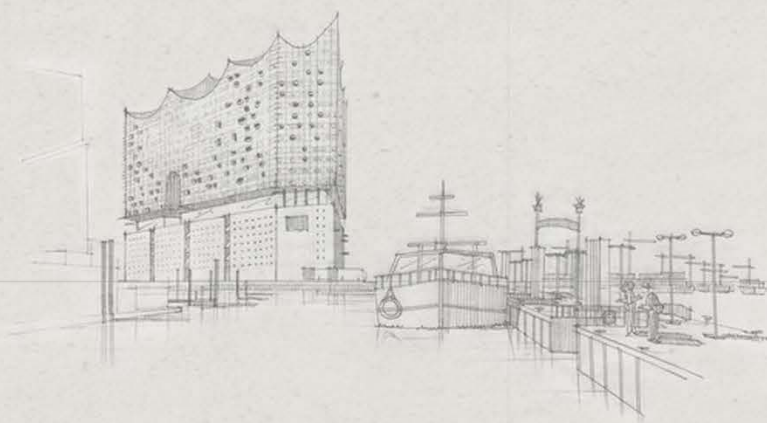


# ΔΙΘΟΥΣΕΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Η σύγχρονη προσέγγιση στην ακουστική  
του · Toyota Yasuhisa

音楽は気持ちを動かします。













Πολυτεχνείο Κρήτης  
Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών

Ηράκλειο, Ιούλιος 2023

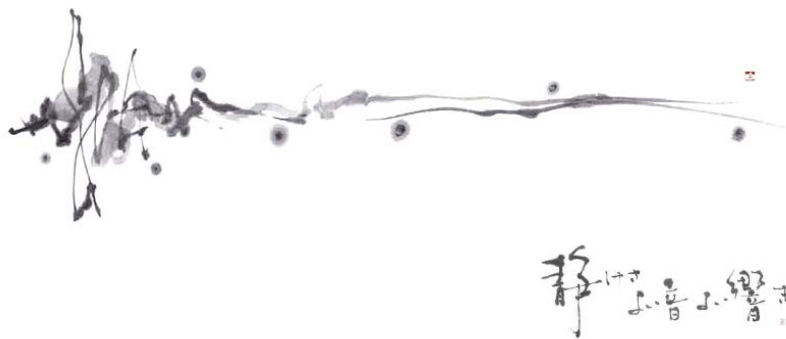
Επιμέλεια: Στεφανουδάκη Κάλλια

# ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

---

Η συγχρονη προσέγγιση στην  
ακουστική του Toyota Yasuhisa

Επιβλέπων Καθηγητής: Γιάννης Τσάρας



"In silence good echo, good sound." – Nagata Acoustics

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέπων καθηγητή κ. Τσάρα Γιάννη  
για το ενδιαφέρον και την πολύτιμη καθοδήγηση του καθ' όλη  
τη διάρκεια εκπόνησης της συγκεκριμένης μελέτης.

## Περίληψη

Η εξέλιξη της ακουστικής έπαιξε κρίσιμο ρόλο στην κατασκευή και το σχεδιασμό των αιθουσών μουσικής και επιστήμονες όπως ο Yasuhisa Toyota βοήθησαν στην προώθηση του πεδίου μέσω της καινοτομίας και οραματικής του δουλειάς. Πρόθεση της εργασίας είναι να μελετήσει την παράλληλη πορεία της ακουστικής με αυτή των αιθουσών μουσικών παραστάσεων καθώς η εξέλιξη της πρώτης διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στον σχεδιασμό των δευτέρων και το αντίστροφο.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αίθουσες μουσικών παραστάσεων στην πορεία του χρόνου, των τυπολογιών τους και τα κριτήρια καλής ακουστικής τους. Στο δεύτερο αναφέρονται σημαντικοί επιστήμονες και το έργο τους που συνέβαλαν στην εξέλιξη της ακουστικής ως επιστήμη. Στη συνέχεια αναλύεται το έργο του Toyota Yasuhisa μαζί με σημαντικές αίθουσες μουσικών παραστάσεων που έχει μελετήσει μέχρι σήμερα. Η εργασία κλείνει με τις αρχιτεκτονικές αρχές στις οποίες βασίστηκε για τον σχεδιασμό αιθουσών μουσικής και οι καινοτομίες που πρόσφερε στην ακουστική οι οποίες τεκμηριώνουν ότι είναι ένας από τους καλύτερους στον κόσμο. Συνολικά η εργασία επιδιώκει να παρουσιάσει μια ολοκληρωμένη εικόνα της σημασίας του ακουστικού σχεδιασμού για τις αίθουσες μουσικών παραστάσεων και να αναδείξει το στίγμα που έχει αφήσει ο Toyota στην ακουστική.

**Λέξεις κλειδιά:** Ακουστικός σχεδιασμός, αίθουσες μουσικών παραστάσεων, ήχος, τεχνολογία αιθουσών, Toyota Yasuhisa

## *Abstract*

The evolution of acoustics played a crucial role in the construction and design of music halls, and scientists such as Yasuhisa Toyota helped advance the field through his innovative and visionary work. The purpose of this paper is to study the parallel course of acoustics with that of music performance halls, as the development of the former plays a crucial role in the design of the latter and vice versa.

The first chapter presents music performance halls over time, their typologies, and the criteria of good acoustics. In the second, important scholars and their work that contributed to the development of acoustics as science are mentioned. The work of Toyota Yasuhisa is then discussed along with important concert halls that he has studied to date. The paper concludes with the architectural principles on which he based the design of music halls and the innovations he brought to acoustics which prove that he is one of the best in the world. Overall, this paper seeks to present a comprehensive picture of the importance of acoustic design for music performance halls and to highlight the mark Toyota Yasuhisa has left on acoustics.

**Key words:** Acoustic design, music performance halls, sound, hall technologies, Toyota Yasuhisa



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	9
Abstract	10
Περιεχόμενα	11
<b>01   Εισαγωγή</b>	
I. Στόχος εργασίας   Ερευνητικά ερωτήματα	15
II. Μέθοδος Έρευνας	15
<b>02   Ακουστική αιθουσών μουσικών παραστάσεων</b>	
I. Από τα μουσικά δρώμενα στις αίθουσες μουσικής	17
i. Ο ήχος από την αρχαιότητα στην Αναγέννηση (6 <sup>ο</sup> αι. π.Χ. – 17 <sup>ο</sup> αι. μ.Χ.)	17
ii. Η αίθουσα μουσικής της εποχής του Μπαρόκ (17 <sup>ος</sup> – 18 <sup>ος</sup> αι.)	21
iii. Ο χώρος μουσικής από την κλασσική περίοδο και τον ρομαντισμό μέχρι σήμερα (18 <sup>ος</sup> -21 <sup>ος</sup> αι.)	25
II. Τυπολογία αιθουσών μουσικής	31
i. Αίθουσες Συναυλιών	38
ii. Συμφωνικές αίθουσες	41
iii. Αίθουσες μουσικής δωματίου	43
iv. Αίθουσες Τζαζ	45
III. Κριτήρια καλής ακουστικής	46
<b>03   Από τον ήχο στην αρχιτεκτονική ακουστική.</b>	
Σημαντικοί εκπρόσωποι που συνέβαλαν στην ανάπτυξη της ακουστικής	
I. Ακουστικοί του παρελθόντος, μεταξύ ήχου και ακουστικής	57
II. Σύγχρονοι εκπρόσωποι ακουστικής	62

III. Yasuhisa Toyota	67
<b>O4</b>   Έργα του Toyota Yasuhisa και αρχές σχεδιασμού τους	
I. Suntory hall, Tokyo (1986)	71
II. Walt Disney Concert Hall, Los Angeles (2003)	77
III. Elbphilharmonie, Hamburg (2017)	84
IV. Αρχές, καινοτομίες και νεωτερισμός που έχει προσφέρει στην ακουστική	95
<b>O5</b>   Συμπεράσματα	97
<b>O6</b>   Βιβλιογραφία	99
<b>O7</b>   Κατάλογος εικόνων	105



## Ο1 | Εισαγωγή

## I. Στόχος εργασίας | Ερευνητικά ερωτήματα

Στόχος της εργασίας είναι η κατανόηση του έργου του Toyota Yasuhisa μέσα από τη μελέτη της παράλληλης εξέλιξης της ακουστικής και των αιθουσών. Τα ερευνητικά ερωτήματα που αντιμετωπίζονται είναι :

- α. Πως εξελίχθηκαν οι χώροι μουσικής ;
- β. Ποιες είναι οι βασικές αρχές σχεδιασμού μιας αίθουσας μουσικής ;
- γ. Ποια είναι η πορεία της ακουστικής μελέτης κλειστών χώρων μουσικών παραστάσεων;
- δ. Πως συνέβαλε ο Toyota Yasuhisa στην εξέλιξη της ακουστικής μελέτης των αιθουσών μουσικής ;

## II. Μέθοδος Έρευνας

Για την μέθοδο συλλογής ερευνητικού υλικού πραγματοποιήθηκε:

Βιβλιογραφική ανασκόπηση κυρίως ξενόγλωσσων βιβλίων, επιστημονικά άρθρα, ερευνητικές, διπλωματικές και πτυχιακές εργασίες, και διαδικτυακή έρευνα.

Η ερμηνευτική μέθοδος βασίζεται στην ανάλυση τριών αντιπροσωπευτικών παραδειγμάτων που αποδεικνύουν το έργο του Toyota Yasuhisa.

## Ο2 | Ακουστική αιθουσών μουσικών παραστάσεων

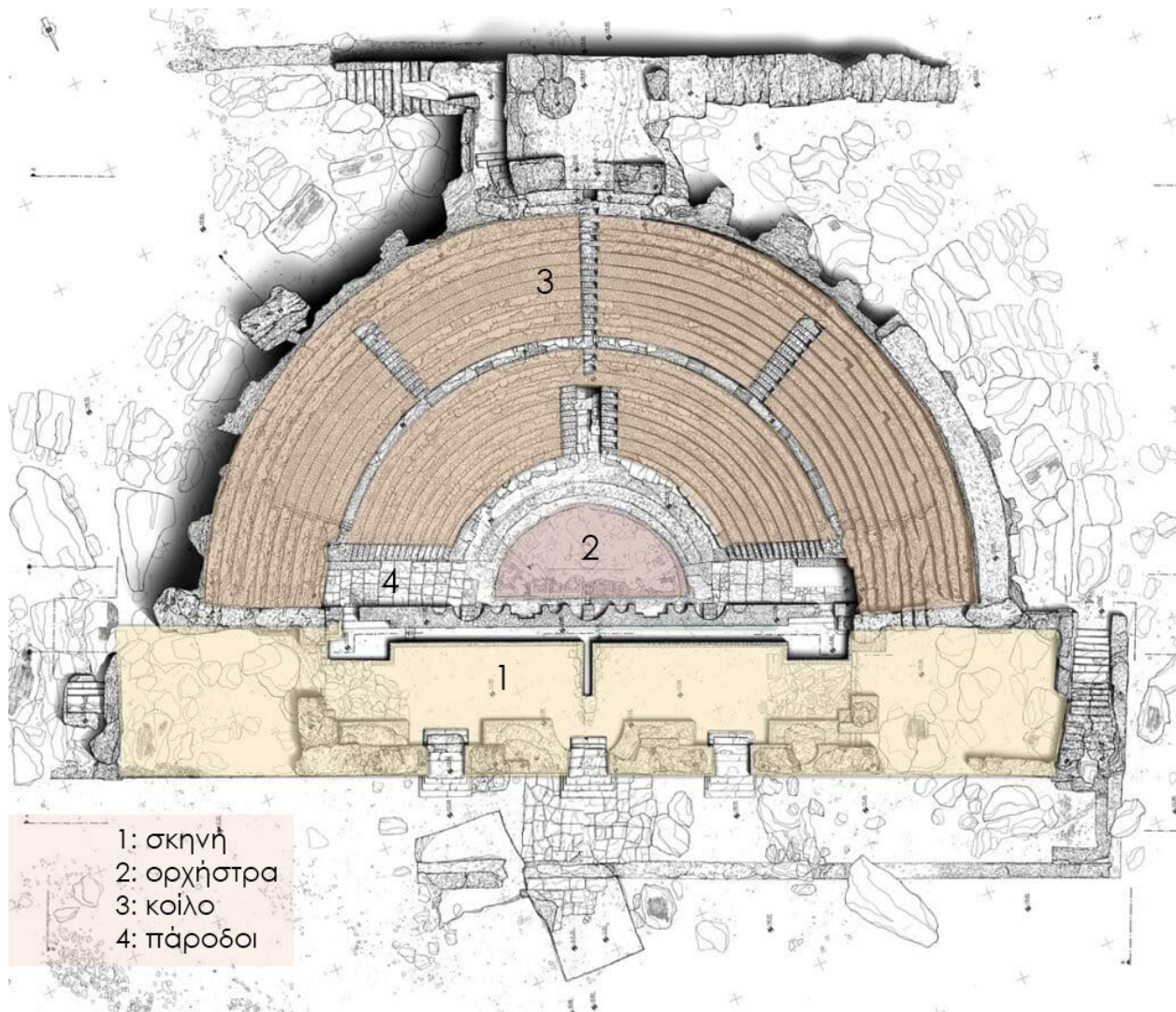
## I. Από τα μουσικά δρώμενα στις αίθουσες μουσικής

Η μουσική ήταν πάντα σημαντικό μέρος της ανθρώπινης κουλτούρας και της ιστορίας και η εξέλιξη της προσδιόριζε πάντα το χώρο διεξαγωγή της. Από τις πλατείες μέχρι τις μεγάλες αίθουσες μουσικής, οι χώροι παραστάσεων αποτελούσαν πάντα ουσιαστικό μέρος της μουσικής εμπειρίας. Οι σύγχρονες αίθουσες μουσικής βρίσκονται σε συνεχή εξέλιξη καθώς δημιουργούν νέες σχέσεις μεταξύ τεχνολογίας και ήχου, επαναπροσδιορίζοντας την συναυλιακή εμπειρία.

### *i. Ο ήχος από την αρχαιότητα στην Αναγέννηση (6<sup>ο</sup> αι. π.Χ. – 17<sup>ο</sup> αι. μ.Χ.)*

Η διερεύνηση του ήχου έχει ως αφετηρία την **Αρχαία Ελλάδα** του 6<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ. με τις μελέτες του Πυθαγόρα (570-497 π.Χ.). Μέσω παρατηρήσεων της συμπεριφοράς του ήχου και τον εντοπισμό του στο χώρο, κατέληξε πως το περιβάλλον διάδοσης αποτελεί καθοριστικό χαρακτηριστικό του ήχου και πάνω σε αυτό βασίστηκε ο σχεδιασμός των χώρων διεξαγωγής μουσικής στην αρχαιότητα. Τα πρώτα στεγασμένα κτίρια για μουσική ήταν τα ωδεία τα οποία προορίζονται για την διεξαγωγή μουσικών παραστάσεων και μουσικών αγώνων όπως τα Παναθήναια στην αρχαία Ελλάδα. Ο σχεδιασμός του είχε όλα τα χαρακτηριστικά του ανοιχτού αρχαίου θεάτρου, σε αρκετά μικρότερη κλίμακα ωστόσο, ο οποίος περιλαμβάνει τη σκηνή, την ορχήστρα και το κοίλο που ήταν ο χώρος των θεατών. Το κοίλο χωρίζεται σε κερκίδες που ξεκινούν από την ορχήστρα και στα μεγαλύτερα ωδεία διαιρείται σε δύο τμήματα : το κάτω και το άνω τα οποία χωρίζονται με καμπυλωτό διάδρομο ,το διάζωμα. Η σκηνή είναι κατά κανόνα ορθογώνια και βρίσκεται μετωπικά από το κοίλο και ανάμεσά τους βρίσκεται η ορχήστρα. Η πρόσβαση των θεατών και των ηθοποιών γινόταν από τις παρόδους, δύο προσβάσεις εκατέρωθεν της σκηνής και ανάμεσα σε αυτή και το κοίλο.

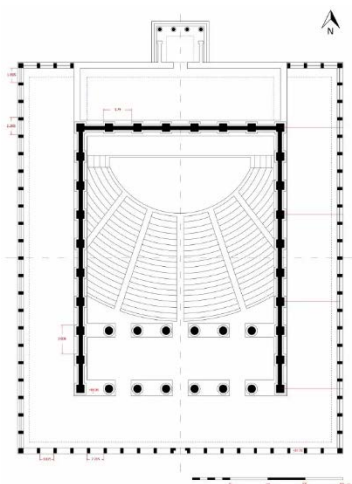




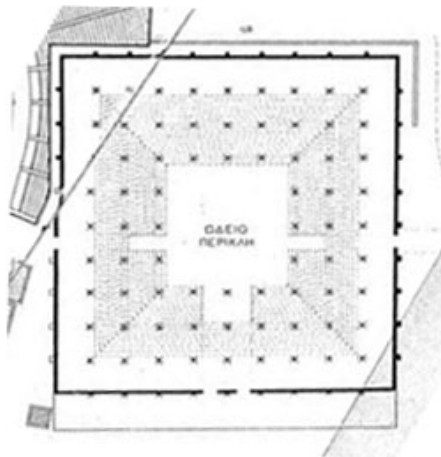
Εικόνα 1: Τυπική κάτοψη ωδείου. Παράδειγμα ωδείου Νικόπολης (2ος αι. π.Χ.)

Κατά τη **ρωμαϊκή περίοδο** τα ωδεία είχαν μεγάλη διάδοση στον ευρύτερο ελλαδικό χώρο (Αθήνα, Άργος, Πάτρα, Κόρινθος, Θεσσαλονίκη, Επίδαυρος, Γόρτυνα, Κως, Ρόδος, Νικόπολη) . Σήμερα σώζονται τα ερείπια τριών από τα μεγαλύτερα σε μέγεθος ωδεία του αρχαίου κόσμου , που κατά σύμπτωση βρίσκονται στην Αθηνά: Του Περικλή, του Αγρίππα και του Ηρώδη του Αττικού <sup>1</sup>.

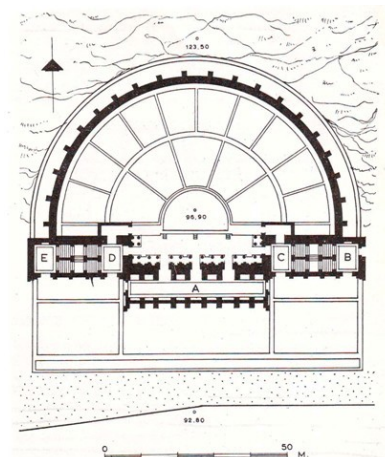
<sup>1</sup> "Χρήση Θεάτρων και Ωδείων, " Εφημερίδα Καθημερινή, Τελευταία τροποποίηση Μάρτιος 10, 2002, <[diazoma.gr/θεατροπαιδεία/χρήση-θεάτρων-και-ωδείων/](http://diazoma.gr/θεατροπαιδεία/χρήση-θεάτρων-και-ωδείων/)>



Εικόνα 2: Κάτοψη ωδείου Αγρίππα στην Αρχαία Αγορά των Αθηνών (15 αι. π.Χ)



Εικόνα 3 : Κάτοψη ωδείου Περικλή στην Ακρόπολη, Αθήνα (5ος αι. π.Χ)



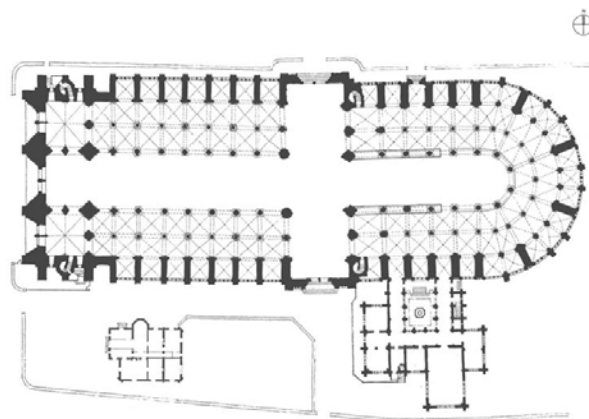
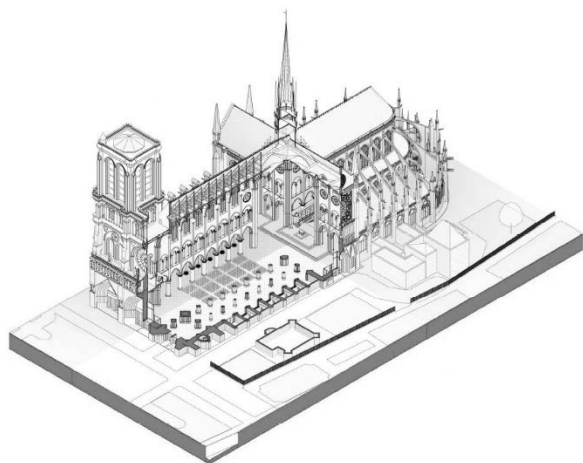
Εικόνα 4 : Κάτοψη ωδείου Ηρώδη το Αττικού, Αθήνα (15ος αι. π.Χ.)

Μέχρι τον Μεσαίωνα επικρατεί μια περίοδος που σε κάθε πτυχή της καθημερινότητας επικρατεί η θρησκευτική ιδεολογία η οποία ισοπεδώνει κάθε εκδήλωση της τέχνης και της επιστήμης. Τον **Μεσαίωνα** (από τον 5<sup>ο</sup> μέχρι 15<sup>ο</sup> αι. μ.Χ.) αναπτύσσεται η εκκλησιαστική μουσική, είτε στη Βυζαντινή της μορφή είτε στη ρωμαιοκαθολική ψαλμωδία. Οι χώροι μουσικής εγκαταλείπονται και ο μοναδικός τόπος "μουσικών" δρώμενων είναι οι ναοί που είχαν ιδιαίτερα ψηλές οροφές και μεγάλους ανοιχτούς χώρους, δημιουργώντας ένα μοναδικό ηχητικό περιβάλλον. Γενικά πολλοί μεσαιωνικοί ναοί σχεδιάστηκαν, έχοντας και ως ένα βαθμό το κριτήριο της ακουστικής, με έμφαση τη δημιουργία ενός αντηχητικού, περιβάλλοντος που ενίσχυε την κατανόηση και το μεγαλείο στην απόδοση της μουσικής και του προφορικού λόγου <sup>2</sup>.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η Παναγία των Παρισίων (1163) στη Γαλλία, μία από τις πιο εντυπωσιακές γοθικές εκκλησίες του 12<sup>ου</sup> αι. Το εσωτερικό του αποτελείται από το χώρο της χορωδίας, την αψίδα, και ένα ευρύχωρο σηκό, το κύριο μέρος του ναού, που πλαισιώνεται από διπλούς διαδρόμους και παρεκκλήσια. Μέσα στον ναό η χορωδία τοποθετούνταν ανάμεσα από τα παρεκκλήσιά κοντά στην αψίδα, δημιουργώντας έτσι την αίσθηση των πολλαπλών ηχητικών πηγών γεγονός που συνέβαλε στην ενίσχυση της ζωντάνιας του ήχου. Ο μεγάλος χρόνος αντήχησης στους καθεδρικούς ναούς καθορίζει επίσης τον χαρακτηριστικό ήχο της εκκλησιαστικής μουσικής <sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Meyer Jurgen, "Acoustics of gothic churches", Μουσική Ακαδημία Detmold 2002

<sup>3</sup> Julien De Muynke, Maria Baltazar, Martin Monferran, Claudie Voisenat "Ears of the past, an inquiry into the sonic memory of the acoustics of Notre-Dame before the fire of 2019", Journals of Cultural Heritage 56, (June 2022):130-137



Εικόνα 5 : Αξονομετρική τομή Παναγίας των Παρισίων (1163)

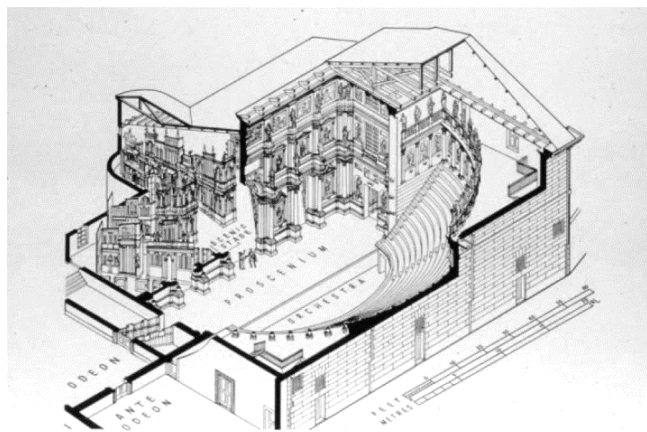
Εικόνα 6 : Κάτοψη Παναγίας των Παρισίων (1163)

Η **Αναγέννηση** (15<sup>ος</sup>-17<sup>ος</sup> αι.) είναι η εποχή ανακαλύψεων, εφευρέσεων και αναβίωσης της τέχνης συμπεριλαμβανομένου και της μουσικής. Η μουσική της εποχής εκδηλώνεται σε διάφορους χώρους ανάλογα με το είδος της και το κοινωνικό πλαίσιο στο οποίο αναφέρεται. Από τη μία οι ευγενείς και οι βασιλιάδες απασχολούν σε μόνιμη βάση μουσικούς εκτελεστές, είτε ως μέλη του προσωπικού του παλατιού είτε ως προσκεκλημένους. Από την άλλη μουσικές παραστάσεις δίδονταν σε δημόσιους χώρους όπως τον δρόμο, τις πλατείες κατά τη διάρκεια φεστιβάλ και εορτασμών και σε πανδοχεία για να διασκεδάσουν τα πλήθη.

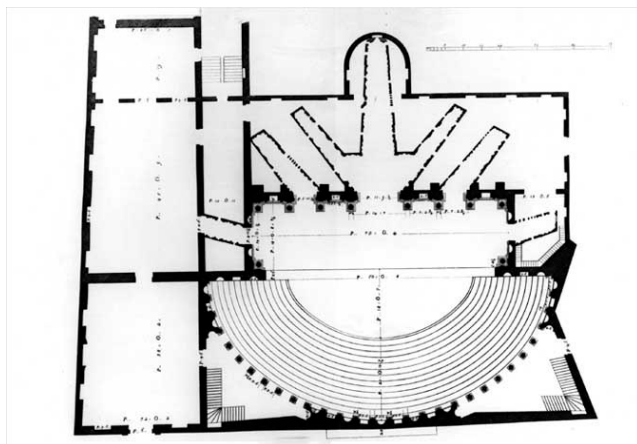
Στην αναγέννηση έχουμε την κατασκευή των πρώτων κλειστών χώρων παραστάσεων για θεατρικά δρώμενα που συμπεριέλαβαν μουσική στις παραγωγές τους. Το πρώτο από αυτά είναι το Teatro Olimpico στη Βισένζα της Ιταλίας, κατασκευασμένο το 1585, του οποίου ο σχεδιασμός ανατέθηκε τον αρχιτέκτονα Andrea Palladio (1508-1580). Η μορφολογία του θεάτρου μοιάζει πολύ με αυτήν του ανοιχτού ρωμαϊκού θεάτρου. Ως προς την κάτοψη, οι θέσεις των θεατών οργανώνονται σε βαθμίδες με 13 σκαλοπάτια και σχετικά απότομη κλίση σε οβάλ διάταξη αντί ημικυκλική. Η κλίση αυτή επιτυγχάνεται λόγω μικρού όγκου του θεάτρου και επιδιώκει καλύτερη οπτική άνεση και καλύτερο ηχητικό αποτέλεσμα κατά τη διάρκεια της παράστασης. Η ορχήστρα βρίσκεται σε χαμηλότερο επίπεδο μεταξύ της σκηνής και των κερκίδων. Η σκηνή είναι παραλληλόγραμμη και στενόμακρη, και πίσω της βρίσκεται ένας μόνιμος σκηνικός τοίχος. Χωρίζεται σε τρία ανοίγματα στα οποία υπάρχουν προοπτικές απεικονίσεις δρόμων ή δέντρων και είναι οπτικά προσανατολισμένα προς την ορχήστρα <sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Άνθος Βενιζέλος, " 'Βιώνοντας' το θεατρικό χώρο", Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, 2015, 81.





Εικόνα 7 : Αξονομετρική Κάτοψη του Teatro Olimpico, Βισένζα (1585)

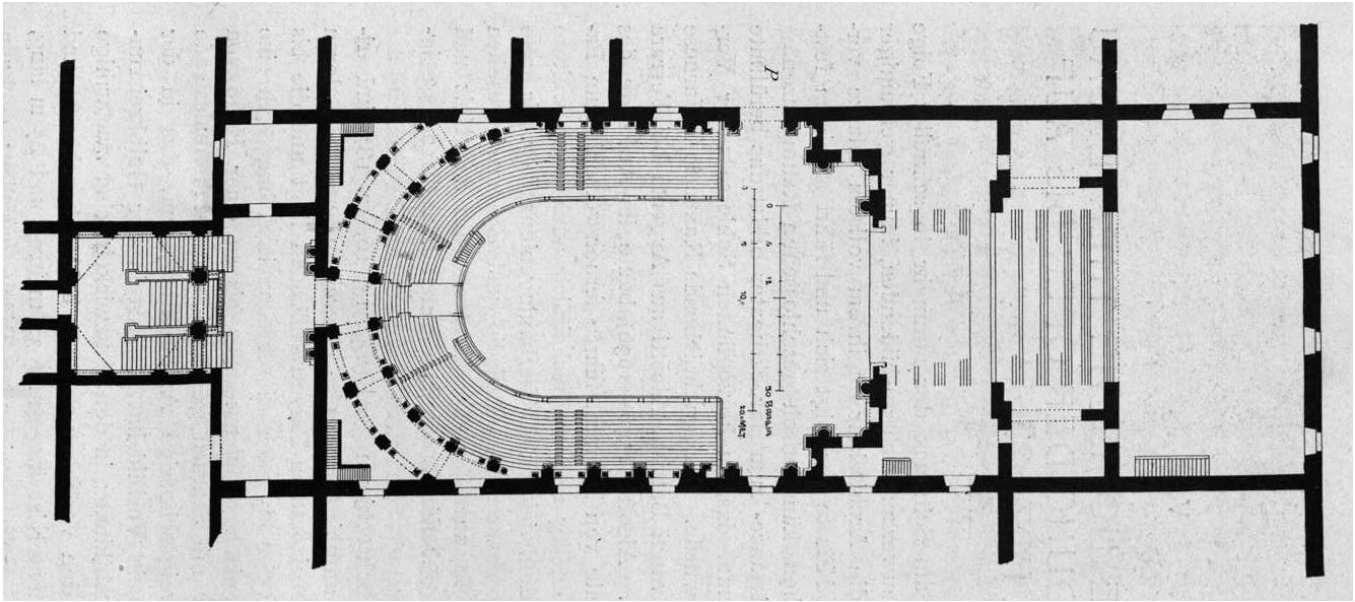


Εικόνα 8 : Κάτοψη του Teatro Olimpico, Βισένζα (1585)

## ii. Η αίθουσα μουσικής της εποχής του Μπαρόκ (17<sup>ος</sup> – 18<sup>ος</sup> αι.)

Στην εποχή του **Μπαρόκ** (1600-1750) γίνεται η εμφάνιση της μουσικής δωματίου, η εισαγωγή της όπερας και η επανεμφάνιση ωδείων για εκπαιδευτικούς λόγους. Οι μουσικοί και οι συνθέτες απασχολούνταν από πλούσιους ευγενείς σε παλάτια ως μόνιμο προσωπικό. Η ορχήστρα εμφανίζεται σε μικρούς ιδιωτικούς χώρους με τετράγωνες κατόψεις, τοίχους με έντονη ανάκλαση και μεγάλο χρόνο αντήχησης. Ο μεγάλος χρόνος αντήχησης ωστόσο ήταν κάτι που ταίριαζε με τη μουσική του μπαρόκ, χαρακτηριστικό για την εξέλιξη των αιθουσών μουσικής δωματίου που φιλοξενούσε από 50 έως 200 άτομα <sup>5</sup>. Την ίδια εποχή γίνεται η εισαγωγή των μουσικών παραστάσεων σε αίθουσες που προορίζονταν για όπερα. Το ημικυκλικό σχήμα του Teatro Olimpico εξελίσσεται σε μορφή πετάλου στο Teatro Farnese, το οποίο είναι το πρώτο ιδιωτικό κτίριο όπερας. Άνοιξε το 1618 στην Πάρμα της Ιταλίας από τον Giovanni Battista Aleotti (1546-1636) το οποίο έφερε καινοτόμα τεχνολογία στην κατασκευή των χώρων όπερας.

<sup>5</sup> Christopher R. Herr and Gary W Siebein, "An Acoustical History of Theaters and Concert Halls: An Investigation of Parallel Developments in Music, Performance Spaces, and the Orchestra", Association of Collegiate Schools of Architecture, 1998, 147.



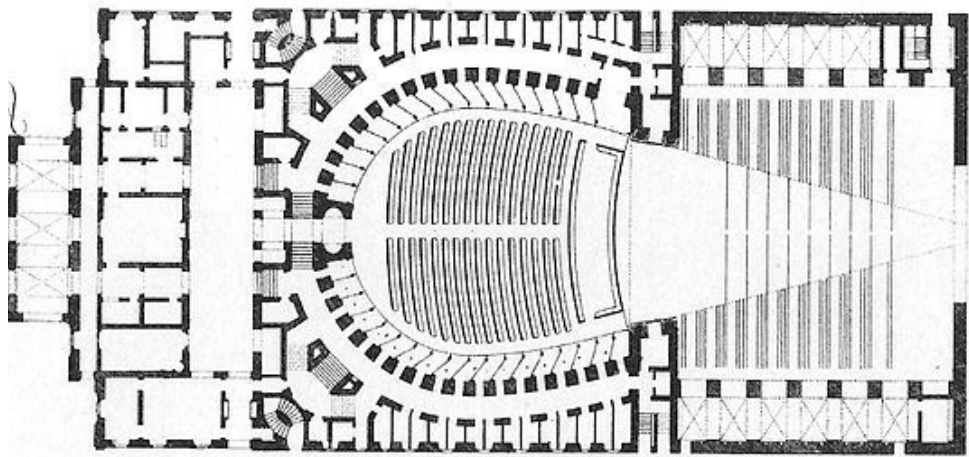
Εικόνα 9: Κάτοψη Teatro Farnese, Πάρμα (1618)

Η σκηνή πλέον αποκτά βάθος και εγκαινιάζεται το τόξο σκηνής που πλαισιώνει το χώρο παράστασης. Η διάταξη του πετάλου δίνει τη δυνατότητα στο χώρο των θεατών να διαμορφώνεται αμφιθεατρικά και αυξάνει την χωρητικότητα της αίθουσας στα 3000 άτομα. Ο χώρος μπροστά από τις κερκίδες χρησιμοποιείται είτε για όρθιους θεατές, είτε ως επέκταση της σκηνής. Μεταγενέστερα θα γίνει ο χώρος φιλοξενίας της ορχήστρας για παραστάσεις όπερας. Αυτή η διάταξη καλύπτει την οπτική άνεση και τις ακουστικές απαιτήσεις του θεάματος (πρώιμη όπερα). Έτσι αποτέλεσε το πρότυπο για τα κτίρια της Ιταλικής σκηνής <sup>6</sup>.

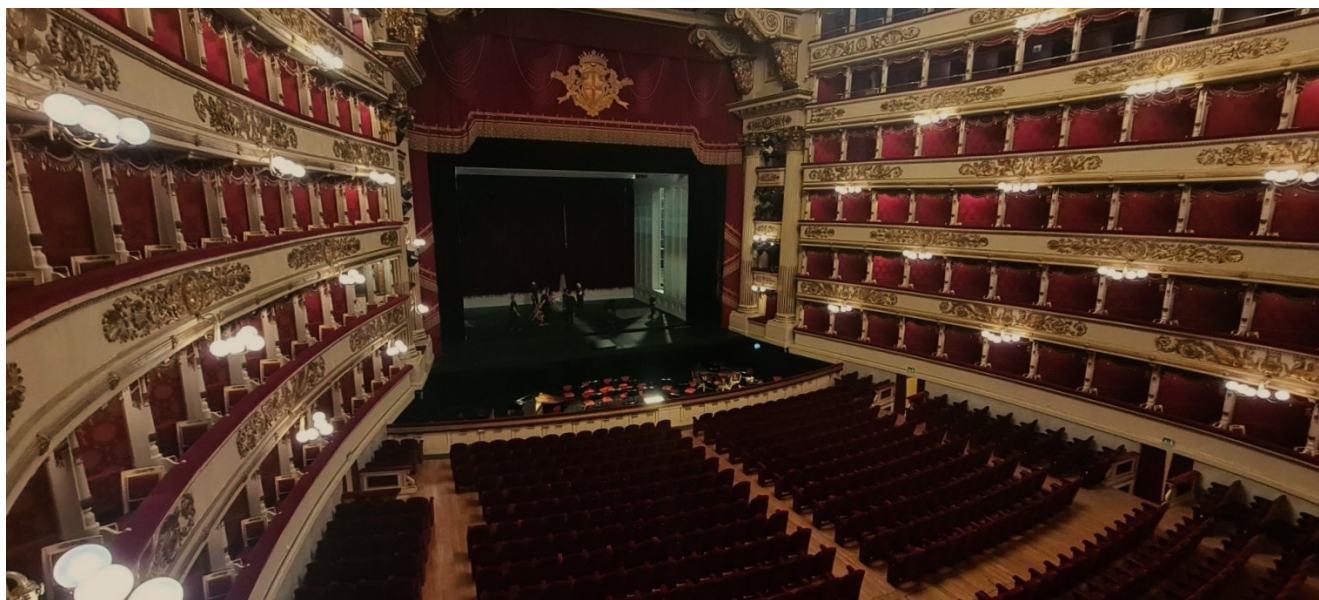
Η εξέλιξη του πετάλου εμφάνισε την εισαγωγή των μπαλκονιών, σημαντικό στοιχείο στις αίθουσες όπερας. Ήταν ρηχά δωμάτια κατανομημένα περιμετρικά της κάτοψης της πλατείας σε διάφορα επίπεδα τα οποία λειτουργούσαν σαν ηχεία, ενισχύοντας την ηχητική ενέργεια στην πλατεία. Επίσης εμφανίζεται άλλη μια καινοτομία, το πιτ σκηνής. Πρόκειται για μία υποβαθμισμένη πλατφόρμα μπροστά από τη σκηνή που κρύβει την ορχήστρα ώστε να μην έχει οπτική επαφή με το κοινό. Σχεδιάστηκε για να στέλνει τον ήχο προς τα πίσω και πάνω στην πλατεία.

<sup>6</sup> Άνθος Βενιζέλος, " 'Βιώνοντας' το θεατρικό χώρο", Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, 2015, 83.

Γενικά οι αίθουσες με αυτά τα χαρακτηριστικά έχουν πολύ μεγαλύτερο χρόνο αντήχησης από αυτές των αιθουσών μουσικής δωματίου καθώς αυτό υπαγορεύουν οι ακουστικές απαιτήσεις της όπερας <sup>7</sup>. Μία ιστορική όπερα με τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά είναι η Teatro alla Scala στο Μιλάνο, Ιταλία (1778) η οποία αποτελείται από 678 μπαλκόνια σε 6 βαθμίδες φιλοξενώντας 2000 άτομα.



Εικόνα 10: Κάτοψη Teatro alla Scala, Μιλάνο (1778)



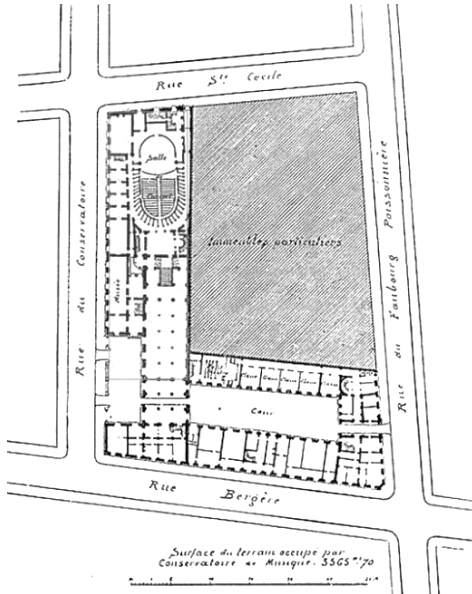
Εικόνα 11 : Teatro alla Scala, Μιλάνο στιγμιότυπο αίθουσας , 2022 (φωτ. Κ.Σ)

---

<sup>7</sup> Octavio Inacio, “Fundamentals of room acoustics, International Advanced Course on Musical Acoustics”, International Advanced Course on Musical Acoustics, 2005, 3.



Παράλληλα εμφανίζονται ξανά τα ωδεία, όμως τώρα με διαφορετικό σχεδιασμό, κατασκευή και λειτουργία σε σχέση με την αρχαιότητα. Τα ωδεία ήταν τα πρώτα ιδρύματα κατάλληλα εξοπλισμένα για την εκπαίδευση στην πρακτική μουσική. Το πρώτο ίδρυμα μουσικής και σύνθεσης το οποίο έμοιαζε με τα σύγχρονα ωδεία, ιδρύθηκε στο Παρίσι και ήταν το 'Εθνικό ωδείο μουσικής και δραματικής τέχνης' γνωστό ως Conservatoire de Paris (1795) στη Γαλλία και κύριος σκοπός του ήταν να εκπαιδεύσει μουσικούς για να συμμετέχουν σε δημόσιες συναυλίες και εορτασμούς που διοργάνωνε η κυβέρνηση. Το Γαλλικό μοντέλο μιμήθηκε και τροποποιήθηκε καθ' όλη τη διάρκεια του 19<sup>ου</sup> αιώνα τόσο στην Ευρώπη όσο και στις Ηνωμένες πολιτείες <sup>8</sup>.



Εικόνα 12: Κάτοψη Conservatoire de Paris (1795)



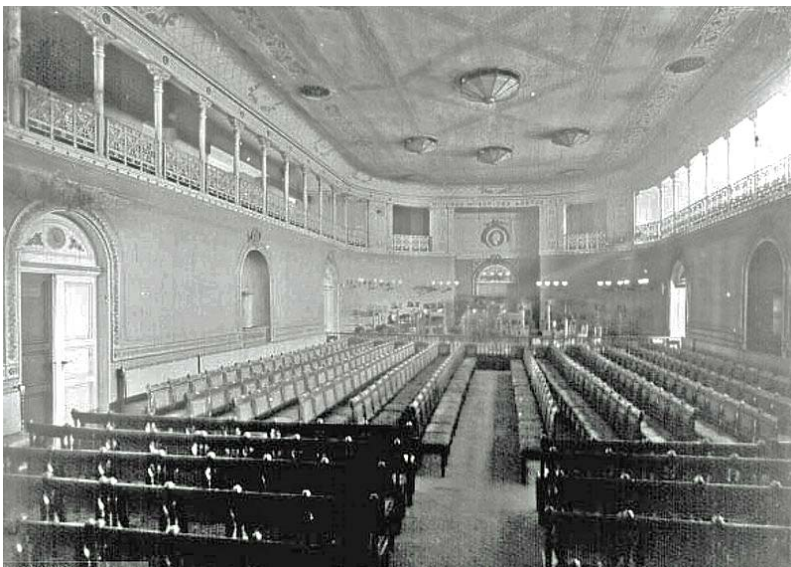
Εικόνα 13: Εξωτερική Όψη Conservatoire de Paris (1795)

<sup>8</sup> "conservatory," Britannica, Accessed February 2, 2023, <[britannica.com/art/conservatory-musical-institution](https://www.britannica.com/art/conservatory-musical-institution)>



iii. Ο χώρος μουσικής από την κλασσική περίοδο και τον ρομαντισμό μέχρι σήμερα (18<sup>ος</sup> -21<sup>ος</sup> αι.)

Κατά τη διάρκεια της **κλασσικής περιόδου** (1750-1820) η εξέλιξη ορχηστρικών οργάνων και η ανάγκη για επέκταση των δημόσιων συναυλιών οδήγησαν σε μεγάλες αλλαγές στο μουσικό χώρο. Το αυξημένο ενδιαφέρον για μουσικές παραστάσεις καθώς και το πλήθος των μουσικών της ορχήστρας οδηγεί στον επαναπροσδιορισμό της αρχιτεκτονικής των αιθουσών μουσικής<sup>9</sup>. Οι αίθουσες γίνονται μεγαλύτερες με ορθογώνια κάτοψη η οποία παρέχει ηχοανακλαστικές επιφάνειες και χρόνους αντήχησης μέχρι 1.5 δευτερόλεπτο. Ένα παράδειγμα πρώιμων αιθουσών συναυλίας μικρής κλίμακας είναι το Altes Gewandhaus στη Λειψία της Γερμανίας (1781). Είχε δυνατότητα χωρητικότητας 400 ατόμων με ορθογώνια κάτοψη που ξεχώριζε για τις καμπυλωτές γωνίες του και μετωπική διάταξη με τον χώρο της ορχήστρας να βρίσκεται σε μία πλατφόρμα που μπορούσε να φιλοξενήσει 60 μουσικούς. Η συγκεκριμένη αίθουσα είχε ασυνήθιστη διάταξη θέσεων με τα καθίσματα να βρίσκονται αντικρουστά μπροστά από την ορχήστρα. Η ξύλινη επένδυση στους τοίχους και στο πάτωμα, είχε ως αποτέλεσμα την απορρόφηση χαμηλών συχνοτήτων προσφέροντας μεγαλύτερη διαύγεια στην ποιότητα του ήχου. Ο μικρός όγκος της αίθουσας μαζί με το χαμηλό χρόνο αντήχησης της τάξης του 1.3 εξασφάλιζαν την ορχήστρα να ακούγεται καθαρά σε όλη την αίθουσα<sup>10</sup>.



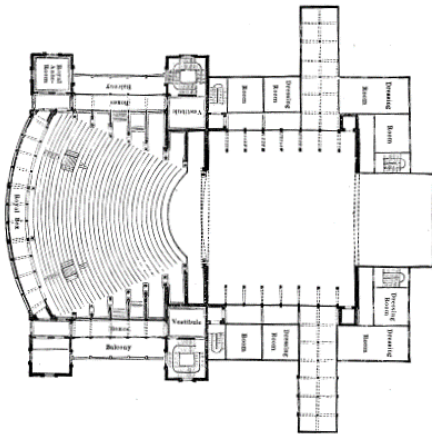
Εικόνα 14: Εσωτερική άποψη Altes Gewandhaus, Ληψία (1787)

<sup>9</sup> Christopher R. Herr and Gary W Siebein, "An Acoustical History of Theaters and Concert Halls: An Investigation of Parallel Developments in Music, Performance Spaces, and the Orchestra", University of Florida, 148.

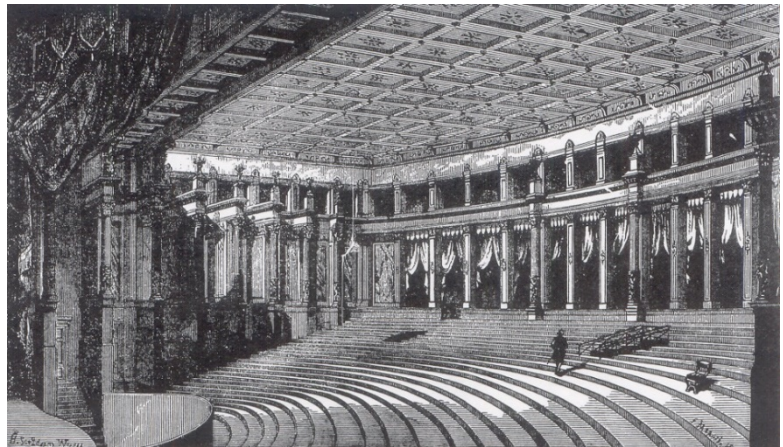
<sup>10</sup> John Mauvan, "Shoe Box | An analysis of the concert hall and its adaption to small- scale music performance space", Master of Architecture, Victoria University of Wellington, 2011

Η **Ρομαντική περίοδος** (1815-1910) έφερε σημαντικές αλλαγές στις αίθουσες μουσικής. Στο πνεύμα της εποχής δίνεται μεγάλη έμφαση στην καλλιτεχνική έκφραση και διευρύνεται το ρεπερτόριο μουσικής καθώς υπάρχει στροφή στην συναισθηματική και εκφραστική μουσική, πλούσια σε περίπλοκους συνδυασμούς συγχορδίων και ποικίλους ρυθμούς. Η αρχιτεκτονική της αίθουσας συναυλιών εξελίσσεται για να καλύψει τις νέες μουσικές εκφράσεις αλλά και να δημιουργήσει παραπάνω χώρο στην πλατεία για ένα κοινωνικά πιο διευρυμένο κοινό.

Η γνώση της ακουστικής συμπεριφοράς των δωματίων δεν είχε ακόμα καθοριστεί. Οι επιτυχημένες αίθουσες σχεδιάστηκαν χρησιμοποιώντας στοιχειώδεις αλλαγές από τις προηγούμενες κατασκευές. Σε πολλές περιπτώσεις οι συνθέτες της εποχής έγραφαν μουσική με μία συγκεκριμένη αίθουσα στο μυαλό τους. Μια από τις χαρακτηριστικές περιπτώσεις είναι η όπερα του Wagner, το Festspielhaus στο Μπαϊρόιτ της Γερμανίας (1876) που σχεδιάστηκε με πρόθεση να επιτύχει συγκεκριμένους ακουστικούς στόχους για τις ανάγκες των συνθέσεων του ίδιου του Wagner. Η αίθουσα είναι διάταξη βεντάλιας με κολώνες περιμετρικά της πλατείας. Ήταν η πρώτη όπερα που δε διαφοροποιούσε τα καθίσματα ανά κοινωνική τάξη μεταξύ των κουτιών και των θέσεων όπως ήταν η παραδοσιακή μορφή της ιταλικής όπερας. Με χρόνο αντήχησης στο 1.55 δευτερόλεπτο, ταίριαζε ιδιαίτερα στη μουσική του Wagner<sup>11</sup>.



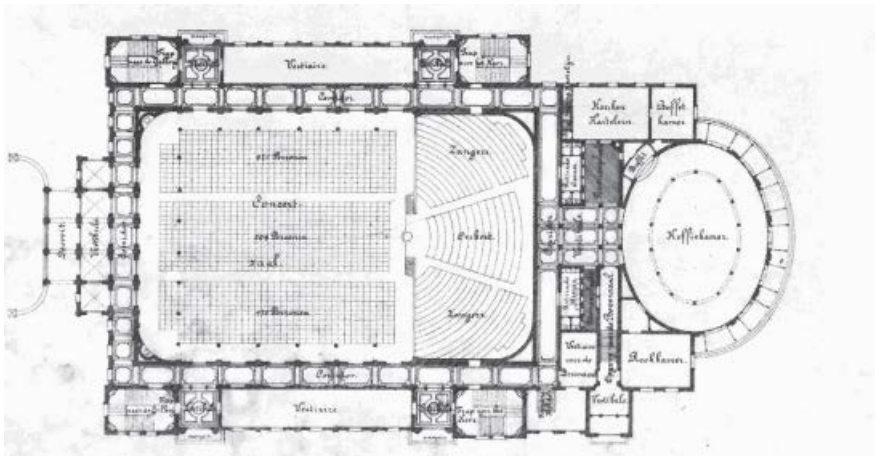
Εικόνα 15: Κάτοψη Festspielhaus, Γερμανία (1876)



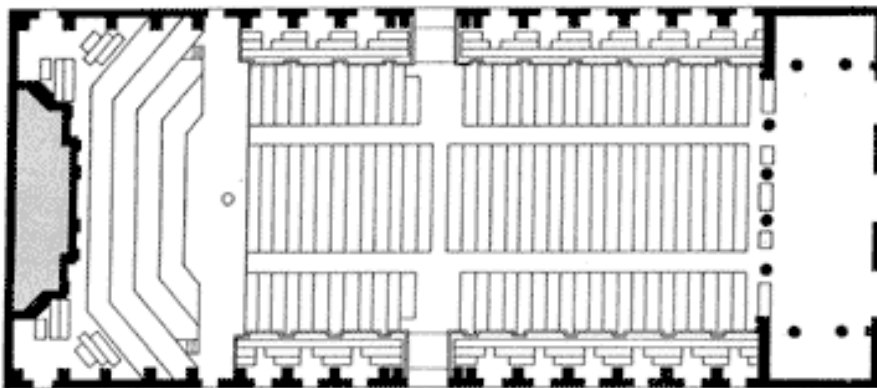
Εικόνα 16: Εσωτερική άποψη Festspielhaus, Γερμανία (1876)

<sup>11</sup> Marshall Long, "Architectural Acoustics", Elsevier Academic Press, 2006, 25

Στα τέλη του 18<sup>ου</sup> και 19<sup>ου</sup> αιώνα κατασκευάστηκαν πολλές από τις καλύτερες αίθουσες για ορχηστρική μουσική. Ιδιαίτερα αξιοσημείωτες για την ακουστική και για την επιρροή τους σε μεταγενέστερα κτίρια που μοιράζονται τα κοινά αρχιτεκτονικά στοιχεία περιλαμβάνουν το Musikverein της Βιέννης (1870) που φιλοξενεί 1680 άτομα, και το Concertgebouw του Άμστερνταμ (1888) το οποίο χωράει 2200 άτομα με χρόνους αντήχησης μεταξύ 2.0 και 2.2 δευτερόλεπτα. Είναι αίθουσες μετωπικής διάταξης με ψηλά ταβάνια και πολλαπλές επιφάνειες διάχυσης του ήχου. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι αίθουσες που αναφέρονται, σχεδιάστηκαν χωρίς καμία θεμελιώδεις επιστημονική βάση στην ακουστική<sup>12</sup>.



Εικόνα 17: Κάτοψη Concertgebouw, Άμστερνταμ (1883)



Εικόνα 18: Κάτοψη Musikverein, Βιέννη (1870)

<sup>12</sup> Octavio Inacio, "Fundamentals of room acoustics, International Advanced Course on Musical Acoustics, 2005, 4.





Εικόνα 19 : Musikverein στιγμιότυπο αίθουσας 2019 (φωτ. Κ.Σ)

Στα τέλη του **19<sup>ου</sup> αι.** και αρχές του **20<sup>ου</sup> αι.** ο Wallace Sabine (1868-1919) καλείται ο πατέρας της ακουστικής αφού μετά από πειράματα στην αίθουσα διαλέξεων στο Fogg art του πανεπιστημίου Harvard, κατέληξε στην διατύπωση της κλασσικής θεωρίας της αντήχησης και εισήγαγε τον όρο της ακουστικής μελέτης. Το πρώτο κτίριο που σχεδιάστηκε με επιστημονικά διαμορφωμένη ακουστική βάση των αρχών του Sabine ήταν η Συμφωνική αίθουσα στη Βοστώνη το 1900. Είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα όπου η αρχιτεκτονική και η ακουστική συνδυάζονται αρμονικά. Το 1898 ο Higginson Henry Lee (1834-1919), ένας Αμερικανός επιχειρηματίας και ιδρυτής της Συμφωνικής ορχήστρας της Βοστώνης, έφερε τον Sabine ως ακουστικό σύμβουλο για τη νέα αίθουσα. Αρχικά οι αρχιτέκτονες υπεύθυνοι για τον ανασχηματισμό της αίθουσας πρότειναν να ακολουθήσουν το μοντέλο του Altes Gewandhaus (1787) για να μεγαλώσουν την χωρητικότητα της αίθουσας.

Κατά συνέπεια ο χρόνος αντήχησης της αίθουσας θα γινόταν 3 δευτερόλεπτα αντί για 1.85 που ήταν πριν. Ο Sabine πρότεινε να βασιστούν στο ήδη υπάρχον καλούπι της ορθογώνιας αίθουσας και στην χωρητικότητα των 2361 ατόμων. Έδωσε ιδιαίτερη σημασία στις περίπλοκες λεπτομέρειες κατά μήκος των μπαλκονιών, των τοίχων και της οροφής όπου επηρέαζαν την ακουστική της αίθουσας που σύμφωνα με τον τύπο υπολογισμού του χρόνου αντήχησης προσέγγισε τα 2.31 δευτερόλεπτα. Αυτό αποδείχθηκε καθοριστικό για την ακουστική ποιότητα της αίθουσας. Έτσι η Συμφωνική αίθουσα στη Βοστώνη θεωρείται ευρέως ως μια από τις καλύτερες αίθουσες συναυλιών στον κόσμο και είναι γνωστή για την εξαιρετική ακουστική της <sup>13</sup>.



Εικόνα 20: Εσωτερική άποψη Boston Syphony Hall (1900)



Εικόνα 21: Εσωτερική άποψη του Boston Syphony Hall από 1 σκηνή (1900)

---

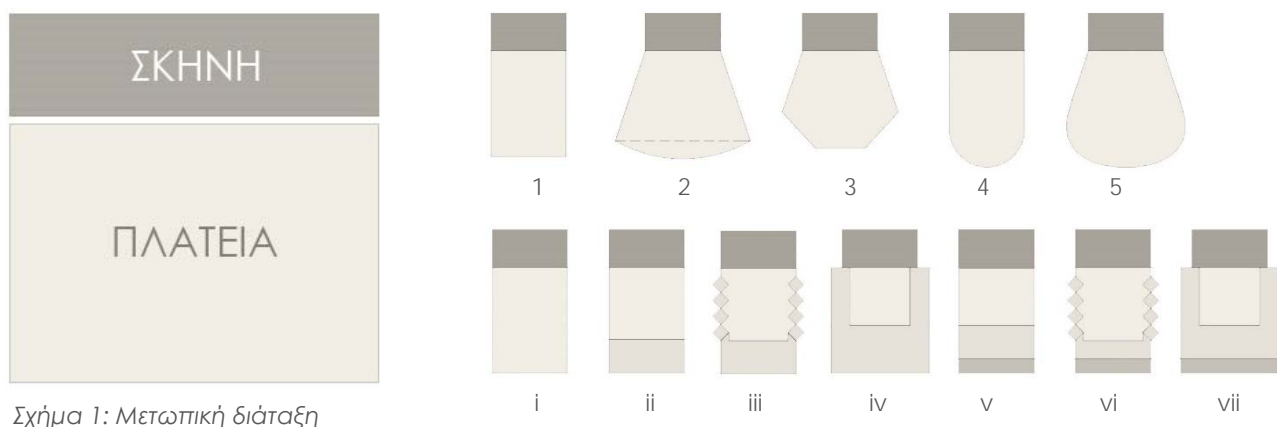
<sup>13</sup> Ashton Allan, 'Acoustic Architecture Begins: Symphony Hall Boston 1900', 2003, 32-34.

Τον **20<sup>ο</sup> αι.** ο σχεδιασμός των αιθουσών μουσική άλλαξε δραματικά. Η βιομηχανική επανάσταση έφερε την ανάπτυξη νέων υλικών και οδήγησε στη δημιουργία νέων τρόπων μεταφοράς των ανθρώπων στην πόλη. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα μια αυξημένη ζήτηση για ψυχαγωγία θέτοντας τον σχεδιασμό μεγαλύτερων αιθουσών μουσικής απαραίτητο. Κατά τη διάρκεια του αιώνα συστήνονται νέοι σχεδιαστικοί τύποι αιθουσών καθώς οι αρχιτέκτονες και οι ακουστικοί προσπάθησαν να δημιουργήσουν χώρους ισορροπημένους ανάμεσα στις αρχιτεκτονικές ανησυχίες και τις ακουστικές απαιτήσεις. Δοκιμάζουν πρωτοποριακές μορφές για την κατασκευή αιθουσών μουσικής όπως την κυκλική διάταξη με τη σκηνή στη μέση και τους θεατές να την περιβάλουν, ένα είδος το οποίο διαφοροποιείται και εφαρμόζεται στις σύγχρονες αίθουσες.

Σήμερα οι αίθουσες μουσικής εξελίσσονται με την ενσωμάτωση της τεχνολογίας. Οι χώροι πλέον περιλαμβάνουν προηγμένα συστήματα ήχου και φωτισμού για να βελτιώσουν την εμπειρία του κοινού. Ο σχεδιασμός τους έχει γίνει πιο ευέλικτος με χώρους που προορίζονται για πολλαπλά είδη μουσικής. Βασίζεται στην ανάλυση της ακουστικής του δωματίου που προσαρμόζεται στο είδος της μουσικής. Πολλές σύγχρονες αίθουσες είναι σχεδιασμένες να είναι ευέλικτες, με κινητά καθίσματα που μπορούν να αναδιαταχθούν για να φιλοξενήσουν διαφορετικούς τύπους παραστάσεων , από ορχηστρικές συναυλίες μέχρι ροκ, ποπ και τζαζ παραστάσεις.

## II. Τυπολογία αιθουσών μουσικής

Οι αίθουσες μουσικής διακρίνονται πρωτίστως ανάλογα με το είδος μουσικής που φιλοξενούν. Υπάρχουν αίθουσες συναυλιών, κλασσικής μουσικής, μουσικής δωματίου, συμφωνικές αίθουσες, αίθουσες μουσικής pop, rock, jazz, κ.α. Ο κύριος στόχος του σχεδιασμού μιας αίθουσας μουσικής είναι να εξυπηρετεί ακουστικά το είδος μουσικής στο οποίο αναφέρεται. Στους μεγαλύτερους χώρους με περισσότερους θεατές είναι ιδανική η κλιμακωτή διάταξη των θέσεων της πλατείας, καθώς μια καλή οπτική γωνία οδηγεί κατά κανόνα σε καλή ακουστική<sup>14</sup>. Υπάρχουν δύο βασικές τυπολογίες που προτιμώνται για τον σχεδιασμό αιθουσών μουσικής και η καθεμία έχει τα δικά της ιδιαίτερα ακουστικά χαρακτηριστικά. Η μετωπική διάταξη, γνωστή και ως "shoebox", και η κυκλική διάταξη ή αρένα. Στην πρώτη περίπτωση η αίθουσα μπορεί να σχεδιαστεί βάσει διαφόρων διατάξεων, όπως φαίνεται στο Σχ1.



Σχήμα 1: Μετωπική διάταξη

- 1 : ορθογωνική αίθουσα
- 2 : αίθουσα βεντάλια
- 3 : πολυγωνική αίθουσα
- 4 : σχήματος "U"
- 5 : πεταλόσχημη αίθουσα  
ιταλικής όπερα

- i: απλή μετωπική διάταξη
- ii: πλατεία με έναν εξώστη
- iii: πλατεία με έναν εξώστη και πλαϊνά κουτιά  
(θεωρεία)
- iv: πλατεία με εξώστη και πλάγιες επεκτάσεις
- v: πλατεία με δύο εξώστες
- vi: πλατεία με δύο εξώστες και πλαϊνά κουτιά
- vii: πλατεία με δύο εξώστες με πλάγιες  
επεκτάσεις.

<sup>14</sup> Daniel R. Raichel, "the science and applications of acoustics", Springer Science + Business Media, Inc, 2006, 261.



Από τις παραπάνω κατηγορίες το σχήμα U, η πεταλόσχημη αίθουσα και οι αίθουσες που έχουν πλαϊνά κουτιά δεν χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αιθουσών μουσικής καθώς έχουν ακουστικά προβλήματα όπως εστίαση του ήχου στο κέντρο της πλατείας. Μια τυπική αίθουσα shoebox πρόκειται για μια ορθογωνικής κάτοψης αίθουσα που αποτελείται από την πλατεία και την υπερυψωμένη σκηνή χωρίς αυλαία. Χαρακτηριστικό αυτού του χώρου είναι η πληρότητα του ήχου, η αίσθηση δηλαδή πως περιβάλλεται το κοινό από τη μουσική. Το βάθος της σκηνής διαφέρει ανάλογα με το σύνολο που φιλοξενεί η αίθουσα και χωρίζεται σε κατηγορίες με ή χωρίς εξώστη χωρίς να υπερβαίνει τα 25 μέτρα. Είναι συνήθως υπερυψωμένη και το ύψος από το πάτωμα κυμαίνεται στα 0.50 -1.20 μ. Σε ορχήστρες μεγάλου μεγέθους η σκηνή χωρίζεται σε υψομετρικές ζώνες για κάθε κατηγορία οργάνων.

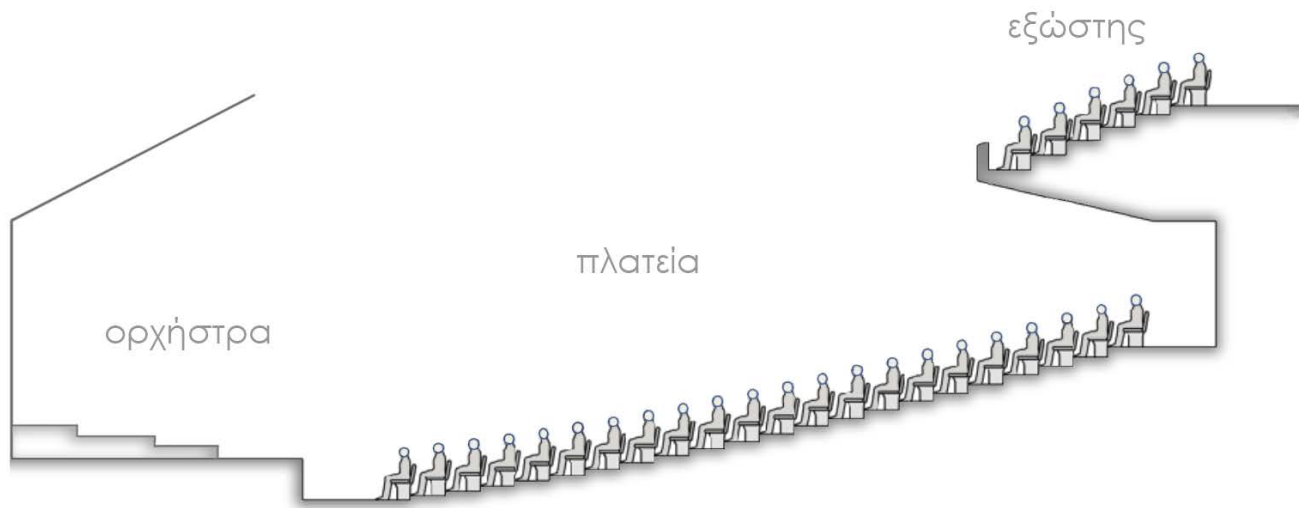
Για την διαμόρφωση της πλατείας ακολουθούνται κάποιες αναλογίες βάση του μήκους – πλάτους – ύψους όπως το Σχ 3.



	X	Y	Z
Harmonic	3	2	1
Knudsen	4	3	1,6
EU	8	5	3
Volkman	2,5	1,6	1
Sabine	5	3	2
Golden	1,62	1	0,62

Σχήμα 2: Ιδανικές αναλογίες σχεδιασμού αίθουσας μουσικής shoebox.

X- Μήκος, Y- Πλάτος, Z- Ύψος

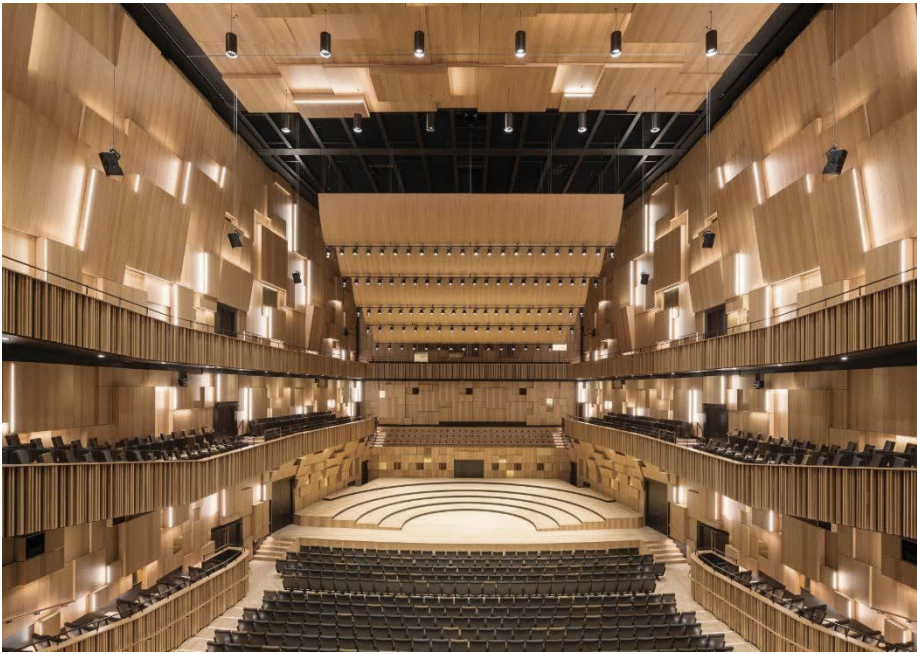


Σχήμα 3: Τυπική τομή με εξώστη αίθουσας shoebox

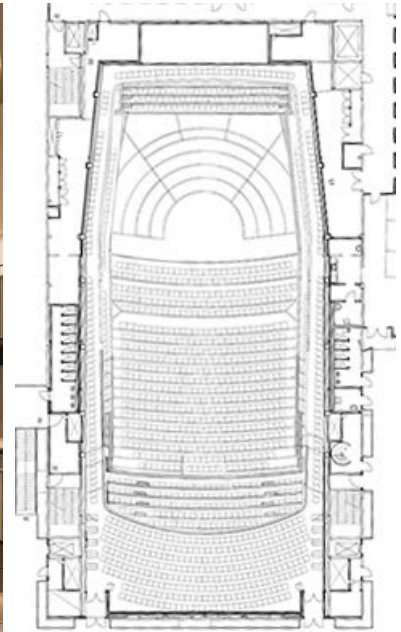
Μία τυπική τομή αίθουσας μουσικής shoebox με εξώστη φαίνεται στο Σχ 4. Είναι κεκλιμένη και η κλίση της προκύπτει από τις οπτικές χαράξεις των θέσεων από τη σκηνή. Ο αριθμός των σειρών εξαρτάται από το μέγεθος, τη διάταξη και την επιθυμητή χωρητικότητα της αίθουσας. Ωστόσο οι σειρές δεν μπορούν να υπερβαίνουν τις 25 για να υπάρχει καλή οπτική άνεση και ο αριθμός θέσεων σε κάθε σειρά ποικίλει ανάλογα τους διαδρόμους που βρίσκονται περιμετρικά και μερικές φορές ανάμεσα στις θέσεις. Στους διαδρόμους υπάρχουν ράμπες και σκαλοπάτια για να διευκολύνουν την πρόσβαση στους θεατές από την είσοδο. Οι εξώστες χρησιμοποιούνται πολλές φορές για να φέρουν το κοινό πιο κοντά στη σκηνή. Υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή του ήχου σε όλα τα καθίσματα και χάρη του ανακλαστήρα που τοποθετείται στην οροφή και κατακόρυφα πάνω από την ορχήστρα, ο ήχος μεταφέρεται με επιτυχία στις πίσω θέσεις της πλατείας.

Ένα παράδειγμα αίθουσας shoebox είναι η αίθουσα συναυλιών στο Μάλμο της Σουηδίας. Άνοιξε το Μαιο του 2015 και φιλοξενεί τη συμφωνική ορχήστρα του Μάλμο. Πρόκειται για μία αίθουσα χωρητικότητας 1600 ατόμων, με εξώστες σε τρία επίπεδα περιμετρικά της σκηνής και πίσω από τη σκηνή υπάρχει χώρος για χορωδία. Οι τοίχοι και η οροφή επενδύεται με τετράγωνα ξύλινα πάνελ που λειτουργούν ως ανακλαστήρες και διαμορφώνουν τον χρόνο αντήχησης στα 2.1 δευτερόλεπτα <sup>15</sup>.

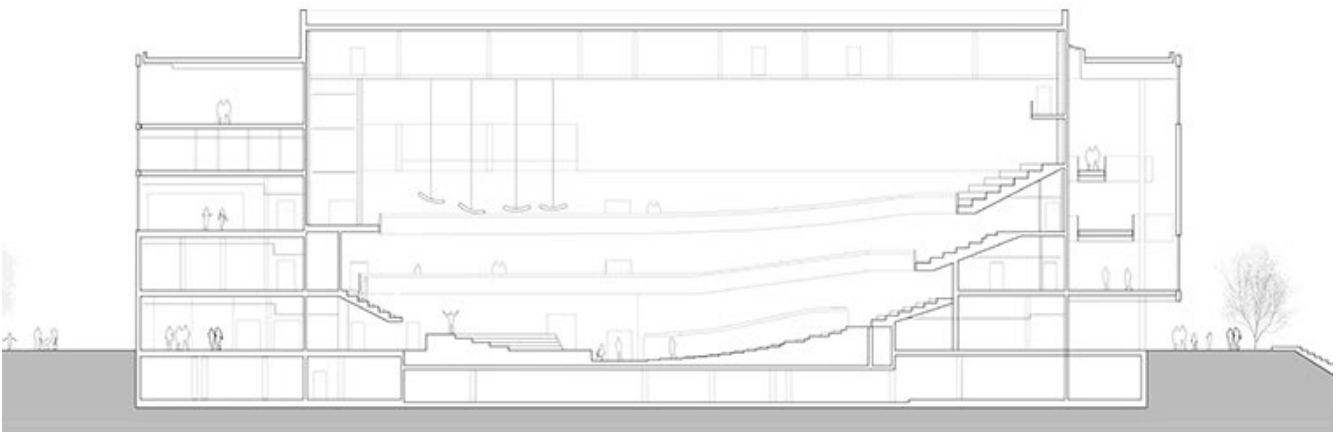
<sup>15</sup> Gustafs, "World -class acoustics," last accessed March 15,2023 < <https://gustafs.com/projects/world-class-acoustics-malmo-live/> >



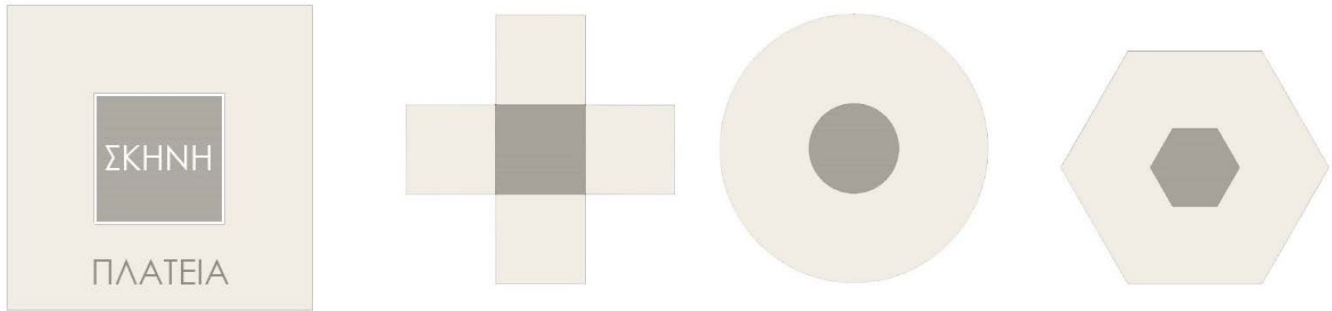
Εικόνα 22: Εσωτερική άποψη Αίθουσας συναυλιών στο Μάλμο, Σουηδία (2015)



Εικόνα 23: Κάτοψη αίθουσας συναυλιών, Μάλμο, Σουηδία (2015)



Εικόνα 24: Τομή αίθουσας συναυλιών στο Μάλμο, Σουηδία (2015)



Σχήμα 4: Κυκλική διάταξη - Αρένα

1

2

3

1: Ορθογωνική διάταξη

2: Κυκλική περικύκλωση

3: Πολυγωνική διάταξη

Στη δεύτερη περίπτωση η αίθουσα μπορεί να σχεδιαστεί όπως το Σχ 4. Η τυπική κάτοψη της αρένας για αίθουσες μουσικής είναι το πολύγωνο και ο κύκλος και σε όλες τις περιπτώσεις η σκηνή τοποθετείται στο κέντρο του χώρου με την πλατεία να βρίσκεται περιμετρικά αυτής. Το σχήμα είναι συμμετρικό ως προς οποιοδήποτε άξονα περνά από το κέντρο της σκηνής. Η σκηνή είναι υπερυψωμένη, μέχρι 1.20 μ ύψος, και επειδή φιλοξενεί μεγάλου μεγέθους μουσικά σύνολα χωρίζεται σε υψομετρικές ζώνες για κάθε τμήμα οργάνων.

Η πλατεία είναι κεκλιμένη και έχει μικρότερη απόσταση από τη σκηνή σε σχέση με αυτή του shoebox τόσο για οπτικούς όσο και για ακουστικούς λόγους. Αποτελείται από μεγάλα τμήματα τοίχων που αναπτύσσονται κλιμακωτά και δημιουργούν "βεράντες" γύρω από την κεντρική πλατεία. Λόγω του σχήματος της αίθουσας οι σειρές χωρίζονται από ενδιάμεσους διαδρόμους με σκαλοπάτια για πρόσβαση σε κάθε επίπεδο. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της διάταξης είναι ότι μπορεί να συγκεντρώσει μεγάλο πλήθος θεατών κοντά στη σκηνή χωρίς να χρειάζεται μεγάλη κάτοψη προσφέροντας καλή οπτική άνεση προς το θέαμα<sup>16</sup>.

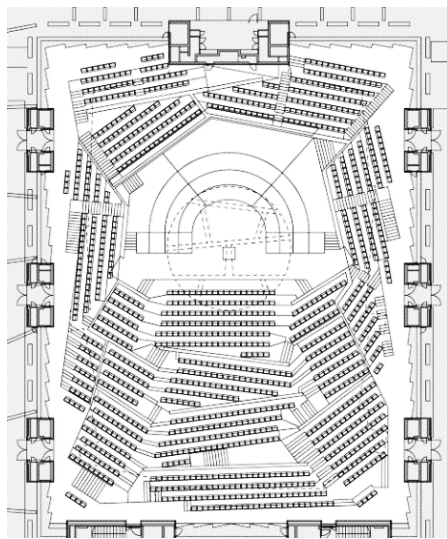
Η διάταξη αυτή είναι οπτικά ενδιαφέρουσα, το ακανόνιστο συνήθως μοτίβο βοηθά στην αποφυγή ακουστικών προβλημάτων, μειώνει την απόσταση μεταξύ ορχήστρας και κοινού (μεγιστοποίηση οικειότητας), και επιτρέπει την οπτική αλληλεπίδραση των ακροατών<sup>17</sup>. Λόγω της μείωσης του πλάτους της αίθουσας οι πλευρικές ανακλάσεις γίνονται πιο ακριβείς κυρίως από τις "βεράντες" στην πλατεία.

<sup>16</sup> Γιάννης Τσάρας, "Θέατρα με δυνατότητα μετασχηματισμού", Α.Π.Θ, Τμήμα Αρχιτεκτόνων, 2016, 144

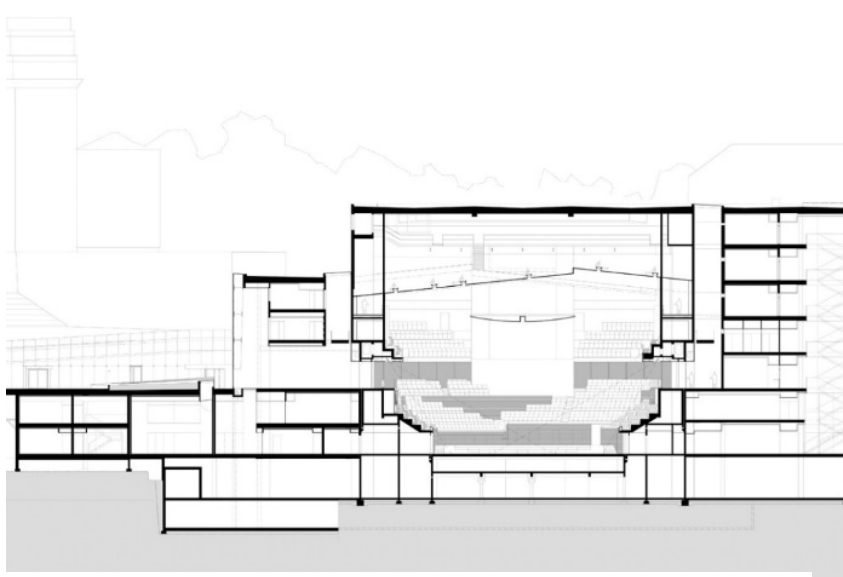
<sup>17</sup> Νίκος Τσινίκας, "Ακουστικός Σχεδιασμός χώρων", University Studio Press, 1990, 65

Το πλάτος βέβαια δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 40 μ. από την άκρη της σκηνής. Στις αίθουσες τέτοιου τύπου παίζει σημαντικό ρόλο το σχήμα της οροφής, η οποία πρέπει να επιτρέπει την ομοιογενή κατανομή ανακλάσεων σε όλη την αίθουσα. Γι' αυτό η παρουσία ανακλαστήρων πάνω από τη σκηνή είναι απαραίτητη για τις πρώιμες ανακλάσεις για το κοινό που βρίσκεται γύρω από την ορχήστρα.

Η αίθουσα συναυλιών Musiikkitalo στο Ελσίνκι της Φιλανδίας η οποία άνοιξε το 2011 είναι παράδειγμα της κυκλικής διάταξης με εξαιρετική ακουστική. Στεγάζει τη φιλαρμονική ορχήστρα του Ελσίνκι και τη συμφωνική ορχήστρα του ραδιοφώνου της Φιλανδίας. Ο υπεύθυνος ακουστικός για αυτή την αίθουσα, ο Yasuhisa Toyota, είχε την φιλοσοφία ότι "η απόλαυση της μουσικής πρέπει να μοιράζεται" γι' αυτό διάλεξε την συγκεκριμένη διάταξη. Έχει χωρητικότητα 1704 άτομα εκ των οποίων τα 467 βρίσκονται στις βεράντες γύρω από την σκηνή. Είναι χτισμένη από ξύλο το οποίο θεωρείται καλό υλικό για τη διάδοση του ήχου. Πάνω από την σκηνή βρίσκεται ένα ακουστικό κουβούκλιο από σκυρόδεμα το οποίο είναι μέρος του σχεδιασμού για την ακουστική της αίθουσας όπως και η οροφή<sup>18</sup>. Με αυτές τις συνθήκες ο χρόνος αντήχησης διαμορφώνεται στα 2.1 δευτερόλεπτα όταν είναι πλήρως κατειλημμένη και 2.5 όταν είναι άδεια.



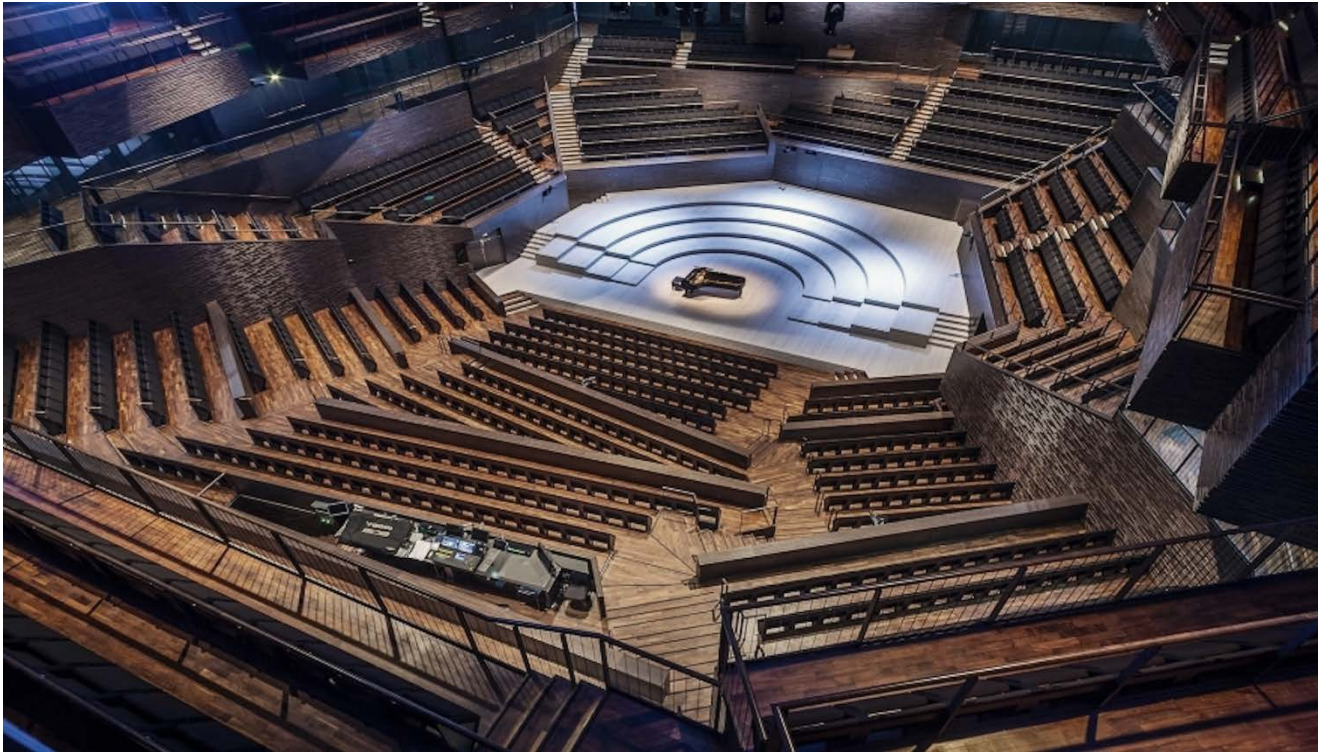
Εικόνα 25: Κάτοψη αίθουσας συναυλιών Musiikkitalo, Ελσίνκι (2011)



Εικόνα 26: Τομή αίθουσας συναυλιών Musiikkitalo, Ελσίνκι (2011)

<sup>18</sup> The Beary Adventures of Puffles and Honey, "A Mezza Voce," τελευταία τροποποίηση Δεκέμβριος 31, 2017 < <https://pufflesandhoneyadventures.wordpress.com/2017/12/31/a-mezza-voce/#comments> >





Εικόνα 27: Εσωτερική άποψη αίθουσας συναυλιών Musiikkitalo , Ελσίνκι (2011)

Μία βασική παράμετρος διάκρισης των αιθουσών είναι η χωρητικότητα. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες αιθουσών ανάλογα με την χρήση και την τοποθεσία στην οποία βρίσκονται. Το μέγεθος της αστικής κλίμακας μπορεί να καθορίσει τη χωρητικότητα της αίθουσας αφού στατιστικά οι μεγάλες αίθουσες βρίσκονται σε μεγάλες πόλεις, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν θα υπάρχουν αίθουσες μικρού μεγέθους σε μεγάλες πόλεις και αντίθετα. Μια γενική κατηγοριοποίηση είναι: Α- μικρές, Β- μεσαίες και C- μεγάλες αίθουσες μουσικών παραστάσεων και κατατάσσονται ως εξής:

A1: < 150	A2: 150 – 250	A3: 250 - 600
B1 : 600 – 900	B2 : 900 – 1200	B3 : 1200 - 1500
C1: 1500 – 2000	C2: 2000+	

Οι μικρές αίθουσες μουσικής χρησιμοποιούνται για πιο οικείες παραστάσεις όπως τζαζ, σόλο ή ντουέτο και μικρά σύνολα δωματίου. Οι μεσαίες είναι για μερικές ορχηστρικές παραστάσεις όπως μικρά συμφωνικά σύνολα και παραστάσεις κλασικής μουσικής, και τέλος οι μεγάλες για μεγαλύτερα συμφωνικά σύνολα και φιλαρμονικές ορχήστρες. Έτσι κάθε αίθουσα έχει τη δική της μοναδική ατμόσφαιρα ανάλογα το είδος μουσικής που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την εμπειρία του κοινού.

### *i. Αίθουσες Συναυλιών*

Οι αίθουσες συναυλίας μπορούν να φιλοξενήσουν κλασσική μουσική συμπεριλαμβανομένου συμφωνικής ορχήστρας, ρεσιτάλ καθώς και μια ευρύτερη γκάμα ενισχυμένης και σύγχρονης μουσικής. Ανήκουν στην κατηγορία C καθώς απευθύνονται σε μεγάλο πληθυσμιακό περιβάλλον. Ο χρόνος αντήχησης σε αυτές τις αίθουσες κυμαίνεται από 1.5 έως 2.2 δευτερόλεπτα με προτιμώμενες τιμές από 1.8 έως 2.0 δευτερόλεπτα. Για να επιτευχθεί μεγάλος χρόνος αντήχησης οι οροφές σχεδιάζονται από 15 μέτρα και πάνω <sup>19</sup>.

Κατά κανόνα είναι αίθουσες με διάταξη έκκεντρης αρένας αλλά αυτό δεν αποκλείει την ύπαρξη αιθουσών μετωπικής διάταξης σχεδιασμένες για περισσότερο κοινό. Ο μέσος όρος μέγιστης χωρητικότητάς της μετωπικής διάταξης είναι 1800 άτομα και προκύπτει από τις συγκριτικές αναλύσεις υπάρχουσων αιθουσών συναυλίας με αυτή τη διάταξη <sup>20</sup>. Όταν υπάρχει ανάγκη να φιλοξενηθούν περισσότεροι θεατές η αίθουσα κατασκευάζεται ως αρένα. Η διάταξης της αρένας χωράει 2000-2500 άτομα και εκτός από τους ανακλαστήρες οροφής χρησιμοποιούνται και οι πλευρικοί ανακλαστήρες που δημιουργούν την εντύπωση στερεοφωνικού ήχου. Τέλος η ορχήστρα είναι μεγάλου μεγέθους και διαμορφώνεται σε τέσσερις υψομετρικές ζώνες στη σκηνή.

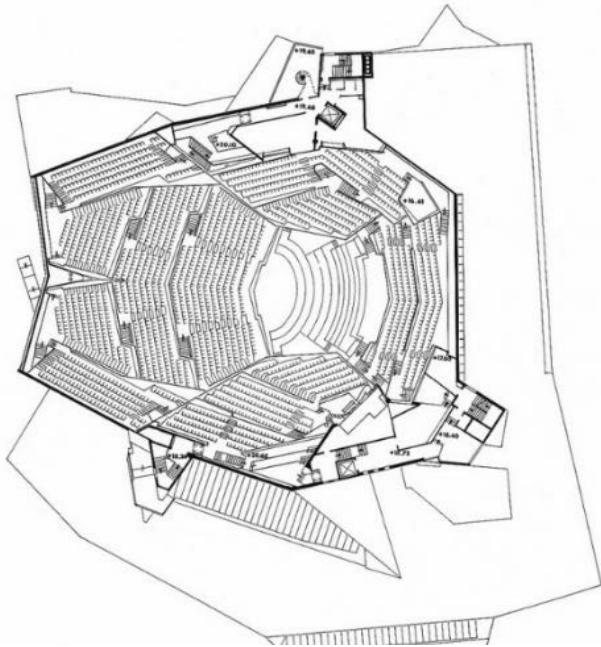
Η Φιλαρμονική του Βερολίνου ήταν η πρώτη αίθουσα που εισήγαγε και καθιέρωσε τη διάταξη της έκκεντρης αρένας. Σχεδιάστηκε από τον Hans Scharoun και ολοκληρώθηκε το 1963. Πίστευε ότι η μετωπική διάταξη με την ορχήστρα στο ένα άκρο της αίθουσας εμποδίζει το κοινό και τους μουσικούς να επικοινωνούν ελεύθερα. Ο αρχιτέκτονας χρησιμοποίησε μια μακέτα σε κλίμακα 1: 9 για να δοκιμάσει την κατανομή του ήχου και να σχεδιάσει την διάταξη των θέσεων περιμετρικά της αίθουσας. Η εσωτερική αρχιτεκτονική είναι πολύ ενδιαφέρουσα και ο ήχος τόσο καθαρός που κάθε όργανο ξεχωρίζει ακόμα και σε απόσταση 20 μέτρων από τη σκηνή. Λόγω της διάταξης σε κάθε θέση της πλατείας υπάρχει το αίσθημα της οικειότητας και της οπτικής επικοινωνίας προς το υπόλοιπο κοινό. Η αίθουσα μπορεί να φιλοξενήσει 2440 άτομα και ο χρόνο αντήχησης φτάνει στα 1.9 δευτερόλεπτα.

---

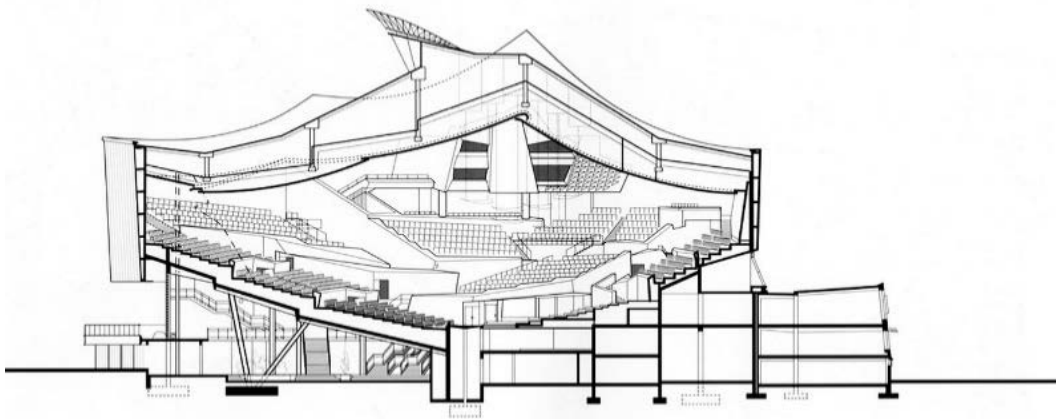
<sup>19</sup> Marshall Long, "Architectural Acoustics", Elsevier Academic Press, 2006, 656

<sup>20</sup> Joanna Jablonska, "Architectural Acoustics in Vineyard Configuration Concert Hall", Journal of Architectural Engineering Technology, January 2019

Ακόμα και στο πιο απομακρυσμένο μέρος της αίθουσας που δεν ξεπερνά τα 35 μέτρα από τη σκηνή αφού ο ήχος διαχέεται ισορροπημένα. Σημαντικό κομμάτι του σχεδιασμού είναι η οροφή που φτάνει στα 22 μέτρα ύψος πάνω από τη σκηνή και είναι η μεγαλύτερη επιφάνεια της αίθουσας. Σχεδιάζεται σε σχήμα τέντας και προσφέρει μια πρώιμη ανάκλαση στα καθίσματα στο πίσω και στο πάνω μέρος της αίθουσας. Έπειτα πάνω από την ορχήστρα τοποθετούνται 10 κρεμαστά πλακίδια για ανακλαστήρες στα 12 μέτρα. Λόγω αυτών των αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών η αίθουσα έχει πολύ καλή ακουστική<sup>21</sup>.



Εικόνα 28: Κάτοψη Φιλαρμονικής Βερολίνου (1963)



Εικόνα 29: Τομή Φιλαρμονικής Βερολίνου (1963)

<sup>21</sup> Mithila Nimbalkar, "Berlin Philharmonic by Hans Scaroun: Built to replace the old Philharmonie," Rethinking the Future, 2021.





Εικόνα 30: Εσωτερική άποψη Φιλαρμονικής Βερολίνου (1963)

## ii. Συμφωνικές αίθουσες

Οι συμφωνικές αίθουσες είναι αίθουσες κατηγορίας B2-C2 και φιλοξενούν κυρίως τοπικές ορχήστρες και μερικές φορές ορχήστρες σε περιοδεία. Μια συμφωνική ορχήστρα κατά κανόνα κάθεται σε μία αίθουσα έκκεντρης αρένας αλλά υπάρχουν και αίθουσες shoebox που είναι για συμφωνική μουσική. Σε μία πλήρη συμφωνική ορχήστρα υπάρχουν 70-120 μουσικοί και χωρίζονται σε 4 κατηγορίες. Τα έγχορδα τοποθετούνται συνήθως στο πλάι και μπροστά από τον μαέστρο, πίσω τους είναι τα πνευστά, αμέσως μετά είναι τα χάλκινα και τα κρουστά. Εάν παίζει πλήρης συμφωνική ορχήστρα η σκηνή θα πρέπει να είναι 200 τ.μ. Για μια τόσο μεγάλη σκηνή το πλάτος δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 18 μ. και το βάθος τα 12 μ. Η προσθήκη χορωδίας αυξάνει σημαντικά την περιοχή της σκηνής περίπου 50 τ.μ. Τοποθετείται συνήθως πίσω από την ορχήστρα αλλά μπορεί να βρίσκεται και σε άλλα σημεία τις αίθουσας ανάλογα την γεωμετρία της.

Οι παραπάνω προδιαγραφές ισχύουν για μια αίθουσα με μεγάλη ορχήστρα, αλλά όταν βρίσκονται λιγότεροι μουσικοί η σκηνή θα πρέπει να είναι μικρότερη για να μειωθεί η καθυστέρηση των ανακλάσεων που προέρχονται από τους πλευρικούς και πίσω τοίχους. Επομένως ένα ευέλικτο σύστημα που επιτρέπει επιφάνειες να μετακινηθούν είναι επιθυμητό <sup>22</sup>. Εκτός από τους πλευρικούς ανακλαστές τοποθετούνται ανακλαστικές επιφάνειες πάνω από την ορχήστρα καθώς η οροφή δεν είναι αρκετή για την διάχυση του ήχου. Για μουσικές παραστάσεις σε συμφωνικές αίθουσες με ή χωρίς χορωδία απαιτείται μεγάλος χρόνος αντήχησης. Κυμαίνεται στα 1.8-2.2 δευτερόλεπτα και για να πετύχουν τέτοιους χρόνους απαιτείται μεγάλος όγκος δωματίου με ψηλή οροφή.

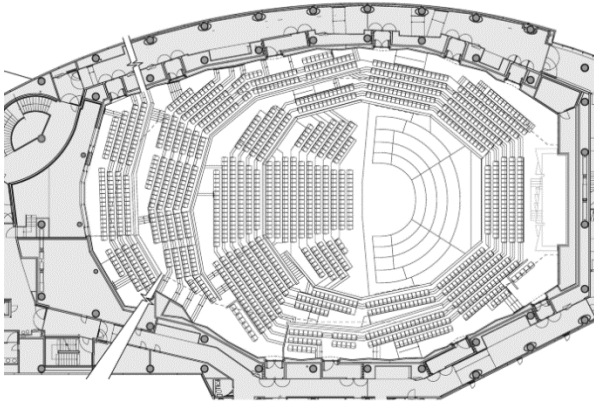
Ένα παράδειγμα μιας συμφωνικής αίθουσας είναι η Muza Kawasaki Symphony Hall που άνοιξε το 2004 στην Ιαπωνία. Είναι σχεδιασμένη ως αρένα και βασίζεται σε κλιμακωτά επίπεδα καθισμάτων που αναπτύσσονται σπειρωτά γύρω από τη σκηνή. Η δομή της αίθουσας εμπλουτίζει τον ήχο ενώ παράλληλα δημιουργεί μια αίσθηση συνοχής μεταξύ θεατών και θεάματος. Η αίθουσα έχει χωρητικότητα 1997 άτομα και φιλοξενεί κυρίως κλασσική μουσική. Στην οροφή τοποθετούνται μεγάλα ακουστικά πάνελ που ανακλούν τον ήχο πάνω από τη ορχήστρα και επεκτείνονται σε μερικά καθίσματα της πλατείας.

---

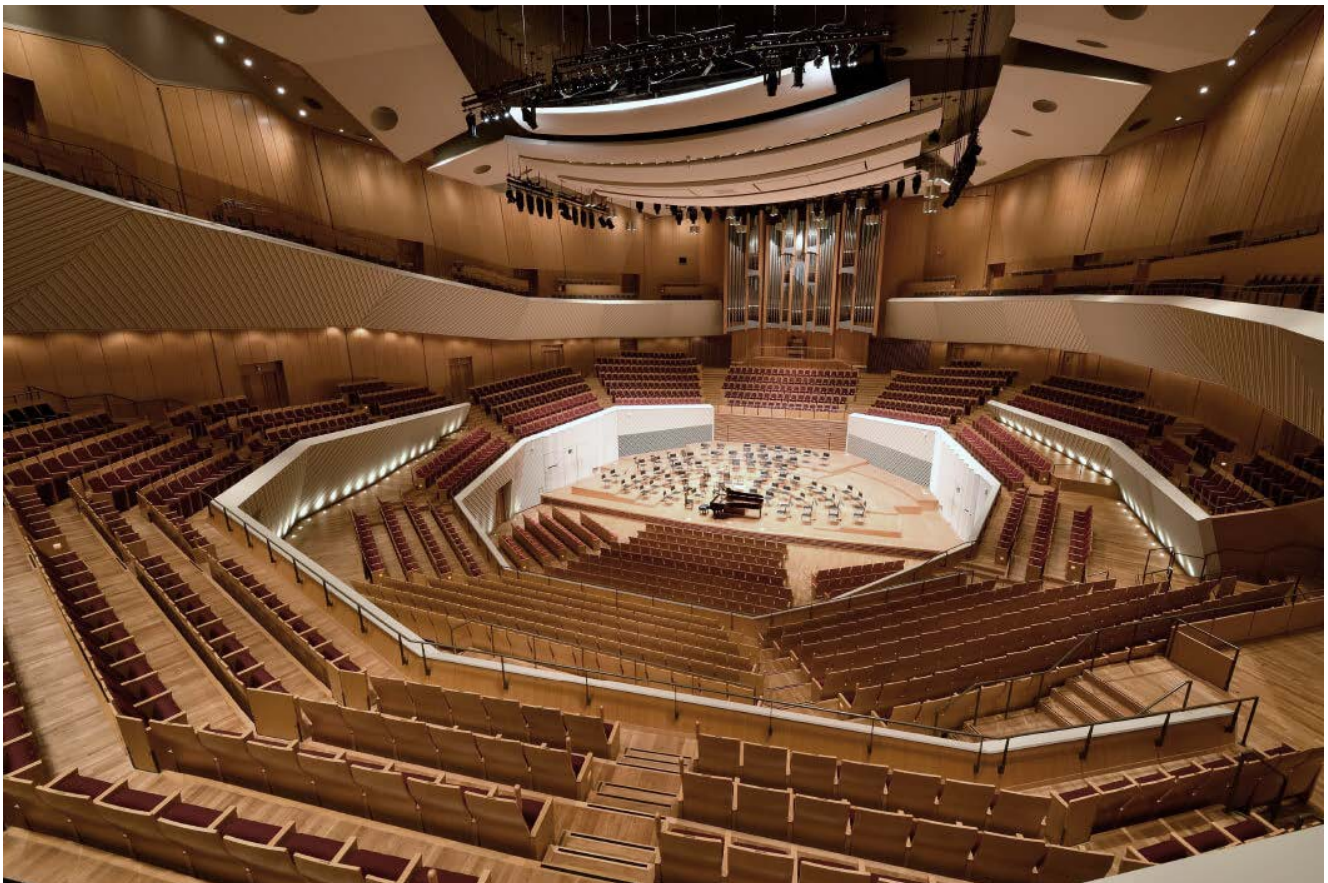
<sup>22</sup> Emma Linnea Gjers, "Stage Acoustics in Concert Halls: a study of musicians' acoustical environment", Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, 2014



Πάνω από την σκηνή τοποθετούνται πτυσσόμενες ακουστικές κουρτίνες που βοηθάνε στη μείωση της αντήχησης της αίθουσα για εκδηλώσεις που χρησιμοποιούν ενίσχυση του ήχου και απαιτούν εξαιρετική ευκρίνεια ομιλίας. Τέλος η σπειροειδής δομή, τα ακουστικά πάνελ και οι επιφάνειες που ανακλούν τον ήχο στην οροφή, εξισορροπούν ομοιόμορφα τις ανακλάσεις του ήχου σε όλο το εσωτερικό της αίθουσας<sup>23</sup>.



Εικόνα 31: Κάτοψη Muza Kawasaki Symphont Hall, Ιαπωνία (2004)



Εικόνα 32: Εσωτερική άποψη Muza Kawasaki Symphont Hall, Ιαπωνία (2004)

<sup>23</sup> Akira Ono, "'Muza'' Kawasaki Symphony Hall Opens," Nagata Acoustics News, September 25, 2004

### iii. Αίθουσες μουσικής δωματίου

Οι αίθουσες μουσικής δωματίου είναι αυτές που φιλοξενούν κλασσική μουσική και ρεσιτάλ μικρού μεγέθους. Στόχος στον σχεδιασμό τους είναι η οικειότητα τόσο οπτική όσο και ακουστική γι' αυτό σχεδιάζονται κυρίως βάση της ορθογωνικής διάταξης και η χωρητικότητα ανήκει στην κατηγορία A2 - B1. Η ορχήστρα αποτελείται από 15 μουσικούς και όταν υπάρχει μικρή χορωδία κάθεται πίσω της. Η στενή αίθουσα με ψηλό ταβάνι μαζί με τους πλευρικούς τοίχους είναι η κατάλληλη για την παροχή ανακλάσεων <sup>24</sup>. Ο χρόνος αντήχησης σε αυτές τις αίθουσες κυμαίνεται στα 1.4-1.7 δευτερόλεπτα και προσφέρουν την απαιτούμενη ζωντάνια στον ήχο.

Οι αίθουσες ρεσιτάλ είναι πιο οικείοι χώροι μουσικής με λιγότερους μουσικούς που μοιράζονται πιο προσωπική σχέση με τον ακροατή. Είναι ορθογωνικής διάταξης με τη σκηνή να βρίσκεται σε ύψος 0.6 μ. – 0.76 μ. από το πάτωμα και επιφάνεια περίπου στα 37-55 τ.μ. Η οροφή πάνω από τη σκηνή είναι μέχρι 6 μ. αλλά χωρίς παράλληλους τοίχους <sup>25</sup>.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η Alice Tully Hall, ο κύριος χώρος του Lincoln Center στη Νέα Υόρκη, ο οποίος ανακαινίστηκε το 2009 και φιλοξενεί μουσική δωματίου και ρεσιτάλ. Με τον νέο σχεδιασμό της, η αίθουσα έγινε πιο ζωντανή με μεγαλύτερη αντήχηση. Πρόκειται για μια πολυγωνική αίθουσα με ένα επίπεδο εξώστη και το εσωτερικό της προκαλεί μια οικεία αίσθηση.

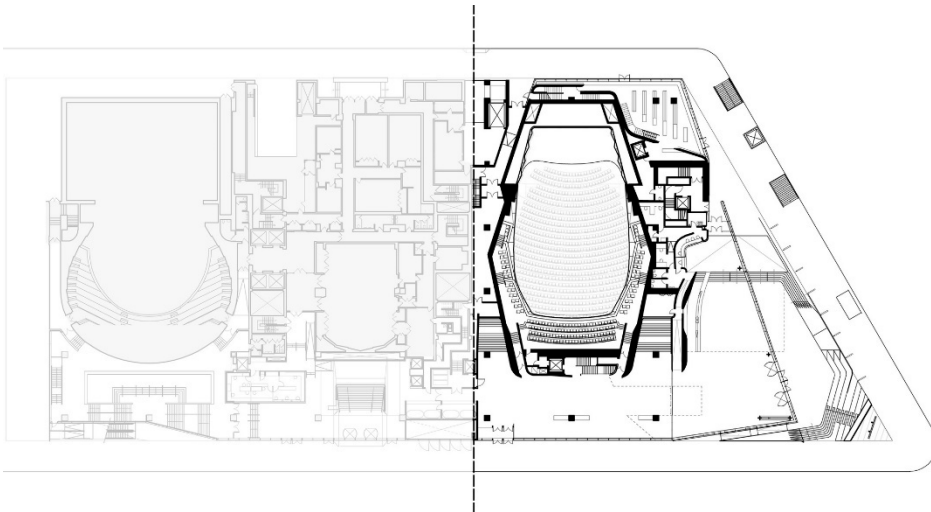
Στις αίθουσες μουσικής δωματίου η σκηνή είναι ρυθμιζόμενη, και μπορεί να γίνει διπλάσια, μειώνοντας τη χωρητικότητα του κοινού σε πλήρη επέκταση από 1087 σε 923 θέσεις. Το μπροστινό μέρος της σκηνής μπορεί να επεκταθεί μέχρι τις πρώτες 6 σειρές της πλατείας, ανυψώνοντας μια πλατφόρμα στο ίδιο ύψος της σκηνής. Στο πίσω μέρος της σκηνής έχει ένα σχέδιο το οποίο φαίνεται διακοσμητικό αλλά είναι ένα μηχανισμός διάχυσης ήχου υψηλής συχνότητας. Τα πλευρικά τοιχώματα στις πρώτες σειρές, που μοιάζουν με βράγχια καρχαρία, είναι σχεδιασμένα για να ανακλούν τον ήχο προς το βάθος της αίθουσας. Τέλος ο χρόνος αντήχησης είναι 1.4-1.5 δευτερόλεπτα<sup>26</sup>.

---

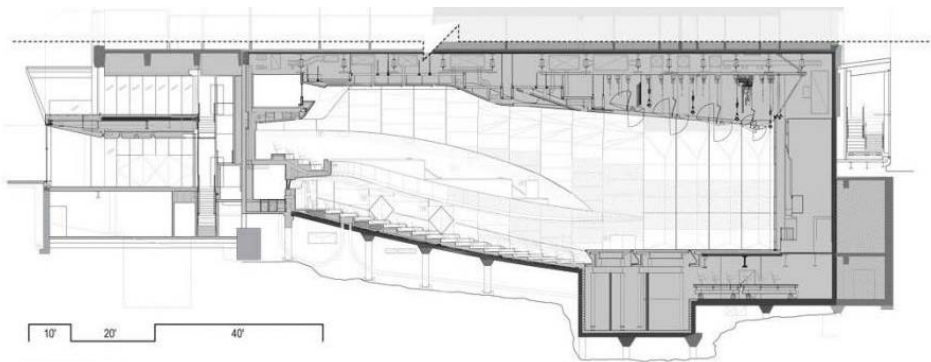
<sup>24</sup> Michael Barron, "Auditorium Acoustics and Architectural Design". Spon Press, 2009, 249

<sup>25</sup> J. Paul Guyer, "An introduction to Architectural Design – Theaters & Concert Halls, Part 1", 2014

<sup>26</sup> Daniel J. Wakin, "Musicians Hear Heaven in Tully Hall's New Sound", The New York Times, January 2, 2009.



Εικόνα 33: Κάτοψη Alice Tully Hall, Νέα Υόρκη (2009)



Εικόνα 34: Τομή Alice Tully Hall, Νέα Υόρκη (2009)



Εικόνα 35: Εσωτερική άποψη Alice Tully Hall, Νέα Υόρκη (2009)



#### iv. Αίθουσες Τζαζ

Οι αίθουσες μουσικής τζαζ ξεχωρίζουν από τους παραπάνω χώρους λόγω της οικείας ατμόσφαιρας τους. Είναι συχνά μικρές (Α κατηγορίας) και άνετες, επιτρέποντας μια πιο προσωπική εμπειρία των θεατών με τους ερμηνευτές. Το κοινό βρίσκεται κοντά στην σκηνή και υπάρχει καλή οπτική άνεση προς όλα τους συμμετέχοντες στην αίθουσα. Καθώς αναφερόμαστε σε αίθουσα κλειστού τύπου υπάρχουν συγκεκριμένοι παράμετροι για την σωστή ακουστική της. Ο χρόνος αντήχησης πρέπει να είναι χαμηλός γι' αυτό υπάρχουν πολλά ηχοαπορροφητικά υλικά μέσα στην αίθουσα όπως κουρτίνες και πάνελ. Καταλήγουν ότι ο κατάλληλος χρόνος αντήχησης είναι από 0.6 έως 0.8 δευτερόλεπτα με το ανώτατο όριο να αναφέρεται σε μουσικά σύνολα με πνευστά όργανα και το κατώτατο όριο χωρίς αυτά. Η μουσική τζαζ χρειάζεται πρώιμες ανακλάσεις από μια ή δύο επιφάνειες στον περιβάλλοντα χώρο για να φτάσει ο ήχος απευθείας από τη πηγή στον ακροατή<sup>27</sup>. Βασίζεται σε μεγαλύτερο βαθμό σε ατομικό επίπεδο ισχύος των οργάνων παρά την συνολική ένταση του δωματίου. Δεν υπάρχουν αίθουσες για τζαζ επειδή είναι μουσική που έχει αναπτυχθεί σε μπαρ και φεστιβάλ οπότε δεν αναφέρονται σε προκαθορισμένες αίθουσες.

---

<sup>27</sup> Μαρία Άννα Χουντή, "Βέλτιστη Αντήχηση σε αίθουσες μουσικής τζαζ", Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, 2018, 5-8

### III. Κριτήρια καλής ακουστικής

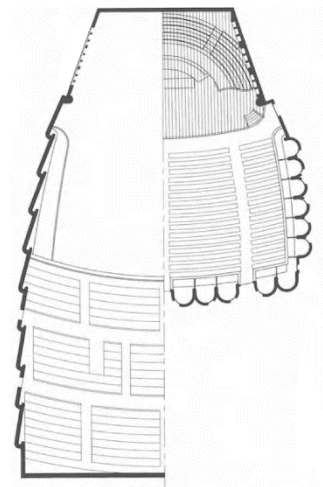
Για την ακουστική των κλειστών χώρων λαμβάνονται υπόψη μερικές αρχές που σχετίζονται με την ανάκλαση, την ηχοαπορρόφηση και τη διασπορά του ήχου όταν οι αίθουσες έχουν μέγιστη χωρητικότητα. Τα βασικά αντικειμενικά κριτήρια είναι καθορισμός (definition), αντήχηση (reverberance) πλουσιότητα (richness), ξηρότητα (dryness) , οικειότητα (intimacy), διαύγεια (clarity), ζεστασιά (warmth), ζωντάνια (liveness), λαμπρότητα (brilliance) και το σύνολο (ensemble) .

#### *Definition*

Ο καθορισμός ορίζεται ως η ποσότητα της χρήσιμης ηχητικής ενέργειας που φτάνει στον ακροατή στα πρώτα 50 msec σε αναλογία με τη συνολική ηχητική ενέργεια της πηγής , και βελτιώνεται με την αύξηση αυτής της τιμής. Για παράδειγμα η αίθουσα Philharmonic Hall στη Λίβερπουλ της Αγγλίας άνοιξε το 1939 και φιλοξενεί την βασιλική Φιλαρμονική ορχήστρα της Λίβερπουλ. Πρόκειται για μια αίθουσα μετωπικής διάταξης με ιδιαίτερη διάταξη της. Η σκηνή είναι υπερυψωμένη και χωρίζεται σε τέσσερα κλιμακωτά τμήματα για την ορχήστρα, και πίσω έχει χώρο για χορωδία. Η πλατεία χωράει 1800 άτομα που αναπτύσσονται σε δύο επίπεδα καθώς και περιμετρικά του κάτω επιπέδου. Είναι μια αίθουσα με χαμηλό χρόνο αντήχησης που την καθιστά ιδανική για κλασσική και όψιμο μπαρόκ μουσική αλλά και για οποιοδήποτε είδος μουσικής που απαιτεί καθορισμό<sup>28</sup>.



Εικόνα 36: Εσωτερική άποψη Philharmonic Hall, Λίβερπουλ, Αγγλία (1939)



Εικόνα 37: Κάτοψη με εξώστη Philharmonic Hall, Λίβερπουλ, Αγγλία (1939)

<sup>28</sup> Leo Beranek, "Concert Halls and Opera Houses. Music, Acoustics, Architecture," Springer- Verlag New York, 2004, 229

## *Reverberance*

Η αντήχηση είναι η συνέχεια ενός ήχου μέσα σε μια αίθουσα όταν παύει να παράγεται από την ηχητική πηγή. Αυτό σημαίνει ότι ο ήχος κατευθύνεται προς τις γύρω επιφάνειες δηλαδή τους τοίχους, τα μπαλκόνια, την οροφή και μέσω ανακλάσεων διαδίδεται σε όλο το ακροατήριο. Ο χρόνος αντήχησης ενός κλειστού χώρου αναφέρεται στο χρόνο που χρειάζεται για να σταματήσει ένας δυνατός ήχος να ακούγεται μετά τη διακοπή του. Είναι η πιο σημαντική ακουστική παράμετρος. Η αντήχηση γεμίζει τα κενά ανάμεσα στους νέους ήχους και παρέχει πληρότητα του τόνου μέσα στην αίθουσα <sup>29</sup>.

## *Richness*

Ο ήχος σε μια αίθουσα συναυλιών χαρακτηρίζεται ως πλούσιος όταν υπάρχουν πολλές επαναλήψεις και ηχοανακλάσεις σε μικρό χρονικό διάστημα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας αίθουσας με πλούσιο ήχο είναι η Salle Pleyel στο Παρίσι που άνοιξε το 1927 και υπέστη πολλές ανακαινίσεις για να έρθει στη μορφή που είναι σήμερα. Φιλοξενεί ορχηστρική μουσική και ρεσιτάλ. Είναι μετωπικής διάταξης με χωρητικότητα 2400 άτομα εκ των οποίων 400 βρίσκονται στον πρώτο εξώστη, 300 στον δεύτερο και 19 στα πλαϊνά μπαλκόνια. Είναι η πρώτη αίθουσα που έχει τη δυνατότητα μετασχηματισμού της πλατείας καθώς οι 7 σειρές θέσεων μπροστά από τη σκηνή μπορούν να αφαιρεθούν. Μετά την ανακαίνιση μεγάλωσε ο όγκος της αίθουσας, μειώθηκαν οι απορροφητικές επιφάνειες για να μεγαλώσουν το χρόνο αντήχησης και πρόσθεσαν ρυθμιζόμενους ανακλαστήρες στην οροφή για να δημιουργήσει πιο αποτελεσματική ακουστική <sup>30</sup>.

---

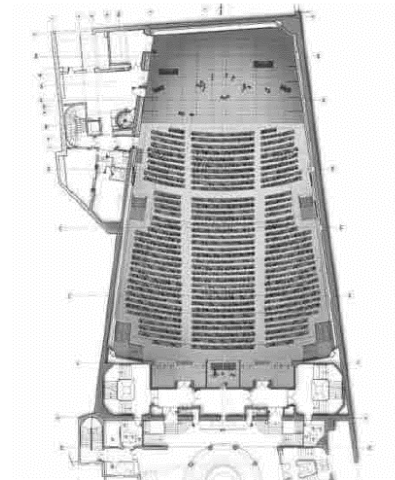
<sup>29</sup> Leo Beranek, "Concert Halls and Opera Houses. Music, Acoustics, Architecture," Springer- Verlag New York, 2004, 20

<sup>30</sup> Ascender, "Salle Pleyel Concert Hall, Paris, (FR)," Πρόσβαση Μάρτιος 28, 2023 <<https://www.ascender.es/Projects/salle-pleyel-concert-hall/>>





Εικόνα 38: Εσωτερική άποψη Salle Pleyel, Παρίσι (2005)



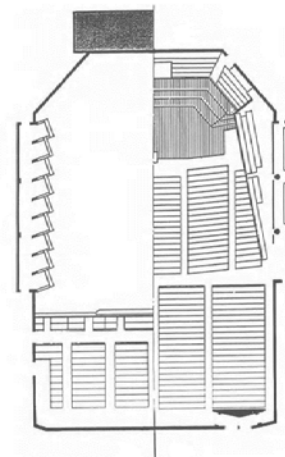
Εικόνα 39: Κάτοψη Salle Pleyel, Παρίσι (2005)

### *Dryness*

Οι αίθουσες με μικρό χρόνο αντήχησης ή μικρότερο από τον ιδανικό χαρακτηρίζονται από ξηρότητα. Ένα παράδειγμα είναι η Royal festival hall που άνοιξε το 1951 στο Λονδίνο και χρησιμοποιήθηκε σαν πείραμα για ακουστική αιθουσών μουσικής στο πρώτο μισό του 20<sup>ου</sup> αι. Είναι μετωπική διάταξη με χωρητικότητά 2900 άτομα. Μετά από πειράματα κατέληξαν ότι ο χρόνος αντήχησης στα 1.5 δευτερόλεπτα ήταν πολύ χαμηλός και ότι ιδιαίτερα στις χαμηλές συχνότητες υπήρχε μεγάλο πρόβλημα. Με αυτά τα χαρακτηριστικά η αίθουσα χαρακτηριζόταν από ξηρότητα <sup>31</sup>.



Εικόνα 40: Εσωτερική άποψη Royal Festival Hall, Λονδίνο (1951)



Εικόνα 41: Κάτοψη Royal Festival Hall, Λονδίνο (1951)

<sup>31</sup> Leo Beranek, "Concert Halls and Opera Houses. Music, Acoustics, Architecture," Springer- Verlag New York, 2004, 245

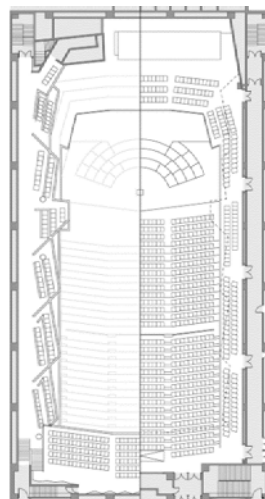
## *Intimacy*

Η οικειότητα αναφέρεται στην υποκειμενική αίσθηση του πόσο κοντά είναι η ηχητική πηγή από τον ακροατή και ισχύει για θέσεις μακριά από την πηγή που λαμβάνουν τον ήχο από έναν κοντινό ανακλαστήρα. Ο βαθμός μουσικής οικειότητας σε έναν χώρο αντιστοιχεί στο πόσο σύντομα μετά τον άμεσο ήχο η πρώτη ανάκλαση θα φτάσει στα αυτιά του ακροατή. Όπως περιγράφεται παραπάνω, κάθε ακροατής σε μια αίθουσα παραστάσεων ακούει πρώτα τον άμεσο ήχο, ο οποίος ταξιδεύει σε ευθεία γραμμή από ένα όργανο στα αυτιά του ατόμου σε λίγα μόνο εκατοστά του δευτερολέπτου. Τα ανακλώμενα ηχητικά κύματα ακολουθούν ακριβώς από πίσω. Επομένως σχετίζεται με το πόσο εμπλεκόμενος ή αποκομμένος αισθάνεται ο ακροατής με τη μουσικής γι' αυτό ο όρος αναφέρεται ως "παρουσία".

Η αίθουσα συναυλιών του Κιότο στην Ιαπωνία άνοιξε το 1995 και φιλοξενεί κλασσική μουσική. Είναι μετωπική η διάταξη με χαρακτηριστικά αρένας. Η σκηνή έχει πτυσσόμενα υψομετρικά επίπεδα για την ορχήστρα και χωράει 1840 θεατές. Στην πλατεία υπάρχει ένας εξώστης, δύο σειρές μπαλκονιών περιμετρικά της κεντρική πλατείας με 140 θέσεις και πίσω από τη σκηνή υπάρχουν 15 θέσεις και ένα εκκλησιαστικό όργανο. Ο χρόνος αντήχησης είναι 2.0 δευτερόλεπτα και για την παροχή διάχυσης του ήχου χρησιμοποιούνται τα τοιχώματα της πρώτης σειράς μπαλκονιών. Το εσωτερικό της αίθουσας μοιάζει με ιαπωνικό ναό, και ο μνημειακός του χαρακτήρας συνδυάζεται με το αίσθημα οικειότητας του χώρου <sup>32</sup>.



Εικόνα 42: Εσωτερική άποψη αίθουσας συναυλιών Κιότο, Ιαπωνία (1995)



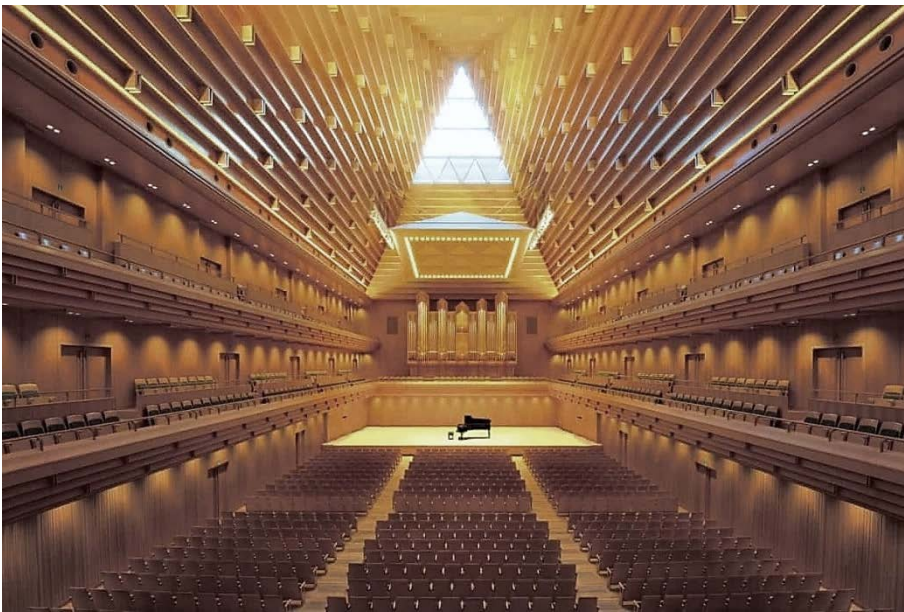
Εικόνα 43: Κάτοψη αίθουσας συναυλιών Κιότο, Ιαπωνία (1995)

<sup>32</sup> Leo Beranek, "Concert Halls and Opera Houses. Music, Acoustics, Architecture," Springer- Verlag New York, 2004, 363

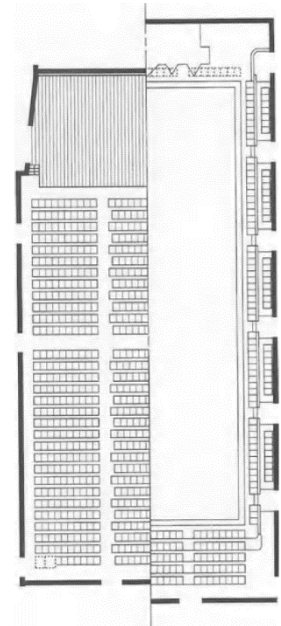
## Clarity

Διαύγεια είναι η αναλογία της χρήσιμης ηχητικής ενέργειας που φτάνει στον ακροατή στα πρώτα 80 msec με τον αντηχητικό ήχο. Ένας εξαιρετικά ισχυρός άμεσος ήχος που δεν προέρχεται από ανακλάσεις παρέχει διαύγεια και βοηθάει τους ακροατές να ξεχωρίσουν τις μουσικές λεπτομέρειες. Εκτός από μερικές αίθουσες η διαύγεια μειώνεται με αυξημένη αντήχηση και αντίστροφα.

Για παράδειγμα η αίθουσα μουσικής στο Tokyo Opera city της Ιαπωνίας άνοιξε το 1997 και εξέπληξε την πόλη με τη φανταστική του οροφή σε σχήμα πυραμίδας. Είναι αίθουσα μετωπικής διάταξης αλλά με χαρακτηριστικά αρένας. Η χωρητικότητα θέσεων είναι 1632 με μία κεντρική πλατεία και δύο επίπεδα μπαλκονιών περιμετρικά της σκηνής που χωράνε 356 άτομα το πρώτο και 302 το δεύτερο. Πάνω από τη σκηνή τοποθετείται ένα κουβούκλιο σε σχήμα πυραμίδας που χρησιμοποιείται ως ανακλαστήρας για την κεντρική πλατεία. Είναι μια από τις αίθουσες με την καλύτερη ακουστική στον κόσμο, με βέλτιστο χρόνο αντήχησης στα 1.96 δευτερόλεπτα και εξαιρετική διαύγεια <sup>33</sup>.



Εικόνα 44: Εσωτερική άποψη αίθουσα συναυλιών Tokyo Opera City, Ιαπωνία (1997)



Εικόνα 45: Κάτοψη αίθουσας συναυλιών Tokyo Opera City, Ιαπωνία (1997)

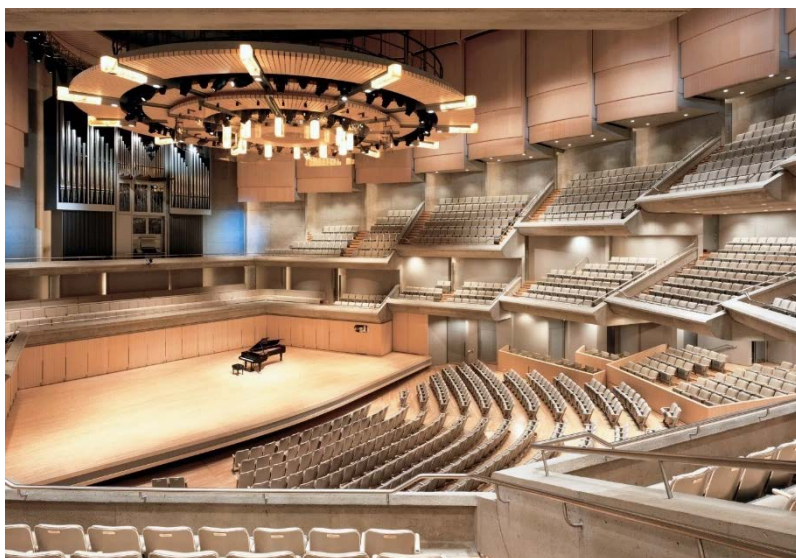
<sup>33</sup> Leo Beranek, "Concert Halls and Opera Houses. Music, Acoustics, Architecture," Springer- Verlag New York, 2004, 411



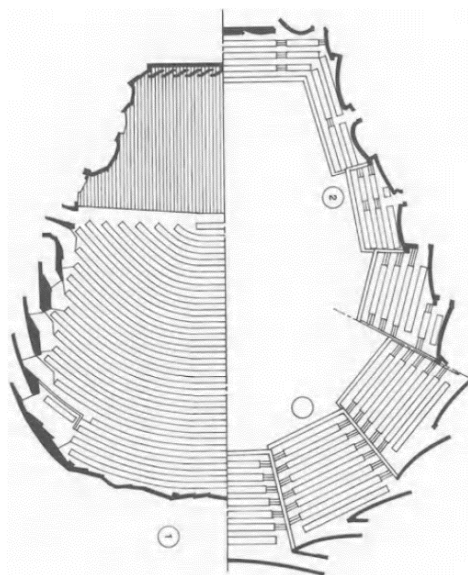
## Warmth

Ζεστασιά αναφέρεται στην πληρότητα των χαμηλών τόνων σε σχέση με τις μεσαίες συχνότητες. Σε μία αίθουσα μουσικής αναφέρεται με τον αν οι μπάσοι τόνου ακούγονται καθαρά όταν παίζει η πλήρης ορχήστρα. Με τεχνικούς όρους η ζεστασιά στη μουσική καθορίζεται από τη δύναμη του μπάσου, απλά μετριέται με ηχομετρητή σε διάφορα καθίσματα μέσα σε μια αίθουσα και σχετίζεται με το χρόνο αντήχησης των χαμηλών συχνοτήτων ( 75 έως 35 Hz ). Η μουσική θα χαρίσει ζεστασιά αν οι τοίχοι ή/και η οροφή είναι κατασκευασμένοι από λεπτή ξύλινη επένδυση που απορροφά καλύτερα τις χαμηλές συχνότητες του ήχου.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η αίθουσα συναυλιών Roy Thomson στο Τορόντο η οποία άνοιξε το 1982 και ανακαινίστηκε το 2002. Η ημικυκλική διάταξη της με την υπερυψωμένη σκηνή και τους διαδοχικούς εξώστες γύρω από τη σκηνή, την κάνουν και ξεχωρίζει σαν ένα είδος αρένας. Έχει χωρητικότητα 2630 άτομα με μια κεντρική πλατεία, εξώστες πάνω από αυτή και μερικές θέσεις γύρω και πίσω από την σκηνή. Ένα κουβούκλιο βρίσκεται πάνω από τη σκηνή το οποίο ανακλά ήχο πίσω στην ορχήστρα και στους θεατές της κεντρικής πλατείας. Μετά τις αλλαγές που υπέστη , η ακουστική της βελτιώθηκε σημαντικά και η αυξημένη ζεστασιά των μπάσων επηρέασαν θετικά τον συνολικό ορχηστρικό ήχο<sup>34</sup>.



Εικόνα 46: Εσωτερική άποψη Roy Thomson Hall, Τορόντο (2002)



Εικόνα 47: Κάτοψη Roy Thomson Hall, Τορόντο (2002)

<sup>34</sup> Leo Beranek, "Concert Halls and Opera Houses. Music, Acoustics, Architecture," Springer- Verlag New York, 2004, 197

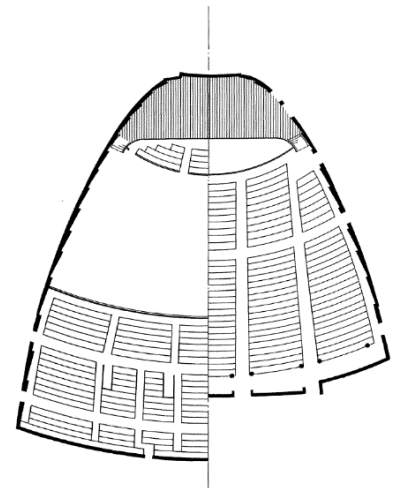
### *Liveness*

Η αίσθηση της ζωντάνιας του ήχου σχετίζεται με το γέμισμα του τόνου σε σχέση με τις μεσαίες και υψηλές συχνότητες. Όσο πιο μεγάλο χρόνο αντήχησης έχει μια αίθουσα τόσο πιο ζωντανός θα είναι ο ήχος. Ο όρος "ζωντάνια" αντιστοιχεί γενικά στους χρόνους αντήχησης σε συχνότητες μεταξύ 350 και 1400 Hz επειδή η ακοή ενός ατόμου είναι πιο ευαίσθητη σε αυτό το εύρος τιμών.

Η αίθουσα μουσικής Kleinhans στο Buffalo των Ηνωμένων Πολιτειών είναι ένα παράδειγμα αυτής της κατηγορίας. Άνοιξε το 1940 και είναι μια απλή μετωπικής διάταξη αίθουσα με αρμονικό εσωτερικό. Οι θεατές νιώθουν πιο κοντά στο θέαμα καθώς δεν υπάρχουν μοντέρνα στοιχεία που μπορούν να τους αποσπάσουν την προσοχή. Έχει μια απλή σκηνή που φιλοξενεί συμφωνικές ορχήστρες και κάποιες φορές χορωδία. Στην πλατεία χωράνε 2400 άτομα που χωρίζονται στον κεντρικό χώρο και στον εξώστη. Παρά τον χαμηλό του χρόνο αντήχησης (1.5 δευτερόλεπτα) πολλοί μουσικοί χαρακτηρίζουν τον ήχο της αίθουσας ως ζωντανό<sup>35</sup>.



Εικόνα 48: Εσωτερική άποψη Kleinhans Music Hall , Buffalo ΗΠΑ (1940)



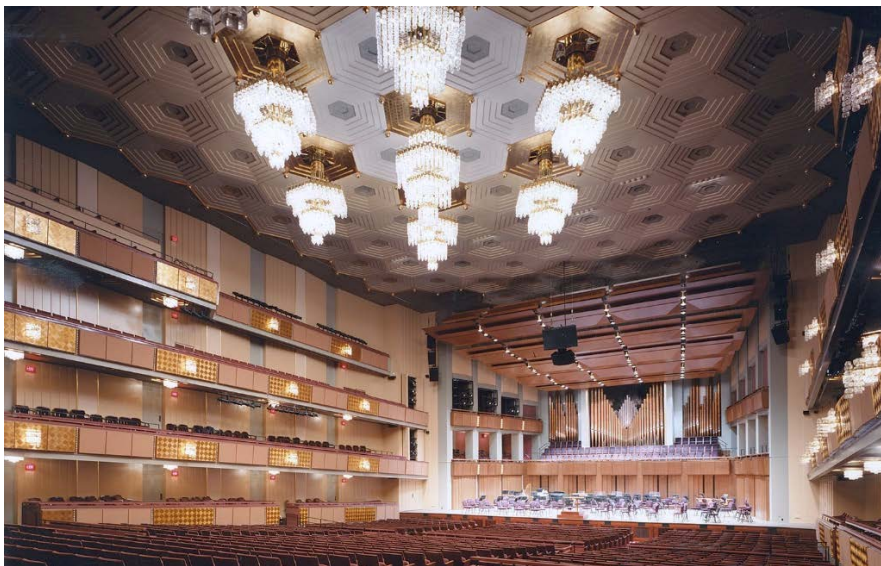
Εικόνα 49: Κάτοψη Kleinhans Music Hall, Buffalo ΗΠΑ (1940)

<sup>35</sup> Leo Beranek, "Concert Halls and Opera Houses. Music, Acoustics, Architecture," Springer- Verlag New York, 2004, 51

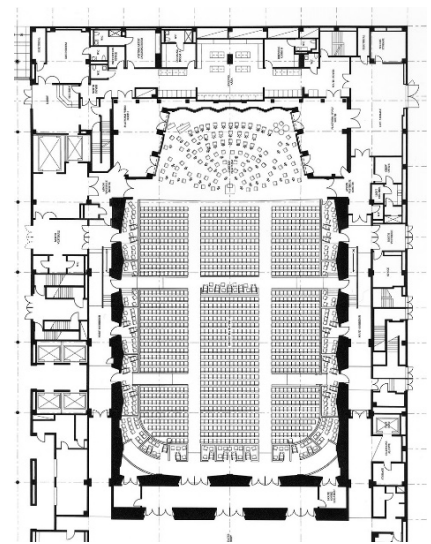
## Brilliance

Λαμπρότητα είναι το ακουστικό χαρακτηριστικό που αναφέρεται στον καθαρό, αρμονικό ήχο των υψηλών συχνοτήτων ( $>2000$  Hz) της αίθουσας. Σε μια αίθουσα μουσικής οι υψηλές συχνότητες μειώνονται διότι υπάρχει απορρόφηση κυμάτων στον αέρα. Έλλειψη λαμπρότητας προκύπτει από την ύπαρξη μεγάλης ποσότητας ηχοαπορροφητικών υλικών.

Ένα παράδειγμα είναι η αίθουσα συναυλιών του JFK center for performing arts στη Washington των Ηνωμένων Πολιτειών που άνοιξε το 1971 και ανακαινίστηκε το 1997. Είναι μετωπικής διάταξης και φιλοξενεί συμφωνικές ορχήστρες με χορωδίες μερικές φορές. Η πλατεία έχει χωρητικότητα 2448 θεατές που χωρίζονται στην κεντρική πλατεία, στα μπαλκόνια γύρω από αυτή σε τρία επίπεδα και στα τέσσερα μπαλκόνια περιμετρικά της σκηνής. Ο χρόνος αντήχησης κυμαίνεται στα 1.8 με 2.0 δευτερόλεπτα και πάνω από τη σκηνή τοποθετούνται ρυθμιζόμενα πάνελ που ανακλούν τον ήχο και προσθέτουν λαμπρότητα στην αίθουσα<sup>36</sup>.



Εικόνα 50: Εσωτερική άποψη αίθουσας συναυλιών JFK Center for Performing Arts, Washington (1997)



Εικόνα 51: Κάτοψη JFK Center for Performing Arts, Washington (1997)

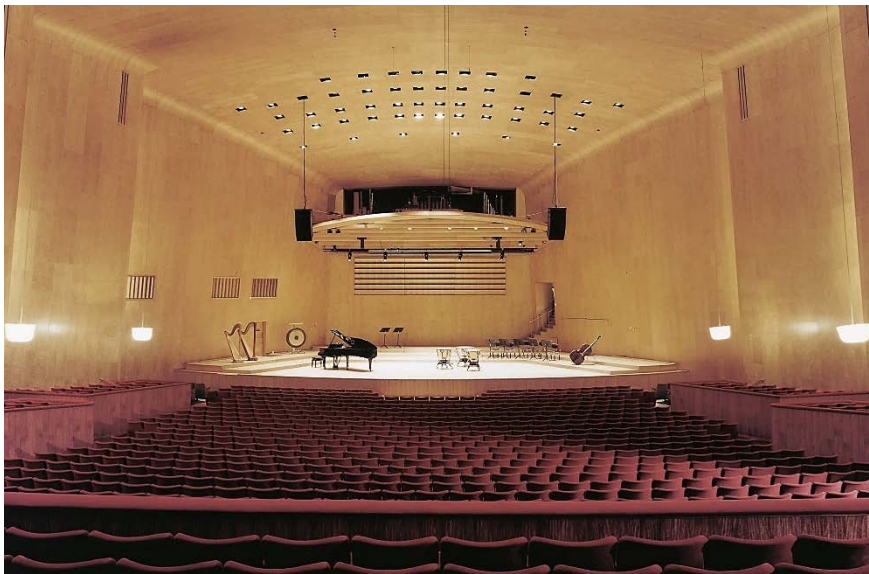
<sup>36</sup> Leo Beranek, "Concert Halls and Opera Houses. Music, Acoustics, Architecture," Springer- Verlag New York, 2004, 149



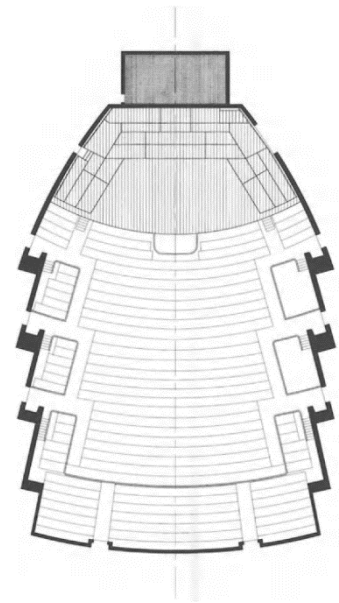
## Ensemble

Σύνολο είναι η ομοιομορφία του ήχου των μουσικών που ακούγονται μεταξύ τους όταν παίζουν <sup>37</sup>. Το ορχηστικό σύνολο εξαρτάται από την ικανότητα των μουσικών να ακούν τους συναδέλφους τους και να επικοινωνούν μεταξύ τους. Ο ήχος ταξιδεύει μεταξύ των ερμηνευτών από τη μια πλευρά της σκηνής στην άλλη χάρη των περιμετρικών ανακλαστήρων.

Ένα παράδειγμα είναι η αίθουσα συναυλιών Gothenburg της Σουηδίας που φιλοξενεί την Εθνική ορχήστρα της Σουηδίας. Άνοιξε το 1935 αλλά ανακαινίστηκε δύο φορές το 1985 και το 2000. Είναι μια αίθουσα μετωπικής διάταξης μεσαίου μεγέθους με χωρητικότητα 1286 άτομα. Η πλατεία χωρίζεται στο κεντρικό κομμάτι και στα υπερυψωμένα τμήματα καθισμάτων στα πλάγια. Ο χρόνος αντήχησης είναι στα 1.65 δευτερόλεπτα που είναι ιδανικό για κλασσική μουσική. Πάνω από την ορχήστρα βρίσκεται ένα κουβούκλιο το οποίο απελευθερώνει περισσότερη ηχητική ενέργεια στη σκηνή και βελτιώνει το σύνολο και την ισορροπία της ορχήστρας<sup>38</sup>.



Εικόνα 52: Εσωτερική άποψη αίθουσας συναυλιών Gothenburg, Σουηδία (2000)



Εικόνα 53: Κάτοψη αίθουσας συναυλιών Gothenburg, Σουηδία (2000)

<sup>37</sup> Νίκος Τσινίκας, "Ακουστικός Σχεδιασμός χώρων", University Studio Press, 1990, 27

<sup>38</sup> Leo Beranek, "Concert Halls and Opera Houses. Music, Acoustics, Architecture," Springer- Verlag New York, 2004, 457





## Ο3 | Από τον ήχο στην αρχιτεκτονική ακουστική

Σημαντικοί εκπρόσωποι που συνέβαλαν στην ανάπτυξη της  
ακουστικής

## I. Ακουστικοί του παρελθόντος, μεταξύ ήχου και ακουστικής

Οι πρώτες μελέτες για τον ήχο ξεκίνησαν από τον **Πυθαγόρα** (570-497 π.Χ.) ο οποίος σημείωσε ότι η κίνηση του αέρα που παράγεται από ένα δονούμενο σώμα μοιάζει με μουσική νότα<sup>39</sup>. Παράλληλα παρατήρησε ότι υπάρχει άμεση σχέση της μουσικής με τις μαθηματικές αναλογίες. Υιοθετώντας τις αρχές των μαθηματικών διαμόρφωσε σχεδόν όλες τις έρευνες του σχετικά με τη φύση του ήχου για τους επόμενους αιώνες.

Ο πρώτος που ασχολήθηκε με την διάδοση του ήχου ήταν ο **Βιτρούβιος** (1ος αι. π.Χ.). Χρησιμοποίησε το παράδειγμα της πέτρας που πέφτει στο νερό και παράγει κυκλικά κύματα, και τα συσχέτισε με την κίνηση των ηχητικών κυμάτων σε τρισδιάστατο χώρο. Στο βιβλίο του "Περί αρχιτεκτονικής" ισχυρίζεται ότι ο προσανατολισμός και η ομαλή διαμόρφωση του κοίλου στα αρχαία θέατρα, έγιναν μετά από επιστημονική προσέγγιση στο θέμα της διάδοσης του ήχου. Δίνει το παράδειγμα κεράτινων ή μεταλλικών ηχείων των μουσικών οργάνων που βελτιώνουν και ενισχύουν τον ήχο από τις χορδές ώστε να προσφέρει σε όλους τους θεατές τον πιο καθαρό ήχο που παράγεται από τη σκηνή<sup>40</sup>.

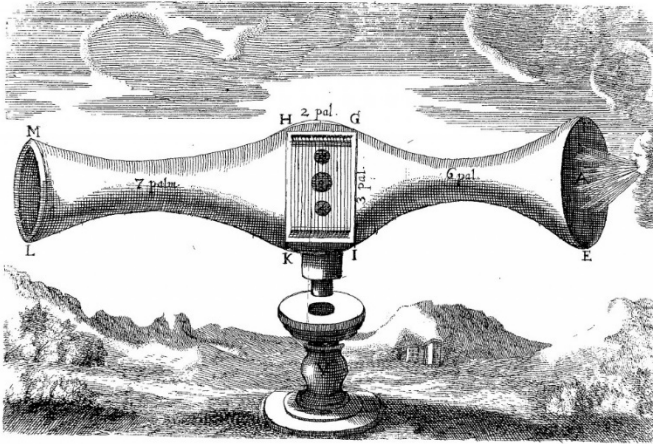
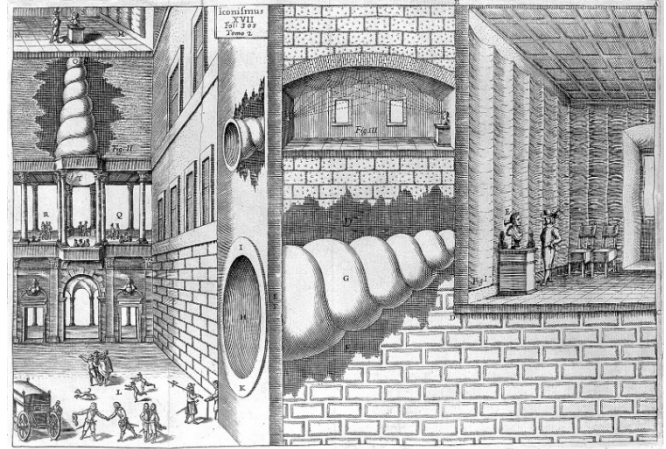
Ανάμεσα στον 1<sup>ο</sup> αι. μέχρι τον 16<sup>ο</sup> αιώνα υπάρχει ένα τεράστιο κενό διότι ταυτίζεται με τα χρόνια του μεσαίωνα και της επιστροφής στην θρησκεία οπότε δεν υπήρχε εξέλιξη στην ακουστική, στην τέχνη και στην επιστήμη γενικότερα.

Η σύγχρονη μελέτη για την ακουστική ξεκίνησε από τον **Γαλιλαίο** (1564-1642) ο οποίος αναβάθμισε τη μελέτη των δονήσεων και τη σχέση μεταξύ του ύψους και της συχνότητας της πηγής ήχου. Ανέπτυξε τρεις νόμους οι οποίοι υποστηρίζουν ότι η θεμελιώδης συχνότητα μιας τεντωμένης χορδής εξαρτάται από το μήκος, την τάση και τη μάζα μιας παλλόμενης χορδής.

---

<sup>39</sup> Daniel R. Raichel, "The science and applications of acoustics", Springer Science + Business Media, Inc., 2006, 2.

<sup>40</sup> Σύλβια Κουτρούλη, "Βιτρούβιος και μουσική," Χάρτης 1, Ιανουάριος 2019 < [hartismag.gr/print/738#](http://hartismag.gr/print/738#) >

Εικόνα 54 : *Musurgia universalis*, aeolian harp (1673)Εικόνα 55 : *Musurgia universalis*, eavesdropping (1673)

Ακολουθώντας το έργο του Γαλιλαίου ο μαθηματικός **Marin Mersenne** (1588-1648) παρείχε την πρώτη επιστημονική περιγραφή ενός τόνου. Ανέπτυξε ένα σύνολο κανόνων που περιγράφουν την ταλάντωση μιας χορδής, και δημοσίευσε ένα σημαντικό έργο το 'Harmonie Universelle' το 1636, στο οποίο πραγματεύεται τη διάδοση του ήχου και αποτελεί τη βάση για τη σύγχρονη ακουστική <sup>41</sup>.

Στα τέλη 17<sup>ο</sup> αιώνα ο μοναχός **Athanasius Kircher** (1602-1680) στην έρευνά του για την ακουστική επικεντρώθηκε κυρίως στη σχέση του χώρου με τη διάδοση του ήχου. Έγραψε μια ολοκληρωμένη έρευνα για τη μουσική αρμονία, την αρχιτεκτονική θεάτρων και μια ποικιλία ακουστικών φαινομένων. Το δίτομο *Musurgia Universalis* (1636) περιελάμβανε μελέτες ηχητικών φαινομένων όπως πολλαπλή ηχώ, καθώς και σκίτσα οπτικής αναπαράστασης του ήχου, σχέδια και διαγράμματα αυτόματων μουσικών οργάνων όπως η αιολική άρπα <sup>42</sup> (εικ. 54) .

Σημαντικό ρόλο επίσης στην εξέλιξη της ακουστικής διαδραμάτισε και ο Γάλλος επιστήμονας και μαθηματικός **J.Sauveur** (1653-1716) ο οποίος ήταν ο πρώτος που πρότεινε τον όρο ακουστική για την επιστήμη του ήχου. Καθόρισε λέξεις όπως θεμελιώδεις, αρμονικές, κόμβος και κοιλιακό τμήμα στην έρευνά του για την φυσική επιστήμη της μουσικής στο College de France στο Παρίσι <sup>43</sup>.

<sup>41</sup> "Early experimentation," Britannica, Πρόσβαση Μάρτιος 5, 2023, < <https://www.britannica.com/science/acoustics/Early-experimentation> >

<sup>42</sup> Lamberto Tonchin, "The 'Phonurgia Nova' of Athanasius Kircher: The Marvelous sound world of 17<sup>th</sup> century," 'Acoustical Society of America, June 29, 2008

<sup>43</sup> Harald Sack, "Joseph Sauveur and the Science of Acoustics," last modified March 24, 2021 < [scih.org/joseph-sauveur-science-acoustics/](https://scih.org/joseph-sauveur-science-acoustics/) >

Μια συναρπαστική υποσημείωση είναι ότι ο Σαυνευρ είχε προβλήματα ακοής και ομιλίας από τη γέννησή του. Παρ'όλ'αυτά στην εκτέλεση των ακουστικών πειραμάτων του έδειχνε πάντα μεγάλο ενδιαφέρον για την μουσική, ακόμη και αν έπρεπε να βασίζεται σε βοηθούς για να αντισταθμίσει την έλλειψη διάκρισης έντονης μουσικής. Το έργο του περιλάμβανε την έρευνα της συσχέτισης μεταξύ συχνότητας και μουσικού τόνου, και διεξήγαγε μελέτες σε θέματα όπως η δονούμενη χορδή, το βήμα συντονισμού, το φάσμα των φωνών και τα μουσικά όργανα.

Ένα διαφορετικό πεδίο ηχητικής εξερεύνησης είναι ο 'θόρυβος', ο οποίος συστήνεται από τον **William Hogarth** (1697-1764). Στον διάσημο πίνακά του "Ο εξαγριωμένος μουσικός", από την σειρά *Marriage A-la-Mode* που δημοσιεύθηκε το 1741, απεικονίζει ένα όραμα ζωντανής κακοφωνίας στο κέντρο του Λονδίνου. Συγκεκριμένα δείχνει τον επαγγελματία βιολονίστα να καλύπτει τα αυτιά του από: την τραγουδίστρια μπαλάντας με το μωρό που κλαίει, το αγόρι με τα ντραμς, ο παίκτης του όμποε μαζί με το αγόρι που κατουράει οι οποίοι θέλουν να ενοχλήσουν τον άντρα το παράθυρο, οι κραυγές των πολιτών και άλλες πηγές θορύβου της πόλης. Έτσι θεσπίστηκαν νόμοι για τον έλεγχο αυτών των θορύβων μετά από περίπου 100 χρόνια αφότου ο Hogarth χάραξε τη διάσημη σκηνή του <sup>44</sup>.

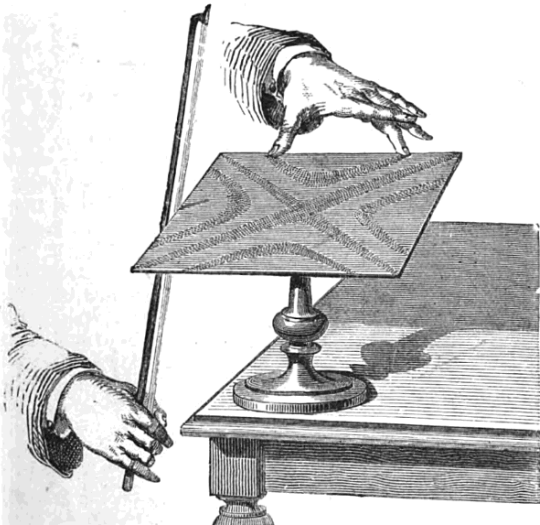


Εικόνα 56: *The enraged musician*, William Hogarth (1741)

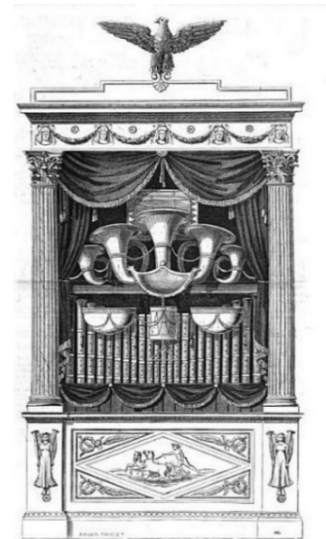
<sup>44</sup> Skye Sherwin, "William Hogarth's *The Enraged Musician*: gritty glory," Last modified January 4, 2019, <[theguardian.com/artanddesign/2019/jan/04/william-hogarth-the-enraged-musician](https://theguardian.com/artanddesign/2019/jan/04/william-hogarth-the-enraged-musician)>

Ο **Ernst F.F Chladni** (1756-1827), Γερμανός φυσικός και μουσικός, είναι γνωστός για την εφεύρεση μιας μεθόδου οπτικοποίησης των μοτίβων των δονήσεων σε μηχανικές επιφάνειες. Έτρεξε ένα δοξάρι βιολιού κατά μήκος μιας μεταλλικής πλάκας όπου η επιφάνεια της οποία ήταν καλυμμένη με άμμο, και είδε τα κομβικά σχέδια να αναδύονται. Κατά τον συντονισμό μια πλάκα ή μια μεμβράνη χωρίζεται σε περιοχές που δονούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις, οριοθετημένες από γραμμές όπου δεν εμφανίζεται δόνηση (εικ. 57). Η τεχνική αυτή του Chladni δημοσιεύτηκε για πρώτη φορά το 1787 στο βιβλίο του *Entdeckungen über die Theorie des Klanges* ( "Ανακαλύψεις στην Θεωρία του Ήχου")<sup>45</sup>.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ο **Johann Nepomuk Maelzel** (1772-1838), ένας Γερμανός εφευρέτης, μηχανικός και μουσικός, ο οποίος όταν πήγε στη Βιέννη το 1792 ξεκίνησε να διδάσκει μουσική και να κατασκευάζει μουσικές συσκευές. Το 1805 κατασκεύασε το παναρμονικό, ένα μουσικό όργανο που μιμούταν αυτόματα όλο το ηχητικό φάσμα μιας ορχήστρας οργάνων χρησιμοποιώντας μεταλλικούς σωλήνες. Πολλοί γνωστοί συνθέτες όπως ο Joseph Haydn, ο Mozart και ο Beethoven έγραψαν μουσική για τη μηχανική αυτή ορχήστρα. Όμως οι ορχήστρες είχαν ανάγκη από κάτι που θα τους επέτρεπε να παρακολουθούν τον χρόνο καθώς έπαιζαν. Το 1814 ο Maelzel βασίστηκε την ιδέα του Diederick Nikolaus Winkel του ισορροπημένου διπλού άκρου εκκρεμές ή χρονόμετρο και πρόσθεσε διαιρέσεις κλίμακας πίσω από το εκκρεμές που αντιπροσώπευαν τους κτύπους ανά λεπτό.



Εικόνα 57: Μέθοδος οπτικοποίησης του Chladni για τη δημιουργία φιγούρων με το δοξάρι βιολιού (1787)



Εικόνα 58 : Maelzel's panharmonicon (1792)

<sup>45</sup> Harald Sack, "Ernst Chladni – The father of Acoustics," accessed November 30, 2015, <[scihi.org/ernst-chladni/](http://scihi.org/ernst-chladni/)>



Επιπλέον ανέλυσε μεγάλο αριθμό μουσικών κομματιών και έδωσε αριθμητικές τιμές σε όλους του κοινούς όρους τέμπο καταλήγοντας στην δημιουργία του μετρονόμου που χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα<sup>46</sup>.

Εφαρμόζοντας τις τότε θεωρητικές γνώσεις περί ακουστικής, ο Αμερικανός φυσικός **Wallace Clement Sabine** (1868-1919) απέκτησε ενδιαφέρον για την ακουστική αφού παρατήρησε τη διαφορά του ήχου από δύο διαφορετικές αίθουσες στο πανεπιστήμιο Harvard όπου δίδασκε. Σημείωσε ότι ο χρόνος αντήχησης ενός χώρου είναι ο πιο κρίσιμος παράγοντας για την αξιολόγηση της ακουστικής και επηρεάζεται από τον όγκο και από τις απορροφητικές επιφάνειες ενός χώρου. Ανέπτυξε μια μαθηματική σχέση προκειμένου να αξιολογηθεί η ποιότητα του ήχου σε μια κλειστή αίθουσα παραστάσεων. Σύμφωνα με τον ορισμό του , ένας χρόνος αντήχησης  $T$  είναι η διάρκεια σε δευτερόλεπτα που απαιτείται για να μειωθεί η ένταση ενός ήχου από τη στάθμη που είναι 60 dB και κάτω. Ο Τύπος είναι ο εξής :

$$RT_{60} = 0.161 V / S \bar{\alpha}$$

$RT_{60}$  Είναι ο χρόνος σε δευτερόλεπτα που απαιτείται για να διασπαστεί ένας ήχος κατά 60 dB (s)

$V$  Είναι ο όγκος του δωματίου ( $m^3$ )

$S$  Είναι η οριακή επιφάνεια ( $m^2$ )

$\bar{\alpha}$  Είναι ο μέσος συντελεστής απορρόφησης ( $Sab$ )

Διαπίστωσε ότι ο ιδανικός χρόνος αντήχησης για μια αίθουσα μουσικής ήταν από 2 έως 2,25 δευτερόλεπτα, ενώ ο ιδανικός χρόνος για μια αίθουσα διαλέξεων ήταν μεταξύ των 0.8 δευτερολέπτων– 1.1 δευτερολέπτων <sup>47</sup>. Ο σχεδιασμός των αιθουσών συναυλίας, με βάση τις παρατηρήσεις του Sabine εξελίχθηκε στη δική του επιστήμη. Η νέα τεχνική που αφορά την ακουστική συμπεριφορά των δωματίων επέτρεψε τους αρχιτέκτονες να εφαρμόσουν τις ανακαλύψεις του σε νέους τύπους κτιρίων αντί να βασίζονται στις εμπειρικές επιτυχίες του παρελθόντος. Έπειτα την ίδια εποχή σε πολλά σημαντικά ερευνητικά ιδρύματα συμπεριλαμβανομένων του Harvard, MIT και του UCLA, διεξήχθησαν πολλά πειράματα που συνέβαλαν στην περεταίρω ανάπτυξη της επιστήμης της ακουστικής.

<sup>46</sup> Maureen Buja, "The speed of sound II," Interlude, February 5, 2014

<sup>47</sup> "Sabine's formula & the birth of modern architectural acoustics," Τελευταία τροποποίηση Οκτώβριος 28, 2021 < <https://blog.thermaxxjackets.com/sabines-formula-the-birth-of-modern-architectural-acoustics> >



## II. Σύγχρονοι εκπρόσωποι ακουστικής

Ο τομέας της ακουστικής έχει σημειώσει τεράστια πρόοδο από το πρωτοποριακό έργο του Wallace Clement Sabine. Στις δεκαετίες που ακολούθησαν, πολλοί διακεκριμένοι ακουστικοί συνέβαλαν σημαντικά στον τομέα, ο οποίος επικεντρώθηκαν στην εμβάθυνση της κατανόησης του ήχου και της συμπεριφοράς του σε διάφορα περιβάλλοντα. Το κεφάλαιο αυτό διερευνά την συμβολή και τα επιτεύγματά τους στον ακουστικό σχεδιασμό που εξακολουθούν να εμπνέουν τους σημερινούς ακουστικούς.

Ο **Vern Knudsen** (1893-1974) , Αμερικάνος ακουστικός φυσικός, ο οποίος αργότερα υπηρέτησε ως κοσμήτορας του UCLA , συνέχισε το έργο του Sabine κάνοντας σημαντικές μελέτες για την απορρόφηση και τη μετάδοση του ήχου. Απέδειξε ότι ο ρυθμός μείωσης της ηχητικής ενέργειας είναι καθοριστικός παράγοντας για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας των κλειστών χώρων για ακρόαση ήχου. Επιπλέον παρατήρησε ότι η αντήχηση δεν είναι ο μοναδικός παράγοντας που επηρεάζει την ακουστική ενός δωματίου. Κατέληξε ότι το μέγεθος, το σχήμα και η παρουσία εξωτερικού θορύβου θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν για την αξιολόγηση της ακουστικής ποιότητας ενός χώρου<sup>48</sup>.

Ο **Erwin Meyer** (1899-1972), Γερμανός ακουστικός που ασχολήθηκε με την κατανόηση της ακουστικής δωματίου, τις ιδιότητες του μικροφώνου, των μουσικών οργάνων και των ηχητικών πεδίων. Ήταν ο πρώτος που εισήγαγε νέους τρόπους μέτρησης της αντήχησης για τον συνολικό ήχο ενός δωματίου και βελτιωμένες μεθόδους για τον υπολογισμό της ηχοαπορρόφησης. Το 1932 μέσω υπολογισμών των ιδιοτήτων των ξύλινων πάνελ και τον υαλοπινάκων ανάλογα με το δωμάτιο στο οποίο βρισκόταν, κατέληξε ότι η καλύτερη ακουστική δεν εξαρτάται μόνο από τα υλικά αυτά αλλά και από την απορρόφηση τους σε ήχους χαμηλών συχνοτήτων. Το 1935 ανέπτυξε έναν εξοπλισμό υπολογισμού του χρόνου αντήχησης που χρησιμοποιήθηκε σε πλήρως κατειλημμένες αίθουσες συναυλιών με θεατές. Θεώρησαν ότι η ακουστική ενός δωματίου καθορίζεται από τις ανακλάσεις του άμεσου ήχου στους τοίχους και στη οροφή. Γι' αυτό ο Meyer μετά από την σύγκριση των υπολογισμών των ανακλάσεων από διαφορετικές θέσεις και διαφορετικές αίθουσες κατέληξε ότι οι πρώιμες ανακλάσεις διαμορφώνουν τον καθορισμό (βλ. Ο2 III ) της αίθουσας και ότι προκειμένου οι θεατές να ακούνε καθαρά τον ήχο θα πρέπει να λαμβάνουν ανακλάσεις από όλες τις κατευθύνσεις.

---

<sup>48</sup> Vern O. Knudsen, "The hearing of speech in auditoriums", Acoustical Society of America, 1929

Οι γνώσεις του χρειάστηκαν στην αίθουσα της φιλαρμονικής στο Lincoln Center στη Νέα Υόρκη όπου του ζήτησαν να βρει τις ακουστικές ελλείψεις της αίθουσας. Χρησιμοποίησε ένα μοντέλο κλίμακας με ανακλαστήρες οροφής που βοήθησαν στην μερική λύση του προβλήματος<sup>49</sup>.

Ο **Frederick Vinton Hunt** (1905-1972), Αμερικανός επιστήμονας, είχε σημαντικό αντίκτυπο στην ανάπτυξη της ακουστικής καθώς επέδειξε ενδιαφέρον για την ακουστική δωματίου και στον τρόπο ανάκλασης του ήχου από τη μια επιφάνεια στην άλλη. Η διδακτορική του διατριβή αφορούσε την αντήχηση, όπου ανέπτυξε μια τεχνική που προσδιορίζει τις καμπύλες εξασθένησης του ήχου σε ένα δωμάτιο χρησιμοποιώντας μια πηγή ήχου συγκεκριμένης συχνότητας. Το έργο αυτό αποτέλεσε την βάση για περεταίρω έρευνες στην ακουστική των αιθουσών συναυλιών ( ως αναφορά την εξασθένηση του ήχου) . Οι συνολικές συνεισφορές του στην ακουστική περιλαμβάνουν τεχνικές για την ακριβή μέτρηση της αντήχησης, την έννοια της διάχυσης του ηχητικού πεδίου, τον σχεδιασμό αιθουσών και τις αρχές ενίσχυσης του ήχου και της αναπαραγωγής της μουσικής.

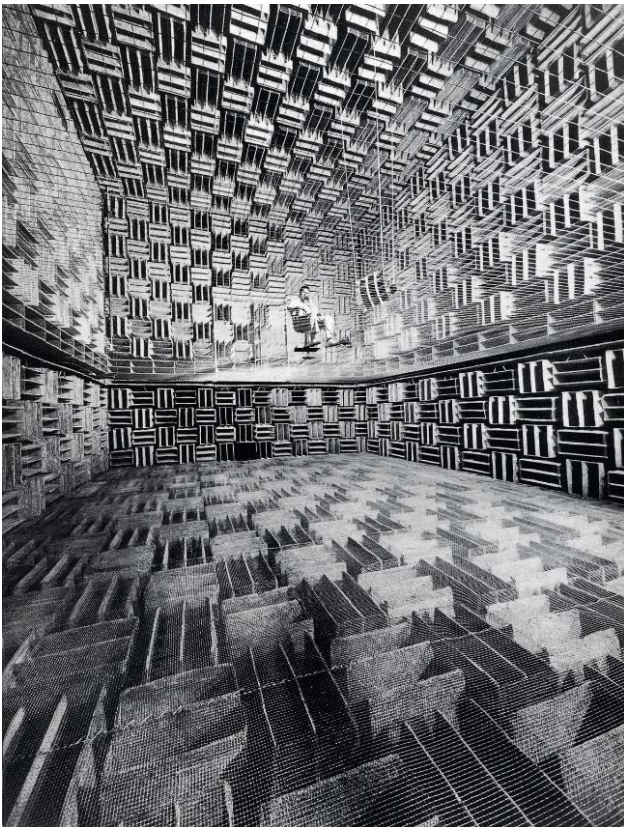
Ο ηλεκτρολόγος μηχανικός και ακουστικός **Lothar Cremer** (1905-1990) είναι ένας από τους πιο αξιολογούς επιστήμονες του 20<sup>ου</sup> αι. καθώς ανέτρεψε την μέχρι τότε κατανόηση που υπήρχε για τη διάδοση του ήχου σε κτίρια. Σε συνεργασία με τον φυσικό Helmut A. Muller έγραψαν δύο βιβλία για την ακουστική δωματίου με τίτλο " Αρχές και εφαρμογές ακουστικής δωματίου". Χωρίζονται σε δύο τόμους και τέσσερα μέρη και αναλύουν τον ήχο σε αμφιθέατρα, αίθουσες συναυλιών και εκκλησίες από τρεις πλευρές: τη γεωμετρική ακουστική, τη στατιστική ακουστική και την ακουστική κυμάτων. Συγκεκριμένα πραγματεύεται την ανάκλαση ήχου σε επίπεδες και καμπύλες επιφάνειες, τη χρήση γεωμετρικών ανακλάσεων για τη κατευθυντικότητα του ήχου, τις ανακλάσεις ήχου με απώλειες, την απορρόφηση και τον έλεγχο αντήχησης, τους συντελεστές ηχοαπορρόφησης για διάφορες δομές κ.α. Στόχος των βιβλίων είναι να καθορίσει τα κριτήρια σχεδιασμού για τις αίθουσες μουσικής μέσω των διαφορετικών αυτών παραμέτρων. Αυτά τα βιβλία έγιναν εγχειρίδια για τον ακουστικό σχεδιασμό σε χώρους παραστάσεων και ακρόασης<sup>50</sup>.

---

<sup>49</sup> Dieter Guicking, "Erwin Meyer – A great German acoustician, Biographical Notes," Third Institute of Physics in the University of Göttingen, July 2017

<sup>50</sup> Helmut A. Muller, Lothar Cremer, Richard M. Guernsey, "Principles and Applications of Room Acoustics," The journal of the Acoustical Society of America, August 1998.

Ένας Αμερικανός ειδικός στην ακουστική και τον σχεδιασμό αιθουσών συναυλιών και όπερας ήταν ο **Leo Beranek** (1914-2016). Η σχέση του με την ακουστική ξεκίνησε το 1940 ως διευθυντής του εργαστηρίου ηλεκτροακουστικής του Harvard που δημιούργησε συσκευές επικοινωνίας και μείωσης θορύβου για στρατιωτικά αεροσκάφη. Παράλληλα έφτιαξε τον πρώτο ανηχοϊκό θάλαμο, έναν καθόλα μονωμένο ηχητικά χώρο ο οποίος όμως καταστράφηκε το 1971. Στη συνέχεια έγραψε δύο βιβλία τα οποία θεωρούνται κλασσικά εγχειρίδια στην ακουστική : το " Acoustics" το 1954 και το " Music, Acoustics and Architecture" το 1962 , το οποίο αναθεωρήθηκε το 2004 και επέκτεινε την μελέτη του από τις 55 στις 100 αίθουσες συναυλιών στον κόσμο. Το δεύτερο βιβλίο του περιλαμβάνει μια λίστα στην οποία περιγράφει τις επιδράσεις της ακουστικής των αιθουσών συναυλίας σε σχέση με ψυχολογικές παραμέτρους. Αυτή η λίστα σήμερα είναι τα 'κριτήρια καλής ακουστικής' που βοήθησε τον σχεδιασμό κάθε αίθουσας. Ο Beranek παρείχε συμβουλές ακουστικού σχεδιασμού σε πολλές αίθουσες συναυλιών και όπερας στον κόσμο, συμπεριλαμβανομένου την αίθουσα μουσικής Tokyo Opera City στην Ιαπωνία, το οποίο αναφέρεται ως ένα από τα ακουστικά "θαύματα" <sup>51</sup>.



Εικόνα 59: Ανηχοϊκός θάλαμος του Leo Beranek στο Harvard (1943-1971)

<sup>51</sup> R. David Read, "Industry Pioneers #12: Leo L. Beranek, Dean of American Acousticians," Sound & Communications, June 2004

Ο **Cyril Harris** (1917-2011) ήταν μαθηματικός και φυσικός που ειδικευόταν στην ακουστική και ήταν υπεύθυνος ήχου για πολλές αξιόλογες αίθουσες όπως το Avery Fisher Hall (1962) στη Νέα Υόρκη και την Powell Symphony Hall (1968) στο Saint Louis. Έκανε έρευνα πάνω στις ακουστικές ιδιότητες των οικοδομικών υλικών, της ακουστικής δωματίου και μουσικών οργάνων. Οι δημοσιεύσεις του αναφέρονται στα βιβλία που έγραψε για μηχανικούς ακουστικής και αρχιτέκτονες συμπεριλαμβανομένου τα 'Ακουστικός Σχεδιασμός και Αρχιτεκτονική', 'Έλεγχος Θορύβου σε Κτίρια' κ.α. Στο σχεδιασμό των αιθουσών μουσικής χρησιμοποιούσε την μετωπική διάταξη με ξύλο και γύψο για την κατασκευή αντί χάλυβα και σκυρόδεμα που είχαν εισαχθεί εκείνη την εποχή, καθώς είχαν ακουστικά πλεονεκτήματα. Σημείωσε ότι για μια σωστά σχεδιασμένη αίθουσα μουσικής θα πρέπει να υπάρχει ζεστασιά, σαφήνεια και οικειότητα ιδιαίτερα σε αίθουσες μεγαλύτερες των 2500 ατόμων όπου οι θεατές θα πρέπει να αισθάνονται κοντά στον καλλιτέχνη<sup>52</sup>. Στόχος του ήταν να φέρει τον πλούσιο ήχο των μεγάλων αιθουσών συναυλίας του 19ου αι. στις σύγχρονες αίθουσες για την ενίσχυση της κλασικής μουσικής .

Ένας σημαντικός αρχιτέκτονας και ακουστικός ο **Russel Johnson** (1923-2007) σύστησε μια νέα προσέγγιση στον ακουστικό σχεδιασμό μεγάλων αιθουσών που τις επέτρεψε να προσαρμοστούν στις ανάγκες διαφόρων μουσικών συνόλων όπως μια συμφωνική ορχήστρα ή ένα τζαζ σύνολο. Είναι γνωστός για τη μελέτη του σε διάσημες αίθουσες μουσικής όπως τη συμφωνική αίθουσα (1991) του Birmingham και την Lucerne Concert Hall (1998) στην Ελβετία. Είχε μεγάλη κατανόηση της ακουστικής και αφιέρωσε τη ζωή του στο έργο του με σκοπό να μετατρέψει την ακουστική από τέχνη σε επιστήμη. Ο Russel ήταν επηρεασμένος από τις αίθουσες της Ευρώπης του 19ου αι. και βασιζόταν σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά κατά το σχεδιασμό όπως το μέγεθος που δεν υπερέβαινε τα 2000 άτομα και τη μετωπική διάταξη. Εκείνος συμπλήρωσε επιπλέον παραμέτρους που μπορούν να τροποποιηθούν για να αλλάξουν την ποιότητα του ήχου ενός χώρου όπως ανακλαστικές επιφάνειες πάνω από την ορχήστρα, σύστημα μηχανοκίνητων κουρτινών και θαλάμους αντήχησης με πόρτες. Δούλεψε μαζί με τον Leo Beranek όπου σχεδίασαν το πρώτο κουβούκλιο για το Tanglewood music shed (1940) στη Μασαχουσέτη πάνω από την ορχήστρα για να μπορούν οι μουσικοί να ακούνε ο ένας τον άλλον(σύνολο). Γενικά η πρόθεση του ήταν να δημιουργήσει έναν χώρο όπου ο μαέστρος και η ορχήστρα να αισθάνονται τη μουσική, να υπάρχει ζεστασιά του ήχου και να μην υπάρχει ηχώ<sup>53</sup>.

<sup>52</sup> Benaroya Hall, "About the Hall," Πρόσβαση Απρίλιος 18, 2023 <  
<https://www.seattlesymphony.org/benaroyahall/about>>

<sup>53</sup> Elaine Woo, "Russel Johnson, 83; innovative acoustician for classical music," Los Angeles Times, August 2007





Εικόνα 60: Κουβούκλιο ορχήστρας στο Tanglewood Music Shed, Μασαχουσέτη (1959)

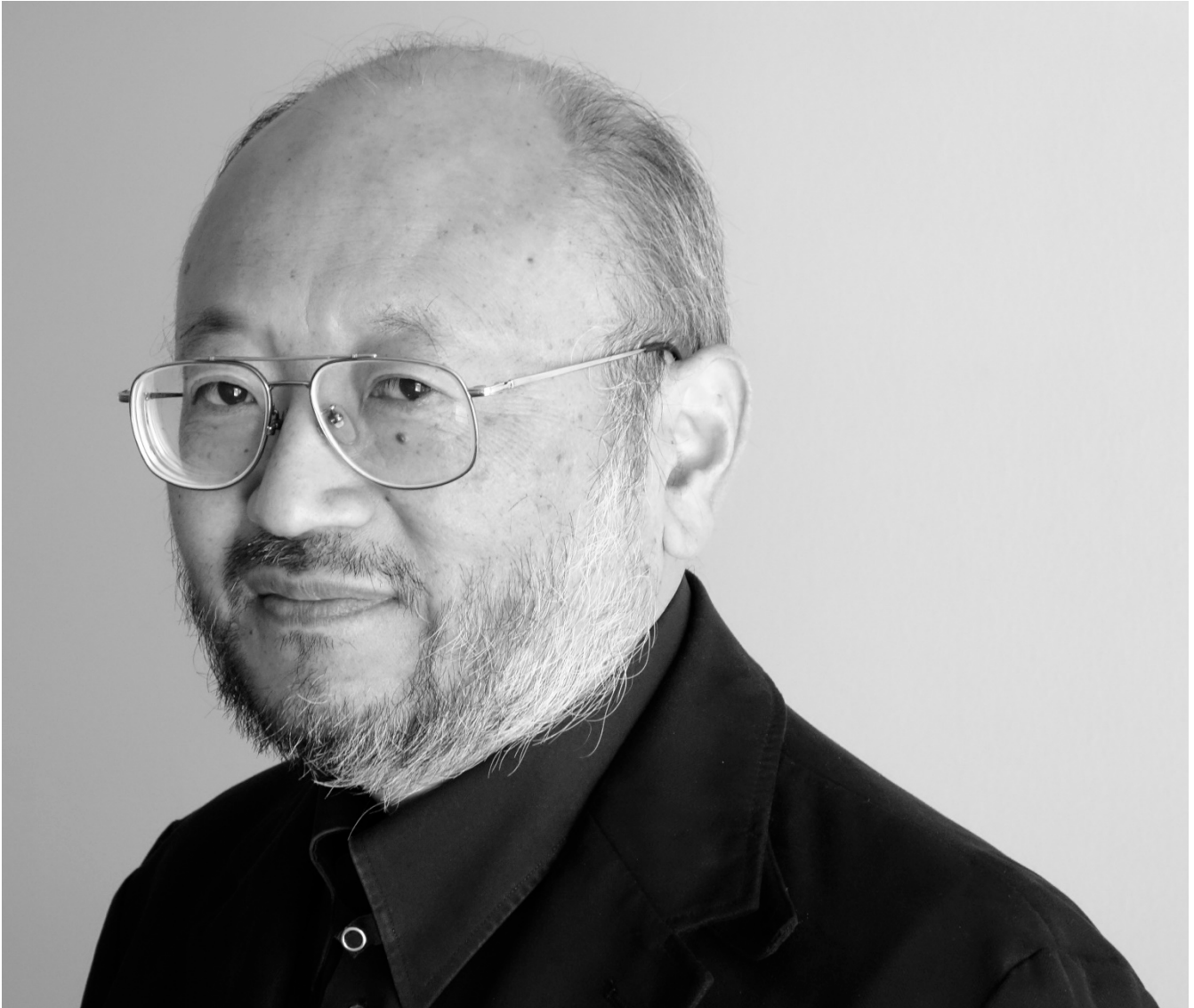
Ο **Gary Seibein** είναι ένας φημισμένος ακουστικός σύμβουλος από την Νέα Υόρκη έχει προσφέρει πολλά στον χώρο της ακουστικής. Εκτός από την συνεργασία του με την ASA (Acoustic Society of America) για την βελτίωση και την ανάπτυξη εθνικών και διεθνών προτύπων ακουστικής έχει υπάρξει και ως καθηγητής στο πρόγραμμα Master of Science στην ακουστική στο πανεπιστήμιο της Φλόριντα. Έκανε μια καινοτόμα έρευνα πάνω στη μοντελοποίηση του ακουστικού φαινομένου σε μοντέλα φυσικής κλίμακας αιθουσών μουσικής και άλλων χώρων, με αναδυόμενο εξοπλισμό ψηφιακής δειγματοληψίας. Με τη βοήθεια των μαθητών του σχεδίασαν, κατασκεύασαν και δοκίμασαν τη νέα τεχνική σε πολλούς χώρους παραστάσεων για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ακουστικής ανάμεσα σε δωμάτια με διαφορετική γεωμετρία<sup>54</sup>. Λόγω αυτής της ανακάλυψης μεγάλες εταιρείες ανέθεσαν στον Gary την κατασκευή και ακουστικών μετρήσεων σε μοντέλα κλίμακας ως μέρος του σχεδιασμού σε έργα όπως την αίθουσα συναυλιών Esplanade (2002) στη Σιγκαπούρη.

---

<sup>54</sup> Martin Gold, Keely Siebein, "Acoustics Virtually Everywhere," The Journal of the Acoustical Society of America, October 2020.



### III. Yasuhisa Toyota

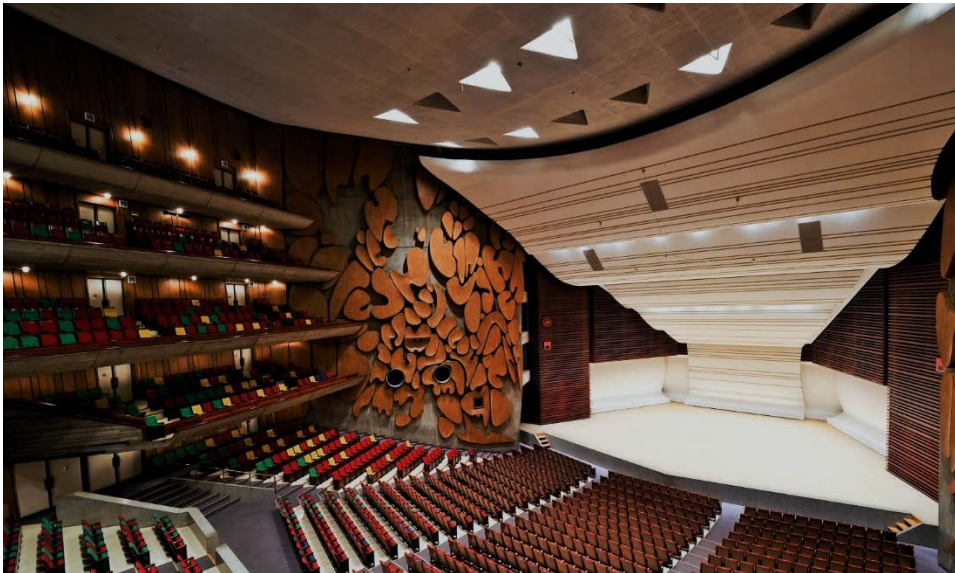


Εικόνα 61 : Πορτραίτο Toyota Yasuhisa

Ο Toyota Yasuhisa γεννήθηκε στη Φουκουγιάμα το 1952 και ως λάτρης της μουσικής από νεαρή ηλικία επέλεξε να ακολουθήσει μια καριέρα στην ακουστική. Σπούδασε στο Ινστιτούτο τεχνολογίας Kyushu στην Ιαπωνία και αποφοίτησε με πτυχίο Ακουστικού σχεδιασμού και Μηχανικού το 1977 . Είχε πάντα στενή σχέση με τη μουσική καθώς ήταν μέλος της φοιτητικής ορχήστρας στο Ινστιτούτο και αργότερα σε άλλες ερασιτεχνικές ορχήστρες όπου έπαιζε σαξόφωνο και όμποε.

Στη σχολή πήρε τις απαραίτητες γνώσεις για την ακουστική και απέκτησε βάσεις σε θέματα για την προσέγγιση του σχεδιασμού αιθουσών συναυλίας συμπεριλαμβανομένου την μουσικολογία και μουσική εκτέλεση. Αμέσως μετά την αποφοίτηση του τον προσέλαβαν στην Nagata Acoustics, μια τότε μικρή εταιρεία, όπου χρησιμοποίησε τις δεξιότητες του στον ακουστικό σχεδιασμό. Συνεργάστηκε στενά για τις επόμενες δύο δεκαετίες με τον Dr. Minoru Nagata (1925-2018) τον ιδρυτή της εταιρείας, ο οποίος είναι γνωστός για την ακουστική του επιμέλεια κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού και της κατασκευής τη πρώτης αίθουσας μουσικής της Ιαπωνίας το Tokyo Bunka Kaikan (1961)<sup>55</sup>.

Στην αρχή η δουρεία του επικεντρώθηκε στον έλεγχο του θορύβου και της ηχορύπανσης σε θέματα της πόλης που τον βοήθησε να καταλάβει πως διαδίδεται ο ήχος. Έπειτα εξειδικεύτηκε στον σχεδιασμό αιθουσών και ακουστικών περιβαλλόντων για συμφωνικές ορχήστρες, ρεσιτάλ και ορχήστρες δωματίου, και άλλα παρόμοια μουσικά σύνολα. Καθ' όλη τη διάρκεια της καριέρας του ήταν υπεύθυνος για το σχεδιασμό σε μερικές από τις πιο διάσημες αίθουσες συναυλιών και αίθουσες πολλαπλών χρήσεων στον κόσμο όπως την Walt Disney concert hall(2003) στο Λος Άντζελες, Musiikkitalo(2011) στο Ελσίνκι, Philharmonie de Paris(2015) και την βραβευμένη Elbphilharmonie(2017) στο Αμβούργο. Τα σχέδια του είναι γνωστά για τις μοναδικές ακουστικές ιδιότητες τους. Έχει λάβει πολλά βραβεία και επαίνους για το έργο του στην ακουστική συμπεριλαμβανομένου το διάσημο Wallace Clement Sabine Medal.



Εικόνα 62: Εσωτερική άποψη της κεντρική αίθουσας του Tokyo Bunka Kaikan(1961)

<sup>55</sup> Nagata Acoustics, "Dr. Yasuhisa Toyota," Πρόσβαση Απρίλιος 19, 2023 < <https://www.nagata-i.com/1977/01/01/dr-yasuhisa-toyota/> >

Ο Toyota έχει μια μοναδική προσέγγιση στον ακουστικό σχεδιασμό καθώς πιστεύει ότι η ακουστική θα πρέπει να ενσωματωθεί από την αρχή στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό ενός κτιρίου. Η συγκεκριμένη προσέγγιση τον οδήγησε να συνεργαστεί στενά με τους αρχιτέκτονες για να δημιουργήσουν αίθουσες συναυλιών που είναι οπτικά και ακουστικά εξαιρετικές. Γι' αυτό το λόγο σέβεται τις αρχιτεκτονικές εκτιμήσεις οι οποίες είναι απαραίτητες για την δημιουργία αιθουσών φιλικών προς τον χρήστη. Πιστεύει ότι η δουλειά του ως ακουστικός δεν είναι απλώς να κάνει έναν χώρο να ακούγεται καλά αλλά να δημιουργήσει ένα περιβάλλον που το κοινό αισθάνεται σαν ένα μέρος της παράστασης, δηλαδή να υπάρχει οικειότητα.

Όταν σχεδιάζει αίθουσες συναυλιών για διάφορα είδη μουσικής, λαμβάνει υπόψη παράγοντες όπως το μέγεθος του κοινού, την τοποθέτηση της σκηνής και το μουσικό ρεπερτόριο των ερμηνευτών. Αναφέρει ότι το δάπεδο και η οροφή είναι σημαντικότερα από τους τοίχους για την ακουστική μιας αίθουσας συναυλιών. Εκτός από αυτό το πάχος, το σχήμα, το υλικό, οι καμπύλες του, τα φωτιστικά που κρέμονται από την οροφή και οι ίδιοι οι μουσικοί επηρεάζουν την ακουστική μιας αίθουσας<sup>56</sup>. Επιπλέον η συνολική δομή κάτω από τη σκηνή είναι κρίσιμη καθώς τα μουσικά όργανα μεταδίδουν κραδασμούς απευθείας από το πάτωμα. Πιστεύει ότι σύμφωνα με την ψυχοακουστική, οι μουσικοί πριν ξεκινήσουν να παίζουν ανησυχούν για την ακουστική όταν μπαίνουν σε μια αίθουσα συναυλιών φτιαγμένη από σκυρόδεμα γι' αυτό η αίσθηση τους είναι διαφορετική από την στιγμή που βλέπουν μια ξύλινη αίθουσα<sup>57</sup>.

Οι αρχιτέκτονες που έχουν συνεργαστεί μαζί του παρομοιάζουν τις αίθουσες του ως μουσικά όργανα. Δεσμεύεται στο σχέδιο ως ακουστικός και μουσικός αφού αντιλαμβάνεται τις ανάγκες της κλασικής μουσικής και δουλεύει πάνω στο βάθος και τη λεπτότητα του ήχου. Δοκιμάζει κάθε θέση από την πλατεία και τα μπαλκόνια για να αξιολογήσει την αντήχηση και την οπτική άνεση από κάθε περιοχή. Χρησιμοποιεί υπολογιστικά μοντέλα καθώς και φυσικά μοντέλα υπό κλίμακα για την προσομοίωση και την βελτιστοποίηση της ακουστικής. Έτσι λόγω των πρωτοποριακών μεθόδων του στην δημιουργία των πιο πετυχημένων αιθουσών συναυλίας με διάταξη αρένα στον κόσμο, θεωρείται ο "μάεστρος" της δομής και του ήχου.

---

<sup>56</sup> "Concert halls call on this Japanese engineer to shape sound," The Associated Press, February 7, 2017

<sup>57</sup> Aaron Goshier, "Master Acoustician Yasuhisa Toyota," Red bull music academy, April 2017

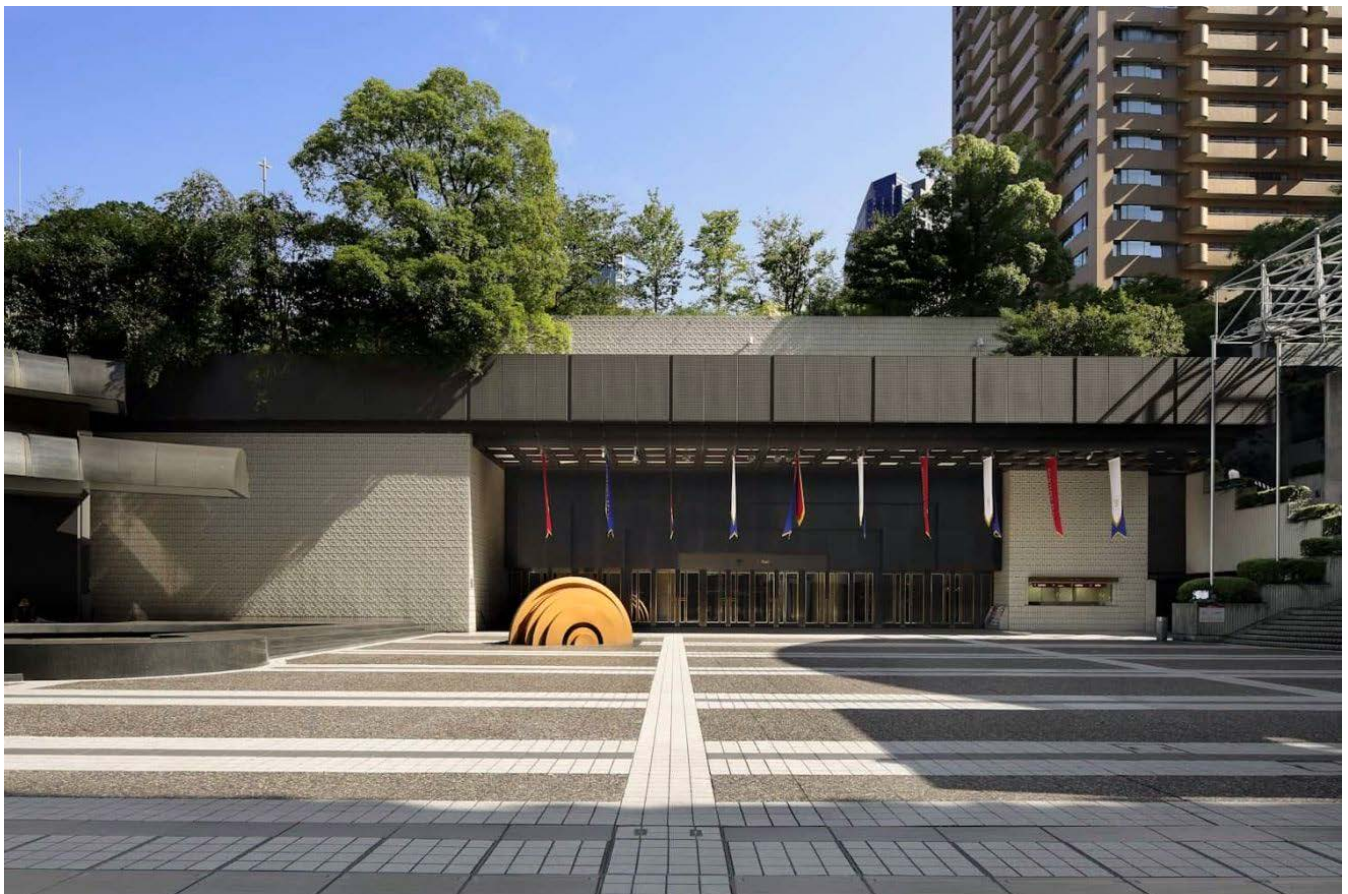
## Ο4 | Έργα του Toyota Yasuhisa και αρχές σχεδιασμού τους



Σε αυτό το κεφάλαιο πραγματοποιείται μια ολοκληρωμένη ανάλυση των χαρακτηριστικών και ακουστικών ιδιοτήτων τριών αιθουσών συναυλίας που σχεδιάστηκαν από τον Toyota. Οι επιλεγμένες αίθουσες ποικίλλουν ως προς το μέγεθος, τη χωρητικότητα και το σχεδιασμό τους όμως όλες έχουν ξεχωρίσει για την ακουστική τους. Περιλαμβάνουν την Suntory Hall στο Τόκιο, την Walt Disney Concert Hall στο Λος Άντζελες και την Elbphilharmonie στο Αμβούργο .

### I. Suntory hall, Tokyo (1986)

Η αίθουσα συναυλιών Suntory βρίσκεται στην κεντρική περιοχή Minato του Τόκιο στην Ιαπωνία και είναι μέρος του συγκροτήματος Ark Hills. Η κατασκευή της αίθουσας Suntory ξεκίνησε το 1970 και ολοκληρώθηκε το 1986 από τους Yasui Architects με μελετητή ακουστικής τον Toyota Yasuhisa.



Εικόνα 63 : Εξωτερική όψη του Suntory Hall από την πλατεία Ark Karajan , Ark Hills, Τόκιο, Ιαπωνία (1986)



Είναι η πρώτη αίθουσα στο Τόκιο αφιερωμένη σε συναυλίες κλασικής μουσικής κατά τους αρχιτέκτονες με την φιλοδοξία να αναζητήσει τον "πιο όμορφο ήχο του κόσμου". Είναι επίσης η πρώτη αίθουσα συναυλιών στην Ιαπωνία που χρησιμοποίησε την διάταξη της αρένας σύμφωνα με τις συμβουλές του Γερμανού μαέστρου Herbert von Karajan (1908-1989). Στόχος του σχεδιασμού της ήταν να υπάρχει το αίσθημα της ενότητας, δίνοντας τη δυνατότητα στους ερμηνευτές και στους θεατές να απολαύσουν από κοινού την μουσική <sup>58</sup>. Εκτός από την κεντρική αίθουσα υπάρχει και μια μικρότερη πολυχρηστική αίθουσα "Blue Rose" που μπορεί με αναδιαμόρφωση του δαπέδου να φιλοξενήσει από μουσική δωματίου μέχρι δεξιώσεις.

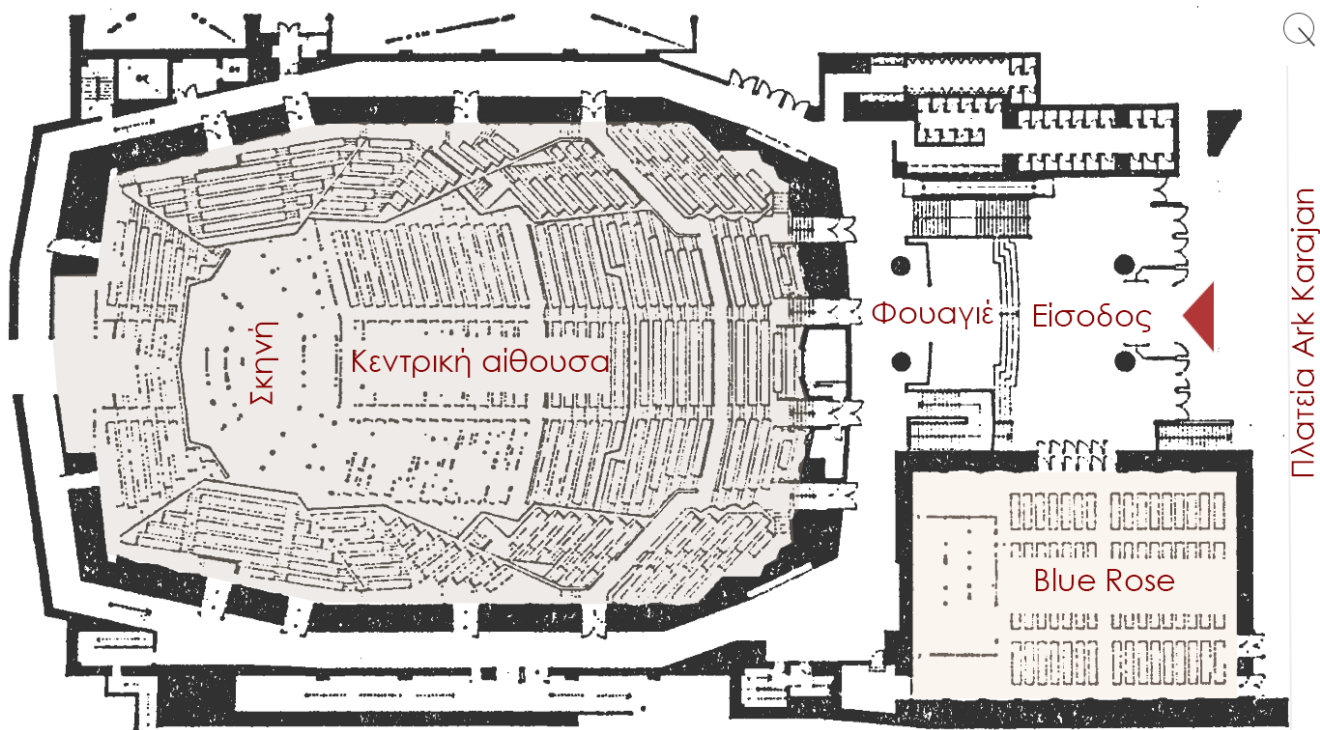


Εικόνα 64: Suntory Hall όταν η κατασκευή ήταν στο αποκορύφωμά της (1985)



Εικόνα 65: Κεντρική αίθουσα του Suntory Hall κατά την εγκατάσταση του εκκλησιαστικού οργάνου (1986)

<sup>58</sup> "Suntory Hall," Yasui Architects & Engineers, Inc, Πρόσβαση Απρίλιος, 10, 2023, < [https://www.yasui-archi.co.jp/en/works/detail/1986\\_suntoryhall/index.html](https://www.yasui-archi.co.jp/en/works/detail/1986_suntoryhall/index.html) >



Εικόνα 66: Διαγραμματική Κάτοψη Suntory Hall (κεντρική αίθουσα και δευτερεύοντες χρήσεις)

Η αίθουσα έχει διάταξη έκκεντρης αρένας και είναι συνολικά 12.027 τ.μ. με χωρητικότητα θέσεων 2.006 άτομα. Είναι κατασκευασμένη κυρίως από ξύλο, μάρμαρο και γυψοσανίδα, που προσφέρουν ένα εξαιρετικά αρμονικό εσωτερικό<sup>59</sup>. Το ύψος της αίθουσας φτάνει στα 16.5 μ. και η μέγιστη απόσταση από την σκηνή είναι 36 μέτρα. Η σκηνή είναι 250 τ.μ. σε ύψος 80 εκ. από την κατώτατη στάθμη της πλατείας και χωρίζεται σε 39 τμήματα με 4 υψομετρικές ζώνες όπου το καθένα μπορεί να ανυψωθεί έως και ένα μέτρο πάνω από τη σκηνή με αναβαθμούς ενός εκατοστού. Στο τοίχο πίσω από τη σκηνή είναι τοποθετημένο ένα εκκλησιαστικό όργανο και είναι από τα μεγαλύτερα στον κόσμο. Η αίθουσα ακολουθεί μια διαμόρφωση παρόμοια με την αίθουσα της Φιλαρμονικής του Βερολίνου με τις βεράντες που αναπτύσσονται κλιμακωτά περιμετρικά της σκηνής με έναν εξώστη πάνω από την κεντρική πλατεία. Οι θέσεις κατατάσσονται στις 914 στην κεντρική πλατεία, 806 στις βεράντες και 286 στην πίσω πλευρά της αίθουσας. Τα καθίσματα στην κεντρική πλατεία έχουν μία ελαφριά κλίση ενώ στα καθίσματα στις βεράντες η κλίση είναι απότομη για να εξασφαλίζεται η οπτική άνεση.

<sup>59</sup> Yasuhisa Toyota, Motoo Komoda, Daniel Beckmann, Marc Quiquerez, Erik Bergal, "Concert Halls by Nagata Acoustics," Springer, 2021

Ο Toyota Yasuhisa για την διερεύνηση των ακουστικών ιδιοτήτων χρησιμοποίησε ένα ακουστικό μοντέλο κλίμακας 1:10. Εκείνη την εποχή δεν υπήρχαν υπολογιστικά μέσα, γι' αυτό για την ανάλυση των ακουστικών ιδιοτήτων του μοντέλου χρησιμοποίησαν ανακλαστικό χαρτί, δείκτες λέιζερ και μετροταινίες για τον προσδιορισμό του χρόνου αντήχησης της αίθουσας. Μια καινοτομία που εφάρμοσε ο Toyota για την κατασκευή της αίθουσας ήταν να μειώσει τα καθίσματα πίσω από την ορχήστρα και να περιορίσει τα πλευρικά τοιχώματα. Αυτή η προσέγγιση συνδυάζει την ακουστική και οπτική οικειότητα της διάταξης αρένας με την ζεστασιά και την διαύγεια των επιτυχημένων παλαιότερων αιθουσών συναυλίας με μετωπική διάταξη ( Musikverein, Concertgebouw κτλ.)<sup>60</sup>.

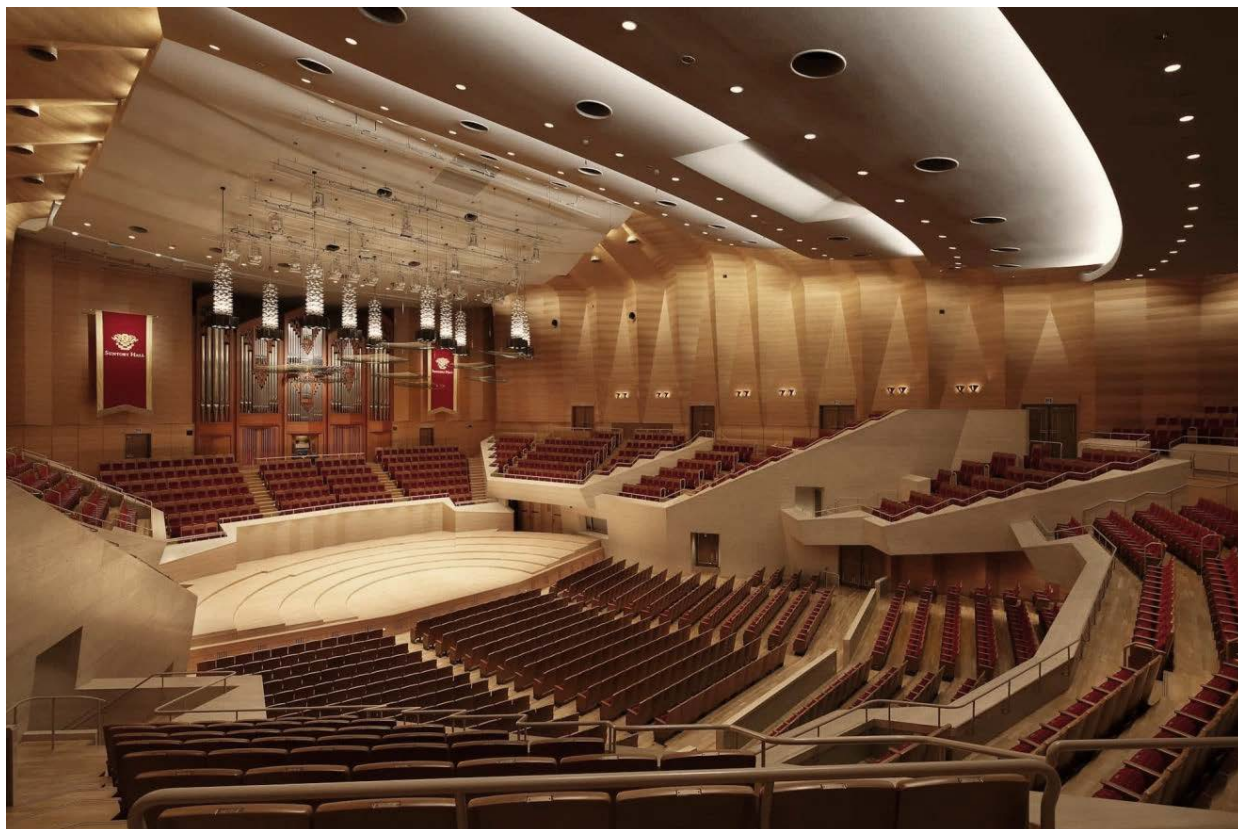
Η οροφή είναι επίσης επηρεασμένη από την Φιλαρμονική του Βερολίνου η οποία σχεδιάζεται σε σχήμα τέντας. Αποτελείται από γύψινες επικαλυπτόμενες πλάκες που συναντιούνται στο ψηλότερο σημείο πάνω ακριβώς από την σκηνή και λειτουργούν ως ανακλαστικές επιφάνειες. Πάνω από την σκηνή στα 12 μέτρα κρέμονται δέκα διαφανή πάνελ από πλεξιγκλάς τα οποία προσφέρουν πρώιμες ανακλάσεις προς την ορχήστρα<sup>61</sup>. Αυτοί οι ρυθμιζόμενοι ανακλαστήρες οροφής προσφέρουν στην αίθουσα πλούσιο ήχο και βαθύ μπάσο (ζεστασιά) τα οποία εντάσσονται στα κριτήρια καλής ακουστικής. Έπειτα η πρόσοψή του εξώστη και των μπαλκονιών έχουν μια κλίση προς τα κάτω για να παρέχει πρώιμες ανακλάσεις στο κοινό. Η διάχυση του ήχου σε όλη την αίθουσα επιτυγχάνεται από τις επιφάνειες των πλευρικών τοίχων και από τα τμήματα της οροφής. Η αίθουσα προσφέρει την αίσθηση του στερεοφωνικού ήχου και έχει χρόνο αντήχησης 2.1 δευτερόλεπτα στις μεσαίες συχνότητες όταν είναι πλήρως κατειλημμένη<sup>62</sup>. Συνολικά λόγω την εναλλαγής του ακουστικού χαρακτήρα σε διαφορετικές θέσεις μέσα στην αίθουσα το Suntory Hall έγινε αίθουσα μελέτης και παράδειγμα προς μίμηση για μελλοντικές αίθουσες συναυλίας.

<sup>60</sup> Nahoko Gotoh, "Where musicians and audiences meet in harmony: Tokyo Suntory Hall," Bachtrack, November 2016

<sup>61</sup> Suntory Hall, "Main Hall," Πρόσβαση Απρίλιος 10, 2023 <<https://www.suntory.com/culture-sports/suntoryhall/facility/>>

<sup>62</sup> Leo Beranek, "Concert Halls and Opera Houses. Music, Acoustics, Architecture," Springer- Verlag New York, 2004, 407

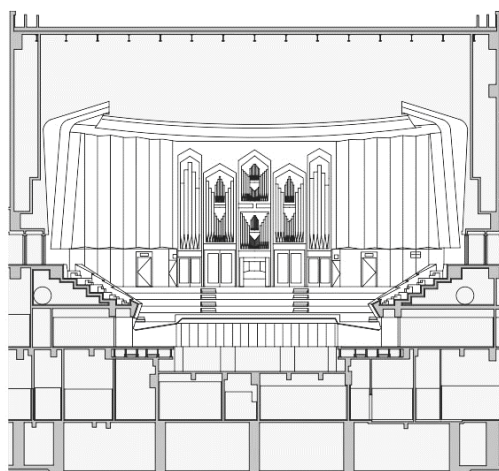




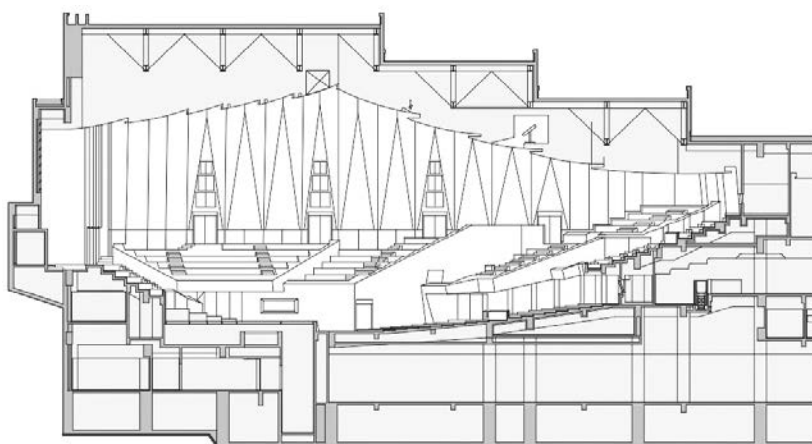
Εικόνα 67: Εσωτερική άποψη αίθουσας Suntory hall από το πρώτο μπαλκόνι προς την σκηνή (2019)



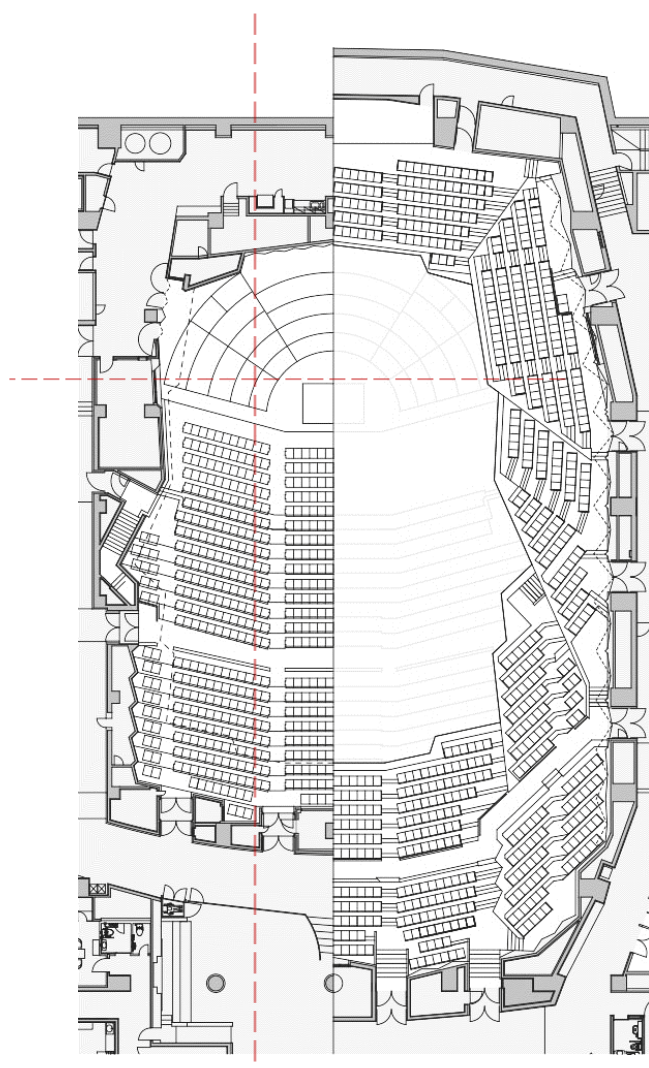
Εικόνα 68: Εσωτερική άποψη αίθουσας Suntory Hall πίσω από τη σκηνή (2019)



Εικόνα 69 : Τομή β Suntory Hall (1986)



Εικόνα 70: Τομή α Suntory Hall (1986)



Εικόνα 71 : Κάτοψη πλατείας και 1<sup>ου</sup> επιπέδου



## II. Walt Disney Concert Hall, Los Angeles (2003)

Η αίθουσα συναυλιών Walt Disney βρίσκεται στο κέντρο του Λος Άντζελες στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και σχεδιάστηκε από τον αρχιτέκτονα Frank Gehry με μελετητή ακουστικής τον Toyota Yasuhisa. Η κατασκευή ξεκίνησε το 1999 και ολοκληρώθηκε την άνοιξη του 2003, αλλά δεν άνοιξε αμέσως επιτρέποντας στην φιλαρμονική ορχήστρα του Λος Άντζελες να προσαρμοστεί στην ακουστική της νέας αίθουσας μέχρι το φθινόπωρο του ίδιου έτους. Ο σχεδιασμός του κτιρίου ξεκίνησε από μέσα προς τα έξω με την καμπυλότητα να συμβολίζει την κίνηση της μουσικής και το πολυάσχολο Λος Άντελες. Ο Frank Gehry αποφάσισε να απεικονίσει το εξωτερικό του κτιρίου με τις κυματιστές μεταλλικές επιφάνειες που μοιάζουν με πανιά και ακολουθούν τη μορφή της αίθουσας. Έπειτα ο Toyota σχεδίασε την αίθουσα με τη βιωματική εμπειρία των μουσικών στο μυαλό του καθώς πίστευε ότι θα νιώθουν άνετα και θα έχουν την αυτοπεποίθηση να παίξουν καλύτερα εάν ο ήχος είναι καλός<sup>63</sup>. Στόχος του ήταν να παρέχει τις καλύτερες ακουστικές συνθήκες και στενή αλληλεπίδραση μεταξύ της ορχήστρας και του κοινού προσφέροντας την απαραίτητη *οικειότητα*. Εκτός από την κεντρική αίθουσα υπάρχει και μια μικρότερη αίθουσα η οποία φιλοξενεί σύνολα δωματίου, συνέδρια, και δεξιώσεις.

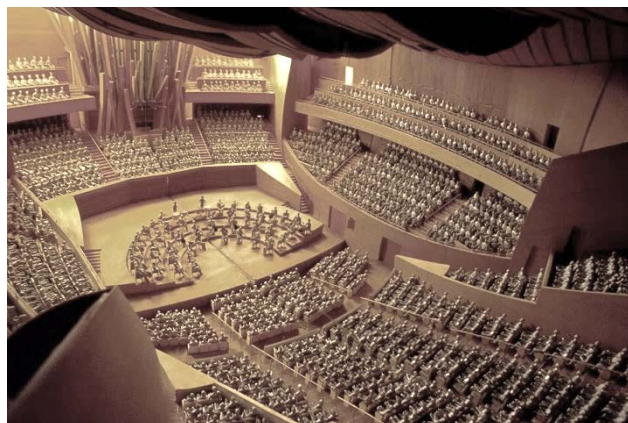


Εικόνα 72 : Εξωτερική άποψη από την νότια λεωφόρο της αίθουσας συναυλιών Walt Disney, Λος Άντζελες (2003)

<sup>63</sup> "Crystal-clear Acoustics and Breathtaking Architecture," The Beary Adventures of Puffles and Honey, February 24, 2020



Εικόνα 73: Αίθουσα συναυλιών Walt Disney κατά την κατασκευή.



Εικόνα 74: Μοντέλο κλίμακας 1:10 της αίθουσας

Η αίθουσα έχει διάταξη έκκεντρης αρένας με χωρητικότητα 2.265 θέσεων και είναι συνολικά 14.586 τ.μ. Το εσωτερικό του είναι κατασκευασμένο από ξύλο, το ίδιο που χρησιμοποιείται στο βιολοντσέλο και στη βιόλα, μετατρέποντας έτσι την ίδια την αίθουσα σε όργανο της ορχήστρας προσφέροντας ζεστασιά στον χώρο. Όμως στην οροφή και τους τοίχους πίσω από το ξύλινο πάνελ έχει προστεθεί αφρώδεις σκυρόδεμα για να ανακλάται αποτελεσματικά ο ήχος των χαμηλών συχνοτήτων(ζωντάνια). Τα καθίσματα είναι ειδικά κατασκευασμένα από απορροφητικά υλικά ( ατσάλι, ξύλο, ύφασμα) για να ανταποκρίνονται στις ακουστικές απαιτήσεις τις αίθουσας. Η κυρτή οροφή χτίστηκε στο ελάχιστο δυνατό ύψος των 15.5 μ. πάνω από τη σκηνή χωρίς κανένα κρεμαστό ανακλαστήρα ή κουβούκλιο με κλίση προς τη πάνω πλευρά της πλατείας μετά από παράκληση του αρχιτέκτονα και της ορχήστρας. Διαθέτει ένα εκκλησιαστικό όργανο πίσω από την σκηνή, που μοιάζει με εκείνα της εποχής του μπαρόκ και έχει μια αποσπώμενη κινητή κονσόλα η οποία μπορεί εύκολα να μετακινηθεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε σημείο της σκηνής. Τέλος υπάρχουν 8 φεγγίτες περιμετρικά της οροφής που επιτρέπουν το φυσικό φως να διαπεράσει την αίθουσα κατά τη διάρκεια των παραστάσεων, συνομιλώντας έτσι με το εξωτερικό περιβάλλον<sup>64</sup>.

<sup>64</sup> "Crystal-clear Acoustics and Breathtaking Architecture," The Beary Adventures of Puffles and Honey, February 24, 2020

Η σκηνή είναι 127 τ.μ., με απόσταση από την τελευταία σειρά θέσεων στην κεντρική πλατεία στα 35 μ. Μπορεί να χωριστεί σε 4 ζώνες και να ανυψωθεί σε 12 διαφορετικά επίπεδα από 20 έως 80 εκ. ύψος. Τα καθίσματα στο πίσω μέρος της σκηνής μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τη χορωδία και να μετακινηθούν για να δημιουργήσουν διαφορετικούς χώρους για την ορχήστρα. Έπειτα η πλατεία αναπτύσσεται κλιμακωτά σε επίπεδα με κλίση προς τα πάνω δημιουργώντας εξώστες και μπαλκόνια, και οι θέσεις κατατάσσονται στις 105 στην κεντρική πλατεία, 1061 στο 1<sup>ο</sup> επίπεδο, 797 στο 2<sup>ο</sup> και 226 στο 3<sup>ο</sup>. Καμπυλόγραμμα επίπεδα οριοθετούν τα τμήματα των θέσεων στην αίθουσα με τις πλαϊνές επιφάνειες να επεκτείνονται αρμονικά από το μπροστινό στο πίσω μέρος της αίθουσας <sup>65</sup>.

Όταν ξεκίνησε τη διαδικασία σχεδιασμού ο Toyota ανέπτυξε ένα λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τη δοκιμή και τη μελέτη της ακουστικής της αίθουσας από το μοντέλο κλίμακας 1:10. Προκειμένου να εξασφαλίσει ακριβείς μετρήσεις, το μοντέλο περιείχε κάθε λεπτομέρεια της αίθουσας μαζί με κούκλες που φορούσαν τσόχα. Επίσης κράτησε την διακόσμηση στο ελάχιστο και χρησιμοποίησε το ίδιο το δωμάτιο για την κατευθυντικότητα του ήχου. Μέσω του σχεδιασμού της αίθουσας σύστησε έναν καινούργιο τρόπο ανάκλασης του ήχου. Χρησιμοποίησε ένα διαφανές πλέγμα στους τοίχους που περικλείουν την αίθουσα, μέσα από το οποίο ταξιδεύει ο ήχος και δημιουργεί ανακλάσεις από τις κοίλες επιφάνειες που βρίσκονται στο εσωτερικό τους. Τέλος ενσωμάτωσε τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των αιθουσών στο Τόκιο, Βερολίνο, Άμστερνταμ και Βοστώνη που επιτρέπουν τον άμεσο ήχο και τις πρώιμες ανακλάσεις από τους πλευρικούς τοίχους συμβάλλοντας στη ζεστασιά, τη διαύγεια και τον πλούσιο ήχο της αίθουσας.

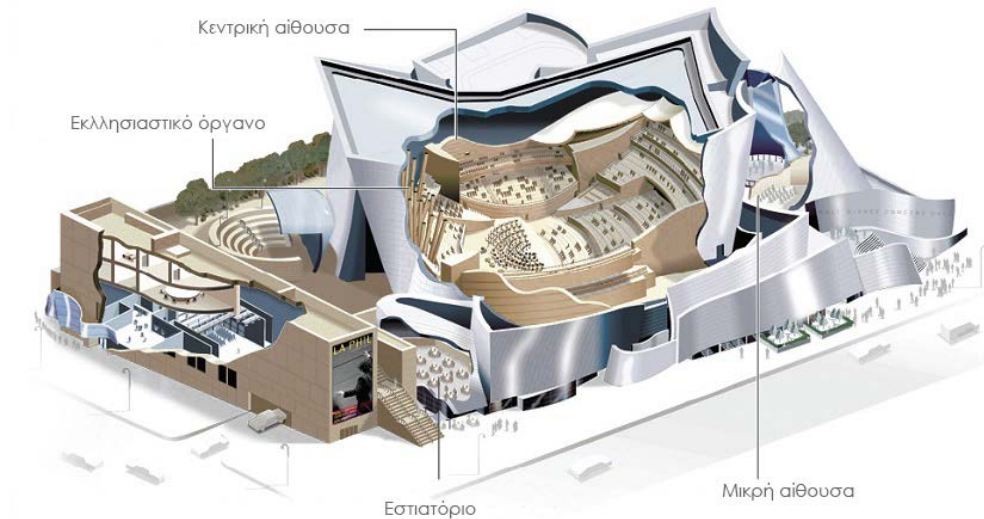
Μέρος του ακουστικού συστήματος της αίθουσας είναι όλες οι κυρτές και οι κοίλες επιφάνειες, οι οποίες είναι στρατηγικά τοποθετημένες με σκοπό την εστίαση ή την διάχυση του ήχου, ενώ αναφέρουν διακριτικά τη γλυπτική του εξωτερικού. Οι αναβαθμοί στους οποίους χωρίζεται η αίθουσα και δημιουργεί επίπεδες επιφάνειες είναι απαραίτητοι για να παρέχουν πρώιμες ανακλάσεις σε όλη την αίθουσα. Ο χώρος διευθετήθηκε κατακόρυφα σε διαφορετικά ύψη έτσι ώστε οι μικροί τοίχοι μεταξύ των επιπέδων να παρέχουν πρώιμες ανακλάσεις στις θέσεις της κεντρικής πλατεία. Οι καμπύλες της οροφής και η ροή των εσωτερικών τοίχων διασκορπίζουν τον ήχο και παράγουν περισσότερες ανακλάσεις οι οποίες αυξάνουν τον χρόνο αντήχησης.

---

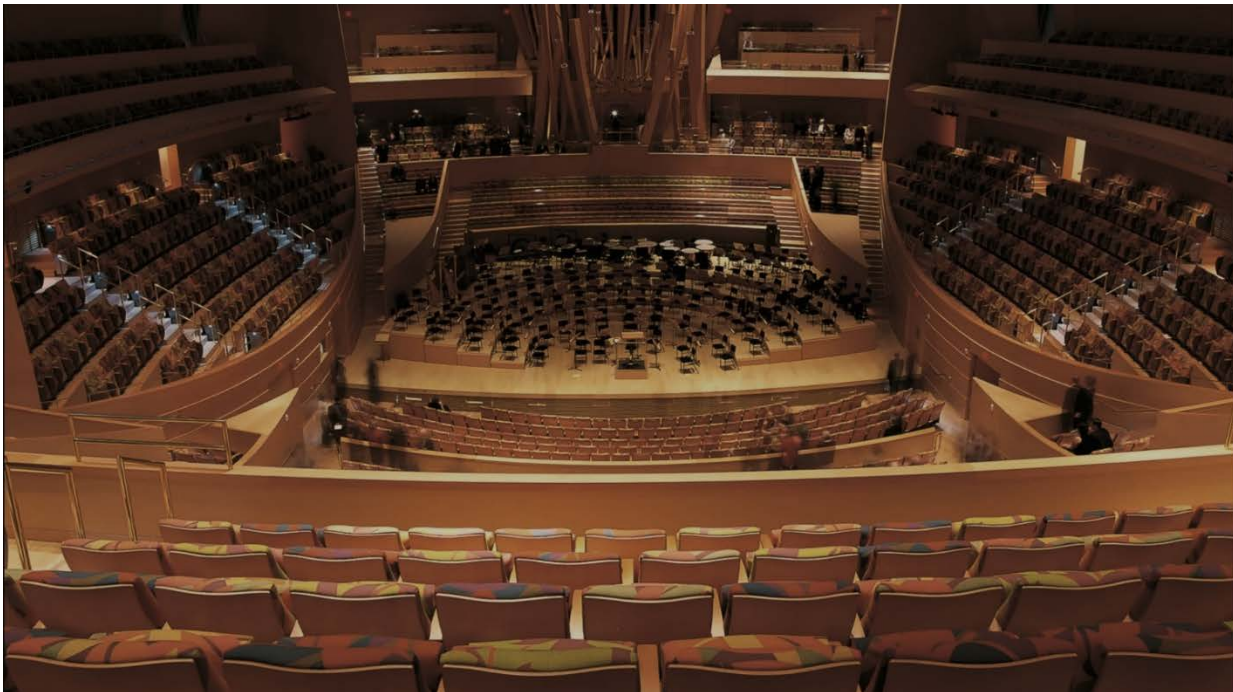
<sup>65</sup> Ebru Sanli, Mustafa Kavraz, "Walt Disney Concert Building in an Architectural Context," Research Paper, Department of Architecture, Technical University of Karadeniz, 2022



Για τη διασπορά του ήχου υπάρχουν πάνω από 38.000 κυρτές επιφάνειες που λειτουργούν ως ανακλαστικές επιφάνειες<sup>66</sup>. Ο χρόνος αντήχησης στις μεσαίες συχνότητες σε πλήρως κατειλημμένη αίθουσα είναι 2.0 δευτερόλεπτα και 2.2 σε άδεια. Συνολικά η αίθουσα συναυλιών Walt Disney έχει γίνει ένα εμβληματικό ορόσημο του Λος Άντζελες καθώς ο μοναδικός σχεδιασμός του και η εξαιρετική ακουστική του το έχουν καταστήσει αγαπημένο τόσο σε μουσικούς όσο σε κοινό.



Εικόνα 75: Εσωτερική διάταξη κτιρίου αίθουσας συναυλιών Walt Disney (2003)



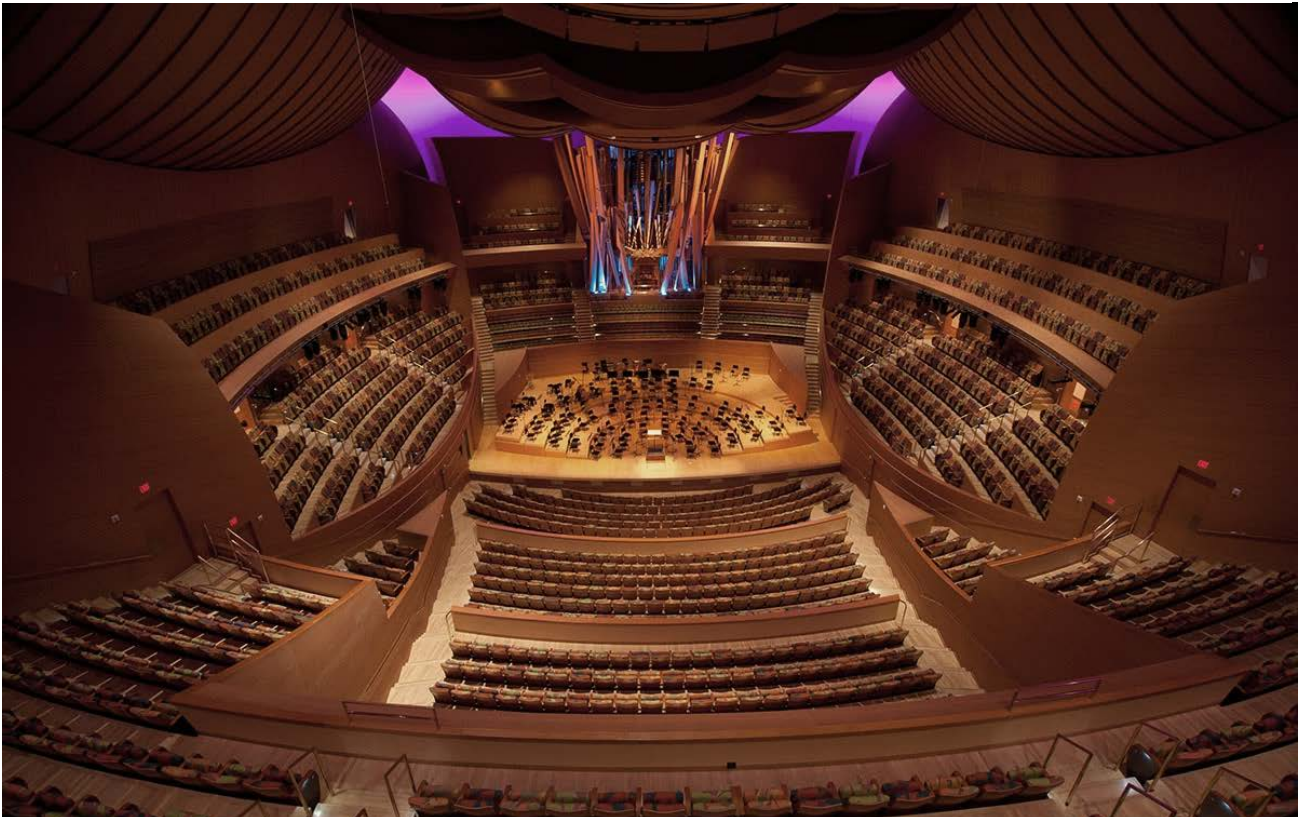
Εικόνα 76: Εσωτερική άποψη αίθουσας συναυλιών Walt Disney με διαφορετική διάταξη καθισμάτων

<sup>66</sup> Tatjana Tasic, "World standards in concert hall architectural acoustics," SAE Institute Belgrade, 2013



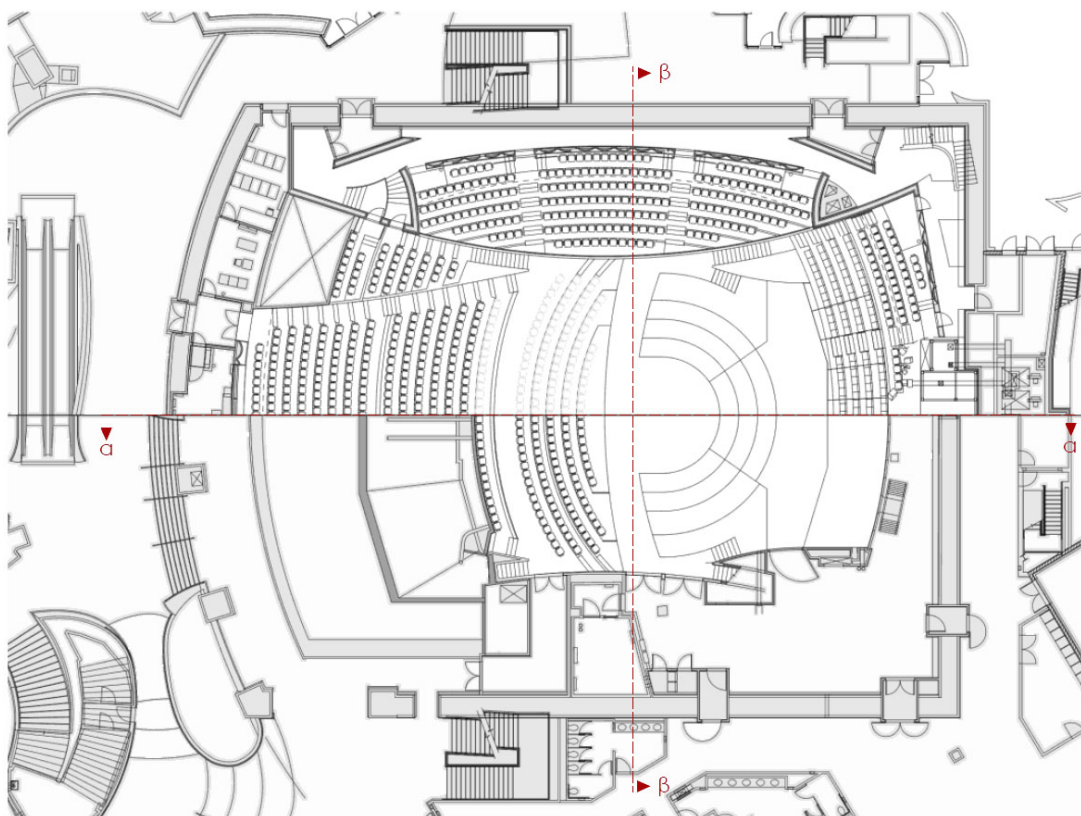


Εικόνα 77 : Εσωτερική άποψη αίθουσας συναυλιών Walt Disney από το πρώτο πλαϊνό μπαλκόνι την ημέρα

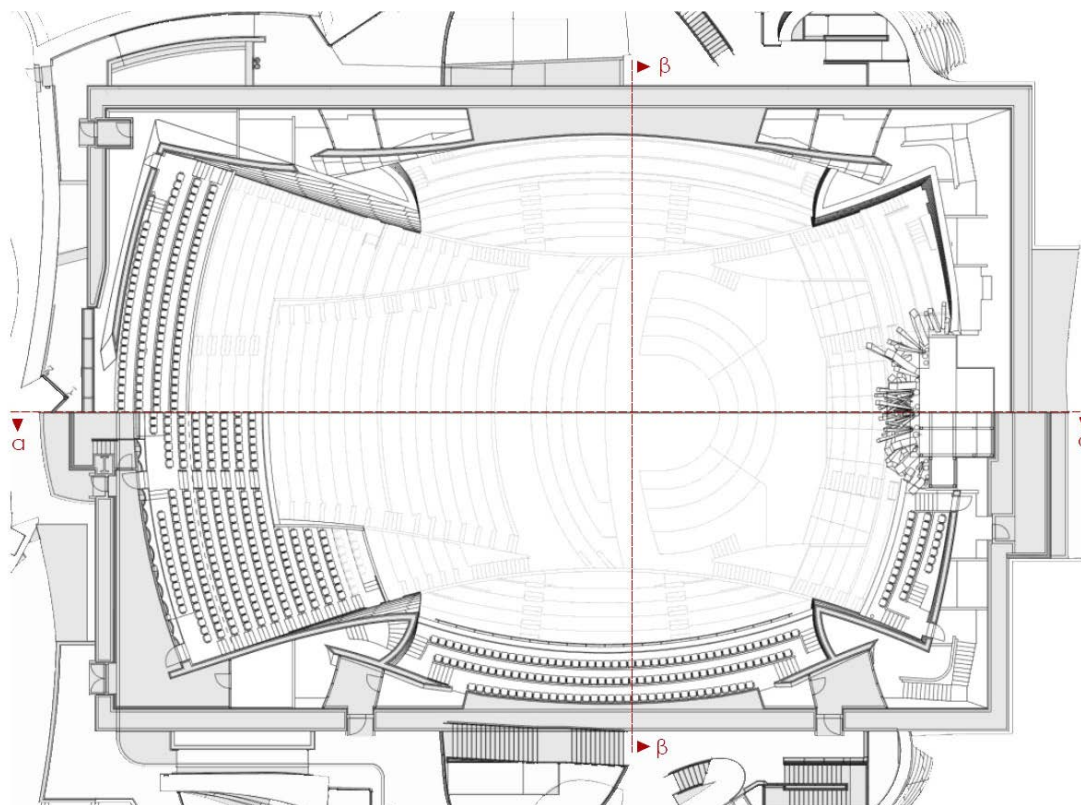


Εικόνα 78 : Εσωτερική άποψη αίθουσας συναυλιών Walt Disney

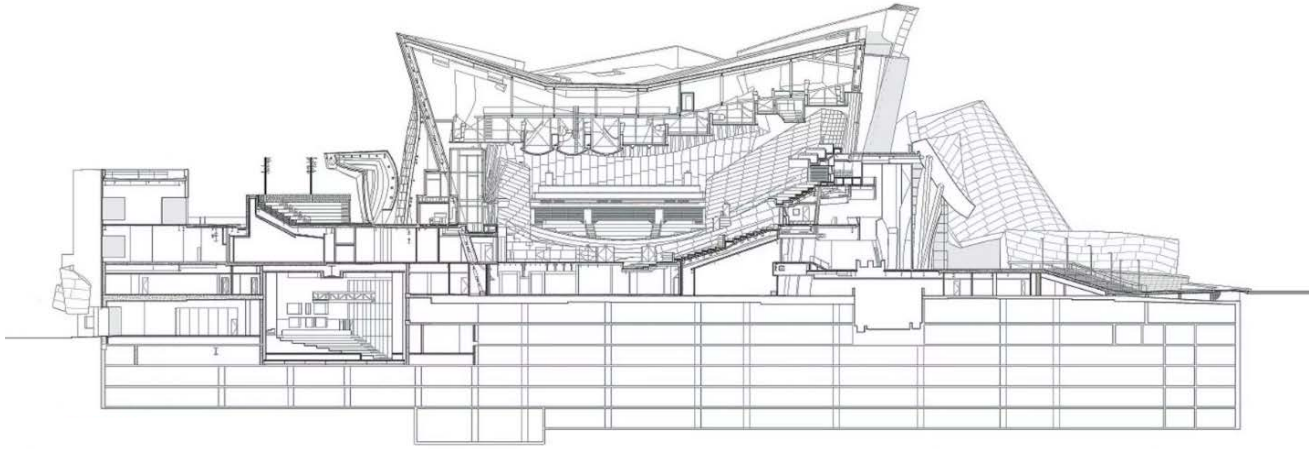




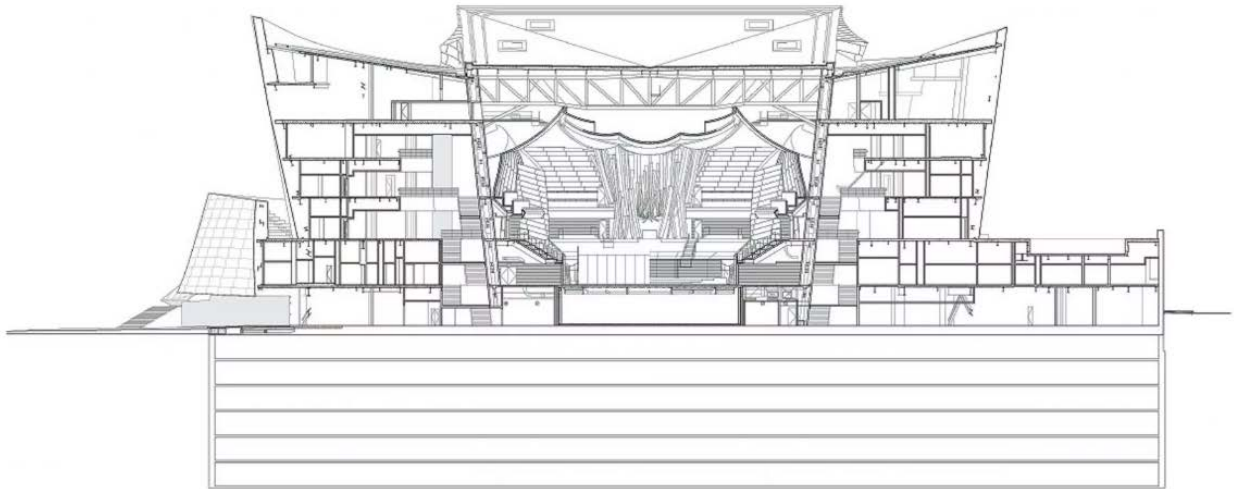
Εικόνα 79: Κάτοψη πλατείας και 1<sup>ου</sup> επιπέδου



Εικόνα 80: Κάτοψη 2<sup>ου</sup> και 3<sup>ου</sup> επιπέδου



Εικόνα 81: Τομή α



S

Εικόνα 82: Τομή β

### III. Elbphilharmonie, Hamburg (2017)

Η αίθουσα συναυλιών Elbphilharmonie βρίσκεται στις αποβάθρες Sandtorhafen του ποταμού Έλβα, ένα ιστορικά σημαντικό μέρος για την πόλη του Αμβούργου στη Γερμανία. Εκεί κατασκευάστηκε το 1875 η πρώτη νεογοθτική αποθήκη του λιμανιού, γνωστή ως Kaispeicher. Από τον συμπαγή σχεδιασμό της αποθήκης από κόκκινα τούβλα υψώνεται μια αστραφτερή γυάλινη κατασκευή της φιλαρμονικής με περισσότερα από 1100 παράθυρα. Η αναπαλαιώση της αποθήκης ξεκίνησε τον Απρίλιου του 2007, ο νέος όγκος προστέθηκε το 2010 και η φιλαρμονική άνοιξε το 2017. Ένα κτίριο συνολικού ύψους 110 μέτρων και 26 ορόφων συνδυάζει τη μνημειώδες σύνθεση αρχιτεκτονικής στη μοναδική τοποθεσία με την εξαιρετική μουσική. Η κύρια είσοδος βρίσκεται ανατολικά του συγκροτήματος και μέσω μιας μεγάλης κυρτής κυλιόμενης σκάλας καταλήγει στη δημόσια πλατεία με πανοραμική θέα του ποταμού. Το κτίριο εμπεριέχει το φουαγιέ της φιλαρμονικής, εστιατόριο, μπαρ, ξενοδοχείο 250 δωματίων με το λόμπι τους και 45 διαμερίσματα. Εκτός από το Grand Hall διαθέτει και μία μικρότερη αίθουσα ρεσιτάλ και μουσικής δωματίου 550 θέσεων καθώς και ένα τρίτο αμφιθέατρο στην παλιά αποθήκη 170 θέσεων που είναι ιδανικός χώρος για σύγχρονη και πειραματική μουσική.



Εικόνα 83: Πανοραμική άποψη της Elbphilharmonie, Αμβούργο(2017)

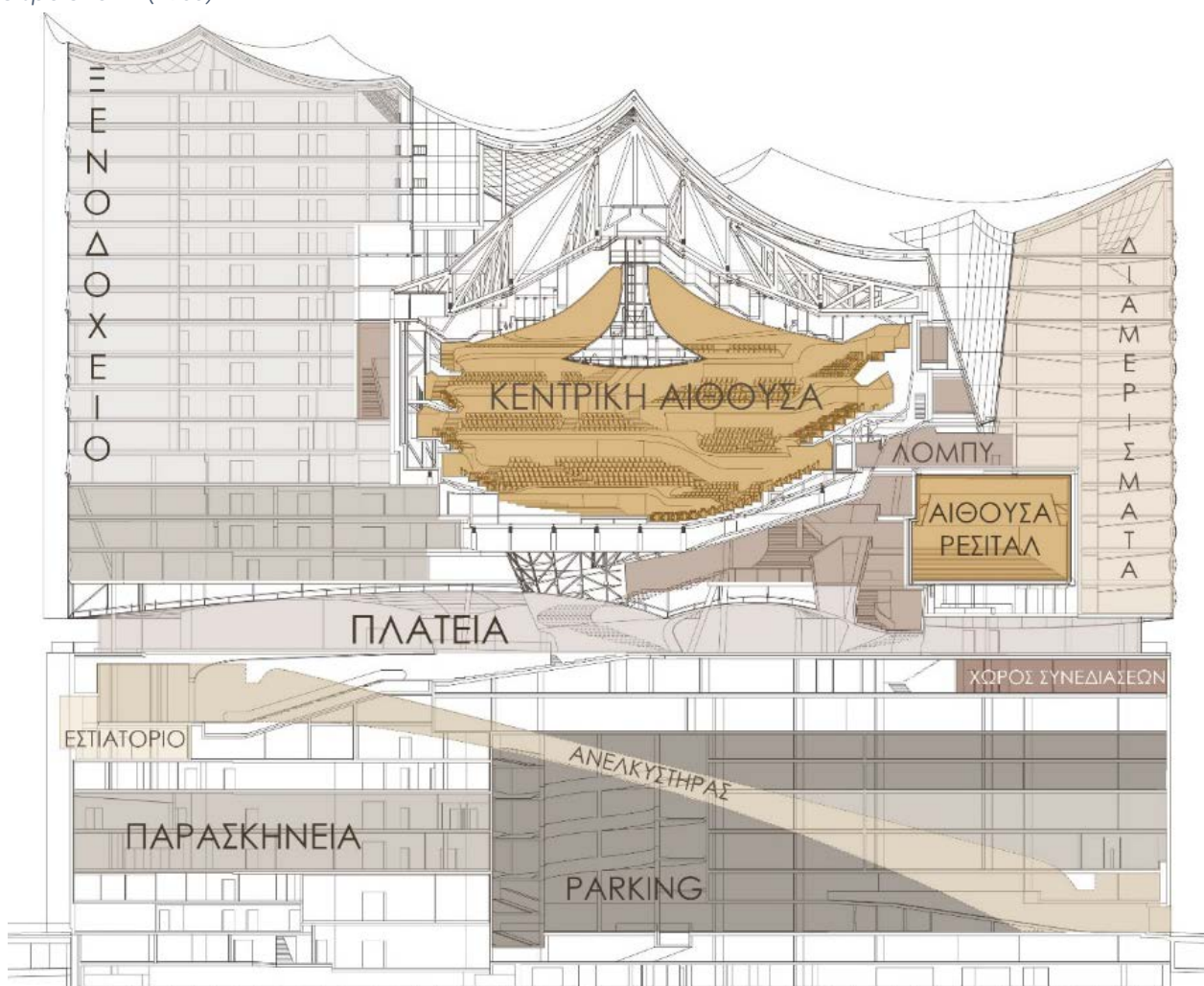




Εικόνα 84 : Εξωτερική όψη από τα δυτικά, Kaispeicher A (1965)



Εικόνα 85: Εσωτερική άποψη της αίθουσας κατά την κατασκευή (2016)



Εικόνα 86: Εσωτερική διάταξη χρήσεων Elbphilharmonie (2017)



Σε αυτή τη κάθετη πόλη η μουσική προσδιορίζει τον χώρο στον οποίο βρίσκεται καθώς η μορφή της αίθουσας αντικατοπτρίζει τη μορφή του κτιρίου. Οι αρχιτέκτονες Herzog & de Meuron για τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό συνδύασαν την οργανική ροή με την σχεδόν άκαμπτη δομή. Αντιπροσωπεύει την αλληλεπίδραση των ανθρώπων που καθορίζουν τον χώρο, δηλαδή τη σχέση μεταξύ μουσικών και θεατών με τη λέξη κλειδί "οικειότητα" ως αρχή <sup>67</sup>. Ο φλοιός της αίθουσας απομονώνεται από τις παράπλευρες χρήσεις καθώς εφαρμόζεται ένα σύστημα "κουτί σε κουτί" που στηρίζεται σε μία μεταλλική κατασκευή στο ανώτερο τμήμα του κτιρίου. Σε συνεργασία με τον ακουστικό Toyota Yasuhisa το σχέδιο της αίθουσας συνδυάζει την ακουστική τελειότητα με την αισθητική.

Η αίθουσα έχει χωρητικότητα 2.100 άτομα με περιμετρικά επίπεδα που κλιμακώνονται σε απότομες βαθμίδες γύρω από τη σκηνή και έχει συνολική επιφάνεια 3.300 τ.μ. Το ύψος της θολωτής οροφής φτάνει στα 30 μέτρα και το πλάτος από τη μία πλευρά της αίθουσας στην άλλη είναι 40 μέτρα. Η οροφή σαν τέντα ήταν το πρότυπο του σχεδιασμού της στέγης του συγκροτήματος. Η σκηνή είναι συνολικά 270 τ.μ. σε ύψος 80 εκ. από την κατώτατη στάθμη της πλατείας και η μέγιστη απόσταση των θέσεων από τη σκηνή είναι 30 μέτρα. Διαθέτει 31 ρυθμιζόμενες πλατφόρμες, εκ των οποίων οι 10 προσφέρονται στην χορωδία, που καλύπτουν όλη την επιφάνεια της και μπορούν να ανυψωθούν έως και 1.50 μέτρο. Τα κατακόρυφα τοιχώματα κάθε ανύψωσης βοηθάνε στην παροχή πρώιμων ανακλάσεων στο ορχηστρικό σύνολο. Η αίθουσα είναι φτιαγμένη κυρίως από μελετημένη ακουστικά γυψοσανίδα (*white skin*) που καταλαμβάνει 500 τ.μ. επιφάνειας στην οροφή και τους τοίχους ενώ τα πατώματα και οι σκάλες κατασκευάζονται από ξύλινες πλάκες. Την αίθουσα συμπληρώνει ένα εκκλησιαστικό όργανο που έχει τοποθετηθεί στο πίσω μέρος πάνω από τη σκηνή το οποίο ταιριάζει αρμονικά με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της αίθουσας. Τέλος πάνω ακριβώς από τη σκηνή στα 15 μέτρα, τοποθετείται ένα σταθερό κουβούκλιο με 15 μέτρα διάμετρο σε σχήμα δίσκου που λειτουργεί ως ανακλαστήρας και προσφέρει ανακλάσεις προς όλες τις κατευθύνσεις με πλούσιο ήχο.

Προκειμένου να επιτευχθεί η ακουστική οικειότητα, η αίθουσα σχεδιάζεται σε διάταξη έκκεντρης αρένας που μοιάζει με γήπεδο ποδοσφαίρου. Περιλαμβάνει τη δημιουργία πολεπίπεδων καθισμάτων - κερκίδων περιμετρικά της σκηνής που κλιμακώνονται σε απότομες βαθμίδες και χωρίζονται σε διάφορες ομάδες θέσεων δημιουργώντας έτσι αποτελεσματικές ανακλαστικές επιφάνειες για όλη την αίθουσα.

---

<sup>67</sup> Luis Fernandez-Galiano, Herzog & de Meuron 2003-2019, Architectura Viva SL, 2019,14

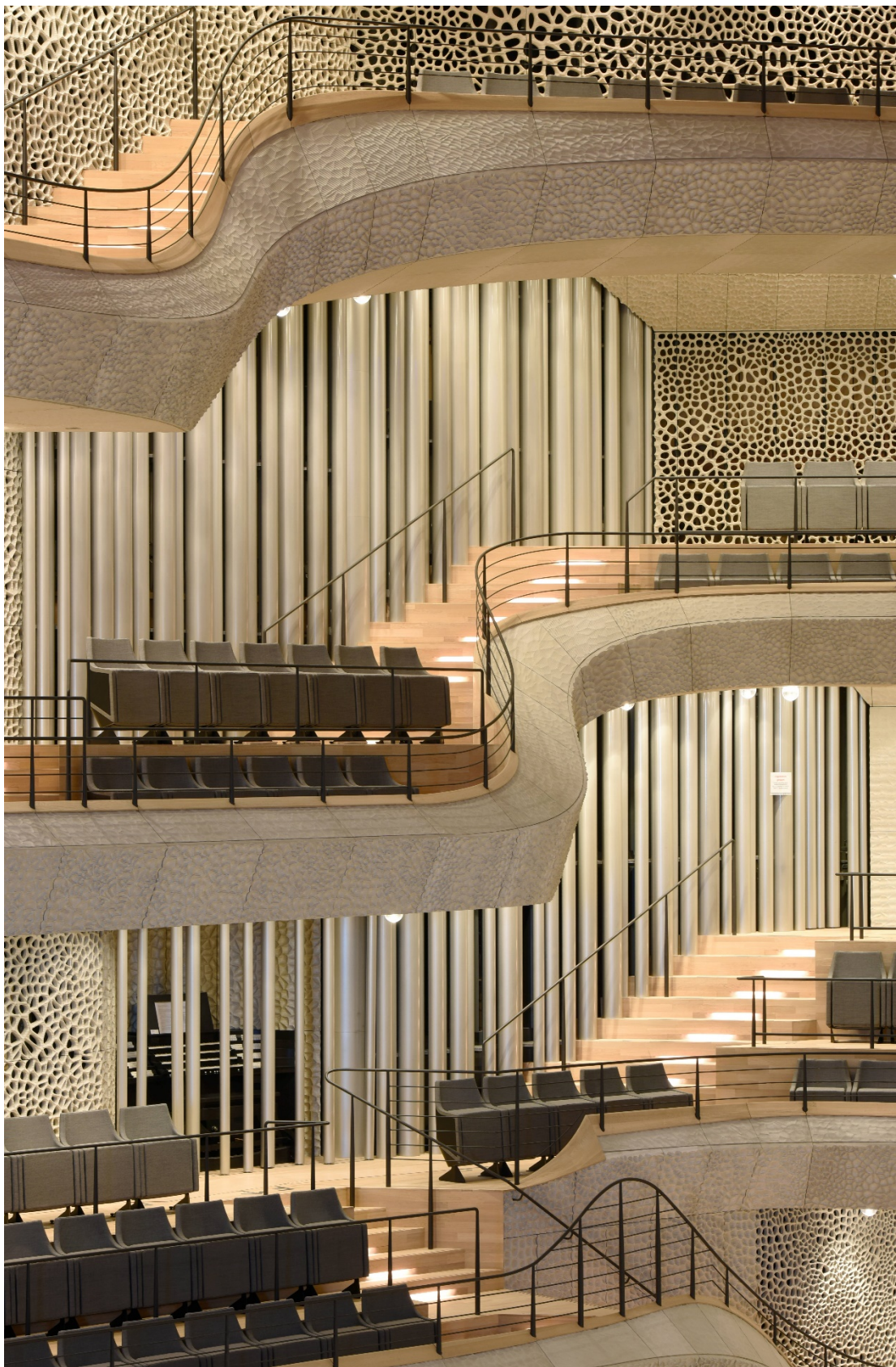
Τα μπαλκόνια με αυτές τις ομάδες εκτείνονται προς τα μπροστά φέροντας τους καλλιτέχνες και το κοινό να έχουν διαδραστική σχέση. Ορισμένα μέλη του κοινού που βρίσκονται στην πλατεία έχουν καλή οπτική επαφή με την ορχήστρα, δίνοντας την εντύπωση ότι είναι μέρος του θεάματος. Το αίσθημα της κοινής εμπειρίας ενθαρρύνει το κοινό να ακούσει προσεκτικά τη μουσική<sup>68</sup>. Επιπλέον όταν φιλοξενούν μεγαλύτερες ορχήστρες με χορωδία, το κομμάτι της πλατείας πίσω από τη σκηνή αφαιρείται, μειώνοντας τη χωρητικότητα κατά 78 θέσεις και για συναυλίες με μικρότερα σχήματα μπορούν να προστεθούν 94 επιπλέον θέσεις πίσω από τη σκηνή.



Εικόνα 87: Φυσικό μοντέλο κλίμακας 1:10 της αίθουσας συναυλιών

<sup>68</sup> Wikiarchitecture, "Elba Philharmonic," Πρόσβαση Μάιος 1, 2023 <https://en.wikiarquitectura.com/building/elba-philharmonic/>





Εικόνα 88: Εσωτερική άποψη των επιπέδων και του εκκλησιαστικού οργάνου

*White skin*

Ο Toyota για την βελτιστοποίηση του ήχου χρησιμοποίησε τεχνικές ακουστικής μέτρησης στον υπολογιστή και κατασκεύασε ένα φυσικό μοντέλο κλίμακας 1:10 με μικρές κούκλες από τσόχα και εξαιρετικά ευαίσθητα μικρόφωνα που προσομοίωσε την ακουστική ποιότητα του χώρου. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από την προσομοίωση καθόρισαν τη διαμόρφωση του εσωτερικού χώρου. Ο ιδιαίτερος σχεδιασμός της αίθουσας δεν προσέφερε τις απαραίτητες συνθήκες για καλή ακουστική γι' αυτό ο Toyota ανέπτυξε μια ειδική επίστρωση επιφάνειας γνωστή και ως "λευκό δέρμα". Η επιφάνεια της οροφής και του τοίχου είναι καλυμμένη με 10.000 πλάκες από ίνες γύψου, καθεμία με μοναδικό σχέδιο, και αποτελείται από κοιλότητες, αυλακώσεις και πυραμοειδείς κώνους σε σχήμα κυψέλης με σκοπό να διαχέουν τον ήχο σε διάφορα σημεία της αίθουσας. Κάθε μια από τις πλάκες φτάνει στα 70-80 κιλά με πάχος από 35-200 χιλιοστά, και κάθε κυψέλη έχει πλάτος από 40-160 χιλιοστά και βάθος από 10-90 χιλιοστά. Αυτή η παραμετρική επιφάνεια είναι μια καινοτόμος δομή που εξυπηρετεί διαφορετικό ρόλο ανάλογα τη συγκεκριμένη θέση που θα τοποθετηθεί (πλάγιος τοίχος, οροφή, πίσω από τον διαχυτή) και την επιθυμητή ανάκλαση που θα πρέπει να προσφέρει. Διαφέρει σε μέγεθος και σε ορισμένες θέσεις είναι πιο ρηχά (πάνω από τον ανακλαστήρα οροφής και κοντά στα κιγκλιδώματα) ενώ σε ορισμένα σημεία είναι βαθύτερα (στο πίσω μέρος του δωματίου) και λειτουργούν ως ηχοαπορροφητές. Μέσω τη "μικροδιαμόρφωσης", όπως ονομάστηκε, η δομή της επιφάνειας επιτρέπει στον ήχο που λαμβάνει κάθε σημείο να ανακλάται τέλεια το καθένα σε κάθε ομάδα καθισμάτων στην πλατεία. Αποτελείται από 1 εκατομμύριο κυψέλες, κάθε μία από τις οποίες έχει σχεδιαστεί σε μοναδικό μοτίβο που καθορίστηκε από ένα αλγοριθμικό πρόγραμμα στον υπολογιστή, ενώ παράλληλα προσαρμόζεται τέλεια στη γεωμετρία της αίθουσας<sup>69</sup>. Με την εξισορρόπηση του αριθμού των κυψελών απορρόφησης και διάχυσης στον χώρο, επιτυγχάνεται η διαύγεια και ο χρόνος αντήχησης ανέρχεται στα 2.3 σε πλήρως κατειλημμένη και 2.4 σε άδεια. Το αποτέλεσμα είναι μια απόλυτα αρμονική και οπτικά εντυπωσιακή δομή οροφής και τοίχου που παίζει ζωτικό ρόλο στη βελτιστοποίηση της ποιότητας του ήχου και μιας ανεπανάληπτης εμπειρίας για το κοινό.

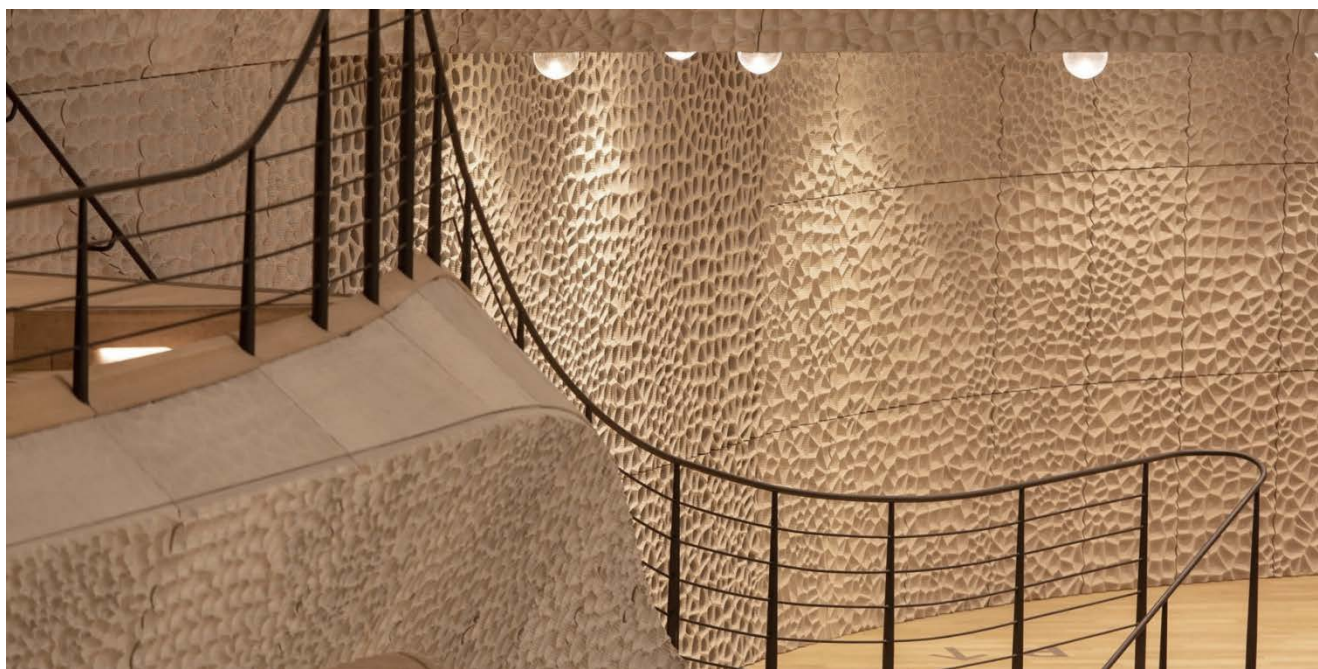
---

<sup>69</sup> Oliver Georgi, "Ten-thousand notes going under the skin," Frankfurter Allgemeine Zeitung GmbH, 2016.



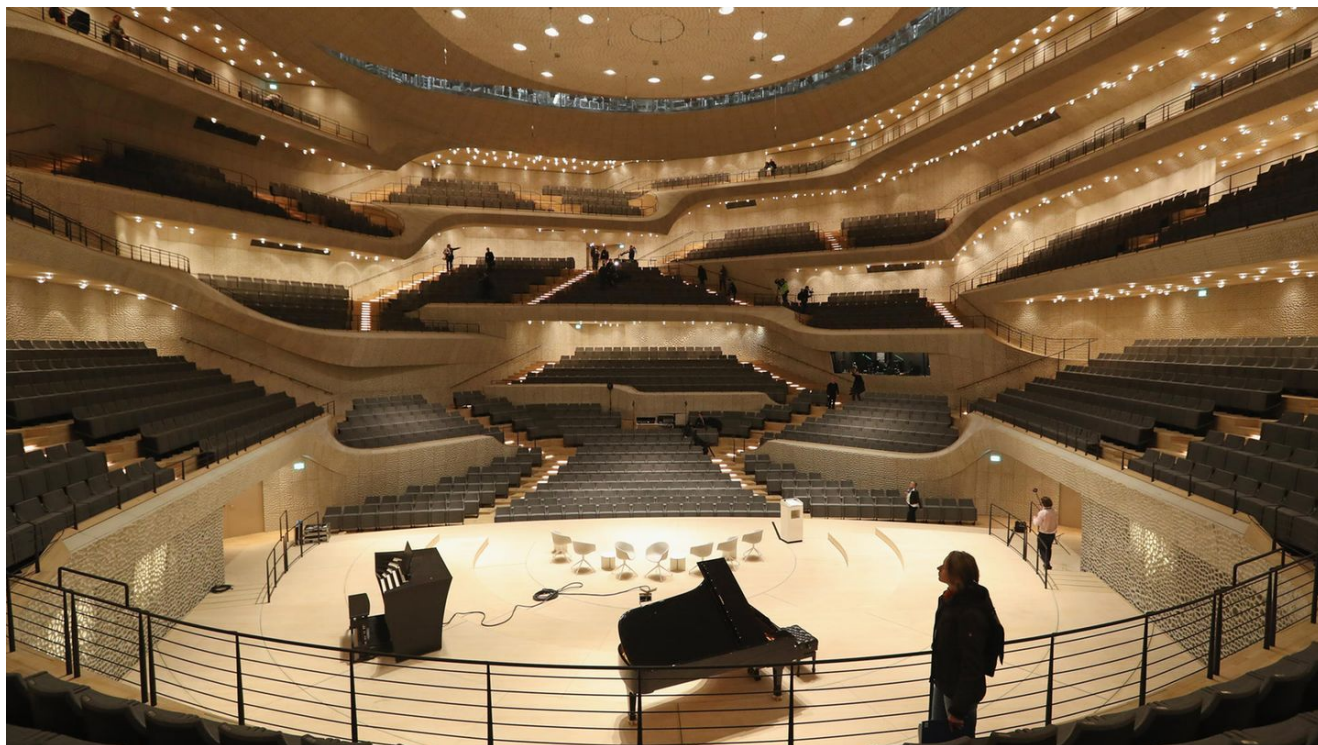


Εικόνα 89: Μέρος του "White Skin" στην οροφή



Εικόνα 90: Μέρος του "White Skin" στα κιγκλιδώματα



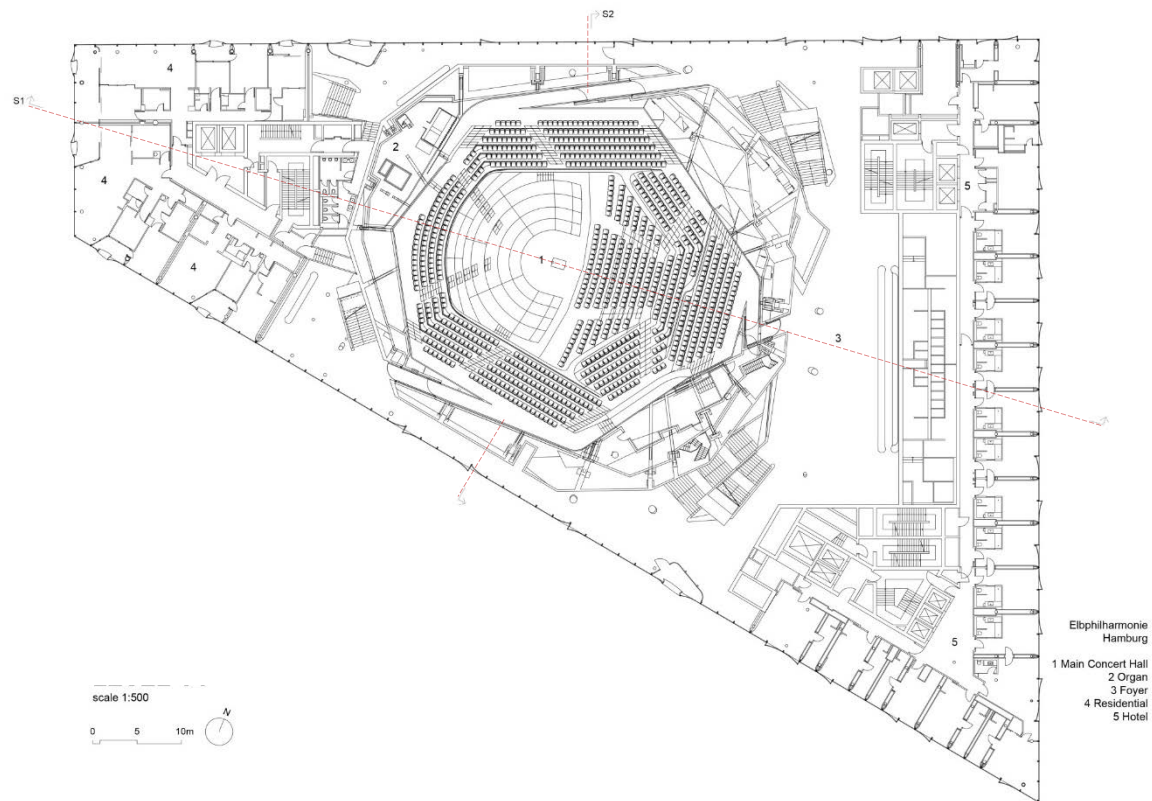


Εικόνα 91: Εσωτερική άποψη της αίθουσας συναυλιών από το πρώτο μπαλκόνι πίσω από τη σκηνή

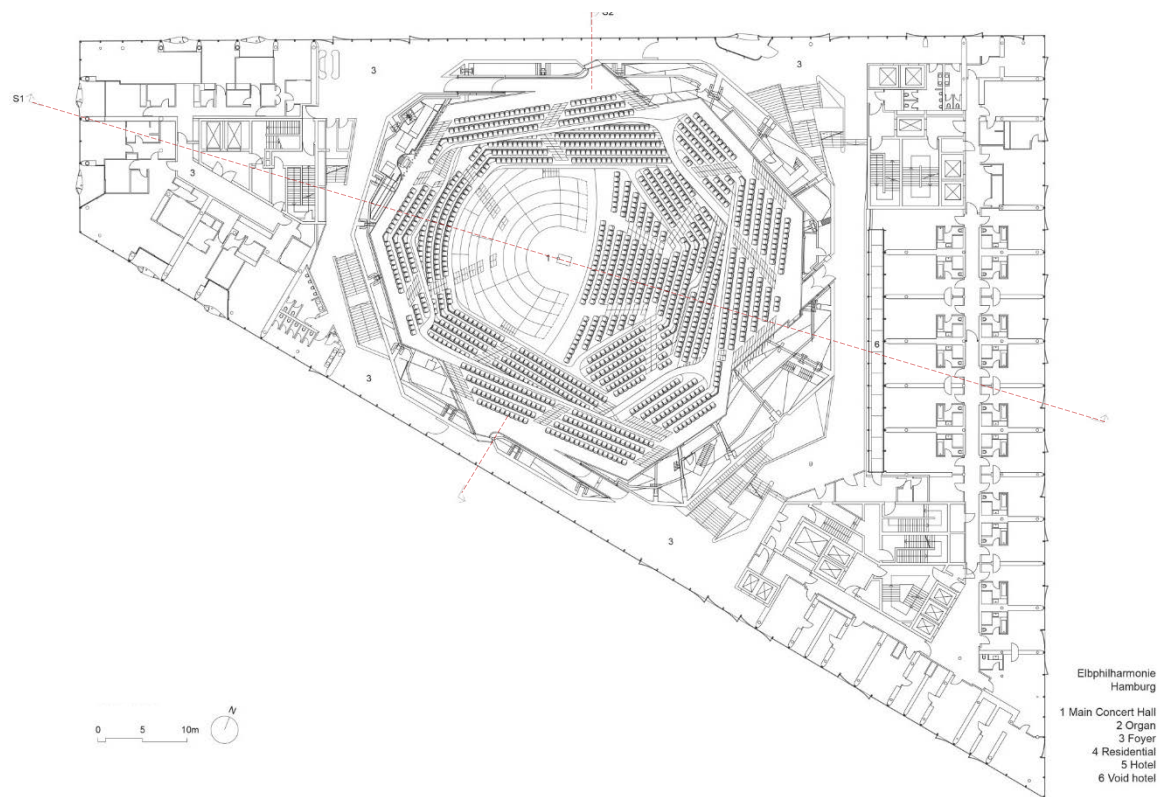


Εικόνα 92: Εσωτερική άποψη της αίθουσας συναυλιών

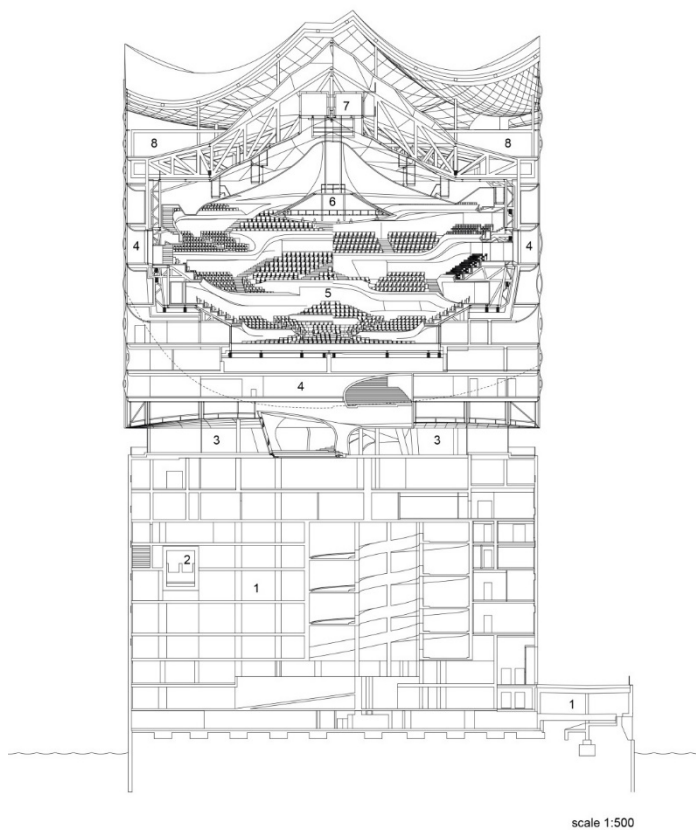
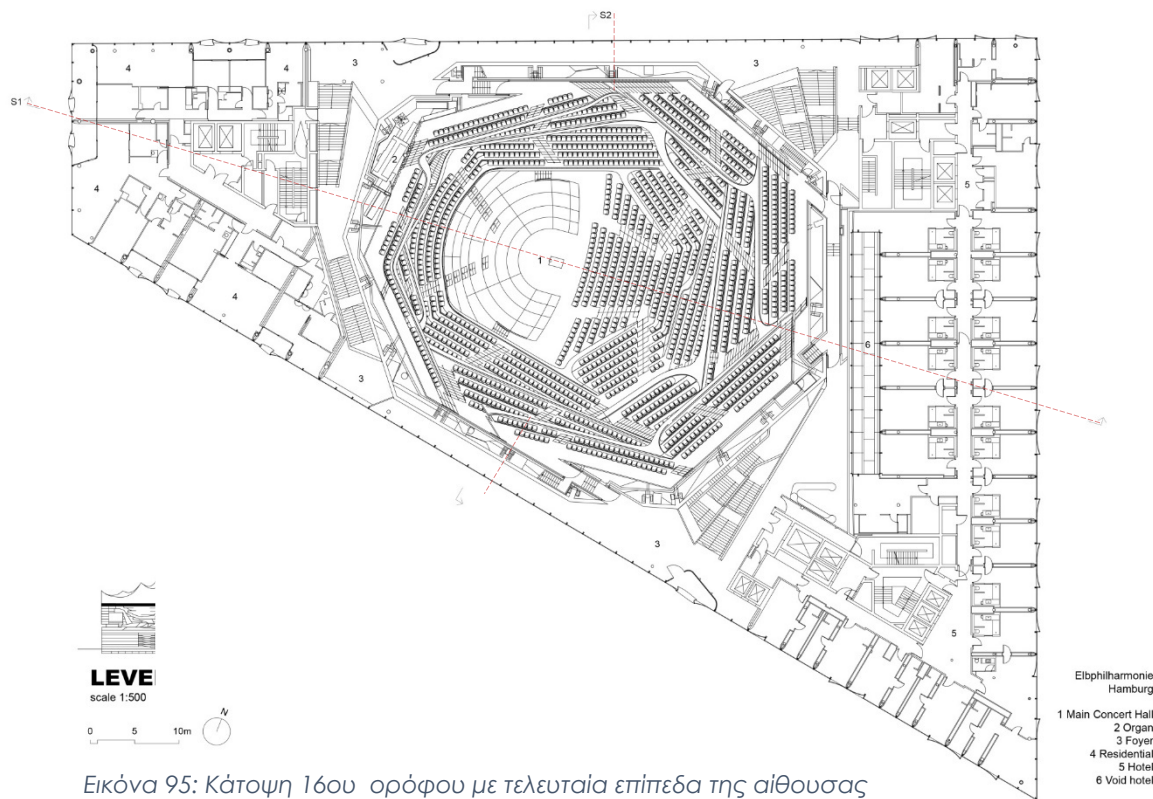




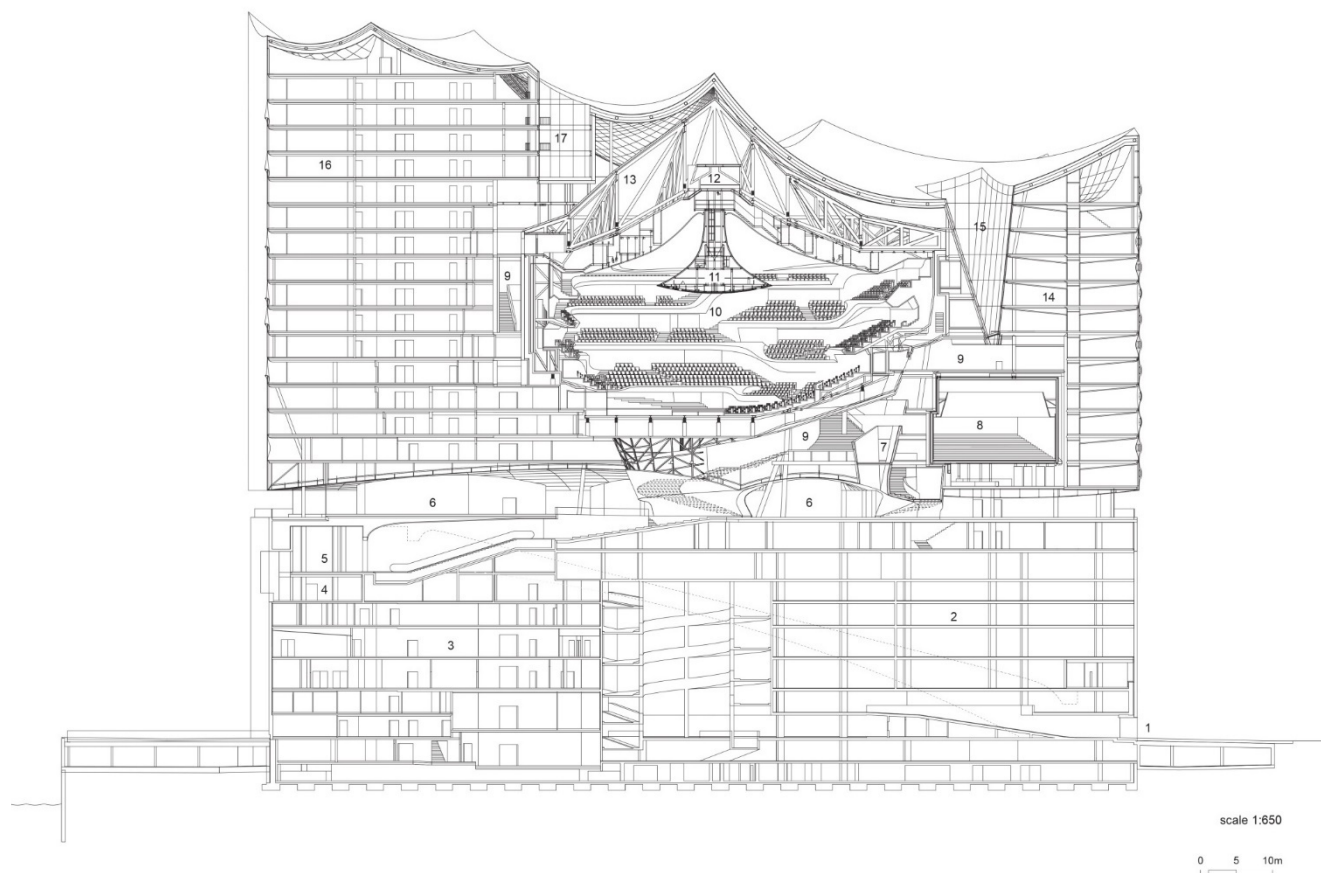
Εικόνα 93: Κάτοψη 14<sup>ου</sup> ορόφου με πρώτα επίπεδα της αίθουσας



Εικόνα 94: Κάτοψη 15<sup>ου</sup> ορόφου με ενδιάμεσα επίπεδα της αίθουσας







Εικόνα 97: Τομή S1

#### IV. Αρχές, καινοτομίες και νεωτερισμός που έχει προσφέρει στην ακουστική

Το κεφάλαιο αυτό ολοκληρώνει την μελέτη συνοψίζοντας τα βασικά ευρήματα των αρχών σχεδιασμού του Toyota Yasuhisa καθώς και τα αποτελέσματα νεωτερισμού που έχουν συμβάλει στην διεύρυνση της ακουστικής.

Οι ακουστικές λεπτομέρειες που εντοπίζονται στις αίθουσες που αναλύθηκαν παραπάνω , περιλαμβάνουν καινοτόμους τρόπους ανάκλασης του ήχου όπως οι ρυθμιζόμενοι ανακλαστήρες οροφής στην αίθουσα Suntory, το κουβούκλιο στην Elbphilharmonie, η ξύλινη επένδυση ολόκληρης της επιφάνειας στην αίθουσα συναυλιών Walt Disney που παράγουν πλούσιο ήχο, ζεστασιά, οικειότητα μέσω της διάταξης αρένας και συνολική διαύγεια.

Ο ακουστικός σχεδιασμός σύμφωνα με τον Toyota, είναι ζωτικής σημασίας για τη δημιουργία μιας καθηλωτικής εμπειρίας για το κοινό. Πιστεύει ότι η ποιότητα του ήχου δεν εξαρτάται μόνο από τα υλικά που χρησιμοποιούνται αλλά και από τον τρόπο με τον οποίο ο ήχος γίνεται αντιληπτός από το ακροατήριο. Η φιλοσοφία του επικεντρώνεται στην οπτική και ακουστική οικειότητα μέσω της στενής συνεργασίας του αρχιτέκτονα με τον ακουστικό για να δημιουργήσουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Καθοδηγεί τον αρχιτέκτονα προς ένα ακουστικό αποτέλεσμα, ενώ παράλληλα αφήνει μεγάλα περιθώρια κατά τον σχεδιασμό. Έπειτα υιοθετεί τη διάταξη της αρένας, μετά την εμφάνισή της στη Φιλαρμονική του Βερολίνου από τον Hans Scharoun, διαφοροποιώντας την μορφή και το περίπλοκο σχέδιο της για να ακολουθεί κάθε φορά την ιδέα και το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται. Η τοποθέτηση των θεατών γύρω από την σκηνή δημιουργεί την ακουστική οικειότητα που αναζητάει , η οποία επιτρέπει τον κοινό και την ορχήστρα να συμμετέχουν σε ένα κοινό θέαμα.

Οι καινοτομίες του στον ακουστικό σχεδιασμό έχουν αναγνωριστεί από την μουσική κοινότητα. Τα έργα που προαναφέρθηκαν είναι χαρακτηριστικά παραδείγματα νεωτερισμού από τον Toyota Yasuhisa. Πιο συγκεκριμένα στην πρώτη αίθουσα που κατασκεύασε, το Suntory hall, διαφοροποίησε το μοντέλο της διάταξης αρένας για να παράγει την κατάλληλη αντήχηση της αίθουσας και συνδύασε τις επιτυχημένες πτυχές των αιθουσών μετωπικής διάταξης του παρελθόντος με τη συγκεκριμένη διάταξη και δημιούργησε το εντυπωσιακό ακουστικό αποτέλεσμα.

Επιπλέον, το νέο μοντέλο διάταξης αρένας επέτρεψε τη διάκριση του ακουστικού χαρακτήρα σε κάθε περιοχή της πλατείας, εξασφαλίζοντας τη βέλτιστη ποιότητα ήχου ανεξάρτητα από τη θέση τους.

Στην αίθουσα συναυλιών Walt Disney, σχεδίασε ένα πρωτοπόρο σύστημα ανακλαστικών πάνελ με διαφανές πλέγμα που βοήθησε στην ομοιόμορφη κατανομή του ήχου σε όλη την αίθουσα και ανέπτυξε ένα λογισμικό για να πάρει ακουστικές μετρήσεις από το φυσικό μοντέλο κλίμακας. Επίσης ήταν η πρώτη αίθουσα διάταξης αρένας που δε χρησιμοποιούσε ανακλαστήρα οροφής πάνω από την ορχήστρα για την διάχυση του ήχου αλλά ολόκληρο το εσωτερικό με τις κοίλες και κυρτές επιφάνειές του. Μια από τις αξιοσημείωτες συνεισφορές του Toyota στην ακουστική αφορά την Elbphilharmonie. Η αίθουσα διαθέτει μια ειδική επιφάνεια στην οροφή και τους τοίχους η οποία εξυπηρετεί μοναδικό ρόλο ανάλογα την τοποθεσία της και λειτουργεί ως διαχυτής ή ανακλαστήρας, γεγονός που συμβάλλει στη εξαιρετική ακουστική .

Συμπερασματικά οι αρχές του Toyota αποτελούν απόδειξη της σημασίας του ακουστικού σχεδιασμού για την δημιουργία ενός καθηλωτικού περιβάλλοντος. Δίνεται ιδιαίτερη προσοχή σε κάθε λεπτομέρεια κατά τον σχεδιασμό αναλύοντας τις ανάγκες τις αίθουσας για να παράγει ξεχωριστεί ακουστική. Οι πρωτοποριακές τεχνικές του και η αξιοποίηση τελευταίων τεχνολογιών έχουν τη δυνατότητα να διαμορφώσουν το μέλλον του ακουστικού σχεδιασμού, με προοπτική να δημιουργηθούν αίθουσες μουσικής που προσφέρουν ασύγκριτες ακουστικές εμπειρίες.

## Ο5 | Συμπεράσματα



Η ακουστική των αιθουσών μουσικής έχει μια πλούσια ιστορία που εξελίχθηκε από διάφορα στάδια για να φτάσει στην σημερινή της μορφή. Από τα αρχαία ρωμαϊκά ωδεία, τους ναούς και πλούσια παλάτια μέχρι τις μοντέρνες αίθουσες μουσικής, ο σκοπός του χώρου παρέμεινε αμετάβλητος: ένας χώρος όπου οι άνθρωποι συγκεντρώνονται για να βυθιστούν στην ομορφιά της μουσικής.

Η επίτευξη καλής ακουστικής είναι ένα σύνθετο έργο που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Ως εκ τούτου, ο σχεδιασμός της εξαρτάται από παράγοντες όπως το σχήμα της αίθουσας, το μέγεθος και η τοποθέτηση του κοινού σε σχέση με τη σκηνή. Η ευελιξία της σχεδιαστικής προσέγγισης εξασφαλίζει ισορροπία μεταξύ του χώρου και της ακουστικής, και έτσι δημιουργείται μια ανεπανάληπτη μουσική εμπειρία. Μέσα από αυτήν γεννήθηκε ο ακουστικός σχεδιασμός που έχει διαμορφωθεί από τους πρωτοπόρους στην επιστήμη του ήχου έως τους σύγχρονους ακουστικούς που άλλαξαν τον τρόπο που βιώνεται η ζωντανή μουσική σήμερα. Η έρευνές τους αποκάλυψαν την αλληλεπίδραση μεταξύ των αρχιτεκτονικών στοιχείων και τη σημασία της δημιουργίας ενός αρμονικού ακουστικού περιβάλλοντος για την καλή ακουστική ποιότητα που βιώνουν τόσο οι ερμηνευτές όσο και τα μέλη του κοινού. Με τη διερεύνηση της πολύπλευρης συμβολής του Toyota Yasuhisa, η παρούσα μελέτη υπογράμμισε τις πρωτοποριακές καινοτομίες και την οραματική του προσέγγιση στον ακουστικό σχεδιασμό.

Ο Toyota Yasuhisa θεωρείται σήμερα ένας από τους πιο διάσημους ακουστικούς που έχει προσφέρει ένα τεράστιο έργο. Έχει επιδείξει μια βαθιά κατανόηση των αρχών της ακουστικής και έχει σχεδιάσει πολλές αίθουσες που ανταποκρίνονται σε αυτό. Οι αίθουσες αυτές ενσωματώνουν μοναδικά στοιχεία σχεδιασμού και χρησιμοποιούν διάφορες τεχνικές διαχείρισης του ήχου. Τα έργα του έχουν επαινεθεί για την καινοτομία και την εξαιρετική τους ποιότητα ήχου, και είναι έργα υψηλού προφίλ όπως το Suntory Hall στο Τόκιο, την αίθουσα συναυλιών Walt Disney στο Λος Άντζελες, και την Elbphilharmonie στο Αμβούργο. Οι μεθοδολογίες του επαναπροσδιόρισαν τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβάνεται και εκτιμάτε ο ήχος μέσα σε μια αίθουσα μουσικής, αποδεικνύουν τον Toyota Yasuhisa ως αυθεντία στην ακουστική και θέτουν ένα πρότυπο σωστού ακουστικού σχεδιασμού για τις μελλοντικές γενιές.

## Ο6 | Βιβλιογραφία

## Ελληνική &amp; Ξένα Βιβλιογραφία

1. Τσινίκας Νίκος. Ακουστικός Σχεδιασμός Χώρων. University Studio Press, 1990.
2. Barron Michael. Auditorium Acoustics and Architecture Design. Spon Press, 2009.
3. Beckmann Daniel. Bergal Erik. Komoda Motoo. Quiquerez Marc. Toyota Yasuhisa. Concert Halls by Nagata Acoustics. Springer 2021
4. Beranek Leo. Concert Halls and Opera houses, Music, Acoustics and Architecture. Springer – Verlan New York Inc, 2004
5. Galiano Fernandez Luis. Herzon & de Meuron 2003-2019. Architectura Viva SL, 2019
6. Harris M. Cyril. Knudsen O. Vern. Acoustical Designing in Architecture. American Institution of Physics, 1978.
7. Herr Christopher R & Siebein Gary W. An Acoustical History of Theaters and Concert Halls: An Investigation of Parallel Developments in Music, Performance Spaces, and the Orchestra. Association of Collegiate Schools of Architecture, 1998.
8. Hunt Frederick Vinton. Origins in Acoustics. Acoustical Society of America, 1992.
9. Long Marshall. Architectural Acoustics. Elsevier Academic Press, 2006.
10. Raichel Daniel R. The science and application of acoustics. Springer Science & Business Media Inc, 2006.

## Επιστημονικά άρθρα, άρθρα ειδήσεων και περιοδικών

1. Σύλβια Κουτρούλη. " Βιτρούβιος και μουσική ." Χάρτης 1, Ιανουάριος 2019.  
<<https://www.hartismag.gr/print/738#> >
2. Buja Maureen. " ' The speed of sound II.' " Interlude, February 5, 2014.
3. "Concert halls call on this Japanese engineer to shape sound." The Associated Press, February 7, 2017
4. Cremer Lothar, Guernsey M. Richard, Muller A. Helmut. "Principles and Applications of Room Acoustics." The journal of the Acoustical Society of America, August 1998.

5. De Muynke Julien, Baltazzar Maria, Monferran Martin, Voisenat Claudie. "Ears of the past, an inquiry into the sonic memory of the acoustics of Notre-Dame before the fire of 2019." *Journals of Cultural Heritage* 56, (June 2022):130-137.
6. Georgi Oliver. "Ten-thousand notes going under the skin." *Frankfurter Allgemeine Zeitung GmbH*, 2016.
7. Gold Martin, Keely Siebein. "Acoustics Virtually Everywhere." *The journal of the Acoustical Society of America*, October 2020.
8. Gotoh Nahoko. "Where musicians and audiences meet in harmony: Tokyo's Suntory Hall." *Bachtrack*, November 2016.
9. Gonsher Aaron. "Master Acoustician Yasuhisa Toyota." *Red bull music academy*, April 2017.
10. Guicking Dieter. "Erwin Meyer- A great German acoustician, Biographical Notes." *Third Institute of Physics in the University of Göttingen*, July 2017
11. Guyer J. Paul. "An Introduction to Architectural Design: Theaters & Concert Hall, Part 1." *Continuing Education and Development, Inc*, 2014
12. Jablonska Joanna. "Architectural Acoustics in Vineyard Configuration Concert Hall." *Journal of Architectural Engineering Technology*, January 2019
13. Jurgen Meyer. "Acoustics of gothic churches." *Music Academy Detmold*, (January 2002)
14. Knudsen Vern O. "The hearing of speech in auditoriums." *Acoustical Society of America*, 1929
15. Nimbalkar Mithila. "Berlin Philharmonic by Hans Scaroun: Built to replace the old Philharmonie." *Rethinking The Future*, 2021
16. Ono Akira. "'Muza' Kawasaki Symphony Hall Opens." *Nagata Acoustics News*, September 25, 2004
17. Read R. David. "Industry Pioneers #12: Leo L. Beranek, Dean of American Acousticians." *Sound & Communications*, June 2004.
18. Tronchin Lamberto. "The 'Phonurgia Nova' of Athanasius Kircher: The marvelous sound world of 17<sup>th</sup> Century." *Acoustical Society of America*. June 29, 2008



19. Wakin J. Daniel. "Musicians Hear Heaven in Tully Hall's New Sound." The New York Times, January 28, 2009.
20. Woo Elaine. "Russel Johnson, 83; innovative acoustician for classical music venues." Los Angeles Times, August 2007.
21. "Crystal-clear Acoustics and Breathtaking Architecture." The Beary Adventures of Puffles and Honey, February 24, 2020.

#### Ερευνητικές, Πτυχιακές, Διπλωματικές Εργασίες & Διδακτορικές Διατριβές

1. Βενιζέλος Άνθος. "Βιώνοντας' το θεατρικό χώρο.'" Ερευνητική Εργασία, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, 2015.
2. Τσάρας Γιάννης. "Θέατρα με δυνατότητα μετασχηματισμού. Διερεύνηση παραμέτρων ευελιξίας και προδιαγραφές σύγχρονων χώρων θεάματος.'" Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, 2012.
3. Χουντή Μαρία Άννα. "Βέλτιστη Αντήχηση σε αίθουσες μουσικής τζαζ.'" Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2018.
4. Ashton Allan. "Acoustic Architecture Begins: Symphony Hall Boston 1900.'" Thesis, 2003.
5. Gjers Emma Linnea. "Stage Acoustics in Concert Halls: a study of musicians' acoustical environment.'" Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, 2014.
6. Inacio Octavio. "Fundamentals of room acoustics.'" International Advanced Course on Musical Acoustics, 2005.
7. Kavraz Mustafa, Sanli Ebru. "Walt Disney Concert Building in an Architectural Context." Research paper, Department of Architecture, Technical University of Karadeniz, 2022.

8. Mauvan John. "Shoe Box | An analysis of the concert hall and its adaption to small-scale music performance space." Master of Architecture, Victoria University of Wellington, 2011.
9. Tasic Tatjana. "World standards in concert hall architectural acoustics." SAE Institute Belgade, 2013.

#### Διαδικτυακές πηγές

1. Εφημερίδα Καθημερινή. "Χρήση Θεάτρων και Ωδείων." τελευταία τροποποίηση Μάρτιος 10, 2002. <[diazoma.gr/θεατροπαιδεια/χρηση-θεατρων-και-ωδειων/](http://diazoma.gr/θεατροπαιδεια/χρηση-θεατρων-και-ωδειων/)>
2. Ascender. "Salle Pleyel Concert Hall, Paris, (FR)." Πρόσβαση Μάρτιος 28, 2023 <<https://www.ascender.es/Projects/salle-pleyel-concert-hall/>>
3. Benaroya Hall. "About the Hall." Πρόσβαση Απρίλιος 18, 2023 <<https://www.seattlesymphony.org/benaroyahall/about>>
4. Britannica. "conservatory." Πρόσβαση Φεβρουάριο 2, 2023. <[britannica.com/art/conservatory-musical-institution](http://britannica.com/art/conservatory-musical-institution)>
5. Britannica. "Early Experimentation." Πρόσβαση Μάρτιος 5, 2023 <<https://www.britannica.com/science/acoustics/Early-experimentation>>
6. Gustafs. "World – class acoustics." Πρόσβαση Μάρτιος 15, 2023. <<https://gustafs.com/projects/world-class-acoustics-malmo-live/>>
7. Nagata Acoustics. "Dr. Yasuhisa Toyota." Πρόσβαση Απρίλιος 19, 2023 <<https://www.nagata-i.com/1977/01/01/dr-yasuhisa-toyota/>>
8. "Sabine's Formula & the birth of modern architectural acoustics." Τελευταία τροποποίηση Οκτώβριος 28, 2021 <<https://blog.thermaxxjackets.com/sabines-formula-the-birth-of-modern-architectural-acoustics>>
9. Sack Harald. "Ernst Chladni – The father of Acoustics." τελευταία τροποποίηση Νοέμβριος 30, 2015. <[scihi.org/ernst-chladni/](http://scihi.org/ernst-chladni/)>

10. Sack Harald. " Joseph Sauveur and the Science of Acoustics." τελευταία τροποποίηση Μάρτιος 24,2021. < [scihi.org/joseph-sauveur-science-acoustics/](https://scihi.org/joseph-sauveur-science-acoustics/) >
  
11. Sherwin Skye. " William Hogarth's The Enraged Musician: gritty glory." τελευταία τροποποίηση Ιανουάριος 4, 2019.  
<[theguardian.com/artanddesign/2019/jan/04/william-hogarth-the-enraged-musician](https://theguardian.com/artanddesign/2019/jan/04/william-hogarth-the-enraged-musician)>
  
- 12.Suntory Hall. "Main Hall." Πρόσβαση Απρίλιος 10, 2023  
<<https://www.suntory.com/culture-sports/suntoryhall/facility/> >
  
- 13.Suntory Hall. "Our history." Πρόσβαση Απρίλιος 10, 2023  
<<https://www.suntory.com/culture-sports/suntoryhall/history/> >
  
- 14.The Beary Adventured of Puffles and Honey. " A Mezza Voce." Τελευταία τροποποίηση Δεκέμβριος 31, 2017.  
<<https://pufflesandhoneyadventures.wordpress.com/2017/12/31/a-mezza-voce/#comments> >
  
- 15.Yasui Architects & Engineers, Inc. "Suntory Hall." Πρόσβαση Απρίλιος 10, 2023  
<[https://www.yasui-archi.co.jp/en/works/detail/1986\\_suntoryhall/index.html](https://www.yasui-archi.co.jp/en/works/detail/1986_suntoryhall/index.html) >
  
- 16.Wikiarquitectura. "Elba Philharmonic." Πρόσβαση Μάιος 1,2023  
< <https://en.wikiarquitectura.com/building/elba-philharmonic/> >

## Ο7 | Κατάλογος εικόνων



Εικ. 1: <https://actianicopolisarchaeopark.gr/nikopolis/odio/>

Εικ. 2: [academia.edu/40915770/Λ. Τσατσάρωνη. 2019. Τα νέα ευρήματα πεσσών στην Αθήνα και το Ωδείο του Αγρίππα. AURA 2 191 217](https://academia.edu/40915770/Λ.Τσατσάρωνη.2019.Τα_νέα_ευρήματα_πεσσών_στην_Αθήνα_και_το_Ωδείο_του_Αγρίππα.AURA_2_191_217)

Εικ. 3: [slideplayer.gr/slide/4874531/16/images/54/Αναπαράσταση+του+Ωδείου+του+Περικλή](https://slideplayer.gr/slide/4874531/16/images/54/Αναπαράσταση+του+Ωδείου+του+Περικλή)

Εικ. 4: [slideplayer.gr/slide/1945574/](https://slideplayer.gr/slide/1945574/)

Εικ. 5: [grevity.blogspot.com/2020/08/kidology.html](https://grevity.blogspot.com/2020/08/kidology.html)

Εικ. 6: [friendsofnotredamedeparis.org/notre-dame-cathedral/architecture/layout/](https://friendsofnotredamedeparis.org/notre-dame-cathedral/architecture/layout/)

Εικ. 7: [histambar.com/en/blog/palladios-ultimate-legacy-the-olympic-theater-of-vicenza/](https://histambar.com/en/blog/palladios-ultimate-legacy-the-olympic-theater-of-vicenza/)

Εικ. 8: [theatre-architecture.eu/en/db/?theatreId=372](https://theatre-architecture.eu/en/db/?theatreId=372)

Εικ. 9: [theatre-architecture.eu/en/db/?theatreId=376&detail=attachement](https://theatre-architecture.eu/en/db/?theatreId=376&detail=attachement)

Εικ. 10: [theatre-architecture.eu/en/db/?theatreId=874](https://theatre-architecture.eu/en/db/?theatreId=874)

Εικ. 11: Προσωπικό αρχείο

Εικ. 12: [latribunedelart.com/le-conservatoire-national-d-art-dramatique-un-monument-historique-en-danger](https://latribunedelart.com/le-conservatoire-national-d-art-dramatique-un-monument-historique-en-danger)

Εικ. 13: [latribunedelart.com/le-conservatoire-national-d-art-dramatique-un-monument-historique-en-danger](https://latribunedelart.com/le-conservatoire-national-d-art-dramatique-un-monument-historique-en-danger)

Εικ. 14: [commons.wikimedia.org/wiki/File:Altes\\_Gewandhaus.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Altes_Gewandhaus.jpg)

Εικ. 15: [en.m.wikipedia.org/wiki/File:Bayreuth\\_plan.png](https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Bayreuth_plan.png)

Εικ. 16: [the-wagnerian.com/2015/08/the-bayreuth-festspielhaus-metaphysical.html](https://the-wagnerian.com/2015/08/the-bayreuth-festspielhaus-metaphysical.html)

Εικ. 17: [peutz.nl/sites/peutz.nl/files/publicaties/000117.pdf](http://peutz.nl/sites/peutz.nl/files/publicaties/000117.pdf)

Εικ. 18: [odessaphil.org/en/report/](http://odessaphil.org/en/report/)

Εικ. 19: Προσωπικό Αρχείο

Εικ. 20: [re-thinkingthefuture.com/case-studies/a4314-boston-symphony-hall-by-mckim-mead-and-white-finest-concert-hall-in-the-world/](http://re-thinkingthefuture.com/case-studies/a4314-boston-symphony-hall-by-mckim-mead-and-white-finest-concert-hall-in-the-world/)

Εικ. 21: [ashtonallan.com/2003/AcousticArchitecture/Thesis/201SymphonyHall.pdf](http://ashtonallan.com/2003/AcousticArchitecture/Thesis/201SymphonyHall.pdf)

Εικ. 22: <https://inhabitat.com/schmidt-hammer-lassen-complete-first-part-of-the-malmo-live-cultural-complex/malmo-live-by-schmidt-hammer-lassen-9/>

Εικ. 23: <https://www.dezeen.com/2015/05/06/malmo-live-schmidt-hammer-lassen-hotel-concert-hall-sweden/>

Εικ. 24: <https://www.dezeen.com/2015/05/06/malmo-live-schmidt-hammer-lassen-hotel-concert-hall-sweden/>

Εικ. 25: <https://ark-lpr.fi/en/projekti/helsinki-music-centre/>

Εικ. 26: <https://ark-lpr.fi/en/projekti/helsinki-music-centre/>

Εικ. 27: <https://musiikkitalo.fi/en/about-helsinki-music-centre/>

Εικ. 28: <https://www.re-thinkingthefuture.com/case-studies/a4331-berlin-philharmonic-by-hans-scharoun-built-to-replace-the-old-philharmonie/>

Εικ. 29: <https://www.re-thinkingthefuture.com/case-studies/a4331-berlin-philharmonic-by-hans-scharoun-built-to-replace-the-old-philharmonie/>

Εικ. 30: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Berliner\\_Philharmoniker\\_by\\_Hans\\_Scharoun.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Berliner_Philharmoniker_by_Hans_Scharoun.jpg)

Εικ. 31: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-42450-3\\_6](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-42450-3_6)

ΕΙΚ. 32: <https://trip.pref.kanagawa.jp/destination/muza-kawasaki-symphony-hall/1012>

ΕΙΚ. 33: <https://www.archdaily.com/26062/alice-tully-hall-lincoln-center-diller-scofidio-renfro-architects/571da896e58ece1428000021-alice-tully-hall-lincoln-center-diller-scofidio-renfro-architects-plaza-level-plan>

ΕΙΚ. 34: <https://architypereview.com/project/alice-tully-hall/>

ΕΙΚ. 35: <https://dsrny.com/project/alice-tully-hall>

ΕΙΚ. 36: <https://ptb.co.uk/liverpool-philharmonic-hall-auditorium-lighting>

ΕΙΚ. 37: Beranek Leo. Concert Halls and Opera houses, Music, Acoustics and Architecture. Springer – Verlan New York Inc, 2004

ΕΙΚ. 38: <https://en.parisinfo.com/paris-museum-monument/71567/Salle-Pleyel>

ΕΙΚ. 39: Beranek Leo. Concert Halls and Opera houses, Music, Acoustics and Architecture. Springer – Verlan New York Inc, 2004

ΕΙΚ. 40: <https://www.southbankcentre.co.uk/venue-hire/auditoria/royal-festival-hall?tab=testimonials>

ΕΙΚ. 41: Beranek Leo. Concert Halls and Opera houses, Music, Acoustics and Architecture. Springer – Verlan New York Inc, 2004

ΕΙΚ. 42: [https://www.shimz.co.jp/en/works/jp\\_edu\\_199503\\_kyoto\\_concert\\_hall.html](https://www.shimz.co.jp/en/works/jp_edu_199503_kyoto_concert_hall.html)

ΕΙΚ. 43: Beranek Leo. Concert Halls and Opera houses, Music, Acoustics and Architecture. Springer – Verlan New York Inc, 2004

ΕΙΚ. 44: <https://gr.pinterest.com/pin/331859066298747512/>

ΕΙΚ. 45: Beranek Leo. Concert Halls and Opera houses, Music, Acoustics and Architecture. Springer – Verlan New York Inc, 2004

Εικ. 46: <https://archello.com/pt/project/roy-thomson-hall>

Εικ. 47: Beranek Leo. Concert Halls and Opera houses, Music, Acoustics and Architecture. Springer – Verlan New York Inc, 2004

Εικ. 48: <https://www.wned.org/television/wned-productions/kleinhans-gift-to-buffalo/kleinhans-memories/>

Εικ. 49: Beranek Leo. Concert Halls and Opera houses, Music, Acoustics and Architecture. Springer – Verlan New York Inc, 2004

Εικ. 50: <https://www.hartmancox.com/jfk-center-concert-hall-renovation>

Εικ. 51: <https://www.hartmancox.com/jfk-center-concert-hall-renovation>

Εικ. 52: <https://www.gso.se/en/gothenburg-concert-hall/venue-rentals/>

Εικ. 53: Beranek Leo. Concert Halls and Opera houses, Music, Acoustics and Architecture. Springer – Verlan New York Inc, 2004

Εικ. 54: [https://web.stanford.edu/group/kircher/cgi-bin/site/?attachment\\_id=667](https://web.stanford.edu/group/kircher/cgi-bin/site/?attachment_id=667)

Εικ. 55: <https://art-museum.unimelb.edu.au/exhibitions/eavesdropping/>

Εικ. 56: <https://sites.lsa.umich.edu/mqr/tag/cultural-criticism/>

Εικ. 57: <http://scihi.org/ernst-chladni/>

Εικ. 58: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Panharmonicon>

Εικ. 59: <https://garadinervi.tumblr.com/post/167850613766/the-harvard-anechoic-chamber-beraneks-box>

Εικ. 60: <https://www.mmone.org/tanglewood/>

Εικ. 61: <https://daily.redbullmusicacademy.com/2017/04/yasuhisa-toyota-interview>

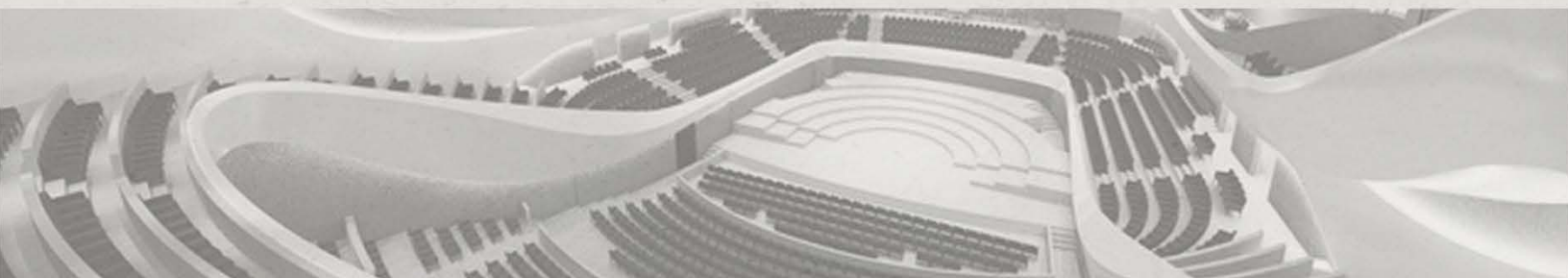
Εικ. 62: <https://www.t-bunka.jp/en/gallery/>





- Εικ. 77: <https://www.mpkelley.com/gallery/civic-cultural/2018/7/7/2018/7/7/walt-disney-concert-hall-los-angeles-ca-frank-gehry-1>
- Εικ. 78: <https://artsandculture.google.com/asset/view-from-the-balcony-walt-disney-concert-hall-auditorium/RwEQ0Wfi8w7EJg>
- Εικ. 79: [https://books.google.gr/books?id=MBwgEAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=el&source=gbg\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.gr/books?id=MBwgEAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=el&source=gbg_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Εικ. 80: [https://books.google.gr/books?id=MBwgEAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=el&source=gbg\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.gr/books?id=MBwgEAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=el&source=gbg_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Εικ. 81: <https://en.wikiarquitectura.com/building/walt-disney-concert-hall/>
- Εικ. 82: <https://en.wikiarquitectura.com/building/walt-disney-concert-hall/>
- Εικ. 83: <https://www.colinscolumn.com/berliner-philharmoniker-and-kirill-petrenko-on-tour-in-northern-europe/>
- Εικ. 84: <https://artsandculture.google.com/asset/kaispeicher-a-view-from-the-west-1965-christian-spindler/MQFfH3wPgwlK3Q>
- Εικ. 85: <https://en.wikiarquitectura.com/building/elba-philharmonic/filarmonicaelba-1-2/>
- Εικ. 86: <https://arquitecturaviva.com/works/elbphilharmonie-hamburg-6> με  
προσωπική επεξεργασία
- Εικ. 87: <http://andreas-heller.de/pavillion-elbphilharmonie/>
- Εικ. 88: <https://www.hamburg-travel.com/blog/the-sound-architecture-of-the-elbphilharmonie/>

- EIK. 89: <https://materialdistrict.com/article/elbphilharmonie-hamburg/elbphilharmonie-hamburg-a-glass-structure-supported-by-a-brick-warehouse-18/>
- EIK. 90: <https://www.elbphilharmonie.de/en/the-halls#elbphilharmonie>
- EIK. 91: <https://archinect.com/news/article/149978596/take-a-stroll-inside-herzog-de-meuron-s-elbphilharmonie-hamburg-courtesy-of-google>
- EIK. 92: <https://www.lonelyplanet.com/germany/hamburg/speicherstadt-hafencity/attractions/elbphilharmonie/a/poi-sig/420899/1342304>
- EIK. 93: <https://www.herzogdemeuron.com/projects/230-elbphilharmonie-hamburg/>
- EIK. 94: <https://www.herzogdemeuron.com/projects/230-elbphilharmonie-hamburg/>
- EIK. 95: <https://www.herzogdemeuron.com/projects/230-elbphilharmonie-hamburg/>
- EIK. 96: <https://www.herzogdemeuron.com/projects/230-elbphilharmonie-hamburg/>
- EIK. 97: <https://www.herzogdemeuron.com/projects/230-elbphilharmonie-hamburg/>



Πολυτεχνείο Κρήτης  
Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών