

ΟΙ ΦΟΡΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΘΕΑΤΡΟΥ
στο
ΙΔΡΥΜΑ ΜΕΙΖΟΝΟΣ ΕΛΛΗΝΙΣΜΟΥ

Μάνος Σ. Κυριαζής
Πολ. Μηχανικός
Γραφείο Στατικών Μελετών
Κηφισίας 26, Αθήνα 115.26
kyma@otenet.gr

Γεωργία Δ. Μπαχουνζούζη
Πολ. Μηχανικός
Δ. Αθανασίου – Γρίβα 10-14, Καλλιθέα 17675
gbachounzouzi@hotmail.com

Μιχάλης Δ. Μακρυγιάννης
Πολ. Μηχανικός
Ελλησπόντου 3, Περιστερί 12134
mmakryg@hotmail.com

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το θέατρο αναπτύσσεται στο κοίλωμα που βρίσκεται στη νότια πλευρά του 'λόφου-κτιρίου' που στεγάζει το ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ και διαπλέκεται λειτουργικά και δομικά με αυτό. Το εξωτερικό περίγραμμά του δεν έχει σταθερή απόσταση από το κέντρο. Το πλάτος του μεγιστοποιείται στην περιοχή που εφάπτεται με το κτίριο και στη συνέχεια απομειώνεται προοδευτικά. Η σχέση μεταβολής της ακτίνας ως προς την επίκεντρη γωνία είναι γραμμική δηλ. η περιβάλλουσα του περιγράμματος βρίσκεται επί τόξου σπείρας. Οι φορείς των κερκίδων έχουν ακτινικές διευθύνσεις που χωρίζουν την επιφάνεια του θεάτρου σε 30 τομείς. Καθώς οι ακτινικές αποστάσεις του περιγράμματος του θεάτρου συνεχώς μειώνονται, οι απαιτήσεις σε φορείς στήριξης των κερκίδων συνεχώς μεταβάλλονται. Για να καλυφθεί αυτή η απαίτηση προβλέπονται τρεις ομάδες τόξων των οποίων οι στηρίξεις έχουν επίσης διαταχθεί επί τόξων σπείρας. Τα τόξα είναι σύμμικτες διατομές από χάλυβα και σκυρόδεμα με γραμμικά μεταβαλλόμενο το ύψος και το πλάτος της διατομής κατά μήκος των τόξων. Έχουν διαστασιοποιηθεί ώστε να συνεισφέρουν και στην δυστρεψία του κτιρίου του Ευρευνητικού Κέντρου.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το υπαίθριο θέατρο (Φωτ.1, 2) αποτελεί τμήμα του Πολιτιστικού κέντρου "Ελληνικός Κόσμος", σύμφωνα με το master plan που συντάχθηκε από το αρχιτεκτονικό γραφείο

“ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΙΣ”, το οποίο έχει επίσης και την ευθύνη του σχεδιασμού των ως άνω κατασκευών. Από την αρχή τέθηκαν για τους φορείς του θεάτρου πολλαπλοί ρόλοι και αναζητήθηκαν χαρακτηριστικά και ιδιότητες πέρα από την αυτονόητη επάρκειά τους, τόσο για την στήριξη των κερκίδων όσο και των επί αυτών κινητών φορτίων.

Ειδικότερα, οι αρχιτεκτονικές και αισθητικές απαιτήσεις που λήφθηκαν υπόψη είναι οι ακόλουθες:

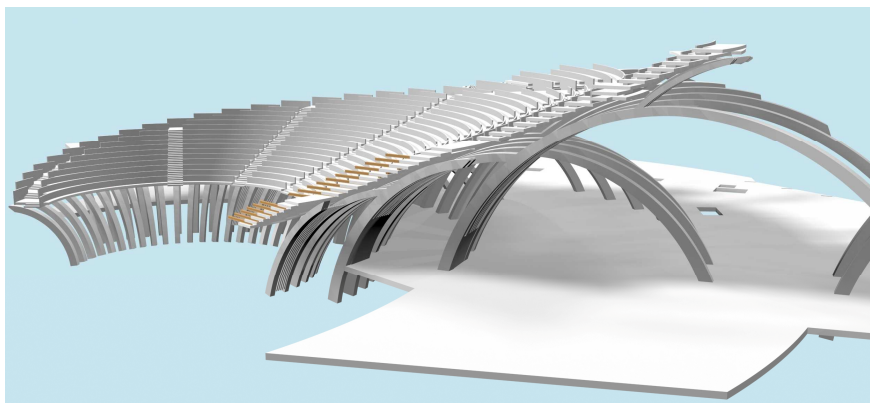
- Οι φορείς να είναι ορατοί και να αποτελούν εικαστικό στοιχείο με μοναδικότητα ως προς το σχήμα και τη σύνθεσή τους.
- Η κάτω περιβάλλουσα των κερκίδων να είναι σε κάθε περίπτωση εφαπτόμενη σε όλες τις ομάδες των τοξοστοιχιών.
- Οι εδράσεις των τοξοστοιχιών να είναι πάνω σε τόξα σπείρας.

Οι λειτουργικές απαιτήσεις εστιάζονται:

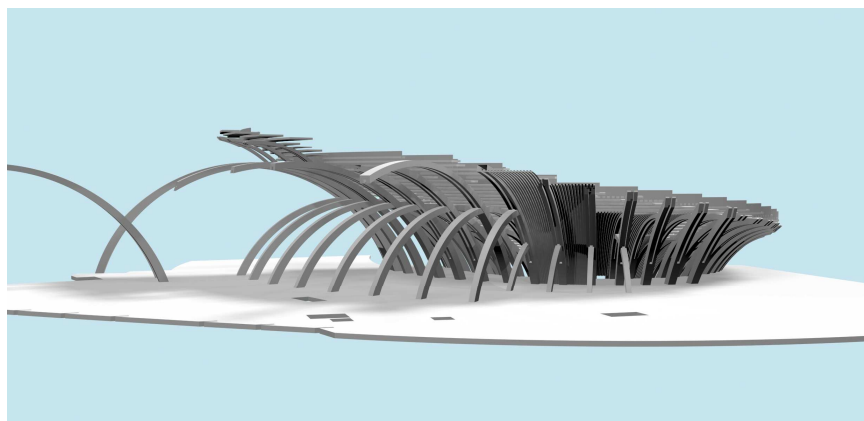
- Ο χώρος κάτω από τα τόξα να είναι αρκετά ευρύς και ψηλός, ώστε να μπορεί να λειτουργήσει ως εκθεσιακός χώρος.

Τέλος οι στατικές απαιτήσεις είναι οι εξής:

- Οι φορείς των τοξοστοιχιών σε όσο τμήμα το θέατρο εφάπτεται στο κτίριο να συμβάλουν στην δυσκαμψία και την δυστρεψία του κτιρίου.
- Ο τρόπος κατασκευής των τόξων να είναι εύκολος, ώστε να διατηρηθεί χαμηλά το κόστος.



Φωτ.1 Γενική άποψη του θεάτρου στο Ίδρυμα Μείζονος Ελληνισμού



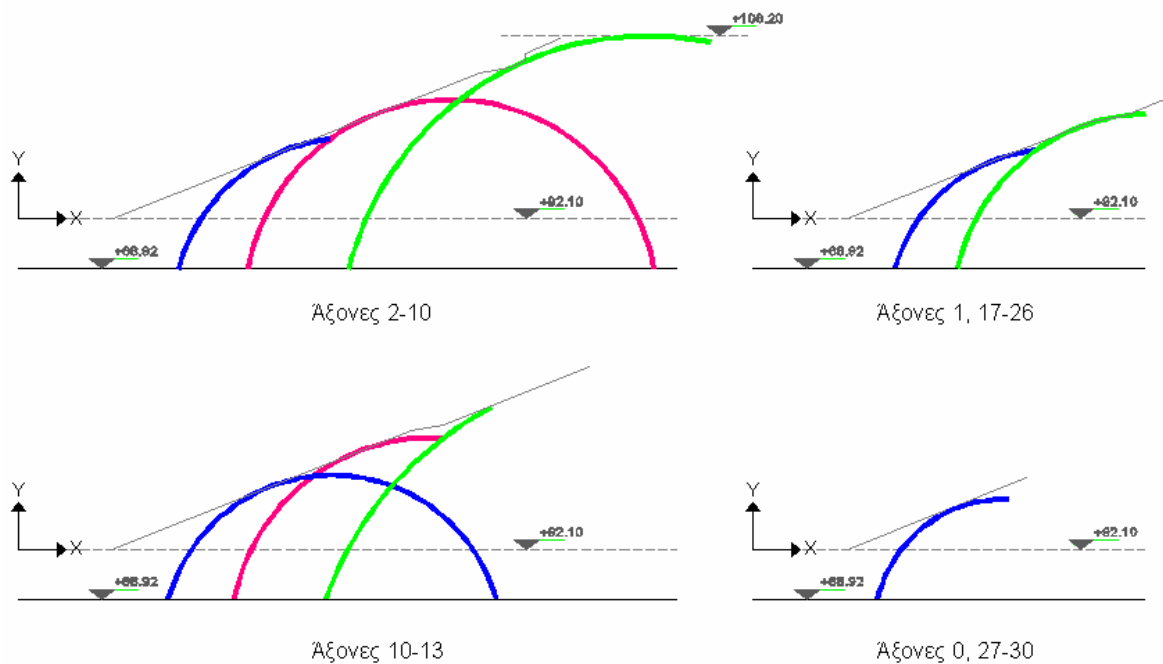
Φωτ.2 Πίσω όψη του θεάτρου στο Ίδρυμα Μείζονος Ελληνισμού

3. ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΞΟΣΤΟΙΧΙΩΝ

Όλο το θέατρο έχει διαιρεθεί σε 30 τομείς μέσω 31 τοξοστοιχιών. Οι τοξοστοιχίες έχουν ακτινικές διευθύνσεις και χωρίζουν την επιφάνεια του θεάτρου σε τομείς με περιεχόμενη γωνία $7,05^\circ$. Η γωνία αυτή, από τον αξ. 10 και μετά, προοδευτικά μειώνεται κατά $0,05^\circ$ για να καταλήξει σε $6,50^\circ$ στον αξ. 26, ενώ από εκεί και έπειτα αυξάνεται κατά $0,5^\circ$ για να καταλήξει στις $7,50^\circ$ στον τελευταίο τομέα του θεάτρου.

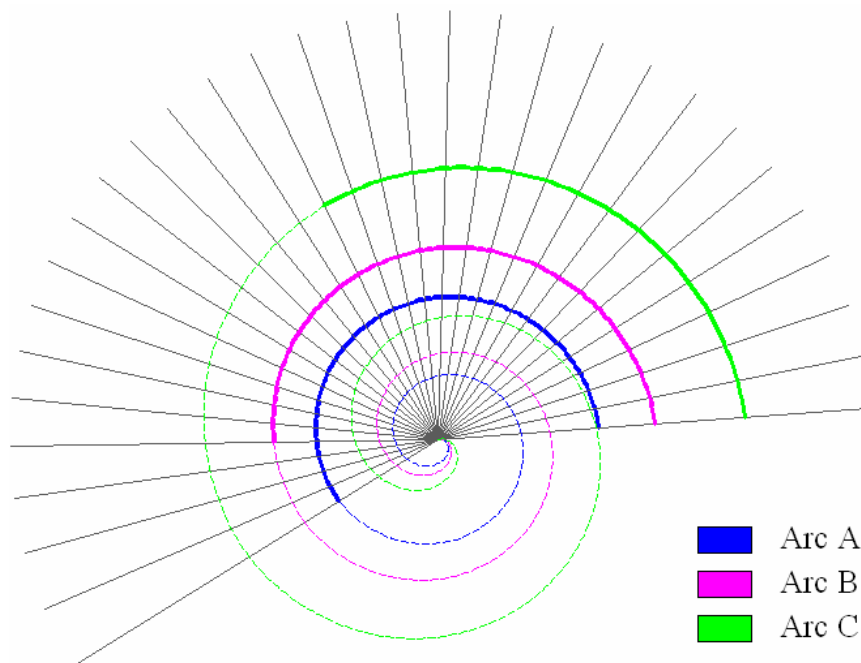
Καθώς οι ακτινικές αποστάσεις του περιγράμματος του θεάτρου συνεχώς μειώνονται, οι απαιτήσεις σε φορείς στήριξης των κερκίδων συνεχώς μεταβάλλονται. Για να καλυφθεί αυτή η απαίτηση προβλέπονται τρεις ομάδες τόξων.

Η ομάδα Α είναι η εγγύτερη προς το κέντρο του θεάτρου και βρίσκεται σε όλους τους άξονες 0~30. Η αμέσως επόμενη ομάδα τόξων Β υπάρχει στους άξονες 1~26. Η απώτερη ομάδα τόξων C προβλέπεται στους αξ. 2~16 και ειδικότερα στους αξ. 3~10 το προς το κτίριο άκρο τους παγιώνεται σε αυτό. Μέσω της σύνδεσης αυτής οι φορείς του θεάτρου συμβάλουν στη δυσκαμψία και δυστρεψία του κτιρίου έναντι σεισμικών φορτίων. Τοπολογικά οι τοξοστοιχίες διακρίνονται σε 4 ομάδες όπως φαίνεται στο Σχ.1.

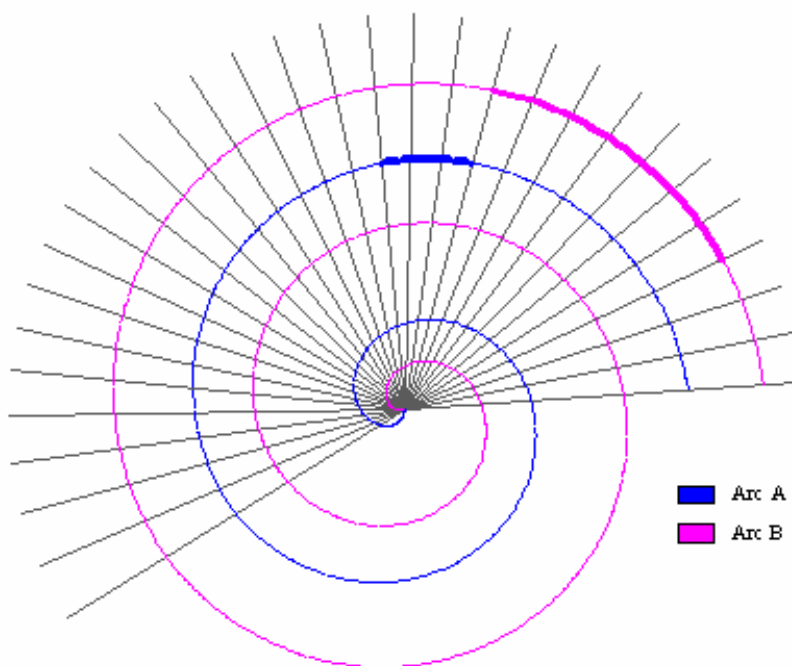


Σχ.1: Ομάδες τοξοστοιχιών

Όλες οι εδράσεις της κάθε ομάδας τόξων βρίσκονται επί τόξων σπείρας με αφετηρία το κέντρο του θεάτρου. Για τις εσωτερικές εδράσεις των τόξων Α, Β, C (Σχ.2), η διαγραφόμενη γωνία από το σημείο αφετηρίας μέχρι το τόξο 1 είναι 4π . Για την εξωτερική έδραση του τόξου Β η διαγραφόμενη γωνία είναι 5π , ενώ για την εξωτερική έδραση του τόξου Α προκύπτει μέχρι το τόξο 10 γωνία $\sim 3\pi$ (Σχ.3).



Σχ.2: Τόξα σπείρας των εσωτερικών εδράσεων των τόξων A, B, C



Σχ.3: Τόξα σπείρας των εξωτερικών εδράσεων των τόξων A και B

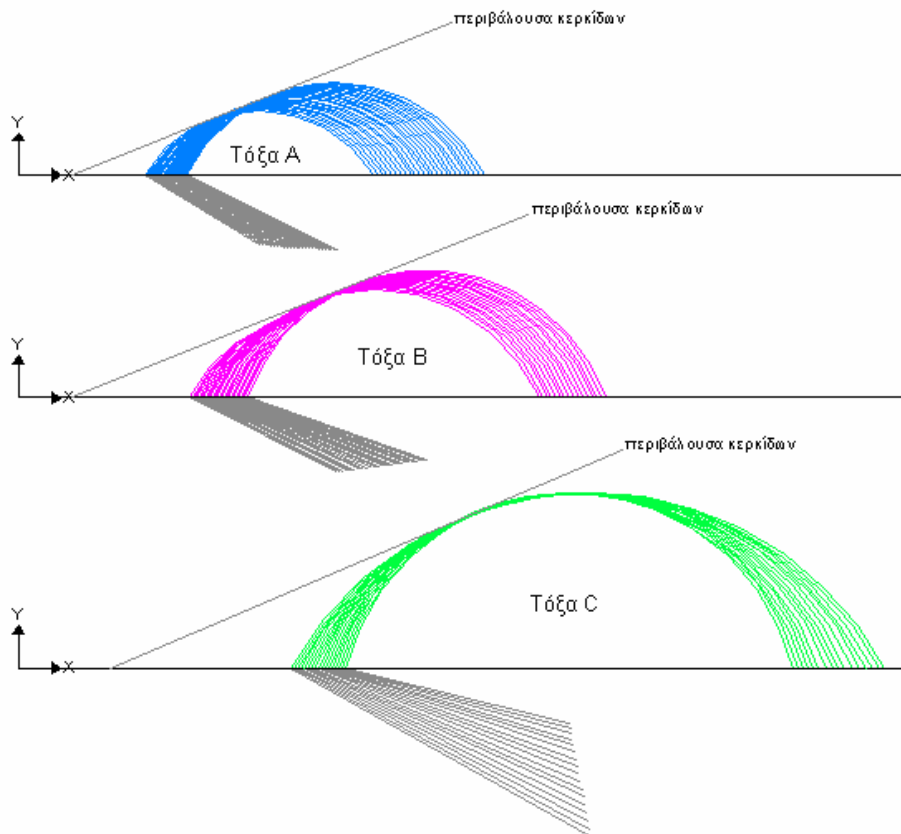
Για να ικανοποιηθούν οι προαναφερθείσες αρχιτεκτονικές και στατικές απαιτήσεις, έγινε επεξεργασία των δεδομένων σε φύλλα εργασίας με απλές μαθηματικές σχέσεις από τις οποίες προέκυψαν:

- Οι σπειροειδείς τροχιές από τις οποίες αναδύονται τα τόξα.

– Τα κέντρα τους και οι ακτίνες καμπυλότητάς τους.
 – Τα τόξα και τα σημεία επαφής τους με την κάτω περιβάλλουσα των κερκίδων.
 Από τη μαθηματική αυτή επεξεργασία δεν εκπληρώθηκαν μόνο οι αρχικοί στόχοι, αλλά προέκυψαν γραμμικά ή ομαλά μεταβαλλόμενα μεγέθη για γεωμετρικά στοιχεία, όπως είναι τα παρακάτω:

- Οι ακτίνες καμπυλότητας
- Τα ζενίθ των τόξων
- Οι αποστάσεις των κέντρων των τόξων από το κέντρο της σπείρας
- Οι εφαπτόμενες των τόξων στα σημεία ανάδυσης

Η ομαλή μεταβολή των παραπάνω στοιχείων φαίνεται στο Σχ.4



Σχ.4: Θέσεις κέντρων - Ακτίνες καμπυλότητας - Τόξα

Οι ακτινικές αποστάσεις των τόξων σε χαρακτηριστικές θέσεις φαίνονται στον Πίνακα 1.

ΑΞΟΝΕΣ	ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΗΣ ΣΠΕΙΡΑΣ				
	Τόξο A ₁	Τόξο A ₂	Τόξο B ₁	Τόξο B ₂	Τόξο C
0	14,047				
1	13,900		19,094	48,922	27,307
2	13,755		18,898	48,546	27,019
9	12,731		17,526	45,922	24,992
10	12,585	35,387	17,330	45,547	24,699
13	12,149	34,253	16,748	44,440	23,838
14	12,007		16,557	44,077	23,557

16	11,723		16,177	43,359	22,999
17	11,586		15,987		
26	10,371		14,327		
27	10,248				
30	9,916				

Πίν.1: Αποστάσεις τοξοστοιχιών από το κέντρο της σπείρας σε χαρακτηριστικούς άξονες

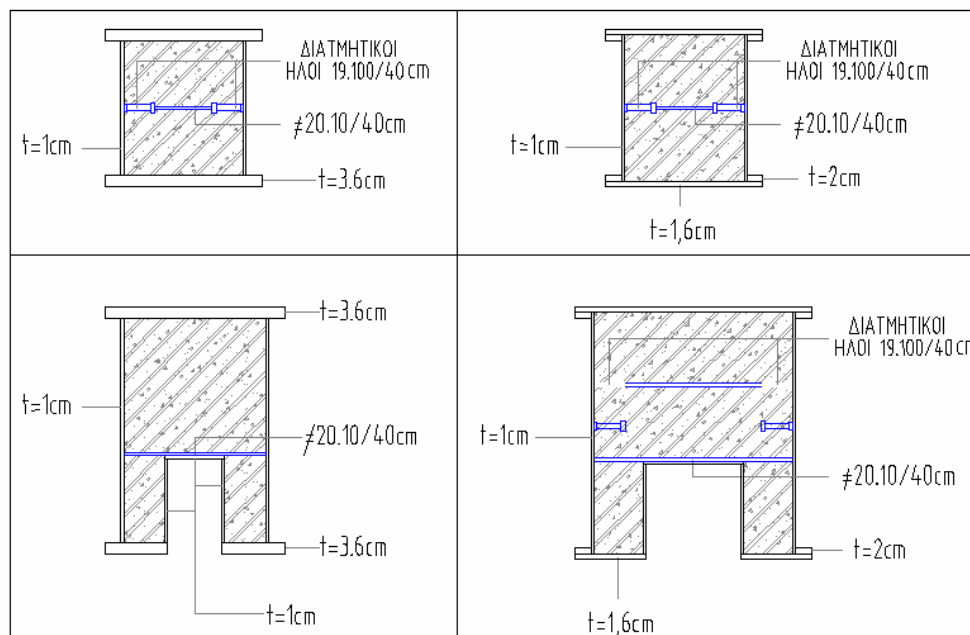
4. ΣΥΝΘΕΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Με το ίδιο πνεύμα αισθητικής, στατικότητας και κατασκευασιμότητας σχεδιάστηκαν και οι διατομές των τόξων. Για κάθε ομάδα τόξων έχουν επιλεγεί σε συγκεκριμένες θέσεις (π.χ. ζενίθ τόξου, σύνδεση με άλλο τόξο) οι διατομές να έχουν καθορισμένες τιμές πλάτους b και ύψους h . Σε όλο το υπόλοιπο τμήμα οι τιμές πλάτους και ύψους μεταβάλλονται γραμμικά με σταθερούς για κάθε ομάδα ρυθμούς μεταβολής. Έτσι τα πέλματα της διατομής σε πλήρη ανάπτυξη είναι ταινίες σε σχήμα τραπεζίου.

Όλες οι διατομές γεμίζονται με σκυρόδεμα C20/25, επιτυγχάνοντας έτσι:

- Μεγαλύτερη αξονική ατένεια που συμβάλλει στην αύξηση της δυστρεψιάς του κτιρίου
- Συντελεστή απόσβεσης ίδιο με του σκυροδέματος $\zeta=5\%$
- Αύξηση του συντελεστή πυραντίστασης

Σε μερικά από τα τόξα προβλέπεται γλυφή στο κάτω πέλμα για την εγκατάσταση εντός αυτών φωτιστικών σωμάτων (Σχ. 5). Τέλος προβλέπονται ενισχυτικές ράβδοι και ελάσματα για αποφυγή τοπικού λυγισμού στα πλευρικά τοιχώματα (Σχ. 5).



Σχ.5: Ενδεικτικές σύμμικτες διατομές τοξοστοιχιών

5. ΑΠΟΔΟΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Η ανάλυση του φορέα του θεάτρου έγινε με τα στατικά προγράμματα MSC Nastran 4.5 και NEXΤ 2006. Οι καταπονήσεις των τοξοστοιχιών είναι γενικά μικρές, με εξαίρεση τα τόξα στους άξονες 3-10, λόγω της σύνδεσης τους με το κτίριο. Ενδεικτικά, παρατίθενται στον Πίνακα 2 τα δυσμενέστερα εντατικά μεγέθη από τους κρίσιμους συνδυασμούς για τα σεισμικά και στατικά φορτία που μεταβιβάζονται από το κτίριο στα τόξα, καθώς επίσης και οι έλεγχοι των διατομών για την τοξοστοιχία του άξονα 10 που είναι η πλέον καταπονούμενη. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο είναι χάλυβας S235 και σκυρόδεμα C25/30.

Θέση	Εμβαδό διατομής		Χαρακτηριστικά διατομής		Εντατικά μεγέθη			Έλεγχος διατομής	
	Aa	Ac	Wx	Wy	Nsd	Msd _x	Msd _y	Αξονική-κάμψη	Capacity
Τόξο Α	146	868	5534	3374	625	275	5	0,394	2,54
Τόξο Β	186,3	1656	9986	5498	-1750	1100	10	0,729	1,37
Τόξο C	200,8	1412	7800	7944	-2285	850	30	0,82	1,22

Πίν. 2: Εντατικά μεγέθη και έλεγχος διατομής τόξων Α, Β, C στον άξονα 10 του θεάτρου.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η στενή συνεργασία μεταξύ αρχιτεκτόνων μηχανικών και πολιτικών μηχανικών μπορεί να οδηγήσει στη διαμόρφωση φορέων που συνδυάζουν την υψηλή αισθητική με τη στατική επάρκεια.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 1
- [2] ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 3
- [3] ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 4
- [4] Ιωάννης Βάγιας, “Σύμμικτες κατασκευές από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα”
- [5] Βάγιας, Ερμόπουλος, Ιωαννίδης, “Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα”

**THE STRUCTURE OF THE OPEN THEATER
AT
HELLENIC WORLD FOUNDATION COMPLEX**

Manos S. Kyriazis

Civil Engineer

Structural Engineering Technical Office

Kifisias 26, Athens 115.26

kyma@otenet.gr

Georgia D. Bachounzouzi

Civil Engineer

D. Athanasiou – Griva 10-14, Kallithea 17675

gbachounzouzi@hotmail.com

Michael D. Makriyannis

Civil Engineer

Ellispontou 3, Peristeri 12134

mmakryg@yahoo.gr

1. SUMMARY

The open theater is located in the cavity at the southern side of the ‘hill-building’, which houses the RESEARCH CENTER, and is connected functionally and structurally with it. The external outline of the theater does not have fixed distance from the center. The width maximizes at the part where it is connected with the building and then it gradually decreases. The relationship between the radius and the angle at the centre is linear; thus the outline of the theatre lies on the arc of a spiral. The structural members that support the rows of seats are series of arcs, which have radial directions and divide the surface of the theatre into 30 sectors. As the radial distance of the outline of the theatre is decreasing, the requirements for rigid supports are also decreasing. In order to satisfy the static demands, three sets of supporting arcs have been chosen. Their bases lie on the arc of a spiral. The arcs are composites. The sections of the arcs consist of steel boxes filled with concrete. The width and height of the sections are changing proportionally to the length of the arcs. The above supporting structures - arcs have been dimensioned and enforced so as to contribute to the general rigidity of the Research Center building.