

# Nghiên cứu đề xuất cấu tạo mặt cắt của kết cấu sàn liên hợp bằng bê tông cốt lưới dệt và bê tông cốt thép

Nguyễn Công Hậu<sup>1\*</sup>, Nguyễn Thị Thu Thủy<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Giao thông vận tải

**TỪ KHOÁ**

Sàn liên hợp

Lưới dệt

**TÓM TẮT**

Bài báo trình bày nghiên cứu đề xuất cấu tạo mặt cắt của kết cấu sàn liên hợp bằng bê tông cốt lưới dệt và bê tông cốt thép. Hai dạng mặt cắt là dạng đặc và dạng rỗng được đề xuất. Kết quả khảo sát các tham số hình học của tiết diện đã tìm ra kích thước phù hợp cho mỗi dạng mặt cắt theo điều kiện chịu lực và điều kiện biến dạng. Ngoài ra, kết quả khảo sát cũng cho thấy tiết diện dạng đặc hợp lý hơn so với tiết diện dạng rỗng cả trong quá trình chế tạo và khi chịu lực.

**KEYWORDS**

Composite slab

Textile reinforced concrete

**ABSTRACT**

This paper presents research on proposed cross-section of composite slab using textile reinforced concrete and rebar reinforced concrete. Two types of cross-sections, solid and hollow, are proposed. The results of surveying the geometric parameters of the cross-section have found the appropriate size for each cross-section type according to the load-bearing and deformation conditions. In addition, the survey results also show that solid cross-sections are more reasonable than hollow cross-sections both during the manufacturing process and when subjected to force.

**1. Đặt vấn đề**

Hiện nay bê tông cốt thép là loại vật liệu được sử dụng phổ biến trong các công trình xây dựng trên toàn thế giới cũng như ở Việt Nam. Tuy nhiên, bê tông có khả năng chịu kéo kém nên chúng dễ bị nứt làm cho cho cấu kiện giảm độ cứng, biến dạng tăng nhiều và không đảm bảo được độ bền theo thời gian do dễ bị xâm thực từ môi trường. Ngoài ra, cấu kiện làm từ bê tông còn có trọng lượng bản thân lớn nên khả năng vượt nhịp kém, gây khó khăn trong bố trí không gian và ảnh hưởng tới yếu tố mỹ thuật.

Trước những hạn chế đó, việc sử dụng sàn liên hợp thép - bê tông là một giải pháp có nhiều ưu điểm vượt trội hơn so với sàn bê tông cốt thép thông thường. Sàn liên hợp có khả năng vượt nhịp lớn hơn nên phù hợp với các công trình cần không gian rộng như nhà hàng tiệc cưới, nhà xe nhiều tầng, ... Tiến độ thi công nhanh do không phải mất thời gian làm cốt pha, không mất thời gian chờ đợi bê tông đạt cường độ để tháo cốt pha sàn ([1], [2]).

Tuy nhiên, nhược điểm của kết cấu sàn liên hợp dạng này là sau một thời gian sử dụng, tấm tôn bị rỉ, làm giảm diện tích thép chịu kéo cho mô men dương cũng như làm giảm dính bám giữa tấm tôn và bản bê tông, gây ra hư hỏng, thậm chí kết cấu bị phá hoại. Ngoài ra, dính bám giữa tấm tôn và bê tông thường không cao, cần phải có các biện pháp tăng cường dính bám như khoan tạo lỗ nhỏ trong tôn, đập các gờ nổi hay hàn các đinh tán dọc chiều dài tôn [3]. Những công tác này phức tạp, mất thời gian và gây ra biến dạng nhiệt tại các vị trí hàn.

Với sự phát triển mạnh mẽ của ngành vật liệu, nhiều loại vật liệu mới đã được nghiên cứu tạo ra và được ứng dụng rộng rãi trong đó có bê tông cốt lưới dệt. Bê tông cốt lưới dệt (Textile Reinforced Concrete, TRC) lần đầu tiên được công bố vào cuối những năm 1990 tại Đức bởi trung tâm nghiên cứu TU Dresden và Trường Đại học RWTH Aachen [4]. Bê tông cốt lưới dệt có ứng dụng rất lớn trong công tác sửa chữa, gia cường kết cấu cũng như trong chế tạo các kết cấu có chiều dày mỏng.

Bê tông cốt lưới dệt (TRC) được cấu thành từ hai thành phần chính là lưới sợi dệt và bê tông hạt mịn. Bê tông hạt mịn có kích thước hạt lớn nhất với đường kính chỉ khoảng 1 mm [5], nên loại bê tông này được phân loại như một loại vữa. Bê tông hạt mịn có tính tự đầm và độ chảy loang cao. Những đặc điểm này giúp sản xuất ra được các cấu kiện có kích thước nhỏ, hình dạng mặt cắt phức tạp và chiều dày thành mỏng. Cốt lưới dệt được chế tạo từ carbon, thủy tinh nên không bị xâm thực bởi môi trường, do đó, chiều dày của lớp bê tông bảo vệ giảm xuống chỉ ở mức vài mm giúp cấu kiện thanh mảnh hơn [6]. Cốt lưới dệt có cường độ chịu kéo rất cao nên tấm bê tông cốt lưới dệt có thể thay thế khả năng chịu kéo của tấm tôn trong kết cấu sàn liên hợp thông thường ([6], [7], [8]). Vì vậy, việc thay thế tấm tôn bằng tấm bê tông cốt lưới dệt là một giải pháp khả thi, cần được nghiên cứu và thực hiện.

**2. Đề xuất các dạng mặt cắt của lớp ván khuôn bằng bê tông cốt lưới dệt**

\*Liên hệ tác giả: haunc\_ph@utc.edu.vn

Nhận ngày 31/01/2024, sửa xong ngày 20/02/2024, chấp nhận đăng ngày 25/02/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.02.2024.640>

2.1. Các giai đoạn làm việc của kết cấu sàn liên hợp bằng bê tông cốt lưới dẹt và bê tông cốt thép

Trong quá trình làm việc của sàn liên hợp thép – bê tông thường có hai giai đoạn làm việc đó là giai đoạn thi công và giai đoạn khai thác [9]. Thay vì sử dụng tấm tôn dập nguội đặt ở dưới thì trong hệ sàn liên hợp bằng bê tông cốt lưới dẹt và bê tông cốt thép, người ta sử dụng tấm bê tông cốt lưới dẹt (TRC) để thay thế. Vì vậy các giai đoạn làm việc của cả hai hệ sàn này là tương tự nhau.

Trong giai đoạn thi công, khi mà lớp bê tông cốt lưới dẹt (TRC) đóng vai trò của ván khuôn. Lớp bê tông cốt lưới dẹt phải được kiểm tra cả trạng thái giới hạn cường độ và trạng thái giới hạn sử dụng [9]. Tấm ván khuôn TRC cần được giới hạn độ võng tương tự như các loại ván khuôn thông thường để đảm bảo độ phẳng và hình dạng cho kết cấu sau khi tháo ván khuôn. Độ võng của tấm ván khuôn TRC phải đảm bảo nhỏ hơn  $L/400$  [10] (với L là khoảng cách giữa các xà gồ lớp trên). Ngoài ra, tấm ván khuôn TRC thường là cấu kiện đúc sẵn, phải trải qua quá trình vận chuyển và cầu lắp rất dễ làm cấu kiện bị nứt gãy. Vì vậy, trong giai đoạn vận chuyển và thi công, cần giới hạn mặt cắt tấm ván khuôn không bị nứt.

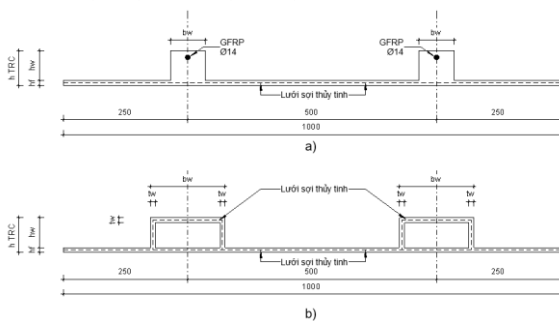
Trong giai đoạn đưa vào khai thác, khi mà bê tông và lớp TRC đã làm việc cùng nhau để trở thành một cấu kiện liên hợp. Trong giai đoạn này sàn cũng phải được kiểm tra cả trạng thái giới hạn cường độ và trạng thái giới hạn sử dụng [9].

2.2. Đề xuất các dạng mặt cắt của lớp ván khuôn bằng bê tông cốt lưới dẹt

2.2.1. Dạng mặt cắt của lớp ván khuôn

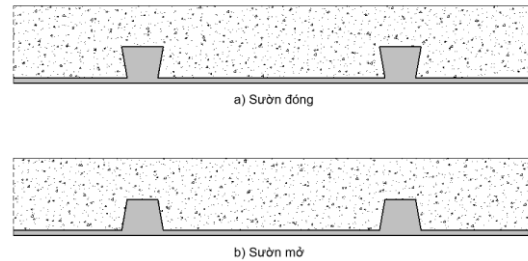
Tấm TRC có thể có nhiều hình dạng khác nhau, nhưng các hình dạng này phải đảm bảo về độ cứng chịu uốn, diện tích mặt cắt nhỏ để giảm trọng lượng bản thân, có diện tích tiếp xúc lớn với lớp bê tông để tăng khả năng truyền lực và chống trượt ([6],[7],[8]).

Trong hệ sàn liên hợp thép – bê tông, tấm tôn hình dập nguội do có chiều dày danh định khá mỏng, thường không quá 1mm, nên để đảm bảo yêu cầu về độ cứng thường chỉ có một dạng mặt cắt cơ bản là hình sóng ([2], [3]). Đối với tấm TRC do có chiều dày lớn hơn nhiều, lên tới vài centimet, nên dạng mặt cắt của tấm TCR có thể được làm phẳng mặt đáy, bố trí thêm sườn để tăng cứng và tăng độ dính bám với lớp bê tông tươi [11]. Có thể sử dụng dạng sườn đặc (Hình 2.1a), hoặc dạng sườn rỗng để giảm trọng lượng (Hình 2.1b).



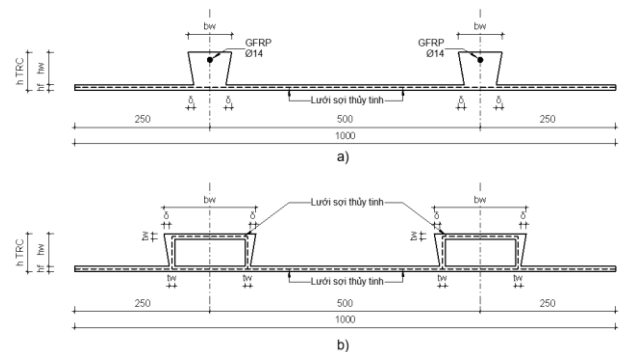
Hình 2.1. Hai dạng mặt cắt của tấm TRC.

Để đảm bảo khả năng làm việc liên hợp giữa tấm ván khuôn và lớp bê tông phía trên cần tăng sự dính bám giữa chúng. Để làm tăng lực dính bám có thể tăng diện tích tiếp xúc bề mặt để tăng lực ma sát hoặc bằng cách tạo ra hiệu ứng cài khóa cơ học giữa tấm ván khuôn và lớp bê tông bên trên [12]. Thay vì cạnh bên của sườn tấm ván khuôn được bố trí vuông góc với bản đáy khiến hai lớp vật liệu dễ bị bong tách do co ngót hoặc khi chịu lực, các cạnh bên của phần sườn nên được làm nghiêng góc so với bản đáy để tạo ra tiết diện dạng sườn đóng hoặc sườn mở như Hình 2.2.



Hình 2.2. Dạng sườn đóng và sườn mở của tiết diện ván khuôn.

Nhận thấy, tiết diện dạng sườn đóng có diện tích tiếp xúc bề mặt lớn hơn tiết diện dạng sườn mở khoảng 5 % đến 10 % với cùng góc nghiêng, chiều cao sườn và khoảng cách giữa các sườn. Đặc biệt, tiết diện dạng sườn đóng còn tạo ra thêm hiệu ứng cài khóa cơ học giữa hai lớp vật liệu giúp tăng khả năng dính bám khi sàn làm việc liên hợp. Chính vì vậy, trong nghiên cứu này, tiết diện dạng sườn đóng như Hình 2.3 được đề xuất sử dụng.



Hình 2.3. Hai dạng mặt cắt của tấm TRC có cấu tạo sườn đóng.

Các dạng mặt cắt trên được quy định bởi các đặc trưng chính bao gồm: Chiều dày  $h_f$  của bản cánh tấm ván khuôn TRC; Chiều cao mặt ngang  $h_{TRC}$  của tấm ván khuôn TRC; Chiều rộng bản sườn  $b_w$  của tấm ván khuôn TRC.

Cần tiến hành khảo sát các tham số này của mặt cắt để chọn được dạng mặt cắt tối ưu về khả năng chịu lực ở giai đoạn thi công và giai đoạn khai thác.

Nhằm giảm trọng lượng của tấm ván khuôn, chiều dày thành của sườn nên được làm mỏng. Chiều dày này phải đảm bảo các yêu cầu tối

thiếu về dính bám giữa các vật liệu và dung sai khi thi công. Trong khảo sát này, tác giả chọn chiều dày thành của sườn  $t_w = 10 \text{ mm}$ .

Kích thước mở rộng của phần sườn  $\delta$  được chọn theo yêu cầu cấu tạo nhằm tăng khả năng làm việc liên hợp của sàn bê tông. Theo Brameschuber [12], kích thước mở rộng của phần sườn tối thiểu là  $\delta = 10 \text{ mm}$ .

Khảo sát được thực hiện với các giả thiết cơ bản gồm: Giả thiết mặt cắt được giữ phẳng trước và sau biến dạng; dính bám giữa bê tông và cốt chịu lực là tuyệt đối và dính bám giữa ván khuôn TRC với lớp bê tông thường phía trên cũng là tuyệt đối.

2.2.2. Vật liệu sử dụng cho kết cấu

Trong khảo sát này, bê tông sử dụng cho lớp ván khuôn TRC là bê tông hạt mịn có cường độ chịu nén 60 MPa, cường độ chịu kéo 6 MPa và mô đun đàn hồi 32,6 GPa. Trọng lượng riêng 23 kN/m<sup>3</sup>.

Bê tông tươi đổ trên lớp ván khuôn TRC là bê tông thường có cường độ chịu nén 35 MPa, cường độ chịu kéo 3,7 MPa và mô đun đàn hồi 28 GPa. Trọng lượng riêng 25 kN/m<sup>3</sup>.

Sử dụng loại lưới sợi thủy tinh có cường độ chịu kéo 1800 MPa và mô đun đàn hồi 120 GPa.

Cốt FRP sợi thủy tinh (GFRP) có đường kính  $\varnothing 14 \text{ mm}$ , có diện tích tiết diện 122,65 mm<sup>2</sup>, cường độ chịu kéo 800 MPa, và mô đun đàn hồi 45 GPa.

Sử dụng cốt thép thanh số 10, có diện tích tiết diện 71 mm<sup>2</sup>, với bước thép 200 mm cho mỗi phương. Thép có cường độ kéo chảy  $f_y = 420 \text{ MPa}$  và mô đun đàn hồi 200 GPa.

2.2.3. Tải trọng tác dụng lên kết cấu

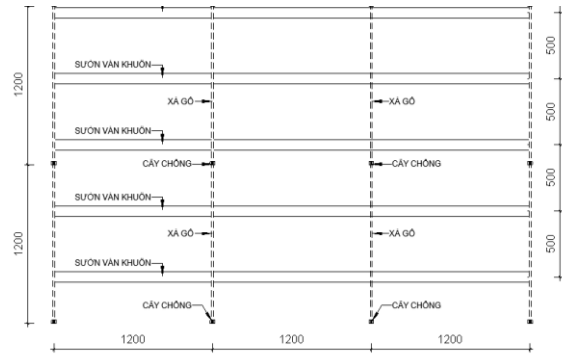
Trong giai đoạn thi công, các tải trọng tiêu chuẩn tác dụng lên tấm TRC bao gồm: Trọng lượng bản thân của tấm TRC ( $q_1$ ); Trọng lượng bản thân của bê tông ướt ( $q_2$ ); Hoạt tải do người và thiết bị thi công trên ván khuôn sàn ( $q_3 = 2,5 \text{ kN/m}^2$ ); Tải trọng do đầm rung ( $q_4 = 2 \text{ kN/m}^2$ ) ([9], [10]);

Trong giai đoạn sử dụng, các tải trọng tiêu chuẩn tác dụng lên hệ sàn liên hợp TRC - bê tông gồm: Trọng lượng bản thân của sàn liên hợp TRC - bê tông ( $p_1 = q_1 + q_2$ ); Tải trọng dài hạn trên và dưới bề mặt sàn (vữa đệm, gạch lát nền, trần thạch cao, hệ thống kỹ thuật ...) ( $p_2 = 1,5 \text{ kN/m}^2$ ); Hoạt tải sử dụng ( $p_3 = 2 \text{ kN/m}^2$ ) ([9], [10]). Hệ số tin cậy của tải trọng lấy theo ([10], [13]).

2.2.4. Sơ đồ tính trong các giai đoạn làm việc

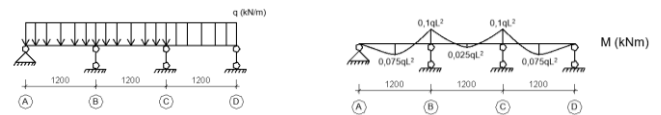
2.2.4.1. Trong giai đoạn thi công

Trong nghiên cứu này, các xà gồ được bố trí theo phương vuông góc với các sườn của tấm ván khuôn và cách đều nhau với khoảng cách 1,2m. Khoảng cách này giúp giảm được đáng kể lượng xà gồ và cây chống, phù hợp với kích thước điển hình của giá chống và tận dụng được khả năng về cường độ và độ cứng của tấm ván khuôn TRC.



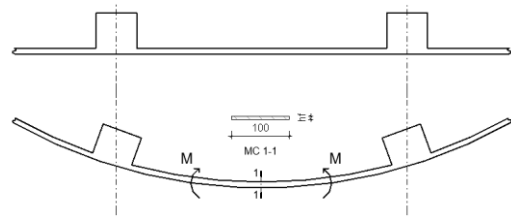
Hình 2.4. Mặt bằng bố trí xà gồ, cây chống khi thi công sàn.

Xét theo phương dọc sườn, tấm ván khuôn làm việc như một dầm liên tục có gối tựa là các xà gồ và chịu lực phân bố đều. Ta có sơ đồ tính và biểu đồ mô men như Hình 2.5. Tính toán với một dải có bề rộng 0,5 m gồm phần sườn ở giữa và bản cánh 2 bên với dạng tiết diện chữ T ngược.



Hình 2.5. Sơ đồ tính và biểu đồ mô men trong giai đoạn thi công.

Xét theo phương vuông góc với sườn tấm ván khuôn, do các đoạn bản cánh giữa các sườn có chiều dày nhỏ hơn nhiều so với chiều cao phần sườn nên chúng dễ bị uốn cong như Hình 2.6.

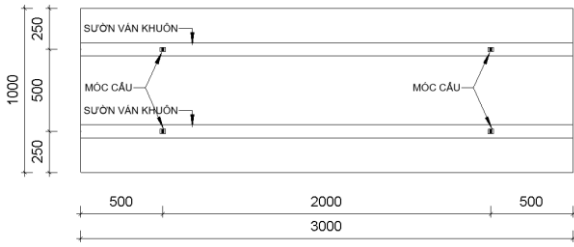


Hình 2.6. Đoạn bản cánh bị uốn giữa các sườn.

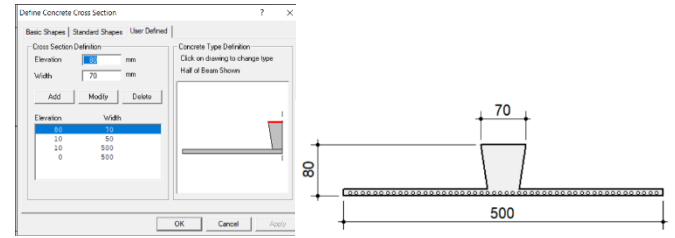
Xét một dải có bề rộng 100 mm theo phương vuông góc với sườn ván khuôn (song song với các xà gồ). Tìm nội lực của dải với các tải trọng trong giai đoạn thi công nêu trên (tổng chiều dày sàn giả định là 150 mm) và các điều kiện biên gồm các xà gồ và cây chống như trên. Giá trị mô men lớn nhất giữa dải là 0,094 kNm khi xét tải trọng tính toán và 0,077 kNm khi xét tải trọng tiêu chuẩn.

Khảo sát trường hợp khi vận chuyển tấm ván khuôn TRC. Xét tấm ván khuôn có kích thước 1 m x 3 m có vị trí móc cầu như

Hình 2.7. Xét dải có bề rộng 0,5 m dọc theo sườn tấm ván khuôn và dải có bề rộng 0,1 m vuông góc với sườn tấm ván khuôn. Mô men tính toán lớn nhất giữa dải là 0,0468 kNm.



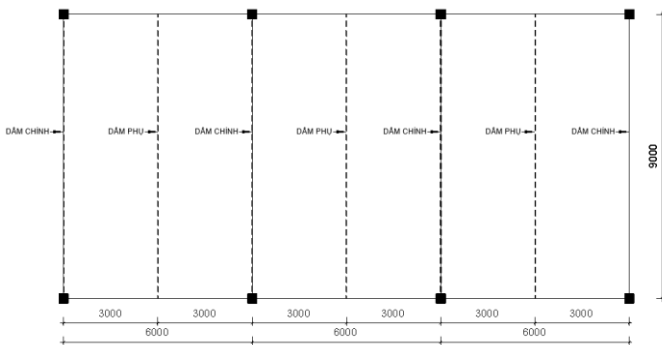
Hình 2.7. Sơ đồ móng cầu khi vắn chuyển tấm ván khuôn.



Hình 2.9. Khai báo tiết diện.

2.2.4.2. Trong giai đoạn sử dụng

Xét ô bản có kích thước 9 m x 6 m, có dầm phụ ở giữa nhịp cạnh gần như hình vẽ. Các ô bản có cùng kích thước được xếp liên tục với nhau trong mặt bằng công trình. Cát ra một dải có bề rộng 0,5 m theo phương cạnh gần để khảo sát.



Hình 2.8. Bản sàn trong giai đoạn sử dụng.

2.2.5. Khảo sát các tham số của mặt cắt

2.2.5.1. Phần mềm Response-2000

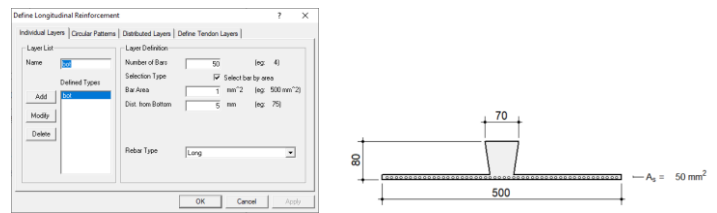
Quá trình tính toán, khảo sát các tham số của mặt cắt được thực hiện bằng phần mềm Response-2000 do nhóm tác giả của Đại học Toronto (Canada) phát triển, đây là phần mềm kiểm toán mặt cắt có khả năng tính toán sức kháng mặt cắt, ứng suất kéo, nén chính của mặt cắt, bề rộng vết nứt, ứng suất trong cốt thép thường, cốt thép dự ứng lực [14].

Tương tự các phần mềm tính toán kết cấu khác, bước đầu tiên cần khai báo các đặc trưng về vật liệu bê tông hạt mịn, bê tông thường, cốt lưới dệt và thanh GFRP. Các đặc trưng này bao gồm cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo và mô đun đàn hồi của bê tông. Cường độ chịu kéo chảy và mô đun đàn hồi của cốt lưới dệt và thanh GFRP.

Bước thứ hai là khai báo về các thông số hình học của tiết diện. Do giới hạn của phần mềm không có sẵn các tiết diện như yêu cầu nên trong quá trình mô hình cần có bước quy đổi tiết diện để thuận tiện cho việc khai báo.

Việc quy đổi phải đảm bảo tính tương đương và có thể khai báo được trong phần mềm Response-2000. Các đặc trưng tiết diện cần đảm bảo tính tương đương bao gồm: chiều cao tiết diện, chiều cao các phần của tiết diện, trọng tâm tiết diện, diện tích tiết diện và mô đun quán tính theo trục nằm ngang của tiết diện.

Bước thứ ba là khai báo vị trí, số lượng, diện tích các loại cốt lưới dệt và cốt thanh GFRP. Do diện tích mỗi bó sợi là 105,67 mm<sup>2</sup>/m, nên quy đổi tương đương khoảng 10 mm dài có một “thanh” vật liệu TRC với diện tích 1 mm<sup>2</sup>. Khi xét tiết diện chịu mô men dương, bỏ qua sự làm việc chịu nén của thanh cốt GFRP.



Hình 2.10. Khai báo vị trí, số lượng và diện tích cốt lưới dệt.

Bước thứ tư là phân tích, tính toán mặt cắt. Phần mềm có thể tính được mô men gây nứt và sức kháng uốn danh định của mặt cắt dựa vào phương pháp cân bằng lực.

2.2.5.2. Khảo sát các tham số trong giai đoạn thi công

Ở trạng thái giới hạn cường độ cần kiểm tra mô men do tải trọng tính toán gây ra ở giữa nhịp và ở gối sao cho không vượt quá sức kháng uốn danh định của mặt cắt tấm TRC.

Trong giai đoạn đổ bê tông, độ võng của tấm ván khuôn TRC không vượt quá L/400 [10], với L là khoảng cách giữa các xà gồ lớp trên. Độ võng của sàn được tính bằng việc xét tới mô men quán tính của mặt cắt nguyên tấm TRC. Độ võng của tấm TRC dưới tác dụng của tải trọng phân bố đều trên các nhịp bằng nhau được xác định theo công thức:

$$\Delta = \frac{13}{1920} \frac{q_{tc} L^4}{EI} \quad (2.1)$$

Đối với mặt cắt dạng đặc, bước đầu cố định các tham số như chiều dày của bản cánh tấm TRC  $h_f = 10$  mm và chiều rộng của sườn  $b_w = 70$  mm, tổng chiều cao tiết diện cả lớp bê tông thường là  $h_s = 150$  mm. Thay đổi chiều cao mặt ngang  $h_{TRC}$  của tấm TRC từ 40 mm đến 100 mm, mỗi lần tăng 10 mm. Kết quả khảo sát thể hiện ở Bảng 2.1.

**Bảng 2.1.** Khảo sát chiều cao mặt ngang của tấm TRC.

| STT | $h_{TRC}$ (mm) | $h_w$ (mm) | $A_{TRC}$ (mm <sup>2</sup> ) | $A_c$ (mm <sup>2</sup> ) | $I$ (mm <sup>4</sup> ) | $q_1$ (kN/m) | $q_2$ (kN/m) | $q_{tc}$ (kN/m) | $q_{tt}$ (kN/m) | $L_{nhịp}$ (m) | $\Delta$ (mm) | $[\Delta]$ mm | $M^{tt}_{nhịp}$ (kNm) | $M^{tt}_{gối}$ (kNm) | $M^{tc}_{nhịp}$ (kNm) | $M^{tc}_{gối}$ (kNm) | $M^{cr}_{nhịp}$ (kNm) | $M^n_{nhịp}$ (kNm) | $M^{cr}_{gối}$ (kNm) | $M^n_{gối}$ (kNm) |
|-----|----------------|------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|-------------------|
| 1   | 100            | 90         | 11300                        | 63700                    | 11263193.2             | 0.260        | 1.593        | 4.102           | 4.963           | 1.2            | 0.165         | 3             | 0.536                 | 0.715                | 0.443                 | 0.591                | 2                     | 6                  | 0.9                  | 7.6               |
| 2   | 90             | 80         | 10600                        | 64400                    | 8377389.9              | 0.244        | 1.610        | 4.104           | 4.964           | 1.2            | 0.222         | 3             | 0.536                 | 0.715                | 0.443                 | 0.591                | 1.6                   | 5                  | 0.7                  | 6.7               |
| 3   | 80             | 70         | 9900                         | 65100                    | 6002096.0              | 0.228        | 1.628        | 4.105           | 4.966           | 1.2            | 0.310         | 3             | 0.536                 | 0.715                | 0.443                 | 0.591                | 1.4                   | 4.1                | 0.6                  | 5.7               |
| 4   | 70             | 60         | 9200                         | 65800                    | 4097862.3              | 0.212        | 1.645        | 4.107           | 4.967           | 1.2            | 0.454         | 3             | 0.536                 | 0.715                | 0.444                 | 0.591                | 1.1                   | 3.3                | 0.4                  | 4.7               |
| 5   | 60             | 50         | 8500                         | 66500                    | 2623774.5              | 0.196        | 1.663        | 4.108           | 4.969           | 1.2            | 0.709         | 3             | 0.537                 | 0.716                | 0.444                 | 0.592                | 0.9                   | 2.5                | 0.3                  | 3.8               |
| 6   | 50             | 40         | 7800                         | 67200                    | 1536794.9              | 0.179        | 1.680        | 4.109           | 4.970           | 1.2            | 1.211         | 3             | 0.537                 | 0.716                | 0.444                 | 0.592                | 0.6                   | 1.9                | 0.2                  | 2.6               |
| 7   | 40             | 30         | 7100                         | 67900                    | 790716.0               | 0.163        | 1.698        | 4.111           | 4.972           | 1.2            | 2.355         | 3             | 0.537                 | 0.716                | 0.444                 | 0.592                | 0.4                   | 1.2                | 0.2                  | 1.4               |

Nhận thấy, khi tăng chiều cao mặt cắt ngang ( $h_{TRC}$ ) của tấm TRC, mô men gây nứt và sức kháng uốn danh định của mặt cắt đều tăng. Sức kháng uốn danh định của mặt cắt khi chịu mô men dương và mô men âm đều thỏa mãn điều kiện cường độ ở mọi chiều cao tiết diện trong khảo sát. Tuy nhiên, để đảm bảo tấm TRC không bị nứt trong giai đoạn thi công, chiều cao tối thiểu của mặt cắt nên đạt 50 mm đối với trường hợp chịu mô men dương (giữa nhịp) và 80 mm đối với trường hợp chịu mô men âm (gối tựa). Độ võng của tấm ván khuôn TRC trong khảo sát này đều thỏa mãn độ võng giới hạn ở mọi giá trị chiều cao. Qua khảo

sát trên, nhận thấy chiều cao thích hợp của tấm ván khuôn TRC là 80 mm.

Tiến hành khảo sát chiều dày ( $t$ ) của bản cánh tấm TRC. Cố định các tham số như chiều cao mặt ngang ( $h_{TRC}$ ) của tấm TRC  $h_{TRC} = 80$  mm và chiều rộng của sườn  $b_w = 70$  mm, tổng chiều cao tiết diện cả lớp bê tông thường là  $h_s = 150$  mm. Thay đổi chiều dày ( $t$ ) của của bản cánh tấm TRC từ 10 mm đến 30 mm, mỗi lần tăng 5 mm. Kết quả khảo sát thể hiện ở

**Bảng 2.2.**

**Bảng 2.2.** Khảo sát chiều dày bản cánh tấm TRC theo phương song song sườn ván khuôn.

| STT | $h_f$ (mm) | $h_w$ (mm) | $A_{TRC}$ (mm <sup>2</sup> ) | $A_c$ (mm <sup>2</sup> ) | $I$ (mm <sup>4</sup> ) | $q_1$ (kN/m) | $q_2$ (kN/m) | $q_{tc}$ (kN/m) | $q_{tt}$ (kN/m) | $L_{nhịp}$ (m) | $\Delta$ (mm) | $[\Delta]$ mm | $M^{tt}_{nhịp}$ (kNm) | $M^{tt}_{gối}$ (kNm) | $M^{tc}_{nhịp}$ (kNm) | $M^{tc}_{gối}$ (kNm) | $M^{cr}_{nhịp}$ (kNm) | $M^n_{nhịp}$ (kNm) | $M^{cr}_{gối}$ (kNm) | $M^n_{gối}$ (kNm) |
|-----|------------|------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|-------------------|
| 1   | 10         | 70         | 9900                         | 65100                    | 6002096.0              | 0.228        | 1.628        | 4.105           | 4.966           | 1.2            | 0.310         | 3             | 0.536                 | 0.715                | 0.443                 | 0.591                | 1.4                   | 4.1                | 0.6                  | 5.7               |
| 2   | 15         | 65         | 12050                        | 62950                    | 6273724.5              | 0.277        | 1.574        | 4.101           | 4.961           | 1.2            | 0.296         | 3             | 0.536                 | 0.714                | 0.443                 | 0.591                | 1.7                   | 4.3                | 0.6                  | 5.7               |
| 3   | 20         | 60         | 14200                        | 60800                    | 6325727.7              | 0.327        | 1.520        | 4.097           | 4.956           | 1.2            | 0.293         | 3             | 0.535                 | 0.714                | 0.442                 | 0.590                | 1.8                   | 4.5                | 0.6                  | 5.7               |
| 4   | 25         | 55         | 16350                        | 58650                    | 6331042.6              | 0.376        | 1.466        | 4.092           | 4.952           | 1.2            | 0.293         | 3             | 0.535                 | 0.713                | 0.442                 | 0.589                | 1.7                   | 4.6                | 0.6                  | 5.7               |
| 5   | 30         | 50         | 18500                        | 56500                    | 6394707.2              | 0.426        | 1.413        | 4.088           | 4.947           | 1.2            | 0.290         | 3             | 0.534                 | 0.712                | 0.442                 | 0.589                | 1.7                   | 4.7                | 0.6                  | 5.7               |

Kết quả khảo sát cho thấy khi tăng chiều dày bản cánh tấm TRC, độ võng của mặt cắt có xu hướng giảm, tuy nhiên mức độ giảm rất nhỏ. Sự ảnh hưởng của chiều dày ( $t$ ) này đến độ võng của tấm ván khuôn TRC là không đáng kể. Sức kháng uốn cực hạn và sức kháng uốn khi nứt của tiết diện trong trường hợp chịu mô men dương ở nhịp tăng nhẹ trong khoảng 2% đến 5% khi tăng chiều dày ( $t$ ) từ 10 mm đến 30 mm. Trong trường hợp chịu mô men âm ở gối tựa, các giá trị sức kháng uốn này đều không thay đổi khi tăng chiều dày ( $t$ ). Khảo sát này cho thấy chiều dày  $t = 10$  mm đủ đảm bảo khả năng chịu lực và yêu cầu

độ võng của tấm ván khuôn TRC. Tuy nhiên cần phải khảo sát thêm ở phương làm việc còn lại và trong điều kiện vận chuyển, lắp dựng để chọn được chiều dày bản cánh thích hợp.

Tham số còn lại của khảo sát là chiều rộng của sườn ( $b_w$ ). Cố định các tham số như chiều cao mặt ngang ( $h_{TRC}$ ) của tấm TRC  $h_{TRC} = 80$  mm và chiều dày của bản cánh tấm TRC  $t = 10$  mm, tổng chiều cao tiết diện cả lớp bê tông thường là  $h_s = 150$  mm. Thay đổi chiều rộng của sườn ( $b_w$ ) từ 50 mm đến 100 mm, mỗi lần tăng 10 mm. Kết quả khảo sát thể hiện ở bảng.

**Bảng 2.3.** Khảo sát chiều rộng của sườn tấm TRC.

| STT | $b_w$ (mm) | $A_{TRC}$ (mm <sup>2</sup> ) | $A_c$ (mm <sup>2</sup> ) | $I$ (mm <sup>4</sup> ) | $q_1$ (kN/m) | $q_2$ (kN/m) | $q_{tc}$ (kN/m) | $q_{tt}$ (kN/m) | $L_{nhịp}$ (m) | $\Delta$ (mm) | $[\Delta]$ mm | $M^{tt}_{nhịp}$ (kNm) | $M^{tt}_{gối}$ (kNm) | $M^{tc}_{nhịp}$ (kNm) | $M^{tc}_{gối}$ (kNm) | $M^{cr}_{nhịp}$ (kNm) | $M^n_{nhịp}$ (kNm) | $M^{cr}_{gối}$ (kNm) | $M^n_{gối}$ (kNm) |
|-----|------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|-------------------|
| 1   | 100        | 12000                        | 63000                    | 7566666.7              | 0.276        | 1.575        | 4.101           | 4.101           | 1.2            | 0.245         | 3             | 0.537                 | 0.537                | 0.443                 | 0.591                | 1.6                   | 5                  | 0.8                  | 5.7               |
| 2   | 90         | 11300                        | 63700                    | 7074343.7              | 0.260        | 1.593        | 4.102           | 4.102           | 1.2            | 0.263         | 3             | 0.537                 | 0.537                | 0.443                 | 0.591                | 1.6                   | 4.8                | 0.7                  | 5.7               |
| 3   | 80         | 10600                        | 64400                    | 6554748.4              | 0.244        | 1.610        | 4.104           | 4.104           | 1.2            | 0.284         | 3             | 0.537                 | 0.537                | 0.443                 | 0.591                | 1.5                   | 4.4                | 0.6                  | 5.7               |
| 4   | 70         | 9900                         | 65100                    | 6002096.0              | 0.228        | 1.628        | 4.105           | 4.105           | 1.2            | 0.310         | 3             | 0.537                 | 0.537                | 0.443                 | 0.591                | 1.5                   | 4.1                | 0.6                  | 5.7               |
| 5   | 60         | 9200                         | 65800                    | 5408840.6              | 0.212        | 1.645        | 4.107           | 4.107           | 1.2            | 0.344         | 3             | 0.538                 | 0.538                | 0.444                 | 0.591                | 1.4                   | 3.8                | 0.5                  | 5.7               |
| 6   | 50         | 8500                         | 66500                    | 4764951.0              | 0.196        | 1.663        | 4.108           | 4.108           | 1.2            | 0.390         | 3             | 0.538                 | 0.538                | 0.444                 | 0.592                | 1.4                   | 3.4                | 0.5                  | 5.7               |

Kết quả khảo sát cho thấy, sức kháng uốn của mặt cắt khi chịu mô men dương ở giữa nhịp tăng khoảng 5 % với mỗi mức tăng 10mm của chiều rộng sườn. Trong khi đó khả năng chịu uốn cực hạn của mặt cắt khi chịu mô men âm ở gối không thay đổi khi tăng chiều rộng sườn.

Giá trị mô men chịu uốn khi nứt của mặt cắt tăng nhẹ khi tăng chiều rộng sườn cả trong trường hợp mô men âm và mô men dương. Để đảm bảo mặt cắt không nứt trong giai đoạn thi công cần chiều rộng sườn tối thiểu là 70 mm (khi chịu mô men âm ở gối tựa). Giá trị độ võng giảm

\*Liên hệ tác giả: haunc\_ph@utc.edu.vn

Nhận ngày 31/01/2024, sửa xong ngày 20/02/2024, chấp nhận đăng ngày 25/02/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.02.2024.640>

khoảng 10 % khi tăng mỗi 10 mm bề rộng sườn và đều thỏa giá trị độ võng cho phép.

Khảo sát mặt cắt theo phương vuông góc với sườn tấm ván khuôn cho kết quả như Bảng 2.4. Nhận thấy sức kháng uốn cực hạn của tiết diện cả khi chịu mô men dương và mô men âm đều tăng khi tăng chiều dày bản cánh tiết diện. Tiết diện khi chịu mô men âm chỉ có bê tông chịu lực do không có lớp lưới sợi ở thớ trên. Tiết diện tấm ván khuôn TRC đảm bảo yêu cầu về mặt cường độ khi có chiều dày bản cánh tối thiểu là 20 mm. Tuy nhiên, để đảm bảo bản cánh không bị nứt khi chịu uốn theo phương vuông góc với sườn tấm ván khuôn thì bản cánh cần chiều dày tối thiểu là 30 mm. Ở mức chiều dày này cũng giúp quá trình thi công tấm ván khuôn TRC thuận tiện hơn.

**Bảng 2.4.** Khảo sát chiều dày bản cánh tấm TRC theo phương vuông góc sườn ván khuôn.

| STT | $h_f$ (mm) | $M^{tc}_{nhíp}$ (kNm) | $M^{tt}_{nhíp}$ (kNm) | $M^{tc}_{gối}$ (kNm) | $M^{tt}_{gối}$ (kNm) | $M^{cr}_{nhíp}$ (kNm) | $M^n_{nhíp}$ (kNm) | $M^{cr}_{gối}$ (kNm) | $M^n_{gối}$ (kNm) |
|-----|------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|-------------------|
| 1   | 10         | 0.077                 | 0.094                 | 0.024                | 0.03                 | 0.003                 | 0.032              | 0.006                | 0.012             |
| 2   | 15         | 0.077                 | 0.094                 | 0.024                | 0.03                 | 0.01                  | 0.104              | 0.02                 | 0.027             |
| 3   | 20         | 0.077                 | 0.094                 | 0.024                | 0.03                 | 0.042                 | 0.192              | 0.042                | 0.048             |
| 4   | 25         | 0.077                 | 0.094                 | 0.024                | 0.03                 | 0.048                 | 0.285              | 0.064                | 0.075             |
| 5   | 30         | 0.077                 | 0.094                 | 0.024                | 0.03                 | 0.08                  | 0.42               | 0.08                 | 0.108             |
| 6   | 35         | 0.077                 | 0.094                 | 0.024                | 0.03                 | 0.12                  | 0.506              | 0.12                 | 0.147             |
| 7   | 40         | 0.077                 | 0.094                 | 0.024                | 0.03                 | 0.13                  | 0.608              | 0.156                | 0.182             |

**Bảng 2.5.** Khảo sát chiều cao mặt ngang tấm TRC.

| STT | $h_{TRC}$ (mm) | $h_w$ (mm) | $A_{TRC}$ (mm <sup>2</sup> ) | $A_c$ (mm <sup>2</sup> ) | $I$ (mm <sup>4</sup> ) | $q_1$ (kN/m) | $q_2$ (kN/m) | $q_{tc}$ (kN/m) | $q_{tt}$ (kN/m) | $L_{nhíp}$ (m) | $\Delta$ (mm) | $[\Delta]$ mm | $M^{tt}_{nhíp}$ (kNm) | $M^{tt}_{gối}$ (kNm) | $M^{tc}_{nhíp}$ (kNm) | $M^{tc}_{gối}$ (kNm) | $M^{cr}_{nhíp}$ (kNm) | $M^n_{nhíp}$ (kNm) | $M^{cr}_{gối}$ (kNm) | $M^n_{gối}$ (kNm) |
|-----|----------------|------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|-------------------|
| 1   | 100            | 90         | 8100                         | 66900                    | 11007500.0             | 0.186        | 1.673        | 4.109           | 4.970           | 1.2            | 0.169         | 3             | 0.537                 | 0.716                | 0.444                 | 0.592                | 2.1                   | 7.1                | 0.9                  | 2.5               |
| 2   | 90             | 80         | 7900                         | 67100                    | 8544820.0              | 0.182        | 1.678        | 4.109           | 4.970           | 1.2            | 0.218         | 3             | 0.537                 | 0.716                | 0.444                 | 0.592                | 1.9                   | 6.2                | 0.8                  | 2.3               |
| 3   | 80             | 70         | 7700                         | 67300                    | 6427803.0              | 0.177        | 1.683        | 4.110           | 4.971           | 1.2            | 0.290         | 3             | 0.537                 | 0.716                | 0.444                 | 0.592                | 1.5                   | 5.2                | 0.7                  | 2                 |
| 4   | 70             | 60         | 7500                         | 67500                    | 4642500.0              | 0.173        | 1.688        | 4.110           | 4.971           | 1.2            | 0.401         | 3             | 0.537                 | 0.716                | 0.444                 | 0.592                | 1.4                   | 4.4                | 0.5                  | 1.7               |
| 5   | 60             | 50         | 7300                         | 67700                    | 3174532.0              | 0.168        | 1.693        | 4.110           | 4.971           | 1.2            | 0.586         | 3             | 0.537                 | 0.716                | 0.444                 | 0.592                | 1.1                   | 3.6                | 0.4                  | 1.5               |
| 6   | 50             | 40         | 7100                         | 67900                    | 2009025.8              | 0.163        | 1.698        | 4.111           | 4.972           | 1.2            | 0.927         | 3             | 0.537                 | 0.716                | 0.444                 | 0.592                | 0.8                   | 2.8                | 0.4                  | 1.2               |
| 7   | 40             | 30         | 6900                         | 68100                    | 1130543.5              | 0.159        | 1.703        | 4.111           | 4.972           | 1.2            | 1.647         | 3             | 0.537                 | 0.716                | 0.444                 | 0.592                | 0.5                   | 1.9                | 0.2                  | 0.9               |

**Bảng 2.6.** Khảo sát chiều dày của bản cánh tấm TRC.

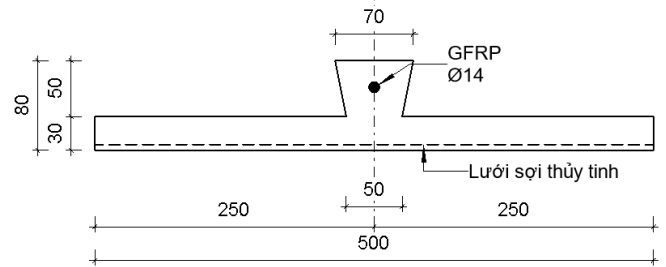
| STT | $h_f$ (mm) | $h_w$ (mm) | $A_{TRC}$ (mm <sup>2</sup> ) | $A_c$ (mm <sup>2</sup> ) | $I$ (mm <sup>4</sup> ) | $q_1$ (kN/m) | $q_2$ (kN/m) | $q_{tc}$ (kN/m) | $q_{tt}$ (kN/m) | $L_{nhíp}$ (m) | $\Delta$ (mm) | $[\Delta]$ mm | $M^{tt}_{nhíp}$ (kNm) | $M^{tt}_{gối}$ (kNm) | $M^{tc}_{nhíp}$ (kNm) | $M^{tc}_{gối}$ (kNm) | $M^{cr}_{nhíp}$ (kNm) | $M^n_{nhíp}$ (kNm) | $M^{cr}_{gối}$ (kNm) | $M^n_{gối}$ (kNm) |
|-----|------------|------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|-------------------|
| 1   | 10         | 70         | 7700                         | 67300                    | 6427803.0              | 0.177        | 1.683        | 4.110           | 4.971           | 1.2            | 0.290         | 3             | 0.537                 | 0.716                | 0.444                 | 0.592                | 1.5                   | 5.2                | 0.7                  | 2                 |
| 2   | 15         | 65         | 11250                        | 67500                    | 8205937.5              | 0.259        | 1.594        | 4.103           | 4.963           | 1.2            | 0.226         | 3             | 0.536                 | 0.715                | 0.443                 | 0.591                | 2                     | 6.2                | 0.8                  | 2                 |
| 3   | 20         | 60         | 14600                        | 60400                    | 9326118.7              | 0.336        | 1.510        | 4.096           | 4.955           | 1.2            | 0.199         | 3             | 0.535                 | 0.714                | 0.442                 | 0.590                | 2.1                   | 6.2                | 1                    | 2                 |
| 4   | 25         | 55         | 17750                        | 57250                    | 9985922.8              | 0.408        | 1.431        | 4.090           | 4.948           | 1.2            | 0.185         | 3             | 0.534                 | 0.713                | 0.442                 | 0.589                | 2.3                   | 6.2                | 1.1                  | 2                 |
| 5   | 30         | 50         | 20700                        | 54300                    | 10361195.6             | 0.476        | 1.358        | 4.084           | 4.942           | 1.2            | 0.179         | 3             | 0.534                 | 0.712                | 0.441                 | 0.588                | 2.3                   | 6.1                | 1.2                  | 2                 |

**Bảng 2.7.** Khảo sát chiều rộng của sườn tấm TRC.

| STT | $b_w$ (mm) | $A_{TRC}$ (mm <sup>2</sup> ) | $A_c$ (mm <sup>2</sup> ) | $I$ (mm <sup>4</sup> ) | $q_1$ (kN/m) | $q_2$ (kN/m) | $q_{tc}$ (kN/m) | $q_{tt}$ (kN/m) | $L_{nhíp}$ (m) | $\Delta$ (mm) | $[\Delta]$ mm | $M^{tt}_{nhíp}$ (kNm) | $M^{tt}_{gối}$ (kNm) | $M^{tc}_{nhíp}$ (kNm) | $M^{tc}_{gối}$ (kNm) | $M^{cr}_{nhíp}$ (kNm) | $M^n_{nhíp}$ (kNm) | $M^{cr}_{gối}$ (kNm) | $M^n_{gối}$ (kNm) |
|-----|------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|-------------------|
| 1   | 120        | 7400                         | 67600                    | 5616261.3              | 0.170        | 1.690        | 4.110           | 4.971           | 1.2            | 0.331         | 3             | 0.537                 | 0.716                | 0.444                 | 0.592                | 1.5                   | 4.7                | 0.5                  | 2                 |
| 2   | 130        | 7500                         | 67500                    | 5893966.7              | 0.173        | 1.688        | 4.110           | 4.971           | 1.2            | 0.316         | 3             | 0.537                 | 0.716                | 0.444                 | 0.592                | 1.5                   | 4.8                | 0.6                  | 2                 |
| 3   | 140        | 7600                         | 67400                    | 6164386.0              | 0.175        | 1.685        | 4.110           | 4.971           | 1.2            | 0.302         | 3             | 0.537                 | 0.716                | 0.444                 | 0.592                | 1.6                   | 5.1                | 0.6                  | 2                 |
| 4   | 150        | 7700                         | 67300                    | 6427803.0              | 0.177        | 1.683        | 4.110           | 4.971           | 1.2            | 0.290         | 3             | 0.537                 | 0.716                | 0.444                 | 0.592                | 1.5                   | 5.2                | 0.7                  | 2                 |
| 5   | 160        | 7800                         | 67200                    | 6684487.2              | 0.179        | 1.680        | 4.109           | 4.970           | 1.2            | 0.278         | 3             | 0.537                 | 0.716                | 0.444                 | 0.592                | 1.5                   | 5.7                | 0.7                  | 2                 |
| 6   | 170        | 7900                         | 67100                    | 6934694.1              | 0.182        | 1.678        | 4.109           | 4.970           | 1.2            | 0.268         | 3             | 0.537                 | 0.716                | 0.444                 | 0.592                | 1.6                   | 5.7                | 0.8                  | 2                 |

Kết quả khảo sát cho thấy xu hướng tương tự như đối với tiết diện dạng đặc. Chiều cao thích hợp của tấm ván khuôn TRC là 80 mm. Với cùng chiều cao mặt cắt, sức kháng uốn cực hạn của mặt cắt dạng

Qua các khảo sát trên, tác giả đề xuất tiết diện có kích thước phù hợp về khả năng chịu lực, độ võng và đảm bảo không nứt như Hình 2.11.

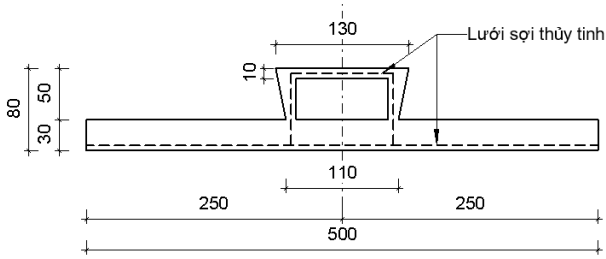


**Hình 2.11.** Kích thước đề xuất của mặt cắt dạng đặc.

Đối với mặt cắt dạng rỗng, quá trình khảo sát được tiến hành tương tự như dạng mặt cắt dạng đặc. Kết quả khảo sát được thể hiện ở Bảng 2.5, Bảng 2.6, Bảng 2.7.

rỗng khi chịu mô men âm chỉ bằng từ 30 % đến 50 % của tiết diện dạng đặc. Tuy nhiên, khi chịu mô men dương, sức kháng uốn cực hạn của mặt cắt dạng rỗng lớn hơn mặt cắt dạng đặc khoảng 20 % đến 50 %.

Giống như tiết diện dạng đặc, khi tăng chiều dày bản cánh, khả năng chịu lực và độ võng của tiết diện đều được cải thiện và với chiều dày bản cánh  $t = 10$  mm, đảm bảo cho tiết diện dạng rỗng cả về điều kiện cường độ và độ võng. Khi khảo sát theo phương cạnh dài, thu được kết quả tương tự như dạng tiết diện đặc với  $t = 30$  mm để đảm bảo bản cánh không bị nứt khi chịu uốn. Đối với bản sườn, khi tăng chiều rộng lên, khả năng chịu mô men và độ võng đều có cải thiện nhưng khá nhỏ. Chiều rộng sườn phù hợp đối với dạng tiết diện này là 130 mm. Tác giả đề xuất kích thước tiết diện dạng rỗng như Hình 2.12.



Hình 2.12. Kích thước đề xuất của mặt cắt dạng rỗng.

Kiểm tra tiết diện tấm ván khuôn TRC khi vận chuyển với kết quả mô men trong tấm và sức kháng uốn của tấm như Bảng 2.8. Nhận thấy theo cả 2 phương, tấm ván khuôn đều đảm bảo khả năng chịu lực và không bị nứt. Như vậy, sơ đồ móc cầu cũng như số sườn, khoảng cách giữa các sườn và chiều dày bản cánh tấm ván khuôn điển hình đảm bảo yêu cầu khi thi công.

Bảng 2.8. Mô men trong tấm và sức kháng uốn của tấm khi vận chuyển.

| $h_r$ (mm)                           | $M^{tc}_{nhịp}$ (kNm) | $M^{tt}_{nhịp}$ (kNm) | $M^{tc}_{gối}$ (kNm) | $M^{tt}_{gối}$ (kNm) | $M^{cr}_{nhịp}$ (kNm) | $M^n_{nhịp}$ (kNm) | $M^{cr}_{gối}$ (kNm) | $M^n_{gối}$ (kNm) |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|-------------------|
| <b>Phương dọc sườn tấm TRC</b>       |                       |                       |                      |                      |                       |                    |                      |                   |
| 30                                   | 0.0425                | 0.0468                | 0.0228               | 0.0251               | 1.5                   | 4.1                | 0.6                  | 5.7               |
| <b>Phương vuông góc sườn tấm TRC</b> |                       |                       |                      |                      |                       |                    |                      |                   |
| 30                                   | 0.0007                | 0.0008                | 0.0062               | 0.0068               | 0.08                  | 0.42               | 0.08                 | 0.108             |

2.2.5.3. Khảo sát các tham số trong giai đoạn sử dụng

Trong giai đoạn sử dụng, mặt cắt làm việc liên hợp, trong quá trình khảo sát bằng phần Response-2000, coi lớp ván khuôn TRC và lớp bê tông dính bám tuyệt đối với nhau. Tiến hành khảo sát sức kháng uốn của tiết diện khi thay đổi chiều dày của lớp bê tông từ 20 mm đến 70 mm. Kết quả khảo sát của hai dạng tiết diện được thể hiện trong bảng sau:

Bảng 2.9. Khảo sát chiều dày lớp bê tông đối với tiết diện ván khuôn đặc.

| STT | H (mm) | $M^{tc}_{nhịp}$ (kNm) | $M^{tt}_{nhịp}$ (kNm) | $M^{tc}_{gối}$ (kNm) | $M^{tt}_{gối}$ (kNm) | $M^n_{nhịp}$ (kNm) | $M^n_{gối}$ (kNm) |
|-----|--------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|-------------------|
| 1   | 100    | 1.84                  | 2.13                  | 5.09                 | 5.93                 | 5.7                | 7.1               |
| 2   | 110    | 2.13                  | 2.46                  | 5.67                 | 6.58                 | 6.6                | 8                 |
| 3   | 120    | 2.43                  | 2.8                   | 6.18                 | 7.17                 | 7.6                | 8.9               |
| 4   | 130    | 2.73                  | 3.14                  | 6.63                 | 7.67                 | 8.7                | 9.8               |
| 5   | 140    | 3.02                  | 3.47                  | 7.01                 | 8.1                  | 10.1               | 10.8              |
| 6   | 150    | 3.3                   | 3.78                  | 7.31                 | 8.43                 | 11.6               | 11.7              |

Bảng 2.10. Khảo sát chiều dày lớp bê tông đối với tiết diện ván khuôn rỗng.

| STT | H (mm) | $M^{tc}_{nhịp}$ (kNm) | $M^{tt}_{nhịp}$ (kNm) | $M^{tc}_{gối}$ (kNm) | $M^{tt}_{gối}$ (kNm) | $M^n_{nhịp}$ (kNm) | $M^n_{gối}$ (kNm) |
|-----|--------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|-------------------|
| 1   | 100    | 1.64                  | 1.91                  | 4.66                 | 5.43                 | 5.6                | 7.1               |
| 2   | 110    | 1.92                  | 2.22                  | 5.26                 | 6.11                 | 6.2                | 7.9               |
| 3   | 120    | 2.21                  | 2.54                  | 5.82                 | 6.75                 | 7.3                | 8.8               |
| 4   | 130    | 2.51                  | 2.9                   | 6.32                 | 7.32                 | 8.5                | 9.8               |
| 5   | 140    | 2.81                  | 3.23                  | 6.75                 | 7.8                  | 9.8                | 10.6              |
| 6   | 150    | 3.1                   | 3.56                  | 7.1                  | 8.2                  | 11.1               | 11.5              |

Kết quả khảo sát cho thấy, đối với dạng tiết diện đặc, sức kháng uốn của mặt cắt sàn khi chịu mô men dương tăng khoảng 10 % đến 12 %, còn khi chịu mô men âm, sức kháng uốn chỉ tăng trong khoảng 5 % đến 10 % cho mỗi lần tăng chiều dày lớp bê tông thêm 10 mm. Tuy nhiên khi tăng chiều dày sàn cũng làm tăng trọng lượng bản thân kết cấu khiến giá trị mô men do tải trọng gây ra cũng tăng lên. Cụ thể, giá trị mô men dương tăng 10 % đến 15 % và giá trị mô men âm tăng 5 % đến 10 %. Về cơ bản, mức tăng sức kháng uốn của tiết diện tương đồng với mức tăng nội lực do tăng chiều dày sàn. Ở trạng thái giới hạn cường độ, từ kết quả khảo sát, có thể thấy tất cả các chiều dày sàn đều đảm bảo đủ khả năng chịu lực.

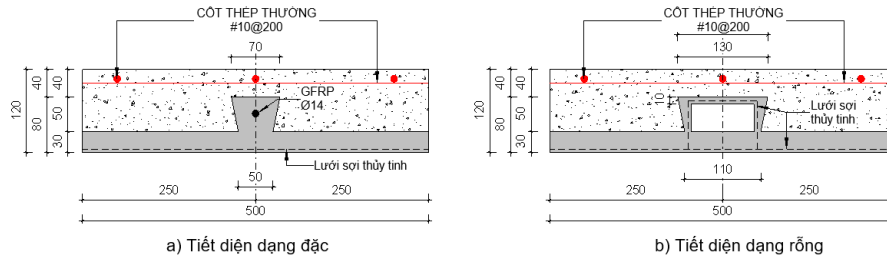
Tương tự với tiết diện dạng rỗng, khi tăng chiều dày sàn, sức kháng uốn của mặt cắt và nội lực do tải trọng gây ra đều tăng. Cụ thể, khoảng tăng sức kháng uốn khi chịu mô men dương tương tự tiết diện đặc, nhưng sức kháng uốn khi chịu mô men âm lại tăng từ 5% đến lớn nhất là 15 %. Nội lực do tải trọng gây ra cũng có mức tăng lớn hơn, trong khoảng 10 % đến 20 % cho mô men dương và 5 % đến 15 % cho mô men âm. Nhận thấy ở những mức chiều dày sàn nhỏ từ 100 mm đến 120 mm mức tăng cả về sức kháng và nội lực là rất lớn sau đó mức tăng chậm dần.

Khi so sánh hai dạng tiết diện có cùng chiều dày, sức kháng uốn tại vị trí gối chịu mô men âm là gần như bằng nhau, còn vị trí giữa nhịp chịu mô men dương thì dạng tiết diện đặc cho ra sức kháng uốn cao hơn nhưng cũng không đáng kể chỉ khoảng 3 % đến 5 %. Có thể thấy rằng, hai dạng tiết diện có khả năng chịu uốn là tương đương nhau với cùng một chiều dày sàn. Giá trị mô men nội lực do của bản sàn dùng tiết diện đặc lại lớn hơn so với bản sàn dùng tiết diện rỗng ở mức 6 đến 12 % cho cả hai vị trí giữa nhịp và tại gối. Nguyên nhân là do trọng lượng bản thân của tiết diện sàn rỗng nhẹ hơn trong so với sàn đặc.

Từ khảo sát trên có thể kết luận, chiều dày sàn ở mức tối thiểu 100mm là đảm bảo sàn không bị phá hoại. Dạng tiết diện rỗng có sức kháng uốn tương đương với dạng tiết diện đặc nhưng nhẹ hơn đôi chút.

Theo Tiêu chuẩn ACI 318-14 về yêu cầu chiều dày tối thiểu của bản sàn để không cần kiểm tra độ võng, đối với sàn có nhịp liên tục hai biên, sàn dạng bản sàn một hướng có giới hạn chiều dày sàn tối thiểu là  $L/28$  ( $h_{min} = 3000 \text{ mm} / 28 = 107 \text{ mm}$ ).

Vì vậy để đảm bảo yêu cầu về cường độ, độ võng và độ cứng cho sàn cũng như chiều dày cấu tạo để đủ không gian đặt và bảo vệ cốt thép, chọn sàn dày 120 mm (lớp bê tông dày 40 mm).



Hình 2.13. Kích thước hai dạng tiết diện sàn.

### 3. Kết luận

Qua các kết quả khảo sát nêu trên, nhận thấy tấm ván khuôn TRC dạng tiết diện đặc có mô men gây nứt lớn hơn tấm ván khuôn tiết diện rộng khoảng 7 đến 8 % cho cả trường hợp chịu mô men âm và mô men dương. Độ võng của tấm ván khuôn dạng đặc cũng nhỏ hơn so với dạng tiết diện rộng mặc dù trọng lượng nặng hơn 3,5 %. Nguyên nhân là do tiết diện dạng đặc có mô men quán tính và độ cứng lớn hơn so với tiết diện dạng rộng.

Khi làm việc liên hợp, dạng sàn tiết diện đặc và tiết diện rộng có khả năng chịu uốn cực hạn như nhau. Mặc dù trọng lượng bản thân của tiết diện dạng rộng nhẹ hơn khoảng 6 % so với tiết diện dạng đặc.

Qua các phân tích trên, khả năng làm việc chịu uốn của tiết diện dạng đặc tốt hơn tiết diện dạng rộng. Lợi thế của dạng tiết diện rộng là giúp tiết kiệm vật liệu và giảm nhẹ trọng lượng của kết cấu song không đáng kể (chỉ khoảng 6 %). Tuy nhiên, quá trình thi công chế tạo tấm ván khuôn tiết diện dạng rộng sẽ phức tạp và khó khăn hơn nhiều do có cấu tạo thành mỏng và rỗng ở giữa.

Vì vậy, lựa chọn tiết diện dạng đặc sẽ hợp lý hơn so với tiết diện dạng rộng cả trong quá trình chế tạo và khi chịu lực.

### Tài liệu tham khảo

[1]. EN 1994-1-1 (2004). Eurocode 4: *Design of steel and concrete composite structures, part 1.1: General rules and rules for building*.  
 [2]. Nguyễn Ngọc Linh, Nguyễn Ngọc Tân, Nguyễn Trung Hiếu (2019), “Nghiên cứu thực nghiệm ứng xử sàn liên hợp nhiều nhịp chịu tác dụng của tải trọng tĩnh”, *Tap chí Xây dựng*, số 02.2019.  
 [3]. Nguyễn Văn Cường, Vũ Anh Tuấn, Nguyễn Trung Kiên, Nguyễn Quốc Cường, Nguyễn Thanh Hà (2021), “Nghiên cứu thực nghiệm sự làm việc

chịu uốn của sàn liên hợp thép – bê tông nhịp đơn theo tiêu chuẩn EN 1994-1-1:2004”, *Tap chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, NUCE 2021. 15 (2V): tr22–33  
 [4]. Hegger, J., N. Will, “Textile Reinforced Concrete - A new Composite Material”, *Advances in Construction Materials, Springer Berlin Heidelberg*, pp. 147-156, 2007.  
 [5]. Lê Minh Cường (2017), “Nghiên cứu chế tạo và xác định các ứng xử cơ học và độ bền của bê tông hạt mịn tính năng cao cốt lưới dệt ứng dụng trong công trình cầu”, *Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp bộ*.  
 [6]. Catherine G. Papanicolaou, Ioannis C. Papantoniou (2010), “Mechanical Behavior of Textile Reinforced Concrete (TRC) / Concrete”, *Journal of Advanced Concrete Technology*, Vol. 8(1): 35-47.  
 [7]. Hyeong-Yeol Kim, Kyung-Taek Koh, Young-Jun You, Gum-Sung Ryu, Dong-Woo Seo (2020), “Load-deflection behaviour of concrete slab-type elements casted on stay-in-place TRC formwork”, *Composite Structures* 244 (2020) 112310.  
 [8]. I.C. Papantoniou, Ph.D. Candidate, C.G. Papanicolaou, Assistant Professor (2012), “Flexural behavior of one-way textile reinforced concrete (TRC) / Reinforced concrete (RC) composite slabs”, *ECCM15 – 15th European Conference On Composite Materials*, Venice, Italy, 24-28 June 2012.  
 [9]. Nguyễn Xuân Huy, Nguyễn Hoàng Quân (2017), *Tính toán kết cấu liên hợp thép - bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn Eurocode 4*, Nhà xuất bản Xây dựng.  
 [10]. TCVN 4453 : 1995, “Tiêu chuẩn bắt buộc áp dụng từng phần - Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép toàn khối - Quy phạm thi công và nghiệm thu”.  
 [11]. I. Papantoniou, C. Papanicolaou (2010), “Minimum cost design of one-way TRC/RC composite slabs”, *International RILEM Conference on Material Science - MATSCI*, Aachen 2010 – Vol. I, ICTRC.  
 [12]. W. Brameschuber, M. Koster, J. Hegger, and S. Voss (2008), “Integrated Formwork Elements Made of Textile-Reinforced Concrete”, *Symposium Paper*, vol. 250, pp. 35-48, 2008.  
 [13]. TCVN 2737 : 2023, “Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế”.  
 [14]. Evan Bentz (2001), *Response 2000. User Manual*, Toronto, Canada.

\*Liên hệ tác giả: haunc\_ph@utc.edu.vn

Nhận ngày 31/01/2024, sửa xong ngày 20/02/2024, chấp nhận đăng ngày 25/02/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.02.2024.640>