

Δημοσιεύτηκε στα ψηφιακά πρακτικά του συνεδρίου ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ 2018, Πάτρα

Ακουστική διόρθωση σε συζευγμένους χώρους, μεγάλου όγκου : το στεγασμένο αίθριο στο νέο Δημαρχείο Θεσσαλονίκης

Νίκος Μπάρκας
Καθηγητής Τμήματος Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Δ.Π.Θ.
nbarkas@arch.duth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανακοίνωση επιχειρεί να δείξει ότι η αποτελεσματική ακουστική διόρθωση ενός χώρου με συζευγμένους όγκους (μέσω της πρόβλεψης και της διασποράς ζωνών ηχοαπορρόφησης, χωρίς μεγάλη βλάβη των αρχιτεκτονικών προθέσεων) δύναται να επιτύχει στόχους δυσκολότερους από την αποτελεσματική καταστολή της αντήχησης στον εκτεταμένο και ποικιλόμορφο χώρο συγκέντρωσης και εξυπηρέτησης κοινού μιας δημόσιας υπηρεσίας. Σκοπός της ακουστικής διόρθωσης του αίθριου στο νέο Δημαρχείο Θεσσαλονίκης ήταν ο ραγδαίος περιορισμός του χρόνου αντήχησης (από τα επίπεδα των 4 - 4,7 sec στις μέσες συχνότητες, στα ανεκτά όρια των 1 - 1,6 sec), που οφείλεται στη λειτουργία ενός ανοικτού και εκτεταμένου χώρου ο οποίος συντίθεται από συζευγμένους όγκους ποικίλων μεγεθών, μέσω ανοιγμάτων διαφορετικών διαστάσεων. Όμως στη συνέχεια, ο χώρος βρέθηκε να εξυπηρετεί (τυχαία και περιστασιακά) εκδηλώσεις είτε λόγου (με ηλεκτρακουστική ενίσχυση), είτε ζωντανής μουσικής, σε μια διάταξη συνάθροισης κοινού / καλλιτεχνών στο ισόγειο.

Acoustic correction in large coupled volumes: the roofed atrium at the new Town Hall of Thessaloniki

ABSTRACT

In this paper we attempt to prove that the effective acoustic design of a space with coupled rooms (through the prediction and dispersion of sound-absorbing zones, without diversifying the architect design) can achieve greater goals than the effective control of the reverberation in a large and variform area of gathering and public serving. The purpose of the acoustic correction of the atrium in the new Thessaloniki City Hall was the effective reduction of the reverberation time (from 4 - 4.7 sec at the average frequencies, to the tolerable limits of 1 - 1.6 sec) due to the functioning of an open and exposed space which is composed with various sizes coupled spaces with openings of different dimensions. Furthermore, occasionally the atrium also serves events of speech (with electro-acoustic support), or live music events, with gathering of artists and audience on the ground floor.

Εισαγωγή

Στις αρχές του 20ου αιώνα, ο Cl. W. Sabine διατύπωσε την έννοια του χρόνου αντήχησης (TR), συναρτώντας την ηχητική ενέργεια του ακουστικού πεδίου σε μεταβατικό καθεστώς με τον όγκο (V) και την απορροφητική ικανότητα (A) των επιφανειών στο εσωτερικό και τα όρια ενός χώρου. Ωστόσο, οι αρχιτεκτονικά κρίσιμες προϋποθέσεις για τον υπολογισμό της αντήχησης με τον τύπο Sabine [$TR = 0,16 (V/a)$] είναι η ομοιομορφία του ακουστικού πεδίου, οι τυχαίες (αντί επιλεκτικές) κατανομές των υλικών στα όρια του χώρου και γενικά η αποσύνδεση του υπολογισμένου χρόνου αντήχησης από το χωρικό ζεύγος πηγής / δέκτη, δηλαδή από τον διανυσματικό χαρακτήρα της συνάρτησης.[1]

Όταν στη διάρκεια του 20ου αιώνα η κυματική θεωρία ανέδειξε την πολυπλοκότητα των φυσικών φαινομένων της αντήχησης, οι εφικτές επιλύσεις ακριβείας περιοριστήκαν στις αρχιτεκτονικά απλοποιητικές υποθέσεις μιας λιτής γεωμετρικής μορφής και μιας περιορισμένης απορρόφησης στα τοιχώματα των ορίων. Αντίθετα, στις συνήθεις περιπτώσεις των σύνθετων γεωμετρικών μορφών και της ανομοιόμορφης κατανομής της ηχο-απορρόφησης, οι ακριβείς επιλύσεις καθίστανται υπολογιστικά δύσκολοι. Διαδοχικές έρευνες, αρχικά με ηχητικές μετρήσεις σε μακέτες του χώρου και στη συνέχεια με υπολογισμούς σε ψηφιακές προσομοιώσεις του χώρου μέσω H/Y, επέτρεψαν την προσεγγιστική επίλυση των φαινομένων της αντήχησης, με τις αυστηρές, θεωρητικές παραδοχές των πεδίων διάχυσης : το ακουστικό πεδίο σε ένα τυχαίο σημείο της αίθουσας θεωρείται πως συντίθεται από ένα σύνολο επίπεδων κυμάτων, με τυχαίες διευθύνσεις, η αίθουσα διαθέτει μεγάλες διαστάσεις χωρίς συμμετρίες, τοιχώματα ομοιόμορφης, ασθενούς απορρόφησης και η ηχητική ενέργεια είναι ομοιόμορφα και ισότροπα κατανεμημένη, με σχετικά υψηλή ένταση και εκθετικά ομαλή απομείωση της έντασης. [1], [2]

Αρχιτεκτονικά, συζευγμένοι χώροι θεωρούνται οι ημι-ανεξάρτητες (αλλά και σαφώς συνδεδεμένες) μορφές που συλλειτουργούν κι επικοινωνούν διαμέσου σχετικά περιορισμένων ανοιγμάτων (δηλαδή διαμέσου ανοικτών τυμπάνων / επιφανειών διάκενου, με διαστάσεις μικρότερες της διατομή τους). Στην περίπτωση των συζευγμένων χώρων μεγάλου όγκου, σημαντικές ανατροπές των παραπάνω προϋποθέσεων (όπως η ανομοιόμορφη κατανομή των ανακλαστικών και απορροφητικών επενδύσεων, οι υπερβολικά υψηλοί συντελεστές απορρόφησης σε συγκεκριμένες ζώνες των ορίων και οι ανομοιόμορφες / ανισότροπες κατανομές των ηχητικών εντάσεων εξαιτίας διαδοχικών ή και ταυτόχρονων εκπομπών σε διάφορα σημεία του χώρου), ανατρέπουν ή θέτουν σε ισχυρή αμφισβήτηση τις τυπικές παραδοχές ενός πεδίου διάχυσης. [1], [2]

Σε τέτοιες περιπτώσεις, όπως αρχικά μελέτησε ο Eyring σε αίθουσες με ημίκλειστες περιοχές (εξώστες ή σκιασμένα τμήματα μιας πλατείας από εξώστες) η πρόβλεψη της αντήχησης είτε θα προκύψει με διορθωμένους συντελεστές απορρόφησης στο εσωτερικό του μικρότερου όγκου, είτε με εκτίμηση της απορροφητικής ικανότητας του «παράθυρου» επικοινωνίας των δύο όγκων (δηλαδή του διάκενου – ενδιάμεσου τυμπάνου) και με την παράλειψη του συζευγμένου χώρου στους υπολογισμούς της αντήχησης. [2]

1. Ο χώρος της έρευνας

Αφορμή για τον παραπάνω προβληματισμό έδωσε η μελέτη της ακουστικής διόρθωσης (2000 - 02) του στεγασμένου αίθριου στο νέο Δημαρχείο Θεσσαλονίκης, στην οποία μελετήθηκε μια προσομοίωση συζευγμένων χώρων και υπολογίστηκε με μια διαδικασία διαδοχικών προσεγγίσεων η κατανομή της ηχο-απορρόφησης στα όρια του χώρου. Πρόκειται για ένα στεγασμένο χώρο μεγάλου όγκου (περίπου 8.500 m³), συζευγμένο με άλλους όγκους ποικίλων μεγεθών, μέσω πολλαπλών ανοιγμάτων, διαφορετικών διαστάσεων και εμβαδού κατά περίπτωση, διαμπερούς κυκλοφορίας στο ισόγειο και περιμετρικής κυκλοφορίας σε τρία (3) διακεκριμένα επίπεδα.

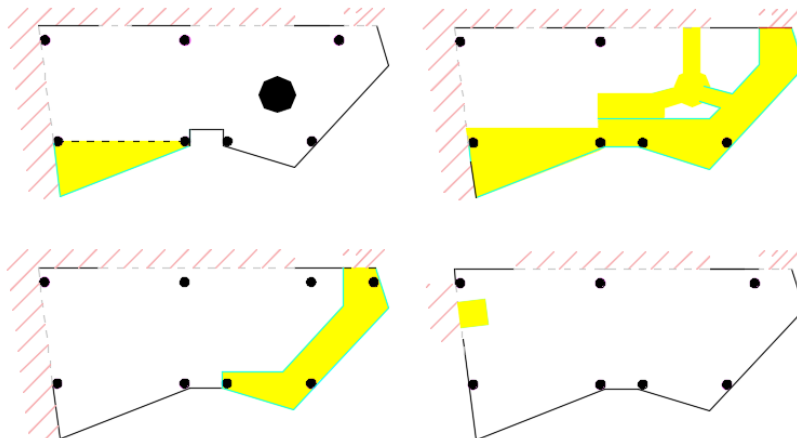
Ο χώρος της μελέτης καταλαμβάνει τη γωνιακή συμβολή των περύγων ενός κτιριακού συγκροτήματος και εκτείνεται κατακορύφως ανομοιόμορφα, σε συνολικό ύψος περίπου πέντε ως έξι (5~6) συμβατικών ορόφων (ισόγειο, ημι-ισόγειο, 4 όροφοι συν η κεκλιμένη στέγη του αίθριου). Αυτή η σύνθετη μορφή και λειτουργία του χώρου, που σε πρώτη προσέγγιση περιλάμβανε επενδύσεις από γυάλινα διαχωριστικά και εμφανές σκυρόδεμα, εξυπηρετεί με φυσικό φωτισμό ζώνες ανοικτών γραφείων που εντάσσονται μέσα στο αίθριο (αντί να μένουν απομακρυσμένα από το φωτισμό των προσόψεων) και μια εποπτική κυκλοφορία στις επιμέρους στάθμες του κτιρίου (δίνοντας στον μετακινούμενο μια σαφή αίσθηση όλου του κτιριακού αναπτύγματος).

Το νέο Δημαρχείο Θεσσαλονίκης ολοκληρώθηκε 23 χρόνια μετά τη βράβευση μιας αρχικής μελέτης σε Πανελλήνιο Αρχιτεκτονικό Διαγωνισμό (1987). Η πρόταση εκείνη, ύστερα από μερική τροποποίηση (2000 - 02) σύμφωνα με την οποία το κτιριακό συγκρότημα χαμήλωσε κατά ένα όροφο, το αρχικό κτιριολογικό πρόγραμμα μειώθηκε κατά 3.500 τμ και έλαβε τα χαρακτηριστικά ενός «ευέλικτου στρατηγείου» που θα μπορούσε να συσχετιστεί διάσπαρτες δημοτικές υπηρεσίες προς τους πολίτες. Αναλυτικά, πρόκειται για κτίριο με 15.300 τ.μ. εμφανούς δόμησης, με υπόγειο περίπου 40.000 τμ και πάρκινγκ 850 θέσεων. Η κατασκευή (2005-10) και η λειτουργία του σηματοδοτεί μια ιστορική συγκυρία για την πόλη, σχεδόν έναν αιώνα από την απελευθέρωση της (1912) και περίπου ενάμιση αιώνα από την ίδρυση του Δήμου Θεσσαλονίκης (1869). [3], [4].

Το κτιριακό συγκρότημα ανεγέρθηκε στο πρώην στρατόπεδο Τσιρογιάννη, σε έναν από τους τελευταίους ελεύθερους, δημόσιους χώρους της πόλης (στο όριο εκκίνησης της νέας παραλίας, απέναντι από την παλιά Ηλεκτρική Εταιρεία), σε μια περιοχή που συσσωρεύονται διακεκριμένα τοπόσημα και υπαίθριοι αστικοί χώροι (ΔΕΘ και Γ'ΣΣ, πάρκο της ΧΑΝΘ και Θέατρο Κήπου, σύνδεση της παλιάς με τη νέα παραλία), ιστορικά μνημεία, αλλά και δείγματα της σύγχρονης αρχιτεκτονικής (ο Λευκός Πύργος, το Κτίριο της ΧΑΝΘ, το Στρατηγείο του Γ'ΣΣ, το Θέατρο της ΕΜΣ και το Βασιλικό Θέατρο, το Αρχαιολογικό και το Βυζαντινό Μουσείο). Αποτελείται από τρεις (3) κτιριακές μονάδες, που συντίθενται γύρω από ένα ανοικτό χώρο ελεύθερης πρόσβασης, με κυρίαρχο στοιχείο τη διαμόρφωση των εσωτερικών / εξωτερικών επιφανειών με εμφανές σκυρόδεμα, αλλά και τις επενδύσεις / επιστρώσεις από γυαλί, φυσική πέτρα, μάρμαρο και μεταλλικές περσίδες (κινητές ή ακίνητες).

Η κεντρική είσοδος - φουαγιέ του νέου Δημαρχείου προκύπτει από τη συμβολή της ψηλότερης κτιριακής πτέρυγας των γραφείων (το βόρειο, δομημένο όριο προς το Βυζαντινό Μουσείο), με μια διαγώνια χαμηλότερη πτέρυγα ανοικτών υπηρεσιών η οποία διατρέχει την κεντρική περιοχή του αδόμητου χώρου του. Αυτή η ευμεγέθης

κτιριακή υποδοχή εξελίσσεται σε ένα πολύ-λειτουργικό στεγασμένο χώρο, με ιδιαίτερη ένταση και συμβολισμούς (διαφάνεια, ελεύθερη προσβασιμότητα, ανοικτοί χώροι εργασίας).



Σχήμα 1.1 Τα 4 διακριτά λειτουργικά επίπεδα του αίθριου: (άνω) αριστερά το ισόγειο και δεξιά ο 1ος όροφος, (κάτω) αριστερά ο 2ος όροφος και δεξιά ο 3ος όροφος

Πίνακας 1.1 Οι λειτουργίες των συζευγμένων χώρων στην περίμετρο του αίθριου

Χώρος	Ανοίγματα	Δ	Β	Α	Ν
A & B Ισ	πληροφορίες, οικονομικές υπηρεσίες, διάδρομοι κυκλοφορίας	+	+		
1 ^{ος} ορ	ληξιαρχείο, δημοτολόγια, περιμετρικοί χώροι αναμονής	+	+	+	+
2 ^{ος} ορ	περιμετρικοί χώροι αναμονής, δημοτολόγια, διάδρομοι κυκλοφορίας		+	+	+
3 ^{ος} ορ	περιμετρικοί χώροι αναμονής, διάδρομοι κυκλοφορίας		+	+	

Πρόκειται για ένα στεγασμένο αίθριο που περιβάλλεται από πολλαπλούς εσωτερικούς εξώστες, κλίμακες και ανοίγματα που εισχωρούν στο εσωτερικό του συγκροτήματος και καταλήγει (στο ύψος 3 - 4 συμβατικών ορόφων) σε μια έκκεντρα κεκλιμένη στέψη κατασκευασμένη από ορθογώνια επιστεγάσματα σκυροδέματος και υαλόφρακτα ανοίγματα (απομίμηση πέργκολας). Σύμφωνα με τους μελετητές, ο σχηματισμός του πολύ-ορόφου αίθριου εξασφαλίζει την πολυδιάσπαση των όγκων των επιμέρους ενοτήτων για να εξυπηρετήσει την διαβαθμισμένη πρόσβαση στους χώρους εργασίας κι εξυπηρέτησης του κοινού, ενώ για ορισμένους κριτικούς αξιολογητές καταλήγει να γίνει ένα πολύπλοκο, εσωστρεφές συγκρότημα που δίνει την εντύπωση ενός μνημειακού μεγέθους, ογκωδέστερου του πραγματικού. [5], [6]

Οι ανοικτοί λειτουργικοί χώροι στο εσωτερικό του αίθριου (που φαίνονται στην σχήμα 1.1 με συμπαγή σκίαση) και οι συζευγμένοι χώροι με θορυβώδη λειτουργία σε παράπλευρα ανοίγματα ανά πλευρά (που φαίνονται στο σχήμα 1.1. με διαγράμμιση) καταγράφονται με την ένδειξη «+» στον Πίνακα 1. 1 (όπου σημαίνονται οι πλευρές Δ : δυτική, Β : βόρεια, Α : ανατολική και Ν : νότια).

2. Μέθοδος επίλυσης και προτάσεις εφαρμογής

Σε εκτεταμένες ή πολυώροφες αίθουσες αναμονής, φουαγιέ, εσωτερικά αίθρια κλπ, όπου στόχος της ακουστικής διόρθωσης είναι η εξασφάλιση ικανοποιητικών - ανεκτών συνθηκών επικοινωνίας και εργασίας, οι θόρυβοι λειτουργίας περιλαμβάνουν κυρίως συζητήσεις / φωνές, μετακινήσεις, μουσική υπόκρουση ή ανακοινώσεις από συστήματα αναμετάδοσης. Όπως είναι γνωστό, για τον προσδιορισμό της βέλτιστης αντήχησης σε ένα χώρο, έχουν προταθεί διάφορα νομο-διαγράμματα ή γραμμικοί τύποι, που συσχετίζουν την προσδοκώμενη διάρκεια της αντήχησης (TR, σε σφαιρική τιμή και συχνотική διακύμανση) με το διαθέσιμο όγκο και την αναμενόμενη λειτουργία [7], [8], [9] Για την ακουστική διόρθωση του συγκεκριμένου πολυώροφου αίθριου, υπολογίστηκαν οι παράπλευρες επιφάνειες, ο αναμενόμενος πληθυσμός (σύμφωνα με το αρχικό κτιριολογικό πρόγραμμα, πλήθος που στη συνέχεια ξεπεράστηκε λόγω επέκτασης των χώρων εξυπηρέτησης κοινού και σε άλλους προβόλους του αίθριου), οι συντιθέμενοι όγκοι ανά στάθμη κι ο ενιαίος όγκος, τα ανοίγματα των επιμέρους συζευγμένων όγκων σε κάθε κτιριακή στάθμη, καθώς και στον ενιαίο όγκο, με βάση τα διαθέσιμα αρχιτεκτονικά σχέδια στο αρχικό στάδιο της οριστικής μελέτης (Ιούνιος 2001).

Η μέθοδος υπολογισμού των επιμέρους συζευγμένων όγκων και του ενιαίου χώρου ακολούθησε μια διαδικασία διαδοχικών προσεγγίσεων, θεωρώντας ότι, κατά περίπτωση, τα ανοικτά τύμπανα ανάμεσα στις στάθμες (σε επίπεδο δάπεδο ή οροφής κάθε στάθμης) και στα πλευρικά ανοίγματα κάθε στάθμης (στα «παράθυρα» επικοινωνίας με τους συζευγμένους χώρους) είναι διάκενα. Με αυτό τον τρόπο, η αντήχηση θεωρήθηκε ως αποτέλεσμα πολλών, ταυτόχρονα ενεργών και διασπαρμένων πηγών θορύβου. Παράλληλα η προσδοκώμενη περιστολή της αντήχησης ανά τμήμα καθ' ύψος όγκου προσδιόρισε την ποσότητα και την διασπορά των ηχο-απορροφητικών επενδύσεων σε κάθε στάθμη, αλλά και στον ενιαίο χώρο του αίθριου.

Πίνακας 2.1 Προσδιορισμός της βέλτιστης αντήχησης σφαιρικά και συχνотικά

TR [500 Hz] = A	TR[125 Hz]	TR[250 Hz]	TR [1- 4 KHz]
0,075* {V ^{1/3} }	~125% * A	~110% * A	~ 90 / 100% * A

Για τον προσδιορισμό της επιθυμητής αντήχησης σφαιρικά και συχνотικά, εφαρμόστηκε σε κάθε βήμα υπολογισμού, ο γαλλικός τύπος πρόγνωσης της αντήχησης, με βάση τον πίνακα 2.1 [7]. Σε πρώτη προσέγγιση, ένα εύρος τιμών +/- 5%, ορίστηκε ως ανεκτό, άνω και κάτω όριο διακύμανσης σύμφωνα με τις παραπάνω βέλτιστες συχνотικές τιμές αντήχησης.

Όπως φαίνεται στο Πίνακα 2.2, η επιμέτρηση των όγκων και των επιφανειών του αίθριου, καθώς και ο υπολογισμός της αντήχησης ξεκίνησαν από τη στάθμη του A & B' ισογείου και επεκτάθηκαν σε διαδοχικές ενσωματώσεις κάθε υπερκείμενου ορόφου και της στέψης του αίθριου. Με αυτό τον τρόπο προσδιορίστηκαν οι επιμέρους ποσότητες των ηχο-απορροφητικών επενδύσεων σε κάθε στάθμη και στο σύνολο του όγκου, λαμβάνοντας υπόψη την αρχιτεκτονική απαίτηση για διατήρηση των υαλοστασίων και της πλειονότητας των επιφανειών από εμφανές σκυρόδεμα.

Πίνακας 2.2 Επιμετρήσεις και αποτελέσματα στα διαδοχικά βήματα υπολογισμού

	A & B ισ	Ισ + 1ος	Ισ+1ος+2ος ορ	ΣΥΝΟΛΟ
όγκος	2440	4520	6725	8365
σύνολο επιφανειών	1770	3020	4155	4795
περιμετρικά ανοίγματα	135	225	285	385
οριζόντια ανοίγματα	305	755	1130	0
ηχο-απορροφητικά	210	360	500	590
ideal TR[500]	1,06	1,30	1,48	1,59
υπολογισμένος TR[500]	1,05	1,25	1,41	1,58

Σύμφωνα με τις αρχιτεκτονικές επιλογές, τα υλικά επενδύσεων / επιστρώσεων στο αίθριο και στους συζευγμένους χώρους που συμπεριλήφθηκαν στους υπολογισμούς, είναι :

- δάπεδο από πλακίδια μορφής κυβόλιθου,
- οροφές, προβόλους, υποστυλώματα και (στην πλειονότητα τους) κατακόρυφους τοίχους από εμφανές σκυρόδεμα,
- (ορισμένα) τοιχώματα με σοβά, υαλοστάσια και γυάλινα κουφώματα,
- μεταλλικά κιγκλιδώματα και ξύλινες κουπαστές,
- διαχωριστικά ξηράς δόμησης (γυψοσανίδες και πλαστικοποιημένα πετάσματα),
- στέψη από εμφανές σκυρόδεμα και υαλόφρακτα ανοίγματα.

Σε επίπεδο υπολογισμών, στα ανοίγματα εφαρμόστηκαν συντελεστές ηχο-απορροφητικής ικανότητας 20% ως 40%, συνυπολογίζοντας τις διαστάσεις κάθε ανοικτού τυμπάνου σε σχέση με τη συχνότητα υπολογισμού, την αναλογία όγκου των συζευγμένων χώρων, αλλά και την ανακλαστική ικανότητα / θέση των τοιχωμάτων του μικρότερου όγκου (όσο μικραίνει σχετικά το άνοιγμα, τόσο μεγαλώνει η επίδραση των ηχο-ανακλάσεων και μειώνεται η επίδραση της ηχο-απορρόφησης του τυμπάνου). [2] Επίσης, κατά τον υπολογισμό των διάκενων στις ανοικτές επιφάνειες ανάμεσα στα επιμέρους τμήματα του ενιαίου όγκου ελήφθησαν υπόψη συχνοτικά σταθεροί συντελεστές ηχο-απορρόφησης κατά περίπτωση (από 30 ως 40% ανάλογα με τον περιορισμένο ή εκτεταμένο διαχωριζόμενο όγκο). [10], [11] Τέλος, σε πρώτη προσέγγιση ελήφθησαν υπόψη διάτρητες, μεταλλικές ή ξύλινες επενδύσεις (διάτρηση περίπου 20%, οπές περίπου Φ2,5cm, με εσωτερική επένδυση από υαλοϋφασμα και εσωτερικό γέμισμα από ορυκτοβάμβακα 5cm / 70Kg/m³) στις παρακάτω θέσεις και ποσότητες :

-210 m² στις ψευδοροφές των προβόλων και στους περιμετρικούς τοίχους του Α` & Β` ισογείου

-150 m² σε μέρος των ψευδοροφών και σε όλα τα διαχωριστικά των ανοικτών θυρίδων εργασίας του 1ου ορόφου,

-230 m² στους τελευταίους ορόφους και στη στέψη του αίθριου.

Ωστόσο, επειδή για την παραπάνω κατανομή δεν επαρκούσαν οι διαθέσιμες επιφάνειες στην ανώτερη στάθμη και ιδίως στη στέψη του χώρου, σε δεύτερη προσέγγιση και σύμφωνα με την αρχιτεκτονική απαίτηση για ενός είδους και εμφάνισης ηχο-απορροφητικής επένδυσης, αποφασίστηκε να προταθούν σε επίπεδο μελέτης εφαρμογής ηχο-απορροφητικές επενδύσεις από τυποποιημένα, ξύλινα διάτρητα, σύμφωνα με την παρακάτω διασπορά :

-επένδυση όλων των διαχωριστικών στις ανοιχτές θυρίδες εργασίας

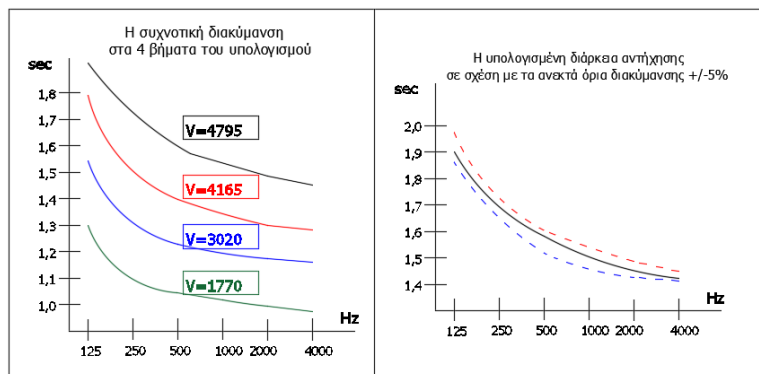
-επένδυση όλων των ψευδοροφών στους προβόλους,

-καθώς επίσης και (εναλλακτικά - ιεραρχικά) :

-ή η κάλυψη επιφάνειας 320 m² στη στέψη του αίθριου

-ή η κατασκευή πρόσθετης ψευδοροφής στον ασκεπή πρόβολο του 2ου ορόφου και η κάλυψη επιφάνειας 190 m² στη στέψη του αίθριου,

-ή η κατασκευή πρόσθετης ψευδοροφής στον ασκεπή πρόβολο του 2ου ορόφου, η ηχο-απορροφητική επένδυση όλων των πλευρικών τοιχωμάτων στον 3ο και 4ο όροφο και σε μέρος των πλευρικών τοιχωμάτων στον 1ο και 2ο όροφο (σε περιοχές με αρχική πρόβλεψη ορθομαρμάρωσης ή σοβά).



Εικόνα 2.1 (αριστερά) τα συχνοτικά διαγράμματα του υπολογισμένου χρόνου αντήχησης στα 4 διαδοχικά βήματα υπολογισμού, (δεξιά) ο υπολογισμένος χρόνος αντήχησης και τα ανεκτά όρια διακύμανσης ($\pm 5\%$) στον ενιαίο χώρο

Όπως φαίνεται στα διαγράμματα της εικόνας 2.1, κατά την τελική φάση της μελέτης, η αριθμητική & συχνοτική σύγκλιση των υπολογισμένων τιμών της αντήχησης στο ακουστικό μοντέλο του αίθριου ήταν επιτυχής.

3. Επίλογος

Κατά τον υπολογισμό της αντήχησης, η κλασική θεωρία αποσυνδέει την πτώση της ηχητικής ενέργειας σε μεταβατικό καθεστώς από το διανυσματικό χαρακτήρα της

και προϋποθέτει την εγκαθίδρυση ενός πεδίου διάχυσης, την ομοιομορφία της αίθουσας και τυχαίες κατανομές σχετικά χαμηλής ηχο-απορρόφησης στα όρια. Οι παραπάνω προϋποθέσεις των πεδίων διάχυσης τίθενται σε σοβαρή αμφισβήτηση στην περίπτωση ενός χώρου με συζευγμένους όγκους μεγάλου μεγέθους, μέσω ανοιγμάτων ποικίλων μεγεθών, σε συνδυασμό με την ανομοιόμορφη κατανομή των επενδύσεων με σχετικά υψηλή ηχο-απορροφητική ικανότητα, συν ανισότροπες ηχητικές εντάσεις από διαδοχικές ή και παράλληλες πηγές.

Η ακουστική διόρθωση στο στεγασμένο αίθριο του νέου Δημαρχείου της Θεσσαλονίκης ακολούθησε μια μέθοδο διαδοχικών προσεγγίσεων κατά τον υπολογισμό και τη διασπορά των ηχο-απορροφητικών επενδύσεων, προσδιορίζοντας την αναμενόμενη διάρκεια της αντήχησης σε 1,1 - 1,6 sec στις μέσες συχνότητες (όγκος 8300 m³). Μακροσκοπικά έχει διαπιστωθεί ότι, το αίθριο ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις ενός εκτεταμένου χώρου εξυπηρέτησης κοινού και επιπλέον μπορεί να φιλοξενήσει εκδηλώσεις λόγου / ζωντανής μουσικής στο ισόγειο του. Σε επόμενη δημοσίευση θα επιχειρηθεί η ακριβής αποτίμηση των ακουστικών επεμβάσεων, με επιτόπιες μετρήσεις της αντήχησης, σε διάφορες θέσεις του χώρου.

4. Αναφορές

- [1] Bruneau, M. *“Introduction aux Theories de l’ Acoustique”*, ed. Université du Maine, Le Mans, (1984)
- [2] Eyring, C. «Reverberation Time Measurements in Coupled Room», *JASA* **3**, pp 181 – 206, (1931)
- [3] Μπίρης, Τ. - Μπίρης, Δ. «Νέο Δημαρχείο Θεσσαλονίκης», *www.domes index.com*, 2010 (πρόσβαση 8 / 2018)
- [4] Καλογήρου, Ν. «Νέο Δημαρχείο Θεσσαλονίκης» *www.greekarchitects.gr*, 2010 (πρόσβαση 8 / 2018)
- [5] Μπίρης, Τ. «Δημαρχιακό Μέγαρο Θεσσαλονίκης», *Κτίριο*, 1, σ.64-82, (2010)
- [6] Γιακουμακάτος, Α. «Το τείχος της Θεσσαλονίκης», *Το Βήμα*, 24/02/2008 (πρόσβαση 8 / 2018)
- [7] Lehmann, R. *“L’ Acoustique des Bâtiments”*, PUF, Paris (1977)
- [8] Lord, P. - Templeton, D. *“The Architecture of Sound”*, The Architectural Press, London (1986)
- [9] Moore, J.E. *“Design for Good Acoustics and Noise Control”*, Mc Millan Press, London (1978)
- [10] Bobran, H.W - Bobran-Wittfoht, I. *“Handbuch der Bauphysik”*, Vieweg, 6th ed. (1 / 1990)
- [11] Egan, D.M. *“Concepts in Architectural Acoustics”*, Mc Graw Hill, New York (1972)