

THIẾT KẾ ÂM HỌC SÂN KHẤU VÀ XÁC NHẬN LẠI BẰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG CỦA KHÁN PHÒNG LỚN KIỂU RUỘNG BẬC THANG

STAGE ACOUSTIC DESIGN AND VERIFICATION BY SIMULATION MODELS OF A LARGE TERRACE HALL

Phan Ánh Nguyên

Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng; panguyen@dut.udn.vn

Tóm tắt - Trong khán phòng kiểu ruộng bậc thang, sân khấu được bao bọc bởi ghế ngồi khán giả ở mọi phía. Sự thay đổi này làm tăng phần thể tích sân khấu và ảnh hưởng đến hỗ trợ sớm ưa thích khi các nhạc công đồng diễn. Nghiên cứu này với mục đích cải thiện âm học sân khấu của một khán phòng lớn kiểu ruộng bậc thang và giảm ảnh hưởng tiêu cực đến khu vực khán giả. Nhiều phương án được đề xuất và xác nhận lại bằng mô hình mô phỏng ODEON 11. Góc nghiêng của tường bên sân khấu, tấm phản xạ phẳng treo trên sân khấu và độ treo cao được nghiên cứu. Phương án tường bên sân khấu thẳng đứng và tấm phản xạ treo ở cao độ +8,2 m trên nguồn âm cho kết quả tốt hơn cả. Hỗ trợ sớm ST1 tăng 4,5 dB và sức mạnh âm G_k trong khu vực khán giả tăng 0,2 dB so với phương án ban đầu. Tất cả các phương án đề xuất đã có những cải thiện chất lượng âm học tích cực đối với cả khu vực sân khấu và khu vực khán giả.

Từ khóa - khán phòng kiểu ruộng bậc thang; thiết kế âm học sân khấu; âm học phòng khán giả; ODEON 11; mô phỏng máy tính

1. Đặt vấn đề

Số lượng khán phòng kiểu ruộng bậc thang đang ngày càng phát triển bởi vì sự kết nối giữa người biểu diễn và khán giả trong kiểu khán phòng này. Khán phòng Philharmonic Berlin, nhà tiên phong về loại khán phòng nhạc giao hưởng này, kết hợp một sân khấu được bao quanh bởi khán giả và chia thành "các khối ruộng bậc thang". Tuy nhiên, do số lượng đáng kể chỗ ngồi được thiết kế xung quanh sân khấu và chiều rộng khán phòng mở rộng dẫn đến vẫn còn một số điểm không chắc chắn về chất lượng âm thanh của các phòng kiểu ruộng bậc thang này.

Một khán phòng kiểu ruộng bậc thang sở hữu những đặc điểm sau. Ghế ngồi khán giả bao quanh sân khấu và phần lớn ghế ngồi khán giả là ở phía trước sân khấu. Khán giả được chia làm nhiều khối nhỏ để mỗi khối khán giả sẽ nhận được phản xạ bên sớm từ phần tường phía trước của các khối khán giả bên cạnh (tường này). Với các hàng ghế hai bên sân khấu, khán phòng kiểu ruộng bậc thang thông thường rộng hơn khán phòng kiểu hình hộp. Độ dốc sàn của loại khán phòng này cũng cao hơn so với kiểu khán phòng hình hộp do sự phân chia các khối khán giả. Hình khối thì khá là phức tạp bởi các khối chỗ ngồi và hình dáng mặt bằng "hữu cơ".

Ưu điểm của khán phòng kiểu ruộng bậc thang là khoảng cách giữa người biểu diễn và khán giả ngắn lại, và sức chứa lớn hơn. Tuy nhiên, trong loại khán phòng này, vì khán giả ngồi xung quanh sân khấu nên dẫn đến thể tích khu vực sân khấu tăng lên gây ảnh hưởng đến hỗ trợ sớm (ST1) của các nhạc công khi đồng diễn.

Thiết kế sân khấu là để hỗ trợ cho nhạc công, người sân khấu xuất ra âm nhạc. Đối với người nhạc công, đạt được sự cân bằng giữa nghe âm thanh do bản thân tạo ra và nghe âm

Abstract - In a terrace hall, the stage is surrounded by audiences' seats from all sides. This change increases the volume behind the stage line and consequently influences the acoustical support desired for ensemble among musicians. This study is intended to improve the stage acoustics of a large terrace hall while reducing harm to the audience area. Various schemes are proposed and verified using ODEON 11 model simulation. Side stage wall tilting, overhead flat reflector and overhead reflector height are studied. Scheme with vertical side stage walls and overhead reflector at +8,2 m above the source gives the best result. Early support ST1 increases by 4,5 dB and strength G_k on the auditorium increases by only 0,2 dB in comparison with original scheme. All the proposed schemes can improve the acoustical quality both on the stage and the auditorium.

Key words - terrace hall; stage acoustic design; auditorium acoustics; ODEON 11; computer simulation

thanh do người khác tạo ra là cực kỳ quan trọng. Trên sân khấu mà có nhiều bề mặt hấp thụ âm, thì sức mạnh âm sẽ nhỏ và người nhạc công khó nghe được âm thanh mà họ tạo ra, và họ dường như sẽ cố gắng chơi to hơn. Trên sân khấu và có thể tích lớn, âm phản xạ thừa thớt và yếu ớt dẫn đến khó nghe âm thanh của những người khác. Trong biểu diễn, các âm phản xạ sớm trong 35 mili giây là rất quan trọng trong nhịp điệu biểu diễn [1]. Thiết kế âm học sân khấu không chỉ ảnh hưởng đến dàn nhạc giao hưởng mà còn ảnh hưởng đến cả khu vực khán giả. Ví dụ, các bề mặt trên sân khấu hướng các âm phản xạ đến cả dàn nhạc và khu vực khán giả.

Bề mặt sân khấu bao gồm tường xung quanh, trần và sàn sân khấu (có hoặc không có bậc sân khấu). Bức sân khấu (kiểu băng dài hoặc kiểu vòng cung) ngày càng phổ biến hiện nay và thường được sử dụng để cung cấp đường đi rõ ràng từ nguồn âm đến người nghe, và đặc biệt là cho các nguồn âm có cường độ âm thanh yếu như bộ dây. Tấm phản xạ treo thường được trang bị trong các khán phòng với trần cao hoặc có thiên kiểu đối với khán phòng đa chức năng.

Đầu năm 1931, Knudsen đã mô tả khái niệm "hỗ trợ". Tuy nhiên, mãi cho đến khi Marshall nghiên cứu về thiết kế sân khấu cho bộ ba biểu diễn đàn dây vào năm 1978, một ít thông tin về âm học sân khấu bắt đầu xuất hiện trên lý thuyết [2].

Những âm phản xạ quay trở lại dàn nhạc trong khoảng 17-35 mili giây có một vai trò quan trọng trong việc giao tiếp giữa các nhạc công [2]. Vì vậy, các bề mặt nhỏ vừa phải xung quanh sân khấu là có ích. Tuy nhiên, trong những sân khấu có diện tích bề mặt xung quanh lớn, các tấm phản xạ treo cũng hữu dụng trong việc hướng các âm phản xạ sớm quay trở lại sân khấu.

Năm 1989 Gade thực hiện một loạt các nghiên cứu tiên phong trong phòng thí nghiệm và trong nhiều khán phòng nổi tiếng ở châu Âu [3]. Sự tương quan giữa kết quả khảo sát của đàn nhạc và các kết quả đo đạc đã khẳng định hỗ trợ sớm (ST1). ST1 là tỉ số giữa năng lượng âm phản xạ sớm và năng lượng âm tới:

$$ST1 = 10 \log \frac{\int_{20ms}^{100ms} |p^2(t)| dt}{\int_{0ms}^{100ms} |p^2(t)| dt} \quad (1)$$

Trong đó $p(t)$ là đáp ứng xung (impulse response) đo đạc cách nguồn âm 1 m tại 3 vị trí trên sân khấu, ví dụ tại vị trí của người độc tấu, ở giữa bộ dây bên phải, và hàng thứ 2 xa nhất của bộ khí. Giá trị tối ưu của ST1 là từ -13 đến -12 dB tính trung bình cho tần số 250 Hz đến 2000 Hz, được đề xuất cho biểu diễn giao hưởng. Một khoảng ưa thích khác là từ -15 đến -12 dB được đề xuất bởi Beranek [4].

Có một sự tương quan mạnh mẽ giữa ST1 và thể tích sân khấu và đã được biểu diễn bằng công thức hồi quy thu được trong khảo sát các khán phòng hòa nhạc ở châu Âu bởi Gade:

$$ST1 = 12 - 7.65 \times \log V_{\text{Stage}} \quad (2)$$

Trong đó V_{stage} là thể tích sân khấu tính từ mép sân khấu. Từ công thức tính ra ST1 giảm 2.3 dB khi mà tăng gấp đôi thể tích sân khấu V_{stage} [3].

Đối với các sân khấu lớn, các tấm phản xạ treo từ 6 – 8 m trên sân sân khấu được đề xuất [5] trong khi treo ở độ cao 12 m vẫn được cân nhắc là hữu dụng [6]. Khán phòng Berlin Philharmonic với thể tích là 21,000 m³ với sức chứa 2,218 chỗ ngồi với 530 chỗ ngồi bao quanh sân khấu. Tập hợp 10 tấm phản xạ âm hình thang bằng nhựa treo trên sân khấu với độ cao từ 10 – 12 m được đưa vào với tổng diện tích là 75 m². Hỗ trợ sớm ST1 tại khu vực sân khấu là -16.8 dB. Phần trên của tường bên được làm nghiêng xuống để cung cấp các âm phản xạ sớm đến dàn nhạc.

Thời gian giảm âm sớm (EDT) đo thời gian mà âm thanh suy yếu đi 10 dB sau khi nguồn âm bị tắt và nhân với hệ số 6, dùng để chỉ độ âm vang của âm thanh. Giá trị thời gian giảm âm sớm chấp nhận được cho khán phòng hòa nhạc vào khoảng 1,8 đến 2,2 giây [7]. “Trong những khán phòng tốt nhất, sử dụng ghế ngồi bọc nệm, thời gian giảm âm sớm (EDT) nằm trong khoảng 2,25 đến 2,75 giây, và trong những khán phòng được đánh giá thấp nhất, thời gian giảm âm sớm (EDT) nằm trong khoảng 1,4 đến 2,0 giây” [4].

Mô phỏng máy tính trong thiết kế môi trường âm học đã có những bước tiến đáng kể trong suốt 5 thập kỷ qua, ngày càng trở nên phổ biến và ứng dụng rộng rãi trong âm học phòng kín, kiểm soát tiếng ồn... Khán phòng hòa nhạc Walt Disney (2003) tại Los Angeles, New Danish Radio (2009) tại Copenhagen đã sử dụng phần mềm mô phỏng âm học máy tính trong quá trình thiết kế hình khối của công trình và đến giai đoạn gần như hoàn thành thiết kế, mô hình tỉ lệ 1/10 được sử dụng để kiểm tra tiếng dội bất lợi [8], [9].

Nghiên cứu này dự định điều tra về thiết kế âm học sân khấu của một khán phòng kiểu ruộng bậc thang bằng mô hình máy tính sử dụng phần mềm âm học ODEON 11 với mục tiêu cải thiện âm học khu vực sân khấu nhưng không gây ảnh hưởng tiêu cực đến khu vực khán giả.

2. Phương pháp, thiết kế âm học sân khấu, và mô phỏng máy tính

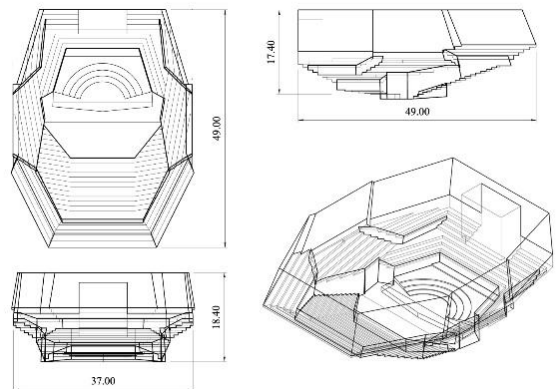
2.1. Phương pháp

Một khán phòng kiểu ruộng bậc thang lớn được thiết kế bởi giáo sư Chiang Wei Hwa năm 2012 [10] được sử dụng. Tham số đánh giá chất lượng âm học cho khu vực sân khấu gồm có: hỗ trợ sớm ST1, sức mạnh âm G_s , thời gian giảm âm sớm EDT_s cho dải tần số từ 250 Hz – 2000 Hz. Tại khu vực khán giả, tham số âm học sức mạnh âm G_k và thời gian giảm âm sớm EDT_k cho dải tần số từ 500 Hz – 1000 Hz được sử dụng.

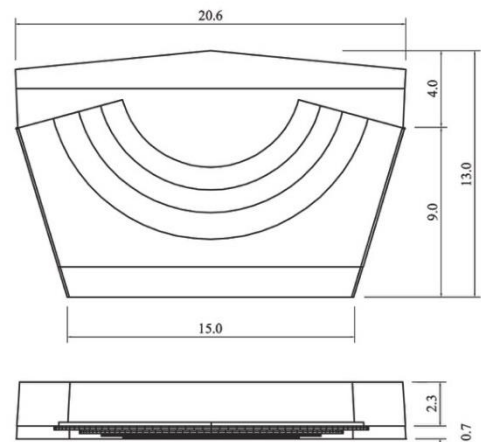
Đầu tiên, các âm phản xạ sớm đến sau âm trực tiếp trong vòng 35 mili giây được thiết kế. Sau đó, một vài phương án thiết kế được đề xuất và sau cùng là mô phỏng bằng phần mềm ODEON 11 để xác nhận lại.

2.2. Thiết kế âm học sân khấu

2.2.1. Khán phòng kiểu ruộng bậc thang



Hình 1. Thông số kỹ thuật khán phòng nghiên cứu



Hình 2. Các kích thước của sân khấu
Mặt bằng (trên) và mặt đứng (dưới)

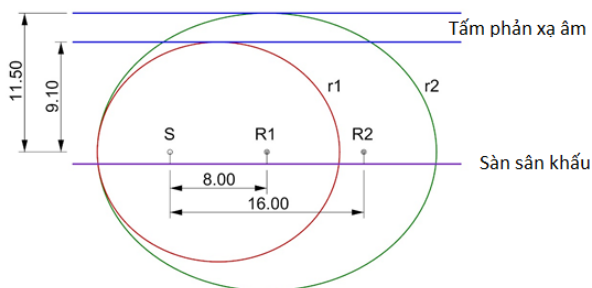
Khán phòng nghiên cứu có mặt bằng hình đa giác được phát triển từ khán phòng hình hộp Concertgebouw thông qua việc phân chia các khối ghế ngồi khán giả. Khán phòng có thể tích 22,500 m³ và diện tích khu vực khán giả là 1.440 m². Chiều dài và chiều rộng của khán phòng lần lượt là 49 m và 37 m. Sân khấu hình thang có diện tích 230 m². Khoảng cách từ sân khấu đến trần phẳng là 17,4 m, cao hơn khán phòng Concertgebouw 2,1 m.

Chiều rộng sân khấu lần lượt là 20,6 m ở phía trước và

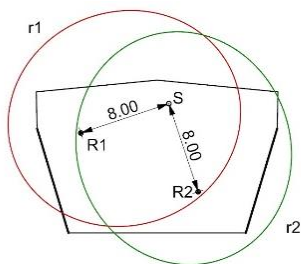
15 m ở phía sau. Chiều sâu của sân khấu là 13 m. Kích thước của các bức bên là 2,3 m cao và 9,25 m dài. Thể tích sân khấu là 9.000 m³. Tổng diện tích tường bên sân khấu là 42,5 m². Tường sau sân khấu phía sau là 32 m². Các bức tường bên được nghiêng xuống bởi một góc 1/20 hướng các âm phản xạ sớm đến người biểu diễn. Bục nâng sân khấu hình vòng cung với tổng chiều cao của 4 bậc là 700 mm.

2.2.2. Phân tích hình học

Phân tích hình học được tiến hành để xác định vị trí và hướng của các bề mặt có thể cung cấp âm phản xạ sớm đến trẻ hơn so với âm trực tiếp trong vòng 35 mili giây với khoảng cách nguồn âm và tai nghe là 8 m hoặc 16 m (Hình 3). Nguồn âm S, tai nghe R1, R2 nằm cùng cao độ so với sàn sân khấu. Ellipse r1, r2 là các ellipse lần lượt được vẽ từ cặp tiêu cự S, R1 và cặp tiêu cự S, R2. Các bề mặt nằm ngang dưới 9,1 m trên nguồn âm có thể cung cấp các phản xạ đến trẻ trong vòng 35 mili giây hoặc ngắn hơn cho khoảng cách 8 m, trong khi chiều cao có thể nâng lên 11,5 m đối với khoảng cách 16 m.



Hình 3. Ellipse chỉ ra vị trí và hướng của bề mặt cung cấp các phản xạ đến trẻ trong vòng 35 mili giây



Hình 4. Ellipse chỉ ra các bức tường sân khấu cung cấp các phản xạ đến trẻ trong vòng 35 mili giây

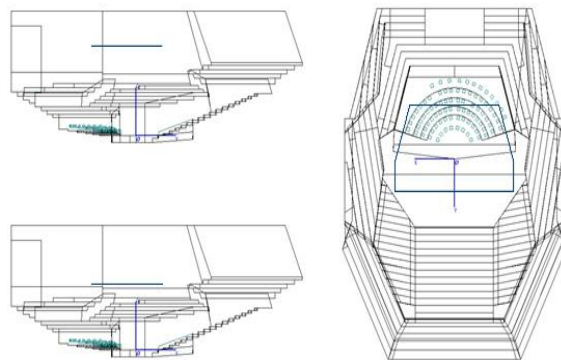
Nguồn âm S tại vị trí độc tấu, tai nghe tại vị trí R1 (tại khu vực bộ dây) và R2 (tại khu vực bộ khí) được khảo sát (Hình 4). Ellipse r1, r2 là các ellipse lần lượt được vẽ từ cặp tiêu cự S, R1 và cặp tiêu cự S, R2. Đối với khoảng cách nguồn âm và tai nghe 8 m, các bức tường bên có thể cung cấp phản xạ đến trẻ trong vòng 35 mili giây cho các tai nghe tại R1 và R2 từ nguồn S. Tai nghe R2 còn có âm phản xạ đến trẻ trong vòng 35 mili giây từ bức tường phía sau. Khoảng cách 8,0 m là khoảng cách mà người nhạc công bắt đầu cảm nhận được độ trễ giữa âm thanh và hình ảnh.

Tường nghiêng hai bên sân khấu là những bề mặt phản xạ hữu ích trong khu vực sân khấu. Khi tường bên sân khấu thẳng đứng, tai nghe R1, R2 chỉ nhận được 1 âm phản xạ thứ nhất từ tường gần nó hơn với độ trễ 23 mili giây so với âm trực tiếp. Khi nghiêng cả hai tường bên sân khấu 1 góc 1/20, tai nghe R1, R2 cùng nhận thêm 1 âm phản xạ thứ nhất với độ trễ là 52 mili giây từ tấm tường bên sân khấu còn lại.

2.2.3. Thiết kế âm học sân khấu

Những phân tích trên chứng tỏ ảnh hưởng của tường bên sân khấu và tấm phản xạ treo đến âm học sân khấu của khán phòng rộng bậc thang đang nghiên cứu. Vì vậy chúng được sử dụng như là các biến số trong nghiên cứu này. Bên cạnh những ảnh hưởng của khu vực sân khấu, những tác dụng phụ lên khu vực khán giả cũng được nghiên cứu.

Tường bên sân khấu thẳng đứng và tường bên sân khấu được nghiêng xuống góc 1/20 được nghiên cứu. Tấm phản xạ có hình dáng đồng dạng với sân khấu được treo ở 2 cao độ là +11,6 m và +8,2 m so với nguồn âm cao 1 m (cao độ của trần so với nguồn âm là +16,4 m chia cho $\sqrt{2}$ hoặc 2). Khi thêm tấm phản xạ phẳng ở +11,6 m cường độ âm phản xạ từ trần có thể tăng xấp xỉ 3 dB khi quãng đường đi giảm đi $\sqrt{2}$ lần và xấp xỉ 6 dB khi tấm phản xạ treo ở +8,4 m khi quãng đường đi giảm đi xấp xỉ 2 lần (theo quy luật nghịch đảo $I_1/I_2 = (d_2/d_1)^2$, khi tỉ số cường độ âm cho quãng đường đi giảm 2 lần là 4 và độ tăng dB tương ứng là $10\log 4$, hay 6 dB). Sức mạnh âm của bộ dây, bộ khí, bộ đồng và bộ gõ không đồng nhất trong dàn nhạc giao hưởng. Sức mạnh âm của bộ đồng thông thường lớn bộ dây 10 dB, và lớn hơn bộ khí là 5 dB. Vì vậy mà tấm phản xạ treo thường không che phủ bộ đồng và bộ gõ để họ không bị phơi nhiễm trong âm thanh quá lớn. Vì vậy trong nghiên cứu, tấm phản xạ treo được dịch chuyển về phía trước 6 m để không che phủ bộ gõ và bộ đồng.



Hình 5. Vị trí và cao độ của tấm phản xạ treo

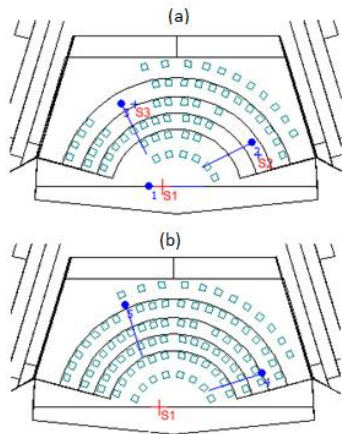
Kết quả là với 3 biến số, tường bên sân khấu (thẳng đứng hoặc nghiêng), tấm phản xạ (có hoặc không) ở độ cao độ (11,6m và 8,2 m), ta có 6 mô hình được nghiên cứu.

2.3. Mô phỏng máy tính

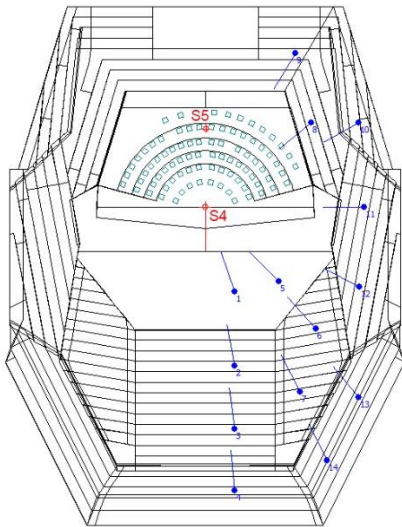
2.3.1. Cài đặt

Mô phỏng máy tính được thực hiện bằng phần mềm thương mại ODEON 11. Số lượng tia âm được đặt là 20.000. Độ dài của đáp ứng xung được thiết đặt là 4.000 mili giây. Chiều cao của nguồn âm là 1,0 m và tai nghe là 1,2 m so với sàn.

Nguồn âm tòa hình cầu Omni tại vị trí S1, S2, S3 và tai nghe tại vị trí 1, 2, 3 được sử dụng để mô phỏng tham số hỗ trợ sớm ST1 (Hình 6a). Khoảng cách giữa các nguồn âm và tai nghe (S1-1; S2-2; và S3-3) là 1,0 m. Nguồn âm Omni tại S1 và tai nghe tại vị trí 4, 5 (Hình 6b) được sử dụng để mô phỏng sức mạnh âm G_s và thời gian giảm âm sớm EDT_s tại khu vực sân khấu. Khoảng cách giữa nguồn âm và tai nghe (S1-4; và S1-5) là 8,0 m.



Hình 6. Sơ đồ vị trí nguồn âm và tai nghe mô phỏng hỗ trợ sớm ST1 (a), sức mạnh âm G_s và thời gian giảm âm sớm EDT_s (b)



Hình 7. Sơ đồ vị trí nguồn âm và tai nghe mô phỏng sức mạnh âm G_k và thời gian giảm âm sớm EDT_k trong khu vực khán giả

Nguồn âm Omni tại S4, S5 trên trục đối xứng sân khấu và tai nghe tại vị trí được đánh số từ 1 đến 14 trong khu vực khán giả được sử dụng để mô phỏng sức mạnh âm G_k và thời gian giảm âm sớm EDT_k trong khu vực khán giả (Hình 7).

Hệ số hấp thụ âm và hệ số tán xạ bề mặt được cài đặt theo Bảng 1. Tường gỗ 1 được ghép bởi các thanh gỗ nhỏ để tạo bề mặt lồi lõm, tăng hệ số tán xạ, được áp dụng cho tường xung quanh khán phòng. Ngoại trừ ghế khán giả, ghế nhạc công và trần thạch cao, phần còn lại của khán phòng được đặt là vật liệu tường gỗ 2.

Bảng 1. Hệ số hấp thụ và hệ số tán xạ âm bề mặt được cài đặt

	Hệ số hấp thụ âm						Hệ số tán xạ âm
	125	250	500	1000	2000	4000	
Tường gỗ 1	0,09	0,17	0,19	0,20	0,20	0,20	0,8
Tường gỗ 2	0,06	0,08	0,09	0,11	0,10	0,10	0,3
Khán giả	0,38	0,55	0,58	0,63	0,66	0,66	0,7
Thạch cao	0,15	0,10	0,06	0,04	0,04	0,05	0,05
Ghế nhạc công	0,03	0,04	0,07	0,10	0,14	0,14	0,3

2.3.2. Kết quả và phân tích

Dữ liệu âm học mô phỏng cho khu vực sân khấu và khán giả được tập hợp tại Bảng 2. Mô hình mô phỏng được đặt tên gồm phần chữ và phần số. Tường bên sân khấu thẳng đứng được ký hiệu là T và tường bên sân khấu được nghiêng xuống 1 góc 1/20 được ký hiệu là N. Mô hình không có tấm phản xạ được kết hợp với phần số 00. Mô hình có tấm phản xạ được treo tại cao độ 11,6 m hoặc 8,2 m được kết hợp với phần số lần lượt là 11 hoặc 08. Có tổng cộng 6 mô hình mô phỏng được nghiên cứu.

Mô hình với tường bên sân khấu thẳng đứng không có treo tấm phản xạ (T00) là mô hình cơ sở để so sánh với các mô hình khác.

Bảng 2. Dữ liệu âm học mô phỏng tại khu vực sân khấu và khu vực khán giả

Tường bên	Thẳng	Nghiêng	Thẳng	Nghiêng		
Tấm phản xạ	Không		Có			
Cao độ (m)	-	-	11,6	8,2	11,6	8,2
Mã	T00	N00	T11	T08	N11	N08
ST1 (dB)	-18,8	-18,5	-17,2	-14,3	-17,0	-15,6
G_s (dB)	7,4	7,5	7,8	8,6	7,8	8,6
EDT_s (s)	2,06	2,02	1,92	1,68	1,85	1,68
G_k (dB)	3,4	3,4	3,5	3,6	3,5	3,6
EDT_k (s)	2,00	1,99	1,95	1,93	1,95	1,93

Phương án N00 và N11 cho kết quả hỗ trợ sớm ST1 cao hơn một chút (0,3 dB) so với phương án T00 và T11 cho thấy sự hiệu quả của tường của tường nghiêng hai bên sân khấu khi không có hoặc có tấm phản xạ ở cao độ +11,6 m. Tuy nhiên, khi tấm phản xạ ở độ cao +8,2 m thì phương án T08 với tường thẳng đứng lại cho kết quả ST1 cao hơn phương án N08 với tường nghiêng là 1,3 dB và đạt -14,3 dB. Nguyên nhân là do tường bên sân khấu thẳng đứng đã hướng ra các âm phản xạ lên tấm phản xạ treo hoặc tường xung quanh khán phòng với hệ số tán xạ cao và được thiết kế nghiêng góc 1/6 đã hướng các tia âm phản xạ quay trở lại sân khấu với độ trễ trong vòng 100 mili giây và làm tăng giá trị hỗ trợ sớm ST1. Hỗ trợ sớm ST1 tăng tổng cộng 4,5 dB so với phương án cơ sở (T00).

Bằng cách nghiêng tường bên sân khấu, sử dụng tấm phản xạ âm, và hạ thấp xuống cao độ +8,2 m, thể tích khu không gian sân khấu giảm, sức mạnh âm G_s có cải thiện khoảng 1 dB và thời gian giảm âm sớm EDT_s giảm còn 1,68 giây.

Sức mạnh âm G_k trong khu vực khán giả không khác nhau giữa các mô hình với tường đứng và tường nghiêng tương ứng. Bằng cách đưa vào tấm phản xạ, và hạ thấp xuống cao độ +8,2 m, G_k tăng nhẹ và EDT_k giảm nhẹ không đáng kể.

3. Bàn luận

Các giải pháp thiết kế cải thiện chất lượng âm học sân khấu đã cải thiện đáng kể hỗ trợ sớm ST1. Sức mạnh âm G_s cũng được cải thiện và đồng thời thời gian giảm âm sớm

EDT_s cũng rút ngắn lại tại khu vực sân khấu. Tại khu vực khán giả, sức mạnh âm G_k tăng nhẹ và thời gian giảm âm sớm EDT_k giảm nhẹ không đáng kể.

Tổng hợp các kết quả dữ liệu, giải pháp tường nghiêng thẳng đứng kết hợp với tấm phản xạ âm treo ở cao độ +8,2 m so với nguồn âm tại vị trí độc tấu là một giải pháp an toàn và hiệu quả thúc đẩy phân bố năng lượng âm thanh cả ở khu vực sân khấu, đạt đến khoảng yêu thích từ -15 dB đến -12 dB mà không có tác động tiêu cực đến khu vực khán giả.

4. Kết luận

Thiết kế âm học sân khấu phù hợp dẫn đến sự đồng diễn hòa hợp giữa các nhạc công và kết quả làm cho chất lượng âm nhạc tốt hơn. Nghiên cứu này điều ra về khả năng cải thiện âm học sân khấu của khán phòng hòa nhạc kiểu ruộng bậc thang lớn và giảm những tác động tiêu cực đến khu vực khán giả. Nghiên cứu sử dụng mô hình máy tính mô phỏng bằng phần mềm ODEON 11.

Các kết luận là:

1. Cân nhắc cả tường bên sân khấu và tấm phản xạ treo, hỗ trợ sớm ST1 có thể cải thiện đối đa 4,5 dB và đạt -14,5 dB với phương án T08 sử dụng tường bên sân khấu thẳng đứng và tấm phản xạ treo ở cao độ +8,2 m so với nguồn âm ở vị trí độc tấu.

2. Hiệu quả của việc sử dụng tấm phản xạ treo để cải thiện hỗ trợ sớm ST1 là đáng kể hơn nhiều so với việc thay đổi độ nghiêng của tường bên sân khấu.

3. Các giải pháp thiết kế cải thiện âm học sân khấu cải

thiện sức mạnh âm G_s và đồng thời rút ngắn thời gian giảm âm sớm EDT_s tại khu vực sân khấu.

4. Các giải pháp thiết kế cải thiện âm học sân khấu có cải thiện không đáng kể đối với khu vực khán giả ở sức mạnh âm G_k và rút ngắn không đáng kể thời gian giảm âm sớm EDT_k.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R. A. Rasch, "Synchronization in performed ensemble music", *Acustica* 43, p. 121, 1979.
- [2] A. H. Marshall, D. Gottlob and H. Alrutz, "Acoustical conditions preferred for ensemble", *Acoustical Society of America* 64, p. 1437, 1978.
- [3] A. C. Gade, "Acoustical survey of eleven European concert halls - a basis for discussion of halls in Denmark", The acoustics laboratory, Technical University of Denmark, 1989.
- [4] L. Beranek, *Concert halls and opera houses: music, acoustics and architecture*, New York: Springer-Verlag, 2004.
- [5] M. Barron, "The Gulbenkian Great Hall, Lisbon, II: an acoustic study of a concert hall", *J. Sound Vib.* 59, pp. 481-502, 1978.
- [6] J. Meyer, *Acoustics and the performance of music*, New York: Springer, 2009.
- [7] M. Barron, *Auditorium Acoustics and Architectural Design*, London: E&FN SPON, 2009
- [8] Y. Toyota, "Acoustical design of the Walt Disney Concert Hall in Los Angeles", *The Journal of the Acoustical Society of America* 105, 1999.
- [9] A. H. Y. T. Motoo Komoda, "Acoustical Design of New Danish Radio Concert Hall", in *Proceedings of the International Symposium on Room Acoustics*, Melbourne, 2010.
- [10] Wei-Hwa Chiang, Wei Lin, Hui-Ping Wu, Bing-Jie Chiu. "Multi-dimensional Analyses of Large Vineyard Halls". *INTER NOISE 2012*, New York. August 19 th - 22 th.

(BBT nhận bài: 11/9/2017, hoàn tất thủ tục phản biện: 30/10/2017)