



EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE REMAINING PRESTRESS FORCE IN A PRESTRESSED CONCRETE CROSSTIE

Le Ha Linh¹, Do Anh Tu^{1,*}, Nguyen Minh Hieu², Le Xuan Hung³, Nguyen Tuan Cuong³

¹University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

²Road & Bridge Engineering in English 59, University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

³Road & Bridge Engineering in English 60, University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 30/11/2022

Revised: 23/12/2022

Accepted: 27/12/2022

Published online: 15/02/2023

<https://doi.org/10.47869/tcsj.74.2.1>

* *Corresponding author*

Email: doanhtu@utc.edu.vn

Abstract. Currently, prestressed concrete (PC) crossties are widely used to replace wooden crossties in the Vietnam railway system, and effectively used in urban railroads due to their advantages in strength, durability, cost, and environmental impact. PC crossties use high strength steel wires to create pre-compression state in concrete. For many reasons, the remaining prestress force is partially lost during fabrication and operation. Therefore, there is a need for a method to determine the effective remaining force in the crossties. This paper presents an experimental method to determine the remaining prestress force in a crosstie through a 4-point bending test. A sample set of 03 crossties was tested until cracks appeared. By re-loading until the pre-cracks begin to open, the critical force is recorded and the remaining prestress force in the crosstie is determined. This test method allows to determine the remaining prestress force, which is used to assess the current status and predict the service life of a PC crosstie.

Keywords: prestressed concrete crosstie, 4-point bending test, remaining prestress force, crack.



THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH LỰC DỰ ỨNG LỰC CÒN LẠI TRONG TÀ VỆT BÊ TÔNG ỨNG SUẤT TRƯỚC

Lê Hà Linh¹, Đỗ Anh Tú^{1,*}, Nguyễn Minh Hiếu², Lê Xuân Hùng³, Nguyễn Tuấn Cường³

¹Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

²Lớp Cầu Đường bộ Việt Anh K59, Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

³Lớp Cầu Đường bộ Việt Anh K60, Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC : Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 30/11/2022

Ngày nhận bài sửa: 23/12/2022

Ngày chấp nhận đăng: 27/12/2022

Ngày xuất bản Online: 15/02/2023

<https://doi.org/10.47869/tcsj.74.2.1>

* Tác giả liên hệ

Email: doanhtu@utc.edu.vn

Tóm tắt. Hiện nay tà vẹt bê tông dự ứng lực (TDUL) được sử dụng rộng rãi thay thế cho tà vẹt gỗ trên đường sắt Việt Nam, và dùng nhiều trong đường sắt đô thị do những ưu điểm về cường độ, độ bền, giá thành, và bảo vệ môi trường tự nhiên. Tà vẹt BTĐUL sử dụng các sợi cáp cường độ cao nhằm tạo ra lực nén trước trong BT. Vì nhiều lý do, lực DUL bị mất mát trong quá trình chế tạo và khai thác. Do đó cần có phương pháp xác định lực DUL có hiệu còn lại trong tà vẹt ở thời điểm ngay sau khi chế tạo và ở thời điểm nào đó cần đánh giá trong quá trình khai thác. Bài báo trình bày một phương pháp thực nghiệm xác định lực DUL còn lại trong tà vẹt thông qua thí nghiệm uốn 4 điểm. Một bộ mẫu gồm 03 tà vẹt khổ 1000 mm được thí nghiệm uốn cho đến khi xuất hiện vết nứt. Bằng việc gia tải lại cho đến khi vết nứt bắt đầu mở rộng, lực tới hạn được ghi lại và qua đó tính toán được lực DUL còn lại trong tà vẹt. Phương pháp thí nghiệm này cho phép xác định được lực dự ứng lực còn lại trong cấu kiện tà vẹt BTĐUL nhằm đánh giá hiện trạng cũng như dự đoán được tuổi thọ còn lại của tà vẹt.

Từ khóa: Tà vẹt bê tông dự ứng lực, thí nghiệm uốn 4 điểm, lực dự ứng lực còn lại, vết nứt.

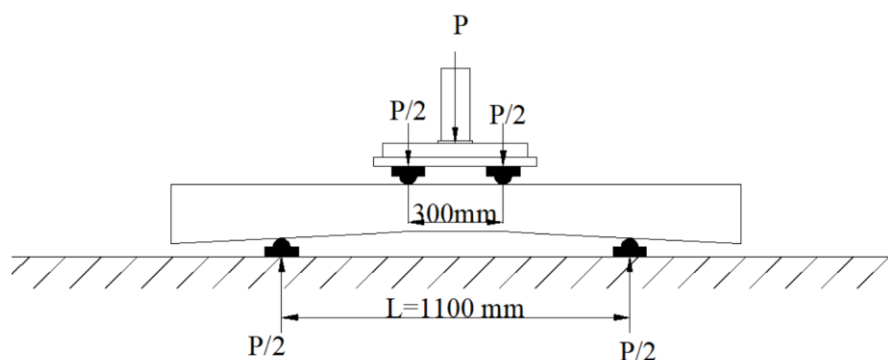
© 2023 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. Đặt vấn đề

Tà vệt bê tông (BT) dự ứng lực (DƯL) ngày càng được sử dụng rộng rãi và trở nên quan trọng trong hệ thống đường sắt ở Châu Âu, Hoa Kỳ, Nhật Bản, Trung Quốc... trong bối cảnh giao thông vận tải đường sắt đang được chú trọng phát triển [1],[2]. Tà vệt BTDƯL hiện được sử dụng có hiệu quả trên hệ thống đường sắt Việt Nam cũng như trên các tuyến đường sắt đô thị. Để tà vệt BTDƯL làm việc đầy đủ trong suốt thời gian sử dụng dự kiến của chúng, lực ứng suất trước phải được đưa hoàn toàn vào tà vệt trước khi khai thác dưới tải trọng đường sắt [3],[4],[2]. Lực dự ứng lực phải truyền vào tà vệt đầy đủ và phân bố hợp lý [1],[5]. Tà vệt thường có mặt cắt hình chữ nhật đặt dưới các thanh ray. Thanh ray gối lên tà vệt và gắn cố định lên tà vệt, vai trò của tà vệt là truyền áp lực từ thanh ray xuống lớp đá ba lát rồi xuống nền đất và cố định khoảng cách giữa 2 thanh ray tạo thành khổ đường ray.

Nhiều nghiên cứu đã được thực hiện để thiết lập ảnh hưởng của cường độ bê tông và các tính chất của thép DƯL đến sự phân bố DƯL và hiệu quả truyền lực DƯL trong tà vệt [1, 3, 4, 6]. Ngoài ra, một số nghiên cứu cho thấy ứng suất dính bám cao giữa các tao cáp DƯL và BT có thể tạo ra các vết nứt tách dọc theo cốt thép DƯL, gây phá hủy khả năng chịu tải của tà vệt. Việc định lượng các thông số này sẽ giúp thiết kế tối ưu kết cấu tà vệt BTDƯL để đảm bảo rằng vật liệu bê tông và thép ứng suất trước được lựa chọn và kết hợp theo cách hợp lý nhất, đồng thời loại bỏ những rủi ro nứt vỡ trong bê tông. Hiện nay, việc thiết kế tà vệt BTDƯL ở Việt Nam đều tuân theo tiêu chuẩn Quy trình thử nghiệm tà vệt bê tông dự ứng lực TCCS02-2010 VNRA [7], và có tham khảo Tiêu chuẩn Châu Âu EN 13230:2016 [8] - Ứng dụng đường sắt – Đường ray – Tà vệt bê tông và dầm đỡ. Việc thử nghiệm tà vệt theo tiêu chuẩn Việt Nam chưa xác định được lực dự ứng lực có hiệu và phân bố ứng suất trước trong tà vệt, cũng như chưa xác định được mất mát ứng suất từ thời điểm cắt cáp DƯL đến khi đưa vào sử dụng, hoặc tính đến một số thời điểm cụ thể nào đó trong quá trình khai thác. Các tiêu chuẩn thiết kế cũng chưa đề cập cụ thể [9], hoặc chỉ đưa ra các công thức chung để xác định mất mát ứng suất trong kết cấu bê tông DƯL [10]. Một số nghiên cứu gần đây đã thực nghiệm xác định các tham số về môi và tuổi thọ môi cho tà vệt DƯL trên đường sắt đô thị [11].

Nghiên cứu này tập trung vào việc xác định dự ứng lực có hiệu còn lại trong tà vệt thông qua thí nghiệm uốn tà vệt. Lực dự ứng lực có hiệu còn lại là lực dự ứng lực tổng cộng sau khi đã xảy ra các mất mát ứng suất (bao gồm co ngót đàn hồi của BT, co ngót, từ biến của BT, trũng cốt thép DƯL). Việc xác định được lực DƯL có hiệu còn lại trong tà vệt có thể cho phép đánh giá được mất mát DƯL và khả năng làm việc hiện tại của tà vệt khi so sánh với các trị số thiết kế, đồng thời cho phép dự đoán và đánh giá tuổi thọ còn lại của tà vệt.



Hình 1. Mô hình bố trí thí nghiệm.

2. Phương pháp nghiên cứu

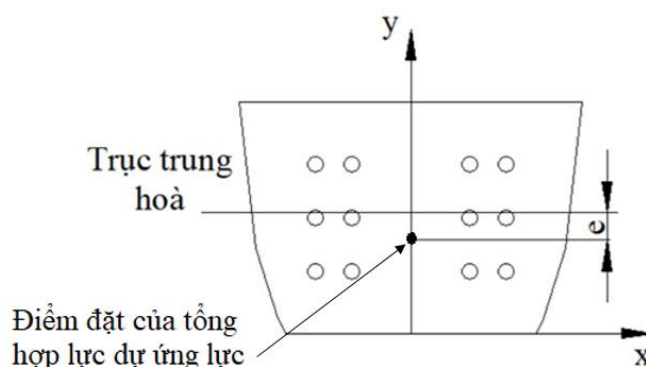
Thí nghiệm uốn tà vẹt được thực hiện trên tà vẹt lật ngược lại như trong Hình 1, trong đó 2 vị trí gối được đặt tương ứng với 2 vị trí ray trên tà vẹt. Sử dụng thí nghiệm uốn 4 điểm để tạo ra giá trị mô men đều ở khu vực giữa dầm và loại trừ phá hoại do cắt ở giữa dầm. Khoảng cách giữa 2 gối đỡ tương ứng với các điểm đặt ray là 1,1 m và khoảng cách của mỗi điểm đặt lực đến chính giữa tà vẹt là 0,15 m (tỉ lệ khoảng cách được tham khảo từ nghiên cứu [4]).

Ứng suất thớ dưới cùng của tà vẹt tại mặt cắt giữa được tính theo công thức (1). Ứng suất nén trước do lực DUL tác dụng vào tà vẹt mang dấu âm, ứng suất kéo do mô men uốn gây ra mang dấu dương. Quá trình thí nghiệm được thực hiện bằng cách tăng lực uốn từ từ cho đến khi xuất hiện vết nứt đầu tiên tại đáy tà vẹt ở khu vực giữa nhịp, quan sát và đánh dấu vết nứt. Sau đó nhả tải để đảm bảo vết nứt khép lại hoàn toàn, rồi gia tải đến giá trị P_{cr} để mở lại vết nứt, khi đó ứng suất σ_t trong công thức (1) sẽ bằng 0. Khi đã xác định được lực nén để mở lại vết nứt đồng thời ứng suất tại đáy dầm bằng 0, dựa vào các đặc trưng hình học đã biết của tà vẹt, ta có thể tính toán được dự ứng lực có hiệu còn lại trong tà vẹt.

$$\sigma_t = \frac{M \times y_t}{I} - \frac{P_e}{A} - \frac{P_e \times e \times y_t}{I} \quad (1)$$

Trong đó:

- M : Momen uốn do tải gây ra (kN.m);
- y_t : Khoảng cách từ trục trung hòa đến thớ dưới (m);
- I : Momen quán tính của mặt cắt tà vẹt (m⁴);
- P_e : Dự ứng lực còn lại trong tà vẹt (kN);
- A : Diện tích mặt cắt tà vẹt (m²);
- e : Độ lệch tâm của tổng hợp lực dự ứng lực so với trục trung hòa (m); đây là giá trị đại số, mang dấu (+) khi tâm nhóm cáp nằm dưới trục trung hòa và mang dấu (-) khi nằm trên trục trung hòa của mặt cắt dầm ở Hình 2.



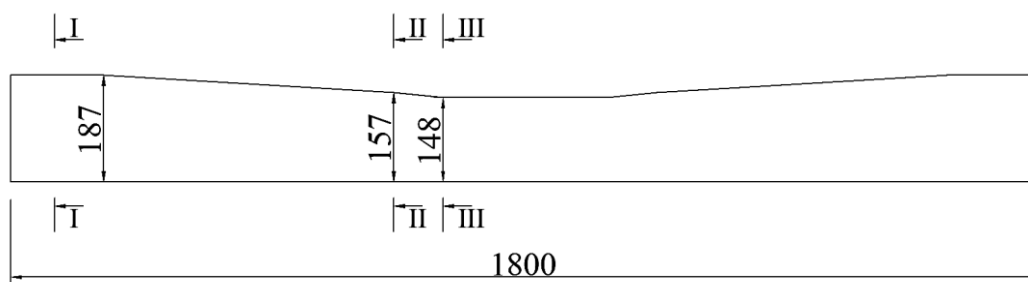
Hình 2. Mặt cắt ngang của tà vẹt và độ lệch tâm e của tổng hợp lực DUL.

3. Thí nghiệm uốn tà vẹt

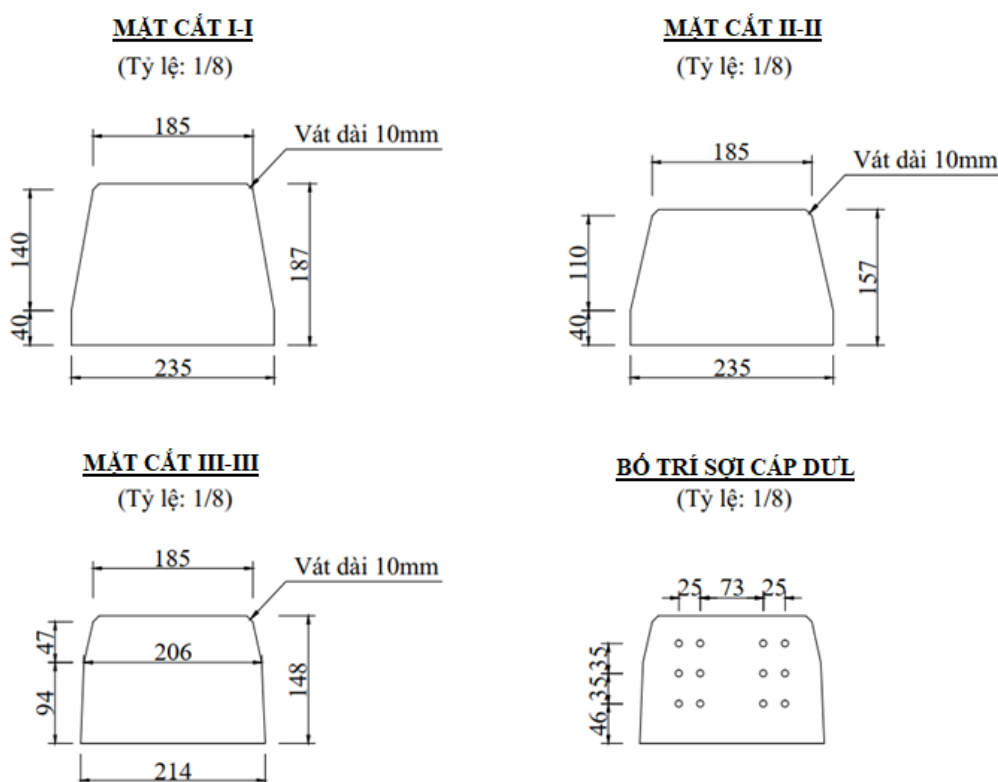
3.1. Kích thước và cấu tạo của tà vẹt

Nghiên cứu này sử dụng 3 tà vẹt có cùng kích thước và cấu tạo. Trước khi tà vẹt được đưa vào thử tải, tiến hành đo các mẫu tà vẹt để đưa ra các đặc trưng hình học và phục vụ cho công tác tính toán. Kích thước của tà vẹt được đo dựa trên sự thay đổi hình dạng, từ đó xác các mặt

cắt đặc trưng để có thể xác định được tổng thể kích thước của tà vẹt. Đối với các tà vẹt trong nghiên cứu này, tất cả có 3 mặt cắt cần được xác định thể hiện trong Hình 3 và Hình 4.



Hình 3. Hình chiếu đứng tà vẹt (đơn vị: mm).



Hình 4. Các mặt cắt điển hình và bố trí DUL trong tà vẹt (đơn vị: mm).

3.2. Các bước tiến hành thí nghiệm

Do chưa có tiêu chuẩn thí nghiệm, nên thí nghiệm được tham khảo từ thí nghiệm của Scott và cộng sự [4]. Dụng cụ thí nghiệm bao gồm 3 mẫu tà vẹt được đúc với kích thước và cấu tạo giống nhau, máy thử chuyên dụng chạy chế độ tải trọng tĩnh và các dụng cụ phụ để đo ghi số liệu đo được.

Trước tiên, bố trí mẫu tà vẹt tại vị trí thí nghiệm, tiến hành đánh dấu các điểm đặt lực và gối, chuẩn bị máy và tiến hành thí nghiệm. Sử dụng máy kéo nén vạn năng SANS (Mỹ) với lực

kéo/nén lớn nhất là 3000 kN Hình 5.



Hình 5. Bố trí tà vẹt chuẩn bị thí nghiệm uốn 4 điểm.

Đối với tà vẹt nguyên ban đầu, gia tải từ từ (hoặc theo cấp) đến khi vết nứt đầu tiên xuất hiện, có thể ký hiệu giá trị tải là P_1 . Sau đó tiến hành nhả tải và tăng tải lại từ đầu với tốc độ tương tự đến khi quan sát rõ vết nứt, giữ tải và tiến hành đánh dấu các vết nứt Hình 6.



Hình 6. Vết nứt xuất hiện ở đáy dầm khu vực mặt cắt giữa tà vẹt.

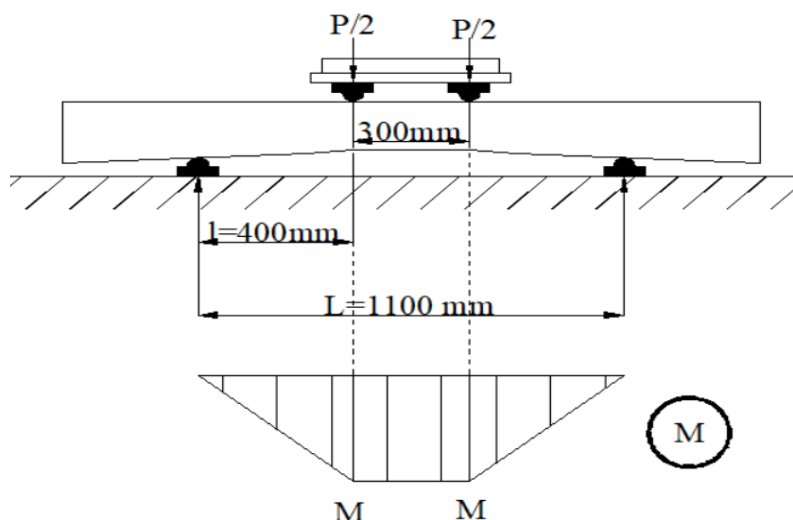
Sau đó, nhả tải về giá trị đủ nhỏ (cỡ 2 – 5 kN) để đảm bảo các vết nứt đã khép lại hoàn toàn, rồi gia tải với tốc độ như cũ đến khi vết nứt bắt đầu mở ra, rồi lại tiếp tục nhả tải. Quá trình đó được lặp lại 3 lần để loại trừ hiện tượng ma sát trong miệng các vết nứt. Sau khi thực hiện các bước tiên hành trên, tiến hành gia tải lại đến khi quan sát thấy vết nứt đầu tiên bắt đầu mở ra thì dừng lại, ghi lại giá trị tải ở đây là P_{cr} .

Các bước tiên hành thí nghiệm trên được thực hiện đối với từng tà vẹt. Các giá trị P_1 và P_{cr} của từng tà vẹt được tổng hợp lại thành dữ liệu phục vụ cho công tác tính toán lực dự ứng lực

còn lại trong tà vẹt thông qua phương pháp nghiên cứu đã nêu ở mục 2.

3.3. Kết quả thí nghiệm

Một số vết nứt xuất hiện tại đáy tà vẹt và tập trung vào khu vực giữa tà vẹt, nơi có giá trị momen lớn nhất. Biểu đồ mô men uốn trong tà vẹt được thể hiện trên Hình 7. Giá trị mô men lớn nhất trên biểu đồ này được tính theo công thức (2).



Hình 7. Biểu đồ momen của tà vẹt dưới tác dụng của lực nén

$$M = \frac{P_{ct}}{2} l = \frac{P_{ct}}{2} (1,1 - 0,3) / 2 = \frac{P_{ct}}{2} \times 0,4 \quad (\text{kN.m}) \quad (2)$$

Trong đó: l là khoảng cách từ gối đỡ đến điểm đặt lực đầu tiên, $l = 0,4$ m.

Sau khi thực hiện các bước thí nghiệm đã nêu ở trên, các giá trị tải P_1 và P_{cr} được tổng hợp lại đối với từng tà vẹt và cho trong Bảng 1. Giá trị P_{cr} là giá trị tải để mở lại vết nứt và được sử dụng để phục vụ tính toán lực dự ứng lực còn lại trong tà vẹt.

Bảng 1. Tổng hợp giá trị lực nén tác dụng vào tà vẹt trong quá trình thí nghiệm

Tà vẹt	P_1 (kN)	P_{cr} (kN)
Tà vẹt 1	103,1	73,1
Tà vẹt 2	82	64,4
Tà vẹt 3	99,7	76,2

4. Xác định lực DƯỠ còn lại

Do các vết nứt xuất hiện tại vùng có mặt cắt giữa tà vẹt nên ta sử dụng các đặc trưng hình học của mặt cắt giữa để tính toán. Từ các kích thước hình học của tà vẹt đã biết, các thông số liên quan đến đặc trưng hình học của tà vẹt (3 tà vẹt kích thước giống nhau) được tính toán và tổng hợp lại trong Bảng 2. Sợi cáp DƯỠ được sử dụng là loại có đường kính $d = 6$ mm và tổng cộng có 12 sợi được bố trí như đã giới thiệu ở mục 2.

Bảng 2. Đặc trưng hình học mặt cắt giữa nhịp của tà vẹt

Diện tích tính đối	Momen tĩnh đối với đáy tà vẹt	Khoảng cách từ trọng tâm đến đáy tà vẹt	Momen quán tính mặt cắt tính đối	Độ lệch của nhóm cáp DUL
A_c (mm ²)	S_c (mm ³)	y_c (mm)	I_c (mm ⁴)	e (mm)
32038,14	2415148,445	75,384	54034535,66	8,384

Ta sử dụng P_{cr} để tính toán, trong trường hợp này là tải trọng dùng để mở lại vết nứt tại thớ dưới của tà vẹt. Từ đó ta tính toán được giá trị mô men theo công thức (2) và được tổng hợp tại Bảng 3. Từ công thức (1), ta biết rằng tại thời điểm nứt thì ứng suất tại thớ dưới của tà vẹt sẽ có giá trị bằng 0. Từ các đặc trưng hình học và giá trị mô men đối với từng tà vẹt đã được tính toán ở trên, ta có thể tính được giá trị lực dự ứng lực còn lại trong tà vẹt. Các giá trị được tổng hợp tại Bảng 3 dưới đây.

Bảng 3. Giá trị mô men dùng để tính toán lực DUL còn lại

Tà vẹt	Lực để mở lại vết nứt	Momen tính toán	Lực DUL còn lại
	P_{cr} (kN)	M (kN.m)	P_e (kN)
Tà vẹt 1	73,1	14,62	478,2
Tà vẹt 2	64,4	12,88	421,3
Tà vẹt 3	76,2	15,24	498,5

5. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, phương pháp thí nghiệm để xác định lực dự ứng lực còn lại trong tà vẹt bê tông DUL đã được trình bày. Ba mẫu tà vẹt sử dụng cho khổ đường sắt 1000 mm đã được thí nghiệm. Các tà vẹt được gia tải cho đến khi vết nứt đầu tiên xuất hiện ở khu vực giữa dầm. Bằng cách gia tải lần sau để miệng vết nứt bắt đầu mở ra, ta có thể xác định được lực DUL có hiệu còn lại trong các tà vẹt, lần lượt là 478,2; 421,3 và 498,5 kN.

Việc xác định được lực DUL có hiệu còn lại trong tà vẹt có thể cho phép đánh giá được mất mát DUL và mức ứng suất trước hiện tại của tà vẹt khi so sánh với các trị số thiết kế. Các thông tin thu được còn cho phép dự đoán và đánh giá tuổi thọ còn lại của tà vẹt, hoặc thiết kế tối ưu cho tà vẹt. Phương pháp thí nghiệm cũng có thể được tham khảo để bổ sung tiêu chuẩn thí nghiệm cho tà vẹt BTDUL.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường đại học Giao thông vận tải trong đề tài mã số T2022-CT-018. Tác giả xin chân thành cảm ơn các thí nghiệm viên của Trung tâm KHCN GTVT đã hỗ trợ trong quá trình thực hiện thí nghiệm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. B.T. Beck, A.A. Robertson, R.J. Peterman, K.A. Riding, J. Wu, Transfer Length Characterization of Entire Crosstie Plant Casting Bed Using Continuously Traversing Dual-Camera Non-Contact Optical Strain Sensors, in ASME/IEEE Joint Rail Conference, 2017. <https://doi.org/10.1115/JRC2017-2297>
- [2]. M. Haynes, C.-H.J. Wu, R.J. Peterman, B.T. Beck, Prestressing Steel Reinforcement Wire Measurement Protocol, in ASME/IEEE Joint Rail Conference, 2014. <https://doi.org/10.1115/JRC2014-3800>

- [3]. J.D. Scott, R.J. Peterman, A.A. Robertson, B.T. Beck, K.A. Riding, Evaluation of the Remaining Prestress Force and Center Negative Bending Moment in Crossties Removed From Track After 25 Years of Service, in ASME/IEEE Joint Rail Conference, 2019. <https://doi.org/10.1115/JRC2019-1275>
- [4]. J.D. Scott, A.A. Robertson, R.J. Peterman, B.T. Beck, K.A. Riding, J. Wu, Determining the Remaining Prestress Force in a Prestressed Concrete Crosstie, in ASME/IEEE Joint Rail Conference, 2017. <https://doi.org/10.1115/JRC2017-2287>
- [5]. J.D. Scott, R.J. Peterman, B.T. Beck, A.A. Robertson, K.A. Riding, C.-H.J. Wu, Determining the Remaining Prestress Force in a Prestressed Concrete Railroad Tie Through Loading in Direct Tension, in ASME/IEEE Joint Rail Conference, 2018. <https://doi.org/10.1115/JRC2018-6168>
- [6]. W. Zhao, B.T. Beck, R.J. Peterman, C.-H.J. Wu, G. Lee, N.N.B. Bodapati, Determining transfer length in pre-tensioned concrete railroad ties: is a new evaluation method needed?, in Rail Transportation Division Conference, 2013. <https://doi.org/10.1115/RTDF2013-4727>
- [7]. Quy trình thử nghiệm tà vẹt bê tông dự ứng lực-TCCS02-2010 VNRA, 2010.
- [8]. Tiêu chuẩn Châu Âu EN 13230:2016, Ứng dụng đường sắt – Đường – Tà vẹt bê tông và dầm đỡ, 2016.
- [9]. Bộ Giao thông Vận tải, Tiêu chuẩn ngành, 22TCN 18-79, Quy trình thiết kế cầu cống theo trạng thái giới hạn.
- [10]. TCVN 11823:2017, Thiết kế cầu đường bộ, 2017.
- [11]. Trần Anh Dũng, Nghiên cứu đánh giá tuổi thọ mỏi của tà vẹt bê tông dự ứng lực trên đường sắt đô thị ở Việt Nam, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Giao thông vận tải, 2021. <https://thuvienso.quochoi.vn/handle/11742/62818?mode=simple>