

ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ & ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΜΦΙΘΕΑΤΡΟΥ ΣΤΗ ΘΕΟΛΟΓΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΤΗΣ ΧΑΛΚΗΣ

Αρης Αβδελάς

Καθηγητής

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

e-mail: avdelas@civil.auth.gr

Κωνσταντίνος Βαζούρας

Διπλ. Πολ. Μηχανικός, MSc, Υποψήφιος Διδάκτωρ

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

e-mail: vazouras@civil.auth.gr

Χριστίνα Δόδουρα

Διπλ. Πολ. Μηχανικός, MSc

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

e-mail: chdodoura@yahoo.co.uk

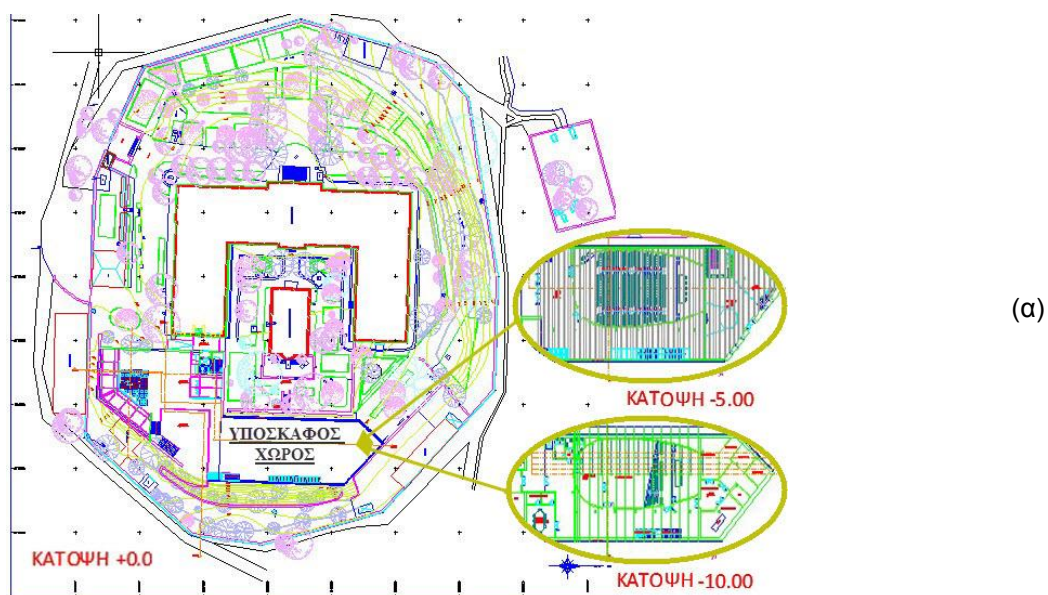
1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πλαίσιο ερευνητικού προγράμματος για την διερεύνηση μεθόδων αποκατάστασης του ιστορικού κτηρίου της Ιεράς Θεολογικής Σχολής της Χάλκης, ενός από τα Πριγκηπόνησα στη Θάλασσα του Μαρμαρά νότια της Κωνσταντινούπολης και στη βάση σχεδιασμού νέων κτισμάτων, ανατέθηκε σε ερευνητική ομάδα του Α.Π.Θ. ο σχεδιασμός αμφιθεάτρου, πρωτοποριακής αρχιτεκτονικής και ικανής χωρητικότητας, σε εσωτερικό, υπόσκαφο χώρο, εκτός του ιστορικού κτηρίου. Το αμφιθέατρο διαθέτει εσωτερική διαμήκη διάσταση περί τα 27 m, ενώ το εγκάρσιο άνοιγμά του είναι της τάξεως των 8 έως 13 m, με απαίτηση για πλήρη απουσία υποστυλωμάτων στο εσωτερικό του. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν ως κύριοι φορείς του δαπέδου κυψελοειδείς (castellated) δοκοί ανά 2 m, επάνω στις οποίες προσαρτήθηκε η κλιμακωτή διαμόρφωση δεκατεσσάρων αναβαθμών από μεταλλικές κοιλοδοκούς. Η υπερκείμενη κατασκευή στηρίχθηκε σε τοξωτούς ειδικά καμπυλωμένους κύριους μεταλλικούς φορείς ανά 2 m, πλευρικά υποστηριζόμενους από, επίσης καμπύλο, μεταλλικό περίβλημα επικάλυψης. Για τη θεμελίωση της όλης κατασκευής δημιουργήθηκε περιμετρικό τοίχωμα από οπλισμένο σκυρόδεμα, με νευρώσεις στα σημεία έδρασης των κύριων φορέων. Στην εργασία αυτή, παρουσιάζονται η διαδικασία σχεδιασμού, οι περιορισμοί, οι ειδικές διαμορφώσεις και οι λύσεις που εφαρμόστηκαν με ιδιαίτερο τεχνικό ενδιαφέρον.

2. ΓΕΝΙΚΑ

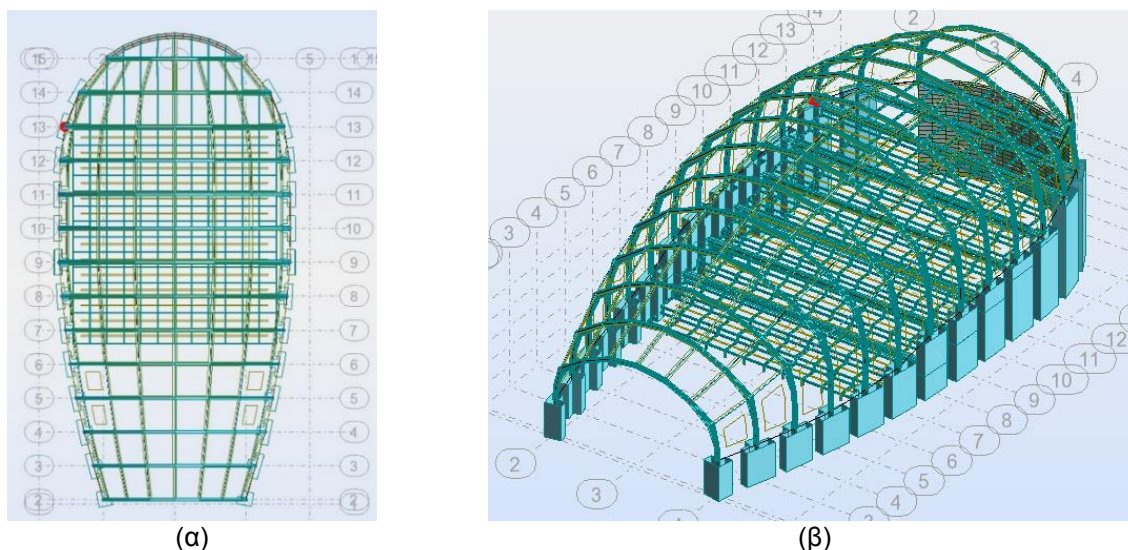
Η Ιερά Θεολογική Σχολή της Χάλκης, αποτελούσε την κύρια θεολογική σχολή του Οικουμενικού Πατριαρχείου της Κωνσταντινούπολης, πριν σταματήσουν τη λειτουργία της οι τούρκικες αρχές το 1971. Ένα από τα Πριγκηπονήσια, το νησί Χάλκη, στεγάζει το σύνολο των κτηρίων και εγκαταστάσεων της. Το 1894, στο σεισμό που συνέβη στη Κωνσταντινούπολη, η Σχολή υπέστη μεγάλες φθορές, με συνέπεια τη διακοπή της λειτουργίας της, για την εκτέλεση εργασιών επισκευής και αναστήλωσης. Η τελευταία σημαντική παρέμβαση στο κτήριο έγινε σε διαθρωτική ανακαίνιση κατά τη δεκαετία του 1950.

Η κατασκευή αμφιθεάτρου εντάσσεται στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου για πρόταση αποκατάστασης της Θεολογικής Σχολής, το σύνολο του οποίου διενεργήθηκε από ομάδα επιστημονικού προσωπικού του ΑΠΘ. Η δομή του αποτελείται από μεταλλικό φέροντα οργανισμό με μεταλλική επικάλυψη. Το αμφιθέατρο ενσωματώθηκε σε μεγάλο διώροφο υπόσκαφο κτηριακό συγκρότημα, η οροφή του οποίου ισοσταθμεί με το περιβάλλον έδαφος (± 0.00), ενώ το δάπεδο του κατώτερου ορόφου βρίσκεται σε στάθμη -10.00 m (Σχ.1). Το αμφιθέατρο διαθέτει ιδιαίτερη αρχιτεκτονική, με τρισδιάστατη μικρή καμπύλη, σχηματίζοντας εξωτερικά το «σκάφος» μουσικού οργάνου, εντός του οποίου θα διαμορφωθεί ο κύριος χώρος των εκδηλώσεων, με ειδικές απαιτήσεις ακουστικής και μικρός υποκείμενος βοηθητικός χώρος, κάτω από τη επιφάνεια των αναβαθμών.



Σχ. 1 Ενδεικτική Κάτοψη (α) και Τομή (β) του χώρου της Σχολής & του Αμφιθεάτρου

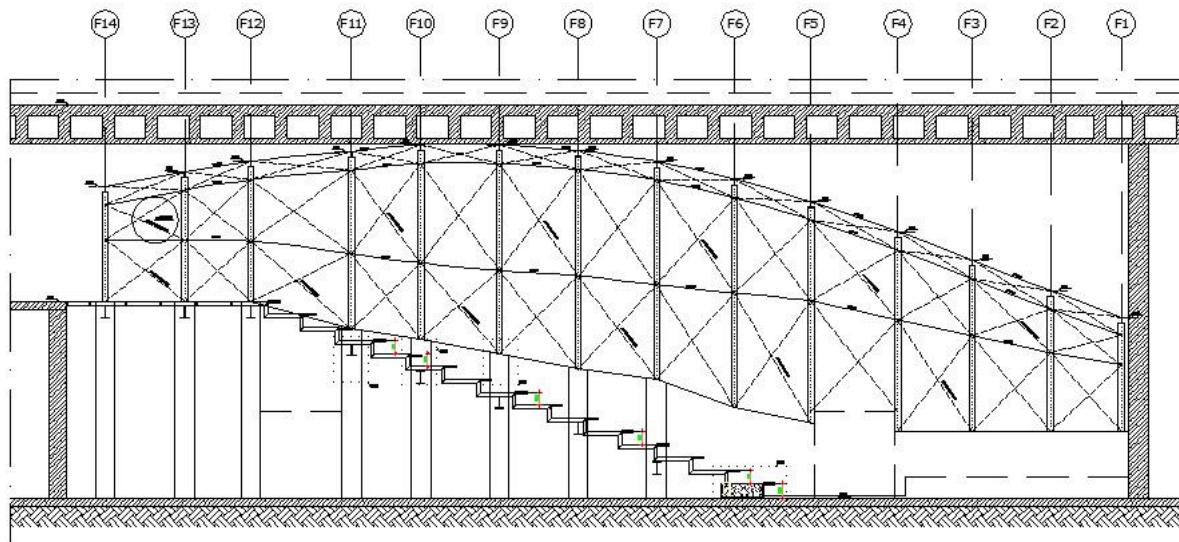
Για τον σχεδιασμό του μεταλλικού αμφιθεάτρου του υπόσκαφου κτιριακού συγκροτήματος χρησιμοποιήθηκε σκυρόδεμα ποιότητας C25/30, δομικός χάλυβας S275 και χάλυβας οπλισμού B500C. Οι κανονισμοί που λήφθηκαν υπόψη κατά τον σχεδιασμό είναι ο Τουρκικός Κανονισμός Φορτίσεων Δομικών Έργων, ο Τουρκικός Αντισεισμικός Κανονισμός (2007) και οι Ευρωκώδικες 1, 2, 3 και 8. Οι δράσεις που ασκούνται στην κατασκευή είναι το ίδιο βάρος όλων των μελών του φέροντος οργανισμού, πρόσθετο μόνιμο φορτίο $1,5 \text{ KN/m}^2$ λόγω των επιστρώσεων στα δάπεδα των χώρων της αίθουσας αμφιθεάτρου, παράλληλα με κινητό φορτίο $5,0 \text{ KN/m}^2$ και συγκεντρωμένο φορτίο $Q_k=4,0 \text{ kN}$ για τοπικούς ελέγχους (EN1991 / κατηγορία C2- χώρος συγκέντρωσης κοινού). Η οροφή του μεταλλικού αμφιθεάτρου είναι προσβάσιμη για τυχόν επισκευές αλλά και πιθανές αναρτήσεις. Για το λόγο αυτό το κινητό φορτίο στην περιοχή αυτή λήφθηκε $2,0 \text{ KN/m}^2$. Ωστόσο, στη μελέτη δεν ελήφθησαν υπόψη δράσεις χιονιού, ανεμοφόρτισης και θερμοκρασιακές διαφορές, επειδή το αμφιθέατρο βρίσκεται σε εσωτερικό χώρο. Χρησιμοποιώντας τα προαναφερθέντα στοιχεία και λαμβάνοντας υπ' όψη τους αντίστοιχους κανονισμούς τεχνικών έργων, ελέγχθηκε και αξιολογήθηκε η ένταση που αναπτύσσεται στον φέροντα οργανισμό του αμφιθεάτρου. Για τον σκοπό αυτό διαμορφώθηκε λεπτομερές στατικό προσομοίωμα του φέροντος οργανισμού αποτελούμενο από γραμμικά και πεπερασμένα στοιχεία στο λογισμικό Autodesk Robot Structural Analysis 2014. Για την προσομοίωση του χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος επίπεδων (plane) πεπερασμένων στοιχείων με ομοιογενές ισότροπο υλικό, για το περιμετρικό τοίχωμα (σκυρόδεμα) και το μεταλλικό περίβλημα (χάλυβας), ενώ τα υπόλοιπα χαλύβδινα μέλη προσομοιώθηκαν με ραβδωτούς φορείς (linear members). Συγχρόνως έγινε ιδιαίτερα λεπτομερής υπολογισμός της έντασης και παραμόρφωσης της οροφής του αμφιθεάτρου. Τα συμπεράσματα που σχετίζονται με τη στατική επάρκεια του φέροντος οργανισμού προήλθαν από την σύγκριση των αποτελεσμάτων έντασης και παραμόρφωσης του φέροντος οργανισμού με τις διαθέσιμες αντοχές των υλικών και δομικών στοιχείων. Παράλληλα, έγινε θεώρηση αμελητέας επίδρασης των εκκεντροτήτων των χαλύβδινων μελών στο στάδιο αυτό της μελέτης, ενώ λοιπές κατασκευές (υπόστρωμα κοιτόστρωσης, υπόλοιπος υπόσκαφος φορέας), αποτέλεσαν αντικείμενο σχεδιασμού άλλων ειδικευμένων μηχανικών της ερευνητικής ομάδας.



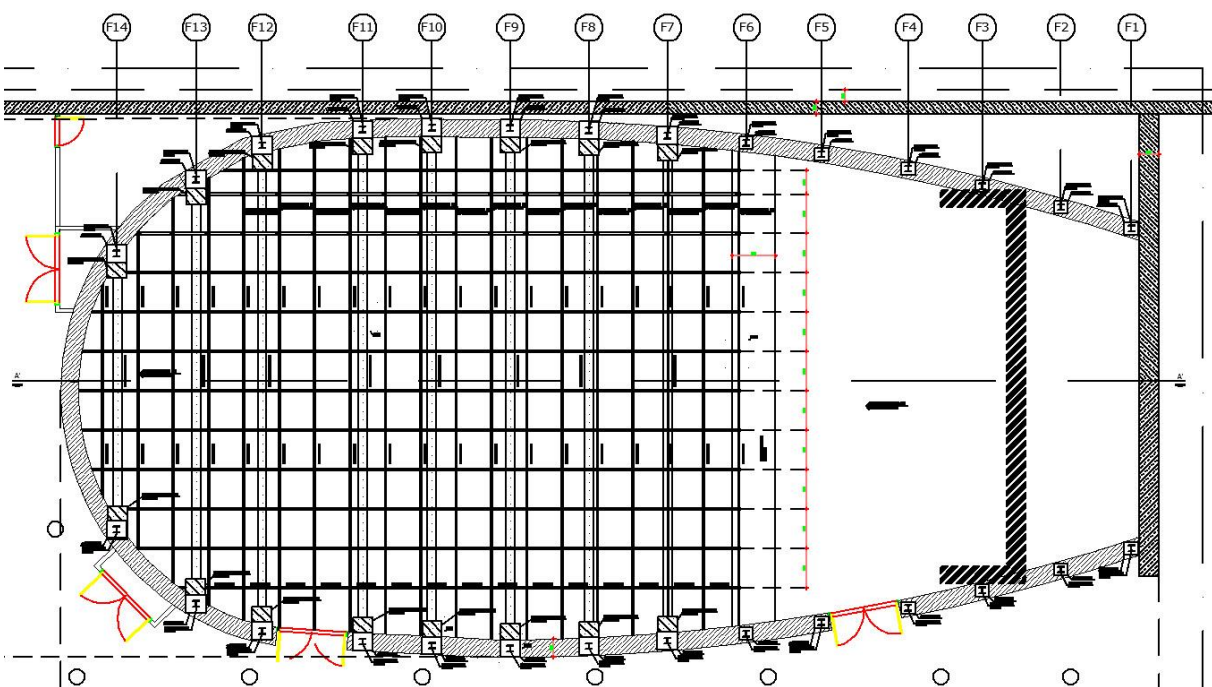
Σχ. 2 Προσομοίωση του φορέα του Αμφιθεάτρου με το λογισμικό Autodesk RSA 2014

3. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ – ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ

Η καμπυλωτή διάταξη του αμφιθεάτρου, χωρητικότητας 250 καθήμενων, αλλά και η ενσωμάτωσή του σε ήδη οροθετημένο χώρο τόσο σε ύψος, από την πλάκα του περιβάλλοντος χώρου της Σχολής, όσο και σε πλάτος, από τους ήδη διαμορφωμένους χώρους λειτουργίας του υπόσκαφου κτηρίου, αποτέλεσε ιδιαίτερη πρόκληση κατά τον σχεδιασμό. Παράλληλα, οι απαιτήσεις για ομαλή μετάδοση του ήχου επέβαλλαν καμπύλη, χωρίς γωνίες, διαμόρφωση στο εσωτερικό, ενώ υπήρχαν συγκεκριμένες οδηγίες για την τοποθέτηση ανοιγμάτων εισόδου-εξόδου, οι οποίες μετέβαλλαν ελαφρώς τον κάρναβο.



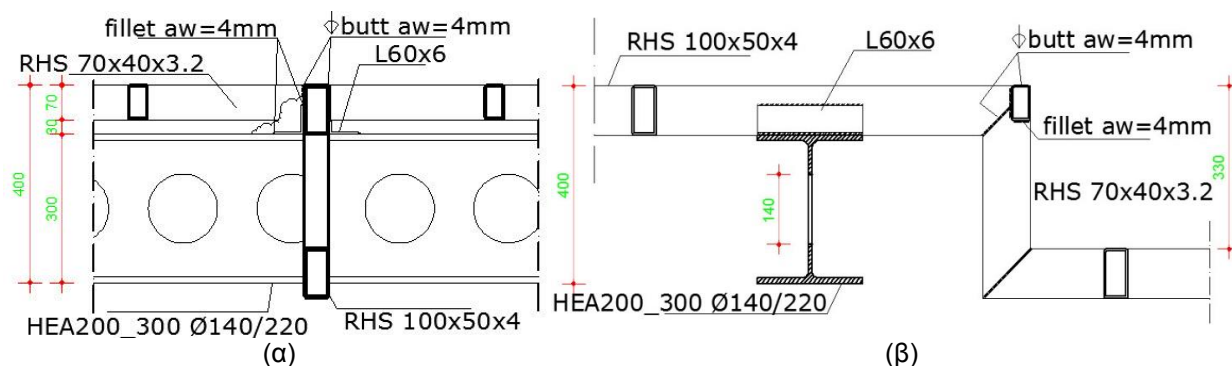
Σχ. 3 Τυπική όψη του αμφιθεάτρου στον υπόσκαφο χώρο



Σχ. 4 Κάτοψη του αμφιθεάτρου και χώροι εισόδου-εξόδου

4. ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΑΠΕΔΟΥ

Ο φορέας του δαπέδου αποτελείται από κλιμακωτής δομής μεταλλική κατασκευή, η οποία παραλαμβάνει τα φορτία λειτουργίας του αμφιθεάτρου (επίστρωση δαπέδου, καθίσματα, θεατές). Η παραλαβή των φορτίων γίνεται από κλιμακωτούς συγκολλητούς φορείς, οι οποίοι διατάσσονται ανά 1 m, διατομής RHS100x50x4. Εγκάρσια σε αυτούς συνδέονται, ανά στάθμη κλίμακας, 2 συνδετήριες δοκοί θεωρητικού μήκους 1 m (μία ανά «σπάσιμο» του φορέα, διατομής RHS70x40x3.2. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ο κύριος φορέας του δαπέδου, μέσω του οποίου γίνεται η παραλαβή των φορτίων σε κάνναβο 1 m x 1 m. Δυσμενέστερες από πλευράς σχεδιασμού ήταν οι διατομές του πρώτου αναβαθμού, με συνέπεια, και για βέλτιστη ευστάθεια, να αντικατασταθούν από αναβαθμό σκυροδέματος, με κατάλληλη διαμόρφωση.



Σχ. 5 Σύνδεση των κύριων δοκών του φορέα του δαπέδου με το περιμετρικό τοίχωμα

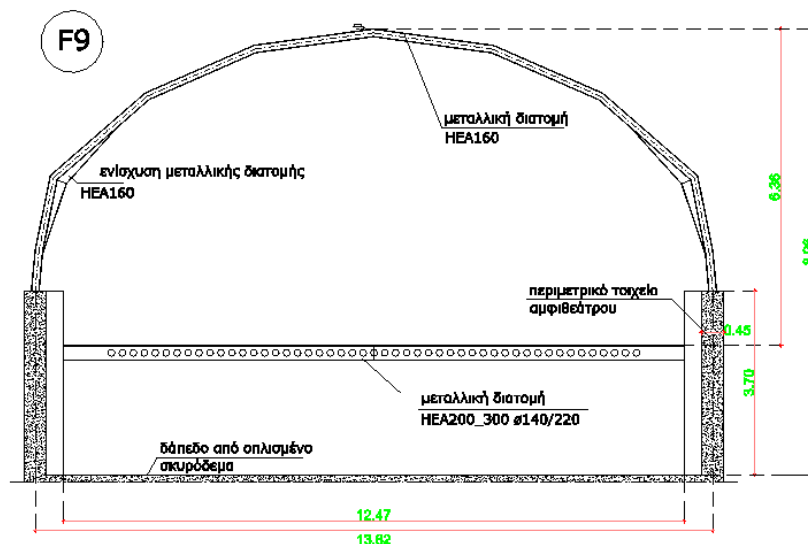
Η έδραση του φορέα του δαπέδου γίνεται με δύο τρόπους:

- Άμεσα: με θεμελίωσή του με κλιμακωτού φορέα στη κατώτερη και ανώτερη στάθμη, του δε εγκάρσιου περιμετρικά σε διακριτά σημεία.
- Έμμεσα: μέσω υποστήριξης από κυψελοειδείς δοκούς (castellated beams) διατομής HEA220_300 με κυκλική οπή διαμέτρου 14εκ./ καθαρή απόσταση οπών 8εκ. / με συμπαγές το τελευταίο 1m του κορμού της δοκού εκατέρωθεν, οι οποίες βρίσκονται κάτω από τον κύριο φορέα του δαπέδου, ανά 2μ, σε ύψη που ακολουθούν την διαμήκη κλιμακωτή δομή του. Το μέσο μήκος τους είναι της τάξης των 10 m και διατρέχουν όλη την εγκάρσια διάσταση του αμφιθεάτρου από το 7ο πλαίσιο οροφής και πάνω (συνολικά 8 δοκοί).

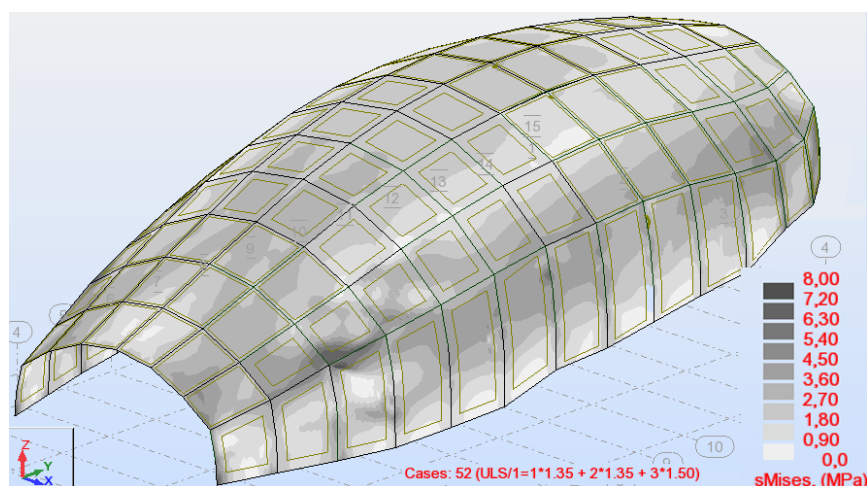
5. ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ - ΠΕΡΙΒΛΗΜΑ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ

Η στέγαση του αμφιθεάτρου αναλαμβάνεται από μεταλλικό φορέα «θολωτών» πλαισίων, διαφορετικών διαστάσεων, διατομής HE 160A, τα οποία διατάσσονται ανά 2 m και σε συνδυασμό με την ανύψωση του περιμετρικού τοιχείου διαμορφώνουν τον φορέα της στέγασης. Στους φορείς αυτούς και σε διακριτά σημεία τοποθετούνται ενισχύσεις, με ρόλο αφενός την ενίσχυση της μεταβατικής περιοχής του πλαισίου από υποστύλωμα σε δοκό, αφετέρου να αμβλύνει τις γωνίες συναρμογής στα σημεία αυτά δημιουργώντας καμπύλη επιφάνεια στο εσωτερικό, με καλύτερες ιδιότητες ακουστικής. Παράλληλα, η εξωτερική επικάλυψη αποτελείται από πτυχωτό χαλυβδόφυλλο, πάχους 5 mm, παρέχοντας επαρκή πλευρική υποστήριξη στα πλαίσια. Οι πτυχές ανά χαλυβδόφυλλο έχουν χιαστί μορφή,

βελτιώνοντας τη συμπεριφορά του πλαισίου σε οριζόντιες ωθήσεις, αλλά και τη συμπεριφορά του σε λυγισμό.



Σχ. 6. Τομή Αμφιθεάτρου (περιοχή μέσου): Θολωτό πλαίσιο και δοκός δαπέδου

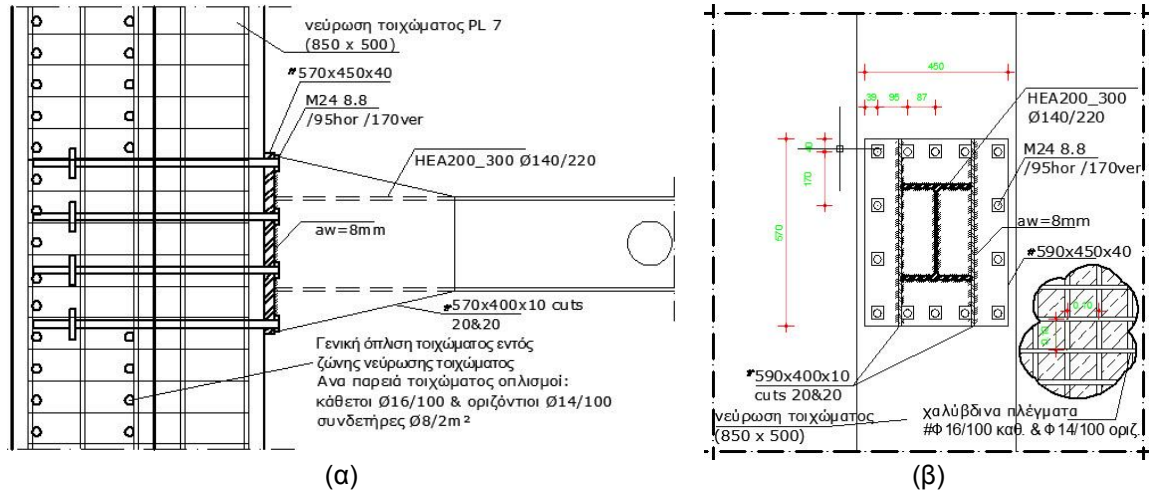


Σχ. 7. Δυσμενέστερες τάσεις Von Mises στο φορέα του περιβλήματος στο μέσο του πάχους

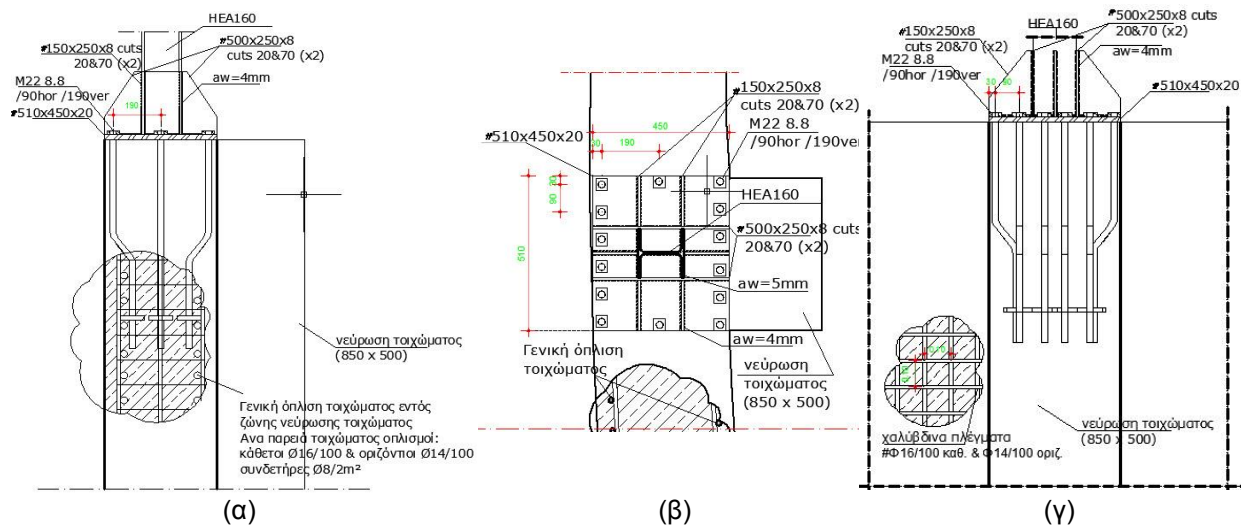
6. ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ - ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ

Ιδιαίτερες απαιτήσεις δημιουργήθηκαν για το καμπυλωμένο περιμετρικό τοίχωμα, πάχους 0,45 m, το οποίο πέρα από το ρόλο περιμετρικού πετάσματος αποτελεί και το στοιχείο στο οποίο εδράζονται τα πλαίσια στέγασης και οι κυψελοειδείς δοκοί του δαπέδου. Επιπλέον, παρέχει πλευρική περιμετρική υποστήριξη στον κλιμακωτό φορέα του δαπέδου. Το αποτέλεσμα ήταν η διαστασιολόγησή του να μη γίνει με βάση τα κλασικά όρια τάσεων των φορέων από σκυρόδεμα, τα οποία δεν αποτελέσαν κρίσιμο μέγεθος στη συγκεκριμένη κατασκευή, αλλά από τις απαιτήσεις επαρκών διαστάσεων για παροχή αγκύρωσης των συνδέσεων θεμελίωσης. Παράλληλα, για τον λόγο αυτό, δημιουργήθηκαν ειδικές ενισχυμένες νευρώσεις, πάχους 0,35 m, στο περιμετρικό τοίχωμα, εσωτερικά στα σημεία σύνδεσης με τους

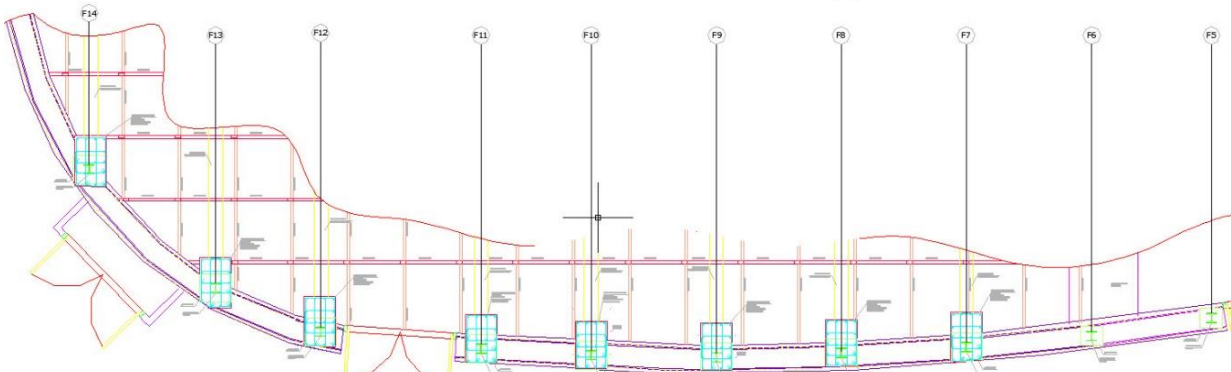
χαλύβδινους φορείς. Κατά συνέπεια, στο σκυρόδεμα έχουμε τον σχηματισμό ισχυρά οπλισμένων ψευδο-υποστυλωμάτων διατομής 0,85 x 0,50 m, ενώ τα ενδιάμεσα διαστήματα μεταξύ τους οπλίστηκαν κυρίως με βάση τις απαιτήσεις του Ευρωκώδικα 2 για τα ελάχιστα όρια οπλισμού.



Σχ. 8 Σύνδεση των κύριων δοκών του φορέα του δαπέδου με το περιμετρικό τοίχωμα



Σχ. 9 Σύνδεση των κύριων δοκών του υπερκείμενου φορέα στέγασης με το περιμετρικό τοίχωμα



Σχ. 10 Δημιουργία ψευδο-υποστυλωμάτων στο περιμετρικό τοίχωμα

STEEL STRUCTURE AMPHITHEATRE DESIGN IN HOLY SCHOOL OF HALKI

Aris Avdelas

Professor

Aristotle University of Thessaloniki
Thessaloniki, Greece
e-mail: avdelas@civil.auth.gr

Konstantinos Vazouras

Diploma MSc DIC, PhD Candidate
Aristotle University of Thessaloniki
Thessaloniki, Greece
e-mail: vazouras@civil.auth.gr

Christina Dodoura

Diploma MSc DIC,
Aristotle University of Thessaloniki
Thessaloniki, Greece
e-mail: chdodoura@yahoo.co.uk

SUMMARY

In the context of a research project to investigate methods of rehabilitation of the historic building of Holy Theological School of Halki, one of the Princes' Islands south of Constantinople and on the basis of the design of new structures, the design of an indoor, undercover amphitheatre, with innovative architecture, outside of the historic building, were assigned to an AUTH research group. The amphitheatre has an internal longitudinal dimension of about 27 m, while the transverse span is around 8 to 13 m, with the prerequisite of no columns internally. For this reason, castellated floor primary beams on a 2 m grid were used, upon which the tiered configuration of the fourteen steel-hollow-section steps was attached,. The covering-structure consisted of specially curved, arched, steel primary beams also located every 2 m, laterally supported by a curved steel shell coating. Additionally, a reinforced concrete perimeter wall was created, with ribs at the bearing points of the primary beams (i.e. on a 2 m grid) in order to form the foundation area of the steel structure. In this paper, the design process, possible restrictions, specific configurations and the solutions implemented, with particular technical interest, are presented.