

Phân tích ứng xử của dầm cầu thép chữ "I" có bản bụng bằng thép lượn sóng

■ PGS. TS. TRẦN VIỆT HÙNG^(*)

Trường Đại học Giao thông vận tải

ThS. TRẦN QUỐC TRÌNH

Công ty Cổ phần Kỹ thuật VITEC

Email: ^(*)tranviethung@utc.edu.vn

TÓM TẮT: Dầm thép chữ I có bản bụng lượn sóng đã được sử dụng rộng rãi trong nhiều kết cấu khác nhau như các dầm thép của nhà công nghiệp và của các công trình cầu do loại kết cấu này có nhiều ưu điểm so với dầm thép truyền thống có bản bụng thép tấm phẳng. Trong bài báo này, dầm thép mặt cắt chữ I được lựa chọn làm đối tượng nghiên cứu. Mô hình phần tử hữu hạn được sử dụng để phân tích ứng xử của dầm thép I truyền thống và dầm thép I có bản bụng lượn sóng với các trường hợp thay đổi chiều dày thép lượn sóng. Kết quả cho thấy, khi tăng chiều dày thép lượn sóng thì độ cứng chống xoắn của dầm tăng lên đáng kể.

TỪ KHÓA: Dầm thép chữ I, sườn thép lượn sóng, phương pháp phần tử hữu hạn, cầu thép.

ABSTRACT: I-section steel beam with corrugated web have been used widely in many different structures such as industrial buildings and bridges because this type of structure has many advantages compared to steel girder with flat web. In this paper, I-section steel beams are selected as the research object. The finite element model is used to analyze the behavior of conventional I-beams and corrugated web with varying thickness cases of corrugated steel. The results show that when increasing the corrugated steel thickness, the torsional stiffness of the beam increases significantly.

KEYWORDS: I-beam, corrugated steel web, finite element method, steel bridge.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

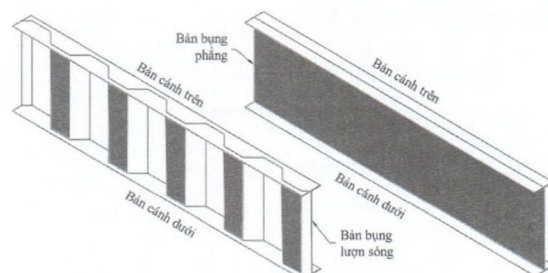
Dầm thép chữ I có bản bụng phẳng hiện đang được sử dụng như là các kết cấu chính trong nhiều lĩnh vực xây dựng như được mô tả trong Hình 1.1. Các kết cấu này chủ yếu được thiết kế chịu mô-men uốn. Một trong những ưu điểm chính của loại dầm này là tăng độ ổn định của dầm chống lại hiện tượng mất ổn định xoắn ngang, điều này cho thấy loại dầm này có tính kinh tế cao. Một số nghiên cứu cũng đã kiểm tra khả năng làm việc của bản bụng thép lượn sóng có dạng hình thang với điều kiện chịu cắt, mô-

men uốn thứ cấp trong các bản cánh, uốn, oằn dọc trục và oằn xoắn ngang [1]. Khi sử dụng sườn lượn sóng cũng không làm suy giảm sức chịu tải của dầm và cũng sẽ dẫn đến độ ổn định của dầm cao hơn, tránh được những vấn đề liên quan đến khả năng mất ổn định và biến dạng ngang như khi sử dụng bản bụng bằng thép tấm phẳng [2-3]. Đối với các dầm chịu uốn, chế độ phá hoại tại khả năng chịu lực của bản cánh sóng bị ảnh hưởng bởi tỷ lệ độ dày bản cánh [4]. Ngoài ra, nhiều nghiên cứu cho thấy trọng lượng của dầm sử dụng bản bụng lượn sóng có xu hướng giảm so với bản bụng bằng tấm phẳng có cùng khả năng chịu lực khoảng 9 - 13% (Hamada và cộng sự, 1984) [5] và khoảng 10,6% (Chan và cộng sự, 2002) [6].

Với những ưu điểm đã phân tích ở trên có thể thấy rằng, các dầm có bản bụng lượn sóng khá kinh tế khi sử dụng và có thể cải thiện tính thẩm mỹ của kết cấu. Trên thế giới nhiều cầu đã sử dụng loại này, đơn cử như thống kê trong Bảng 1.1. Tuy nhiên, để hiểu rõ ứng xử của bản bụng dầm lượn sóng, bài báo này sẽ tiến hành khảo sát một số trường hợp bản bụng thép lượn sóng với các chiều dày (t_w) thay đổi, từ đó sẽ so sánh độ cứng chống xoắn của dầm với các trường hợp chiều dày $t_w = 5 \div 10$ mm với dầm bản bụng phẳng dày $t = 10$ mm (Hình 1.2).



Hình 1.1: Cầu Maupré (Pháp) (nguồn: <https://structurae.net/>)



Hình 1.2: Tiết diện dầm điển hình có bản bụng lượn sóng và bản bụng phẳng

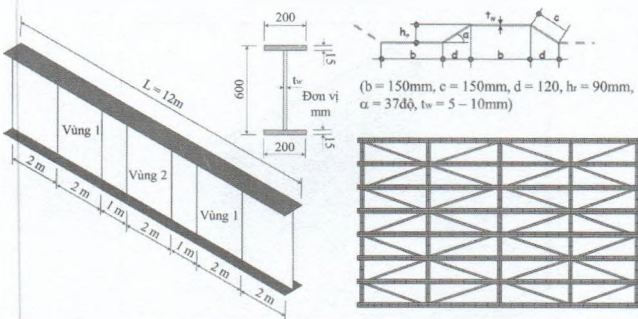
Bảng 1.1. Chi tiết kích thước của sườn lượn sóng đã sử dụng cho cầu [7]

Tên cầu	(Hình dạng)						
	b [mm]	d [mm]	c [mm]	h_r [mm]	t_w [mm]	h_w [mm]	α [°]
Shinkai	250	200	250	150	9	1183	36.9
Matsnoki	300	260	300	150	10	2210	30.0
Hondani	330	270	336	200	9	3315	36.5
Cognac	353	319	353	150	8	1771	25.2
Maupre	284	241	284	150	8	2650	31.9
Dole	430	370	430	220	10	2546	30.7
Ilsun	330	330	386	200	18	2292	31.2
Trung bình	325	284	334	174	10	2281	32

2. TRƯỜNG HỢP NGHIÊN CỨU

Trong nghiên cứu này, chúng tôi phân tích hai loại dầm gồm dầm có bản bụng phẳng và dầm có bản bụng thép sóng chịu tải trọng như nhau. Để không bị ảnh hưởng bởi tính cục bộ ở đầu dầm, tiến hành phân tích ứng suất, biến dạng của các phần tử thuộc vùng 1 và vùng 2 như mô tả trong Hình 2.1. Trong phần này sẽ giả định một dầm cầu liên hợp dầm thép bản BTCT có bề rộng mặt cắt ngang $B = 8$ m với 7 dầm thép chữ I có chiều cao 600 mm, chiều rộng và chiều dày bản cánh trên và dưới tương ứng là 200 mm và 15 mm (Hình 2.1). Khoảng cách các dầm là 1.150 mm. Chiều dày bản BTCT là 150 mm. Trong nghiên cứu này xem xét với 2 loại bản bụng như sau:

- Trường hợp bản bụng phẳng giả định chiều dày $t_w = 10$ mm.
- Trường hợp bản bụng lượn sóng nghiên cứu với các trường hợp chiều dày $t_w = 5 \div 10$ mm.



Hình 2.1: Kích thước mặt cắt ngang, mặt bằng bố trí dầm và phân vùng nghiên cứu

Tổ hợp tải trọng được xét 2 tổ hợp tải trọng như sau:

- Tải trọng thiết kế: HL93; số làn xếp tải: 2 làn.
- TH1: Tổ hợp tải trọng gây bất lợi về uốn (xếp tải đúng tâm)
- TH2: Tổ hợp tải trọng gây bất lợi về xoắn (xếp tải lệch tâm)

Các đặc trưng vật liệu dùng để mô hình PTHH được mô tả như trong Bảng 2.1. Việc phân tích chuyển vị theo phương pháp tuyến của các tấm nhằm kiểm tra sự cong vênh của các tấm, ảnh hưởng đến độ ổn định của dầm.

Bảng 2.1. Các đặc trưng vật liệu

Vật liệu	Vị trí	Mô-đun đàn hồi (MPa)	Cường độ bê tông (MPa)	Giới hạn chảy (MPa)	Giới hạn kéo tới hạn (MPa)
Bê tông	Bản BTCT	$2,2 \times 10^4$	30		
Thép bản	Bản cánh dầm, bản sườn	$2,0 \times 10^5$		345	450

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

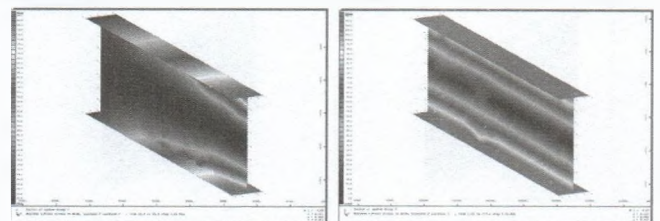
Dựa trên kết quả tính toán (Bảng 3.1, 3.2) cho thấy hiệu quả tăng lên đáng kể của dầm có bản bụng lượn sóng so với bản bụng phẳng. Độ cứng chống xoắn tăng lên đáng kể tương ứng với chiều dày bản bụng tăng lên. Chuyển vị theo phương pháp tuyến giảm dần khi chiều dày bản bụng lượn sóng tăng lên.

Bảng 3.1. So sánh các kết quả tính toán với các trường hợp

STT	Loại dầm	Ứng suất	Độ cứng chống xoắn	
			Vùng 1	Vùng 2
1	Dầm I sườn phẳng, $t = 10$ mm	Trong miền đàn hồi	100%	100%
2	Dầm I sườn lượn sóng, $t_w = 5$ mm	Trong miền đàn hồi	224%	117%
3	Dầm I sườn lượn sóng, $t_w = 6$ mm	Trong miền đàn hồi	242%	119%
4	Dầm I sườn lượn sóng, $t_w = 7$ mm	Trong miền đàn hồi	280%	120%
5	Dầm I sườn lượn sóng, $t_w = 8$ mm	Trong miền đàn hồi	284%	120%
6	Dầm I sườn lượn sóng, $t_w = 9$ mm	Trong miền đàn hồi	305%	120%
7	Dầm I sườn lượn sóng, $t_w = 10$ mm	Trong miền đàn hồi	331%	121%

Bảng 3.2. So sánh các kết quả tính toán chuyển vị theo phương pháp tuyến

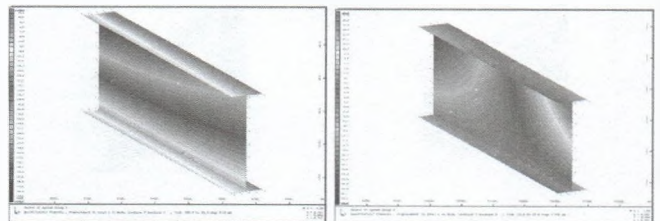
Vùng	$t = 10$ mm	$t_w = 5$ mm	$t_w = 6$ mm	$t_w = 7$ mm	$t_w = 8$ mm	$t_w = 9$ mm	$t_w = 10$ mm
Vùng 1	101,8 mm	45,5 mm	42,0 mm	38,9 mm	35,9 mm	33,4 mm	30,8 mm
Vùng 2	18,9 mm	16,1 mm	15,9 mm	15,8 mm	15,7 mm	15,0 mm	15,6 mm



Vùng 1 (86,3 Mpa)

Vùng 2 (121,0 Mpa)

Trường ứng suất (TH1)

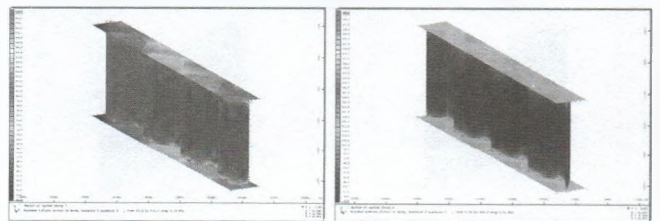


Vùng 1 (101,8 mm)

Vùng 2 (18,9 mm)

Chuyển vị theo phương pháp tuyến (TH2)

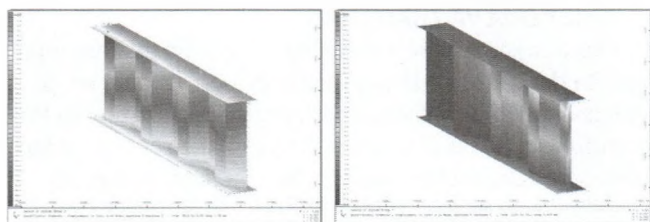
Hình 3.1: Kết quả tính toán với dầm I bản bụng phẳng, $t = 10$ mm



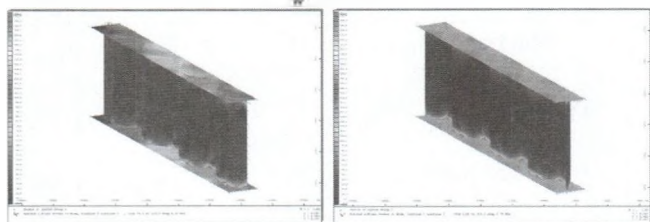
Vùng 1 (172,1 Mpa)

Vùng 2 (344,2 Mpa)

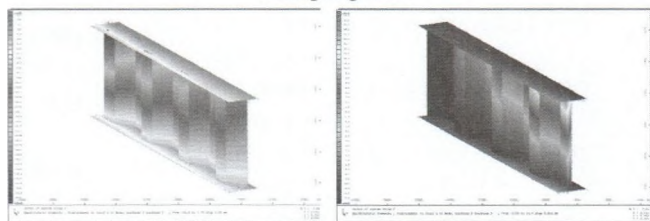
Trường ứng suất



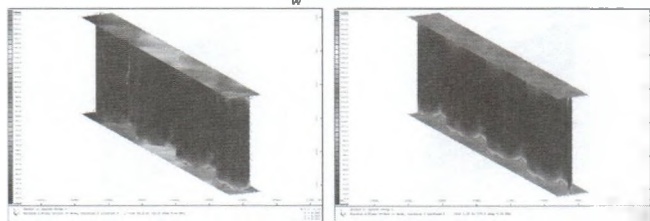
Vùng 1 (45,5 mm) Vùng 2 (16,1 mm)
Chuyển vị theo phương pháp tuyến (TH2)
Hình 3.2: Kết quả tính toán với dầm I bản bụng lượn sóng,
 $t_w = 5 \text{ mm}$



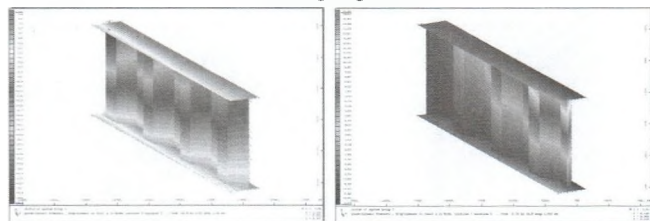
Vùng 1 (170,3 Mpa) Vùng 2 (311,5 Mpa)
Trường ứng suất



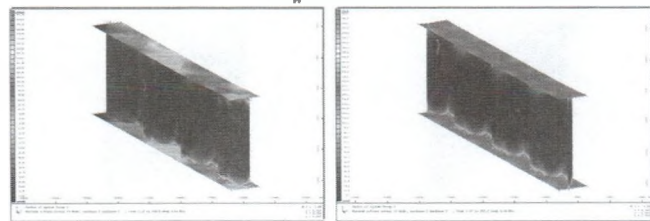
Vùng 1 (42,0 mm) Vùng 2 (15,9 mm)
Chuyển vị theo phương pháp tuyến (TH2)
Hình 3.3: Kết quả tính toán với dầm I bản bụng lượn sóng,
 $t_w = 6 \text{ mm}$



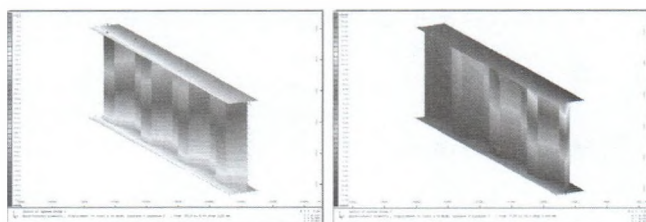
Vùng 1 (165,0 Mpa) Vùng 2 (279,0 Mpa)
Trường ứng suất



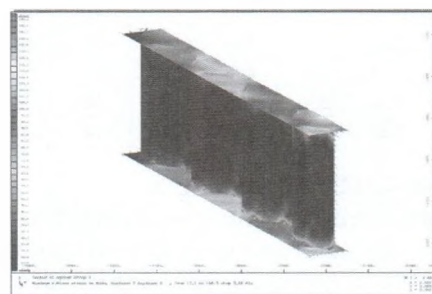
Vùng 1 (38,9 mm) Vùng 2 (15,8 mm)
Chuyển vị theo phương pháp tuyến (TH2)
Hình 3.4: Kết quả tính toán với dầm I bản bụng lượn sóng,
 $t_w = 7 \text{ mm}$



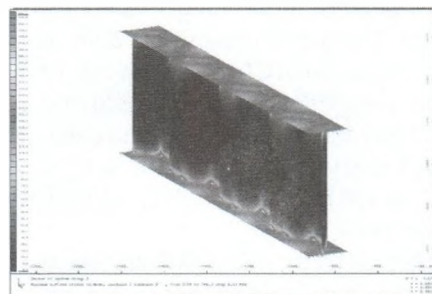
Vùng 1 (160,8 Mpa) Vùng 2 (261,1 Mpa)
Trường ứng suất



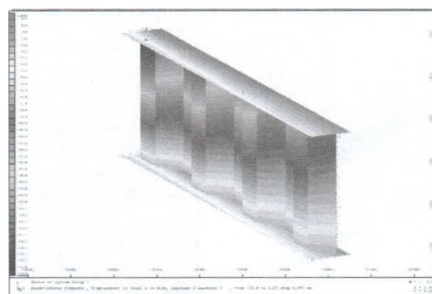
Vùng 1 (35,9 mm) Vùng 2 (15,7 mm)
Chuyển vị theo phương pháp tuyến (TH2)
Hình 3.5: Kết quả tính toán với dầm I bản bụng lượn sóng,
 $t_w = 8 \text{ mm}$



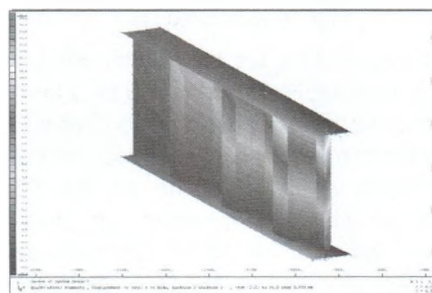
Vùng 1 (156,3 Mpa)



Vùng 2 (246,7 Mpa)
Trường ứng suất

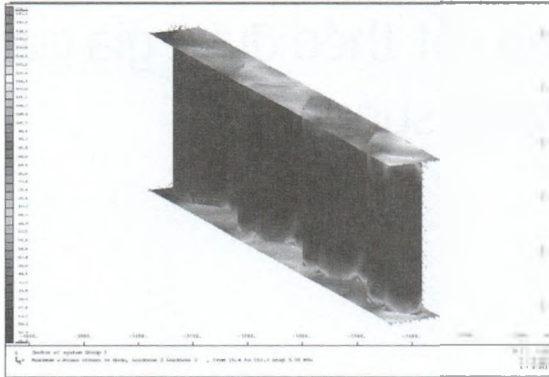


Vùng 1 (33,4 mm)

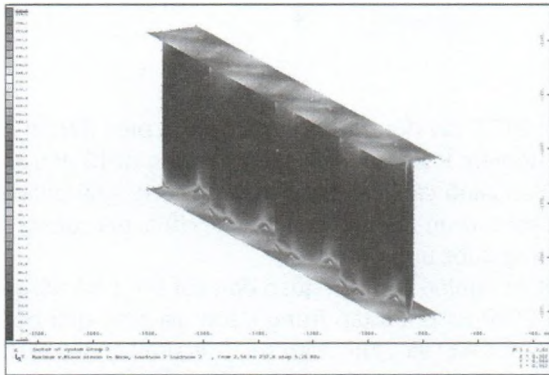


Vùng 2 (15,0 mm)
Chuyển vị theo phương pháp tuyến (TH2)

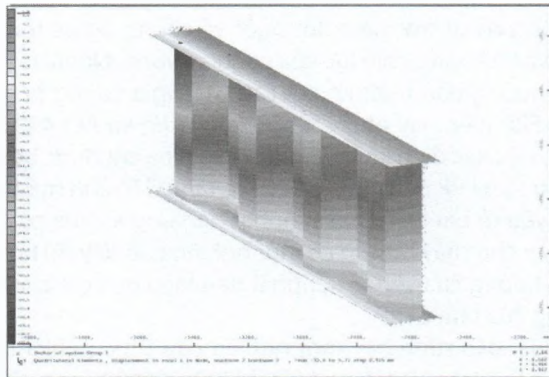
Hình 3.6: Kết quả tính toán với dầm I bản bụng lượn sóng,
 $t_w = 9 \text{ mm}$



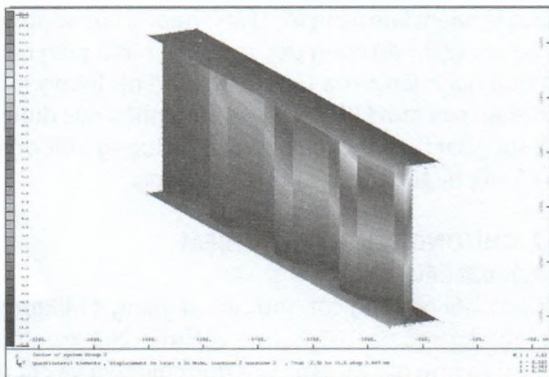
Vùng 1 (151,7 Mpa)



Vùng 2 (232,8 Mpa)
Trường ứng suất



Vùng 1 (30,8 mm)



Vùng 2 (15,6 mm)

Chuyển vị theo phương pháp tuyến (TH2)

Hình 3.7: Kết quả tính toán với dầm I bản bụng lượn sóng,
 $t_w = 10 \text{ mm}$

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, mô hình PTHH được sử dụng để tiến hành nghiên cứu tham số của các dầm có bản bụng phẳng và bản bụng lượn sóng.

Qua các kết quả nghiên cứu đạt được ở trên cho thấy:

- Khả năng ứng dụng dầm thép chữ I có sườn lượn sóng là khả thi trong thiết kế công trình cầu;
- Độ dày của bản bụng tỷ lệ thuận với khả năng chống xoắn và uốn của các dầm;
- Việc sử dụng sườn dầm bằng thép lượn sóng cho phép loại bỏ những biến dạng và tăng khả năng chống mất ổn định xoắn ngang của dầm.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học GTVT trong Đề tài mã số T2022-CT-001.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Ngoc Duong Nguyen, Sung Nam Kim, Seung-Ryong Han, Young-Jong Kang (2010), *Elastic lateral-torsional buckling strength of I-girder with trapezoidal web corrugations using a new warping constant under uniform moment*, Eng. Struct, vol.32, pp.2157-2165.
- [2]. SachinK., G., Mrs.SowjanyaG., V., & Muralidhar, M. (2014), *Behaviour of Plate Girder with Flat Web and Corrugated Web*.
- [3]. Guo-Qiang Li, Jian J. and Qi Z. (2015), *Local buckling of compression flanges of H-beams with corrugated webs*, Journal of Constructional Steel Research, vol.112, pp.69-79.
- [4]. Jäger B., Dunai L. and Kövesdi B. (2017), *Experimental investigation of the MVF interaction behavior of girders with trapezoidally corrugated web*, Engineering Structures, vol.133, pp.49-58.
- [5]. Chan C., Khalid Y. A., Sahari B. B. and Hamouda A. (2002), *Finite element analysis of corrugated web beams under bending*, Journal of Constructional Steel Research, vol.58, pp.1391-1406.
- [6]. Hamada, M., Nakayama, K., Kakihara, M., Saloh, K. and Obtake, F. (1984), *Development of welded I-beam with corrugated web*, The Sumitomo search, Tokyo, no.29, pp.75-90.
- [7]. Yong-Bo Shao, Amany Refat Elsisy, M.F. Hassanein (2021), *On the out-of-plane stiffness of I-section girders with corrugated webs using elastic finite element analyses*, Structures, vol.29, pp.1242-1258.

Ngày nhận bài: 01/11/2022

Ngày chấp nhận đăng: 05/12/2022

**Người phản biện: PGS. TS. Nguyễn Hữu Hưng
TS. Thái Minh Quân**