\varnothing 406 \times 16$ χιλιοστών και $\varnothing 406 \times 20$ χιλιοστών). Ως σύνδεση μεμβράνης συγκολλάται πάνω στο μισό τετράγωνο κοίλο τμήμα ($\varnothing 400 \times 400 \times 12,5$ χιλιοστών). Το μήκος μιας μονάδας ζευκτού τόξου είναι περίπου 5 μέτρων τα οποία έχουν κατασκευαστεί σε ζεύγη, έτσι ώστε ένα τόξο να αποτελείται από 24 ζεύγη ευθύγραμμων μονάδων.

Τα καμπύλα δευτερεύοντα ζευκτά οροφής είναι πλαίσια τα οποία εκτείνονται μεταξύ 40 μέτρων και 55 μέτρων και έχουν ένα τρίχορδο τμήμα βάρους 3,5 μέτρων. Συνδέονται με το τόξο με ανοξειδωτους πείρους ρουλεμάν. Αυτά τα οριζόντια δικτυώματα μεταφέρουν τα φορτία συμπίεσης τους στις δευτερεύουσες δοκούς.



Τομή σε κλίμακα 1/800 (sporting spaces volume 1)

Κατά μήκος του άνω χείλους των κερκίδων η κατασκευή σκληρύνεται μέσω σταυρωτού στηρίγματος. Τα κατακόρυφα στοιχεία των ζευκτών οροφής συνδέονται με επιπλέον μέλη ζευκτών και έτσι σταθεροποιούν τα δευτερεύοντα ζευκτά. Μεταφέρουν τα φορτία ανέμου στη διαμήκη διεύθυνση της οροφής και τα μεταφέρουν στη δομή του σταντ.

Η σύνδεση των δοκών οροφής μεταξύ τους γίνεται με δομικά στοιχεία (\varnothing 273 x 16 χιλιοστών, \varnothing 273 x 20 χιλιοστών, \varnothing 219 x 12,5 χιλιοστών) σε παράλληλη έκταση με το τόξο. Στερεωμένα κατά αυτό τον τρόπο, παρέχουν πλευρική σταθερότητα και αντιστέκονται στις οριζόντιες δυνάμεις ανέμου από τη μεμβράνη της οροφής. Αυτά τα δομικά στοιχεία είναι αγκυρωμένα στις τελευταίες δοκούς οροφής, εξοπλισμένα με πρόσθετο εγκάρσιο στήριγμα (\varnothing 355 x 16 χιλιοστών) μεταξύ των κάτω μελών χορδής, όπου οι οριζόντιες δυνάμεις μεταφέρονται και στις δύο πλευρές, στο τόξο και στο εγκάρσιο στήριγμα του πάνω άκρου των κερκίδων.

Επιπλέον οι δοκοί οροφής και τα τμήματα καμάρας συναρμολογήθηκαν σε τρίγωνα στο γήπεδο και συγκολλήθηκαν από εξαρτήματα, πριν εφαρμοστούν τα τελευταία στρώματα αντιδιαβρωτικής προστασίας. Κάθε τόξο συναρμολογήθηκε με ιστούς γερανού σε τέσσερα τμήματα τα οποία στηρίζονταν στους αρμούς. Μετά την τελική στρώση της βαφής για τη χαλυβουργία συναρμολογήθηκε και η μεμβράνη οροφής.

Κάτι νέο για το Χονγκ Κονγκ ήταν η πρόταση για μεμβράνη οροφής, ένα ύφασμα από ίνες γυαλιού με επίστρωση συνθετικού PTFE με στόχο να ελαχιστοποιηθεί το ίδιο-βάρος της κατασκευής. Η στεγασμένη κάτοψη της οροφής είναι 8000 τετραγωνικά μέτρα, ενώ στις δύο πλευρές η οροφή υποδιαιρείται σε πέντε μεγάλα φατνώματα, τα οποία καλύπτουν τρεις αυλακώσεις οροφής το καθένα.

Το σχήμα της μεμβράνης είναι τύπου σέλας μεταξύ των άνω χορδών καμάρας και του καλωδίου κοιλάδας και όσο επεκτείνεται στην εξωτερική άκρη αυξάνεται η καμπυλότητά του. Τα καλώδια κοιλάδας μαζί με τους σφιγκτήρες άκρων χρησιμεύουν για την προένταση της μεμβράνης. Σε σχέση με το καλώδιο κοιλάδας, η πτώση της μεμβράνης αντιστοιχεί στο βάθος της δοκού οροφής.

Οι μεμβράνες στις άκρες συνδέονται με μια σειρά λωρίδων πλάκας σύσφιξης, ενώ δεν στερεώνονται στις άνω χορδές. Κατά μήκος της δοκού οροφής συσφίγγονται με τμήματα U αλουμινίου, μπουλόνια και επένδυση από νεοπρένιο σε μια πλάκα βάσης αλουμινίου, που χρησιμεύει ως βοήθημα κατασκευής. Η πλάκα βιδώνεται περιστροφικά σε ένα τμήμα λαμαρίνας που έχει υποστεί ψυχρή κατεργασία, συγκολλάται στην άνω χορδή της δοκού οροφής. Στις ακραίες αυλακώσεις το άκρο της μεμβράνης σχηματίζεται από ένα καλώδιο ακμής, αποφεύγοντας έτσι την κάμψη της ακραίας δοκού. Εκεί η μεμβράνη συσφίγγεται με λωρίδες πλάκας σύσφιξης και μπουλόνι και ενώνεται με ιμάντες U από ανοξείδωτο χάλυβα με το καλώδιο ακμής (\varnothing 80 χιλιοστών).

Τα καλώδια προσαρμόστηκαν στην ελεύθερη άκρη και η μεμβράνη τραβήχτηκε προς το τόξο με tirfors, τα οποία είναι ανυψωτικά μηχανήματα που λειτουργούν με μοχλό χρησιμοποιώντας ξεχωριστό συρματόσχοινο και έτσι στερεώθηκαν στη χορδή του ζευκτού. Το χαλαρό, αναπτυγμένο ύφασμα σύρθηκε σταδιακά στα σημεία σύνδεσής του μέσω ράβδων με σπείρωμα που συνδέονται στις λωρίδες σύσφιξης άκρων.

Για τον έλεγχο των φορτίων έγιναν κάποιες υποθέσεις και πραγματοποιήθηκαν δοκιμές του τύπου αεροδυναμικής σήραγγας, ώστε να εκτιμηθούν οι δυνάμεις του ανέμου. Έτσι κατασκευάστηκε ένα μοντέλο αεροελαστικής αεροδυναμικής σήραγγας για να διερευνήσει την αλληλεπίδραση της δομής της οροφής με τον άνεμο. Τα φορτία ανέμου που προέκυψαν ήταν υψηλότερα από τα αναμενόμενα, η κρίσιμη περίπτωση φορτίου ήταν η κατεύθυνση του βόρειου ανέμου παράλληλα με την ασπίδα. Αυτό κατέστησε απαραίτητη την ενίσχυση της δομής και της μεμβράνης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο (Κατηγορίες στεγάστρων με βάση την επικάλυψη)

Αναδιπλούμενες οροφές

Οι αναδιπλούμενες στέγες σταδίων, χρησιμοποιούνται σε τοποθεσίες με δύσκολες καιρικές συνθήκες και ακραίες θερμοκρασίες. Το συγκεκριμένο είδος στεγάστρου χαρακτηρίζεται συνήθως από επικάλυψη υφάσματος, αλλιώς μεμβράνης, ώστε η αναδίπλωση να είναι «ελαφριά» και πρακτικά εύκολη.

Wembley Stadium



(i.dailymail.co.uk)

Η χωρητικότητα του είναι 90.000 θέσεων με έδρα το Λονδίνο.

Ο κύριος στόχος της δημιουργίας του ήταν ο σχεδιασμός και η οικοδόμηση ενός νέου υπερούγχρονου εθνικού σταδίου με μια κομψή και δομικά αποδοτική δομή στεγάστρου που εκτείνεται σε όλο το πλάτος των καθισμάτων του σταδίου.

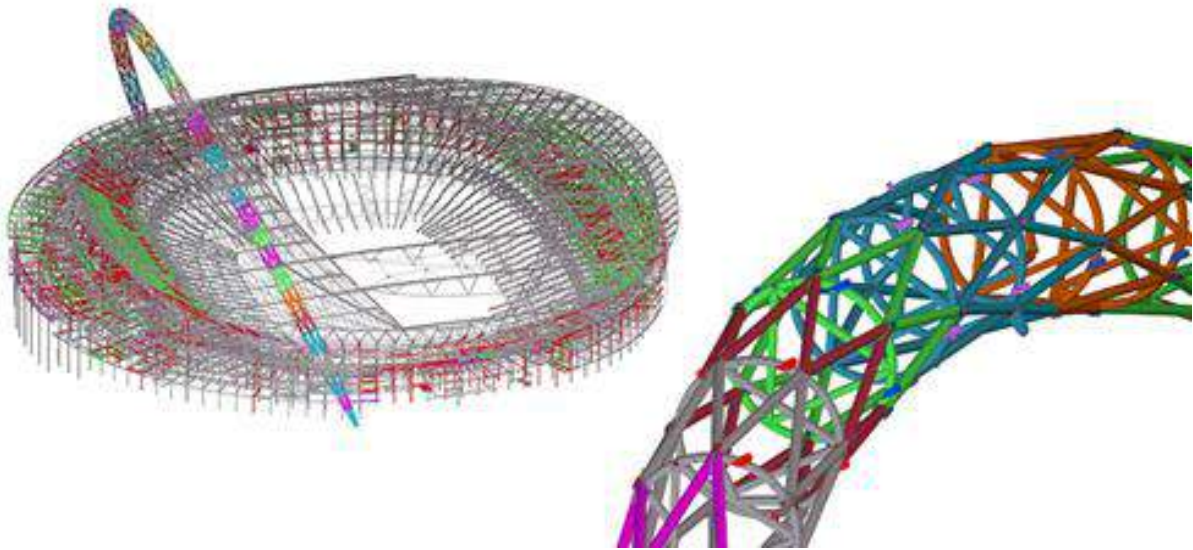
Η αναδιπλούμενη οροφή σχηματίζεται από επτά ξεχωριστά ανεξάρτητα τοποθετημένα πάνελ οροφής συνολικού εμβαδού 15.000 τ.μ. που κινούνται παράλληλα προς τα νότια. Καθώς «αποσύρεται» η οροφή τα πάνελ στοιβάζονται το ένα πάνω στο άλλο όταν βρίσκονται σε πλήρως «ανοιχτή» θέση επιτρέποντας έτσι στο φως της ημέρας να φτάσει σε όλα τα σημεία του γηπέδου και να μην υπάρχει σκιά στον αγωνιστικό χώρο.

Η αψίδα υποστηρίζει τη μεγαλύτερη δομή οροφής μονής έκτασης στον κόσμο, αφαιρώντας την ανάγκη για στήλες που θα αποκρύψουν την θέα των θεατών. Η νότια οροφή μπορεί να συρρικνωθεί για να επιτρέψει τον αέρα και το φως να εισέλθει στο γήπεδο και επίσης να αποτρέψει τις σκιές να πέσουν στην περιοχή προβολής, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα των τηλεοπτικών εκπομπών.

Το "μπολ" αποτελείται από 15.000 τόνους δομικών χαλύβδινων κατασκευών. Η οροφή στηρίζεται από τη καμάρα του πλέγματος με ασύμμετρο καλώδιο αλυσοειδούς καλύμματος. Η βόρεια οροφή είναι δεμένη στην καμάρα με καλώδια, και οι ανατολικές, νότιες και δυτικές στέγες έχουν πτυσσόμενα άκρα που επιτρέπουν στο φως του ήλιου να λάμψει στο γήπεδο. Η οροφή ανεγέρθηκε σε 6.000 τόνους προσωρινών πύργων, οι οποίοι αφαιρέθηκαν όταν εφαρμόστηκαν τα υποστηρικτικά φορτία εφελκυσμού στα καλώδια τόξου.

Οι δοκοί οροφής μοιράζονται μια κοινή δομική μορφή, όπως τα συστήματα δέσμης κλίσης. Η επάνω χορδή είναι μια συνεχής κατασκευασμένη δέσμη και η κάτω χορδή κυμαίνεται από μία ράβδο έως πολλαπλά σπειροειδή καλώδια σκέλους. Τα στοιχεία "ιστού" σχήματος V επιτρέπουν στο κρεμαστό σύστημα να λειτουργεί ως ημι-vierendeel ζευκτό. Ο σχεδιασμός αυτών των ημι-vierendeel ζευκτών διέπεται από την πλευρική λυγισμό της κορυφαίας χορδής και τη συνολική στρέπνια λυγισμό του ζευκτού. Η κάμψη της κορυφαίας χορδής και η δράση "push-pull" στα δύο "πόδια", παρέχουν τον τρόπο αντοχής του Vierendeel σε μη ομοιόμορφα φορτία.

Τα δύο αυτά δοκάρια υποστηρίζονται γύρω από την περίμετρο της οροφής από πρισματικό περιμετρικό ζευκτό (PPT). Το PPT λειτουργεί επίσης ως πλευρικό σύστημα ευστάθειας με τη μορφή ενός "δακτυλίου" που αντιστέκεται στις δυνάμεις που δημιουργούνται μέσα στο επίπεδο της οροφής. Τα πλευρικά φορτία μεταφέρονται από την PPT στους πυρήνες οπλισμένου σκυροδέματος του κτιρίου του σταδίου και ως εκ τούτου στα συσσωρευμένα τους θεμέλια.



(tekla.com)

Το βόρειο άκρο των νότιων δοκών οροφής και των δοκών διαδρόμου υποστηρίζεται από ένα ανατολικό-δυτικό τρέχον ζευκτό υπόκλισης. Τα εσωτερικά στηρίγματα παρέχονται από τέσσερα κύρια δοκάρια βορρά-νότου και τα εξωτερικά στηρίγματα από το PPT στα ανατολικά και δυτικά άκρα. Η κεντρική έκταση αυτού του καλωδιακού ζευκτού έχει μήκος 140 μέτρα, βάθος 15 μέτρων και είναι λεπτομερής για να φιλοξενήσει τις υπηρεσίες γερανογέφυρας. Για να αποφευχθεί η κύλιση του ζευκτού λόγω της γενικής καμπυλότητας του σχεδίου, η κάτω χορδή του ζευκτού συνδέεται πίσω στο PPT με ράβδους συγκράτησης.

Τα τέσσερα κύρια δοκάρια Βορρά-Νότου εκτείνονται μέχρι 180 μέτρα μεταξύ του PPT στο νότο και του της βόρειας οροφής, όπου υποστηρίζονται από αντηρίδα σχήματος πυραμίδας που συνδέονται με το αψίδα μέσω των πρωτογενών καλωδίων forestay. Εκτός από την υποστήριξη του ζευκτού τόξου ανατολής-δύσης, η κορυφή συγχορδία αυτών των τεσσάρων κύριων δοκών λειτουργούν ως δοκοί διαδρόμου για το σύστημα φορείου των αναδιπλούμενων πάνελ.

Αυτά τα δοκάρια συγκρατούνται πλευρικά από ένα λεπτό, τεντωμένο καλωδιακό δίκτυο. Τα στοιχεία των ζευκτών και του καλωδιακού δικτύου είναι σκόπιμα λεπτά για να ελαχιστοποιήσουν τις σκιές.

Το νότιο άκρο των βόρειων δοκών οροφής συλλέγεται από δοκούς πυραμίδας που συνδέονται με την αψίδα μέσω καλωδίων forestay. Ως εκ τούτου, η αψίδα τελικά μεταφέρει σχεδόν το 70% της οροφής. Τα καλώδια backstay που συνδέονται με την καμάρα συνδέονται πίσω στο PPT και είναι μετα-τεντωμένα για να παρέχουν πλευρική σταθερότητα στην καμάρα υπό όλες τις συνθήκες φόρτωσης.

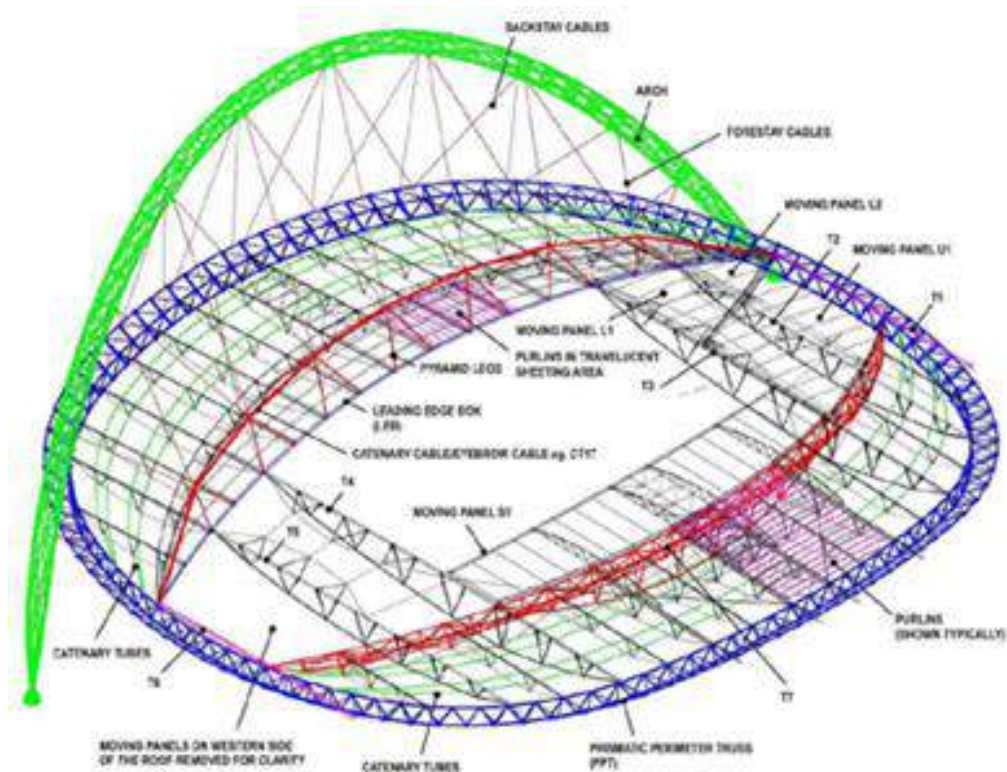
Ο περιορισμός ανύψωσης των δοκών παρέχεται από μια σειρά σωληνοειδών στοιχείων που μήκος των βόρειων και νότιων στεγών. Αυτά τα σωληνοειδή στοιχεία δρουν ως αλυσοειδής κατά τη διάρκεια του ανέμου σε συνθήκες ανύψωσης. Σε συνδυασμό με τα rurlins, αυτά τα σωληνοειδή στοιχεία παρέχουν επίσης πλευρική συγκράτηση στις ανώτερες χορδές του δοκάρι υπό συνθήκες φόρτωσης προς τα κάτω.



Κατασκευή οροφής (www.tekla.com)

Κατά τη διάρκεια της ανοικοδόμησης, οι πύργοι του αρχικού γηπέδου αντικαταστάθηκαν με ένα εντυπωσιακό τόξο ύψους 135 μέτρων, το οποίο υψώνεται πάνω από το στάδιο ύψους 52 μέτρων. Εκτός από τη συμβολή στην αισθητική του σταδίου, η αψίδα αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της δομής στήριξης της στέγης του σταδίου.

Με διάμετρο 7,4 μέτρα, έκταση 315 μέτρα και ύψος 135 μέτρων, το πλήρως συγκολλημένο τόξο έχει κλίση στους 112 βαθμούς, ζυγίζει 1.700 τόνους και περιλαμβάνει 41 χάλυβα διαφράγματα. Η αψίδα υποστηρίζει ολόκληρη τη βόρεια οροφή και το 60% της νότιας οροφής και είναι η μεγαλύτερη δομή οροφής μονής έκτασης στον κόσμο. Επιπλέον είναι μια δομή κελύφους πλέγματος από κυκλική διάμετρο 12 των 457 χιλιοστών ενώ κατασκευάστηκε σε μήκος 21 μέτρων, από τμήματα 100 τόνων και στη συνέχεια μεταφέρθηκε στην τοποθεσία για συναρμολόγηση σε επίπεδο έδαφος. Το κελυφωτό πλέγμα σχηματίζεται από κοίλες συγχωρδίες τμήματος δεμένο μαζί με 300 χιλιοστά τετράγωνο κοίλο διαφραγματικό δαχτυλίδι τμηματικά στα κέντρα 11 μέτρων.

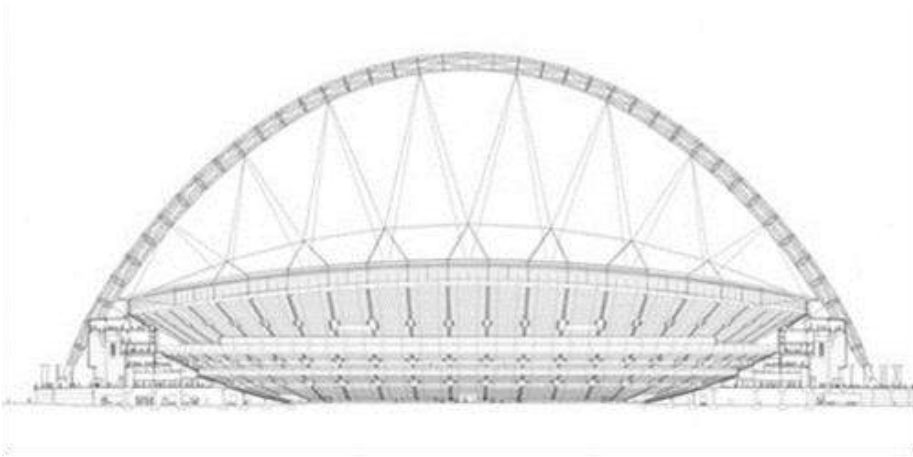


(pinterest.com)

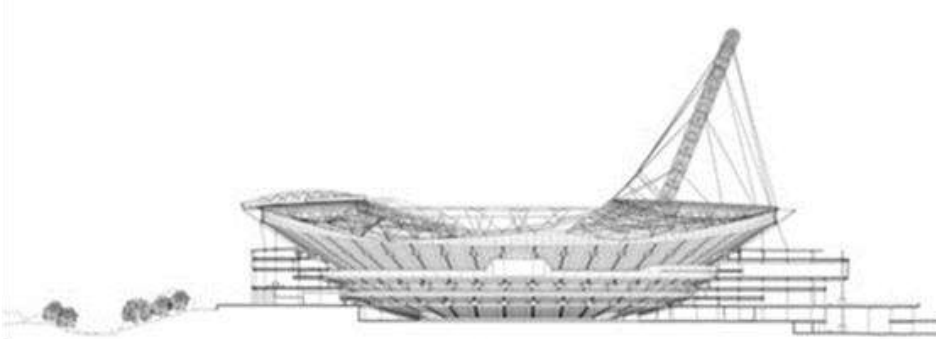
Τα καλώδια forestay στο μπροστινό μέρος της βόρειας οροφής και τα καλώδια backstay στο PPT συνδέονται με την αψίδα σε σκληρυμένα διαφράγματα. Είναι διατεταγμένα σε διαγώνιο μοτίβο για να παρέχουν έναν εύκαμπτο τριγωνισμό με τη μορφή ενός καλωδιακού ζευκτού "Warren". Αυτό βοηθά την αψίδα με το να απλώνονται τα φορτία και να ελέγχονται η κάμψη και ο λυγισμός του.

Η σταθερότητα της καμάρας παρέχεται από 300 μέτρα μήκος, 120 χιλιοστά διάμετρο καλωδίων που βρίσκονται πάνω από το νότιο άκρο του βορρά στέγη και τα backstays που συνδέονται πίσω στο PPT. Η καμάρα έχει κλίση προς το κατακόρυφο επίπεδο κατά 22 μοίρες. Η κλίση της καμάρας προς τα πίσω επιτρέπει στα καλώδια forestay να σχηματίζουν ένα δίκτυο καλωδίων με το καλώδιο τροφοδοσίας να εμποδίζει το τόξο από το να κυλίσει προς τα πίσω κάτω από το ίδιο βάρος του.

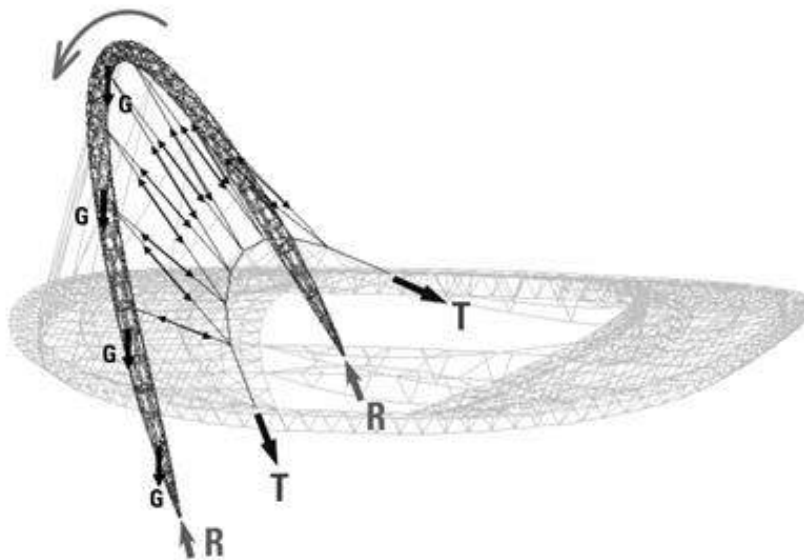
Η ανέγερση έγινε σε διάστημα τριών εβδομάδων από μια λειτουργία "roll up", όπου η αψίδα περιστρεφόταν σταδιακά από μηδέν έως 112 μοίρες. Η αψίδα τυλίχτηκε χρησιμοποιώντας πέντε γραμμές γρύλους και πέντε περιστρεφόμενα στηρίγματα μήκους έως 100 μέτρων.



Τομή 1 για το τόξο (archdaily.com)



Τομή 2 γηπέδου (archdaily.com)



Στήριξη καλωδίων (archdaily.com)

Στα ανατολικά και δυτικά άκρα του σταδίου δύο πάνελ οδηγούνται κάτω από ένα μεγαλύτερο ούτως ώστε να μην προεξέχουν έξω από την περίμετρο του μπολ του σταδίου. Τα πάνελ πλαισιώνονται με χαλύβδινο δοκάρι και δοκάρι πλάκας ενώ η κίνηση των πάνελ κατά μήκος της σταθερής οροφής γίνεται με τη χρήση ενός συστήματος "rack and pinion", το οποίο υποστηρίζεται κατά μήκος των ζευκτών που εκτείνονται βόρεια-νότια. Μια περιοχή ημιδιαφανούς επένδυσης πλάτους έως 25 μέτρων περιλαμβάνεται στο νότιο άκρο της βόρειας οροφής για να επιτευχθεί μια ισόπεδη αρχιτεκτονική συμμετρία μεταξύ της βόρειας και της νότιας οροφής στην ανοιχτή θέση της οροφής.

Τα κριτήρια σχεδιασμού με βάση τις πρώτες αρχές εφαρμόστηκαν για την αξιολόγηση των αναλωμένων τάσεων και πιέσεων, προκειμένου να εξακριβώνεται η επάρκεια και η αποτελεσματικότητα του σχεδιασμού της σύνδεσης και βαθμονομήθηκαν με βάση τους δείκτες ασφαλείας του BS5950.

Η κατασκευή του σταδίου χρησιμοποίησε 215.000 τόνους σκυροδέματος και περίπου 23.000 τόνους χάλυβα. Τα θεμέλια του σταδίου έχουν βάθος 35 μέτρα. Το κύριο πλέγμα είχε περίπου 2.500 σημεία τομής που υπολογίστηκαν με ακρίβεια σε οκτώ δεκαδικά ψηφία ενός χιλιοστού.

Νεκρά φορτία:

Υλικά – Χάλυβας = 50706 kips = 225551.52 kN

Οροφή – (150600SF * 2PSF * 5 όροφοι) = 3724 kips = 16565.18 kN

Συνολικό βάρος = 534356 kips = 2376933.91 kN

Ζωντανή φόρτωση:

Χιόνι = 5380 kips = 23931.43 kN

Άνεμος = 800 kips = 3558.58 kN

Συνολικό φορτίο:

Νεκρό φορτίο – 534356 kips = 2376933.9 kN

Πλευρικό Φορτίο – 800 kips = 3558.58 kN

Στέγες που υποστηρίζονται από αέρα

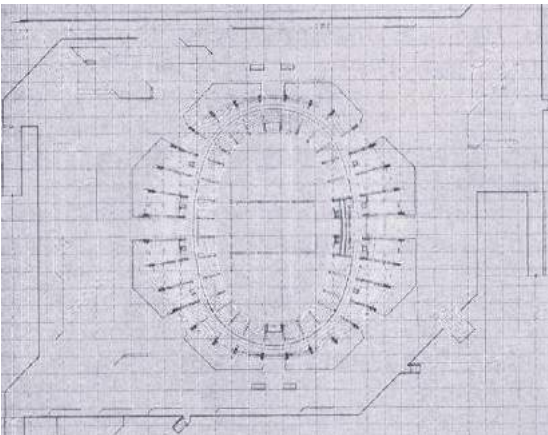
Μια στέγη που υποστηρίζεται από αέρα βασίζεται στη διατήρηση της πίεσης του εντός του υφασμάτινου περιβλήματος και σε επίπεδα υψηλότερα από αυτά του εξωτερικού αέρα. Με αυτό τον τρόπο διατηρείται το ύφασμα στην επιθυμητή θέση και σταθερό. Κατασκευές όπως αυτή, εμφανίζουν χαμηλό κόστος και ταχύ χρόνο ανέγερσης, αλλά περιορισμένο χρόνο ζωής και απαίτηση συνεχούς παρακολούθησης.

Στάδιο Ειρήνης και Φιλίας στο Νέο Φάληρο του Πειραιά



(urbanlife.gr)

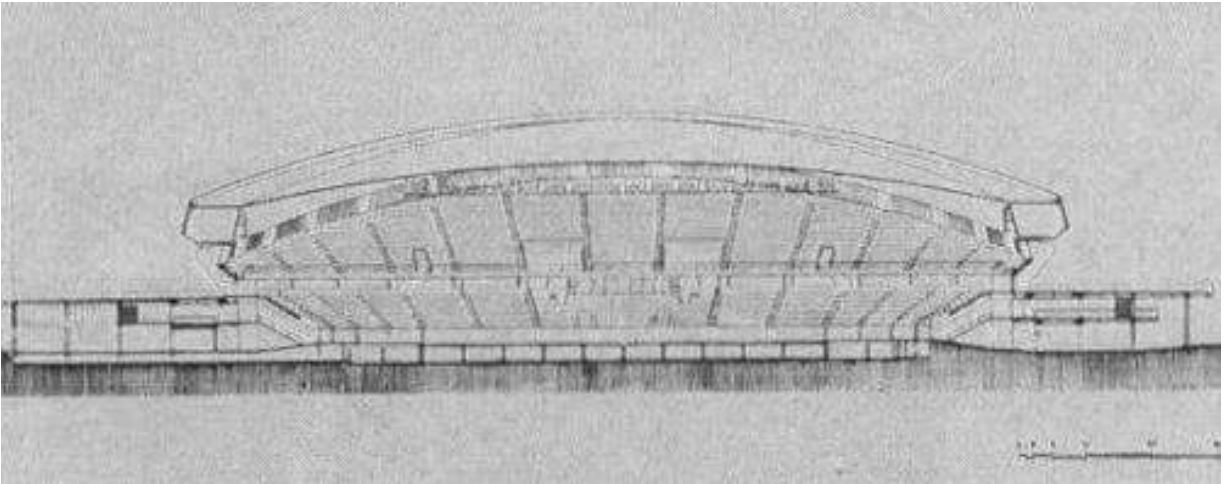
Είναι κυκλικής κάτοψης με μορφή σέλας και έχει χωρητικότητα 14.500 θεατών.



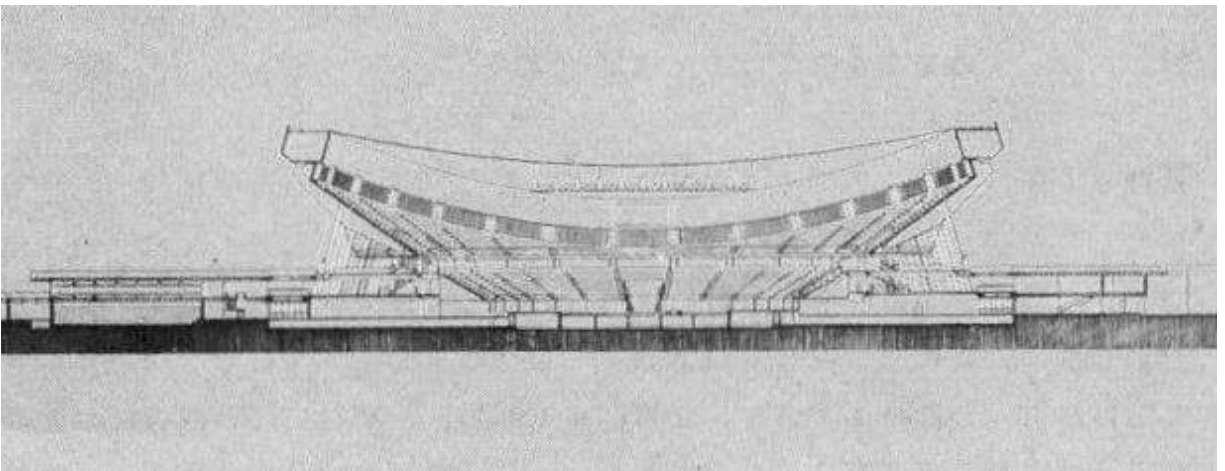
Κάτοψη (Γιάννης Μπαϊμπάς, αρχιτέκτων)



Κάτοψη (pinterest.com)



Κατά μήκος τομή (Γιάννης Μπαϊμπάς, αρχιτέκτων)



Εγκάρσια τομή (Γιάννης Μπαϊμπάς, αρχιτέκτων)

Η οροφή αποτελείται από διπλή καμπυλότητα ως βασική αισθητική, δομή έντασης η οποία δίνει έμφαση σε ένα κυρτό σχήμα καμπύλης παρόμοιο με ένα υπερβολικό παραβολικό και από καλώδια δικτύου με πλέγμα 4Χ4 μέτρα, δηλαδή ένα ορθογώνιο δίκτυο. Η εσωτερική περίμετρος του δακτυλίου της στέγης με διάμετρο 113,96 μέτρα ορίζεται από την τομή αυτού του υπερβολικού παραβολικού.

Τα καλώδια που υποστηρίζουν το κάλυμμα οροφής από κυματοειδές χάλυβα ύψους 77 χιλιοστών, είναι αγκυροβολημένα σε δακτυλίδι διατομής πλαισίου κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο δακτύλιος με τη σειρά του στηρίζεται από 32 πέλματα. Τα καλώδια παραλαμβάνουν τις τάσεις από το κάλυμμα και στη συνέχεια τις μεταφέρουν σε έναν δακτύλιο συμπίεσης ο οποίος αντιστέκεται στις δυνάμεις ανύψωσης.

Ο τρόπος στέγασης του γηπέδου γίνεται μέσω της τοποθέτησης μιας συνθετικής μεμβράνης συνήθως από πολυεστέρα, η οποία καλύπτει όλο το στάδιο και ονομάζεται στέγαστρο πίεσης. Οι δομές που υποστηρίζονται από τον αέρα συγκρατούνται από την πίεση του αέρα. Επομένως η μεμβράνη αυτή συγκρατείται στη θέση της με την άσκηση θετικής εσωτερικής πίεσης από ειδικούς ανεμιστήρες.

Η δομική απόδοση στις στέγες που υποστηρίζονται από αέρα εξαρτάται από την αρχή της λοξής συμμετρίας, η οποία απαιτεί οι κατευθύνσεις των καλωδίων να είναι παράλληλες με τις διαγώνιες του εγγεγραμμένου ορθογωνίου. Αυτό διασφαλίζει ότι τα τμήματα δακτυλίου στα οποία είναι αγκυρωμένα τα άκρα του καλωδίου μπορούν, για ένα δεδομένο φορτίο, να σχεδιάζονται για μηδενική ή για ελάχιστη ροπή.



Εσωτερικές όψεις της οροφής (stadia.gr)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο (Κατηγορίες στεγάστρων με βάση σύγχρονες μεθόδους σχεδιασμού)

Σύμφωνα και με τις οδηγίες της FIFA είναι σημαντικό να γίνεται χρήση της τεχνολογίας και των διαθέσιμων λογισμικών για πιο αποτελεσματικό σχεδιασμό. Όσον αφορά το σχεδιασμό γηπέδων, συνήθως πραγματοποιείται με τη χρήση του CAD ειδικά όταν τα στάδια είναι σχετικά απλής μορφής. Ωστόσο για μεγαλύτερα και πιο σύνθετα στάδια εφαρμόζονται είτε υψηλότερα επίπεδα BIM (Building Information Modeling) είτε άλλες τεχνικές σχεδιασμού όπως Parametric Modeling.

Μοντέλο δομικών πληροφοριών (BIM)

Το πληροφοριακό αυτό μοντέλο αποτελεί έναν από τους σύγχρονους τρόπους σχεδιασμού και διαχείρισης κατασκευών. Πρόκειται για μια ψηφιακή αναπαράσταση της κατασκευής σε συνδυασμό με χρονοδιαγράμματα, κοστολόγηση, βιωσιμότητα και άλλα λειτουργικά χαρακτηριστικά.

Αναλυτικότερα, παρέχονται δυνατότητες με τις οποίες μπορεί να ταξινομηθεί η σειρά των φάσεων κατασκευής, να γίνεται έλεγχος του έργου προβλέποντας τυχόν αστοχίες και εργασίες που θα είχαν οικονομικές επιπτώσεις. Επιπλέον μπορούν να εισαχθούν δεδομένα τόσο για την ενεργειακή ανάλυση της κατασκευής όσο και τη συντήρησή της.

Μοντελοποίηση στεγάστρου με χρήση λογισμικού BIM Gdańsk Arena



(skyscrapercity.com)

Το στάδιο στο Γκντανσκ είναι σχεδιασμένο για περίπου 41000 θεατές και δημιουργήθηκε με σκοπό να αποτελέσει ένα από τα πρότυπα γήπεδα της ΟΥΕΦΑ. Βρίσκεται σε οικόπεδο 43650 τετραγωνικών μέτρων πολύ κοντά στο νέο λιμάνι της πόλης. Η διάρκεια συναρμολόγησης του ήταν 226 ημέρες και το βάρος του στεγάστρου ανήλθε στους 7150 τόνους.

Σύμφωνα με τον Sylwester Faliński , Project Manager στη Martifer Polska το μοντέλο παρέιχε λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τους υπολογισμούς υλικών αυξάνοντας έτσι την παραγωγικότητα και εξασφαλίζοντας μια διαδικασία χωρίς σφάλματα και με λιγότερα απόβλητα. Χάρη στο λογισμικό BIM βελτιστοποιήθηκε ο χρόνος και αντιμετωπίστηκαν τυχόν προκλήσεις στη συναρμολόγηση όλων των μεταλλικών μελών της κατασκευής πριν την είσοδο στην τοποθεσία.

Το χαρακτηριστικό αυτού του σταδίου είναι το σχήμα του και ότι τα χρώματα της πρόσοψης μοιάζουν με κεκριμπάρι. Η μεταλλική κατασκευή της συγκεκριμένης στέγης έχει σχεδόν ελλειπτική μορφή, με μέγιστη διάμετρο 220 μέτρα και ελάχιστη διάμετρο 187 μέτρων όσο δηλαδή είναι ο δευτερεύον άξονας. Επιπλέον έχει ύψος 38 μέτρα μετρημένο από το ρουλεμάν μέχρι την επιφάνεια στην άκρη της στέγης και το μήκος της προβόλου εκτείνεται 48 μέτρα πάνω από την κερκίδα.



Εσωτερική όψη (stadiumdb.com)

Η κύρια δομή της οροφής αποτελείται μέλη στήριξης, τεγίδες και από 82 χαλύβδινες δοκούς ζευκτών σε σχήμα δρεπανιού οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με μια περιφερειακή κατασκευή. Τόσο η επιλογή των χαλύβδινων δοκών όσο και η εικόνα του ίδιου του κελύφους κάνουν το φορέα να μοιάζει με πλαίσιο πλοίου, στοιχείο που αποτέλεσε την εξαρχής έμπνευσή του.

Η τυπική δοκός είναι κατασκευασμένη από προφίλ σωλήνων και στηρίζεται σε δακτύλιο από σκυρόδεμα ύψους 7 μέτρων. Επισημαίνεται ότι η χαλύβδινη αυτή οροφή είναι στατικά και δομικά ανεξάρτητη από το σκυρόδεμα. Ο λόγος για τον οποίο το στέγαστρο είναι ανεξάρτητο από τη δομή σπλισμένου σκυροδέματος είναι επειδή τα άκρα της δοκού είναι συνδεδεμένα με τη βοήθεια ενισχυτικών μελών και δακτυλίου $\varnothing 500 \times 20$ χιλιοστών μετατρέποντας το έτσι σε ένα άκαμπτο κέλυφος με μια τρύπα στη μέση.

Οι δοκοί στήριξης κατανεμήθηκαν κατά μήκος της περιφέρειας της βάσης σε απόσταση περίπου 8 μέτρων κι έχουν τη μορφή διαστημικών πλαισίων με τραπεζοειδή διατομή. Το μεγαλύτερο βάθος δοκού 5,8 μέτρων συναντάται στη ζώνη καμπυλότητας. Για τις δοκούς χρησιμοποιήθηκε χάλυβας ποιότητας S355J2. Οι δοκοί ενώνονται μεταξύ τους σε κάθε δικτυωτό σύνδεσμο της άνω χορδής με οριζόντιες σωληνοειδείς ράβδους και εγκάρσιες ράβδους τύπου X κατασκευασμένες από στρογγυλές ράβδους. Όλα τα μέλη στήριξης κατασκευάστηκαν από κοίλες κυκλικές τομές $\varnothing 219,1 \times 8$ χιλιοστά.



Συνδέσεις ακαμψίας με τη δοκό (www.researchgate.net)

Τόσο οι άνω όσο και οι κάτω χορδές κατασκευάζονται από κυκλικά κοίλα τμήματα $\varnothing 355,6$ χιλιοστών με πάχος τοιχώματος 10 έως 16 χιλιοστά, με τα παχύτερα τοιχώματα να βρίσκονται στα τμήματα του κάτω μέρος της δοκού. Η απόσταση των μελών της άνω χορδής ποικίλλει από 1205 χιλιοστά στα στηρίγματα έως 4280 χιλιοστά στη δοκό άξονα στη ζώνη καμπυλότητας, ενώ η απόσταση των κάτω μελών χορδής κυμαίνεται από 405 έως 1200 χιλιοστά αντίστοιχα. Τα μέλη της κάτω χορδής της δοκού οροφής στερεώθηκαν στον δακτύλιο χρησιμοποιώντας ατσάλινα μπουλόνια τύπου U.

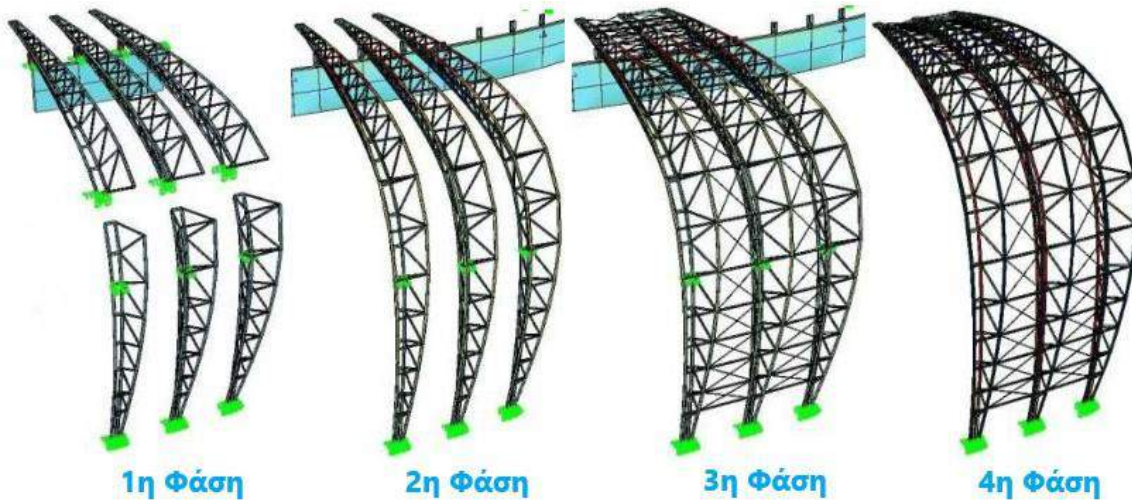
Η ανέγερση της στέγης χωρίστηκε σε ορισμένες φάσεις, οι οποίες ήταν, η εγκατάσταση και εν συνεχεία αφαίρεση των προσωρινών στηρίξεων, η τοποθέτηση τμημάτων δοκού πρόσοψης, οροφής, περιμετρικών σωλήνων και στηριγμάτων καθώς και η τοποθέτηση περιβλήματος.

Για να μπορέσουν να τοποθετηθούν τα ακραία τμήματα των δοκών στήριξης της οροφής και να συναρμολογηθούν μεταξύ τους χρειάστηκε να ανεγερθούν 22 πύργοι στο εσωτερικό του σταδίου. Οι πύργοι είχαν τη μορφή υποστυλωμάτων χαλύβδινου πλαισίου (σε αξονική συμπίεση), τετράγωνης διατομής. Οι αντίστοιχες δοκοί οροφής έπρεπε να στερεωθούν στη δακτυλιοειδή δοκό από σπλισμένο σκυρόδεμα στην κορυφή της βάσης μέχρι να συναρμολογηθεί ολόκληρη η κατασκευή της οροφής. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιήθηκε ένας τμηματοποιημένος χαλύβδινος δακτύλιος κατασκευασμένος από διαδοχικά τοποθετημένα τμήματα.



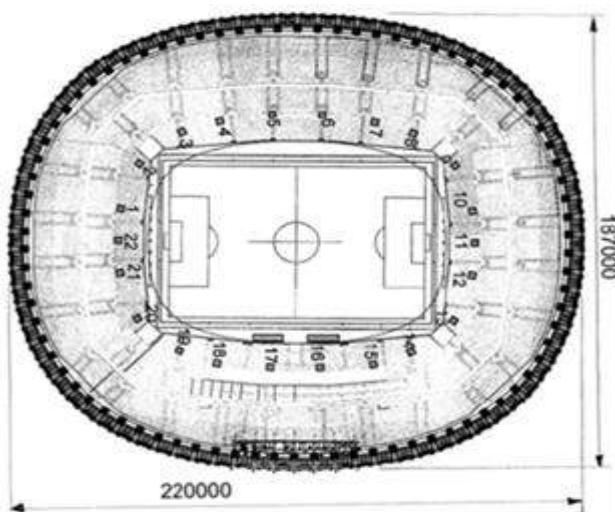
Προσωρινές στηρίξεις κατά τη διάρκεια τοποθέτησης των δοκών (www.fotografbiznesowy.eu)

Στην παρακάτω εικόνα περιγράφονται κάποιες από τις φάσεις της κατασκευής του στεγάστρου και προβάλλεται ο τρόπος με τον οποίο συγκολλούνται τα κομμάτια μεταξύ τους, μέχρι να πάρει την τελική μορφή της η ακτινωτή δοκός. Η πρώτη φάση είναι αυτή που ενώνεται ο πρόβολος με το μέρος της δοκού που καταλήγει στο έδαφος. Στις υπόλοιπες φάσεις απεικονίζεται η συγκόλληση των μεμονωμένων ακτινωτών μελών μεταξύ τους.

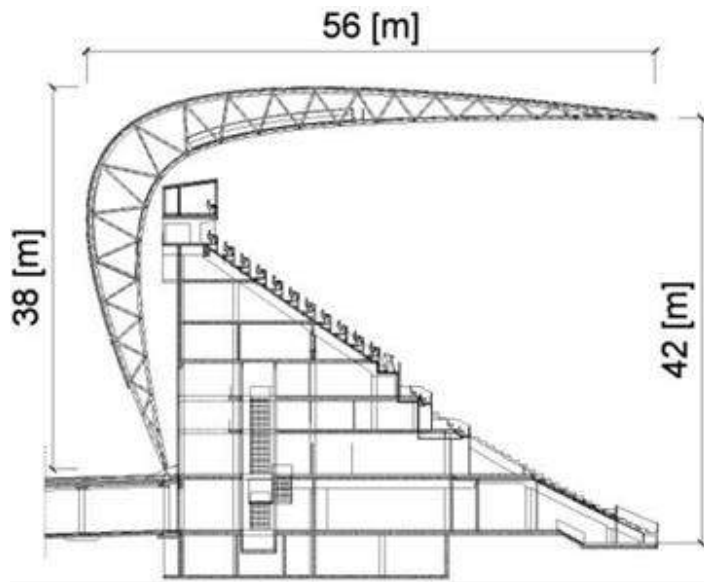


Φάσεις συγκόλλησης της δοκού οροφής (researchgate.net)

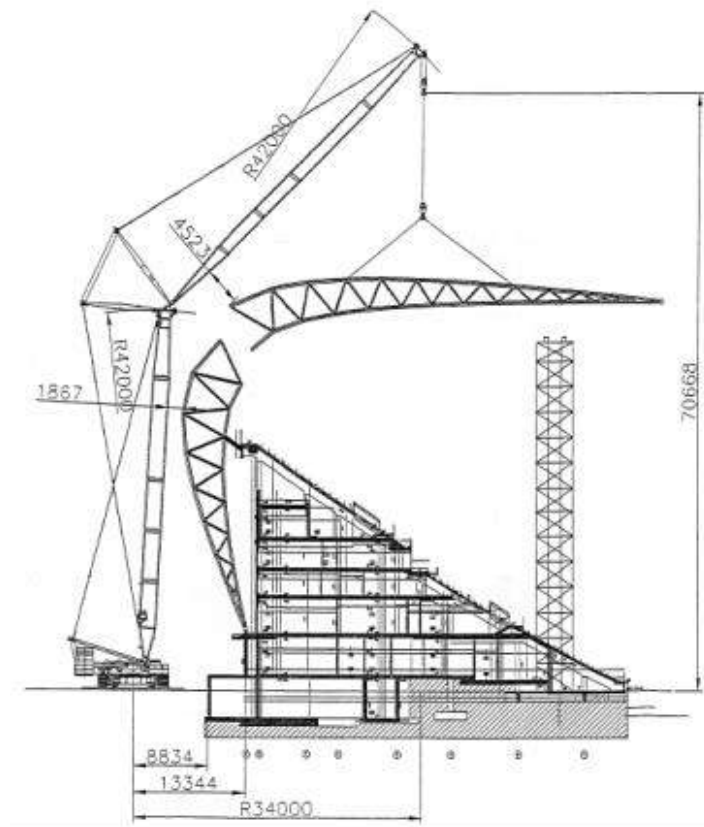
Η διαδικασία τοποθέτησης της οροφής παρακολουθήθηκε από επιθεωρητές και τέσσερις δοκούς που είχαν ενεργούς μετρητές καταπόνησης. Αυτά τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με αυτά που προέκυψαν από την αριθμητική ανάλυση των FEM μοντέλων και οι τιμές που ελήφθησαν είχαν ελάχιστες διαφορές.



Κάτοψη γηπέδου Γκντανσκ (onlinelibrary.wiley.com)



Τομή που απεικονίζει τη χαλύβδινη δοκό στήριξης οροφής (researchgate.net)



Τομή που περιγράφει τη διαδικασία ανέγερσης της οροφής (onlinelibrary.wiley.com)

Παραμετρικός σχεδιασμός

Ένα παραμετρικό μοντέλο όπως λέει και το όνομά του χρησιμοποιεί διάφορες παραμέτρους και περιέχει πληροφορίες όπως διαστάσεις, περιορισμούς και σχέσεις. Ο όρος προέρχεται από τα μαθηματικά παραπέμποντας στην παραμετρική εξίσωση και εκτός από τη χρήση παραμέτρων αναφέρεται και στις μεταβλητές που μπορούν να επεξεργαστούν, να χειριστούν ή να επηρεάσουν το τελικό αποτέλεσμα μιας εξίσωσης ή συστήματος. Το τελευταίο χρονικό διάστημα η έννοια αυτή χρησιμοποιείται περισσότερο ως αναφορά σε συστήματα υπολογιστικού σχεδιασμού.

Παρέχοντας τη δυνατότητα των εύκολων αλλαγών στη γεωμετρική σχεδίαση με το κατάλληλο προγραμματισμό θα μπορούσε εύκολα να διαμορφωθεί η εμφάνιση μιας κατασκευής τροποποιώντας μόνο μερικά δεδομένα. Αξίζει να επισημανθεί ότι υπάρχει και η επιλογή της επαναφοράς, η οποία δείχνει τα βήματα για τη δημιουργία του μοντέλου με τη σειρά και η δυνατότητα προσομοίωσης και ανάλυσης.

Ένα ακόμη πλεονέκτημα του παραμετρικού σχεδιασμού είναι η εξοικονόμηση των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν, όπως για παράδειγμα τα πάνελ τα οποία χρησιμοποιούνται ως επικάλυψη οροφής. Με τις δυνατότητες που έχει αυτή η μέθοδος, μπορεί να υπολογιστεί τόσο η ποσότητα όσο και το μέγεθος των υλικών. Επειδή προγραμματίζονται με ψηφιακό τρόπο οι περιβαλλοντικοί παράμετροι, η παραμετρική μοντελοποίηση θα μπορούσε να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στο ζήτημα της βιωσιμότητας της κατασκευής. Κατά συνέπεια, με αυτό τον τρόπο μπορούν να επιλεγούν τα κατάλληλα οικολογικά υλικά τα οποία ταυτόχρονα, προσφέρουν και καλή ενεργειακή απόδοση.

Το λογισμικό Rhinoceros (συνήθως αναφέρεται με τη συντομογραφία Rhino ή Rhino3D), αμερικανικής εταιρείας και βασίζεται στο μαθηματικό μοντέλο NURBS, το οποίο εστιάζει στην παραγωγή ψηφιακής αναπαράστασης καμπυλών και επιφανειών ελεύθερης μορφής με μαθηματική ακρίβεια. Το Grasshopper ενσωματωμένο με το Rhino3D είναι ένα εργαλείο επεξεργασίας γραφικών αλγορίθμων για τη δημιουργία ενός από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους σχεδίασης. Από την άλλη το RhinoScript είναι ένα εργαλείο δέσμης ενεργειών που βασίζεται στη γλώσσα VBScript της Microsoft κάνοντας αυτόματα μερικές επαναλαμβανόμενες εργασίες.

Η παραμετρική μέθοδος σε κατασκευές όπως οι στέγες, χρησιμεύει στην υποστήριξη της σχεδιαστικής και γεωμετρικής τους εξερεύνησης και στο να περιγράψει τη μορφή και τις πιθανές παραλλαγές τους. Η χρήση όμως αυτής της μεθόδου ευνοεί και τη διαχείριση πολύπλοκων συστημάτων σχέσεων και των εναλλακτικών λύσεων.

Παραδείγματα εφαρμογών του παραμετρικού μοντέλου Aviva Stadium, Lansdowne Road



(guide-Ireland.com)

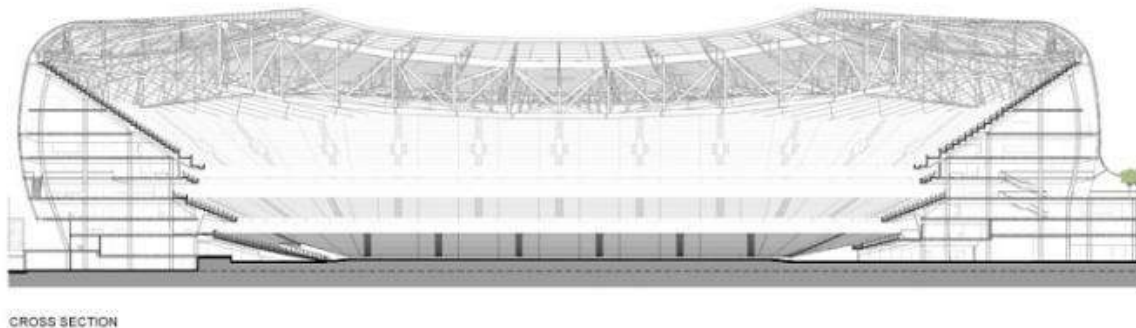
Η κατασκευή του νέου σταδίου Aviva 51700 θέσεων ολοκληρώθηκε στις αρχές του 2010 στην οδό Lansdowne Road και παρέχει μια αθλητική εγκατάσταση παγκόσμιας κλάσης για την πόλη του Δουβλίνου της Ιρλανδίας. Το αρχικό στάδιο Lansdowne Road στο Δουβλίνο της Ιρλανδίας θεωρείται ιστορικό έργο καθώς ήταν το παλαιότερο διεθνές γήπεδο ράγκμπι στον κόσμο και συγκεκριμένα το έτος 1872 όταν και κατασκευάστηκε για πρώτη φορά.

Το στάδιο Aviva στο Lansdowne Road στο Δουβλίνο, πιστεύεται ότι είναι το πρώτο κτίριο που σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας ένα κοινό παραμετρικό μοντέλο μεταξύ αρχιτεκτόνων και μηχανικών. Συγκεκριμένα από τους αρχιτέκτονες Populous και τους μηχανικούς Buro Happold αντίστοιχα. Οι αρχιτέκτονες δημιούργησαν ένα παραμετρικό μοντέλο της συνολικής μορφής του σταδίου και το χρησιμοποίησαν επίσης για να σχεδιάσουν την πρόσοψη, ενώ οι μηχανικοί χρησιμοποίησαν το ίδιο παραμετρικό μοντέλο για να σχεδιάσουν τη δομή της οροφής. Οι αρχιτέκτονες επέλεξαν το Generative Components (GC) της Bentley ως λογισμικό πλατφόρμα για το παραμετρικό τους μοντέλο.

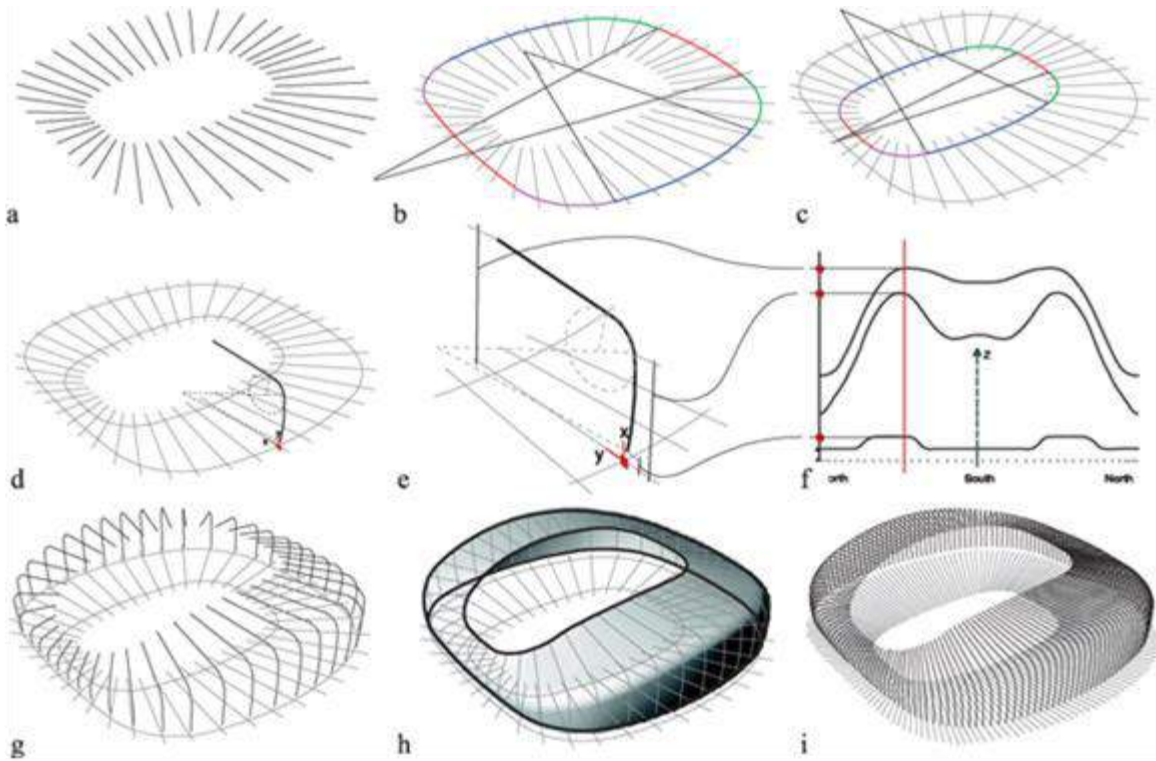
Το σημείο εκκίνησης για τη δημιουργία της δομικής γεωμετρίας ήταν η παραμετρικό μοντέλο που δημιουργήθηκε από τους αρχιτέκτονες. Το κύριο μέρος του αρχιτεκτονικού μοντέλου που απαιτείται είναι η σειρά των ακτινωτών καμπυλών από την οποία κατασκευάζεται με lofting η αρχιτεκτονική εσωτερική επένδυση. Αυτές οι καμπύλες αποτελούνται από δύο τόξα και μια ευθεία γραμμή. Το πρώτο τόξο αντιπροσωπεύει σχεδόν το εξωτερικό κάθετο τμήμα τοιχώματος της επιφάνειας του δέρματος από το επίπεδο του δαπέδου προς τα πάνω, το δεύτερο τόξο αντιπροσωπεύει τη γωνία όπου ο κατακόρυφος τοίχος μεταμορφώνεται σε πιο οριζόντια στέγη και η ευθεία αντιπροσωπεύει το περισσότερο κεντρικό τμήμα της επιφάνειας της οροφής που φτάνει προς το βήμα.

Ένα άλλο βασικό στοιχείο στην επιλογή δημιουργίας ενός παραμετρικού δομικού μοντέλου ήταν ο ορισμός της δομικής φόρτισης. Δεδομένου ότι η γεωμετρία κάθε ακτινωτής δοκού ήταν διαφορετικό, το ίδιο και το πραγματικό του πλάτος σε οποιοδήποτε συγκεκριμένο σημείο κατά μήκος του μήκος και επομένως τα αντίστοιχα φορτία ανέμου και επένδυσης ήταν επίσης διαφορετικά σε κάθε θέση. Σε κάθε περίπτωση, η παραμετρική φύση του μοντέλου βοήθησε στην επιτάχυνση αυτής της διαδικασίας, επιτρέποντας τη δοκιμή πολλών διαφορετικών παραλλαγών τη μεταξύ τους σύγκριση και την ακριβή απόσταση των κατακόρυφων κορδονιών προς βελτιστοποίηση.

Αρχικά η οροφή είναι ένα ζευκτό με μια ιεραρχία σωληνοειδών χαλύβδινων μελών. Το κύριο χαρακτηριστικό της είναι ένα μεγάλο πρωτεύον ζευκτό σε σχήμα κεκλιμένου πετάλου, τα άκρα του οποίου όντας στο πολύ χαμηλότερο βόρειο άκρο του σταδίου επιτρέπουν την απευθείας υποστήριξη με ώθηση στο έδαφος. Γύρω από το υπόλοιπο πέταλο, παρέχεται στήριξη από μια σειρά από ακτινωτά δευτερεύοντα χαλύβδινα δικτυώματα που αναλαμβάνουν το φορτίο από το πέταλο κατανέμοντάς το στην άκρη της οροφής και στις κάτω στήλες. Μια σειρά από μικρότερα, τριτογενή δικτυώματα χάλυβα παρέχουν πλευρική στήριξη στη πρωτεύον δοκό καθώς και στήριξη των πλαϊσίων οροφής.



Τομή γηπέδου (smallstadiumbiglandscape2014.files.wordpress.com)

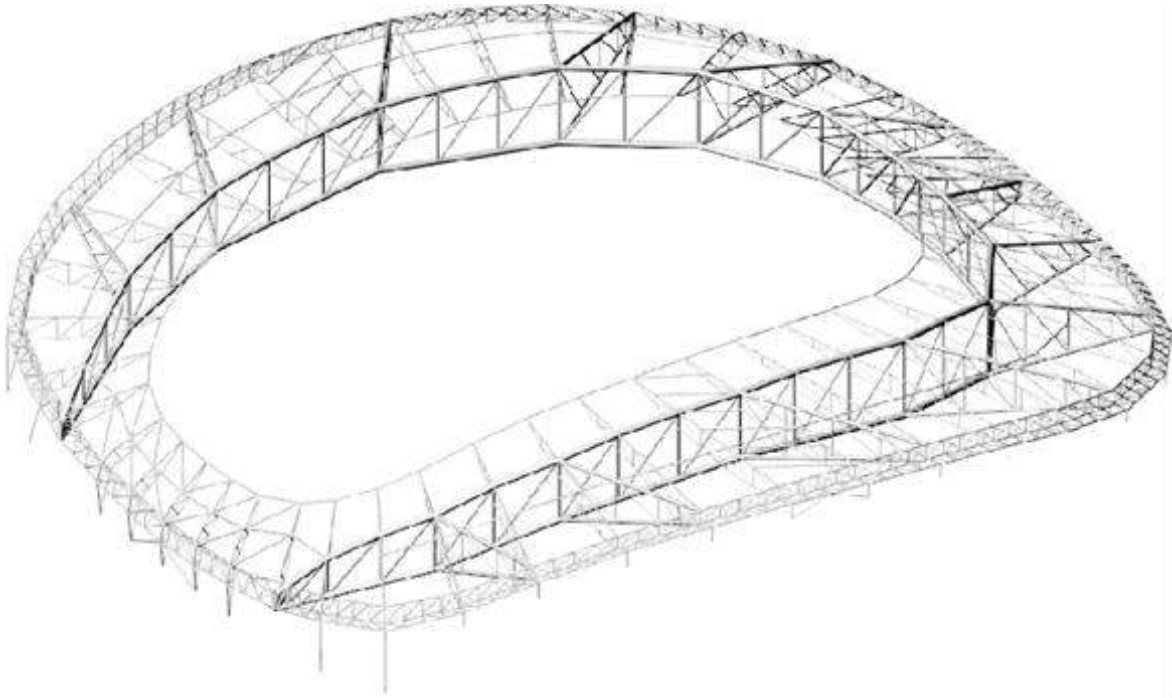


Διαδικασία σχεδιασμού (semanticscholar.org)

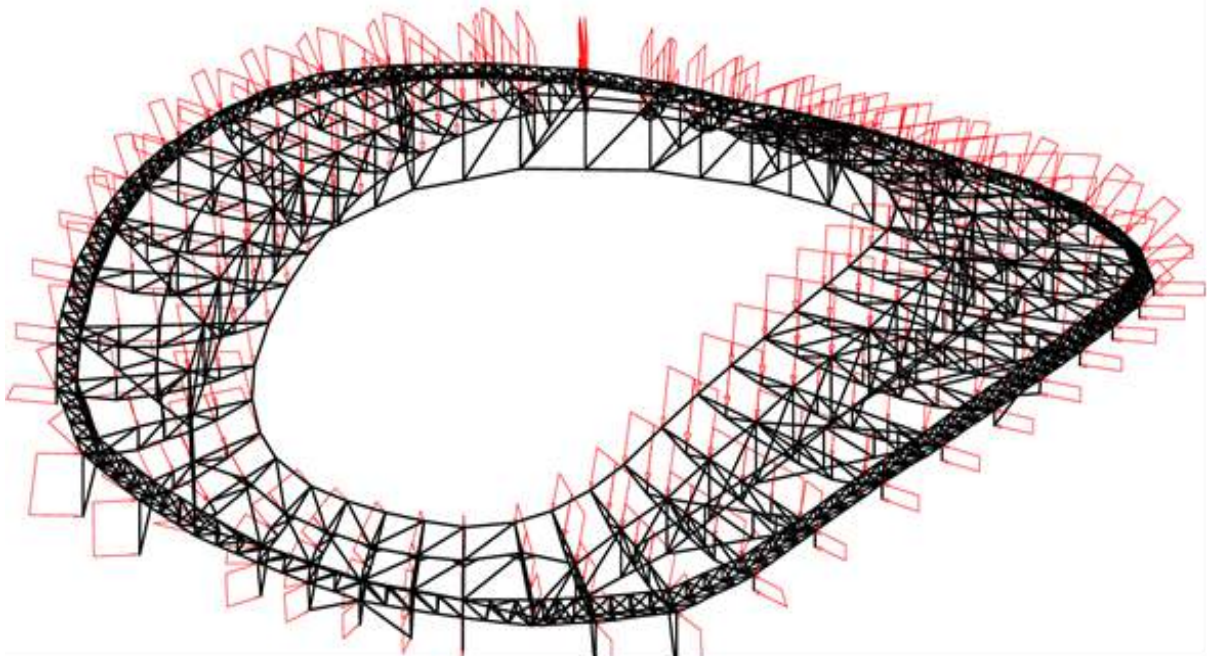
Πρωτεύον δοκός και δοκός δακτυλίου εξωτερικού άκρου που εκτείνεται μεταξύ των στηλών ανοίγουν μεταξύ τους δημιουργώντας μια επιφάνεια που διέρχεται από μια σειρά από ακτινωτές καμπύλες (lofting). Αυτές οι καμπύλες είναι κατασκευασμένες από τόξα και γραμμές που ενώνονται ομαλά χωρίς τσάκιση (εφαπτομένη-συνεχής).

Τα δευτερεύοντα ζευκτά βρίσκονται σε κατακόρυφο επίπεδο και είναι τριγωνικά σε υψόμετρο, με κορδόνια πάνω και κάτω οριζόντια ως ευθείες γραμμές από τις άνω ή κάτω χορδές του κύριου ζευκτού. Διερευνήθηκε ένας αριθμός διαφορετικών συστημάτων κορδονιών δευτερεύοντος δοκού, όπως χωρίζοντας για παράδειγμα τις συγχορδίες σε έναν αριθμό ίσων διαιρέσεων. Επιπλέον ερευνηθήκαν διαφορετικά σχήματα κορδονιών όπως στήριγμα σε σχήμα N, K ή W.

Δεδομένου ότι η πρωτεύων δοκός σχεδιάστηκε για να μεταφέρει το φορτίο της οροφής μέσα από τα δύο στηρίγματα στο βόρειο άκρο της κατασκευής και τα δευτερεύοντα ζευκτά για τη μεταφορά του φορτίου πίσω στις κολώνες στήριξης, απαιτούνταν τριτογενείς δοκοί σε κάθε ακτινωτό πλέγμα μόνο για τη μεταφορά του φορτίου της οροφής στη κύριο δοκό.

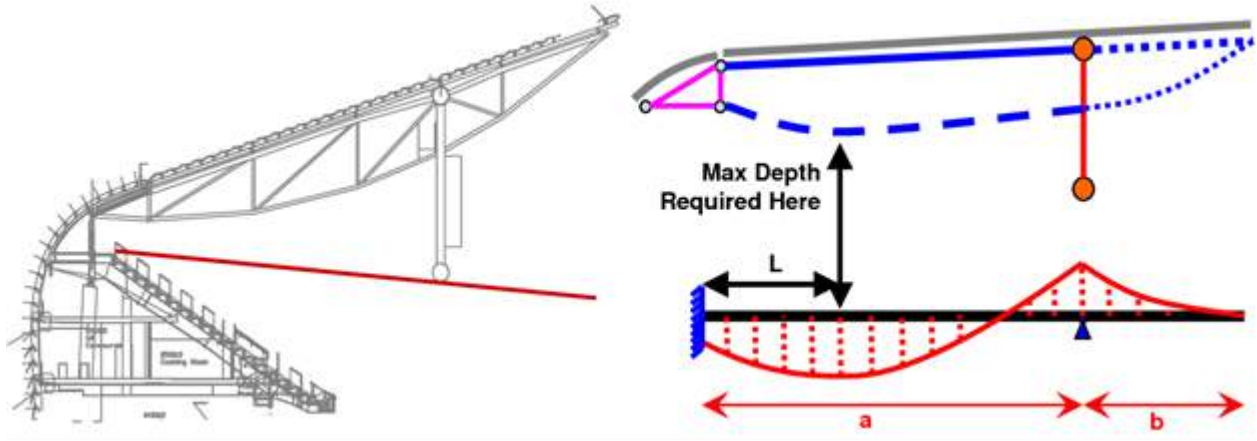


Δομικά μέλη από το παραμετρικό σχεδιασμό στην πραγματική εφαρμογή ([semanticscholar.org](https://www.semanticscholar.org))



Μοντέλο ανάλυσης φόρτισης ([semanticscholar.org](https://www.semanticscholar.org))

Το σχήμα των κορυφαίων χορδών των τριτογενών ζευκτών ορίστηκε από μια σταθερά κανονική μετατόπιση από τη γεωμετρία της οροφής. Το μέγεθος αυτής της μετατόπισης βρέθηκε ότι είναι ίση με την ακτίνα της κορυφαίας χορδής συν επαρκή χώρο για να φιλοξενήσει τις τεγίδες και τις δομές στήριξης επένδυσης.

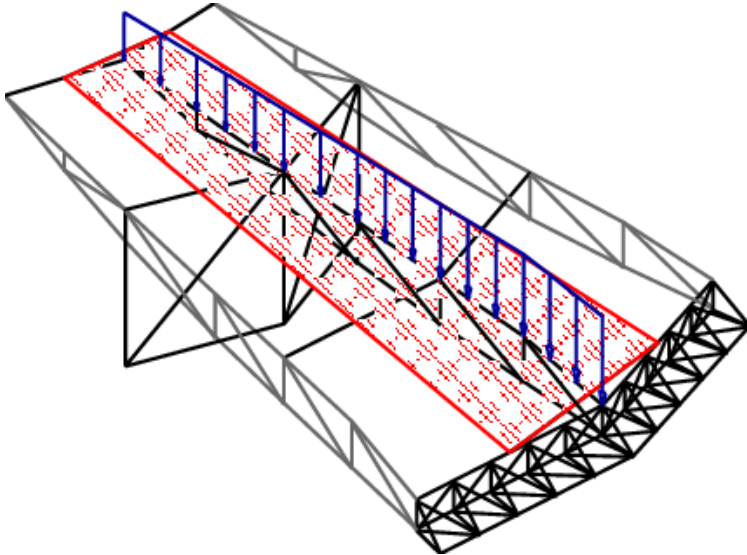


Αριστερά απεικονίζεται η πρωτεύουσα χορδή κάτω ζευκτών και δεξιά η τριτογενής κάτω χορδή ζευκτού φαίνεται πως ακολουθεί τη ροπή κάμψης ([semanticscholar.org](https://www.semanticscholar.org))

Τα τριτογενή δικτυώματα στηρίζονται στο εξωτερικό τους άκρο και στο σημείο που διέρχονται το πρωτεύον ζευκτό. Επειδή το εξωτερικό άκρο συναντά μια τριγωνική δακτυλιοειδής δοκό θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι περιστροφικά περιορισμένο σε αυτό το σημείο. Το ζευκτό επομένως εξιδανικεύτηκε ως στηριζόμενος πρόβολος κάτω από ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο. Το μέγεθος του μέγιστου βάθους υπολογίστηκε μεμονωμένα για κάθε δοκό και εκτός του ότι ήταν ακριβώς στη θέση που απαιτείται για τη δομική απόδοση του ίδιου του ζευκτού, ορίζεται ότι είναι ίσο με το ένα τέταρτο του ανοίγματός του. Με μέγιστο όριο 4,4 μέτρα τοποθετήθηκε επίσης σε αυτό το βάθος για να διασφαλιστεί ότι τα ζευκτά θα χωρούσαν μέσα σε ένα τυπικό φορτηγό για μεταφορά στο εργοτάξιο.

Η οροφή της βόρειας κερκίδας είναι πολύ χαμηλότερη από την υπόλοιπη δομή της οροφής ώστε να βεβαιωθεί ότι το φως διατηρείται. Η έννοια των επίπεδων τριτογενών ζευκτών σε κάθε γραμμή-πλέγμα διατηρήθηκε, αλλά αυτά τα ζευκτά επεκτάθηκαν προς τα κάτω, στο έδαφος, πίσω από τους θεατές. Περιλαμβάνονταν επίσης τεγίδες και διαγώνια ενισχυτικά μέλη στο σχεδιασμό όπου ήταν απαραίτητο, αλλά και πιο λεπτομερή δομικά μέλη οπότε δεν απαιτήθηκε ανάλυση σε κάθε μέλος καθώς υπάρχουν στο μοντέλο όταν τελικά εξάγεται.

Από τις πιο καινοτόμες πτυχές του παραμετρικού μοντέλου ήταν η σύνδεσή του με λογισμικό δομικής ανάλυσης. Επενδύθηκαν σημαντικοί πόροι για την ανάπτυξη αυτού του συνδυασμού, πολύ περισσότερο από ό,τι αναμενόταν στην αρχή, αλλά ο χρόνος που επενδύθηκε ανακτήθηκε σίγουρα όσον αφορά την άμεση δημιουργία μοντέλων ανάλυσης.



Με κόκκινο απεικονίζεται το πλάτος της τριτογενούς δοκού και με μπλε εφαρμοσμένη τριγωνική φόρτωση (researchgate.net)



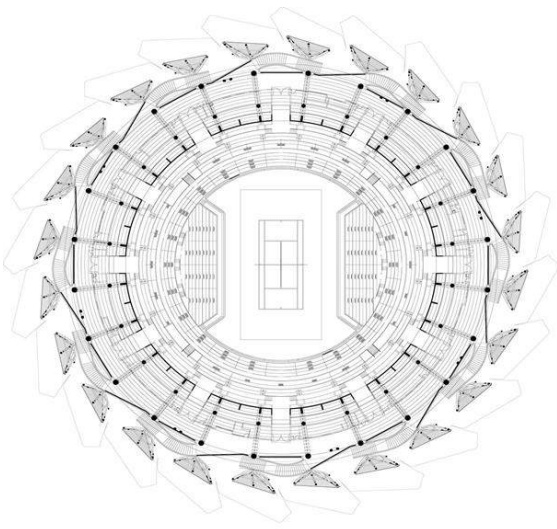
Τοποθέτηση ζευκτών (Peter Barrow Photography, i2-prod.dublinlive.ie)

Κέντρο Αντισφαίρισης Hangzhou



(www.gettyimages.com)

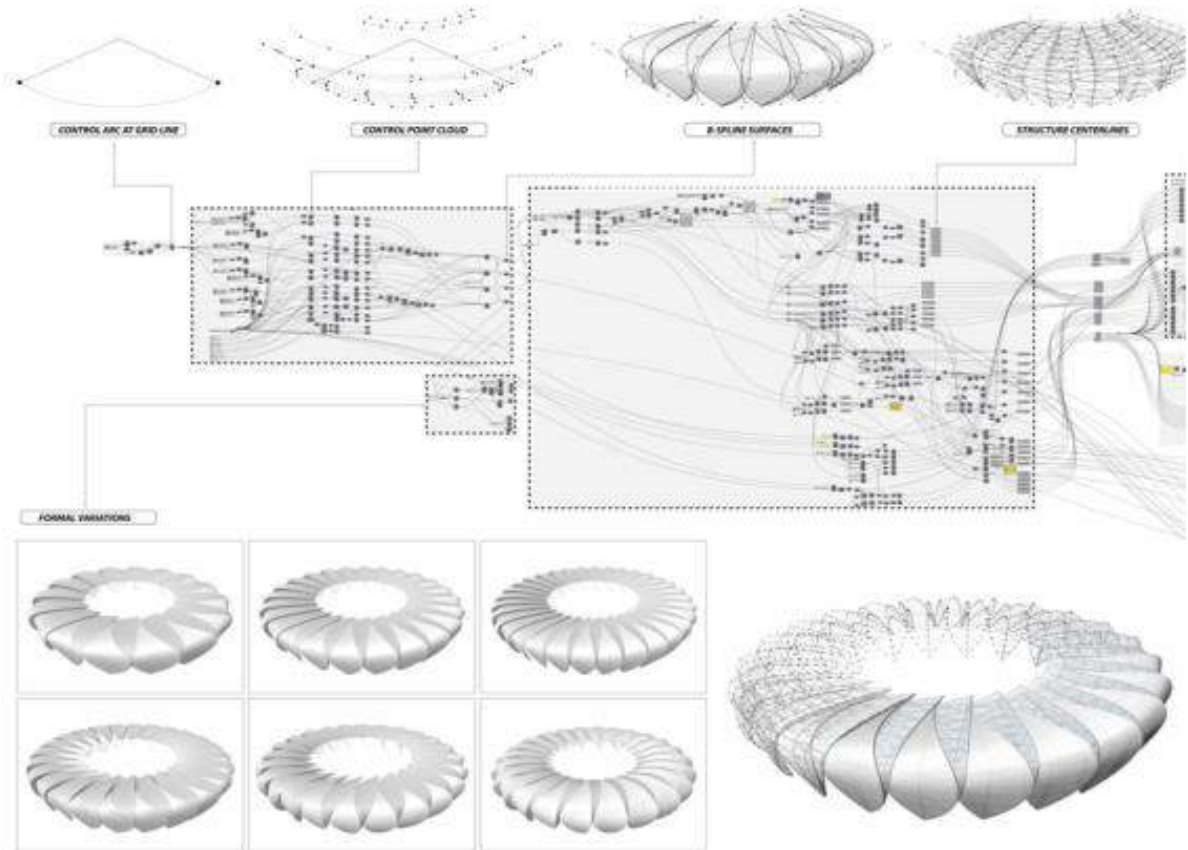
Το κέντρο τένις είναι μια εγκατάσταση 10.000 θέσεων που βρίσκεται στο Hangzhou της Κίνας και αποτελεί μέρος ενός μεγαλύτερου γενικού σχεδίου αθλημάτων και ψυχαγωγίας. Ο σχεδιασμός του κελύφους του σταδίου βασίζεται σε ένα αρθρωτό σύστημα από χαλύβδινα ζευκτά που παρέχουν σκιά και στεγάζουν τα τεχνικά συστήματα της αρένας. Το εξωτερικό περίβλημα αποτελείται από εικοσιτέσσερα δομοστοιχεία ζευκτών, διατεταγμένα γύρω από ένα κυκλικό τόξο.



Κάτοψη του γηπέδου (worldarchitecture.org)

Η χαλύβδινη οροφή αποτελείται από σταθερή στέγη και κινητή στέγη. Κάθε κινητή στέγη είναι εφοδιασμένη με σταθερό άξονα και τρεις ομόκεντρες περιστρεφόμενες τροχιές. Η μονοκόμματη κινητή οροφή έχει ακτινωτό μήκος 45 μέτρων και μέγιστο πλάτος 25 μέτρων. Οκτώ μεγάλες κινητές στέγες σε σχήμα πετάλου με πρόβολο, οι οποίες μπορούν να ανοίξουν με επίπεδη περιστροφή περίπου 45° οριζόντια ώστε να καλύψουν ολόκληρο το στάδιο, τοποθετούνται πάνω από τη σταθερή οροφή. Η σταθερή οροφή έχει διάμετρο εξωτερικής ακμής περίπου 133 μέτρων και μήκος προβόλου περίπου 26 μέτρων επιτρέποντας στα πέταλα της οροφής να εκτείνονται πάνω από 30 μέτρα.

Για τον σχεδιασμό του εξωτερικού, δημιουργήθηκε ένα ολοκληρωμένο παραμετρικό σύστημα για την εννοιολόγηση, την προσομοίωση και την τεκμηρίωση των πολύπλοκων γεωμετρικών συστημάτων. Για την εννοιολόγηση, το παραμετρικό σύστημα δημιουργήθηκε για να ορίσει τη γεωμετρία της επιφάνειας ελέγχου και τη μελέτη των παραλλαγών. Τα εργαλεία για το σχεδιασμό του σταδίου ήταν το Rhinoceros 3D με το πρόσθετο Grasshopper.

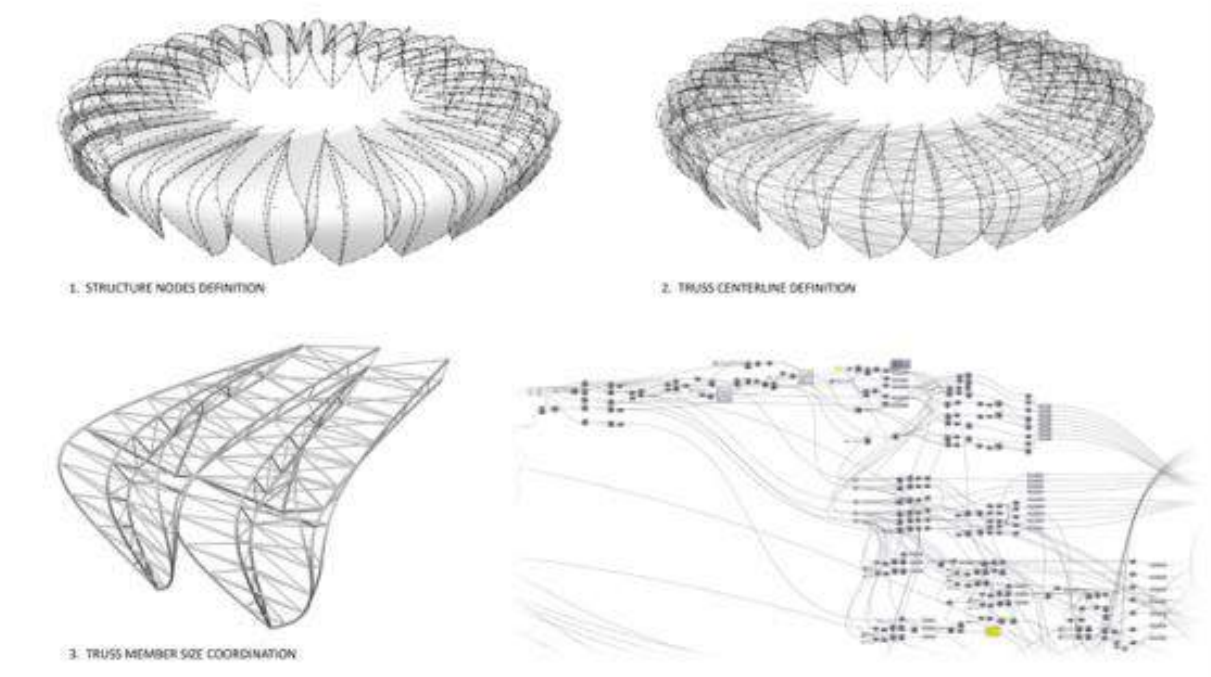


Ο αλγόριθμος για τον καθορισμό της γεωμετρίας του εξωτερικού κελύφους και κάτω οι παραλλαγές στο εξωτερικό περιβλημά. (issuu.com)

Ξεπερνώντας τις δυνατότητες για το σύστημα του κύριου σταδίου, ο αλγόριθμος του κέντρου τένις επεκτάθηκε σημαντικά και συμπεριέλαβε ολοκληρωμένες δυνατότητες για:

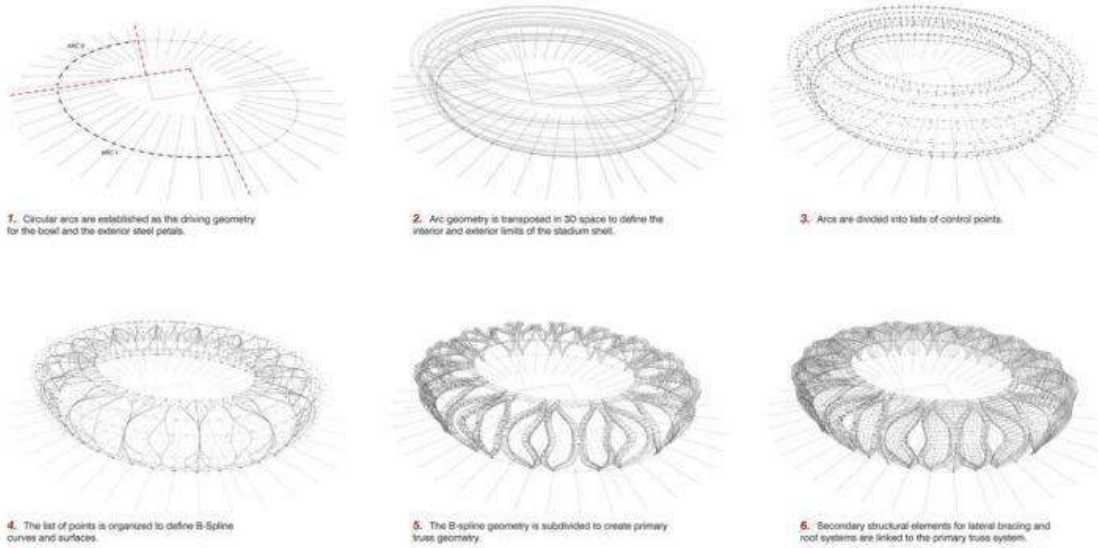
- Σχεδιασμό Γεωμετρίας: Παραμετρικό καθορισμό και έλεγχο της εξωτερικής γεωμετρίας.
- Παραλλαγές Μορφής: Τελειοποίηση της μορφής του κτιρίου και εναλλακτικές δοκιμές.
- Δομική Συνεργασία: Συστήματα για την παραγωγή δομικών μοντέλων έτοιμα για ανάλυση.
- Ενοιολογική προσομοίωση: Ενσωμάτωση διαισθητικής προσομοίωσης φυσικής για μια διαισθητική κατανόηση πολύπλοκων δομών.
- Ανάλυση επιφάνειας και επένδυση: Οπτικοποίηση ιδιοτήτων επιφάνειας και λεπτομερή συστήματα παραμετρικής επένδυσης.
- Συντονισμό: Οργάνωση και εξαγωγή παραμετρικά παραγόμενων μοντέλων για χρήση σε λογισμικό εξωτερικής τεκμηρίωσης.
- Τεκμηρίωση: Δισδιάστατα συστήματα περιγραφικής γεωμετρίας για στοιχεία που δεν μπορούν να αναπαρασταθούν με χρήση ορθογραφικής προβολής

Για το περιορισμό πρόσθετης πολυπλοκότητας στο περίβλημα σε μεταγενέστερα στάδια έγινε χρήση της αρχικής γεωμετρίας της επιφάνειας. Το σύστημα ορίστηκε παραμετρικά με τη δημιουργία ενός νέφους σημείου, το οποίο κινείται από κυκλικά τόξα και θα χρησίμευε ως σημείο ελέγχου για τον καθορισμό των ακραίων καμπυλών της επιφάνειας.

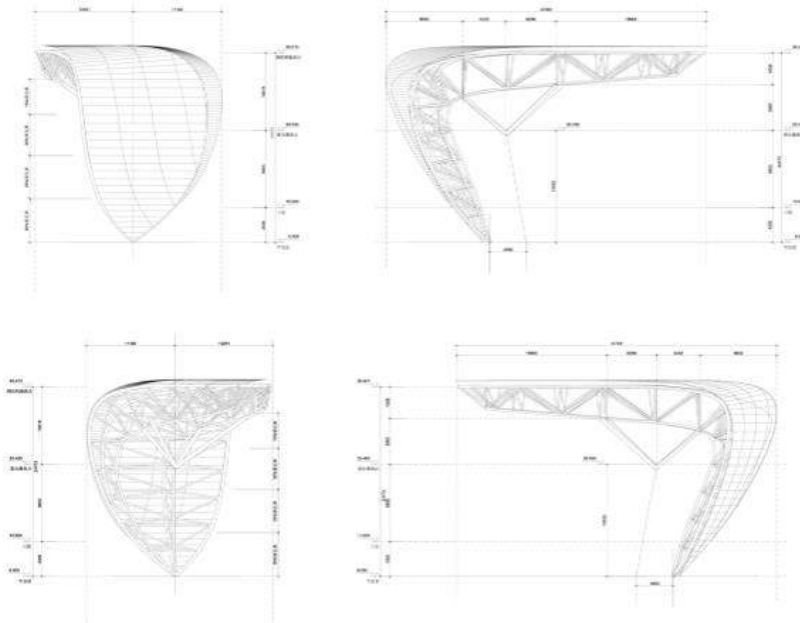


Το παραμετρικό δομικό μοντέλο σχεδιασμού (papers.cumincad.org)

Λόγω της συμμετρίας του σταδίου, μόνο ένα τεταρτημόριο ολόκληρου του κελύφους υπολογίστηκε σε αυτό το στάδιο. Αυτή η προσέγγιση βελτίωσε την υπολογιστική απόδοση του συστήματος επιτρέποντας πολύ πιο γρήγορες επαναλήψεις, ενώ παράλληλα επιτρέπει στους σχεδιαστές να αξιολογούν τη συνολική εμφάνιση.



Γεωμετρική ανάλυση των τόξων (NBBJ, arch2o.com)



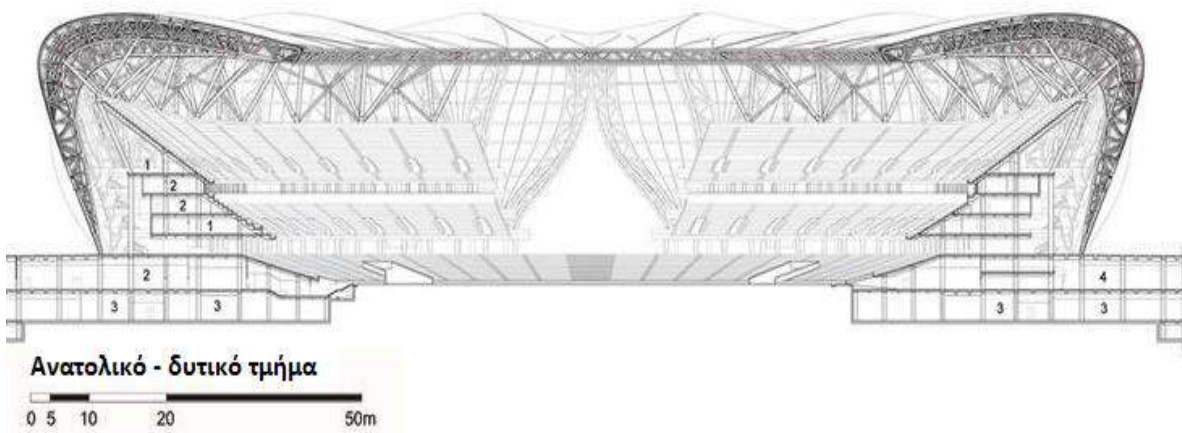
Διαστασιολόγηση δομοστοιχείων (www.archdaily.com)

Σύγκριση στεγάστρων μεταλλικών φορέων σε αθλητικές εγκαταστάσεις, 2024

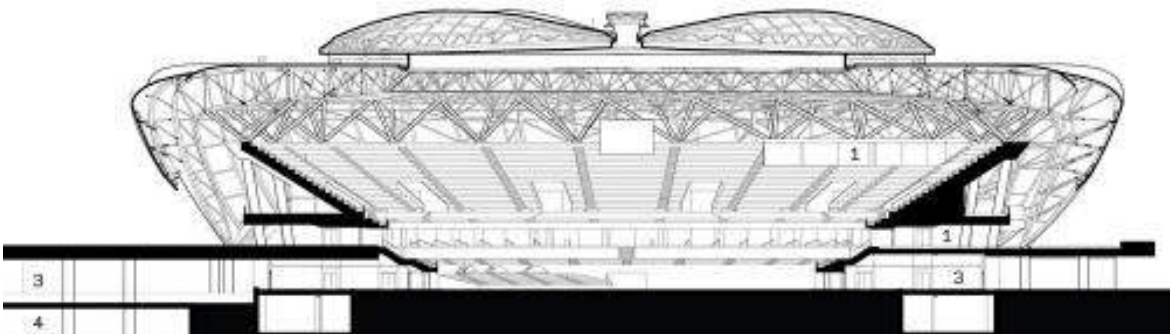


Άνω όψη στεγάστρου (www.dezeen.com)

Εξωτερική όψη (www.dezeen.com)



Τομή 1 (gr.pinterest.com)



Τομή 2 (www.archdaily.com)

Συγκρίσεις σε όλα τα μοντέλα

Οι τοξωτοί και καλωδιακοί φορείς ανήκουν στην ευρύτερη κατηγορία των εφελκυστικών συστημάτων. Με την προϋπόθεση ότι αποφεύγεται η ανάπτυξη θλιπτικών τάσεων, δεν απαιτούνται άλλες αυστηρές διατάξεις και έτσι είναι μια ευέλικτη επιλογή για κάθε μορφή γηπέδου. Ωστόσο, όσο πιο δύσκολη είναι η μορφή τόσο πιο πολύπλοκη γίνεται και η διαδικασία στατικής ανάλυσης για τον υπολογισμό των φορτίσεων και της κίνησης του αέρα.

Ανάμεσα σε αυτούς τους δύο φορείς η εξοικονόμηση υλικού στις καλωδιωτές τις καθιστά πιο οικονομικές αλλά οι αψιδωτές οροφές πλεονεκτούν στο χρόνο εγκατάστασης και στην κάλυψη μεγαλύτερης απόστασης. Παρόλα αυτά, υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις που τόξα και καλώδια συναντώνται συνδυαστικά σε μια αλληλοβοηθούμενη στήριξη.

Σύνθετο στατικό μοντέλο θα μπορούσε να χαρακτηριστεί και αυτό του σταδίου Allianz της Γιουβέντους το οποίο είναι καλώδια και χωροδικτυώματα αλλά το γεγονός ότι η κεφαλή που φέρει τα καλώδια έχει πρωταγωνιστικό ρόλο στηρίζει όλη την υπόλοιπη κατασκευή οροφής. Το ίδιο συμβαίνει και στο Olympic Stadium με τη διαφορά ότι τα καλώδια συγκρατούν δακτύλιο συμπίεσης αντί για δικτυώματα. Στην πρώτη περίπτωση το γήπεδο είναι ορθογωνικής κάτοψης και μόνο εφελκυστικό ενώ στη δεύτερη κυκλικής κάτοψης και με σύστημα εφελκυσμένου-θλιβόμενου δακτυλίου.

Σημαντικό ρόλο στο φορέα του στεγάστρου, έχει σε τρία γήπεδα το τόξο πάνω από το κάθε στάδιο στηρίζοντας το υπόλοιπο μέρος της οροφής. Σε αυτό του Hong Kong, σε αυτό του υδάτινου κέντρου στο Σίδνεϊ και σε αυτό του Wembley. Παρατηρείται λοιπόν, ότι σε τροπικά ή εύκρατα ωκεάνια κλίματα, η επιλογή της αψίδας ίσως γίνεται για λόγους ασφαλείας της κατασκευής.

Η στέγη του σταδίου Ειρήνης και Φιλίας χάρη στο υπερβολικό παραβολικό σχήμα της καταφέρνει σε μικρό όγκο να έχει αρκετή χωρητικότητα και καλή ακουστική. Φυσικά, στο θέμα ήχου βοηθάει και το ότι πρόκειται για κλειστή αθλητική εγκατάσταση, κάτι που μόνο οι αναδιπλούμενες στέγες μπορούν να ανταγωνιστούν στην κλειστή τους κατάσταση.

Αναδιπλούμενες στέγες στην προκειμένη περίπτωση, είναι αυτές των Wembley και Hangzhou. Στο συγκεκριμένο στάδιο της Κίνας τα 8 πέταλα της κινητής στέγης κάνουν περιστρεφόμενη κίνηση, ενώ στο Wembley συρόμενη με παράλληλη κίνηση.

Παρόμοιους φορείς στέγασης έχουν μεταξύ τους:

α) το Ανίνα και το νέο γήπεδο του Παναθηναϊκού, κάτι που φαίνεται και από το σχήμα της οροφής τους, καθώς και στα δύο κυριαρχούν καμπύλα δικτυώματα.



(www.researchgate.net)



(archello.com)

Αυτό που διαφέρει είναι το στατικό του σύστημα, από τη μια έχουμε τριτογενή ζευκτά με το ένα να έχει απευθείας στήριξη στο έδαφος και από την άλλη κύρια και δευτερεύοντα, με τα κύρια να στηρίζονται σε πυλώνες.

β) οι αρένες PGE Gdansk και Hangzhou, αφού πρόκειται για μεταλλικά ζευκτά τα οποία συνδέονται στην πρώτη περίπτωση με μια περιφερειακή κατασκευή και στην δεύτερη γύρω από ένα κυκλικό τόξο.

Από τις παρόμοιες αυτές περιπτώσεις παρατηρείται ότι οι τρεις αθλητικές εγκαταστάσεις που σχεδιάστηκαν είτε με πληροφοριακή (πχ. Arena Gdansk) είτε με παραμετρική (πχ. Anina, Hangzhou) μοντελοποίηση, είχαν ως σύστημα στέγασης ζευκτά ή χωροδικτυώματα συνδεδεμένα με μια κυκλική κατασκευή.

Αυτό αποδίδεται στην αρθρωτή κατασκευή της οροφής όπου συνήθως προκύπτει από την ένωση προκατασκευασμένων τμημάτων υπερτερώντας σε ταχύτητα εργασιών. Πρόκειται για διασταύρωση στο χώρο πολλών καμπύλων γραμμικών φορέων με τελικό σχηματισμό μιας σχετικά άκαμπτης μεμβράνης. Ένα ακόμη πλεονέκτημα ενός τέτοιου συστήματος στέγης είναι ότι αυξάνεται η ενεργειακή απόδοση λειτουργώντας ως μόνωση έναντι ακραίων θερμοκρασιών, προσφέροντας ταυτόχρονα όφελος ως προς το περιβάλλον.

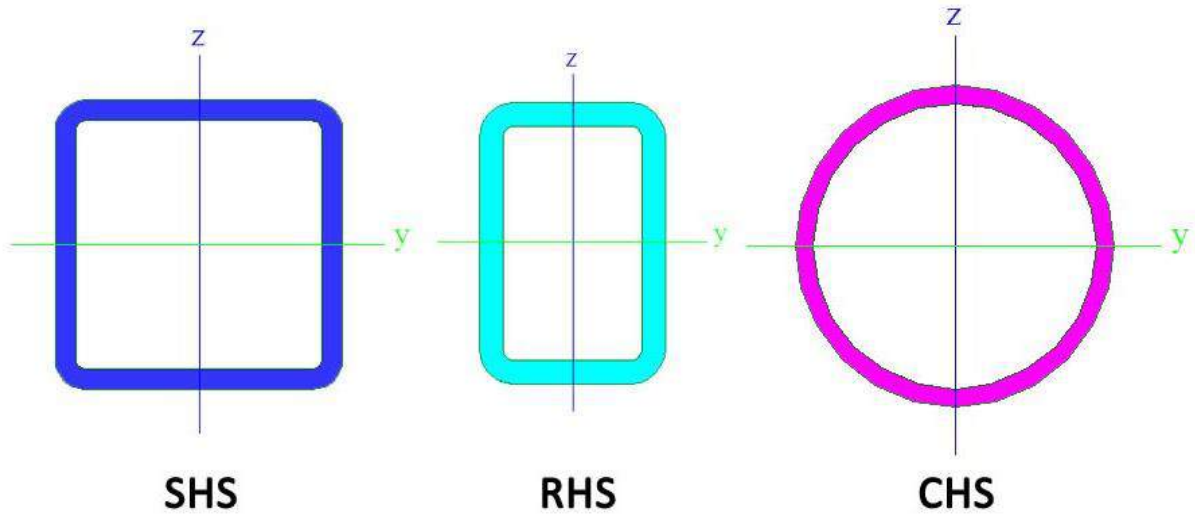
Συγκριτικός πίνακας

Από τα παραπάνω στάδια επιλέγονται πέντε εκ των οποίων παρά τη στατική και λειτουργική διαφορά τους, οι λεπτομέρειες ως προς τους τύπους διατομών και τις διαστάσεις είναι παρόμοιες.

Μέρος του φορέα	Διαστάσεις και αποστάσεις				
	Allianz Stadium στο Τορίνο	Παναθηναϊκού στο Βοτανικό	Hong Kong Stadium	Wembley Λονδίνο	Arena Gdańsk
τύπος (φορέα) στεγάστρου	καλωδιωτός	υποστηριζόμενα ζευκτά	τοξωτός	ενισχυμένος	Χωρικό πλαίσιο ζευκτών
εξωτερική διάμετρος	-	210 m	-	220 m	220 m
σχήμα διατομών μελών δικτυωτών φορέων	Κοίλες κυκλικές	κοίλες κυκλικές	Κοίλες κυκλικές	Κοίλες κυκλικές	κοίλες κυκλικές
μεταλλικές διατομές	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS
διατομές μελών	300 mm	CHS1250/28 CHS1300/32	193 - 273 mm	457/12 mm	219,1 - 355,6 mm
άνοιγμα «μεγάλων» κύριων δοκών	132m	160 m	240 m	180 m	-
άνοιγμα κύριας δοκού	125 m	108 m	24X5=120 m	140 m	56 m
αποστάσεις μελών	7,3m και 5,3m	9m οριζόντια και 8m κατακόρυφα	6 m	11 m	8 m
επικάλυψη	>7000 πάνελ	7700 m ² PVC	8000 m ² PTFE	5000m ² GRP	>17000 πάνελ

Ο λόγος για τον οποίο τα στάδια Allianz του Τορίνο και του Hong Kong δεν έχουν τιμή στην εξωτερική διάμετρο είναι επειδή έχουν τετράγωνη κάτοψη και όχι κυκλική όπως τα υπόλοιπα.

Αυτό που προκύπτει από τον πίνακα είναι πως η πλειοψηφία των διατομών των μελών που επιλέγονται στα στέγαστρα μεταλλικού φορέα είναι κυκλικής μορφής και οι τιμές κυμαίνονται περίπου από 200 έως 300 χιλιοστά.



Διατομές (www.kxcivileng.gr)

Όσον αφορά το κομμάτι της επικάλυψης παρατηρείται ότι μεταξύ των στεγάστρων αυτών υπάρχει μια σχετική ομοιότητα ως προς τα κυβικά που απαιτούνται να καλυφθούν και αυτό δικαιολογείται από τις παρόμοιες διαστάσεις των συγκεκριμένων γηπέδων. Επιπλέον, στην περίπτωση της αρένας Γκντανσκ η φαινομενικά μεγάλη ποσότητα των πάνελ οφείλεται στην κάλυψη τόσο της οροφής όσο και περιμετρικά των όψεων.

PVC: πολυβινυλοχλωρίδιο, πολυεστερική μεμβράνη

Αδιάβροχα και ανακυκλώσιμα, αντοχή στον εφελκυσμό

PTFE: πολυτετραφθοροαιθυλενίο, τεφλόν

Μεγαλύτερο εύρος αντοχής σε ακραίες θερμοκρασίες

GRP: πλαστικό ενισχυμένο με ίνες γυαλιού

Περιορίζουν τη δημιουργία σκιών και παρέχουν φυσικό φωτισμό

Συμπεράσματα

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, σκοπός αυτής της διπλωματικής είναι η κατηγοριοποίηση, η ανάλυση και η σύγκριση μεταξύ τους, διαφόρων ειδών στεγάστρων μεταλλικού φορέα σε αθλητικές εγκαταστάσεις.

Αρχικά, επισημαίνεται ότι δεν υπάρχει μόνο μία ορθή λύση ως προς την επιλογή ενός συγκεκριμένου τύπου οροφής, ούτε ένας τρόπος σχεδιασμού της. Επομένως η απόφαση για το τι θα κατασκευαστεί και πως, είναι ένας συνδυασμός οικονομικών και άλλων αναγκών, προσαρμοσμένος κλιματολογικά και σχεδιαστικά στην τοποθεσία της κατασκευής.

Η επιλογή και η χρήση ελαφριών υλικών φαίνεται πως μειώνει σημαντικά τα νεκρά φορτία, η ελαχιστοποίηση των οποίων ελαττώνει και τα προβλήματα αστάθειας που τυχόν δημιουργούνται. Με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η αύξηση των ανοιγμάτων, όπου είναι και το ζητούμενο για πολλούς τύπους στεγάστρων.

Από την μεμονωμένη ανάλυση των φορέων που αναφέρθηκαν, η χρήση εφελκυστικών κατασκευών φαίνεται πως είναι οι πιο συνηθισμένες επιλογές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τέτοιου είδους κατασκευές μπορούν να υποστηρίξουν μεγάλα ανοίγματα, ειδικότερα τα τοξωτά ζευκτά καθώς έχουν μεγαλύτερη ακαμψία.

Επίσης από το συγκριτικό πίνακα και από γενικότερα στοιχεία, τα φύλλα επικάλυψης φαίνεται πως καλύπτουν από 5 έως 9 χιλιάδες τετραγωνικά μέτρα. Αν υποθέσουμε ότι η επιφάνεια των στεγάστρων κατά μέσο όρο κυμαίνεται από 25 έως 50 χιλιάδες τετραγωνικά μέτρα, τότε το ποσοστό κάλυψης είναι πολύ μικρό. Ενδεικτικά στην περίπτωση του σταδίου Wembley, οι τιμές κάλυψης είναι 5 στα 50 χιλιάδες τετραγωνικά μέτρα δηλαδή μόλις το 1/10.

Η αιτία που αποφεύγεται συνήθως η στέγαση εξολοκλήρου του σταδίου όπου φιλοξενούνται ποδοσφαιρικά ή παρόμοια αθλήματα είναι πως υπάρχει άμεση ανάγκη ηλιακού φωτισμού επειδή ο αγωνιστικός χώρος αποτελείται από χλοοτάπητα. Ενώ στις υπόλοιπες εγκαταστάσεις που ο αγωνιστικός χώρος δεν έχει χλοοτάπητα και κατά συνέπεια οι ανάγκες είναι διαφορετικές, γίνεται χρήση κλειστών οροφών.

Με την ολοένα αλλαγή του κλίματος και των όποιων φυσικών φαινομένων ενδέχεται να επιφέρει, η αναζήτηση λύσεων πιθανόν να στραφεί σε πιο θωρακισμένα συστήματα όπως τις σύνθετες και αναδιπλούμενες στέγες.

Η δυνατότητα των άμεσων γεωμετρικών αλλαγών σε συνδυασμό με την παρακολούθηση της δομικής συμπεριφοράς μέσω του παραμετρικού μοντέλου, βελτιστοποιεί τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Από την άλλη, μέσω του μοντέλου δομικών πληροφοριών εξασφαλίζεται στους μηχανικούς μια πιο λεπτομερή ανάλυση ολόκληρης της κατασκευής.

Τέλος, η ζήτηση για καινοτόμα συστήματα στεγάστρων με γνώμονα την απόδοση, φαίνεται πως έχει αναγκάσει τους σχεδιαστές να αναζητούν νέες διαδικασίες, οι οποίες θα επεκτείνουν τις δυνατότητές τους πέρα από τα ήδη υπάρχοντα προγράμματα τρισδιάστατης μοντελοποίησης.

Βιβλιογραφία

1. Trahair N. S., Bradford M. A., Nethercot D. A., (Spon , c2001). The Behaviour and Design of Steel Structures to BS5950
2. Τσινίκας Ν., (1993). «ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ»
3. Ζαχαριάδης Άγγελος, Ιούλιος 2004. «ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ»
4. Αθανασόπουλος Γ. Χρήστος, Νοέμβριος 2010. «κατασκευή κτιρίων σύνθεση και τεχνολογία»
5. Massimo Majowiecki 2011, «The Stuctural Architecture of the new Juventus Stadium»
6. Μπαϊμπάς Γιάννης «Στάδιο Ειρήνης και Φιλίας στο Νέο Φάληρο»
7. Τσώλης Ν., διπλωματική εργασία: «Μορφολογία στεγάστρων μεγάλων ανοιγμάτων»
8. Θεόδωρος Ν. Μαργιώλας, διπλωματική εργασία: «Σχεδιασμός Στεγάστρου Σταδίου με το Σύστημα θλιβόμενων – Εφελκυσόμενων Δακτυλίων»
9. «Μηχανικοί Μελετών και Εφαρμογών Α.Ε.»
10. Σταυρίδης Λεωνίδας Θ., Μέρος Α' (Πανεπιστημιακή έκδοση) «Στατική των δομικών φορέων»
11. Images Publishing Group «Sporting Spaces, A Pictorial review of sporting facilities» Ιανουάριος 1999, Images Publishing Dist Ac (1η έκδοση)
12. Images Publishing Group «Sporting Spaces, A Pictorial review» Ιανουάριος 1999, Images Publishing Dist Ac (2η έκδοση)
13. Barclay F. Gordon, Ιούλιος 1983, «Olympic Architecture: Building for the Summer Games», εκδ. John Wiley & Sons Inc.
14. Χ. Κ. Μπανιωτόπουλος, 2003. «Συνδέσεις Μεταλλικών Κατασκευών»

Διαδικτυακές πηγές

- 1.1 https://continuingeducation.bnppmedia.com/article_print.php?C=2357&L=358
- 1.2 <https://structural.community/articles/advantages-of-steel-construction/>
- 1.3 <https://www.redalyc.org/jatsRepo/1936/193660402011/html/index.html>
- 1.4 <https://static.eudoxus.gr/books/28/chapter-9628.pdf>

- 2.1 <https://docplayer.gr/amp/4053147-Statiko-systema-metallikoy-stegastroy-neoy-gipedoypanathinaikoy-sto-votaniko.html>
- 2.2 <http://www.dae.gr/css/default/templates/project/article.php?lng=1&cat=10&doc=29>
- 2.3 https://www.majowiecki.com/userfiles/Pubblicazione/files/Articoli/2010_-_Structural_design_of_the_new_football_stadium_of_Panathinaikos_F.C._in_Votanikos_Greece.pdf
- 2.4 <https://archello.com/story/131035/attachments/drawings/3>

- 3.1 https://www.majowiecki.com/userfiles/Progetto/files/@singleFileGallery/2011_-_The_structural_architecture_of_the_new_Juventus_stadium.pdf
- 3.2 https://www.majowiecki.com/userfiles/Progetto/files/@singleFileGallery/2010_-_IABSE_-_The_new_Juventus_Stadium_in_Turin.pdf
- 3.3 https://www.majowiecki.com/userfiles/Pubblicazione/files/Articoli/2010_-_The_new_Juventus_Stadium_in_Turin.pdf
- 3.4 <https://www.artstation.com/artwork/eaVEGX>
- 3.5 <https://iawe.org/Proceedings/5EACWE/127.pdf>

- 4.1 https://www.lusas.com/case/civil/london_olympic_stadium_roof.html
- 4.2 https://en.wikipedia.org/wiki/London_Stadium
- 4.3 https://www.detail.de/en/de_en/london-2012-olympic-stadium-16402
- 4.4 https://www.steelconstruction.info/Olympic_Stadium,_London#:~:text=The%20roof%20covering%20consists%20of,columns%20down%20to%20ground%20level
- 4.5 <https://www.slideshare.net/harshavardhanvanukur/london-olympic-stadium>

- 5 https://www.lsa.org/images/Members/conf_proceedings/lsa_1998/Webb_149b.pdf
- 6.1 <https://www.dezeen.com/2014/03/17/populous-completes-arena-das-dunas-for-fifa-world-cup-2014/>
- 6.2 https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/products/autodesk-revit-family/docs/pdf/Autodesk_BuroHappold_CustomerStory_Letter_en.pdf
- 6.3 <https://m.galeriadaarquitectura.com.br/slideshow/newslideshow.aspx?show=Plantas&idProject=952&index=0>
- 7 <https://www.tensinet.com/index.php/projects-database/projects?view=project&id=3916>
- 8.1 <https://www.designbuild-network.com/projects/wembley/>
- 8.2 <https://ae390wembleystadium.wordpress.com/struc/structural-calculations/>
- 9 <https://www.olympiacosbc.gr/el/team-el/%CE%BA%CE%B1%CE%B5-%CE%BF%CE%BB%CF%85%CE%BC%CF%80%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C%CF%82/sef-el.html>
- 10.1 <https://publications.fifa.com/en/football-stadiums-guidelines/general-process-guidelines/design/using-technology/>
- 10.2 https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%AD%CE%BB%CE%BF_%CE%B4%CE%BF%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CF%8E%CE%BD_%CF%80%CE%BB%CE%B7%CF%81%CE%BF%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%B9%CF%8E%CE%BD
- 10.3 <https://www.steelconstructiondetailing.com/steel-detailing-services.html>

- 11.1 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/stco.201300001>
- 11.2 <https://en.wikiarquitectura.com/building/pge-arena-gdansk/>
- 11.3 file:///C:/Users/PADA_Student/Downloads/IABSE2012-Zoltowski-1.pdf
- 11.4 https://www.researchgate.net/publication/263575130_Roof_over_PGE_Arena_in_Gdansk_Review_of_Structure_and_Monitoring_System/link/554e2d9f08ae12808b364ee4/download
- 11.5 http://stadiumdb.com/stadiums/pol/arena_gdansk
- 11.6 <https://www.tekla.com/us/resources/references/the-pge-arena-in-gdansk-a-sports-arena-modeled-using-tekla-bim-software-2>

- 12.1 <https://www.scribd.com/document/245916719/Parametric-Design-Master-Model>
- 12.2 <http://papers.cumincad.org/data/works/att/ijac20086404.content.pdf>
- 12.3 <http://ikee.lib.auth.gr/record/134260/files/GRI-2014-12285.pdf>

- 13.1 https://www.researchgate.net/publication/265403891_Aviva_Stadium_A_Parametric_Success
- 13.2 https://www.researchgate.net/publication/295305865_Aviva_Stadium_-_The_use_of_parametric_modelling_in_structural_design
- 13.3 https://people.bath.ac.uk/ps281/research/publications/venice_preprint.pdf
- 13.4 https://www.academia.edu/15836834/On_the_Benefits_of_a_Parametric_Approach_to_Stadium_Design

- 14.1 <http://www.arch2o.com/case-study-computational-design-hangzhou-tennis-center/>
- 14.2 <https://www.dezeen.com/2020/03/05/hangzhou-olympic-sports-center-nbbj-chinese-architecture/>
- 14.3 <https://www.istructe.org/structuralawards/previously-shortlisted/long-span-structures/2019/hangzhou-olympic-tennis-centre>
- 14.4 <http://www.theprovingground.org/2009/12/parametric-strategies-in-design-of.html>
- 14.5 https://issuu.com/nmillerarch/docs/hz_tennis_issuu/1
- 14.6 <http://www.jzjgxb.com/EN/abstract/abstract4460.shtml>
- 14.7 <https://www.archdaily.com/940104/hangzhou-olympic-sports-center-nbbj>