

# Nghiên cứu tính toán tà vẹt bê tông dự ứng lực đáp ứng điều kiện kỹ thuật đường sắt tốc độ cao tại Việt Nam

Research on the calculation of prestressed concrete sleepers to meet the technical requirements of high-speed railways in Vietnam

>TS TRẦN ANH DŨNG

Trường Đại học Giao thông vận tải  
Email: trananhdung@utc.edu.vn

## TÓM TẮT

Hiện nay, kết cấu tầng trên đường sắt tốc độ cao trên thế giới sử dụng hai loại kết cấu là đường có đá ballast và đường không có đá ballast. Đối với kết cấu tầng trên có đá ballast, tà vẹt bê tông dự ứng lực (TVBT DƯL) đã được sử dụng phổ biến và rộng rãi nhất trên thế giới. Việt Nam hiện nay cũng đã làm chủ được công nghệ sản xuất TVBT DƯL, tuy nhiên các sản phẩm tà vẹt chủ yếu phục vụ cho đường sắt chuyên dùng, đường sắt phổ thông và đường sắt đô thị. TVBT DƯL cho đường sắt tốc độ cao vẫn chưa được nghiên cứu. Bài báo đề xuất nghiên cứu tính toán một dạng kết cấu TVBT DƯL cho đường sắt tốc độ cao đáp ứng điều kiện kỹ thuật của Việt Nam như tốc độ thiết kế 350 km/h, tải trọng trục 22,5 tấn/trục. Tà vẹt được đề xuất thiết kế với vật liệu bê tông cường độ cao C60, thép dự ứng lực  $\Phi 7$  được sử dụng trong tính toán với mô hình dầm trên nền đàn hồi. Kết quả tính toán cho thấy tà vẹt hoàn toàn đảm bảo yêu cầu về khả năng chịu lực.

**Từ khóa:** Tà vẹt bê tông dự ứng lực, đường sắt tốc độ cao, đường có đá ballast, tải trọng trục, thiết kế.

## ABSTRACT

Currently, the superstructure of high-speed railways worldwide employs two types of structures: ballasted and ballastless tracks. For the superstructure with ballasted, prestressed concrete sleepers (PCS) have been used most popularly and widely in the world. Vietnam has mastered the technology of producing prestressed concrete sleepers. However, these sleepers are primarily used for specialized, conventional, urban railway systems. Prestressed concrete sleepers for high-speed railways have not yet been studied. This article proposes a study to calculate a type of prestressed concrete sleeper structure for high-speed railways that meets the technical conditions of Vietnam such as the design speed of 350 km/h and, axle load of 22.5 tons/axle. The proposed sleeper is designed using high-strength C60 concrete, with prestressing steel  $\Phi 7$  and is analyzed based on the model of the beam on the elastic foundation. The calculation results show that the sleeper fully meets the required load-bearing capacity.

**Keywords:** Prestressed concrete sleepers, highspeed railway, ballasted track, axle load, design.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đường sắt được xác định là một trong ba đột phá chiến lược cần ưu tiên đầu tư để phát triển kinh tế - xã hội, ngoài ra còn bảo đảm quốc phòng - an ninh, thích ứng với biến đổi khí hậu và phát triển bền vững [1]. Ngày 30/11/2024, Quốc hội Việt Nam đã thông qua chủ trương đầu tư dự án đường sắt tốc độ cao trên trục Bắc - Nam, là một trong những dự án hạ tầng giao thông quan trọng của Việt Nam, nhằm kết nối Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh, đi qua 20 tỉnh, thành phố trực thuộc Trung ương với tổng chiều dài khoảng 1.541 km, tuyến đường đôi khổ 1.435 mm, tốc độ thiết kế 350 km/h,

tải trọng trục 22,5 tấn/trục [2]. Dự án là công trình có quy mô lớn nhất từ trước đến nay, chưa có tiền lệ thực hiện. Điều này cũng đặt ra nhiều thách thức cho quá trình triển khai xây dựng dự án ở Việt Nam về mặt công nghệ và kỹ thuật. Với công nghệ đường sắt tốc độ cao chạy trên ray hiện đang tồn tại hai dạng kết cấu tầng trên là kết cấu đường có đá ballast và kết cấu đường không có đá ballast [3-7]. Trong kết cấu tầng trên đường có đá ballast, tà vẹt là bộ phận chính. TVBT DƯL đã được sử dụng rộng rãi trên thế giới do các ưu điểm như độ bền và tuổi thọ cao, tính ổn định và an toàn cao, khả năng chịu lực và phân bố tải trọng tốt, giảm chi phí bảo trì, bảo dưỡng,

thân thiện với môi trường và thi công thuận lợi. Với những yêu cầu về mặt tốc độ và tải trọng đường sắt tốc độ cao đặc thù ở Việt Nam như vận tốc thiết kế đoàn tàu 350 km/h và tải trọng trục 22,5 tấn/trục, do vậy không thể áp dụng các kết cấu tà vẹt định hình của các nước trên thế giới vào Việt Nam. Hiện nay, đường sắt Việt Nam đang sử dụng các loại TVBT DƯL như: Tà vẹt TN1, TN1C, TN1P, S2, S2.PM-CTB, 5R-HL, tà vẹt ghi, tà vẹt ngắn, tà vẹt dự ứng lực đặt trên hộp chống rung... trên đường sắt phổ thông, đường sắt chuyên dùng và đường sắt đô thị. Tuy nhiên, TVBT DƯL cho đường sắt tốc độ cao vẫn chưa được nghiên cứu ở Việt Nam. Bài báo đề xuất một loại kết cấu TVBT DƯL cho đường sắt tốc độ cao đáp ứng điều kiện kỹ thuật đường sắt tốc độ cao tại Việt Nam.

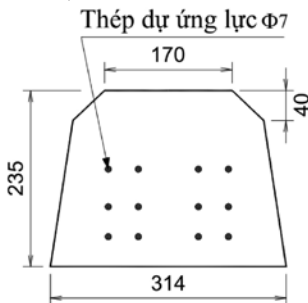
## 2. ĐỀ XUẤT THIẾT KẾ KẾT CẤU TVBT DƯL ĐƯỜNG SẮT TỐC ĐỘ CAO

### 2.1. Vật liệu

- Bê tông cường độ cao C60 theo tiêu chuẩn châu Âu Eurocode 2 [8]
- + Cường độ chịu nén đặc trưng:  $f_{ct} = 60$  Mpa;
- + Cường độ chịu nén trung bình (28 ngày tuổi):  $f_{cm} = 68$  Mpa;
- + Mô-đun đàn hồi cát tuyến:  $E_{cm} = 39.000$  Mpa;
- + Cường độ chịu kéo dọc trục trung bình:  $f_{ctm} = 4,4$  Mpa.
- Thép dự ứng lực  $\Phi 7$  với lực căng ban đầu  $P_0 = 325$  kN.
- Sau khi truyền lực dự ứng lực tại mặt cắt đặt ray/mặt cắt giữa tà vẹt  $P_{m,t2} = 245,6$  kN (tính theo EN 1992-1-1 [8]).

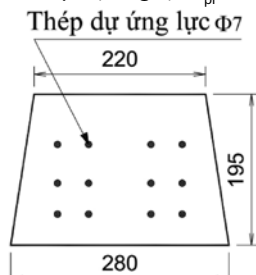
### 2.2. Đề xuất thiết kế

TVBT DƯL đường sắt tốc độ cao được đề xuất thiết kế với chiều dài 2,6 m. Mặt cắt ngang tà vẹt tại vị trí đặt ray và tại vị trí giữa tà vẹt như Hình 1 và Hình 2.



Hình 1. Mặt cắt ngang tà vẹt tại vị trí đặt ray

- Các giá trị đối với mặt cắt tà vẹt tại vị trí đặt ray:
- + Diện tích mặt cắt bê tông  $A_c = 638,6$  cm<sup>2</sup>;
- + Chiều rộng tại đáy  $B_c = 31,4$  cm;
- + Mô-men quán tính  $I_r = 28.201,47$  cm<sup>4</sup>;
- + Mô-men tĩnh mặt cắt phần dưới  $W_{r,bot} = 2.653,10$  cm<sup>3</sup>;
- + Mô-men tĩnh mặt cắt phần trên  $W_{r,top} = -2.191,20$  cm<sup>3</sup>;
- + Độ lệch tâm thép dự ứng lực  $e_{pr} = -2,23$  cm.



Hình 2. Mặt cắt ngang tà vẹt tại vị trí giữa tà vẹt

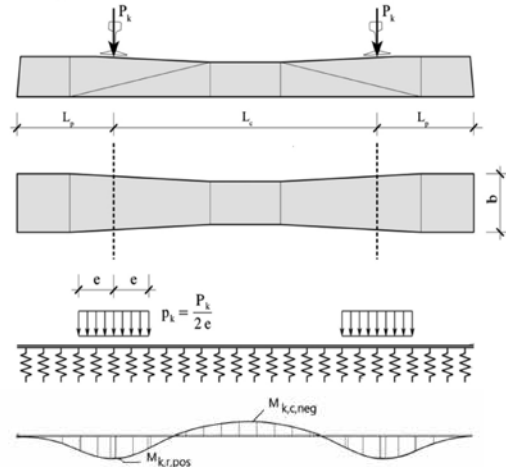
- Các giá trị đối với mặt cắt tà vẹt tại vị trí giữa tà vẹt:
- + Diện tích mặt cắt bê tông  $A_c = 487,5$  cm<sup>2</sup>;
- + Chiều rộng tại đáy  $B_c = 28,0$  cm;
- + Mô-men quán tính  $I_c = 16.609,32$  cm<sup>4</sup>;
- + Mô-men tĩnh mặt cắt phần dưới  $W_{c,bot} = 1.774,50$  cm<sup>3</sup>;

- + Mô-men tĩnh mặt cắt phần trên  $W_{c,top} = -1.638,00$  cm<sup>3</sup>;
- + Độ lệch tâm thép dự ứng lực  $e_{pc} = -0,99$  cm.

## 3. NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN KẾT CẤU TVBT DƯL ĐƯỜNG SẮT TỐC ĐỘ CAO ĐÁP ỨNG ĐIỀU KIỆN KỸ THUẬT TẠI VIỆT NAM [9]

### 3.1. Mô hình tính toán

Thực hiện tính toán kết cấu TVBT DƯL với mô hình dầm trên nền đàn hồi với các thông số sau:



Hình 3. Mô hình dầm trên nền đàn hồi

- Đoàn tàu:

- + Tải trọng trục  $A_{nom} = 225$  kN;
- + Tốc độ chạy tàu  $V = 350$  km/h.

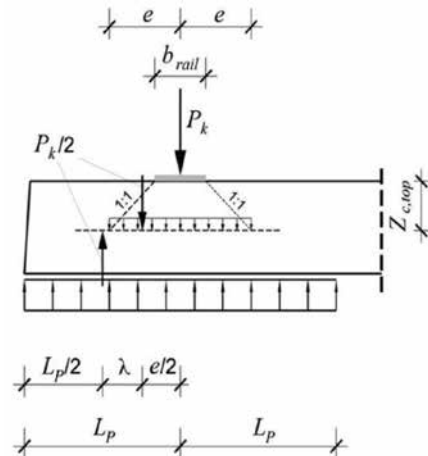
- Ray và đệm ray:

- + Mô-men quán tính của loại ray 60E1  $I_{rail} = 3.038$  cm<sup>4</sup>;
- + Mô-đun đàn hồi của ray  $E_{rail} = 210.000$  N/mm<sup>2</sup>;
- + Độ cứng của tấm đệm ray  $c_1 = 600$  kN/mm.

- Kết cấu đường:

- + Khổ đường 1.435 mm;
- + Khoảng cách tà vẹt  $a = 600$  mm;
- + Diện tích đáy tà vẹt 772.000 mm<sup>2</sup>;
- + Mô-đun đàn hồi của đá ballast và nền đường  $C_2 = 0,1$  N/mm<sup>3</sup>;
- + Khoảng cách tìm hai ray  $L_c = 1,51$  m.

### 3.2. Xác định giá trị tải trọng tác dụng lên tà vẹt



Hình 4. Sơ đồ truyền tải trọng

- Tải trọng đặc trưng tác dụng trên vị trí đặt ray của tà vẹt đối với tải trọng động khai thác tiêu chuẩn.

$$P_k = \frac{A_{nom}}{2} (1 + k_p k_v) k_d k_r = 120,93 \text{ kN} \quad (1)$$

Trong đó:

Kp - Hệ số giảm chấn của đệm ray,  $K_p = 1$ ;

$K_v$  - Hệ số tốc độ khi  $V=350$  km/h,  $K_v = 0,75$ ;  
 $K_r$  - Hệ số biến đổi phân bố tải trọng theo phương dọc giữa các tà vẹt do hư hỏng nền đỡ,  $K_r = 1,35$ ;  
 $K_d$  - Hệ số phân bố tải trọng theo phương dọc giữa các tà vẹt,  $K_d = 0,46$ .

- Tải trọng phân bố trong tà vẹt dưới đế ray:  

$$e = \frac{b_{rail} + 2Z_{c,top}}{2} = 20,44 \text{ cm} \quad (2)$$

Trong đó:

$e$  - Một nửa chiều dài phân bố tải trọng từ đế ray đến trục quán tính của mặt cắt;

$b_{rail}$  - Chiều rộng đế ray,  $b_{rail} = 15$  cm;

$Z_{c,top}$  - Khoảng cách từ mặt trên tà vẹt tới trục của mô-men quán tính,  $Z_{c,top} = 12,94$  cm;

- Chiều dài áp lực nền đá ballast:

$$L_p = \frac{L-c}{2} = 54,50 \text{ cm} \quad (3)$$

Trong đó:

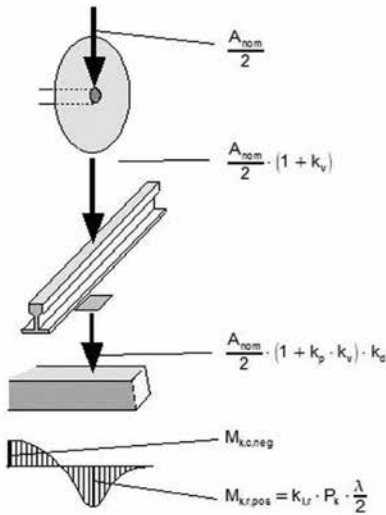
$L$  - Chiều dài tà vẹt,  $L = 260$  cm;

$c$  - Khoảng cách tim hai ray,  $c = 151$  cm;

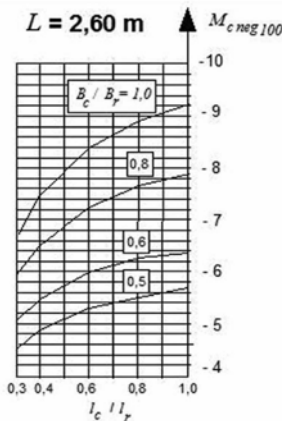
- Chiều dài cánh tay đòn của nội lực ( $P_k/2$ ):

$$\lambda = \frac{L_p - e}{2} = 17,03 \text{ cm} \quad (4)$$

### 3.3. Xác định mô-men uốn đặc trưng



Hình 5. Sơ đồ phân bố tải xác định mô-men uốn



Hình 6. Biểu đồ mô-men uốn  $M_{c,neg,100}$  đối với khổ đường 1.435 mm  
 - Mô-men uốn dương của tà vẹt tại vị trí đặt ray:

$$M_{k,r,posit} = k_{ir} \lambda \frac{P_k}{2} = 16,48 \text{ kNm} \quad (5)$$

Trong đó:  $k_{ir} = 1,6$ .

- Mô-men uốn âm của tà vẹt tại vị trí đặt ray:

$$M_{k,r,neg} = 0,5 \cdot M_{k,r,posit} = -8,24 \text{ kNm} \quad (6)$$

- Mô-men uốn âm của tà vẹt tại vị trí giữa tà vẹt:

$$M_{k,c,neg} = k_{ic} P_k M_{c,neg,100} / 100 = -13,06 \text{ kNm} \quad (7)$$

Trong đó:  $k_{ic} = 1,6$

Tra biểu đồ Hình 6 dựa vào tỷ số:

$$\frac{B_c}{B_r} = 0,89 \text{ và } \frac{I_c}{I_r} = 0,59$$

Ta có:

$$M_{c,neg,100} = -6,75 \text{ kNm.}$$

- Mô-men uốn dương của tà vẹt tại vị trí giữa tà vẹt:

$$M_{k,c,posit} = 0,7 \cdot M_{k,c,neg} = 9,14 \text{ kNm} \quad (8)$$

### 3.4. Kiểm toán

Ứng suất kéo lớn nhất trong bê tông ( $\sigma_{ct,max}$ ) do mô-men uốn đặc trưng ( $M_k$ ) không được vượt quá cường độ chịu mỗi của bê tông  $f_{ct,fl,fat} = 3,0$  MPa trong suốt thời hạn sử dụng của tà vẹt.

- Kiểm tra mặt cắt tà vẹt tại vị trí dưới đế ray:

+ Khả năng chịu mô-men uốn dương:

$$\sigma_{ct,max} = \frac{P_{m,tz}}{A_r} + \frac{P_{m,tz} x_{epr}}{W_{r,bot}} + \frac{M_{k,r,posit}}{W_{r,bot}} = 2,44 \text{ MPa} < 3,0 \text{ MPa} \rightarrow \text{Đạt} \quad (9)$$

+ Khả năng chịu mô-men uốn âm:

$$\sigma_{ct,max} = \frac{P_{m,tz}}{A_r} + \frac{P_{m,tz} x_{epr}}{W_{r,top}} + \frac{M_{k,r,posit}}{W_{r,top}} = -0,25 \text{ MPa} < 3,0 \text{ MPa} \rightarrow \text{Đạt} \quad (10)$$

- Kiểm tra mặt cắt tà vẹt tại vị trí giữa tà vẹt:

+ Khả năng chịu mô-men uốn dương:

$$\sigma_{ct,max} = \frac{P_{m,tz}}{A_c} + \frac{P_{m,tz} x_{epc}}{W_{c,bot}} + \frac{M_{k,c,posit}}{W_{c,bot}} = -0,33 \text{ MPa} < 3,0 \text{ MPa} \rightarrow \text{Đạt} \quad (11)$$

+ Khả năng chịu mô-men uốn âm:

$$\sigma_{ct,max} = \frac{P_{m,tz}}{A_c} + \frac{P_{m,tz} x_{epc}}{W_{c,top}} + \frac{M_{k,c,posit}}{W_{c,top}} = 2,88 \text{ MPa} < 3,0 \text{ MPa} \rightarrow \text{Đạt} \quad (12)$$

Kết quả cho thấy, kết cấu tà vẹt đáp ứng khả năng chịu lực trong trạng thái giới hạn cường độ.

### 4. KẾT LUẬN, KIẾN NGHỊ

Bài báo đề xuất kích thước hình học cũng như vật liệu cho một dạng kết cấu TVBT DƯỠNG đường sắt tốc độ cao phù hợp với điều kiện kỹ thuật Việt Nam. Việc tính toán nội lực cũng như kiểm toán kết cấu cũng được thực hiện. Các kết quả tính toán đảm bảo tiêu chí chấp thuận của các tiêu chuẩn hiện hành. Để đánh giá đầy đủ ứng xử của tà vẹt, hướng nghiên cứu tiếp theo là triển khai sản xuất thử nghiệm mẫu tà vẹt và thực hiện các thí nghiệm đối với tà vẹt.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Quyết định số 1769/QĐ-TTg, ngày 19/10/2021 của Thủ tướng Chính phủ, Quyết định phê duyệt quy hoạch mạng lưới đường sắt thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050.
- [2]. Nghị quyết số 172/2024/QH15 của Quốc hội ngày 30/11/2024 về chủ trương đầu tư Dự án đường sắt tốc độ cao trên trục Bắc - Nam.
- [3]. S. A. Köllö1, A. Puskás, G. Köllö1 (2015), Ballasted Track versus Ballastless Track, Key Engineering Materials, vol.660, pp.219-224.
- [4]. J. Hu, Y. Wu, X. Bian (2022), Investigations into the Critical Speeds in Ballasted and Ballastless Track, Advances in Transportation Geotechnics IV, pp.473-481.
- [5]. G. Vignali (March, 2024), Ballasted or ballastless for a railway infrastructure? A comparative environmental impact assessment of two solutions, Cleaner Environmental Systems, vol.12, 100158.
- [6]. N. K. Kedia (2021), Comparison of Ballastless and Ballasted Track for High-Speed Train, Lecture Notes in Civil Engineering (LNCE, vol. 116), pp.157-165.
- [7]. P.S. Thomas, Smithberger, D. C. Kelly & A. E. Shaw (2000), Railroad Track Structure System Design, Transportation Research Board Annual Meeting.
- [8]. Eurocode 2, EN 1992-1-1 (2004), Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings.
- [9]. TCVN 13566-6:2022 (2022), Ứng dụng đường sắt - Đường ray - Tà vẹt và tấm đỡ bê tông - Phần 6: Thiết kế.