

Phân tích thực nghiệm và mô hình số ứng xử cơ học của dầm gỗ liên hợp hiện đại

Trần Văn Đăng^{1*}, Trần Đông²

¹Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy lợi

²Khoa Cầu đường, Trường Đại học Xây dựng

Ngày nhận bài 11/9/2017; ngày chuyển phản biện 18/9/2017; ngày nhận phản biện 26/10/2017; ngày chấp nhận đăng 31/10/2017

Tóm tắt:

Dầm gỗ liên hợp hiện đại là một trong các giải pháp kết cấu sử dụng vật liệu xanh. Trong bài báo này, nhóm tác giả giới thiệu các kết quả nghiên cứu thực nghiệm mới nhất về dầm liên hợp 2 phiến và 3 phiến, chế tạo từ gỗ dẻ gai, được thực hiện tại Viện LERMAB, Pháp. Bên cạnh việc phân tích ứng xử cơ học thực nghiệm của loại kết cấu này, các tác giả còn thực hiện nghiên cứu về mô hình số phần tử hữu hạn nhằm mô tả ứng xử cơ học của dầm liên hợp. Mô hình số được đưa ra giúp dự báo chính xác về chỉ số sức kháng uốn và dạng phá hoại của dầm.

Từ khóa: Dầm gỗ liên hợp, gỗ dẻ gai, mộng răng lược, phương pháp phần tử hữu hạn, tiêu chuẩn châu Âu.

Chỉ số phân loại: 2.5

Experimental analysis and numerical behavior of innovative glued laminated timber beams

Van Dang Tran^{1*}, Dong Tran²

¹Civil Engineering Faculty, Water Resources University

²Faculty of Bridge and Road Engineering, National University of Civil Engineering

Received 11 September 2017; accepted 31 October 2017

Abstract:

The innovative glued laminated timber beam is one of the structural solutions using green materials. In this paper, we present the latest experimental results on two-layer and three-layer glued laminated timber beams made of beech wood. The experiments were realized at the LERMAB Institute, France. Experimental analysis of the mechanical behavior of beams was also presented. A study of the finite element model was performed in parallel and succeeded in describing the mechanical behavior of the glued laminated timber beams. The numerical model could can predict precisely the bending resistance and the failure mode of beams.

Keywords: Beech, European standard, finger-joint, finite element method, glued laminated timber beam.

Classification number: 2.5

Giới thiệu chung

Trên thế giới, dầm gỗ liên hợp hiện đại (Glued Laminated Timber - GLT hay Glulam) đang được ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực xây dựng công trình. Loại kết cấu này là một trong những giải pháp sử dụng vật liệu xanh, có tính hiệu quả cao nhờ những ưu điểm về khả năng chịu lực vượt trội so với gỗ thịt, có kích thước lớn và khả năng vượt nhịp lớn, tính ổn định cao, lại thân thiện với môi trường.

Dầm gỗ liên hợp GLT được chế tạo từ nhiều phiến dầm có kích thước nhỏ, được liên kết đối đầu với nhau bằng liên kết mộng răng lược (finger-joint), tạo ra các phiến dầm dài hơn, các phiến dầm này lại được dán với nhau bằng keo để tạo ra dầm GLT mong muốn. Chiều dài dầm GLT có thể đạt tới 60 m, chiều cao đạt 2,5 m và chiều rộng bằng 1/10 chiều cao.

Hiện nay, có rất nhiều dự án nghiên cứu về loại kết cấu này để mở rộng khả năng ứng dụng của nó [1-11]. Tiêu chuẩn hiện hành của châu Âu EN 338 [12] mới chỉ phân loại dầm liên hợp từ các loại gỗ mềm (softwood). Do đó, các dữ liệu thiết kế cần được bổ sung đối với dầm liên hợp từ gỗ cứng (hardwood).

Trong nghiên cứu này, các dầm liên hợp từ gỗ dẻ gai, một loại gỗ cứng được thí nghiệm kiểm tra sức kháng uốn theo tiêu chuẩn EN 408 [13]. Song song với nghiên cứu thực nghiệm, việc nghiên cứu mô hình số bằng phương pháp phần tử hữu hạn cũng được chúng tôi thực hiện nhằm xây dựng một mô hình hoàn thiện, có khả năng dự báo ứng xử cơ học của dầm liên hợp (sức kháng uốn và dạng phá

*Tác giả liên hệ: Email: tranvandang@tlu.edu.vn

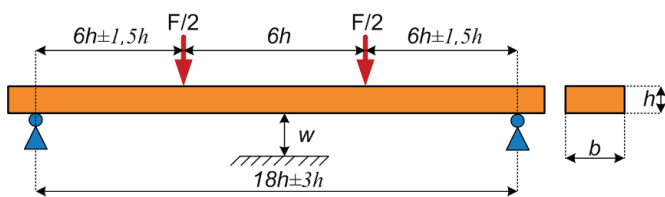
hoại của dầm). Trên cơ sở mô hình số được xây dựng, có thể xác định các chỉ số thiết kế của dầm mà không cần thực hiện các thí nghiệm tốn kém, mất thời gian, hỗ trợ đắc lực cho công tác thiết kế liên quan đến dầm gỗ liên hợp hiện đại.

Nội dung nghiên cứu

Nghiên cứu thực nghiệm

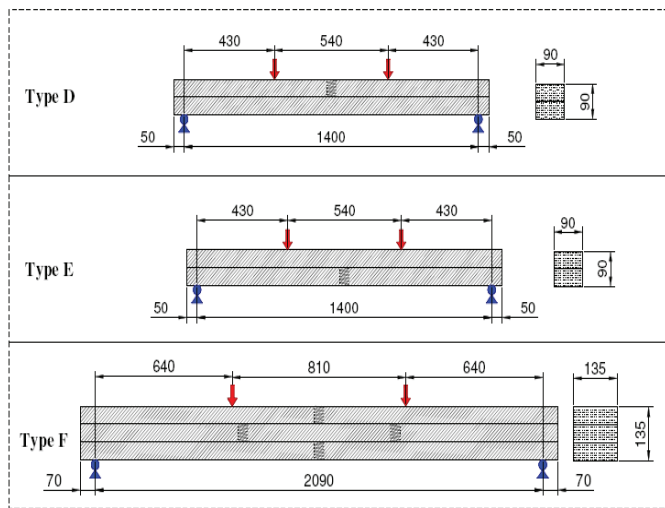
Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm:

Để đánh giá khả năng làm việc của dầm liên hợp, thí nghiệm uốn 4 điểm theo tiêu chuẩn châu Âu EN 408 [13] đã được thực hiện (hình 1).



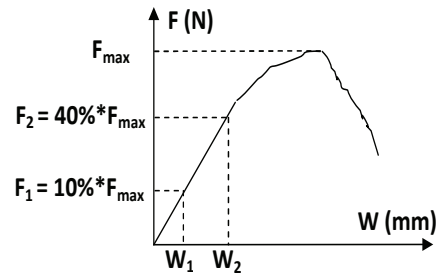
Hình 1. Sơ đồ bố trí thí nghiệm uốn 4 điểm theo tiêu chuẩn EN 408.

Nghiên cứu thực nghiệm được thực hiện tại Viện LERMAB, Pháp vào tháng 4/2017. Các dầm liên hợp 2 phiến và 3 phiến từ gỗ dẻ gai, có liên kết mộng răng lược được chế tạo tại xưởng theo tiêu chuẩn về kích thước dầm EN 14080 [14] và tiêu chuẩn về các thông số sản xuất EN 385 [15]. Vị trí của mộng liên kết răng lược được thiết kế tại giữa nhịp, nhằm tạo ra trường hợp chịu tải bất lợi nhất cho dầm (hình 2). Mỗi kiểu dầm được chế tạo với số lượng là 10 dầm.



Hình 2. Kích thước dầm gỗ liên hợp được chế tạo (Type E: dầm 2 phiến; Type F: dầm 3 phiến).

Kết quả thí nghiệm thu được là một đường cong “Lực - chuyển vị giữa nhịp” của dầm (F-W) (hình 3). Từ đó cho phép xác định được mô đun đàn hồi MOE và sức kháng uốn MOR của dầm lần lượt theo công thức (1) và (2).



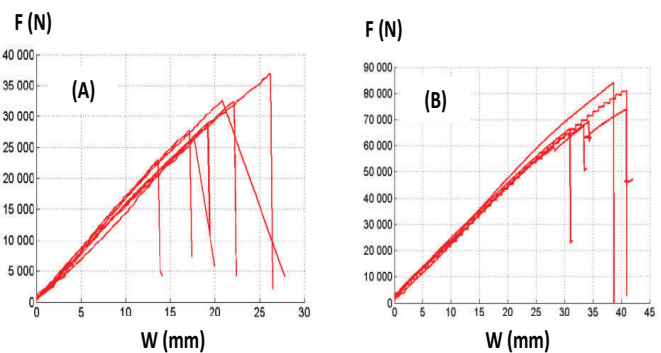
Hình 3. Dạng đường cong thực nghiệm Lực - chuyển vị giữa nhịp của dầm chịu uốn 4 điểm.

$$MOE = \frac{3aL^2 - 4a^3}{2bh^3 \left(2 \frac{w_2 - w_1}{F_2 - F_1} - \frac{6a}{5Gbh} \right)} \quad (1)$$

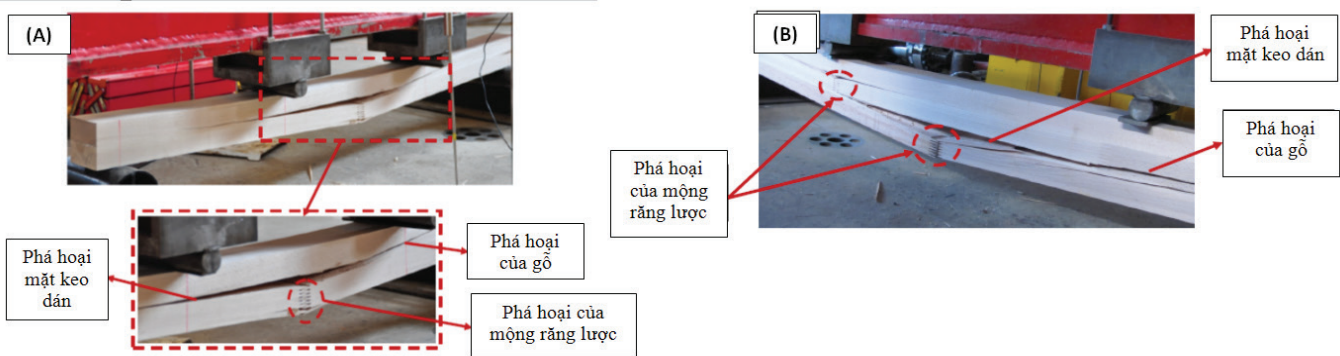
$$MOR = \frac{3aF_{max}}{bh^2} \quad (2)$$

Phân tích thực nghiệm ứng xử cơ học của dầm gỗ liên hợp:

Hình 4 thể hiện đường cong thực nghiệm “Lực - chuyển vị giữa nhịp” của dầm liên hợp 2 phiến và 3 phiến. Kết quả cho thấy, trong giai đoạn đầu chịu tải, dầm liên hợp tuân theo quy luật đàn hồi tuyến tính. Thêm đàn dẻo không xuất hiện đối với dầm 2 phiến và chỉ xuất hiện rất ít ở dầm 3 phiến. Khi đạt tới trạng thái chịu lực tới hạn, dầm bị phá hoại đột ngột. Điều đó được giải thích là do liên kết mộng răng lược được bố trí ở vị trí giữa dầm, nằm trong vùng chịu nén lớn nhất, do đó ứng xử tổng thể của dầm liên hợp được quyết định bởi ứng xử cục bộ của mộng răng lược (ứng xử cơ học đặc trưng của mộng răng lược là phá hoại giòn, đột ngột).



Hình 4. Đường cong thực nghiệm Lực - chuyển vị giữa nhịp của dầm: (A) Dầm 2 phiến; (B) Dầm 3 phiến.



Hình 5. Dạng phá hoại đặc trưng của dầm liên hợp: (A) Dầm 2 phiến; (B) Dầm 3 phiến.

Quan sát dạng phá hoại của dầm gỗ liên hợp, có thể thấy rằng, vết nứt phá hoại xuất hiện trước tiên tại vị trí mộng răng lược ở đáy dầm. Vết nứt phát triển đến mặt dán đầu tiên giữa 2 phiến dầm và tiếp tục phát triển dọc theo mặt dán, kéo theo việc phá hoại cục bộ trong dầm gỗ tại một số vị trí ở mặt dán (hình 5). Hiện tượng này giải thích sự tương đồng giữa ứng xử cơ học của keo dán và dầm liên hợp.

Sức kháng uốn của dầm liên hợp được tính toán và thể hiện trong bảng 1. Kết quả cho thấy, dầm liên hợp 3 phiến có sức kháng uốn lớn hơn đáng kể so với dầm 2 phiến. Ta có thể kết luận rằng, việc chế tạo dầm liên hợp từ nhiều phiến sẽ làm tăng sức chịu tải của dầm, do liên kết mộng răng lược được phân bố đều ở các vị trí khác nhau của dầm, giúp tránh tập trung ứng suất lớn tại vị trí răng lược, nơi yếu nhất của dầm.

Bảng 1. Kết quả sức kháng uốn MOR của dầm liên hợp.

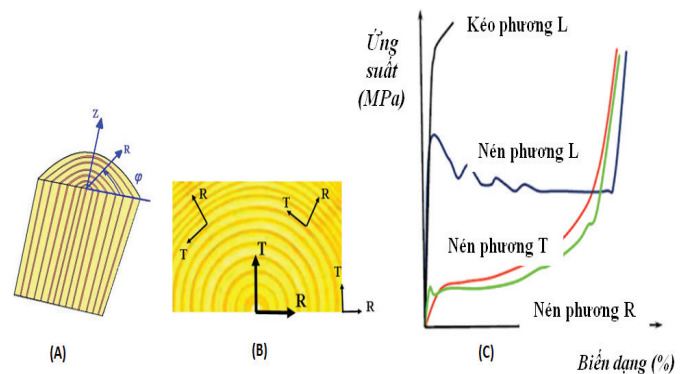
	Dầm 2 phiến	Dầm 3 phiến
Trung bình (Mpa)	52,42	59,36
Độ lệch chuẩn (Mpa)	8,16	6,4
Hệ số biến thiên (%)	16	11

Nghiên cứu bằng mô hình phần tử hữu hạn

Lựa chọn mô hình vật liệu:

Gỗ là vật liệu tự nhiên, trong mô hình lý tưởng gỗ được xem là vật liệu đồng nhất, làm việc đa phương, theo 3 phương chính: Phương dọc thớ L(z), phương ngang thớ gồm phương tiếp tuyến T và phương bán kính R (hình 6 A, B).

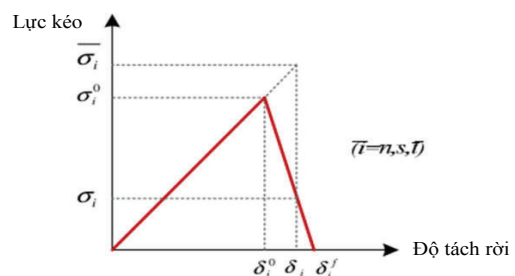
Ứng xử cơ học của gỗ theo các phương là rất khác nhau. Khi chịu kéo theo phương dọc thớ, gỗ bị phá hoại giòn. Ngược lại, khi chịu nén đường cong ứng suất - biến dạng xuất hiện một thềm dẻo sau điểm giới hạn bền (hình 6C). Tuy nhiên, cường độ của gỗ khi chịu kéo dọc thớ lớn hơn đáng kể so với khi chịu nén theo các phương khác nhau.



Hình 6. (A) Phương dọc thớ và phương bán kính; (B) Phương trục giao T và R; (C) Đường cong ứng suất biến dạng của gỗ chịu kéo nén theo các phương khác nhau.

Trong mô hình số, ứng xử cơ học của gỗ ở giai đoạn đàn hồi tuân theo định luật Hooke. Để mô tả giai đoạn đàn dẻo của gỗ khi chịu nén, chúng tôi sử dụng tiêu chuẩn bậc 2 của Hill [16], còn tiêu chuẩn Hoffman [17] được sử dụng để mô tả phá hoại giòn của gỗ khi chịu kéo.

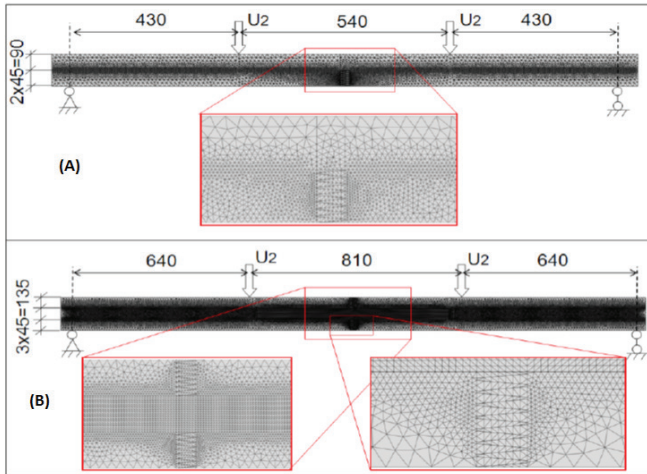
Ứng xử cơ học của liên kết keo dán phụ thuộc vào các đặc tính của vật liệu keo sử dụng. Trong mô hình số, quy luật kéo - tách rời (traction - separation) [18] được áp dụng để mô tả sự làm việc của liên kết keo dán, theo đó kết cấu được giả thiết làm việc đàn hồi tuyến tính trong giai đoạn đầu cho đến khi bị phá hoại (hình 7).



Hình 7. Ứng xử cơ học đàn hồi tuyến tính của liên kết keo dán (traction-separation).

Xây dựng mô hình phần tử hữu hạn:

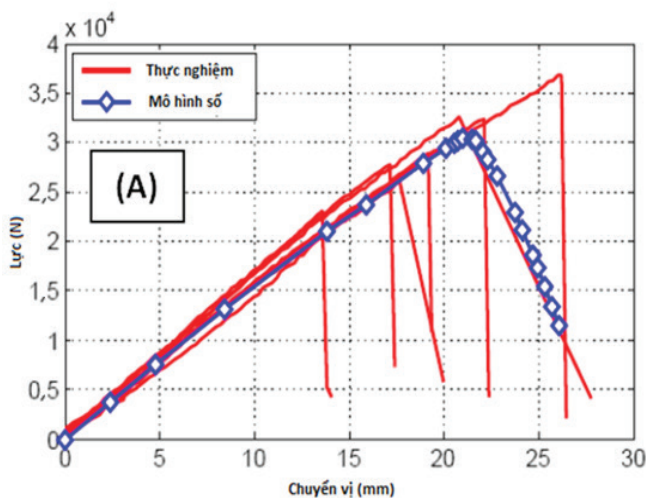
Mô hình phần tử hữu hạn được xây dựng bằng phần mềm ABAQUS [18]. Trong đó, sử dụng loại phần tử tam giác gồm 3 nút, ở trạng thái ứng suất phẳng, với kích thước phần tử lớn nhất là 10 mm, tại các vị trí mặt liên kết keo, phần tử được làm mịn đến 1 mm (hình 8).



Hình 8. Mô hình số phần tử hữu hạn: (A) Dầm 2 phiến; (B) Dầm 3 phiến.

Kết quả của mô hình phần tử hữu hạn:

Hình 9 thể hiện đường cong “Lực - chuyển vị tại giữa dầm” của mô hình số, được so sánh với các đường cong thực nghiệm. Kết quả cho thấy, mô hình số có thể dự báo chính xác ứng xử cơ học của dầm liên hợp: Trong giai đoạn đầu chịu lực, dầm tuân theo quy luật đàn hồi tuyến tính, sau đó là trạng thái biến dạng dẻo trong khoảng thời gian rất ngắn rồi bị phá hoại đột ngột.

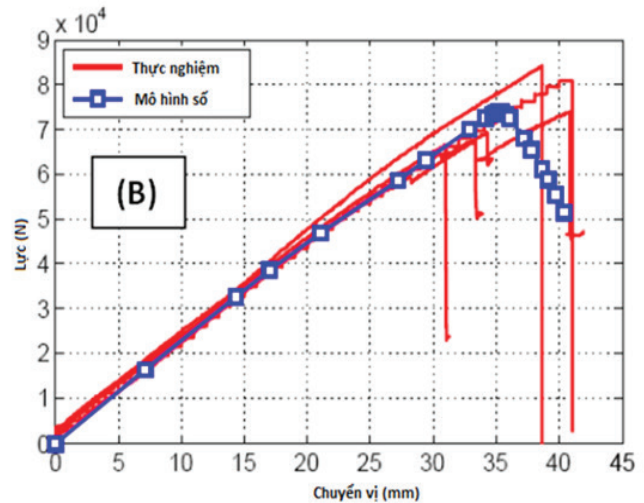


Bảng 2 so sánh kết quả thực nghiệm và kết quả dự báo của mô hình số của lực lớn nhất và chuyển vị giữa dầm tại thời điểm dầm bị phá hoại. Kết quả cho thấy khả năng dự báo tốt của mô hình số, với độ sai số nhỏ, tối đa là 2,3% đối với kết quả lực lớn nhất và 7,7% đối với chuyển vị tại thời điểm bắt đầu phá hoại.

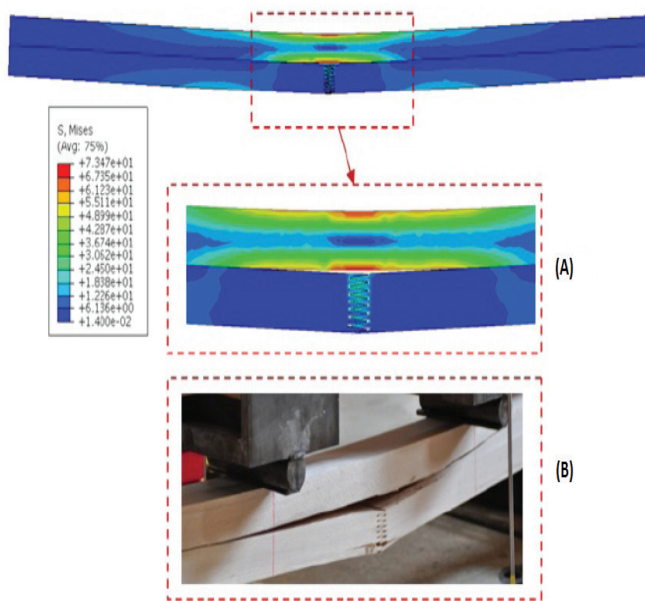
Bảng 2. So sánh kết quả lực lớn nhất và chuyển vị tương ứng giữa thực nghiệm và mô hình số.

		Thực nghiệm	Mô hình số	Sai số (%)
Dầm 2 phiến	Lực lớn nhất (N)	29622±4613	30384	2,3
	Chuyển vị tại lúc phá hoại (mm)	19,5±4	21	7,7
Dầm 3 phiến	Lực lớn nhất (N)	74627±7878	74042	0,8
	Chuyển vị tại lúc phá hoại (mm)	36,9±4,6	35,4	4

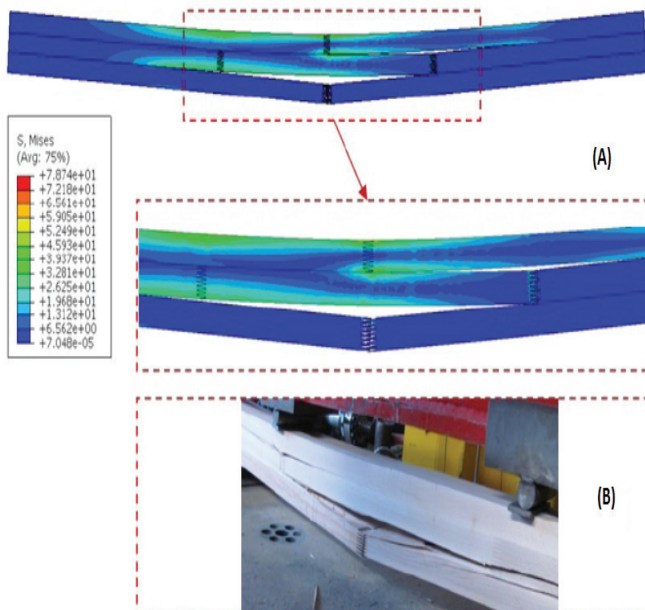
Khi quan sát dạng phá hoại của dầm liên hợp cho thấy, mô hình số có thể dự báo chính xác dạng phá hoại đặc trưng của dầm 2 phiến cũng như dầm 3 phiến (hình 10, 11). Đường phá hoại bắt đầu tại mặt keo dán của mộng răng lược, sau khi mộng bị tách ra hoàn toàn, đường phá hoại phát triển tại mặt dán của các phiến dầm, dọc theo chiều dài về phía đầu dầm. Kết quả của mô hình thể hiện ứng suất tập trung lớn nhất tại mặt keo dán cho thấy đường phá hoại thực tế của dầm liên hợp. Hơn nữa, dạng phá hoại của mô hình số cũng cho thấy mộng răng lược khi nằm ở vùng chịu nén hoặc nằm ngoài vùng chịu kéo lớn nhất (trường hợp dầm 3 phiến) sẽ ít bị ảnh hưởng, không gây nguy hiểm cho dầm. Do đó, khi chế tạo và thi công, cần tránh bố trí liên kết mộng nằm tại vùng chịu kéo lớn nhất.



Hình 9. So sánh đường cong Lực - chuyển vị của mô hình số và thực nghiệm: (A) Dầm 2 phiến; (B) Dầm 3 phiến.



Hình 10. Dạng phá hoại của dầm 2 phiến: (A) Mô hình số; (B) Thực nghiệm.



Hình 11. Dạng phá hoại của dầm 3 phiến: (A) Mô hình số; (B) Thực nghiệm.

Kết luận

Trong nghiên cứu này, dầm gỗ liên hợp 2 phiến và 3 phiến được chế tạo từ gỗ dẻ gai, tại Viện LERMAB theo quy trình của châu Âu về thiết kế dầm gỗ liên hợp [14, 15] đã được thí nghiệm sức kháng uốn, gồm mô men uốn lớn nhất và mô đun đàn hồi, theo thí nghiệm uốn 4 điểm của

tiêu chuẩn EN 408 [10]. Kết quả thực nghiệm cho thấy, khi moment uốn nằm tại vùng chịu kéo là nhược điểm lớn nhất của dầm liên hợp, gây nên phá hoại giòn, một loại phá hoại nguy hiểm của kết cấu. Vì vậy, việc chế tạo dầm liên hợp gồm càng nhiều phiến, càng tăng được khả năng chịu lực của dầm. Do moment uốn được bố trí ở nhiều vị trí khác nhau, tránh được lực tập trung toàn bộ moment uốn kết trong vùng chịu kéo, làm suy giảm sức kháng tổng thể của dầm. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm đã chỉ ra 2 điểm cần giải quyết, nhằm tăng sức kháng tổng thể của dầm: i) Cần tối ưu hóa kích thước của moment uốn, tạo liên kết vững chắc hơn; ii) Phát triển vật liệu keo, nâng cao hiệu quả liên kết cho gỗ dẻ gai.

Trong mô hình số đã được xây dựng, chúng tôi đưa ra mô hình phần tử hữu hạn, mô tả các thí nghiệm uốn 4 điểm của dầm 2 phiến và 3 phiến. Qua phân tích ở trên cho thấy, các mô hình này có thể dự báo chính xác ứng xử cơ học của dầm liên hợp, như việc dự báo lực kháng lớn nhất của dầm và chuyển vị của dầm tại thời điểm bắt đầu phá hoại với sai số nhỏ, tối đa lần lượt là 2,3% và 7,7%. Ngoài ra, mô hình số cũng có thể dự báo dạng phá hoại của dầm một cách trực quan và rất đặc trưng khi so sánh với dạng phá hoại thực tế của dầm. Việc xây dựng hoàn thiện các mô hình số giúp dự báo ứng xử cơ học của dầm gỗ liên hợp, hạn chế được số lượng lớn dầm cần chế tạo phục vụ thí nghiệm, hoặc khi cần dữ liệu thiết kế, bởi mô hình số này giúp dự báo nhanh các số liệu đầu vào cho thiết kế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D.O. Chans, J.E. Cimadevilla, E.M. Gutiérrez (2008), "Glued joints in hardwood timber", *International Journal of Adhesion & Adhesives*, **28**, pp.457-463.
- [2] J. Ayarkwa, Y. Hirashima, Y. Sasaki (2000), "Effect of finger geometry and end pressure on the flexural properties of finger-jointed tropical african hardwoods", *Forest Products Journal*, **50(11/12)**, pp.53-63.
- [3] M. Frese, H.J. Blass (2006), "Characteristic bending strength of beech glulam", *Materials and Structures*, **40**, pp.3-13.
- [4] S. Aicher, D. Ohnesorge (2011), "Shear strength of glued laminated timber made from European beech timber", *Eur. J. Wood Prod.*, **69**, pp.143-154.
- [5] M. Schmidt, A. Thonniben (2012), "Relevant wood characteristics for glued beech and ash with regard to discoloration", *Eur. J. Wood Prod.*, **70**, pp.319-325.
- [6] C. Faye (2010), "Valorisation en usage structural des essences de bois français douglas et du sapin BMR", *Institut Technologique FCBA*, **6**, pp.256-259.
- [7] CTBA (2007), "Bois lamellé-collés (BLC); bois massifs reconstitués (BMR)", *Assemblages Bois et dérivés Conception*

ystème, **1**, pp.1-4.

[8] G. Dill-Langer, S. Aicher (2014), "Glulam Composed of Glued Laminated Veneer Lumber Made of Beech Wood: Superior Performance in Compression Loading", *Materials and Joints in Timber Structures - RILEM*, **9**, pp.603-613.

[9] V.D. Tran, M. Oudjene, P.J. Méausoone (2015), "FE analysis and geometrical optimization of timber beech finger-joint under bending test", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, **52**, pp.40-47.

[10] V.D. Tran, M. Oudjene, P.J. Méausoone (2015), "Experimental and numerical analyses of the structural response of adhesively reconstituted beech timber beams", *Composite Structures Journal*, **119**, pp.206-217.

[11] V.D. Tran, M. Oudjene, P.J. Méausoone (2016), "Utilizing the innovative glued timber in construction", *Hội thảo quốc gia: Hạ tầng giao thông với phát triển bền vững lần thứ 2*, Trường Đại học Bách khoa Đà Nẵng.

[12] Norme (2009), *NF EN 338: Bois de structure, Classes de résistance*, Editée et diffusée par l'Association Française de Normalisation (AFNOR).

[13] Norme (2010), *NF EN 408: Structure en bois, Bois de structure et bois lamellé-collé. Détermination de certaines propriétés physiques et mécanique*, Editée et diffusée par l'Association Française de Normalisation (AFNOR).

[14] Norme (2012), *EN 14080: Timber Structures- glued laminated timber and glued solid timber requirements*, CEN-BNBA-AFNOR.

[15] Norme (2002), *NF EN 385: Aboutages à entures multiples dans les bois de construction, Exigences de performance et exigences minimales de fabrication*, Editée et diffusée par l'Association Française de Normalisation (AFNOR).

[16] R. Hill (1948), *A theory of yielding and plastic flow of anisotropic metals*, London Proc.

[17] M. Oudjene, M. Khelifa (2009), "Finite element modelling of wooden structures at large deformation and brittle failure prediction", *Materials and Design*, **30**, pp.4081-4087.

[18] Dassault Systèmes Simulia Corp (2008), *ABAQUS theory manual*, Providence, Rhode Island, USA.