

# Đánh giá khả năng đáp ứng tiêu chí về độ thoải mái của hành khách khi đoàn tàu đi trên cầu đường sắt tốc độ cao theo tiêu chuẩn thiết kế của Việt Nam và một số nước

Assessing the criteria for comfort limit while trains travel on high-speed railway bridges according to the design standards of Vietnam and some foreign countries

> PGS.TS HOÀNG HÀ

Trường Đại học Giao thông vận tải

Email: hoangha@utc.edu.vn

## TÓM TẮT

Để đáp ứng yêu cầu về chất lượng phục vụ trong vận hành các đoàn tàu cao tốc di chuyển trên cầu trong các tuyến đường sắt tốc độ cao (ĐSTĐC), các giới hạn thoải mái liên quan đến độ võng của cầu và gia tốc dao động thẳng đứng trong toa xe được quan tâm đề xuất trong nhiều tiêu chuẩn thiết kế như: ISO 2631; Eurocode EN 1991-2; tiêu chuẩn thiết kế Shinkansen Nhật Bản (2006); tiêu chuẩn thiết kế cầu đường sắt Trung Quốc, Hàn Quốc, Việt Nam... Tuy nhiên, phương pháp tiếp cận, tiêu chí đánh giá của các tiêu chuẩn thiết kế của các nước khác nhau về vấn đề trên có sự khác biệt ở mức độ khác nhau. Bài báo này giới thiệu kết quả nghiên cứu về cơ sở khoa học đưa ra quy định và tiêu chí đánh giá giới hạn về độ thoải mái của hành khách theo một số tiêu chuẩn thiết kế của các nước khác nhau, so sánh với quy định của TCVN 13594-x-2022. Nội dung áp dụng cụ thể cho một số dạng kết cấu cầu dầm giản đơn cũng được phân tích nhằm phục vụ tham khảo ứng dụng trong thiết kế cầu trên ĐSTĐC ở Việt Nam.

**Từ khóa:** Đường sắt tốc độ cao; tiêu chuẩn thiết kế cầu trên đường sắt; giới hạn thoải mái; giới hạn độ võng của kết cấu cầu.

## ABSTRACT

To meet the requirements for service quality in the operation of high-speed trains moving on bridges in high-speed railway lines (HSR), the comfort limits related to bridge deflection and vertical oscillation acceleration in the train cars are proposed in many design standards such as: ISO 2631; Eurocode EN 1991-2; Japanese Shinkansen design standards (2006); Chinese, Korean, Vietnamese Railway Bridge Design Standards... However, the approaches and evaluation criteria of the Design Standards of different countries on the above issue are not completely consistent. This article introduces the results of research on the scientific basis for regulations and evaluation criteria for passenger comfort limits according to some Design Standards of different countries, compared with the regulations of TCVN 13594-x-2022. The specific application content for some types of simple girder bridge structures is also analyzed to serve as reference for application in bridge design on high-speed railways in Vietnam.

**Keywords:** High-speed railway; design standards for railway bridges; comfort limits; deflection limits of bridge structures.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, với kỹ thuật và công nghệ hiện đại, đặc trưng dao động của công trình có thể được đánh giá với độ chính xác thỏa đáng và được sử dụng làm căn cứ để ước tính độ an toàn và vững chắc của các công trình xây dựng. Trên các tuyến ĐSTĐC, trong khi chịu tác động của đoàn tàu cao tốc, hệ thống đoàn tàu - đường ray - kết cấu cầu phát sinh dao động mạnh, dẫn đến các hiệu ứng lực và

chuyển vị động lớn. Mức độ ảnh hưởng do dao động của hệ thống nêu trên phụ thuộc vào đặc trưng cấu hình của đoàn tàu, tốc độ di chuyển và thông số kỹ thuật của kết cấu cầu (gồm cả tình trạng kỹ thuật của đường ray)... Vì vậy, trong nhiều trường hợp, mức độ tác động này chưa phải là kể cận giới hạn an toàn nhưng có thể tiềm ẩn nguy cơ làm giảm tính ổn định vận hành, đặc biệt là không đáp ứng giới hạn thoải mái (comfort limits) cho hành khách trên tàu.

Tiêu chí đáp ứng phục vụ theo giới hạn độ thoải mái được đánh giá bằng cách đo các đặc trưng rung động, nhìn chung là giá trị gia tốc dao động theo phương thẳng đứng tối đa được xem xét. Tuy nhiên, việc đo trực tiếp gia tốc theo phương thẳng đứng của phương tiện đi qua cầu là rất khó [3]. Do đó, việc tính toán phản ứng đo gia tốc theo phương thẳng đứng của phương tiện bằng cách phân tích tương tác đoàn tàu - đường ray - kết cấu cầu và sử dụng nó để ước tính là hợp lý (Sogabe, 2006). Tiêu chuẩn thiết kế cho kết cấu đường sắt của Nhật Bản (RTRI, 2006), Eurocodes và một số tiêu chuẩn khác đã sử dụng độ dịch chuyển theo phương thẳng đứng của cầu làm tiêu chí đánh giá giới hạn khả năng phục vụ do rung động của đường sắt. Bằng phương pháp này, rung động của đường sắt có thể được ước tính mà không cần phân tích phức tạp tương tác đoàn tàu - đường ray - kết cấu cầu.

Theo ISO 2631 (1997) thì việc sử dụng tín hiệu đo gia tốc sẽ không phù hợp khi các giá trị tín hiệu phức tạp. Thay vào đó, giá trị hiệu dụng bình quân (Root Mean Square-RMS) nên được sử dụng để ước tính khả năng phục vụ rung động. Khi biên độ thay đổi của gia tốc lớn có thể thay bằng giá trị hiệu dụng căn bậc 4 (Root Mean Quad -RMQ). Do RMS và RMQ chưa đề cập đến thời gian rung động nên giá trị mức độ rung động (Vibration Dose Value -VDV) được khuyến nghị sử dụng để ước tính khả năng phục vụ rung động. Bruggers (2002) đã đề xuất một giới hạn gia tốc thẳng đứng giảm dần khi thời lượng rung động tăng lên bằng cách sử dụng VDV để phản ánh đầy đủ tác động của thời lượng rung động.

Các quan điểm tiếp cận và tiêu chí khác nhau dẫn đến sự khác biệt trong các quy định và phương pháp đánh giá của các tiêu chuẩn. Nội dung nghiên cứu sau đây sẽ tập trung phân tích sự khác biệt về bản chất tiếp cận và tiêu chí đánh giá được đưa ra theo các tiêu chuẩn thiết kế khác nhau. Nội dung so sánh tiêu chí về độ thoải mái của hành khách theo các tiêu chuẩn cũng được so sánh với tính toán lý thuyết để làm rõ mức độ nghiêm ngặt của nội dung quy định trong các tiêu chuẩn làm cơ sở chọn lựa mức độ phù hợp trong quá trình thiết kế cầu trên ĐSTĐC ở Việt Nam.

## 2. TIÊU CHÍ ĐÁNH GIÁ PHẢN ỨNG CỦA CON NGƯỜI ĐỐI VỚI TRẠNG THÁI RUNG ĐỘNG

Mục đích là đánh giá đặc trưng dao động (thường là giá trị gia tốc) của hệ kết cấu mà con người sẽ chịu ảnh hưởng do tiếp xúc hoặc cùng dao động với nó. Các phương pháp đo gồm:

### 2.1. Giá trị hiệu dụng bình quân RMS

Thể hiện giá trị gia tốc thông qua giá trị hiệu dụng bình quân tính theo công thức (1).

$$RMS = \ddot{u}_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \ddot{u}_w^2(t) dt} \quad (1)$$

Trong đó:  $\ddot{u}_{rms}$ ,  $\ddot{u}_w(t)$  - Giá trị gia tốc hiệu dụng bình quân và giá trị gia tốc tại thời điểm  $w$ ;  $T$  - Tổng thời gian đo. Giá trị gia tốc đỉnh sẽ được suy ra từ RMS bằng cách nhân với  $\sqrt{2} = 1,414$ . Tuy nhiên, các nghiên cứu cho thấy khi giá trị gia tốc phức tạp, giá trị đỉnh đo được thường không chính xác. Mặt khác, khi  $T$  khác nhau thì RMS cũng khác nhau.

### 2.2. Thể hiện bằng giá trị căn bậc 4

Sử dụng khi sự biến động của tín hiệu gia tốc lớn, theo công thức (2):

$$RMQ = \ddot{u}_{rmqv} = \sqrt[4]{\frac{1}{T} \int_0^T \ddot{u}_w^4(t) dt} \quad (2)$$

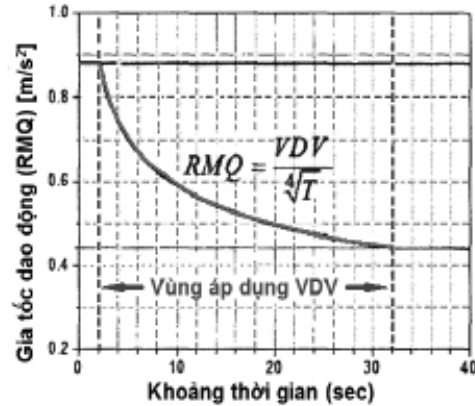
Đơn vị của RMS và RMQ là  $m/s^2$ .

### 2.3. Giá trị Vibration Dose Value - VDV

Do các giá trị nêu trên chưa đề cập đến thời gian dao động nên ISO 2631 (1997) và BS 6841 (1987) đưa vào khái niệm VDV:

$$VDV = \sqrt[4]{\int_0^T \ddot{u}_w^4(t) dt} \quad (m/s^{1,75}) \quad (3)$$

Giới hạn về gia tốc rung động đáp ứng tiêu chí của ISO 2631 theo RMQ là  $0,8 m/s^2$ , từ đó suy ra giá trị chuyển đổi sang VDV trong khoảng từ 2 đến 32 sec như trên Hình 1.



Hình 1. Giới hạn gia tốc đáp ứng thoải mái có xét đến thời gian dao động Jeon và Kim (2007) đã chứng minh tác động đáng kể của thời gian rung động lên ước tính định lượng về khả năng phục vụ ở trạng thái rung động của một cây cầu và việc xem xét của thời gian rung động là hợp lý.

## 3. KIỂM SOÁT GIỚI HẠN ĐỘ VỔNG MẶT CẦU ĐỂ ĐÁP ỨNG TIÊU CHÍ THOẢI MÁI (TIÊU CHÍ TIỆN ÍCH)

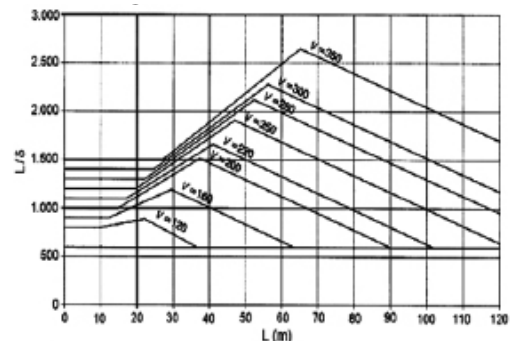
### 3.1. Theo Eurocodes (TCVN 13594.X.2022)

Trong Eurocodes và TCVN 13594.x.2022, yếu tố được sử dụng để xác định tiêu chí thoải mái của hành khách trong điều kiện rung động của tàu chở khách là gia tốc thẳng đứng của cửa xe  $b_v$  khi di chuyển trên cầu và ra khỏi cầu ghi trong Bảng 1.

Bảng 1. Mức độ tiện nghi (độ thoải mái) khuyến nghị

Mức độ tiện nghi (thoải mái)	Gia tốc thẳng đứng $b_v$ ( $m/s^2$ )
Rất tốt	1,0
Tốt	1,3
Chấp nhận	2,0

Do việc xác định  $b_v$  là khó khăn nên thông số này biểu thị thông qua tỷ lệ giữa chiều dài nhịp cầu  $L$  và độ võng tối đa cho phép do hoạt tải  $\delta$  ( $L/\delta$ ). Biểu đồ quan hệ giữa ( $L/\delta$ ) và  $L$  cho trường hợp  $b_v = 1,0 m/s^2$  trình bày trên Hình 2.



Hình 2. Chuyển vị thẳng đứng cho phép lớn nhất  $\delta$  cho cầu có  $\geq 3$  nhịp giản đơn kế tiếp nhau với gia tốc thẳng đứng cho phép  $b_v = 1,0 m/s^2$  trong một toa theo vận tốc  $v$  (km/h)

Chuyển vị thẳng đứng  $\delta$  được xác định với mô hình LM 71 nhân với hệ số hệ số động lực  $\phi$  và giá trị của  $\alpha = 1$ , tương ứng với Điều 11.4, TCVN 13594-3:2022.

Các giá trị  $L/\delta$  đưa ra trong Hình 2 cho các dầm được góidỡ đơn giản với ba nhịp hoặc nhiều hơn. Với cầu một nhịp đơn hoặc một dầm của hai dầm giản đơn hoặc hai nhịp liên tục, các giá trị  $L/\delta$

được cho trong Hình 2 được nhân với 0,7. Đối với các chuỗi liên tục có ba hoặc nhiều nhịp hơn, các giá trị của  $L/\delta$  được cho trong Hình 2 được nhân với 0,9.

Đối với các mức độ thoải mái khác và gia tốc thẳng đứng tối đa cho phép liên quan, các giá trị của  $L/\delta$  được cho trong Hình 2 có thể được chia cho  $b_v$  ( $m/s^2$ ).

**3.2. Tiêu chuẩn thiết kế Shinkansen của Nhật Bản**

Viện Nghiên cứu Kỹ thuật đường sắt (RTRI) tại Nhật Bản xác định rằng, độ rung động tối đa của một đoàn tàu chủ yếu được xác định bởi hình dạng của kết cấu đường ray và độ nhám của nó. Từ kết quả nghiên cứu và thực nghiệm, tiêu chí tiện ích cũng được đưa ra bằng cách kiểm soát độ võng thẳng đứng tối đa dưới tác dụng của đoàn tàu như trong Bảng 2.

Bảng 2. Độ võng thẳng đứng tối đa cho phép của cầu đường sắt Shinkansen

Tốc độ	Chiều dài nhịp L(m)										
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
Nhịp gián đoạn	L/3500		L/3000	L/2200	L/1800	L/1500					
Nhịp liên tục	L/3500		L/2800	L/2200							

**3.3. Tiêu chuẩn cầu đường sắt Hàn Quốc (KRNA, 2007)**

Bảng 3 cho thấy các giới hạn độ võng cho phép đối với cầu đường sắt lấy từ tiêu chuẩn thiết kế cầu đường sắt Hàn Quốc, trong đó độ võng cho phép được phụ thuộc tốc độ của tàu, điều này cho thấy ý định xác định khả năng sử dụng rung động bằng cách xem xét một phần thời gian rung động được xác định từ nhịp cầu (L) và tốc độ (v) của tàu. Giới hạn gia tốc theo phương thẳng đứng của phương tiện đáp ứng yêu cầu tiện ích được đưa ra là  $1,0 m/s^2$ , cũng giống như giới hạn của Eurocodes, Ngoài ra, khi tốc độ chạy của tàu tăng lên, các tiêu chuẩn độ võng cho phép nghiêm ngặt hơn được áp dụng để tăng độ ổn định khi chạy của tàu và loại trừ khả năng cộng hưởng.

Bảng 3. Giới hạn độ võng theo tiêu chuẩn thiết kế cầu đường sắt Hàn Quốc

Tốc độ	Chiều dài nhịp	
	$0 m < L < 50 m$	$L \geq 50 m$
$v \leq 120 km/h$	$\delta_{max} = L/800$	$\delta_{max} = L/700$
$120 km/h < v \leq 150 km/h$	$\delta_{max} = L/1100$	$\delta_{max} = L/900$
$150 km/h < v \leq 200 km/h$	$\delta_{max} = L/1600$	
$> 200 km/h$ (cao tốc)	$\delta_{max} = L/1700$	

**3.4. Tiêu chuẩn cầu đường sắt Trung Quốc (TB 10621)**

Tiêu chuẩn thiết kế cầu đường sắt Trung Quốc cũng quy định độ võng cho phép được phụ thuộc tốc độ của tàu trên cơ sở tham khảo Eurocodes ghi trong Bảng 4.

Bảng 4. Tỷ lệ  $L/\delta_{max}$  của cầu thỏa mãn tiêu chí tiện ích khi vận tốc 350 km/h

Tiêu chuẩn		Tỷ lệ $L/\delta_{max}$ tương ứng với chiều dài L (m)											
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Eurocodes, Việt Nam	GĐ	1500	1500	1700	1900	2200	2500	2600	2400	2250	2050	1850	1700
	LT	1350	1350	1530	1710	1980	2250	2340	2160	2025	1845	1665	1430
Nhật Bản	GĐ	3500	3500	3000	2200	1800	1500	1500	1500	1500	1500	-	-
	LT	3500	3500	2800	2200	1800	2200	2200	2200	2200	2200	-	-
Hàn Quốc	GĐ	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700
	LT												
Trung Quốc	GĐ	1600	1600	1600	1900	1900	1900	1900	1900	1500	1500	1500	1500
	LT	1454	1454	1454	1727	1727	1727	1727	1727	1363	1363	1363	1363

Ghi chú: Tiêu chuẩn Trung Quốc và Hàn Quốc không giới hạn chiều dài nhịp.

Bảng 4. Giới hạn độ võng theo Tiêu chuẩn thiết kế cầu đường sắt Trung Quốc

Tốc độ	Chiều dài nhịp		
	$L \leq 40 m$	$40 m < L \leq 80 m$	$L > 80 m$
250 km/h	$\delta_{max} < L/1400$	$\delta_{max} < L/1400$	$< L/1000$
300 km/h	$\delta_{max} < L/1500$	$\delta_{max} < L/1600$	$< L/1100$
350 km/h	$\delta_{max} < L/1600$	$\delta_{max} < L/1900$	$< L/1500$

\*) Quy định về giới hạn độ võng thẳng đứng của dầm cầu:

- Đối với dầm liên tục có từ 3 nhịp trở lên, giới hạn độ võng thẳng đứng của dầm được lấy bằng 1,1 lần giá trị trong Bảng 4.

- Đối với dầm liên tục 2 nhịp hoặc dầm giản đơn hai tuyến có từ 2 nhịp trở xuống, giới hạn độ võng thẳng đứng được lấy bằng 1,4 lần giá trị trong Bảng 4.

- Đối với dầm giản đơn hoặc dầm liên tục đơn tuyến, giới hạn độ võng thẳng đứng được lấy bằng 0,6 lần giá trị giới hạn tương ứng của cầu hai tuyến.

**3.5. Nhận xét quy định tiêu chí đánh giá mức độ thoải mái cho hành khách theo các tiêu chuẩn thiết kế**

- Các tiêu chuẩn đều quy định tiêu chí đáp ứng tiện ích (sự thoải mái) thông qua tỷ lệ độ võng cực đại so với chiều dài nhịp có xét đến yếu tố vận tốc đoàn tàu và thời gian dao động nhưng không có chỉ dẫn thật rõ ràng về quy trình đánh giá.

- Phạm vi chiều dài nhịp, loại kết cấu cầu được xem xét của các tiêu chuẩn cũng không thống nhất và thiếu rõ ràng.

- Phương pháp xác định giá trị độ võng cực đại ( $\delta$  hoặc  $\delta_{max}$ ) do tác dụng của đoàn tàu dùng để kiểm soát tiêu chí tiện ích không có sự thống nhất.

**4. PHÂN TÍCH SO SÁNH TIÊU CHÍ TIỆN ÍCH (ĐỘ THOẢI MÁI CỦA HÀNH KHÁCH) THÔNG QUA TỶ LỆ ĐỘ VÕNG CỦA KẾT CẤU NHỊP CẦU THEO CÁC TIÊU CHUẨN THIẾT KẾ KHÁC NHAU**

**4.1. Phạm vi so sánh**

Phương pháp tiếp cận của phần lớn các tiêu chuẩn như Eurocodes, Việt Nam, Trung Quốc, Nhật Bản đều nghiên cứu trên cơ sở kết cấu nhịp cầu giản đơn, sau đó tham chiếu đến cầu liên tục nên trong nghiên cứu này cũng phân tích cho cả cầu dầm giản đơn (GĐ) và liên tục (LT) để việc so sánh, đối chiếu được thuận lợi. Để tính toán độ võng của nhịp cầu, các tiêu chuẩn Eurocodes và Việt Nam lấy mô hình đoàn tàu tiêu chuẩn LM-71 có xét đến hệ số động lực  $\varphi$ . Tiêu chuẩn Trung Quốc lấy mô hình đoàn tàu bằng 80% LM-71 (hệ số  $\alpha = 0,8$ ). Các tiêu chuẩn của Nhật Bản phân tích trên mô hình đoàn tàu Shinkansen và tiêu chuẩn Hàn Quốc sử dụng đoàn tàu KTX.

Kết quả tổng hợp quy định về giới hạn độ võng thẳng đứng lớn nhất đáp ứng tiêu chí về sự thoải mái của hành khách theo các tiêu chuẩn khác nhau cho trường hợp cầu giản đơn và liên tục chịu vận tốc di động của đoàn tàu bằng 350 km/h ghi trong Bảng 5.

**4.2. Phân tích cơ sở lý thuyết quy định với giới hạn độ võng thỏa mãn điều kiện tiện ích**

Xu hướng tần số gia tốc dao động của đoàn tàu khi đi qua cầu gần với xu hướng của kích thích cưỡng bức có dạng sóng điều hòa hình sin có chu kỳ bằng nhịp cầu và có thể được biểu thị theo hàm tốc độ đoàn tàu ( $v_x$ ) và nhịp cầu (L) theo RTRI (2006).

a) Với cầu giản đơn:

- Phương trình độ võng của dầm:

$$z = -\delta_{z,b,sim} \sin\left(\frac{\pi}{L} x\right) \tag{4}$$

- Gia tốc mặt cầu theo phương đứng:

$$\ddot{u}_{z,b,sim} = \frac{d^2}{dt^2} = \pi^2 \left(\frac{v_x}{L}\right)^2 \delta_{z,b,sim} \sin\left(\frac{\pi}{L} v_x t\right) \tag{5}$$

- Gia tốc dao động cực đại của mặt cầu:

$$\ddot{u}_{z,b,sim}^{max} = \pi^2 \left(\frac{v_x}{L}\right)^2 \delta_{z,b,sim} \tag{6}$$

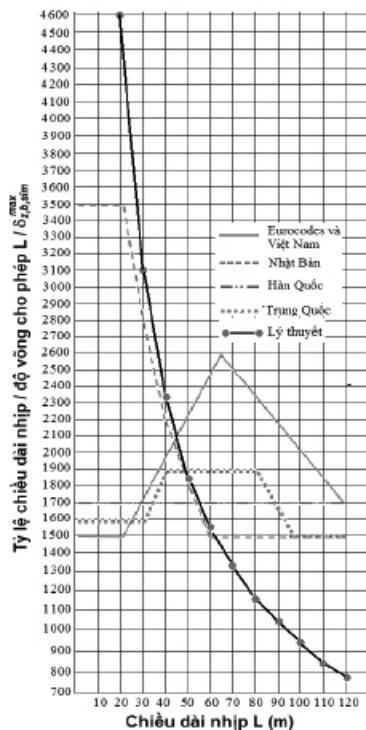
Điều kiện để đảm bảo tiêu chí thoải mái là  $\ddot{u}_{z,b,sim}^{max} \leq bv$ . Thay vào (6) có được phương trình mô tả độ võng cho phép lớn nhất (7):

$$\delta_{z,b,sim}^{max} = \frac{L^2}{\pi^2 v_x^2} b_v \tag{7}$$

Áp dụng công thức (7) để khảo sát giá trị độ võng cho phép ( $\delta_{z,b,sim}^{max}$ ) và tỷ lệ ( $L/\delta_{z,b,sim}^{max}$ ) tương ứng với các chiều dài nhịp L của cầu giản đơn đáp ứng tiêu chí thoải mái của hành khách ghi trong Bảng 6 và Hình 3.

Bảng 6. Độ võng cho phép  $\delta_{z,b,sim}^{max}$  và tỷ lệ ( $L/\delta_{z,b,sim}^{max}$ ) tương ứng với chiều dài nhịp L của cầu giản đơn thỏa mãn tiêu chí độ thoải mái  $b_v = 1,0 \text{ m/s}^2$  và tốc độ 350 km/h

Nhịp (m)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$\delta_{z,b,sim}^{max}$ (mm)	1,072	4,288	9,648	17,152	26,800	38,592	52,528	68,608	86,832	107,21	129,71	154,3
$L/\delta_{z,b,sim}^{max}$	9328	4662	3109	2332	1865	1544	1332	1116	1036	932	848	777



Hình 3. Quan hệ giữa tỷ lệ  $L/\delta_{z,b,sim}^{max}$  với chiều dài nhịp L của cầu giản đơn đáp ứng tiêu chí thoải mái của hành khách theo tiêu chuẩn thiết kế cầu ĐSTĐC của một số nước và tính toán lý thuyết

b) Với cầu liên tục:

- Phương trình độ võng của dầm:

$$z = \frac{\delta_{z,b,con}}{2} \left[ 1 - \cos\left(\frac{2\pi}{L} x\right) \right] \tag{8}$$

- Gia tốc mặt cầu theo phương đứng:

$$\ddot{u}_{z,b,con} = \frac{d^2}{dt^2} = 2\pi^2 \left(\frac{v_x}{L}\right)^2 \delta_{z,b,con} \cos\left(\frac{2\pi}{L} v_x t\right) \tag{9}$$

- Gia tốc dao động cực đại của mặt cầu:

$$\ddot{u}_{z,b,con}^{max} = 2\pi^2 \left(\frac{v_x}{L}\right)^2 \delta_{z,b,con} \tag{10}$$

Điều kiện để đảm bảo tiêu chí thoải mái là  $\ddot{u}_{z,b,con}^{max} \leq bv$ . Thay vào (10) có được phương trình mô tả độ võng cho phép lớn nhất:

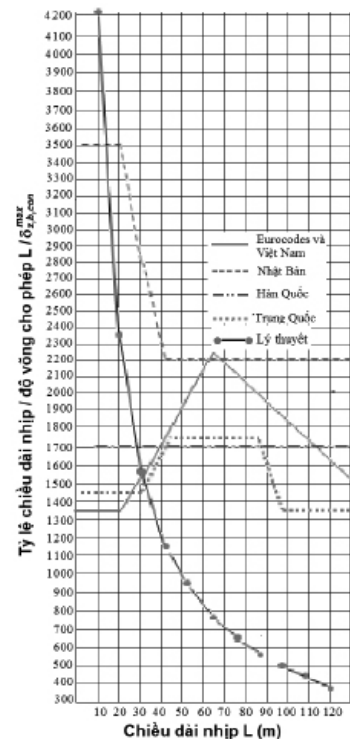
$$\delta_{z,b,con}^{max} = \frac{L^2}{2\pi^2 v_x^2} b_v \tag{11}$$

Áp dụng công thức (11) để khảo sát giá trị độ võng cho phép ( $\delta_{z,b,con}^{max}$ ) và tỷ lệ ( $L/\delta_{z,b,con}^{max}$ ) tương ứng với các chiều dài nhịp L của cầu liên tục đáp ứng tiêu chí thoải mái của hành khách ghi trong Bảng 7 và Hình 4.

**4.3. Nhận xét và thảo luận**

- Kết quả khảo sát ở các Bảng 6 và Hình 3, cho thấy với dầm giản đơn quy định về tiêu chí độ thoải mái theo tiêu chuẩn Nhật Bản phù hợp với lý thuyết hơn các quy định của các tiêu chuẩn Eurocodes, Việt Nam, Trung Quốc và Hàn Quốc.

- Bảng 7 và biểu đồ trên Hình 4 cho thấy sự khác biệt rõ giữa quy định theo các tiêu chuẩn và với quy luật lý thuyết.



Hình 4. Quan hệ giữa tỷ lệ  $L/\delta_{z,b,con}^{max}$  với chiều dài nhịp L của cầu liên tục đáp ứng tiêu chí thoải mái của hành khách theo tiêu chuẩn thiết kế cầu ĐSTĐC của một số nước và tính toán lý thuyết

Bảng 7. Độ võng cho phép ( $\delta_{z,b,con}^{max}$ ) và tỷ lệ ( $L/\delta_{z,b,con}^{max}$ ) tương ứng với chiều dài nhịp L của cầu liên tục thỏa mãn tiêu chí độ thoải mái  $b_v = 1,0 \text{ m/s}^2$  và tốc độ 350 km/h

Nhịp (m)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$\delta_{z,b,con}^{max}$ (mm)	0,536	2,144	4,824	8,576	13,400	19,296	26,264	34,304	43,406	53,605	64,852	77,109
$L/\delta_{z,b,con}^{max}$	4664	2331	1555	1661	932	772	666	558	508	466	424	388

- Nhìn chung quy định về sự thoải mái của hành khách theo các tiêu chuẩn thiết kế cầu ĐSTĐC của Việt Nam và Trung Quốc đều chủ yếu dựa trên tiêu chuẩn Eurocodes. Sự sửa đổi nêu ra trong tiêu chuẩn Trung Quốc là do nguyên nhân: i) Dùng mô hình tải trọng đoàn tàu (ZK) nhẹ hơn so với mô hình đoàn tàu tiêu chuẩn LM-71 của Eurocodes; ii) Nhóm gọn theo phạm vi chiều dài nhịp nhằm phục vụ tiêu chuẩn hóa kết cấu cầu [8]

- Biểu đồ so sánh giá trị của tỷ lệ  $L/\delta_{z,b,con}^{max}$  tương ứng với chiều dài nhịp thể hiện trên Hình 3 và Hình 4 cho thấy với chiều dài nhịp  $L \leq 30 \text{ m}$ , các tiêu chuẩn Nhật Bản, Hàn Quốc và Trung Quốc có yêu cầu về độ võng lớn nhất ( $\delta_{max}$ ) của dầm khổ khe hơn so với các tiêu chuẩn Eurocodes và của Việt Nam. Với các chiều dài nhịp  $L > 45 \text{ m}$  độ chặt chẽ về độ võng ( $\delta_{max}$ ) có xu thế giảm nhỏ.

- Quy định về tỷ lệ nhịp/độ võng ( $L/\delta_{z,b,con}^{max}$ ) cho phép để đáp ứng tiêu chí thoải mái theo tiêu chuẩn Hàn Quốc không phụ thuộc chiều dài nhịp, không phân biệt cầu giản đơn và cầu liên tục và ngoại trừ khoảng chiều dài nhịp từ 10 m đến 30 m có quy định chặt chẽ hơn nhóm các tiêu chuẩn Eurocodes. Việt Nam và Trung Quốc, các chiều dài nhịp khác đều quy định kém chặt chẽ hơn (nhỏ hơn khoảng 25% - 35% trong khoảng nhịp từ 40 m đến 80 m và từ 0 - 15% với khoảng chiều dài nhịp từ 80 m đến 120 m.

- Quy định về tiêu chí theo tiêu chuẩn Nhật Bản phân biệt rất rõ về loại cầu: Với cầu giản đơn tiêu chuẩn này quy định chặt chẽ hơn các tiêu chuẩn khác cho khoảng nhịp ngắn hơn 50 m nhưng lại kém chặt chẽ hơn các tiêu chuẩn khác cho các khoảng chiều dài nhịp lớn hơn; với cầu liên tục, tiêu chuẩn Nhật Bản quy định chặt chẽ hơn các tiêu chuẩn khác trong tất cả các chiều dài nhịp.

### 5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu về tiêu chí đáp ứng sự thoải mái của hành khách đi tàu khi đoàn tàu di chuyển với tốc độ cao trên các tuyến ĐSTĐC là vấn đề rất mới mẻ đối với các kỹ sư thiết kế và xây dựng cầu ở Việt Nam. Với tiếp cận và nghiên cứu bước đầu có thể đưa ra một số kết luận sau:

- Cảm nhận về sự thoải mái (tiêu chí tiện ích) của hành khách đi tàu trên các tuyến ĐSTĐC, đặc biệt là khi đoàn tàu di chuyển trên các kết cấu nhịp cầu phụ thuộc vào tâm, sinh lý của con người nhưng được đánh giá là rất cần thiết trong đánh giá chất lượng phục vụ và được quy định trong các tiêu chuẩn thiết kế cầu trên ĐSTĐC.

- Tham số quyết định được xác định là dao tốc dao động thẳng đứng của toa xe trong đoàn tàu ( $\ddot{u}_{z,m}^{max}$ ) nhưng do khó khăn trong việc đo trực tiếp giá trị gia tốc này nên trong các tiêu chuẩn thiết kế đều quy định gián tiếp thông qua độ võng động lực lớn nhất theo phương thẳng đứng ( $\delta_{z,b}^{max}$ ) của dầm cầu trong thời gian đoàn tàu chạy trên nó, từ đó thiết lập mối quan hệ giữa ( $\delta_{z,b}^{max}$ ) và chiều dài nhịp L sao cho thỏa mãn gia tốc đáp ứng sự thoải mái ( $b_v$ ). Tuy nhiên, do thông số kỹ thuật đặc trưng của đoàn tàu, loại kết cấu nhịp, phương pháp đánh giá chất lượng thực tế của đường ray... nên quy định kiểm soát tiêu chí này trong các tiêu chuẩn khác nhau cũng khác nhau.

- Nghiên cứu này cũng cho thấy các quy định về kiểm soát độ võng hướng tới chất lượng tiện ích của các Tiêu chuẩn ISO-263, Eurocodes và của Việt Nam có mức yêu cầu chất lượng cao hơn cho

các cầu giản đơn có chiều dài lớn hơn 40 m. Các khoảng chiều dài nhịp  $L \leq 40 \text{ m}$  cần tham khảo các tiêu chuẩn Nhật Bản, Hàn Quốc và Trung Quốc. Đối với cầu liên tục, mặc dù tiêu chuẩn Eurocodes và của Việt Nam đã quy định chặt chẽ hơn các tiêu chuẩn của Hàn Quốc và Trung Quốc nhưng kết quả nghiên cứu cho thấy quy định của tiêu chuẩn Nhật Bản rất đáng quan tâm.

Kết luận chung trong bài toán thiết kế cầu trên ĐSTĐC, để lựa chọn tham số độ võng do đoàn tàu đáp ứng tiêu chí tiện ích cần nghiên cứu so sánh các tiêu chuẩn áp dụng phù hợp.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. TCVN 13594-1:2022, Thiết kế cầu đường sắt khổ 1.435 mm, vận tốc đến 350 km/h - Phần 1: Yêu cầu chung.
- [2]. TCVN 13594-4:2022, Thiết kế cầu đường sắt khổ 1.435 mm, vận tốc đến 350 km/h - Phần 4: Phân tích và đánh giá kết cấu.
- [3]. EN 1990+A2, Basic of Structure Design, EN 1991-2, Action on Bridge - Traffic loads on Bridges.
- [4]. TB 10621, Code for Design of High Speed railway.
- [5]. UIC Code 776-2R (2009), Design requirements for rail-bridges based on interaction phenomena between train, track and bridge, The International Union of Railways (UIC).
- [6]. California High-Speed Train Project Design Criteria (CHSTDC), 2014.
- [7]. Bub-Gyu Jeon.-Nam-Sik Kim.-Sung-II Kim (December 2011), Deflection Limit based on Vibration Serviceability of Railway Bridges Considering the Correlation between Train Speed and Vertical Acceleration on Coach, Journal of the Korean Railway Association, vol.14, no.6. pp.545-554
- [8]. He, X., Wu, T., et others (2017), Recent developments of high-speed railway bridges in China, Structure and Infrastructure Engineering.
- [9]. Björklund, L. (2005), Dynamic Analysis of a Railway Bridge (Master Thesis, Royal Institute of Technology (KTH).
- [10]. J.M. Goicolea, P. Antolin (April 2012), Dynamics of High-Speed Railway Bridges: Review of Design Issues and New research for Lateral Dynamics, International Journal of Railway Technology.
- [11]. Xiang Xiao, Dongping Pi, Qing Zhu (2022), A bridge weigh-in-motion algorithm for fast-passing railway freight vehicles considering bridge-vehicle interaction, Mechanical Systems and Signal Processing 181, 109493.