

ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΡΧΑΙΟΥ ΘΕΑΤΡΟΥ ΟΙΝΙΑΔΩΝ

Γεώργιος Καμπουράκης Λέκτορας, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο gcamb@cs.ntua.gr	Σωτήριος Δαλιάνης Ερευνητής, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο dalias@central.ntua.gr	Ιωάννης Σαρρής Ερευνητής, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο jsarris@central.ntua.gr
---	---	---

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία παρουσιάζεται η μελέτη των ακουστικών χαρακτηριστικών του αρχαίου θεάτρου των Οινιάδων. Οι αρχικές προσομοιώσεις του ακουστικού πεδίου του πλήρως αναστηλωμένου (ηλεκτρονικά) θεάτρου μελετήθηκαν και διασταυρώθηκαν με επιτόπιες ακουστικές εμπειρίες. Έγιναν ακουστικές μετρήσεις στο χώρο του θεάτρου με σκοπό την διαπίστωση της συμφωνίας ή μη των ακουστικών μεγεθών που προέκυψαν από το ηλεκτρονικό μοντέλο. Υπολογίστηκαν οι στάθμες ηχητικής πίεσεως του κατ' ευθείαν και των εξ ανακλάσεων ήχων και εξήχθη ο δείκτης καταληπτότητας λόγου σε όλες τις θέσεις του κοίλου του θεάτρου για διαφορετικές θέσεις της πηγής.

OINIADES ANCIENT THEATER ASSESSMENT

George Cambourakis Lecturer, National Technical Univ. of Athens gcamb@cs.ntua.gr	Sotirios Dalianis Research Engineer, National Technical Univ. of Athens dalias@central.ntua.gr	John Sarris Research Scientist, National Technical Univ. of Athens jsarris@central.ntua.gr
--	--	--

ABSTRACT

*abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract
abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract
abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract
abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract abstract*

1. Εισαγωγή

Για την διαπίστωση των ακουστικών χαρακτηριστικών του αρχαίου θεάτρου των Οινιαδών ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία. Από την αρχική αποτύπωση των ανασκαφών και από επιτόπιες μετρήσεις της γεωμετρίας του θεάτρου κατασκευάστηκε ηλεκτρονικό μοντέλο στη μνήμη του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Οι αρχικές προσομοιώσεις του ακουστικού πεδίου του πλήρως αναστηλωμένου (ηλεκτρονικά) θεάτρου μελετήθηκαν και διασταυρώθηκαν με επιτόπιες ακουστικές εμπειρίες. Επίσης έγιναν ακουστικές μετρήσεις στο χώρο του θεάτρου με σκοπό την διαπίστωση της συμφωνίας ή μη των ακουστικών μεγεθών που προέκυψαν από το ηλεκτρονικό μοντέλο.

Το ηλεκτρονικό μοντέλο του αρχαίου θεάτρου των Οινιαδών κατασκευάστηκε με καταχώρηση των γεωμετρικών στοιχείων του στη μνήμη του ηλεκτρονικού υπολογιστή χρησιμοποιώντας αρχικά το πρόγραμμα AUTOCAD (έκδοση 2000). Μετά την ολοκλήρωση της καταχώρησης των στοιχείων στο αρχικό ηλεκτρονικό μοντέλο του AUTOCAD και τον ορισμό των επί μέρους τρισδιάστατων όψεων (3D Faces), το μοντέλο αυτό εξήχθη με την μορφή που επιβάλλει το πρωτόκολλο DFX προς το πρόγραμμα ακουστικής προσομοίωσης EASE.

2. Μοντέλο προσομοίωσης

Κατά την φάση της προσομοίωσης ορίστηκε η θέση των ηχητικών πηγών ως εξής:

Πίνακας 1.1: Θέσεις και χαρακτηριστικά ηχητικών πηγών

Πηγή	Θέση			Κλίση			Τύπος
	X	Y	Z	Ver	Hor	Rot	
S1	0	0	1,7	0	180	0	Δυνατή Ανδρική Φωνή
S2	0	-11	4,24	0	180	0	Δυνατή Ανδρική Φωνή
S3	0	8	1,7	20	180	0	Δυνατή Ανδρική Φωνή
S4	-3	-11	4,24	0	120	0	Δυνατή Ανδρική Φωνή
S5	0	27	11	-60	0	0	Κανονική Ανδρική Φωνή
S6	0	-16	1,1	0	180	0	Δυνατή Ανδρική Φωνή
S7	0	-16	4,24	0	180	0	Σφαιρική Διασπορά
S8	-8	0	1,7	0	120	0	Δυνατή Ανδρική Φωνή
S9	-22	-3	1,7	10	120	0	Δυνατή Ανδρική Φωνή
S10	8	0	1,7	10	120	0	Δυνατή Ανδρική Φωνή
S11	0	-6	1,7	10	180	0	Δυνατή Ανδρική Φωνή

Η αρχή των αξόνων βρίσκεται στο κέντρο της ορχήστρας. Ο άξονας των y είναι ο άξονας «συμμετρίας» του θεάτρου. Ο άξονας των z είναι κατακόρυφος προς το έδαφος και ο άξονας των x είναι παράλληλος προς το σκηνικό οικοδόμημα.

Η πηγή S1 βρίσκεται στο κέντρο της ορχήστρας σε ύψος κεφαλής. Ο υποτιθέμενος ηθοποιός τοποθετημένος στο κέντρο της ορχήστρας είναι άνδρας και μιλάει με υψωμένη φωνή αλλά δεν φωνάζει. Η στάθμη πίεσης του ομιλητή S1 φαίνεται στον πίνακα 1.2 όπου αναλύεται σε ζώνες 1/3 οκτάβας στις πρότυπες συχνότητες. Η πηγή S2 βρίσκεται στο κέντρο του σκηνικού οικοδομήματος που βρίσκεται πίσω από την ορχή-

στρα, και στο ύψος του δαπέδου του πρώτου ορόφου προσαυξημένο κατά το ύψος κεφαλής. Η πηγή S3 είναι ίδια με τις προηγούμενες, ο ηθοποιός όμως βρίσκεται εδώ στην περίμετρο της ορχήστρας και ειδικότερα στο σημείο τομής του άξονα συμμετρίας του θεάτρου με την περιφέρεια της ορχήστρας. Η πηγή S4 βρίσκεται σε ύψος ίδιο με εκείνο της S2, βρίσκεται κατά 3m αριστερότερα από αυτήν και έχει στραφεί κατά 60 μοίρες ως προς τον άξονα των χ , προς το κοίλο του θεάτρου. Η πηγή S4 έχει σαν σκοπό την προσομοίωση ενός ηθοποιού που συνομιλεί με τον ηθοποιό S2. Η πηγή S5 προσομοιώνει έναν θεατή που βρίσκεται στον άξονα συμμετρίας του θεάτρου στην 26^η κερκίδα. Η κεφαλή του θεατή έχει κατακόρυφη κλίση 60 μοιρών ως προς την οριζόντια και προς την ορχήστρα. Ο θεατής έχει κανονική ένταση φωνής. Η πηγή S6 βρίσκεται μέσα στο σκηνικό οικοδόμημα (ισόγειο) σε ύψος 1.1m από το έδαφος. Η πηγή αυτή προσομοιώνει κάποιον συντελεστή της παράστασης (καθήμενο) που εκτελεί κάποια παρασκηνιακή λειτουργία, (ενδεχομένως συμμετέχει σε σκηνή φόνου η οποία κατά κανόνα εκτελείται εν κρυπτώ). Η πηγή S7 είναι πανκατευθυντική (omnidirectional), βρίσκεται στα ενδότερα του πρώτου ορόφου και προσομοιώνει μία πιθανή μουσική πηγή. Η φασματική της κατανομή φαίνεται στον πίνακα 1.2. Η πηγή S8 βρίσκεται στο σημείο τομής της διαμέτρου της παράλληλης με τον άξονα των χ , με την περιφέρεια της ορχήστρας. Η πηγή S9 έχει τοποθετηθεί στην αριστερή πάροδο (κοιτώντας προς το κοίλο) και προσομοιώνει κάποιον ερχόμενο προς την ορχήστρα ηθοποιό (ενδεχομένως κάποιον εξάγγελο). Η πηγή S10 είναι συμμετρική της S8 ως προς το κέντρο της ορχήστρας και έχει την ίδια με αυτήν κλίση ως προς τον άξονα των χ . Τέλος η πηγή S11 βρίσκεται στην ορχήστρα, πάνω στον άξονα συμμετρίας και προσομοιώνει ηθοποιό ο οποίος βγαίνει από την «κεντρική θύρα» του σκηνικού.

Οι θέσεις των πηγών επελέγησαν έτσι ώστε κατά την προσομοίωση να αποκάλυπτονται τα βασικά χαρακτηριστικά του ακουστικού πεδίου του θεάτρου ώστε να εκτιμηθούν ποιοτικά και ποσοτικά οι ιδιότητες του.

Πίνακας 1.2: Στάθμες ηχητικής πίεσης πηγών σε απόσταση 1μ από την πηγή

	Πρότυπες Συχνότητες (Hz)							
	100	125	160	200	250	315	400	500
Δ.Α.Φ.	57	57	59,67	62,33	65	67,33	69,67	72
Κ.Α.Φ.	49	49	51	53	55	56	57	58
Σφ. Πηγή	80	80	80	80	80	80	80	80
	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Δ.Α.Φ.	71,67	71,53	71	69,67	68,33	67	64,67	62,33
Κ.Α.Φ.	55,67	53,33	51	49,67	48,33	47	45,67	44,33
Σφ. Πηγή	80	80	80	80	80	80	80	80
	4000	5000						
Δ.Α.Φ.	60	57						
Κ.Α.Φ.	43	41,33						
Σφ. Πηγή	80	80						

Δ.Α.Φ.- Δυνατή Ανδρική Φωνή, Κ.Α.Φ.- Κανονική Ανδρική Φωνή, Σ.Π.- Σφαιρική Πηγή

2.1 Υπολογισμοί κατά την προσομοίωση

Με την βοήθεια του ηλεκτρονικού υπολογιστή και του προγράμματος EASE υπολογίστηκαν η στάθμη ηχητικής πίεσεως του κατ' ευθείαν ήχου σε όλες τις θέσεις του κοίλου, από κάθε πηγή χωριστά, η στάθμη ηχητικής πίεσεως του σύνθετου πεδίου (κατ' ευθείαν και εξ ανακλάσεων), από κάθε πηγή χωριστά, η καταληπτότητα λόγου σε όλες τις θέσεις του κοίλου για κάθε πηγή, με το κριτήριο Reutz (long form) και η σαφήνεια (κριτήριο C80) σε όλες τις θέσεις του κοίλου για την πηγή S7. Κατά τον υπολογισμό της καταληπτότητας θεωρήθηκε ότι ο θόρυβος πλήθους ήταν αντίστοιχος με 36.2 Phon.

3. Σχολιασμός των αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Όπως φαίνεται στην πανοραμική απεικόνιση του Σχ.3.1 (α) όταν ο ηθοποιός βρίσκεται στην θέση S1, στο κέντρο δηλαδή της ορχήστρας, η καταληπτότητα κυμαίνεται από άριστη, στις 4 πρώτες κερκίδες, καλή από την 5^η μέχρι την 18^η και μέχρι ανεκτή για τις υπόλοιπες (19^η-30^η). Η καλή καταληπτότητα από αυτήν τη θέση επιβεβαιώνεται και από το κριτήριο σαφήνειας C50 όπου σε όλο το θέατρο η τιμή του είναι μεγαλύτερη από 0 dB (Σχ.3.1 (β)). Επίσης στο Σχ.3.2 (α) φαίνεται ότι από την θέση S1 το κριτήριο C7 επιβεβαιώνει ότι εκτός από καλή καταληπτότητα ο θεατής έχει δυνατότητα εντοπισμού της πηγής.

Όταν ο ηθοποιός μετακινηθεί στη θέση S2 (στον πρώτο όροφο του σκηνικού οικοδομήματος) παρατηρούμε ότι η καταληπτότητα χειροτερεύει στις τελευταίες κερκίδες όπου γίνεται φτωχή (απώλεια συμφώνων 15-18%). Χειροτέρευση της καταληπτότητας παρουσιάζεται και στις υπόλοιπες κερκίδες όπου το μεγαλύτερο μέρος του θεάτρου έχει ανεκτή καταληπτότητα (Σχ.3.2 (β)). Μόνο οι δύο πρώτες κερκίδες έχουν καλή καταληπτότητα (Απ. Συμφώνων 7-11%). Η μείωση της καταληπτότητας είναι αναμενόμενη λόγω της απομάκρυνσης της πηγής από τους ακροατές. Το κριτήριο σαφήνειας C50 Σχ.3.2 (γ) επιβεβαιώνει ότι η καταληπτότητα παραμένει σε ανεκτά όρια.

Η πηγή S5 έχει αμελητέα καταληπτότητα σε όλες τις θέσεις του θεάτρου εκτός από εκείνες που βρίσκονται στην άμεση γειτονία της (Σχήμα 3.2 (δ)). Πιστοποιείται έτσι ότι θεατής που ομιλεί με κανονική φωνή δεν επηρεάζει σημαντικά την λειτουργία του θεάτρου όταν ο θόρυβος πλήθους έχει την τιμή που ορίστηκε πριν. Αν επικρατεί πλήρως ησυχία όμως η ομιλία συμβάλλει στη δημιουργία θορύβου πλήθους.

Όταν ο ηθοποιός βρίσκεται στην θέση S8 τότε το μέρος του κοίλου που βρίσκεται πίσω και αριστερά του έχει πολύ καλή καταληπτότητα, αντίθετα το μέρος του κοίλου που βρίσκεται απέναντι του και μετά την 10^η κερκίδα έχει φτωχή καταληπτότητα. Το διάγραμμα καταληπτότητας για αυτήν την θέση φαίνεται στο Σχ.3.2. (ε)

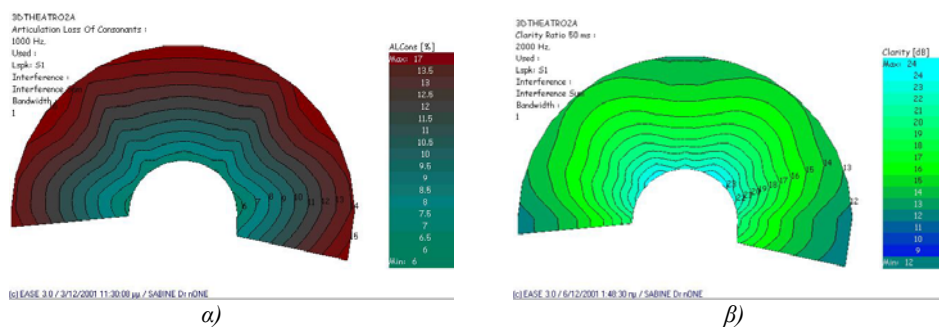
Η καταληπτότητα από την πηγή S9 όταν έχει την στάθμη υψωμένης ανδρικής φωνής είναι από φτωχή έως απαράδεκτη σε όλες τις κερκίδες πλην ενός μικρού μέρους θέσεων που βρίσκεται εκεί που τελειώνει η «σκιά» του αριστερού χείλους των κερκίδων (βλ. Σχ.3.2 (στ)). Στην περίπτωση όμως που ο εισερχόμενος ηθοποιός φωνάζει οπότε η στάθμη της φωνής του φτάνει τα 100-110 dB τότε η καταληπτότητα σε όλο το θέατρο πλην του σκιαζόμενου από το χείλος της κερκίδας, η καταληπτότητα είναι άριστη (βλ. Σχ.3.2 (ζ)). Η θέση αυτή εντοπίζεται εύκολα από όλους τους ακροατές όπως φαίνεται στο Σχ.3.2 (η) όπου το κριτήριο σαφήνειας C7 έχει τιμή μεγαλύτερη από -15dB σε όλο το θέατρο πλην της σκιαζόμενης περιοχής.

Συμπέρασμα

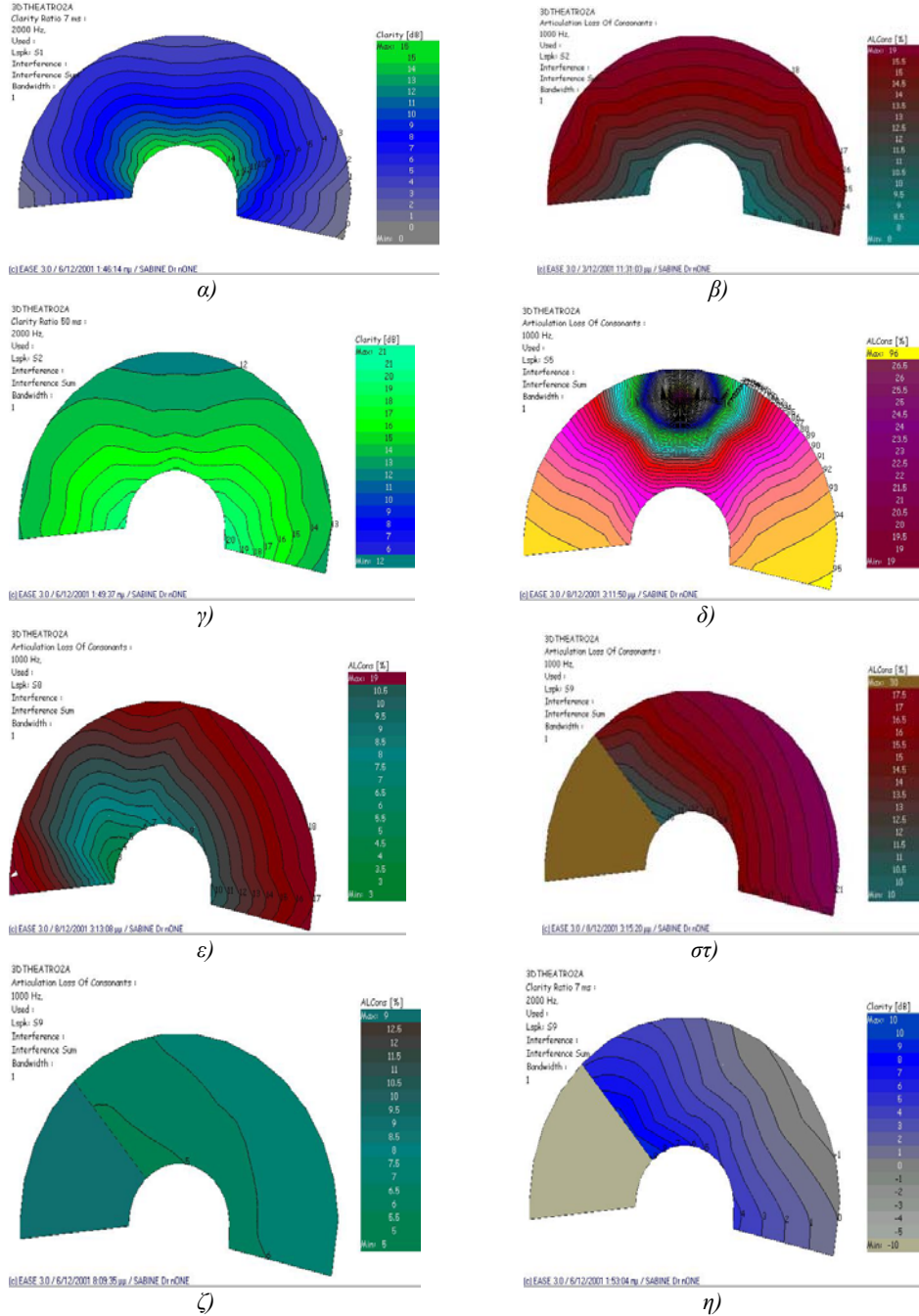
Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης του θεάτρου προκύπτει ότι η καταληπτότητα του λόγου είναι απρόσκοπτη για το μεγαλύτερο μέρος των θέσεων του θεάτρου. Προφανώς η καταληπτότητα εξαρτάται από την δύναμη φωνής του ηθοποιού και την καλή του άρθρωση. Για να είναι καλή η καταληπτότητα λόγου ο θόρυβος πλήθους θα πρέπει να είναι χαμηλός και να μην ξεπερνάει την στάθμη που ορίστηκε στο μοντέλο, η οποία επιτρέπει να συνομιλούν ψιθυριστά 25-30 από τους θεατές. Λόγω του μικρού χρόνου αντηχήσεως του θεάτρου (πλήρες) μουσικά όργανα δεν ευνοούνται ιδιαίτερα από το ακουστικό περιβάλλον του θεάτρου. Τα πνευστά όργανα αποδίδουν καλύτερα από τα κρουστά σε αυτό το περιβάλλον. Αν οι μουσικοί βρισκόταν μέσα στο σκηνικό οικοδόμημα, τα όργανα θα είχαν πιο πλούσιο ήχο.

Αναφορές

- [1] Morse P.M., Feshbach H., 1953, «Methods of Theoretical Physics», McGraw-Hill, New York, Chapter 11.
- [2] Morse P.M., Ingard K.U., 1968, «Theoretical Acoustics», McGraw-Hill, New York, Chapter 9.
- [3] Rice S.O., 1954, «Mathematical Analysis of Random Noise», in N. Wax (ed.), Selected Papers on Noise and Stochastic Processes, Dover Publ., New York, 209
- [4] Schroeder M.R., 1961, Proceedings of the Third International Congress on Acoustics, Stuttgart, 1959 (L. Cremer, ed), Elsevier, Amsterdam, p. 771
- [5] Morse P.M., Ingard K.U., 1968, «Theoretical Acoustics», Mc Graw-Hill, New York, chapter 10.
- [6] Meyer E. et. al., 1962, Acustica, 12,254
- [7] Heinrich Kuttruff, 1976, «Room Acoustics», Applied Science Publishers, chapter V.
- [8] EASE 3.0 manual



Σχήμα 3.1 Διάγραμμα απώλειας συμφώνων (α) και διάγραμμα κριτηρίου σαφήνειας C50 για την θέση S1.



Σχήμα 3.2 Διάγραμμα κριτηρίου σαφήνειας C7 για τις θέσεις S1 (α) και S9 (η), απόλειας συμφώνων (β) και κριτηρίου σαφήνειας C50 (γ) για τη θέση S2 και απόλειας συμφώνων για τις θέσεις S5 (δ), S8 (ε), και S9 (σ), (ζ).